

عبدالله ميرغني الطيب و عثمان السيد عدLAN و كلاوس فون قادرO

Abdallah Mirghani El Tayeb / Osman Elsaïd Adlan Abdelkareem / Klaus von Gadow

# الطرق الكمية في إدارة الغابات

Quantitative Methods in Forest Management



Universitätsdrucke Göttingen



Abdallah Mirghani El Tayeb, Osman Elsaid Adlan Abdelkareem,

Klaus von Gadow

Quantitative Methods in Forest Management

This work is licensed under the  
[Creative Commons](#) License 2.0 “by-nd”,  
allowing you to download, distribute and print the  
document in a few copies for private or educational  
use, given that the document stays unchanged  
and the creator is mentioned.  
You are not allowed to sell copies of the free version.



erschienen in der Reihe der Universitätsdrucke  
im Universitätsverlag Göttingen 2006

---

Abdallah Mirghani El Tayeb,  
Osman Elsaïd Adlan Abdelkareem,  
Klaus von Gadow

Quantitative Methods in  
Forest Management



Universitätsverlag Göttingen  
2006

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im  
Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

*Contact to the Authors*

Klaus v. Gadow

Institut für Waldinventur und Waldwachstum

Georg-August-Universität Göttingen

Büsgenweg 5

D-37077 Göttingen

URL <http://www.uni-forst.gwdg.de/forst/iww/iww.htm>

This work is protected by German Intellectual Property Right Law. It is also available as an Open Access version through the publisher's homepage and the Online Catalogue of the State and University Library of Goettingen (<http://www.sub.uni-goettingen.de>). Feel free to read, download and distribute it under the licence agreement shown in the online version. You may also print a small number for educational or private use. However you may not sell printed versions of the book deriving from the free online version.

Typesetting and Layout: Osman Elsaïd Adlan Abdelkareem

Cover Drawing: W. Tambour

Cover Design: Kilian Klapp

© Universitätsverlag Göttingen 2006

<http://univerlag.uni-goettingen.de>

ISBN-10: 3-938616-59-8

ISBN-13: 978-3-938616-59-8

# الطرق الكمية في إدارة الغابات

تأليف

عبد الله ميرغني الطيب  
عثمان السيد عدلان  
كلاؤس فون قادو



## **الطرق الكمية في إدارة الغابات**

### **تأليف**

**عبدالله ميرغني الطيب**

جامعة الخرطوم

كلية الغابات

شعبات – السودان

**عثمان السيد عدلان**

جامعة كردفان

كلية الموارد الطبيعية والدراسات البيئية

قسم علوم الغابات والمراعي

الأبيض – السودان

**كلاوس فون قادو**

جامعة فوتتجن

معهد إدارة الغابات

فوتتجن – ألمانيا

فوتتجن – جمهورية ألمانيا

**2006**

شکر و عرفان

بسم الله وكفى والصلوة والسلام على النبي المصطفى محمد بن عبد الله وعلى آله وصحبه وسلم وبعد،  
أصالة عن نفسي وباسم مؤلفي هذا الكتاب أقدم بواهر الشكر والتقدير والثناء أولاً وأخيراً لله سبحانه وتعالى الذي  
وفقنا في إعداد وترتيب هذا الكتاب. والشكر من بعده للأساتذة الأجلاء البروفسور فون قادو الذي قام بتوفير مادة  
هذا الكتاب والشكر أيضاً لحرمه مارقا فون قادو.

شكر ممدوح أيضاً للدكتور عبدالله ميرغني الطيب وأسرته الكريمة الذي قام بإعداد الطبعة الأولى من هذا الكتاب.  
شكر خاص جداً لزوجتي الغالية سهاد إسماعيل الطاهر التي قامت بطبعه هذا الكتاب وفي شتى التواحي والشكراً  
من بعد لإبني العزيز محمد المصطفى عثمان وابنتي الأميرة شهد اللذين تحملوا كثيراً طيلة فترة إنشغالنا عنهم.

شكراً بلا حدود للإخوة والزملاء بمدينة قوتجن وأخص بالشكر الأخ مصوبي مختار العبيد الذي ساعدني كثيراً والشكر أيضاً لأسرته الكريمة (أفراح وهبة)، الأخت محسان حسن محمد علي شوك، والأخ سليمان حماد ناصر علي، محمد المصطفى عثمان السيد وأسرته، مي أحمد، سعد سليمان وأسرته، وطارق محمد جبريل وحربه، وحاتم محمد أحمد الأمين، وكمال حسن علي، أحمد عبد الحفيظ جعفر.

الشكر أيضاً لكل الأخوة والزملاء بشتي مدن ألمانيا وخاصة الاخوة بمدينة درسدن الاخت ميمونة محمد عيسى والسر ربيع وللأخ دفع الله محمد مكي بالصين وكل من ساعدني وشجعني خلال هذه الفترة.

عثمان السيد عدلان

المؤلفين / ع

قوتنج - 2006



## مقدمة

هذا الكتاب عبارة عن الطبعة الثانية للكتاب السابق (نمو الغابات) الذى تم إعداده بواسطة كل من الدكتور عبد الله ميرغني الطيب والبروفيسور فون فادو حيث قام المؤلفان بالقاء الضوء على المعلومات المفيدة عن نمو الأشجار وإنتج الأخشاب من المشاجر الغابية والإستفادة منها في عمليات التخطيط الغابي، كذلك تم التطرق إلى البيئات المحيطة بموقع نمو الاشجار والتأثيرات المعقدة على عناصر الموقع على نمو ومورفلوجيا الاشجار الغابية بهدف تحديد الدقيق للإنتاج الخشبي ووصف تركيبة المشجر والتغيرات التي تحدث للغابة.

في هذه الطبعة تم إدراج بعض المعلومات المفيدة عن سيناريو التخطيط لإدارة الغابة والتي تعطي فكرة عامة عن ماهية سيناريو الغابة والطرق المثلية للتخطيط والتي تمكن القائمين بأمر إدارة الغابات من وضع الخطط الناجحة لعمليات الإنتاج الغابي وإنتج الأخشاب كما تمت أيضاً إضافة معلومات مفيدة عن تقييم المخاطر في مجال الغابات وكيفية التخطيط لنفاد تلك المخاطر المتوقعة وتقليل حجم الضرر الناتج نتيجة سلسلة من المهددات البيئية وغير البيئية. أيضاً هنالك معلومات عن تقييم النماذج الرياضية التي تستخدم في مجال الغابات والطرق الكمية والكيفية لتقدير النماذج.

هذه الإضافات قام بإعدادها الأستاذ عثمان السيد عدлан معتمداً في ذلك على المعلومات التي قام بتوفيرها البروفيسور فون فادو والتي تتمثل في النص باللغة الإنجليزية بالإضافة للمعادلات الرياضية والأشكال البيانية المفيدة في هذا المجال.

ونحن إذ نقدم هذا الكتاب نأمل أن يرضي طموحات كل الطلاب في مجال العلوم الغابية وكذلك الأساتذة والباحثين بل نأمل أن يكون هذا الكتاب جزء من سلسلة كتب أخرى تفيد الجميع.  
والله المستعان.

## **محتويات الكتاب**

1	<b>1. أساسيات علم نمو الغابات</b>
2	1.1. البيئة المحيطة بموقع نمو الأشجار
2	1.1.1. الإشعاع الضوئي
9	1.1.2. الحرارة
14	1.1.3. الماء
18	1.1.4. الهواء
20	1.1.5. المحتوى الغذائي
21	1.2. تصميم النموذج الرياضي للظروف المحيطة بالموقع
27	2. المشجر كمعيار لقياس درجة جودة الموقع
27	تصنيف درجة جودة الموقع في غابات القطع الكلي
28	التصنيف النسبي عن طريق الارتفاع
30	التصنيف المطلق عن طريق الارتفاع
36	مؤشرات الموقع باستخدام متوسط الزيادة السنوية الكلية
36	مستوى الإنتاج الخشبي
37	التصنيف الديناميكي لدرجات جودة الموقع
37	التصنيف في مشاجر متعددة الأعمار
39	2.2. تصنيف جودة الموقع عن طريق عناصره
39	عنصر التربة
41	الغطاء النباتي التحتي
44	المناخ
48	3. مورفلوجيا الأشجار الغابية
48	3.1. الناج
57	3.2. الساق
58	3.3. معامل الشكل
58	ثابت الشكل والإنتفاخ
60	معادلة برینك المعدلة
62	النماذج الرياضية الموحدة للسوق
65	3.3. الجذور

	4. كثافة وتركيبة المشجر.
68	1.4. كثافة المشجر
68	1.1.4. المساحة الفاقدية للمشجر
68	2. مؤشر كثافة المشجر
69	3.1.4. المسافات النسبية بين الأشجار
71	4.1.4. معامل التنافس الناجي
72	2.4. التغطية الناجية
73	1.2.4. الجزء المنوي للمساحة الفاقدية
73	2.2.4. مؤشر بالمواد (BALMOD)
74	3.2.4. مؤشر C66
76	4.2.4. مؤشر المساحة الفاقدية- القطر
77	3.4. الكثافة الشجرية في نقطة محددة
78	1.3.4. مساحة التداخل (التعدي)
78	2.3.4. النسبة الرابطة بين الأقطار والمسافات البينية
80	3.3.4. المسافات الطبعرافية والإيكولوجية للشجرة
82	4.4. التركيبة البسيطة: التكرارات التوزيعية لصفات الأشجار.
83	5.4. التركيبة المكانية- التوزيع المكاني.
89	1.5.4. جزئيات الأنواع والأحجام
90	2.5.4. عناصر التركيبة المكانية
91	3.5.4. تكرار التركيبة الغابية
93	4.5.4. التركيبات المكانية الحقيقة والمتوقعة
94	5. نمو المشاجر الندية متساوية الأعمار
96	1.5. جمع المعلومات
96	1.1.5. مرباعي العينة الدائمة
97	2.1.5. الصفوف الزمنية غير الحقيقة
98	3.1.5. مساحات تكرار القياس
99	2.5. النماذج الرياضية للإنتاج
102	1.2.5. الإنتاج الكلي، المتوسط الكلي للزيادة السنوية، الزيادة السنوية الحالية
102	2.2.5. جداول الإنتاج النموذجية
105	

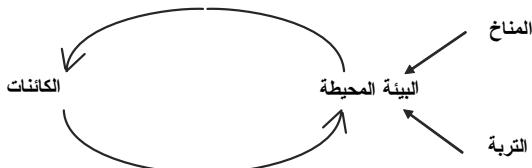
108	3.2.5. النماذج الرياضية للإنماط
111	3.5. النماذج الرياضية لنمو الأشجار التي تعتمد على الكثافة الشجرية
111	العلاقة بين الكثافة الشجرية للمشجر ونمو
112	أمثلة لنماذج رياضية للمشاجر ذات الكثافات الشجرية المتعددة
116	1.3.5. نموذج نمو لمشاجر الصنوبر (Spruce)
118	2.3.5. حجم وتصنيف المخزون الخشبي بالمشاجر
122	<b>6. نمو الأشجار المفردة</b>
122	1.6. النماذج التي لا تعتمد على الموضع
123	1.1.6. حساب تطور التوزيعات القطرية
126	2.1.6. الطريقة المبسطة لحساب تطور الأقطار
127	3.1.6. التغير في المساحة القاعدية النسبية
129	4.1.6. النماذج الرياضية الإنتحالية
131	5.1.6. طريقة الحساب المباشر للزيادة
134	6.1.6. حساب الزيادة عن طريق تحلييل الإنحدار
136	7.1.6. المراجعة الدورية لمعلومات الحصر
138	2.6. النماذج الرياضية التي تعتمد على مواضعأشجار
138	1.2.6. استخدام الإطار النظري لتحديد مواضع الأشجار
143	2.2.6. النماذج الرياضية (WASIM) و (MOSES)
147	3.2.6. النموذج الرياضي (SILVA)
149	7. النماذج الرياضية للعمليات الغابية
149	1.7. الوصف التقليدي لعمليات التخفيف
152	2.7. التخفيف (الشلخ) في الغابات الندية متساوية الأعمار
152	العلاقة بين عدد الأشجار و المساحات القاعدية
156	3. ثابت التمايز أو الفصل
158	4. التطور الأمثل للغابة
160	5. المسافات البنية الحرجة والإنتماء
162	3.7. وصف عمليات التخفيف عن طريق ثوابت تركيبة المشجر
163	6. تحلييل عملية التخفيف (الشلخ) عن طريق مجموعات الأشجار المجاورة
164	7. تصميم نماذج رياضية للتخفيف بناءً على نظم معينة

166	التأكيد من الحاجة للتخفيف
167	التبؤ بالتخفيض إعتماداً على حالة محددة
169	<b>8. سيناريو تخطيط الغابة</b>
169	مقدمة
170	سيناريو حصاد الأختشاب
171	إقصاصية السوق والغابة التموذجية
174	تناسب الأعمار
177	نموذج التغيير في المساحة
178	الفترات المتعددة لعمليات الحصاد المجدولة عن طريق البرمجة الخطية
180	الغابات ذات التغطية المستمرة
182	توزيع أقطار الأشجار الباقية
184	توزيع المساحة الفاعدية المتبقية Residual basal area distribution
186	نموذج الغابات الطبيعية غير المعتمد
187	إعتدال مستويات الحصاد في الغابات ذات التغطية المستمرة
188	نموذج لأي نوع من الإدارة الفنية للغابات
191	سيناريوهات عن تركيبة انتاج الخشب
193	سيناريو أنشطة الغابات
201	المناقشة
203	<b>9. تقييم النموذج</b>
203	تقييم النموذج
203	التقييمات النوعية Quantitative methods
205	التقييمات الكمية Quantitative evaluations
206	وصف خطأ النموذج
209	الاختبارات الإحصائية Statistical tests
211	<b>10. النماذج الرياضية للمساحات الصغيرة</b>
212	التجدد
214	موت الأشجار
216	<b>11. تقييم المخاطر في التخطيط لنماذج الغابات</b>
216	تحليل المخاطر
217	تأطير النظام Delineation of the system

217	التعرف على العوامل الفاعلة للمهدد
219	تقييم احتماليات العامل المهدد
220	تقدير معدلات الحيوية أو البقاء
222	جدولة الحصاد وتقنيات السيناريو
222	الطرق المناسبة لأنظمة الإدارة الفنية البسيطة لغابة
224	الطرق المناسبة للإدارة الفنية لأي غابة بما في ذلك الغابات ذات التغطية الدائمة
225	المناقشة
227	المراجع

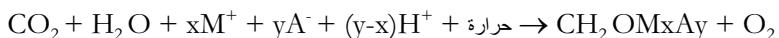
### ١. أساسيات علم نمو الغابات:

تعرف الغابات على أنها نظام بيئي على علاقات متبادلة مع الكائنات الحية والطبيعية غير الحية المحيطة بها. يعتبر نمو الأشجار تفاعلاً معقداً مع تأثيرات خارجية متعددة للحد الذي جعل علم نمو الغابات يهتم بشكل متزايد بالبحوث في مجال النظم البيئية. من هنا يأتي فهم التأثيرات الطبيعية والإجتماعية (المجتمعات الشجرية) على مجريات النمو، ومن ثم تأثير ذلك أيضاً على علم نمو الغابات. تعتبر المؤثرات العضوية وغير العضوية من العوامل الطبيعية ذات الأثر الكبير على البيئة المحيطة بالنظام البيئي الغابي، كما يعتبر المناخ والمواد المعدنية بالتربيه أهم هذه العناصر. يمكن وصف بيئه الكائنات عن طريق العناصر الفيزيائية والكيميائية. يحدد المناخ والممواد الغذائية وارتباطهما بالكائنات الموجودة حالة الفيزيوكيميائية لبيئه الكائنات. الشكل (1.1) يوضح ذلك.



الشكل (1.1): العلاقة المتبادلة بين الكائنات وبيئتها

تأخذ الكائنات الحية الطاقة والمواد الغذائية وتعطيها للبيئة المحيطة مشكلة بذلك ما يعرف بإنتاج وإستهلاك الطاقة والمواد (هайнريش، 1995). تنتج الكتلة النباتية من عملية الإنتاج الأولية (التمثيل الضوئي). في أثناء عملية التمثيل الضوئي تحدث عدة تفاعلات تحتاج إلى طاقة من الخارج.



عن طريق التنفس وإستهلاك المادة الغذائية ينعكس إتجاه العملية ويتم تكسير المادة العضوية عن طريق الأكسجين وتنطلق الطاقة مرة أخرى في شكل حرارة.



وفي الختام تحول المواد العضوية إلى مواد معدنية. من هنا يتضح أن الغلاف الجوي والغلاف المائي يوفران البيئة المناسبة لنمو الأشجار. يمكن النظر إلى هذه البيئة المحيطة على أنها أوساط تفاعل تؤخذ منها المواد وتعطى. من المؤثرات الأخرى هناك أيضاً التغيرات المناخية، وفي مقدمتها التأثيرات الغائية. يعتبر الحصول على

معلومات عن هذه التأثيرات من الأهداف المهمة للبحوث الخاصة بعلم نمو الغابات. تستخدم المعلومات المكتسبة في التخطيط الغابي كما تستخدم أيضاً في حساب كميات الأخشاب المتوقعة لمختلف الإستخدامات، بما في ذلك الصناعات الخشبية. تشكل هذه المعلومات جزءاً مهماً في تطور المعرفة في مجال بيئة الغابات ووضع دعامتين إتخاذ القرارات.

تمثل البحوث في علم نمو الغابات جزءاً من البحوث في البيئة الغابية. تتأثر كل البحوث الغابية الحديثة بالأعمال العلمية التي قام بها العالم الألماني مشترلش (1971- 1975) وأورليش (1986) والينيرج (1986). تستفيد البحوث الخاصة بنمو الغابات من المعرفة البيئية المتاحة وتسهم من جانبها بالطرق والنماذج الرياضية التي تسمح بالتعبير عن نمو الغابة. من الضوري أيضاً معرفة التأثيرات المناخية والإقتصادية السائدة الآن لها أثرها في النمو المستقبلي للغابات. تتطلب الاستجابة والتفاعل مع هذا الأمر تصميم نماذج رياضية عن نمو الغابات تعتمد على تراكم معلومات تم جمعها في الماضي. هنالك حاجة ماسة لمعلومات عن تطور وتركيبة الغابات، ولكنها (للأسف) غير متوفرة حتى الآن بالشكل المن الكامل.

يهم علم نمو الغابات الحديث بالحساب المستقبلي لنمو الغابات (Prediction) وذلك عن طريق النماذج الرياضية (Mathematical Models) ومعدلات الحساب المتواتر (Algorithm) . يتم تحديد معلم النماذج الرياضية عن طريق تحديد الهدف من النموذج الرياضي ونوع المعرفة المطلوب الحصول عليها.

بهذا يمكن تصميم نماذج رياضية لنمو الأشجار المفردة (Single Tree Models) أو المشاجر الغابية (Stand Models) على أساس الكتلة الحية المنتجة أو الأنواع المتاحة من الإنتاج ونسب الأنواع الشجرية (التركيبة الشجرية للمشجر) ودرجة التنافس، كما يمكن تصميم نماذج رياضية قصيرة أو طويلة الأمد.

تغطي الفقرات التالية الظروف البيئية المحيطة بالموقع وتتأثيراتها على عملية التمثيل الضوئي. يمكن الحصول على معلومات أخرى من الكتب المتخصصة في هذا المجال. سيتناول هذا الفصل أمثلة تقدير تطور مختلف مكونات النظام الغابي وتكاملها على هيئة نماذج رياضية تصف النمو الغابي.

### **1.1. البيئة المحيطة بموقع نمو الأشجار:**

يمكن تقسيم البيئة المحيطة بالأشجار إلى قسمين هما المناخ والتربة. يحدد المناخ عن طريق عوامل معقدة هي الإشعاع الضوئي والحرارة وكمية ثاني أكسيد الكربون في الهواء والأمطار. لمعرفة هذه التأثيرات يتحتم وصف عمليات التبادل بين الغلاف الجوي والغلاف المائي في أشكاله المختلفة . غازات، جزيئات ماء، مواد ذاتية وطاقة. هذه العمليات التبادلية تشكل الشروط الأساسية لعملية نمو الأشجار .

#### **1.1.1. الإشعاع الضوئي:**

يفهم من الإشعاع الضوئي ما ذكره فان آمرن وهايكل (1984) بأنه عملية إنتقال طاقة بين جسمين أو سطحين. تعتبر الأشعة الإلكترومagnطيسية الواردة من الشمس ذات موجات قصيرة وتشمل الأشعة البنفسجية والأشعة

المريئة تحت الحرارة، في إطار البحث الخاصة بنمو الغابات هنالك إهتمام بكمية الإشعاع الساقطة على سطح الأرض وعلى النباتات من ناحية، والجزء من الإشعاع الذي يسمى في عملية التمثيل الضوئي وهو الجزء المعروف بالإشعاع النشط في عملية التمثيل الضوئي (Photosynthesis) من ناحية أخرى. ترسل الشمس 42<sup>26</sup> جول في الثانية تصل منها إلى الغلاف الجوي المحيط بالارض حوالي 8,4 جول للستنتر المربع في الدقيقة وتعرف هذه القيمة بالثابت الحراري. الجزء الذي يصل إلى سطح الأرض من هذه الكمية يمثل حوالي 47% ويعرف بالإشعاع الكوني، الذي يتكون من الإشعاع الشمسي والإشعاع القادم من السماء والإشعاع المنعكس من الأرض. يرجع فقد الإشعاع إلى الإمتصاص والإنعكاس والتشتت أثناء عبور الأشعة للغلاف الجوي. فيما يتعلق بنمو الأشجار فالمهم هو الإنتاج المرتبط بالضوء، أي درجة تغير الطاقة الإشعاعية إلى طاقة كيميائية عبر عملية التمثيل الضوئي. معرفة كمية الإشعاع التي يتم إمتصاصها عبر أوراق الأشجار الشرط الأساسي لتحديد كمية الإنتاج المرتبط بالتمثيل الضوئي. لتصميم النموذج الرياضي لنمو المشاجر الغابية يجبأخذ هذه القيمة بكل تغيراتها اليومية والسنوية. هنالك عدد من الطرق التي تستخدم لحساب الإشعاع النشط في عملية التمثيل الضوئي كما توجد معدلات خاصة تصف الإشعاع النشط وإرتقايه بارتفاع الشمس. يتم تحديد ارتفاع الشمس عبر خطوط العرض الجغرافية والوقت من اليوم وميلان الشمس.

يعرف ارتفاع الشمس بزاوية موضع الشمس من الجزء من الأرض الذي تسقط عليه الأشعة: كلما كبرت هذه الزاوية، كلما كان الطريق قصيراً وبالتالي كلما قل الفاقد من الأشعة تكون الشمس في منتصف النهار في أعلى موضع لها، وهذا يعني أن زاويتها على السطح الذي تسقط عليه الأشعة كبيرة وكمية فقد الأشعة التي تصيب في الغلاف الجوي تكون قليلة. كلما قل ارتفاع الشمس، كلما ذاد الفاقد من منأشعتها. يمكن حساب ارتفاع الشمس

حسب المعادلة (1.1) :

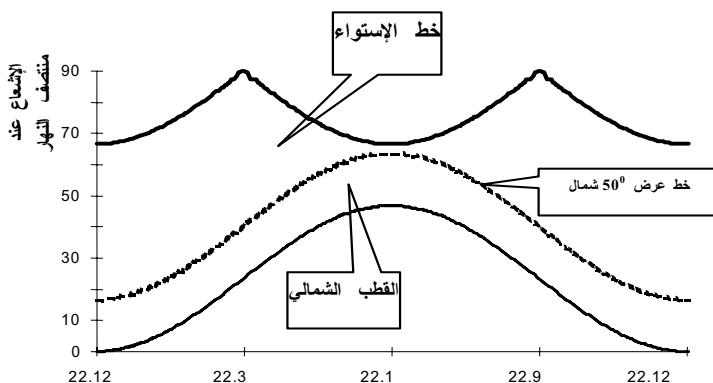
(1.1)

$$\sin(\beta)s = \sin(LAT) \cdot \sin(Dekl) + \cos(LAT) \cdot \cos(Dekl) \cdot \cos(15 \cdot Std - 12))$$

حيث:

$$\begin{aligned} \sin(\beta) &= \text{ارتفاع الشمس، أي زاوية موقع الشمس على المنطقة الساقطة عليها الأشعة} \\ LAT &= \text{خط العرض} \\ Std &= \text{الساعة (من اليوم)} \end{aligned}$$

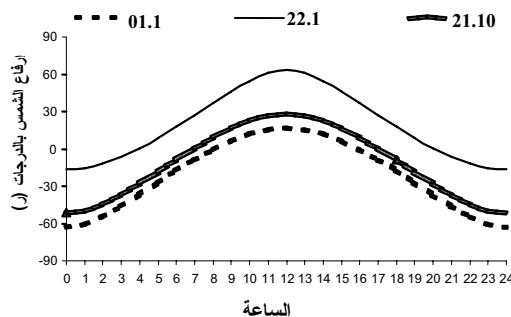
$Dekl =$  ميلان الشمس، أي الزاوية المحصورة بين الشمس ومستوى دوران الأرض.  
باستخدام المعادلة (1.1) يمكن حساب ارتفاع الشمس حسب ساعات اليوم وفصول السنة لمختلف خطوط العرض.  
الشكل (1.2) يوضح على سبيل المثال تغيرات ارتفاع الشمس أثناء السنة لثلاثة خطوط عرض مختلفة.



الشكل (1.2): ارتفاع الشمس أثناء السنة في خط الاستواء وفي خط عرض 50° شمال وعلى القطب الشمالي عند الساعة 12 منتصف النهار (أ= الإشعاع عند منتصف النهار).

يوضح الشكل (1.3) تغير ارتفاع الشمس خلال ساعات اليوم لخط العرض 50 في ثلاثة أيام مختلفة من أيام السنة. ينبع الإشعاع النشط لعملية التمثيل الضوئي من الجزء الفعال من الإشعاع ( حوالي 47%) والذي ينخفض في حالة وجود سحب أو إمتصاص حوي للأشعة (المعادلة 1.2).

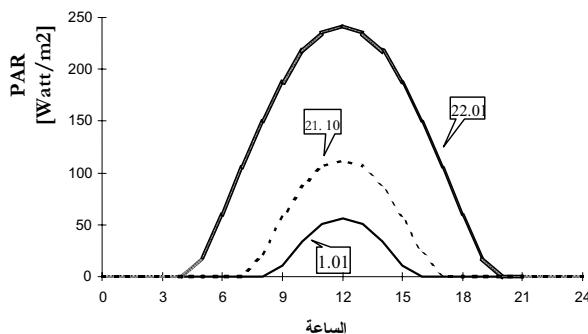
$$\text{PAR} = 2360 \cdot 0.47 \cdot \text{WOLK} \cdot \sin(\beta) \cdot e^{-0.15 / \sin(\beta)} \quad (2.1)$$



الشكل (1.3): تغير ارتفاع الشمس خلال ساعات اليوم لخط عرض 50 في 3 أيام مختلفة من السنة (ر= ارتفاع الشمس بالدرجات).

بناء على ما ورد في الشكلين (1.2) و (1.3) فيما يتعلق بارتفاع الشمس يمكن تحديد الإشعاع لاي يوم ولاي ساعة فيه. الشكل (1.4) يوضح نتيجة حساب ثلاثة أيام مختارة وقد أخذت قيمة ثابتة للغطاء الحسيبي مقدارها

0.5



الشكل (1.4): الإشعاع النشط أثناء اليوم لثلاثة أيام مختلفة من أيام السنة.

باستخدام معادلات هذا النظام يمكن حساب مكونات الإشعاع في إطار تصميم النماذج الرياضية للنمو. يمكن حساب كمية الإشعاع النشط عن طريق تكامل الإشعاع اللحظي لاي يوم أو مكان في النصف الشمالي من الكره الأرضية.

يشكل حساب كمية الإشعاع بديلاً للنماذج الرياضية لحساب النمو في موقع الغابات. تمكّن أليسوف وأخرون (1956) من إنشاء علاقة تربط بين إنحدار الموضع وإتجاه تعرضه لأشعة وذلك وفقاً للمعادلة (1.4).

$$P = \cos(LAT - 20.4) \cdot \cos(\beta) + \sin(LAT - 20.4) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\alpha) - 0.5 \quad (3.1)$$

حيث:

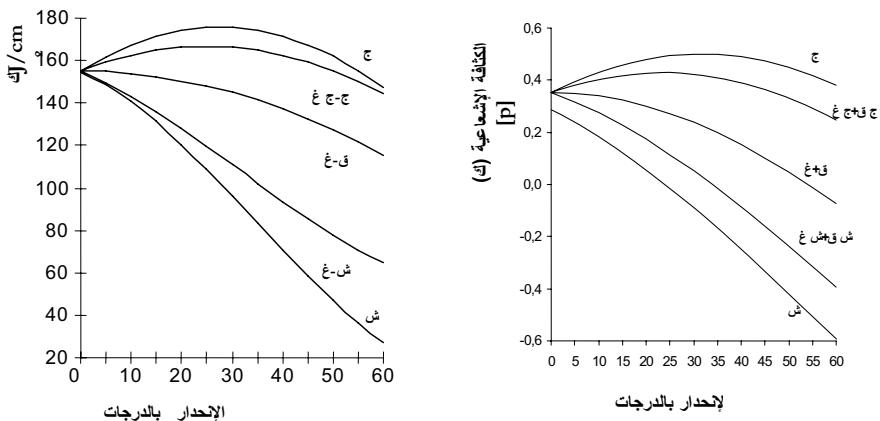
$P$  = تغير الكثافة الإشعاعية

$LAT$  = خط العرض الجغرافي

$\beta$  = إنحدار الموضع

$\alpha$  = تعرض إتجاه الموضع للأشعة الشمسية

الشكل (1.5) يوضح المقارنة بين القياسات التجريبية والحساب النظري لكميات الإشعاع وفقاً للمعادلة أعلاه. المهم في هذا الشكل هو إتجاه مسار المنحنيات ومواضعها وليس المقارنة بين القيم.



الشكل (1.5) الإشعاع الذي تم قياسه عملياً (إلى اليسار) خلال فترة الإنبعاث في منطقة قورتنجن والإشعاع الذي تم حسابه باستخدام النموذج الرياضي محتوي على التعرض للأشعة والإنحدار وكثافة الإشعاع حسب معادلة أليسوف وآخرون(1956) لخط العرض 52 شمال (ك= الكثافة الإشعاعية، ش، ج، ق، غ= الإتجاهات).

تحفظ كثافة الإشعاع الساقطة على الغطاء الناجي للمشجر نتيجة لضياع الضوء في الطبقات الدنيا لتيجان الأشجار. يمكن التعبير عن هذه العملية المعقّدة باستخدام معادلات القوى (الأس) البسيطة وفقاً لما يعرف بقاعدة لامبيرت - بير. يمكن حساب الضوء الضائع باستخدام المعادلة (1.4).

$$I_z = I_{0,z} e^{-k_F z} \quad (4.1)$$

حيث:

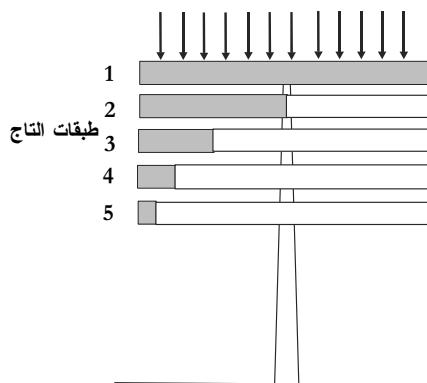
$I_z$  = كثافة الإشعاع في الطبقة الناجية

$I_{0,z}$  = كثافة الإشعاع في منطقة خالية من الأشجار

$K$  = ثابت (يُعبر عن الضوء الضائع نتيجة للتشتت).

$F_z$  = المؤشر التراكمي لأوراق الأشجار في الطبقة التحتية.

قسم بوسل (1992) منطقة الناج إلى خمس طبقات (الشكل 6.1)



الشكل (6.1) الضياع التدريجي للضوء حسب مقترن بولسل (1992).

كمية الإشعاع الضوئي المتاحة في الطبقة التاجية الثالثة مثلاً تساوي 25% من كمية الإشعاع الساقطة على الناج. يعتمد التوزيع الضوئي القادم من أعلى (في المشجر) على حجم الكتلة العليا وعلى مؤشر مساحة أوراق الأشجار. بينما هذا في الجزء الأعلى من تيجان الأشجار ثم يتلاصق تدريجياً نحو الأسفل، لهذا فإن تدرج الضوء ليس خطياً وإنما تنافصياً.

يتأثر توزيع الضوء بتغير فصول السنة، كما يتأثر بالنوع الشجري والمعاملات الفلاحية التي تطبق في المشجر. في فصل الصيف، عندما تكون الأشجار عريضة الأوراق مماثلة بأوراقها تكون الكثافة الإشعاعية بين الجزيئين الأعلى والأسفل من الناج قوية ونقل عند سقوط الأوراق. بالنسبة لنفس النوع الشجري يمكن أن يتأثر تشتت الضوء إلى حد كبير بنوعية القطع (التخفيف) الذي يحدث في الغابة.

تفيد مثل هذه المعلومات في معرفة نمو الشجرة اعتماداً على عملية التمثيل الضوئي. يستخدم سيفانين (1993) المعادلة (5.1) أدناه لحساب زيادة النمو في الشجرة عن طريق التمثيل الضوئي لأشجار الصنوبر (*Picea abies*)

$$P = 0.8 \cdot (0.003 \cdot PAR) \quad (5.1)$$

حيث:

$P$  = الناتج من عملية التمثيل الضوئي لشجرة الصنوبر (من المادة الجافة بالكيلوجرام في السنة)

$PAR$  = كمية الإشعاع النشط الذي تمتلكه شجرة الصنوبر (م جول في السنة)

من هنا يتضح أنه يمكن حساب النمو وعن طريق التمثيل الضوئي الأقصى والذي يساوى 0.003 كيلو جرام من المادة الجافة في المليجول طاقة إشعاعية مع الأخذ في الاعتبار أن الفاقد من الكتلة الحية نتيجة لعملية التنفس يقدر بحوالي 20%.

الشكل (7.1) يوضح العلاقة بين الإنتاج المرتبط بالضوء والإشعاع النشط في عملية التمثيل الضوئي. عندما يبلغ التمثيل الضوئي أعلى مدى له يحدث ما يعرف بالتشبع الضوئي ويكون هذا في الأوراق المعرضة للضوء أعلى منه في نهايةها.

تعرف نقطة تقاطع المنحنى الضوئي مع المحور السيني (الشكل 7.1) بنقطة التعويض الضوئي ويمكن تعريفها على أنها كمية الإشعاع التي يكون فيها سحب ثاني أكسيد الكربون مساوياً في كميته لكمية ثاني أكسيد الكربون الناجم. يحدث هذا على سبيل المثال في الصباح الباكر وفي المساء عندما تكون الكثافة الضوئية ضئيلة كما في الجزء الأسفل من الناجم. تقع نقطة التعويض الضوئي في الأشجار المحبة للضوء (Light demanders) أعلى منها في الأشجار المتحملة للظل (Shade bearers) وفي الأشجار الصغيرة أقل منها في الأشجار الكبيرة (من نفس النوع الشجري). يفسر هذا قدرة الأشجار الصغيرة على النمو تحت غطاء الأشجار الأكبر. كذلك نجد أن نقطة التعويض الضوئي في الأوراق المعرضة للضوء أعلى منها في الأوراق الموجودة في الظل (كراemer، 1988).

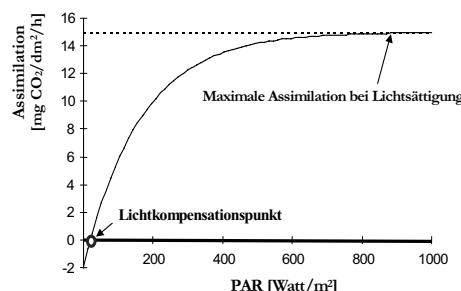
يمكن وضع العلاقة العامة بين الاستفادة التحويلية والإشعاع النشط في شكل معادلة كالتالي:

$$\text{ASSI} = \max \text{ASSI} [1 - e^{-k(\text{PAR} - \text{PAR}_0)}] \quad (6.1)$$

حيث:

$$\begin{aligned} &= \text{الاستفادة التحويلية (ملغرام من ثاني أكسيد الكربون في واحد ديسيمتر مربع في الساعة)} && \text{ASSI} \\ &= \text{الإستفادة التحويلية} && = \max \text{ASSI} \end{aligned}$$

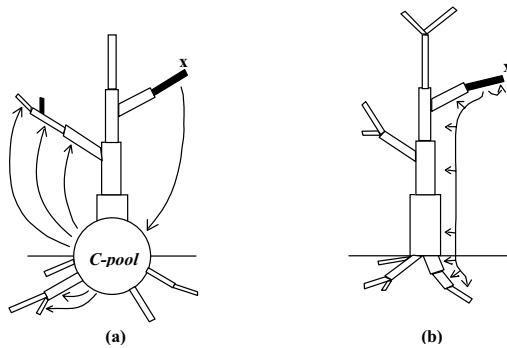
يوضح الشكل (7.1) مثلاً لمنحنى تفاعل ضوئي. تبلغ قيمة ( $K$ ) في المثال 0.0061 وتبعد قيمة ( $\text{PAR}_0$ ) 20 واط في المتر المربع والقيمة القصوى للتمثيل تبلغ 15 مليجرام من ثاني أكسيد الكربون في الديسيمتر المربع في الساعة.



الشكل (7.1): مثال لمنحنى تفاعل ضوئي مع نقطة التعويض الضوئي.

ابتكر فانغ وجارفس (1995) طريقة لحساب التفاعل الضوئي مع نقطة التعويض الضوئي، إلا ان طريقتهما تعتبر مكافة جدًا، إذ اعتمدا فيها على 52 شجرة في مشجر وقد استخدما أولاً نموذج رياضي للثاج لحساب سطح الأوراق ثم عملاً على قياس الإشعاع الضوئي النشط في كل ساعة وفي النهاية قاماً بحساب معدلات النتح والتمثيل الضوئي كلاً على حدة لكل من الأوراق الموجهة للضوء وتلك التي في الظل.

عند تصميم النماذج الرياضية لناتج التمثيل الضوئي تبرز المسألة المركزية المتعلقة بميكانيكية التوزيع، أي توزيع المنتج (الغذائي) على أجزاء النبات المختلفة. يرى كورت (1998) تصورين للتوزيع، إحداهما يتم مركزياً والأخر يعطي الفروع استقلاليتها في التوزيع. الشكل (8.1) يوضح التصورين.



الشكل (8.1): توزيع مادة الكربون في الشجرة التوزيع المركزي (أ) و استقلالية الفروع (ب).

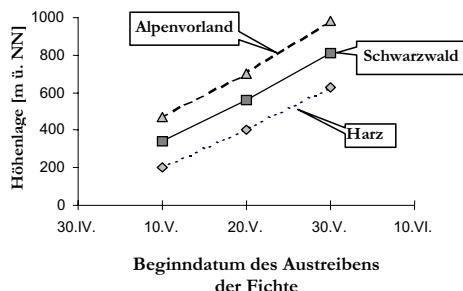
في التصور المركزي للتوزيع توزع المنتجات التي قام بمنتجها الفرع (س) بعد تحويلها للمجمع المركزي (المستودع) لكل أجزاء الشجرة. أما في التصور الثاني فإن الإنتاج الذي يصنعه الفرع (س) يستغل هو والأجزاء المرتبطة معه (بالتحديد تلك التي إلى أسفل منه).

عند تقويم النماذج الرياضية للعمليات الحيوية يجب مراعاة أن نمو الشجرة يعني أكثر بكثير من مجرد الزيادة في الكثافة الحية. تملك الأشجار القدرة على التفاعل مع الظروف البيئية المحيطة بها. تتعكس هذه القدرة في عدة أشكال كالتغير في الخلايا والتركيبيات النسيجية والتغيرات في مختلف الأعضاء والتي تظهر أثناء حياة الشجرة وهي تنمو. مازال هنالك الكثير من المؤشرات، والتي لم تعرف بعد، تؤثر كثيراً على النمو للدرجة التي تجعل من النماذج الرياضية المستخدمة حالياً مجرد تقديرات تقريرية (على الأقل حتى الآن).

### 2.1.1. الحرارة

يتحول الجزء الأكبر من الإشعاع الذي يتم إمتصاصه إلى حرارة. الأهم من الناحية الإيكولوجية ليس فقط كمية الحرارة الساقطة على الأرض أو الجسم، وإنما الحالة الحرارية للجسم المسلط عليه الإشعاع، بمعنى آخر درجة حرارته. تتغير درجة حرارة الجسم اعتماداً على الطاقة الحرارية التي يتلقاها. الذي يهمنا بشكل خاص في

البحوث المتعلقة بعلم نمو الغابات، هو مسار العام فيما يتعلق بدرجات الحرارة وتأثيرها على المنتج الضوئي (الناتج من التمثيل الضوئي). تؤثر الحرارة خلال العام على بداية النمو الخضري للأشجار ومدة إستمراره. الشكل (9.1) يوضح هذه العلاقات في مناطق الهرز وفي الغابة السوداء وفي منطقة الألب بألمانيا. يزيد تاريخ استئناف النمو بمعدل 3.8 يومياً عند كل زيادة في الإرتفاع من سطح الأرض مقدارها 100 متر .



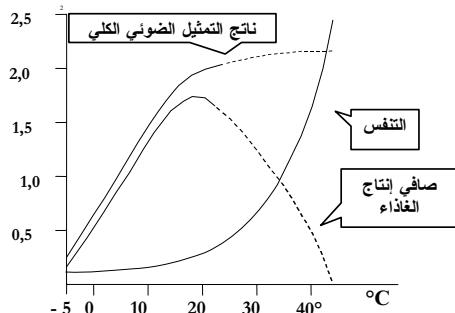
الشكل (9.1): تاريخ بداية استئناف النمو للنوع (*Picea abies*). في ارتفاعات مختلفة (الهارز والغابة السوداء ومنطقة الألب ) بألمانيا (ر=ارتفاع من الأرض، ل=منطقة الألب ، خ= الغابة السوداء، ه=منطقة الهارز).

لقد ثبت من خلال عدد من التجارب أن بداية استئناف نمو الأشجار (في المناطق الباردة) لا يعتمد على كمية الضوء المتاحة، وإنما يعتمد على درجة الحرارة بشكل كامل . يبدأ ظهور الأوراق الجديدة في اليوم الجديد من اليوم الذي تتجاوز فيه درجة الحرارة القيمة الحرجة، وهذه القيمة غير ثابتة، ولكنها لحظة تحدث في وقت ما. توضح البحوث التي أجريت في هذا المجال خصائص محددة للمستويات الحرارية في المشاجر الغابية. يعتمد توزيع درجة حرارة الهواء (إلى حد كبير) على نوع عملية التخفيف (في السودان بعملية الشلغ). في غابات الصنوبر التي لم يتم تخفيفها تكون درجة الحرارة أثناء اليوم في حدتها الأعلى، وحالة التخفيف المكثف تكون متوسطة إلى منخفضة مع تأثير مماثل على التربة (تسخين التربة). في الغابات ذات الأشجار عريضة الأوراق تكون درجة الحرارة على سطح التربة أعلى منها في منطقة تيجان الأشجار وينعكس هذا الوضع عقب ظهور الأوراق.

يتوافق ارتفاع درجة الحرارة في العادة مع زيادة نشاط الإنزيمات والتي تؤثر مباشرة في عملية التمثيل الضوئي. فيما يتعلق بعمليتي التصنيع والإستهلاك الغذائي فإن المدى المناسب للحرارة بالنسبة للنباتات العليا يقع بين 25 و 30 درجة مئوية ويقع الحد الأدنى بين صفر و 5 درجات والأعلى بين 40 و 50 درجة مئوية. تتفاوت ردود فعل النباتات حسب المناطق المناخية ، فنجد أن النباتات في المناطق الصحراوية تحتمل درجات حرارة تتجاوز 40 درجة مئوية لعدة سنوات وفي الجانب الآخر نجد نباتات تستطيع أن تنمو في درجة حرارة صفر مئوية لعدة سنوات.

في المناطق المناخية نفسها يمكن برهات تأثير درجة الحرارة على معدل التمثيل الضوئي، بمعنى أنه بارتفاع درجة الحرارة تزيد حصيلة التمثيل الضوئي. في نفس الوقت يزيد معدل التنفس مع ارتفاع درجة الحرارة، والتي تعمل بدورها على زيادة استهلاك الغذاء. الشكل (10.1) يوضح هذه العلاقة مستشهدًا بمثال.

الإنتاج الكلي (جم/ الساعة)



الشكل (10.1): تأثير الحرارة على الإنتاج الكلي للغذاء والتنفس وصافي إنتاج الغذاء.

هناك علاقة معقدة بين مختلف العناصر التي تؤثر في التمثيل الضوئي. لقد ثبت من خلال العديد من التجارب أنه من غير الممكن التحدث عن التأثير الإيجابي لارتفاع درجة الحرارة لوحدها عندما تكون قوة الإضاءة والرطوبة النسبية في حددهما الأدنى. فقد ثبت أنه في مدى درجة الحرارة بين 8 و 24 مئوية وقوة إضاءة ضعيفة ورطوبة نسبية منخفضة للهواء (30%) أن إنتاج الغذاء كان ضعيفاً مع أن درجة الحرارة كانت جيدة. عندما ثبتت درجة الحرارة وإرتفعت الرطوبة النسبية وشدة الإضاءة زاد إنتاج الغذاء بشكل ملحوظ. ذكر كرامر (1988) أن إجمالي الإنتاج والإستهلاك الغذائي يرتبطان بدرجة الحرارة بشكل يختلف عن ارتباطهما بالعناصر المناخية الأخرى التي ورد ذكرها. تجدر الإشارة إلى أن عناصر المناخ تحتوي أيضاً على الماء والمواد الغذائية والتي تعتمد هي الأخرى على معدل النتح وحركة الماء داخل الشجرة والجزء المتاح من الماء للشجرة داخل الأرض. يضاف إلى ذلك الاختلافات النوعية الواضحة فيما يتعلق بتأثيرات الحرارة على إستهلاك الغذاء أثناء ساعات اليوم و خلال العام. لقد روعى عنصر الحرارة وتغيره في المدى القصير والطويل في البحوث المتعلقة بتصميم النماذج الرياضية التي تصف نمو الغابات. من الممكن هنا ذكر مثال وهو النموذج الرياضي الذي قام بتصميمه بوسل (1994) ويعرف بالنموذج 3 . TREEDYN 3

إهتم هذا النموذج باهم العناصر التي تؤثر في التطور الديناميكي للشجرة (نظام)، وقد بني على ان العمليات الإيكوفسيولوجية الأساسية لكل الأنواع الشجرية في مختلف مواقع مشابهة (بشكل عام). لهذا السبب فإن النموذج قد بني على قاعدة تجعل منه نموذجاً عاماً . بتحديد فهم ثوابت النموذج الرياضي لكل حالة يمكن

جعله نموذجاً خاصاً لتلك الحالة. طور بوسل (1994) المعادلة الآتية لحساب متوسط درجة حرارة الهواء ( $T$ ) لاي يوم من أيام السنة.

$$T = T_{avg} + \frac{T_{amp}}{2} \cdot \sin \left[ 2\pi \left( t_s - \frac{l}{12} \right) - \frac{\pi}{2} \right] \quad (7.1)$$

حيث:

$$T = \text{متوسط درجة الحرارة اليومي}$$

$$T_{avg} = \text{متوسط درجة الحرارة السنوية}$$

$$T_{amp} = \text{إنحراف متوسط درجة الحرارة من الفرق بين أبرد وآخر شهرين في السنة}$$

$$t_s = \text{التوقف الموسمي}$$

كما ذكر آنفاً فإن معدل التنفس يتاسب طردياً مع درجة الحرارة. بالرجوع إلى بوسا (1994) يمكن التعبير عن تأثير درجة الحرارة على التنفس (بالتقريب) بإستعمال المعادلة الآتية:

$$k_{Tr} = \begin{cases} \left( \frac{T - T_0}{T_n - T_0} \right)^2, & \text{if } T_0 \leq T \leq 40^\circ C \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (8.1)$$

حيث:

$$K_{tr} = \text{تأثير درجة الحرارة على التنفس}$$

$$T = \text{درجة الحرارة الحقيقة}$$

$$T_0 = \text{ادنى درجة حرارة للتنفس}$$

$$T_n = \text{درجة الحرارة التي عند حدوثها تكون قيمة } K_{tr} = \text{واحد (درجة النشاط الطبيعي)}$$

على هذا النسق من الممكن الآن حساب تأثير درجة الحرارة على الأنتاج الغذائي. يبلغ معدل التمثيل الضوئي عند درجة الحرارة المثلث ( $T_{opt}$ ) قيمته القصوى، وعندما تتجاوز درجة الحرارة لهذا الحد يتوجه معدل التمثيل الضوئي للصفر. من هنا يمكن التعبير عن العلاقة بين معدل التمثيل الضوئي ودرجة الحرارة وفقاً للمعادلة الآتية.

(9.1)

$$k_{Tp} = \begin{cases} 2\left(\frac{T - T_{p0}}{T_{opt} - T_{p0}}\right)^2, & \text{if } T_{p0} \leq T \leq \frac{T_{opt} + T_{p0}}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{T - T_{p0}}{T_{opt} - T_{p0}}\right)^2, & \text{if } \frac{T_{opt} + T_{p0}}{2} < T \text{ and } T_p \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

حيث:

$$K_{Tp} = \text{تأثير درجة الحرارة على التمثيل الضوئي}$$

$$T = \text{درجة الحرارة الحقيقة}$$

$$T_{p0} = \text{درجة الحرارة الأدنى للتمثيل الضوئي}$$

$$T_{opt} = \text{درجة الحرارة المثلث للتمثيل الضوئي}$$

بأخذ هذين العنصرين في الحسبان يمكن حساب صافي الإنتاج الغذائي

يمكن أيضاً أخذ درجة الحرارة في الحسبان بالرجوع إلى النموذج الرياضي (FINNFOR) الذي قام بتصميمه الفنلندي كيلوماكى وأخرون (1993) وذلك عند بحوثهم المتعلقة بتأثير التغيرات المناخية على تركيبة النظم البيئية الغابية وعمليات النمو. لقد تم اعتبار تغيرات درجة الحرارة على أساس قياسات كانت تتم كل ساعة وكل يوم وكل شهر وكل سنة. إنتم حساب متوسط الحرارة اليومي ( $T_d$ ) على المعدلة الآتية.

$$dT(d) = \mu_{mT} + \rho_{mT} \cdot (dT(d-1) - \mu_{mT}) + \sigma_{mT} \cdot n_i \cdot (1 - \rho_{mT}^2)^{1/2} \quad (10.1)$$

حيث:

$$T(d) = \text{متوسط درجة الحرارة لليوم}$$

$$\mu_{mT} = \text{متوسط درجة الحرارة للشهر}$$

$$\sigma_{mT} = \text{الانحراف المعياري لمتوسط درجة الحرارة في الشهر}$$

$$\rho_{mT} = \text{معامل الارتباط لمتوسط درجة الحرارة في شهر}$$

$$n_i = \text{رقم يعبر عن التوزيع الطبيعي للإحتمالات}$$

يمكن حساب درجة الحرارة لساعة معينة ويوم معين باستخدام النموذج الرياضي (FINNFOR) وذلك بالإستفادة من معادلة جيب الزاوية:

$$T(h) = T(d) + \left( \frac{\sigma_{dT}}{2} \right) \cdot \sin((h-6) \cdot 15) \quad (11.1)$$

$T(h)$  = متوسط درجة الحرارة لساعة معينة ويوم معين

$\sigma_{dT}$  = الإنحراف المعياري لدرجة حرارة اليوم داخل الشهر

ينقى النموذجان الرياضيان المذكوران في إستبطاط درجة الحرارة يتخذ من متوسطات درجات الحرارة المعروفة وإنحرافاتها أساساً للحساب. تجدر الإشارة الى أن تأثير درجة الحرارة (على أساس صافي الإنتاج الغذائي) في النموذج الرياضي TREEDYN3 يعتمد على المعرفة المسبقة باتجاه تأثيرات الحرارة، ولكن يجب في النهاية اتخاذ قيم محددة للمعاملات التي تصلح لكل حالة على حدة.

### 3.1.1 الماء

يعتبر الماء من العناصر البيئية المهمة جداً لكل الكائنات وذلك لأن الأنشطة الحيوية مرتبطة بالماء سواء بشكل مباشر أو غير مباشر. يمثل الماء جزءاً من عمليات تبادل المواد ويعمل كأصل وأيضاً مكذب، ويمثل وسيط نقل في عمليات تبادل المواد ويخفظ مادة البلازم في شكلها السائل. يؤثر وجود الماء في عملية التمثيل الضوئي بشكل غير مباشر عن طريق التأثير على فتحات الغور (Stomata) وبشكل مباشر عبر تأثيره على العمليات الكيميائية والحيوية عند قيام النبات بعملية التمثيل الضوئي. أورد كرامر (1988) أن الماء كأحد عناصر النمو، يوجد في ثلاثة أشكال رطوبة الهواء والتساقط ورطوبة التربة. لهذا فإن العلاقات المائية في أي موقع لا تنحصر فقط في رطوبة الهواء والتساقط، وإنما تشمل أيضاً التربة وتضاريس الموقع. هذه العناصر الثلاثة يمكن أن تحل أماكن بعضها البعض جزئياً وليس كلها وفي بعض الأحيان لا يمكن الإخلال إطلاقاً. يمكن للرطوبة العالية في الهواء أن تعوض جزءاً يسيراً فقط من جفاف التربة.

أثبتت البحوث التي أجريت في هذا المجال وجود علاقة قوية بين الارتفاع الأقصى الذي تصله الأشجار وكمية الماء المتاحة لها. يمكن استخدام المعادلة (12.1) للتعبير عن هذه العلاقة (الشكل 11.1).

$$p(H \max) = b_1 \cdot [WZ - a]^{b_2} \cdot [b - WZ]^{b_3} \quad (12.1)$$

حيث:

= أعلى ارتفاع يمكن للشجرة أن تصله في وجود كمية معينة من الماء A

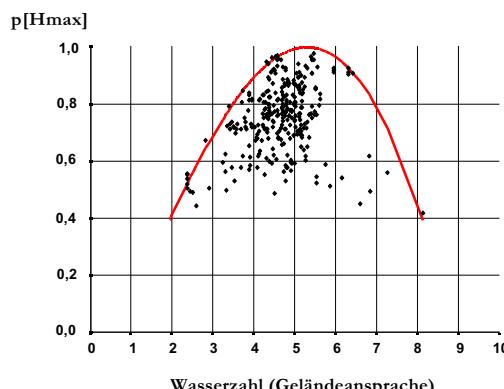
= 0.4 (القيمة الدنيا) P(Hmax)

= 8.90 (القيمة العليا) B

= 0.03178 =  $b_1$

$$\begin{aligned} 1.363 &= b_2 \\ 1.0 &= b_3 \end{aligned}$$

بلغ أعلى وصلت إليه شجرة صنوبر (*cea abiesP*). في التجارب المذكورة أعلاه في موقع بلغت فيه كمية الماء (المؤشر المائي) 5.6 (تعتبر درجة وسط للرطوبة). عند المؤشر المائي 2.0 (موقع شبه جاف) والمؤشر المائي 8.0 (شبه مستنقع مائي) أمكن الحصول على ما يعادل حوالي 40% فقط من هذا الإرتفاع.

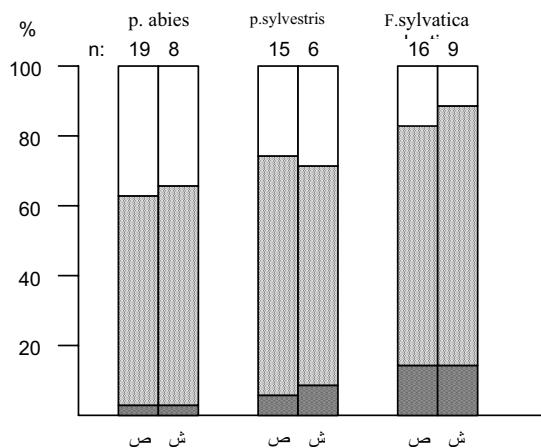


الشكل (11.1) متوسطات الإرتفاع في مساحة (*Picea abies*) تجريبية لعدد من المؤشرات المائية مأخوذة على أساس قيم نسبية من أعلى إرتفاع.

هناك علاقة قوية تربط بين التمثيل الضوئي والتنفس. تسمح فتحات الثغور بأخذ ثاني أوكسيد الكربون و في نفس الوقت ينكشف الماء في الجو المحيط.

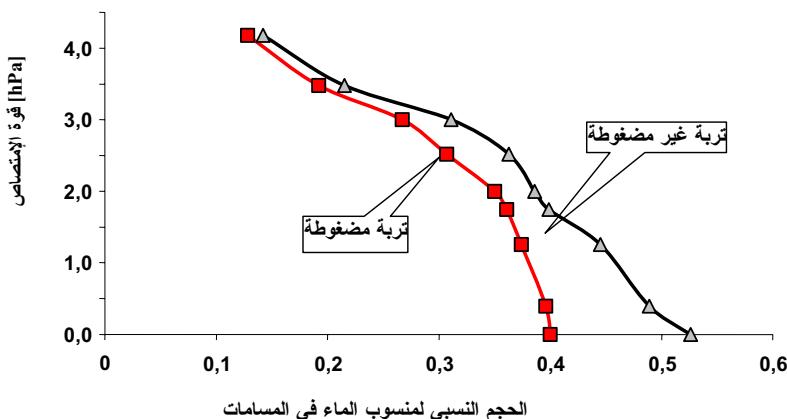
يحدث التمثيل الضوئي الأمثال في وجود تشبع مائي في الأوراق. عند نقصان الماء تضيق فتحات الثغور وهذا يؤدي بدوره إلى تناقص عمليتي النتح والإنتاج الغذائي. تمكن الكثير من تفسير ما يعرف بإستراحة الظهيرة على المنحى اليومي للتصنيع الغذائي مع الإنغلاق الجزئي لفتحات الثغور بسبب ضيق الإمداد المائي. على ضوء إستراحة الظهيرة يمكن الإشارة مرة أخرى إلى قوّة العلاقة بين مختلف عناصر النمو.

تتصدر إقتصادية الأشجار في استخدام الماء من خلال إرتفاع الفاقد المائي لكل نوع شجري (الشكل 12.1).



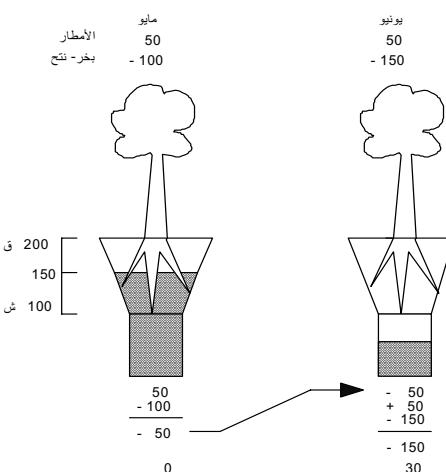
الشكل (12.1): \_\_\_\_\_ فقد التساقط، \_\_\_\_\_ المروء من خلال تيجان الأشجار، \_\_\_\_\_ الجريان على طول الساقان لثلاثة أنواع شجرية (ص = صيفاً، ش = شتاءً)

يعتبر المنسوب المائي الأرضي عنصراً مهماً لنمو الأشجار. باستثناء المياه الجوفية فإن المصدر الرئيسي للمياه الجوفية هو الأمطار. يمكن التحدث عن التسبّب المائي في الحقل عندما تبقى المياه في طبقة أرضية محددة لمدة ثلاثة أيام بعد غمرة تماماً بالماء. كلما تسبّبت الأرض بالماء، قلت قوة الإمتصاص الموجودة في التربة. مع التقدم في استخدام الماء عبر الجذور، تزيد قوة الإمتصاص إنتماداً على توزيع وحجم المسامات وبالتالي يسوء استخدام الجذور للمخزون المائي في التربة. عندما يكون الماء مرتبطة بالترابة للحد الذي لا يسمح بالجذور باستخدامه فأنت تتحدث عن نقطة الذبول ويرمز لها بـ (pF 4,2). تعتبر قوة الإمتصاص المسيطرة داخل النظام المائي للتربة قوة مقاومة فيزيائية، وهي قوة ذات تأثير قوي على نمو الجذور. بازدياد قوة الإمتصاص بعد نقطة الذبول يظهر انكماش شديد في النمو وعند تجاوز هذه النقطة يصل مستوى الماء المتأهّب لنمو الجذور إلى الحرج. أوضح تيب وأخرون (2000) نقصان الحجم الكلي للمسامات وتغيير منحنيات قوة الإمتصاص وذلك بعد تمرير آلية ثقيلة على تربة غابية رملية الشكل (13.1).



الشكل (13.1): منحنيات قوة الامتصاص في تربة طينية بعمق صفر إلى 5 سم قبل وبعد ضغطها بالآلة ثقلية.

يلاحظ من الشكل (13.1) اختلاف مسار المنحنى في الجزء الأسفل. من الممكن تفسير ذلك بأن ضغط الآلة قد أدى إلى تضييق المسافات بين المسامات في التربة مما أدى إلى سوء تهوية التربة. عمل شوقارب على دراسة التغيرات الشهرية في مناسبات المياه داخل الأرض من الفرق بين كمية الأمطار والبخار\_نتح (Evapo-transpiration)، الشكل (14.1) يوضح ذلك.



الشكل (14.1): التغير الشهري في مناسبات المياه الأرضية نتيجة للاضافة في شكل أمطار والسحب عبر البخار\_نتح ( $\text{ح ق ت} = \text{الحملة القصوى للتربة}$ ) ( $\text{ح ق} = \text{الحملة القصوى للتربة}$ ،  $\text{ش} = \text{نقطة التشبع}$ ).

يمكن حساب البخار\_نتح بعد معرفة البخار الممکن بالملمترات في شهر قياسي. النموذج الرياضي التالي يوضح كيفية الحساب

$$E_{0j} = 16 \cdot (10 \cdot T_j/I)^a \quad (13.1)$$

حيث:

$E_{0j}$  = البخر\_نتح الممکن في شهر محدد بالملمتر

$J$  = شهر قیاسي (30 يوماً)، عدد ساعات كل يوم 12 ساعة

$T_j$  = متوسط درجة الحرارة الشهرية

$$I = \sum_{j=1}^{12} \left( \frac{T_j}{5} \right)^{1.514} \quad I = \text{مؤشر الحرارة، حيث}$$

$$(0.675 I^3 - 77.1 I^2 + 17.920 I + 492.390) \cdot 10^{-6} = a$$

يمكن حساب البخر\_نتح الحقيقي عن طريق البخر\_نتح الممکن ومن ثم تحديد كمية الماء المتاحة. بعد تجاوز الحمولة الكلية للتربة من الماء، يتتطابق البخر\_نتح الحقيقي مع البخر\_نتح الممکن وفي حالة عدم بلوغ الحمولة الكلية للتربة يعتمد معدل التبخر على القيمة الحقيقية لرطوبة التربة.

$$E = \begin{cases} E_0, & w \geq w_k \\ E_0 \cdot \left( \frac{w}{w_k} \right), & \text{sonst} \end{cases} \quad (14.1)$$

مثال عددي:

$E_0$  = ملم في اليوم،  $w_k = 180$  ملم في اليوم في عمق متراً واحداً داخل التربة، مادامت  $w$  أكبر من  $w_k$  فإن البخر ونتح الحقيقي  $E$  يساوي البخرونتح الممکن  $E_0$ ، أي أنه يساوي 6 ملم في اليوم. إذا إنخفضت رطوبة التربة  $w$  إلى حد يقل عن  $w_k$  (صارت 120 ملم مثلاً)، فإن قيمة  $E$  ستتساوي 4 ملم في اليوم.

#### 4.1.1 الهواء

يكون الهواء من حوالي 78% نيتروجين و 21% أوكسجين و 1% غاز الأرجون وغازات ارضية أخرى، كما يحتوي أيضاً على 0.03% ثاني أكسيد الكربون الذي يلعب دوراً أساسياً في عملية التمثيل الضوئي، التي بدورها تمثل نقطة أساسية في تصميم النماذج الرياضية للجذور المتعلقة بالنمو. تؤدي زيادة ثاني أكسيد الكربون على النسبة المذكورة أعلاه إلى زيادة كبيرة في عملية التمثيل الضوئي. أثبتت البحوث أن أدنى ارتفاع في كمية ثاني أكسيد الكربون وحده تؤدي إلى زيادة في معدل نمو النباتات بنسبة تتراوح بين 10% و 15%.

هناك اعتقاد بأن محتوى الغلاف الجوي من ثاني أكسيد الكربون كان أعلى مما هو عليه الآن. حالياً يتغير الوضع إذ يمكن إثبات أن المحروقات التي تستخدم لمختلف الأغراض تؤدي من جديد إلى زيادة محتوى الهواء من غاز ثاني أكسيد الكربون. من الممکن أيضاً إثبات التغيرات الزمنية والمكانية لمحتوى الهواء من ثاني أكسيد الكربون

وذلك أثناء ساعات اليوم أو خلال أيام العام داخل أي شجر غابي، نتيجة لتنفس الكائنات الحية توجد أعلى درجة ثاني أكسيد الكربون بالقرب من سطح الأرض أثناء ساعات الليل في حين تكون في حدها الأدنى أثناء ساعات النهار. يكون الفرق بين تركيز ثاني أكسيد الكربون ليلاً ونهاراً في حدود العلية أثناء الفترة الرئيسية لنمو الأشجار (في المناطق الرطبة) وذلك خلال الفترة من شهر مايو حتى سبتمبر.

تأخذ النباتات ثاني أكسيد الكربون لعملية التمثيل الضوئي أثناء ساعات النهار، وهذا يؤدي إلى تقليل كميته في الجو المحيط بالنبات. عند حلول الليل وفي غياب عملية التمثيل الضوئي تزيد كمية ثاني أكسيد الكربون في طبقات الهواء القريبة من الأرض ومن ناحية أخرى نجد أن تركيز ثاني أكسيد الكربون يكون في قمته قبل بداية الإخضار وفي حده الأدنى قبل حلول الشتاء. على مستوى المшجر: نجد تركيزاً عالياً لثاني أكسيد الكربون في منطقة تيجان الأشجار التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي.

قام كيلوماكى بتصميم نموذج رياضي يوضح فيه طريقة لحساب ثاني أكسيد الكربون وقد تم إدراج هذا النموذج داخل نموذج النمو (FINNFOR) ويعطي قيماً للمتوسط السنوي واليومي لثاني أكسيد الكربون يتم حساب المتوسط السنوي لثاني أكسيد الكربون (a)  $\text{CO}_2$  في الهواء بالجزء من المليون (المعادلة 15.1)

$$a\text{CO}_2(a) = ini\text{CO}_2(a) + \frac{C}{1 + e^{-steep \cdot nyear}} \quad (15.1)$$

حيث:

= المتوسط السنوي لتركيز ثاني أكسيد الكربون (أجزاء من المليون) لتلك السنة  $\text{CO}_2(a)$

= تركيز ثاني أكسيد الكربون عند بداية التصنيع الغذائي  $ini\text{CO}_2(a)$

= المعدل الذي يحدد درجة ميلان المنحنى  $Steep$

= عدد السنوات عند بداية عملية التصنيع الغذائي  $Nyear$

= القيمة المطلوبة (المستهدفة) لتركيز ثاني أكسيد الكربون في نهاية فترة التصنيع الغذائي  $C$

يمكن حساب المسار السنوي بتركيز ثاني أكسيد الكربون عن طريق معادلة جيب التمام. يمكن الحصول على قيمة ثاني أكسيد الكربون اليومية في الهواء (d)  $\text{CO}_2$  عن طريق المعادلة:

$$d\text{CO}_2(d) = a\text{CO}_2(a) + \left( \frac{\sigma_{a\text{CO}_2}}{2} \right) \cdot \cos \left( 0,986 \cdot jday \cdot \frac{2\pi}{360} \right) \quad (16.1)$$

حيث:

= المتوسط اليومي لتركيز ثاني أكسيد الكربون (أجزاء من المليون لل يوم المعين)  $\text{CO}_2(d)$

= المتوسط السنوي لتركيز ثاني أكسيد الكربون (أجزاء من المليون للسنة المعينة)  $\text{CO}_2(a)$

= الح الأدنى لتركيز ثاني أكسيد الكربون في فصل الصيف  $S_{\text{CO}_2}$

= يوم جوليا (أطول نهار في السنة)  $jday$

مثال عددي:

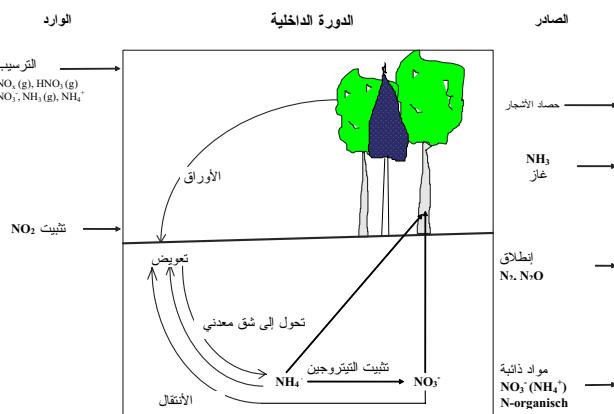
يبلغ تركيز ثاني أكسيد الكربون السنوي 330 جزءاً من المليون والفرق بين أعلى تركيز في الشتاء وأدنى تركيز في الصيف يساوى 70 جزءاً من المليون. يمكن حساب تركيز ثاني أكسيد الربون في اليوم رقم 150 منذ بداية السنة كالتالي:

$$\text{CO}_2(\text{d}) = 330 + \frac{70}{2} \cdot \cos\left(0.986 \cdot 150 \cdot \frac{2\pi}{360}\right) = 300 \text{ ppm.}$$

### 5.1.1 المحتوى الغذائي

أورد فيدلر وأخرون أن 16 عنصراً من العناصر الكيميائية تؤثر بقوة على النباتات الراقية (Higher plants). يمكن تقسيم هذه العناصر إلى عناصر غير معدنية كالكربون والأيدروجين والأوكسجين وعناصر غذائية معدنية. يمكن تقسيم العناصر المعدنية إلى عناصر رئيسية (النيتروجين والفسفور والكبريت والبوتاسيوم والكلاسيوم والماغنسيوم) وعناصر مساعدة (الحديد والمانجنيز والزنك والنحاس والكلور والبروم)، وتؤثر كل من هذه العناصر على نمو النباتات بطريقة معينة. الشيء الأهم بالنسبة لنمو الشجرة هو وجود النيتروجين بشكل متاح للنبات. يحصل النبات على النيتروجين إما عن طريق إضافة أسمدة أو عن طريق التثبيت البيولوجي الموجود في الهواء أو عن طريق الإستفادة من نيتروجين الغلاف الجوي (الشكل 15.1). تعمل الأحياء الدقيقة داخل التربة التي تقوم بتثبيت النيتروجين على تحويل النيتروجين الحر الموجود في الجو إلى أمونيا ( $\text{NH}_4^+$ ) التي تدخل الهواء أو عن طريق التثبيت (النحو 95%) على تحويل النيتروجين الحر الموجود في الجو إلى أمونيا ( $\text{NH}_4^+$ ) التي تدخل

في الدورة الغذائية للنباتات.



الشكل (15.1): نموذج فندرسون (1995) لدورة النيتروجين.

إن عنصر النيتروجين موجود في أي منطقة غابات بكميات وفيرة، ولكن الجزء الأكبر منه مرتبط عضوياً، وبالتالي فإنه لا يكون متاحاً للنباتات. عند تحلل الكائنات التي تموت ينطلق النيتروجين، ويعتبر هذا مصدراً مهماً. عند بداية التحلل تتحرر أولاً أيونات الأمونيوم ( $\text{NH}_4^+$ ) والتي تحولها البكتيريا أو الفطريات المثبتة للنيتروجين إلى نترات يمكن للنباتات أخذ النيتروجين في شكل أمونيا أو في شكل نترات.

من خلال هذا النظام ينطلق النيتروجين إلى الخارج عبر قطع أو استغلال الأشجار أو في شكل غازات أو عبر التفكك (عكس التثبيت) أو عبر إذابته في شكل نترات داخل المياه الأرضية.

تعتمد سرعة دورة التحلل الطبيعي على حالة الكيموحبوبة للتربيه. فهناك تأثير لنوع التربة وتركيبتها وتتأثر ذلك على شلل وسرعة التحلل والمحتوى النيتروجيني. يتم تحديد أو تعريف مختلف أنواع المواد المتحلة عبر درجة تحللها ومحتوها النيتروجيني وتحسب عن طريق النسبة بين الكربون والنيتروجين التي تعرف بـ (C/N Ratio) في إطار تصميم نموذج رياضي للعامل المعدقة لعناصر المواد الغذائية داخل النموذج الرياضي للنمو فإنه يجب، ليس فقط معرفة كمية المواد الغذائية المتاحة، بل أيضاً مدى الحاجة لها وإمكانية الإمداد بماء جديده.

هناك محاولات للبحث عن العلاقة بين النماذج الرياضية لدورتي الكربون والنيتروجين. في النموذج الرياضي Treedyn (الذي ورد ذكره آفافا) وضع سونتاج (1998) ويانتسين ومارتين (1995) إنساب المواد الأساسية والعمليات المرتبطة بها في الحساب.

من المصادر المهمة للنيتروجين (NAV) المعادن الناتجة من الحشائش والأوراق الساقطة (NLITR) والمعادن الناتجة من تحلل المواد العضوية (nomnp) والمخزون من المواد العضوية (NSOM) وارتباط النيتروجين البكتيري (nfix) والنيتروجين المترعر (nprec). يحدث الفاقد النيتروجيني عبر إنقاله مع الماء بعد ذوبانه (nleach) الشئ الذي يحدد أخذ النيتروجين بواسطة الشجرة (nup) هو مدى الحاجة له والذي يتحدد هو الآخر عن طريق الظروف الناخية (الإشعاع ودرجة الحرارة) والنمو الممكن عبر الكثلة الورقية للشجرة. تقارن حاجة النبات للنيتروجين مع مخزون النيتروجين في التربة (NAV). يمكن تحقيق نمو جيد إذا أمكن تغطية كل الحاجة من المخزون النيتروجيني الموجود بالتربيه، فيما عدا ذلك فإنه يحدث تخلف أو تأخر في النمو.

يتم الحصول على معدلات التغير في المخزون النيتروجيني عن طريق المعادلة الآتية:

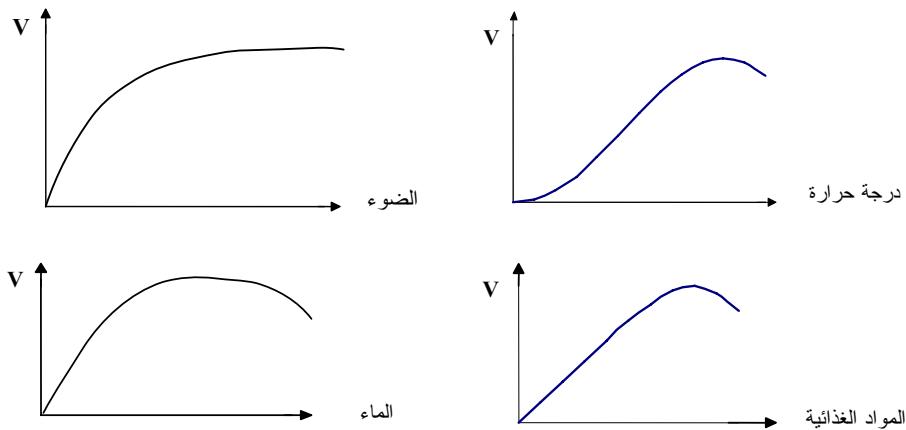
$$\text{dNAV} / \text{dt} = \text{nprec} + \text{nfix} + \text{nlimp} + \text{nomnp} - \text{nleach} - \text{nup} \quad (17.1)$$

تلعب التركيبة المعدنية دوراً كبيراً في تحديد خصائص الترب، حيث تؤثر كمية ونوعية السيلكات الأولية الموجودة في الصخور دوراً كبيراً مماثلاً في كمية المواد الغذائي الموجودة في التربة، وذلك عند تحللها عن طريق عوامل التعرية المختلفة. بهذا الفهم يمكن النظر للتربة على أنها بؤرة (أو منطقة تفاعلات) تعطي المواد وتؤخذ من كل لحالها. من المهم أيضاً محظى التربة من المواد عند تحليلها (الأيونات الحرة) واعداتها إلى مجمع التحلل.

## 2.1. تصميم النموذج الرياضي للظروف المحيطة بالموقع

اهتمت البحوث الخاصة بنمو الأشجار منذ أمد بعيد بفهم التأثيرات لمختلف عناصر الموضع على نمو المشجر الغابي والاستفادة من الخبرات التي تم الحصول عليها بهذا الشأن. تلعب بعض العناصر دوراً كبيراً، خصوصاً إذا كان لها تأثير تحكمي على النمو وفي الواقع الجافة نجد أن العامل المحدد (limiting factor) للنمو هو الرطوبة وفي الواقع شديدة الرطوبة نجد أن العامل المحدد أي (الأكبر أثراً) هو تهوية التربة والتي تزيد أهميتها مع زيادة

المواد الغذائية في الموقع. في الواقع ذات الإمداد المائي الجيد والغنية بالمواد الغذائية فإن الموضع الذي توجد فيه المواد الغذائية و الضوء هما العنصران المحددان. هنالك اختلاف واضح بين العلاقات بين العناصر المحددة للنمو وترابم الكثلة الحية (الشكل 16.1).



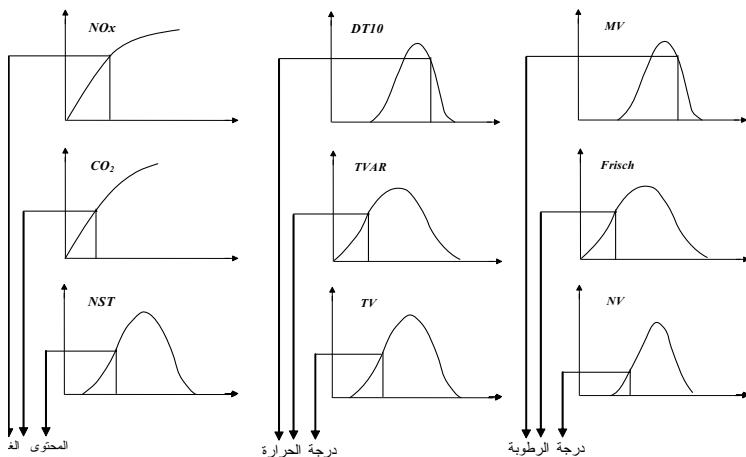
الشكل (16.1): العلاقات بين بعض عناصر الموقع المحددة للنمو وترابم الكثلة الحية (ك)

من الملاحظ أن منحنى الضوء هو الوحيد الذي يصل إلى نقطة معينة ثم يستمر دون تغيير، أما درجة الحرارة وكثافة المواد الغذائية فهي علاقات قيم قصوى. هنالك العديد من الأمثلة لتحويل العلاقات الموجودة على الشكل (16.1) إلى قيم عديدة. من هذه الأمثلة معادلات الإنحدار المركب (Multiple regression). هنالك عدد من البرامج الحاسوبية التي تم تصميمها للقيام بمثل هذه الأعمال. من المشاكل الأساسية التي تواجه تصميم النماذج الرياضية لنمو الغابات أن بعض القيم التي يتم الحصول عليها عن طريق تخريط الموقع الغابي غير محددة ووصفيّة أكثر منها رقمية. فمثلاً قد نجد موقعاً تم وصفه على أنه (مستوي إلى متوسط الإنحدار) أو (متوسط درجة الرطوبة) أو أن (الإمداد الغذائي متوسط). يجب إيجاد طريقة من خلالها إدخال مثل هذه المتغيرات الخاصة بالموقع كل في النموذج الرياضي الخاص به وذلك نظراً للتفاوت في تعريف مثل هذه المتغيرات. أورد كان (1994) مثلاً لتحويل مثل هذه المعلومات لتناسب النماذج الرياضية. تم تعريف ثلاثة عناصر بيئية معرفة هي محتوى المواد الغذائية ودرجة الحرارة ودرجة الرطوبة للمساعدة في تصنيف الموقع الغابي اعتماداً على المنهج الغابي الخاص بـ تخريط الموقع. تم تلخيص هذه العناصر في الآتي:

(Nox) = درجة تركيز أكسيد النيتروجين (عنصر مؤثر)،  $(CO_2)$  = ثاني أكسيد الكربون (عنصر مؤثر)،  
 (NST) = الإمداد بالمواد الغذائية (تم الحصول عليه من التخريط الغابي)،  $(DT10)$  = عدد أيام السنة التي يكون فيها متوسط درجة الحرارة أكثر من 10 درجات منوية،  $(TVAR)$  = مقدار درجة الحرارة السنوية،

= متوسط درجة الحرارة في السنة، (MV) = مؤشر الجفاف، (Frisch) = درجة رطوبة التربة (يتم الحصول عليها من التخريب الغابي)، (NV) = كمية الأمطار أو التساقط (بالمليمتر).

هذه العناصر التسعة، والمعروفة بالعوامل البيئية المعقدة، تمت مراعاتها في إطار تصميم النموذج الرياضي الذي يصف العلاقة بين العمر وتطور الإرتفاع (الشكل 17.1).



الشكل (17.1) استبيان العناصر البيئية المعقدة (الغذاء والحرارة والرطوبة) عن طريق دوال تأثيرات محددة (فهم الرموز راجع القائمة أعلى هذا الجدول).

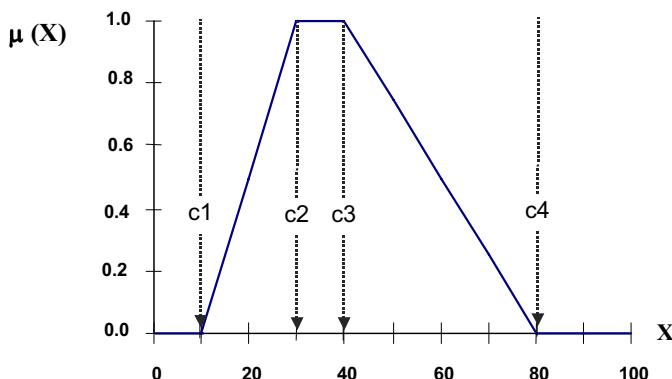
يمكن تحويل الأوصاف المتردجة لعناصر الموقع الخاصة بالإمداد الغذائي ورطوبة التربة إلى تدرج على المقاييس المترى وذلك باستعمال ما يعرف بقاعدة المتغيرات اللغوية. يمكن أيضاً تحويل الأوصاف التصنيفية التي تم الحصول عليها من تخريط الموقع إلى قيم عددية (تقريبية) على المنهج الذي وضعه جن هوانج (1992) (الجدول .(1.1

المتغير	رطوبة التربة		الإمداد الغذائي	
الدرج	7		4	
المصطلح	المصطلح المتخصص	"القيمة"	المصطلح المتخصص	"القيمة"
لاشيء				
قليل جداً	sehr trocken	0.083		
قليل - قليل جداً	trocken	0.,25		
قليل	mäßig trocken	0.250	gering	0.115
شبه قليل				
قليل - وسط	mäßig frisch	0.370	gering-mittel	0.300
أقرب للوسط				
وسط	frisch	0.500	mittel	0.500
أكثر من الوسط				
وسط - عالي	sehr frisch	0.630	mittel-hoch	0.700
شبع عالي				
عالي	feucht	0.750	hoch	0.885
عالي - عالي جداً	naß	0.875		
عالي جداً	sehr naß	0.917		
متناز				

جدول (1.1): تحويل الأوصاف التصنيفية إلى قيم عدبية (تقريبية)

يمكن وصف عناصر البيئة التسعة وتأثيرها على نمو الإرتفاع عن طريق دالة التأثير ( $\mu_x$ ) ، حيث  $X$  هو مدى تأثير أي عنصر مرتبط بالموقع و ( $x$ )  $\mu$  هو التأثير على نمو الإرتفاع.

الشكل (18.1) يوضح تأثير أحد العناصر التسعة على النمو (تجدر الملاحظة الى أنه يتبع نمط واحدا).



الشكل (18.1) يوضح تأثير أحد العناصر التسعة على النمو

باستخدام دالة توضح أثر واحد من العناصر فإن الزيادة تمضي على وتيرة واحدة حتى تصل قيمتها القصوى (أعلى قيمة لها). بعد بلوغ هذه القيمة فإنها تسقط أيضاً بوتيرة واحدة. يمكن التعبير عن الشكل (18.1) رياضياً بالمعادلة الآتية:

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x - c1}{c2 - c1}, & c1 \leq x \leq c2 \\ 1, & c2 \leq x \leq c3 \\ \frac{c4 - x}{c4 - c3}, & c3 \leq x \leq c4 \\ 0, \text{ sonst.} & \end{cases} \quad (18.1)$$

حيث:

$\mu(x)$  = تأثير العنصر  $X$  على نمو الإرتفاع

$X$  = تصاعد (تحسن) أي من عناصر الموضع

$C1$  حتى  $C4$  = ثوابت المعادلة

كمدخل لاستعمال هذه المعادلة يتحتم الحصول على العنصر المطلوب  $X$  وثوابت المعادلة ( $C1$  حتى  $C4$ ) ثم إدخال معلومات الموضع الموجودة في الجزء الخاص بإدخال المعلومات (data entry). بعد تحديد القيم يتم إدخالها في البرنامج الرئيسي. نقع القيم (بعد إجراء عملية تحويل إلى نسب) بعد العددين (0 و 1). الجدول (2.1) يوضح القيم التي تم حسابها في موقع مشجر صنوبر.

المتغير	(قيمة العنصر) X	(القيمة المحولة) $\mu(X)$
Frisch	0.7	0.62
NST	0.115	0.29
TV	12.5	0.85
TA	8.0	1.00
NV	330	0.63
MV	14.67	0.90
MA	41.67	0.90
TVAR	14.35	0.54
DT10	141.01	0.94

الجدول (2.1): مثال لقيم عناصر الموقع المختلفة بعد إجراء عملية التحويل.

تم أخذ العناصر البيئية الثلاثة المعددة مجتمعة في برنامج حاسوبي يُعرف بـ (Oekoparm).

لتصميم نموذج رياضي لتطور الإرتفاع مع العمر اعتمد البرنامج على معادلة رشارد حيث أخذ كان (1994) الأس (القوة) 3 في المعادلة كقيمة ثابتة في كل الأحوال.

$$H_O = \alpha_0 \cdot \left[ 1 - e^{-\alpha_1 t} \right]^3 \quad (19.1)$$

بأخذ معلومات من عدة مرابع عينة يتم تحليل الإنحدار (Regression Analysis) للقيم الناتجة من معادلة النمو التي يتم استخدامها. في عملية تحليل الإنحدار تثبت كل قيمة حين تبلغ قيمتها القصوى. يعتبر العمر (A) و الإرتفاع (H) دالان للموقع. كما ذكر الفا فإن توسيع دائرة التنبؤ بالنمو المستقبلي عن طريق أخذ كل المعلومات الخاصة بالموقع الغابي المحدد يعتبر أمراً مهماً ومطلوباً.

## 2. تصنیف جودة الموقع الغابية

كما ذكر عند الحديث عن الموقع، فإن المواقع المختلفة تتفاوت في كمية الإنتاج الهدف من تصنیف خصائص الموقع هو تحديد القدرة الإنتاجية لارض المشجر: سواء كان يحتوي على أشجار أم لا، إذن فان درجة الموقع (Site quality) هي المقاييس لانتاجيته والتي تقدر بكتلة الأخشاب التي يتم الحصول عليها في وحدة مساحة محددة ووقت محدد (كرامر وأكشا، 1995). معيار القياس المستخدم لهذا الغرض في العادة هو الكمية الكلية لانتاجية الموقع ( $GWL_t$ ) في عمر مرجمي محدد ( $t$ ).

لتتحديد درجة جودة الموقع يمكن إستعمال طرق مباشرة وآخر غير مباشرة. في الطرق المباشرة يجب أن تعطى مواصفات محددة عن الإنتاج الحقيقي والممكن للمشجر. أما الطرق غير المباشرة لقياس درجة جودة الموقع فإنها لا ت redund ان تكون محاولة لقياس العوامل التي تؤثر في الإنتاج مثل المناخ والغطاء النباتي وعناصر التربة.

### 1.2 المشجر كمعيار لقياس درجة جودة الموقع

في الطرق المباشرة لتصنيف درجة جودة الموقع يجب الإشارة الى التصنیف النسبي والتصنیف المطلق بإستعمال الإرتفاع أو متوسط الزيادة السنوية الكلية للحجم. يمكن إستعمال هذه الطرق في الغابات التي تدار على أساس القطع الكلي، أي ان الغابة ذات عمر واحد وبالتالي يمكن ترتيب الأعمار بحيث تزيد الإنتاجية مع زيادة العمر منذ بداية إنشاء الغابة حتى حصادها عن طريق القطع الكلي للأشجار، أما الغابات التي تدار على أساس القطع الإنتقائي تتطلب طريقة اخرى.

### تصنيف درجة جودة الموقع في غابات القطع الكلي

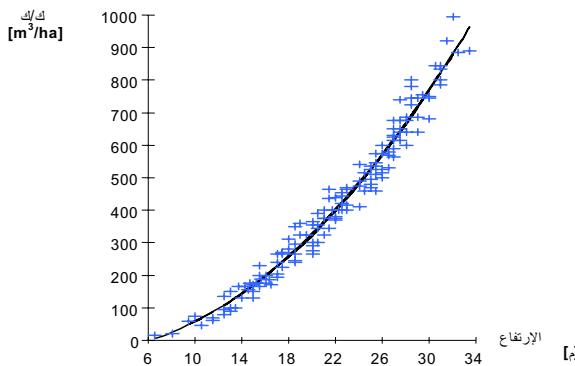
يتم حساب الكمية الكلية للإنتاج ( $GWL_t$ ) في العمر ( $t$ ) وذلك عن طريق جمع الناتج من كل عمليات التخفيف (الشلخ) التي تمت داخل المشجر منذ إنشائه وحجم المخزون الخشبي الموجود بالمشجر عند نهاية الدورة الغابية، في العمر ( $t$ ) والمعادلة (2.1) توضح ذلك.

$$GWL_t = V_t + \sum_{i=1}^t Df_i \quad [m^3/ha] \quad (2.1)$$

الشرط الأساسي لحساب الكمية الكلية للإنتاج ( $GWL_t$ )، إذن هو إمكانية الحصول على المعلومات المطلوبة عن حجم المخزون الخشبي النهائي في العمر ( $t$ ) ونتائج عمليات التخفيف على مدى عمر المشجر، وهي معلومات لا تكون متاحة في العادة ولذلك يجب حساب الكمية الكلية للإنتاج بإستخدام معلومات بديلة.

في أبحاث اجراها رجل الغابات الألماني المعروف آيشهورن في عام (1994) في الغابة السوداء بألمانيا وجد أن هناك علاقة بين الكمية الكلية للإنتاج في الغابة ( $GWL_t$ ) ومتوسط الإرتفاع. من هذه العلاقة تطور في وقت لاحق ما يعرف الآن بقانون آيشهورن (Eichhorn law) الذي يتحدث عن ان الكمية الكلية للإنتاج الخشبي في

الغابة عبارة عن دالة في الإرتفاع. تأكيداً لذلك يعرض الشكل (1.2) الكمية الكلية للإنتاج الخببي والإرتفاع المقابل لها لموقع غابية مختلفة وهي عبارة عن علاقة تصاعدية بسيطة (Simple Exponential function).



الشكل (1.2): العلاقة بين الكمية الكلية للإنتاج وارتفاع المشجر في مراعي عينة بمنطقة الألب بألمانيا (أخذت من مرسماير، 1997) (أك لك! = الكمية الكلية للإنتاج).

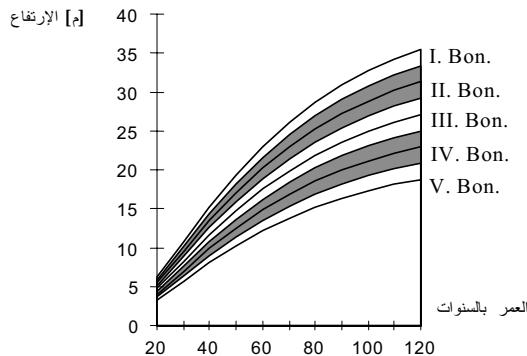
لعب قانون أيشهورن دوراً أساساً في تطور جداول الانتاج (Yield Tables) التي تسمح بمعرفة المخزون الخببي والزيادة التي تحدث في المشاجر في مختلف أعمارها. إذن، بمعرفة العلاقة بين عمر المشجر وارتفاعه وبمعرفة العلاقة بين الإرتفاع والكمية الكلية للإنتاج فإنه يمكن معرفة الكمية الكلية للإنتاج. بهذا فإن المعلومات الأساسية لتصميم جدول الإنتاج تكون قد اكتملت. تسمح المعرفة (الحقيقة) لمتوسط إرتفاع المشجر بتحديد الكمية الكلية للإنتاج.

هذا يعني مرة أخرى أن تصميم النموذج الرياضي لنمو الإرتفاع (Height growth model) يسمح بتحديد التطور الذي يحدث في الكمية الكلية للإنتاج في مختلف الأعمار. بناءً على محورية دور الإرتفاع في تحديد الكمية الكلية للإنتاج فإن تصميم النموذج الرياضي لتطور الإرتفاع ذو أهمية بالغة، وذلك لأن المقاييس المستخدمة لقياس درجة جودة الموقع تقوم على النماذج الرياضية للارتفاع، وهي الأكثر إستعمالاً في مجالات علوم الغابات. ينقسم تصنيف درجة جودة الموقع الغابية إلى تصنيف نسبي وتصنيف مطلق بناءً على المنهجية التي يتم بها التصنيف.

#### التصنيف النسبي (عن طريق الإرتفاع):

بالنظر للعلاقة بين متوسطات الإرتفاع مع الأعمار المقابلة يمكن الحصول على منحى نمو و عند رسم كل المنحنيات نوع شجري معين(بيانيا) في منطقة غابية محددة يتكون حزام يشبه القرن. يمثل الحد الأعلى لهذا الحزام المشاجر ذات النمو الأخضر (فيما يتعلق بالإرتفاع)، أما الحد الأدنى للحزام فهو يمثل المشاجر ذات النمو الأقل أو الأضعف. ينتج عن تقسيم المساحة المحصورة بين المنحنيين الأعلى والأدنى مجموعة أحزمة تمثل

درجات منقاونة لنمو الإرتفاع مع تطور العمر. من هذه الأحزمة يمكن إستنباط درجات جودة الموقع (الشكل 2.2) صممة متشرلش (1970).



الشكل (2.2): تصنيف درجات جودة الموقع (بناءً على نمو الإرتفاع) لجدول إنتاج نوع من الصنوبر (*Picea apies*) (تفصيف وسط، أخذ من فيدامان، 1936) (د= درجة جودة الموقع).

لشهيل قراءة الشكل تم تنظيل درجات الجودة III و IV. بناءً على هذا الشكل يمكن القول أن المشجر الذي يبلغ من العمر 100 عام ومتوسط ارتفاعه 25 متراً يمثل درجة موقع III.

في تطور لاحق تم إبتدال مصطلح درجة جودة الموقع (Site quality class) بمصطلح صف الإنتاج. إن صف الإنتاج لا يوضح في حقيقة الأمر شيئاً عن إنتاجية المشجر ويكون الحديث عن التصنيف النسبي، لأن الترتيب على أساس صفات إنتاج I و III أو V وإنما يعني ما إذا كان يجب تصنيف المشجر (من حيث نمو الإرتفاع) إلى صف الإنتاج الأفضل (I) أم المتوسط (II) أم الأضعف (V).

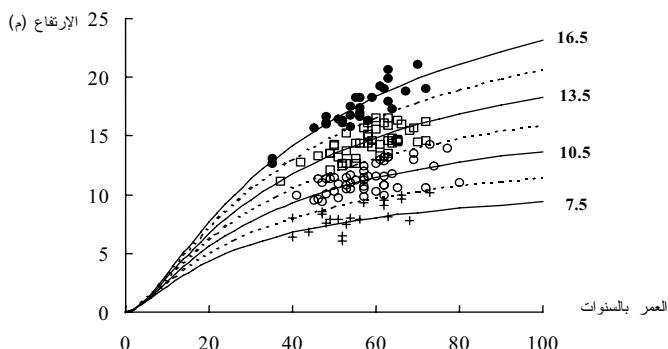
كما هو واضح من هذه الطريقة فإنه لا يمكن معرفة فروقات أو اختلافات مطلقة فيما يتعلق بالإنتاجية. لهذا السبب فإن الزيادة في الكمية الكلية للإنتاج في مختلف جداول الإنتاج متباينة جداً على الرغم من أن درجات الجودة المستخدمة متشابهة. إنه ليس من المعروف (عادةً) ما إذا كانت الاختلافات في أطر الجودة لمختلف جداول الإنتاج تعبر حقيقي عن خصائص المنطقة التي تتمو فيها الأشجار أم أنها إجتهاد شخصي من مصممي الجداول أملته الطريقة التي أستخدمت في التصميم. في المرحلة الحالية من تطور علوم الغابات نجد أن درجات تصنيف جودة الموقع الخمسة (المتفق عليها تقريباً) غير كافية، في كثير من الإحيان، لتعطية كل المنطقة لهذا السبب يتم اللجوء إلى إضافة صف الإنتاج (صفر). يعزى هذا النقص (جزئياً) إلى الطريقة الإجتهادية التي تستعمل لتحديد الأحزمة الخاصة بدرجات جودة الموقع.

