Arab Gulf J. Scient. Res., **14** (1), pp. 223-248 (1996)

Application of Mathematical Models in Management and Use of Candidate Wild Plants for Restoration of Degraded Lands in the Arab Gulf Region

Ahmad K. Hegazy

Botany Department, Faculty of Science,
University of Cairo, Giza, P.O.BOX 12613, Egypt

ABSTRACT. In recent years, there has been growing interest in studying local plants as a substitute for introduced species to be used in restoration of degraded lands in the Gulf region. The terrestrial ecosystems suffer strong degradation caused either by rapid social, agricultural and industrial developments or natural resource explorations. There is a critical need to start the restoration programs by using local wild plants which have adapted to the prevailing environmental conditions. The studied species, *Zygophyllum quatarense* (Hadidi) has wide ecological amplitude and is widespread in almost all terrestrial habitat types of Qatar.

The use of theoretical models in the form of equations, illustrated graphs or matrices are useful and non-destructive tools to study, assess and manage the plant populations for degraded ecosystems restoration. These models provide: 1) a satisfactory description and monitoring of natural and experimental plant populations; ii) an enlightenment on aspects of population dynamics; and iii) a system which can be incorporated into complex models.

The application of exponential and sigmoid growth equations, transition matrix, life table and fecundity schedule indicated the possibility of using *Zygophyllum quatarense* as a local species for restoration programs of degraded terrestrial ecosystems in the Gulf region. The results showed that this specie has high reproductive rates in different adult age classes, long life span lasts for more than one generation, increased survivorship and future expectations of life. This is beside its wide ecological amplitude, drought and salinity tolerance.

Hegazy, A.K. (1990) Population ecology and implications for conservation of *Cleome droserifolia,* a threatened xerophyte. *J. of Arid Environments,* **19:** 269-282.

Hegazy, A.K. and **Eesa, N.M.** (1991) On the ecology, insect seed predation and conservation of a rare and endemic plant species: *Ebenus armitagei* (Leguminosae). *Conservation Biology,* **5:** 317-324.

Kassas, M. (1995) Desertification: a general review. *J. of. Arid Environments,* **30**: 115 - 128.

Kassas, M. (1987) Drought and desertification. Land Use Policy, Butterworth and Co. (Publishers) Ltd., 389-400 pp.

Kassas, M. (1977) Arid and semi-arid lands: Problems and prospects. *Agro-Ecosystems,* **3:** 185-204.

Mainguet, M. (1991) Desertification: Natural Background and Human Mismanagement. Springer-Verlag.

Pielou, E.C. (1977) *Mathematical Ecology.* John Wiley, New York.

Searle, S.R. (1966) *Matrix Algebra for the Biological Sciences.* John Wiley and Sons, New York.

Verstraete, M.M. (1983) Another look at the concept of desertification. *In:* Origin and Evolution of Deserts. Edited by **Wells, S.G.** and **Haragan, D.R.,** University of New Mexico Press, Albuquerque. 213-228 pp.

(Received 05/03/1994;
in revised form 12/03/1995)

المراجع العربية

بلبع ، عبدالمنعم و نسيم ، ماهر جورجي (١٩٩٠) *تصحر الأراضي في الوطن العربي* . منشأة المعارف ، الأسكندرية .

الحافظ ، مأمون (١٩٨٦) دور المناخ في إستعادة المناطق المتصحرة لقدرتها الإنتاجية . *مجلة الزراعة والمياه بالمناطق الجافة في الوطن العربي* ، ٤ : ٢٨-٣٥ .

الشخاترة ، محمد (١٩٨٦) التصحر في الوطن العربي : مفهومة وماضية وأسبابه ونتائجه وأهم الأسس والسبل لمعالجتة . *مجلة الزراعة والمياة بالمناطق الجافة في الوطن العربي* ٤ : ٤- ٢٧ .

الشوربجي ، محمد أحمد (١٩٨٦) التصحر في الوطن العربي وأثره على الإنتاج الزراعي والأمن الغذائي . مطبوعات المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة .

طلبة ، مصطفى كمال (١٩٩٢) *إنقاذ كوكبنا* : التحديات والآمال (حالة البيئة في العالم ١٩٧٢ - ١٩٩٢) . مركز دراسات الوحدة العربية ، بيروت .

القصاص ، محمد عبدالفتاح (١٩٩٠) *الإنسان والبيئة والتنمية* . مطبوعات معهد الدراسات والبحوث البيئية ، جامعة عين شمس ، القاهرة .

References

Dregne, H.E. (1983) *Desertification of Arid Lands.* Harwood Academic Publishers, London.

Glantz, M.H. (1977) *Desertification; environmental degradation in and around arid lands.* Westview Pren, Boulder, Colorado.

Grainger, A. (1986) *Desertification.* Earthscan Publication. London, Paris, Washington.

Hegazy, A.K. (1994) Trade-off between sexual and vegetative reproduction in the weedy *Heliotropium curassavium. J. of Arid Environments,* **27:** 209-220.

Hegazy, A.K. (1992) Age-specific survival, mortality and reproduction, and prospects for conservation of *Limonium delicatulum. J. of Applied Ecology,* **29:** 549-557.

تنويه

يمثل هذا البحث جزء من محاضرة عامة ألقيت في قسم الرياضيات بجامعة قطر بعنوان :

نماذج رياضية في الدراسات والإدارة البيئية

"Mathematical Models in Ecological Studies and Management".

من خلال برنامج المحاضرات العامة للقسم في العام الجامعي ١٩٩٣ / ١٩٩٤م ، وقد أجريت الدراسة ضمن مشروع «التقييم البيئي وصون المصادر النباتية في دولة قطر» المدعم من برنامج الأمم المتحدة الإنمائي (UNDP) ومركز البحوث العلمية والتطبيقية (SARC) بجامعة قطر المسجل برقم (A. K. HEGAZY - QAT / 86 /001/PD). أتقدم بالشكر للدكتور محمد القصاص (كلية العلوم ـ جامعة القاهرة) على ما قدمه من عون ومقترحات بناءة لموضوع البحث .

تاريخ استلام البحث : ٥ /٣ /١٩٩٤م

تاريخ اعداده النهائي للنشر ١٢/٣ /١٩٩٥م

(١) بالرغم من كثرة عدد الوفيات في مرحلة البادرات إلا أن النسبة الضئيلة (٢ , ١٪) التي تتحمل الظروف البيئية السائدة في منطقة الخليج قادرة على الوصول إلى مرحلة النضج والتكاثر ، وعلى النقيض فإن معدل الوفيات في النباتات البالغة أقل بكثير منه في حالة البادرات حيث يصل حوالي ٦ , ٥٪ إلى عمر ٣٥ سنة أو أكثر .

(٢) زيادة التوقعات المستقبلية لحياة النبات خاصة في النباتات البالغة الأقل في العمر من خمس سنوات مما يضمن إستمرار إمداد النظام البيئي ذاتيًا بالأفراد ذات الأمد الطويل .

(٣) معدلات التكاثر العالية في الأعمار المختلفة وطول عمر الجيل الواحد الذي يبلغ في المتوسط حوالي ١٦ سنة .

(٤) قدرة العشيرة النباتية على الإستمرار في الحياة وتكرار نفسها ذاتيًا لأكثر من جيل واحد قبل أن تتدهور .

(٥) نظراً لأن إستمرار وجود العشيرة النباتية يعتمد إلى حدٍ ما على عمر النبات أو أطوار حياته المختلفة فإنه في حالة قطع النبات لإستخدامه في أي غرض فيمكن إنتقاء الأفراد الأقل مقدرة على التكاثر أو الأفراد محدودة التوقعات المستقبلية للحياة .

وجدير بالذكر أن نبات الهرم القطري يتميز بمدى بيئي واسع وهو دائم الخضرة ويتحمل الجفاف والملوحة . وجاري حالياً دراسات على البيئة الذاتية وديناميكية العشائر النباتية لهذا النوع في البيئات المختلفة لمعرفة صفاته وسلوكه البيئي .

إن إحدى عواقب تأهيل وإستعادة الأراضي المتدهورة هي الإختيار بين إستخدام الأنواع المحلية أو الدخيلة لإستعادة صلاحية الأرض . وعادة يرجع إختيار الأنواع الملائمة للإصلاح إلى مسألة تقرير أيهما يصل بفائدة الأرض للإنسان إلى الحد الأمثل . واللجوء إلى إستخدام الأنواع الدخيلة يكون نتيجة الحاجة إلى العائد السريع أو زيادة كلفة إستخدام الأنواع المحلية وخاصة أن بعضها قد يكون نادر الوجود . إلا أنه قد تكمن بعض المخاطر من جراء إستخدام الأنواع الدخيلة تتمثل في إزدهار النبات الدخيل في بادىء الأمر ثم تدهوره بعد تخطي عتبة بيئية معينة تاركاً الأرض أكثر تدهوراً مما كانت عليه . أو قد يستمر النبات الدخيل في الإزدهار والتكاثر مهدداً التنوع البيولوجي المحلي خاصة وأن معظم الأنواع النباتية المحلية قد تكون نادرة ويمكن حسم المفاضلة بين إستخدام الأنواع المحلية والدخيلة بتطبيق النماذج الرياضية الممثلة في معادلات النمو ، النموذج المصفوفي ، وجدول الحياة والخصوبة .