### التصنيف المطلق (عن طريق الارتفاع):

على تقدير من صفات الإنتاج فإنه يمكن عبر التصنيف المطلق إعطاء معلومات نوعية دقيقة عن الإنتاجية الحقيقة للشجر في العمر المعين التصنيف المطلق (عن طريق الارتفاع) يحدد الارتفاع الذي يصل إليه الشجر في عمر معين (يعرف بالعمر المرجعي لتصنيف جودة الموقع: Base age for site quality Classification). من مميزات هذا النوع من التصنيف أنه يسمح بالمقارنة بين مختلف درجات جودة الموقع. من أشهر الاستخدامات لهذه الطريقة هذ جداول النوع الشجري (*Picea apies*) في منطقة بافاريا بألمانيا والتي قام بتصميمها آسمان وفرانس في العام 1963 وجداول الإنتاج التي صممها ليمبك في العام 1977 النوع الشجري (*Pinus sylvestris*) وجداول الإنتاج لشاجر الوقلاس في شمال ألمانيا التي صممها بيرجل في العام 1985 وجداول الإنتاج لغابات الصنوبر الإزرق بالسودان من تصميم الطيب في العام 1985.

الشكل (3.2) يوضح مثلاً لدرجات ترتيب جودة الموقع لشاجر النوع الشجري (*Pinus densiflora*) (جمهورية كوريا (العمر المرجعي لتصنيف 50 سنة).

لتصنيف خصائص الموقع لأنواع شجرية مختلفة في مشاغر مختلفة أو للتنبؤ بانتاجية مشجر قيد الإنشاء بنوع شجري معين يمكن استخدام ما يعرف بجدول ترتيب جودة الموقع.



الشكل (2.3): التصنيف المطلق (عن طريق الارتفاع) لشاجر النوع الشجري *Pinus densiflora* بكوريا (ماخوذة من شونق، 1996).

الجدول (1.2) يوضح ترتيب جودة الموقع المطلقة لاربعة أنواع شجرية. العمر المرجعي لتصنيف يساوي 50 سنة.

مثال: في موقع معين وجد أن جودة الموقع بالنسبة لنوع الشجري (*Picea apie*) تساوي 15 متراً بالنسبة لـ *Fraxinus* من نوع (*Fagus sylvatica*) و 13 متراً لنوع (*Pinus sylvestris*) و 16 متراً لنوع (*Pinus sylvestris excelsior*).

Picea	Kiefer	Buche	Esche
10	11	10	16
11	12	10	16
11	12	10	16
12	13	11	16
13	14	12	16
13	14	12	16
14	15	13	16
15	16	13	17
15	16	13	18
16	17	14	19
17	18	15	20
17	18	15	21
18	19	16	22
18	19	16	23

الجدول (1.2): ترتيب جودة الموقع حسب ما أورده كيلر (1978) و ليم (1991). العمر المرجعي = 50 سنة.

يمثل تصميم النماذج الرياضية لتطور الإرتفاع الأساس لاستبيان درجات جودة الموقع، حيث يأخذ منحنى العلاقة بين العمر والإرتفاع الشكل (S) في الحروف اللاتينية. من المناسب وصف مثل هذا الشكل (تطور الإرتفاع مع تقدم العمر) بواسطة نموذج رياضي ثلاثي العوامل ذو قمة واحدة لا يحدث تغيير بعدها مهما تقدم العمر (Asymptotic). من النماذج الرياضية المشهورة لوصف نمو الإرتفاع نذكر معادلة شابمان- ريتشارد والتي تقرأ كالتالي:

$$H_O = \alpha_0 \cdot [1 - e^{-\alpha_1 t}]^{\alpha_2} \quad (2.2)$$

حيث:

$H_O$  = ارتفاع السائد في المşجر (بالأمتار)

$t$  = عمر المشجر (بالسنوات)

$\alpha_0 .. \alpha$  = ثوابت النموذج الرياضي (يتم الحصول عليها تجريبياً)

تمثل  $\alpha_0$  القيمة القصوى للارتفاع (Asymptotic Height value). هنا يتعلق الأمر بعنصر قياس يحتوى على وحدات قياس مماثلة لوحدات المتغير المرتبط ( $H_O$ ). الثابت ( $\alpha_1$ ) يقسم المحور الزمني (محور السنين) في هذه الحالة، في حين ان الثابتين  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  معاً يحدان شكل منحنى النمو، أي إتجاه المنحنى بناءً على مكان وجود المحور الزمني (السيني).

يتم حساب التصنيف المطلق للموقع (بناءً على الأرتفاع) عن طريق التعويض للارتفاع في المعادلة أعلاه. للتصنيف المطلق للموقع في عمر 100 سنة يحصل الإنسان على ما يعرف بمنحنى الإستدلال (Guide curve).

$$SI_{100} = \alpha_0 \cdot [1 - e^{-\alpha_1 \cdot 100}]^{\alpha_2} \quad (3.2)$$

في الممارسة العملية يستخدم الإرتفاع والعمر كمدخل لصنف درجة جودة الموقع. للحصول على لتصنيف المطلق لجودة الموقع عن طريق العمر و الإرتفاع يجب إجراء عملية تحويل جيري للمعادلة (3.2). بحل المعادلة (2.2) بجعل  $\alpha$  موضوعاً للفانون و التعويض في المعادلة (3.2) يمكن الحصول على معادلة لتصنيف جودة الموقع .(4.2)

$$SI_{100} = H_O \cdot \left[ \frac{I - e^{-\alpha_1 \cdot 100}}{I - e^{-\alpha_1 \cdot t}} \right]^{\alpha_2} \quad (4.2)$$

وبعكس هذه الطريقة يمكن تحويل المعادلة (4.2) و ذلك في جودة تصنيف الموقع المطلق على أساس الإرتفاع. إلى معادلة تعبر عن تطور الإرتفاع السائد مع العمر و بالتالي يمكن تصميم نظام كامل لتصنيف خصائص الموقع مجموعة منحنيات). يمكن حل كل هذه المسائل عن طريق البرنامج الحاسوبي (Hoehe) حيث (H2) يمثل (SI<sub>100</sub>) و ايضاً الإرتفاع السائد (H<sub>0</sub>).

### تمارين

1. استعمل النموذج الرياضي  $H = 35e^{-0.02t^{0.2}}$  لنوع شجري معين بأحد المشاهير. إذا كان العمر المرجعي لتصنيف = 100 سنة، أحسب المؤشر المطلق لجودة الموقع.
2. من المسألة الأولى أعلاه أنشئ نموذج رياضي لتصنيف درجات الجودة لهذا الموقع.
3. أحسب بدلالة لمعادلة أعلاه المؤشر المطلق للموقع لمشجر غابي من ذات النوع الشجري المذكور أعلاه. يبلغ عمر المشجر 40 سنة ومتوسط الإرتفاع 12 متراً.
4. أحسب متوسط الإرتفاع المتوقع في عمر 60 سنة لمشجر من النوع الشجري المذكور أعلاه يساوي المؤشر المطلق لموقعه 30 متراً.
5. أحسب متوسط الإرتفاع لمشجر عمره الان 120 سنة ومتوسط إرتفاع يبلغ 32 متراً في عمر 50 سنة.  
يمكن الحصول الحصول على ثوابت معادلة شابمان- ريتشارد عن طريق تحليل الإنحدار غير الخطى البسيط (Simple non- linear regression) وذلك اما عن طريق معلومات يتم جمعها من الحقل عن الإعمار والإرتفاعات المقابلة لها أو عن طريق المعلومات الموجودة في جداول الإنتاج المنشودة. توجد عدة طرق أخرى تستعمل فيها معادلات نمو. هنالك عدد من الباحثين يستخدمون معادلة شوماخر والتي تعتبر أبسط بكثير من سابقتها ويمكن عن طريقها تحديد الثوابت عن طريق تحليل الإنحدار الخطى البسيط (معادلة 5.2).

$$H_O = \alpha_0 \cdot e^{-\alpha_1 \frac{I}{t}} \quad (5.2)$$

يستعمل ساوليرو و آخرون (1994) نموذجا رياضياً يستخدمو فيه منحنى الإستدلال (guide curve) لتحديد الإرتفاع السائد في مشاجر (*Pinus pinaster*), وقد يستخدموه في هذا النموذج الرياضي نقطة قمة الإرتفاع السائد دالة للتصنيف المطلق لجودة الموقع (المعادلة 6.2)

$$H_o = 2.5385 \cdot SI^{0.9656} \left( 1 - \frac{1}{e^{0.0419 \cdot t}} \right)^{1.3762} \quad (6.2)$$

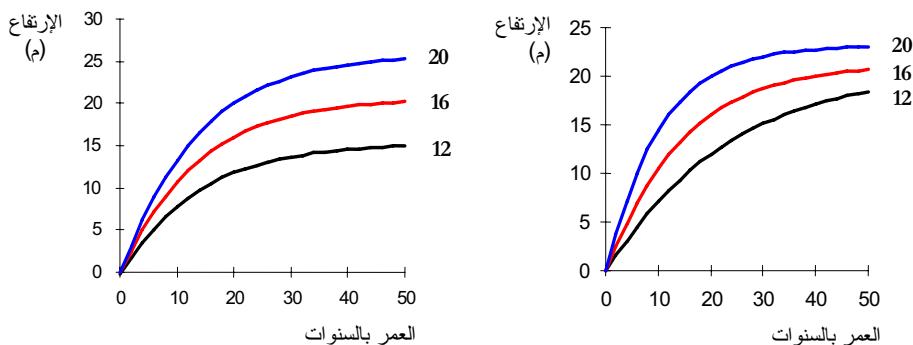
حيث:

$H_o$  = الإرتفاع السائد للمشجر (بالديسيمترات).

$t$  = عمر المشجر (بالسنوات)

$SI$  = الإرتفاع السائد للمشجر عند 20 سنة (بالديسيمترات)

يعتمد تصميم النماذج الرياضية على قيم محددة للثوابت، لهذا فإن العلاقة بين الإرتفاعات في مختلف درجات الجودة مع زيادة العمر تظل ثابتة، بحيث أن شكل منحنى الإرتفاع لا يعتمد على درجة جودة الموقع. هذا النوع من نظم قياس جودة الموقع يعرف بالنظام الأحادي (Anamorphic) (الشكل (4.2) إلى اليسار). ينتج النظام المتعدد (Polymorphic) عندما يتحدد شكل المنحنى عن طريق درجة جودة الموقع. في مثل هذه الحالة فإن الثوابت التي تحدد شكل المنحنى تكون معتمدة على درجة جودة الموقع. لا يمكن أن يتم تأكيد شكل وتأثيرات مثل هذه العلاقات إلا عن طريق الحصول على معلومات من مربع عينة دائمة تفاصيل دورياً لفترة زمنية طويلة.



الشكل (4.2): الشكل الأحادي (إلى اليسار) والمتعدد (إلى اليمين) لنفس درجة الموقع المطلقة (العمر المرجعي للتصنيف = 20 سنة).

عمل يانسن وآخرون على تطوير نظام متعدد لتحديد درجة جودة الموقع. تقرأ المعادلة التي يستخدموها في ذلك كالتالي:

$$H_2 = H_1 \cdot \left[ \frac{1 - e^{-\alpha_1 \cdot t_2}}{1 - e^{-\alpha_1 \cdot t_1}} \right]^{\alpha_2} \quad (7.2)$$

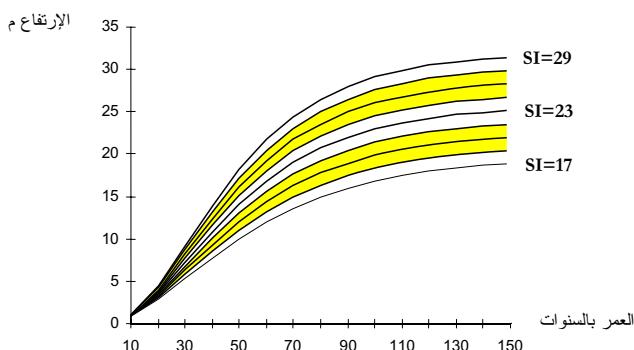
حيث:

$$H_1, H_2 = \text{الارتفاع السائد في العمر الأول وال عمر الثاني}$$

$$0.008323 + 0.0003241 * SI = \alpha_1$$

$$1.333 = \alpha_2$$

مثال آخر للأشكال المتعددة لمنحنىات درجة جودة الموقع هو النظام الذي قدمه روجو ومنتير لمشاجر (*Pinus sylvestris*) في إسبانيا، حيث قاما في البداية بتحديد ثوابت معادلة ترشارد- شابمان لأفضل وأسوأ الموقع. لتحديد القيم للموقع الوسطية تم حساب قيم الأعمار والإرتفاعات عن طريق ملء الفراغات بين المنحنىات الأفضل والأسوأ وذلك بإستعمال ما يعرف بـ (Interpolation) الشكل (5.2).



الشكل (5.2): تصنيف درجات الموقع المتعدد للنوع (*Pinus sylvestris*) في إسبانيا، مأخوذة من روجو ومنتيري (1996) (العمر المرجعي = 100 سنة،  $(SI) = \text{الارتفاع ومؤشر الموقع بالأمتار}$ ).

الجدول (2.2) يوضح عدة أمثلة لنماذج رياضية للارتفاع استعملت لنوع (*Pinus radiata*) في مشاجر شمال غرب إسبانيا.

نظام أحادي	$H = 2,159046142 * I.S.^{0.910933349} * (1 - \exp^{-0.066405978 * edad})^{1,624531182}$
نظام متعدد	$H = 4,730223230 * I.S.^{0.644758557} * (1 - \exp^{-0.069741624 * edad})^{(8,693353842 * I.S. - 0.543225510)}$
نظام متعدد (معدل)	$H = 2,897111962 * I.S.^{0.489919950} * \left(1 - k^{\frac{edad}{20}}\right)^{(7,589013609 * I.S. - 0,178144732)}$ $k = 1 - \left( \frac{I.S.}{2,897111962 * I.S.^{0.489919950}} \right)^{(7,589013609 * I.S. - 0,178144732)}$
نظام ويل الأحادي	$H = 2,01553786 * I.S.^{0.91274421} * \left(1 - \exp^{-\left(\frac{edad}{19,40699564}\right)^{1,39768947}}\right)$
نظام ويل المتعدد	$H = 2,03592409 * I.S.^{0.907885651} * \left(1 - \exp^{-\left(\frac{edad}{19,36949783}\right)^{[6,38807820 * I.S. - 0,50085130]}}\right)$

الجدول (2.2): نماذج رياضية للارتفاع أحادية ومتحدة الأشكال لمشرب من النوع (*Pinus radiata*) في شمال غرب أسبانيا (*SI*) مؤشر الموقع (أخذ الشكل من ألفارز قونزالز، 198).

كما ذكر آنفا ، فإن ثوابت النموذج الرياضي يتم على أساس معلومات من خلال قياسات حقلية تعتمد فيها دقة نتائج النماذج الرياضية على درجة جودة المعلومات التي تتوفر لهذا الغرض. تجمع في كثير من الأحيان معلومات عن أعمار وارتفاعات مشاهير تؤدي في جملتها إلى تكوين صفوف زمنية غير حقيقة (نظراً للقياس في مختلف الأعمار في نفس الزمن)، فهي لا تعطي التطور الحقيقي للأشجار كل على حدة ولكنها تستعمل في بعض الأحيان عند عدم توفر معلومات أفضل. يجب في مثل هذه الحالة تحديد نمو الإرتفاع لأشجار مختارة عن طريق تحليل الساق (Stem analysis). من المؤسف أن يكون تاريخ تطور الأشجار التي يتم تحليلها مجبراً (في العادة) - من هنا يواجهه تصميم النماذج الرياضية المعتمدة على طريقة تحليل الساق غياب معلومات مهمة عن الوضع (الاجتماعي) لهذه الأشجار وال العلاقات التنافسية التي كانت موجودة في السابق.

من الشروط الأساسية لتطوير النظام المتعدد لتحديد درجات جودة الموقع وتتوفر النوع والكم الأنسب من المعلومات هو أن تكون المعلومات الخاصة بالعلاقة بين الإرتفاع والعمر تكون قد تم الحصول عليها من مرابيع عينة دائمة تكرر قياس إرتفاعاتها السائدة على مدى زمني طويل، كما أن تكون مختلف الموقع ممثلة بمرابيع عينة دائمة. من مساوي مرابيع العينة الدائمة التكاليف العالية والإرتباط الزمني الطويل بالمرابع و زمن الإنتظار الطويل اللازم لتتوفر المعلومات.

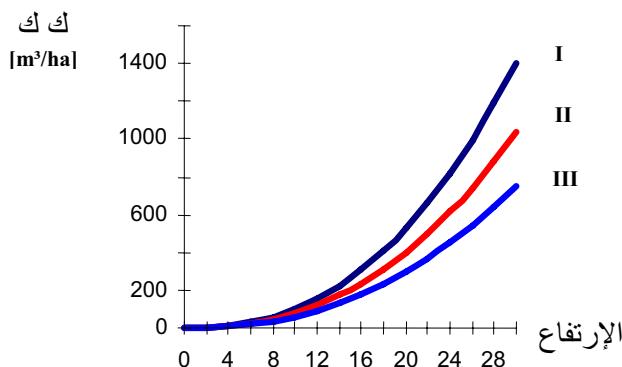
### **مؤشر (درجات جودة الموقع) باستخدام متوسط الزيادة السنوية الكلية**

بالإضافة لقياس خصائص الموقع عن طريق الإرتفاع (النسبة والمطلق) فإن متوسط الزيادة السنوية الكلية (MAI) بالنسبة لحجم المخزون الخشبي الموجود يستعمل أيضاً كأداة لتحديد درجة جودة الموقع. يعطي هذا النوع من القياس متوسط الزيادة في الحجم لكل سنة وهاكتار، حيث يستعمل هنا أيضاً إرتفاع المشجر والعمر كقيم لتحديد درجة جودة الموقع عن طريق متوسط الزيادة السنوية.

في المانيا يستخدم كل من متوسط الزيادة السنوية الأقصى (MAI<sub>max</sub>) ومتوسط الزيادة السنوية في عمر 100 سنة (MAI<sub>100</sub>), حيث يعطي الأول متوسط الزيادة السنوية عند نقطة بلوغ القمة، مع العلم بأن هذه النقطة تعتمد على درجة جودة الموقع والمعاملات الفلاحية التي تطبق في المشجر، مما يجعلها نقطة غير ثابتة حتى داخل النوع الشجري الواحد. أما متوسط الزيادة السنوية عند العمر 100 سنة فإنه يعطي متوسط الزيادة السنوية في هذا العمر. يرى نقاد فكرة استخدام متوسط الزيادة السنوية لتصنيف درجات جودة الموقع أنها لا ت redundo أن تكون صورة أخرى فقط لقياس درجة الجودة عن طريق الإرتفاع، إذ يمكن عند (استخدام متوسط الزيادة السنوية وحده) الوصول إلى نتائج خاطئة عن القراءة الإنتاجية للمشجر وذلك لأن متوسط الزيادة السنوية يتاثر كثيراً بالعمليات الفلاحية التي تطبق بالمشجر، على عكس الإرتفاع السائد.

### **مستوى الإنتاج:**

بناءً على قانون آيشهورن، فإن العلاقة بين الإرتفاع والإنتاجية الكلية لا تعتمد على موقع المشجر. إتبصر في وقت لاحق وجود سلسلة من التحفظات التي تثير الكثير من الشكوك في صحة هذا القانون، فقد وجد آسمان (1961) عن طريق متابعة طويلة المدى لمراقبة عينة لنوع الشجري (*Picea abies*) في مناطق عديدة، إجمالي إنتاجية متباين مع وجود نفس الإرتفاع. تعتبر الكيابات الكلية للإنتاجية مستويات إنتاج (yield levels) مختلفة. الشكل (6.2) يوضح مثلاً للعلاقة بين الكمية الكلية للإنتاج والإرتفاع السائد لثلاثة مستويات إنتاج مختلفة.



الشكل (6.2): العلاقة بين الإنتاجية الكلية (ك ك) والإرتفاع السائد بالأمتار لثلاثة مستويات إنتاج (ك ك = الكمية الكلية للإنتاج، I ، II ، III = مستويات الإنتاج).

يعتبر جدول الإنتاج النوع دوقلاس الذي صممه بيرقل (1985) مثلاً للتصنيف على أساس مستويات إنتاج، وكل صنف إنتاج رمز خاص به.

تأسست القاعدة الأساسية لتصميم جداول الإنتاج على إفتراض أن الكمية الكلية للإنتاج ك ك و التي يرمز لها بـ (GWL) تعتمد فقط على الإرتفاع وأن الإرتفاع هو الآخر يعتمد على درجة جودة الشجر وال عمر:

$$GWL = f(h)v h = f(\text{العمر}) \Leftrightarrow f(\text{الجودة}) \quad (8.2)$$

أدى ارتباط الكمية الكلية للإنتاج ودرجة جودة الموقع إلى العلاقة التالية:

$$GWL = f(\text{العمر، مستوى الإنتاج، الجودة}) \quad (9.2)$$

يمكن أن يؤخذ مستوى الإنتاج في الاعتبار كصفة مساعدة لتقدير القدرة الإنتاجية للموقع، فقط إذا أمكن إثبات أن الأمر يعلق بصفة لا علاقة لها بالمعاملات الفلاحية للشجر. هنالك الكثير من الأمثلة التي توضح (جزئياً) الأثر الكبير للمسافات بين الأشجار ونوع التخفيف (الشاخ) على العلاقة بين الكمية الكلية للإنتاج والإرتفاع. نجد على سبيل المثال أن النمو في الإرتفاع لبعض الأشجار يتاثر بزيادة المسافات بين الأشجار دون أن يكون لذلك أثر على الزيادة في حجم المخزون الخشبي الواقف. عندما يتم فتح الغابة عبر عمليات تخفيف (شلخ) مكثفة تكون ارتفاعات الأشجار أقل مما لو كان التخفيف متوسط، والتنتيجة هي: أنه لنفس الإرتفاع تكون المشاجر المفتوحة (عبر عمليات تخفيف مكثفة) ذات إنتاجية كلية أعلى. عند عمليات التخفيف المكثفة فإن الحجم الذي يتم الحصول عليه في وحدة

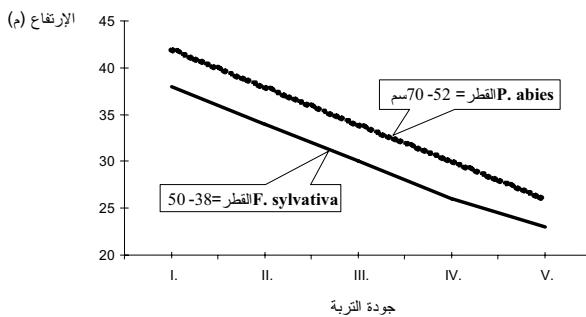
المساحة أقل لنفس نمو الإرتفاع. من هنا يتضح جلياً تأثير درجة المعاملة الفلاحية للمشجر، إذ أنه يمكن الحصول على كميات إنتاج كلية متباعدة لنفس الإرتفاع ونفس الموقع. معأخذ مؤشرات أخرى في الإعتبار، مثل شكل الساق والتعرض للعواصف، تتتأكد أهمية فكرة مستويات الإنتاج. هنالك إمكانيات أكثر فعالية لعرض العلاقة المعقّدة بين الإرتفاع السائد والكمية الكلية للإنتاج. إذا نظرنا إلى الممارسة العملية في لغابات، فإن الإهتمام ينصب في الأنواع المنتجة من لأخشاب وليس في الكمية (الحجم) بشكل مطلق. في مثل هذه الأحوال لا يمكن النظر إلى فكرة مستويات الإنتاج إلا على أنها مرحلة فقط من مراحل تطور علوم الغابات.

### التصنيف الديناميكي لدرجات جودة الموقع

إذا تم تصنیف درجات جودة الموقع بمساعدة معلومات تم الحصول عليها من مشاهير أخرى بها خصائص موقع وظروف عامة مشابهة للموقع الذي يراد حديد درجة جودته، فإننا نتحدث عما يعرف بالتصنيف الديناميكي لجودة الموقع (Dynamic site quality classification). يستخدم التصنيف الديناميكي في المشاهير التي لا يسمح عمرها بتحديد درجة جودتها. قد يكون من الأسباب الداعية لاستعمال هذا النوع من التصنيف أن عمر المشجر الذي لا يراد تحديد درجة جودته لم يبلغ بعد الحد الأدنى الموجود في جدول الإنتاج أو أن الحصول على المعلومات الالزامية للتصنيف باهظة التكلفة مما يجعل الحصول عليها صعباً.

### التصنيف في مشاهير متعددة الأعمار

يمكن إستخدام طرق التصنيف التي تم وصفها حتى الآن فقط في المشاهير ذات الأعمر المعروفة، أما الغابات مجهلة الأعمار (كالغابات الطبيعية والمقولبة أو الغابات المختلطة غير متساوية الأعمار) فإنها لم تجد من الإهتمام إلا القليل. أورد فينك وأخرون (1990) أنه لا توجد لمثل هذه الغابات طرق محددة لتحديد جودة الموقع. نتيجة للإهتمام المتزايد بمثل هذه الغابات في ألمانيا وأجزاء كثيرة من وسط أوروبا ومعظم المناطق الإستوائية والمدارية، فإن هذه المسألة تستحق بعض الإهتمام. هنالك إسهامات لتصنيف الغابات المختلطة المتباعدة الأعمار، فقد أورد فلوري أنه في حالة التطور الطبيعي في الغابة الطبيعية فإن متوسط الإرتفاع لكل صف (= قطر) يميل إلى المساهمة في حفظ التوازن بشكل عام. بناءً على هذه الفكرة فإنه من المناسب الإعتماد على الإرتفاعات المرتبطة بصفوف الأقطار لقياس درجة جودة الموقع. لا يهتم هذا النظام بالأشجار الضعيفة ( بكل أشكالها ) وذلك لأن إرتفاعاتها متاثرة بالمنافسة والتغطية التاجية من الأشجار السائدة المجاورة لها. الشكل (7.2) يوضح النظام الذي يتبعه فلوري للتصنيف.



الشكل (7.2): نظام تحديد جودة الموقع في غابة طبيعية (غير خاضعة لإدارة) لنوعين من الأشجار. يعتمد النظام على صفي قطر 38-50 سم و 52-70 سم.

هناك طريقة أخرى لتحديد درجة جودة الموقع في الغابات المختلطة ذات الأعمر المتباينة. تعتمد هذه الطريقة على معرفة زيادة أقطار الأشجار في حدة قياس الزمن (أو مقلوب هذه الوحدة). إذا بلغت زيادة قطر الشجرة مثلاً 2 سم في مدة قدرها 10 سنوات، فهذا يعني أن الزيادة في القطر تبلغ 0.2 سم في العام. وبالتالي يحتاج هذا النوع الشجري لمدة 5 سنوات ليحقق زيادة في القطر قدرها 1.0 سم. بهذا فإن درجة جودة الموقع تكون دائماً أفضل كلما قلت الفترة التي تتحقق فيها زيادة قطر معينة لنفس النوع الشجري ونفس الكثافة الشجرية. تتيح الإختلافات في زيادة القطر لمختلف المشاهير الفرصة للمقارنة وبالتالي تحديد درجة جودة الموقع. تجدر الإشارة إلى هذا النوع من التصنيف يحتاج إلى تكاليف عالية لإجراء عمليات الحصر، ومع ذلك فإنه لا يخلو من عدم دقة.

#### تصنيف جودة الموقع عن طريق عناصره

هذه مجموعة طرق غير مباشرة تستعمل كمحاولات لتحديد درجة جودة الموقع وتعتمد على عناصر الموقع والظروف المحيطة به. في هذا النوع من التصنيف يتم تقويم هذه العناصر وخصوصاً التربة والغطاء النباتي ومكونات المناخ.

#### عنصر التربة

من الطرق الواسعة الإنتشار لتحديد درجة جودة الموقع للأشجار استعمال ما يعرف بالقيم التعريفية لمحتوى الكربون في التربة أهم علاقة معروفة حتى الآن في هذا الصدد هي علاقة الكربون والنيتروجين (C/N Ratio) كلما زادت هذه النسبة كلما قل التبادل الأيوني، وبالتالي كلما قلت فرصة النباتات في الاستفادة من النيتروجين غير العضوي. يستطيع إيفرز وموسموير (1980) إثبات وجود علاقة قوية بين نسبة الكربون للنيتروجين ومتوسط الزيادة السنوية في عمر 100 سنة لأشجار نوع الشجري (*Picea abies*). إشار إيفرز وموسموير (1980)

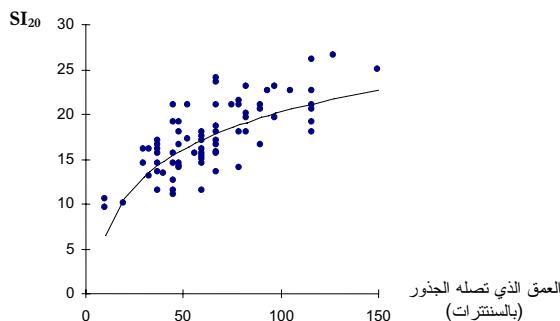
أيضاً إلى أن تقييم العلاقة بين المواد الغذائية للموقع على أساس خصائص التربة. وبالتالي تصنيف درجة جودة كل موقع، قابل للتطبيق في كل منطقة.

بالإضافة إلى نسبة الكربون للنيتروجين هنالك تعريفات أخرى، مثلاً نسب الكربون مع الفسفور (C/P\_Ratio) والكربون مع البوتاسيوم (C/K\_Ratio) والكربون مع الكالسيوم (C/Ca\_Ratio). توصل أيفرز ومسماير (1980) أيضاً إلى العلاقة بين الكربون والفسفور والكربون والبوتاسيوم من جهة وبين متوسط الزيادة السنوية للنوع الشجري (*Picea abies*) أضعف بكثير مقارنة بالعلاقة بين متوسط الزيادة السنوية ونسبة الكربون للنيتروجين.

يجبأخذ القيم التعريفية المفردة التي تتأثر بعامل الطقس والجيولوجيا بحذر شديد، إذا استخدمت لقياس درجة جودة الموقع. إن استخدام عناصر التربة لتحديد درجة جودة الموقع ليس بالموضوع البحثي الجديد، فقد نشر كارمن (1973) قائمة تحتوي على 793 نشرة علمية إهتمت بهذا الموضوع.

أثبت عدد من الكتاب أن عمق التربة، وعناصر أخرى مرتبطة بالتربة. تعد مؤشراً جيداً لتقييم إنتاجية الموقع. الشكل (8.2) يوضح مثلاً للعلاقة بين عمق التربة ودرجة جودة الموقع اعتماداً على الإرتفاع في عمر 20 سنة لمشاجر من النوع (*Pinus ellottii*) في جنوب أفريقيا. حيث وجد أنه كلما زاد توغل جذور الشجرة إلى أعماق التربة كلما زاد الإرتفاع.

يمكن أيضاً إبستعمال مختلف العناصر الكيميائية والفيزيائية للتربة في نظام تحليل الإنحدار (Regression analysis) لتحديد درجة جودة الموقع.



الشكل (8.2): العلاقة بين العمق الذي وصلته درجة جودة الموقع في العمر 20 سنة (SI20) لمشاجر (*Pinus ellottii*) (أخذت من شيفير، 1988).

يجب التأكيد على أن النماذج الرياضية لتحليل الإنحدار تتناسب من حيث المبدأ لمراة وحدة فقط مع معومات محددة. تكون نتيجة التحليل في العادة جيدة جداً، وهنا تكمن قوة النماذج الرياضية لتحليل الإنحدار. من ناحية

أخرى تكمن نقطة ضعف النماذج الرياضية لتحليل الإنحدار في أن درجة تناسب النموذج (Model fitting) التي تجري مرة واحدة فربما تكون معتمدة على عينة لم يتم اختيارها بالموضوعية المطلوبة (Non-objective selection). في العادة لا يمكن مد النماذج الرياضية لتحليل الإنحدار خارج الإطار الذي تم حسابه، كما لا يمكن تعديل أو تحسين النموذج الرياضي لتحليل الإنحدار، لأن ذلك يتطلب إضافة معلومات، وبالتالي ما يتم حسابه بعد ذلك يعتبر تحليلًا جديداً ولا علاقة له بما سبق من تحليل.

نظرًا لهذه الظروف المحاطية بالنموذج الرياضي لتحليل الإنحدار فقد بذل بعض الكتاب جهدًا فيأخذ عوامل تأثيرية محددة وجعل تأثيراتها تتراوح في المدى (0-1) وذلك لعدد محدد من عنصر الموقع. كمثال نذكر طريقة مؤشر الإنتاجية (Productivity index) التي ابتكرها هندرسون (1990) والطريقة تعتمد على خمسة من صفات التربة، فقد قام هندرسون بتصنيف درجات وجودها إلى قيم نسبية تتراوح بين (0 و 1) وأطلق عليها اسم عوامل الإكتفاء. في هذا العمل نفترض أن النمو الذي يحدث في أجزاء النبات أعلى الأرض يتاسب طردياً مع نمو جذوره داخل التربة. يتأثر نمو النظام الجذري بوجود عناصر التربة الخمسة التي تم تحديدها. يتم تحويل قيم هذه العناصر إلى عوامل إكتفاء بطريقة مشابهة لتلك التي استعملها كان (1995) وقد ورد ذكره آنفاً.

### الغطاء النباتي التحتي

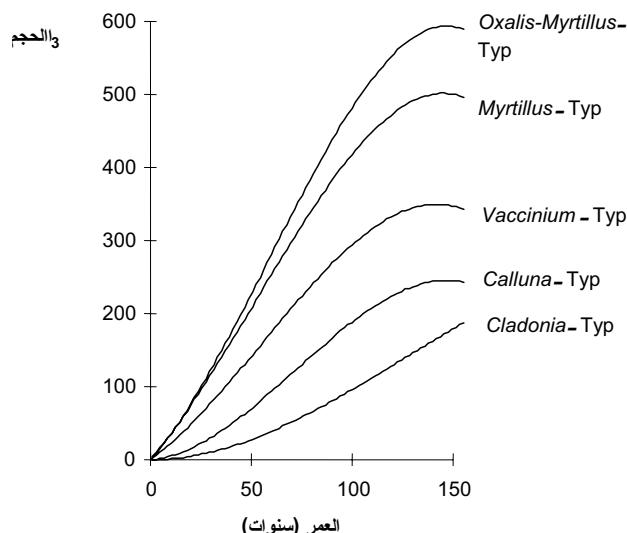
يستخدمن الغطاء النباتي التحتي كتقدير قديم لتحديد درجة جودة الموقع في شمال أوروبا. إنطلاقاً من فرضية أن كل العوامل المؤثرة على النمو في الغطاء النباتي تتعكس على الغطاء النباتي التحتي، فإنه يبدو منطقياً اعتبار أن الغطاء النباتي التحتي مؤشراً لدرجة جودة الموقع، فإن الغطاء النباتي التحتي يمثل مقياساً جيداً لدرجة جودة الموقع. بناءً على ما ذكره فانكلاني (1992) فإن تحديد درجة جودة الموقع عن طريق الغطاء النباتي التحتي يمكن أن يتم بطريقتين مختلفتين: طريقة التصنيف (Classification) وهي طريقة ابتكرها براون وبلانكيت وطريقة الترتيب (Ordination) وهي مبنية على إعطاء مؤشرات للموقع.

### طريقة التصنيف

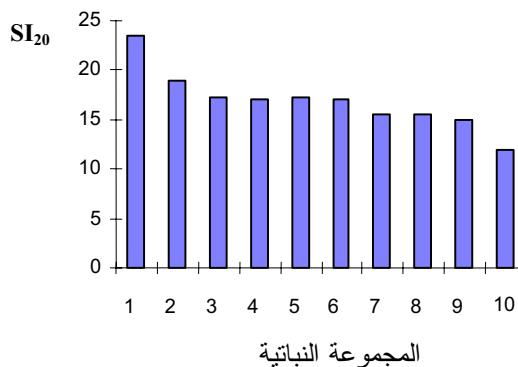
تفق كل الطرق المستخدمة للتصنيف على أن الغطاء النباتي السائد (Climax vegetation) يمكن أن يقود إلى تقسيم الموطن (Habitat) أو أنواع المشاجر (Stand types). من أشهر طرق التصنيف في هذا الصدد الطريقة التي تعمد على الأنواع النباتية (Vegetation types) على منهج عالم الغابات كاجاندر. استعمل كاجاندر (1909) عدداً من المجموعات النباتية (Plant association) لنقييم القدرة الإنتاجية للموقع في فنلندا. الشكل (9.2) يوضح مثلاً لحجم المخزون الخشبي الواقف لمشاجر صنوبر مرتبًا بالعمر وستة أنواع نباتية (أخذت من كيمينيس، (1987).

تجد طريقة كاجندر إهتماماً كبيراً في أوروبا وشمال أمريكا. إنكر شافر (1989) مثلاً لتصنيف درجة جودة الموقع بهذه الطريقة لمشاحر من الصنوبر (*Pinus elliottii*). الشكل (10.2) يوضح ذلك.

توجد المجموعة النباتية الأولى في الشكل (10.2) (*Stoebe plumosa/ Lachenalia spp/ Tetraria*) في أفضل المواقع، في حين أن المجموعة النباتية العاشرة توجد في أقل الواقع جودة وتحتوي على الأنواع الشجرية (*Watonia fourcadei/ Berzebelia intermedia/ Clifforta stricta/ Pellaea chedrum*)



الشكل (9.2): حجم المخزون الخشبي الموجود بمشاحر (*Pinus silvestris*) في فنلندا مرتبطاً بالعمر والنوع النباتي (الحجم بالمتر المكعب في الهاكتار).



الشكل (10.2): التصنيف المطلق لدرجة جودة الموقع (باستعمال الإرتفاع لمشاجر (*Pinus elliottii*) لعشر مجموعات نباتية في منطقة رأس الرجاء الصالح بجنوب أفريقيا).

#### طرق المؤشر:

تعتمد هذه الطرق على ترتيب أنواع شجرية محددة في شكل مجموعات (Ecological groups). في كل مجموعة توضع الأنواع التي تستجيب لدرجة جودة الموقع الموجودة بطريقة مشابهة. هناك طريقتان مختلفتان، الأولى والأكثر استخداماً تقوم على أساس الاحتياجات الالزامية لإنتاجية الموقع إعتماداً على نباتات محددة (تمثل مؤشراً بيئياً). أما الطريقة الثانية فإنها تعتمد على بعض الصفات المورفولوجية للنباتات مثل عرض الأوراق وإرتفاع النبات. لا تتعارض الطريقتان إطلاقاً، بل من الممكن أن يعملان معًا في تناسق تام.

هناك العديد من الأمثلة لتصنيف جودة الموقع على أساس الغطاء النباتي التحتي في بلدان بها الكثير من الأنواع النباتية الأرضية وبعضها لا يملك منه إلا القليل. يمكن عن طريق أنواع نباتية معينة تقدير حالة الضوء ودرجة الحرارة وكمية الماء والمواد الغذائية باستخدام معيار متعدد الدرجات. عند ترتيب المؤشرات تلعب المنافسة من أي نوع نباتي دوراً حاسماً. يؤدي التنافس الحاد إلى وجود إعداد قليلة جداً من أنواع نباتية معينة تظهر في موقع محدد. الأنواع النباتية ذات القررة الضعيفة في التنافس، لا تستطيع البقاء إلا في ظروف خاصة جداً، تعتبر ذات قيمة عالية جداً عند تقييم درجة جودة الموقع.

بالطبع تسمح الأنواع النباتية (منفردة) أن تعطي تقييماً للعلاقات المائية والغذائية في آفاق تربة (Soil horizons) محددة عندما تخترقها بواسطة الجذر. في حين تخترقها بواسطة الجذور. في حين تخترق جذور بعض الأنواع النباتية التربة إلى عمق قريب (عدة سنتيمترات) تتمضي جذور بعض الأنواع النباتية الأخرى عبر عدد من آفاق التربة إلى أعماق سحيقة. في الترب التي تخطبيها طبقة حمضية يمكن وجود نباتات محبة للحموضة وبالتالي يمكنها أن تشكل جزءاً من التركيبة الإجتماعية للغطاء النباتي لتلك المنطقة وتعتبر مؤشراً للموقع.

هناك مثل محدد لتصنيف درجة جودة الموقع على أساس طريقة ترتيب الغطاء النباتي التحتي، وتتم هذه بإستنبط مؤشر النمو (Growth index) وتخصر (GI). في غابة مدارية في كوينزلاند بجنوب أفريقيا، وجدت علاقة قوية بين مؤشر النمو ووجود أو غياب أنواع نباتية معينة. نظراً لصعوبة تحديد الدقيق للنباتات المدارية، لجا

فانكلاي (1992) الى أخذ عنصر جيولوجي الى جانب البيانات التي رأى اعتبارها مؤشراً. يتم تحديد قيم المتغيرات إما بالقيمة (1) إن كانت موجودة أو بالقيمة (0) إن لم تكن موجودة، في حين أن المتغيرات الجيولوجية يمكن الاستعاضة بأخذتها عن الآخر.

$$GI = \begin{pmatrix} 4.528 \times AL \\ 5.934 \times BV \\ 5.164 \times AV \\ 6.174 \times CG \\ 4.980 \times SM \\ 3.837 \times TG \end{pmatrix} + 1.144 \times BLO + 1.286 \times SBN - 1.020 \times VTX - 0.673 \times RAP \\ + 1.027 \times BUA + 1.008 \times RBN - 1.223 \times CLL + 1.516 \times BGR$$

حيث:

أساس بركاني = BV؛ تربة طمية = AL؛ جيولوجيا

جرانيت خشن = CG؛ حمضية بركانية = AV

SM = جرانيت ناعم؛ رسوبية متحولة = TG

بيانياً BLO = Blush Silky Oak, SBN = Salmon Bean

VTX = Vitex, RAP = Rpanea,

BUA = Buff Alder, RBN = Rose Butternut,

CLL = Cinnamon Laurel, BGR = Brown Gardenai

### المناخ

للمناخ تأثير كبير على نمو الغابات، وكما ذكر آنفًا فإن درجة جودة الموقع تؤثر في نمو الغابات، لذا فهناك معلومات مناخية محددة بالقدرة الإنتاجية للموقع وهي التي يمكن استخدامها للمساعدة في تحديد درجة جودة الموقع. لهذا الغرض تستخدم عادةً مؤشرات مناخ (Climate indices) وهذا يؤخذ عدد من عناصر المناخ في الاعتبار.

من أشهر هذه المؤشرات المؤشر المعروف بمؤشر الإنتاجية النباتية المرتبطة بالمناخ (Climate dependent vegetation productivity)، ويكتب اختصاراً (CVP) وقد اقترح هذا المؤشر بيترسون (1962). المعادلة (11.2) توضح كيفية حساب هذا المؤشر.

$$CVP = N \cdot \frac{Tv}{Ta} \cdot \frac{g}{360} \cdot \frac{Rp}{Rs} \quad (11.2)$$

حيث:

$N$  = المتوسط السنوي للأمطار (الملمتر)

$Tv$  = متوسط درجة الحرارة لأشد شهر العام حرًّا (بالدرجات المئوية)

$Ta$  = الفرق بين درجة الحرارة لأحر وأبرد شهر في السنة (بالدرجات المئوية)

$G$  = عدد أيام السنة التي لا تقل درجة حرارتها عن 7 درجات مئوية

$Rp$  = الإشعاع في القطب

$Rs$  = الإشعاع في الموقع الذي يراد تصنيفه

تم استعمال مؤشر بيترسون لتقدير إمكانية الإنتاج الخشبي في مناطق عديدة. الجدول التالي يوضح هذه المناطق.

CVP	م / السنة الهاكتار	الاماكن (المناطق)
25		المناخ الصحراوي
-100	0-3	المناطق الجبلية الباردة، الصحاري، المناطق المدارية الحارة
25		
-300	3-6	المناطق الباردة الرطبة، وسط وشرق اوربا والولايات المتحدة
100		
-1000	6-9	جنوب الصين، الهند، أفريقيا، جنوب الولايات المتحدة، الأرجنتين، بوليفيا، غرب اوربا
300		
-5000	9-12	جنوب أمريكا، وسط افريقيا، الهند المدارية
1000		
> 5000	>12	المنطقة الاستوائية، الأمازون، الكنغو، ماليزيا

الجدول (2.2): الإنتاجية النباتية المرتبطة بالمناخ ( $CVP$ ) والزيادة في الهاكتار والسنة في عدد مناطق العالم (مأخوذه من بيترسون، 1962). م م = متر مكعب

تمكن باردي وبشو (1990) من إستبيان المعادلة الآتية لمشجر (*Fagus sylvatica*). تربط المعادلة بين متوسط الزيادة السنوية والإنتاجية النباتية المرتبطة المناخ.

$$dGZ = 5.20 \cdot \log_{10}(CVP) - 7.25 \quad (12.2)$$

هناك مؤشر مناخي أسهل من هذا بكثير هو مؤشر لانغ (Lang factor)، والقياس المستخدم هنا هو رطوبة المناخ Climate humidity وهو عبارة عن التقارب بين الأمطار بالمليمترات ومتوسط درجة الحرارة بالدرجات المئوية أثناء فترة الإخضرار (من مايو حتى سبتمبر).

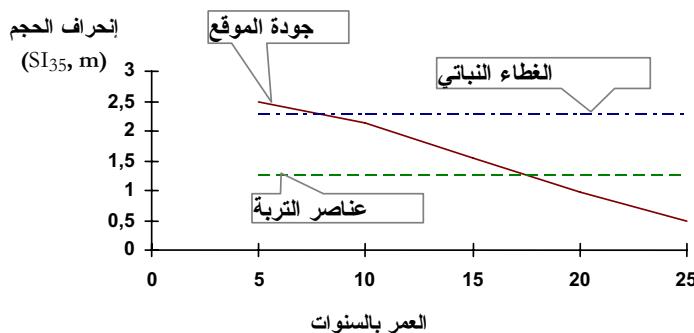
من المشاكل التي تعيق استخدام مؤشرات في هذا النظام (في شكل أرقام تناصية) إنه يمكن وجود مؤشرات متساوية لنسب ارقام بسطها ومقامها مختلفة (مثلا  $300/10 = 600/20 = 30$ ) وهذا يشترط (يعني) ثابت هذه النسبة.

بالرغم من أن مؤشرات المناخ صممت لتوضيح الإنتاجية الخشبية في مناطق شاسعة، إلا أنها تتيح إمكانيات محدودة لتحديد درجة جودة الموقع في مشاجر غابية حقيقة. ففي الممارسة العملية تعطي نتائج خرائط الغطاء النباتي في الواقع معلومات مهمة. يمكن الإستفادة من المعلومات الناتجة من تحرير الموقع (site mapping)، وبالاستعانة بالمعادلات التأثيرية على النوع الشجري المحدد يمكن تحويل هذه المعلومات إلى معلومات ذات علاقة بالنمو.

#### مقارنة بين طرق تحديد جودة الموقع

يتطلب تقييم الطرق المختلفة المستعملة لتحديد درجة جودة الموقع وضوح الدافع أو الهدف من التصنيف. يعتبر تصنيف الموقع إلى درجات جودة شرطاً أساسياً للتخطيط الغابي، فمن ناحية التصنيف على التبن بالإنتاج المستقبلي ومن الناحية الأخرى يساعد على تقييم الموقع نفسه والتتأكد من الظروف المحيطة بالموقع لم يحدث بها أي نوع من التغير.

هذا يبرز السؤال: أي هذه الطرق (التي سبق ذكرها) هي الأدق لتحديد درجة جودة الموقع؟ يمكن الإجابة على هذا السؤال (فقط) إذا توفّرت معلومات عن نسبة الخطأ في كل من هذه الطرق. بسبب عدم توفر مثل هذه المعلومات فإنه لا يمكن تقييم دقة التقدير. هنالك مصدر مقارنة متاح اقتراحته ماركيز (1991). الشكل (11.2) يوضح ذلك.



الشكل(11.2): انحراف الحجم (ح) بالنسبة لمؤشر الموقع ( $SI_{35}$ ) لنوع الشجري (*Pinus pinaster*) في البرتغال [عتماداً على نوع التصنيف وال عمر (ح = درجة جودة الموقع، ت = عمر المشجر بالسنوات)]

وجد ماركيز أن عناصر التربة تعطي تقديرات أدق فيما يتعلق بإنجازية الموقع مقارنة بعناصر الغطاء النباتي. يزداد التصنيف النباتي عن طريق الإرتفاع دقة، كلما قارب عمر المشجر العمر المرجعي للتصنيف.

إذا إستطعنا تعميم هذا النموذج فإنه من الأفضلأخذ كل المتغيرات التي لها علاقة بالنمو في الإعتبار (ما أمكن ذلك). أجريت عدة بحوث للوصول لهذا الهدف، وفي معظم الأحيان كانت النتيجة زيادة درجة عدم الوضوح. بإستطاع موسمير وشوبفر (1972) تقدير قيمة متوسط الزيادة السنوية لنوع الشجري (*Picea abies*) بدرجة عالية من الدقة وقد استعملوا في ذلك خمسة متغيرات، في حين استخدم شوقارب (1984) أربعة عناصر لتنقیل النمو (Reduction factors) وذلك عند تصميم نموذج رياضي لتتأثر هذه العناصر وهي: الضوء المنتشر ودرجة الحرارة والمحتوى الغذائي والرطوبة. من ناحية أخرى إتبع كيلوكاكى وأخرون (1993) منهجاً مماثلاً أطلقوا عليه اسم مضروب النمو (Growth multiplication) وذلك للعناصر الآتية: الضوء ودرجة الحرارة والرطوبة والنитروجين وقد إتبع كيمنس وأخرون ذات النهج مع الخوض في تفاصيل أكثر فيما يتعلق بالإمداد الغذائي.

لم يظهر اثر في هذه المقارنات للنمذاج الرياضية في تحليل الإنحدار، بدلاً من ذلك ركز الباحثون على المعلومات التي يتم جمعها روتينيا في إطار عمليات الحصر الغابي وتخريط الموقع وإستخدام هذه المعلومات بشكل فضل. يجب تحويل المعلومات التي تجمع (عادة) في شكل نوعي (مثل الإشارة إلى كميات الماء الموجودة والمعلومات عن الغطاء النباتي) إلى متغيرات كمية (عددية) وذلك بهدف الإستفادة منها في تصميم نماذج النمو.

من المؤكد أن تحسين الطريقة التي يتم بها تقييم الموقع تؤدي إلى تحسين القدرة على التنبؤ بالنمو المستقبلي، إلا انه من غير الواقعى الإعتقد بأن النمو يمكن تقديره على اساس عناصر الموقع لوحدها. من المؤثرات على نمو الشجرة المفردة (أيضاً) محيطها المباشر وذلك فيما يتعلق بخصائص التربة الموضعية

(تحت الشجرة مباشرة) والمسافات البينية للأشجار المجاورة. أخذ كل هذه المعلومات وتأثيراتها في الإعتبار، هو ما سيعرض إليه هذا الكتاب في فصله الرابع.

### 3. مورفلوجيا أشجار الغابات

تهتم البحوث المتعلقة بعمل النماذج الرياضية التي تصف نمو الأشجار بمورفلوجيا الأجزاء المكونة للشجرة خصوصاً الناج (باعتباره الجزء الذي تجري فيه العمليات الحيوية المهمة مثل النتح والتركيب الغذائي)، والساقي (الذي يشكل الجزء الاقتصادي في الشجرة) والجذور (التي تعمل على سحب الماء والمواد الغذائية الذائبة إلى أعلى الشجرة). سنتعرض في هذا الفصل إلى أهم وظائف هذه الأجزاء وفي النهاية سنورد بعض الأمثلة لنماذج رياضية مورفلوجية (Morphological models)، والتي بدأت تحتل موقعها متقدماً في تصميم النماذج الرياضية للغابات.

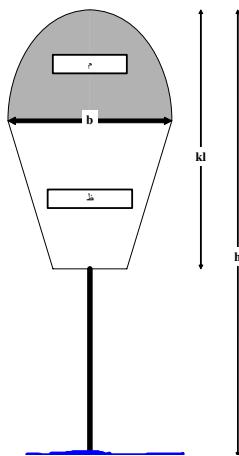
#### 1.3. الناج

الوظائف الأساسية للناج، كحامل للأوراق والزهور والثمار، هي القيام بالعمليات الحيوية والنتح، الشرط الذي يجب توفره للبحوث المرتبطة بالنمو هو عملية التمثيل الضوئي التي ترتبط مباشرة بعملية النتح. يلعب النتح دوراً أساسياً في ثبات العصارة النباتية داخل النبات، وهذه العصارة هي التي تقوم بإمداد الأوراق بالماء والغذاء، موفرة بهذه الطريقة المقومات الالازمة لعملية التمثيل الضوئي.

ليس للناج بنية ثابتة، إذ تظهر في كل عام براعم جديدة. يؤدي هذا التغيير في كل مرة إلى توزيع جديد للأوراق. يعتبر التنافس على المساحة المرتبطة بحياة الأشجار داخل المشجر. أي الجاحظ المتزايدة للمساحة الالازمة للحياة بتنقّم عمر الأشجار، من الأسباب الأساسية لإعادة التوزيع، فالأشجار تحتاج إلى زيادة المساحة على مستوى الجذور والناج. مع احتدام التنافس تموت بعض الأشجار الضعيفة، تاركة المساحات التي كانت تحتلها للأشجار الأقوى. تتسابق الأشجار في النمو ويزاحم بعضها بعضًا في الصراع على البقاء. تعاني الأشجار الضعيفة من هذه المنافسة وذلك عبر ظلال الأشجار القوية المجاورة وتكون المنافسة أشد ما تكون في منطقة الغطاء الناجي للشجرة. هناك بعض الصعوبات التي تواجه التحديد الدقيق لشكل الناج للشجرة الواقفة، لذا فإن تحليل الناج (Crown analysis) لتحديد مواضع الفروع في الشجرة وزوايا إتصالها بالساقي ودرجة استقامتها تتم (حتى الآن) في الأشجار بعد إسقاطها. تساعد مثل هذه التحاليل على معرفة تطور الناج وتساعد أيضاً في وضع أساس لتصميم النماذج الرياضية للتيجان.

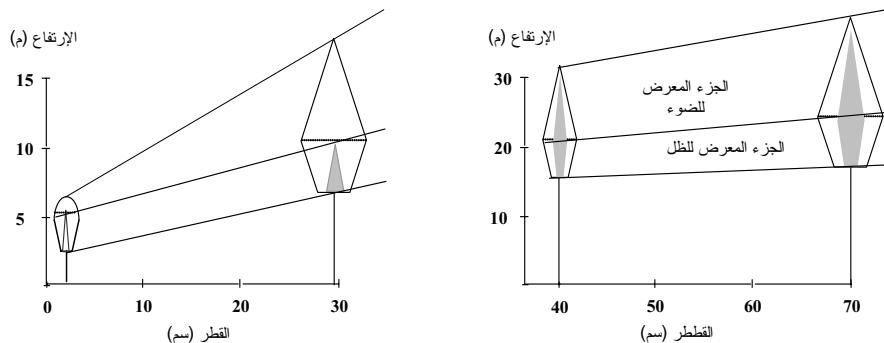
في إطار وصف الناج وتصميم نموذج رياضي له، فإنه من المهم التمييز بين الأشجار المحبة للضوء (Light-demanders) وتلك التي تملك القدرة على إحتمال الظل (Shade-demanders) وكذلك التمييز بين أشكال التيجان في الحالتين. على الرغم من وجود اختلافات مورفلوجية واضحة بين الأشجار المحبة للضوء وتلك التي تتحمل الظل، إلا أنه بين هذه وتلك كمية كبيرة من التدرجات، وأنه في نفس الناج توجد فروقات واضحة بين أجزاء الناج المعرضة للضوء وتلك الموجودة في الظل.

الشكل (1.3) يوضح شكل تخطيطي مبسط لناج شجرة وبه عناصر قابلة للقياس وهذه العناصر مهمة بالنسبة للعمل الحقلـي للغابات حيث يحتاجها الإنسان لحساب الزيادة ولتقدير درجة استقرار المشجر (Stand stability).



الشكل (1.3): شكل تخطيطي لناج شجرة وفيه ( $b$ ) = عرض الناج، ( $k_l$ ) = طول الناج، ( $h/k$ ) = نرجة إمداد الناج ( $m$  = الجزء من الناج المعرض للضوء، ظ = الجزء من الناج المعرض للظل)

يوضح القطاع العرضي للناج (الشكل 2.3) التفاوت في شكل الناج لأشجار في صفوف أعمار وصفوف قطر مختلفة لمشجرين من أشجار الصنوبر إنتماً على العمر والمعاملات الفلاحية. الجزء الداخلي في الشكل (2.3) (أي المنطقة في وسط الناج) هو الجزء الخلالي من الأوراق، وهو الجزء من الناج الذي لا يتتوفر فيه الحد الأدنى من الضوء اللازم لبقاء إعضاء التركيب الغذائي على قيد الحياة. يتفاوت هذا الجزء في مداده، معتمداً في ذلك على طول الساق ونوعه وعمر الأوراق وحالة المشجر.



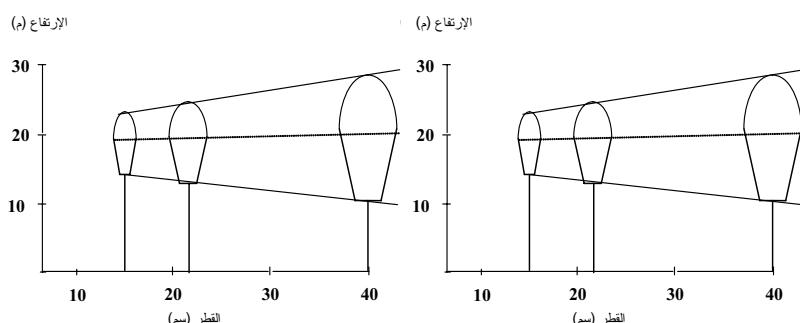
الشكل (2.3): توزيع الناج إلى جزء معرض للضوء وآخر في الظل.

الجزء المظلل يوضح المنطقة الخلالية من الأوراق ويعتمد التوزيع على العمر وحالة المشجر لنوعين من الصنوبر. إلى اليسار: من مشجر عمره 25 سنة (عالٍ الكثافة الشجرية). إلى اليمين من مشجر عمره 122 سنة (قليل الكثافة الشجرية).

يتغير شكل الناج مع تقدم العمر نظراً للزيادة التي تطرأ على الفروع الجانبية. يتفاوت هذا التطور إنطلاقاً على العمر والنوع الشجري. تتميز الأشجار ذات الأوراق العريضة (مع تقدم العمر) بانتهاء الساق الأساسية ونشوء سيفان جانبية (فروع كبيرة) متساوية الأحجام تقريباً وتعمل معاً على تحديد شكل الناج. تؤدي التأثيرات الجانبية الأخرى ، مثل ميلان الأرض في اتجاه معين وجود مساحة خالية (جوار الشجرة) على جانب واحد وتتأثير الرياح والأصوات إلى أشكال تاجية مختلفة عما سواها وتعتبر هذه حالات خاصة.

تؤثر المعاملات الفلاحية كثيراً على تطور الناج. من المعروف أن الناج يتندد إستجابة لعمليات التخفيف (السلخ) نظراً للزيادة في مساحة النمو التي توفر للشجرة نتيجة إزالة أشجار من حولها. تعتمد إستجابة الناج لزيادة حول الشجرة بشكل أساسى إلى الإجابة على هذا السؤال الآتى: هل بلغ نمو الإرتفاع قمته؟

(الشكل 3.3) يوضح مشجرين أحضنا لمعاملات فلاحية مختلفة. في عملية التخفيف من أسفل تقطع كل الأشجار الصغيرة (الجزء الأسفل من المشجر)، وبهذا يصير المشجر مكوناً من طبقة واحدة فقط. وهي الطبقة العليا وتظل تيجان الأشجار المتبقية كبيرة. في حالة التخفيف من أعلى يظل معظم الجزء الأسفل من المشجر موجوداً وتقطع أشجار من الجزء الأعلى منه (جزء من الأشجار السائدة وشبة السائدة)، وبالتالي تكون تيجان الأشجار المتبقية بعد التخفيف صغيرة نسبياً.



الشكل (3.3): المستوى التاجي لنوعي التخفيف لمشاجر النوع الشجري (*Fagus sylvatica*) في سويسرا.  
إلى اليسار: التخفيف من أسفل، إلى اليمين: التخفيف من أعلى.

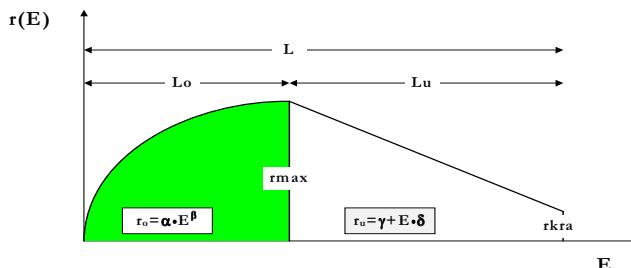
أورد كرامر (1988) مثلاً آخر لتأثير المعاملات الفلاحية على تطور الناج. ثبت من خلال التجارب أن القيام بعمليات التخفيف مبكراً تزيد من النسبة المئوية لتيجان الأشجار وбоثر كل ذلك إيجابياً على استقرار المشاجر من خلال إستقرار الأشجار المفردة فيه.

يعتبر الشكل الهندسي (المعماري) للناج عنصراً مهماً لتصميم النماذج الرياضية للنمو في المشاجر التي تتكون من عدة أنواع شجرية (مختلطة) ومتعددة الأعمار التي يتأثر نموها بالظلال الواقعة عليها والتأثيرات الجانبية الجانبية من الأشجار المجاورة. لتحديد العلاقات التنافسية في مشجر ، فإن استخدام نماذج رياضية للناج تعتبر كافية. هناك عدد من التجارب في هذا الصدد.

الوصف المثالي لشكل الناج بواسطة الأشكال الهندسية. يجب أولاً تقسيم الأشجار إلى عريضة الأوراق وإبرية الأوراق، كما يجب أيضاً التقسيم إلى تاج مواجه للضوء وأخر تحت الظل. لوصف الجزء من الناج المعروض

للضوء فإن المنحنى المحدب (Parabola) هو الأقرب ويناسب أيضاً الأشجار ذات الأوراق الإبرية. أما في النموذج الرياضي للجزء من الناتج المعرض للظل (في كلا النوعين من الأشجار) فيمكن استخدام معادلة المنحنى المحدب أو المخروط المنتفخ من أسفل (Nailed), أما نسبة طول الجزء المعرض للضوء للجزء الموجود في الظل فإنه يعتمد على الوضع الاجتماعي داخل المشجر.

الشكل (3.4) يوضح نموذج رياضي صممه الألماني بريتش وقد تم تطويره ليستعمل لثلاثة أنواع من الأشجار. لحساب الشكل الجاني للناتج تم استخدام المعادلة التراكمية (Exponential function)، أما بالنسبة للجزء الموجود في الظل فقد استخدمت معادلة الخط المستقيم. اعتبر الجزء الأعلى من الناتج كمقدمة المخروط بالنسبة للصنوبر من النوع (*Picea abies*) وتكتعيي لنوع (*Fagus sylvatica*) ومحدب تربيعي لنوع (*Abies alba*). أما بالنسبة لأنواع الثلاثة المذكورة أعلاه فقد اعتبر الجزء من الناتج الموجود في الظل شيئاً بالجزء المتضخم من المخروط.



الشكل (3.4): النموذج الرياضي لشكل الناتج، وفيه:  $(E)$  = نصف قطر الناتج بالأمتار، ويبعد مسافة  $(Em)$  من الشجرة،  $(ro)$  و  $(ru)$  = نصف قطر الناتج في الجزء المواجه للضوء والجزء الموجود في الظل على الترتيب،  $(r_{max})$  = أكبر قطر للناتج، و  $(rkra)$  = نصف قطر الناتج عند نقطة إرتكازه،  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$ ،  $\delta$  هي ثوابت تعتمد على النوع الشجري. الجدول (1.3) يوضح النموذج الرياضي لأنواع الشجرية الثلاثة.

النوع	الجزء من الناتج المعرض للضوء			الجزء من الناتج الموجود في الظل		
	$\alpha$	$Lo$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$rkra$
<i>Picea abies</i>	$r_{max} / Lo$	$L * 0.66$	1.00	$r_{max} - d \cdot Lo$	$\frac{r_{kra} - r_{max}}{L - Lo}$	$r_{max} * 0.50$
<i>Fagus sylvatica</i>	$r_{max} / \sqrt[3]{Lo}$	$L * 0.40$	0.33	$r_{max} - d \cdot Lo$	$\frac{r_{kra} - r_{max}}{L - Lo}$	$r_{max} * 0.33$
<i>Abies alba</i>	$r_{max} / \sqrt{Lo}$	$L * 0.50$	0.50	$r_{max} - d \cdot Lo$	$\frac{r_{kra} - r_{max}}{L - Lo}$	$r_{max} * 0.50$

الجدول (1.3): ثوابت النموذج الرياضي للناتج لثلاثة أنواع شجرية (أخذ من بريتش، 1992).

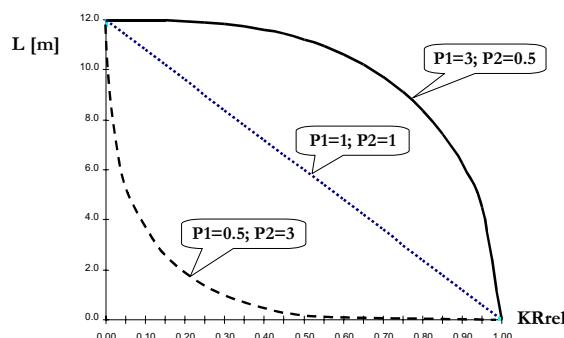
بهذا من الممكن، وفي إطار المعلومات المتوفرة من خلال عملية حصر (التي تحتوي على طول وعرض الناج) تصميم نماذج رياضية للناج، وبالتالي حساب درجة التنافس في المشاهير ذات الأعمار المتعددة، مع الأخذ في الإعتبار التزاحم على الجوانب، والتقطيل من خلال الأشجار المجاورة (المنافسة).  
هناك طريقة أخرى يذكرها كنيدلر (1986) تعتمد على ثابتين وتستعمل لحساب المساحة الخارجية للناج (المعادلة 1.3).

$$h(r) = L \cdot \left[ I - \left( \frac{r}{r_{max}} \right)^{P_1} \right]^{P_2} \quad (1.3)$$

حيث:

$$\begin{aligned} L &= طول الناج (بالเมตร) \\ r_{max} &= أكبر نصف قطر للناج (بالเมตร) \\ r &= نصف قطر الناج (بالเมตร) \\ h(r) &= أعلى نقطة لسطح الناج عند نصف القطر (r) (بالเมตร) \\ P_1, P_2 &= ثوابت الشكل (يتم الحصول عليها تجريبياً) \end{aligned}$$

يساعد النموذج الرياضي للناج في حساب الجزء (من الناج) المواجه للضوء فقط، ويناسب كل أشكال الناجان وذلك بعد ثابتي النموذج. الشكل (5.3) يصف الناج باستخدام نموذج رياضي ذي ثلاثة ثوابت.



الشكل (5.3): جانب من الناج باستخدام ثلاثة ثوابت حسب معادلة كنيدلر. ( $L$ ) = طول الناج بالأمتار، ( $KRrel$ ) = نصف القطر النسبي للناج

تمكن أوتوريسي (1991) من حساب شكل ناج شجرة الدوقلاس باستخدام معادلة تحليل الإنحدار البسيطتين (المعادلة 2.3، الشكل 6.3).

$$L = 11,6 \cdot \ln\left(\frac{E}{20} + 1\right) \quad (2.3)$$

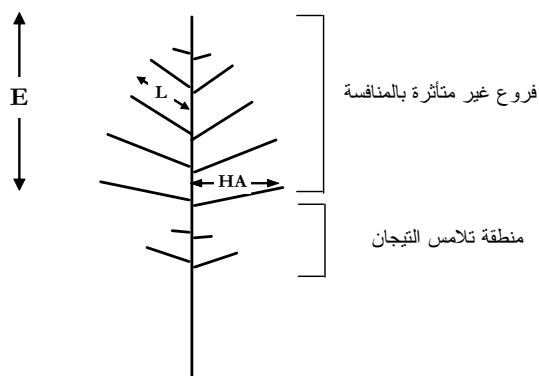
$$HA = 0,79 \cdot L \quad (2.3)$$

حيث:

= طول الفرع (بالسنتيمتر) L

= المسافة بين قاعدة الفرع وقمه (بالسنتيمتر) HA

= المسافة من قمة الشجرة الى نقطة بداية الناج من أسفل E



(الشكل 6.3): وصف شكل الناج لشجرة الدوقلاس (أخذت من أوتوريني، 1991)

تصلح معادلة أوتوريني (شكل خاص) لحساب شكل الأشجار ذات الأوراق الإبرية، بشكل عام يمكن تصنيف التجارب التي تساعد على وصف الناج إلى مجموعتين، تحتوي المجموعة الأولى على نماذج رياضية لحساب طول الناج.

1. Monseurd (1974)

$$KA = h * e^{(b_1 * h^{b_2} * d)} \quad (4.3)$$

2. Biging u. Dobbertin (1995)

$$KA = h * \left[ 1 - e^{-\left( b_1 + b_2 * G_{hag} + b_3 * \frac{h}{d_{0.9}} \right)} \right] \quad (5.3)$$

3. Nanel (1999)

$$KA = h * \left[ 1 - e^{-\left( c_1 + c_2 * \frac{h_i}{di} \right)^2} \right] \quad (6.3)$$

## 4. Dursky (2000)

$$KA = h * \left( 0.30 * + \left[ 1 - e^{\left( a_1 * \left( \frac{h}{d} - 0.4 \right) \right)} \right] \right) \quad (7.3)$$

حيث:

$$\begin{aligned} KA &= \text{ارتفاع الناج (بالمتر)} & Ka \\ d_{0,9} &= \text{القطر عند 0.1 من ارتفاع الشجرة (بالسنتيمتر)} & d_{0,9} \\ h &= \text{ارتفاع الشجرة (بالمتر)} & h \\ G_{hag} &= \text{المساحة القاعدية للمشجر الكلي (أي قبل عملية التخفيف) (المتر المربع في الهكتار)} & G_{hag} \\ a_1 b_1 c_{1,2,3} &= \text{ثوابت} & a_1 b_1 c_{1,2,3} \end{aligned}$$

أما المجموعة الثانية فإنها تحتوي على نماذج رياضية تساعد على حساب الدرجة التاجية (CR) أو الجزء الذي يمثله الناج (من الغطاء التاجي بالمشجر). تتنتمي لهذه المجموعة إسهامات هزيناور و مونسيرو و شتيربا (1995، 1997). يقرأ النموذج الرياضي الذي صممته شتيربا لحساب الجزء الذي يمثله الناج لنوع الشجري (*Picea abies*) كالتالي:

$$CR = \frac{I}{I + exp(a_0 + \sum_i a_i \cdot STO_i + \sum_j b_j \cdot Größe_j + \sum_k c_k \cdot KONK_k)} \quad (8.3)$$

حيث ان (CR) = الجزء الذي يمثله الناج و (STO) = قيمة تعبر عن عناصر الموقع و (DBH) = تعبر عن قطر الشجرة عند مستوى الصدر و (KONK) تعبر عن التنافس على مستوى الناج. طور قادر و كورو (2002) نموذجاً رياضياً للناج لمشاجر من النوع (*picea abies*) في أوكرانيا. اعتمدت التجاربها على معلومات من 107 شجرة أجريت لها عمليات تحليل كلي للسوق. شملت الدراسة 40 مشجرًا كانت تخضع لمعاملات فلاحية مختلفة. تم التوصل للنموذج الرياضي عن طريق معدلات غير خطية ويمكن عن طريقها حساب طول الناج وعرضه ومساحته. يمكن حساب الدرجة التاجية (CR) بإستعمال المعادلة الآتية.

$$CR_1 = e^{-\sqrt{a_0 + \frac{a_1 * BHD^2 - \left( a_2 * \ln(N * BHD) + a_3 * \ln\left(\frac{BHD^2}{BAL}\right) \right)}{BHD}}} \quad (9.3)$$

$$CR_2 = e^{-\sqrt{a_0 + \frac{a_1 * BHD * H + a_2 * e^{\frac{a_3}{\ln\left(\frac{N}{BHD}\right)}} + a_4 * \ln\left(\frac{BHD * H}{BAL}\right) + a_5 * e^{\frac{H}{BHD}}}{H}}} \quad (10.3)$$

حيث:

$$= \text{الدرجة الناجية} \quad CR$$

$$= \text{ارتفاع الشجرة (متر)} \quad H$$

$$= \text{قطر الشجرة عند مستوى الصدر (سم)} \quad BHD$$

$$= \text{عدد الأشجار في الهاكتار} \quad N$$

$$= \text{مجموعة المساحات القاعدية للأشجار الأكبر حجماً} \quad BAL$$

$$= \text{ثوابت} \quad a_0 .. a_5$$

الثوابت هي:

(CR <sub>1</sub> ) بدون أحد إرتفاع الشجرة في الإعتبار				(CR <sub>2</sub> ) أحد إرتفاع الشجرة في الإعتبار					
a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>
-0,2403	0,0341	-1,8627	2,6156	-0,3461	0,0484	-1,9675	6,6915	-2,1228	6,4129

يتأثر عرض وطول الناج بكتافة المشجر وال عمر وعناصر الشجرة القابلة للقياس (الارتفاع، القطر عند مستوى الصدر ومجموع المساحات القاعدية للأشجار السائدة). هناك علاقة قوية بين عرض الناج والقطر عند مستوى الصدر وإرتفاع الشجرة. تؤكد هذه العلاقة التجارب الأخرى التي تطرقنا لها في السابق. من ناحية أخرى فقد تم تطوير النماذجين الآتيين لحساب عرض الناج (CD):

$$KD_1 = a_1 * e^{\left( a_2 + a_3 * \ln(N * BHD) + \frac{a_4}{\ln(BAL * BHD)} + \frac{a_5}{BHD} \right)}$$

$$KD_2 = a_1 * \ln(N * BHD) * e^{\left( a_2 + a_3 * e^{-\left( \frac{BAL * BHD}{H} \right)} + \frac{a_4}{\ln(H * BHD)} + a_5 * \ln(BHD) \right)}$$

نظراً لعدم توفر كل المعلومات، لزرت الإشارة الى أن هذه الحالة تتطلب معرفة أن التكلفة المرتبطة بتطبيق هذه النماذج الرياضية مقاومة. لذا فإن اختيار النموذج الذي سيطبق يعتمد على نوع المعلومات المتوفرة.

الجدول أدناه يوضح قيم الثوابت لهذا النموذج الرياضي.

المعادلة	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
CD1	2,3846	0,0671	0,0495	-8,887	0,2854
CD2	0,5391	0,1117	0,0029	6,0651	-0,2601

تترواح الدرجة التاجية بين 0.2 و 0.7 وهي تتأثر عادة بالمساحة المتاحة للشجرة ووضعها الطبقي (أي عمرها). تبلغ النسبة المئوية للخطأ في كل من المعادلين أعلاه حوالي 12%.

يمكن استخدام النماذج الرياضية للتاج للمساعدة في صفات أخرى مرتبطة بالتاج، مثل مساحته الخارجية (Cm) من طول التاج (طول التاج = الدرجة × الإرتفاع) ونصف قطر التاج (Cr) وهو يساوي قطر التاج (CD) مقسوماً على 2.

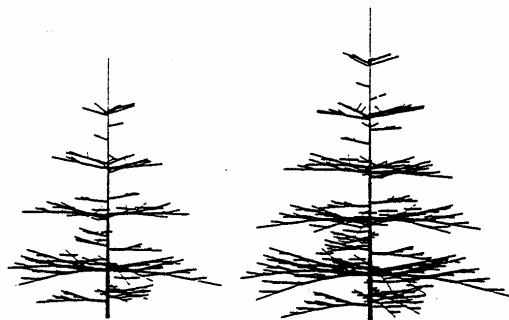
$$Km = \frac{\pi * Kr}{6 * Kl^2} * \left[ \left( 4 * Kl^2 + Kr^2 \right)^{\frac{3}{2}} - Kr^3 \right] \quad (13.3)$$

حيث:

$$\begin{aligned} &= \text{ المساحة الخارجية للتاج (بالเมตร)} && \text{Cm} \\ &= \text{نصف قطر التاج (بالเมตร)} && \text{Cr} \\ &= \text{ طول التاج (بالเมตร)} && \text{CL} \\ &= \text{ ثابت رياضي (3.14)} && \pi \end{aligned}$$

يساعد تصميم النماذج الرياضية للتاج، خصوصاً تفريغ الأشجار على فهم حركة الماء داخل النبات وبالتالي يساعد في تعميق المعرفة بالفتح وتأثيره على العمليات الحيوية. هنا يتضح الرابط بين العمليات الفسيولوجية والبيوكيميائية والمورفلوجية. من الممكن إجراء تجارب في هذا الإتجاه بغرض فهم أفضل للمخاطر التي يتعرض لها النبات، مثل فقدان الأوراق في أجزاء معينة من التاج ومحاولة ربط ذلك بالماء وحركته داخل النبات.

هناك برامج حاسوبية لتصميم البناء الهندسي لفروع الأشجار و من الممكن استخدامها، مثل لذلك تصميم التاج لشجرة الصنوبر (*Picea abies*) وفي عمر 5 و 6 سنوات (الشكل 6.3). صمم عدد من العلماء ببرامج حاسوبية تصف بناء التاج أو أجزاء محددة منه.



الشكل (6.3): الشكل الهندسي (المعماري) للصنوبر (*Picea abies*) في عمر 5 و 6 سنوات باستعمال البرنامج الحاسوبي الذي صممه كورت (1992).

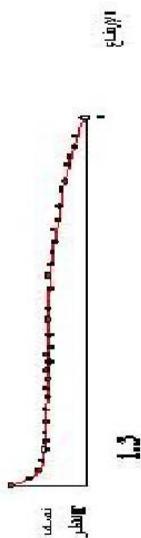
هناك طرق متشابهة في التجارب التي قام بها سوزوكى وأخرون (1992)، جايدا (1995) وغيرهم حيث اعتمدوا في تصميم النماذج الرياضية على معلومات تجريبية تختص بتوزيع زوايا الفروع وأطوالها وأحجامها.

### 2.3 الساق

الساق هو الجزء من النبات الذي ينمو أعلى الأرض ويحمل الأوراق، ولا تعتبر الفروع جزءاً منه. يساعد الساق على استقرار الشجرة ويقوم بوظيفة حمل الفروع وأجزاءها التي تقوم بالعمليات الحيوية، كما يحمل أيضاً الزهور والثمار ويمثل الوعاء الناقل للماء والمواد الغذائية من الجذور إلى التاج. كما أنه يقوم بتخزين المواد الاحتياطية ويعمل على التخلص من المواد التي لا يحتاجها النبات. يمثل الساق أهم جزء إقتصادي في الشجرة، وهذا يجعل العمل على تقدير (حساب) حجم الساق وتصنيف أحشائه هدفاً أساسياً في البحوث التطبيقية للغابات.

عند تقدير توزيع أنواع الخشب في الشجرة الواقفة يكون قد تم الإيفاء بالشرط الأساسي للتبوء بالإنتاج الخشبي، ومن ثم تقييم ما يجب القيام به في المشجر الغابي. يرتكز هذا التقدير على معرفة شكل الساق (بالإضافة إلى أشياء أخرى).

من المناسب وصف ساق الشجرة عن طريق منحنى إنسيابي (Taper curve) حيث يصف هذا المنحنى المظهر الخارجي للساق، ويكون شكله واضحاً، إذا تم نشر (شق) الساق طولياً إلى نصفين. الشكل (7.3) يوضح مثلاً للشكل الخارجي لساق شجرة (شكل مثالى). يمكن تغيير هذا الشكل بتعديل الثوابت الموجودة في النموذج الرياضي.



الشكل (7.3): شجرة قطعت طولياً. ارتفاعها 30 مترًا وقطرها 33 سم.

#### معامل الشكل

يمكن تحديد شكل الأشجار الواقفة بعدة طرق. معامل الشكل (Form factor)، على سبيل المثال هو معامل تخفيض يصف نسبة الحجم الحقيقي إلى حجم مثالي ممثلاً ببساطة حجمها بالمتر المكعب يساوي حاصل ضرب طول الشجرة (المتر) في مساحتها القاعدية (المتر المربع). يستفاد من القيمة الناتجة من هذه النسبة في حساب حجم الساق. يستخدم مصطلح معامل الشكل خطأً، لأن معامل التخفيض الذي تحدثنا عنه لا يصف الساق في حقيقة الأمر، وإنما يصف درجة وجود الخشب بالشجرة (Degree of woodiness) ولكن نظراً سهولة الحصول عليه سمي معامل الشكل. بصورة عامة فإن معامل الشكل يقل مع زيادة العمر ويزيد مع زيادة الكثافة الشجرية .

#### ثابت الشكل والإنتفاخ

يحصل الإنسان على وصف أكثر دقة لشكل الساق عن طريق ما يعرف بثابت الشكل (Form quotient)، وهو عبارة عن النسبة بين أقطار الساق في منطقتين مختلفتين على طول الساق. يمثل مجموع هذه النسب وصفاً للشكل العام للساق، يعرف بسلسلة الإنفاخات.

يمكن وصف شكل الساق عن طريق نموذج رياضي بدلاً عن النسب بين الأقطار. في هذه الحالة يمكن إستعمال العلاقة بين قطرين عند مستوى الصدر والقطر عند أطول نسبة محددة. يمكن حساب ثابت هذه العلاقة بمساعدة معادلة متعددة الدرجات (متعددة القوى).

من الطرق المفضلة وصف شكل الساق ما يعرف بالمعادلات ذات القوى التصاعدية (Spline functions) المعلومات المطلوبة للحساب هي الأقطار والإنتفاخات في عدد من النقاط على طول الساق. في هذه الطريقة

يؤخذ الساق قطعة مع إنتقال إنسابي من منطقة الى أخرى تفادي لحدوث أي فراغات في شكل الساق يجب أن تكون كل النقاط على مدى متساوي. لهذا الغرض تستخدم المعادلة ذات القوة التكعيبية المعادلة .(14.3)

$$f_i(x) = a_i + b_i(x - h_i) + g_i(x - h_i)^2 + d_i(x - h_i)^3; \in [h_i, h_{i+1}] \quad (14.3)$$

يسمح معامل الشكل باعطاء معلومات عامة عن شكل الساق معتمداً على العمر والكتافة الشجرية. بهذه الطريقة لا يمكن وصف الشكل العام للساق. يمكن أن يتم الوصف بشكل افضل عن طريق سلسلة التغيرات أو عن طريق تجزئة الساق الى قطع أو عن طريق معادلات المخروط. يمكن لهذه النماذج الرياضية أن تعطي وصفاً جيداً للشجرة المفردة، ولكنها لا تستطيع أن تعطي فكرة عن تأثير الموقع وخصائصه ولا عن المعاملات الفلاحية بالموقع وتاثيرها على شكل الساق. كحل وسط بين هذين الخيارين يمكن الوصول لوصف شكل الساق عن طريق تصميم نموذج رياضي قليل الثوابت. هنالك العديد من المعادلات التي يمكن إستعمالها لتحقيق ذلك، مثل النموذج الرياضي الذي صممته بريسلر (1965) واستعمله ديمرشالك (1973)

$$d(h)^2 = \alpha \cdot D^2 \left( \frac{H - h}{H} \right)^\beta \quad (15.3)$$

حيث:

$d(h)$  = قطر الساق (بدون لحاء) بالسنتيمتر عند ارتفاع ( $h$ ) على الساق

$D$  = القطر عند مستوى الصدر (محتوياً لللحاء) بالسنتيمتر

$H$  = ارتفاع الشجرة بالمتر

$\beta, \alpha$  = ثوابت معادلة الساق

وبإعادة صياغة المعادلة (15.3) وجعل الارتفاع ( $h$ ) موضعًا للقانون نحصل على :

$$h = H - H \left\{ \frac{d(h)^2}{\alpha \cdot D^2} \right\}^{\frac{1}{\beta}} \quad (16.3)$$

تساعد المعادلة (16.3) على حساب القطر إذا عرف طول الساق، في حين أن المعادلة (15.3) تستعمل لحساب الارتفاع إذا عرف القطر.

**مثال (1):**

في تجربة أجريت داخل مشجر مكون من النوع الشجري دوقلاس تم الحصول على الثوابت الآتية:

$$\alpha = 0.9573 \quad \beta = 1.2850$$

- أ. أحسب قطر عند ارتفاع 10 أمتار، إذا كان قطر عند مستوى الصدر = 20 سم وارتفاع الساق = 22 متر.  
 ب. في أي ارتفاع على الساق يساوي قطر 7 سم بالضبط؟

**مثال (2):**

البرنامـج التالـي (shaft) يحسب لشـجرة واقـفة (قطرـها عـند مستـوى الصـدر 16 سـم وارتفـاعـها 18 مـتر) الجـم لـكل قـطـعة مـن السـاق طـولـها 2.25 مـ حتى الحـد الأـدنـى للـقـطـر المـطلـوب وـهـو 8 سـم. يتم حـساب قـطـر القـطـعة الـأخـيرـة في السـاق عن طـريق تـحلـيل الإنـحدـار باـستـعـمال طـول السـاق وـقـطـر عـند مستـوى الصـدر. يمكن حـساب الجـم في هـذا المـثال عـن طـريق معـادـلة هـيـوبـرـ.

أثبتت أن استعمال معامل الشكل وإنسياب الساق و معاداتل الحجم يمكن أن تقود إلى أخطاء كبيرة في التقديرات (إذا لم يؤخذ توسيع المدى الذي تعطيه في الإعتبار). يمكن التخلص كلـا من مثل هذه الأخطاء أو تقليلـها عن طـريق الإـسـتعـانـة بـمعـادـلة سـاق بـسيـطـة وإـضـافـة قـيـاس قـطـر وـاحـد فـقط في جـزـء الأـدـنـى من السـاق. هـنـاك حاجة لـثـلـاثـة ثـوابـت كـحد أـدـنـى لـتقـديـم نـموـذـج رـياـضـي دـقـيق يـغـطـي كـل سـطـح السـاق، بما في ذـلـك جـزـء الأـسـفـل مـنـهـ، الذـي يـكـون عـادـة شـدـيد التـشـوهـ.

**معادلة بريـنـك المـعـدـلة:**

تقرأً معـادـلة السـاق (ثلاثـة الثـوابـت) والتي إقتـرـحـها بـريـنـك وـقادـو (1986) وـعـدـلـها رـيمـر وـآخـرون (1995) كـالـاتـي:

$$r(h) = u + v \cdot e^{-ph} - w \cdot e^{qh} \quad (17.3)$$

حيـثـ:

$$r(h) = \text{نصف قطر الشجرة (سم) عند الارتفاع (h) (المتر)}$$

$$H = \text{الارتفاع الكلي للشجرة (المتر)}$$

$$r_{13} = \text{نصف قطر الشجرة عند مستوى ارتفاع الصدر (سم)}$$

$$i = \text{ثابت (نقطة مشتركة لبلوغ القمة)}$$

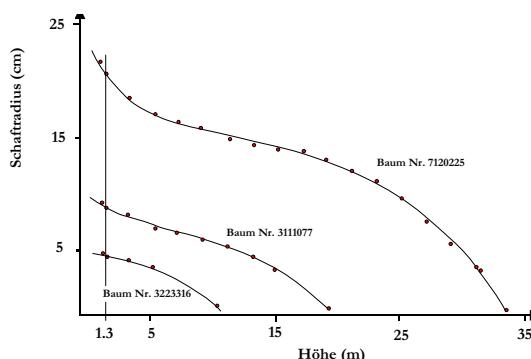
$$P = \text{ثابت (الجزء الأسفل من الساق)}$$

$$q = \text{ثابت (الجزء الأعلى من الساق)}$$

كـانت نـتـائـج إـسـتـعـمال هـذـه المعـادـلة جـيـدة جـداـ حيث إـسـتـعـملـت لـعـدـة أنـوـاع شـجـرـيةـ.

### مثال تطبيقي:

إستفاد شتاينقس (1995) من معلومات عن مجموعة مكونة من 2882 شجرة دوكلas وتغطي هذه المعلومات الإرتفاع والقطر عند مستوى الصدر وثوابت معادلة الساق المستخدمة في معادلة برينك. في البحث تم اختيار ساق يمثل هذه المجموعة (Representative stem) ثم تم تحديد متوسط للثوابت الخمسة لمعادلة الساق. أجريت مقارنة بين منحنى الساق الوسط (الذي يمثل المجموعة) الذي تم حسابه عن طريق النموذج الرياضي وبين كل من منحنيات السيقان في المجموعة (2882).المعيار الذي يستخدم لمعرفة درجة التتطابق هو الإختلافات في أشكال السيقان وكذلك في أحجامها. تحديد هذا كمياً تم في البداية تقسيم محاور أطوال السيقان إلى سنتمرات بمدى مقداره سنتمراً واحداً. داخل هذا المدى تم حساب حجم القطعة باعتبارها اسطوانة. في النهاية تم حساب القيم الطلاقة للفروقات بين كل حجمين متتاليين. في هذا المثال الذي أمامنا كانت المحصلة لقطعة رقم 3111077 أصغر ما يكون وبلغت 0.0058 متراً مكعباً. لوصف المجموعة استعملت الـ 5% الأعلى والأدنى على أساس القطر عند مستوى الصدر. يجب أن تكون هذه الـ 5% أمثلة حقيقة للمجموعة كبيرة وصغيرة الحجم من الأشجار. تمتاز هذه الطريقة بأنها لا تمثل حالات خاصة. لا تعتبر السيقان الصغيرة جداً مناسبة نظراً لعددها القليل. القطعة رقم 3224416 تمثل 5% والقطعة رقم 7120255 تمثل 95%. الشكل (8.3) يوضح صلاحية معادلة برينك المعدلة للسيقان الثلاثة.



الشكل (8.3): تطبيق معادلة برينك المعدلة على ثلاثة سيقان أشجار من مجموعة تبلغ 2882 شجرة دوكلاس (المحور السيني = الإرتفاع بالأمتار، المحور الصادي = نصف قطر الساق).

الثوابت الثلاثة قدرة خاصة للتبيير عن الأجزاء المختلفة للساق. أمكن على أساس معلومات تحليل ساق لشجرة صنوبر (*Picea abies*) عمرها 94 سنة الحصول على علاقات بين الثوابت الثلاثة وإرتفاع الشجرة ونصف قطرها عند مستوى الصدر. بإستعمال معادلة برينك يمكن أيضاً وصف تطور شكل الساق مع تقدم العمر. الجدول (2.3) يوضح معلومات السيقان الثلاثة.

القطعة من الساق	القطر (سم)	الارتفاع (م)	f	p	q	العمر
شجرة ممثلة No. 3111077	17.8	19.1	0.8307	0.3096	0.1281	46
الشجرة الـ 95% No. 7120225	41.4	33.5	0.7949	0.3259	0.1023	86
الشجرة الـ 5% No. 3223316	9.2	10.2	0.9227	0.9999	0.1966	38

الجدول (2.3): قيم ثوابت المثال التطبيقي أعلاه

## النماذج الرياضية الموحدة للساق

بما أن معادلة برينك تعمل على وصف شكل الساق على أساس ثوابت، فإنه توجد إمكانية لإيجاد علاقات بين ثوابت المعادلة والمعاملة الفلاحية للمشجر. صمم هوبي وقادو على هذا الأساس منحنى موحد يعتمد على حساب الثوابت الثلاثة بمساعدة المعادلات (18.3 - 20.3).

$$i = k_1 Dg^{-k_2} \quad (18.3)$$

$$p = e^{k_7 / Dg} \quad (19.3)$$

$$q = k_5 e^{k_6 / Dg} H^{-k_4} \quad (20.3)$$

حيث:

= القطر المحسوب من المساحة القاعدية للساق الوسطى بالمشجر (بالسنتمرات).  $Dg$

= الإرتفاع السائد بالمشجر ( بالأمتار).  $H$

$1.7962 = k_7$  ،  $1.4174 = k_6$  ،  $10.438 = k_5$  ،  $1.5012 = k_4$  ،  $1.037 = k_2$  ،  $0.4079 = k_1$

في بحوث أخرى عن شكل الساق للصنوبر (*Picea abies*) في أوكرانيا أثبتت المعادلة قدرتها على حساب الثابت (i) في معادلة برينك.

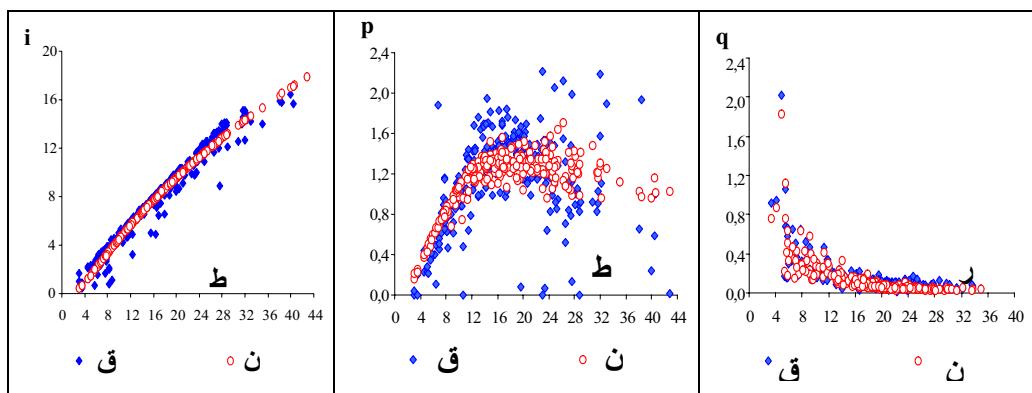
$$i = e^{\left( a_1 + a_2 * \ln(BHD) + \frac{a_3}{BHD} \right)} \quad (21.3)$$

حيث:

$$BHD = \text{القطر عند مستوى الصدر (سم)}$$

$$a_1, a_2, a_3 = \text{ثوابت (خاصة بالنوع الشجري)}$$

ثبت أن هناك إنحراف كبير جداً للثابت ( $p$ ) الذي يصف تشهو أو انتفاخ الجزء الأسفل من منحني الساق، كما يتضح أنه ليست هناك علاقة قوية بين هذا الثابت والصيغات المختلفة للشجرة المفردة أو صفة المشجر بشكل عام. أما الثابت ( $q$ ) الذي يعمل على وصف التشهو في الجزء الأعلى من الساق فقد ثبتت علاقة وأوضحت بينه وبين ارتفاع الشجرة وكذلك القطر عند مستوى الصدر بالنسبة للأشجار المفردة (الشكل 9.3)



الشكل (9.3): العلاقات بين ثوابت المعادلة ( $i, p, q$ ) والأقطار والإرتفاعات لأشجار مربوع عينة صنوبر أوكريانيا (ر=ارتفاع، ن=نتائج النموذج، ق=نتائج الفياس) (*Picea abies*)

لتصميم معادلات لحساب ثوابت معادلة برينيك المعدلة بدقة، تمت دراسة كل العلاقات بين هذه الثوابت وخصائص الشجرة من ناحية، وخصائص المشجر من الناحية الأخرى. تم حساب الثابت ( $p$ ،  $q$ ) لكل أشجار العينة من جديد، ولكن في هذه المرة بإعطاء قيمة الثابت ( $i$ ) حسب مانتج من النموذج الرياضي. أوضحت قيمة ( $q$ ) التي تم الحصول عليها بعد إعادة الحساب علاقة قوية مع القطر عند مستوى الصدر والإرتفاع بالنسبة للأشجار المفردة وكذلك بالنسبة لمساحة القاعدة للمشجر. أما إنحراف الثابت ( $p$ ) مع القطر عند مستوى الصدر فوق 12 سم، فلم ينقص إلا قليلاً (الشكل 9.3).

بأخذ هذه العناصر في الاعتبار، تم التوصل إلى معادلة للثوابت وهي تقرأ كالتالي:

$$p = \frac{H * BHD}{a_4 * BHD^2 + a_5 * \left( \frac{H}{BHD} \right)^2 + \frac{a_6}{H * G}} \quad (22.3)$$

$$q = a_7 * e^{\frac{a_8}{\ln(G)}} * (BHD * H)^{\frac{a_9}{BHD}} \quad (23.3)$$

حيث:

= ارتفاع الشجرة (المتر)	H
= قطر الشجرة (السنتيمتر)	BHD
= المساحة القاعدية للشجر (المتر في الهكتار)	G
= ثوابت المعادلة.	$a_9 \dots a_4$

بتعميض المعدلات (21.3) و (22.3) اعلاه في المعادلة (4.3) يتم الحصول على النموذج الرياضي الموحد للسوق. أمكن تحديد الثوابت الآتية لهذا النموذج الرياضي بمساعدة تحليل الإنحدار غير الخططي.

$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$
0,8566	0,5836	-6,9742	0,7038	29,2863	678,5058	0,0093	2,2657	4,9520

تعتبر المساحة القاعدية للشجر قيمة مهمة، وهي من المعلومات التي تكون متاحة عقب كل عملية حصر. لقد ظهرت خصائص إحصائية مفيدة فيما يتعلق بالعلاقة بين المساحة القاعدية للشجر والنموذج الرياضي الموحد للسوق، إذ بلغت درجة دقة التقدير ( $R^2$ ) قيمة 0.984 بالنسبة لعدد كلي مقداره 2441 عينة وبلغ متوسط مربع الخطأ (وهو الفرق بين القيم المحسوبة عن طريق النموذج الرياضي والقيم الحقيقة) 0.526 سم. يتم حساب فاعلية النموذج الرياضي (Efficiency) وفقاً للمعادلة الآتية:

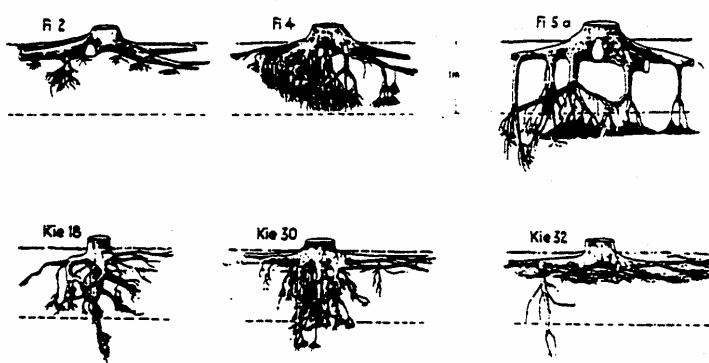
$$Efficiency = 1 - \frac{\sum_i (observed_i - model)^2}{\sum_i (observed_i - average\ observed)^2} \quad (24.3)$$

(الفاعلية تعني هنا: إلى أي حد يمكن للنموذج الرياضي أن يعطي معلومات أفضل من متوسطات القيم). يمكن لفاعلية النموذج الرياضي أن تأخذ قيمًا تقع في المدى -  $\infty$  و 1 . إذا كانت الفاعلية = 1 ، فهذا يعني التطابق الكامل بين القيم التي تم حسابها عن طريق النموذج والقيم الحقيقة والقيمة 0 (صفر) تعني أن قيم النموذج لا تختلف عن متوسط القيم الحقيقة أما الفاعلية السالبة تعني أن قيم النموذج أسوأ من نظيراتها الناتجة من متوسط القيم، وهي تمثل خطأ منتظاماً. بالقيمة التي وردت أعلاه (0.984) يمكن تقدير النموذج الرياضي بأنه فعال جداً.

### 3.3. الجذور

تتألخ وظيفة جذور الشجرة في تثبيت الشجرة على الأرض وأخذ الماء والمواد الذائبة وت تخزين المواد الإحتياطية. ترتبط قدرة الشجرة على الحياة بأخذ الماء والمواد الغذائية عن طريق الجذور والشعيرات الجذرية وكذلك انسياپ هذه المواد إلى الساق ثم إلى الناج. فيما يتعلق بأخذ المواد الغذائية تقوم المواد الميكروية بدور تكافلي بين الفطريات وجذور الشجرة، من الممكن تمييز الجذور بناءً على أحجامها. اقترح ميشنرلش (1978) اعتبار الجذور التي يزيد قطرها عن 2 ملم جذوراً كبيرة وذلك التي يتراوح نصف قطرها بين 0.5 و 2 ملم جذوراً رفيعة، أما التي يكون متوسط قطرها أقل من 0.5 ملم فقد اعتبرها جذوراً رفيعة جداً. من الممكن أيضاً تمييز بين مختلف أنواع الجذور وتحديد مميزات النظام الجذرية على أساس إنتشارها في التربة. يمكن للجذور أن تخرج من الساق وتغوص مباشرة إلى داخل التربة أو تنتشر أفقياً وقد تستمر أفقية أو تخرج منها جذور أخرى تغوص أو ربما تنمو مائلة (تختلف التربة بزاوية).

بناءً على شكل وإتجاه وتوزيع الجذور الكبيرة في التربة يمكن تقسيم الجذور حسب وصف كوسنتر (1968) إلى نظام جذري وتدري سطحي وثالث خليط بين الاثنين، وهذا الخليط بين النظمين يمكن أن يوجد بين مختلف الأنواع الشجرية وكذلك بين الأشجار من نفس النوع. الشكل (10.3) يوضح أمثلة ل المختلفة النظم الجذرية.



الشكل (10.3): التداخل في النظم الجذرية لنفس النوع الشجري (أخذت من كوسنتر، 1978).

يتحدد شكل النظام الجذرية وراثياً بشكل أساسي، غير أن هناك عدة عوامل تؤثر في شكله أيضاً، مثل درجة صلابة التربة وشكل التربة ودرجة تعريضة الصخور تحتية وحالة المياه تحت الأرض وتوزيع المواد الغذائية داخل التربة. لهذا السبب فإننا لا نستطيع التحدث عن نوع معين للنظام الجذرية لنوع شجري معين. بما أن الجذور تستطيع النمو في درجات الحرارة المنخفضة للتربة (جزئياً حتى الدرجة صفر مئوية)، فهي تختلف عن الساق في طريقة نموها. هناك تفاوت كبير في نمو الجذور خلال العام.

تموت الجذور الرفيعة أثناء فترة النمو. وجد فوجل (1983) أن النسبة المئوية للجذور الرفيعة التي تموت تتراوح بين 30% و86%. لهذا السبب نجد أن الجذور الرفيعة تمثل جزءاً قليلاً من كتلة الجذور مقارنة

بالجذور الكبيرة الممتدة. من ناحية أخرى فإن إسهام الجذور الرفيعة في الإنتاج السنوي للكتلة الحية أكبر من إسهام الجذور الكبيرة.

من الممكن أن يختلف توزيع الجذور الرفيعة والرفيعة جداً داخل التربة، من هنا تظهر أهمية هذا التوزيع في النماذج الرياضية لنمو الشجرة ونمو الجذور وبنائها الهندسي (أو المعماري). تمكن كيرن وأخرون (1961) من إثبات أن الجذور الرفيعة والرفيعة جداً توجد فقط في السنتمرات العشرة الأعلى من التربة وذلك من خلال بحوث تمت في الغابة السوداء بألمانيا، في تجارب أخرى وجد نفس هذين النوعين من الجذور بكثافة في العشرة سنتمرات التالية. من العناصر التي تؤثر سلباً على نمو الجذور (أيضاً) الامتصاص في الترب الحمضية والتسمم بالألمونيوم، وهذا يؤثر بشكل كبير على بناء النبات لنظامه الجذري، خصوصاً الجذور الرفيعة. يؤثر تغيير تركيبة التربة أثناء حركة الجذور الرفيعة (خلالها) على قدرة هذه الجذور على أخذ الماء والمواد الغذائية، وبالتالي يؤثر ذلك على نموها. من منظور التأثير على استقرار النظام الجذري يبدو أنه من المهم العمل على معرفة بناء وتطور الجذور وذلك لأن نمو الشجرة وكل العمليات الفلاحية التي يمكن أن تتم داخل الغابة تعتمد على معرفة نمو الجذور وتطورها.

أن تصميم نموذج رياضي مفصل لنمو جذور الأشجار المفردة لأمر بالغ الصعوبة، وذلك نظراً لضرورة معرفة التوزيع المائي والغذائي والعوائق التي تحد من حركة الجذور. البرنامج التالي يعتبر عملاً غير كامل لحساب نمو الجذور.

ان الشكل الهندسي للجذور لا تحدده نظم محددة كما ذكرنا من قبل، بل تحدده الظروف المحيطة. لذا يبدو أنه من المناسب تصميم نموذج رياضي لنمو الجذور على أساس أنها ظاهرة تطور في تربة أفتراضية بها توزيع مائي وغذائي معروفي.

يعتبر وصف تركيبة الجذور للأشجار الكبيرة، خصوصاً فيما يتعلق بتوزيع كتلة الجذور داخل التربة، ذو أهمية خاصة. بالإضافة للإهتمام بكمية وتوزيع كتلة الجذور الرفيعة، والتي تشير إلى أخذ المواد الغذائية والتأثيرات المتبادلة للأجزاء الدنيا من النبات وتركيبة المشجر، تجد أيضاً تركيبة الجذور الكبيرة اهتماماً زائداً نظراً لقدرتها التثبيتية، أي المساعدة على استقرار الشجرة. يرتبط الحصول على معلومات عن النظام الجذري بتკاليف عالية لتغطية حفر الجذور وقياسها وتصميم الطرق المختلفة لوصف تركيبة الجذور. لكل هذه الصعوبات نجد أن البحث الخاصة بوصف تركيبة الجذور قليلة جداً. مما يزيد الأمر صعوبة أيضاً القدرة التحويلية العالية جداً للجذور، إذ أنها تقوم بتغيير طريقها استجابة لاي مؤثرات بيئية.

من الطرق سهلة التنفيذ لتحديد بناء الجذور هي تقسيم أو تصنيف الجذور المعرة (أي بعد حفرها) إلى مناطق محددة (Compartments).

يمكن مطابقة ثوابت الجذور التي يتم قياسها في كل منطقة مع موقعها الأصلي في منطقة الجذور. من الطبيعي هنا تقسيم النظام الجذري إلى درجات عمق مختلفة ومسافات من محور الساق. يقسم النظام الجذري إلى قطع متالية تحسب أحجامها عن طريق قياس القطر الإنداي والقطر النهائي وطول كل قطعة. بهذه الطريقة يمكن حساب الكتلة الكلية للجذور وكذلك توزيعها في مختلف أعمق التربة ومختلف الإبعاد عن محور الساق.

يمكن الحصول على مؤشرات الطبيعة وسرعة نمو الجذور عن طريق توزيع الحجم (الكتلة) إلى إتجاه أفقى وأخر رأسي. من هنا أيضاً يمكن تحديد الصفات الخاصة بكل نوع من أنواع الجذور. من الأهداف الأساسية للبحث في تركيبة الجذور التمكن من تصميم نماذج رياضية لكتلة الحبة تحت الأرض وتوزيعها بناءً على علاقات موجودة على ظاهر الأرض، كال قطر عند مستوى الصدر مثلاً. بهذه الطريقة يمكن أخذ مكونات التركيبة تحت الأرض في الإعتبار عند تصميم نماذج رياضية للنمو.

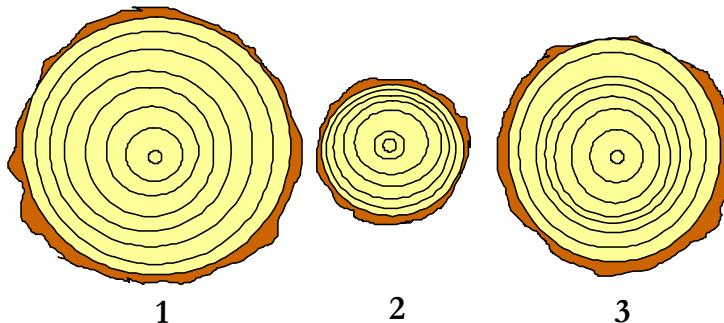
أن معرفة التركيبة وتصميم نماذج رياضية مقاربة للواقع فيما يتعلق بخصائص الموقع والتنفس والاستفادة من هذه النماذج لوضع تصور مستقبلي يمكن أن يتحقق، عندما يكون من الممكن تحديد المؤشرات الإيكولوجية كمياً، وذلك فيما يتعلق بالتنظيم والإستغلال في الغابات ذات الأنواع الشجرية المتعددة. يسمح التوزيع المكاني للجذور الدقيقة (مثلاً) بإعطاء معلومات عن أخذ الأشجار للمواد، في حين أن تركيبة الجذور الغليظة تحدد أحتمال وصول الشجرة إلى الحجم الذي يراد الوصول إليه، فكلما زاد حجم الجذور الغليظة، كلما كانت الشجرة أكثر إستقراراً الأمر الذي يجعل من الممكن مواصلة الشجرة للنمو حتى عمر متاخر.

#### 4. كثافة وتركيبة المشجر

يتم تقدير الغابة عبر كثافة وتركيبة المشجر. توضح الكثافة كمية الأشجار الموجودة داخل المشجر، أما التركيبة فهي توضح شكل توزيع الأشجار داخل المشجر. لا تؤثر كثافة وتركيبة المشجر في احتمالات العوامل الفلاحية فحسب، بل تؤثران أيضاً على الطريقة التي تنمو بها الأشجار. توضح كثافة المشجر الكثافة بالنسبة للمجموعة الشجرية الكلية، في حين أن كثافة النقطة تصف المحيط المباشر لشجرة معينة.

#### 1.4. كثافة المشجر

الشكل (1.4) يوضح مثلاً لتأثير كثافة المشجر على نمو القطر بالنسبة لثلاث شجرات صنوبر (*Picea abies*) في عمر 9 سنوات، أخذت من مرابع عينة بمنطقة ويزا بجنوب إفريقيا.



الشكل (1.4): ثلاثة قطاعات أفقية عند مستوى الصدر لثلاث شجرات صنوبر في عمر 9 سنوات، منطقة ويزا بجنوب إفريقيا (أخذت من كريب، 1939).

الشجرة رقم (1) تنمو في منطقة خالية (لاتوجد أشجار حولها)، الشجرة رقم (2) تنمو في مشجر ذي كثافة عالية أما الشجرة رقم (3) فإنها توضح زيادة ظاهرة في نمو القطر بعد عملية تخفيض (تشلخ). من المعابير التي تستخدم لقياس كثافة المشجر: المساحة القاعدية للمشجر ومؤشر كثافة المشجر والمسافات النسبية بين الأشجار ومعامل التنافس الناجي.

##### 1.1.4. المساحة القاعدية للمشجر

تمثل المساحة القاعدية للأشجار (في المشجر) أكثر الطرق إستعمالاً لقياس الشجرة. يفترض دائماً أن القطاع العرضي لساق أي شجرة عبارة عن مساحة دائرة. بناءً على ذلك يمكن حساب المساحة القاعدية لاي شجرة (g) قطرها ( $d_i$ ) بالسنتيمترات كالاتي.

$$g_i = \frac{\pi}{4} d_i^2 \quad (1.4)$$

وبالتالي يمكن حساب المساحة الفaudية للأشجار داخل المشجر (G) (بالمتر المربع)، حيث أن عدد الأشجار = (n) باستعمال المعادلة الآتية:

$$G = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (2.4)$$

يمكن المقارنة بين المساحات الفaudية للأشجار بمختلف المشاجر، إذا كانت المساحات المتاحة لتلك المشاجر متطابقة. وبما أن هذه الحالة نادرة، فإننا نستخدم المساحة الفaudية في الهكتار كمعيار للمقارنة. يمكن تحقيق ذلك إذا قمنا بقسمة المساحة الفaudية بكل المشجر على مساحة المشجر بالهكتار.

مثال: في مشجر ما توجد 1000 شجرة في مساحة مقدارها 2 هكتار، قطر كل من هذه الأشجار يساوي 20 سم. إذن المساحة الفaudية تساوي  $1000 / (3.14 \times 4000 \times 20^2) = 15.7$  متر مربع. كلما زاد عدد الأشجار الكبيرة في المساحة، كلما كانت المساحة الفaudية للمشجر عالية. إذا ظل عدد الأشجار ثابتاً فإن المساحة الفaudية، وبالتالي كثافة المشجر، ستزيد مع زيادة العمر ويحدث ذلك نتيجة لنمو الأشجار.

#### 2.1.4 مؤشر كثافة المشجر

يعتبر مؤشر كثافة المشجر معياراً آخر لقياس كثافة المشجر. يحتاج إستعمال هذا المعيار إلى معرفة عدد الأشجار في الهكتار والقطر المحسوب من المساحة الفaudية للشجرة الوسطية ( $d_g$ ) بالمشجر. لحساب مؤشر كثافة المشجر هناك نموذج رياضي يحتوي على عدد الأشجار المتوقع مرتبطة بالقطر المحسوب من المساحة الفaudية للشجرة الوسطية (المعادلة 3.4).

$$N = \beta_0 \cdot (d_g)^{-\beta_1} \quad (3.4)$$

يمكن إستعمال المعادلة (3.4) لإيجاد العلاقة بين ( $d_g$ ) والعدد الأقصى الممكن من الأشجار، شريطة أن تكون قيمة  $\beta_0$  و  $\beta_1$  معروفتان.

إذا افترضنا أن أقطار كل الأشجار بالمشجر متطابقة، فهذا يعني أن  $d_1 = d_2 = \dots = d_i = d$  وفي هذه الحالة تصبح المعادلة:

$$N \cdot (d)^{\beta_1} = \beta_0 \quad (4.4)$$

إذا افترضنا أن ( $\beta_1 = 2$ ، فإن المساحة المطلوبة لكل شجرة تتناسب طردياً مع مساحتها الفaudية، وإذا افترضنا أن ( $\beta_1 = 1$ ، فإن المساحة المطلوبة يجب أن تتناسب طردياً مع قطر الشجرة.

نظرياً يمكن حساب عدد الأشجار من القطر المحسوب من المساحة الفاعدية للشجرة الوسطية، وهذا أيضاً تحت شرط أن الثابتين  $(\beta_0)$  و  $(\beta_1)$  معروفاً القيم. يتم حساب المؤشر (النطري) لكثافة المشجر الذي يعطي عدد أشجار قطر محسوب من المساحة الفاعدية للشجرة الوسطية. 25سم مثلاً كالتالي:

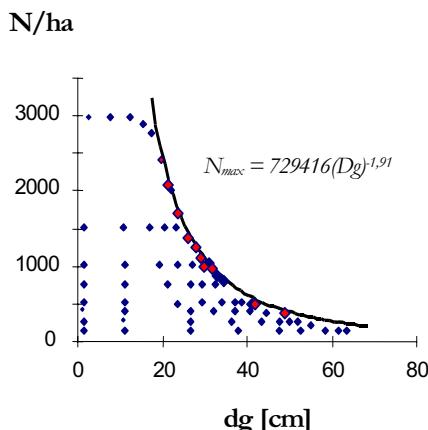
$$SDI = \beta_0 \cdot (25)^{-\beta_1} \quad (5.4)$$

بدمج المعادلتين (3.4) و (5.4) نحصل على المعادلة (6.4) التي يمكن عن طريقها حساب مؤشر كثافة المشجر (SDI) من العدد الحقيقي للأشجار (N) والقطر المحسوب من المساحة الفاعدية للشجرة الوسطية  $(d_g)$

$$SDI = N \cdot \left( \frac{25}{d_g} \right)^{-\beta_1} \quad (6.4)$$

من مؤشر كثافة المشجر يمكن معرفة الكثافة الشجرية.

تستعمل العلاقة الموجودة في المعادلة للتعبير عن الكثافة الممكنة للمشجر التي تتم عن طريقها معرفة العدد الأقصى الممكن من الأشجار الحية التي يمكن أن توجد قطر معين. هناك إمكانية لإيجاد العلاقة بين عدد الأشجار (N) والقطر  $(d_g)$  وذلك بعرض عدد كبير من مساحات العينة (عدد الأشجار مع القطر المطابق) بيانياً تم البحث عن نسبة الثوابت للمعادلة (الشكل 4.4). بمساعدة هذا النموذج الرياضي يمكن التأكد مما إذا كانت الكثافة الموجودة حرجة أم لا، أو ما إذا كانت الكثافة المحتملة للمشجر قد تم تحطيطها أم لا.



الشكل (4.4): العلاقة الحدية بين القطر وعد الأشجار لثمانية مرابيع عينة بها أعداد مختلفة من أشجار النوع في منطقة توكياي بجنوب أفريقيا (*SPHA*) = عدد الأشجار في الهاكتار، (*D*) = القطر.

لقد تمت محاولات كثيرة لنفسير النظم الموجودة في الغابات بنماذج رياضية بسيطة تسهيلًا لحساب مؤشر كثافة المشجر.

أمثلة:

الثوابت  $(\beta_0 = 100000)$  و  $(\beta_1 = 1.5)$  يصفان العلاقة بين  $(d_g)$  والعدد الأقصى الممكن لعدد الأشجار  $(N)$  على حسب المعادلة (5.4).

أ. بإفتراض أن مؤشر الكثافة للمشجر (نظريًا) هو  $SDI = 800 = 100000 \times (25)^{-1.5}$

بما أن القطر في المشجر = 25 سم ، فإن العدد الأقصى الممكن من الأشجار = 800 شجرة.

ب. يبلغ عدد الأشجار في مشجر 1000 شجرة، القطر 12 سم.

$1000 = SDI = 1000 = (12/25)^{-1.5} = 332.6$  وهذا العدد من 800 بكثير، مما يعني أن الكثافة الحقيقية للمشجر مقارنة بالعدد الأقصى (الممكن) تعتبر قليلة جدًا.

ج. كم عدد الأشجار التي يمكن أن تستمر في البقاء عندما يصل القطر 12 سم؟

$$N = 2406 = (12)^{-1.5} \times 100000$$

### 3.1.4. المسافات النسبية بين الأشجار

من الطرق السهلة لقياس الكثافة الشجرية ما يعرف بالمسافات النسبية بين الأشجار (Relative spacing) ويرمز لها بـ  $(RS)$  وتحسب عن طريق عدد الأشجار في الهاكتار  $(N)$  والإرتفاع السائد للمشجر  $(H_0)$ . المعادلة (7.4).

$$RS = \sqrt{\frac{10000}{N}} H_o \quad (4.7)$$

بزيادة عدد الأشجار مع ثبات الإرتفاع السا تزيد كثافة المشجر وتقل قيمة (RS). البسط في المعادلة أعلاه هو عبارة عن قيمة متوسط المسافات بين الأشجار المجاورة.

مثال:

في مشجر مختلط متوسط المسافات بين الأشجار قبل عملية التخفيف (الشلخ) 3 أمتار (1111 شجرة في الهاكتار) وصار 4 أمتار بعد عملية التخفيف (625 شجرة في الهاكتار) بارتفاع سائد ( $H_0$ ) يساوي 20 مترا. إذن قلت الكثافة الشجرية بعد التخفيف وزادت قيمة (RS) من 20 (%) إلى  $=4/20 = 20\%$ .

#### 4.1.4. معامل التنافس الناجي

يصف معامل التنافس الناجي بالنسبة (العلاقة) بين مجموع مساحة تيجان الأشجار بالمشجر ومساحة المشجر. كلما زاد مجموع مساحة التيجان، كلما كان المشجر ذو كثافة شجرية عالية. لاستبيان مساحة غطاء ناجي تخيلية علينا أولاً إيجاد علاقة بين القطر عند مستوى الصدر ( $D_i$ ) بالسنتيمترات وقطر الناج ( $CD_i$ ) بالأمتار لشجرة (واحدة) تنمو بشكل منفرد (المعادلة 8.4)

$$CD_i = \alpha_0 + \alpha_1 D_i \quad (8.4)$$

يتم حساب الثوابت ( $\alpha_0$ ) و ( $\alpha_1$ ) عن طريق الأشجار المفردة. يمكن حساب مساحة التغطية الناجية لشجرة مفردة ( $CS_i$ ) بالمتر المربع عن طريق المعادلة (9.4).

$$CS_i = \pi \left( \frac{CDi}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} (\alpha_0 + \alpha_1 D_i)^2 \quad (9.4)$$

إذن مجموع مساحات الغطاء الناجي لا تحسب (بساطة) كمجموع مساحات الغطاء الناجي الحقيقية، بل كمجموع لمساحات الغطاء الناجي المحسوبة لأشجار مفردة 0 يتم حساب معامل التنافس الناجي كالتالي:

$$CCF = \frac{1}{F} \left( \sum_{i=1}^n CS_i \right) \quad (10.4)$$

حيث:

$$F = \text{مساحة المشجر بالمتر المربع.}$$

عندما تكون قيمة  $(CCF) = 1$  مثلاً فهذا يعني أن قطرات الأشجار عند مستوى الصدر في المشجر موزعة بحيث أن الغطاء الناجي المتوقع يغطي مساحة المشجر تماماً (في ظروف نمو مثلى، كما في حالة الأشجار المفردة). عندما يكون  $(CCF)$  أقل من 1، يفترض الا تكون منافسة، أي أن مجموع مساحات الغطاء الناجي التي تكون موجودة في ظروف نمو مثالية أقل من مساحة المشجر. عندما تكون  $(CCF)$  أكبر من 1، فإن الأشجار تحت ضغط تنافسي.

#### 2.4. التغطية الناجية

في حين أن كل المعابر التي سبق ذكرها تستعمل لحساب كثافة المشجر على أساس المجموعة الشجرية داخله، فإن التغطية الناجية تحسب على أساس الحالة التنافسية للأشجار المفردة، مع عدم معرفة مكان هذه الأشجار. يمكن حساب التغطية عن طريق الجزء المئوي للمساحة القاعدية وأيضاً عن طريق ما يعرف بالمؤشر C66 ومؤشر GD.

##### 1.2.4. الجزء المئوي للمساحة القاعدية (المساحة القاعدية للأشجار الأكبر)

يعتبر الجزء المئوي للمساحة القاعدية (Basal area percentile) مقياساً للوضع الاجتماعي للشجرة داخل توزيعات المساحات القاعدية للمشجر. لحساب الجزء المئوي للمساحة القاعدية يجب أولاً الحصول على المساحات القاعدية للأشجار. تحسب المساحة القاعدية للشجرة الواحدة ( $gi$ ) عن طريق قطرها ( $di$ ).

$$g_i = \frac{\pi}{4} d_i^2 \quad (11.4)$$

من المساحات القاعدية للأشجار داخل المشجر يمكن حساب المساحة القاعدية بالمشجر ( $G$ )

$$G = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (12.4)$$

الجزء المئوية من المساحة القاعدية ( $P_i$ ) الذي تمثله الشجرة ( $i$ ) يساوي الجزء من المساحة الكلية الذي تحتله الأشجار المكونة للمساحة القاعدية، والتي يمكن أن تكون أقل أو متساوية للمساحة القاعدية.

$$p_i = \frac{1}{G} \sum_{\substack{j=1 \\ g_j \leq g_i}}^n g_j \quad (13.4)$$

مثال: في الجدول أدناه 10 شجرات في مشجر، وضعت كل شجرة مع القطر والمساحة القاعدية المطابقة لها:

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_i$ [cm]	20	21	23	27	31	32	33	37	37	41
$g_i$ [ $m^2$ ]	0.031	0.033	0.042	0.057	0.075	0.080	0.086	0.108	0.108	0.132

تبلغ المساحة القاعدية للأشجار العشرة 0.752 مترًا مربعاً

الجزء المئوي الذي تمثله الأشجار حتى الشجرة 4 يمكن حسابه كالتالي:

$$p_4 = (0.031 + 0.033 + 0.042 + 0.057) / 0.752 = 0.163 / 0.752 = 21.7\%$$

أي أن 21.7% من المساحة القاعدية تمثله أشجار لها مساحات قاعدية تقل عن أو تساوي 0.057% (أي المساحة القاعدية للشجرة 4).

يوضح الجزء المئوي من المساحة القاعدية فقط عن الترتيب الإجماعي للشجرة المحددة، لكنه لا يعطي اعتباراً لكتافة المشجر. في بعض الأحيان تستخدم المساحة القاعدية للأشجار الأكبر (Basal Area) ونكتب اختصاراً (BAL) كمقاييس للتغطية الناجية. يمكن استباط الجزء المئوي للمساحة القاعدية (Larger من المساحة القاعدية التراكمية كالتالي.

$$p_j = 1 - \left( \frac{GG_{ij}}{G_i} \right)$$

$$, GG_{ij} = G_i \cdot (1 - p_j)$$

حيث:

(Ggij) يساوي حاصل جمع المساحات القاعدية لكل الأشجار التي تزيد قطرها (عند مستوى الصدر) عن قطر الشجرة المرجعية (j) بالметр المربع، ( $G_i$ ) المساحة القاعدية الكلية بالمشجر (i) بالметр المربع. إذن المساحة القاعدية الأكبر لا تأخذ في الاعتبار رتبة الشجرة المرجعية فحسب، بل كثافة المشجر أيضاً. من المثال:

$$GG_4 = 0.752 \cdot (1 - 0.217) = 0.589 m^2$$

#### 2.2.4. مؤشر بالماء (BALMODINDEX)

في المشاجر متساوية العمر والتي تتكون من نوع شجري واحد يمكن استخدام مؤشر التنافس (بالماء) الذي اقترحه قادر وشروع (1999).

$$RS_i = \frac{\sqrt{10000/N_i}}{H_i} \quad \text{و} \quad p_j = 1 - \frac{GG_{ij}}{G_i} \quad \text{و} \quad Bal\ mod_{ij} = \frac{(1-p_j)}{RS_i} \quad (14.4)$$

الرموز كما وردت في الفقرتين 3.1.4 و 1.2.4.

**مثلاً:** في الجدول التالي معلومات عن 15 شجرة من مربوع عينة في مشجر من أشجار *Quercus spp.*

(j) الشجرة	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
d <sub>j</sub> (cm)	2,0	3,0	3,0	3,5	4,0	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	5,5	6,5	7,0	8,0	8,5
h <sub>j</sub> (m)	3,7	3,4	3,7	6,2	4,6	5,7	6,1	6,3	6,6	7,2	7,1	8,4	9,1	8,6	10,5
g <sub>j</sub> (cm <sup>2</sup> )	3,14	7,1	7,1	9,6	12,6	12,6	12,6	12,6	19,7	19,7	23,8	33,2	38,5	50,4	56,8
GG <sub>ij</sub>	316	302	302	293	242	242	242	242	203	203	179	146	107	57	0
G <sub>i</sub> (cm <sup>2</sup> )	319,48														
P <sub>j</sub>	0,01	0,05	0,05	0,08	0,24	0,24	0,24	0,24	0,36	0,36	0,44	0,54	0,66	0,82	1
N <sub>i</sub>	23810														
H <sub>i</sub>	9,4														
Rs <sub>i</sub>	0,0689														
Balmod <sub>ij</sub>	14,4	13,8	13,8	13,4	11,0	11,0	11,0	11,0	9,3	9,3	8,1	6,7	4,9	2,6	0

للحشارة (1) التي قطرها 7 سم وارتفاعها 3,7 متر نحصل على جزء مئوي من المساحة الفاعدية.

$$P_1 = 1 - \frac{7,1 + 7,1 + 9,6 + 12,6 + 12,6 + 12,6 + 12,6 + 19,7 + 19,7 + 23,8 + 33,24 + 38,5 + 51,4 + 56,8}{319,48} = 0,01$$

يتم حساب متوسط ارتفاع أطول 3 شجرات في مربوع العينة كالتالي.

$$H_1 = \frac{10,5 + 9,1 + 8,6}{3} = 9,4$$

يبلغ عدد الأشجار في مربوع العينة 23810 شجرة في الهاكتار. من هنا نحصل على

$$RS_1 = \frac{\sqrt{10000/23810}}{9,4} = 0,0689$$

بهذه المعلومات وإستعمال مؤشر بالمورد للشجرة 1 نحصل على:

$$Balmod_1 = \frac{1 - 0,01}{0,0689} = 14,36865 \approx 14,4$$

**C66 3.2.4 مؤشر**

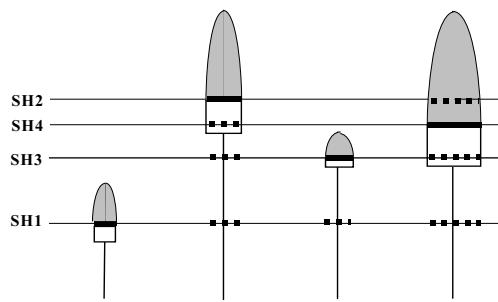
يُستعمل هذا المؤشر كمقياس لكيفية ترتيب شجرة محددة في المشجر بناءً على مساحة التغطية التاجية لهذه الشجرة مع وضع إرتفاع التاج والتغطية التاجية لكل أشجار المشجر في الإعتبار. لحساب مؤشر C66 لشجرة واحدة يجب الحصول على إرتفاعها الكلي ونقطة بداية التاج (من أسفل). يستعمل الفرق بين هذين (أي طول التاج) لتحديد نقطة بداية الحساب. هذه تساوي 66% من إرتفاع التاج (محسوبة من قمة الشجرة إلى أسفل)، ومن هنا جاءت التسمية للحصول على هذا المؤشر يتم حساب مساحة التغطية التاجية لكل الأشجار. بشكل عام هنالك 3 حالات:

- أ. أن يقع إرتفاع نقطة بداية التاج للشجرة المنافسة فوق الإرتفاع المحسوب أعلى للشجرة المرجعية. في هذه الحالة تؤخذ مساحة التغطية التاجية للشجرة المنافسة كاملة.
- ب. أن يقع إرتفاع الشجرة المنافسة تحت إرتفاع القطعة، في هذه الحالة لا تؤخذ الشجرة المنافسة في الحساب.
- ج. فيما عدا ذلك تؤخذ التغطية التاجية للأشجار المنافسة عند نقطة التنافس للشجرة المرجعية في الإعتبار.

يمكن الحصول على مؤشر C66 لشجرة مختارة (i) في مساحة مقدارها 1000 متر مربع باستعمال المعادلة (14.4):

$$C66_i = \sum_j KS66_j / 10000 \quad (14.4)$$

مثال: في مشجر صنوبر (*Picea abies*): في مساحة مقدارها 30 متراً مربعاً توجد 4 شجرات كما في الشكل (1.4) بارتفاعات كلية وإرتفاعات نيجان مختلفة.



رقم الشجرة	1	2	3	4
القطر عند مستوى الصدر (بالسم)	10	25	15	30
الارتفاع (المتر)	12	24	15	24
نقطة بداية الناج ابتداء من سطح الأرض(المتر)	6	15	12	12
طول الناج(المتر)	6	9	3	12
ارتفاع أعرض جزء في الناج عن سطح الأرض (المتر)	8	18	13	16
نصف قطر الناج (المتر)	0.95	1.8	1.25	2.05
المساحة الخارجية للناج (المتر المربع)	24.1	68.8	16.6	104.1

الشكل (4.1): مشجر صنوبر (*Picea abies*) إفتراضي به 4 شجرات في مساحة 30 متر مربع.

يساوي مؤشر C66 حاصل جمع مربعات نصف أقطار التيجان عند النقطة الأعرض في تاج الشجرة المرجعية مضروباً في  $\pi$  مقسوماً على مساحة المشجر. للشجرات الأربع في المثال نحصل على القيم الآتية للمؤشر C66:

الشجرة	C66
1	$\frac{\pi}{30} (0.95^2 + 1.8^2 + 1.25^2 + 2.05^2) = 1.04$
2	$\frac{\pi}{30} (0 + 1.8^2 + 0 + 1.77^2) = 0.67$
3	$\frac{\pi}{30} (0 + 1.8^2 + 1.25^2 + 2.05^2) = 0.94$
4	$\frac{\pi}{30} (0 + 1.8^2 + 0 + 2.05^2) = 0.78$

#### 4.2.4 مؤشر المساحة القاعدية- القطر

يعتبر مؤشر المساحة القاعدية- القطر من أسهل الطرق لوصف حالة التنافس بالنسبة للشجرة الواحدة الموجودة في أي مكان (غير معلومة المكان)، ويرمز لها بـ (GD). يأخذ مؤشر (GD) في الإعتبار بالنسبة بين المساحة القاعدية (Gj) لأشجار مشجر (j) والمساحة القاعدية القصوى الممكنة للمشجر (Gmax) والنسبة

بين القطر عند مستوى الصدر (di) للشجرة المرجعية (i) ومتوسط عند مستوى الصدر (dj) للمشجر (j). يمكن المؤشر للشجرة المرجعية (i) التي قطرها (di) عن طريق المعادلة (15.4) :

$$GD_i = \left( \frac{G_j}{G_{max}} \right)^{(d_i/\bar{d}_j)} \quad (15.4)$$

هنا يجب أن يؤخذ الوضع النسبي للشجرة (i) في المشجر (j) وكذلك كثافة المشجر في الإعتبار. كلما قل قطر الشجرة المرجعية مع ثبات المساحة القاعدية ومتوسط القطر، كلما قلت قيمة المؤشر (GD). تزيد قيمة المؤشر (GD) مع نقصان مساحة المشجر وزيادة قطر الشجرة المرجعية.

### 3.4. الكثافة الشجرية في نقطة محددة

بمعرفة إحداثيات الأشجار داخل المشجر تتتوفر طرق كثيرة متعددة لوصف كثافته. من هذه الطرق يمكن وصف الكثافة في نقاط محددة (جداً) داخل المشجر. لحساب الكثافة في نقطة معينة يمكن إستعمال ما يعرف بمؤشر التنافس (Competition index). يمكن تقسيم الطرق العديدة المستعملة لتحديد حالة التنافس إلى ثلاثة مجموعات. ينتج الضغط التناافي لاي شجرة مرجعية (i) عبر:

1. مساحة التداخل (التعدي).

2. نسبة الحجم المقرونة بالمسافات البينية.

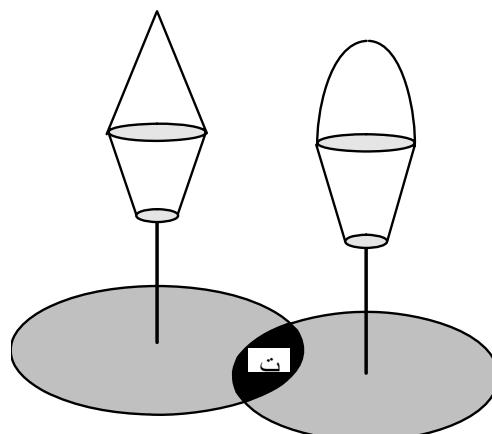
3. المساحة المتاحة للنمو.

في هذا الجزء سنتم مناقشة مساحة التداخل أو التعدي ونسبة القطر المقرونة بالمسافات البينية.

#### 1.3.4. مساحة التداخل (التعدي)

طور فيرارد (1969) مؤشرًا للمنافسة تؤخذ فيه المسافات بين الشجرة المرجعية والأشجار المجاورة لها مباشرة. تعتبر الأشجار المجاورة للشجرة المرجعية (i) الموجودة داخل منطقة التنافس أشجار منافسة لها وتعتبر الشجرة المرجعية هي المركز في دائرة هذه الأشجار المنافسة. يعتبر نصف قطر هذه الدائرة (ri) ذو علاقة بالقطر عند مستوى الصدر. إنطلاقاً من الإمتداد الحقيقي لتيجان الأشجار المنافسة يتم حساب الإمتداد المحتمل لها ولتسهيل الأمر يفترض أن يحتل تاج الشجرة المرجعية نصف مساحة الدائرة التي توجد بها الأشجار المنافسة.

لكل شجرة منافسة يؤخذ في الإعتبار الجزء من مساحة الدائرة الموجودة في منطقة التنافس (التأثير). في حالات خاصة (جداً) يمكن أن تؤخذ كل الدائرة في الإعتبار. ويعرف الجزء من مساحة دائرة الأشجار المنافسة (j) في منطقة تنافس الشجرة المرجعية (i) بمسافة التداخل (الشكل 4.4).

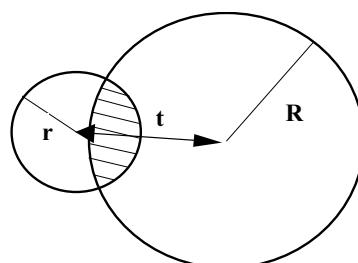


الشكل (4.4): منطقة تداخل بين شجرة مرجعية وأخرى مجاورة لها (t = منطقة تداخل)

يحسب مؤشر التنافس على طريقة قيرهارد عن طريق النسبة بين مجموعات التداخل ومساحة التنافس أو التأثير (i) المعادلة (16.4).

$$CI_i = \frac{1}{\pi \cdot r_i^2} \sum_{j=1}^m \dot{U}F_{ij} \quad (16.4)$$

يمكن حساب مساحة تداخل منطقي تنافس (تأثير) نصفي قطريهما ( $r$ ) و( $R$ ) ومتوسط المسافة بين الأشجار ( $t$ ) (الشكل 5.4) عن طريق المعادلة (17.4):



الشكل (5.4): منطقة تداخل بين مساحتي تنافس بمساحات مختلفة.

$$Area(t, r, R) = r^2 \left\{ \arccos \left( \frac{t^2 + r^2 - R^2}{2tr} \right) \right\} + R^2 \left\{ \arccos \left( \frac{t^2 + R^2 - r^2}{2tR} \right) \right\} - ty \quad (17.4)$$

$$\text{where } x_1 = \frac{t^2 + r^2 - R^2}{2 \cdot t} \text{ And } y = \sqrt{r^2 - x_1^2}$$

كلما زاد عدد الأشجار ذات التيجان القابلة للإمتداد في المنطقة المجاورة للشجرة المرجعية، كلما زادت قيمة مؤشر التنافس. إذا تتقاطع مناطق التأثير المتجاورة مع منطقة التأثير (i)، حيث توجد الشجرة المرجعية، فإن مؤشر التنافس يأخذ القيمة صفر. من الصعوبات التي تواجه هذه الطريقة عدم وجود نظام صالح بيولوجيا لتحديد حجم مناطق التنافس.

#### 2.3.4. النسبة الرابطة بين الأقطار والمسافات البينية

يعتمد الضغط التناافيسي (على أي شجرة) على أبعاد (أحجام) الأشجار المجاورة لها والمسافات البينية. في هذه الطريقة يتم جمع الأقطار عند مستوى الصدر (و أي أبعد أخرى) للشجرة المنافسة (j) والشجرة المرجعية (i) ثم تقرن (توزن) هذه المقاييس بالمسافات بين الشجرة المنافسة والشجرة المرجعية. تعتمد هذه الطريقة على معادلة هيقي (1974):

$$HgCI_i = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{d_i} \frac{1}{Abst_{ij}} \quad (18.4)$$

حيث:

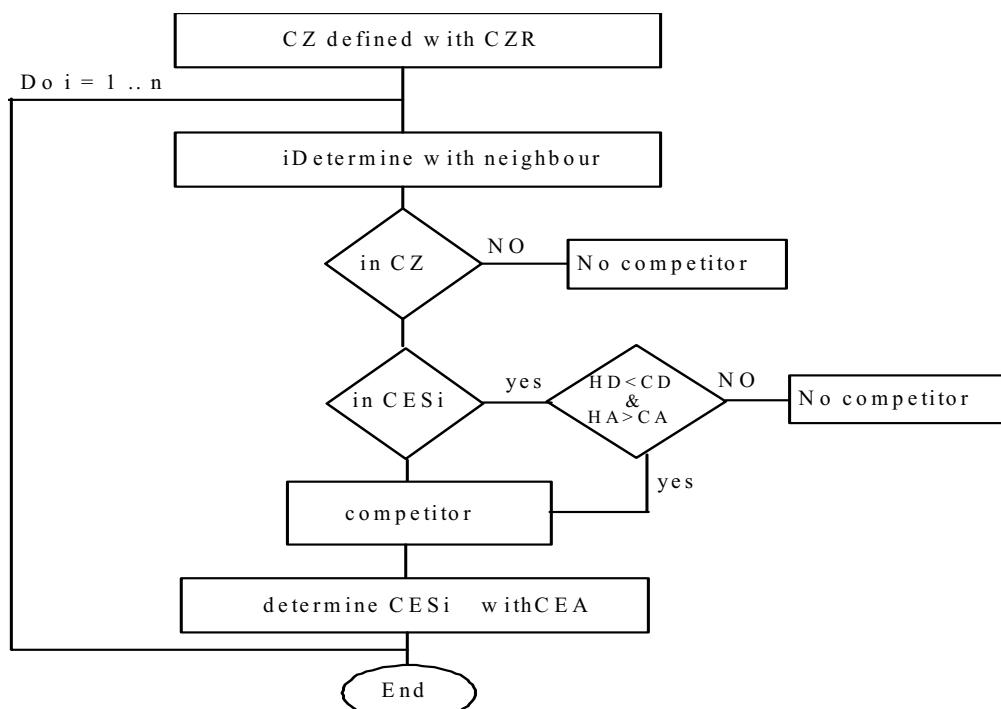
$$\begin{aligned}
 HgCI_i &= \text{مؤشر هيقي: مؤشر التنافس للشجرة المرجعية.} \\
 d_j &= \text{القطر عند مستوى الصدر للشجرة المنافسة (j) بالسنتيمترات} \\
 d_i &= \text{القطر عند مستوى الصدر للشجرة المرجعية (i) بالسنتيمترات} \\
 Abst_{ij} &= \text{المسافة بين الشجرة المرجعية والشجرة المنافسة لها} \\
 n &= \text{عدد الأشجار المنافسة.}
 \end{aligned}$$

إن مؤشر هيقي ليس فقط صحيحاً من الناحية النظرية، وإنما يمتاز أيضاً بأن المعلومات التي يحتاجها قليلة جداً مقارنة بالمؤشرات الأخرى. هنالك دائماً سؤال يتadar إلى الذهن عند تطبيق هذه الطريقة: أي الأشجار المجاورة يمكن اعتبارها أشجاراً منافسة؟ حدد هيقي مساحة ثابتة حول الشجرة المرجعية نصف قطرها 10 أقدام. كل الأشجار داخل هذه الدائرة تعتبر منافسة. هنالك مشكلة في تطبيق مؤشر هيقي على الغابات النقبية (المكونة من نوع شجري واحد) ومتقاربة العمر، وهي أن قيمة المؤشر تنقص بزيادة العمر. يزيد متوسط المسافات بين الأشجار، وبهذا ينقص تلقائياً عدد الأشجار المنافسة التي تم تحديدها في السابق في المساحة الثابتة للدائرة.

من الطرق التي تستخدم كثيراً لتحديد الأشجار المنافسة طريقة الزاوية الحودية. في هذه الطريقة يبدأ العمل دائماً ابتداءً من الشجرة المرجعية ويستخدم منشور الزوايا بفتحة محددة. كل الأشجار المجاورة للشجرة

المرجعية التي تكون أقطارها (عند مستوى الصدر) أكبر من فتحة الزاوية، تعتبر أشجار منافسة. من محاسن هذه الطريقة أنه يمكن تجاوز المساحة الثابتة للدائرة، ولكنها من الناحية الأخرى لا تستطيع تحديد الأشجار المنافسة التي لا يمكن رؤيتها نظراً لوقوعها خلف الأشجار القريبة من الشجرة المرجعية (محبوبة عن الرؤوية). في بعض الأحيان قد توجد أيضاً أشجار صغيرة (تعتبر نظراً لصغر أحجامها) وهذه لا تؤخذ في الإعتبار رغم تأثيرها، تحديد الأشجار المنافسة على الأشجار النشطة (كبيرة الحجم).

طور لي وقادو (1997) طريقة تحديد الأشجار المنافسة، وبحث الطريقة بشكل مستمر عن الأشجار المنافسة النشطة في منطقة تنافس محددة. تؤخذ الأشجار المجاورة للشجرة المرجعية الواحدة تلو الأخرى لمعرفة ما إذا كانت الشجرة المنافسة نشطة أم لا (الشكل 6.4). الشجرة المنافسة وهي (فقط) الشجرة التالية للشجرة المرجعية داخل منطقة تنافس محددة.



الشكل (6.4): يوضح تحديد الأشجار المنافسة ( $CZ$  = منطقة التنافس،  $CZR$  = نصف قطر منطقة التنافس،  $CES$  = جزء إستبعاد المنافسة،  $CEA$  = زاوية إستبعاد المنافسة،  $HD$  = الزاوية الأفقية،  $HA$  = المسافة الأفقية،  $CA$  = الزاوية الحرجة،  $CD$  = المساحة الحرجة).

تحدد منطقة التنافس ( $CZ$ ) لكل شجرة مرجعية كدائرة نصف قطرها ( $CZR$ ) والذي يكون تحديده قد تم مسبقاً ويحسب كالتالي:

$$CZR = k \cdot \sqrt{\frac{10000}{N}} \quad (19.4)$$

حيث: (k) = ثابت، (N) = عدد الأشجار في الهكتار.

في البداية تصلح كل الأشجار داخل منطقة التنافس كأشجار يمكنها منافسة الشجرة المرجعية. إذا كانت الأشجار التي يمكنها المنافسة (داخل منطقة المنافسة) يغطي بعضها بعضًا، تعتبر الشجرة الأقرب للشجرة المرجعية هي الشجرة المنافسة. إذن هناك شجرة لها القدرة على المنافسة (هي داخل منطقة التنافس) ولكنها بعيدة عن الشجرة المرجعية، مثل هذه تحسب داخل منطقة التنافس.

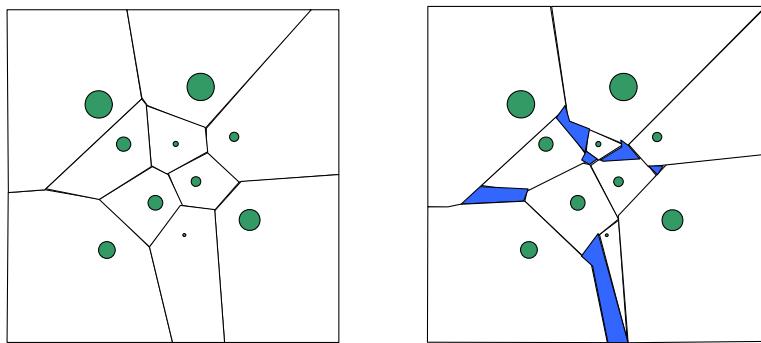
يقل عدد الأشجار المنافسة، كلما كبرت زاوية إستبعد المنافسة (CEA). مع نقصان عدد الأشجار المنافسة النشطة، تقل أيضًا قيمة مؤشر هيقي. عندما يقل (CEA) تزيد قيمة مؤشر هيقي، ويقل عدد الأشجار النشطة في التنافس (كما هو متوقع) مع زيادة (CEA)، وذلك نظراً لزيادة في (CES) أي جزء إستبعد المنافسة. يتلاصص هذا الأثر مع زيادة (CEA).

يخففي التأثير عندما تساوي قيمة (k) 1 (أنظر المعادلة 19.4). في هذه الحالة فإن نصف قطر منطقة التنافس يساوي متوسط المنافسة التي تحتاجها الشجرة، وبالتالي ليس هناك منافسة. لتحديد الأشجار المنافسة إذن يجب أن يكون نصف قطر منطقة التنافس مساوياً لمتوسط المسافة التي تحتاجها الشجرة على أقل تقدير.

أثبت مؤشر هيقي سهولته وصلاحيته ببوجيا بالإضافة إلى أنه يحتاج إلى جهد بسيط للحصول على المعلومات اللازمة لتطبيقه مقارنة ببقية المؤشرات. المأخذ على مؤشر هيقي هو أن تحديد الأشجار المنافسة غير معرف بشكل واضح. الطريقة التي تم وصفها أعلاه تختلف عن كل الطرق التي كانت تستخدم (حتى الآن) في تحديدها للأشجار النشطة في المنافسة. وذلك بأنها تهتم بالأشجار الموجودة داخل منطقة التنافس بإعتبارها جارات مباشرة للشجرة المرجعية. يتم تحديد الأشجار النشطة في التنافس خطوة تلو الأخرى. تمتاز الطريقة التي طورها لي وقادوا بقوة مؤشر هيقي وتخلص في نفس الوقت من العيب الأساسي فيها.

#### 2.2.4 المساحات الطبغرافية والإيكولوجية للشجرة

المقصود بالمساحة الطبغرافية والإيكولوجية للشجرة هو المستوى الأفقي (أو المكان) الذي توجد فيه الشجرة. تحدث كثيرون من علماء الغابات عن الأشكال الهندسية للمساحات المتاحة لكل شجرة، فقد استعملت عبارات مثل: المساحة المتاحة للشجرة، والمساحة التي يمكن إتاحتها للشجرة وغير ذلك. تحدد المساحة الطبغرافية للشجرة بتصنيف المسافة بين الشجرة المرجعية والأشجار المجاورة لها. تتبع المساحة الطبغرافية للشجرة كل النقاط في مساحة المشجر التي تقع أقرب للنقطة التي تنمو فيها شجرة مقارنة بالأشجار الأخرى المجاورة. تحدد المساحة الطبغرافية للشجرة عن طريق خطوط غير مستقيمة، تقسم المساحة المتاحة في المشجر إلى مساحات طبغرافية لكل شجرة دون أن يكون هناك أي فراغ، كما أنه لا يوجد أي اعتبار لحجم الأشجار (الشكل 7.4).



الشكل (7.4): المساحات الطبيعية والإيكولوجية لـ عشر شجرات بأحجام مختلفة.

بإعطاء أوزان للمسافات بين الأشجار المجاورة بمساعدة عناصر مختارة من عناصر نمو الأشجار (أو أجزاء منها، مثل الأقطار أو أحجام التيجان الخ.). وإعطاء كل شجرة المساحة المتساوية مع هذه العناصر، تنشأ نماذج إيكولوجية للمساحة بالنسبة لكل شجرة. في هذه الحالة فإن حدود المساحة لكل شجرة يمكن توضيحها بخطوط غير مستقيمة، ولكن توجد فراغات في هذا التقسيم. يتم حديد المساحة للشجرة بعدة طرق، فقد استعمل بيلو (1977) ومارتن (1986) تحديد المساحة لكل شجرة في مسائل تتعلق بالبيئة، أما ماسومورا (1988) وروميتش (1995) وهازينمولر (2002) فقد استعملوا النماذج الرياضية للمساحة الخاصة بكل شجرة بغرض حساب الزيادة التي تحدث في الأشجار في حين أن شتاوبندا (1977) قد استعمله في عملية حصر للتعدد الطبيعي.

#### 4.4 . التركيبة البسيطة: التكرارت التوزيعية لصفات الأشجار

لا يتم تصنيف المشاجر الغابية عبر الكثافة لوحدها، وإنما عن طريق تركيبتها أيضاً، بعبارة أخرى عبر التجاوز المكاني لمختلف الأنواع الشجرية ومختلف أحجام الأشجار. تعطي التركيبة معلومات عن توزيع صفات الأشجار داخل المشجر الغابي. من هنا لزم التمييز بين التركيبة البسيطة والتركيبة المكانية. يتم وصف التركيبة البسيطة عن طريق التوزيعات التكرارية لصفات الأشجار، أما التركيبة المكانية فإنها تتم عن طريق توزيع العلاقات بين الأشجار المجاورة. من المتغيرات المهمة في العمل الغابي قطر الشجرة عند مستوى الصدر (DBH) وإرتفاع الشجرة (H). سيتم الحديث عن التوزيعات التكرارية لهذين المتغيرين في مثال من منطقة سولينق بألمانيا لمربوع مكون من أشجار صنوبر (*Picea abies*) عمره 116 سنة. مساحة مربوع العينة 0.16 هكتار وعدد الأشجار 41 شجرة. كانت قياسات أقطار هذه الأشجار كما في الجدول (1.4).

القطر عند مستوى الصدر (سم)											
41, 41, 38, 53, 44, 42, 50, 43, 40, 44, 40, 33, 39, 32, 49, 47, 38, 40, 37, 34, 47, 37, 41, 38, 38, 43, 40, 42, 34, 39, 41, 44, 41, 45, 43, 36, 36, 46, 46, 34, 50											

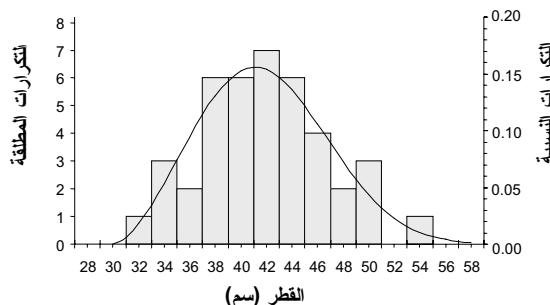
الجدول (1.4): قائمة بأقطار الأشجار (بالسنتيمتر) لمربوع عينة صنوبر (*Picea abies*) يبلغ من العمر 116 سنة في منطقة سوليني بالمانيا.

تنظم قياسات الأقطار لاي مشجر عادة بوضعها في جدول تكراري. لتحقيق هذا الهدف تشکل عادة صفوف أقطار، لكل صف قطر متوسط صف، ثم توزع القياسات الخاصة بأقطار الأشجار على هذه الصفوف. الجدول (2.4) يوضح توزيع الأقطار التي وردت في الجدول (1.4) بعد تحديد متosteات صفوف الأقطار.

القطر	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54
العدد	1	4	2	6	6	7	6	4	2	2	0	1

الجدول (2.4): توزيع الأقطار عند مستوى الصدر (من الجدول 1.4) في صفوف أقطار (مدى الصف = 2 سم)

تقسم التكرارات الى نوعين: تكرارات نسبية وأخرى مطلقة، والنوع الذي سيطبق يعتمد على نوع استخدام المعلومات. يمكن ترجمة التكرارات النسبية على أنها احتمالات تحدد لاي شجرة بالمشجر وضعها في صف قطر الذي يناسبها في التوزيع القطري. لهذا الغرض تتحول التكرارات التي تم قياسها منفردة الى توزيعات ثابتة محددة كل داخل صف القطر الذي يناسبه. من النماذج الرياضية واسعة الإنتشار في هذا الصدد معادلة ويبل (Weibull-function) (الشكل 9.4).



الشكل (9.4): التوزيع المطلق والنسبى. توزيع القياسات المفردة على صفوف أقطار (بمدى 2 سم) في شكل هستوغرام. المنحنى هو تطبيق لمعادلة ويبل.

لا يمكن باستخدام معادلة ويبل حساب الإحتمال الذي يعطي متغير معين (القطر مثلا) قيمة معينة. لكن من الممكن وضع المتغير في مدى محدد لا يتجاوزه. يمكن فهم جزيئات المساحة تحت المنحنى على أنها احتمالات. يطلق على هذا النوع من المعادلات معادلات الكثافة (Density functions). نظراً للصعوبة النسبية لمعادلة الكثافة في توزيع ويبل، تجمع كل التكرارات ومن ثم يتم الحصول على توزيع تكراري

تراكمي (الشكل 10.4). عبر تكامل معادلة ويبيل للكثافة يمكن الحصول على المعادلة التراكمية لتوزيع ويبيل ذي الثوابت الثلاثة. (المعادلة 20.4، الشكل 10.4).

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x D(X) dX = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c} \quad (20.4)$$

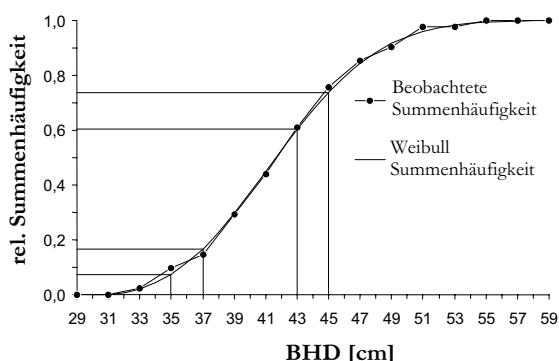
حيث:

$$\begin{aligned} X &= \text{قطر يتم اختياره عشوائياً (أي قطر)} \\ X &= \text{القطر الذي يراد حساب إحتماله، بحيث يكون أصغر من القطر الذي يتم اختياره عشوائياً (X).} \\ D(X) &= \text{معادلة الكثافة للمتغيرات الموزعة حسب توزيع ويبيل عشوائياً} \\ F(x) &= \text{المعادلة التراكمية للتكرارات للمتغير (X) بناءً على توزيع ويبيل} \\ a &= \text{ثابت يحدد الموضع في معادلة ويبيل} \\ b &= \text{ثابت يحدد المقاييس في معادلة ويبيل} \\ c &= \text{ثابت يحدد الشكل في معادلة ويبيل} \\ a &= \text{يتحدد شكل معادلة ويبيل عن طريق الثوابت } b \text{ و } c \end{aligned}$$

مثال: تبلغ تكرارات الأشجار في وصف القطر 44 باستعمال معادلة ويبيل:

$$[P(43 \leq BHD \leq 45)] = P(BHD \leq 45) - P(BHD \leq 43) = F(45) - F(43) = 0.74 - 0.6 = 0.14.$$

عند ضرب هذه القيمة في عدد الأشجار يحصل الإنسان على:  $6 = 5.74 \times 0.14 = 41$  شجرات



الشكل (10.4): التوزيعات التكرارية التراكمية للأقطار ومنحنىات القيم الحقيقية وتلك التي تم حسابها عن طريق معادلة ويبيل (ت = التكرارات التراكمية، ح = التكرارات الحقيقة، و = تكرارات ويبيل).

نقرأ المعادلة العامة لحساب ترارات وبيل في صف القطر كالتالي:

$$P(X_u < X \leq X_o) = F(X_o) - F(X_u) = e^{-\left(\frac{X_o-a}{b}\right)^c} - e^{-\left(\frac{X_u-a}{b}\right)^c} \quad (21.4)$$

حيث: (u) و (o) هما الحدان الأدنى والأعلى لصف القطر.  
عند عكس معادلة وبيل يمكن الحصول على شكل يسمح بحساب تطور تركيبة المشجر.

$$F(X) = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c}$$

$$X = a + b \cdot [-\ln(1 - F(x))]^{\frac{1}{c}}$$

$$X = a + b \cdot [-\ln(P(X > x))]^{\frac{1}{c}}$$

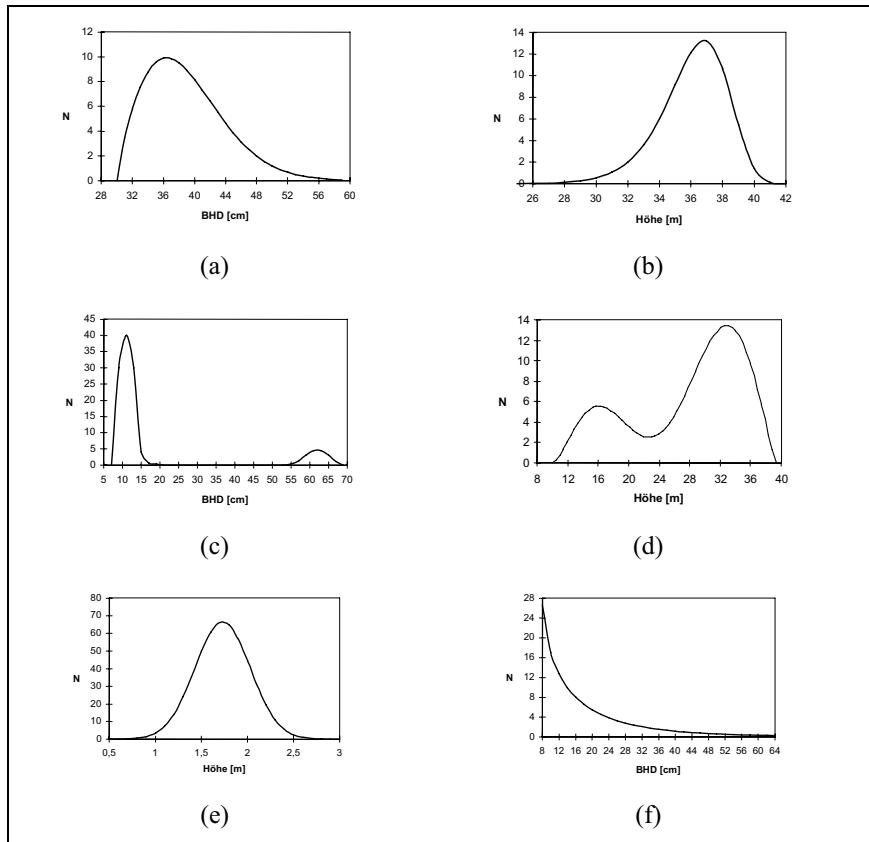
حيث:

$P(X \geq x) =$  احتمال أن يكون قطر الذي تم اختياره أكبر من (x) و  $a, b, c =$  توابت معدلة وبيل).  
السؤال الذي يجب أن يجد إجابة بعد عكس معادلة وبيل إذن هو: كم يبلغ قطر الشجرة التي يبلغ احتمال اختيار شجرة أكبر منها حجماً يساوي 50% مثلاً؟ أو السؤال بعبارة أخرى: كم يبلغ قطر الشجرة التي يساوي عدد الأشجار التي تفوقها حجماً نصف العدد الكلي للأشجار؟ الإجابة على هذا السؤال نحصل عليها من الشكل .(10.4)

$$x = 30 + 13.4 \cdot [-\ln(0.5)]^{\frac{1}{2.6}} = 41.6$$

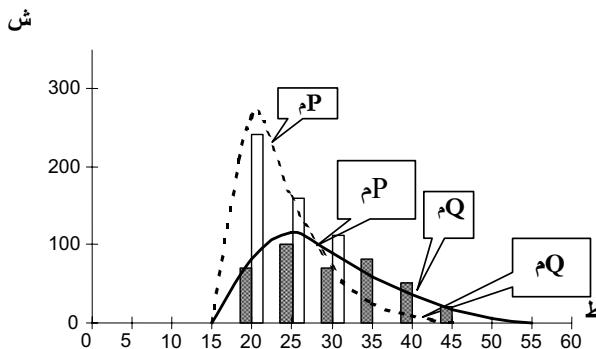
يتم حساب التوزيعات القطرية عندما نعطي احتمال  $(X \geq x)$  أي قيمة عشوائية بين صفر و 1 ثم يستعمل المعادلة (21.4) لحساب الأقطار المطابقة. بعد ذلك يمكن وضع القيم التي تم الحصول عليها في شكل صوفوف أقطار يمكن الاستفادة دائمًا من الشكل (10.4) للتأكد من سلامية الآلة التي بها تم الحساب. كلما زاد توزيع المعادلة ارتفاعاً عن صف قطر معين، كلما زادت المسافة على المحور الصادي، وهذا إنعكاس للزيادة التي طرأت على المحور السيني (حيث صوفوف الأقطار). يمكن للتوزيع وبيل أن يكون مشابهاً جداً للتوزيع المتالي أو النموذجي (Normal distribution) ولكنه يمتاز عليه بأنه يستطيع أن يعبر عن ميل نحو اليمين أو اليسار. يمكن أن نلاحظ مثل هذا الميل في الشكل رقم (11.4) الذي يوضح توزيعات أقطار في مشجر

متناولي الأعمار. بالإضافة لهذه التوزيعات التي ذكرت هناك الكثير من التوزيعات. الشكل (11.4) يوضح بعض التوزيعات المشهورة.



الشكل (11.4): توزيعات تكرارية: (a): القطر في مشجر نقي متناولي العمر (ميل نحو اليسار)، (b): ارتفاعات الأشجار في مشجر نقي متناولي العمر (ميل نحو اليمين)، (c): القطر في مشجر تجاوز مرحلة النضج، (d): ارتفاعات الأشجار في مشجر من طبقتين (توجد قفتان)، (e): ارتفاعات الأشجار في مشجر صغير العمر ونقي ومتناولي العمر، (f): القطر في غابة طبيعية لا تخضع لأي إدارة غابات (منحنى ممتد).

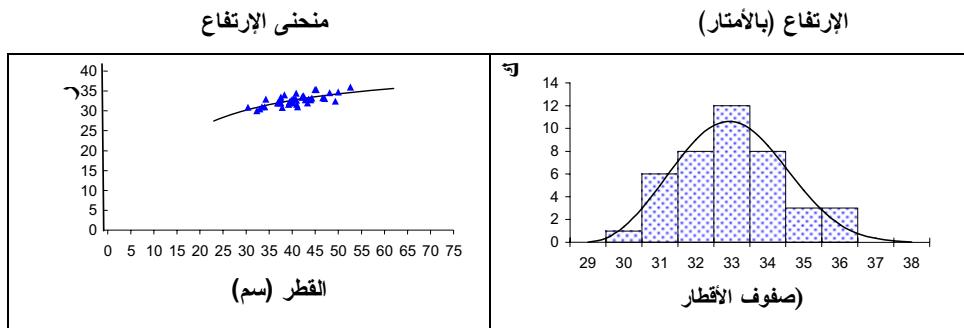
ستعمل معادلة ويبل لعرض التوزيعات ثنائية القمة، كما يمكن إستعمالها كذلك لوصف التوزيعات القطرية في المشاجر المختلطة (الشكل 12.4).



الشكل (12.3): التوزيعات القطرية في مشجر مختلط (صنوبر (*Pinus sylvestris*) - بلوط (*Quercus petraea*) (أحد من شونق، 1996) ) (م = توزيع المتوقع، م = توزيع *Quercus petraea* الحقيقي، ح = توزيع *Pinus sylvestris* الحقيقي، ش = صفوف الأقطار، ش = عدد الأشجار في المكتار، ث = ثابت توزيع وبيل).

من الصفات التركيبية المهمة أيضاً في المشجر توزيع الارتفاعات والتي تعرف بتركيبة الارتفاعات أو التركيبة الرئيسية للمشجر. تعتبر الاختلافات في التركيبات الرئيسية نتاجة حتمية لإختلافات المعاملات الفلاحية.

لتوزيع الارتفاعات يمكن استخدام النهج الذي اتبع مع التوزيعات القطرية. الشكل (13.4) يوضح توزيع ارتفاعات تم استنباطها من منحنى ارتفاع مشجر الصنوبر الذي يبلغ عمره 116 سنة ورد ذكره أعلاه.



الشكل (13.4): منحنى ارتفاع المشجر (إلى اليسار) وتوزيع الارتفاعات (إلى اليمين) لمشجر *Picea abies* يبلغ من العمر 116 سنة (ر = الإرتفاع بالأمتار، ك = التكرارت بالمطلاقة).

أن تكلفة قياسات الإرتفاعات في المشجر عالية (في العادة). يمكن الحصول على معادلة التوزيع (بشكل غير مباشر) عن طريق منحنى الإرتفاع. هذه تمثل، كما هو معروف، العلاقة بين القطر عند مستوى الصدر والإرتفاع ، حيث يوجد العديد من أنواع المعادلات التي يمكن الإختيار من بينها. في المشجر ذات التركيبة البسيطة تكفي في العادة المعادلة اللوغarithمية البسيطة (المعادلة 23.4).

$$H = a_0 + a_1 \cdot \ln(BHD) \quad (23.4)$$

عند تحليل الإنحدار للارتفاع يحصل الإنسان من المعادلة (23.4) على

$$F(H) = 1 - e^{-\left(\frac{e^{(H-a_0)/a_1} - a}{b}\right)^c} \quad (24.4)$$

حيث:  $a, b, c$  = ثوابت وibel لتوزيع الأقطار

#### (5.4) التركيبة المكانية- التوزيع المكاني

من عيوب توزيع تكرارات اقطار وارتفاعات الأشجار أنها لا توضح التوزيع المكاني للأشجار. انه ليس من الصعب وضع تصور لعدة مشاجر تتطابق في اقطارها وإرتفاعاتها وتكون في نفس الوقت مختلفة تماماً في تركيبتها المكانية (اي توزيعها). بدأت المتغيرات التي تصف تركيبة المشجر والتنوع الاحياني تكسب اهتماماً متزايد في الآونة الأخيرة. لثوابت التركيبة المكانية القدرة على وصف التنوع وكذلك وصف درجات تباين الموضع. من المتطلبات الأساسية للادارة الفنية للغابات تعريف مؤشرات تركيبة للإستدامة (Structure indicators) وهي تساعد على تقييم عمليات القطع (والتحفيف)، خصوصاً في الغابات المختلطة.

يصف مصطلح (تركيبة) التنظيم المحدد لعناصر أي نظام بهذا المعنى فإن تركيبة الغابة تعني توزيع خصائص الأشجار داخل الغابة. وصف تركيبة الغابة عبر متغيرات بالمقارنة بين الحالة الموجودة (الراهنة) ووضع أو عدة أوضاع تصورية.

#### 1.5.4. جزئيات الأنواع والأحجام

يهتم وصف التركيبة البسيطة للغابة بجزئيات صفات أو خصائص معينة داخل المجموعة الكلية، مثل جزئية الأنواع الشجرية أو جزئية الأحجام المختلفة للأشجار (الشكل 14.4).

	قليل (منخفض)	كثير (عالي)	متغير
الثروة النوعية Aggregation			مؤشر شانون
الثروة الحجمية (size class richness)			توزيع الإقطار

الشكل (14.4): الصفات البسيطة لتركيبة الغابة (لم يؤخذ التوزيع المكاني لصفات الأشجار في الحسبان).

يمكن وصف الثروة النوعية (عدد أو كمية كل نوع شجري) وتتنوعها عن طريق مؤشر شانون ورف (1949) كالتالي:

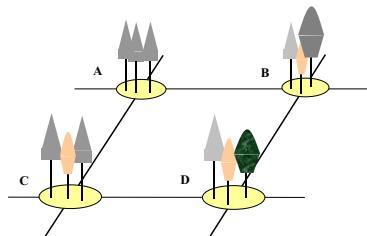
$$H' (p_1, p_2, \dots, p_S) = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i) \quad (25.4)$$

حيث:

$$S = \text{عدد الأنواع الشجرية الموجودة.} \quad S \\ P_i = \frac{N}{n_i}, \text{ حيث } (n_i) = \text{عدد أفراد النوع (i)، و (N)} = \text{العدد الكلي للأفراد (الأشجار).} \quad P_i$$

يستوجب مؤشر شانون ثلاثة شروط، هي: (أ) ان يصل تعدد الأنواع الى أقصى قيمة له عندما، يمثل كل نوع بأعداد متساوية (ب) إذا تم تقسيم الأنواع الى (مجموعتين) بالتساوي، فإن المجموعة التي تحتوي على عدد أكبر من الأنواع تحظى بدرجة أعلى من التنوع. (ج) تم استخدام تصنيف إضافي (تقسيم إضافي، مثلاً على أساس صفات ارتفاعات) ولم يعتد أي من الصفين على الآخر (يعني أن معرفة النوع لا تحتوي على معلومة الإرتفاع)، فإن النوع الذي يربط النوع بالإرتفاع يكون مساوياً لحاصل جمع التنوع.

يمكن تصنيف الثروة الحجمية على أساس توزيع الأفitar أو توزيع أحجام الأشجار أو أطوال التيجان أو مساحات التغطية التاجية. من الممكن استخدام مؤشرات التنوع البسيطة عند تقييم مرابع عينة دائمة (محددة) ولا يمكن استخدامها في المناطق التي بها أشجار هامشية (لأن للوجود على الهاشم بعض الآثار).

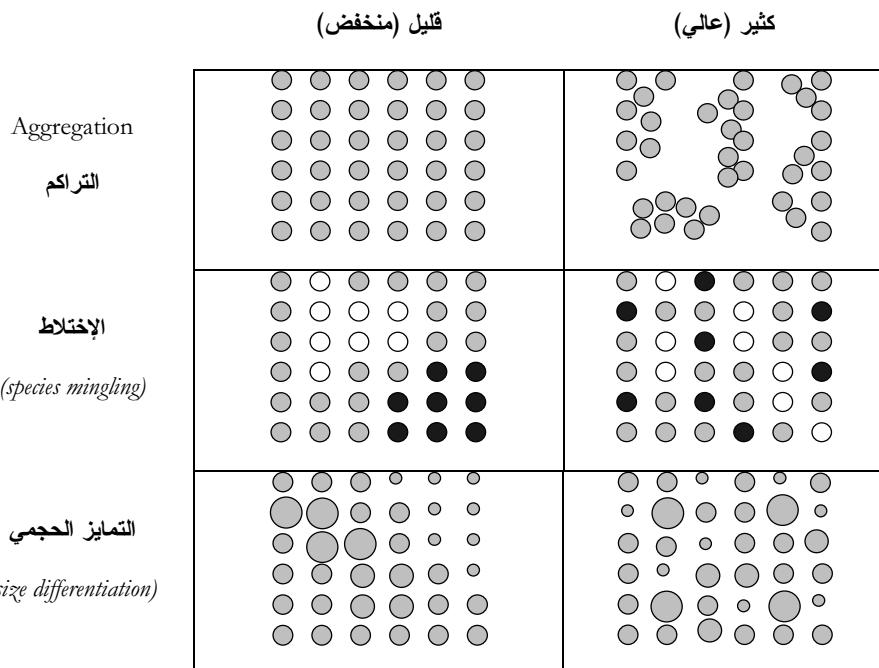


داخل مرباع عينة دائمة يمكن التعبير ببساطة عن التركيبة، وذلك لأن الجزيئات توضح (في نفس الوقت) التنوع في المكان ( $A =$  تجانس في المكان،  $B =$  عدم تجانس في المكان).

#### 2.5.4. عناصر التركيبة المكانية

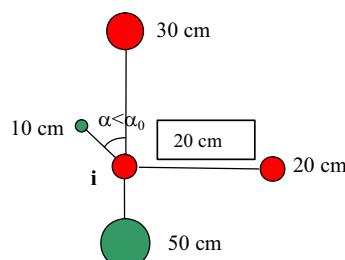
لتحليل التركيبة في الغابات غير الندية (بها عدة أنواع شجرية) ومتعددة الأعمار هنالك حاجة، بالإضافة للتوزيعات التكرارية، إلى معلومات أخرى، مثل درجة اختلاط جزيئات الأنواع الشجرية وأحجامها. لهذا الغرض يمكن استخدام عناصر التركيبة المكانية (الشكل 15.4).

في الغالب لا يكفي ذكر اختلافات أحجام الأشجار المجاورة لوصف التركيبة الحجمية. من الأشياء المهمة أيضاً السيادة النسبية لنوع شجري معين. لتصنيف السيادة، يمكن إستعمال معيار أو مقياس المحيط (Surrounding measure) بالإضافة إلى (أو بدلاً عن) التمايز (Differentiation) ويحدد معيار المحيط جزئية الأشجار المجاورة التي تكبر الشجرة المرجعية وتعتبر مؤهلاً بذلك لإعطاء فكرة عن تركيبة المشجر. يستعمل البيرت (1998) السيطرة على أساس الحجم كمقياس للوضع النسيي للشجرة المرجعية وسط الأشجار المحيطة بها (مقياس لوسط المحيط)، وأيضاً للتعبير الكمي للاختلافات في القيم (التمايز).



الشكل (15.4): عناصر تركيبة الغابة التي تضع في الإعتبار التوزيع المكانى لخصائص الأشجار

يعتبر الحصول على المتغيرات التي تصف التركيبة المكانية سهل نسبياً. يجب أن تحدد (من نقطة معينة داخل مربع العينة) الشجرة المرجعية التالية والأشجار المجاورة لها، ليس بالضرورة قياس المسافات بين الأشجار. مثل: الشكل (18.4) يوضح مجموعة مكونة من خمس شجرات (الشجرة المرجعية (i) وجاراتها الأربع) والأقطار عند مستوى الصدر: ثلاثة من الشجرات عريضة الأوراق وإثنان إبرية الأوراق، توجد زاوية واحدة  $\alpha$  أصغر من الزاوية المعيارية  $\alpha_0$  للجارات الأربع ( $\alpha_0$  للجارات الأربع =  $4/360 = 90$  درجة). الشكل (16.4).



الشكل (16.4): تحديد الشجرة المرجعية (i) داخل مربع العينة والأشجار المجاورة لها (cm = سنتيمترات)

من الشكل (18.4) نتاجت لمجموعة الخمسة شجرات قيم الثوابت الآتية.

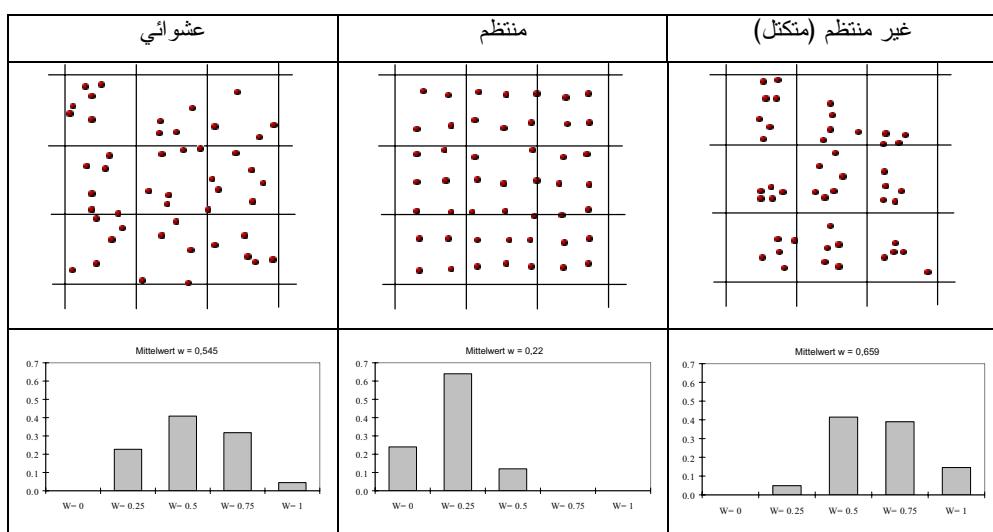
$$W_i = 4/(1+0+0+0) = 0.25$$

$$0.50 = 4/(1+1+0+0) = M_i$$

$$0.33 = 4/(20/20-1+20/10-1+40/20-1) = T_i$$

من المهم جداً عند ترجمة نتائج القياسات التمييز بين جزئيات عدد الأشجار وجزئيات المساحة لصنوف التركيبة ويجب الربط بين موضع الشجرة داخل المشجر وخصائص التركيبة. بما أن احتمال اختيار شجرة مرجعية يتاسب طردياً مع مساحتها الطبيعافية، فإنه يمكن تحديد جزئية المساحة لخصائص التركيبة بدرجة معقولة من الدقة (شتاوبندل، 1997 -البيت، 1998).

الشكل (16.4) يوضح قوة مقياس (معايير) الزوايا لتصنيف التوزيع الفردي. يمتاز هذا المقياس بسهولة الإستخدام في أي موقع. بمساعدة القيمة الوسطية (المتوسط) الذي يرمز إليه عادة ب ( $W$ ) يمكن توزيع الأفراد في مشجر غالبي بدرجة عالية (نسبة) من الدقة إلى ثلاثة صنوف: عشوائي (Random) وغير منتظم (Irregular) أي في شكل مجموعات. الشكل (20.4) يوضح ثلاثة أشكال لتوزيع الأشجار على أساس مقياس الزوايا.



الشكل (17.4): موقع الأشجار توزيعاتها بناء على قيم ( $W$ ) لثلاثة مشاجر تحتوي على: التوزيع العشوائي والتوزيع المنتظم والتوزيع في شكل مجموعات (التوزيع بناءً على مكان الأشجار داخل المشجر) (بعد=متوسط المسافة).

### 3.5.4 تكرار التركيبة الغابية Reproduction of forest structure

يهدف التكرار المكانى لتركيزات المشاجر (من قياسات مراقب العينات) إلى توسيع وصف حالة الغابة وفي نفس الوقت يعتبر شرطاً لاستخدام النماذج الرياضية للأشجار المفردة المرتبطة بموضع معينة. يجب توزيع الأشجار (التي تم قياسها داخل نماذج عينة وتم وصفها عبر توزيع الأنواع والاقطار عند مستوى الصدر) داخل مساحة المشجر في حدود خارجية معروفة الدرجات ان التوزيعات التي تحسب عن طريق مقياس الزوايا (التماثيل بناءً على الأحجام ودرجات الإختلاط) تتطابق مع توزيعات المشجر الأصلي.

في المرحلة الأولى للعملية الحسابية (Simulation) يتم تحديد إحداثيات الشجرة، أما المرحلة الثانية فتتطلب بتكرار درجة الإختلاط (تدخل الأنواع الشجرية) وهنا يتم تدريجياً تبديل كل شجرتين لتحل إحداهما مكان الأخرى، مع الأخذ في الاعتبار فقط الأشجار مختلفة الأنواع، وذلك لأن تبادل أشجار من نفس النوع لا يغير عن اختلاط أو تبادل الأنواع.

تتطلب المرحلة الثالثة بتمثيل أقطار الأشجار عند مستوى الصدر (Diameter differentiation). هنا يتم تبديل أزواج الأقطار (كل شجريتين)، ولكن هذه المرة تكون الأشجار من نفس النوع، حتى يتم الحصول على وضع يتاسب مع المشجر الأصلي. تحسب جودة التناسب عن طريق متوسط الخطأ (وهذا يتم حسابه من الفروقات بين المشجر الأصلي والمشجر التصورى الذي تم حسابه عن طريق النموذج الرياضي). لقد ثبت أن الحساب الذي يتم في مراحل متتالية (Algorithm) معأخذ متغيري التركيبة (تدخل الأنواع الشجرية والتماثل بين الأقطار) يؤدي دائماً إلى نتائج جيدة. هنالك طرق بديلة تعرف بمولد التركيبة (generator) توصل إليها بريتش (1993)، وفي هذه الطريقة يتم أيضاً تكرار تركيبة المشجر ومتناز على سبقتها في ان التركيبة المكانية تعتمد على أوصاف بسيطة للمشجر تكون دائماً متاحة.

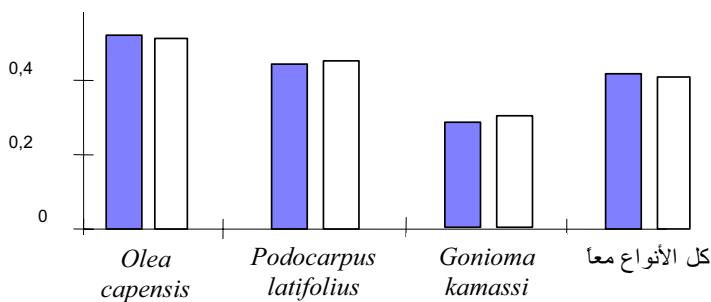
#### 5.5.4. التركيبات المكانية الحقيقية (المائلة) والمتوقعة

تعمل ثوابت التركيبة على تسهيل تحليل حالات الغابات المعقدة والتغيرات التي تطرأ عليها عبر عمليات القطع. يمكن لغابتين بهما نفس العدد من الأشجار والتوزيع النوعي ونفس التوزيع القطري لنفس الأنواع الشجرية أن تكونا مختلفتين تماماً في تركبيتهما. من الممكن أن يكون سبب هذه الإختلافات توزيع مقاييس الزوايا أو طريق توزيع مختلف الأنواع الشجرية (الإختلاط) أو الإختلالات في الأحجام. من خلال ذلك فإنه من الممكن مقارنة المشاجر مع بعضها البعض، ولكن يفتقر مثل هذا النوع من المقارنات إلى المعيار المطلق (القيمة المرجعية المحايدة).

بمعرفة إحداثيات سيقان الأشجار عند مستوى الأرض، يمكن ترتيب صفات الأشجار (النوع الشجري، القطر عند مستوى الصدر) عشوائياً. إذن فالقيمة المرجعية المقبولة هي القيمة المتوقعة لمتغير التركيبة. تسمح هذه الطريقة بمقارنة ثوابت الغابة الحقيقة (Observed forest) والغاية العشوائية التي يتم تركيبها (Random forest). عن طريق التبادل والتوفيق يمكن حساب قيمة إختبارية عشوائياً (Test value) وتساعد هذه في تقييم درجة الإنحرافات. لهذا الغرض تم في ألمانيا تحليل 1000 غابة عشوائياً، وقد كانت الإنحرافات بين الثوابت الحقيقة والمتوقعة في الغابات البحثية في ألمانيا كبيرة جداً في الجانب الآخر وجد شرودر (1998) لمتوسط التمايز القطري توافقاً (تطابقاً) كبيراً في إحدى الغابات الطبيعية (الشكل 18.4).

لقد تم حساب قيمة مرئية عامة عن طريق النظام الحسابي المترافق (Simulation)، وتستمد هذه القيمة المرجعية أهميتها من أنه يمكن عن طريقها تقييم أي مشاجر غابية على درجة إنحرافها من التركيبة المثلية. من هنا تلوح في الأفق إمكانية مقارنة تركيبات الغابات الطبيعية مع الغابة المزروعة (الاقتصادية) ومن ثم تقييمها.

## متوسط تمایز الأقطار



الشكل (18.4): التمايز الحقيقي (العمود على اليسار) والمترافق (العمود على اليمين) لثلاثة أنواع شجرية والغابة الكلية في غابة كيبينا الطبيعية مع اخذ الشجرة الأقرب في الحساب.

## 5. نمو المشاجر النقية متساوية العمر

يمثل تطوير نماذج رياضية بنمو المشاجر وإنتاجها مسألة مركزية في البحث المتعلقة بنمو الغابات. يعتمد تحضير المعلومات للتخطيط الغابي على التنبؤ بالتطور الحقيقي للمشاجر، التي تعرف حالتها الراهنة جيداً، في حين أن تخطيط الإنتاج في المصانع التي تعتمد على الأخشاب كمادة خام يتطلب التنبؤ بإنتاج مصنف في مناطق غابية واسعة. توفر البحث في علم نمو الغابات ليس فقط الوسائل لهذه التنبؤات، وإنما تهتم أيضاً بوصف القوانين العامة التي تحكم تطور الغابات. في كل هذا يكتسب تحليل تطور الغابة في تفاعلها مع مختلف الأنشطة داخل الغابة اهتماماً خاصاً. يعتمد التنبؤ بتطور الغابات النقية متساوية العمر على جداول الإنتاج التموذجية (المثلية) التي يتم تصميمها بناءً على معلومات جمعت في زمن محدد (معلومات ستاتيكية)، ولكن مع مرور الزمن زاد إستعمال النماذج الرياضية للنمو معأخذ الكثافات الشجرية المختلفة في الحساب.

## 1.5 جمع المعلومات

يتطلب الاستثمار في الغابات فهم المسائل البيولوجية والقوانين والأسس التي تحكم ذلك. تشكل معرفة معدلات التغيرات البيولوجية في تفاعلها مع الظروف الراهنة أساساً لهذا الفهم. تمكناً هذه المعرفة من تصميم برامج حاسوبية تساعد العاملين في مجال الغابات على تقييم تأثيرات مختلف المعاملات الفلاحية. من الوسائل المهمة في هذا الصدد النماذج الرياضية للنمو والتي يتم تصميمها على أساس معلومات تجريبية. ترسم معظم النماذج الرياضية لأهداف محددة جداً، وهي تختلف فيما يتعلق بإمكانية تعديمهما وفيما يتعلق بدققتها (أي الخطأ المرتبط بالتبؤ عن طريقها). يمكن الوصول إلى درجة عالية من الدقة، ولكن يتحقق ذلك دائماً على حساب مدى التطبيق (ترزيد الدقة كلما ضاق مدى التطبيق) ومن ثم يرتبط اختيار نموذج رياضي مناسب، على قدر من التنازل. من أشهر أنواع النماذج الرياضية للنمو:

- النماذج الرياضية التي تربط العمر مع الحجم تراكمياً، وتستعمل لحساب الألخشاب المنتجة في منطقة ما.

- النماذج الرياضية للمشاجر، وهذه تعطي تنبؤات بتطور الإرتفاع والمساحة القاعدية وعدد الأشجار.

- النماذج الرياضية للشجرة الممثلة (Representative tree) وهي تصف تطور توزيع الأقطار ومنحنيات الإرتفاع في المشرج.

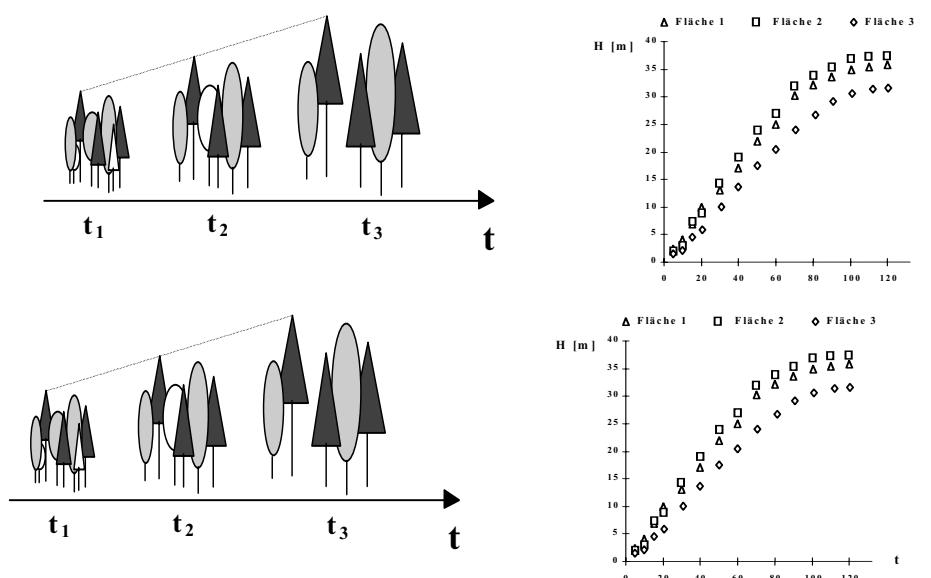
يتم الحصول على القاعدة المعلوماتية لهذه النماذج (إلى حد كبير) من مرابيع العينات. في العادة تستعمل معلومات لمرابيع أنشئت لأغراض مختلفة، مثل مرابيع أنشئت لمعرفة تأثير عمليات التخفيف أو مرابيع أنشئت لدراسة تأثير المسافات البنية أو غير ذلك. في تجارب إدخال أنواع جديدة تتم دراسة درجة توافق نوع شجري معين في موقع ذي خصائص معينة. في تجارب المسافات البنية والتخفيف (الشلح) يتم بحث التأثيرات المختلفة للمسافات البنية ودرجات القطع على نمو الأشجار المفردة من ناحية، وعلى المشرج كل من ناحية أخرى.

يمكن تقسيم مصادر المعلومات منذ بدء الاهتمام بالبحوث الغابية إلى ثلاثة أنواع: مرابيع العينة الدائمة، وهي مناطق محددة ترافق على مدى زمني طويل ويتم قياسها على فترات منتظمة، أما النوع الثاني فيعرف

بالصفوف الزمنية غير الحقيقة ويكون من أكبر عدد من العينات تقاس مرة واحدة وتشمل مدىًّا واسعاً جداً من الأعمار والموقع بمختلف خصائصها. تستعمل هذه الطريقة لجمع المعلومات لتفادي الإنتظار الطويل الذي يتطلبه جمع المعلومات عن طريق مرابيع العينة الدائمة. كحل وسط هنالك النوع الثالث بطريقة تكرار القياس (Interval area concept) وفي هذا النوع يتم اتباع نفس المنهجية كما في النوع الثاني، غير أن مرابيع العينة هنا يعاد قياسها مرة أخرى (على الأقل).

### 1.1.5. مرابيع العينة الدائمة

ترجع معرفتنا الحالية عن تطور مختلف النظم الإيكولوجية (لحد كبير) إلى معلومات تم جمعها من مرابيع عينة دائمة على مدى فترات زمنية طويلة (قياسات متكررة). اعتمد جمع المعلومات عن أي جزئية على مدى عدة عقود زمنية وقد كان هنالك دائماً حرص على زيادة موقع مرابيع العينة الدائمة، حتى خلال سنوات الحروب العالمية. بنت المعلومات التي جمعت من مرابيع عينة دائمة أساساً منها لتطوير نماذج رياضية للنمو مرتبطة بمعدلات فلاحية محددة. النماذج الرياضية التي تم تطويرها لبرامج تخفيف (شلخ) عيارية (أو مثلية) تعرف بجدوال الإنتاج (Yield table). الشكل (1.5) يوضح مربوع عينة دائمة تم فيه قياس ارتفاعات الاشجار ثلاثة مرات متتالية (الأشجار التي تبدو رمادية تمت إزالتها عبر عمليات التخفيف أو الشلخ المتتالية).



الشكل (1.5): إلى اليسار: مربوع عينة دائمة فيه قياس الارتفاع ثلاثة مرات، ( $t =$  محور الزمن، الأشجار الرمادية أزيلت في عمليات تخفيف). إلى اليمين: سلسلة معلومات افتراضية من ثلاثة مرابيع عينة دائمة.

من النماذج الرياضية التي تستخدم كثيراً في وصف نمو الإرتفاع مع العمر المعادلة المعروفة بمعادلة شابمان- ريتشارد، وهي تقرأ كالتالي:

$$H = a_0 \cdot [1 - e^{-a_1 t}]^{a_2} \quad (1.5)$$

حيث أن:  $H$  = إرتفاع الأشجار بالمشجر (بالمتر)،  $t$  = عمر المشجر (بالسنوات)،  $a_1, a_0, a_2$  هي ثوابت النموذج الرياضي.

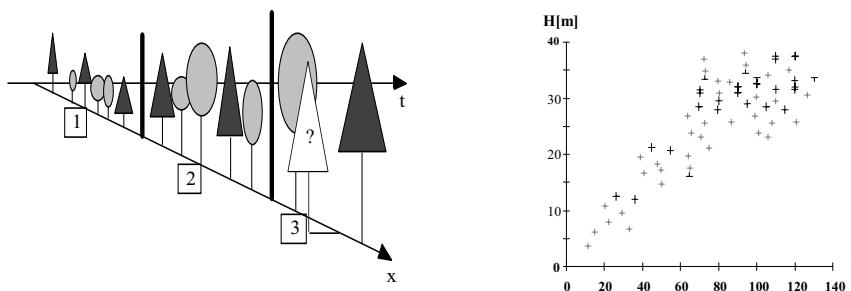
للمعلومات التي تجمع من مرابيع عينة دائمة الأفضلية في أنها توضح أنماط النمو المتعددة (Polymorphic growth patterns). من الممكن تطوير نموذج رياضي لكل مربوع عينة دائم. يعتبر هذا النموذج الرياضي نمطاً مختلفاً للنمو، إذا كان من الممكن اعتبار الثوابت التي تحدد الشكل ( $a_1, a_2$ ) دالة في تقدير خصائص الواقع بهذه الطريقة فإنه من الممكن تطوير نماذج رياضية متعددة للارتفاع يتم التعبير عنها بمنحنيات متقطعة. هنالك العديد من جداول الإنتاج التي اعدت على أساس معلومات من مرابيع عينة دائمة كما توجد نماذج رياضية للاشجار المفردة تعتمد على معلومات من مرابيع عينة دائمة. تبرز صعوبة مرابيع العينة الدائمة في أنها على بنية أساسية محددة للبحث، لذا فإنها تكون مرتبطة دائماً بتكليف عالية. من عيوب مرابيع العينة الدائمة أيضاً أنه يجب الانتظار طويلاً جداً للحصول على المعلومات المطلوبة، هذا بالإضافة إلى أنه قد لا يمكن الوصول للهدف الذي من أجله أنشأت المرباع لأنه من المحتمل أن تتعرض إلى ظروف قد تؤدي بها مبكراً.