وتعتمد هذه النماذج على بيانات التعداد الديموجرافي لأطوار حياة النبات المختلفة لفهم ديناميكية الأنواع النباتية في البيئات المختلفة ، وتساعد النماذج الرياضية على التنبؤ بمستقبل الأنواع المختلفة على المدى الطويل بناء على دراسات قصيرة الأمد وقليلة التكلفة عن ماضي وحاضر الأنواع ، ونتيجة لذلك فإنه يمكن تطوير طرق إدارة وتنمية النباتات البرية في المناطق القاحلة سواء لغرض إعادة تأهيل النظم البيئية المتدهورة أو لغرض الحفاظ على التنوع البيولوجي مما يقلل من مشاكل التصحر .

لقد إتضح من تطبيق النماذج الرياضية في دراسة نبات الهرم القطري أن هذا النوع يعتبر من النباتات المحلية التي يمكن إستخدامها في إعادة تأهيل الأراضي المتدهورة . وبناء على هذه الدراسة ، فإن هذا النوع يتميز بعدة صفات تؤهله للإستخدام في إعادة تأهيل الأراضي المتدهورة ، تتلخص فيما يلي :

النماذج الرياضية وإعتبارات التصحر

نظراً لأن التصحر ينطوي على تدمير الحياة البرية وإختفاء مجموعات نباتية وحيوانية كثيرة ، فهو أحد الأسباب الرئيسية لخسارة التنوع البيولوجي Biodiversity في المناطق القاحلة وشبة القاحلة مما يحد من فرص إنتاجية النظم البيئية وإستمرارها في حالة سليمة . فإذا كان منع تدهور الأراضي وتصحرها يعتبر أكثر فعالية وإقتصاداً من إعادة تأهيل الأراضي المتدهورة Restoration ، فهذه الأخيرة تزداد صعوبة وتكلفة مع إزدياد درجة التدهور . وبالتالي فإن إستراتيجية مقاومة التصحر أو إعادة تأهيل الأراضي المتدهورة يتطلب أساساً الحفاظ على التوازن البيئي أو إعادته إلى حالته الطبيعية ، ومن هنا فإن تطبيق أساليب الإدارة السليمة في تحقيق التوازن البيئي والمحافظة عليه يجب أن تكون إحدى الركائز الأساسية في هذا المجال (Kassas 1977 and 1995 ، الشوربجي ١٩٨٦ ، طلبة ١٩٩٢) . ويعتبر تطبيق النماذج الرياضية في إدارة وتنمية النظم البيئية وما بها من نباتات وأحياء أخرى ، أحد الوسائل التي يجب إتباعها في الوقت الحالي لمكافحة التصحر نظراً لتوافقها مع كل الدراسات قصيرة أو طويلة الأمد وذلك لأسباب عديدة منها :

(١) بإستخدام النماذج الرياضية يمكن وصف العشائر أو المجتمعات النباتية أو الأحيائية المختلفة سواء في بيئتها الطبيعية أو التجريبية بمقاييس ثابتة صالحة للمقارنة .

(٢) توضح ديناميكية التغير في العشائر أو المجتمعات الأحيائية في الماضي والحاضر ، كما تمكن من التنبؤ بما سوف يحدث في المستقبل .