### 2.1.5. الصفوف الزمنية غير الحقيقة

في كثير من الأحيان لا تتوفر معلومات توضح تطور الغابة. في مثل هذه الحالات يتم اللجوء إلى ما يعرف بمرابيع العينة المؤقتة (Temporary sample plots). تتم القياسات في مربوع العينة المؤقتة مرة واحدة فقط تغطي خلالها مساحات شاسعة تشمل مختلف الأعمار ومختلف درجات جودة الموقع. بهذه الطريقة يتم تعويض قياس نفس المكان لعدة مرات (في فترات متالية) بقياس عدة أماكن متجاورة في نفس الزمن. تجدر الإشارة هنا إلى أن الاختلاف في أعمار المشاجر غير حقيقي ( فهي أعمار مختلفة ولكنها قيست في نفس الزمن). إستعملت هذه الطريقة لأول مرة في القرن التاسع عشر.

في الطريقة البيانية تجمع معلومات من عدد من المشاجر ذات الكثافة الشجرية المثلية ومختلف الأعمار ذلك بغرض الاستفاده منها في تصميم جداول الإنتاج. بالطريقة البيانية التي استخدمها هارتج (1868) تم حساب نمو الأشجار المفردة عن طريق تحليل الساق وبذلك أمكن الحصول بسرعة على معلومات نمو الشجرة. الشكل (2.5) يوضح فكرة الطريقة البيانية. تفصل المساحات ذات الأعمار المختلفة عن بعضها بواسطة خطوط رأسية. المحور السيني يوضح بطريقة مبسطة مكان الشجرة، أما الرمز ( $t$ ) فيرمز لمحور الزمن. مازالت الصفوف الزمنية غير الحقيقة (مرابيع العينة المؤقتة) وتحليل الساق يلعبان دوراً مهماً، خصوصاً في غياب معلومات من مرابيع عينة دائمة. إنه بالطبع من الممكن إعادة بناء تطور حالة متغير (كالارتفاع مثلاً)

بمساعدة تحليل الساق. الصعوبة التي تواجه هذه الطريقة هي عدم توفر معلومات عن الأشجار التي كانت تجاور الشجرة التي يتم تحليلها. في الشكل (2.5) كانت هناك شجرة منافسة للشجرة التي تم تحليل ساقها (عليها علامة استفهام). ليس هناك أي معلومات عن هذه الشجرة، إلا (ربما) ما يبقى منها بعد اخفائها.

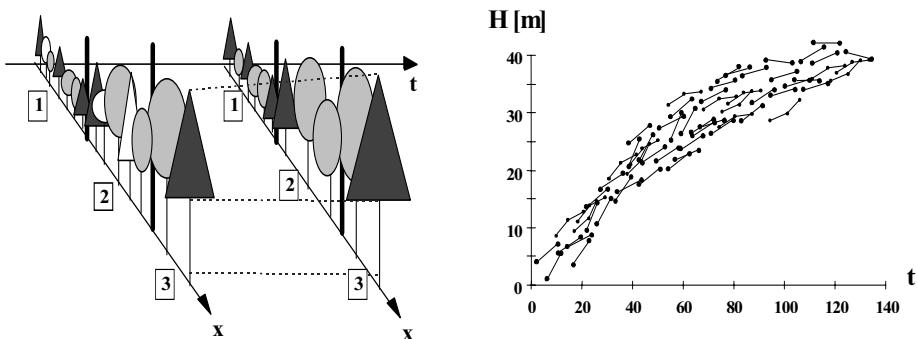


إلى اليسار: ثلاثة مراييع مؤقتة تغطي مختلف الأعمار، المحور السيني يمثل موقع الشجرة، ( $t$ ) = المحور الزمني. إلى اليمين: معلومات عن الارتفاعات والأعمار المطابقة لها (من صنوف زمنية غير حقيقة).

بعد الحرب العالمية الثانية تم تصميم بعض جداول الإنتاج على أساس معلومات من سلسلة زمنية غير حقيقة (مراييع عينة مؤقتة). توضح هذه الجداول تطور الغابة عند تطبيق البرامج الفلاحية المثلث فقط ولا يمكن استخدامها لحساب بدائل تخفيف (شلغ) متنوعة. من عيوب هذه الطريقة البيانية أيضاً أنها لا تعطي معدلات تغير ولكنها تعطي فقط أزواج (عمر/ارتفاع) غير معتمدة على تطور فعلي. من هنا فإنه لا يمكن تطوير نموذج رياضي يسمح بالتنبؤ بالحالة الحقيقة التي سيكون عليها الوضع في المستقبل، أما فيما يتعلق بنمو الأشجار (عن طريق تحليل الساق) فهناك مشكلة إعادة بناء المنافسة التي خضعت لها الشجرة في الماضي، يمعنى أن الجوار المباشر للشجرة التي يتم تحليلها يكون (في العادة) مجهولاً تماماً. بالإضافة إلى كل ذلك هناك بعض المتغيرات التي لا يمكن تحديدها مطلقاً، كالتغير الذي يحدث لنتائج الشجرة مثلاً.

### 3.1.5. مساحات تكرار القياس

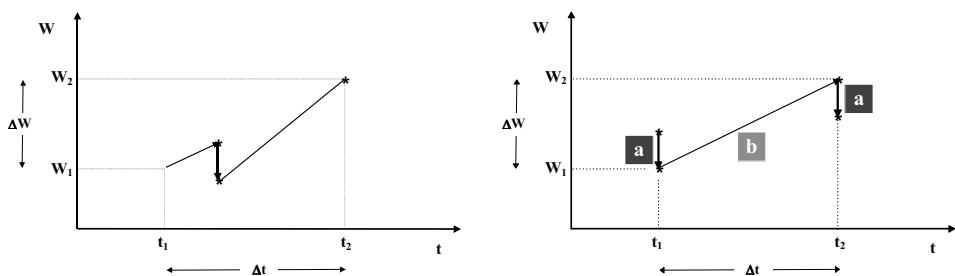
كحل وسط بين الطريقتين المذكورتين أعلاه، هناك طريقة مساحات تكرار القياس. في هذه الطريقة يتم قياس مربع العينة مرتين (على الأقل): مرة في بداية الفترة الزمنية وأخرى في نهايتها، بشرط أن تجري أي عمليات قطع أو معاملات فلاحية خلال الفترة بين القياسين. يجب أن تكون هذه الفترة طويلة بقدر كافي بحيث يكون من الممكن حدوث توازن للتقبلات المناخية. الشكل (3.5) يوضح المعالم المميزة لفكرة تكرار مساحات القياس.



الشكل (3.5): إلى اليسار: ثلاث مساحات تكرار قياس: الأشجار باللون الرمادي تم قطعها عبر عمليات تخفيف (شلح) إلى اليمين: المعلومات المأخوذة في المدى الزمني (مرتبتين لكل مساحة) كأساس لتصميم نموذج رياضي لحالة التغير.

لمساحات تكرار القياسات محاسن سلسلة الأعمار غير الحقيقة (الرابיע المؤقتة) وهو المدى الواسع الذي تغطيه فيما يتعلق بالحالة الراهنة للغابة والفترة الزمنية القصيرة (نسبة) بين تحديد مرابيع العينة والحصول على المعلومات المطلوبة، كما لها أيضاً محاسن مرابيع العينة الدائمة التي تعطي معدلات تغيير لمختلف الحالات الإبتدائية لكل مربوع عينة (مثلاً معدلات تغيير ارتفاعات التيجان). يمثل المدى شريحة زمنية للنمو من دون انقطاع بأي شيء طارئ. لا يجوز القيام بأي عمليات فلاحية خلال هذه الفترة الزمنية (المدى بين القياسين). من هنا فإنه لا يمكن استخدام مرابيع عينة للمتابعة في هذه الطريقة. يجب جمع المعلومات في نفس الوقت الذي تجري فيه عملية التخفيف. بهذه الطريقة يمكن الحصول على معلومات عن المتغيرات التي تحدث في النمو وتتأثر عملية التخفيف. من الأشياء المهمة في تصميم النماذج الرياضية الخاصة بتطور الغابة (وحتى الآن يندر الإنتباه لها) التغيرات التي تترجم عن عمليات التخفيف.

يمكن تحديد (حصر) التغيرات الناجمة عن عمليات التخفيف في بداية فترة النمو ( $t_1$ ) أو في نهايةها ( $t_2$ ) أو في الفترتين معاً. في الجزء الأيسر من الشكل (4.5) هناك عملية قطع لأشجار حدثت بين القياسين الأول والثاني. في هذه الحالة فإنه لا يمكن تحديد مقدار التغيير في النمو بشكل واضح. في الجزء اليمين من الشكل تزامنت فترة القطع مع فترة القياس. هنا يمكن معرفة التغيير الذي حدث نتيجة للتخفيف وكذلك التغيير نتيجة للنمو.



(4.5): قياس متاليان لمعرفة معدل التغيير في النمو ( $W$ ). إلى اليسار استعمال خاطئ للفكرة (تأثير عملية التخفيف غير معروف). إلى اليمين استعمال صحيح للفكرة: يوجد نوعان من التغيير (a) زيادة نتيجة التخفيف و (b) زيادة نتيجة النمو الطبيعي.

من النماذج الرياضية التي تستخدم كثيراً في حالة القياسات المتتالية (المعرفة النمو) معادلة الفروقات الجبرية (شكل من أشكال معادلات النمو). يستخدم هذا النوع عادة لأنواع الشجرية التي تميز بنموها السريع. نقرأ المعادلة كالتالي:

$$H_2 = H_1 \cdot \left[ \frac{1 - e^{-a_1 \cdot t_2}}{1 - e^{-a_1 \cdot t_1}} \right]^{a_2} \quad (2.5)$$

حيث:

$H_1, H_2$  = ارتفاعات المشجر في العمر ( $t_1$ ) و ( $t_2$ ) على التوالي

$a_1, a_2$  = ثابتي النموذج الرياضي

من الممكن في هذه الطريقة (تكرار القياسات في مرابيع العينة) تحديد التغيرات بالنسبة لعدد كبير من حالات المشاجر في فترة زمنية قصيرة نسبياً، ومن محسنها أيضاً المرونة، إذ يمكن تنفيذ مرابيع تكرار القياسات في أي زمان يتم اختياره بعد زمن القياس الأول. من محسن هذه الطريقة أيضاً أنه يمكن الإستغناء من مساحات تم قياسها في السابق وإستبدالها بمساحات جديدة. من المعلوم أن أي إضافة لمساحات جديدة تعتبر إضافة حالات إبتدائية جديدة، وهذا حتماً أمر مطلوب.

هناك بعض الجوانب التي لا يمكن الإجابة عليها عن طريق مرابيع العينة الدائمة، التغيرات التي تطرأ على نمو الأشجار كردود فعل للتأثيرات المناخية أو كنتيجة للتغيرات التي تحدث في موقع نمو الأشجار لا يمكن بحثها إلا من خلال مشاجر تم متابعة نظورها على مدى زمني طويلاً. من هذا يتضح أنه لا يمكن الإستغناء تماماً عن مرابيع العينة الدائمة، ولكن من المهم لا يكون عدد مثل هذه المرابيع كبيراً جداً (فهي باهظة التكلفة وتحتاج إلى عمل مكثف). لهذه الأسباب ما عادت مثل هذه المساحات مناسبة للإستعمال في تصميم جداول إنتاج المشاجر الندية ذات العمر المتساوي، فهي لا توفر كل المعلومات الضرورية لتصميم النماذج الرياضية، نظراً لنعدد الحالات التي يمكن البدء منها وإختلاف أنواع التخفيف (الشلح) فإن مرابيع العينة

الدائمة تعتبر أنعكاس لحالات قليلة جداً (وبالتالي محدودة القيمة). وبالمثل فإن الحصر الغابي العادي ومرابيع المتابعة، اللذان يمارسان كثيراً في الإدارة الفنية للغابات، ليس لها القدرة على توفير معلومات جيدة لتصميم النماذج الرياضية وذلك لأنها لا تأخذ (في العادة) مترامنة مع (عمليات الشلخ)، نفس الشئ ينطبق على تحليل الساق الذي لا يعطي المعلومات المكتسبة عن طريقه أي إشارة للبيئة التي كانت (تاربخياً) تحيط بالشجرة التي يتم تحليل الساق لها ولا لتطور تاج الشجرة المعنية بالتحليل. إنطلاقاً من هذه المحددات والحاجة المتامية لمعرفة التركيبيات الغابية ونوع اختلاط الأنواع في الغابة فإنه تحمّم إعادة التوجّه كلياً فيما يتعلق ببحوث الغابات. فمن ناحية: هنالك حاجة لمعلومات جديدة لتطوير النماذج الرياضية الخاصة بالمشاجر المختلفة ومن الناحية الأخرى: توجد قوى عاملة مختصة بالإهتمام بهذه المشاجر الدائمة، يمكن الاستفادة منها في أنشطة أخرى أو الاستغناء عنها كلياً. يوجد عدد كبير من المشاجر التي أنشأت قبل أكثر من ثلاثين عاماً وتقاس باستظام حتى اليوم، على الرغم من أنه لا يمكن الاستفادة من المعلومات التي يتم الحصول عليها من هذه القياسات، وذلك لأنه عند تحديد هذه المرابيع كمراتب عينة دائمة لم توضع (في ذلك الوقت) تقنية النماذج الرياضية المعروفة حالياً، في الحسبان. هنالك حاجة ماسة لربط وثيق بين المؤسسات البحثية (بمعارفها في مسائل البحث) من ناحية وفكرة وتنفيذ عمليات الحصر من ناحية أخرى.

## 2.5. النماذج الرياضية للإنتاج

يمكن عن طريق إستعمال النماذج الرياضية حساب الإنتاج الخشبي في منطقة غابية واسعة وهذا يتعلق بتباوؤات مبنية على أساس إفتراضات بسيطة للغاية. تحتوي الإفتراضات على معطيات ظروف موقع وعمليات وأنشطة غابية محددة. من الأمثلة لذلك جداول الإنتاج والمعادلات الرياضية البسيطة التي تعمل على وصف الإنتاجية. الشرط الأساسي والأولي لإستعمال هذه النماذج الرياضية هو: أولاً فهم العلاقات بين الكمية الكلية للإنتاج (GWL) الحجمي ومتوسط الزيادة السنوية الكلية للحجم (MAI) ومتوسط الزيادة السنوية الحالية (CAI). لتحديد الإنتاجية المرتبطة بالعمر في غابة ما يجب أن تتوفر أربعة متغيرات، وهي: الكمية الكلية للإنتاج الحجمي ومتوسط الزيادة السنوية الكلية في الحجم والزيادة الحالية في الحجم وزيادة الحجم خلال فترة زمنية محددة.

### 1.2.5. الإنتاج الكلي، المتوسط الكلي للزيادة السنوية، الزيادة السنوية الحالية

يمكن حساب الكمية الكلية للإنتاج الحجمي في عمر ( $t$ ) ويرمز لها ب (GWL) عن طريق جمع حجم المخزون الخشبي الواقف في المشجر ( $V_t$ ) وحاصل جمع الأحجام الناتجة عن كل عمليات التخفيض التي تمت بالمشجر منذ إنشائه ( $Df_i$ ).

$$GWL_t = V_t + \sum_{i=1}^t Df_i \quad (3.5)$$

مثال: في شجر عمره 80 عاماً وجد أن حجم المخزون الخشبي الواقف يساوي 550 مترًا مكعباً وكميّات الأحجام الناتجة من عمليات التخفيف حتى هذا العمر تساوي 250 مترًا مكعباً. إذن  $GWL_{80} = 550 - 250 = 300$  مترًا مكعباً.

متوسط الزيادة السنوية الكلية في الحجم عند العمر ( $t$ ) تساوي حجم المخزون الخشبي الكلي ( $GWL_t$ ) مقسوماً على عمر المشجر ( $t$ ):

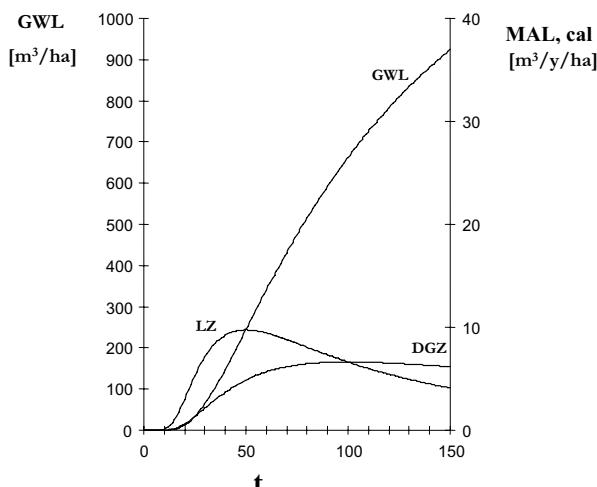
$$MAI_t = \frac{GWL_t}{t} \quad (4.5)$$

مثال: في المشجر الذي ذكر في المثال السابق فإن متوسط الزيادة السنوية ( $MAI$ ) =  $800 / 80 = 10$  مترًا مكعباً في الهكتار في السنة.

المقصود من الزيادة السنوية الحالية ( $CAI$ ) معدل التغيير في منحنى النمو، وهي صفة لمعدل النمو في العمر المحدد.

$$CAI_t = GWL' = \frac{dGWL}{dt} \quad (5.5)$$

تصل الزيادة السنوية الحالية قمتها عند نقطة إنقلاب منحنى النمو، أما متوسط الزيادة السنوية الكلية فإنه يصل إلى قمتها عندما يتقطع مع منحنى الزيادة الحالية. منذ بداية العمر وحتى هذه النقطة يقع منحنى الزيادة الحالية أعلى من منحنى متوسط الزيادة الكلية، بعدها ينعكس الوضع تماماً. من هنا يتضح أن المصطلحات ( $GWL$ ) و ( $CAI$ ) و ( $MAI$ ) تكون ذات معنى فقط إذا ارتبطت بالعمر. الشكل (5.5) يوضح العلاقات المهمة بين هذه القيم الثلاثة للنمو.



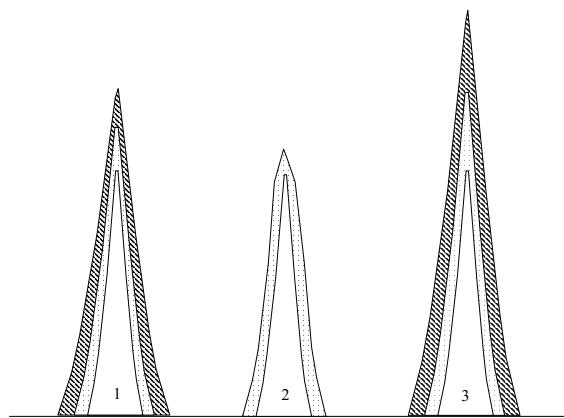
الشكل (5.5): العلاقات الأساسية بين القيم الثلاثة للنمو: الكثافة الكلية ( $GWL$ ) و الزراعة السنوية الحالية ( $CAI$ ) ومتوسط الزيادة السنوية الكلية ( $MAI$ ) بالأمتار المكعبة في الهكتار والسنة، ( $t$ =العمر بالسنوات.

الزيادة التي تحدث في فترة بين عمرتين ( $t_2 - t_1$ ) ويرمز لها ب ( $PI$ ) تساوي الكمية الكلية للإنتاج في فترة محددة من العمر أي في مدى زمني محدد.

$$PI_{t_1-t_2} = \frac{GWL_{t_2} - GWL_{t_1}}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta GWL}{\Delta t} \quad (6.5)$$

مثال:  $GWL_{65} = 470$  متراً مكعباً في الهكتار،  $GWL_{60} = 400$  متراً مكعباً في الهكتار، إذن  $PI = 5/(400 - 470) = 5/70 = 0.0714$  متراً مكعباً في الهكتار في السنة.

من هنا يتضح أنه يمكن تحديد الزيادة لفترة زمنية معينة بدون ارتباط بالعمر، لذا فمن الممكن إستعمال الزيادة لفترة معينة مع كل النظم الفلاحية. الشكل (6.5) يوضح مثلاً لحساب الزيادة خلال فترة معينة.



الشكل(6.5): مشجر يحتوي على ثلاثة شجارات (مناقشة الزيادة لفترة محددة).

يوضح اللون الأبيض داخل كل من الشجارات الثلاثة حجم الساق في العمر ( $t_1$ ). حتى النقطة الزمنية ( $t_2$ ) حققت الشجارات الثلاثة زيادة تساوي الجزء (المنقط) في كل منها. في هذه النقطة الزمنية قطعت إحدى الشجارات. حتى النقطة الزمنية ( $t_3$ ) حققت الشجارات المتبقيان بالمشجر زيادة جديدة (الجزء المخطط في الشجرتين). إذن الزيادة خلال الفترة الزمنية ( $t_1$ ) إلى ( $t_3$ ) تساوي (بدلاًلة الشكل أعلاه) مجموع الأجزاء المنقطة والأجزاء المخططة، أو:

$$\begin{aligned} PI_{t_1 - t_3} &= (V_{13} - V_{11}) + (V_{22} - V_{21}) + (V_{33} - V_{31}) \\ &= (V_{13} + V_{33}) - (V_{11} + V_{21} + V_{31}) + V_{22} \\ &= V_E - V_A + N \end{aligned}$$

حيث: ( $V_E$ ) = الحجم النهائي عند (نهاية الفترة)، ( $V_A$ ) = الحجم الإبتدائي (عند بداية الفترة)، ( $N$ ) = حجم القطع الذي تم خلال الفترة أعلاه.

### 2.2.3 جداول الإنتاج التمونجية

يمكن تحديد القوانين التي تحكم نمو المشجر عن طريق الجمع المتكرر للمعلومات من مرابيع عينة دائمة. كانت مثل هذه المعلومات تستعمل في تصميم جداول الإنتاج التي تعتمد على التطور الحقيقي في عدد كبير من مرابيع العينة. إن جداول الإنتاج سهلة الفهم ويسهل التعامل معها كنمذاج رياضية لنمو وتطور أهم الأنواع الشجرية، وقد حظيت بإستعمال واسع في التخطيط الغابي التقليدي.

يمكن تعريف جدول الإنتاج على أنه نمذاج رياضي للنمو يعمل على وصف تطور مشاجر غابية ندية (أي مكون من نوع شجري واحد) ومتتساوية العمر تنمو في ظروف محددة. لا يقتصر دور جدول الإنتاج على

التبؤ بتطور المشجر فحسب، وإنما يفيد أيضاً كإدراك توجيه عند تخطيط الإستغلال الغابي (قطع الأشجار) وتنسق جداول الإنتاج أيضاً لتحديد الضرائب المستحقة على القطاع الغابي في البلدان المتقدمة. من وظائف جداول الإنتاج كذلك تحديد مكونات المشجر أثناء عمليات الحصر. بناءً على القدرة الإنتاجية للموقع يمكن حساب تطور المشجر المتبقى عقب عملية التخفيف (الشلح) وكذلك تحديد الناتج من عملية التخفيف والتي يتم تحديدها بناءً على معطيات محددة (الجدول 1.5). من المدهش حقاً أن الشكل العام لجدول الإنتاج لم يتغير خلال المائتي سنة الماضية. هذا يدل على أن جدول الإنتاج كانت له القدرة دائماً في أن يوفي بالغرض من تصميمه والذي يتلخص في التخطيط الغابي متوازن وطويل الأمد.

العمر [بالسنوات]	المشجر بعد التخفيف	الناتج من التخفيف		الارتفاع [قدم]	الحجم	عدد الأشجار	الحجم
		عدد الأشجار	القطر				
20	3644	2	12	5.95	-	-	
28	911	4	24	11.92	2733	4.46	
36	405	6	33	16.39	506	6.62	
44	228	8	40	19.86	177	7.17	
52	146	10	45	22.35	82	7.15	
60	101	12	49	24.34	45	6.83	
68	74	14	53	26.32	27	6.41	
76	57	16	56	27.81	17	6.16	
84	45	18	59	29.30	12	5.83	
92	36	20	61	30.30	9	5.56	
100	30	22	63	31.18	6	5.34	
110	25	24	64	31.78	5	4.89	
120	21	26	64	31.78	4	4.71	

الجدول (1.5): جدول إنتاج لأشجار (*Fagus sylvatica*) تنمو في موقع جيد، صممته باولسن (1795).

تعطي جداول الإنتاج تقديرات لنطورة القيم المرتبطة بالإنتاج الخاص بالمشجر عقب عمليات التخفيف ونتائج التخفيف نفسه وذلك لنوع التخفيف (ينص عليها جدول الإنتاج). يتمثل دور جدول الإنتاج في الوصف العملي لعمليات التخفيف المخططة وفق الجدول وتقدير الناتج من هذه العمليات ثم التبؤ بتطور المشجر بعد كل عملية تخفيف تصلح المعلومات التي يعطيها الجدول لنوع واحد فقط من أنواع التخفيف.

تشكل درجات التخفيف وجداول الإنتاج وحدة واحدة يعتمد عليها تنفيذ التخطيط الفلاحي حتى الآن. القيمة التي يتم بها الدخول عبرها إلى جدول الإنتاج هي مؤشر الموقع الذي يعتمد على ارتفاع وصف الإنتاج. لكل صف إنتاج أو مؤشر موقع يوجد جدول منفصل يحتوي على معلومات عن ناتج التخفيف والمتبقي بعد هذه العملية. في العادة لا تتطور المشاجر الحقيقية تماماً كما ينص جدول الإنتاج، وذلك نتيجة للإحرافات التي تحدث في الموقع وفي المعاملات الفلاحية. تتم معالجة مثل هذه الحالات عند التبؤ بتطور الشجر، وحينها يتم تصحيح جداول الإنتاج.

من جداول الإنتاج المشهورة في ألمانيا جدول إنتاج النوع الشجري (*Fagus sylvatica*) الذي صمم فيدامان (1949).

هناك العديد من جداول الإنتاج النموذجية التي صممت لأهم الأنواع الشجرية في القارة الأوروبية (الجدول .(2.5

جدول الإنتاج	العمر بالسنة	الارتفاع بالเมตร	م م / هـ/ سنة MAI
<b>Fichte</b>			
ASSMANN U. FRANZ 1963	100	40,0	17
ZIMMERLE 1933	100	36,7	17
WIEDEMANN 1936/42	100	35,2	12
GUTTENBERG 1915 U. FRAUENDORFER 1959	100	37,3	15
GRIES 1965	100	38,2	14
FRAUENDORFER 1959	100	39,0	15
MØLLER 1933	70	32,0	19
ERIKSSON 1976	78	32,7	14
HAMILTON U. CHRISTIE 1971	80	36,7	21
WENK ET AL. 1985	100	37,8	15
EIDG. ANSTALT FORSTL. VERSUCHSWESEN 1983	100	44,6	19
<b>Douglasie</b>			
BERGEL 1985	100	48,0	20
KENK U. HRADETZKY 1984	100	54,0	23
HENGST 1958	75	34,7	15
HAMILTON U. CHRISTIE 1971	80	41,2	22
DECOURT 1972	65	36,6	20
KARLBERG 1961	61	36,2	21
<b>Kiefer</b>			
ZIMMERLE 1933	100	30,4	8
WIEDEMANN 1943	100	28,0	8
LEMBCKE ET AL. 1975	100	34,4	12
PETTERSON 1954	100	28,0	6
ANDERSSON 1963	100	24,0	6
HAMILTON U. CHRISTIE 1971	100	31,1	13
<b>Buche</b>			
SCHOBER 1972	100	32,4	8
DITTMAR ET AL. 1983	100	36,9	10
KENNEL 1972b	100	32,2	7
MØLLER 1933	100	33,0	13
CARBONNIER 1971	100	32,0	8

HAMILTON U. CHRISTIE 1971	100	33,0	10
EIDG. ANSTALT FORSTL. VERSUCHSWESEN 1983	100	39,2	13
JANSEN ET AL. 1996	100	40,1	11,9

الجدول (2.5): الإرتفاع السائد ومتسط الزيادة السنوية لأهم الأنواع الشجرية في أوروبا لأفضل المواقع وصفوف إنتاج متوسطة.

تساعد النسب المئوية للاستغلال التي يستخلصها كرامر (1990) من جداول الإنتاج على معرفة كميات الإنتاج الناتجة من عمليات التخفيف في المدى المتوسط لمختلف حالات المشاجر. من الواجبات المهمة للبحوث التطبيقية في مجال الغابات توسيع هذه الطريقة في إتجاه يسمح بتقدير أصناف الأخشاب المنتجة والتباين بتطور المشجر بعد كل عملية تخفيف (شلخ). هناك مسألة بحثية أخرى في مجال تحطيط الإسغال، وهي وصف أنواع التخفيف التي يجب أن تتم في المستقبل ووضع تصور (تبؤ) للوضع الاجتماعي للمشجر فيما يتعلق بالكتافة الشجرية وتركيبة المشجر والتغيرات التي تطرأ على قيمة المشاجر.

### 3.2.5. النماذج الرياضية للإنتاج

إن معظم النماذج الرياضية مستخلصة من جداول الإنتاج، وبذلك فإنها تحتوي هذه الجداول، لكن فقط في شكل آخر.

هناك العديد من النماذج الرياضية التي تم تصميمها لوصف النمو في الغابات.

#### تقدير الإنتاج بغابات الصنوبر (*Picea abies*) في روسيا

طور شفدينكو وأخرون (1995) نماذج رياضية لعدد من الأنواع الشجرية في روسيا. المعادلة (7.5)، على سبيل المثال، تساعد على حساب الحجم في مشجر نموذجي (كامل الكثافة الشجرية) للنوع الشجري (*Picea abies*)، صف الإنتاج III في شمال روسيا.

$$V(t) = 205 \cdot 3 \cdot \left[ 1 - e^{-0.0231 \cdot t} \right]^{2.93} \quad (7.5)$$

حيث:  $V_{(t)}$  = الحجم النهائي بالمتر المكعب في الهكتار عند العمر (t).  
بمساعدة المعادلة (7.5) يمكن تصميم جدول إنتاج (الجدول 3.5).

#### متسط الصف العمري (بالسنوات)

متر <sup>3</sup> هكتار	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190
	2.0	26.9	67.7	107.4	138.8	161.4	176.8	187.1	193.7	197.9

الجدول (3.5): جدول إنتاج لمشجر (*Picea abies*) كامل الكثافة الشجرية- صف إنتاج III في شمال روسيا.

تشكل مثل هذه النماذج الرياضية في العادة الأساس لخطيط الإنتاج في منطقة غابية، عندما تكون صفوف الأعمار في هذه المنطقة معروفة. أن النموذج الرياضي لحساب الإنتاج ذي التراكمات العالية، (الثوابت الكثيرة تتيح فرصة سهلة نسبياً) لإختيار بدائل إستغلال مختلفة فيما يتعلق بالإستدامة، ولكن من المهم التفكير في أن تطور الغابة يمكن أن يختلف دائماً وفقاً لدرجة جودة الموقع والمعاملات الفلاحية.

#### نموذج موري الرياضي لمتوسط الزيادة السنوية

في العادة يتم تصميم النموذج الرياضي لحساب الإنتاج الخشبي وفقاً لجودة المعادلة المستعملة ودرجة توافقها مع المعلومات المتاحة. إذا توفرت ظروف مشابهة للظروف التي جمعت فيها المعلومات الأصلية والتي صمم النموذج الرياضي على ضوئها، فإنه سيكون من الممكن استخدام النموذج الرياضي للتنبؤ بالإنتاج المستقبلي. ستظل الحاجة لمثل هذا الأمر، مادامت هناك طرق جديدة للمعاملات وظروف موقع مجھولة وأنواع شجرية مختلفة.

من الأشياء المهمة جداً في تصميم نموذج رياضي لحساب القدرة الإنتاجية لمنطقة ما، معرفة متوسط الزيادة السنوية الكلية (MAI). هنا يمكن استخدام العمر عن بلوغ متوسط الزيادة السنوية إلى قيمته ( $DGZ(t_{max})$ ). من المعادلات المناسبة في هذا الصدد معادلة شابمان - ريتشارد:

$$V(t) = A \left( 1 - e^{-k \{ t - t_0 \}} \right)^m \quad (8.5)$$

حيث:  $V(t)$  = حجم المخزون الخشبي بالمشجر (بالمتر المكعب في الهكتار) عند العمر ( $t$ )، ( $A$ ) = مقياس يوضح القيمة القصوى (تعرف بقيمة الإشباع) وتستعمل فيه نفس وحدات قياس ( $V$ )، ( $k$ ) يقسم المحور الزمني ويستعمل فيه مقلوب وحدة الزمن (إذا كانت وحدة الزمن المستعملة هي السنة، فإن وحدة ( $k$ ) تساوي 1 / السنة). عبر التغيير في قيمة ( $k$ ) في المعادلة (7.5) يمكن الحصول على النوذج الرياضي الذي يتاسب مع معدل النمو الحقيقي.

( $t$ ) = القيمة الزمنية التي يكون فيها الحجم أكبر من أو يساوي صفر، ( $m$ ) تساعد على زيادة درجة المرونة فيما يتعلق بشكل منحنى النمو.

لكل من ( $A$ ) و ( $k$ ) و ( $t_0$ ) و ( $m$ ) مدى محدد للقيم عند المزاوجة بين القيم التجريبية للحجم والقيم الناجمة من نموذج النمو. إذا كان المطلوب عند التنبؤ هم لحجم عند العمر ( $t_{max}$ ، هنا يكفي تحديد ( $t_0$ ) على أساس الخبرة. في المزروعات الشجرية سريعة النمو مثلاً، فإن قيمة ( $t_0 = 1$ ) تعتبر دائماً قيمة معقولة. يعمل الثابت ( $A$ ) على إتزان النموذج الرياضي وتحدد قيمته تلقائياً، مادامت القيم ذات الوزن ( $t_{max}$  و  $MAI_{max}$ ) معروفة. هذا يعني أن شكل وإتجاه النموذج الرياضي للنمو في علاقته بمحور الزمن يتحدد فقط عبر الثوابت ( $m$ ) و ( $k$ ). في العادة يتم تعريف ( $t_{max}$ ) عبر قيم ( $m$ ) و ( $k$ ). من هنا نخلص إلى أن قيم الثوابت لا يمكن استخدامها للنموذج الرياضي، إذا كانت قيمة ( $t_{max}$ ) معروفة.

كان من الممكن أن يكون إعطاء قيمة ( $t_{max}$ ) حلاً عملياً وذلك لأن قيمة ( $MAI_{max}$ ) تكون (في العادة) معروفة من خلال الخبرة كما يسهل الحصول عليها من خلال عمليات الحصر الغابي. يمكن الحصول على العلاقة بين ( $t_{max}$ ) و( $m$ ) عند إجراء عملية التفاضل للنموذج أعلاه.

$$I = [I + t_{max} \cdot m \cdot k] \cdot e^{-k \cdot \{t - I\}} \quad (9.5)$$

إذا أعطيت قيم ( $m$ ) فيمكن الحصول على قيمة ( $k$ ). استعمل موراي وقادو (1993) برنامجاً حاسوبياً لحساب قيمة ( $k$ ).

#### متوسط الزيادة السنوية النسبي

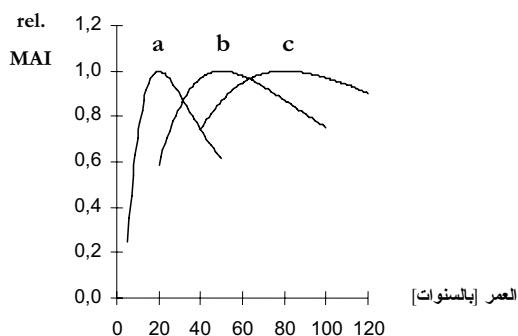
أن القيم الأساسية التي يعتمد عليها النموذج الرياضي لمنطقة ما هي القيم التي يمكن الحصول عليها من الخبرة العملية لكل من ( $MAI_{max}$ ) و ( $t_{max}$ ). في مثل هذه الحالة ينصح باستعمال متوسط الزيادة السنوية النسبي ( $reIMAI_{(t)}$ ) ويتم تعريفه كالتالي:

$$1 = MAI_{max}$$

يمكن الحصول على متوسط الزيادة السنوية النسبي في الهكتار في السنة عن طريق المعادلة الآتية:

$$reIMAI(t) = \frac{t_{max}}{t} \frac{(1 - e^{-k \{t - to\}})^m}{(1 - e^{-k \{t_{max} - to\}})^m} \quad (10.5)$$

الشكل (7.5) يوضح أمثلة لمتوسط الزيادة السنوية النسبي ( $reIMAI_{(t)}$ ) والتي تبلغ قيمتها عند ( $t_{max} = 20$ ، 50 سنة، 80 سنة).



الشكل (7.5): ثلاثة منحنيات لمتوسط الزيادة السنوية النسبية.

يتم الحصول على منحنيات متوسط الزيادة السنوية عن طريق ضرب القيم النسبية في قيمة ( $MAI_{max}$ ) التي تكون معروفة القيمة.

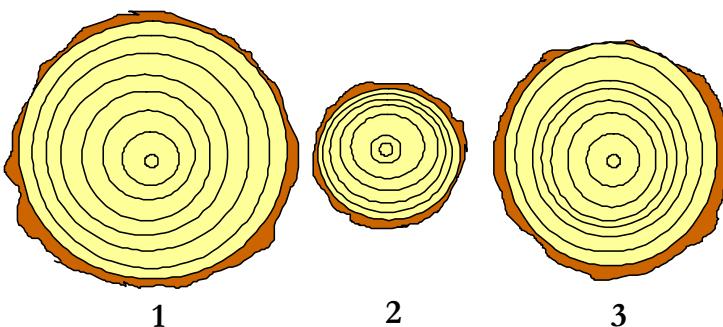
وجد موراي وقادو تطابقاً جيداً بين النموذج الرياضي التحليلي لمتوسط الزيادة السنوية النسبي والنمذج الرياضية التجريبية للنمو. إذن يمكن في حالة وجود معلومات عن القيمة الفصوصى لمتوسط الزيادة السنوية والعمر النهائي الحصول على نتائج أفضل من تلك التي يتم حسابها عن طريق النماذج الرياضية للنمو والتي تعتمد عادة على معلومات غير مكتملة.

### 3.5. النماذج الرياضية للمشاجر التي تعمد على الكثافة الشجرية

من الأهداف الحالية لبحوث نمو الغابات تصميم نماذج رياضية تسمح بتقدير مختلف العمليات الفلاحية في الغابة. لقد ثبت أن جداول الإنتاج والنماذج الرياضية للنمو في مناطق واسعة غير مؤهلة لذلك، لأنهما يعملان لحساب النمو والإنتاج في مشاجر أنشأت ويتم تحقيقها وفقاً لمنهج معين (وضع مثالاً). تزيد الإصلاحات الالزامية لجدول الإنتاج تعقيداً، كلما تنوّعت الأنشطة الفلاحية (التخفيف بشكل خاص) بالقدر الذي يجعلها منحرفة عن جدول الإنتاج.

### العلاقة بين كثافة المشجر والنمو

أوضحت عدة تجارب أن نمو الإرتفاع لا يتأثر بكثافة المشجر، في حين أن نمو القطر شديد الحساسية لدرجة كثافة المشجر. تنتهي أعمال كريب (1939) إلى التجارب الأولى التي تووضح حساسية تفاعل القطر مع مختلف المعاملات الفلاحية في المشجر. الشكل (8.5) يوضح ثلاثة قطاعات عريضة لأشجار صنوبر متساوية في عمرها.



(الشكل 8.5): قطاعات عريضة لثلاثة شجرات أخذت عند مستوى الصدر، عمر كل منها 9 سنوات.

نمت الشجرة (1) في مساحة خالية من المنافسة والشجرة (2) نمت في مشجر مكتظ بالأشجار، أما الشجرة (3) فقد نمت في البداية في مشجر مكتظ بالأشجار ثم إستجابت (بارتفاع) في زيادة القطر بعد عملية تخفيف مكثف أجريت في عمر 7 سنوات.

من البحوث الأساسية في العلاقة بين الكثافة الشجرية والنمو إسهامات آسمان (1961)، خصوصاً فكرة المساحة الفاعدية المثلثي (Optimum). توصل آسمان ومن بعده توماسيوس (1963) إلى أن أعلى زيادة في المخزون الخشبي تتحقق عندما تكون الكثافة الشجرية أقل بقليل من الكثافة القصوى. ما عادت هذه الفكرة مقبولة اليوم، وذلك لأن الكثافة العالية للأشجار تؤدي بالفعل إلى زيادة في حجم المخزون الخشبي (في وحدة المساحة) ولكن على حساب إستقرار الشجر. عرفت هذه الحقيقة مبكراً في المزروعات الشجرية الغابية. كنتيجة لكميات كبيرة من الخسائر (نتيجة عدم إستقرار المشجر) فقد ظلت تمارس عمليات تخفييف مكثفة في المزروعات الشجرية منذ حوالي 60 عاماً وذلك نظراً للتاثير الإيجابي لهذه العمليات على إستقرار الغابة وزراعة سرعة نمو الأشجار مما يرفع من قيمة الأشجار المفردة داخل المشجر.

#### أمثلة لنماذج رياضية للمشاجر ذات الكثافات الشجرية المتعددة

لا يقتصر الفرق الأساسي بين النموذج الرياضي المعتمد على كثافة المشجر وجداول الإنتاج المثلثي في نوع العرض الذي يقدمه كل. يمكن عرض جدول الإنتاج المثلثي أيضاً عن طريق برنامج حاسوبي، ولكن هذا العرض لا يضيف أي معلومات جديدة. إن الفرق بين النماذج الرياضية المعتمدة على كثافات شجرة متعددة للمشاجر وبين جداول الإنتاج المثلثية يمكن في الفكرة من أساسها. لا يمكن بناء النموذج الرياضي لبدائل متعددة لإدارة غابة على منهج واحد فقط من مناهج التدخل الفلاحي (بالقطع أو التخفيف). إن مثل هذا النموذج الرياضي، لما له من تصميم خاص، يعمل على تقييم معاملات فلاحية مختلفة للمشجر الغابي. يتم تصميم بدائل حاسوبية عديدة ويتم تجربتها بالتالي حتى يتم الحصول على صورة تطابق أو تشابه المشجر الحقيقي ويتم ما يعرف ببرامج الحساب المتنالي أو المترافق. (Simulation programmes).

تعتمد جودة النموذج الرياضي البيولوجي على صلاحية التعميم ودرجة الدقة. عند تطوير نماذج رياضية للنمو والإنتاج يراعى صلابيتها للغطية مدى واسع كما تراعى درجة دقتها عند التطبيق. هذا يعني أن

المطلوب هو الحصول على نموذج رياضي يتناسب مع المعلومات المتوفرة. يؤدي السعي لتحقيق هذا الهدف إلى البحث الدائم عن نماذج رياضية تتناسب مع كل حالة بشكل جيد، ولكن لعدم توفر صلاحية التعميم وأمكانية الاستخدام على مدى واسع يصرف النظر (في كثير من الأحيان) عن استخدام مثل هذه النماذج.

نظرًا لتعقيد ديناميكية الغابات المختلطة والعدد الكبير من أنواع المشاجر سوف يكون في نهاية الأمر النموذج الرياضي للشجرة المفردة (Single tree model) هو الحل الأمثل. مع هذا فهناك حاجة ماسة لنماذج رياضية مرنّة، تعتمد على كثافات شجرية مختلفة تغطي فترة زمنية محددة وذلك بهدف التخطي الغائي. يحتاج التخطيط الغائي إلى نماذج رياضية للنمو موثق بها. لتحقيق هذا الهدف فإنه من الممكن إستعمال أنواع النماذج الرياضية لحساب التطور المستقبلي لمكونات المشاجر الحقيقية، الشرط للقيام بذلك هو تقسيم المعلومات الخاصة بالحصص والعمليات الفلاحية إلى أنواع ودرجات. يجب أن يكون النموذج الرياضي قادرًا على الإستجابة لمختلف الحالات التي تكون عليها المشاجر ومختلف المعاملات الفلاحية، ويكون من الأفضل إذاً أمكن حساب المنتجات الخشبية في شكل أصناف.

من قيم المشجر المهمة التي يجبأخذها في الحسبان: الإرتفاع وعدد الأشجار والمساحة القاعدية (في المشاجر المختلطة يجب التقسيم حسب الأنواع الشجرية الموجودة) وكذلك الأنواع الشجرية ودرجة وزمن عمليات التخفيف (المخططة). يستفاد من النموذج الرياضي للمشجر في وصف تطور المتواسطات (مثل القطر المحسوب من المساحة القاعدية للشجرة الوسطية، الإرتفاع السائد للمشجر والمتغيرات المرتبطة بوحدات المساحة: مثل عدد الأشجار والمساحة القاعدية في الهكتار).

لحساب تطور المشجر في المدى القصير والمتوسط، فإن المعادلة الجبرية ذات الثلاث ثوابت، التي اقترحها شابمان وريتشارد، تعتبر مناسبة.

$$H = a_0 \cdot \left[ 1 - e^{-a_1 t} \right]^{a_2} \quad (11.5)$$

حيث: ان (H) تشير إلى ارتفاع المشجر، و(t) إلى عمر المشجر و(a<sub>0</sub>) إلى ثابت يحمل نفس وحدات القياس التي يحملها المتغير غير المستقل ويعمل الثابت (a<sub>1</sub>) على تقسيم محور الزمن، في حين أن (a<sub>1</sub>) و(a<sub>2</sub>) معاً يحددان شكل منحنى النمو (أي موضعه بالنسبة إلى محور الزمن).

إبتداء من الإرتفاع (H<sub>1</sub>) في العمر (t<sub>1</sub>) يمكن تحديد الإرتفاع (H<sub>2</sub>) في العمر (t<sub>2</sub>) وفقاً للمعادلة الآتية:

$$H_2 = H_1 \cdot \left[ \frac{1 - e^{-a_1 t_2}}{1 - e^{-a_1 t_1}} \right]^{a_2} \quad (12.5)$$

يمكن عن طريق معادلة شابمان-ريتشارد حساب التطور لنمو الإرتفاع دون الحاجة لتحديد مؤشر الموقع ولا بهم في هذا النموذج الرياضي إذا كانت الفترة الزمنية التي يغطيها التنبؤ مقسمة إلى وحدات زمنية أقصر أم لا: مختلف الفترات الزمنية تؤدي إلى نفس النتيجة. يمكن تحديد (حساب) ثوابت الإرتفاع بإستخدام تحليل

الانحدار غير الخطى لكل نوع شجري عن طريق جداول الإنتاج. بتحليل جدول إنتاج شوبر (1995) أمكن حساب الثوابت الآتية من متوسطات الارتفاعات لكل من النوعين (*Picea abies*) و (*Fagus sylvatica*).

الثابت	<i>Picea abies</i>	<i>Fagus sylvatica</i>
$\alpha_1$	0.02140	0.02001
$\alpha_2$	1.7831	2.0272

يحتوى هذا النموذج أدنى على جدول إنتاج ولكن في شكل آخر.

إذا دعت الضرورة (لأى سبب كان) إلى حساب درجات جودة الموقع (مؤشر الموقع) فإنه يمكن تحديد درجة جودة الموقع المطلق باستخدام الارتفاع عن طريق المعادلة (12.5)، كما يمكن رسم منحنيات الارتفاع (التي يتم حسابها) بيانياً. بما أن ثوابت النموذج الرياضي لكل صفوف الإنتاج متساوية، فإننا سنحصل على نظام منحنيات أحادي المسار (Anamorphic). إذا إتضح من خلال المعلومات المتوفرة أن التاسب بين منحنيات الارتفاع غير صحيح فإنه يمكن تحويل الإتجاه الأحادي للنموذج الرياضي للارتفاع إلى نموذج متعدد الإتجاهات (Polymorphic) بدون عناء.

بنفس الطريقة يمكن وزن النموذج الرياضي ليناسب جدول الإنتاج باستخدام درجة كثافة المشجر، إذا تم حساب المساحة القاعدية في العمر ( $t_2$ ) باعتبارها دالة على (أو مرتبطة ب) المساحة القاعدية في العمر ( $t_1$ ). يمكن بنفس الطريقة حساب المساحة القاعدية المستقبلية عن طريق المعادلة الجبرية التي تعتمد على الفرق في المساحة القاعدية الحالية، حيث أن مستوى الإنتاج موجود ضمن المعلومات الحقيقة للمشجر وبذلك فهو أيضاً موجود (لتلقائياً) في التنبؤ المستقبلي. استعمل بيتر (1990) المعادلة (15.4) لحساب المساحة القاعدية في مشجر صنوبر (*Picea abies*) وهي تعتمد على الفرق الجبri للنموذج الرياضي لتطور المساحة القاعدية. إنعدمت المعادلة على معلومات من جدول الإنتاج الذي صممه فيدامان وشوبر، وبالتالي فإنها تصلح فقط في حدود درجات المعاملات الفلاحية التي بني عليها جدول الإنتاج المذكور.

$$\begin{aligned} \ln(G_2) = & \ln(G_1) - 276.84 \left( \frac{1}{t_2} - \frac{1}{t_1} \right) + 0.52 [\ln(H_2) - \ln(H_1)] \\ & + 6.99 \left[ \frac{\ln(H_2)}{t_2} - \frac{\ln(H_1)}{t_1} \right] + 28.96 \left[ \frac{\ln(N_2)}{t_2} - \frac{\ln(N_1)}{t_1} \right] \\ & - 0.09 \left[ \frac{N_{Df} t_{Df}}{Nt_2} - \frac{N_{Df} t_{Df}}{Nt_1} \right] \end{aligned} \quad (13.5)$$

حيث:

$t_2, t_1$  = عمر المشجر في بداية ونهاية فترة التطوير

$G_2, G_1$  = المساحة القاعدية للمشجر (متر مربع في الهكتار) في العمر  $t_1$  و  $t_2$

$H_2, H_1$  = متوسط ارتفاع المشجر (بالمتر) في العمر  $t_1$  و  $t_2$

$$\begin{aligned}
 N_2, N_1 &= \text{عدد الأشجار في الهكتار في العمر } t_1 \text{ و } t_2 \\
 t_{Df} &= \text{عمر المشجر عند النقطة الزمنية التي تحدث عندها عملية التخفيف} \\
 N_{Df} &= \text{عدد الأشجار التي تقع في عملية التخفيف عند النقطة الزمنية } t_{Df} \\
 N &= \text{عدد الأشجار قبل عملية التخفيف (أي عدد الأشجار في بداية الفترة) في الهكتار}
 \end{aligned}$$

مثال: في عملية حصر غابي وجد أن المساحة القاعدية لمشجر صنوبر (*Picea abies*) في عمر 60 سنة يساوي 39 متراً مربعاً في الهكتار. بلغ متوسط الإرتفاع للمشجر  $5 = 20.5$  متراً وعدد الأشجار 1276 شجرة في الهكتار. في عمر 66 سنة يجب قطع 278 شجرة في إطار عملية تخفيف. الإرتفاع المتوقع في عمر 70 سنة يساوي 23.3 متراً (هذا يعني أن هذا المشجر من صف الإنتاج II أوفقاً لجدول إنتاج فيدامان وشووبر). بتطبيق المعادلة (13.5). يمكن حساب المساحة القاعدية في عمر 70 سنة (تساوي 41.8 متراً مربعاً في الهكتار).

هناك أهمية خاصة للنماذج الرياضية للنمو (المتعلقة بتقدير أحجام وقيم المشاجر الغابية) التي تهتم بتقديرات الأقطار والمساحات القاعدية لمختلف الكثافات الشجرية. مثل هذه النماذج لا تساعد فقط على إعطاء تقديرات للتطور لحالة محددة، وإنما تسمح أيضاً بإعطاء معلومات عن العلاقة بين الزيادة في المساحة القاعدية وكثافة المشجر والإرتفاع السائد. كمثال لذلك فقد طور هوبي وقادو (1993) نموذجاً رياضياً مبسطاً لمساحة القاعدية للنوع الشجري (*Cunninghamia lanceolata*) وهي من الأشجار الاقتصادية المهمة في الصين. تقدّر المعادلة كالتالي:

$$G_2 = G_1 N_2^{1 - 0.142 \cdot H_2^{0.601}} N_1^{0.142 \cdot H_1^{0.601} - 1} \left( \frac{H_2}{H_1} \right)^{4.292} \quad (14.5)$$

حيث:

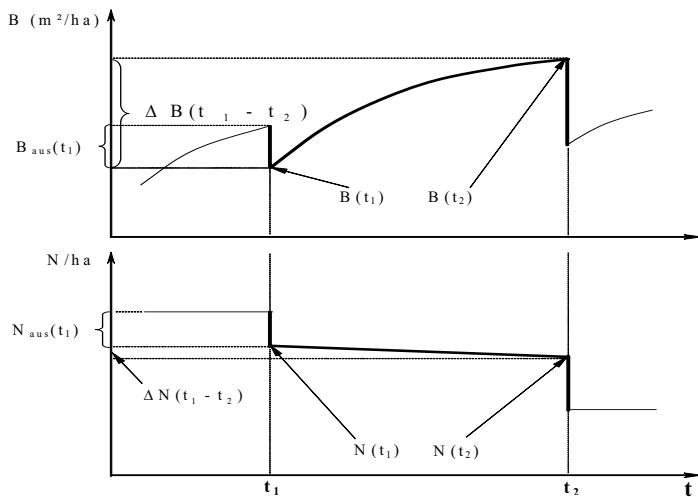
$G_2, G_1$  = المساحة القاعدية بالمتر المربع في الهكتار في العمر  $t_1$  و  $t_2$  على الترتيب  
 $N_2, N_1$  = عدد الإشجار في الهكتار في العمر  $t_1$  و  $t_2$  على الترتيب  
 $H_2, H_1$  = الإرتفاع السائد في العمر  $t_1$  و  $t_2$  على الترتيب  
يمكن إستعمال المعادلة (14.5) وإختيار قيم مناسبة للثوابت لحساب التطور الحقيقي لمساحات القاعدية بالمشاجر. من الواضح أن استخدام المعادلة ليس بالأمر العسير.

مثال: في إطار حصر غابي تم الحصول على القيم الخاصة بمشجر ما عمره 16 عاماً. بلغت المساحة القاعدية 42.4 متراً مربعاً في الهكتار والإرتفاع السائد 14.5 متراً وعدد الأشجار 2370 شجرة في الهكتار. حسب الخطة يجب عدم قطع أي أشجار حتى العمر 21، من المتوقع موت 30 شجرة موتاً طبيعياً. الإرتفاع المتوقع في عمر 21 سنة يقدر بـ 17 متراً وعدد الأشجار في هذا العمر (إذن) يساوي 2340 في الهكتار. المساحة القاعدية المتوقعة عند إستعمال المعادلة (14.5) في عمر 21 سنة تساوي 50.3 متراً مربعاً.

يساعد هذا النموذج الرياضي (المعادلة 14.5) على التنبؤ بتطور المساحة القاعدية، إذا توفرت المعلومات عن الإرتفاع السائد وعدد الأشجار. من المهم عند تطبيق النموذج الرياضي وجود معادلة جبرية تناسبه وبذلك يمكن حساب تطور المساحة القاعدية (أي التنبؤ بما ستتصير إليه مستقبلاً).

### 1.3.5 نموذج نمو لمشاجر الصنوبر (*Picea abies*)

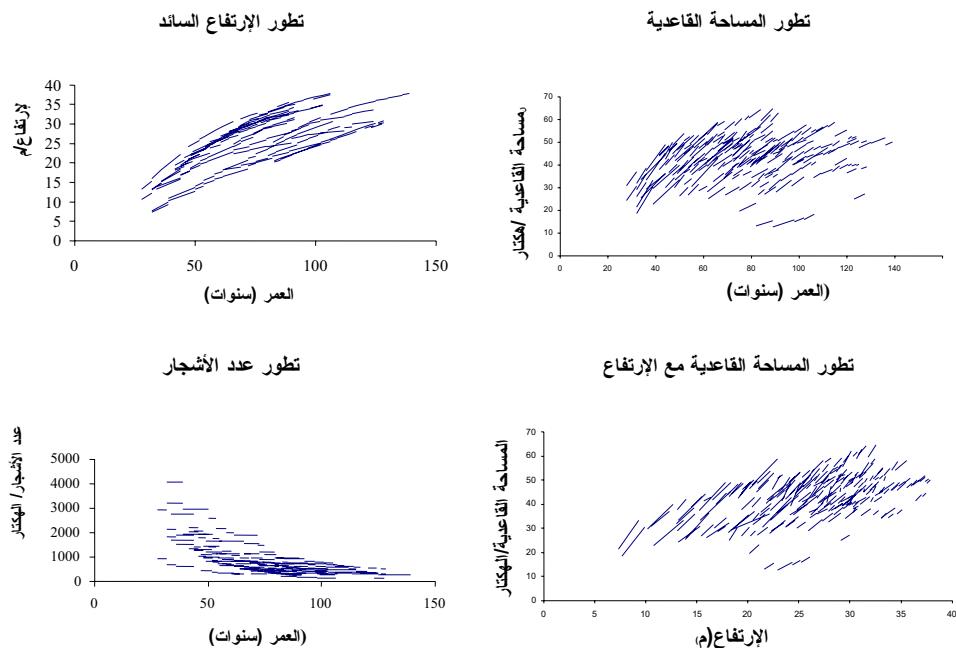
الشكل (9.5) يوضح الطريقتين الأساسيتين اللتين يتحدد بموجبهما تور المساحة القاعدية، وتحديداً: النمو الطبيعي بين عملية تخفيف (شلخ) والتغيير الذي يحدث بعد كل عملية تخفيف.



الشكل (9.5): رسم توضيحي للعلاقة بين النمو والقطع في مشجر.

$B =$  المساحة القاعدية/الهكتار،  $(B_{aus})$  = الجزء من المساحة القاعدية الذي قطع في عملية التخفيف،  
 $B(t_1)$  و  $B(t_2)$  = المساحة القاعدية في الأعمار  $(t_1, t_2)$ ،  $\Delta B(t_1-t_2)$  = الزيادة في المساحة القاعدية عبر عملية النمو،  $(N)$  = عدد الأشجار في الهكتار  $N_{aus}$  = عدد الأشجار التي قطعت في عملية التخفيف،  $(t_1)$  و  $N(t_1)$  و  $N(t_2)$  = عدد الأشجار في العمر  $(t_1)$  و  $(t_2)$  في الهكتار،  $\Delta N(t_1-t_2)$  = النقص في عدد الأشجار نتيجة للموت الطبيعي.

لتحديد ثوابت النماذج الرياضية يستعمل كورجانوف وآخرون (2000) معلومات متوفرة عن 19 مربوع عينة للنوع الشجري (*Picea abies*). بلغ العدد لفترات القياسات 228 وتوفرت معلومات عن العمر والإرتفاع وعدد الأشجار، الشكل (10.5) يوضح تطور كل من الإرتفاعات وعدد الأشجار والمساحات القاعدية مع العمر بالإضافة إلى تطور المساحة القاعدية مع الإرتفاع.



الشكل (10.5): العرض البياني لـ 19 مربوع عينة وفترات القياسات.

يمكن تقسيم النماذج الرياضية الخاصة بالمساحات القاعدية للمشاجر إلى نوعين

1. النماذج الرياضية التي تعتمد على الفروقات الجبرية عند حساب المساحة القاعدية في العمر ( $A_2$ ) .

2. معدلات التفاضل لحساب الزيادة السنوية في المساحة القاعدية.

من خلال إسهامات كورجانوف وأخرون (2000) تم عن طريق إستعمال النوع الأول أعلاه تطوير نماذج رياضية للنوع الشجري (*Picea abies*) متساوية الأعمار وقد خضعت لعمليات تخفيف (شلخ). بناءً على دراسات مكثفة تم التوصل في نهاية الأمر إلى نموذج لهذه المشاجر. الجدول (4.5) يبين العناصر الأساسية لهذا النموذج الرياضي.

المساحة الفaudية	$B2_2 = \exp\left(\frac{A_1}{A_2}\right) \cdot \ln G_i + 5.5357 \cdot \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) - 0.0112 \cdot SI \cdot \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) + -0.00681 \cdot \left(\ln N_2 - \frac{A_1}{A_2}\right)$
الارتفاع السائد	$H = SI \cdot \left( \frac{1 - \exp(-0.0006 \cdot SI \cdot A)}{1 - \exp(-0.0006 \cdot 100 \cdot A)} \right)^{1.507}$
الارتفاع المتوسط	$H_m = 0.5981 \cdot H^{1.1206}$
معامل الشكل	$FH = -4.258 + 0.9401 \cdot (H_m) - 0.01063 \cdot (H_m^2)$
حجم المخزون الخشبي بالمشجر	$V = G \cdot FH$
الموت الطبيعي للأشجار	$N_2 = 1000 \cdot \left[ \left( \frac{N_1}{1000} \right)^{-0.618365} + 0.000264 \cdot (H_2^{2.341983} - H_1^{2.341983}) \right]^{-\frac{1}{0.618365}}$

الجدول (4.5): نموذج نمو النوع الشجري (*abies picea*) لمشاجر متساوية العمر تم تطويره على اساس بحوث كورجانوف (2000) وسانشينز (2001) وفليكر (2002).

حيث: (A) = عمر المشجر، (SI) = مؤشر الموقع (العمر المرجعي = 100 سنة)، (B) = المساحة الفaudية (متر مربع / الهكتار)، (N) = عدد الأشجار في الهكتار، (H) = الارتفاع السائد (متر)، (H<sub>m</sub>) = الارتفاع المتوسط (متر)، (FH) = مضروب معامل الشكل في الارتفاع (متر)، (V) = حجم المخزون الخشبي بالمشجر (متر مكعب في الهكتار).

يعلم نموذج النمو في الجدول أعلاه على حساب المساحة الفaudية وعدد الأشجار الموجودة (الحية) والإرتفاع بالمشجر بناءً على المعلومات الأساسية المتوفرة. يعتبر مثل هذا النموذج الرياضي (المشجر) مناسباً جداً (على عكس النماذج الرياضية للأشجار المفردة)، وذلك لقرته على حساب خيارات متعددة للعمليات الفلاحية (تحديداً عمليات التخفيف). من المحتمل أيضاً أن يكون النموذج الرياضي للمشجر أكثر دقة، مقارناً بالنماذج الرياضية للأشجار المفردة.

### 2.3.5. حجم وتصنيف المخزون الخشبي بالمشجر

من المعروف أن حجم المخزون الخشبي الواقع ليس قيمة حصر أصلية، وإنما قيمة مستخلصة من عمليات حسابية ويتم الحصول عليه كناتج ضرب لثلاثة متغيرات هي المساحة الفaudية وعدد الأشجار والإرتفاع ويمكن حساب الحجم أيضاً عن طريق المساحة الفaudية ومضروب الإرتفاع في معامل الشكل. بهذا يمكن اعتبار الحجم محصلة لعمليات الحصر. لهذا السبب فإنه من المهم جداً الحصول على معلومات عالية الدقة عن المتغيرات الأصلية وهي المساحة الفaudية وعدد الأشجار والإرتفاع. تعتبر معرفة الحجم وتصنيفه إلى أنواع أمراً مهماً لاتخاذ القرارات المتعلقة بإدارة الغابات، لهذا فإنه ينصح بتطوير طريقة ليس فقط سهلة، وإنما أيضاً صالحة للتطبيق في كل مكان. يمكن أن يتم التعبير عن ذلك بالآتي: إيجاد أسهل نموذج رياضي يساعد على التعبير عن كل جداول الأصناف بدرجة محددة من الدقة. قام أماتيز وآخرون (1986) بتطوير

معادلة تناسب حجمية تعمل على حساب الإنتاج من كل صنف باستعمال أقل قطر يحقق حجم الصنف المعين

$$\cdot(V_m)$$

$$V_{m,d} = V \left[ e^{\gamma_1 \left( \frac{m}{D} \right)^{\gamma_2} + \gamma_3 \left( \frac{d}{D} \right)^{\gamma_4}} \right] \quad (15.5)$$

حيث:

$V$  = حجم المخزون الخشبي الواقف بالمشجر.

$D$  = القطر المحسوب عن طريق المساحة القاعدية للشجرة الوسطية.

$D$  = أقل قطر في المشجر تحقق به إنتاجية للصنف من أقل متوسط قطر (m).

البرنامج الحاسوبي أدناه (Prodvol) يوضح حساب الجزء من الحجم في الدرجة 2 (20 - 30 سم كمتوسط قطر) لمشجر صنوبر (*Picea abies*), القطر المحسوب من المساحة القاعدية للشجرة الوسطية = 34 سم.

```

Program ProdVol;
Var p1, p2: real;

Function Potenz(x, a: real): real;
Begin Potenz:=exp(a*ln(x)) End; {Potenz}

Function P(Dg, {mittl. D des Grundfl Mittelst.}
           m, {Mindest-Mittendm. des Sortiments}
           d {geringster mittl. D, bei dem noch
               Sortimenterträge mit m anfallen}
           :real): real;
Const g1=-1.311; g2=2.877; g3=-0.1019; g4=0.8377;
Begin
  P:=exp(g1*potenz(m/Dg,g2)+g3*potenz(d/Dg,g4));
End; {P}

BEGIN
  {Beispiel für Klasse 2}
  p1:=P(34,20,14);
  p2:=P(34,30,20);

```

```

write('Der Anteil der Klasse 2 (20-30cm)');
write(' am Gesamtvolumen beträgt ');
writeln(100*(p1-p2):5:1, ' Prozent');
readln
END.

```

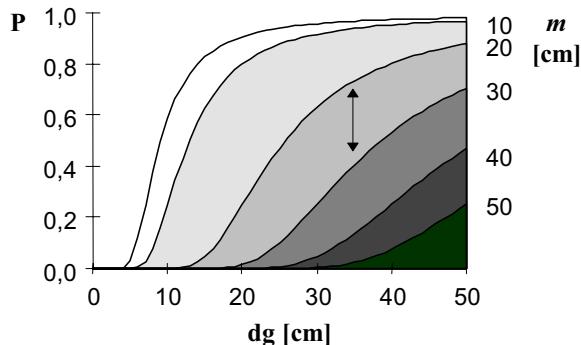
مثال: في بحث محلي يتعلق بتصنيف إنتاج مشجر صنوبر (*Picea abies*) تم الحصول على الثوابت  $\gamma_1 = 1.311$ ،  $\gamma_2 = 0.1019$ ،  $\gamma_3 = 2.877$  و  $\gamma_4 = 0.8377$ . يجب إستعمال المعادلة (15.5) لحساب الإنتاج من الدرجة الثانية ( $m \leq 30$ ) في مشجر سيخضع لعملية تخفيف. الحجم الناتج من عملية التخفيف = 60 متر مكعب للهكتار والقطر المحسوب من المساحة القاعدية للشجرة الوسطية لعملية التخفيف = 34 سم، ينبع من ذلك.

$$\begin{aligned}
& \text{كمية من إنتاج التخفيف التي تقع في الدرجة الثانية} = 20.8 - 43.2 = 20.4 \text{ متر مكعب/الهكتار.} \\
& V_{20,14} = 60 * 0.72 = 43.2 \text{ متر مكعب/الهكتار.} \\
& V_{30,20} = 60 * 0.38 = 22.8 \text{ متر مكعب/الهكتار.}
\end{aligned}$$

تصلح المعادلة (15.5) لحساب الأصناف الخشبية في المشاجر وكذلك بالنسبة للأشجار المفردة، إذن يجب أن يكون لكل نوع شجري مجموعتان من الثوابت: واحدة للاستعمال في حالة النماذج الرياضية للأشجار المفردة وأخرى للاستعمال في النماذج الرياضية للمشاجر. في العادة يمكن حساب القطر الأدنى (d) من متوسط القطر (m) عن طريق تحليل الإنحدار البسيط. لحساب أحجام الأصناف في حالة وجود القيم الأدنى لمتوسطات قطراتها (m) يمكن أيضاً إستعمال مجموعة المنحنيات المرسومة بيانياً (الشكل 12.5). يمكن حساب مقدار (d) من المعادلة:

$$d = 0.832 + 0.6688m$$

يمكن الحصول على الجزء الذي يمثله صنف محدد من الفرق بين قيم منحنين كما في الشكل (15.5).



الشكل (12.5): الجزء  $P$  من الصنف بأقل متوسط قطر ( $m$ ) من الحجم الكلي (اعتباراً على معلومات عن النوع الشجري spruce في سكسونيا السفلية عام 1978 - 1984) (الجزء من الدرجة الثانية لمشجر فيه  $d_g = 34$  سم يمكن حسابه من السهم ذي الرأسين في الشكل).

من مكونات النموذج الرياضي للنمو، أخيراً، تحديد كمية ونوع ودرجة التخفيف، على سبيل المثال يمكن إيجاد النسبة بين المساحة القاعدية التي أزيلت في عملية التخفيف والمساحة القاعدية قبل التخفيف من جدول الإنتاج.

$$\frac{G_t}{G} = \left( \frac{N_t}{N} \right)^\delta \quad (16.5)$$

حيث:

$G$  = المساحة القاعدية قبل التخفيف (بالمتر المربع/الهاكتار)

$G_t$  = المساحة القاعدية الناتجة من التخفيف (بالمتر المربع/الهاكتار)

$N$  = عدد الأشجار قبل التخفيف (في الهاكتار)

$N_t$  = عدد الأشجار الناتجة من عملية التخفيف (في الهاكتار)

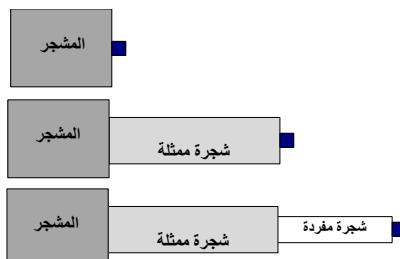
$\delta$  = ثابت، تحدد قيمته وفقاً لدرجة التخفيف

نتج من تحليل جدول إنتاج النوع الشجري (*Picea abies*) الذي صممته فيدمان وشوير قيمة  $\delta = 1.42$  للتحفيض المتوسط و  $1.25$  للتحفيض المكثف (التقليل).

تسمح العناصر التي تم وصفها للنموذج الرياضي للنمو وللإنتاج بحساب نطور المشجر الغابي وحساب الإنتاج وفقاً للأصناف لمختلف المراحل (انطلاقاً من أي حالة إبتدائية) ولمختلف أنواع التخفيف. من المحاسن الأساسية لطريقة الفروقات الجبرية أنها أسهل بكثير من الطرق الأخرى، هذا بالإضافة إلى طريقة الفروقات الجبرية لمعدلات النمو أكثر صحة من الناحية النظرية من معدلات التفاضل، مما يجعلها أسهل في التطبيق.

## 6. نمو الأشجار المفردة

هناك شرطان أساسيان لتصميم النماذج الرياضية للنمو والإنتاج، أولهما إستيفاء احتياجات نظرية محددة وثانيهما أن يعود التطبيق بقيمة فيما يتعلق بمسألة التطور. إن إستيفاء هذان الشرطان ليس بالإمر السهل، إذا إخذنا في الحسبان أن هذه النماذج الرياضية يجب أن تساعد في حساب مدى واسع من درجات جودة الموقع وأنواع مختلفة من المعاملات الفلاحية. يجب أن يتوافق نوع النموذج الرياضي المستعمل مع المعلومات المتاحة، فمثلاً إذا توفرت معلومات عن شجرة (بما في ذلك الموضع المحدد لشجرة داخل المشجر)، فإنه من الممكن الإستفادة من هذه المعلومة المتوفرة، وذلك من خلال إستعمال نموذج رياضي للشجرة المفردة معتمداً على موضع الشجرة. كلما زادت المعلومات المتوفرة، كلما كانت الرؤية أكثر وضوها. الشكل (1.6) يوضح درجات الحصول على المعلومات: عن طريق المشجر بشكل عام، ثم عن الشجرة وشجرة ممثلة، ثم عن المشجر وشجرة ممثلة والأشجار المفردة.

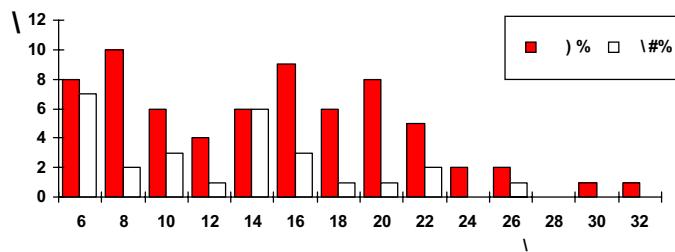


الشكل (1.6): تكامل النماذج لرياضية بأنواعها المختلفة على أساس القاعدة التسلسولية.

تعتمد درجة تفاصيل المعلومات الناتجة من النموذج الرياضي على درجة تفاصيل ودقة المعلومات الأولية المتوفرة. هناك نوعان من النماذج الرياضية لمعرفة (أو حساب) نمو الشجرة المفردة. يمكن استخدام النماذج الرياضية للشجرة الممثلة (Representative tree) أي الشجرة المتوسطة في المشجر، إذا توفرت معلومات عن توزيع الأقطار (Diameter distribution)، أما إذا أتيحت، علاوة على ذلك معلومات عن مواضع الأشجار داخل المشجر (أحداثيات كل شجرة)، فإنه يمكن إستعمال ما يعرف بالنماذج الرياضية للأشجار المفردة إنعتمدًا على الموضع.

## 1.6 النماذج الرياضية التي لا تعتمد على الموضع

في حالة النماذج الرياضية للشجرة الممثلة (أي الشجرة الوسطية في المشجر) لا تعرف إحداثيات الأشجار داخل المشجر، لذا يسمى هذا النوع بالنماذج الرياضية غير المعتمدة على تحديد الموضع. في هذا النوع يتم تمثيل الأشجار المتشابهة بشجرة واحدة. في التوزيع القطري على سبيل المثال يتم تحديد عدد معين من الأشجار ويمثل بشجرة واحدة يمثل قطرها متوسط الصف القطري المعين. الشكل (2.6) يعطي مثلاً لتوزيع الأقطار في غابة مختلطة من أشجار ال(*Psedotsuga menziesii*) و(*Fagus sylvatica*).



الشكل (2.6): التوزيع القطري لمşجر مختلط من النوعين (*Pseudotsuga menziesii*) و(*Fagus sylvatica*). وقد أخذ من دي وال (1995) (ن = العدد، ص = متوسطات صنفوف الأقطار).

هناك خمسة طرق مختلفة لهذا النوع من النماذج الرياضية (كلها تتم عن طريق التوزيعات التكرارية) وهي:

- 1). التبؤ بالتوزيعات القطري المستقبلية.
- 2). الطريقة البسيطة لحساب التوزيعات القطرية.
- 3). التغيير في المساحات القاعدية النسبية.
- 4). النماذج الرياضية الانتقالية.
- 5). الحساب المباشر للزيادة.

في الغابات التطبيقية يندر وجود معلومات عن موضع كل شجرة، أما المعلومات المتعلقة بالتوزيعات القطبية فإنها تكون متاحة دائماً ويمكن على أقطار الأشجار خلال أي عملية حصر غابي. من هنا نجد أن النماذج الرياضية للأشجار المماثلة تلعب دوراً أساسياً في البحوث التطبيقية في مجال نمو الغابات.

### 1.1.6 حساب تطور التوزيعات القطبية

ان القطر عند ارتفاع مستوى الصدر متغير كثيراً الإستعمال في مجال الغابات وهو شديد الإرتباط بحجم وقيمة الشجرة، ومن هذا المنطلق فإنه يشكل واحد من أهم الأسس لإتخاذ القرارات الفلاحية في الغابات، لهذا فإن المعلومات عن توزيع الأقطار، والتي يمكن تضمينها في حساب التطور المستقبلي للغابة، تعتبر قيمة جداً يضاف إلى ذلك سهولة الحصول عليها. بالإضافة للوصف الإحصائي للتوزيعات القطبية فإن التبؤ بتطور المشجر عن طريق المعادلات التوزيعية من الطرق المفضلة في مجال بحوث الغابات، وهنا سيتم تحديد مختلف ثوابت جودة الموقع والمعاملات الفلاحية وتأثيرها على التوزيعات القطبية. في خطوة أخرى يتم تحديد العلاقات بين ثوابت التوزيع وبعض صفات المشجر. يمكن شرح هذه الطريقة في مثال (معادلة ويبيل).

$$F(x) = P(X \leq x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c} \quad (6.1)$$

حيث:

- = أي قطر عند إرتفاع مستوى الصدر (يتم اختياره عشوائياً). X
- = قطر يتم حسابه عن طريق قانون الاحتمالات على أن يكون أصغر من (X). X
- = المجموع التراكمي المحسوب عند توزيع ويبيل بناءً على المتغير (X) = احتمال أن يكون القطر الذي يتم حسابه أصغر من x. F(x)
- = ثوابت الموضع ومقاييس الرسم والشكل. a,b,c

كان سعالي وباعلي من أوائل من استعمل طريقة تحديد الثوابت، وكانت المعادلات التي استعملها لتحديد معادلة ويبيل كالتالي:

$$a = \begin{cases} -1.9492 + 0.0757 \cdot H, & H \leq 26 \text{ feet} \\ 0, & H > 26 \text{ feet} \end{cases} \quad (2.6)$$

$$b = -a - 5.2352 - 0.0003 \cdot N + 1.1955 (10)^3 / N + 6.2046 \log_{10}(H) \quad (3.6)$$

$$c = 6.0560 - 0.0391 \cdot H - 0.0006 \cdot N \quad (4.6)$$

حيث:

= الإرتفاع السائد بالمشجر (بالقدم)، N = عدد الأشجار (في الإيكير، الإيكير = 4000 متر). H  
هناك نوع محدد من طرق تحديد الثوابت تعرف بطريقة إستخلاص الثوابت، وفيها إستخلاص الثوابت مباشرة من متوسطات قيم التوزيع. لهذا النوع من الإستخلاص استخدم هوبي وقدو (1996) المعادلة:

$$F(x) = P(X \leq x) = \frac{1}{1 + e^{a - bx}} \quad (5.6)$$

حيث:

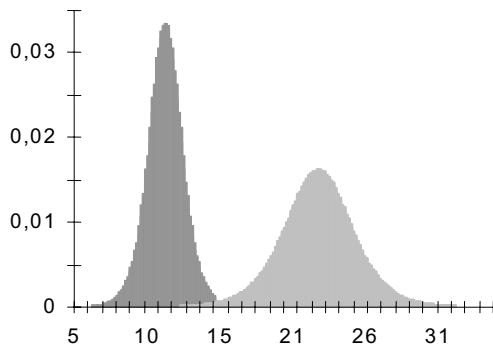
$$(X_{F=0.9} - X_{F=0.5}) / 2.1972 = b$$

$$\cdot (X_{F=0.9})b + 2.1972 = a$$

$$X_{F=0.5} = 0.4043 \cdot H_o^{0.2762} d_g^{1.504 H_o - 0.1403}$$

$$X_{F=0.9} = 1.2963 \cdot H_o^{0.1671} d_g^{0.7888 H_o - 0.00668}$$

وحيث:  $(H_0)$  = الإرتفاع السائد للمشجر (بالأمتار)،  $(dg)$  = القطر المحسوب من المساحة القاعدية للشجرة الوسطية يوضح الشكل (3.6) مثالين لتوزيعات قطرية تم حسابها عن طريق متوسطات قيم المشجر.



الشكل (3.6): توزيعات أقطار حسباً عن طريق استخلاص الثوابت (إلى اليسار: متوسط القطر = 12 سم، الإرتفاع السائد = 10 متر. إلى اليمين: متوسط القطر = 25 سم، من الإرتفاع السائد = 20 متراً (خذت من هوبي وقادو، 1996)).

يتحدد شكل توزيع الأقطار ليس فقط عن طريق نمو الأشجار، وإنما أيضاً عن طريق عمليات التحذيف (الشلخ)، لذا فإنه من المهم حساب التغيرات التي ظهرت على الثوابت بعد أي عملية تحذيف. هنالك مثل قدمه الفاريز (1997) لحساب التغيرات المستقبلية في ثوابت معادلة ويل لتوزيع الأقطار بعد عملية تحذيف لأشجار من النوع الشجري (*Pinus pinaster*) في إسبانيا وقد أستعمل لذلك المعادلة الآتية.

$$b_{nach} = -4.7067 + 1.0205 \cdot b_{vor} + 85.35 \frac{N_{aus}}{N_{ges}} - 73.617 \frac{G_{aus}}{G_{ges}} \quad (6.6)$$

$$c_{nach} = -1.059 + 1.178 \cdot c_{vor} + 8.170 \frac{N_{aus}}{N_{ges}} - 5.255 \frac{G_{aus}}{G_{ges}} \quad (7.6)$$

حيث:

$c_{nach}, c_{vor}, b_{nach}, b_{vor}$  = قيم الثوابت (b) و(c) قبل وبد عملية التحذيف.  
 $N_{ges}, N_{aus}$  = عدد الأشجار في الهكتار (التي قطعت عند التحذيف والعدد الكلي قبل التحذيف)  
 $G_{ges}, G_{aus}$  = المساحة القاعدية في الهكتار (الناتجة من عملية التحذيف والكلية قبل الخفيف).

من محاسن التنبؤ بالتوزيعات القطرية ما يعرف بالتوافق، أي أن هناك مستويان للنموذج الرياضي: مستوى المشجر في شكل متوسطات قيم ومستوى الشجرة المفردة في شكل توزيعات تكرارية، وكلاهما موجود في نفس النموذج الرياضي. يمكن الحصول على تفصيل عن الأشجار الممثلة من متوسطات قيم المشجر، والتي تعتبر مهمة جداً للتنبؤ بتصنيف الإنتاج.

من العناصر الأساسية للنمذاج الرياضية الخاصة بالشجرة الممثلة يوضح العلاقة بين الأقطار والإرتفاعات للأشجار المفردة. يتم هذا عن طريق ما يعرف بالمنحنيات الموحدة للارتفاع.

#### 2.1.6 الطريقة البسيطة لحساب تطور الأقطار

وهذه من الطرق المفضلة للتنبؤ بتطور أقطار الأشجار المفردة في أي مشجر، وتعتمد على الفروقات الجبرية لمعادلة النمو. تعرف المعادلة التي تستخدم لهذا الغرض بمعادلة متشرش وقد قام بإستعمالها كل من سابورفسكي (1982) و ليم (1991).

$$d_{2i} = d_{1i} \frac{1 - e^{-k(t_2 - t_0)}}{1 - e^{-k(t_1 - t_0)}} \quad (8.6)$$

حيث:

$t_2, t_1$  = عمر المشجر في بداية ونهاية فترة النمو على الترتيب.

$d_{2i}, d_{1i}$  = قطر عند مستوى إرتفاع الصدر للشجرة (i) بالسنتيمترات في العمر  $t_2, t_1$ .

$t_0$  = العمر الذي يصل فيه إرتفاع الشجرة إلى مستوى الصدر.

$k$  = ثابت، يتم الحصول على قيمته تجريبياً.

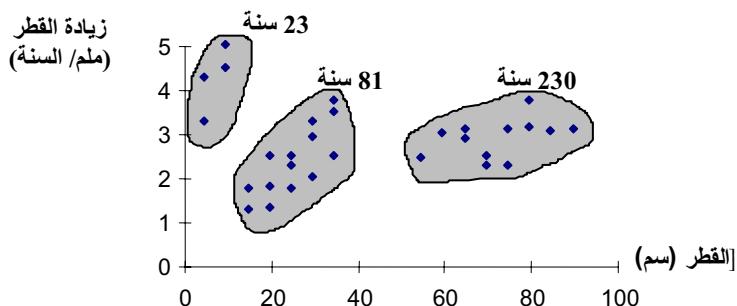
مثال: في إطار حصر غابي تم الحصول على توزيع أقطار مشجر يبلغ من العمر 50 عاماً، وقد كان الإرتفاع السائد يساوي 19 متراً. يتم حساب الثوابت ( $k$ ) و ( $t_0$ ) من الإرتفاع السائد كالتالي:

$$k = 0.003257 + 0.000016 (19) = 0.00356 \quad \text{und} \quad t_0 = 469 e^{-0.35379(19)} = 0.56.$$

إذا أردت حساب القطر عند مستوى الصدر لشجرتين في هذا المشجر الذي تساوي كثافته الشجرية 1.0 (مكتمل الكثافة) حتى عمر 55 سنة الذي فيه قطر الشجرة الوسطية المحسوب من المساحة القاعدية للشجرة 1 حالياً 13 سم والحد الأدنى للقطر هو 9 سم (الشجرة 2). بإستعمال المعادلة (8.6) نحصل على:

$$d_{21} = 13 \frac{1 - e^{-0.00356(55-0.56)}}{1 - e^{-0.00356(50-0.56)}} = 14.2 \text{ cm} \quad \text{und} \quad d_{22} = 9 \frac{1 - e^{-0.00356(55-0.56)}}{1 - e^{-0.00356(50-0.56)}} = 9.8 \text{ cm}$$

يوضح هذا المثال أحد عيوب الطريقة المبسطة لحساب تطور الأقطار، إلا وهو الحافظ على المدى المطلق، بمعنى أن النسبة بين قطري الشجرين لم تتغير طيلة فترة النمو. لقد أثبتت شفاباخ (1905) أن معدل زيادة القطر في الأعماres المتساوية يزيد كلما زاد القطر الإبتدائي، وقد أكدت عدة تجارب أخرى صحة ذلك.



(الشكل 4.6): العلاقة بين القطر عند مستوى الصدر والزيادة في القطر في مشاجر (*Quercus ptraea*) مختلفة الأعماres (ز = زيادة القطر بالملتر في السنة، س = سنة، ط = القطر بالسنتيمترات)

### 3.1.6 التغيير في المساحة القاعدية النسبية

يمكن التخلص من العيب المذكور في الطريقة المبسطة لحساب تطور الأقطار (وهو على المدى المطلق) إذا تم اختيار طريقة يراعى فيها عدم ثبات نسب متغيرات الشجرة (مثل القطر، الإرتفاع،..) خلال فترة النمو وذلك بإستخدام المساحة القاعدية النسبية ( $rg$ )، وهي نسبة المساحة القاعدية للشجرة ( $i$ ) إلى المساحة القاعدية للشجرة الوسطية.

$$rg_2 = \frac{g_{2i}}{\bar{g}_2} \quad \text{und} \quad rg_1 = \frac{g_{1i}}{\bar{g}_1} \quad (9.6)$$

حيث:

$$g_{2i}, g_{1i} = \text{المساحة القاعدية للشجرة (i) في العمر الإبتدائي وال عمر النهائي (بالسنتيمتر المربع)}$$

$$\bar{g}_2, \bar{g}_1 = \text{متعدد المساحة القاعدية للمشجر في العمر النهائي والإبتدائي (بالسنتيمتر المربع).}$$

تعتمد الفكرة من ان المساحة القاعدية النسبية للشجرة ( $i$ ) تتغير مع تغير العمر وتستمر أبعاد الشجرة الضعيفة في التناقص، بينما تستمر أبعاد الشجرة القوية في التزايد مع مرور الزمن. يمكن التعرف على هذا التطور من خلال ما قدمه كلاتر وجونس (1980).

$$rg_2 = rg_1 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^{\beta} \quad (10.6)$$

حيث:  $t_2, t_1$  = عمر المشجر في بداية ونهاية فترة التطور.

يتم حساب المساحة القاعدية ( $g_{2i}$ ) في العمر ( $t_2$ ) للشجرة (i) عند معرفة المساحة القاعدية ( $g_{1i}$ ) للشجرة (i) في العمر ( $t_1$ ) ومتوسط المساحة القاعدية للشجرة الوسطية ( $\bar{g}_2$ ) و ( $\bar{g}_1$ ).

مثال:

المساحة القاعدية لشجرتين في مشجر إفتراضي عمره 50 سنة كانت كالتالي:

$$\text{مساحة القاعدية للشجرة الأولى} = g_{11} = \bar{g}_1 = 132.7 \text{ سم مربع}, \text{مساحة القاعدية للشجرة الوسطية} = g_{12} = 54.5 \text{ سم مربع}, \text{مساحة القاعدية للشجرة الثانية} = g_{21} = 201.1 \text{ سم مربع}.$$

باستعمال نموذج رياضي للمشجر سيكون متوسط المساحة القاعدية للشجرة في عمر 55 سنة  $\bar{g}_2 = 283.5$  سم مربع. إذا كانت قيمة  $\beta = 0.3$ ، ستكون المساحات القاعدية بعد 5 سنوات لكل من الشجرتين كالتالي

$$g_{21} = 283.5 \left[ \frac{132.7}{201.1} \right]^{(55/50)^{0.3}} = 184.8 \text{ cm}^2$$

$$g_{22} = 283.5 \left[ \frac{254.5}{201.1} \right]^{(55/50)^{0.3}} = 361.2 \text{ cm}^2$$

من الواضح أنه عبر هذه الطريقة قد تم تفادي الحفاظ على النسبة بين مساحتى القاعدة للشجرتين، وهو العيب

الأساسى الموجود في الطريقة السابقة، لأنه من المثال نجد أن  $\frac{361.2}{184.8} > \frac{254.5}{132.7}$ .

توصل بینار (1990) إلى أن النموذج الرياضي لتغير المساحة القاعدية النسبية يمكن تشكيله توافقياً، إذا كان مجموع المساحات القاعدية لكل الأشجار المفردة يساوى تماماً المساحة القاعدية للمشجر التي يتم حسابها عن طريق النموذج الرياضي للمشجر في العمر ( $t_2$ ). يمكن الحصول على هذا التوافق من خلال المعادلة .(11.6)

$$N_j g_{2j} = G_2 \frac{N_j (rg_{1j})^a}{\sum_{j=1}^k N_j (rg_{1j})^a} \quad (11.6)$$

حيث:  $N_j$  = عدد الأشجار في الصنف القطري التي تستطيع البقاء على قيد الحياة حتى العمر ( $t_2$ ) و  $a = \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^\beta$

إن النموذج الرياضي لتغير المساحة القاعدية أكثر صحة وأفضل ببيولوجيا من الطريقة البسطة لحساب تطور الأقطار، وذلك نظراً لقرته على تفادي العيب الذي سبق ذكره في الأخير (الحفاظ على النسبة بين مساحتى القاعدة) أما العيب الأساسي في الطريقتين معًا هو أنهما مرتبان تماماً بمعرفة العمر، مما يجعل استعمالها للتنبؤ في الغابات المختلطة غير متساوية الأعمار أمراً شديداً الصعوبة، إن لم يكن مستحيلاً.

#### 4.1.6 النماذج الرياضية الانتقالية

في الغابات الطبيعية (التي تخضع لإدارة) والغابات المدارية المختلطة، حيث توجد أشجار من مختلف الأعمار، يسهل الحصول على أقطار الأشجار من خلال القياسات ولكن لا يمكن (في كثير من الحالات) معرفة أعمارها. من المؤكد أن التكلفة ستكون عالية جداً إذا فكرنا في تحديد الإعمار لمثل هذه الغابات. في مثل هذه الحالات فإنه لا يمكن حساب النمو إلا بطرق لا تعتمد على العمر. من الطرق التي وجدت واستعمالاً واسعاً في المشاهير متعددة الأعمار طريقة تعتمد على ما يعرف بالنماذج الرياضية الانتقالية. من الممكن وصف تطور توزيع الأقطار خلال أي فترة زمنية محددة كالتالي:

$$\begin{bmatrix} f'_1 \\ f'_2 \\ f'_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ f'_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & \dots & 0 \\ b_1 & a_2 & \dots & 0 \\ 0 & b_2 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ 0 & \dots & a_m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_1 + C \\ f_2 \\ f_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ f_m \end{bmatrix}$$

حيث:

- c = النمو الداخلي (عدد الأشجار الصغيرة التي لم تُقاس في المرة الأولى، وفي المرة التالية دخلت في أصغر صف قطر).
  - F = عدد الأشجار التي توجد عند نقطة زمنية محددة (t) في صف قطر (i).
  - a<sub>i</sub> = إحتمال بقاء شجرة من صف قطر (i) في صف قطرها عند نهاية الفترة.
  - b<sub>i</sub> = إحتمال أن تخرج من الصف القطري (i) إلى الصف القطري الأعلى.
  - f = عدد الأشجار التي توجد عند النقطة الزمنية (t+1) في الصف القطري (i).
- يُنتج عن جمع محتويات الأعمدة أعلاه ما يأتي.

المعنى	القيمة
	1
حالات موت أشجار	أقل من 1
نمو داخلي وإضافة لأقل صف قطر	أكثر من 1

يعتمد تحول (إنتقال) أشجار من صف قطر إلى صف قطر أعلى خلال أي فترة زمنية على معدل الحركة (Movement ratio)، وتنكتب اختصاراً (mr)، ويمكن تعريفه كالتالي:

$$mr_{ij} = \frac{\Delta d_i}{b}$$

حيث:

$$\begin{aligned}
 \text{الجزء من الأشجار الذي ينتقل من الصف القطر (i) إلى الصف القطر (j) الأعلى} &= mr_{ij} \\
 \text{متوسط زيادة القطر في الصف القطري (i) بالسنتيمتر.} &= \Delta d_i \\
 \text{عرض الصف القطري (= بين أعلى الصف القطري أدناه).} &= b
 \end{aligned}$$

مثال: متوسط زيادة القطر في الصف (i) يساوي 1.5 سم في سنتين، إذا افترضنا أن صف القطر يساوي 4 سم وأن توزيع الأقطار داخل الصف متتساوي، فإن  $mr_{ij} = 1.5 / 4 = 0.375$ ، أي أن 37.5% من كل الأشجار في الصف (i) ستنتقل في خلال سنتين إلى الصف القطري الأعلى (j).

مثال آخر: الجدول الآتي يوضح مشجراً افتراضياً موزع على خمسة صفوف أقطار ( $n_1$  = عدد الأشجار الإبتدائي،  $n_2$  = عدد الأشجار بعد مرور فترة زمنية محددة).

$d_i$	$mr_{ij}$	$n_1$	$n_2$	$d_i$
14	0.25	4	3	0.5
16	0.50	8	5	1.0
18	0.40	5	7	0.8
20	0.25	4	5	0.5
22	0.20	0	1	0.4
		21	21	

من الأمثلة القديمة لطريقة الانتقال روديرا (1968) وسوزوكي (1971) وموسر (1974) وسلوبودا (1976) من الأمثلة الحديثة المنهج السهل الذي يستخدمه كولسرووم (1992) لأشجار النوع الشجري (*Picea abies*) في فنلندا. المعادلة (12.6) تعمل على حساب الإحتمال ( $b_i$ ) الذي يفترض أن أي من الأشجار الموجودة في الصف القطري (i) (عرض الصف = 4 سم) ستنتقل خلال 5 سنواتقادمة إلى الصف القطري الأعلى (عرضه 4 سنتيمترات أيضاً)

$$b_i = e^{-2.1 + 0.86 \ln(d_i) - 0.55 \ln(G) - 0.0007G \cdot d_i} \quad (12.6)$$

يتم حساب إحتمال إنتقال القطر (إلى صف أعلى) عبر القطر الإبتدائي (عند بداية الفترة) وكثافة المشجر: كلما زادت كثافة المشجر، كلما زاد القطر الإبتدائي، كلما زاد إحتمال الانتقال.

مثال: في مشجر ما وجد أن المساحة القاعدية = 30 متراً مربعاً في الهكتار و 100 شجرة في صف القطر الذي يساوي وسطه 20 سم (المدى = 18 - 22). المطلوب حساب عدد الأشجار التي ستتمو خلال فترة الخمسة سنوات القادمة إلى الصف القطري الأعلى.

$$\text{الحل: } b_i = e^{-1.814} = 0.16$$

أي أن 16% من الأشجار (16أشجرة) ستنتقل إلى الصف القطري الأعلى (الذي يساوي وسطه 24 سم ومداه 22-26 سم). أما بقية الأشجار (وعددتها 84 تظل في الصف 18-22 سم). البرنامج الحاسوبي التالي (9) يوضح باستعمال هذه الطريقة.