(٣) توفر المعلومات اللازمة لدراسة التفاعلات الأحيائية واللاأحيائية داخل أي نظام بيئي مما ييسر معرفة أي تغيير أو تدهور قد يحدث ويؤدي إلى التصحر .

$$\begin{bmatrix} 1.000 & 12163 & 19939 & 21898 & 27456 & 18931 & 10310 & 5021 \\ 0.963 & - & - & - & - & - & - & - \\ - & 0.824 & - & - & - & - & - & - \\ - & - & 0.685 & - & - & - & - & - \\ - & - & - & 0.667 & - & - & - & - \\ - & - & - & - & 0.315 & - & - & - \\ - & - & - & - & - & 0.259 & - & - \\ - & - & - & - & - & - & 0.074 & - \end{bmatrix}_t \times \begin{bmatrix} 54 \\ 52 \\ 61 \\ 37 \\ 36 \\ 17 \\ 14 \\ 4 \end{bmatrix}_t =$$

$$\begin{bmatrix} 54 & 632476 & 1216279 & 180226 & 988416 & 321827 & 144340 & 20084 \\ 50.1 & - & - & - & - & - & - & - \\ - & 42.9 & - & - & - & - & - & - \\ - & - & 41.8 & - & - & - & - & - \\ - & - & - & 24.7 & - & - & - & - \\ - & - & - & - & 11.3 & - & - & - \\ - & - & - & - & - & 4.4 & - & - \\ - & - & - & - & - & - & 1.04 & - \end{bmatrix}_{t+1} = \begin{bmatrix} 4133702 \\ 50.1 \\ 42.9 \\ 41.8 \\ 24.7 \\ 11.3 \\ 4.4 \\ 1.04 \end{bmatrix}_{t+1}$$

شكل ٩ . النموذج المصفوفي والمتجه العمودδ لعشيرة من الأفراد البالغة لنبات الهرم القطري في مراحل العمر المختلفة خلال الإنتقال من فترة زمنية **(t)** إلى الفترة التالية **(t+1)** . أنظر متن البحث للتفاصيل .

(٥) النموذج المصوفي

يوضح شكل رقم (٩) المصفوفة الإنتقالية والمتجهة العمود لعشيرة النباتات البالغة بناء على عدد الأفراد الحية ، الخصوبة ، ومعدل التكاثر في كل شريحة من العمر . ويتضح من ذلك أنه يمكن إنتقال العشيرة النباتية من جيل إلى أخر خلال الفترة الزمنية (t) إلى الفترة التالية (t+1) ، أي أنه من الممكن أن تستمر العشيرة النباتية لأكثر من جيل قبل أن تتدهور . ويدعم ذلك مقدرة النبات الفائقة على التكاثر وكثرة عدد النباتات في شرائح العمر الأولى مما يضمن إستمرار إمداد العشيرة النباتية بالأفراد ذات الأمد الطويل .

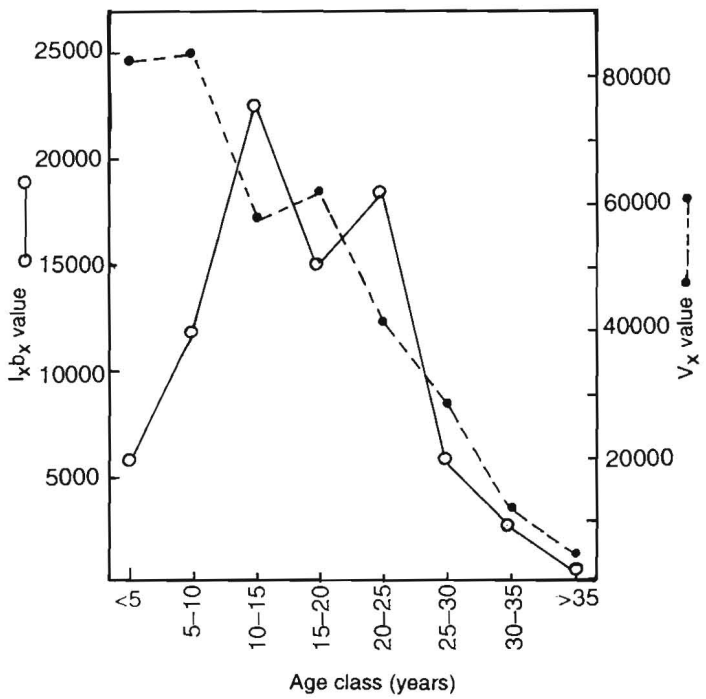
جدول ١ . جدول الحياة والخصوبة لعشيرة بالغة من نبات الهرم القطري ، أنظر متن البحث لمعرفة التفاصيل .