### 5.1.6 طريقة الحساب المباشر للزيادة

يمكن حساب الزيادة في القطر باستعمال معادلة النمو أو معادلة الزيادة:

$$d_n = F(d_0, t) + e_1$$

$$\Delta d = f(d) + e_2$$

حيث:  $(e_1)$  و  $(e_2)$  يمثلان نسبة الخطأ. إن المعلومات عن الزيادة بشكل مباشر غير متحركة، لهذا السبب يعتمد الإنسان على حساب الزيادة عن طريق متوسط الزيادة لفترة زمنية محددة. يتم حساب زيادة القطر ( $\Delta d$ ) تجريبياً عن طريق القطر ( $d$ )، على أن يراعي في ذلك الحصر على عدم ربط الزيادة بالعمر. كبديل لإستعمال الزيادات عن طريق تغيير المساحة القاعدية النسبية، عمل هيسنمولر (2002) على حساب الزيادة في القطر لعدة أنواع شجرية مستعيناً بمعادلة كورسن للنمو. تجد الإشارة إلى أن المعادلة ثلاثية الأبعاد، التي وصفها عالم العلوم الطبيعية كورسن في العام (1935) مناسبة لعرض تطور النمو.

$$\Delta d = e^{[k_0 + k_1 \cdot \ln d + k_2 \cdot (\ln d)^2]}$$

$$\ln \Delta d = k_0 + k_1 \cdot \ln d + k_2 \cdot (\ln d)^2$$

حيث:

$$= ثوابت تحديد تجريبياً \quad k_3, k_2, k$$

$$= القطر عند مستوى الصدر (سم) \quad d$$

$$= الزيادة السنوية في القطر (سم) \quad \Delta d$$

يمكن حساب القيم عن طريق المعادلة الآتية:

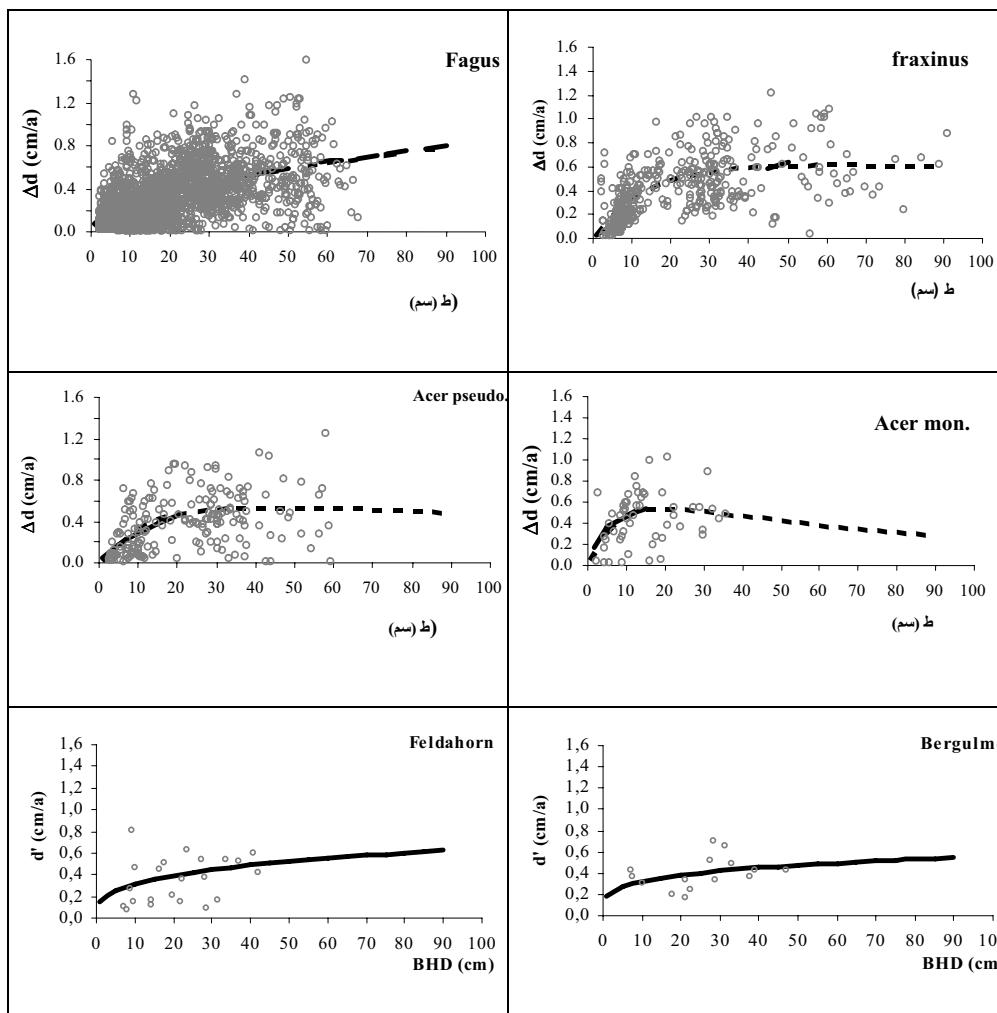
$$x = e^{-\frac{k_1}{2 \cdot C}}$$

عندما تكون ( $k_2$ ) أكبر من صفر ، فإننا نحصل على القيمة الدنيا وعندما تكون أصغر من صفر نحصل على القيمة القصوى. الجدول (1.6) يوضح قيم الثوابت لبعض الأنواع الشجرية الأوروبية.

النوع الشجري	العدد	$k_0$	$k_1$	$k_2$	$r^2$	$rMSE$
Bergahorn	189	-3,8361	1,6707	-0,2187	0,23	0,252
Buche	2.271	-2,9752	0,7075	-0,0230	0,30	0,204
Elsbeere	29	-10,3508	7,1433	-1,2852	0,65	0,140
Esche	391	-3,6712	1,5263	-0,1839	0,38	0,191
Hainbuche	63	-1,2170	-0,0901	0,0105	0,00	0,171
Spitzahorn	53	-3,1971	1,7125	-0,2861	0,14	0,228

الجدول (1.6): قيم الثوابت للحساب المباشر بـ استعمال معادلة كورسن (أخذ من هيسنمولر، 2002).

تثبت معادلة كورسن وصول زيادة القطر إلى قمتها مبكراً. من الواضح أن أكبر الفروقات توجد بين الأنواع الشجرية *Acer pseudoplatanus*, *Acer monspessulanum*. يتضح أيضاً أن مستوى مسار الزيادة في كل من - *Fagus sylvatica*, *Sorbus terminalis*, *Corpinus betulius* للنوع *Carpinus betulius* نجد أن العلاقة بين متوسط الزيادة السنوية والقطر ضعيفة جداً. من هنا يتضح أن المعادلين يمكن تمثيلهما بخط مستقيم تقريباً.



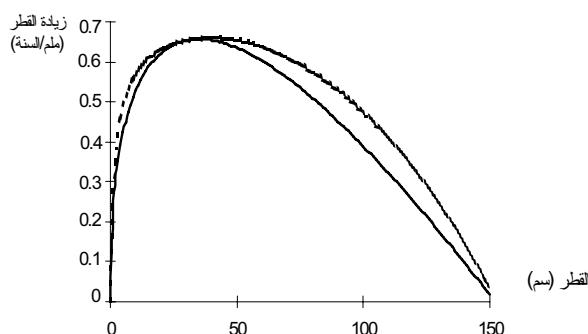
الشكل (2.6): العلاقة بين الزيادة السنوية والقطر لعدة أنواع شجرية (تم حسابها عن طريق معادلة كورسن)  
 $(\Delta d = \text{القطر بالسم})$ .

ذكر فانكلاي (1994) بعض الطرق التي تساعد على حساب الزيادة في أقطار الأشجار لبعض الأنواع الشجرية المدارية وقد كانت النتائج مشابهة للتي وردت أعلاه.

a) Beralanffy:  $\Delta d = 0.245 \cdot d^{0.44} - 0.0147 \cdot d$   $\Delta d = 0.245 \cdot d^{0.44} - 0.0147 \cdot d$  (13.6)

$$\text{b) Botkin: } \Delta d = \frac{d - d^2 \cdot \frac{137 + 50.9 \cdot d - 0.167 \cdot d^2}{611677}}{2.74 + 1.527 \cdot d - 0.00668 \cdot d^2} \quad (14.6)$$

الشكل (6.6): نتائج إستعمال معادلتي بيرتلانفي (1948) وبوتكين (1993)، وهما يؤديان إلى نتائج متقاربة. من مشاكل هذه الطرق أن زيادة القطر تعتمد على القطر فقط، ويعتبر الهدف من ذلك تسهيل الطريقة، لأن الزيادة تعتمد في الواقع الأمر (أيضاً) على كثافة المشجر وأشياء أخرى.



الشكل(6.6): معادلتان مترابطتان في تقدير زيادة القطر (أخذت من فانكلاي، 1994)

نظرأً لوجود علاقة قوية بين الزيادة ومساحة التاج، فإنه يمكن، عبر هذه القيمة التي يمكن الحصول عليها من القطر، حساب نمو الشجرة المماثلة. يمكن إستعمال مؤشر التغطية التاجية (C66) كمقاييس للتنافس التاجي الذي يعتمد على الأشجار المفردة. إستعمال ناقل (1994) هذه الطريقة لحساب النمو المستقبلي في شمال ألمانيا. لحساب مؤشر التنافس التاجي هناك حاجة لمعلومات عن الشكل الخارجي للتاج (راجع الفصل الرابع في هذا الكتاب). من المؤكد أن الوصف الدقيق لشكل التاج في النماذج الرياضية للنمو غير المعتمدة على مواضع الأشجار داخل المشجر ليس مهماً جداً كما هو الحال في النماذج الرياضية المعتمدة على مواضع الأشجار. يقل معدل الزيادة في القطر وفي الإرتفاع كلما زادت التغطية التاجية (أي كلما قلت قيمة مؤشر .(C66

#### 6.1.6: حساب الزيادة عن طريق تحليل الإنحدار:

لحساب الزيادة السنوية في القطر ( $\Delta d$ ) من المعلومات المتاحة إستعمل هيسنمولر (2002) ما يعرف بتحليل الإنحدار للشجرة الأقرب وتقرأ المعادلة كالتالي:

$$\Delta d_j = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta d_i \cdot G_i}{\sum_{i=1}^N G_i} \quad (15.6)$$

$\Delta d_j$  = الزيادة السنوية للشجرة المجاورة.

$$\begin{aligned} N_i &= \text{عدد الأشجار المجاورة التي أخذت في الاعتبار.} \\ G_i &= \text{وزن الشجرة الجارة الأقرب.} \end{aligned}$$

لحساب ( $G_i$ ) يتم تحديد المسافة ( $W_i$ ) بين الشجرة المرجعية (j) والشجرة المجاورة لها (i)، يمكن حساب المسافة ( $W_i$ ) وبالتالي يمكن حساب المسافة ( $W_i$ ) من المسافات ( $w$ ) وأوزانها الجزئية ( $g$ ) وذلك بإستعمال المعادلة.

$$W_i = g_1 \cdot w_1 + \dots + g_n \cdot w_n \quad (16.6)$$

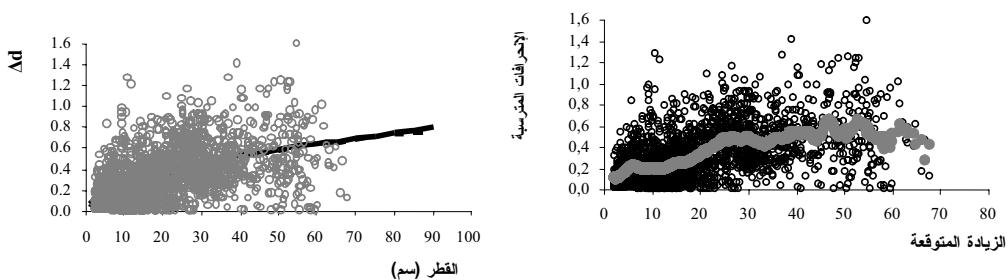
كمثال لذلك، فلنأخذ المميزات الآتية: القطر ( $D$ ) والإرتفاع ( $H$ ) لشجرة مجاورة (i) مقارنة بشجرة مرجعية (j).

$$W_i = g_D \cdot (D_i - D_j)^2 + g_H \cdot (H_i - H_j)^2 \quad (17.6)$$

يمكن الحصول على وزن الشجرة المجاورة (i) من:

$$G_i = \frac{I}{I + W_i} \quad (18.6)$$

الشكل (7.6) يوضح الزيادة التي تم حسابها (باللون الرمادي) مقارنة بالزيادة الحقيقية (التي تم الحصول عليها من خلال أعمال حصر) في مشاجر (*Fagus sylvatica*) عند إستعمال تحليل الإنحدار المعروف ب (knn) مع القطر عند مستوى الصدر (إلى يسار الشكل). إلى اليمين الإنحرافات المترسبة (Residuals) التي تم حسابها اعتماداً على قيم الزيادة المتوقعة. إذا توفر عدد كبير من الصفات (أقطار، ارتفاعات، إلخ) فإنه من المفيد عند إستعمال طريقة (knn) المقارنة بين هذه الصفات ومحاولة تقليص الفروقات. هناك طريقة مناسبة لذلك وهي طريقة تحليل المكون الأساسي (Main component analysis). مقارنة بالنماذج الرياضية ذات الثوابت تمكن هاسنمور (2002) من تلخيص نسبة الخطأ إلى النصف عن طريق إستخدام طريقة (knn).



الشكل (7.6): الزيادة التي تم حسابها (باللون الرمادي) مقارنة بالزيادة الحقيقية التي تمت في مشاجر *(Fagus sylvatica)*

#### 7.1.6 المراجعة الدورية لمعلومات الحصر: مثال من أسبانيا

تعتبر المراقبة (المراجعة الدورية) لمعلومات الحصر من طبيقات نماذج النمو. لهذا الغرض قام شوردر (2001) بتطوير نموذج رياضي للزيادة في المساحة القاعدية (والمودج لا يشترط معرفة العمر) للنوع الشجري (*Pinus pinaster*).

مثال: في مشجر بجنوب غرب أسبانيا تم قياس مربع عينة مساحته 0.05 هكتار وقد كان عد الأشجار في هذا المربع 77 شجرة. بلغ متوسط ارتفاع أكبر شجرات حجماً ومتوسط عمق التربة 40.83 سم. الجدول أدناه يوضح أقطار هذه الأشجار.

9.0	11.0	11.8	12.5	13.3	14.0	14.8	15.5
9.5	11.0	11.8	12.5	13.3	14.0	14.8	16.0
10.0	11.0	12.0	12.5	13.5	14.0	14.8	16.0
10.0	11.0	12.0	12.5	13.5	14.3	15.0	16.0
10.3	11.0	12.3	12.8	13.5	14.3	15.0	<b>16.5</b>
10.3	11.3	12.3	12.8	13.8	14.3	15.0	17.5
10.3	11.8	12.3	13.0	13.8	14.5	15.3	18.0
10.5	11.8	12.3	13.0	14.0	14.5	15.3	
10.5	11.8	12.3	13.0	14.0	14.5	15.3	
10.8	11.8	12.5	13.0	14.0	14.8	15.5	

الغرض من هذا المثال العددي هو حساب تطور قطر الشجرة (j) التي يساوي قطرها الآن 16.5 سم بعد مرور خمسة سنوات. لحساب حالة المنافسة التي تخضع لها الشجرة (j) حالياً، يجب حساب متغيرات المشجر أولاً، وهذه تساوي:

$$\text{المساحة القاعدية (G)} = 21.3 \text{ متر}^2/\text{هكتار}$$

$$\text{عدد الأشجار (N)} = 1540 \text{ شجرة/هكتار}$$

المتوسط النسبي للمسافات بين الأشجار (RS) =  $(1540 / 10000)^{0.5} = 8.8 / 0.29 = 0.29$ . في خطوة تالية يتم حساب مؤشر بال للشجرة (j). بالرجوع إلى مساحة مربع العينة البالغة 0.05 هكتار يمكن الحصول على مؤشر بال:

$$BAL_{j\_PLOT} = \frac{\pi}{4} \cdot (0,175^2 + 0,180^2) = 0,049 \text{ m}^2$$

وعند تحويل المساحة الى الهاكتار يتم الحصول على:

$$BAL_j = 0,049 / 0,05 = 0,98 \text{ m}^2$$

بهذه النتيجة الوسيطة يمكن حساب ابنمودج BALMOD

$$BALMOD_j = \frac{(1 - p_j)}{RS} = \frac{BAL_j/G}{RS} = \frac{0,98/21,3}{0,29} = 0,16$$

الضغط التنافسي الذي تخضع له الشجرة (j) يعتبر قليل نسبياً ولكن من المهم ليس فقط معرفة المنافسة الحالية. وإنما أيضاً تاريخ حياة الشجرة، وهذا الأخير يمكن حسابه بما يعرف بمعدل تمدد التاج (Crown spread ratio) ونكتب اختصاراً (csr)، وهو عبارة عن النسبة بين عرض التاج وإرتفاع الشجرة. يبلغ الإرتفاع في المثال أعلاه 8.3 متراً ومتوسط نصف قطر التاج ( $kr_j$ ) يساوي 1.3 متراً وبهذا يمكن حساب معدل تمدد التاج ( $csr_j$ ) للشجرة (j) كالتالي.

$$csr_j = \sqrt{cw_j \cdot h_j^{-0,5}} = \sqrt{2,6 \cdot 8,3^{-0,5}} = 0,95$$

يمكن تقدير تاريخ التنافس للشجرة (j) في المشرج بأنه وسط. بهذا تكون قد تتوفرت كل المعلومات التي تساعد على حساب تطور قطر الشجرة (j). من الممكن حساب الزيادة السنوية في المساحة القاعدية على طريقة شرودر (2001) كالتالي:

$\ln(\Delta g_j)$	=	+ 0,6266	نقطة التقاطع مع المحور الصادي
		+ 0,6088 ln(16,5)	القطر ( $d_j$ )
		- 0,00027 16,5 <sup>2</sup>	تربيع القطر ( $d_j^2$ )
		+ 0,8776 0,95	معدل تمدد التاج ( $csr_j$ )
		- 0,2041 0,16	المنافسة الحالية (بالمواد) ( $BALMOD_j$ )
		+ 0,0030 40,83	القدرة الإنتاجية للموقع ( $ESD$ )
<hr/>			
	=	3,183 cm <sup>2</sup>	

بعد الحصول على مقابل اللوغاريتم الطبيعي ( $In(\Delta g_j)$ ) نحصل على الزيادة في المساحة القاعدية لفترة الخمسة سنوات

$$\Delta g_{j,5} = 5 \cdot e^{3,183} = 120,595 \text{ cm}^2$$

بعد الخمسة سنوات تبلغ المساحة القاعدية للشجرة (j).

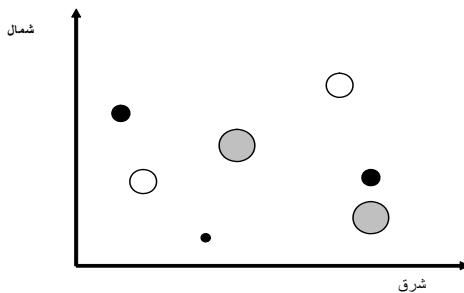
$$g_{j+5} = \frac{\pi}{4} \cdot 16,5^2 + 120,595 = 334,42 \text{ cm}^2$$

$$d_{j+5} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot 334,42} = 20,6 \text{ cm}$$

ويبلغ قطرها:

## 2.6 النماذج الرياضية التي تعتمد على مواضع الأشجار

من المميزات الإيجابية في النماذج الرياضية للشجرة الممتلة (غير المعتمدة على الموضع) هي أن قائمة القياسات التي يتم الحصول عليها من الحقل وحدها تكفي لإعطاء وصف لتطور الأشجار داخل المشجر، في حين يمكن عيب هذه الطريقة في المعلومات غير الكافية عن حالة المنافسة المباشرة للأشجار المفردة، تمتاز النماذج الرياضية للأشجار المفردة بأن موضع كل شجرة داخل المشجر يكون معروفاً (الشكل 8.6).



الشكل (8.6): مواضع الأشجار داخل مشجر. موضع كل شجرة محدد بإتجاه والمسافة.

بتحديد موضع كل شجرة داخل المشجر يمكن استخلاص علاقات التنافس في الجوار المباشر بالنسبة لأي شجر. من الممكن تحديد إحداثيات الأشجار تلقائياً من الصور الجوية أو باستخدام إطار نظري لتحديد مواضع الأشجار.

### 1.2.6 استخدام الإطار النظري لتحديد مواضع الأشجار

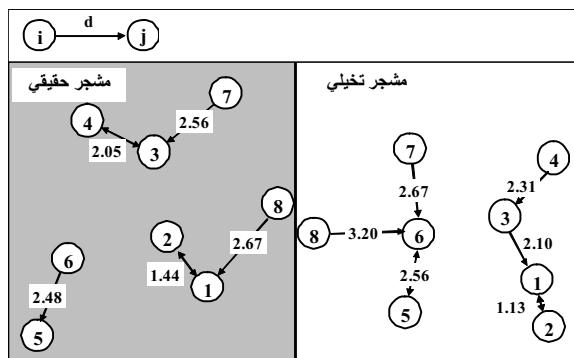
إن الهدف من استخدام الإطار النظري لتحديد مواضع الأشجار هو التمكّن من وصف أفضل للمعاملات الفلاحية (مثل القطع والتخفيف) وكذلك التمكّن من استخدام النماذج الرياضية التي تعتمد على مواضع معروفة للأشجار داخل المشجر. تعتمد الفكرة على درجة تطابق الموضع التخيّلية للأشجار (الإطار النظري) في المشجر الحقيقي لوضع تصوّر مقارب لها، وبأي شكل؟ هنا يجب أن يتضح الذي: أي صفات المشجر الحقيقي يجب أنتقى في الصورة (التخيّلية) وأي الصفات يمكن أن تضيّع إنشاء عملية (خلق) الإطار النظري؟ إن فكرة إعادة تصنيع (أو تكرار) الصورة فيما يتعلق بتوزيع أماكن الأشجار في الغابة التخيّلية يمكن وصفه بأنه جيد (Perfect)، إذا كانت لكل شجرة في المشجر الحقيقي مناظرة لها في المشجر التخيّلي، على أن تكون المسافة بين أي شجرة وجاراتها الثلاثة الأقرب في المشجر التخيّلي متساوية للمسافة بين أي شجرة وجاراتها

الثلاثة الأقرب في المشجر الحقيقي. بالإضافة إلى ذلك معرفة توزيع درجات التداخل بين تيجان الأشجار من الأنواع الشجرية المختلفة، يتم تحديد هذه الدرجة من التدخل عبر الأجزاء النسبية للشجرات الثلاثة المجاورة والتي تنتهي إلى نوع شجري مختلف. إذا حصل الإنسان على معلومة أن نسبة التدخل لشجرة متساوي 3:1 (مثلاً) فهذا يعني أن الأشجار الثلاثة المجاورة تنتهي إلى نوع شجري آخر والإشارة الأخرىتان تنتهيان إلى نفس النوع. يعتبر إنتاج مشجر تخيلي (فيما يتعلق بالإختلاط) مثالياً، إذا كانت المشاجر التي يتم إنتاجها تحمل نفس درجة إختلاط المشاجر الحقيقية وبنفس المستوى يتم التعامل مع متغيرات التمايز حسب الأبعاد (الأقطار، الإرتفاعات، إلخ)؛ فهي تأخذ القيمة القصوى للتمايز (وهي صفر) إذا كانت الشجرة المرجعية وجاراتها الثلاثة لها نفس القطر عند مستوى الصدر. فيما يتعلق بالتمايز حسب الأبعاد يعتبر المشجر التخيلي جيداً، عندما تكون كل قيم المشجر الأصلي (ال حقيقي) موجودة فيه. على الرغم من أن الهدف البعيد هو تحديد هذه التوزيعات بناءً على المعلومات المتاحة ثم إستعمالها لحساب توزيعات المشجر التخيلي، فإن هذا العمل ينطلق من إفتراض أن كل الأزواج الخاصة بالمشجر الأصلي متاحة (متوفرة). في الختام يمكن تلخيص هذه الطريقة على النحو التالي:

يجب توزيع الأشجار المفردة في المشجر الحقيقي (التي تم وصفها عبر النوع الشجري والقطر) داخل مساحة المشجر بخطوط حدودية واضحة بشكل يجعل التوزيعات المحسوبة لتمايز الأبعاد ودرجات التدخل تتطابق مع التوزيعات في المشجر الحقيقي. إنطلاقاً من وضع الأشجار في الوضع الذي يراد داخل مساحة المشجر، يتم تحويل ونقل وإبتدال الأشجار حتى يتم الوصول إلى وضع يشابه حالة المشجر الأصلي. هنالك عدة مراحل تتم خلالها هذه العملية.

المرحلة صفر هي التحديد الأولى لأماكن الأشجار. يمكن تحديد أماكن الأشجار بتوزيع متوازن (مثلاً). يمكن التفكير أيضاً في أن توضع الأشجار في أماكن يتم تحديدها مسبقاً. يلعب التوزيع الأولي دوراً أكبر كلما كان المشجر مكتظاً بالأشجار. إذا كانت كثافة المشجر عالية جداً فإنه يكاد يستحيل تحديد إحداثيات الأشجار المفردة داخله.

تتكون المرحلة الأولى من ثلاثة جزئيات مرتبطة. في الجزئية الأولى يتم شكل المسافات لأقرب ثلاث شجرات، في الجزئية الثانية لأقرب شجريتين في الجزئية الثالثة المسافة لأقرب شجرة. يتم تكرار هذه الجزئيات الثلاث إلى حين الوصول إلى وضع تكون فيه كل المسافات مقعنة. الشكل (9.6) يوضح مثلاً لمشجر حقيقي (A) ومشجر تخيلي (B) مع بيان المسافات للجارات الأوائل. الأرقام داخل الدوائر توضح المرتبة التي أخذتها الشجرة المعينة في القائمة عند التصنيف على ضوء المسافات. لا توجد صعوبات تحول دون تقليل المسافات الكبيرة جداً. ولكن تكمن المشكلة في المساحات الصغيرة، لذلك قد يحتاج الإنسان لتحويل الشجرة وربما الشجرة المجاورة لها أيضاً (يعتمد رقم الشجرة التي يتم تحويلها على جزئية المرحلة).



الشكل (9.6): المسافات لأقرب أشجار في الجوار لمشجر حقيقي (إلى اليسار) وآخر (إلى اليمين) قبل كرار الحساب للمرة الثانية ((j) و(i) شجرتان متجاورتان، المسافة بينهما (d)).

يتضح من خلال العمليات الحاسوبية التحضيرية لإنتاج المشجر التخييلي أنه لابد من نقل شجرتين من جوار الشجرة المرجعية، حتى لو كانت تلك الشجرة تقع في منتصف المشجر. لتحديد إحداثيات شجرة (P) هناك حاجة للمعلومات التالية:

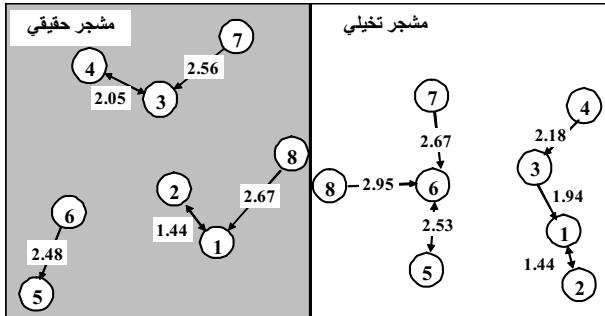
- الإحداثيات الحالية ( $(P(x,y))$ ) للشجرة المعنية (المرجعية).
- الإحداثيات الحالية للشجرة المجاورة.
- البعد الحالي (A) للشجرة في المشجر الحقيقي التي إحداثياتها (P).
- البعد الحالي (B) بين الشجرة (P) والشجرة (Q).

توجد الإحداثيات الجديدة (المؤقتة) للشجرتين (P) و(Q) دائماً على الخط من (P) إلى (Q). إذا كانت المسافة الحقيقية (B) تساوي المسافة المطلوبة (A)، فإنه لا يلزم تغيير، أما إذا كانت (B) أكبر من (A) مثلاً، فأن  $\Delta P$  هي عبارة عن زيادة (أي حركة من P في إتجاه Q). تعتمد قوة (درجة) تغيير الموضع على الثابت والمسافات (A) و(B) وكثافة المشجر أو العلاقة بين (Q) و(P) (هل هما جارتان؟).

يتم حساب تغيرات الإحداثيات لكل شجرة في المشجر التخييلي وجاراتها ويتم تغيير الإحداثيات دائماً في بداية جزئية المرحلة. من الممكن أن تتعرض شجرة لعدة تغيرات (تنقل عدة مرات) إذا كانت هي ذاتها جارة لأشجار مرجعية أخرى. بعدأخذ كل الأشجار في الإعتبار يتم جمع كل التغيرات التي أجريت لإحداثيات الشجرة. بعد إنتهاء جزئية المرحلة يمكن الحصول على المكان الجديد للشجرة وذلك عن طريق جمع التغيرات بإستعمال المعادلة:

$$P_{\text{new}} = P + \sum \Delta P$$

هذا هو الوضع الجديد بعد نهاية جزئية المرحلة، حيث:  $(P_{\text{new}}) = \text{الموضع الجديد للشجرة}$ ,  $(P) = \text{الموضع الإبتدائي للشجرة}$ ,  $\Delta P = \Sigma$  = حاصل جمع التغييرات في موضع الشجرة. الشكل (10.6) يوضح مواضع الأشجار داخل مشجر بعد إنتهاء جزئية المرحلة.



الشكل (10.6): المسافات لأقرب الأشجار في مشجر حقيقي (إلى اليسار)، وأخر تخيلي صمم حسابياً (إلى اليمين).

يتضح من الشكل أن الشجرة 8 (مثلاً) تبعد 2.95 متراً من أقرب جارتها. كل المسافات الأخرى بين الأشجار أقرب مما يجب أن تكون، فيما عدا الشجرة 3. إذا خرجت إحدى الأشجار خلال إحدى عمليات الانتقال إلى خارج المشجر، لأن مسافتها صغيرة جداً، وازاحت إلى حافة المشجر، يجب أن يتم اختيار إحداثيات لها، بحيث تظل الشجرة داخل المشجر. في المرحلة التي تتحسن فيها المسافة للشجرة الأقرب تسوء المسافة للجارتين الثانية والثالثة قليلاً، ولكن بكمال الدورة (الجزئيات الثلاثة للمرحلة) تتحسن المسافات بين كل شجرة وجارتها.

يمكن استعمال هذه الطريقة (لوزن المسافات بين كل شجرة وجارتها) في كل الأحوال. تؤثر الإحداثيات التي تبدأ بها العمل على التوزيع المكاني الذي يتم الحصول عليه بعد المرحلة الأولى. من الأفضل لا يتم التحديد الأولى لموقع الأشجار (في المشجر التخيلي) عشوائياً، بل يستحسن إتباع أسس معينة بناءً على المعلومات الأولية المتوفرة عن المشجر الأصلي.

بعد المرحلة الأولى يتم تثبيت الإحداثيات. يتواصل العمل على وزن درجة الإختلاط في المشجر من التبادل المتالي لكل شجريتين. هنا تراعي فقط الأشجار من أنواع شجرية مختلفة، لأن تبادل أشجار من نفس النوع لا يؤدي إلى تغيير درجة الإختلاط. يؤدي البحث عن كل بديل محتمل إلى درجة عالية من التعقيد، وبزيادة تعقيداً كلما زاد عدد الأشجار بالمشجر. على سبيل المثال: إذا كانت لدينا في مشجر 47 شجرة مكونة من 3 أنواع شجرية (20 من النوع الأول و 15 من النوع الثاني و 12 من النوع الثالث)، فإننا نحصل على عدد الإحتمالات عن طريق حساب التبادل، والنتيجة:

$$\binom{47}{20} \cdot \binom{27}{15} \cdot \binom{12}{12} = 1.697 \cdot 10^{20}$$

نظراً لهذا الكم الهائل من الإحتمالات التي تبعينا عن الأمل في الحصول على التوزيع الأقرب ل الواقع يمكن إتباع طريقة أخرى.

في البداية يتم تعريف معيار لقياس درجة الإختلاط الحقيقية. ما يمثله النوع الشجري في الحالة المذكورة أعلاه هو إما أن تكون الشجرة موجودة داخل رباعي الأشجار (الشجرة وجاراتها الثلاثة) أو غير موجودة أو توجد شجرتان من هذا النوع أو كل الشجرات الثلاثة (المجاورة) من نفس النوع، عليه فهناك واحد من هذه القيم الأربع في كل حالة: (صفر)، (1)، (2)، (3). من الواضح أن هذه الطريقة أسهل من سابقتها التي تأخذ في الإعتبار العدد المطلق للأشجار. إذن يمكن تقديم المشجر الحقيقي كمؤشر لنسبة التمثيل لمطلق التكرارات عندما يتعلق الأمر بتوزيع الإختلاط من الأشجار. يمكن حساب إنحراف المشجر التخيلي من المشجر الأصلي (فيما يتعلق بإختلاط أنواعه الشجرية) عبر مؤشر نسبة التمثيل (أي نسبة كل نوع). من الطرق المناسبة لقياس هذا الإنحراف يمكن قياس المسافة بين معدلات التوزيع، فإذا كان:

$$m = (m_0, m_1, m_2, m_3)$$

ومؤشر التمثيل في المشجر الأصلي

$$n = (n_0, n_1, n_2, n_3)$$

فإن

$$M_i = \sum_{k=0}^i m_k \text{ and } N_i = \sum_{k=0}^i n_k, i = 0, 1, 2, 3$$

ومن هنا نجد أن

$$D = \sum_{i=0}^2 |M_i - N_i|$$

ويتم تكرار العملية إلى حين الوصول إلى مسافة ثابتة.

كان ذلك فيما يتعلق بالمرحلة الأولى، أما حساب المرحلة الثانية فإنه يتم كالتالي:

إنطلاقاً من توزيع الأنواع الشجرية في الوضع أعلاه (التوزيع الذي إنتهت عليه المرحلة الأولى) تجرى محاولة: هل يؤدي تبديل شجرتين إلى انخفاض في مقياس الجودة؟ إذا كانت الإجابة بنعم، تجرى عملية التبديل، أما إذا كان التبديل لا يؤدي إلى نقصان في مقياس الجودة فيجري التبديل ترجمياً. إذا لم يحدث تبديل يؤدي إلى نقصان في مقياس الجودة، تكون المرحلة الثانية قد إنتهت.

من المثال أعلاه يجب أن يكون عدد المحاولات الممكنة:

$$.720 = 12 \times 15 \times 20 + 15 \times 20 \times 12 + 20 \times 12 \times 15$$

يعني هذا أن هناك 720 محاولة قبل الوصول إلى الوضع النهائي. يمكن إجراء العمليات الحسابية عن طريق حاسوب شخصي في زمن معقول. تؤدي مراعاة التبديل قبل الوضع النهائي (في العادة) إلى وضع (محلي)

مناسب وبسرعة، وتعتبر هذه الطريقة صالحة لكل مكان. قد يحدث (أحياناً) ألا يكون التبديل الأفضل معروفاً بشكل جيد. إذا كانت هناك عدة إحتمالات لإنفاذ التبديل فالأفضل دائماً الإبتداء بأول بديل. تشبه مرحلة تناسب تمایز الأقطار المرحلة الثانية. هنا تتم المحاولة مرة أخرى عبر تبديلات زوجية للأشجار (هذا المرء من نفس النوع الشجري) بهدف الوصول إلى وضع تخيلي يشبه الوضع الحقيقي. تحسب جودة التناسب عن طريق متوسط الخطأ (الفرق بين قيم المشجر الحقيقي والتخيلي). إذا كان:  $(t_1, \dots, t_n, s_1, \dots, s_n)$  هي قيم فروقات الأقطار في المشجر الحقيقي والمشجر التخييلي، فإنه يمكن حساب متوسط الخطأ كالتالي:

$$E(s, t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |s_i - t_i|$$

في مثال (المشجر الذي به 47 شجرة): إذا أردت إجراء التبادل لمختلف الأقطار عند مستوى الصدر، فإن عدد الإحتمالات يساوي

$$20! \cdot 15! \cdot 12! = 1.524 \cdot 10^{39}$$

يمكن وصف المرحلة الثالثة في خطوة واحدة كالتالي: يتم تبديل الشجرتين من نفس النوع ويكسر ذلك إلى أن تقل درجة جودة القياس إلى حدتها الأدنى. للمثال ألاه يكون عدد مرات التبديل:

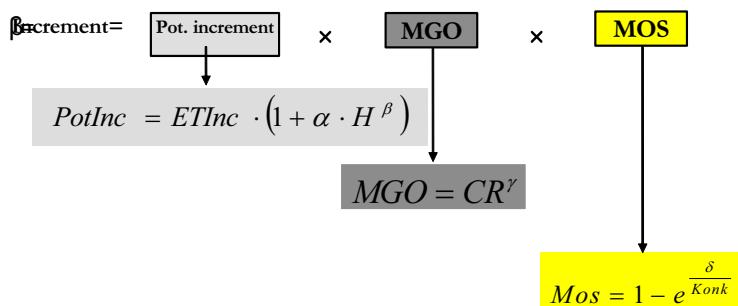
$$\frac{20 \cdot 19}{2} + \frac{15 \cdot 14}{2} + \frac{12 \cdot 11}{2} = 375$$

إذا أحدث أفضل تبديل إنخفاضاً في جودة القياس. يتم تنفيذ التبديل وتتفذ خطوة أخرى بعد هذا التبديل. إذا لم يحدث من خلال كل التبديلات تحسناً في جودة القياس، تكون المرحلة الثالثة ومن ثم النموذج الرياضي كله قد وصل إلى النهاية.

في حالة وجود عدد كبير من الأشجار يمكن إجراء التبديل الأول (الوارد في القائمة) الذي يؤدي إلى نقليل جودة القياس. إن إعادة تركيبات مشاجر (بناء مشاجر تخيلية) من قياسات مرابيع العينات المتاحة تعتبر شرطاً أولياً مهماً لاستخدام النماذج الرياضية للأشجار المفردة التي تعتمد على مواضع الأشجار.

## 2.2.6 النماذج الرياضية WASIM و MOSES

طور شتيربا (1983) نموذجاً رياضياً للشجرة المفردة في المشاجر المختلطة المكونة من (*Picea abies*) و(*Pinus sylvestris*) اعتماداً على معادلة إيك ومونسيرو (1974). الشكل (11.6) يوضح الصورة البسيطة للنموذج الرياضي.



الشكل (11.6): النموذج الرياضي للشجرة المفردة (WASIM) للأشجار المختلطة من النوعين (*Picea abies*، *Pinus sylvestris*) (1990، 1983، 1983).

الزيادة (Increment) في الإرتفاع أو في القطر لأي شجرة تساوي الزيادة الممكنة (Pot increment) مضروبة في معامل مقليل MGO و MOS. أما ETInc فهو الزيادة في الإرتفاع السائد أو الزيادة في القطر الناتجة من العلاقة بين الأقطار والإرتفاعات ويتم الحصول عليها من جداول الإنتاج. المتغير MGO وهو معيار لقياس التاريخ التنافس في المشجر ويتم تحديده عن طريق الدرجة التاجية (CR)، أما المتغير MOS فهو يصف التنافس الحالي على أساس مؤشر تنافس (Konk).

مثلاً: Picea abies، الإرتفاع = 20 متر،  $\alpha = 1.16$ ،  $\beta = 8.54$ ،  $\gamma = 12$ ،  $\delta = 4.81$ ،  $\text{ETInc} = 5 \text{ ملم/ السنة}$ ،  $\text{Konk} = 1.5$ .

CR	Konk	Id
0.6	1.5	1.9
0.6	0.5	3.3
0.6	1.0	2.5
0.3	1.0	1.3

مع ثبات الدرجة التاجية (CR) ترتفع الزيادة في القطر بنقصان المنافسة. في الأشجار التي تخضع لنفس الدرجة من التنافس: تتناسب الزيادة في القطر طردياً مع حجم الناج (كلما كان الناج كبيراً كلما زاد معدل الزيادة في حجم الشجرة).

للنموذج الرياضي (MOSES) نفس تركيبة النموذج (WASIM) الذي ذكره، والفرق أنه تم حساب الثواب من جديد وأستعمل النموذج لأنواع أخرى من المشاجر. المعادلة (18.6) التي إستعملت لحساب الزيادة في الإرتفاع تشبه في تركيبتها الأساسية نموذج (MOSES).

$$\Delta h = \Delta h_{pot} \cdot CR^\alpha \cdot (1 - e^{-\frac{\beta}{CI}}) \quad (18.6)$$

$\alpha = 0.0845$ ,  $\beta = 0.241$ ,  $\alpha = \beta = 3.953$  (ل النوع *Fagus sylvatica*). و الشجري *(Picea abies)*

يمكن إستعمال البرنامج الحاسوبي الآتي والمعروف (CR\_CI) لحساب الدرجات التاجية ومؤشرات التنافس لكل الأشجار في مشجر (أماكن أشجار معروفة).

```

Procedure CR_CI
const
  globale Konstanten u. Variablen)
maxN = 1000;
var
  Nr,BA           : array [1..maxN] of byte;
  BHD,H,KAH,X,Y, ih_pot,id_pot,kd_pot,
  CR,CI,ih,id,delta_KAH : array [1..maxN] of single;
  devicel         : text;
  Flaeche,s, Zuwachsdat : string;
  j,Stammzahl     : integer;
  Wuchsperiode, OH_Bon_Bu,OH_Bon_Fi : byte;
  Alter_Bu,Alter_Fi   : integer;

Procedure CR_CI;
{berechnet crown ratio (CR) und competition index (CI) fuer jeden Baum}
var
  ca,S_j,S_k,CI_sum,dist, overlap, help1,help2,help3,help4, help5,help6,help7,help8,
  winkell1,winkel2, CI_jk : real; k : byte;
begin
  for j:=1 to Stammzahl do {aeussere Schleife}
  begin
    CR[j]:=(H[j]-KAH[j])/H[j]; {crown ratio}
    {für Berechnung des CI sind die Kronenfläche (CA), die Überlappungsfläche pot. Kronen (O) und Baumgroessenparameter (S) nötig}
    ca:=PI*sqr(kd_pot[j]/2);
    S_j:=h[j]*kd_pot[j];
    CI_sum:=0; {Zurücksetzen der CI-Summe für nächsten Baum j}
    for k:=1 to Stammzahl do {innere Schleife für overlap}
    begin
      if j<>k then
      begin {Entfernung der Konkurrenten}
        dist:=sqrt(sqr(X[j]-X[k])+sqr(Y[j]-Y[k]));
        {Abfrage, ob Überlappung vorliegt}
        if dist<(kd_pot[j]/2+kd_pot[k]/2) then
        begin {wenn eine Krone völlig überlappt wird}
          if dist<=abs(kd_pot[j]/2-kd_pot[k]/2) then
          begin
            if kd_pot[j]>=kd_pot[k] then
              overlap:=PI*sqr(kd_pot[k]/2)
            else overlap:=PI*sqr(kd_pot[j]/2);
          end
          else begin {begin of else, d.h. dist>abs( )}
        end
      end
    end
  end
end

```

```

{Formeln aus Mathebuch}

help3:=(sqr(dist)+sqr(kd_pot[j]/2)-sqr(kd_pot[k]/2))
      /(2*dist*(kd_pot[j]/2));
help4:=(sqr(dist)+sqr(kd_pot[j]/2)-sqr(kd_pot[k]/2))
      /(4*sqr(dist)*sqr(kd_pot[j]/2));
help5:=sqrt((4*sqr(dist)*sqr(kd_pot[j]/2))
            -sqr(sqr(dist)+sqr(kd_pot[j]/2)-sqr(kd_pot[k]/2)));
{Umrechnung arccos in arctan, Bronstein, S.185}
winkel1:=PI/2-arctan(help3/sqrt(1-sqr(help3)));
help1:=winkel1-help4*help5;
help6:=(sqr(dist)+sqr(kd_pot[k]/2)-sqr(kd_pot[j]/2))
      /(2*dist*(kd_pot[k]/2));
help7:=(sqr(dist)+sqr(kd_pot[k]/2)-sqr(kd_pot[j]/2))
      /(4*sqr(dist)*sqr(kd_pot[k]/2));
help8:=sqrt((4*sqr(dist)*sqr(kd_pot[k]/2))
            -sqr(sqr(dist)+sqr(kd_pot[k]/2)-sqr(kd_pot[j]/2)));
winkel2:=PI/2-arctan(help6/sqrt(1-sqr(help6)));
help2:=winkel2-help7*help8;
overlap:=sqr(kd_pot[j]/2)*help1+sqr(kd_pot[k]/2)*help2;
end; {end of else, d.h. dist>abs( )}
S_k:=h[k]*kd_pot[k];
CI_jk:=(overlap/ca)*(S_j/S_k);
CI_sum:=CI_sum+CI_jk;
end;
end;
end; {Ende der inneren Schleife}
CI[j]:=CI_sum; {Konkurrenzindex für Baum j}
end; {Ende der äusseren Schleife}
end;

```

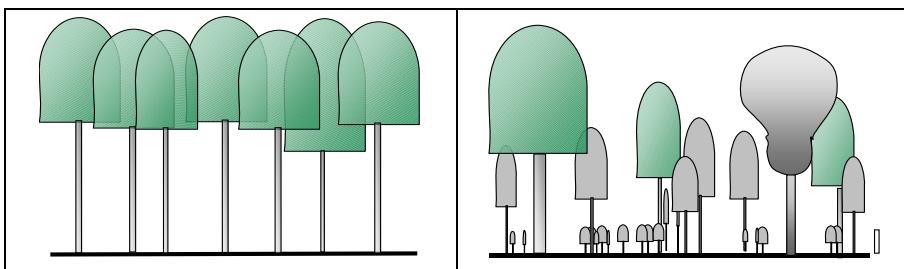
الجدول (6.6) يوضح نتائج حساب النموذج الرياضي (MOSES)، ويحتوي المشجر على 15 شجرة.

المعلومات الأولية (المدخلية)							بعد مضي 5 سنوات		
NR	BA	BH	H	KAH	X	Y	BHD	H	KAH
1	2	12.1	14.2	4.7	12.50	2.10	16.83	17.81	5.70
2	2	12.8	14.2	6.5	9.40	3.10	15.61	17.34	7.19
3	2	5.7	9.2	4.6	5.20	3.30	8.43	12.59	4.82
4	2	9.8	14.2	7.6	6.20	3.70	10.58	16.10	8.17
5	2	12.4	14.2	8.2	2.90	4.20	13.51	16.40	8.65
6	5	12.8	12.5	8.4	12.40	4.30	13.93	14.25	8.99
7	2	6.3	10.0	3.5	5.90	4.70	7.50	12.47	4.02
8	2	8.8	12.7	6.5	5.40	4.80	9.37	14.39	6.99
9	2	5.5	9.9	6.2	5.10	5.00	6.51	12.14	6.36
10	2	4.4	8.2	5.9	14.00	5.50	10.63	12.18	5.94
11	2	6.2	11.1	8.3	4.90	5.60	6.82	12.85	8.41
12	5	19.7	15.6	9.2	8.30	5.80	19.97	16.48	9.88
13	5	19.4	14.7	7.3	10.60	5.80	20.49	16.33	8.18
14	2	9.3	16.1	8.0	13.10	5.80	11.04	18.65	8.89
15	2	9.7	14.0	5.4	6.00	6.10	10.01	15.27	6.45

الجدول (6.6): المعلومات الإبتدائية والنهاية لمشجر يحتوي على 15 شجرة (تم حساب النموذج الرياضي (MOSES) بـ 15 شجرة).

### 3.2.6 النموذج الرياضي (SILVA)

يتأثر نمو الشجرة بالضغط الجانبي لتيجان الأشجار المجاورة وبالتالي التغطية التاجية والظل الواقع عليها من الأشجار المجاورة يمكن أخذ كل هذه العوامل من معادلة ثلاثة الأبعاد (الشكل 12.6).



الشكل (12.6): رسم توضيحي بين الضغط الجانبي بين شجريتين متجاورتين (إلى اليسار) والتقطيعية (إلى اليمين) (أخذت من بريتش، 1992).

عند معرفة إحداثيات الأشجار وأنصاف قطرات التيجان وأشكالها، يمكن رسم الإحداثيات ووضع المعلومات في شكل جدول مكون من عدد من الخلايا. عند رؤية كل شجرة على الجدول يمكن التعرف على كل أنواع التأثيرات الواقعة عليها، وبهذا يشكل هذا الجدول تركيبة حقيقة للمشجر. ذكر بريتش أن الزيادة في ارتفاع الأشجار من النوع (*Facus sylvatica*) يمكن حسابها عن طريق المعادلة (19.6).

$$\Delta h = \Delta h_{pot} \cdot CR^{0.088} \cdot Konk \quad (19.6)$$

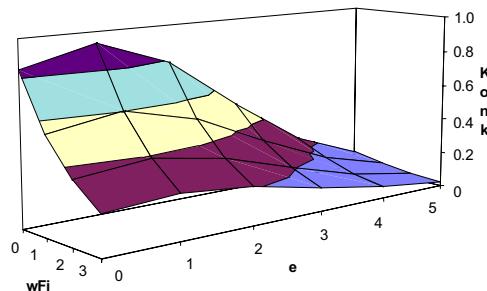
حيث:

$\Delta h_{pot}$  = الزيادة الممكنة في الإرتفاع

$CR$  = الدرجة التاجية.

$Konk$  = مؤشر، يصف التنافس عبر التظليل والضغط التاجي الجانبي.

الشكل (13.6) يوضح تأثير الضغط التاجي الجانبي ( $e$ ) والتظليل ( $wFi$ ) على مؤشر التنافس ( $Konk$ ) لشجرة من النوع (*Fagus sylvatica*) درجة تاجها = 0.5. يوضح الشكل أن هذه الشجرة متأثرة بالتظليل ولكنها متأثرة بشكل أكبر بالضغط التاجي الجانبي.



الشكل (13.6): مؤشر التنافس من النوع (*Fagus sylvatica*) درجة تاجها 0.5 عند قيم مختلفة لدرجة الظل والضغط التاجي الجانبي.

عمل باير (1996) على تطوير وصف لحالة التنافس في الجوار المباشر لأي شجرة، عند معرفة مكان كل شجرة بالتحديد وطول تاجها وعرضه، فإنه يمكن رسم هذا المحيط كما يمكن حساب الضغط التناافي الواقع على الشجرة المرجعية من الأجزاء المغطاة عن طريق صورة جانبية.

نظرًا لقلة المعلومات المكانية المتاحة، فإن النماذج الرياضية للأشجار المفردة لا تستعمل للتتبؤ بتطور الغابة إلا في حالات قليلة. من المهم جداً تطور مثل هذه النماذج مستقبلاً وذلك لأن نمو الشجرة في ظروف معقدة، مثل المشاهير المختلفة غير متساوية الأعمار. لا يمكن التتبؤ به إلا عن طريق النماذج الرياضية للأشجار المفردة.

## 7. النماذج الرياضية للعمليات الغابية

في الغابات الإقتصادية تتطور الغابة، ليس عن طريق نمو الأشجار، وإنما أيضاً (وقبل كل شيء) عن طريق العمليات الغابية (من تخفيض وخلافه). تؤثر عمليات التخفيض (السلخ) على تغيير كثافة وتركيبة المshجر وكذلك على قيمة الأشجار الموجودة فيه. وبالتالي فإنها تحدد تطور الغابة في المدى المتوسط والطويل. في الوقت الذي يمثل فيه تصميم نماذج رياضية لنمو الأشجار الموضوع الأساسي في عدة بحوث، فإن التنبيء بالتوقع المستقبلي للعمليات الفلاحية يلقي إهتماماً وأبحاثاً. مع زيادة الاهتمام بالغابات المختلفة غير متساوية الأعمار وارتباط ذلك بالتوسيع في أنواع المعاملات الفلاحية تصبح المصطلحات المتعارف عليها لوصف مختلف العمليات الفلاحية أقل دقة من ذي قبل.

يمكن تقدير التغيرات التي تطرأ على تركيبة المشاهير الغابية النامية ذات العمر المتساوي، عقب تنفيذ عمليات تخفيض مبرمجة، بشكل سليم نسبياً، أما في الغابات غير متساوية الأعمار ومتحدة الأنواع الشجرية، فإن تقديرات من هذا النوع تعتبر أكثر صعوبة.

### 1.7 الوصف الكلاسيكي لعملية التخفيض

في الممارسة العملية للغابات يتم وصف العمليات الفلاحية بمراقبة قوة (درجة) ونوع التخفيض (Grade and type of thinning). ففي التخفيض المعتدل من أسفل يتم قطع الأشجار المحترضة والميتة والضعيفة والمظللة بأشجار من حولها والأشجار المشوهة (Wolf trees) التي تشكل خطراً على ما حولها من أشجار، شريطة أن لا يؤدي قطع هذه الأخيرة إلى زيادة تفريع الأشجار المجاورة. تشير صفة (معتدل) إلى قوة عملية التخفيض ويمكن الا يكون هذا التعريف فعالاً، إذا كان بالإمكان وصف الأشجار المتبقية والأشجار التي تقطع بدقة وفي الواقع العملي يمكن ذلك عن طريق صفوف الأشجار (Tree classes). الجدول (1.7) يوضح نظامين مختلفين لفكرة تحديد صفوف الأشجار: نظام كرافت (1884) ونظام ويمانور (1902) الذي تبناه إتحاد المؤسسات الألمانية للبحوث، أما النظام الذي طوره الإتحاد العالمي لأبحاث الغابات (IUFRO) في العام (1956) فيتكون من تصنيف رقمي يحتوي على 6 أرقام ويقوم بالوصف الاجتماعي والفنى وال فلاحي لتصنيف الأشجار المفردة.

اتحاد المؤسسات الألمانية للبحوث (1902)	كرافت (1884)
1. الأشجار السائدة: وهي الاشجار التي تساهم في التغطية التاجية العليا.	1. الأشجار فوق السائدة: ذات تيجان ضخمة وممتدة بقوه.
1. أشجار تيجانها ذات نطور طبيعي وشكل الساق جيد.	2. الأشجار السائدة: وهذه تشكل بيته المشرب الأساسية وتيجانها متطرفة بشكل جيد.
2. أشجار تطور تيجانها غير طبيعي أو اشكال السيقان سيئة: الأشجار المشوهة، أشجار مريضة.	3. أشجار تساهم في السيادة بشكل محدد شكل التيجان شبه طبيعي وتشبه أشجار الصف الثاني (أعلاه) ولكن تطورها أضعف نسبياً ومعرضة للضغط من جاراتها إلى حد ما.
3. أشجار لا تزال قادرة على الحياة.	4. الأشجار المسودة (المضطهدة)، وهي التي لا تسهم في التغطية التاجية العليا. أ. أما أن تكون غير مغطاة، لكنها غير مغطاة. ب. وتكون التغطية من جاراتها قد بدأت بالفعل.
4. أشجار مضغوطة توجد أسفل الأشجار السائدة (مغطاة)، ولكنها لا تزال قادرة على الحياة.	5. أ. أشجار مسيطرة عليها تماماً، ولكن تيجانها لا تزال حية. ب. أشجار تحضر تيجانها أو ماتت.

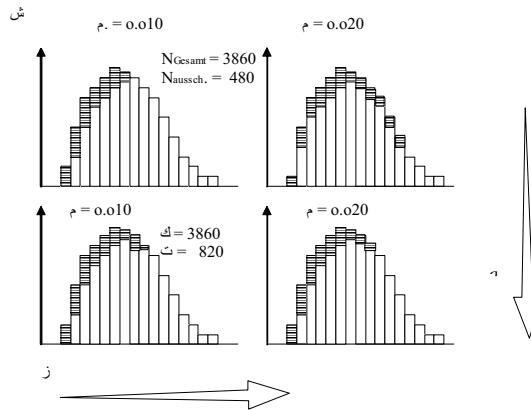
الجدول (1.7): نظم تصنيف الأشجار: إلى اليسار: طريقة كرافت (1884) وإلى اليمين: طريقة اتحاد المؤسسات الألمانية للبحوث.

الهدف من التخفيف من أعلى في الأعمر المتاخرة للأشجار هو إفساح المجال لعدد ونوع محدد من الأشجار لمواصلة النمو بعد قطع معظم الأشجار التي تعوق سرعة نموها. لتحقيق هذا الهدف يتم قطع الأشجار المريضة والأشجار غير القادرة على الحياة وتلك التي تعوق تطور تيجان الأشجار المرشحة لتنمو. أطلق على هذا النوع مصطلح التخفيف الإنقاذي، حيث كان في القرن الماضي يتم ترشيح أشجار محددة لتواءل النمو حتى نهاية الدورة الغابية، وفي كل عملية تخفيف يتم في القرن الماضي يتم ترشيح أشجار من جديد. منذ حوالي 20 سنة صار تحديد الأشجار المستقبلية يتم مرة واحدة، ثم في كل عملية تخفيف قطع الأشجار التي تحول دون نمو الأشجار المرشحة بشكل جيد.

هناك أكثر من تعريف واحد لمصطلح تخفيف الغابات الطبيعية المفرولة. لقد فهم بعض العاملين في مجال الغابات من هذا المصطلح: فكرة رعاية مشاغر لم تحظ بأي إهتمام ولم تمارس فيها أي عمليات فلاجية من قبل. في هذا النوع يتم قطع الأشجار الضخمة إذا كانت من نوعية غير جيدة (مشوهة السيقان أو خلافه)، وبهذا يفتح المجال للأشجار التي كانت مضغوطة (مسطر عليها) بواسطة هذه الأشجار الضخمة، بشرط أن تكون الأشجار التي يتم تحريرها قادرة على النمو بشكل جيد، هو توجيه الزيادة لأشجار التي تم تحريرها بعد عملية التخفيف.

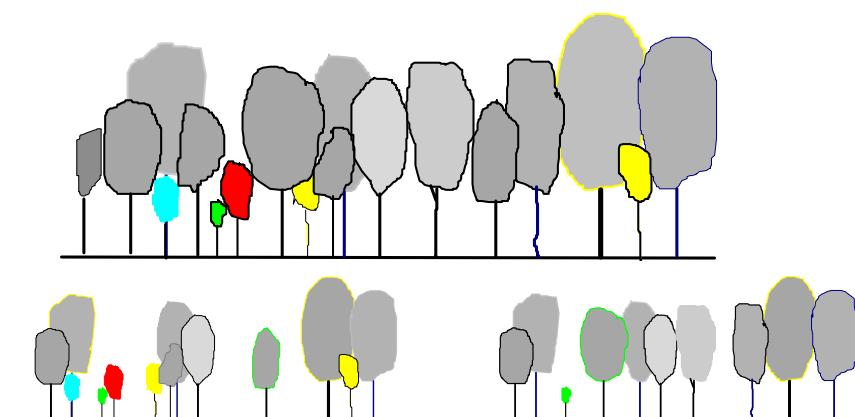
على الرغم من المحاولات المختلفة للتثبت الدقيق لصفوف الأشجار وعمليات التخفيف إلا أنه (حتى الآن) لا يمكن الوصف الدقيق للتخفيف الذي يحدث في الوقت الحاضر، ناهيك عن التنبؤ بالتحفييف الذي سيحدث في المستقبل. لقد تعرف فرنس (1972) إلى هذا العيب وحاول أن يعمل بمساعدة معامل تخفيف لأشجار القيمة متساوية العمر (الشكل 1.7). إذا أخذنا المشاغر المختلفة للأعمار فإنه لا يمكن وصف كل إحتمالات

التخفيف بمتغير واحد. هناك مثالان لاستعمال المصطلح البسيطة لوصف المحتويات المعقدة جداً، وهما التخفيف النوعي للمجموعات والتخفيف المرتبط بتركيبة المشاجر.



الشكل (1.7): تأثيرات التخفيف على التوزيع القطري لمشجر نقي متساوي العمر (أخذ من فرانس، 1972)  
( $m$ =معامل التخفيف، ش= عدد الأشجار، ت=أشجار قطع في التخفيف، د=زيادة درجة التخفيف، ز=الزيادة نتيجة للتخفيف).

نظراً لصعوبة وصف العمليات الفلاحية داخل الغابة (بالتحفيف أو القطع)، تستعمل الأشكال التوضيحية لعرض تأثيرات مختلف درجات التخفيف. الشكل (2.7) يوضح الفروقات بين نوعين من أنواع التخفيف: التخفيف المعتدل والتخفيف من أعلى.



الشكل (2.7): نوعين من التخفيف في مشجر مختلط، أعلى: نقطة البداية. إلى اليسار بعد عملية تخفيف من أعلى، إلى اليمين: بعد عملية تخفيف معتدل.

من المؤسف أن الرسومات البيانية لا تساعد على عرض كل الإحتمالات للتغيرات التي تطرأ على المشجر نتيجة للتخفيف. هنالك عبء ثقيل على بحوث الغابات وهو محاولة الوصف الدقيق لعمليات التخفيف، وتعتبر هذه خطوة أولى تليها الخطوة الثانية وهي محاولة التنبؤ بعمليات التخفيف التي يجب أن تتم في المستقبل. من الواضح أن مثل هذه المهمة سهلة نسبياً في المشاجر الندية متساوية الأعمار، ولكنها أصعب بكثير عندما يتعلق الأمر بمشاجر مختلفة الأعمار ومختلفة الأنواع الشجرية.

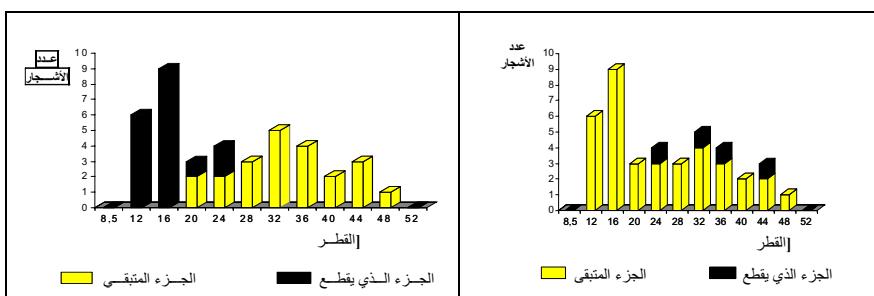
## 2.7 عمليات التخفيف في المشاجر الندية متساوية الأعمار

لوصف التغيير الذي يطرأ على توزيع الأقطار نتيجة لعمليات التخفيف وتوجد عدة طرق تم وصفها في موضع آخر يحتاج الوصف العملي لعمليات التخفيف لاستعمال متغيرات تعطي أدق تعبير ممكنة وتكون في نفس الوقت صالحة للتطبيق العملي. للتطبيق في مشاجر ندية متساوية الأعمار يمكن، على سبيل المثال، إستعمال النسبة بين عدد الأشجار والمساحة القاعدية وثابت التمايز أو الفصل (Separation parameter)، وبمعرفة مواضع الأشجار داخل المشجر يمكن أيضاً إستعمال المسافات البيانية وثوابت تركيبة المشجر.

### العلاقة بين عدد الأشجار والمساحة القاعدية

من المقاييس المستخدمة كثيراً لتحديد العلاقة بين المساحة القاعدية الناتجة من عملية التخفيف والمساحة القاعدية الكلية للمشجر (أي مساحته القاعدية قبل التخفيف) وأيضاً تغير درجة كثافة المشجر. إلى جانب المساحة القاعدية يمكن أيضاً يمكن إستعمال مقاييس أخرى للكثافة. في المشاجر الندية متساوية العمر، مثلاً يمكن استخدام المسافة النسبية للشجر، والتي يتم حسابها كنسبة بقسمة المسافة بين شجرين على الإرتفاع السائد. تعتمد درجة التخفيف على عدة عوامل، أولها كثافة المشجر قبل التخفيف والأنواع الشجرية الموجودة والهدف الفلاحي من التخفيف وعمر المشجر.

إلى جانب درجة التخفيف هنالك أيضاً نوع التخفيف يؤثر بشكل فعال على تطور المشجر. يتعدد نوع التخفيف عن طريق قطع إنتقائي لأجزاء مختارة من المجموعة الشجرية الموجودة. في الشكل (3.7) نتائج لعملية تخفيف من أسفل وآخر التخفيف من أعلى في مربוע عينة مساحته 0.1 هكتار.



الشكل (3.7): نتائج تخفيف من أعلى (إلى اليسار) وتحفييف من أسفل (إلى اليمين). الأجزاء من الأعمدة المظللة بالأسود تمثل الجزء الذي قطع والأجزاء الأخرى تمثل الجزء المتبقى بعد التخفيف.

في التخفيف من أعلى أزيلت 15% من المساحة القاعدية للمشجر، في حين أزيلت 16% من المساحة القاعدية في التخفيف من أسفل. في التخفيف من أعلى قطعت 645% من العدد الكلي لالأشجار، اما التخفيف من أسفل فقد قطعت 10% فقط من عدد أشجار المشجر. لقد كانت درجهما (قوتهما) واحدة تقريباً فيما يتعلق بالمساحة القاعدية التي أزيلت، في حين أنهما مختلفان من حيث النوع (فما يتعلق بعدد الأشجار التي قطعت). ينعكس نوع التخفيف عادة في التغيير الذي يطرأ على توزيع الأقطار. من الممكن وصف هذا التغيير بأشكال عديدة مثلاً عن طريق معامل التتناسب بين عدد الأشجار والمساحة القاعدية.

$$NG = \frac{\left( N_{aus} / N_{ges} \right)}{\left( G_{aus} / G_{ges} \right)} = \frac{rN}{rG} \quad (1.7)$$

حيث:

$NG$  = النسبة بين عدد الاشجار والمساحة القاعدية.

$N_{ges}, N_{aus}$  = عدد الاشجار الناتجة من التخفيف وعدد الاشجار الكلي (على الترتيب).

$G_{ges}, G_{aus}$  = المساحة القاعدية للأشجار الناتجة من التخفيف والمساحة القاعدية الكلية للمشجر (على الترتيب).

من المعادلة (1.7) يمكن استنباط العلاقة الآتية.

$$Dg_{aus} = NG^{-0,5} \cdot Dg_{ges} \quad (2.7)$$

حيث:

$Dg_{aus}$  = قطر الشجرة المحسوب من المساحة القاعدية للشجرة الوسطية من الاشجار التي قطعت في التخفيف

$Dg_{ges}$  = قطر الشجرة المحسوب من المساحة القاعدية للشجرة الوسطية لالأشجار الموجودة في المشجر قبل التخفيف.

التفحيف من أعلى نحصل من المثال السابق (في الشكل 3.7) على:  $(NG) = 45/15 = 3.0$ ، أما للتخفيف من أسفل فنحصل على:  $(NG) = 10/16 = 0.625$ .

عند  $(NG) = 1$ ، يكون التخفيف في أشجار تقع أحجامها حول الشجرة الوسطية بالمشجر، وعند  $(NG) < 1$  يكون عدد الأشجار المقطوعة أقل من جزئية المساحة المقطوعة، بمعنى أن القطر المحسوب من المساحة القاعدية للشجرة الوسطية للجزء المقطوع من المشجر أكبر من نظيره في المشجر قبل عملية القطع. أما إذا كانت العلاقة قيمة المؤشر  $(NG)$  أكبر من 1 فهذا يعني (نظرياً) تخفيف من أعلى. بناءً على ذلك فإن نوع التخفيف يعتمد على العلاقة بين المؤشر  $(NG)$  والعدد 1.

اسفر تحليل كمية كبيرة من المعلومات التي جمعت بواسطة مؤسسة بحوث الغابات في سكسونيا السفلى بألمانيا عن علاقة قوية تربط بين نوع التخفيف والمؤشر (NG). طور شتاوبندا (1999) نموذجا رياضيا للتخفيف يعمل على حساب توزيع أقطار الأشجار التي يتم قطعها في عملية التخفيف بمساعدة معادلة ويبيل التوزيعية. اسفر تحليل الإنحدار للثوابت (b) و(c) في معادلة ويبيل عن الآتي:

$$a_{aus} = a_{ges}$$

$$b_{aus} = 0,1230 + 1,0670 \cdot (Dg_{aus} - a_{aus}) \quad R = 0,99$$

$$c_{aus} = 8,0665 + 0,0554 \cdot Dg_{aus} - 2,2392 \cdot \ln(a_{aus}) - 0,0013 \cdot n_{ges} \quad R = 0,39$$

حيث:

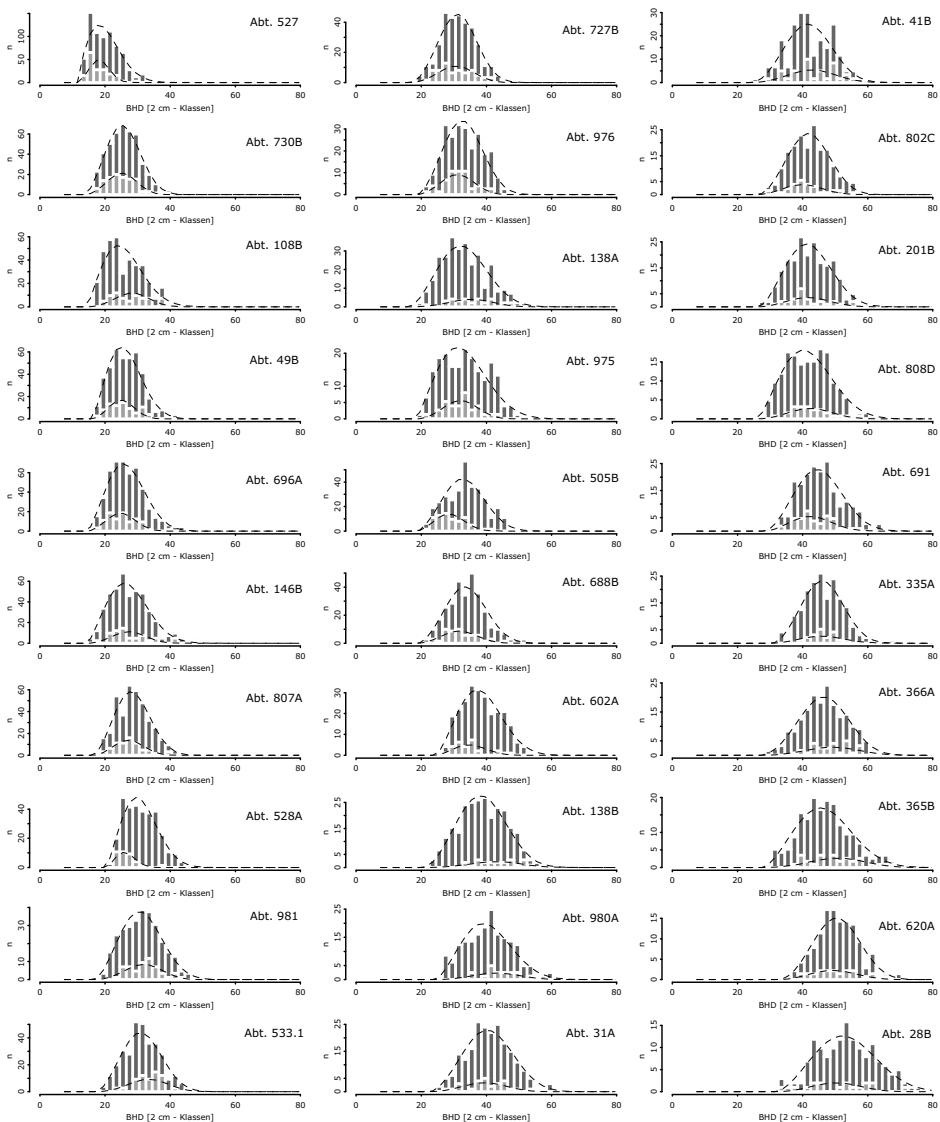
$$a_{ges} = \text{ثابت ويبيل (a) للمشجر قبل عملية التخفيف.}$$

$$Dg_{aus} = \text{القطر المحسوب من المساحة القاعدية للشجرة الوسطية (الجزء الذي يقطع في عملية التخفيف).}$$

$$N_{ges} = \text{العدد الكلي للأشجار (قبل التخفيف).}$$

يمكن حساب  $Dg$  بالنسبة من المشجر الذي يقطع في عملية التخفيف باستعمال المعادلة (2.7)، ومن ثم يمكن تحديد نوع التخفيف، إذن القيم التي تدخل في النموذج الرياضي لعملية التخفيف هي:  
 (1)  $Dg$ , الثابت (a) والعدد الكلي للأشجار قبل عملية التخفيف.

(2) أي اثنين من المتغيرات الآتية: ( $rG$ ), ( $rN$ ), ( $NG$ ). يمكن أن تعطي قوة التخفيف ( $rN$ ) مباشرة أو يتم حسابها من المساحة القاعدية النسبية للأشجار التي يتم قطعها ( $rG$ ) وقيمة ( $NG$ ) (المعادلة 1.7).  
 بعد حساب توزيع أقطار الأشجار التي سقطت في عملية التخفيف يمكن تحديد توزيع الأشجار المتبقية بعد التخفيف، وذلك عن طريق طرح تكرارات صفوف أقطار الأشجار الناتجة من التخفيف من صفوف تكرارا المشجر الكلي (أي قبل التخفيف). بإعطاء النموذج الرياضي للتخفيف القيم للمؤشر ( $NG$ ), فيه يمكن الحصول على توزيعات أقطار الأشجار التي تقطع في عملية التخفيف والأشجار المتبقية بعد ذلك (الشكل 4.7، أخذ من شتاوبندا، 1999).

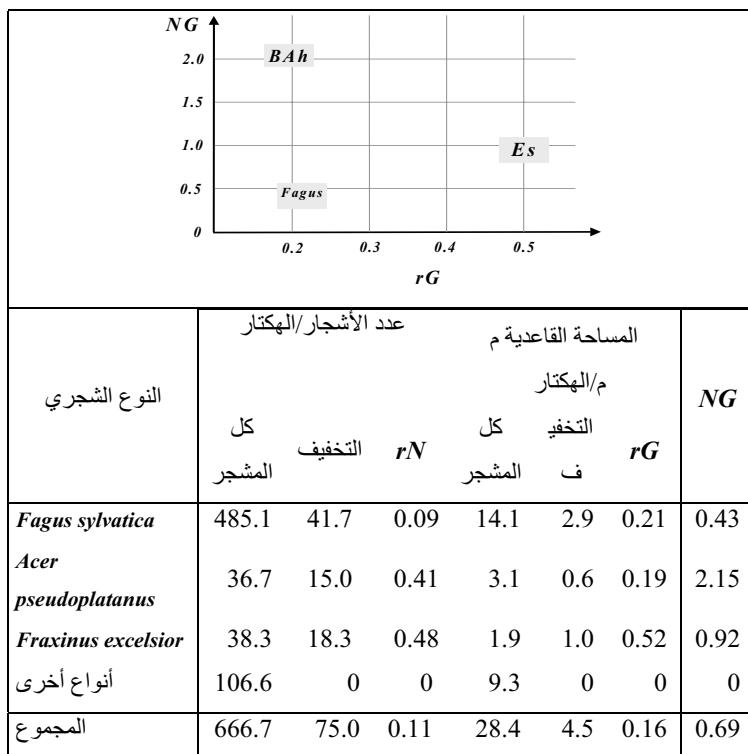


(شكل 4.7): التوزيعات القطبية لثلاثين شجرة من النوع (*Fagus sylvatica*) (ط=قطير)

توضح الأعمدة في هذه الأشكال التكرارات المطلقة (اللون الداكن = المشجر بعد التخفييف، اللون الفاتح = ناتج التخفييف، الخط المقاطع الأسفل يوضح التوزيع القطبي للجزء الذي قطع حسب النموذج الرياضي والخط المقاطع الأعلى يوضح التوزيع الذي تم حسابه للمشجر (ككل) عن طريق معادلة ويلل التوزيعية).

يمكن حساب توزيعات اقطار الاشجار من عملية التخفييف والمتبقيه بعده برمجة معقولة من الدقة بواسطة النموذج الرياضي للتخفييف، إذا عرفت القيم الحقيقية للمؤشر (NG)، أما إذا لزم حساب قيمة المؤشران فمن الممكن ظهور إنحرافات كبيرة، خصوصاً إذا كان نوع التخفييف المطبق في الواقع يختلف عن المنهج الذي

حدده برنامج التخفيض المعمول به. لأن المعلومات المتعلقة بدرجة (قوة) الخفيف ( $rG$ ) ونوع التخفيض ( $NG$ ) لأي نوع شجري في الغابات المختلفة ذات أهمية خاصة، عندما يتعلق الأمر بتصميم نماذج رياضية. الشكل (5.7) يوضح معلومات عن غابة مختلطة قام بتحليلها قادر وهيدكة (2001).



(شكل 5.7): أنواع ودرجات التخفيض المعتمدة على النوع الشجري في مشجر (*Fagus sylvatica*) مختلط.

الجزء من المساحة القاعدية الذي يقطع ( $rG$ ) يساوي 16% من المشجر ككل، من كل نوع في الجدول أعلاه (على ترتيب الأنواع الشجرية) 21%， 19% و 52%. وتبلغ قيم ( $NG$ ) لنفس الأنواع 0.43 و 2.15 و 0.92 على الترتيب أيضاً.

#### ثابت التمايز (ثابت الفصل): Separation parameter

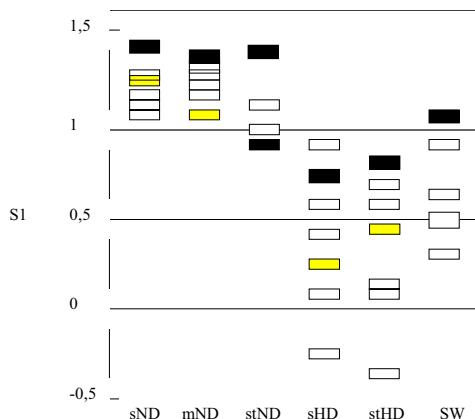
يعتبر ثابت التمايز (SI) واحد من المتغيرات لتقدير نوع التخفيض، وهو عبارة عن الفرق بين قيم الأقطار عند مستوى الصدر للأشجار المتبقية بعد التخفيض وتلك التي قطعت في عملية التخفيض ثم قسمة هذا الفرق على الإنحراف المعياري لأقطار أشجار المشجر قبل عملية التخفيض.

$$S_1 = \frac{d_{ver} - d_{aus}}{\sigma_{ges}^2} \quad (3.7)$$

حيث:

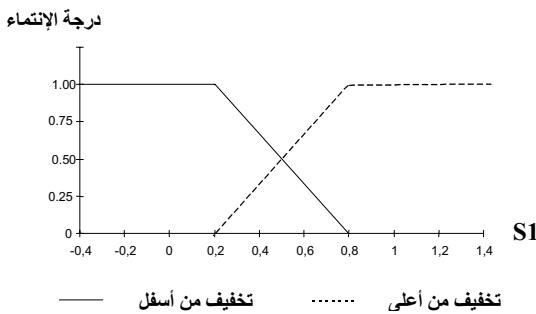
$$\begin{aligned} d_{aus}, d_{ver} &= \text{متوسط قطر الأشجار المتبقية بعد التخفيف والأشجار الناتجة من التخفيف على الترتيب.} \\ \sigma_{ges}^2 &= \text{الإنحراف المعياري لـ قطر المشجر قبل التخفيف.} \end{aligned}$$

ينعكس نوع التخفيف في ثابت التمايز. في الشكل (6.7) نتج عن التخفيف من أعلى قيمة ثابت تمايز تساوي 1.7 في حين نتج عن التخفيف من أسفل -0.74. نظراً لتعدد أنواع التخفيف في الواقع العملي، فإن قيم ثابت التمايز تتفاوت بشكل كبير (الشكل 6.7).



(الشكل 6.7): تفاوت قيم (SI) في حالات: تخفيف من أعلى (sND)، تخفيف معتدل من أسفل (mND) وتحفيف تغيل من أعلى (stND) وتحفيف بفرض الإسراع بالنمو (SW) (أخذت من قادر وستوير، 1993).

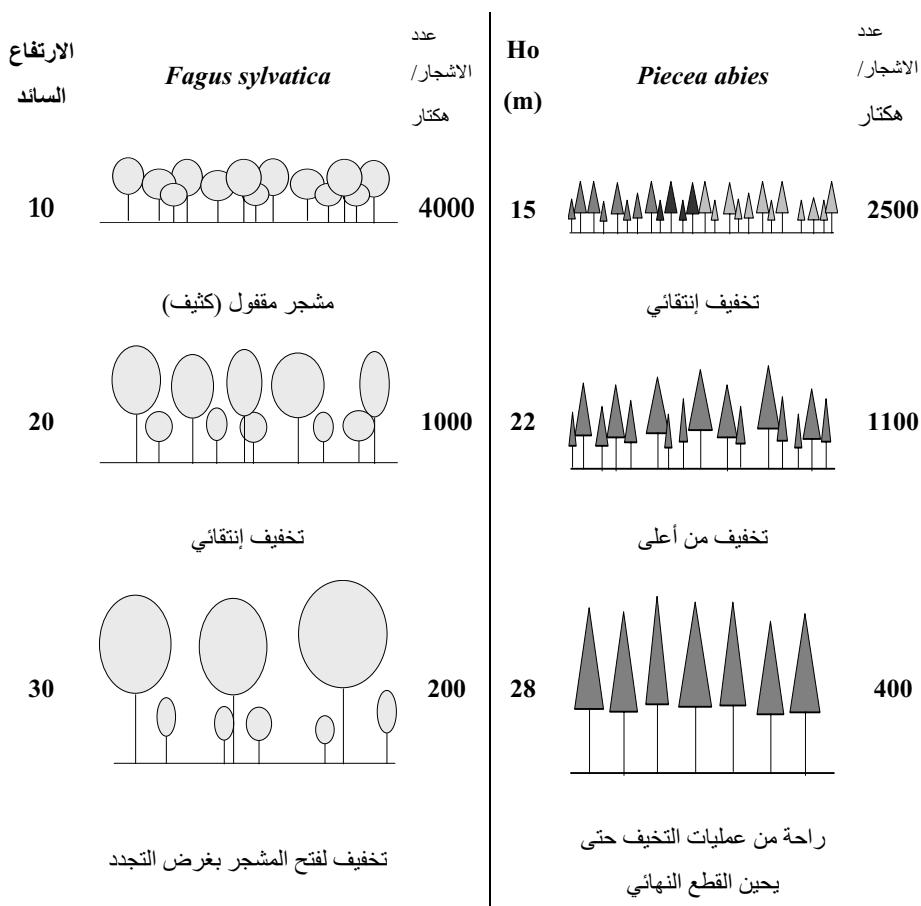
الشكل (6.7) يعرض المشكلة الأساسية التي تظهر عند تصنيف قيمة (SI) إلى مجموعات. هناك بعض القيم تكون مشتركة بين مجموعة وأخرى (لأنه خطوط فاصلة بين القيم). من الممكن وصف هذه العلاقة عن طريق ما يعرف بمعادلة الإنتماء والتي تحدد درجة إنتماء قيمة (SI) إلى مجموعة واحدة أو أكثر. الشكل (7.7) يوضح مثلاً معادلة إنتماء قيمة (SI) والمجموعتين تخفيف من أعلى وتحفيف من أسفل.



الشكل (7.7): معادلة إنتماء لقيمة (SI) وعلاقتها بالتخفيض من أعلى ومن أسفل.

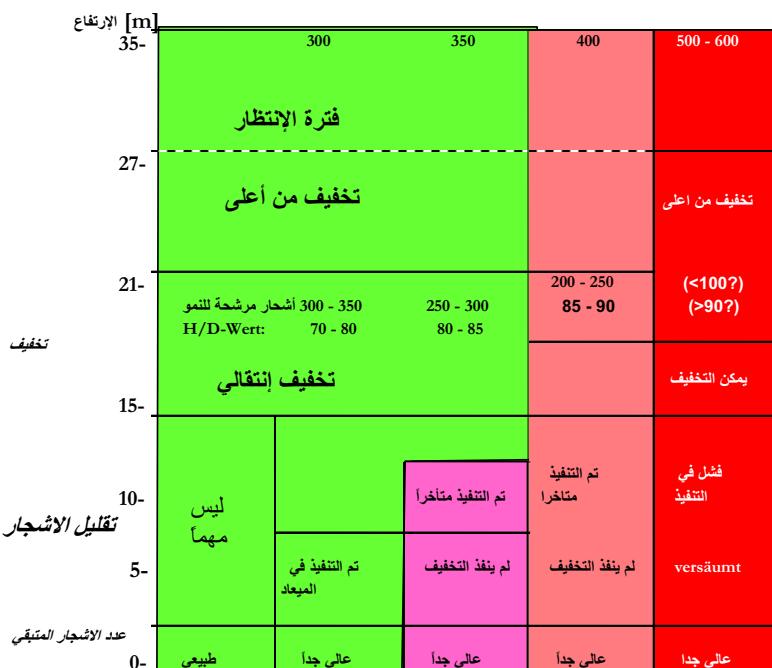
#### التطور المثالي للغابة

يمكن تطبيق ثوابت عمليات التخفيض المذكورة مع غيرها من الثوابت المساعدة في وصف نظور مثالي لغابة ما، مثل برامج التخفيض وفقاً لجدول محددة (بعض الأنواع الشجرية) أو المسافات البنية المنتظمة التي تتفذ في التخفيض الإنقالي في الأنواع الشجرية عريضة الأوراق (الشكل 8.7).



الشكل (8.7): التطور المثالي لمشجري (*Fagus sylvatica*) و(*Picea abies*) وفقاً لجدول بوشل وهوس، (1987).

من السهل (نظرياً) التحكم في مثل هذه الصورة المثالية لتطور أي غابة. هناك مفارقات كبيرة بين التطور النموذجي والتطور الحقيقي، حتى على مستوى المشاهير النقية ذات الأعمار المتساوية. لأسباب خارجة عن إطار التحكم قد تحدث مصاعب تجعل من تنفيذ عملية التحفيض أمراً غير ممكن. بالإضافة للفكرة العامة الواضحة للتطور المثالي طويل الأمد. يجب أن تكون هناك وسائل معايدة لإتخاذ قرار للحالات الاستثنائية والحالات غير الطبيعية. الشكل (9.7) يوضح مثلاً لطريقة معايدة لاتخاذ قرار في مشاجر صنوبر (*Picea abies*).



الشكل (9.7): وسيلة معايدة لاتخاذ قرار لأشجار صنوبر (*Picea abies*) (أخذت من جوهان ويونشنوت، 1981).

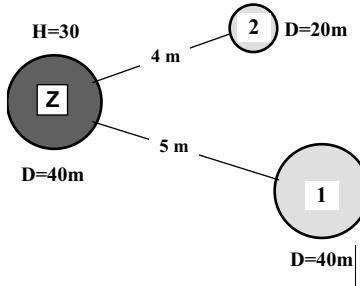
تمتاز هذه الطريقة بأنها تضع في الاعتبار عدة بدائل لنقطة البداية وتبني على كل بديل خيوط التطور المستقبلي المقترن لأشجار، ومن ثم تؤدي إلى التدخل التالي (بالتحفيض أو القطع). من المحاسن الرئيسية لمثل هذه الطريقة أن الحالة الإستثنائية لا يتم وصفها بمعزل عن حالة التغير ولكنها تؤخذ في إطار ارتباط طول الأمد.

#### المسافات البنية الحرجة والإنتماء.

في عملية التحفيض الإننقائي الموجهة في الأساس لمصلحة الأشجار المرشحة لمواصلة النمو حتى بلوغ الهدف الإداري ويرمز لها ب (Z)، يتم تحديد إطار لأشجار المستقل ثم تناح لها المساحات اللازمة للنمو الجيد بشكل منتظم لضمان استقرارها والتطور الجيد لتيجانها.

يعتمد عدد الأشجار التي يجب أن تقطع لمصلحة الشجرة (Z) المرشحة لمواصلة النمو حتى النهاية على صفات هذه الأشجار (أطوارها، إرتفاعاتها، إلخ) وأيضاً على المساحات البنية وصفات الأشجار المنافسة. لوصف كيفية التحفيض في مثل هذه الحالات بدرجة محددة من الدقة، يجب معرفة صفات الشجرة (القطر، الإرتفاع، التاج،...)، التي يمكن عن طريقها حساب مايعرف بالمساحة الحدودية (Boundary distance)، المعادلة (4.7) والشكل (10.7) يوضحان ذلك.

$$GD_{iz} = \frac{H_z}{A} \cdot \frac{D_i}{D_z} \quad (4.7)$$



الشكل (10.7): المسافة بين شجرة مرشحة (Z) وجارتين من الممكن أن تصبها منافستين. ( $GD_{iz}=6$  متر،  $GD_{2z}=3$  متر).

تعتمد المسافة الحدودية ( $z$ ) الشجرة (Z) ذات الإرتفاع ( $H_z$ ) والقطر ( $D_z$ ) وأيضاً الشجرة التي من المحتمل أن تصبها منافسة (i) على ما يعرف بمقاييس درجة (قوة) التخفيف (A). تقطع الشجرة المنافسة عندما تكون المسافة بينها وبين الشجرة المرجعية (Z) والتي يرمز لها بـ ( $E_{iz}$ ) أقل من المسافة الحدودية ( $Gdiz$ ). كلما زادت قيمة (A)، كلما قلت المسافة الحدودية وكلما قلت درجة التخفيف.

مثال: الشكل (10.7) يوضح المسافات من شجرة (Z) إلى شجرتين مجاورتين من الممكن أن تصبها منافستين، أقطارهما عند مستوى الصدر معروفة. إذا كانت قيمة (A) تساوي 5 والمسافة بين الشجرة (Z) والشجرة 1 تساوي 5 أمتار وبينها وبين الشجرة 2 تساوي 4 أمتار. المسافات الحدودية التي تم حسابها تساوي 6 أمتار للشجرة 1 و3 أمتار للشجرة 2. بهذا فإن الشجرة 2 توجد داخل المسافة الحدودية ولهذا يجب إزالتها، في حين أن الشجرة 2 تقع موجودة لأنها خارج المسافة الحدودية.

إذا علمت مساحة المشجر وعدد الأشجار وصفاتها وإحداثياتها فمن الممكن معرفة تأثير كل شجرة داخل المشجر على الأشجار الأخرى. يمكن حساب ما يعرف بمساحة النمو الصناعية بدالة ضغوط الأشجار المجاورة على الشجرة المرجعية بعد وزنها بالإرتفاعات.

يتكون المنهج الحاسبي الذي تتحدد بموجبه الأشجار التي يمكن أن تقطع في عملية التخفيف في كل صف قطر، من ثلاثة خطوات:

أ). مساحة النمو المحسوبة للأشجار المفردة هي دالة في القطر عند مستوى الصدر، مجموع مساحات النمو لكل الأشجار تساوي مساحة المشجر (بالمتر المربع).

ب). مساحة النمو الصناعية للشجرة (i) دالة في مساحة التداخل الموزونة بإرتفاع الأشجار.

ج). الشجرة الأولى التي تقطع في عملية التخفيف هي الشجرة التي تحمل الجزء الأكبر من مساحة النمو الصناعية.

يتم تحديد نوع التخفيف عن طريق الثوابت ( $b_1$ ) و ( $b_2$ ). وتعني القيمة الموجبة لهذين الثابتين أن تقطع الأشجار الصغيرة (الصغيرة) في الأجزاء الكثيفة داخل المشجر. عندما تكون قيم الثابتين أعلى سالبة، يعني هذا أن كل أو معظم الأشجار التي تقطع تكون من الأشجار السائدة.

### 3.7 وصف عمليات التخفيف عن طريق ثوابت تركيبة المشجر

تساعد مقاييس تركيبة المشجر (التي ترتكز على توزيع العلاقات بين الاشجار المفردة المتجاورة) في التقويم التفصيلي لعمليات القطع. لقد وردت تفاصيل مقاييس تركيبة المشجر في الفصل الرابع من هذا الكتاب (توزيع المسافات بين الاشجار، درجات الإختلاط، التمايز في الأبعاد، إلخ). يمكن عن طريق المقارنة بين ثوابت تركيبة المشجر قبل وبعد التخفيف الحصول على وصف تفصيلي لعمليات القطع، وبالتالي إستبطاط بداول قطع الأشجار مفردة بناءً على خصائص التركيبة، إذ يمكن على سبيل المثال وضع كل شجرة في صفات التركيبة المناسب بعد معرفة التفاصيل عن درجة الإختلاط وقيم التمايز بالنسبة للقطر. بتقسيم هذين المتغيرين إلى أربعة صنوف يتم الحصول على 16 صفة تركيبية (قادو، 1997، الجدول 2.7).

<i>Picea abies</i>						<i>Fagus sylvatica</i>					
المشجر بعد التخفيف		<i>M</i>				المشجر قبل التخفيف		<i>M</i>			
<i>T</i>	0	0.33	0.67	1	<i>T3</i>	0	0.33	0.67	1		
	0 - 0.3	0.00	0.32	0.15	0.00	0 - 0.3	0.19	0.08	0.04	0.00	
	0.3-0.5	0.04	0.13	0.00	0.00	0.3-0.5	0.07	0.07	0.04	0.01	
	0.5-0.7	0.00	0.02	0.09	0.02	0.5-0.7	0.04	0.06	0.07	0.01	
	0.7-1.0	0.00	0.06	0.11	0.06	0.7-1.0	0.13	0.07	0.08	0.03	
التحفيض		<i>M</i>				التحفيض		<i>M</i>			
<i>T'</i>	0	0.33	0.67	1	<i>T'</i>	0	0.33	0.67	1		
	0 - 0.3	0.00	0.25	0.00	0.00	0 - 0.3	0.20	0.20	0.00	0.00	
	0.3-0.5	0.00	0.75	0.00	0.00	0.3-0.5	0.20	0.20	0.20	0.00	
	0.5-0.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5-0.7	0.00	0.00	0.00	0.00	
	0.7-1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.7-1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	

الجدول (2.7): التوزيع النسبي لنكرارات الأختلاط (*M*) وتمايز الأقطار (*T*) في مشجر مختلط من النوعين (*Picea abies*) و (*Fagus sylvatica*) للمشجر قبل التخفيف والأشجار التي قطعت في التخفيف (أخذ من قادو، 1997).

نتيج نكرارات صنوف تركيبة المشجر قبل التخفيف والجزء المقطوع في عملية التخفيف الفرصة لمعرفة الأشجار التي يفضل أن تقطع، وذلك بناءً على إنتمائها إلى وصف تركيبة محددة. من الممكن حساب أفضلية القطع باستعمال المعادلة الآتية:

$$PR_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{ij}} \quad (8.7)$$

حيث:

$P_{ij}$  = أفضلية وصف التركيبة (ij).

$P_{ij}$  = الجزء النسبي الذي تمثله الأشجار المقطوعة في وصف التركيبة (ij).

$P_{ij}$  = الجزء النسبي الذي تمثلة كل الاشجار في وصف التركيبة (ij).

مثلاً: يمثل صف تركيبة بشجر *Picea abies* 13% من المشجر الكلي وتبلغ درجة الإختلاط بهذا الصف 0.33 (بمعنى أنه في كل 3 شجرات مجاورة للشجرة المرجعية توجد شجرة *Fagus sylvatica* (واحدة) ويفعل التباين القرطي بين (1:1.4) و (2:1) تقع 75% من الأشجار التي سقطت عند التخفيف في هذا الصف. المطلوب حساب أفضلية القطع للصنوبر.

الحل:  $P_{ij} = PR_{ij} = 0.13/0.75 = 5.77$  وتعتبر قيمة عالية.

ما زاد عن شجريتين مجاورتين من النوع (*Picea abies*) مقابل كل شجرة (*Fagus sylvatica*) يتم قطعه، وفي هذه يفضل قطع الأشجار الكبيرة (الأقطرار).

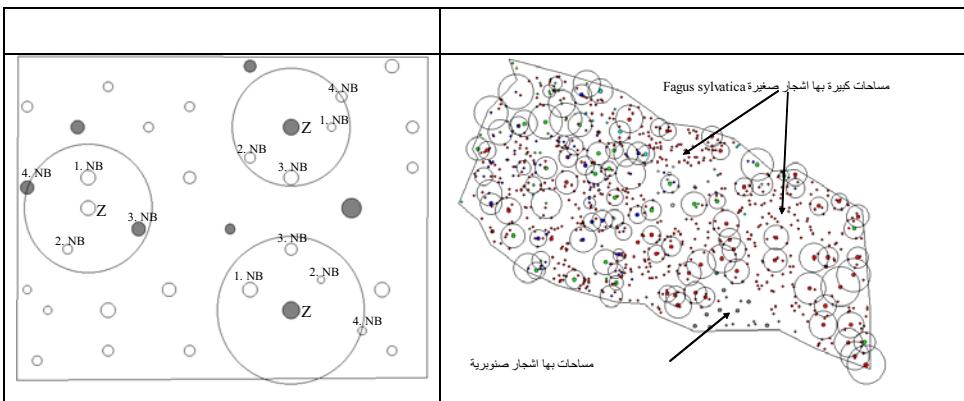
#### تحليل عملية التخفيف (الشلغ) عن طريق مجموعات الأشجار المتجاورة

يقصد بجموعات الأشجار المتجاورة كل الأشجار التي لها علاقة بإتخاذ القرار الخاص بكيفية عملية التخفيف وهي الأشجار المرجعية والأشجار المجاورة لها. اقترح البرت (1999) أربعة طرق مختلفة لإختيار مجموعة أشجار مجاورة (الجدول (3.7)).

		الدافع للتخفيف	
		المشجر بعد التخفيف	ناتج التخفيف
الجارة الأقرب : بدائل الإختيار	المجموعة الأقرب	مجموعة الأشجار المجاورة مع الجارات الأربع في المشجر بعد التخفيف.	مجموعة الأشجار المجاورة مع الجارات الأربع في ناتج التخفيف.
	الجارة المنافسة	الأشجار المنافسة التي تجاوزت المسافة الحدودية في مجموعة الأشجار المجاورة في المشجر بعد التخفيف.	الأشجار المنافسة التي تجاوزت المسافة الحدودية في مجموعة الأشجار المجاورة (ناتج التخفيف).

الجدول (3.7): أربعة بدائل لإختيار مجموعة أشجار مجاورة على أساس الدافع للتخفيف وبدائل الإختيار.

هناك عدة بدائل وكذلك يمكن توسيع الدافع لعملية التخفيف. الشكل (11.7) يوضح مشجراً ومجموعة أشجار مجاورة والأشجار الأربع المجاورة لكل شجرة مرجعية (الدواير في الأشكال توضح ذلك).



الشكل (11.7): إلى اليسار قطعة بها مجموعة أشجار متغيرة قبل عملية التخفيف ودفع اختيار لأشجار المجاورة (أربعة أشجار). إلى اليمين: مجموعات أشجار متغيرة داخل مشجر (تحتوي المجموعات على أشجار مرشحة لمواصلة النمو (Z) وجاراتها الأربع ممثلة بـ (NB) (اختن من ألبيرت، 1999)).

من الواضح أن المجموعات الشجرية المجاورة لم تتضمن أجزاء واسعة من المشجر وهي عبارة عن مساحات أو أجزاء من المشجر بها شجر صغير، في حين أن المجموعات الشجرية المجاورة قد شملت كل الجزء الشمالي الغربي من المشجر. لم تتركز عمليات التخفيف في المجموعات الشجرية المجاورة فحسب، بل شملت أجزاء أخرى داخل المشجر.