x (years)	N_x	l_x	d_x	q_x	e_x	b_x	$l_x b_x$	$x l_x b_x$	V_x
(1) < 5	54	1.000	0.037	0.037	5.093	05846	05846	014615	82408
(2) 5 - 10	52	0.963	-0.167	-	4.250	12163	11713	087848	83589
(3) 10 - 15	61	1.130	0.445	0.394	2.770	19939	22531	281638	57389
(4) 15 - 20	37	0.685	0.018	0.026	2.920	21898	15000	262500	61779
(5) 20 - 25	36	0.667	0.352	0.528	1.972	27456	18313	412043	40956
(6) 25 - 30	17	0.315	0.056	0.178	2.057	18931	05963	163983	28588
(7) 30 - 35	14	0.259	0.185	0.714	1.286	10310	02670	086775	11745
(8) > 35	4	0.074	-	-	1.000	05021	00372	027450	05021
							Σ 82408	Σ 1336852	

$R_0 = 82408$ T = 16.22 r = 0.6979

(٤) الخصوبة والتكاثر

عند تقدير الخصوبة بناء على إنتاج البذور (التكاثر الجنسي) أتضح أن متوسط معدل التكاثر (R_0) ذات قيمة عالية وصلت إلى حوالي ٨٢٤٠٨ ، بينما وصل المعدل الذاتي لزيادة الأفراد (r) قيمة موجبة حوالي ٠,٦٩٧٩ أي أن أفراد العشيرة النباتية تستمر في الزيادة مع متوسط عمر الجيل الواحد حوالي ١٦,٢ سنة (جدول ١) . إختلفت قيمة ($L_x b_x$) حسب عمر النبات ووصلت أعلى معدلاتها في الأعمار بين ١٠-٢٥ سنة ، وتدنت القيمة مع العمر حتى وصلت ٣٧٢ في النباتات البالغة من العمر أكثر من ٣٥ سنة (شكل ٨) . أما بالنسبة للقيمة التكاثرية (V_x) فوصلت أعلى معدلاتها حوالي ٨٣٥٩٨ في الأفراد ذات العمر من ٥-١٠ سنوات ثم تدرجت في النقصان حتى وصلت ٥٠٢١ في الأفراد البالغة من العمر أكثر من ٣٥ سنة (شكل ٨) .

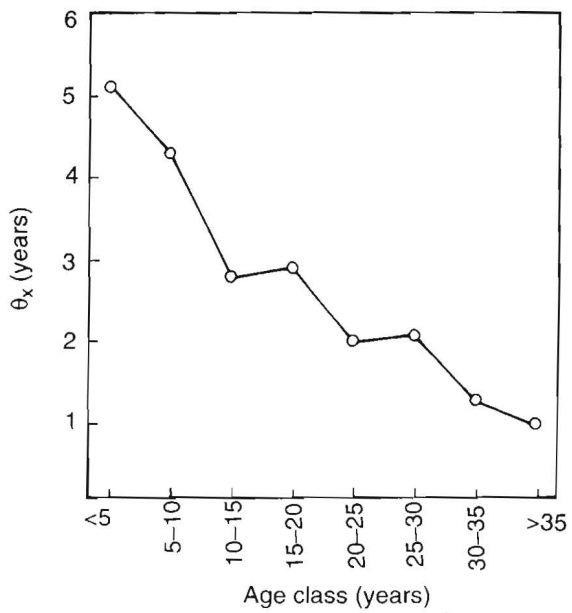


شكل ٨ . الخصوبة والقيمة التكاثرية لنبات الهرم القطري في مراحل العمر المختلفة .

أما بالنسبة للنباتات البالغة ذات الأعمار المختلفة (شكل ٦) فإن طراز الحياة يتميز بقلة الوفيات خلال فترة من العمر قد تصل إلى ٢٥ سنة ، ولكن تزداد الوفيات بشكل واضح عند الأفراد المتقدمين في العمر الذين تزيد أعمارهم عن ٢٥ سنة حيث يصل أعلى معدل للوفيات حوالي ٧ , ٠ عند عمر ٣٥ سنة أو أكثر ويلاحظ أن حوالي ٦ , ٥٪ من الأفراد البالغة قد يصل إلى عمر ٣٥ سنة ، وهي نسبة عالية نسبياً حيث تكون النباتات البالغة أكثر تحملا ومقاومة للظروف غير المواتية .

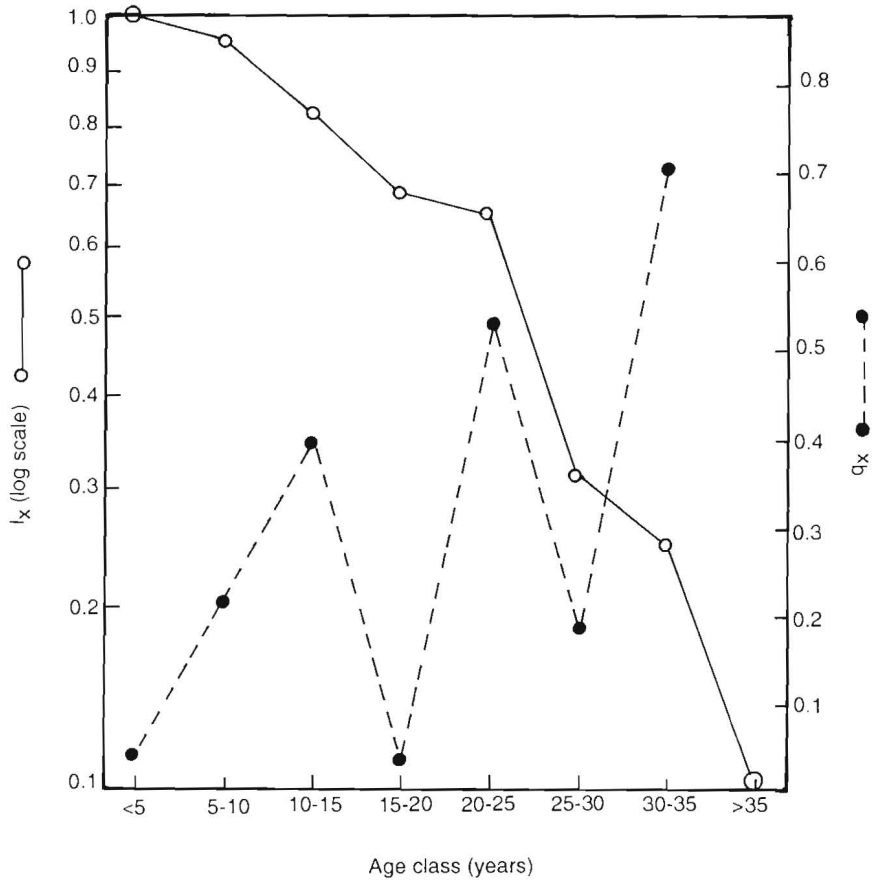
(٣) التوقعات المستقبلية لبقاء الأفراد

بلغ متوسط التوقعات المستقبلية لبقاء الأفراد أعلى معدلاته بما يزيد عن خمس سنوات في النباتات البالغة والأقل في العمر من خمس سنوات (شكل٧) . تتدرج هذه التوقعات في النقصان مع التقدم في العمر إلى أن تصل إلى أدنى معدلاتها بما يقرب من سنة واحدة للأفراد الذين تتعدى أعمارهم ٣٥ سنة . ويتضح من ذلك أن مدة بقاء العشيرة النباتية البالغة يتوقف أساساً على العمر أكثر منها على الظروف البيئية .



شكل ٧ . التوقعات المستقبلية لحياة أفراد عشيرة من نبات الهرم القطري في مراحل العمر المختلفة .