**تصميم نماذج رياضية بناءً على نظم (آسس) محددة**  
مع تطور التصورات النظرية وجدت التطبيقات المبنية على نظم محددة مجالاً عند تصميم نماذج رياضية التخفيف. تتكون العبارة المبنية على نظام محدد (Condition and Implication) من شرط ونتيجة (Conclusion):

توفر الشرط ← نتيجة (خلاصة)

عندما يتحقق الشرط تحدث النتيجة. من الشروط: حالة المشجر، خصائص المشجر وخصائص تركيبة المشجر. والخلاصات هي مجموعة نتائج وقرارات أو بصورة مبسطة هي معلومات في شكل خبرات عملية نوعية (ليس كمية). مثلاً إذا بلغت المسافة النسبية بين الأشجار أقل من 15% فيجب القيام بعملية تخفيف فوراً. عبر نظام محدد (او لائحة او قانون) يتم تعريف العلاقة بين الأشياء. التعبير الرياضي.

$$S = \frac{\sqrt{10\,000 / N}}{H_0}$$

يمثل علاقة بين أشياء محددة. في هذا المثل فإن الأمر يتعلق بثلاثة أشياء: كثافة المشجر ( $S$ ) ومتوسط المسافة بين الأشجار ( $H_0 / \sqrt{10000 / N}$ ) والإرتفاع ( $H_0$ ). الشرط اللازم توفره هو العلاقة بين الأشياء التي يمكن أن تكون معادلات رياضية أو جمل بسيطة تصف تجرب أو خبرات نوعية.

$$\left( \frac{\sqrt{10000 / N}}{H_0} < 0.15 \right) \Rightarrow \begin{cases} entnehme \left\{ N - \frac{10000}{0.20^2 H^2} Bäume / ha \right\} \\ und Df nicht riskant \\ im Rahmen einer Niederdruckforstung \end{cases}$$

عندما تكون المسافة النسبية بين الأشجار أقل من 15% وليس هناك خطورة من تنفيذ عملية التخفيف، فيجب تقليل عدد الأشجار من خلال تخفيف من أعلى لدرجة تزيد المسافة النسبية بين الأشجار إلى 20%. يمكن حساب عدد الأشجار الذي يطابق كثافة شجرية معينة عن طريق المعادلة.

$$N = \frac{10000}{S^2 \cdot H_0^2} \quad (6.7)$$

يمكن عن طريق عمليات التخفيف الإنقائية (التي تهدف إلى تحديد أشجار مستقبلية معينة) اختيار الأشجار (Z) المرشحة للنمو المستقبلي وأيضاً القرارات المتعلقة بعمليات التخفيف. (يقع قرار رجل الغابات بإختيار الأشجار المرشحة تحت طائلة نظام تقييم آخر مبني على أساس خصائص الأشجار، وهذا يختلف عن إختيار الأشجار التي يمكن قطعها أثناء عملية تخفيف إنقائي). الشكل (12.7) يوضح الأشجار المرشحة لمواصلة النمو بناءً على فكرة إتخاذ القرار بناءً على الوصف.

يعتبر التنبؤ بالأشجار المرشحة للبقاء مثلاً تطبيقياً للنماذج الرياضية الخطية المعمرة. في عملية إختيار الأشجار المرشحة للبقاء يمكن الإعتماد على مختلف الصفات المساعدة بالمشجر، وتقوم الفكرة دائماً على واحد من إحتمالين: أما أن تكون تلك الشجرة مرشحة للبقاء أو لا تكون. لإختيار الشجرة (i) من المجتمع الشجري (Z) لتكون مرشحة للبقاء يستعمل المتغير العشوائي الثنائي ( $Y_i$ ).

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{Baum } i \text{ wird als Z-Baum ausgewählt mit } P(Y_i = 1) = \pi_i \\ 0 & \text{Baum } i \text{ wird nicht als Z-Baum ausgewählt } P(Y_i = 0) = 1 - \pi_i \end{cases}$$

تبعاً لذلك ( $Y_i$ ) ذات توزيع ثانوي (Binomial) للمتغير العشوائي.

(لا تحسب القيمة للمتغيرات التي Generalized linear model في النموذج الرياضي الخطى المعمم) مباشرة، وإنما يتم تحويلها عن طريق ما يعرف بمعادلة ربط القيم المتوقعة: توضح خصائص الشجرة.

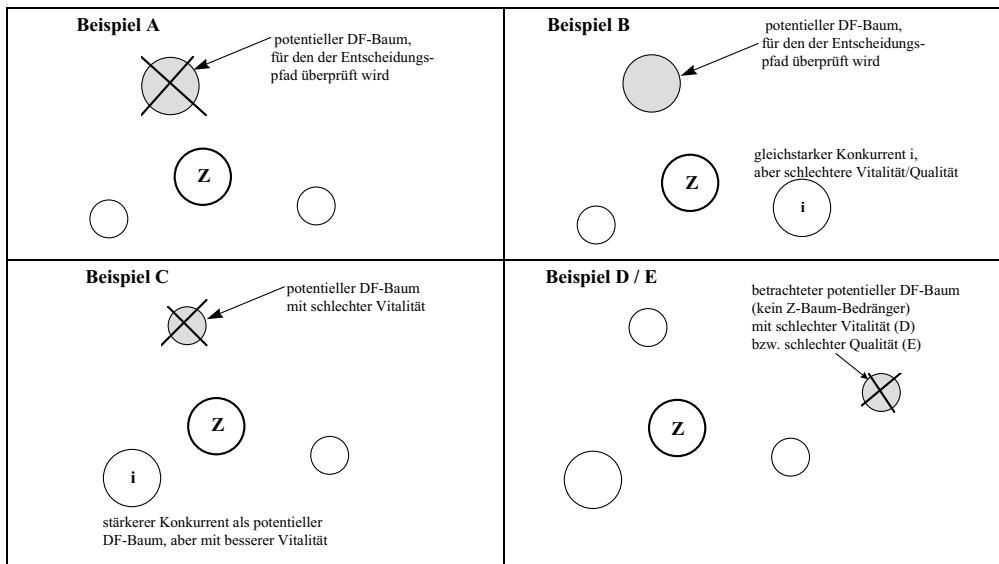
$$g(\pi) = \log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \sum_{j=1}^k \beta_j x_j$$

حيث أن ( $\beta_j$ ) هو ثابت النموذج الرياضي ( $x_j$ ) يساوي المتغيرات التي توضح خصائص الشجرة. معادلة ربط التوزيع الثنائي هي معادلة الرابط اللوغاريتمية الآتية: ( $g(\pi) = \log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \sum_{j=1}^k \beta_j x_j$ ، حيث ( $\log(\pi)$ ) هو اللوغاريتم الطبيعي ل ( $\pi$ ). يتم الحصول على احتمال النجاح (احتمال ترشيح شجرة لتوacial النمو) بحل

$$\pi = \frac{\exp\left(\sum_{j=1}^k \beta_j x_j\right)}{1 + \exp\left(\sum_{j=1}^k \beta_j x_j\right)}$$

المعادلة الآتية :

تؤثر معادلة الرابط هذه في الإحتمالات ( $\pi$ ) لأي قيم ( $x$ ) في المدى من 0 إلى 1. الشكل (12.7) يعرض مثلاً تطبيقاً لهذه الطريقة التي استعملها البريت (1999).

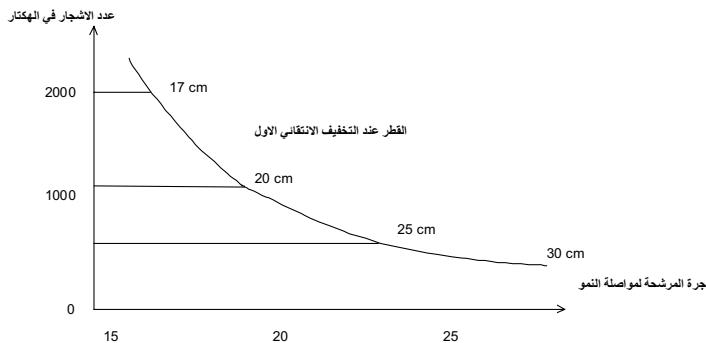


الشكل (12.7): اختيار الأشجار التي تقطع في عمليات التخفيض مبنية على أساس شجرة القرار وخمسة أمثلة للقطع (أخذت من البريت، 1999).

### التأكيد من الحاجة للتخفيف

لتقييم الحاجة للتخفيف توجد ثلاثة إحتمالات أساسية: أما أنه يجب القيام بعملية تخفيض (قطع): يعني هناك حاجة للتدخل الفوري أو انه يمكن القيام بعملية تخفيض الحالي أو في المستقبل القريب.

من المهم جداً في هذا الأمر الأسس التي تحدد مقدار الحاجة للتدخل. اعتماداً على جدول الإنتاج للأشجار المنتفحة ( المرشحة لمواصلة النمو لتحقيق الهدف المحدد ) الذي صممه كلينك ( 1992 ) تمكن أيبتر ( 1994 ) من إستبطان منهج يتم بموجبه تحديد النقطة الزمنية والقطر عند مستوى الصدر لأول شجرة مرشحة لمواصلة النمو ( Z ) ومن ثم بدأية التخفيف الإنقائي بالنسبة لنوع الشجري ( *Picea abies* ). الشكل ( 13.7 ) يوضح ذلك .



الشكل ( 13.7 ) : النقطة الزمنية والقطر عند مستوى الصدر للتخفيف الإنقائي المؤسس على اول شجرة مرشحة للنمو المستقبلي ، ومن ثم بدأية التخفيف الإنقائي في النوع الشجري ( *Picea abies* ) وقد أسس على جدول الإنتاج للأشجار المنتفحة من تصميم كلينك ، ( 1992 ) .

كلما قل عدد الأشجار ، كلما تأخرت عملية التخفيف الإنقائي لمصلحة الأشجار المرشحة لمواصلة النمو ، وكلما ارتفعت قيم أقطار الأشجار والقيم التسويقية للإنتاج من عمليات التخفيف الأولى .  
بإختصار : يمكن ملاحظة أنه بإختيار أساس محدد لتقييم حاجة لإتخاذ القرار ، فإن هذا الأساس يأتي دائماً في المقدمة . هنا يجب الأخذ في الإعتبار أن التخفيف يوجه ( في العادة ) لتحقيق عدد من الأهداف ، وأن هذه الأهداف تختلف من شجر إلى آخر .

### التتبُّو بالتبخفيض إعتماداً على حالة محددة

على العكس من التخطيط الفلاحي المثالي ، الذي يهدف إلى خلق صورة نموذجية بعيدة ، فإن التخطيط إعتماداً على الحالة المحددة يقوم على تلك الحالة فقط في المشجر الغابي الحقيقي الذي يتغير ببطء . يعتبر الزمن الطويل سمة أساسية لдинاميكية الغابة ، فمثلاً تحول غابة ( شكل طبيعي ) من غابة نقية إلى غابة مختلطة يحتاج إلى زمن طويل جداً .

للمشارج الغابية الحقيقية دائماً عدة طرق للتطور ، حيث توجد عدة بدائل لعمليات التخفيف الممكنة . يعتبر التخطيط الفلاحي المرتبط بحالة محددة عملية إيجابية ، لأنه يسمح بالتطور بناءً على عدة بدائل تعرف بعمليات التخفيف المتعددة . تعتبر تبعات عمليات التخفيف نتيجة حتمية لعمليات فلاجية لفترة زمنية محددة . بالإضافة لإحتمالات التطور وبدائل التخفيف ، فإن الإعتماد على الأفراد ( الذين ينفذون البرنامج ) يجعل من تنفيذ المنهج المحدد والتتبُّو بالتبخفيض المستقبلي أمراً عسيراً ، إذ أنه بإختلاف الأفراد الذين ينفذون عمليات

تحفييف نفس الهدف تختلف أنماط توزيع الأشجار. تعتبر مشكلة إعتماد تطور الغابة على أفراد، من المسائل التي لم تتل قدرأ وافرًا من البحوث حتى الآن وحالياً تجرى سلسلة من البحوث في هذا الإنماء. يتلخص الهدف من هذه الأعمال في إستبطاط معايير واضحة لتحديد التوافق بين تنفيذ الفرد لتوجيهات متتماثلة (مثلاً تمييز شجر لتحفييف إنقائي). هناك أمر آخر يجب أخذه في الإعتبار مستقبلاً، وهو التباين (أو الإختلاف) الشخصي المتوقع عندما يقوم نفس الشخص بتمييز نفس الشجر عدة مرات متتالية. لقد كان هذا الأمر من أساسيات بحث قام به كاله (1995) وقد توصل من خلال بحثه إلى توافق جيد جداً من خلال ثلاثة عمليات تحفييف تم تطويرها حاسوبياً بفرق شهر بين العملية والأخرى. إن العدد الكبير للتركيبيات الغابية المحتملة يجعل وضع أسس عامة يعتبر أمراً صعباً في.

نتيجة للفراغات التي لا تزال موجودة في أساسيات البحث، فإنه لا يمكن التنبؤ بتتأثيرات عمليات التحفييف على تطور الغابة. من هنا فإنه لا يمكن الحديث عن تطور أمثل للغابة بناءً على تعريف محدد، مما دفع عدد كبير من الكتاب إلى الدعوة لتأسيس ما يعرف بقاعدة **المنهج الفلاحي الحر**، وترمي هذه القاعدة لتوسيع مساحة إتخاذ القرار للذين يمارسون مهنة الغابات عملياً.

## 8. مقدمة

الغرض من سيناريو تخطيط الغابة هو تقييم بدائل خيارات الإدارة ذات العلاقة باستمرارية الغابة. سيناريو تخطيط الغابة يمكنه تقليل المخاطر مسبقاً للمستقبل بطريقة منتظمة، ونتيجة لذلك يتم تقليل الأشياء غير المتوقعة. أيضاً تحسين الفرص في المستقبل والتي قد تتفق مع الأهداف المعينة.

نماذج السيناريو قد تطور لتطبيقات ذات مستوى عال على مستوى قومي أو عالمي (تابروس وبافين، 1996) أو على مستوى الاستخدام المحلي. هذه المساهمة تعنى بصفة خاصة بتقنية السيناريو على مستوى وحدة إدارة الغابة.

للحصول على صناعة ناجحة تعتمد على منتجات الأخشاب، فإن التخطيط الغابي يعمل على تأمين مشجر في مرحلة متقدمة من النمو ذي عدد كاف من الإنتاج حيث أن خليط المنتج يأتي من الغابة. هذه المشكلة تعرف بـ (التخطيط على مستوى الغابة). والتي أدرجت في طرق لنوع شجري قيم.

اعتمدت الطريقة التقليدية على حساب حجم القطع المسموح به على أساس المخزون الخشبي الحالي ومعدل النمو. لأغراض التخطيط يجب الآتي:

أ- الحصول على وصف دقيق لأنشطة الإدارة المستقبلية.

ب- الشروع في تطوير الغابات الحكومية.

قد يم تم إجاز ذلك عن طريق جداول الإنتاج (شروب، 1978). جدول الإنتاج يقدر التطور في الجزء المتبقى في المشجر وحجم الأشجار التي تمت إزالتها في الغابات التي تدار بطرق سليمة. الجدول رقم (1) مثل لجدول الإنتاج لغابات (Compiled beech) قبل مائتي عام.

Age (years)	<i>remaining stand</i>				<i>removed trees</i>	
	Stems/ morgen	DBH (inches)	Height (feet)	Volume (Klafster)	Stems/ morgen	Volume (Klafster)
20	3644	2	12	5,95		
28	911	4	24	11,92	2733	4,46
36	405	6	33	16,39	506	6,62
44	228	8	40	19,86	177	7,17
52	146	10	45	22,35	82	7,15
60	101	12	49	24,34	45	6,83
68	74	14	53	26,32	27	6,41
76	57	16	56	27,81	17	6,16
84	45	18	59	29,30	12	5,83
92	36	20	61	30,30	9	5,56
100	30	22	63	31,18	6	5,34
110	25	24	64	31,78	5	4,89
120	21	26	64	31,78	4	4,71

### سيناريو حصاد الأخشاب

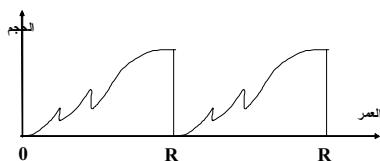
بالنظر إلى الإدارة التقليدية لغابة تطورها ونموها يخضع لدورات نمو لفترات زمنية متالية فيما يعرف (بالدورة). حيث أن الدورة الواحدة تبدأ بإنشاء الأشجار الصغيرة وتنتهي بحصاد الأشجار الكبيرة. فإن عمليات الشلح الوسطى قد تؤدي لتحسين القيمة النهائية للمحصول. تحسب الإنتاجية على أساس الحجم الكلي المنتج. أو على أساس متوسط النمو السنوي للدورة المعنية للعمر المعين (MAI).

يمكن التحكم في الإنتاج المستمر بواسطة النماذج مثل نموذج الغابة النموذجية، القيمة الحالية لبرامج الفلاحة المعنية تساوي مجموع الدخل السنوي، مخصومة من سنوات عمر الإنشاء. في هذه الحالة مساحة الغابة لم تكن ملينة بالأشجار بстыمرار وبالتالي فإن الغابة تسمى غير مستمرة.

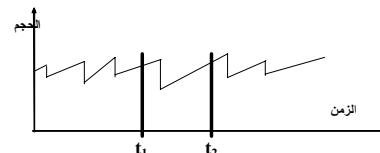
النوع الثاني من الإدارة (نظام التغطية المستمرة) وهي غير شائعة في وسط أوربا والمناطق المدارية. لكن أهميتها تتزايد حالياً في وسط أوربا. هذا النظام أو النوع من الإدارة يتميز بالحصاد الإختياري للأشجار المفردة. والفلاحة المناسبة لهذا النوع تعرف بالـ (Forest gardening). تطور الغابة ليس له بداية ولا نهاية، وإنما الغابة تظل في حالة غير محددة الأعمار (Undefined age). تعبير عن مخزون خشبي معين (الشكل 8.1).

تبدأ عمليات الحصاد بتغيرات منتظمة والمدة بين الشلح والحصاد النهائي ليس قطع نهائياً. بناءً على قياس إنتاج الغابة بالعمر والتقييم، متوسط الزيادة السنوية أو على أساس قيمة العمر الحالي. ليس مناسباً للإستعمال لتقييم الإنتاج على الزيادة السنوية الحقيقة ( $t_1, t_2$  PAI).

نظام التغطية الغير مستمرة



نظام التغطية المستمرة



الشكل (8.1) تطور غير مستمر لغابة خلال دورات النمو المتعاقبة المعروفة بالدورات إلى الشمال: العمر والدورة غير محددين في غابة ذات تغطية مستمرة إلى اليمن المخزون الخشبي مشار إليه بمستوى مرغوب فيه.

مراحل النمو لغابة ذات تغطية مستمرة لا يمكن معرفتها من خلال العمر أو الدورة. يمكن تقدير التطور من خلال الحصاد الإختياري.

### الاقتصادية السوق والغابة النموذجية

نموذج الغابة النموذجية يتيح الغرض للمقارنة بين العمر الحقيقي والعمر العادي للصنف في الموقع، كذلك حجم المخزون الخشبي ومعدل النمو وحجم الحصاد. المثال التالي يحتوي على بيانات أخذت من موقعين لغابات الصنوبر (Spruce forest) Conifers (بالألمانية توضح المبادئ).

صف العمر	المساحة العالية (ha)	الغابة A المساحة الحالية (ha)	الغابة B المساحة الحالية (ha)
غير مزروعة مؤقتاً	0.0	2.2	0.8
$0 \leq I < 20$	121.0	216.0	18.0
$20 \leq II < 40$	121.0	227.8	60.4
$40 \leq III < 60$	121.0	100.5	12.6
$60 \leq IV < 80$	121.0	139.1	19.0
$80 \leq V < 100$	121.0	81.5	322.3
$100 \leq VI < 120$	121.0	60.0	130.9
$120 \leq VII < 140$	121.0	19.9	283.0
total	847.0	847.0	847.0

.الجدول (8.2) توزيع العمر العادي لغابة spruce — Sauer land region Germany

الغابة A تحتوي على أشجار صغيرة (Predominant)، بينما الأشجار الكبيرة توجد في الغابة B. ونتيجة لذلك حجم الحصاد المستمر في الغابة B يعتبر حالياً أعلى منه في الغابة A، عمر الدورة 100 سنة ومتوسط الزيادة السنوية MAI<sub>100</sub> يساوي 10أمتير مكعب في السنة للهكتار. المعلومات في الجدول رقم (8.1)، من المحتمل أن تستخدم كأساس لحساب حجم الحصاد المستمر. مقارنة متوسط الزيادة السنوية مع متوسط عمر الغابة في المعادلة التي أفترضت بواسطة بريمان 1868.

(8.1)

$$\text{harvest} = \text{MAI}_r \cdot \frac{a_w}{(r/2)}$$

حيث:

= الحصاد السنوي (المتر المكعب/ السنة/ الهكتار). Harvest

= عمر الدور r

$MAT_r$  = متوسط الزيادة السنوية في العمر المعين من الدورة بالمتر المكعب/ سنة / هكتار

$$aw = \sum_{i=1}^n a_i \cdot f_i / \sum_{i=1}^n f_i$$

حيث:

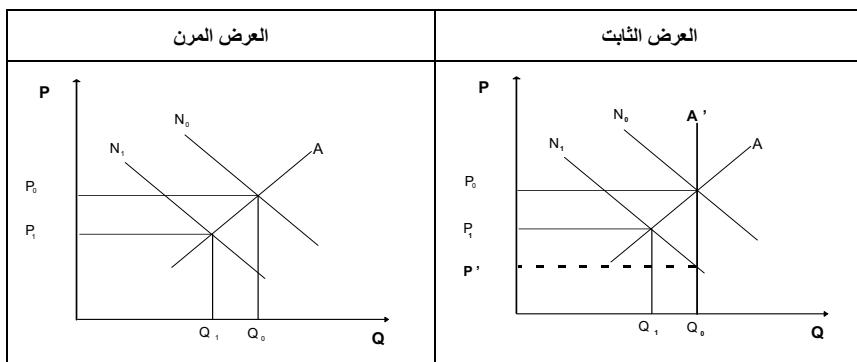
= صف العمر I (النقطة الوسطى)  $a_i$

= عمر الصف I بالموقع أو المساحة  $f_i$

وعليه يمكن الأخذ في الاعتبار الغابتين.

الغابة	$a_w$	الحصاد (متر <sup>3</sup> /سنة / هكتار)
A	45.9	9.2
B	99.1	19.8

نشأت فكرة الغابة النموذجية (Normal forest model) لوصف الإنتاج الخشبي المستمر لكل وحدة إدارية، والتي تم الحصول عليها على أساس نظام الفترات القطاعية (Periodic block system) بواسطة هاتج (1795) وكوتا (1804). الفترات القطاعية عبارة عن مساحة الغابة التي تمت جدولتها للحصاد على فترات زمنية محددة. المساوى الاقتصادية لعدم التطبيق المستمر لهذا المفهوم هي لضمان امداد ثابت من الأحشاب المستديرة للسوق. إذ أنه من المحتل بالضرورة حصاد مشاغر صغيرة العمر بصورة دائمة أو في حالة وجود مشاغر ذات عمر كبير بصورة غير عادلة وبنسبة عالية. لتفادي الأعمار الكبيرة (Over mature) يجب أن تستغل، استمرارية الإدارة كما هو معروف بمفهوم الغابة النموذجية، يمكن الحصول على امداد موجه، مضبوط اقتصادياً. لا يمكن مقابلة الطلب العالي لأن حجم القطع محدود للحد العادي. في حالات الطلب المنخفض فإن الكمية العادية للامداد لا تعني بالفائد المالي.



الشكل (8.2): الطلب والعرض في نموذج السوق، الكمية  $Q$  يمكن بيعها بالسعر  $P$ .

اتزان السوق (Market equilibrium) ينطوي على البضائع مثل الأخشاب، التي تشتري وتباع في السوق على المنافسة. الكمية ( $Q$ ) تباع بالسعر  $P$ ، القابلية الفعلية للدفع على الكمية ( $Q_0$ ) من الأخشاب هو السعر ( $P_0$ ) على منحنى الطلب ( $N_0$ ). عندما يكون الطلب على سبيل المثال القابلية الحالية للدفع تتغير كما هو موضح بمنحنى الطلب ( $N_1$ )، فإنه نقطة إتزان جديدة على السوق تنشأ مع العرض للكمية ( $Q_1$ ) والسعر ( $P_1$ ) (بيرن، 1997). حتى عندما يكون العرض ثابت في حالة نظام الإنتاج المستمر للأخشاب، فإن الطلب قد يرتفع أو ينخفض اعتماداً على السوق. فعندما ينخفض الطلب، فإن السعر أيضاً ينخفض بسرعة شديدة مما كان عليه في حالة العرض الذي قدمه فافنر، (1969).

يعرف مفهوم الغابة النموذجية العادية بشرطين:

أ- نموذج إنتاج يقدر النمو في المخزون الخشبي على العمر.

ب- الدورة، كأساس يمكن استخدامها للحصول على سيناريو يحقق معلومات مفيدة لشركات الأخشاب. وعليه فإن تأثير الدورة على النمو في المخزون الخشبي وحجم الحصاد السنوي يمكن توضيحه باستخدام مثل من جنوب الولايات المتحدة (كتر وأخرون، 1983).

مصنع ورق يحتاج إلى 400.000 كنـٰ من الأخشاب المستديرة يعادل (1.5 مليون متر مكعب) للعام من مشاجر الصنوبر pine في جنوب جورجيا USA. كم الإيرادات من مساحة الغابة المطلوبة كمصدر قطع مستمر من حجم الأخشاب. من أهم المعدات لحل هذه المشكلة هو نموذج الإنتاج المشار إليه في العمود الثاني من الجدول رقم (8.3) (واحد كنـٰ / إيكـٰ تقريباً مساوـٰ لـٰ 7.2 متر مكعب هكتار).

الدورة بالسنوات	المخزون النامي (cunits/ acre)	مساحة الحصاد (acres/year)	المساحة الكلية للغابة (acres)	المخزون النامي الكلي (cunits)	الحصاد نسبة ( السنوي من المخزون (نامي	متوسط الزيادة السنوية (cunits/ac. /year)
(1)	(2)	(3) = 400 000/(2)	(4) = (1)*(3)	(5) = (2)/2*(4)	(6) =(2)*(3)/(5)	(7) = (2)/(1)
6	4.80	83 333.3	500 000.0	1200000	0.33	0.80
8	16.64	24 038.1	192 304.5	1600000	0.25	2.08
10	29.10	13 745.7	137 457.0	2000000	0.20	2.91
12	40.80	9 803.9	117 647.1	2400000	0.17	3.40
14	52.22	7 660.0	107 239.8	2800000	0.14	3.73
16	61.60	6 493.5	103 896.1	3200000	0.12	3.85
18	70.20	5 698.0	102 564.1	3600000	0.11	3.90
20	77.60	5 154.6	103 092.8	4000000	0.10	3.88
22	84.26	4 747.2	104 439.0	4400000	0.09	3.83
24	90.24	4 432.6	106 382.7	4800000	0.08	3.76
26	94.90	4 215.0	109 589.0	5200000	0.08	3.65
28	98.56	4 060.2	113 636.4	5600000	0.07	3.52
30	100.80	3 968.3	119 047.6	6000000	0.07	3.36

جدول رقم (8.3) جدول الإنتاج المقترض لمشاجر الصنوبر في جنوب جورجيا (العمود رقم 2) مساحة القطع السنوي، المساحة الكلية المطلوبة، حجم المخزون الخشبي، معدل القطع النسبي ومتوسط الزيادة السنوية موصلة للدورات المختلفة.

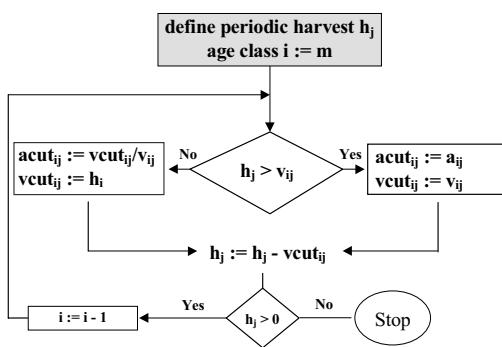
يزداد حجم المخزون الخشبي المتاح للحصاد النهائي مع زيادة عمر الدورة، والتي تؤثر على القطع السنوي المستمر والمساحة الكلية المطلوبة وحجم المخزون الخشبي الكلي ومعدل الحصاد المستمر النسبي ومتوسط الزيادة السنوية.

### تناسب الأعمار

نموذج الغابة النموذجية العادي عبارة عن نموذج قياسي (Standard) يمكن عن طريقه المقارنة بين حجم المخزون الخشبي الحالي والعادي. فإن قيمته غالباً محددة كسيناريو نموذج. إذ إنه مهم وبسيط وهى طرق تعتمد على تمثيل صفات العمر. بطريقة بسيطة للتمثيل فإن مساحة الغابة تقسم إلى "M" صفوف من العمر كل منها تعطي مساحة  $a_{ij}$  هكتار في فترة القطع  $J^{th}$  ( $I = 1..m, J = 0...n$ ). فإن المخزون المتاح في العمر  $I^{th}$  يكون مساو لـ  $(V_{ij})$ ، وحجم الحصاد الكلي المخطط له في فترة القطع  $(J)$  هو  $(h_j)$  اللوغرithem الممثل

في الشكل (8.3) يمكن استخدامه في تمثيل الأثر في مستوى الحصاد على التطور في توزيع صفات العمر في المورد الغابي المحلي.

For each harvest period  $j$ , do:



For each age class  $i$ , starting with the oldest one, and while  $h_j > 0$ , do:

- Calculate the available growing stock volume  $v_{ij}$ ;
- if  $h_j \geq v_{ij}$ , then harvest the entire growing stock available in age class  $i$ ;
- else harvest only  $h_j \text{ m}^3$ ;
- subtract the volume harvested from  $h_j$

الشكل (8.3): اشكال تخطيطي لتمثيل لوغريثم صفات العمر، على الشمال: اختصارات رمزية غير حقيقية.  
كل صف عمر  $I$ ، بدءاً من الأقدم عندما  $h_j > 0$  ، فإن:

(أ) حساب حجم المخزون الخشبي المتاح ( $V_{ij}$ )

(ب) إذا كان  $h_j \geq V_{ij}$  ، فإن حصاد كل المخزون الخشبي متاح في صفات العمر  $i$  ، بخلاف ذلك يمكن حصاد  $h_j$  متر مكعب.

(ج) بطرح حجم الحصاد من  $h_j$

الشكل (8.3) لوغريثم صفات العمر ممثلاً بالرسم التخطيطي على الشمال وعلى اليمين ممثلة أرقام غير حقيقية.

$a_{ij}$  = المساحة المتاحة من الغابة للعمر ( $i=1\dots m$ )، في الفترة ( $j=1\dots n$ )، ( $V_{ij}$ ) حجم الخشب المتاح في صفات العمر ( $i=1\dots m$ ) في الفترة ( $j$ )، ( $v_{ij}$ ) عبارة عن حجم الخشب المحصود في صفات العمر ( $i=1\dots m$ ) والفتره ( $j$ ) بالметр المربع، ( $h_j$ ) المساحة المحصودة في صفات العمر ( $i$ ) والفتره ( $j$ ) بالهكتار، ( $acut_{ij}$ ) عبارة عن حجم مساحة الحصاد في صفات العمر ( $i$ ) والفتره ( $j$ ) ، ( $h_j$ ) عبارة عن حجم الحصاد المحدد في الفتره ( $j$ ) بالметр المكعب.

وكمثال يمكن اعتبار غابة في روسيا مغروسة بأشجار (*Pinus sylvester*). النماذج الرياضية للإنتاج لغابة مليئة بـ (*Pinus sylvester*) مزروعة في موقع منتظم على درجة جودة موقع III في شمال روسيا متاحة

$$V(t) = 205.3 \cdot \left(1 - e^{-0.0231 \cdot t}\right)^{2.93} \quad (8.1)$$

حيث:

$V(\text{age})$  = المخزون الخشبي (متر مكعب / هكتار) في عمر معين بالسنوات بالغابة. هذا النموذج، يعتمد على ما جاء به شفدينكو وآخرون ، 1995)، استخدمنا لـكمال جدول الإنتاج (4) الموضح أدناه

	Age Class Midpoint									
	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190
$\text{m}^3/\text{ha}$	2.0	26.9	67.7	107.4	138.8	161.4	176.8	187.1	193.7	197.9

جدول (8.4): جدول إنتاج لغابة ملينة بأشجار (*Pinus sylvester*) نامية على موقع مجاني ذو درجة جودة III بشمال روسيا.

في غابة مساحتها 1000 هكتار . افترض أن التوزيع البدائي لصف العمر  $a_{i0}$  في الجدول رقم (8.2)، فترة الحصاد الثابتة 30.000 متر مكعب لكل عشرين سنة، فترة القطع والإنبات الطبيعي والمتوسط في مساحة القطع، توزيع صفوف الأعمار حسب لقطع المستقبلي في الجدول رقم (8.5).

	نقطة متوسط صف العمر										
	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	Total
$a_{i0}(\text{ha})$	20.0	300.0	100.0	100.0	200.0	50.0	50.0	100.0	10.0	70.0	1000
$a_{i1}(\text{ha})$	156.0	20.0	300.0	100.0	100.0	200.0	50.0	50.0	24.0	0.0	1000
$a_{i2}(\text{ha})$	168.3	156.0	20.0	300.0	100.0	100.0	155.7	0.0	0.0	0.0	1000
$a_{i3}(\text{ha})$	171.0	168.3	156.0	20.0	300.0	100.0	84.7	0.0	0.0	0.0	1000
$a_{i4}(\text{ha})$	177.7	171.0	168.3	156.0	20.0	300.0	7.0	0.0	0.0	0.0	1000
$a_{i5}(\text{ha})$	185.2	177.7	171.0	168.3	156.0	20.0	121.8	0.0	0.0	0.0	1000

جدول (8.5): تمثيل لتطور توزيع صف العمر لغابة صنوبر (*Pinus sylvester*) نامية في موقع مجاني ذو درجة جودة III في شمال روسيا، مع افتراض ان معدل الحصاد 30.000 متر مكعب لكل عشرين سنة (فترة قطع).

تطور المصدر الموضح في الجدول (8.5) يوضح أثر مستوى الحصاد على توزيع صفوف الأعمار. في المثال المعنى فترة الحصاد 30.000 متر مكعب سوف ينتج بـ (Wipe out) لثلاثة أقدم أعمار غالباً في فترة القطع الثانية العمر العادي للمساحة 200 هكتار إذا كانت الدورة تحتوي على متوسط الزيادة السنوية القصوى MAI لـ 100 سنة. فعندما تكون MAI 1.45 متر مكعب للسنة في عمر 90 سنة فإن مستوى

الحصاد لـ 30.000 متر مكعب في السنة سوف يستمر. بافتراض أن هنالك خطراً قد ينجم من الحرائق أو بعض المهددات الأخرى. عموماً، فإن أنواع الغابات وسياسات الإدارة والإحتياطات الازمة لتفسيير الطرق المختلفة للنمو في الواقع المختلفة حيث أن تمثيل صوف الأعمار أحياناً يكون مجدٍ في التبُو بديناميكية النمو في الموارد الغابية خاصة في مناطق نمو الأخشاب الكبيرة.

### نموذج التغير في المساحة

استخدمت نماذج التغير في المساحة بواسطة عدد من المؤلفين للحصول على سيناريو تطور الغابة. ومن أشهر التطبيقات لها نموذج سوزوكى (سوزوكى، 1961).

يساعد نموذج التغير في المساحة على التبُو بالتحول في حالة الغابة مع الزمن.

تدون كل عمليات الحصاد القديمة والتي استخدمت مشروع الإمداد الخشبي في اليابان. يمكن التعرف على كاحتمالية أن هنالك مساحة غابة تم اختيارها عشوائياً في الحالة I وفي الزمن  $t_j$  كاحتمالية شرطية  $P_i(n)$  على أن الحالة I في غضون فترة على سبيل المثال شرط احتمالية أن J تصل للنظام حالياً في i. مع ترك i و  $t_j$  أن تكون إحتمال أن الشجر الذي ينضم إلى  $J$  من العمر قد تم حصاده وبالتالي يمكن التحول للعمر I. عليه  $i, t_j$  هو شرط الاحتمالية التي تقول أن الغابة أو الشجر التابع للعمر  $J$  حالياً والذي سينمو إلى العمر  $(i+1)$  عادة  $(i+1, t_{ij} + 1 = 1)$ . والمصفوفة العامة لاحتمالية التحول يمكن أن تكتب كما يلى:

$t_{1,1}$	$t_{1,2}$	0	0	...	0
$t_{2,1}$	0	$t_{2,3}$	0	...	0
...	...	...	...	...	...
$t_{n-1,1}$	0	0	0	...	$t_{n-1,n}$
1	0	0	0	...	0

تم استخدام نموذج التغير في المساحة بصفة خاصة في اليابان بواسطة (كونوريا وأمانو، 1986). وفي أوروبا (كورس ودترش 1987، كوبا، 1989).

الجدول (8.6) يوضح مثال لمصفوفة احتمالات التحول في غابات الصنوبر والبيتش والفير (Fir, Beech, Spruce) في جمهورية السلوفاكيا.

AGCI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.000		1							
2	0.000			1						
3	0.000				1					
4	0.000					1				
5	0.005						0.995			
6	0.115							0.885		
7	0.020								0.980	
8	0.055									0.945
9	0.040									0.960
10	1.000									

جدول (8.6): احتمالات التحول في غابات (Fir, Beech, Spruce) في جمهورية سلوفاكيا لـ 10 صنوف (أعمار أخذت من (كولنكا وآخرون، 1996)).

تعرف احتمالية الحياة على أساس احتمالية وصل الغابة في العمر  $J$  للعمر  $J+1$  خلال حقبة زمنية معينة. وجدير بالذكر أن احتمالات الحيوية في الجدول رقم (8.6) لم يشير لانخفاض عالي مع زيادة العمر مع أنأغلب التطبيقات لنموذج تغير في المساحة، أن أدنى معدل للحيوية هو 0.885 مقبول في صف العمر 6.

طريقة التغير في المساحة عدة إمكانيات كسيناريو لأدوات النماذج. على سبيل المثال التنبؤ بالتطور في تركيبة العمر على المستوى الإقليمي والقومي. حيث أنه قد تحتاج بعض الأشياء للتنبؤ باحتمالات التحول بصورة أكثر دقة (بلاندون، 1985) و (داندال وقادو، 1995). احتمالات التحول غير مستقلة عن توزيع العمر الحالي وهي واحدة من المشاكل المرتبطة باستخدامها.

قد تكون نماذج التغير في المساحة مناسبة في استبطان سيناريو يشير لنطور ذي طرق خاصة والتي تتأثر بالعمليات الطبيعية مثل (النمو، أضرار الرياح)، والأنشطة الغابية مثل (الزراعة، الخف). حيث أن التطبيقات المجدية من المحتمل أن تكون محدودة نتيجة لأن هناك احتمالات تحول غير متوفرة بطريقة ظاهرة.

#### الفترات المتعددة لعمليات الحصاد المجدولة عن طريق البرمجة الخطية

هناك عدة تقارير لتطبيقات ذات برامج رياضية لخطيط حصاد الأخشاب. هذه النماذج تضمنت دالتها الهدفية على تقليل وتكبير مجموعة من العقبات (Constraints). قد يكون الهدف زيادة الحصاد، أو معدل الخصم على انسياط الأموال أو قد يكون لتقليل تكاليف الإمداد للنشر. وبالتالي فإن العقبات تشكل بطريقة سهلة لتسهيل مستويات الإنتاج على مر الزمن وفي نفس الوقت المستوى المعين للإستمارارية. من أهم أهداف هذه الدراسة جدولة عمليات لبرمجة رياضية كاملة لحصاد الأخشاب. في نماذج فترات الحصاد المتعددة المجدولة فإن، حالة الغابة في بداية الفترة  $t+1$  هي دالة خطية لحالة الغابة في تلك الفترة (بداية الفترة). و  $t$  هي مساحة القطع في تلك الفترة.

تطبيق البرمجة الخطية لخطيط فترات متعددة للحصاد موضحة باستخدام المثال المأخذ من (بونقيورنو وجلس، 1987) باعتبار مزروعات البان (Eucalyptus grandis) والتي تغطي مساحة 150 هكتار، 100

هكتار في عمر 7 سنوات وبدرجة جودة موقع 22 درجة. متىقي المساحة 50 هكتار بدرجة جودة موقع 24.5 في عمر 3 سنوات. يهدف المالك لهذه المشاجر إلى زيادة حجم الإنتاج خلال الخمسة سنوات المقبلة. النماذج التالية يمكن استخدامها للتنبؤ بالحجم الكلي للإنتاج  $V$ , مقاسة بالметр المكعب للهكتار لدرجة جودة معينة (SI) والعمر ( $t$ ) كما في المعادلة (8.2).

$$V = e^{2.83+0.151 \cdot SI} \cdot \left[ 1 - e^{-0.055 \cdot (t-1)} \right]^{1.19} \quad (8.2)$$

في المعادلة (8.2)، يمكن تطور جدول إنتاج جدول (8.7). العمليات الفلاحية عبارة عن عمليات قطع كلي تليها عمليات خلف (Coppicing). لضمان عمليات استمرارية الإنتاج فإنه يمكن التحكم في مساحة القطع باستخدام الدورة لأقصى حجم إنتاج. بالإضافة إلى ذلك الهدف إلى زيادة الحجم الكلي للقطع بنسبة 2% لكل سنة.

الخطوة الأولى هي التعرف على المتغيرات في النموذج، اجعل  $(X_{ij})$  هي المساحة المحددة للقطع في العمر الابتدائي ( $I=1 \dots n$ ),  $I$  في فترة القطع ( $J$ ) حيث ( $J=1 \dots m$ ). معطى عمر ابتدائي و 5 فترات قطع، هناك 10 متغيرات هي ( $V_{ij}$ ) الحجم بالهكتار في العمر  $i$  الابتدائي ( $i$ ) في فترة الخطأ. ( $J$ ) حجم القطع الكلي خلال فترة القطع المعنية وهي ذات علاقة خطية بمساحة القطع.

$$\text{Volume}_{\text{cut}} = 72.9 X_{31} + 99.4 X_{32} + \dots + 183.5 X_{75}.$$

age	Site index = 22.0		Site index = 24.5	
	V (m <sup>3</sup> /ha)	MAI (m <sup>3</sup> /ha)	V (m <sup>3</sup> /ha)	MAI (m <sup>3</sup> /ha)
1	0.0	0.000	0.0	0.000
2	14.4	7.205	21.0	10.509
3	31.8	10.611	46.4	15.477
4	49.9	12.487	72.9	18.215
5	68.1	13.630	99.4	19.881
6	86.1	14.355	125.6	20.939
7	103.7	14.818	151.3	21.614
8	120.8	15.104	176.2	22.031
9	137.4	15.265	200.4	22.267
10	153.4	15.336	223.7	22.370
11	168.7	15.339	246.1	22.374
12	183.5	15.290	267.6	22.303
13	197.6	15.202	288.3	22.174
14	211.2	15.083	308.0	22.000
15	224.1	14.940	326.9	21.792

جدول (8.7) جداول إنتاج تم تكوينها من حجم الإنتاج لأشجار البان *Eucalyptus* باستخدام المعادلة (8.2).

زيادة هذا الحجم، هناك خيارات للمساحة (area constrain)، إداتها لصف العمر الإبتدائي

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} = 5$$

$$X_{71} + X_{72} + X_{73} + X_{74} + X_{75} = 100$$

حجم القطع في الفترة  $J+1$  عبارة عن 2% وهو زيادة عن حجم الحصاد في الفترة J. في الفترة الثانية، مثلاً يمكن الحصول على الآتي:

$$(volume\ cut\ in\ 2) = (1.02\ (volume\ cut\ in\ 1))$$

وبصورة أوضح فإن

$$99.4 X_{32} + 137.4 X_{72} = 1.02 (12.9X_{31} + 120.8 X_{71})$$

بتغيير طفيف في الدورة لأقصى إنتاج لـ 11 سنة لكل من العمرين بدون تغيير الهدف مع الأخذ في الاعتبار المنافع الاقتصادية في حالة تقليل عمر الدورة، يمكن اتخاذ القرار في حالة استخدام الدورة ذات العمر 10

سنوات. وذلك لأن مساحة القطع السنوية ستكون 150/10 هكتار / السنة وما يترتب على ذلك أن مساحة القطع لا تتجاوز ال 75 هكتار خلال الخمس سنوات. وعليه فإن المعادلة المناسبة لهذه العقبات يمكن أن تكتب كما يلي:

$$X_{31} + X_{32} + \dots + X_{75} = 75$$

السبب الأساسي في تنظيم الإنتاج لفترات متعددة هو خلق مستوى إنتاج مستمر وأمثل للإمداد الخشبي. وعليه فإن الطريقة المثلث هي عمل النماذج وتنظيم عمليات الاستزراع الخ... يمكن النظر إلى التطبيقات التي تمت بواسطة (كاليو وآخرون، 1981 وباروس وفайнتراب، 1992).

كمثال لبرمجة خطية اعتمدت على نموذج لتقدير موارد الأخشاب المتاحة لمقابلة متطلبات النشر أو المناشير وجودة الإنتاج أو الحصاد المطلوب وعمليه التحضير، والترحيل بطريقة أو بأخرى فإن التكافلة لمقابلة هذه الطلبات تتناقص أو تقل (نيوهام، 1976، 1991).

### الغابات ذات التغطية المستمرة

أصبح تطبيق النظم الفلاحية من أهم السياسات على مستوى عال في وسط أوربا. وذلك نتيجة للتحول التدريجي من العمليات الفلاحية التقليدية إلى نظام التغطية المستمرة للغابات. مما شجع نمو مشاجر مختلطة ذات أعمار متعددة، أقلمة الواقع للأنواع الشجرية والحداد الاختياري (قريسيل وقادو، 1995). نظام الحداد الاختياري نظام تقليدي قديم ولكن حساب مستويات الاستمرارية لم تستخدم إلا في بعض الغابات المدارية (لوتون، 1937؛ بريتاباخ، 1974؛ سيداك وآخرون، 1995). في بعض غابات الأخشاب الصلدة في الولايات المتحدة (هانسن، 1987) وغابات البلاتن الأوروبية (بويلي، 1980؛ شتس، 1994).

في إدارة الغابات تحت نظام الحداد الاختياري نجد أن عمر المشجر غير محدد وعليه فإن تطور الغابة لا يخضع لنظام الدورة الغابية للحداد وكذلك لنظام التجدد (regeneration pattern). حيث أنه تعطي فكرة بسيطة عن حجم المخزون الخشبي والتي يمكن حسابها بطرق مختلفة (اوتو، 1994؛ ملسك، 1993؛ هيلف، 1993). الزيادة السنوية غير مناسبة لحساب الإنتاجية ومفهوم الغابة النموذجية والاستمرارية التقليدية ومعاييرها غير مناسبة وغير عملية. حيث لا يمكن حساب الزيادة لفترة معينة مسبقاً، وعليه لضمان مستوى استمرارية للإنتاج لابد من إنتاج عدة ثقنيات للحصول على حداد مستمر في نظام مزارع الغابات Forest Gardening (gardening) وذلك عن طريق الزيادات المتكررة لتقدير الزيادة في كل نمو بغرض التأكد من أن هناك كمية أو حجم يمكن حصاده كل عام، وبالتالي يجب تحديد عدد السنوات بين كل حداد وآخر في المربع المعين، (٢)، لضمان انتاج مستمر تقسم الغابة إلى أجزاء، كل جزء يغطي (٢) من المساحة الكلية، كل جزء يمثل حالة للغابة لعدد من السنوات اعتباراً من آخر حصاد. بافتراض فترة الدورة 5 سنوات يمكن بسهولة تحرير اندار

موقع الحصاد، الأشكال التالية استخدمت للإشارة لفترة الحصاد (I)، الحصاد نتيجة للون الداكن الذي تم تحديده على القطعة عن آخر زيادة للغابة قبل 5 سنوات.



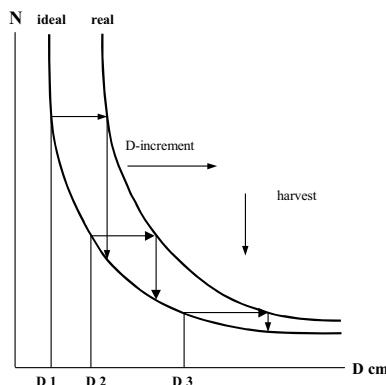
حالة التغيير في التوزيع بعد كل فترة زمنية و كنتيجة للحصاد في المراحل الكبيرة العمر (5)، و تراكم حصاد الأشجار في بقية المراحل أو القطع (Parcels). في خلال فترة الحصاد II. فإن هنالك تغير في حالة المربع (4) حيث يكون جاهزاً للحصاد، وهكذا. من أهم المشاكل في نظام التغطية المستمرة هي مشكلة تحديد الأشجار التي يجب إزالتها والتي يجب أن تبقى.

غالباً يكون القرار على الأشجار كبيرة الحجم و الخليط من الأحجام، والأنواع في الغابات ذات التغطية الدائمة التي نفترض أن هنالك أشجار باقية بحالة عادية في تركيبة الغابة. يمكن أن تعرف تركيبة الأشجار الباقية عن طريق توزيع الأقطار أو عن طريق المساحة القاعدية.

#### توزيع أقطار الأشجار الباقية

الهدف الأساسي من النظام التقليدي Planter wad harvesting system المطبق في السويد، فرنسا، إيطاليا، سلوفاكيا وألمانيا: هو تحديد تركيبة مثلى للغابة باستخدام ما يسمى بالشكل L (نموذج توزيع الأقطار). حيث أن الأقطار المستهدفة يمكن إعادة تأسيسها بالقطع في فترات (Periodic removal) للأشجار لكل صفوف أقطار. وكمثال لطريقة توزيع أقطار الأشجار المتبقية منحني عدد الأقطار المستخدم في سويسرا، الشكل (8.4).

نظرياً فإن الطريقة سهلة جداً ومنطقية. مقارنة بالواقع وتوزيع الأقطار الأمثل، يمكن تقدير عدد الأشجار التي يمكن حصادها في كل صنف قطر.



الشكل (8.4) : شكل بياني يمثل الحقيقة والتوزيع الأمثل في نظام Planter wad forest. المنحنى الأمثل يحدد عدد الأشجار على أساس صف القطر  $D$ , التي يجب إزالتها (بعد كورث، 1976).

اقتراح مير (1933): الدالة  $N = \alpha - \beta \cdot D$  وذلك لتحديد التوزيع الأمثل للأقطار. في الغابات التي تتغير بمجموعات حصاد وفجوات التجديد فإن معامل مير  $\beta$  بفرض قيم تتراوح من  $0.08 - 0.15$  اعتماداً على القطر الأقصى للأشجار القابلة للحصاد. في Planter forest قيم  $\beta$  عادة منخفضة تتراوح من  $(0.07 - 0.05)$ . في غابات الصنوبر المختلفة والبيتش في إقليم ترينتينو في إيطاليا أشجار الآل تحصد اعتماداً على النموذج الذي عرف بواسطة (سimmel، 1980؛ انظر أيضاً إلى فيرقليري وبورقيينو، 1997).

$$N = 600 ; G = 0.97 \cdot H ; V = 0.33 \cdot H^2 ; D_{max} = 2.64 \cdot H ; k = \frac{4.3}{H^{1/3}}$$

حيث:

$N$  = عدد الأقطار في الهاكتار على ارتفاع مستوى الصدر أو ما يعادل 1.75 سم.

$H$  = الارتفاع السائد للأشجار مثل الارتفاع الأقصى السائد المنافس للظروف البيئية للموقع بالمتر.

$G$  = المساحة الفاعدية (المتر المربع / هكتار).

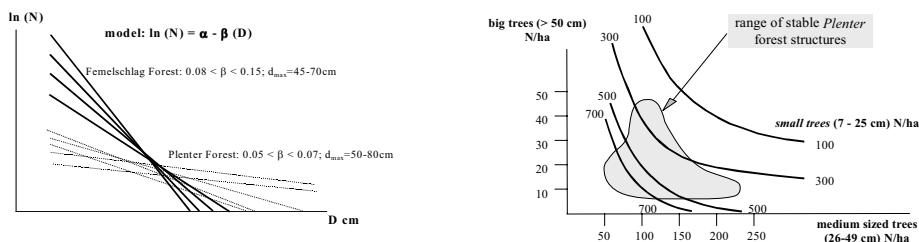
$V$  = الحجم (متر مكعب / هكتار).

$D_{max}$  = أقصى قطر (بالسم).

$K$  = نسبة ثابتة بين الأشجار لصف قطر معين  $I$  والصف التالي له  $(I+1)$ .

لكن لسوء الحظ، فإن تعريف توزيع الأقطار بهذه الطريقة ليست صحيحة. حيث أن هنالك توزيع أمثل لحجم الأشجار مقبول بصورة عامة. لكن على مدى واسع من التوزيعات وجد أنه ثابت في كل من

famel forest



الشكل (8.5): على الشمال مدى من تركيبات *femel forest plenter* تم التعرف عليها بواسطة نموذج مير لتوزيع الأقطار (بعد كرث، 1952). على اليمين، مدى ثابت من تركيبات غابة *plenter* وجدت بواسطة (متشرش، 1952).

### توزيع المساحة الفاعدية المتبقية Residual basal area distribution

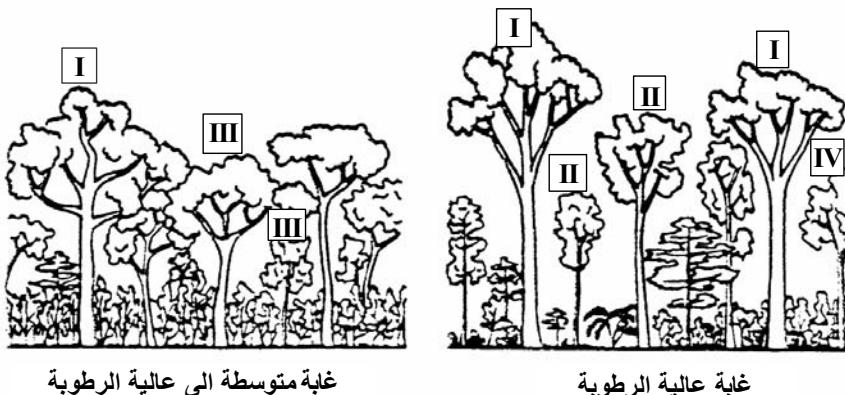
كمعيار بديل لتعريف تركيبة الغابة المتبقية (بعد الحصاد) على أساس فكرة توزيع المساحة الفاعدية. وكمثال لهذه الطريقة وجد في الأخشاب الصلدة الشمالية، حيث الغابات المتنوعة الممتدة من أواسط الإلباكاشيان حتى كندا والمحيط الأطلسي وغرباً حتى مينيسوتا (إيري، 1980). (هاسن، 1987): اقترح أن المساحة الفاعدية المتبقية (19.8 متر مربع للهكتار) لدورة قطع 15 سنة و 19.8 متر مربع/ هكتار لـ 30 سنة، فإن توزيع المساحة الفاعدية المتبقية لصفوف الأقطار موضحة في الجدول (8.6).

دوره القطع	صف القطر بالسم				
	5-12	13-28	29-43	>43	total
15 years: basal area (m <sup>2</sup> /ha) =	2.3	5.7	8.0	3.8	19.8
30 years: basal area (m <sup>2</sup> /ha) =	2.3	5.7	4.6	0.0	12.6
دوره القطع 15 سنة		دوره القطع 30 سنة			

جدول (8.6): توزيع المساحة الفاعدية المتبقية لصفوف الأقطار لدورات قطع مختلفة في الأخشاب الصلدة الشمالية (هاسن، 1987). الأجزاء الداكنة من الأعمدة تشير ل المساحة الفاعدية التي يجب أن تزال.

فكرة المساحة الفاعدية والتي طبقت في الأخشاب الصلدة الشمالية لها علاقة بصفوف الحجم فقط. الأنواع لم تؤخذ بطريقة خاصة في الاعتبار وهذا يعتبر فصور في هذه الطريقة. حيث أن النوع والحجم تمأخذهما بطريقة متالية في طريقة كنيسنا في طرق التحكم في الحصاد.

في نموذج إدارة غابات كنيسنا الخطوة الأولى تشمل تصنيف نوع الغابة حسب نظام الرطوبة والتي تمثل معيار تصنيف طبيعي يؤثر على تركيبة الغابة، الإنتاجية وتوزيع الأنواع. الشكل (8.7). وعلىه تصنف الأشجار تبعاً للحجم والنوع باستخدام أربعة صنوف أشجار.



الشكل (8.7): شكل تخططي لتمثيل نوعية من الغابات في إقليم كنيسنا في جنوب أفريقيا (بيرتبانخ، 1974). أعلى الشمال: أنواع غنية، نوع غابات متوسطة الرطوبة كثيفة بالنوع *Trichocladus crinoides* تحت النمو، في أعلى اليمين: إنتاجية عالية في غابات رطبة بأنواع قليلة نسبياً، تشمل *Podocarpus falcatus*, *P. latifolius*, *Olea capensis*, *Octea bullata*, *Verpris undlata*, *Ilex mitis*, *Curtisia dentata*, *Adoytes dimidiata*, ...act

الخطوة الثانية تشمل تصنيف أنواع الأشجار المختلفة وصفوف الأقطار على أساس جودتها الحالية والمستقبلية مثل:

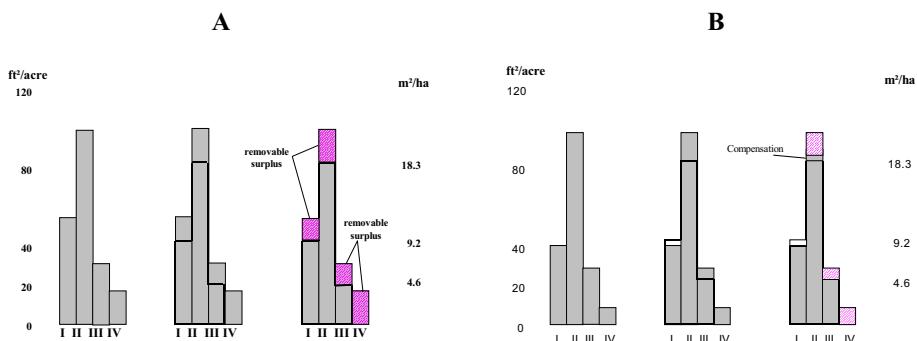
I = أشجار ناضجة ذات قيمة اقتصادية

II = أشجار غير ناضجة ذات قيمة اقتصادية تصل للصف I لاحقاً

III = أشجار أخرى غير ناضجة ذات قيمة اقتصادية

IV = حشائش وأشجار غازية غير ذات قيمة.

أخيراً يمكن أن يحدد التوزيع العادي للمساحة القاعدية لكل نوع غابي وصف الأشجار في الشكل (8).

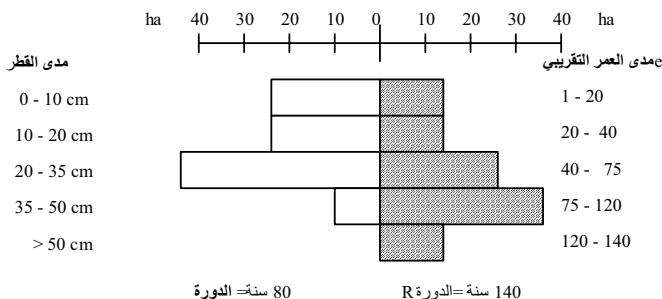


الشكل (8.8) التوزيع الطبيعي للمساحة الفاعدية للغابات متوسطة الرطوبة : توزيع المساحة الفاعدية لصفوف الأشجار قبل الحصاد، ذو توزيع طبيعي للمساحة الفاعدية في الوسط *superimposed* وفائض القطع. إلى اليمين: المساحة الفاعدية لصنف الأشجار I أقل من العادي. هذا يعرض بالزيادة المؤقتة في في الصنف II و النمو الداخلي في الصنف I سوف يكون أكبر من العادي و عليه فإن المساحة الفاعدية لصنف I ستصل للوضع الطبيعي حالاً. الفائض في صنف الأشجار III و IV يمكن حصاده.

حتى حديثاً، من الصعب جداً اتباع نماذج فاعلة لسيناريو الغابة والتخطيط في الغابات ذات نظام التغطية المستمرة خاصة لقلة نماذج التمثيل المناسبة، وللحصول على صورة حقيقة للنمو الطبيعي والعمليات الفلاحية في الغابات المختلطة غير متساوية الأعمار (كرامر، 1988) في ذات الوقت فإن الجيل الأول لنماذج التمثيل مكن القائمين بإدارة الغابات على الحصول على عدد من سيناريوهات تطور الغابة متضمنة أنواع كثيرة من خيارات إدارة الغابات. في كثير من الغابات على الرغم من أن تركيبة الغابة غير متجانسة ومتغيرة، فإنه دائماً من المستحيل تصنيف الغابات بوضوح. كما في غابات الكينيسنا على سبيل المثال. وعليه فإن الوصف التفصيلي للتركيبة الخاصة للغابة يشجع على استقلالية تمثيل النماذج.

#### نموذج الغابات الطبيعية غير المعتاد

في الغابات غير المستمرة ذات الأعمار المتساوية فإن نموذج الغابة الطبيعية يحدد بمساحات متساوية لصفوف أعمار مختلفة. في فإن العمر غير محدد. وعليه فإن المساحة تكون مغطاة بصفوف أعمار غير محددة. وكطريقة بديلة ، اقترح كرث (1978) نموذج الغابة الطبيعية والتي تقوم على أساس صفوف الأقطار. ، في كل صنف قطر مصحوباً بما يعرف ب *Temps de passage*، عبارة عن المطلوب للشجرة لكي تمر خلال الصنف كما في الشكل (8.9).



الشكل (8.9): مساحة عادية و ، *Temps de passage* لمراحل مختلفة من النمو في غابة الصنوبر ذات الإرتفاع السادس 16 متر في عمر 50 سنة، بافتراض أن الدورة في 80 سنة و 140 سنة كرت (1976).

كل مرحلة أو تطور مثل بمساحة والتي تتوافق مع متوسط الزمن المطلوب للوصول لصف القطر المعين. وحساب نسب المساحة القاعدية لمراحل النمو المختلفة، اعتمدت على نسب (*Temps de passage*) الجدول (8.8) مثل ذلك.

القطر بالسم	العمر	temps de passage	المساحة العادية عند الدورة 80
0-10	1-20	20	$\frac{20}{80} = 0.250$
10-20	20-40	20	$\frac{20}{80} = 0.250$
20-35	40-75	35	$\frac{35}{80} = 0.4375$
35-50	75-120	5	$\frac{5}{80} = 0.0625$

جدول (8.8) *Temps de passage* ونسبة المساحة العادية لمراحل النمو المختلفة في الدورة 80 سنة كرت (1976).

#### إعتدال مستويات الحصاد في الغابات ذات التغطية المستمرة

من المحتمل أن تتطلب الإدارة المستدامة للغابات ذات التغطية المستمرة أعلى حجم إنتاج ولكنها تترك الغابة في حالة مستقرة. الأساس النظري لهذه العملية معطى بطريقة المصفوفة العامة للتتحول والتي تفترض أن كل شجرة في حجم متناهي من صفات الحجم ذات احتمالية معروفة للتتحول لصف التالي، والتي تعتمد على حجمها الحالي. خلال خطوات الزمن المعطاة فإن الشجرة من المحتمل أن تبقى في صفتها أو قد تنمو لصف أعلى، أو تموت (بونقيورنو وميتشي، 1980؛ ورونيابين) ونموذج التحول الأساسي موضح أدناه.

$$\begin{bmatrix} f'_1 \\ f'_2 \\ f'_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ f'_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & \dots & 0 \\ b_1 & a_2 & \dots & 0 \\ 0 & b_2 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ 0 & \dots & a_m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_i + C \\ f_2 \\ f_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ f_m \end{bmatrix}$$

حيث:

$a_{1i} = 1 \dots n$  تحدد احتمال أن الشجرة بصف القطر I ستبقى في الصنف i ،  $b_{ii} = 1 \dots m-1$  احتمال أن الشجرة بصف القطر سوف تقدم إلى الصنف  $(i+1)$  خلال الفترة الانتقالية. إذا كان مجموع  $a_{1i} + b_{ii}$  أقل من الواحد الصحيح فإن بعض الأشجار في الصنف i ستموت خلال هذه الفترة. C تحدد عدد الأشجار التي سوف تدخل صنف القطر الأول، خلال هذه الفترة التي تعرف بفترة النمو الداخلي (ingrowth). تظل الغابة في حالة مستقرة. معادلة.

$$f_{i,t+1} = f_{i,t} = f_i$$

قد تكون أهداف النموذج المثالي زيادة قصوى لحجم الحصاد خلال كل فترة قطع.

$$\sum h_i \cdot v_i$$

حيث:  $i = 1 \dots n$  تمثل عدد الأشجار المقطوعة في صنف القطر (i) في حالات ثابتة،  $(V_i)$  يمثل حجم الشجرة الواحدة في صنف القطر (i). الهدف هو تحديد الحصاد الذي يجعل هذه الدالة أكبر ممكناً. وفي ذات الوقت مراعاة حالات التساوي وعدم التساوي التي تترجم عن مصفوفة الانتقال والظروف المستقرة. في الحالة المستقرة فإن العقبة التالية والتي تتطابق على كل صنف يمكن تمثيلها بالمعادلة التالية.

$$f_i = b_{i-1} \cdot (f_{i-1} - h_{i-1}) + a_i \cdot (f_i - h_i)$$

عدد الأشجار التي يتم حصادها لا يمكن أن يكون أكبر من عدد الأشجار المتاحة لذلك بالإضافة لحالات عدم السلبية ( $f_i \geq 0$ ;  $h_i \geq 0$ ) والعقبات التالية مطلوبة:  $(f_i - h_i \geq 0)$ . تطبيق هذه الطريقة ثم عرضها بواسطة راوينيان (1999) مستخدماً معلومات (قراءات) غابات (*Shorea rubusta*) في نابل غير متساوية الأعمار.

### نموذج لأي نوع من الإدارة الفنية للغابات

ان العمل على تطوير غابة ذات تغطية مستمرة، أكثر من إنشاء نماذج لغابة خلال ذلك (غير مستمرة) ذات دورة ونظام شلخ معلومين. هنالك سببان لذلك: الغابات ذات التغطية المستمرة عادة تكون معقدة وذات أعمار متعددة وتتركيبات شجرية متعددة، وكذلك فإن الحالة الأولية للغابة عادة يكون من الصعب وصفها رياضياً، أنواع الخيارات الممكنة عادة كثيرة وذلك نتيجة لتعدد الحالات الأولية للغابة. وكذلك هنالك عدم تيقن بدرجة كبيرة عن كيفية إمكانية تحور هذه التركيبة بواسطة عمليات حصاد وسطوية. لذلك، فإن سيناريو النموذج المقيد

لأي نوع من الإدارة الفنية للغابة هو ذلك الذي يكون قادراً على تمثيل تطور الغابة ذات نظام التغطية المستمرة. ومثال لذلك معطى بصيغة النموذج I.

#### عناصر النموذج

المتغيرات:

$$(j = 1 \dots i) \quad X_{ij} = \text{مساحة المشجر } (i) \text{ بالهكتار } (i=1 \dots i) \text{ والمدارة بالنظام } (j) \quad (j = 1 \dots ij)$$

الثوابت:

$$(t = 1 \dots t) \quad M_{pt} = \text{الناتج الكلي للمنتج } p, \text{ حيث } (P = 1 \dots p) \text{ في الفترة الزمنية } t$$

المعاملات:

$$J = \text{قيمة الاستغلال في الهكتار وذلك باختصار المشجر } i \text{ للنظام } J$$

$$V_{ijpt} = \text{الناتج من المنتج } p \text{ في الهكتار في الفترة الزمنية } t \text{ عندما يدار المشجر } i \text{ بالنظام } J$$

المعادلات:

$$\text{الدالة الهدفية} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} u_{ij} X_{ij} \rightarrow \max.$$

= العقبات

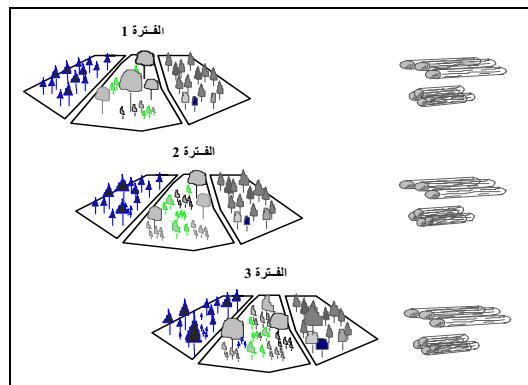
$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} v_{ijpt} X_{ij} = M_{pt} \quad \forall t, p$$

$$\sum_{j=1}^{J_i} X_{ij} = A_i \quad \forall i$$

$$\text{and} \quad X_{ij} \geq 0.$$

هذا النموذج يتميز بأنه يمكن تطبيقه في أي نوع من أنواع استراتيجيات إدارة الغابات وذلك بدمج مستويات المشجر ومستويات عقبات الغابة. باعتبار تطور الغابة لثلاثة مشاجر عبر الزمن. فإن مستويات من التخطيط يمكن أن تتضح. تخطيط مستويات المشجر تحدد وصف الإدارة المثلثي في كل مشجر. تخطيط مستويات الغابة أيضاً تعدد عقبات الغابة عبر فترات واسعة مثل عقبات الإنتاج.

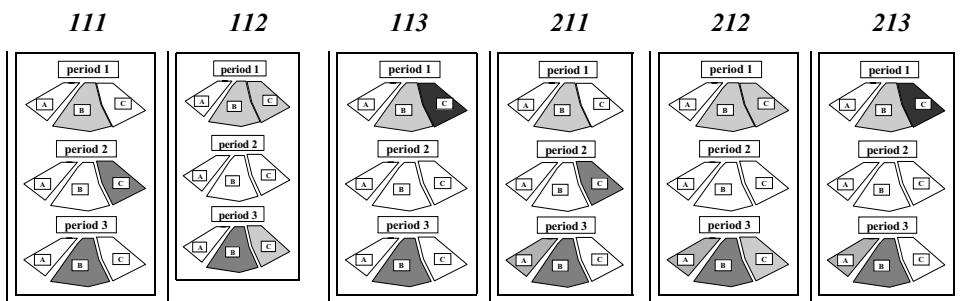
إن النطور الكلي في الغابة عبارة عن نتاج عمليات الإدارة في كل مشجر على حدة. وعليه فإن أي اتجاه لتطور معين في الغابة هو عبارة عن نتيجة إدارة معينة. التطور على أساس الزمان والمكان قد لا يكون مقيناً أحياناً، لأن توزيع الموارد والاستهلاك، أو الناتج خلال الزمن قد لا يعني بحاجات الإدارة.



الشكل (8.10): رسم تخطيطي يمثل تطور الغابة عبر الزمن، الكتل تشير لفترات الحصاد الكلي.

في المشاهير المفردة قد تكون الخطة مثلثاً، لكن هذا لا يعني أنها تكون مجده لغابة كل. من طرق التطور الزمانى والمكانى في الغابات يمكن تحديدها وما هو الأفضل أو الأمثل؟ بافتراض أننا حددنا نظام لكل مشجر A و B ونظمين للمشجر C. في تلك الحالة فإن هناك مساران على أساس الزمان والمكان لتطور الغابة. تحديداً 111، 112، 113. يزداد رقم مسار المكان والزمان في تطور الغابة بازدياد عدد المشاهير وزيادة عدد الأنظمة المجده في المشجر.

الشكل (8.11) يوضح 6 خرط غابية ناتجة عن نظام تحديدي: خريطتان لـ A ، وخريطة لـ B و ثلاثة خرط لـ C.



الشكل (8.11): 6 مسارات ممكنة للزمان والمكان لتطور الغابة ناتجة من بداخل الأنظمة المعينة؟ التظليل الداكن يشير للأحشاب التي تحصد خلال الفترة المعينة.

الخيارات 112، 113، 212، 213 تكون غير مجده وذلك لعدم توفر الأحشاب التي تحصد في الفترة 2. احدى هذه الخرط قد تكون مثلثاً وهي التي تعنى بأغراض تخطيط الغابة. ولتنفيذ هذه الطريقة يجب على الواحد أن يكون في الموقف الذي يمكنه من تقييم وتنظيم تطور فلاحي. تحقيق هذا الهدف يتطلب نماذج نمو فاعلة وعمليات شلخ حقيقي معينة وطرق تقييم مناسبة.

في تخطيط الحصاد على اساس بعض المخاطر التي تحدد من استعمالها: أولها: طرق الحياة الحقيقية كبيرة جداً ومن المستحبيل اخضاعها نظام حاسوبي صغير. بجانب هذه المحدودية التقنية هنالك أيضاً بعض المشاكل في التطبيق. الأنظمة الفلاحية المختلفة عادة إستثنائية وعليه فإنه من الممكن فقط تطبيق نظام فلاحي واحد للشجر. الطريق الوحيد لنفادي هذه المعضلة هو تجميع الشاجر في وحدات قطع كبيرة. وهذه طريقة سهلة جداً إذا كانت وحدات القطع تشمل شاجر تقع في موقع نمو مختلف في أجزاء مختلفة من الغابة. تفاصيل أكثر في مناقشة محدودية البرمجة الخطية في جدولة الحصاد أوردها فوربلان (1986).

القصور الثاني لنظام البرمجة الخطية هو أنه مكلف في التشغيل وإنشار وانقسام المربوع غير المرغوب فيه هو جانسون دوز (1984) اقتراحاً تكوين طرق لحل نموذج وير وكلتر (1971). هنالك عدد من الطرق لحل تطبيقات البرمجة الخطية في جدول حصاد الأخشاب (سيتون، 1983؛ قاديشيا، 1990؛ لابي، 1992؛ عيد، 1993؛ بيرون، 1993؛ بيسونن، 1995؛ روديريقيس، 1996؛ هوغانسون، 1996؛ هون، 1996).

#### سيناريوهات عن تركيبة انتاج الخشب:

هنالك عدد من المنتجات الخشبية التي تحتاج لجودة خاصة من المواد الخام. وذلك لكي تكون هذه المنتجات ذات قيمة عالية وذات مستوى عالٍ من الرقي. ليس الإنتاج الكلي والحجم فقط هما المهمان في سيناريو تخطيط الغابة، ولكن من المهم أيضاً توزيع الأنواع الشجرية، وأبعاد الشجرة وجودة الخشب وفضلاً عن ذلك اختيار نوع نظام الإدارة، أو أهداف الإدارة في الغابات ذات التغطية المستمرة أو في الغابات غير متساوية للأعمار (غير المستمرة). إن الشجرة، الخشب أو جودة الخشب كلها ذات علاقة وطيدة بحجم السوق.

في إدارة الغابات غير متساوية الأعمار فإن موضوع الجودة يؤخذ في الاعتبار وذلك باخذ الشجر بأكملة أو عن طريق الأشجار المفردة. في حالة الغابات المستمرة التغطية، فإن أبعاد الشجرة المفردة، وجودة الحالية و المستقبلية بمعيار لها أهمية خاصة تؤخذ في الاعتبار عن طريق تخطيط عمليات فلاحية بمستوى صغير. بجانب الحجم التقليدي في النمو على سبيل المثال من صف عمر لآخر، الطرق الجديدة لسيناريو تخطيط الغابة تأخذ في الاعتبار ما يعرف بالجودة أو القيمة في النمو. بينما النمو التقليدي يكون في علاقة خطية مع فترة زمنية محددة. من الواضح أن تكون الجودة أو القيمة في النمو غير مستمرة، والسبب يمكن في أنظمة تصنيف الجودة. عادة هنالك قيم حرجة معينة مثل الأبعاد الدنيا للكتل، والتي تصنف على سبيل المثال كأكساب منشورة. خاصة في الغابات غير متساوية الأعمار: هنالك عدد كبير من الأشجار ذات أعمار صغيرة وأحجام صغيرة. وهذه تصل القيمة الحرجة في نفس الزمن على سبيل المثال مرة أو مرتين خلال فترة خمسة سنوات. نظراً لأن أسعار أخشاب انتاج عجينة الورق (Pulp wood) والخشب المنثور تختلف في مكوناتها بصورة كبيرة، عليه فإن النمو لصف الجودة للأخشاب المنشورة تعني أيضاً زيادة القيمة في الشجر. على النقيض كما في الغابات المستمرة والتي تكون من أشجار في مراحل مختلفة من النطور والنمو، فإن الجودة وقيمة النمو موزعة بصورة متساوية عبر الزمن.

تختلف متطلبات الجودة وأبعاد الشجرة وتوزيع الأخشاب من دولة لأخرى، ومن أقليم إلى آخر، ومن شركة لأخرى. وعليه فإن حجم الأشجار في الغابة قد يكون ذو قيمة تختلف من منتج لآخر. وهذه مهمة خاصة في

سيناريو تخطيط الغابة على المدى المتوسط عند تقييم موقع وحدات الإدارات المختلفة على المناشير والمستخدمين.

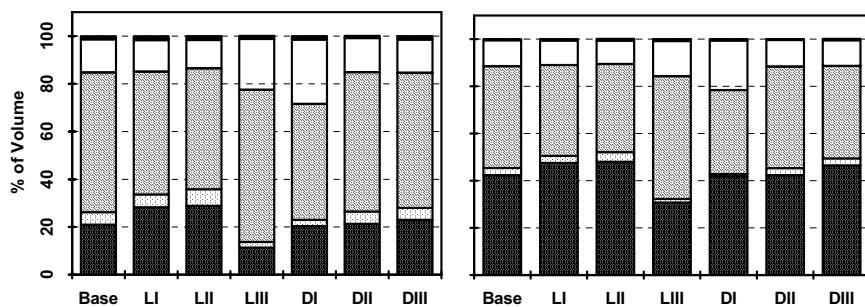
**مثال:**

توزيع تدريج الأخشاب باستخدام برمجة ديناميكية

البرمجة الديناميكية (Dynamic programming) هي طريقة قياسية للحد من مشاكل الغابات المختلفة. هذه التقنية قدمت لأول مرة بواسطة بلمان (1954)، وهي طريقة حسابية ذات مراحل دقة متعددة. مشكلتها أنها مقسمة لمراحل وكل مرحلة ذات حالات كثيرة مرتبطة بها، مما يتطلب معالجة هذه المراحل والحصول على سياسة مثلى لكل مرحلة، فإن المرحلة المتبقية (n-1).

استخدمت طرق البرمجة الديناميكية (DP) في كل سيناريوهات تخطيط الغابة مثل (برودي وأخرون، 1978؛ فالنسا، 1986). وفي مرحلة واحدة من مشاكل التخطيط. إذا تم اعتبار تسييم مثالي لساق واحد لدرجات مختلفة من الأخشاب، فإن مراحل المشكلة عادة تكون في أجزاء الساق التي قسمت على طول الساق (بننقمانيكوس ومن، 1972). الهدف الأساسي دائمًا هو زيادة الجزء التجاري من الساق. والمثال الحالي هو تطبيق للحصول على لوغریتم البرمجة الديناميكية التي استخدمت لتقييم نسب التدرج لأخشاب مختلفة (بوماليان، 1998). استخدام اللوغریتم في الحصول على معلومات عن خصائص الشجرة و معرفة تدريج الأخشاب و أسعار الخشب الحالية بعرض التقليل من طريقة القطع العرضي. اعتمدت النتائج على البيانات التي تحتوي على سيقان (*Scots pine*) (*Pinus sylvester*)، في فنلندا (كاركابين، 1980). الشكل (8.12) يوضح كيفية اختلاف حجم الدرجات المختلفة لأخشاب التي أخذت لنفس البيانات والتي تختلف عن تطبيق معايير مختلفة للأبعاد مع أن السعر لكل درجات الأخشاب كان ثابتاً وأن الكل يمثل سيناريوهات لأنواع مختلفة من القطع العرضي (cross-cutting) . معايير الأبعاد وجودة استخدمت كبدائل، تمثل أساس شركات الغابات الكبرى والتي تستخدم كميات منتجات مجانية في فنلندا.

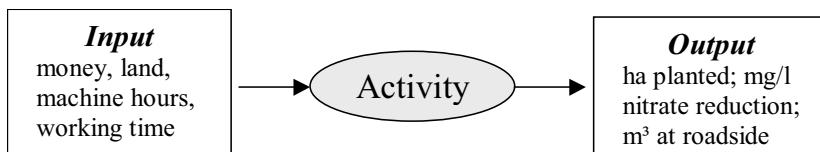
الأثر على اختلاف طول الكتل (LI-LIII) والقطر الأدنى (DI-DIII) تمثل عقبات للمختصين بالنشر والتي يمكن أن ملاحظتها في الشكل (8.12). وعلى سبيل المثال، بقليل الحد الأدنى لطول الكتلة من 37 دسم إلى 22 دسم، فإن تدرج حجم الفروع سيكون من أهم وأقيم الدرجات، والتي توجد في بعض المشاجر (LII vs LIII). يمكن الحصول على مكبب الحجم بتنليل عقبات الأبعاد والتي تكون كبيرة عادة في المشاجرة فقيرة الجودة. إذا كان هناك فقط نسبة من الأفرع القصيرة في الأشجار في الغابة، فإن الخشب المنتج يكون قيماً في نظر المنتجين الذين يستخدمون الكتل القصيرة بدلاً عن الكتل ذات الطول القياسي.



الشكل (8.12): مثال للتغير في توزيع درجات الأخشاب عند تطبيق شرط الجودة وأبعاد الكتل. هذا المثال لم يوضح مختلفين لمشاغر صنوبر نقبة، الجزء الأيسر يوضح مجموعة تشمل 501 كتلة، الجزء الأيمن يوضح مجموعة تشمل 222 كتلة من الصنوبر. العقبة الوحيدة التي تمثل اختلاف بين المجموعات هي الأبعاد. الأجزاء المظللة في كل مجموعة تمثل نسب الحجم في الدرجات. درجات الأخشاب مظللة من اسفل: الدرجة I (كتل ذات أفرع حية)، الدرجة II (كتل ذات أفرع حية)، الدرجة III (كتل بها أفرع جافة)، بالإضافة إلى خشب الورق وفضلات الخشب (بوماليان، 1998).

#### سيناريو أنشطة الغابات

عندما تكون انشطة الغابة محدودة لإنتاج منتج كبير من الأخشاب فإن السيناريوهات التي تنتج من نماذج جدولية الحصاد تكون ذات فائدة عظيمة. مثل عمليات الشلح والقطع الكلي. هذه السيناريوهات لمجموعة من الأنشطة الأخرى، والتي تشمل العمليات التي تترجم عنها آثار بيئية، مثل بعض العمليات الفلاحية التي تعمل على خفض مستوى النترات في المياه الجوفية (روثا وأخرون، 1999، الشكل 13). وجدولة الحصاد ليست من الضروري أن تنتج خطة مجدهية. فحجم القطع عادة محدد ومفترض أن يكون متاح في الزمن المعني، لكن الأرض ليست هي المصدر الوحيد المطلوب لإنتاج الأخشاب، وإنما هنالك بعض العمليات الإضافية الأخرى مثل تجهيز الموقع، التشذيب وإزالة الحشائش التي يجب أن تعمل بجانب الحصاد وذلك لضمان إدارة غابية ناجحة.



الشكل (8.13): أنشطة الغابة تستهلك العديد من المدخلات للحصول على نواتج مرغوبة.

في سيناريو التخطيط المتوسط فإن الغرض الأساسي هو أعباء العمل لطرق ذات موارد متاحة وحجم اتزان عملي. بحيث أن مستويات المدخلات والتواتج لا تتراوح بصورة سريعة والعمليات الفلاحية تطبق في الزمن تبعاً للأهداف. عملياً، فإن عمليات الغابة تحتاج لخطط مجدولة بنصيbil. هذا الغرض معروف بعمليات تخطيط

الغاية. سيناريو نموذج الغابة واستراتيجية التخطيط بتيحان إطاراً للعمل وأهدافاً لعمليات التخطيط في المدى المتوسط.

السيناريوهات المجدية في تطور الغابة تشمل اختيار أفضل الطرق الممكنة للتتطور لكل شجر، موضوعاً لكل العقبات ذات الصلة بوحدة الإدارة ككل.

هناك عقبات مماثلة على سبيل المثال متاحة لسعة العمل في فترة محددة من الزمن أو خليط منتج مقدم للزبائن. تشمل جدولة الأنشطة تسوية التأرجحات في المدخلات والمنتجات ومتبقى العمال وبعض المواد التي تصنف عمليات الحجم.

مثال: غابات البيتش في أوروبا:

إن التطور في الغابة داخل الربع يكون نتيجة للاستجابة لعمليات غابية مثل الزراعة، التشذيب أو شلخ لمختلف أنواع الكثافات. إذا كانت كل الأدوات المناسبة متاحة، فإن خصائص مؤشر النمو المعنى (مثل، المخزون الخشبي، وتكلفة العمليات الفلاحية، المخاطر ... الخ) كلها يمكن حسابها. كل مربوع يمكن أن يتطور بطرق مختلفة والتي تتميز بمتغيرات مشجر مختلفة مثل المخاطر وسيولة الأموال.

سيناريو تطور الغابة يمثل خليط معين لطريقة مجدولة للمراتب المختلفة في مساحة الغابة المعينة. ونموذج السيناريو يضم كل طرق التطور الممكنة لكل المراتب في الغابة. والغرض من نماذج سيناريو الغابة هو الحصول على خليط مثالي من عمليات الجدولة لكل المراتب.

بوكالا و كانفاس، (1993) عرضاً طريقة مثلى تفترض دالة منفعة إضافية في المعادلة التالية:

$$U = \sum_{i=1}^n a_i u_i(q_i)$$

حيث:

$U$  = المنفعة الكلية للخليل الحالي من طرق الجدولة.

$n$  = عدد الأهداف.

$a_i$  = الوزن النسبي للهدف ( $a_i = 1; ///////////////$ ).

$q_i$  = كمية متغيرات الهدف الممثل في الخليط الحالي من طرق الجدولة ( $m^3, Dm$ ).

$U_i (q_i)$  = دالة المنفعة الجزئية للهدف ( $U_i (q_i) = 1$ ).

تم الحصول على الوزن النسبي للأهداف المختلفة باستخدام  $n/(n-1)/2$  كأزواج مقارنة (ساتي، 1980). هذه الأزواج من المحتمل أنها وضعت بطريقة معينة لتقادي الحياد (اشتاينير وقادو، 1994)، الرسومات البيانية مفيدة للإشارة لأداء القوة للأزواج على شاشة الحاسوب. طورا بوكالا و كانفاس، 1993، تقنية عملية لتقدير دالة المنفعة الجزئية ( $u_i$ ) لأهداف مختلفة. بالبحث عن كل طرق الجدولة في كل المراتب، والقيم الدنيا والعلياً لكل متغيرات الهدف وجد أن المدى قد قسم إلى  $k$  متساوية العرض، ونتج عن ذلك في حدود الصف (+1) والتي تم تقديرها. مرة أخرى باستخدام طريقة مقارنة الأزواج. درجة المنفعة الجزئية

إلى أجزاء مجموعها يساوي 1. تم الحصول على المنافع لقيم  $q_i$  بين جدول الصف عن طريق تقاسير خطية. يمكن أن يوجد الخليط الأمثل لطرق الجدولة باستخدام طريقة مثلى مناسبة. أو بطريقة سهلة الفرز.

اعتبر أن الغابة قسمت لثلاثة مرابيع A, B, C ، المشجر A 140 سنة وهو عبارة عن مشجر يعيش يقارب مرحلة النضج، المربع B 60 سنة وهو مشجر صنوبر ويحتاج لعمليات شلخ منتظمة بينما المربع C يقارب 130 سنة أيضاً صنوبر وهو في مرحلة بعد الدورة 120 سنة. تفاصيل المربع موضحة في الجدول .(9)

المربع	المساحة (ha)	النوع	العمر	الارتفاع (m)	عدد السيقان /ha	المساحة القاعدية (m <sup>2</sup> /ha)
A	5.0	beech	140	32.0	120	36.0
B	4.0	spruce	60	27.0	650	28.5
C	5.5	spruce	130	36.0	250	43.0

الجدول (8.9): التفاصيل الحالية للمربع ( $H_0$ =الارتفاع الكلى للمشجر،  $G$ =المساحة القاعدية للمشجر). فترة التخطيط عبارة عن 30 سنة، في هذه الفترة، عمليات الجدولة المختلفة تمت لكل من المرابيع الثلاثة.

عمليات الجدولة المختلفة موضحة في الجدول (8.10).

المعاملة	الوصف	t	p
A1	اختيار الاشجار الممتازة وازالة الاشجار المنافسة	150	100
A2	ثلاثة دورات قطع للتجديد	80	120
A3	لتوجد عمليات حصاد وسطية	260	-10
B1	اختيار الاشجار الممتازة وازالة الاشجار المنافسة	260	100
B2	عمليات متتالية من الشلخ الخفيف	300	90
C1	اختيار الاشجار الممتازة وازالة الاشجار المنافسة	280	150
C2	قطع متعاقب لـ 95% من المخزون النامي الحالي	20	230

الجدول (8.10): جدول المعالجة لثلاثة مرابيع،  $t$  = معدل نمو قمي في نهاية فترة التخطيط بالمتر/هكتار،  $p$  = القيمة الحالية لسريران الأموال الناتجة عن عملية الجدولة ( $DM/ha$ ) .

المسارات الزمنية والمكانية المختلفة لنطمور الغابة، المخزون القمي والمساحة والوزن المتوسط يمثل القيم لانسياب الأموال في نهاية الـ 30 سنة (فترة التخطيط) موضحة في الجدول (8.11).

النط	T (m³)	P (DM/ha)
A1B1C1	3330.0	119.0
A1B1C2	1900.0	149.3
A1B2C1	3490.0	116.2
A1B2C2	2060.0	146.6
A2B1C1	2980.0	125.9
A2B1C2	1550.0	156.2
A2B2C1	3140.0	123.1
A2B2C2	1710.0	153.4
A3B1C1	3880.0	81.0
A3B1C2	2450.0	111.4
A3B2C1	4040.0	78.3
A3B2C2	2610.0	108.6

الجدول (8.11): لكل المسارات الزمانية والمكانية لنطورة الغابة، معدل نمو قمي ( $T$ ) وزن متوسط المساحة تمثل القيمة الحالية ( $p$ ) لسريان الأموال في نهاية فترة التخطيط 30 سنة.

الهدف هو الحصول على معدل نمو قمي عالي في نهاية فترة التخطيط وكذلك زيادة متوسط القيمة الحالية لأنسياب الأموال الناتجة عن عملية الجدولة في المربع. أهداف معدل النمو والقيمة الحالية ممثلة بـ 0.4 ، 0.6 على التوالي. عليه فإنه يمكن تطبيق دالة المنفعة التالية:

$$U = 0.4 \cdot u_1(T) + 0.6 \cdot u_2(P)$$

حيث:

$T$  = معدل النمو القمي في نهاية فترة التخطيط بالمتر المكعب.

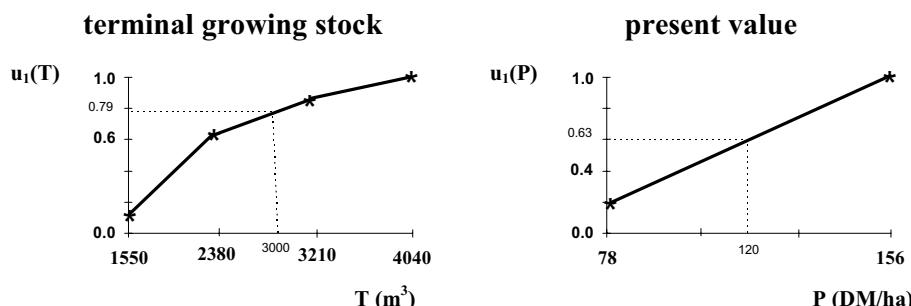
$P$  = وزن المساحة بمتوسط القيمة الحالية لأنسياب الأموال الناتجة من عملية الجدولة في المربع ( DM / ha ).

$u_i$ ,  $u_1$  = دالة المنفعة الجزئية لمتغيري الهدف.

دالة المنفعة الجزئية لمتغيري الهدف تم تحديدهما بالقيم التالية عن طريق مقارنة الأزواج.

<b>T</b>	1550	2380	3210	4040
<b>u (T)</b>	0.10	0.64	0.85	1.00
<b>P</b>	78	156		
<b>u (P)</b>	0.20	1.00		

هذه الأشكال البيانية موضحة في الشكل (8.14).



الشكل (8.14): مدى من ( $T$ ) وقيمة ( $p$ ) والتي قسمت إلى 4 فترات عرض متساوية. نتجت عنها 5 صور حدوية والتي استخدمت كأزواج في طريقة مقارنة الأزواج، المنفعة الجزئية للقيم بين حدود الصاف تم الحصول عليها بتقدير خطية.

المنفعة الجزئية الناتجة ل ( $T$ ) و ( $p$ ) والمنفعة الكلية للخلطات المختلفة لداول المعالجة موضحة في الجدول .(8.12)

النط	$u(T)$	$u(P)$	$U$
A1B1C1	0.872	0.620	0.721
A1B1C2	0.328	0.928	0.688
A1B2C1	0.901	0.590	0.714
A1B2C2	0.432	0.897	0.711
A2B1C1	0.792	0.691	0.731
A2B1C2	0.100	1.000	0.640
A2B2C1	0.832	0.662	0.730
A2B2C2	0.204	0.973	0.665
A3B1C1	0.971	0.231	0.527
A3B1C2	0.658	0.542	0.588
A3B2C1	1.000	0.200	0.520
A3B2C2	0.698	0.514	0.588

الجدول (8.12): المنفعة الجزئية والكلية لمسارات زمنية ومكانية مختلفة لتطور الغابة.

الخلط الأمثل لأصغر حافة هو! A2 B1 C!، يجب إدارة المربع A لثلاثة قطع تجديد مكثفة بينما المربع B و C باستخدام اختيار الأشجار الوعادة وإزالة الأشجار ذات المنافسة الوسطية.

مثال لمزارع أخشاب في جنوب إفريقيا:

هناك إدارة مكثفة في مزارع الأخشاب في ناتال مدلاند في جنوب إفريقيا والتي تغطي مساحة (127.1 هكتار). قسمت المساحة الكلية إلى 12 مربع. حيث أن هناك عدد 2 دائرة عمل. دائرة العمل في (pine)

تشمل مشاجر زرعت بالنوع لوبى بابن (*Pinus taeda*) ودائرة العمل وائل كل المشاجر بها زرعت بالوائل الأسود (*Acaia mearnsii*). التفاصيل بهذه المزروعات موضحة في الجدول (8.13).

المربيع	المساحة هكتار	دائرة العمل	عدد السيقان/ هكتار	العمر	ملاحظات
A	10.8	Pine	400	25	
B	25.3	Pine	400	22	
C	5.4	Pine	1 100	3	
D	13.2	Wattle	1 500	3	
E	12.7	Wattle	1 461	5	
F	8.5	Pine	1 050	15	لم تسلخ
G	3.9	Wattle	1 356	9	
H	7.6	Wattle	2 000	3	
I	4.2	Pine	400	15	
J	18.3	Pine	400	15	
K	5.0	Wattle	1 380	8	
L	12.2	Pine	650	5	شدت إلى 3 امتار

الجدول (8.13): تفاصيل عن مزرعة الأحشاب.

يمكن تعريف نموذج سيناريو التخطيط على المدى المتوسط عن طريق مايلي:

مكونات النموذج:

المتغيرات:  $X_{ij}$  = المساحة بالهكتار للمشجر (i=1...J) المدار بالطريقة (J=1...Ji)

الثوابت:  $M_{pt}$  = الناتج الكلي من المنتج (p=1...P) في الفترة (t=t=1..T)

= كمية المتغير في المورد (r=r=1...R) في الفترة .t

= المساحة الكلية للمشجر (i) بالهكتار.

العوامل:  $u_{ij}$  = قيمة المنفعة في الهكتار للمنتج (p) في الفترة (J)، إذا كان المشجر i مدار بالطريقة J.

$W_{ijrt}$  = المنتج output بالهكتار للمورد (r) في الفترة (t)، إذا كان المشجر (i) مدار بالطريقة J.

تكوين المعادلة:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} u_{ij} X_{ij} \rightarrow \max. \\
 & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} v_{ijpt} X_{ij} = M_{pt} \quad \forall t, p \\
 & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} w_{ijrt} X_{ij} = Q_{rt} \quad \forall t, r \\
 & \sum_{j=1}^{J_i} X_{ij} = A_i \quad \forall i
 \end{aligned}$$

and  $X_{ij} \geq 0$ .

تم وصف الطرق الفلاحية القياسية لكل دائرۃ عمل. كل العمليات في الدائرتين تم عرضها في الجدول .(8.14)

### Working circle A pine

age	activity	symbol	timber yield m³/ha	labour required (mandays)
1	Regeneration: plant 3x3 m	PP		14/ha
4	1. Prune to 1.5 m	P1		2/ha
4	1.respace 1100 → 650 trees/ha	T1		1/ha
5	2. Prune to 3 m	P2		3/ha
8	3. Prune to 5 m	P3		3.3/ha
12	2. Thin 650 → 400 trees/ha	T2	68.0	0.25/m
13*	2. Thin 650 → 400 trees/ha	T2	77.5	0.25/m
14	2. Thin 650 → 400 trees/ha	T2	86.9	0.25/m
25*	Clearfell	CP	425.9	0.20/m
26	Clearfell	CP	432.6	0.20/m
27	Clearfell	CP	438.8	0.20/m

### Working circle B wattle

1	Regenerate by line sowing, tending, fertilizer & spacing to 6 000 stems/ha	W1		58.5
2	Slash, thin to 3 000 stems/ha, then to 2 000 stems/ha	W2		44.0
4	Thin to 1 500 stems/ha, prune	W3		4.5
8	Clearfelling & bark stripping	CW	20.9	200
9	Clearfelling & bark stripping	CW	22.7	200
10	Clearfelling & bark stripping	CW	24.2	200
11	Clearfelling & bark stripping	CW	25.3	200

جدول (8.14): العمليات الفلاحية القياسية لدائرتي العمل (\* يدل على العمل المثالی لتنفيذ العملية).

الهدف هو التأكيد من أن تأرجح المدخلات والنواتج تكون بطريقة سهلة، وأن شروط زمن العمليات الفلاحية تمت ملاحظتها وأن الخطة تعتبر مجده لأنها تتيح أيام عمل. إذا كان من الضروري تقليل حجم العمليات، عليه فإن التعليل يجب أن يؤثر على العمليات المهمة. البرمجة الرياضية هي الإدارة المناسبة لحل تركيبة الزمان والمكان وتنظيم النشاطات المختلفة. ولكن يتم إدراج العمليات الغابية بصورة مباشرة في عملية التخطيط، فإن معامل الدالة الهدفية لابد أن يعتمد على العمليات الفلاحية الحقيقة المفضلة والتي من الممكن للقائمين بالعمل الحقيقي القيام بها.

النماذج التالية تمثل خطط عمل مناسبة.

Maximize  $U = 9A CP1 + 9ACP2 + \dots + BLP33$ , subject to

(a) compartment areas

$$CP11 = 5.4; CT11 = 5.4; CP22 = 5.4; CP35 = 5.4; ACP1 + ACP2 = 10.8; BCP3 + BCP4 + BCP5 = 25.3;$$

$$DCW5 \leq 13.2; ECW3 + ECW4 = 12.7; HW31 = 7.6; FCP3 + FCP4 = 8.5; GCW1 = 3.9; LP33 = 12.2; HCW5 \leq 7.6; KCW1 + KCW2 = 5.$$

(b) pine timber

$$\text{year1: } 432.6ACP1 \leq 2000; \text{year2: } 438.8ACP2 \geq 2000; \text{year3: } 425.9BCP3 + 220.5FCP3 \geq 2000;$$

$$\text{year4: } 432.6BCP4 + 221FCP4 \geq 2000; \text{year5: } 438.8BCP5 \geq 2000.$$

(c) wattle bark

$$\text{year1: } 24.2GCW1 + 20.9KCW1 \geq 100; \text{year2: } 22.7KCW2 \geq 100; \text{year3: } 20.9ECW3 \geq 100;$$

$$\text{year4: } 22.7ECW4 \geq 100; \text{year5: } 20.9DCW5 + 20.9HCW5 \geq 100;$$

(d) mandays

$$\text{year1: } 86.5ACP1 + 2CP11 + CT11 + 200GCW1 + 4.5HW31 + 200KCW1 \leq 2200;$$

$$\text{year2: } 87.8ACP2 + 3CP22 + 200KCW2 \leq 2200;$$

$$\text{year3: } 85.2BCP3 + 200ECW3 + 44.1FCP3 + 3.3LP33 \leq 2200;$$

$$\text{year4: } 86.5BCP4 + 200ECW4 + 44.2FCP4 \leq 2200;$$

$$\text{year5: } 87.8BCP5 + 3.3CP35 + 200DCW5 + 200HCW5 \leq 2200.$$

تمثل المتغيرات مساحة غير محددة في المربوع  $A$  وحتى  $L$  والتي تشمل شتى الأنشطة ( العمود الثالث في الجدول 8.14 ) والتي طبقت في السنة الأولى وحتى السنة الخامسة. عليه فإن ABC1 ترجع للهكتارات في المربوع  $A$  والتي قطعت كلها خلال السنة الأولى وكذلك LP33 ترجع لمساحة المربوع  $L$  والتي شذبت لخمسة أمتار خلال السنة الثالثة. الحل لهذه المشكلة تم الحصول عليه بعد 17 محاولة باستخدام اللوغريثم المقترن بواسطة ( هوغانسون وروز ، 1984). قيم المتغيرات في الدوال والمتعلقة بعقبات مستوى الحصاد في البداية عبارة عن مجموعة عددية متساوية لعقبات ثابتة. تمت إعادة تقديرها بعد كل محاولة باستخدام معادلة

سهلة افترضت بواسطة (هوفانسون وروز، 1984) وبمعامل سهل 0.015 بغرض الحصول على وصفة سهولة بين الخطة والمدخل الحقيقي ومستوى النواتج، ليس هناك فواصل بين ثوابت المدخلات وثوابت المخرجات. عقبات مجموعة من العمال، على سبيل المثال، ثم معاملتهم لمجموعة بعض عقبات المخرجات الأخرى. الحل موضح بتفاصيل في الجدول (8.15).

compt	year				working circle
	1	2	3	4	
A		fell & plant			Pine
B			fell & plant		Pine
C	thin & prune	prune 3 m			Pine
E			fell & plant		Wattle
F	fell & plant				Pine
G	fell & plant		slash & thin	thin & prune	Wattle
H				fell & plant	Wattle
K		fell & plant		slash & thin	Wattle
L	prune 5 m			thin to 400/ha	Pine
pine timber	1 785.0 m <sup>3</sup>	1 667.4 m <sup>3</sup>	1 831.4 m <sup>3</sup>	829.6 m <sup>3</sup>	
wattle bark	94.4 t	121.0 t	265.4 t	158.0 t	
mandays	1 328.6	1 403.0	3 138.2	1 757.5	

الجدول (8.15): المسار الزمني والمكاني للأمثل والذي تم الحصول عليه بعد 17 محاولة باستخدام طريقة هوفانسون وروز.

الخطة الموضحة في الجدول (8.15) هي خطة عملية، لأن الشروط المؤثرة على كل الوحدات العملية وضعت في الاعتبار. التأرجح السنوي لطلبات العمالة وكذلك الإمداد في خشب pine والوايل الأسود لا يمكن تقليلها.

بزيادة عدد المرابع وبدائل العمليات الفلاحية فإن المدخلات تتغير من فترة لأخرى وكذلك تتأرجح المخرجات أو النواتج التي يمكن أن تخضع لأصغر أو أقل مستوى.

#### المناقشة

من الواضح أن نماذج سيناريو الغابة تسير في اتجاه أكثر تفصيلاً وتعقيداً، وذلك نتيجة للزيادة الشائعة في الغابات المختلطة غير متساوية الأعمار. ومن جهة أخرى نتيجة لإدخال قيم المنتجات غير الخشبية في التخطيط لإدارة الغابات. ففي حالة الغابة المختلطة غير متساوية الأعمار فإن الوصف الرياضي المناسب لغابة ذات تركيبة خاصة ومتباينة تمثل نافذة مهمة، تليها تقديرات النمو لمكونات الغابة المختلفة كما يمكن أيضاً تقدير آثار العمليات الفلاحية المختلفة على كثافة الغابة. إن التركيبة الخاصة وقيمة متبقى الأخشاب يجب تقديرها على مستوى المشجر وهو التمثيل الأساسي لسيناريو التخطيط على مستوى وحدة الإدارة.

أصبح الجبل الأول لعمليات النموذج متاحاً في أواسط أوروبا (إس壯با، 1990؛ هاسنابور وآخرون، 1994؛ كان، 1995؛ برتش، 1995؛ ناجل، 1996؛ قادر و هوين 1999).

يتطلب دراج قيم المنتجات غير الخشبية في سيناريو التخطيط تحويلات في الدوال الهدافية التقليدية والتي استخدمت كثيراً مرتبطة بالاقتصاد وأهداف الانتاجية، عموماً فإن أنواع أهداف إدارة الغابات متزايدة، فكل مشكلة يراد بها الوصول للوضع الأمثل والطرق البديلة هي ادخال قيم المنتجات غير الخشبية في التخطيط كمجموعة شروط مثل شروط المساحة في القطع.

عند تحليل سيناريو التطور الممكن في غابة منتجة فإن زيادة التفاصيل ودرجة التعقيد يجب وضعهما في الحسبان، ففي الشركات الكبيرة والتي تعمل على مستوى عالمي، فإن إمداد الخشب عبارة عن خيارات متعلقة بالأهداف والتي تصبح فيما بعد متغيرات. تطبق أهمية المنتجات غير الخشبية على الشركات العالمية أيضاً، والتي أصبحت متزايدة في سيناريو التخطيط. وكناجن نهائي ذو درجة من الرقي أيضاً تتطلب نوع من الجودة من المادة الخام. الحجم الكلي والناتج الكلي ليسا فقط مهمان، وإنما أيضاً توزيع النوع الشجري، وأبعاد الكتل وجودتها، وعليه فإن الجودة مهمة في منشآر أخشاب الورق الميكانيكية وصناعة نشر الأخشاب.

عموماً، كلما زادت خيارات (الزمان، المكان) الممكنة، كانت الشركات أكثر عالمية. فإنها قد تخطط سيناريوهات غابية تقليدية للشركات التي تمتلك غابات بغض إمداد مختلف أنواع المنشآر بالماء الخام في موقع مختلفة. الغابات التابعة للشركات قد تعمل على ضخ الأخشاب في حالات صعبة، وعليه يجب الاحتفاظ بجزء من الغابة بغض المحافظة. إمكانية توفير الشركات المالكة للغابات مرتبطة بمتضررين وموردين محظيين للأخشاب. والخشب ذو الجودة العالية المرغوبة يمكن أن يرحل خارج الحدود القومية لمواقع تعتبر مثلى للشركة، وهذه مجده في حالة الأخشاب القيمة لأن تكلفة الترحيل تكون داخلة في ذلك. ولأن الخيارات المنطقية والانحرافات الجغرافية أصبحت كبيرة، فقد أعطت نظم المعلومات الجغرافية وأدوات التخطيط الخاصة اهتماماً كبيراً لسيناريوهات التخطيط.

## 9. تقييم النموذج

تستخدم نماذج النمو في أغراض عديدة، فهي مطلوبة للتتبُّؤ بالتطور في الغابة خاصة التي تتَّلَّفُ من مشاجر متباينة وبأنواع شجرية مختلفة، أنظمة فلاحية مختلفة ومتغيرات وموقع مختلف. فهي تستخدم لتحديث المعلومات المخزنة في قاعدة البيانات وكذلك للحصول على بيانات تمكن القائمين بأمر الغابة من تقييم الأنظمة الفلاحية البديلة. فالتوقعات التي لا يمكن الاعتماد عليها تعتبر الأدنى على الإطلاق ضمن الأسباب التي يجب الاهتمام بها. وهي التي تؤثِّر على تنبؤات الإمداد وحسابات الربحية. لذلك فإن التقييم يعتبر أهم جزء في تصميم نماذج النمو. إن مختلف الطرق لتقييم تنبؤات النموذج تشمل الاختبارات النوعية والكمية Quantitative and Qualitative methods (سوارس وأخرون، 1995).

### التقييمات النوعية Quantitative methods

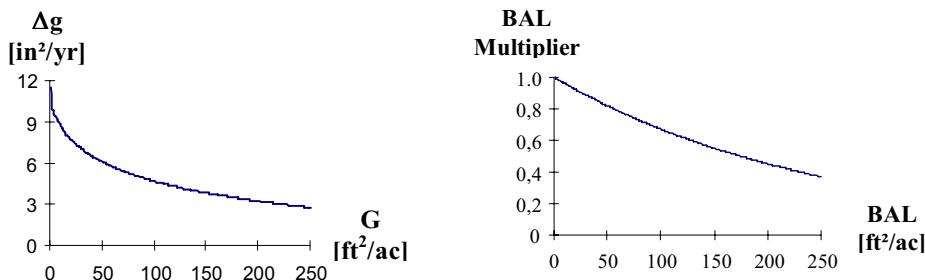
إن الهدف الأساسي من التقييم النوعي لنموذج النمو هو اختبار ما إذا كان أداء المكونات المفردة وكذلك النموذج كل بدرجة منطقية ثابتة تتفق مع الفهم الحالي للعمليات البيولوجية الأولية والاستجابات المتوقعة للغابة لشتي العمليات الفلاحية.

كمثال توضيحي للتقييم النوعي لنموذج المساحة القاعدية لشجرة مفردة (شجرة الصنوبر ذات الأوراق الطويلة) قدمه كويكا و آخرون، (Pinus palustris) (1994) : نمو المساحة القاعدية للشجرة ( $\Delta g$ ) يمكن التنبؤ به باستخدام المعادلة العامة التالية:

$$\Delta g = (\text{BA submodel}) \cdot (\text{BAL multiplier}) \cdot (d - \text{Age multiplier})$$

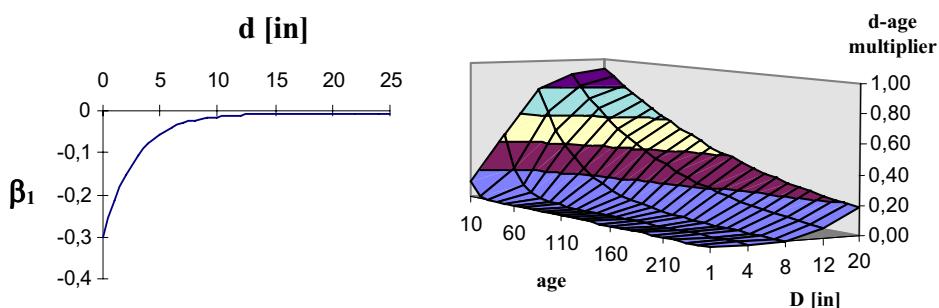
حيث أن المكونات المفردة الفرعية أدخلت أخيراً ضمن البيانات وبذلك تم تقليص خطاء النموذج الكلية للحد الأدنى. إن تحت النموذج ( $G$  submodel) يصف الزيادة في المساحة القاعدية للشجرة دالة في المساحة القاعدية للمشجر. ( $\Delta g = 11.52 \cdot e^{-0.0897 \cdot G^{0.5}}$ ). بافتراض ثبات كل من العمر، والقطر، والوضع التنافسي للشجرة فإن الزيادة في نمو المساحة القاعدية للشجرة المفردة يمكن التنبؤ بها بنقصان المساحة القاعدية للمشجر. كما هو موضح في الجزء الأيسر من الشكل (9.1). بينما مكون النموذج الأول يصف الأثر التنافسي للشجرة في المجتمع. هذا يمكن التعبير عنه كمجموع للمساحات القاعدية لكل الأشجار الأكبر من المساحة القاعدية لأكبر شجرة .Basal Area for large tree (BAL)

إن مضروب (BAL) يعتبر دالة في BAL، من ناحية نظرية فإن الدالة ( $\text{BAL multiplier} = e^{-0.003974 \cdot \text{BAL}}$ ) يحتمل أن نفترض قيم تتراوح من صفر إلى 1 كما هو موضح في الجزء اليمين من الشكل (9.1).



شكل (9.1) : مكونين لنموذج، على اليسار: أثر الزيادة في المساحة الفاعدية للمشجر على المساحة الفاعدية للشجرة، على اليمين: أثر الوضع التنافسي على قيمة مضروب  $BAL$ .

إن النمو في المساحة الفاعدية للشجرة يتناقص بزيادة كثافة المشجر وكذلك بزيادة مجموع المساحة الفاعدية لكل الأشجار التي هي أكبر منها، وذلك بافتراض ثبات كل من عمر وقطر الشجرة. هذا السلوك يتفق مع الأدلة الرقمية الموجودة. إن آثار قطر وعمر الشجرة تم وصفها بواسطة المكون الثالث للنموذج، أيضاً فإن مصطلح القوى (الأس) الذي يمكن تحليله إلى عنصرين: مضروب العمر ( $(Age\ multiplier = e^{\beta_1 \cdot age})$ ) ومصطلح القطر ( $(\text{d-age multiplier} = e^{-0.3577 \cdot D})$ ). العامل ( $\beta_1$ ) يحدد المعدل الذي يصل فيه مضروب العمر إلى الصفر، الجزء الأيسر من الشكل (9.2). المعامل الثالث ( $(0.303 - 0.2965)$ ) يعرف الجزء المقطوع من المحور الصادي ( $(Y)$ ، الجزء العلوي يتعدد بالفرق بين المعاملين الأول والثالث ( $(0.303 - 0.2965)$ )، بينما المعامل الثاني يصف المعدل الذي يتم فيه الوصول للجزء العلوي الشكل (9.2).



شكل (9.2) : آثار قطر الشجرة (بوصة) والعمر على مضروب العمر

كما يمكن التنبؤ به فإن مضروب العمر ( $d$ ) يتناقص بزيادة عمر المشجر ونقصان قطر الشجرة، على أن يظل كل من ( $G$ ,  $BAL$ ) في مستوى ثابت (الجزء الأيمن من الشكل (9.2)).

لا توجد دالة فعلية معرفة مسبقاً للنمو بداخل النموذج وهذا غير شائع. إن الحاجة لتعريف مجتمع منفصل لعمل نموذج للنمو الفاعل يمكن تفاديها بإيجاد معادلة مفردة تضم كل العوامل التي يتم تقديرها آتياً. هذا ملحوظ خاص يضيف مزيداً من الثبات وكذلك يقلل من الخطأ الكلي، لكنه يتطلب تقييم خاص يشمل مقارنة أداء النموذج مع أشجار حرة النمو. إن مقدرة النموذج لإعطاء صورة مماثلة لنمو معقول لأنشجار مفتوحة النمو تم اختبارها بواسطة إدخال ظروف نمو مفتوحة لمساحة قاعدية للمشجر تساوي أو تعادل المساحة القاعدية للشجرة وكذلك  $\text{BAL}$  متساوية للصغر. الاختبار الذي يشمل مقارنة تطور قطر الذي تم تقديره مع ملاحظة الأقطار لـ 81 شجرة مفتوحة النمو أوضح ذلك أن النموذج كان قادراً على إيجاد أو توفير تقدير جيد للنمو الفاعل. منطق النموذج يحدد أن معدلات النمو العظمى تنتج من التفاعل بين المساحة القاعدية للمشجر، وعمر المشجر ، وقطر الشجرة عندما يكون مضروب  $\text{BAL}$  يساوى واحد لأكبر شجرة في المشجر.

إن التقييم النوعي يختبر ما إذا كان سلوك النموذج خارج المدى للمعلومات المتوفرة معمولاً، سواءً كانت الإشارات والقيم للمعاملات حقيقة، وفي حالة نماذج العملية البيولوجية سواءً كان التمثيل للطاقة وبيان المواد الغذائية ينطوي على المبادئ الفيزيائية الأساسية، وبذلك يمكن ضمان إحصائية بدرجة موثوقة لكل من الطاقة وإنسياب الكلمة. إن النمو لا يمكن أن يكون أكبر من التمثيل الضوئي للشجرة Photoproduction، وكفاءة التحويل، وتوفير المواد الغذائية. بالإضافة لتقييم نموذج TREEDYN، (بوسلس، 1994 ص 112): أوضح أن اعتماد شتى العمليات على المتغيرات البيئية مثل (درجة الحرارة، الإشعاع، والوضع الغذائي) يمكن التعبير عنها أحذين في الاعتبار أن الصالحة هي أهم نقطة على الإطلاق في النموذج.

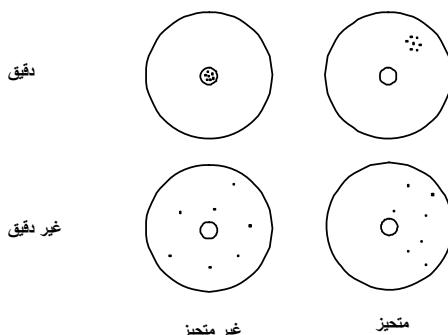
إن التقييم النوعي الشامل للنموذج يعتبر من أنساب المقاييس التي تستخدم للتأكد من أن شتى الصيغ للعملية ليست بسيطة وغير دقيقة. يجعل النموذج أكثر تعقيداً فإن ذلك يتطلب مزيداً من المتغيرات مما يسبب مزيداً من التفاعلات بين العمليات المفردة. هذا هو عين التناقض عند عمل النماذج، إلا أنه بزيادة التفاصيل يمكن تحسين الفهم والوصف الواقعي للعمليات الحقيقة، وتترتب على ذلك تعقيدات إضافية في النموذج. حيث من الصعب جداً قبول نموذج لا يمكن تقييمه، لذلك فإن المستوى المعقول للتعقيد يتم تعريفه بالقدرة على عرض تقييم مفهوم للنموذج.

### التقييمات الكمية Quantitative evaluations

من المحتمل أن يضم التقييم الكمي لنماذج النمو صوراً تعبّر عن حجم وعظم وكذلك توزيع الأخطاء، حيث أن اختبارات الحباد والدقة وحساسية التحليل لمعرفة تلك المكونات لها الأثر الكبير على التوقعات (سوارس وأخرون، 1995، فانكلي، 1994 ص 206) . حيث إن افتراضات الانحدار الخطى هي الأخطاء العشوائية الإضافية ( $\epsilon$ ) للنموذج  $Y = \alpha + \beta X + \epsilon$  وهي غير مستقلة وعادة موزعة على متوسط الصفر with zero mean وغير معلومة لكن التباين ثابت. هذه الافتراضات تمثل نموذج غالباً لا يمكن تحقيقه.

### وصف خطأ النموذج

تمييز الأخطاء بغير حجمها وتوزيعها على هيئة متبقى، حيث من الممكن أن تقدر بمقارنة النموذج بمجموعة من الملاحظات أو المشاهدات. إن من أهم المفاهيم في تقييم النموذج هي الحياد والدقة Bias and Precision وهي التي تحدد صحة التنبؤ، هذه المفاهيم استخدمت بواسطة فريز، 1960 في مجال أخذ العينات في الغابة Forest Sampling وهي موضحة في الشكل (9.3).



الشكل (9.3): الهدف التخييلي وتوزيع الإحراز لتوضيح مفاهيم الدقة والحياد، توقعات الدقة وعدم التحيز الصحيحة.

المتوسط المتبقى (MRES) هو مقياس لمتوسط الحياد في النموذج، وهو يصف اتجاه الحجم، مثل الحجم المتوقع بالزيادة أو النقصان (under- or overestimates) حيث يشير إلى دقة النموذج، والمتوسط المطلق للمتبقي أو متوسط التفاوت المطلق، متوسط الجذر التربيعي للخطأ، فعالية النموذج ومعدل التباين كما في الجدول (9.1).

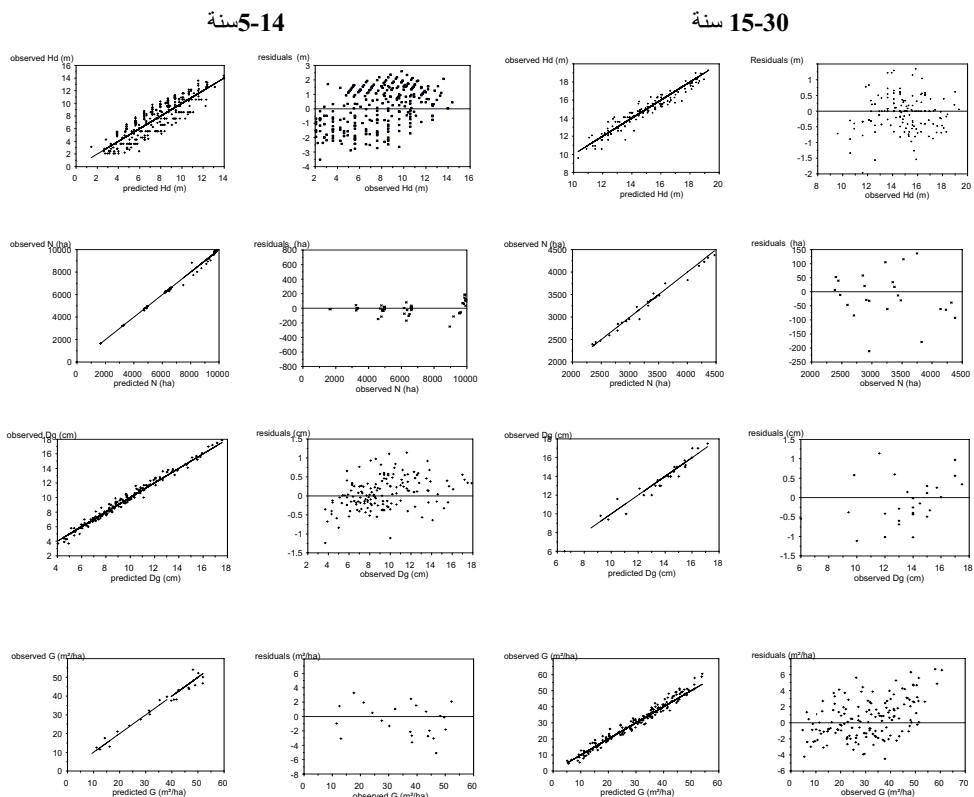
المعيار	المعادلة	القيمة المثلثى
متوسط المتبقى	$MRES = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{n}$	0
متوسط المتبقى المطلق	$AMRES = \frac{\sum y_i - \hat{y}_i }{n}$	0
متوسط الجذر التربيعي للخطأ	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1 - p}}$	0
فعالية النموذج	$MEF = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}$	0
معدل التباين	$VR = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}$	1

الجدول (9.1) : أربعة معايير لتقدير أداء النموذج  $MRES$  لقياس الحيدار، الثلاثة معايير الباقي تشير إلى دقة النموذج. ( $\hat{Y}$ ) عبارة عن القيم الملاحظة، ( $\hat{y}$ ) عبارة عن القيم المتوقعة، ( $y - \hat{y}$ ) عبارة عن المتبقى، ( $p$ ) عدد قياسات النموذج.

المتوسط المطلق للمتبقي (*absolute mean residual*) يقيس متوسط الخطأ مصحوباً بالتنبؤ المفرد. متوسط الجذر التربيعي للخطأ (*root mean square error*) يعتمد على مجموع مربعات المتبقى والتي تعطي وزن أكبر للتباوت الأعظم. مؤشر فعالية النموذج (*model efficiency index*) مشابه لـ ( $R^2$ ) مزود بمقاييس نسبية للأداء. معدل التباين (*variance ratio*) يقيس التباين المقدر في شكل نسب أو أجزاء من الملاحظات أو المشاهدات. المعيار متوسط المتبقى (*mean residual*) والمتوسط المطلق للمتبقي (*absolute mean residual*)، الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ (*root mean square error*) من المحتمل أن تفسر كقيم نسبية. وهي الأكثر إيحاءً عندما تقارن المكونات مع وحدات اختبارات مختلفة.

من الواضح أن عدد المؤشرات التي يمكن أن تبتكر لقياس أداء النموذج بلا حدود. فهناك كم هائل من الإمكانيات لقياس دقة النموذج، ومن الصعب جداً ترتيب هذه المؤشرات المختلفة، كما أنها تقيس أشياء مختلفة. أساساً المؤشر الجيد هو ذلك الذي يعطي قيمة مرجعية سهلة التفسير، مثل تفسير الحد الأدنى والحد الأعلى والأمثل كما هو موضح في الجدول (9.1). إن من أكثر الطرق شيوعاً في تقييم النموذج اختيار المتبقى بواسطة كل

الخيارات الممكنة للمتغيرات. والهدف من ذلك هو كشف الأساليب المسيطرة والتي تشير إلى تفاوت منتظم. من المحتمل رسم القيم الملاحظة على القيم المتوقعة، أو المتبقى على القيم الملاحظة الشكل (9.4) يوضح ذلك.



الشكل (9.4) : تحليل نظري للمتبقي، على الشمال، القيم الملاحظة ( $\hat{Y}$ ) ممثلة على القيم المتوقعة ( $\hat{y}$ ). على اليمين المتبقي ( $\hat{y} - \hat{Y}$ ) ممثلة على قيم ( $\hat{Y}$ ).

إن من أهم أهداف تقييم النموذج هو رصد تفاوتات الخطأ، حيث من المحتمل أن تتأثر الأخطاء بطول التغيير في عمر المشجر أو ارتفاع الشجرة. المعيار متعدد المتبقي (mean residual) ومتعدد الجذر التربيعي للخطأ تم استخدامهما بواسطة ترنكادو وقادو (1996) لتقدير صحة التوقعات للحجم المترافق لدالتي التناقص لارتفاعات النسبة للشجرة الجدول (9.2).

الارتفاع النسبي للشجرة (%)	عدد المشاهدات	متوسط الحجم ( $m^3$ )	النموذج A		النموذج B	
			MRES( $m^3$ )	RMSE( $m^3$ )	MRES( $m^3$ )	RMSE( $m^3$ )
10 < X ≤ 20	191	0.30865	-0.01455	0.02231	-0.00243	0.00846
20 < X ≤ 30	203	0.45857	-0.00323	0.01912	0.00078	0.01498
30 < X ≤ 40	205	0.59990	0.00003	0.02954	0.00132	0.02614
40 < X ≤ 50	196	0.73685	0.00152	0.04167	-0.00094	0.04079
50 < X ≤ 60	198	0.87749	-0.00411	0.05664	-0.00430	0.05524
60 < X ≤ 70	203	0.99454	-0.00817	0.07059	-0.00912	0.06997
70 < X ≤ 80	211	0.09903	-0.00875	0.08256	-0.00692	0.07853
80 < X ≤ 90	198	1.18017	-0.01196	0.10286	-0.00596	0.08945
90 < X < 100	194	1.27298	-0.00753	0.12914	-0.00295	0.09077

الجدول (9.2): تقييم تبعية الخطأ: الدقة والحياد لقيم مقدرة على ارتفاعات نسبية مختلفة للشجرة (ترنيدكابو وقادو، 1996).

البيانات الموضحة في الجدول (9.2) غالباً تشير لحياد سلبي لنماذج A, B . كل من هذين النموذجين يقدر حجماً أعلى النموذج A أكبر من النموذج B إلى أسفل (حتى 20% من الارتفاع الكلي) Over estimation ومن الجزء الأعلى (90% - 90% من الارتفاع الكلي) - لمقاطع الساق.

هذه النتيجة لافتة للنظر عند عرض الحيادية في صورة نسبة مؤدية لقيم الملاحظة.

متوسط الجذر التربيعي للخطأ يزيد في كل من النموذجين بزيادة الارتفاع النسبي للشجرة، لكن الدقة عالية في كل من النموذجين B, A. والفرق الأكبر بين النموذجين وجد في المقاطع السفلية والعلوية تم حسابها حيث وجد أنها لا تتعدي 10%.

#### الاختبارات الإحصائية Statistical tests

الاختبارات الإحصائية الرسمية متاحة لتقييم أداء النموذج. الانحدار الخطي المتوقع لقيم ملاحظة استخدم لاختبار الحياد بينما معيار مجموع المربعات المعياري يتحمل استخدامه لتقييم الدقة. الجدول (9.3).

المعيار	المعادلة	القيمة المثلثي
الانحدار الخطي	$y = \alpha + \beta \cdot \hat{y}$	$\alpha=0; \beta=1$
دقة النموذج	$MPR = \frac{1}{\sigma^2} \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$	0

الجدول (9.3): معيارين تم استخدامهما في الاختبارات الإحصائية، انحدار خطى متوقع لقيمة ملاحظة تم استخدامها لاختبار الحيداد. معيار  $MPR$  أقترح بواسطه فريز (1960) من المحتمل استخدامه لتحديد الدقة، ( $\sigma^2$ ) هو التابع في ( $Y$ ).

الاختبار الصالح للحيداد هو المترافق لاختبار  $F$  للميل Slope وتقاطع الصفر، كما طبق بواسطة هوبي وقادو (1993). اعتمد الاختبار على الانحدار الخطي للمشاهدات ( $y_i$ ) مقابل التوقعات ( $\hat{y}_i$ ) على النموذج  $y = \alpha + \beta \cdot \hat{y}$  لاختبار الفرضية ( $F$ ) تم حسابه كما يلي

$$F_{2,n} = \frac{(n-2) \left[ (a \sum y_i + b \sum \hat{y}_i y_i) - (2 \cdot \sum \hat{y}_i y_i - \sum \hat{y}_i^2) \right]}{2 \cdot \left[ \sum y_i^2 - (a \sum y_i + b \sum \hat{y}_i y_i) \right]} \quad 9.1$$

حيث:

= عدد وحدات العينة.  $n$

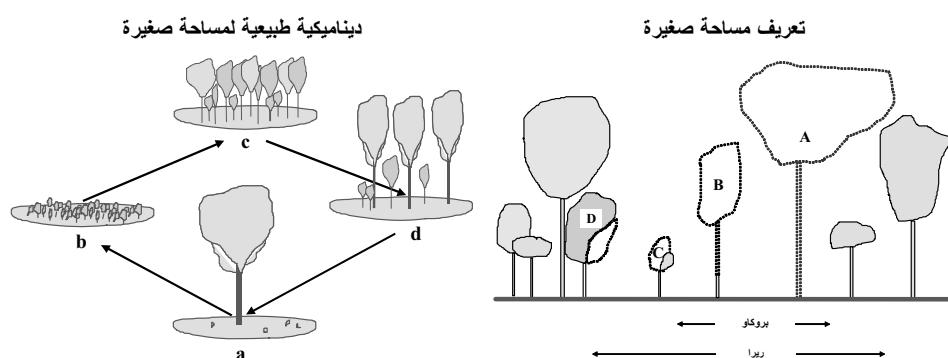
= القيمة الابتدائية ل ( $F$ ) عادة ( $= 5\% \text{ or } 1\% \alpha$ )  $F_\alpha$

وعليه ترفض الفرضية عندما ( $F_{2,n} > F_\alpha$ )

#### 10. النماذج الرياضية للمساحات الصغيرة

من الخيارات الخاصة للنماذج الرياضية للأشجار المفردة التي تعتمد على معرفة مواضع الأشجار داخل المشجر، ما يعرف بالنماذج الرياضية للمساحات الصغيرة (تعرف أيضاً بالنماذج الرياضية التتابعية). تتكون النظم البيئية الغابية الشاسعة من مساحات أصغر، من هنا فإن الإنسان يتوصل لفهم الكلي لهذه النظم عن طريق تحليل هذه المساحات الصغيرة. هناك عدد من النماذج الرياضية للمساحات الصغيرة وردت في أعمال بوتكين وأخرون (1972) وشوقارت (1984) وكيناست وكون (1989) وبوتكين (1993)، يتعلق الأمر في هذه الأعمال (جزئياً) بمحاولة فهم المجريات في الغابات الطبيعية التي لا تخضع لأي نوع من أنواع المعاملات الفلاحية.

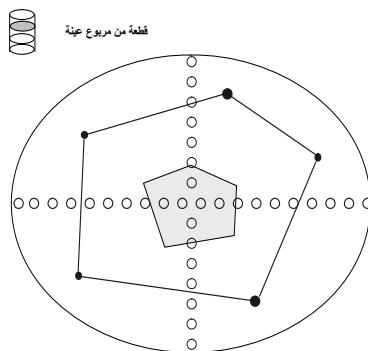
يمكن تمييز المساحة الصغيرة بأربعة مراحل: سيادة أشجار كبيرة العمر في المساحة الصغيرة (a) ومرحلة تجدد (Regeneration) بعد سقوط الأشجار الكبيرة (b) والنمو والتباين نتيجة للمنافسة على البقاء (c) ومرحلة التقديم في العمر والسعى نحو السيادة (d).



الشكل (10.1): إلى اليسار: تصور للتطور الديناميكي الطبيعي لمساحة صغيرة في مشجر كافور مختلط بأشجار إيفا. إلى اليمين: مساحة صغيرة (تخيلية) مكونة من عدة مساحات أصغر.

هناك اختلاف وتعرف المساحة الصغيرة. في الشكل (1.8) سقطت الشجرتان (A) و(B) والحقتا أضراراً بالأشجار (C) و(D). يرى بروكاو (1982) أن الحد الخارجي للمساحة الصغيرة يتحدد عبر فتحة في الغطاء الناجي، ويتم تحديد المحيط الخارجي لهذه الفتحة عن طريق تيجان الأشجار التي ماتزال حية، أما ريرا (1982) فيعرف المساحة الصغيرة على أنها الفتحة في الغطاء الناجي التي تسمح بالتحديد.

الشكل (10.2) يوضح تصوراً لمساحة صغيرة محددة عبر غطاء نباتي ارتفاعه 20 متراً ومساحة صغيرة محددة عبر نقاط على مستوى ملامسة ساقان الأشجار السائبة للأرض.



الشكل (10.2): طريقة حصر الغطاء النباتي في مساحة صغيرة.

### التجدد Regeneration

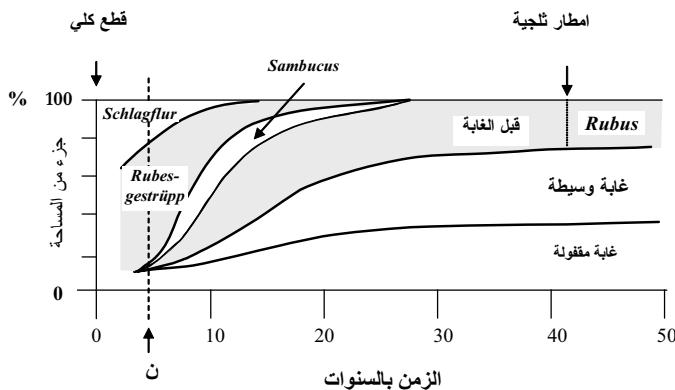
يم تصميم النماذج الرياضية للتتجدد بمراحل مختلفة: من الزهرة حتى البذرة وختاماً حتى الباكرة التي يتكون منها النمو الداخلي (الشجيرات الصغيرة داخل المساحة التي لم تصل الحد الاندى للقطر عند مستوى الصدر الذي تم تحديده ليبدأ من القياس) والتي تتطور لتصبح شجيرات قابلة للأخذ في الاعتبار عند القيام بأعمال قياسات.

نوع النموذج	عناصر العملية (المرحلة)
النمذج الرياضية داخل التكروين الاولى	تكوين الزهور، التلقيح، تكوين الثمار، نضج البذور وانتشارها، الإنبات
النمذج الرياضية للتكاثر	من البذرة وحتى الارتفاع إلى مستوى الصدر
النمذج الرياضية للنمو الداخلي	من لحظة وصول النبات إلى ارتفاع مستوى الصدر حتى لحظة وصوله إلى الحد الاندى الذي يؤخذ في الاعتبار عند اجراء قياسات

أن تكوين الزهور والتلقيح وتكون الثمار والبذور وانتشارها والإنبات عناصر مهمة في ديناميكية المساحات الصغيرة. حاول الإنسان نقل (نسخ) هذه العمليات بمساعدة التوزيعات المعروفة لإنتاج البذور وإتجاه الرياح والظروف المناخية وعلى أساس الظروف المعروفة التي تسود في المنطقة الغابية.

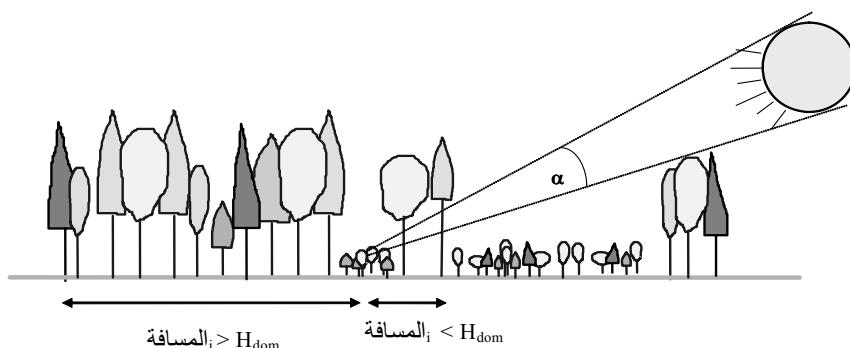
قام جيوجور وسايدلنج (1997) بإجراء بحوث على التطور الطبيعي النباتي في منطقة غابية كانت قد قطعت كلّياً وقد كانت تجريتّهما على قطعة أرض مساحتها هكتاراً واحداً، وقد قاماً بمتابعة التطور النباتي فيها لمدة خمسين عاماً (الشكل 10.3).

في العامين الأول والثاني سيطرت الحشائش والغطاء النباتي التحتي (Ground vegetation) ثم تحولت السيطرة للشجيرات الصغيرة حتى العام العاشر تقريباً. من العام العاشر حتى الخامس عشر سيطرت شجيرات أكبر حجماً ثم بعد ذلك ظهرت ثلاثة طبقات من الأشجار: طبقة عليا وأخرى وسيطة وثالثة دنيا بنسب متزايدة تقربياً وبدرجة كبيرة من التداخل.



الشكل (10.3): تطور الغطاء النباتي في منطقة قطع كل.

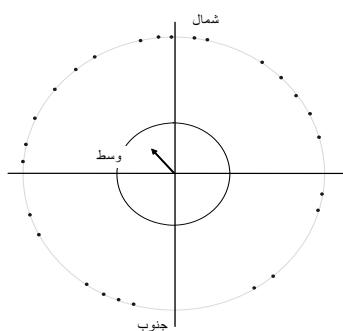
إهتم عدد من الباحثين بتصميم نماذج رياضية لنمو التجدد الطبيعي في ظروف إشعاعات مختلفة. يتأثر إرتفاع التجدد (أي النباتات الصغيرة) بالإشعاع الضوئي المباشر وغير المباشر مع مراعاة مختلف مؤشرات التنافس التي تصنف مناطق التأثير والمناطق المتأثرة بالظل في الفراغات التي يوجد فيها التجدد. بالإضافة إلى الإشعاع الداخلي عبر حافة المشجر (عندما تكون المسافة لحافة المشجر تساوي ضعف الإرتفاع السائد أو أكثر). في هذه الحالة يتم تحديد زاوية الإشعاع ( $\alpha$ ) عن طريق إرتفاع المشجر والمسافة إلى حافة المشجر. يتم حساب ظل الزاوية ( $\alpha$ ) كمقياس لكل الإشعاع الإضافي المتسلل (الشكل 10.4).



الشكل (10.4): تصميم نوذج رياضي للإشعاع المتاح للتجدد (أخذ من جوسلر وهازيناور، 1997).

### موت الأشجار

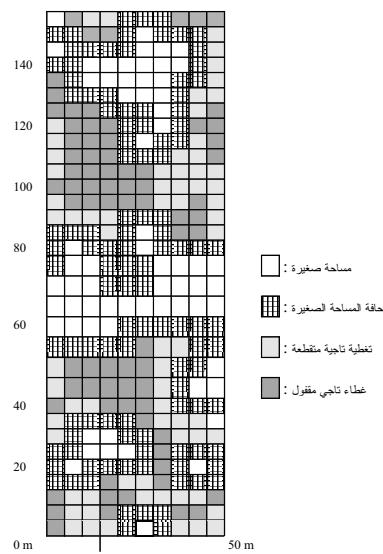
إن فهم عمليات الموت الطبيعي للأشجار والطرق المستخدمة لمعرفتها تعتبر من أصعب مهام بحوث تصميم النماذج الرياضية في علم نمو الغابات. تشكل المعلومات عن إتجاهات سقوط الأشجار أساساً مهماً لتصميم النماذج الرياضية الديناميكية المساحات الصغيرة. الشكل (10.5) يوضح إتجاهات سقوط 35 شجرة في مشجر ما. يشير الإتجاه من وسط المساحة إلى إتجاه شمال الشمال الغربي. بعد تحليل هذا الإتجاه عن طريق اختبار الإحتمالات يتضح أن آثر القطع في هذا الإتجاه (أنظر المثال) لا يختلف عن القطع في أي إتجاه آخر. في دراسة أخرى أجراها ليو وهايتيبورن (1991) يتضح أن 66% من الأشجار الميتة (صانعة الفراغات) في مشجر طبيعي من أشجار الصنوبر قد سقطت في الإتجاه الجنوبي الغربي والجنوبي الشرقي.



الشكل (10.5): إتجاهات سقوط 35 شجرة في مشجر

في معظم النماذج الرياضية للمساحات الصغيرة يتم تقديم العمليات الحسابية الديناميكية المشجر كاتجاه متنقل لكل مساحة صغيرة على حدة. لكل مساحة صغيرة نقطة ابتداء خاصة بها، حيث يتم تحديد عدد الأشجار والتوزيع داخل المساحة حسب إحديات كل شجرة والنوع الشجري والقطر عند إرتفاع مستوى الصدر وإرتفاع الأشجار وإرتفاع التيجان، إلخ... البرنامج الحاسوبي التالي (gap.pas) يوضح الخطوات الحسابية لغابة بها 9 مساحات صغيرة، مساحة كل منها 100 مترًا مربعاً.

إعتماداً على الخبرة في هذا المجال والإفتراضات المعقولة، وبمساعدة برامج حاسوبية مناسبة، يمكن حساب التطور ابتداءً من أي حالة يكون عليها المشجر، سواء كانت إفتراضية أو حقيقة. كمثال لذلك يمكن الإشارة إلى التشكيلة المكانية التي صممها ناميكلوا وكاواي (1998) في غابة مختلطة من أنواع شجرية ذات أوراق إبرية وأخرى ذات أوراق عريضة في هوكايدو باليابان (الشكل 10.6).

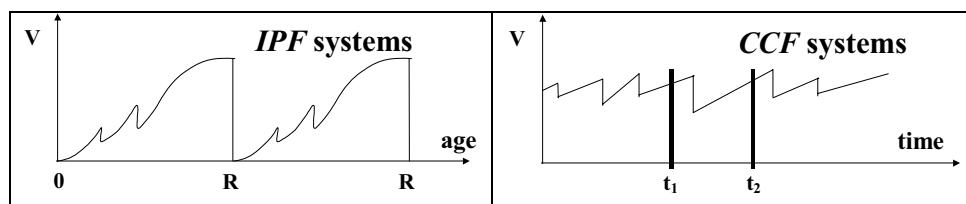


الشكل (10.6): تشكيلة مانية لمراحل تطور مختلفة في غابة مختلطة في هوكايدو باليابان (أخذت من ناميكارا وكاواراي، 1998).

### 11. تقييم المخاطر في التخطيط لنماذج الغابات

لأغراض التخطيط في مجال الغابات يجب أن يكون الشخص قادرًا على إنتاج أوصاف دقيقة لأنشطة الإدارية. هذه المهمة سهلة التنفيذ نسبياً في غابات متساوية الأعمار والتي لها أمد زمني محدد. تعرف الدورة بأنها تعقب لدورات القطع التي تعقب النمو والتطور في المشجر الغابي. ففي الغابات المنتجة ذات الأعمار المتساوية فإن دورات الحياة المتكررة تتميز بأنشطة عديدة مثل عملية الشلح، التشتتيب، القطع الكلي الدوري وإعادة الإستزراع.

المهمة الأساسية من إدراج التطور في الغابات ذات التغطية الدائمة والتي تتميز بالقطع الاختياري للأشجار المفردة وكذلك بالطرق الفلاحية المناسبة فإنها أكثر صعوبة والتي تعرف بالحدائق الغابية (Forest Gardening)، إذ تبقى الغابة على حالة غير محددة العمر بين أشجارها تشير لمستوى من مخزون خشبي محدد (الشكل 11.1).



الشكل (11.1): تمثيل مبسط لتطور حجم الأخشاب خلال العمر (الزمن) في غابة مزروعة للإنتاج عن طريق عمليات الفلاحية المكثفة (IPF) ونظام التغطية المستمرة للغابة عن طريق الحصاد الاختياري (CCF).

التغيرات أو التحورات في تركيبة الغابات الناتجة عن عمليات الحصاد يصعب التنبؤ بها، حيث أنه لا يوجد تمييز واضح بين عمليات الشلح وعمليات القطع النهائي، وكذلك القياسات المعتمدة على العمر للإنتاج الغابي والتقييم، مثل متوسط الزيادة السنوية، أو صافي القيمة الحالية (NPV) المعتمدة على العمر غير مناسبة. هناك عدد كبير من التقنيات التي افترضت للحصول على تقدير وجدولة إدارة الغابة وسيناريو تطورها. بعض هذه التقنيات تستخدم فقط في الغابات متساوية الأعمار بينما البعض الآخر مناسبة لأي نوع من إدارة الغابة، بما في ذلك نظام التغطية الكاملة (CCF).

إن الهدف من هذه المساهمة هو مناقشة بعض أوجه تحليل المخاطر متضمناً في ذلك أمثلة لأدوات محددة لعمل النماذج. إن الإدارة الفنية للغابات، على النقيض من إدارة السلامة في مجال الصناعات، تتاثر بمهددات خارجية يصعب التحكم فيها. لذلك فإن الطريقة العملية والتي تستخدم في التخطيط لنماذج الغابات لتقدير معدلاتبقاء متراكمة مرتبطة بالأعمار لمجموعة عوامل لهذه المخاطر.

### 2. تحليل المخاطر

قبل الشروع في مناقشة طرق محددة، يبدو أنه من الضروري الاتفاق على مصطلح فيما يتعلق بتقييم المخاطر: الدمار (Damage) وهو عبارة عن فقدان يعبر عنه بمفاهيم مادية (Monetary terms)، فعلى

الدمار أو الضرر تشمل كل فعاليات المهددات في مجال المخاطر والخطر تم تعريفه على أنه الفقدان المتوقع نتيجة لمهددات معينة لمساحة محددة وفترة معينة (الأمم المتحدة، 1992). الفقدان المتوقع هو نتاج الدمار وأحتماليته. على سبيل المثال: احتمالية شجرة الصنوبر (*Pecia abies*) للدمار بواسطة الرياح، تزداد بزيادة حجم الشجرة (روت مان، 1986؛ ثوماتيس، 1988)، بينما الدمار هو نتيجة للزيادة في تكاليف الحصاد والنقصان في سعر الكثلة (قيهرمان، 1975؛ قالدهير، 1997).

تقييم الخطر أو المخاطرة هي طريقة رسمية لحساب المخاطر، لتحليلها كمياً بما يتعلق بفعالية الدمار ويشمل ذلك كل المهددات الممكنة في مجال المخاطر. مثلاً: تقييم كل فعاليات المخاطر (سلسلة المهددات) خلال حياة شجرة الصنوبر (*Pecia abies*) (أوتو، 1994). تقييم المخاطرة يتعلق بتقييم اقتصادي لفوائد والمهددات الفاعلة.

إدارة المخاطر تشمل الاستراتيجيات وتنفيذها لتقليل المخاطر (هولن إشتلين، 1997)، وعليه فإن المخاطر ليست كعدم الثقة (الخوف). عدم الثقة يمثل مخاطرة إذا كانت نتيجته فقدان متوقع. تطبيقات تحليل المخاطر في مجال تخطيط الغابات نادرة جداً والطرق المعروضة في هذا الكتاب والتي يمكن تطبيقها عند تحليل المخاطر في تخطيط الغابات. من المهم جداً تأثير النظم (Delineate) والتعرف بعوامل المخاطر الفاعلة. أيضاً من الصعب جداً تقييم احتمالات عامل المهددات وذلك لأن الإدارة الفنية للغابات، وعلى النقيض من إدارة السلامة الصناعية فإنها متاثرة بمهددات خارجية لا يمكن السيطرة عليها. الطرق العملية التي تستخدم في التخطيط لنماذج الغابات لتقدير معدلات بناء متراكمه مرتبطة بالأعمار لمجموعة عوامل لهذه المخاطر.

## 2.1. تأثير النظام Delineation of the system

موضوع تحليل المخاطر هو نظام معطى ويضم أشياء قيمة يحتمل أن تفقد أو تدمر. عليه يجب تحديد النظام على أساس الزمن والمكان وخطرة المهدد المحتمل أو المتوقع. من خلال فكرة تخطيط الغابات فإن مقاييس الزمن والمكان يحتمل أن تتراوح من سنة إلى قرن، كذلك من الشجرة المفردة وحتى منطقة غابية كاملة. درجة خطورة الدمار المتوقع هو موضوع التعريف، ومثال لذلك تخطيط التصنيف الذي تم تطويره للمخاطر الفنية في سويسرا، جدول (11.1)

	الحوادث الصغيرة	الحوادث الكبيرة	الكوراث		
عدد القتلى	4	20	100	500	2500
الدمار في النظام البيئي (كلم <sup>2</sup> )	1	10	100	1000	10000
discounted cost (mill SFR)	20	80	400	2200	10000

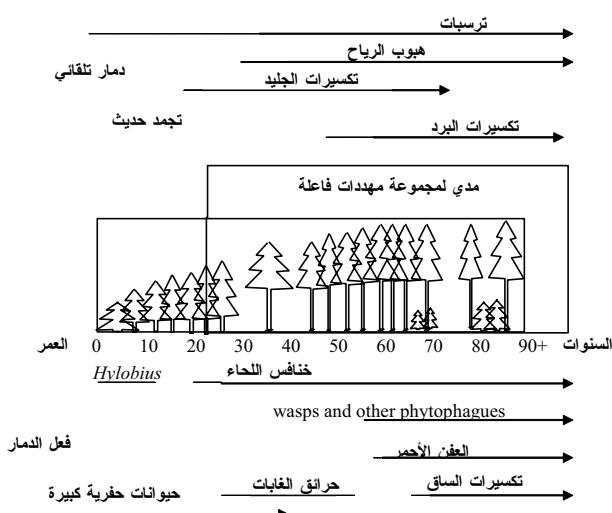
جدول (11.1): تصنيف المخاطر الفنية في سويسرا (بعد هولين إشتلين، 1997، ص<sup>67</sup>)

الأشياء القيمة مثل الأشجار والمباني وطرق الغابات يحتمل أن تتأثر بالمهددات الطبيعية مثل الرياح العتية، والحرائق والفيضانات. على المدى القصير إلى المتوسط فإن تحليل الخطر المعتمد على الشجرة ضروري في التقييم الاقتصادي لقرارات الإزالة في نماذج الشlix الإختياري في نظام الغابات ذات التغطية المستمرة (CFF) (البيروت، 1999). تحليل الخطر على المدى المتوسط اعتماداً على المشجر مطلوب في مساحات متاثرة بمهددات حيوية وغير حيوية معينة مؤثرة بذلك على أنواع معينة من تركيبة المشجر أو صف العمر. في هذا النظام المتوسط المدى لسيناريو التخطيط فقدان كبير متوقع خلال عقد من الزمان على مستوى المربوع. تحليل المخاطر على المدى البعيد لمناطق غابات أوسع يختص باختيار النوع الشجري والنظام الفلاحي.

## 2.2. التعرف على العوامل الفاعلة للمهدد

إن تحليل فعالية المهدد يقيم بعرض الأشياء القيمة لأنواع من الدمار محتملة الحدوث. العملية الخطيرة تم التعرف عليها، بدون وضع اعتبار إلى مدى الدمار الممكن. التقنيات النوعية المختلفة تضمن عدد من طرق قوائم الفحص والتي تعتمد على مبادئ متماثلة.

طرق قوائم الفحص تنتج قائمة من المهددات الفاعلة وكذلك عناصر حرجة للنظام باستخدام أشياء محددة تحدد الانحرافات عن الوضع الطبيعي. إن السلبية تكمن في ذاتية التقييم وإمكانية التحليل غير مستترفة. المخاطر المختلفة لا يمكن التعبير عنها كمياً بل يمكن ترتيبها في نسق منظم، لرؤية ما إذا كانت أهداف السلامة لم يتم تحقيقها. المكونات وحالات النظام وكذلك التفاعل مع البيئة قد تم التعرف عليها. ومثال لطريقة قائمة الفحص هو المهددات الفاعلة والتي يحتمل حدوثها أثناء حياة شجر الصنوبر (*Picea abies*). الشكل رقم (11.2).



الشكل (11.2): مثال لمهددات فاعلة خلال دورة حياة مشجر الصنوبر (أوتو، 1994).

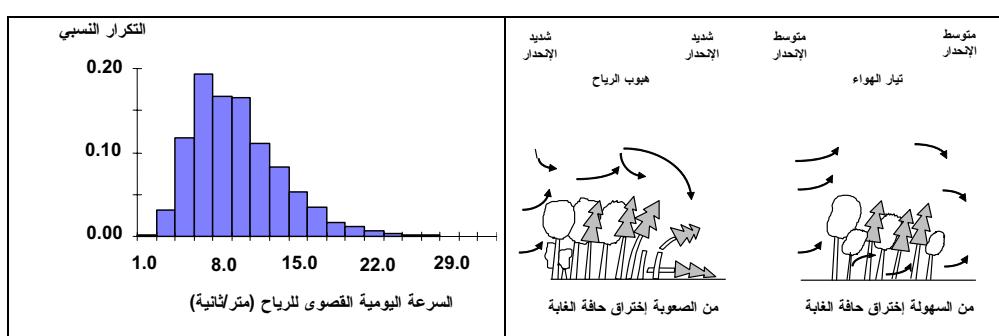
يعتبر نوع الإدارة الفنية للغابة عامل مهم يؤثر على المخاطرة، بالنسبة لغابة الصنوبر فإن (كريمر، 1988) استطاع أن يوضح أن النتيجة الشجرية الصغيرة وكذلك النسب العالية من (الارتفاع/ القطر) مرتبطة بزيادة المخاطر من آثار الرياح والجليد والدمار الناتج عنهم. هذه الملاحظات تم دحضها بواسطة (ريشنر، 1996 و 1998) حيث وجد أن الأشجار الكبيرة ذات النتيجة الكبيرة هي الأكثر دماراً في أغلب الأحوال. الطرق الأكثر شيوعاً للتعرف على العوامل الفاعلة للمهددات في التطبيقات الصناعية هي تحليل الخطأ في الشجرة

#### . Fault tree analysis (FTA)

تحليل الخطأ في الشجرة يسمح بعمل معلومات كمية عن احتمالية الفشل في عوامل نظام معينة حتى عند عدم وجود دليل إحصائي. وكتطبيق لذلك تقييم آثار الأمطار الحمضية في إدرينوداكس التي تم عرضها بواسطة (هوفمان، 1994). المعلومة التي تم إسقاقها من (FTA) يمكن استخدامها في تحليل حدث الشجرة (ETA) Event tree analysis والتي تعتمد على طريقة (أسفل إلى أعلى) بدءاً من بداية الحدث. يبدو أنه وبالرغم من الخبرة الواسعة عن شتى أنواع الدمار لأشجار الغابات إلا أن النماذج التي يمكن الإعتماد عليها للتنبؤ بالمخاطر الفاعلة ذات العلاقة بالإدارة الفنية للغابات نادرة. لذا فإن التعرف على عوامل المهددات الفاعلة تعتمد بشدة على المعرفة الناتجة عن الفكرة.

#### 2.3. تقييم احتماليات العامل المهدد

المهدد الفاعل يمثل خطراً عندما يحدث بإحتمالية أكبر من صفر وعندما يكون حدوثه يسبب دماراً لشيء قيم. احتمالية حدوث عامل مهدد معين يمكن تعريفها عن طريق توزيع الاحتمالية بتمثل التكرار لأحداث معينة على أساس الملاحظات السابقة. الشكل رقم (11.3).



الشكل (11.3): إلى الشمال: توزيع عددي لأقصى سرعة للرياح في اليوم (كونيج، 1995)؛ إلى اليمين: تأثير حافة الغابة على الدمار بواسطة الرياح (أوتو، 1994).

النظام قد يكون مقاوم للرياح، الفيضان أو الجفاف من خلال مدى معين لسرعة الرياح أو المطر، خارج هذا المدى فإن إمكانية ظهور الدمار من المحتمل أن يحدث. كمية الدمار قد تزداد بينما احتمالية حدوثه تتناقص بزيادة الفرق من القيمة المتوسطة. يمكن اشتراك توزيعات الاحتمالية لسرعات الرياح أو كميات الأمطار في

وحدة الزمن من محطات إرصاد رسمية. كوني (1995): استطاع أن يجد علاقة للمهدد الفاعل في مشاجر الصنوبر بعدد من ظروف الموقع، ومتغيرات الموقع أو الشجر، وظروف الطقس وأنواع الإدارة الفنية للغابات. بينما كيلوماكى وبلنولا (1998): قد تتبأً بمتوسط حركة الرياح اعتماداً على قراءات الرياح في الأنفاق وعزم الإنحناء المطلوبة لمقاومة الشجرة في تجارب لأشجار تم إقتلاعها باستخدام ونشأت على مدى من أنواع التربة. تم تعريف الخطأ على أنه فقدان المتوقع نتيجة لمهدد معين لمنطقة معينة في نقطة رجوع معينة. بعض النظر عن تكلفة رأس المال فإن فقد المتوقع ( $r$ ) يمكن حسابه كناتج الدمار ( $s$ ) معتبراً عنه بطرق مادية، واحتماليه ( $p$ ). وعليه فإن المعادلة تكون كالتالي:

$$r = s \cdot p$$

#### 2.4. تقدير معدلات الحيوية أو البقاء

استخدم كوبا (1989): شكل دالة وبيل لعمل نماذج لغابات الصنوبر لمعرفة بقائها مفترضاً أن هنالك عدد من المهددات وأثارها المتراكمة كما في المعادلة (11.1)

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda \cdot t^\alpha} \quad (11.1)$$

حيث:

$R(t)$  = معدل البقاء،  $t$  = عمر الغابة،  $\alpha$ ،  $\gamma$  = عوامل يمكن تقديرها على أساس ( $R$ ،  $t$ ) باستخدام المعادلة

$$\lambda = -\ln(R_2) / \left\{ t_2^{\alpha} \right\} \quad \alpha = \ln \left\{ \ln(R_1) / \ln(R_2) \right\} / \ln \left\{ t_1 / t_2 \right\}$$

إلا أن هذه الطريقة يبدو أنه لا يمكن الإعتماد عليها. عندما تتتوفر ملاحظات أكثر فإن تقديرات الانحدار يجب أن تستخدم للحصول على قيم هذه العوامل. في هذه الطريقة: إستطاع كوبا (1989) أن يشق تقديرات لبقاء غابات الصنوبر آخذًا في الاعتبار دليل رقمي مصحوبًا بتأسيس دمار الجليد والرياح. تقديرات كوبا لهذه العوامل تم عرضها في الجدول رقم (11.2).

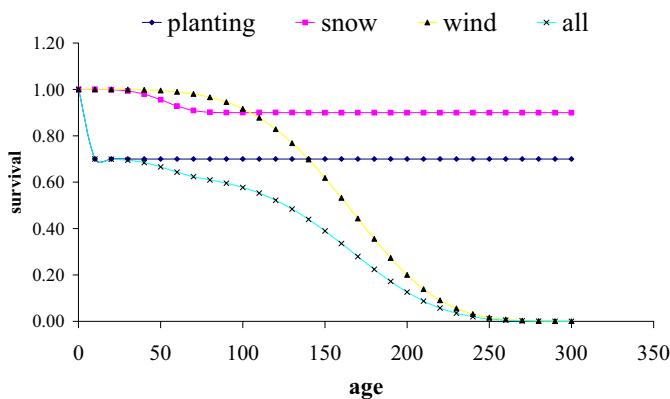
	التأسيس	الجليد	الرياح
$R_1$	0,333	0,990	0,90
$R_2$	0,100	0,001	0,20
$t_1$	1	19	100
$t_2$	2	90	200
Weibull $\alpha$	1,0663	4,2002	4,2002
Weibull $\lambda$	1,09961	4,3E-08	3,5E-10

الجدول (11.2): مستند لمعايير تقدير معدلات حياة مشاجر الصنوبر بعد كوب (1989).

العمود الثاني للجدول رقم (11.2) يعطي احتمالية أن تأسيس المشجر قطعاً سينجح وهذه الاحتمالية سارية المفعول فقط لقيد زمني محدد بعد الزراعة، خلال هذه الفترة فإنه يمكن التحكم والسيطرة على بقاء الشتول. العمودان الثالث والرابع يعطيان احتمالية أن النسبة في الدمار (جليد - رياح) لم تحدث أو لم تدمر الغابة. باستخدام معدل الإزالة (C) فإن المعادلة التالية يمكن استخدامها للحصول على احتمالية بقاء النموذج لعمر معين وكذلك لعامل مهدد عشوائي كما في المعادلة (11.2).

$$R(t) = c \cdot e^{-\lambda \cdot t^{\alpha}} + (1-c) \quad (11.2)$$

إن حدوث مهدد مثل الرياح العاتية يدمر فقط جزءاً من الغابة فضلاً عن تدميرها كلياً. لذلك فإن المصطلح احتمالية البقاء لا يعتبر دقيقاً أو مناسباً من وجهة نظر الاخصائين الذين يفضلون تقدير احتمالية الحدوث لهذا المهدد أثناء فترة زمنية محددة. في هذا السياق يمكننا تفسير  $R(t)$  على أنها مساهمة مساحة الغابة والتي استطاعت البقاء في مواجهة مهدد معين وحتى عمر معين. الشكل (11.4) يوضح ذلك.



الشكل (11.4): يوضح تأثير البقاء والอายุ لثلاثة عوامل مهددة في غابة الصنوبر (كوبا، 1989)

التمثيل البياني للعلاقة بين عمر الغابة والبقاء موضح في الشكل رقم (11.4) بناءً على القرارات في الجدول رقم (11.2). عند أخذ عوامل المهددات الثلاثة في الاعتبار: (الزراعة، الجليد، الرياح)، فإن معدل البقاء المدمج حتى عمر  $t$ ،  $R_{all}(t)$ ، هو دالة في معدلات بقاء الفرد كالتالي:

$$R_{all}(t) = R_{planting}(t) \cdot R_{snow}(t) \cdot R_{wind}(t)$$

Where

$$R_{planting}(t) = \begin{cases} e^{-\lambda \cdot t^{\alpha}}, & \text{for } t \leq t_0 \\ e^{-\lambda \cdot t_0^{\alpha}}, & \text{for } t > t_0 \end{cases}$$

حيث:

$t_0$  ، عبارة عن عدد السنوات بعد الزراعة، وأنشاء هذه الفترة فإن البقاء المرتبط بالتأسيس قد تم فحصه.

هناك معلومات قليلة متوفرة عن الأحداث الشاذة مثل الغرق أو الغمر الذي تصحبه الرياح القوية أو النيران أثناء الفترة الجافة مصحوبة برياح قوية. عدم التأكيد في هذه الأحداث النادرة كبير ولذلك فإن آراء الخبراء تستغل دائماً لتكاملة الملاحظات الرقمية باستخدام طرق بايزيان، فازيلوجيك أو دلفي. تم تدوين العديد من التطبيقات البيئية لتقنيات الخبراء لتقييم عوامل المخاطر. (أنظر إشمولد 1987؛ رست 1988، مسنج وأخرون 1989؛ هاملتونج 1989؛ قوى وأخرون، 1992؛ يول 1999).

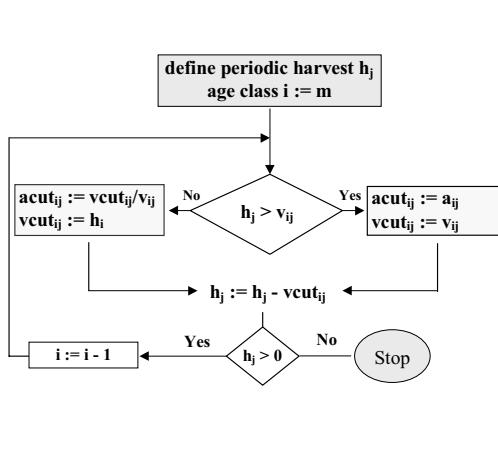
### 3. جدولة الحصاد وتقنيات السيناريو

للحصول بنجاح على منتجات أخشاب صناعية يجب أن يكون هناك تخطيط غابي يضمن أن هناك دائماً مشاجر في مرحلة نمو متقدمة وبعد كافي من الأشجار، وتضم في ذلك المشاجر في المناطق النائية والتي هي ليست ملك للشركة لإنتاج المنتج المطلوب مخلطاً مع الذي يأتي من الغابة. هذه المشكلة تمت مواجهتها باستخدام عدد من الطرق والتي عادة تسمى بجدولة الحصاد.

الهدف من جدولة الحصاد في معناها العريض هو عمل النماذج لسيناريو الغابة عبارة عن تقييم عدة آراء للإدارة الفنية ومحاولة الإجابة على الأسئلة المتعلقة باتجاه التطور الخاص بالغابة المعنية. تخطيط سيناريو الغابة يمكن أن يخلص من عدم التيقن وذلك بالتكهن بالمستقبل بطريقة منتظمة، وذلك بالتقليص من الحوادث غير المتوقعة. كذلك يمكن أن يحسن الفرصة لأن التطورات في المستقبل ستتفق مع الأهداف المحددة مسبقاً.

#### 3.1. الطرق المناسبة لأنظمة الإدارة الفنية البسيطة للغابة

من المفيد جداً، طرق السيناريو التي تعتمد تمثيل صفات العمر. تقسم مساحة الغابة إلى "m" صفات عمر وكل يغطي مساحة  $(a_{ij})$  هكتار في متر القطع رقم  $(j)$  ( $i = I \dots m$ ;  $J = 0 \dots n$ ). حجم الخشب المتاح في صفات العمر  $(J)$  يساوي  $(V_{ij})$ . الحجم الكلي للحصاد المخطط له لفترة القطع رقم  $(J)$  هو  $(h_j)$ . الشكل (11.5): يمكن استخدامه لتمثيل أثر مستوى معين من الحصاد على تطور التوزيع لصف العمر لمورد غابي إقليمي. يبدو واضحاً أن هذه الطريقة يصعبها ضغط بقدر كبير على الواقع النامي، الأنواع الغابية وأنظمة الإدارة. والتباوت يجب تفسيرها مع الاحتياطات الضرورية. إلا أن تمثيل صفات العمر هو الطريقة الوحيدة ذات الجدوى للتتبؤ بديناميكية التطور للمورد الغابي لمناطق كبيرة لنمو الأخشاب. الشكل (11.5) يوضح ذلك.



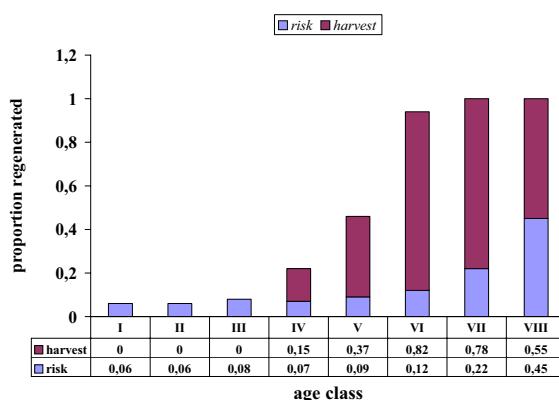
**For each harvest period  $j$ , do:**

**For each age class  $i$ , starting with the oldest one, and while  $h_j > 0$ , do:**

- Calculate the available growing stock volume  $v_{ij}$ ;
- if  $h_j \geq v_{ij}$ , then harvest the entire growing stock available in age class  $i$ ;
- else harvest only  $h_j$  m<sup>3</sup>;
- subtract the volume harvested from  $h_j$

الشكل (11.5) : رسم تخطيطي يوضح لغرض تمثيل صف العمر (إلى اليسار) و (إلى اليمين) اختصاراً مشفرة.  $a_{ij}$  = مساحة الغابة المتاحة لصف العمر ( $i$ ) حيث ( $i = 1..m$ ) والفترة  $j$  ( $j = 1..n$ ) حيث ( $j = V_{ij}$ ) ( $j = 1..n$ ) حجم الخشب المتاح في صف العمر  $i$  والفترة  $j$   $vcut_{ij}$  = حجم الألتحاب المحصودة في صف العمر  $i$  والفترة  $j$  ( $j$  بالمتر المكعب)؛  $acut_{ij}$  = مساحة الحصاد في صف العمر  $i$  والفترة  $j$  (بالمتر المكعب)؛  $h_j$  = حجم الحصاد المعين في الفترة  $j$  (بالمتر المكعب).

في كل غابة فإن هناك جزء من المخزون النامي يتوقع إزالته بواسطة بعض المهددات الطبيعية وكذلك الجزء المتاح يتم حصاده بالطريقة العادلة. بمعنى أنه عندما تصل المشاهير إلى عمر الدورة شكل رقم (11.6).



الشكل (11.6) : يمثل نسب مساحات لصف العمر 20 سنة المتوقعة للازالة بعض المهددات البيئية (مخاطر) والنسب المتاحة (الحصاد) (بعد كوبا، 1989).

الشكل رقم (11.6) شكل افتراضي يوضح مناطق لصفوف الأعمار 20 مداها سنة وهي "A" تلك التي لا يتم التحكم فيها من ناحية إدارية، أي تلك التي يتوقع إزالتها لبعض المهددات (الجزء الأسفل من العمود) و "B" الجزء المتاح للإدارة الفنية العادلة. أي ذلك الجزء الذي يحتمل حصاده. مشكلة جدولة الحصاد التي يتطلب حلها هي كم يكون الجزء الذي يقطع في مختلف صفوف الأعمار، أخذين في الاعتبار دالة هدافية مناسبة والعقبات ذات الصلة. تم نشر عدد من التطبيقات الحاسوبية المبرمجة والتي تتعامل مع هذه المشكلة الخاصة (انظر على سبيل المثال بونفيرنو وجيليس 1987).

هناك طريقة أخرى لعمل سيناريو لتطور الغابة وذلك باستخدام معلومات عالية التراكم معتمدة على عملية حسابية وتدخل في استخدام ما يسمى بنماذج نغير المنطقة والتي تتبع حالات الإنتقال لموجهات صفات عمر الغابة خلال الزمن. هذه النماذج تم استخدامها خصيصاً في اليابان (كونوهيرا و أمانو 1986) وكذلك في أوروبا (كيرت وأخرون 1987؛ وكوبا 1989). واحد من أكثر التطبيقات ظهوراً هو نموذج سوزانكي جننان (سوزوكى 1971؛ بلاندون 1985). احتمالات الإنتقال ليست بمعدل عن متوجهات صفات العمر الحالي وهذه تبدو إحدى المشاكل الرئيسية المتعلقة باستخدام نماذج تغير المنطقة.

### 3.2 الطرق المناسبة للإدارة الفنية لأي غابة بما في ذلك الغابات ذات التغطية الدائمة

تنتألف الغابة المدارية فنياً من عدد من الوحدات الجغرافية المحددة والتي تعرف بالمرربع، كل مرربع يتطور خلال الزمن كاستجابة للعمليات الغابية مثل الزراعة، عمليات الشلخ أو الإزالة لشتي الأنواع والكتافة. عند توفر الأدوات المناسبة فإن خصائص إتجاه التطور مثل المخزون الخشبي النهائي، التكاليف الفلاحية، مهددات الرياح، والمخاطر الأخرى يمكن حسابها. إن نموذج السيناريو يحوي كل إتجاهات التطور الممكنة للمرربع من خلال الغابة والسيناريو الخاص بتسمية الغابة يمثل خليط محدد لداول مختلف المراتب في مساحة غابية محددة.

الهدف من جدولة سيناريو الغابة هو إيجاد أمثل خليط لداول المعالجة على مستوى كل المراتب وضم المخاطرة. ثم تطور شتى التقنيات لتحقيق هذا الهدف، عادةً بدون الرجوع للمخاطر. إن أفضل طريقة للوصول للمستوى المثالي رغم المعوقات والتي تم استخدامها لفترة ثلاثة عقود من الزمان، بعد أن تم تطور التركيبة الأساسية بواسطة (وير وكلاترن 1971). والتي أصبحت لاحقاً تعرف بالنموذج رقم (11.1).

$$\max Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} c_{ij} X_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} a_{ijpt} X_{ij} \begin{cases} \leq \\ \cong \\ \geq \end{cases} M_{pt}, \forall p, t$$

$$\sum_{j=1}^{J_i} X_{ij} = A_i, \forall i \text{ and } X_{ij} \geq 0$$

حيث:

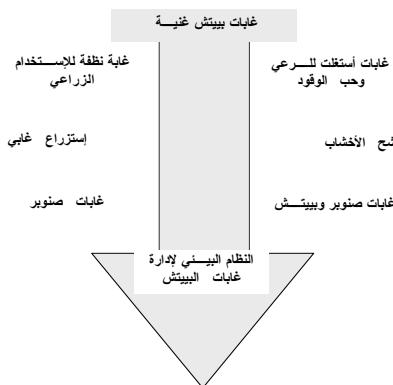
= عدد المرايبيع	I
= عدد جداول المعالجة للمربيع رقم (i) (i = 1..1..).	Ji
= قيمة الدالة الهدفية.	Cij
= مساحة المربيع رقم (i) والذي يدار وفقاً لجدول المعالجة (j) (هكتار أو جزء من المساحة (j). j = 1..1..).	Xij
= كمية المكون "أ" المنتج أو المستهلك في الهكتار في الفترة (t).	ajpt
= الكمية الكلية من المكون "أ" المستهلكة أو المنتجة في الفترة (t).	Mpt
= مساحة المربيع (i).	Ai

النماذج المثلثي تشتهر في أنها تحوي عدد من جداول المعالجة يتم عملها لعدد من المرايبيع، ذلك بين كل جدول يتعلق بعامل أو متغير للكتبات المدخلة أو المنتجة، عبر الزمن وبذلك فإن صانع القرار تكون له الرغبة في قيم المنتجات المتراكمة على مستوى كل المرايبيع وجداول المعالجة، حتى الحلول استخدمت لمعالجات مماثلة لبرمجة خطية لحساب الأخشاب، (بوكالا و كانفاس، 1993): تكمن من عرض طريقة عملية مثل معيينة على دالة إستقلال إضافية. الأوزان النسبية لمختلف الأهداف تم الحصول عليها باستخدام n(n-1)/2 مقارنات ثنائية والتي بنى على الطريقة التي اقترحها (ساتي، 1980؛ أنظر كذلك إشتاين مير وقدو، 1994). عندأخذ المخاطر في معامل الدالة الهدفية في الاعتبار فإنه يمكن عمل افتراضات تعتمد على تقريرات الانخفاض في أسعار بيع الخشب أو ارتفاع تكاليف الحساب. أحياناً تكون النتائج مرتبطة بمجموعة من المخاطر، بافتراض أن مجموعة المخاطر مرتبطة باحتمالية مهدد محدد. كمثال والذي قدمه (فالنير، 1987)؛ متوسط سعر الخشب لكتل الصنوبر ( $H_4$ ) تحت الظروف العادية 104.37dm بالметр المكعب بينما أن السعر للخشب المدمر بواسطة الرياح 61.43. بالنسبة لمجموعة مخاطر II فإن احتمالية الدمار افترضت أن تكون 20%. لذلك فإن المخاطر على مستوى الشجرة تساوي  $dm = 8.59dm - 61.43 / (104.43 - 61.43) = 0.2$  ، هذه المعلومات أو أخرى مشابهة لها (مأخوذة من ماي، 1999)، يمكن لهذه المعلومات أن تجعل تخطيط النشاط وعمل النماذج للسيناريو أكثر واقعية.

### المناقشة

إن المخاطر يمكن اعتبارها إما على شكل عقبة تحد من الخطر الكلي في فترة زمنية محددة أو يمكن تشبيهها كمحضى مستبعدين في ذلك خيارات مهددة معيينة في جدولة الحساب أو السيناريو. عند عمل خيارات للإدارة فإن تلك الآراء التي تعرف بأنها مرتبطة بمهدد عالي الفاعلية مثلاً مشاجر عالية الكثافة أو عمليات شلح مكثفة يمكن استبعادها. القوانين البنية على الخبرة والتي تستغل مؤشرات للثبات، مثل النسب بين الارتفاع والقطر، يمكن تطبيقها لاستبعاد الآراء المهددة. أكثر الطرق وضوحاً هي الأخذ في الاعتبار المهدد بأنه عامل تكلفة والذي يؤدي إلى نقصان القيمة لمعامل الدالة الهدفية. كلاً الطريقتين يbedo أنهما غير مستخدمتان في تخطيط الغابات. النماذج القديمة في تطور الغابة تبني أو تعتمد على عدد من السيناريوهات والتي تقييم إستراتيجيات

حساب الأخشاب البديلة وأثارها على مستقبل تنمية الموارد. ذلك العدد من السيناريوهات والمشتق من نماذج جدولة الحصاد مفید عندما تكون الأنشطة الغابية محدودة على عمليات الانتاج الخشبي، مثل القطع الكلي. وهذه محدودة الاستخدامات في الادارة الفنية حيث أن السيناريوهات تحتاج لها والتي يتحمل أن تضم عدد من الآثار البيئية والفوائد الاقتصادية والتي يمكن أخذها في الاعتبار في ذات الوقت. بالنسبة للعقبات فإن وحدات العمالة المتاحة أو ساعات الماكينات أو مساهمة المشاجر الصغيرة في حدها الأدنى والتي تكون مؤثرة جداً في امتصاص تربيات النيتروجين الفائض (روث وآخرون، 1999). بدرجة مهمة في سيناريو الغابة لأوسط أوربا في غابات البيبيتش (Beech) للنظام البيئي والتي تقوم بدور جاذب لتنمية الغابات. الشكل رقم (11.7) يوضح ذلك.



الشكل (11.7) : منظور تاريخي للنظام البيئي لغابات البيبيتش كمحرك (تراكتور) يؤثر على تطور الغابة (بالمر، 1994)

كانت جدولة الحصاد دائماً الموضوع المركزي في الادارة الفنية للغابات إلا أن سيناريو الحصاد ليس بالضرورة أن ينتج خطط ذات جدوی. الحجوم المقطوعة في غالب الأحوال يتم تحديدها وبشيء من الخيال. يفترض أن تكون متوفرة في الوقت الموصى به. تتأثر الغابات بمهددات عدّة، لا يمكن التحكم في الكثير منها. لضمان جدوی هذه السيناريوهات فإنه يجب التركيز على النماذج التي تتكون بمستقبل أنشطة إدارة الغابات، وأثار تلك الأنشطة على الموارد المطلوبة للموارد الأساسية. وكذلك المنتجات لبعض السلع المعنية والفوائد. على هذا الأساس فإن التقنية التي يتم اختيارها للتخطيط الحصاد وجدولة السيناريو يجب أن تكون متوافقة مع نوع الإدارة الفنية للغابات وكذلك الوضع في الاعتبار بعض المخاطر الفاعلة والبدائل المهددة.

- Aguirre, O., Hui, G. Y., Gadow, K. v. u. Jimenez, J., 2003: Comparative Analysis of Natural Forest Sites in Durango, Mexico. *Forest Ecology and Management* (im Druck).
- Aguirre, O., Kramer, H. u. Jiménez, J., 1998: Strukturuntersuchungen in einem Kiefern-Durchforstungsversuch Nordmexikos. AFZ 169 (12): 213-219.
- Akça, A., Gadow, K. v., Mench, A., Mann, P., Pahl, A. u. Setje-Eilers, U., 1994: Überprüfung des Formquotienten  $q_f$  ( $d_7/BHD$ ) in der Bundeswaldinventur für die Hauptbaumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer im landeseigenen Wald Nordrhein-Westfalens. Project report: 23 S.
- Albert, M., 1994: Erhebung von Strukturinformationen in einem Buchen-Edellaubholz Mischbestand. Diplomarbeit am Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde, Universität Göttingen. 109 p.
- Albert, M., 1997: Positionsabhängige Einzelbaummodellierung am Beispiel des Simulationsansatzes von Hasenauer. Unveröffentlichtes Manuskript, Institut für Forsteinrichtung u. Ertragskunde, Universität Göttingen: 6 S.
- Albert, M., 1998: Analyse der eingriffsbedingten Strukturveränderung und Durchforstungsmodellierung in Mischbeständen. Diss., Fak. f. Forstw. u. Waldökologie., Univ. Göttingen: 178 S.
- Albert, M., 1999: Analyse der eingriffsbedingten Strukturveränderung und Durchforstungsmodellierung in Mischbeständen. Dissertation, Universität Göttingen. Hainholz-Verlag, Band 6: 201 S (Gadow)
- Alder, D., 1980: Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Estudios FAO. Montes 22/2. Roma.
- Alisov, B. P., Drosdow, O. A. u. Rubinstein, E. S., 1956: Lehrbuch der Klimatologie. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Altherr, E., 1963: Untersuchungen über Schaftform, Berindung und Sortimentsanfall bei der Weißtanne. AFZ 134 (5/6): 140-151.
- Altherr, E., 1971: Wege zur Buchen-Starkholzproduktion. Bericht zur 15. Hauptversammlung des Baden-Württembergischen Forstvereins: 123-127.
- Alvarez, J.-G., 1997: Análisis y caracterización de las distribuciones diámetros de *Pinus Pinaster* Ait en Galicia. Diss. Univ. Santiago de Compostela.
- Amateis R. L., Burkhart H. E. u. Burk T. E., 1986. A ratio approach to predicting merchantable yields of unthinned loblolly pine plantations. For. Sci. 32: 187-296.
- Assmann, E. u. Franz, F., 1963: Vorläufige Fichtenertragstafel für Bayern. Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München. 2. Auflage 1972. 50 S.
- Assmann, E., 1953: Zur Bonitierung süddeutscher Fichtenbestände. AFZ 10: 61-64.
- Assmann, E., 1961: Waldertragskunde. Bayrischer Landwirtschaftsverlag, München.
- Atkins, P. W., 1987: Physikalische Chemie. Verlag VCH, Weinheim.
- Avery, T.E., Burkhart, H.E., 1994. Forest measurements, 4<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill.
- Badoux, E., 1939: De l'influence de divers modes et degrés d'éclaircie dans les Hетraies pures. Mitt. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Vers. Wesen 21: 59-146.
- Bailey R. L., 1980: Individual tree growth derived from diameter distribution models. For. Sci. 26: 626-632.
- Bailey, R. L. u. Dell, T. R., 1973: Quantifying diameter distributions with the Weibull function. For. Sci. 19: 97-104.
- Baker, J. B. u. Broadfoot, W. M., 1977: A practical field method for site evaluation for eight important Southern hardwoods. USDA For. Serv., Southern Forest Experiment Station, New Orleans, LA, Gen. Tech. Rep. SO-14.
- Ball, B.J., 1997: Fuel moisture prediction in homogeneous fuels using GIS and neural networks. AI Applications in Natural Resources, Agriculture and Environmental Science 11 (3): 73-78.
- Barros, O. and Weintraub, A., 1982: Planning for a vertically integrated forest industry. Operations research 30: 1168-1182.
- Bauhus, J. u. Bartsch, N., 1996: Fine-root growth in beech (*Fagus sylvatica*) forest gaps. Can. J. For. Res. 26: 2153-2159.
- Baur, F. v., 1881: Über Durchforstungen und Durchforstungsversuche in Ganhofer: Das Forstliche Versuchswesen Bd. II, Augsburg.
- Baur, F., 1877: Die Fichte in Bezug auf Ertrag, Zuwachs und Form. Berlin, 103 S.
- Becker, G. u. Seeling, U., 1998: Holzqualität der Fichte. AFZ 53. Jg. Nr. 8: S. 434 - 435.
- Beese, F., 1996: Indikatoren für eine multifunktionelle Waldnutzung. Forstw. Cbl. 115: 65-79.
- Bella, I. E., 1971: A New Competition Model for Individual Trees. For. Sci. 17 (3): 364-372.

- Bellman, R.E. 1954. The theory of dynamic programming. Bull. Amer. Math. Soc. 60:503-516.
- Bergel, D., 1985: Douglasien-Ertragstafel für Nordwestdeutschland. Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen. 72 S.
- Bergen, V., 1997: Volkswirtschaftslehre, Teil I. Lecture Notes, University of Göttingen: 62 pp.
- Bertalanffy, L. v., 1948: Quantitative laws in metabolism and growth. Quart. Rev. Biol. 32: 217-230.
- Biber, P., 1996: Konstruktion eines einzelbaumorientierten Wachstumssimulators für Fichten-Buchen-Mischbestände im Solling. Diss. Forstw. Fak. d. Ludwig-Maximilians-Univ. München: 239 S.
- Biederbick, K.-H., 1992: Die direkte Sonnenstrahlung als Standortfaktor. FA 63: 131-136.
- Biging, G. S. u. Dobbertin, M., 1992: A comparison of Distance-Dependent Competition Measures for Height and Basal Area Growth of Individual Conifer Trees. For. Sci. 38 (3): 695-720.
- Biging, G. S. u. Dobbertin, M., 1995: Evaluation of competition indices in Individual Tree Growth Models. For. Sci 41 (2): 360-337.
- Biging, G. S. u. Gill, S. J., 1997: Stochastic models for conifer tree crown profiles. For. Sci. 43(1): 25-33.
- Bolley, H., 1980: Oeuvre écrite. Supplement to the Zeitschrift des Schweizerischen Forstvereins, No. 66: 458 p.
- Blandon, P., 1985. Forest Economics and the Gentan Probability Distribution. J. Jap. For. Soc. 67 (12): 478-485.
- Bolte, A. et al., 2002: Beziehungen zwischen Bestandes- und Wurzelstruktur von Rein- und Mischbeständen aus Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.). Tagungsbericht der Sektionstagung Waldbau, 2002.
- Bonnemann, A., 1939: Der gleichaltrige Mischbestand von Kiefer und Buche. Mitt. a. Forstwirt. u. Forstwiss. (5): 439-483.
- Bonnemann, A., 1956: Eichen-Buchen-Mischbestände. AFJZ 127: 118-126.
- Bossel, H., 1992: Das Modell FORMIX.
- Bossel, H., 1994a: Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme. Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden. 402 S.
- Bossel, H., 1994b: TREEDYN3 Forest Simulation Model. Mathematical model, program documentation and simulation results. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 35. Göttingen. 118 S.
- Botkin, D. B., 1993: Forest Dynamics. An ecological model. Oxford University Press, New York. 309 S.
- Botkin, D. R., Janak, J.F. u. Wallis, J.R., 1972: Some ecological consequences of a computer model of forest growth. The Journal of Ecology 60: 849-872.
- Breitenbach, F. v., 1974: Southern Cape Forests and trees. The Government Printer, Pretoria: 328 p.
- Breymann, 1868: Anleitung zur Holzmesskunst, Waldertragsbestimmung und Waldwertberechnung. Wien.
- Brink, C. u. Gadow, K. v., 1986. On the use of growth and decay functions for modelling stem profiles. EDV in Medizin und Biologie 17(1/2): 20-27.
- Brodie, J.D., Adams, D.M. & Kao, C. 1978. Analysis of economic impacts on thinning and rotation for Douglas-fir, using dynamic programming. Forest Science 24(4): 513-522.
- Brokaw, N.V.L., 1982: The definition of treefall gap and its effect on measures of forest dynamics. Biotropica 14 (2): 158-160.
- Brouillet, L., Depierre, A., Demolis, C., Verdot, M., Preney, S., Latreille, C., Giovanini, J.-P., Herbert, I., Nicot, P., u. Allegrini, C., 1991: La Silviculture des Peuplements Réguliers de Hêtre en Franche-Comté - de la Régénération Naturelle à la Première Éclaircie. ONF Bulletin Technique Nr. 22: 9-42.
- Brown, G. S., 1965: Point density in stems per acre. Forestry Research Notes No. 38, New Zealand, 1965. 11 S.
- Bruchwald, A., Dudzinska, M. u. Wirowski, M., 1998: Model wzrostu dla lisciastych gatunkow drzew lesnych. Model wzrostu buka. Typescript in Forest Research Institute in Warsaw.

- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 1990: Bundeswaldinventur. Inventurbericht und Übersichtstabellen für das Bundesgebiet nach dem Gebietsstand vor dem 3.10.1990 einschließlich Berlin (West). Gitschel-Werbung, Hamburg.
- Buongiorno, J and Gilless, J.K, 1987. Forest Management and Economics. Macmillan, New York.
- Buongiorno, J and Michie, B.R, 1980. A matrix model of uneven-aged forest management. For. Sci. 26: 609-625.
- Burger, H., 1939a: Kronenaufbau gleichaltriger Nadelholzbestände. Mitt. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Vers. Wesen 21: 5-58.
- Burger, H., 1939b: Baumkrone und Zuwachs in zwei hiebsreifen Fichtenbeständen. Mitt. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Vers. Wesen 21: 147-176.
- Burkhart, H. E., 1987: Data collection and modelling approaches for forest growth and yield prediction. In: Predicting Forest Growth and Yield - Current Issues, Future Prospects. Inst. of Forest Resources. Univ. of Washington. Contribution Nr. 58: 3-16.
- Büttner, V. u. Leuschner, C., 1994: Spatial and temporal patterns of fine root abundance in a mixed oak beech forest. For. Ecol. Manag. 70: 11-21.
- Cajander, A. K., 1909: Über Waldtypen. Acta For. Fenn. 1 (1):1-175. Helsingfors.
- Cajander, A. K., 1926: The theory of forest types. Acta For. Fenn. 29 (3): 1-108.
- Cao, Q.V., Burkhart, H.E. u. Lemkin, Jr., 1982: Diameter distributions and yields of thinned loblolly pine plantations. VPI & SU, Sch. For. & Wildl. Resour. Publ FWS-1-82 62p.
- Caronnier, C., 1971: Yield of beech in Southern Sweden. Studia Forestalia Suecica Nr. 91. Royal College of Forestry, Stockholm, 89 S.
- Carcea, 1986: Determination of the forest's allowable cut in various countries of the world. IUFRO document, Inst. de Cercetari si amenajari silvice, Romania: 268 p.
- Carlyle, J. C., 1986: Nitrogen cycling in forested ecosystems. For. Abstracts 47: 307-336.
- Carmean, W. H., 1973: Forest Soils Bibliography for the North Central Region. USDA For. Serv. Tech. Rep. NC-5.
- Černý, M., Parez, J. u. Malik, Z., 1996: Rustové a taxační tabulky hlavních drevin. Ministerstva zemedelství.
- Chang, S.J., 1998: A generalized Faustmann model for the determination of optimal harvest age. Can. J. For. Res. 28: 652-659.
- Chen, S.-J. u. Hwang, C.-L., 1992: Fuzzy multiple attribute decision making - methods and applications. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol. 375. Springer Verlag.
- Chikumbo, O., Mareels, I. M. Y. u. Turner, B. J., 1992: Integrating the Weibull into a dynamic model to predict future diameter distributions. In: Wood G.B. u. Turner, B.J., 1992: Integrating forest information over space and time. Proc. IUFRO Conf., Australian National Univ., Canberra: 94-102.
- Chroust, L., 1968: Das Temperaturregime in verschiedenen durchforsteten Eichen-Stangenhölzern. AFJZ 139: 163-173.
- Chung, D.-J., 1996: Konkurrenzverhältnisse und Struktur natürlicher *Pinus densiflora* - *Quercus variabilis* - Mischwälder in Korea. Diss. Fak. f. Forstw. u. Waldökologie, Universität Göttingen.
- Clark, P. J. u. Evans, F. C., 1954: Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. Ecology 35, 445-453.
- Clutter, J. L. u. Jones, E. P., 1980: Prediction of Growth after Thinning in Old-Field Slash Pine Plantations. USDA For. Serv. Res. Paper 217 S.
- Clutter, J. L., 1980: Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. For. Sci. 26(1): 117-120.
- Clutter, J. L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H. u. Bailey, R.L., 1983: Timber management - a quantitative approach. John Wiley: 333 p.
- Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H. u. Bailey, R.L., 1983: Timber Management - A Quantitative Approach. Wiley. S.238-252.
- Colin, F. u. Houllier, F., 1991: Branchiness of Norway spruce in north-eastern France: modelling vertical trends in maximum nodal branch size. Annales des Sciences Forestieres 48: S. 679 - 693.

- Colin, F. u. Houllier, F., 1992: Branchiness of Norway spruce in north-eastern France: predicting the main crown characteristics from usual tree measurements. Annales des Sciences Forestieres 49: S. 511 - 538.
- Corral Rivas, J.J., Álvarez González, J. G., Ruiz González, A. D. u. Gadow, K. v., 2003: Compatible height and site index models for five pine species in El Salto, Durango (Mexico). Im Druck.
- Cotta, H., 1804 : Systematische Anleitung zur Taxation der Waldungen. Sander, Berlin.
- Courbaud, B., 1995: Modélisation de la croissance en forêt irrégulière, - perspectives pour les pessières irrégulières de montagne. Rev. For. Fr. XLVII No. sp.: 173.
- Coutts, M. P., 1983: Root architektur and tree stability. Plant and Soil 56; 171-188. Cowley, J. M., 1975: Diffraction Physics. North Holland.
- Craig, I.J., 1939: Thinning, Pruning and management studies on the main exotic conifers grown in South Africa. Govt. Printer, Pretoria.
- Daniels, R. F., 1976: Simple Competition Indices and Their Correlation with Annual Loblolly Pine Tree Growth. Forest Science 22(4): 454-456.
- Degenhardt, A., 1995: Analyse der Entwicklung von Bestandesstrukturen mit Hilfe des Modells der zufälligen Punktprozesse in der Ebene. Tagungsbericht, Dt. Verb. Forstl. Forschungsanstalten - Sektion Biometrie u. Informatik, 8.-10.9.93 in Freising: 93-105.
- Demmerschall, J. P., 1973: Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. Can. J. For. Res. 3 (1): 90-94.
- Dengler, A., 1982: Waldbau auf ökologischer Grundlage. Bearbeitet von E. Röhrig und H. A. Gussone. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 275 S.
- Dhôte, J. F., 1996: A model of even-aged beech stands productivity with process-based interpretations. Ann. Sc. For. 53, 1-20.
- Dittmar, O., Knapp, E. u. Lembcke, G., 1986: DDR-Buchenertragstafel 1983. IFE-Berichte.
- Döbbeler, H. u. Spellmann, H., 2002: Methodological approach to simulate and evaluate silvicultural treatments under climate change. FwCbl. 121, Supplement 1, 52-69.
- Dralle, K., 1997: Locating trees by digital image processing of aerial photos. Dina Research Rapport No. 58: 116 p.
- Drexhage, M., 1994: Die Wurzelentwicklung 40 jähriger Fichten (*Picea abies* [L.]) in der Langen Bramke (Harz). Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Band 111, Göttingen.
- Dreyfus, Ph. and Bonnet, F.-R., 1995: CAPSIS – Logiciel de simulation de conduites sylvicoles. Rev. For. Fr. XLVII, No sp: 111-115.
- Dunkel, K., Elsasser, P., Oesten, G. u. Roeder, A., 1994: Wertschätzung des Waldes aus der Sicht der Waldbesucher - Ergebnisse einer Zielgebietbefragung im Pfälzerwald. Mitt. d. Forstl. Vers. Anst. Rheinld-Pfalz 27/94: 1-72.
- Dykstra, D.P., 1984: Mathematical programming for natural resource management. McGraw-Hill, New York: 318 p.
- Eberhard, J., 1902: Tafeln zur Bonitierung und Ertragsbestimmung nach Mittelhöhen [Höhen-Ertragskurven] für Tanne, Fichte, Forche, Buche und Eiche. Selbstverl. d. Ver.
- Eichhorn, F., 1904: Beziehungen zwischen Bestandeshöhe und Bestandesmasse. AFJZ 80: 45-49.
- Eichhorn, J., 1992: Wurzeluntersuchungen an sturmgeworfenen Bäumen in Hessen. Forst und Holz 47(18); 555-559.
- Eid, T., 1993: Models for economical forest management planning in Norway. Proc. Symp. Modelling in forest management planning and managerial economics - a critical investigation. Lithuanian Agricultural Academy: 35-43.
- Ek, A. R. u. Monserud, R. A., 1974: Trials with program Forest: Growth and reproduction simulation for mixed species even- or uneven-aged forest stands. In: Fries, J. (ed.): Growth models for tree and stand simulation, Royal Collge of Forestry, Research Notes, Nr. 30: 56-73.
- Ekö, P.M. u. Ågestam, E., 1994: A comparison of naturally regenerated and planted Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on fertile sites in southern Sweden. For. u. Landsc. Res. 1:III-126.
- Ellenberg, H., 1982: Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojekts: 1966-1986. Verlag Ulmer. Stuttgart. 507 S.

- Ellenberg, H., 1996: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. 6. Auflage. Ulmer, Stuttgart.
- Ellenberg, H., Weber, H. E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. u. Paulissen, D., 1991: Zeigerwerte von Pflanzen Mitteleuropas. Scripta Geobotanica XVIII. Goltze, Göttingen.
- Evers, F. H. u. Moosmayer, H.-U., 1980: Zusammenhänge zwischen Standorteinheiten, Nährstoffverhältnissen des Bodens und Wachstum von Fichtenbeständen im regionalen Vergleich. FwCbl 99: 137-146.
- Eyre, F.H., 1980: Forest cover types of the US and Canada. Soc. Am. For., Washington D.C.
- Faber, R. J., 1987: The Japanese Larch in the Netherlands - a new growth prediction. Ned. Bosbouwtijdschrift 59 (1/2): 13-27.
- Fähser, L., 1998: Naturnahe Waldnutzung – das Beispiel Lübeck. Handbuch Kommunale Politik Raabe: S. 1-17.
- Falinski, J. B., 1988: Succession, regeneration and fluctuation in the Białowieża Forest. Vegetatio 77: 115-128.
- FAO, 1997: State of the World's Forests. Rom.
- FAO, 2001: Global Forest Resources Assessment – Main Report, Rom.
- Fehrmann, L., Kuhr, M. u. Gadaw, K. v., 2003: Zur Analyse der Grobwurzelsysteme großer Waldbäume an Fichte [*Picea abies* (L.) Karst.] und Buche [*Fagus sylvatica*]. Forstachiv 74 (3): 96-102.
- Fiedler, H. J., Nebe, W. u. Hoffmann, F., 1973: Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. Verlag G. Fischer, Jena.
- Figueiredo-Filho, A., Borders, B.E. u. Hitch, K.L., 1996. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in Southern Brazil. Forest Ecology and Management 83: 39-46.
- Flury, Ph., 1929: Über den Aufbau des Plenterwaldes. Mitteilungen der schweizerischen Centralanstalt für das Versuchswesen, Band 15: 305-357.
- Fogel, R., 1983: Root turnover and productivity of coniferous forests. Plant and soil 71: 75-85.
- FORPLAN, 1986: FORPLAN - An evaluation of a forest planning tool. USDA Gen Techn Rep RM-140: 164pp.
- FORPLAN, 1986: FORPLAN - An evaluation of a forest planning tool. USDA Gen Techn Rep RM-140: 164pp.
- Forslund, R. R., 1982: A geometrical tree volume model based on the location of center of gravity of the bole. Can. J. For. Res. 12: 215-221.
- Forss, E., 1994: Das Wachstum der Baumart *Acacia mangium* in Südkalimantan, Indonesien. Magister Diss., Forstw. Fak., Univ. Göttingen, 87 S.
- Forss, E., Gadaw, K. v. u. Saborowski, J., 1996: Growth models for unthinned *Acacia mangium* plantations in South Kalimantan, Indonesia. J. of Trop. For. Sci. 8 (4): 449-462.
- Franz F., Bachler J., Deckelmann B., Kennel E., Kennel R., Schmidt A. u. Wotschikowski U., 1973: Bayrische Waldinventur 1970/71 - Aufnahme und Auswertungsverfahren. Forstl. Forschungsanstalt München. Forschungsbericht Nr. 11.
- Franz, F., 1972: Ertragskundliche Prognosemodelle. FwCbl 91: 65-80.
- Frauendorfer, 1959: Fichtenertragstafel. In: Marschall, J., 1975: Hilfstafeln für die Forsteinrichtung. Österr. Forstverein, 2. Aufl., Wien.
- Freist, H., 1962: Untersuchungen über den Lichtungszuwachs der Rotbuche und seine Ausnutzung im Forstbetrieb. Forstwiss. Forschungen Nr. 17. Paul Parey, Berlin.
- Fritz, H. W., 1999: Feinwurzel-Verteilung, -Vitalität, -Produktion und -Umsatz von Fichten (*Picea abies*[L.] Karst.) auf unterschiedlich versauerten Standorten (ein Beitrag zur ökosystemorientierten Waldschadensforschung). Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Band 165, Göttingen.
- Früh, T., 1992: C-Bilanz auf der Basis der Pipe-Modell-Theorie, Produktionsmodell. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme (Göttingen), Band 31: 355-367.
- Fujimori, T. u. Kiyono, Y., 1986: Dynamics of crown structure and effects of crown control on tree growth in *Cryptomeria japonica*. In Fujimori, T. u. Whitehead (eds). Crown and canopy structure in relation to productivity. Published by the Forestry and Forest Products Institute, Ibaraki, Japan, pp. 243-262. ISBN 4-9900058-1-3.
- Füldner, K. u. Gadaw, K. v., 1994: How to Define a Thinning in a Mixed Deciduous Beech Forest. Proc. IUFRO Conference in Lousa, Portugal: Mixed stands - research plots, measurements and results, models, 1994: 31-42.

- Füldner, K., 1995: Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern. Diss., Fak. f. Forstw. u. Waldökologie, Universität Göttingen. Cuvillier Verlag, 146 S.
- Gadow, K. v. and Bredenkamp, B., 1992: Forest Management. Academica, Pretoria.
- Gadow, K. v. and Hui, G.Y., 1999: Modelling forest development. *Kluwer Academic Publisher*, Dordrecht: 213 S.
- Gadow, K. v. u. Heydecke, H., 2000: Wachstum und Durchforstung in einem Buchenmischbestand. *Forst und Holz* 56 (3): 86-88.
- Gadow, K. v. u. Hui, G. Y., 1993: Stammzahlentwicklung und potentielle Bestandesdichte bei *Cunninghamia lanceolata*. Cbl. ges. Forstw. 110 (2): 41-48.
- Gadow, K. v. u. Hui, G. Y., 1998: Modelling forest development. Kluwer Academic Publishers: 213 p.
- Gadow, K. v. u. Postoli, A., 1998: Waldwachstum: Modelle der Waldentwicklung. Skript aus dem Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde. Georg-August-Universität Göttingen, 201 S.
- Gadow, K. v. u. Schmidt, M., 1998: Periodische Inventuren und Eingriffsinventuren. *Forst und Holz*, 22, 667-671.
- Gadow, K. v. u. Stüber, V., 1994: Die Inventuren der Forsteinrichtung. *Forst und Holz* 49 (5): 129-131.
- Gadow, K. v., 1984: The relationship between diameter and diameter increment in *Pinus patula*. Proceedings of the IUFRO Conference "Site and Productivity of Fast-growing Plantations", held at Pretoria 1984, Vol. 2: 741-751.
- Gadow, K. v., 1987: Untersuchungen zur Konstruktion von Wuchsmodellen für schnellwüchsige Plantagenbaumarten. Forstl. Forschungsberichte, Universität München Nr. 77: 147 S.
- Gadow, K. v., 1992: Ein Wachstums- und Ertragsmodell für die Fortschreibung von Bestandesparametern. In: Preuhlsler, T., Röhle, H., Utschig, H. u. Bachmann, M. (Hrsg.): Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Franz; Lehrstuhl f. Waldwachstumskunde, Universität München: 75-83.
- Gadow, K. v., 1996: Modelling growth in managed forests - realism and limits of lumping. *The Science of the Total Environment* 183: 167-177.
- Gadow, K. v., Heydecke, H. u. Riemer, Th., 1996: Zur Beschreibung der Schaftprofile stehender Waldbäume. Festschrift A. Akça, Inst. f. Forsteinrichtung u. Ertragskunde, Universität Göttingen: 31-44.
- Gadow, K. v., Hui, G.Y. u. Albert, M., 1998: Das Winkelmaß - ein Strukturparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen. Cbl. ges. Forstw. 115: 1-10.
- Gaffrey, D., 1988: Forstamts- und bestandesindividuelles Sortimentierungsprogramm als Mittel zur Planung, Aushaltung und Simulation. Diplomarbeit, Fachbereich Forstwissenschaft, Universität Göttingen.
- Gaffrey, D., 1996: Sortenorientiertes Bestandeswachstums-Simulationsmodell auf der Basis intraspezifischen, konkurrenzbedingten Einzelbaumwachstums-insbesondere hinsichtlich des Durchmessers- am Beispiel der Douglasie. Diss. Forschungszentrum Waldökosysteme d. Uni. Göttingen: 413 p.
- García, O., 1988: Experience with an advanced growth modelling methodology. In: Ek, A.R., Shifley, S.R. u. Burke, T.E. (eds): Forest growth modelling and prediction. USDA For. Serv. Gen. Techn. Rep. NC-120: 668-675.
- García, O., 1990: Linear programming and related approaches in forest planning. *N. Zealand J. of For. Science* 20 (3): 307-331.
- Garcia, O., 1994: The state space approach in growth modelling. *Can. J. For. Res.* 24: 1894-1903.
- Gates, D. M., 1980: Biophysical ecology. Springer Verlag, New York.
- Gatzojannis, S., 1999: Yield tables for beech stands in the forest A. Brontou Serres Prefecture, N. Greece (in Griechisch). *ΔΑΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ*, 12: 91-104.
- Gehrhardt, E., 1930: Ertragstafeln für reine und gleichartige Hochwaldbestände von Eiche, Buche, Tanne, Fichte, Kiefer, grüner Douglasie und Lärche. 2. Aufl. Julius Springer Verlag.
- Gehrhardt, E., 1930: Ertragstafeln für reine und gleichaltrige Hochwaldbestände von Eiche, Buche, Tanne, Fichte, Kiefer, grüner Douglasie und Lärche. 2. Aufl. Julius Springer Verlag. 73 S.
- Gehrke, J. T., Schlaghamersky, A. u. Sterzik, H. K., 1992: Tragfähigkeit und Befahrbarkeit von Waldböden. *FuH* 8: 205-207.

- Gehrman, D., 1975: Die Bewertung des Windwurfrisikos der Fichte auf verschiedenen Standortstypen. Mitt. d. Hess. Landesforstverwaltung, No 12.
- Gehrman, J., 1984: Einfluss von Bodenversauerung und Kalkung auf die Entwicklung von Buchenverjüngungen im Wald. Bericht des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben 1.
- Gerold, D., 1990: Modellierung des Wachstums von Waldbeständen auf der Basis der Durchmesserstruktur. Dissertation, B. TU Dresden.
- Gerrard, D. J., 1969: Competition quotient - a new measure of the competition affecting individual forest trees. Mich. State Univ. Agr. Exp. Stn. Res. Bull. No. 20.
- Giurgiu, V., Decei, I. u. Armasescu, S., 1972: Biometria arborilor ,si arboretelor din România : Tabele dendrometrice. Ceres Verlag, 1154 S.
- Golser, M. u. Hasenauer, H., 1997: Predicting juvenile tree height growth in uneven-aged mixed species stands in Austria. For. Ecol. And Mgmt 97: 133-146.
- Göttsche, D., 1972: Verteilung von Feinwurzeln und Mykorrhizen im Bodenprofil eines Buchen- und Fichtenbestandes im Solling. Mitt. Bundesforschungsanstalt f. Forst- u. Holzwirtschaft 88: 102 S.
- Goulding, C. J., 1972: Simulation technique for a stochastic model of growth of Douglas-fir. Ph. D. thesis. Univ. of Brit. Col. Vancouver. 185 S.
- Grace, J. C. u. Pont, D., 1997: Modelling Branch Development in Radiata Pine. In: Amaro, A., Tomé, M. (ed.), Empirical and process-based models for forest tree and stand growth simulation, 21-27 September 1997, Oeiras, Portugal: S. 173-184.
- Grammel, R., 1989: Forstbenutzung. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin: 193 S.
- Gregar, T., 1992: Flora und Vegetation des Schlitzerlandes. Diss. TU Berlin. 462 S.
- Gregoire, T. G., Valentine, H. T. u. Furnival, G. M., 1986: Estimation of bole volume by importance sampling. Can. J. For. Res. 16: 554-557.
- Griesel, F. and Gadow, K.v., 1995: Naturgemäßer - naturnaher - ökologischer Waldbau - Begriffsbestimmungen, Konzepte und Richtlinien, Anwendungsbeispiele. Internal report, Institute of Forsteinrichtung, Univ. of Göttingen: 20pp.
- Groll, M., 1996: Boden-, Bestandes- und Wurzelschäden beim Einsatz eines Harvestersystems. Forst und Holz, 12: 409.
- Gruber, F., 1992: Dynamik und Regeneration der Gehölze. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Band 86, Göttingen.
- Grundner, F. u. Schwappach,A., 1942: Massentafeln zur Bestimmung des Holzgehaltes stehender Waldbäume und Waldbestände. 9. Auflage, Berlin.
- Grundner, F., 1904: Untersuchungen im Buchenhochwalde über Wachstumsgang und Massenertrag. Berlin.
- Gualdi, V., 1974: Ricerche auxometriche sulle fagete del Gargano. L'Italia Forestale e Montana. 29:85-116.
- Guay, R., Gauthier, L. and Lacroix, M., 1992: An abductive reasoning expert system shell for plant disorder diagnosis. AI Applications in Natural Resources, Agriculture and Environmental Science 6 (4): 15-28.
- Gundersen, P., 1995: Impacts of nitrogen deposition - scientific background. UN ECE Convention on Long Range Transboundary Air Pollution. Annual Synoptic Report: 9-18.
- Gurjanov, M.; Sánchez Orois, S. u. Schröder, J. 2000: Grundflächenmodelle für gleichaltrige Fichtenreinbestände - Eine vergleichende Analyse. Cbl. ges. Forstwes. 117. Jahrgang (2000). Heft 3/4, S.187-198.
- Häckel, H., 1993: Meteorologie. Verlag Ulmer, Stuttgart. 402 S.
- Hafley, W. L. u. Schreuder, H. T., 1977: Statistical distributions for fitting diameter and height data in even-aged stands. Canadian Journal of Forest Research 7: 481-487.
- Hagglund, B., 1981: Evaluation of forest site productivity. Review article. For. Abstr. 42(11): 515-527.
- Hahn, J. T. u. Leary, R. A., 1979: Potential diameter growth functions. In: A generalized forest growth projection system applied to the lake states region. USDA For. Serv., Gen. Tech. Rep. NC-49: 22-26.
- Haith, D. A., Tubbs, L. J. u. Pickering, N. B., 1984: Simulation of pollution by erosion and soil nutrient loss. Pudoc. Centre for Agriculture Publishing and Documentation, Wageningen.
- Hakes, W., 1994: On the predictive power of numerical and Braun-Blanquet classification: an example from beechwoods. Journal of Vegetation Science 5: 153-160.
- Halaj, J. u. Petrás, R., 1998: Rastové tabuľky hlavných drevín. SAP – Slovac Academic Press, Bratislava.
- Hamilton, D.B., 1989: Accumulating evidence of avian botulism risk using certainty factors. AI Applications in Natural Resources, Agriculture and Environmental Science 3 (1): 1-10.

- Hamilton, G. J. u. Christie, J. M., 1971: Forest Management Tables (Metric). Her Majesty's stationary office.
- Hamilton, G. J. u. Christie, J. M., 1971: Forest management tables (metrics). For. Comm. booklet n° 34. London: 32p.
- Hänninen, H., 1990: Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions. *Acta Forestalia Fennica*: 47 S.
- Hansen, G.D., 1987: Effects of diameter distribution on the growth of northern hardwoods. *Can. J. For. Res.* 17 (1).
- Hapla, F., 1986: Beeinflussen unterschiedliche Durchforstungsmaßnahmen die Holzeigenschaften der Douglasic? *Forstarchiv* 57. Jg. Nr. 3: S. 99-104.
- Hartig, G.L., 1795: Anweisung zur Taxation der Forste, oder zur Bestimmung des Holzertrags der Wälder. Heyer, Gießen.
- Hartig, R., 1868: Die Rentabilität der Fichtennutzholz- und Buchenbrennholzwirtschaft im Harze und im Wesergebirge. Stuttgart.
- Hartig, Th., 1847: Vergleichende Untersuchungen über den Ertrag der Rotbuche. Verlag Albert Förstner, Berlin.
- Hartig, Th., 1847: Vergleichende Untersuchungen über den Ertrag der Rotbuche. Verlag Albert Förstner. Berlin.
- Hasenauer, H. u. Monserud, R. A., 1997: Biased predictions for tree height increment models developed from smoothed data. *Ecol. Modelling* 98: 13-22.
- Hasenauer, H., 1994: Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-, Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. *Forstl. Schriftenreihe d. Universität f. Bodenkultur, Wien*, Bd. 8: 152 S.
- Hasenauer, H., Moser, M. u. Eckmüllner, O., 1994: Programmbeschreibung. Distanzabhängiger Wachstumssimulator für Mischbestände, MOSES 2.0. Inst. f. Waldwachstumsforschung, Universität f. Bodenkultur, Wien: 36 S.
- Hasenauer, H., Moser, M. u. Eckmüllner, O., 1994: Programmbeschreibung. Distanzabhängiger Wachstumssimulator für Mischbestände, MOSES 2.0. Inst. f. Waldwachstumsforschung, Universität f. Bodenkultur, Wien: 36 S.
- Hasenauer, H., Moser, M. u. Eckmüllner, O., 1995: MOSES - a computer simulation program for modelling stand response. In: Pinto da Costa, M.E. and T. Preuhsler (eds.): Mixed stands, research plots, and results, models. Inst. Sup. De Agronomia, Univ. Tecnica de Lisboa, Portugal.
- Hauhs, M., Rost-Siebert, K., Kastner-Maresch, A. u. Lange, H., 1993: A New Model Relating Forest Growth to Input and Output Fluxes of Energy and Matter of the Corresponding Ecosystem (TRAGIC). Final Report of Project EV4V-0032-D(B), Faculty of Forestry, Univ. of Göttingen.
- Hegyi, F., 1974: A simulation model for managing jack-pine stands. 74-76p in Growth models for tree and stand simulation, Fries, J. (ed.). Royal Coll. of For., Stockholm.
- Heinrich, D. u. Hergt, M., 1990: dtv-Atlas zur Ökologie. Deutscher Taschenbuchverlag, München. 283 S.
- Helliwell, R., 1993: Newsletter 4. Continuous Cover Forestry Group, UK.
- Henderson, G. S., Hammer, R. D. u. Grigal, D. F., 1990: Can measurable soil properties be integrated into a framework for characterizing forest productivity? In: Gessel, S. P., Lacate, D. S., Weetman, G. F. and Powers, R. F. (eds): Sustained productivity of forest soils. Proc. 7th North Am. Forest soils conf. Vancouver: 137-154.
- Hendriks, C. M. A. u. Bianchi, F. J. J. A., 1995: Root density and root biomass in pure and mixed forests of Douglas fir and beech. *Netherlands Journal of agricultural Science* 43, 3: 321-331.
- Hengst, E., 1959: Allgemeine Bemerkungen zur Weihmoothkiefer und ihrer Form. *Archiv für Forstwesen* 8: 781-811.
- Hertel, D., 1999: Das Feinwurzelsystem von Rein- und Mischbeständen der Rotbuche: Struktur, Dynamik und interspezifische Konkurrenz. *Diss. Bot.* 317: 190 S.

- Hertstein, U. u. Jäger, H. J., 1995: Wirkungen der sich ändernden Atmosphäre (CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, verstärkte UV-Strahlung) auf die Vegetation. In: Klimaänderungen und Naturschutz. Angewandte Landschaftsökologie, Heft 4. Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg.
- Hessen, 1993: Richtlinien für die Bewirtschaftung des Staatswaldes (RIBES 93). Hrsg.: Ministerium für Landesentwicklung, Wohnen, Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz. 19 S.
- Hessenmüller, D., 2001: Modelle zur Wachstums- und Durchforstungssimulation im Göttinger Kalkbuchenwald. Diss., Fak. f. Forstw. u. Waldökologie, Universität Göttingen. Logos Verlag, Berlin, 163 S.
- Hessische Forsteinrichtungsanstalt, 1985: Hessische Anweisung zu Forsteinrichtungsarbeiten (HAFEA). Staatsanzeiger für das Land Hessen Nr. 32.
- Hobbelstad, K. and Hofstad, O., 1988: AVVIRK-3, a model for long-term forest planning. Med. Norsk Institutt for Skogsforskning 41.35: 504-516.
- Hoen, H., 1996: Forestry Scenario Modelling for Economic Analysis - experiences using the GAYA-JLP model. In: Päivinen, R., Roihuvuo, L. and Siiton, M., (eds) 1996: Large-scale forestry scenario models - experiences and requirements. European Forest Institute, EFI Proceedings No. 5: 79-88.
- Hoffmann, Ch., 1994: Unsicherheit und Risiko, Risikoanalyse und Risikomanagement. Allg. Forst- u. Jagdztg. 165 (12): 213-221.
- Hoganson, H.M. and Rose, D.W., 1984: A simulation approach for optimal timber management scheduling. For. Sci. 30 (1): 200-238.
- Hoganson, H.M., 1996: Using Dtran for the Minnesota GEIS. In: Päivinen, R., Roihuvuo, L. and Siiton, M., (eds) 1996: Large-scale forestry scenario models - experiences and requirements. European Forest Institute, EFI Proceedings No. 5: 143-152.
- Hollenstein, K., 1997: Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken. Hochschulverlag AG der ETH Zürich: 191 p.
- Holmes, M. J. u. Reed, D. D., 1991: Competition Indices for Mixed Species Northern Hardwoods. Forest Science 37(5): 1338-1349.
- Hubbell, S. P., 2001: The unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography. Princeton University Press. Princeton u. Oxford: 375 S.
- Hui, G. H. u. Hu Y. B., 2001: Measuring species spatial segregation in mixed forest. Forest Research. 14(1):23-27.
- Hui, G. Y. u. Gadow, K. v., 1993a: Zur Entwicklung von Einheitshöhenkurven am Beispiel der Baumart *Cunninghamia lanceolata*. AFJZ 164: 218-220.
- Hui, G. Y. u. Gadow, K. v., 1993b: Zur Modellierung des Oberhöhenwachstums bei *Cunninghamia lanceolata*. FA 64: 311-313.
- Hui, G. Y. u. Gadow, K. v., 1993c: Zur Modellierung der Bestandesgrundflächenentwicklung - dargestellt am Beispiel der Baumart *Cunninghamia lanceolata*. AFJZ 164: 144-149.
- Hui, G. Y. u. Gadow, K. v., 1996: Ein neuer Ansatz zur Modellierung von Durchmesserverteilungen. Cbl. ges. Forstw. 113 (3/4): 101-113.
- Hui, G. Y. u. Gadow, K. v., 1997: Entwicklung und Erprobung eines Einheitsschaftmodells für die Baumart *Cunninghamia lanceolata*. FwCbl. 116: 315-321.
- Husch, B., Miller, C.I. u. Beers, T.W., 1982: Forest Mensuration. John Wiley & Sons.
- Hussein, K. A., 2001: Parameter-parsimonious models for crown and stem profiles. Diss. Univ. of Göttingen: 118 p.
- Hussein, K. A., Albert, M. u. Gadow, K. v., 2000: The crown window- a simple device for measuring tree crowns. FwCbl. 119: 43-50.
- Hutchison, A. u. Matt, D. R., 1977: The distribution of solar radiation within a deciduous forest. Ecol. Monogr. 47: 185-207.
- Hyink, D. M., 1979: A generalized method for the projection of diameter distributions applied to uneven-aged forest stands. Unpublished Ph. Diss., Purdue University. 161 S.

- Hyink, D. M., 1980: Diameter distributions approaches to growth and yield modelling. Proceedings of a Workshop on Forecasting stand dynamic. Lakehead University, Thunder Bay, Ontario, June 24-25.
- Hyink, D. M., u. Moser, J. W., 1983: A generalized framework for projecting forest yield and stand structure using diameter distributions. *For. Sci.* 29 (1): 85-95.
- Itô, H., Sumida, A., Isagi, Y. u. Kamo, K., 1997: The crown shape of an evergreen Oak, *Quercus glauca*, in a hardwood community. *J. For. Res.* 2, 85-88.
- Jack, W. H., 1967: Single tree sampling in even-aged plantations for survey and experimentation. IUFRO-Tagungsband, Sektion 25, München, S. 379-403.
- Jäde, K., 1995: Ein Algorithmus zur quantitativen Beschreibung der Kronenstruktur von Nadelbäumen. Diplomarbeit. Inst. f. Numerische u. Angewandte Mathematik (unter Mitwirkung d. Inst. f. Forsteinrichtung u. Ertragskunde) Universität Göttingen: 91 S.
- Jansen, J. J., Sevenster, J. u. Faber, P. J., 1996: Opbrengsttabellen voor belangrijke boomsoorten in Nederland. Hinkeloord Report Nr. 17, Landbouwuniversiteit Wageningen: 202 S.
- Jansen, J.J., 1996: Opbrengsttabel voor de beuk (*Fagus sylvatica*) in Nederland – een OPTAB – modificatie door middel van empirische simulatie, gebaseerd op proefperken uit Noord-Duitsland en Zuid-Zweden. Hinkeloord report No. 16, Landbouwuniversiteit Wageningen: 36 p.
- Jansen, M. u. Martin, G., 1995: Anwendung des Bestandessimulationsmodells TREEDYN3 auf die Fichten-Versuchsfäche Solling F1. Berichte d. Forschungszentrums Waldökosysteme d. Universität Göttingen, Reihe B, Bd. 45: 1-79.
- Jensen, M. u. Hofmann, G., 1997: Entwicklungszyklen des baltischen Buchenwaldes. AFZ/Der Wald 19: 1012-1018.
- Jenssen, M. u. Hofmann, G., 2002: Pflanzenartenvielfalt, Naturnähe und ökologischer Waldumbau. AFZ/Der Wald 8/2002: 402-405.
- Johnson, K.N. and Scheurman, H.L., 1977: Techniques for prescribing optimal timber harvest investment under different objectives – discussion and synthesis. *For. Sci. Monograph* 18.
- Kahn, M., 1994: Modellierung der Höhenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort. Dissertation, Forstwissenschaftliche Fakultät, Universität München.
- Kahn, M., 1995: Quasikausale Modellierung des Standort-Leistungsbezuges als Voraussetzung zum Aufbau flexibler Mischbestands-Modelle. Forstwissenschaftliches Centralblatt 114: 175-187.
- Kallio, M., Propol, A. and Seppälä, R., 1981: A model for the forest sector. In Dantzig, G.B., Dempster, M.A.H. and Kallio, M.J. (ed): Large scale linear programming. Internat. Inst. for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria: 1055-1100.
- Kändler, G., 1986: Ermittlung von Bestandesparametern als Eingangsgrößen für Interzeptionsmodelle mit Hilfe aerophotogrammetrischer Verfahren. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 127.
- Kärkkäinen, M. 1980. Grading of pine sawlog stems. *Comm. Inst. For. Fenn.* 96(5): 1 - 152. (In Finnish with English summary.)
- Kassier, H. W., 1993: Dynamics of Diameter and Height Distributions in Commercial Timber Plantations, PhD dissertation, Faculty of Forestry, Univ. of Stellenbosch, South Africa.
- Kassier, HW, 1976. 'n Oorsig van beplanning en beplanningstegnieke in die bosbou met spesiale verwysing na oesre%ooling. Unpublished MSc thesis, University of Stellenbosch.
- Keller, W., 1978: Einfacher ertragskundlicher Bonitätsschlüssel für Waldbestände in der Schweiz. Mitt. d. Eidgen. Anst. f. d. Versuchswesen, Bd. 54 (1): 1-98.
- Kellomäki, and Peltola, 1998: Silvicultural strategies for predicting damage to forests from wind, fire and snow. *Res. Note* 73, Faculty of Forestry, Univ. Joensuu.
- Kellomäki, S. u. Kurttio, O., 1991: A model for the structural development of a Scots pine crown based on modular growth. *Forest Ecology and Management* 43: 103-123.
- Kellomäki, S. u. Strandman, H., 1995: A model for the structural growth of young Scots pine crowns based on light interception by shoots. *Ecological Modelling* 80: 237-250.

- Kellomäki, S., 1986: A model for the relationship between branch number and biomass in *Pinus sylvestris* crowns and the effect of crown shape and stand density on branch and stem biomass. Scand. J. For. Res. 1: 455-472.
- Kellomäki, S., Väistönen, H. u. Strandman, H., 1993: FINNFOR: A model for calculating the response of a boreal forest ecosystem to climate change. Univ. of Joensuu. Faculty of Forestry. Research Notes 6.
- Kenk, G. u. Weise, U., 1998: Zu: Beobachtungen zur Bestandesstruktur undurchforsterter Fichtenbestände. AFZ/Der Wald 53: 937-939.
- Kennel, R., 1972a: Die Buchendurchforstungsversuche in Bayern von 1870 bis 1970. Forschungsberichte der forstl. Forschungsanstalt München Nr. 7.
- Kennel, R., 1972b: Die Bestimmung des Ertragsniveaus bei der Buche. Dt. Verb. Forstl. Forsch. Anst. 48-50, Neustadt a. d. W.
- Kern, K. G., Moll, W. u. Braun, H. J., 1961: Wurzeluntersuchungen in Rein- und Mischbeständen des Hochschwarzwaldes (Vfl. Todtmoos 2/I-IV). AFJZ, 132: 241-260.
- Kienast, F. u. Kuhn, N., 1989: Simulating forest succession along ecological gradients in Southern Central Europe. Vegetatio 79: 7-20.
- Kimmins, J. P., 1987: Forest Ecology. Macmillan Publishing Company, New York.
- Kimmins, J. P., 1990: Modeling the sustainability of forest production and yield for a changing and uncertain future. For. Chron. 66: 271-280.
- Kiviste, A., Álvarez, J. G., Rojo, A., González, A. D., 2002: Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Comunicaciones I.N.I.A. Serie: Recursos Naturales. No. 4.
- Klädtke, J., 1992: Konstruktion einer Z-Baum-Ertragstafel am Beispiel der Fichte. Dissertation, Forstliche Fakultät, Universität Freiburg.
- Klier, G., 1969: Beitrag zu den Baumabstandsmethoden in der Forstwirtschaft. Arch. Forstwes., Berlin 18 Jg. Heft 12, S. 1257-1264.
- Knoke, T. u. Pluszczyk, N., 2001: On economic consequences of transformation of a spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) dominated stand from regular into irregular age structure. Forest Ecology and Management 151:163-179.
- Kolström, T., 1992: Dynamics of uneven-aged stands of Norway Spruce - a Model Approach. Dissertation. Univ. Joensuu. Finnland.
- Konitzer, A., 2000: Waldumbaumassnahmen und ihre betriebswirtschaftlichen Auswirkungen – eine GIS-gestützte Untersuchung am Beispiel des Niedersächsischen Harzes. Diss., Univ. Göttingen.
- Konohira, Y and Amano, M, 1986. Methods for the forests allowable cut calculation in Japan. In: Carcea , F (ed): Determination of the forests; allowable cut in various countries of the world. IUFRO, Bucharest: 149 - 157.
- Koop, H., 1989: Forest Dynamics. Springer Verlag.
- Korol, M. u. Gadow, K. v., 2002: Zur quantitativen Beschreibung von Fichtenkronen im Gebiet der ukrainischen Karpaten. Unveröff. Manuskript, Inst. F. Waldinventur u. Waldwachstum, Univ. Göttingen.
- Korol, M. u. Gadow, K. v., 2003: Ein Einheitsschaftmodell für die Baumart Fichte. FwCbl. 122: 175-182.
- Korotaev, A., 1994: Untersuchungen der Wurzelsysteme von forstlich wichtigen Baumarten im Nordwesten Rußlands. Dissertation, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Universität Göttingen.
- Köstler, J. N., 1956: Waldbauliche Beobachtungen an Wurzelstöcken sturmgeworfener Waldbäume. FwCbl. 75: 65-91.
- Köstler, J. N., Brückner, E., Bibelriether, H., 1968: Die Wurzeln der Waldbäume. Verlag Paul Parey, Hamburg.
- Kotar, M., 1993: Bestimmung des Verteilungsmusters von Bäumen im Wald. Manuskript: 15 S.
- Kouba, J., 1989: The theory of an estimate of the development of calamities and of management of the process of forest adjustment to normal forest. Lesnictvi 35 (10): 925-944.
- Kozak, A., 1988: A variable exponent taper equation. Can. J. For. Res. 18: 1363-1368.
- Kraft, G., 1884: Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Hannover.
- Krajicek, J. E., Brinkman, K. A. u. Gingrich, S. F., 1961: Crown competition. A measure of density. For. Sci. 7: 35-42.
- Kramer, H. u. Akça, A., 1995: Leitfaden zur Waldmesslehre. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M. 266 S.

- Kramer, H., 1988: Waldwachstumlehre. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 374 S. ISBN 3-490-05616-7.
- Kramer, H., 1988: Waldwachstumslehre. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Kramer, H., 1990: Nutzungsplanung in der Forsteinrichtung. 2. Auflage. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M. 158 S.
- Kramer, H., 1990: Zur Nutzungsplanung bei geänderter Waldstruktur. Forst und Holz, 45 (21): 621-623.
- Kramer, K., 1996: Phenology and growth of European trees in relation to climate change. PhD Diss. Landbouw-Universität Wageningen: 157 S.
- Kramer, P. J. u. Kozlowski, T. T., 1979: Physiology of woody plants. Academic press, New York: 811 p.
- Kranigk, J. u. Gravenhorst, G., 1993: Ein dreidimensionales Modell für Fichtenkronen. AFJZ, 164: 146-149.
- Kroeger, W., 1992: Grundzüge der Sicherheit technischer Systeme. Lecture notes, ETHZ Zurich.
- Kublin, E. u. Scharnagl, G., 1988: Verfahrens- und Programmbeschreibung zum BWI-Unterprogramm BDAT. Abschlußbericht, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 7800 Freiburg i. Br.: 87 S.
- Kuhr, M., 1999: Grobwurzelarchitektur in Abhängigkeit von Baumart, Alter, Standort und sozialer Stellung. Dissertation, Fak. f. Forstw. u. Waldökologie, Universität Göttingen.
- Kurth, A., 1976: Lecture notes, Ertragskunde. Eidgen. Techn. Hochsch., Zürich.
- Kurth, H., Gerold, D. and Dittrich, K., 1987: Reale Waldentwicklung und Zielwald – Grundlagen nachhaltiger Systemregelung des Waldes. Wiss. Zeitschr. d. TU Dresden: 121-137.
- Kurth, H., Gerold, D. u. Ulbricht, R., 1994: Forsteinrichtung. Deutscher Landschaftsverlag Berlin GMBH: 233-322.
- Kurth, W., 1994a: Morphological models of plant growth: Possibilities and ecological relevance. In: Ecological Modelling, International Journal on Ecological Modelling and Systems Ecology. Volumes 75/76:299-308. Verlag Elsevier.
- Kurth, W., 1994b: Growth Grammer Interpreter GROGRA 2.4: A software tool for the 3-dimensional interpretation of stochastic, sensitive growth grammars in the context of plant modelling. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 38. 192 S.
- Kurth, W., 1998: Some new formalisms for modelling the interactions between plant architecture, competition and carbon allocation. Bayreuther Forum Ökologie Bd. 52: 53-98.
- Kurth, W., 1999: Die Simulation der Baumarchitektur mit Wachstumsgrammatiken. Habil., 327 pp. ISBN 3-932089-37-5.
- Kutschera, L. u. Lichtenegger, E., 2002: Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. Leopold Stocker Verlag, Graz – Stuttgart.
- Kuusela, K., 1994: Forest Resources in Europe. European Forest Institute, Research Report 1, Cambridge University Press: 154 pp.
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. u. Saska, T., 2002: Zuwachs von Fichte und Birke in gleich und ungleich strukturierten Beständen. Forst und Holz, 15/16, S. 483.
- Lappi, J., 1992: JLP - a linear programming package for management planning. The Finnish Forest Res. Inst., Res. Paper 414: 131 pp.
- Larson, P. R., 1963: Stem form development of forest trees. Forest Science Monograph 5.
- Lässig, R., 1991: Zum Wachstum von Fichtensolitären [*Picea abies* (L.) Karst.] in Südwestdeutschland. Dissertation, Univ. Freiburg.
- Last, F. T., Mason, P. A., Wilson, J. u. Deacon, J. W., 1983: Fine roots and sheathing mycorrhizas: their formation, function and dynamics. Plant and Soil 71: 9-21.
- Laughton, F.S., 1937: The silviculture of the indigenous forests of the Union of South Africa with special reference to the forests of the Knysna region. Sci. Bull. 157, Forestry Series 7, Government Printer, Pretoria: 169 p.
- Lee, Do-Hyung, 1998: Architektur der Wurzelsysteme von Fichten (*Picea abies* L.) auf unterschiedlich versauerten Standorten. Diss., Fak. f. Forstw. u. Waldökologie, Universität Göttingen.

- Lee, W. K. u. Gadow, K. v., 1997: Iterative Bestimmung der Konkurrenzäume in *Pinus densiflora* - Beständen. AFJZ, 186 (3/4): 41-44.
- Lee, W. K., 1993: Wachstums- und Ertragsmodelle für *Pinus densiflora* in der Kangwon-Provinz, Korea. Diss., Forstwiss. Fachbereich, Univ. Göttingen, Cuvillier Verlag, 178 S.
- Lee, W. K., Seo, Jeong-Ho, Son, Young-Mo, Lee, Kyeong-Hak u. Gadow, K. v., 2003: Modelling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. Forest Ecology and Management 172: 69-77.
- Leemans, K., 1992: The biological component of the simulation model for boreal forest dynamics. In: A systems analysis of the global boreal forest: 428-445.
- Leibundgut, H., 1978: Die Waldflege. Paul Haupt, Bern und Stuttgart.
- LeMay, V., Kozak, A., Muhairwe, K. u. Kozak, R. A., 1993: Factors affecting the performance of Kozak's (1988) variable-exponent taper function. In: Wood u. Wiant, 1993: 34-53.
- Lembcke, G., Knapp, E. u. Dittmar, O., 1977: DDR-Kiefern-Ertragstafel 1975. Institut für Forstwissenschaft, Eberswalde, 30 S.
- Lemm, R., 1991: Ein dynamisches Forstbetriebs-Simulationsmodell. Dissertation, ETH Zürich: 235 S.
- Leslie, P. H., 1945: On the use of matrices in certain population mathematics. Biometrika 33: 183-212.
- Leuschner, A., 1990: Forest regulation, harvest scheduling and planning techniques. John Wiley: 281 p.
- Leuschner, C., 2002: Lebensraum Baumkrone - Schatzkiste der Biodiversität. Georgia Augusta, Wissenschaftsmagazin der Georg-August-Universität Göttingen; No. 1: 18-25.
- Levins, R., 1966: The strategy of model building in population biology. American Scientist 54: 421-431.
- Lewandowski, A. u. Gadow, K. v., 1997: Ein heuristischer Ansatz zur Reproduktion von Waldbeständen. AFJZ, 168/Jg. 9, 170-174.
- Lewandowski, A. u. Pommereing, A., 1997: Zur Beschreibung der Waldstruktur - Erwartete und beobachtete Artendurchmischung. FwCbl. 116, 129-139.
- Lindenmayer, A., 1975: Developmental algorithms for multicellular organisms: A survey of L-Systems. J. Theor. Biol. 54: 3-22.
- Lindner, M., Bartelheimer, P., Bonk, S., Cramer, W., Dieter, M., Döbbeler, H., Dursky, J., Duschl, C., Frömling, D., Gundermann, E., Hölder, W., Lasch, P., Liesebach, M., Pommereing, A., Pott, M., Pretzsch, H., Schlott, W., Scholz, F., Spellmann, H., Suda, M., Wolff, B., 1999: Concept and first results of an integrated assessment of global change impacts on forests and the forest sector in Germany. Poster presented at the Seminar Forestry Scenario Modelling in Risk Analysis and Management, Joensuu, 4-8 August, 1999.
- Liu, C., Zhang, L., Davis, C. J., Solomon, D. S. u. Gove, J. H., 2002: A Finite Mixture Model for Characterizing the Diameter Distributions of Mixed-Species Forest Stands. Forest Science 48 (4): 653-661.
- Liu, Q. u. Hytteborn, H., 1991: Gap structure, disturbance and regeneration in a primeval *Picea abies* forest. J. Veg. Sci. 2: 391-402.
- Lorimer, C. G., 1983: Test of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. For. Ecol. Manage. 6:343-360.
- Lundegårdh, H., 1957: Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben. Fischer Verlag, Jena, 598 S.
- Lüpke, B. v., 1992: Waldbau ohne Kahlschlag – Möglichkeiten und Risiken. Forstarchiv 63 (1): 10-15.
- Luxmore, R. J., Oren, R., Sheriff, D. W. u. Thomas, R. B., 1995: Source - sink - storage relationships of conifers. In: Smith, W.K. and Hinckley, T.M. (eds): Resource physiology of conifers. Academic Press: 179-216.
- Madrigal Collazo, A., Alvarez Gonzalez, J.G., Rodriguez Soalleiro, R. and Rojo Alboreca, A., 1999: Tablas de producción para los montes españoles. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid: 253 p.
- Madrigal, A., Puertas, F. u. Martinez Millan, F. J., 1992: Tablas de producción para *Fagus sylvatica* en Navarra. Gobierno de Navarra. Dpto. de Agric. Ganadería y Montes. Serie Agraria n° 3, Pamplona: 133 S.
- Maguire, D. A. u. Hann, D. W., 1989: The relationship between cross crown dimensions and sapwood area at crown base in Douglas-fir. Can. J. For. Res. 19(5), 557-565.
- Maguire, D. A., Moeur, M. u. Bennett, W. S., 1994: Models for describing basal diameter and vertical distribution of primary branches in young Douglas-Fir. Forest Ecology and Management 63: S. 23 - 55.
- Mai, W., 1999: Risikomanagement im Forstbetrieb – Analyse von Betriebsstatistiken für die betriebliche Planung. AFZ/Der Wald Nr. 12: 17-19.

- Maier, C. A. u. Teskey, R. O., 1992: Internal and external control of net photosynthesis and stomatal conductance of mature eastern white pine (*Pinus strobus*). Can. J. For. Res. 22: 1387-1394.
- Maltamo, M., Puusalainen, J. u. Päivinen, R., 1995: Comparison of beta and Weibull functions for modelling the basal area diameter distribution in stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. Scand. J. For. Res. 10: 284-295.
- Marques, P., 1991: Evaluating site quality of even-aged stands in northern Portugal using direct and indirect methods. For. Ecol. & Management 41: 193-204.
- Martin, G. L. u. A. R. Ek, 1984: A Comparison of Competition Measures and Growth Models for Predicting Plantation Red Pine Diameter and Height Growth. For. Sci. 30 (3): 731-743.
- Matérn, B., 1986: Spatial Variation. 2<sup>nd</sup> edition. Lecture Notes in Statistics. Springer-Verlag Berlin, 151 S.
- Matsuda, M. u. Baumgartner, A., 1975: Ökosystemare Simulation des Nutzeffektes der Sonnenenergie für Wälder. FwCbl 94: 89-104.
- Matsue, K., Iwagami, S., Yamamoto, T. u. Shibayama, Z., 1999: Modelling crown form of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) based on branch measurement. J. For. Plann 5: 13-18.
- Matsumura, N., 1988: Entwicklung und Anwendungsmöglichkeiten eines einzelbaumorientierten Simulationsmodells für Douglasie. Diss. Georg-August-Universität Göttingen.
- Matthies, D., Weixler, H. u. Hess, U., 1995: Befahrungsbedingte Strukturveränderungen von Waldböden. AFZ/Der Wald (22): 1218-1221.
- Matyssek, R., 2003: Kosten und Nutzen von Raumbesetzung und -ausbeute. AFZ/Der Wald 17: 862-863.
- Max, T.A. u. Burkhardt, H.E., 1976: Segmented polynomial regression applied to taper equations. For. Sci., 22(33): 283-289.
- Mayer, H., 1984: Waldbau auf sozio-ökologischer Grundlage. 3. Auflage, Fischer-Verlag Stuttgart.
- Meffe, G.K., 1996: Conserving genetic diversity in natural systems. In: Szaro & Johnston, 1996: 41-57.
- Mehldahl, R. S. u. Beltz, R. C., 1990: Summary of modelling efforts for SET: Southeastern TWIGS, School of Forestry. Auburn University Alabama.
- Mendlík, G., 1983: Beech Yield Table (in Ungarisch). Erdeszeti-Kutatasok, 75:157-162.
- Meng, X. Y., 1991: The significance of taper equations and stand diameter structures in developing merchantable volume tables. Journal of Beijing Forestry University, 13(2):14-20.
- Messing, R.H., Croft, B.A. and Currans, K., 1989: Assessing pesticide risk to arthropod natural enemies using expert system technology. AI Applications in Natural Resources, Agriculture and Environmental Science 3 (2): 1-12.
- Meusel, H., Jäger, E. u. Weinert, E., 1965: Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Karten/Text. Jena.
- Meyer, H.A., 1933: Eine mathematisch-statistische Untersuchung über den Aufbau des Plenterwaldes. Schweiz. Zeitschr. Forstwes. 84: 88-103, 124-131.
- Michailoff, I., 1943: Zahlenmäßiges Verfahren für die Ausführung der Bestandeshöhenkurven. Forstw. Cbl. u. Thar. Jahrb. 6: 273-279.
- Mitscherlich, G., 1939a: Sortenertragstafel für Kiefer, Buche und Eiche. Mitt. Forstwirtsch. u. Forstwiss. 10: 1-86.
- Mitscherlich, G., 1939b: Sortenertragstafel für Fichte. Mitt. Forstwirtsch. u. Forstwiss. 10: 87-101.
- Mitscherlich, G., 1942: Der Einfluß des Seewindes auf das Wachstum von Kiefer, Fichte, Buche, Birke, Erle. Thar. Forstl. Jahrb. 93: 346-373.
- Mitscherlich, G., 1952: Der Tannen-Fichten-(Buchen)-Plenterwald. Heft 8 d. Schriftenreihe d. Bad. Forstl. Vers. Anst., Freiburg: 42 p.
- Mitscherlich, G., 1961: Untersuchungen in Plenterwäldern des Schwarzwaldes. AFJZ 132: 61-73 + 85-95.
- Mitscherlich, G., 1970: Wald, Wachstum und Umwelt. 1. Band: Form und Wachstum von Baum und Bestand. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M. 144 S.
- Mitscherlich, G., 1971: Wald, Wachstum und Umwelt. 2. Bd: Waldklima und Wasserhaushalt. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M. 365 S.
- Mitscherlich, G., 1975: Wald, Wachstum und Umwelt. 3. Bd: Boden, Luft und Produktion. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M. 352 S.
- Mitscherlich, G., 1978: Wald, Wachstum und Umwelt. 1. Band: Form und Wachstum von Baum und Bestand. 2., überarbeitete Auflage. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M. 144 S.

- Mitscherlich, G., Kern, K. G. u. Künstle, E., 1963: Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt in Plentergehalt und Fichtenreinbestand. AFJZ 134: 281-290.
- Mlinsek, D., 1994: Der naturnahe Waldbau - sein kognitiver Weg - eine Herausforderung. Der Dauerwald 10: 35-43.
- Moeur, M., 1993: Crown width and foliage weight of northern Rocky mountain conifers. USDA For. Serv. Res. Pap. INT.-283.
- Mohr, H. u. Schopfer, P., 1992: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. Springer-Verlag, Berlin. 408 S.
- Mohren, G. M. J., Van Gerwen, C. P. u. Spitters, C. J. T., 1984: Simulation of primary production in even-aged stands of Douglas-fir. For. Ecology Manage. 9, 27-49.
- Möhring, B., 1986: Dynamische Betriebsklassensimulation. Berichte d. Forschungszentrums Waldökosysteme, Univ. Göttingen, Bd 20.
- Møller, C. M., 1933: Bonitetsvise Tilvaekststoesigter for BØg, Eg og RØdgran in Danmark. Sammendrag fra Dansk Skovf. Tidsskr. 18.
- Monsi, M. u. Saeki, T., 1953: The light factor in plant association and its importance in dry matter production. Japan. J. Bot. 14: 22-52.
- Mooney, H. A., 1986: Photosynthesis. In: Plant Ecology. Edited by M. J. Crawley. Blackwell Scientific Publications, Oxford: 345-373.
- Moosmayer, H.-U. u. Schöpfer, W., 1972: Beziehungen zwischen Standortsfaktoren und Wuchsleistung der Fichte. AFJZ 143 (10): 203-215.
- Moosmayer, U., 1957: Zur ertragrkundlichen Auswertung der Standortsgliederung im Ostteil der schwäbischen Alb. Mitt. d. Vereins f. forstl. Standortskunde, Forstpflanzenzüchtung 7: 1-41.
- Moser, J. W., 1974: A system of equations for the components of forest growth. In: J. Fries (Hrsg): Growth models for tree and stand simulation; Royal College of Forestry. Research Notes Nr. 30: 56-76.
- Moser, M., 1964: Die Mykorrhizafrage bei der Anzucht von Forstpflanzen für das Hochgebirge. In Schmidt-Vogt, H., 1964: Forstsamengewinnung und Forstpflanzenzucht für das Hochgebirge: 225-231.
- Moser, W. G., 1793: Einige Actenstücke über die Forst-Einrichtung. In: Moser's Forst-Archiv, Ulm: 147-243.
- Muhairwe, C. K., 1999: Taper equations for *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus grandis* for the north coast in New South Wales, Australia. Forest Ecology and Management 113: 251-269.
- Murach, D., 1984: Die Reaktion der Feinwurzeln von Fichten auf zunehmende Bodenversauerung. Diss., Forstwissen. Fachbereich, Universität Göttingen.
- Murach, D., 1991: Feinwurzelumsätze auf bodensauren Fichtenstandorten. Forstarchiv 62: 12-17.
- Murray, D. M. and Gadow, K. v., 1993: A flexible yield model for regional timber forecasting. Southern Journal of Applied Forestry 17 (2): 112-115.
- Murray, D. M. u. Gadow, K. v., 1991: Relationships between the diameter distributions before and after thinning. For. Sci. 37 (2): 552-559.
- Murray, D. M. u. Gadow, K. v., 1993: A flexible yield model for regional timber forecasting. Southern Journal of Applied Forestry 17 (2): 112-115.
- Nabuurs, G.J. & Päivinen, R. (eds.) , 1996. Large scale forestry scenario models – a compilation and review. European Forest Institute working papers 10. Joensuu, Finland. 174 pp.
- Nagashima, I. u. Kawata, N., 1994: A stem taper model including butt swell. J. Jpn. For. Soc. 76(4): 291-297.
- Nagel, J. u. Biging, G. S., 1995: Schätzung der Parameter der Weibull-Funktion zur Generierung von Durchmesserverteilungen. AFJZ 166 (9/10): 185-189.
- Nagel, J., 1994: Ein Einzelbaumwachstumsmodell für Roteichenbestände. Forst und Holz. 49. Jahrgang. Nr. 3, 69-75.
- Nagel, J., 1996: Anwendungsprogramm zur Bestandesbewertung und zur Prognose der Bestandesentwicklung. Forst u. Holz 51 (3): 76-78.
- Nagel, J., 1998: Möglichkeiten der Einschätzung von Artendiversität und Struktur im Rahmen von Betriebsinventuren. Vortrag am 14. 7. 1998, Fak. f. Forstw. u. Waldökologie, Univ. Göttingen.

- Nagel, J., 1999: Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Nordwestdeutschland. Schriften aus d. Forstl. Fak. D. Univ. Göttingen u. d. Nieders. Forstl. Vers. Anst.; Bd 128.
- Nagel, J., Albert, M. u. Schmidt, M., 2002: Das waldbauliche Prognose- und Entscheidungsmodell BWINPro 6.1. Forst und Holz. 57 (15/16):486-493.
- Nagel, P., 1976: Die Darstellung der Diversität von Biozönosen. Schriftenreihe Vegetationskunde 10: 381-391. Bonn-Bad Godesberg.
- Namikawa, K. u. Kawai, Y., 1998: Stand structure and establishment process of an old-growth stand in the mixed deciduous broadleaf/conifer forest of Mt. Moiwa forest reserve, Central Hokkaido, Northern Japan. J. For. Res. Japan 3: 205-211.
- Nepal, S. K. u. Somers, G. L., 1992: A generalized approach to stand table projection. For. Sci. 38: 120 – 133.
- Newberry, J. D. u. Burkhart, H. E., 1986: Variable-form stem profile models for loblolly pine. Can. J. For. Res. 16: 109-114.
- Newnham, R. M., 1992: Variable-form taper functions for four Alberta tree species. Can. J. For. Res. 22: 210-223.
- Newnham, R.M., 1976: Computer may cut costs \$1-2/cord. Pulp Pap. Can. 77 (9): 73-79.
- Newnham, R.M., 1991: LOGPLAN II – a model for planning logging and regeneration activities. For. Can. Petawawa Nat. For. Inst. Inf. Rep. PI-X-102.
- Niedersachsen, 1991: Langfristige ökologische Waldentwicklung in den Landesforsten – Programm der Landesregierung Niedersachsen. Niedersächsisches Ministerium f. Ernährung, Landw. U. Forsten: 49 S.
- Nielsen, C. C. N., 1990: Einflüsse von Pflanzenabstand und Stammzahlhaltung auf Wurzelform, Wurzelbiomasse, Verankerung sowie auf die Biomasseverteilung im Hinblick auf die Sturmfestigkeit der Fichte. Schriften aus der Forstl. Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstl. Versuchsanstalt, Band 100. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M.
- Nielsen, C. C. N., 1995: Report of project "Development of roots and root/shoot-rations". Air3-CT93-1269. unveröffentlicht.
- Nordrhein-Westfalen, 1991: Waldwirtschaft 2000 - Gesamtkonzept für eine ökologische Waldbewirtschaftung des Staatswaldes in Nordrhein-Westfalen. Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft, Landesforstverwaltung. 35 S.
- Oohata, S-I., 1986: Some quantitative analysis of tree form. Further extensions to the pipe model theory. In Fujimori, T. u. Whitehead (eds). Crown and canopy structure in relation to productivity. Published by the Forestry and Forest Products Institute, Ibaraki, Japan, pp. 243-262. ISBN 4-9900058-1-3.
- Orloff, W. u. Schlaepfer, R., 1997: Stickstoff und Waldschäden - eine Literaturübersicht. AFJZ 167 (9-10): 184-201.
- Otto, H.-J., 1989: Langfristige ökologische Waldbauplanung für die Niedersächsischen Landesforsten. Aus dem Walde, Heft 42.
- Otto, H.-J., 1991: Langfristige ökologische Waldbauplanung für die Niedersächsischen Landesforsten. Aus dem Walde, Heft 43.
- Otto, H.-J., 1994: Die Verwirklichung naturgemäßer Waldwirtschaft in den Niedersächsischen Landesforsten - Chancen und Probleme. Der Dauerwald 10: 3-23.
- Otto, H.-J., 1994: Nach dem Sturm - Erfahrungen und Folgerungen aus der Sturm katastrophe 1972 in Niedersachsen. Der Wald Berlin 44 (2): 52-56.
- Otto, H.-J., 1994: Waldökologie. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Otto, H.-J., 1995: Zielorientierter Waldbau und Schutz sukzessionaler Prozesse – eine Diskussion. Forst u. Holz 50: 203-209.
- Otto, H.-J., 2002: Antriebskräfte natürlicher Buchenwalddynamik in Europa. Forst und Holz 57 (21): 649-653.
- Ottorini, J. M., 1991: Growth and development of individual Douglas Fir stands for applications to simulation in silviculture. Annales des sciences Forestières 48.
- Palmer, S., 1994: Waldentwicklung auf der Mittleren Schwäbischen Alb. AFZ 10: 507-510.
- Pardé, J. u. Bouchon, J., 1990: Dendrométrie. Ecole Nationale du Genie Rural des Eaux et des Forêts, Nancy.

- Pardé, J., 1961: Dendrométrie. Editions de l'École nationale des Eaux et des Forêts, Nancy.
- Paterson, S. S., 1962: Introduction to Phytochorology of Norden. Medd. Stat. Skogsforskinginstitut 50: 1-145.
- Paulsen, J. C., 1795: Praktische Anweisung zum Forstwesen. Detmold.
- Pearson, S. M., Turner, M. G., Gardner, R. H. u. O'Neill, R. V., 1996: An organism-based perspective of habitat fragmentation. In: Szaro u. Johnston, 1996: 41-57.
- Pearson, S.M., Turner, M.G., Gardner, R.H. and O'Neill, R.V., 1996. An organism-based perspective of habitat fragmentation. In: Szaro & Johnston, 1996: 41-57.
- Penning de Vries, F. W. T. u. van Laar, H. H., 1982: Simulation of plant growth and crop production. Pudoc Centre for Agriculture Publishing and Documentation, Wageningen.
- Penttinen, A., Stoyan, D. u. Henttonen, H. M., 1994: Marked Point Processes in forest statistics. For. Sci. 38 (4): 806-824.
- Perpeet, M., 1999: Weniger wäre mehr – waldbauliche Illusion oder Chance? Forst u. Holz 54 (3): 71-74.
- Pesonen, M., 1995: Non-Industrial Private Landowners' Choices of Timber Management Strategies and Potential Allowable Cut - case of Pohjois-Savo. Acta Forestalia Fennica 247: 31 pp.
- Pesonen, M., 1995: Non-Industrial Private Landowners' Choices of Timber Management Strategies and Potential Allowable Cut - case of Pohjois-Savo. Acta Forestalia Fennica 247: 31 pp.
- Petterson, N., 1954: Die Massenproduktion des Nadelwaldes. Medd. Stat. Skogsforskinginst. 45.
- Peyron, J.-L., 1993: Présentation illustrée d'une méthode de planification de la gestion forestière et de détermination de l'effort de régénération. Rev. For. Fr. XLV (1): 59-73.
- Philip, M. S., 1994: Measuring Trees and Forests. Cab International.
- Pielou, E. C., 1977: Mathematical ecology. John Wiley.
- Pielou, E.C., 1961: Segregation and Symmetry in two-species Populations as studied by nearest Neighbour Relations. J.Ecol.49: 255-269.
- Pienaar, L. V., Harrison, W. M. u. Rheney, J. W., 1990: PMRC Yield Prediction System for Slash Pine Plantations in the Atlantic Coast Flatwoods. Plantation Management Research Cooperative. School of Forest Resources. University of Georgia.
- Pnevmaticos, S.M. & Mann, S.H. 1972. Dynamic programming in tree bucking. Forest Products Journal 22(2): 26-30.
- Polomski, J. u. Kuhn, N., 2001: Wurzelhabitus und Standfestigkeit der Waldbäume. Forstwissenschaftliches Centralblatt 120; 303-317.
- Pommerening, A., 1997: Eine Analyse neuer Ansätze zur Bestandesinventur in strukturreichen Wäldern. Diss., Fak. f. Forstw. u. Waldökologie, Göttingen. Cuvillier Verlag Göttingen. 187 S.
- Pommerening, A., 2002: Approaches to quantifying forest structures. Forestry. 75(3): 305-324.
- Pressler, M. R., 1865: Das Gesetz der Stammbildung und dessen forstwirtschaftliche Bedeutung für den Waldbau höchsten Reinertrags. Arnold Verlag, Leipzig: 153 S.
- Pretzsch, H. u. Bossel, H., 1988: Rahmenbedingungen für die Konstruktion forstlicher Wachstumsmodelle und Simulationsprogramme. AFZ (22): 615 - 617.
- Pretzsch, H., 1991a: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Habilitationsschrift. Universität München.
- Pretzsch, H., 1991b: Konzeption einer modellorientierten Mischbestandsforschung. Vortrag anlässlich der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde des Dt. Verb. Forstl. Forschungsanstalten in Treis/Mosel am 13. Mai 1991.
- Pretzsch, H., 1992: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät, Universität München, No. 115: 332.
- Pretzsch, H., 1993: Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen - Versuche mit dem Strukturgenerator STRUGEN. Schriften aus der Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen u. d. Nieders. Forstl. Vers. Anst., Band 114, J.D. Sauerländer's Verlag.

- Pretzsch, H., 1993: Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen - Versuche mit dem Strukturgenerator STRUGEN. Schriften aus der Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen u. d. Nieders. Forstl. Vers. Anst., Band 114, J.D. Sauerländer's Verlag.
- Pretzsch, H., 1994: Waldwachstumsforschung in strukturreichen Rein- und Mischbeständen - Untersuchungsansatz, Arbeitsschwerpunkte, Kooperationsbedarf. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde des Dt. Verb. Forstl. Forschungsanstalten: 6-26. Habilitationsschrift.
- Pretzsch, H., 1995: Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung. FwCbl 114: 188-209.
- Pretzsch, H., 2001: Modellierung des Waldwachstums. Parey Buchverlag Berlin: 341 S.
- Pretzsch, H., u. Kahn, M., 1998: Forschungsvorhaben „Konzeption und Konstruktion von Wuchs- und Prognosemodellen für Mischbestände in Bayern“: Abschlußbericht Projekt W28 Teil 2. Konzeption und Konstruktion des Wuchsmodells SILVA 2.2 – Methodische Grundlagen. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Ludwig-Maximilians-Universität München, Freising, 279 S.
- Prodan, M., 1965: Holzmeßlehre. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 644 S.
- Prusinkiewicz, P. u. Lindenmayer, A., 1990: The Algorithmic Beauty of Plants. Verlag Springer, New York. 227 S.
- Puhe, J., 1994: Die Wurzelentwicklung der Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) bei unterschiedlichen chemischen Bodenbedingungen. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Band 108, Göttingen.
- Pukkala, T. and Kangas J., 1993: A heuristic optimization method for forest planning and decision making. Scand. J. For. Res. 8: 560-570.
- Pukkala, T. u. Kolström, T., 1988: Simulation of the Development of Norway Spruce Stands using a Transition Matrix. For. Ecol. and Mgmt 25: 255-267.
- Puumalainen, J., 1996: Die Beta-Funktion und ihre analytische Parameterbestimmung für die Darstellung von Durchmesserverteilungen. Arbeitspapier 15-96, Inst. f. Forsteinrichtung, Univ. Göttingen: 12 S.
- Puumalainen, J., 1998: Optimal cross-cutting and sensitivity analysis for various log dimension constraints by using dynamic programming approach. Scand. J. For. Res. 13: 74-82.
- Rademacher, P., 2002: Ermittlung der Ernährungssituation, der Biomasseproduktion und der Nährelementakkumulation mit Hilfe von Inventurverfahren sowie Quantifizierung der Entzugsgrößen auf Umtriebsebene in forstlich genutzten Beständen. Habilitationsschrift, Univ. Göttingen.
- Ramirez-Maldonado, H., Bailey, R. L. u. Borders, B. B., 1988: Some implications of the algebraic difference form approach for developing growth models. In: Ek, A.R., Shifley, S.R. u. Burke, T.E. (eds): Forest growth modelling and prediction. USDA For. Serv. Gen. Techn. Rep. NC-120: 731-738.
- Randall, J. H. and Gadow, K. v., 1990: An evaluation of the use of “Gentan” probabilities in forestry planning. South Afr. For. J. No. 154: 27-35.
- Rapp, C., 1991: Untersuchungen zum Einfluss von Kalkung und Ammoniumsulfat-Düngung auf Feinwurzeln und Ektomykorrhizen eines Buchenaltbestandes im Solling. Ber. Forschungsz. Waldökosysteme Göttingen A 72: 293 S.
- Raunkiaer, C., 1907: Planterigets Livsformer og deres Betydning for Geografien. Kjøbenhavn, Kristiana. (Engl. Übersetzung von Gilbert-Carter, H., 1937: Plant life forms. Clarendon press, Oxford.)
- Rautiainen, O., 1999: Growth Dynamics and Management of *Shorea robusta* Forests in Southern Nepal. Dissertation, Univ. Joensuu.
- Raven, P. H., Evert, R. F. u. Eichhorn, S. E., 1987: Biology of plants. Worth Publishers Inc.
- Reed, D. D. u. Green, E. J., 1984: Compatible stem taper and volume ratio equations. For. Sci. 30 (4): 977-990.
- Reinecke, L. H., 1933: Perfecting a Stand Density Index for Even-Aged Forests. J. Agric. Res. 46: 627-638.
- Remmert, H., 1991: Das Mosaik-Zyklus-Konzept und seine Bedeutung für den Naturschutz – eine Übersicht. Tagungsbericht „Das Mosaik-Zyklus-Konzept der Ökosysteme und seine Bedeutung für den Naturschutz“, 6.-9. Sept. 1989; Bayer. Akademie f. Naturschutz u. Landschaftspflege: 5-15.
- Rennie, P. J., 1963: Methods of assessing site capability. Commonw. For. Rev. 42: 306-317.
- Rennols, K. u. Smith, W. R., 1993: Zone of Influence Models for Inter Tree Forest Competition. In: Rennols, K. (ed) 1993: Stochastic Spatial Models in Forestry. Proc of a IUFRO S4.11 Conf. held in Thessaloniki, Greece; published by The University of Greenwich: 27-36.

- Richardson, C. W., 1981: Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation. *Water Resources Research* 17: 182-190.
- Richter, J., 1996: Sturmschäden in Fichtenbeständen. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 167 (12): 234-238.
- Richter, J., 1998: Überschätzter HD-Wert? *AFZ/Der Wald*, No 15: 791-792.
- Riemer, T., Gadow, K. v. u. Sloboda, B., 1995: Ein Modell zur Beschreibung von Baumschäften. *AFJZ*, 166(7): 144-147.
- Riera, B., 1982: Observations sur les chablis, Piste de St. Elie, Guyane. *Bulletin de liaison de groupe de travail sur l'écosystème forestier guyanais*, ORSTOM, Cayenne, 6:165-183.
- Rodriguez Soalleiro, R. J., Alvarez Gonzalez, J. G. u. Vega Alonso, G., 1994: Pineiro do Pais - Modelo dinamico de crecimiento de masas regulares de *Pinus pinaster* Aiton en Galicia. Xunta de Galicia:40 S.
- Rodriguez Soalleiro, R. J., Alvarez Gonzalez, J. G. u. Vega Alonso, G., 1994: Pineiro do Pais - Modelo dinamico de crecimiento de masas regulares de *Pinus pinaster* Aiton en Galicia. Xunta de Galicia:40 S.
- Rodriguez, L., 1996: A Microcomputer Program for Solving Forest Scheduling Problems with Heuristic Approaches. In: Päivinen, R., Roihuvuo, L. and Siitonen, M., (eds) 1996: Large-scale forestry scenario models - experiences and requirements. European Forest Institute. EFI Proceedings No. 5: 153-166.
- Röhe, P., 1985: Untersuchungen über das Wachstum der Buche in Baden-Württemberg. *Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg* 61.
- Rojo, A. and Montero, G., 1996: El Pino Silvestre en la Sierra de Guadarrama. Ministerio de Agriculture, Pesca y Alimentacion, Madrid: 293 S.
- Römisch, K., 1983: Ein mathematisches Modell zur Simulation von Wachstum und Durchforstung gleichaltriger Reinbestände. Dissertation, Universität Tharandt.
- Römisch, K., 1995: Durchmesserwachstum und ebene Bestandesstruktur am Beispiel der Kiefernversuchsfläche Markersbach. DVFFA-Sektion Forstliche Biometrie und Informatik, 8. Tagung Grillenburg, S. 84-103.
- Roschak, C., 1999: Schnellwuchsuntersuchung Lensahn - Eine Untersuchung zur Bedeutung schnellwachsender Baumarten im naturnahen Waldbau. Projektbericht für Gesellschaft zur Förderung schnellwachsender Baumarten in Norddeutschland e.V.: 37 S.
- Rothe, A., 1997: Einfluss des Baumartenanteils auf Durchwurzelung, Wasserhaushalt, Stoffhaushalt und Zuwachsleitung eines Fichten-Buchen-Mischbestandes am Standort Höglwald. *Forstl. Forschungsber.* München 163: 213 S.
- Rothe, A., Brandt, S. and Hurler, R., 1999: Waldbewirtschaftung und Nitratbelastung des Grundwassers. *AFZ/Der Wald*, 10: 531-533.
- Rothe, A., Brandt, S. and Hurler, R., 1999: Waldbewirtschaftung und Nitratbelastung des Grundwassers. *AFZ/Der Wald*, 10: 531-533.
- Rottmann, M., 1986: Wind- und Sturmschäden im Wald. Frankfurt.
- Rubner, K., 1960: Die pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaus. Radebeul.
- Rudra, A. B., 1968: A stochastic Model for the Prediction of Diameter Distributions of Even-aged Forest Stands. *OPSEARCH. Journal of the operational Society of India*. 5 (2): 59-73.
- Rust, M., 1988: White pine blister rust hazard rating – an expert systems approach. *AI Applications in Natural Resources, Agriculture and Environmental Science* 2 (2-3): 47-50.
- Rysavy, T. u. Roloff, A., 1994: Ursachen der Vereschung in Mischbeständen und Vorschläge zu ihrer Vermeidung. *Forst u. Holz* 49: 392-395.
- Saaty, T.L., 1980: The Analytic Hierarchy Process. McGraw - Hill.
- Saborowski, J., 1982: Entwicklung biometrischer Modelle zur Sortimentenprognose. Dissertation, Universität, Göttingen.
- Saeki, T., 1963: Light relations in plant communities. In: Evans, L.T. (ed): *Environmental control of plant growth*. Academic Press, Nwe York und London.
- Sánchez Orois, S., Gurjanov, M. u. Schröder, J., 2001: Analyse des Grundflächenzuwachses gleichaltriger Fichtenreinbestände. *AFJZ*, 172, 3, 51-59.

- Sánchez Orois, S., Kotzé, H. u. Corral Rivas, J. J., 2003: Ein kompatibles Modell für die Fortschreibung von Durchmesserverteilungen. Vortrag anlässlich der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten in Torgau am 2. – 4. Juni 2003.
- Sánchez-Orois, S. u. Vilčko, F., 2002: Generierung, Bewertung und Optimierung von Managementoptionen für die Vornutzung von Fichtenbeständen. Vortragsmanuskript Ertragskundetagung im Mai 2002.
- Sauter, U. H. u. Fahrbach, M., 1993: Ästigkeitsverhältnisse und Schnitholzqualität in einem weitständig begründeten Fichtenbestand. AFZ 48, Jg. Nr. 17: S. 875 - 878.
- Scheffer, F. u. Schachtschabel, P., 1976: Lehrbuch der Bodenkunde. Fischer Verlag, Stuttgart.
- Schmid, I. u. Kazda, M., 2001: Vertical distribution and radial growth of coarse roots in pure and mixed stands of *Fagus sylvatica* and *Picea abies*. Can. J. For. Res. 31: 539-548.
- Schmidt, M. G. u. Carmean, W. H., 1988: Jack pine site quality in relation to soil and topography in North Central Ontario. Can. J. For. Res. 18: 297-305.
- Schmidt, M., 2001: Prognosemodelle für ausgewählte Holzqualitätsmerkmale wichtiger Baumarten. Diss., Fak. f. Forstwiss. u. Waldökologie, Univ. Göttingen. 302 S.
- Schmidt, M., Schütz, J.-P. u. Gadow, K. v., 1997: Strukturanalyse in vier Plenterüberführungsbeständen. Schweiz. Zeitschr. f. Forstw. 148 (5): 335-352.
- Schmidt, W., 1991: Die Bodenvegetation im Wald und das Mosaik-Zyklus-Konzept. Tagungsbericht „Das Mosaik-Zyklus-Konzept der Ökosysteme und seine Bedeutung für den Naturschutz“, 6.-9. Sept. 1989; Bayer. Akademie f. Naturschutz u. Landschaftspflege: 16-29.
- Schmidt-Vogt, 1986: Die Fichte. Paul Parey, Berlin.
- Schmoldt, D.L., 1987: Evaluation of an expert system approach to forest pest management of red pine (*Pinus resinosa*). PhD dissertation, University Microfilms International: 225 p.
- Schober, R., 1978: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. Sauerländer's Verlag.
- Schober, R., 1952: Ausbauchungsreihen. In: Grundner, F., Schwappach, A., 1952: Massentafeln zur Bestimmung des Holzinhaltes stehender Waldbäume und Waldbestände. 10. völlig neu bearbeitete Auflage; Hrsg. R. Schober. Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Schober, R., 1953: Ertragstafeln und Forsteinrichtung. Forstwissenschaftliches Centralblatt 72: 1-13.
- Schober, R., 1972: Die Rotbuche 1971. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 333 S.
- Schober, R., 1987: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 154 S.
- Schober, R., 1991: Eclaircies par le Haut et Arbres D'avenir. Rev. For. Fr. XLIII: 385-402.
- Schober, R., 1994: Darstellung von Durchforstungsgraden. Unveröffentl. Vorlesungsmanuskript. Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde, Universität Göttingen.
- Schober, R., 1995: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M.
- Schönau, A. P. G. u. Aldworth, W. J. K., 1991: Site evaluation in black wattle with special reference to soil factors. S. Afr. For. J. 156: 35-43.
- Schönau, A. P. G., 1988: A re-appraisal of a site evaluation study in Black Wattle with special reference to soil factors. In: Research Contributions to Plantation Forestry (ed. K. v. Gadow), Faculty of Forestry, Stellenbosch: 83-102.
- Schönhar, S., 1993: Die Waldbodenvegetation als Standortsweiser. AFJZ 164: 173-180.
- Schröder, J. u. Gadow, K. v., 1999: Testing a new competition index for maritime pine in North-Western Spain. Can. J. For. Res. 29: 280-283.
- Schröder, J., 1998: Beschreibung von Bestandesstrukturen im Knysna-Wald, Südafrika. Diplomarbeit, Fak. f. Forstwissen. u. Waldökologie, Univ. Göttingen.
- Schröder, J., Oliver-Villanueva, J. V., Rojas-Briales, E. u. Gadow, K. v., 1995: Zum Höhenwachstum von *Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRA. in Katalonien. FA 66: 214-217.
- Schröder, J., Rodríguez, R., u. Vega Alonso, G., 2002: An age-independent basal area increment model for Maritime Pine trees in North-Western Spain. Forest Ecology & Management 157: 55-64.
- Schübeler, D., 1997: Untersuchungen zur standortabhängigen Wachstumsmodellierung bei der Fichte. Diss. Fak. f. Forstwiss. u. Waldökologie d. Univ. Göttingen.
- Schübeler, D., Nagel, J., Pommerening, A. u. Gadow K. v., 1995: Modellierung des standortbezogenen Wachstums der Fichte. Unveröffentlichtes Manuskript, Institut f. Forsteinrichtung u. Ertragskunde, Univ. Göttingen: 68 S.
- Schubert, R., 1991: Lehrbuch der Ökologie. Gustav Fischer Verlag Jena. 657 S.
- Schulze, E. D., 1970: Der CO<sub>2</sub> - Gaswechsel der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Abhängigkeit von den Klimafaktoren im Freiland. Flora 159: 177-232.

- Schumacher, F. X., 1939: A new growth curve and its application to timber yield studies. J. of Forestry 37: 819-820.
- Schumann, K., 2002: Eingriffsanalyse im Forstamt Bovenden. Unveröff. Manuskript.
- Schütz, J.-Ph., 1989: Der Plenterbetrieb. Unterlage zur Vorlesung Waldbau III, ETH Zürich: 54 S.
- Schütz, J.-Ph., 1994: Geschichtlicher Hergang und aktuelle Bedeutung der Plenterung in Europa. AFJZ 165 (5-6): 106-114.
- Schwappach, A., 1890: Wachstum und Ertrag normaler Fichtenbestände. Julius Springer Verlag, 100 S.
- Schwappach, A., 1905: Untersuchungen über die Zuwachsleistungen von Eichen-Hochwaldbeständen in Preussen. Neumann Verlag, 131 S.
- Schwappach, A., 1911: Die Rotbuche. Neumann Verlag, Neudamm.
- Sedjo, R.A., 1995: Ecosystem Management - an uncharted Path for Public Forests. Resources, (Resources for the Future) No. 121: 10-20.
- Seidling, W., 1997: 50 Jahre Vegetationsentwicklung auf einer Schlagfläche im osthessischen Bergland. FwCbl. 116, 218-231.
- Seydack, A.H.W., Vermeulen, W.J., Heyns, H.E., Durrheim, G.P., Vermeulen, C., Willem, D., Ferguson, M.A., Huisamen, J. and Roth, J., 1995: An unconventional approach to timber yield regulation for multi-aged, multi-species forests. II. Application to a South African forest. For. Ecol. & Mgmt 77: 155-168.
- Shafer, G. N., 1988: A Site Growth Model for *Pinus eliottii* in the Southern Cape. S. Afr. For. J. 146: 12-17.
- Shafer, G. N., 1989: Site Indicator Species for Predicting Productivity of Pine Plantations in the Southern Cape. S. Afr. For. J. 148: 7-17.
- Shannon, C.E. u. Weaver, W., 1949: The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.
- Sharpe, P. J. H., 1990: Forest modeling approaches - compromises between generality and precision. In: Dixon, Mehldal, Ruark, Warren (eds.): Process Modeling of Forest Growth Responses to Environmental Stress; Timber Press, Portland, Oregon: 21-32.
- Shugart, H. H., 1984: A theory of forest dynamics: the ecological implication of forest succession models. Springer, New York. 278 S.
- Shumway, R. H., 1988: Applied statistical time series analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 379 pp. ISBN 0-13-041500-6.
- Shvidenko, A., Venevsky, S., Raille, G. u. Nilsson, S., 1995: A system for evaluation of growth and mortality in Russian forests. Water, Air and Soil Pollution 82: 333-348.
- Shvidenko, A., Venevsky, S., Raille, G. and Nilsson, S., 1995: A system for evaluation of growth and mortality in Russian forests. Water, Air and Soil Pollution 82: 333-348.
- Sievänen, R., 1993: A process-based model for the dimensional growth of even-aged stands. Scand. J. For. Res. 8: 28-48.
- Siitonens, M., 1983: A long term forestry planning system based on data from the Finnish national forest inventory. Univ. of Helsinki, Dept of For. Mens. & Mgmt Res. Note 17: 195-207.
- Siitonens, M., 1983: A long term forestry planning system based on data from the Finnish national forest inventory. Univ. of Helsinki, Dept of For. Mens. & Mgmt Res. Note 17: 195-207.
- Skovsgaard, J. P. u. Mosing, M., 1996: Bogefoynelser i Ostjylland. Danish Forest and Landscape Research Institute.
- Sloboda, B., 1971: Zur Darstellung von Wachstumsprozessen mit Hilfe von Differentialgleichungen erster Ordnung. Mitt. Bad.-Württemb. Forstl. Vers. u. Forsch. Anstalt. Heft 32.
- Sloboda, B., 1976: Mathematische und stochastische Modelle zur Beschreibung der Statik und Dynamik von Bäumen und Beständen – insbesondere das bestandesspezifische Wachstum als stochastischer Prozeß. Habil.-Schrift, Univ. Freiburg, 310 S.
- Sloboda, B., 1984: Bestandesindividuelles biometrisches Schaftformmodell zur Darstellung und zum Vergleich von Formigkeit und Sortimentausbeute sowie Inventur. Tagungsbericht d. Sektion Ertragskunde, Neustadt.

- Smalley, G. W. u. Bailey, R. L., 1974: Yield tables and stand structure for shortleaf pine plantations in Tennessee, Alabama and Georgia highlands. USDA For. Service Res. Paper SO-97.
- Smaltschinski, T., 1981: Bestandesdichte und Verteilungsstruktur. Dissertation, Universität Freiburg.
- Sonntag, M., 1998: Klimaveränderungen und Waldwachstum – Treedyn Simulationen mit einer Analyse modellsstruktureller Unsicherheiten. Verlag Mainz, Wissenschaftsverlag Aachen: 160 S.
- Souter, R. A., 1986: Dynamic stand structure in thinned stands of naturally regenerated loblolly pine in the Georgia Piedmont. Ph. D. Thesis. University of Georgia. Athens, GA.
- Späth, H., 1973: Spline-Algorithmen zur Konstruktion glatter Kurven und Flächen. Oldenbourg, München.
- Speidel, G., 1972: Planung im Forstbetrieb. Grundlagen und Methoden der Forsteinrichtung. Verlag Parey, Hamburg und Berlin. 267 S.
- Spellmann, H., 1998: Überführung als betriebliche Aufgabe. Forst und Holz, 54 (4): 110-116.
- Specker, H., 1995: Ein Vergleich natürlicher und pflegebedingter Selektionsprozesse. Mitt. d. Forstl. Vers. Anstalt Rhld-Pfalz, Nr. 34 161-179.
- Specker, M., 1994: Wachstum und Erziehung wertvoller Waldkirschen. Mitt. d. Forstl. Vers. u. Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Heft 181.
- Sprugel, D. G., 1991: Disturbance, Equilibrium, and Environmental Variability - what is Natural Vegetation in a Changing Environment. Biological Conserv. 58: 1-18.
- Spurr, S. H., 1962: A measure point density. For. Sci. 8: 85-96.
- Staupendahl, K., 1997: Ein neues Stichprobenverfahren zur Erfassung und Beschreibung von Naturverjüngung. Vortrag anlässlich der Jahrestagung der Sektion Forstliche Biometrie und Informatik des Deutschen Verbandes Forstlicher Versuchsanstalten am 24. 9. 97 in Freiburg.
- Staupendahl, K., u. Puimalainen, J., 1999: Modellierung des Einflusses von Durchforstungen auf die Durchmesserverteilung von gleichaltrigen Fichtenreinbeständen. Cbl. ges. Forstw. 116 (4): 249-262.
- Steingaß, F., 1995: Beschreibung der Schafiprofile von Douglasien. Diplomarbeit, Fachbereich Forstwissenschaft, Universität Göttingen.
- Steinmeyer A. and Gadow, K. v. 1994: Saaty's AHP - dargestellt am Beispiel der Waldbiotopkartierung. Centralblatt f. d. ges. Forstwesen 112 (1): 53-65.
- Sterba, H., 1975: Assmann's Theorie der Grundflächenhaltung und die "Competition-Density-Rule" der Japaner Kira, Ando und Tadaki. Cbl. ges. Forstw. 92 (1): 46-62.
- Sterba, H., 1981: Natürlicher Bestockungsgrad und Reinecke's SDI. Cbl. ges. Forstw. 98 (2): 101-116.
- Sterba, H., 1983: Single stem models from inventory data with temporary plots. Mitt. D. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien Nr. 147: 87-101.
- Sterba, H., 1990: Validitätsprüfung des Einzelbaumsimulators für Fichten-Kiefern-Mischbestände. Tagungsbericht. Dt. Verb. Forstl. Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde: 101-117.
- Sterba, H., 1991: Forstliche Ertragslehre. Lecture Notes: 159 S.
- Sterba, H., 1997: Waldwachstumsforschung – zwischen Erkenntnisdrang und Praxisanspruch. AFJZ 168 (11-12): 227-230.
- Sterba, H., 1998: Das Randproblem bei der Erfassung von Strukturparametern. Vortrag am 25. 6. 1998, Fak. f. Forstw. u. Waldökologie, Univ. Göttingen.
- Stöhr, F. K., 1968: Erweiterungsmöglichkeiten der Winkelzählprobe. Diss., Albert-Ludwig-Univ. Freiburg/Br. 83 S.
- Stoyan, D. u. Stoyan, H., 1992: Fraktale Formen Punktfelder. Methoden der Geometrie-Statistik. Akademie-Verlag, Berlin. 394 p.
- Struck, G., 1999: Effekte von Pflanzverband, Kulturdüngung und Schlagräumung am Beispiel junger Traubeneichenbestände. Diss., Fak. f. Forstwiss. u. Waldökologie, Univ. Göttingen: 196 S.
- Sturm, K., 1995: Möglichkeiten, Probleme und Defizite der Integration naturschutzrelevanter Daten im Rahmen der Forsteinrichtung. Schr. f. Landschaftspfl. u. Natursch. 43: 231-245.
- Sturm, K., 1994: Naturnahe Waldnutzung in Mitteleuropa. Studie im Auftrag von Greenpeace Deutschland.
- Susmel, L., 1980: Normalizzazione delle foreste alpini – basi ecosistemiche – equilibrio – modelli culturali – produttività. Liviane editrice, Padova 437 p.
- Suzuki, T., 1971: Forest Transition as a Stochastic Process. Mitt. FBVA Wien. Heft 91: 137-150.
- Suzuki, T., Ohsaki, K., Sato, H. u. Yamamoto, Y., 1992: A representation method for todo fir Shapes Using Computer Graphics. J. of the Jap. For. Soc. 74 (6): 504-508.

- Swindel, B. F., Smith, H. D. u. Gosenbaugh, L. R., 1987: Fitting diameter distributions with a hand-held programmable calculator. *Scand. J. For. Res.* 2: 325-334.
- Szaro, R. C. u. Johnston, D. W., 1996: Biodiversity in Managed Landscapes. Oxford University Press: 778 p.
- Teepe, R., Brumme, R. u. Beese, F., 2000: Der Einfluß der Bodenverdichtung bei der Holzernte auf den Austausch der Spurengase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.
- Temesgen, H. u. Gadow, K. v., 2003: Generalized Height-diameter Models for Major Tree Species in Complex Stands of Interior British Columbia. Eingereicht *Forstwiss. Centralblatt*.
- Thomasius, H. O. u. Thomasius, H., 1976: Anwendungsbeispiel zu einem Verfahren der Berechnung ertragskundlich optimaler Bestandesdichtewerte und Diskussion dieses Verfahrens. *Informationen TU Dresden, Sektion Forstwirtschaft, Bereich Waldbau und Forstschutz, Tharandt*: 21-76.
- Thomasius, H. O. u. Thomasius, H., 1978: Ableitung eines Verfahren zur Berechnung der ertragskundlich optimalen Bestandesdichte. *Beiträge f. d. Forstwirtschaft* 12 (79).
- Thomasius, H., 1963: Untersuchungen über die Brauchbarkeit einiger Wachstumsgrößen von Bäumen und Beständen für die qualitative Standortsbeurteilung. *Archiv für Forstwesen* 12 (12): 1267-1323.
- Thomasius, H., 1978: Modell des gleichaltrigen Reinbestandes. *TU Dresden, Sektion Forstwirtschaft, Tharandt, II Vorträge*: 122-148.
- Thomasius, H., 1988: Stabilität natürlicher und künstlicher Waldökosysteme sowie deren Beeinflußbarkeit durch forstliche Maßnahmen. AFZ No. 43: 1037-1043, 1064-1068.
- Thomasius, H., 1988: Stabilität natürlicher und künstlicher Waldökosysteme sowie deren Beeinflußbarkeit durch forstliche Maßnahmen. AFZ No. 43: 1037-1043, 1064-1068.
- Thomasius, H., 1996: Geschichte, Anliegen und Wege des Waldumbaus in Sachsen. *Schriftenreihe d. Sächs. Landesanst. f. Forsten* 6/96: 11-52.
- Thomasius, H., 2001: 50 Jahre Arbeitsgemeinschaft Naturgemäße Waldwirtschaft - Dauerwaldbewirtschaftung. *Der Dauerwald*, 24: 15-39.
- Tomé, M. u. Burkhardt, H. E., 1989: Distance-Dependent Competition Measures for Predicting Growth of Individual Trees. *Forest Science* 35(3): 816-831.
- Tomppo, E., 1986: Models and Methods for Analysing Spatial Patterns of Trees. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* No. 138, Helsinki: 65pp.
- Torres Rojo, J. M. u. Brodie, J. D., 1990: Adjacency constraints in harvest scheduling. *Can. J. of For. Res.* 20: 978-986.
- Trincado, G. u. Gadow, K. v., 1996: Zur Sortimentschätzung stehender Laubbäume. *Ctbl. ges. Forstw.* 1, 27-38.
- Trincado, G., Gadow, K. v. u. Tewari, V. P., 1996: Comparison of three stem Profile Equations for *Quercus robur* L. *South African Forestry Journal* 177: 23-29.
- Trincado, G., Kivistö, A. u. Gadow, K. v., 2003: Preliminary site index models for native Roble (*Nothofagus obliqua*) and Raulí (*N. alpina*) in Chile. *New Zealand J. of Forestry Science* 32 (3): 322-333.
- Trincado, G., Quezada, P. R. u. Gadow, K. v., 2003: A Comparison of two stand table projection methods for young *Eucalyptus nitens* (Maiden) plantations in Chile. *Forest Ecology and Management*. 180: 443-451.
- Turner, J., Thompson, C. H., Turvey, N. D., Hopmans, P. u. Ryan, P. J., 1990: A soil technical classification for *Pinus radiata* (D. Don) plantations. I. Development. *Aust. J. Soil Res.* 28: 797-811.
- Turton, S. M., 1985: The radiative distribution of photosynthetically active radiation within four tree canopies, Craigieburn Range, New Zealand. *Austr. For. Res.* 15: 363-394.
- Turvey, N. D., Booth, T. H. u. Ryan, P. J., 1990: A soil technical classification for *Pinus radiata* (D. Don) plantations. II. A basis for estimation of crop yield. *Aust. J. Soil Res.* 28: 813-824.
- Ulrich, B., 1987: Stabilität, Elastizität und Resilienz von Waldökosystemen unter dem Einfluß saurer Depositionen. *Forstarchiv* 58: 232-239.
- Ulrich, B., 1993: Prozeßhierarchie in Waldökosystemen. *Biologie in Unserer Zeit* 23 (5): 322-329.
- Ulrich, B., 1986: Stoffhaushalt von Waldökosystemen. Bioelement-Haushalt. Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen.
- Ulrich, B., Pirouzpanah, D. u. Murach, D., 1984: Beziehungen zwischen Bodenversauerung und Wurzelentwicklung von Fichten mit unterschiedlich starken Schadssymptomen. *Forstarchiv* 55; 127-134.

- Ung, C.-H., Raulier, F., Oullet, D. u. Dhôte, J.-F., 1997: L'indice de compétition interindividuelle de Schütz. Can. J. For. Res. 27: 521-526.
- Ung, C-H. 1993. Growth and branchiness of *Picea mariana* (Mill.) BSP. In Canadian Forest Service Modelling Working Group. Proc. of the seventh annual meeting and workshop, pp. 9. ISBN 0-662-21104-9.
- United Nations, 1992: Internationally agreed glossary of basic terms related to desaster management. United Nations Department of Humanitarian Affairs, Geneva.
- Upton, G. u. Fingleton, B., 1990: Spatial Data Analysis by Example. John Wiley, 409 S.
- Valsta, L.T., 1986: Mänty-rauduskoivusekametsikön hakkuuohjelman optimointi. Summary: Optimizing thinnings and rotation for mixed, even-aged pine-birch stands. Folia Forestalia 666. 23 S.
- Van der Meer, P. J., 1995: Canopy dynamics of a tropical rain forest in French Guiana. Diss., Landbouwuniversiteit Wageningen. Wegener, G. 1995: Perspektiven der Holznutzung. FwCbl. 114(2): 97-106.
- Van Laar, A. u. Akça, A., 1997: Forest Mensuration. Cuvillier Verlag Göttingen, 418 pp. ISBN 3-89588-874-5.
- Vanclay, J. K., 1989: Site productivity assessment in rainforests: an objective approach using indicator species. In: Wan Razali Mohd, H.T. Chan, S. Appanah (Editors), Proceedings of the Seminar on Growth and Yield in Tropical Mixed / Moist Forests, 20-24 June 1988, Kuala Lumpur. Forest Research Institute, Malaysia: 225-241.
- Vanclay, J. K., 1992: Assessing site productivity in tropical moist forests: a review. Forest Ecology and Management 54: 257-287.
- Vanclay, J. K., 1994: Modelling forest growth - applications to mixed tropical forests. CAB International, Wallingford, UK.
- Vanclay, J., 1998: Towards more rigorous assessment of biodiversity. In: Bachmann, P., Köhl, M. and Päivinen, R., (eds), 1998: Assessment of biodiversity for improved forest planning. Kluwer Academic Publishers: 211-232.
- Vincent, J. R. et al. 1990: Modelling forest sector dynamics - challenges for the future analysis. XIX IUFRO World Congress. Montreal. Div. 4: 445-449.
- Virgilietti, P. and Buongiorno, J., 1997: Modelling forest growth with management data – a matrix approach for the Italian Alps. Silva Fennica 31 (1): 27-42.
- Volz, K.-R., 1995: Zur ordnungspolitischen Diskussion über die nachhaltige Nutzung der Zentralressource Wald. Forst u. Holz 50 (6): 163-170.
- Waggener, T.R., 1969: Some economic implications of sustained yield as a forest regulation model. Contribution No. 6, Univ. of Washington: 22 pp.
- Waldherr, M., 1997: Risikoverluste und Erntearalter. AFZ/Der Wald: 206-207.
- Walter, H., 1960: Einführung in die Phytologie - III. Grundlagen der Pflanzenverbreitung - 1. Teil: Standortslehre. Stuttgart.
- Wang, Y. P. u. Jarvis, P. G., 1990: Description and validation of an array model - MAESTRO. Agricultural and Forest Meteorology 51: 257-280.
- Ware, G.O. and Clutter, J.L., 1971: A mathematical programming system for the management of industrial forests. For. Sci. 17: 428-445.
- Webb, L. J., 1959: A physiognomic classification of Australian rainforests. J. Ecol. 47: 551-570.
- Weise, W., 1880: Ertragstafeln für die Kiefer. Julius Springer Verlag, 156 S.
- Wenk, G., Antanaitis, V. u. Smelko, S., 1990: Waldertragslehre. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin. 448 S.
- Wenk, G., Römisich, K. u. Gerold, D., 1985: DDR-Fichtenertragstafel 1984. Technische Universität Dresden, Sektion Forstwissenschaft, Tharandt.
- Wensel, L., Meerschaert, W. u. Biging, G., 1987: Tree Heigh and Diameter Growth Models for Northern California Conifers, Hilgardia, University of California, Volume 55, No. 8.
- Wiant, H. V., Wood, G. B. u. Gregoire, T. G., 1992: Practical guide for estimating the volume of a standing sample tree using either importance or centroid sampling. For. Ecol. and Mgmt. 49: 333-339.

- Wiedemann, E., 1949: Ertragstafeln der wichtigsten Holzarten. M.& H. Schaper, Hannover.
- Wiedemann, E., 1931: Die Rotbuche. Mitteilung aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft, 96 S.
- Wiedemann, E., 1936: Die Fichte. Schaper Verlag, Hannover.
- Wiedemann, E., 1942: Der gleichaltrige Buchen-Fichten-Mischbestand. Mitt. a. Forstwirtschaft und Forstwissenschaft 13: 1-88.
- Wiedemann, E., 1949: Ertragstafeln der wichtigsten Holzarten. Schaper Verlag, Hannover.
- Wimmenauer, E., 1914: Ertrags- und Sortimentuntersuchungen im Buchenholzwald. Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Badens, 140 S.
- Windhager, M., 1999: Evaluierung von vier verschiedenen Waldwachstumssimulatoren. Diss., Universität für Bodenkultur Wien, 217 S.
- Yang, Y. Ch. U. Feng, F. L., 1989: The application of parameter prediction models and paramter recovery methods to the analysis of tree growth and stand structure in Taiwan. Q. Journ. Chin. For., 22(1):53-71.
- Zeide, B. u. Gresham, C. A., 1991: Fractal dimensions of tree crowns in three loblolly pine plantations of coastal South Carolina. Can. J. For. Res. 21(8): 1208-1212.
- Zeide, B. u. Pfeifer, P., 1991: A method for estimation of fractal dimension of tree crowns. For. Sci. 37(5): 1253-1265.
- Zenner, E. K. u. Hibbs, D. E., 2000: A new method for modeling the heterogeneity of forest structure. Forest Ecology and Management. 129(1): 75-87.
- Zoth, R. u. Block, J., 1992: Untersuchungen an Wurzelballen sturmgeworfener Bäume in Reinland-Pfalz. Forst und Holz 47(18); 566-571.