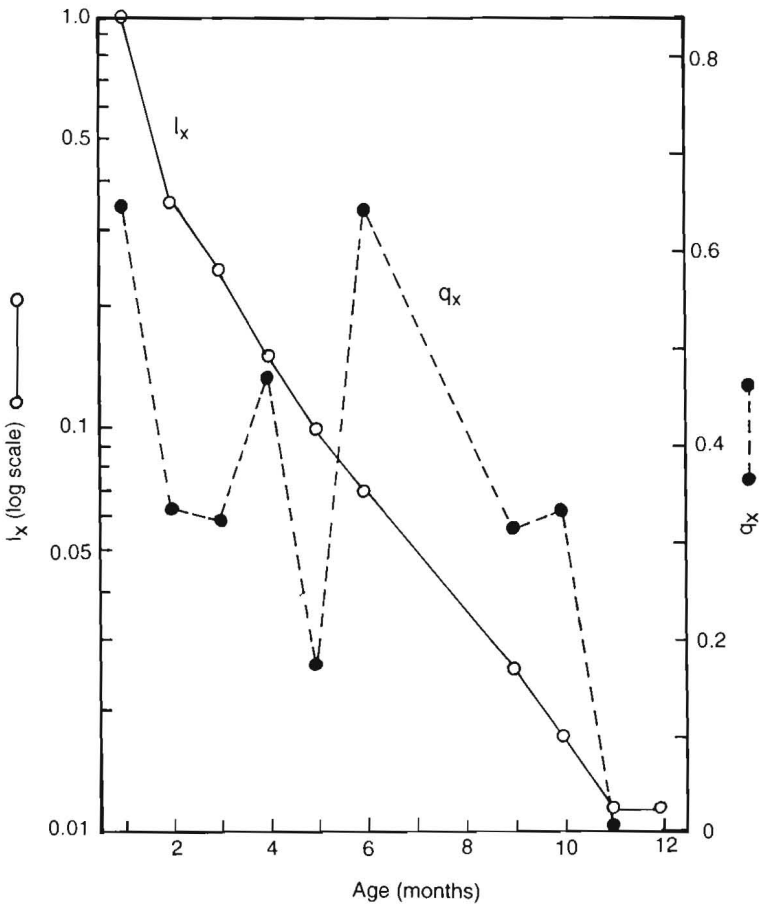
عمر البادرات . ويتضح ذلك من تذبذب معدل الموت (q_x) مع التقدم في العمر . وقد وصل معدل الموت إلى أعلى درجاته خلال الشهر الأول والسادس (حوالي ٦٥ , ٠) ، ومن المحتمل أن يرجع ذلك إلى التنافس الشديد في ظل درجات الحرارة والتبخر العالية وقلة رطوبة التربة من الشهر السادس . ويلاحظ أن حوالي ٢ , ١٪ من البادرات وصلت إلى عمر ١٢ شهراً وهذه النسبة الضئيلة تواصل الحياة خلال العام التالي وتدخل مرحلة النضج والتكاثر .



شكل٦ . طراز الحياة والموت في عشيرة من الأفراد البالغة لنبات الهرم القطري في مراحل العمر المختلفة .

(٢) البقاء والفناء

يختلف عدد الأحياء (L_x) في مرحلة البادرات عنها في النباتات البالغة . تتميز مجموعة البادرات بموت عدد كبير من الأفراد خلال الشهر الأول والثاني من العمر ، ويتبع ذلك خط مستقيم لحياة أفراد البادرات (شكل ٥) . ويدل ذلك على أن موت البادرات يتوقف على الظروف البيئية المحيطة أكثر منه على

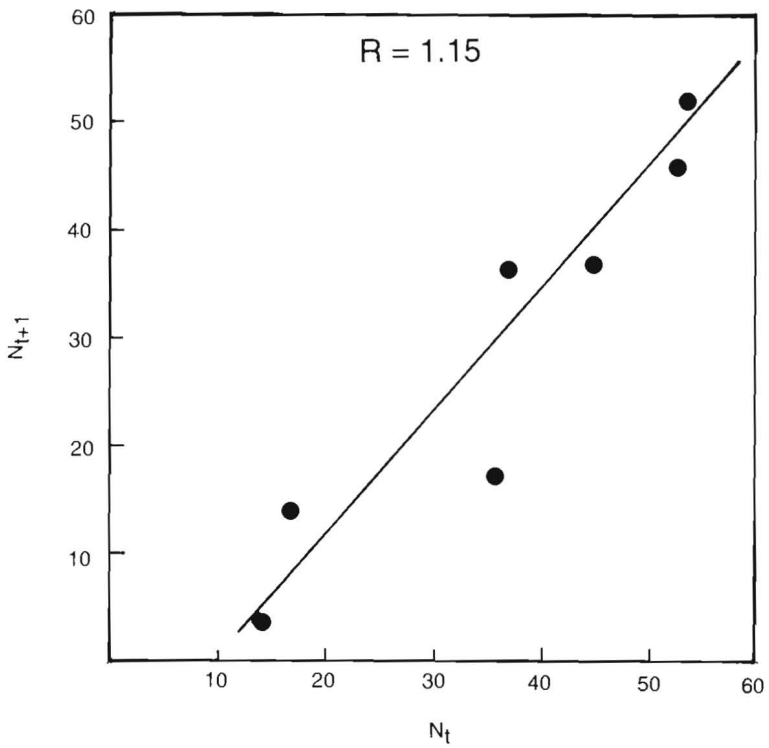


شكل ٥ . طراز الحياة والموت في عشيرة من بادرات نبات الهرم القطري خلال سنة النمو .

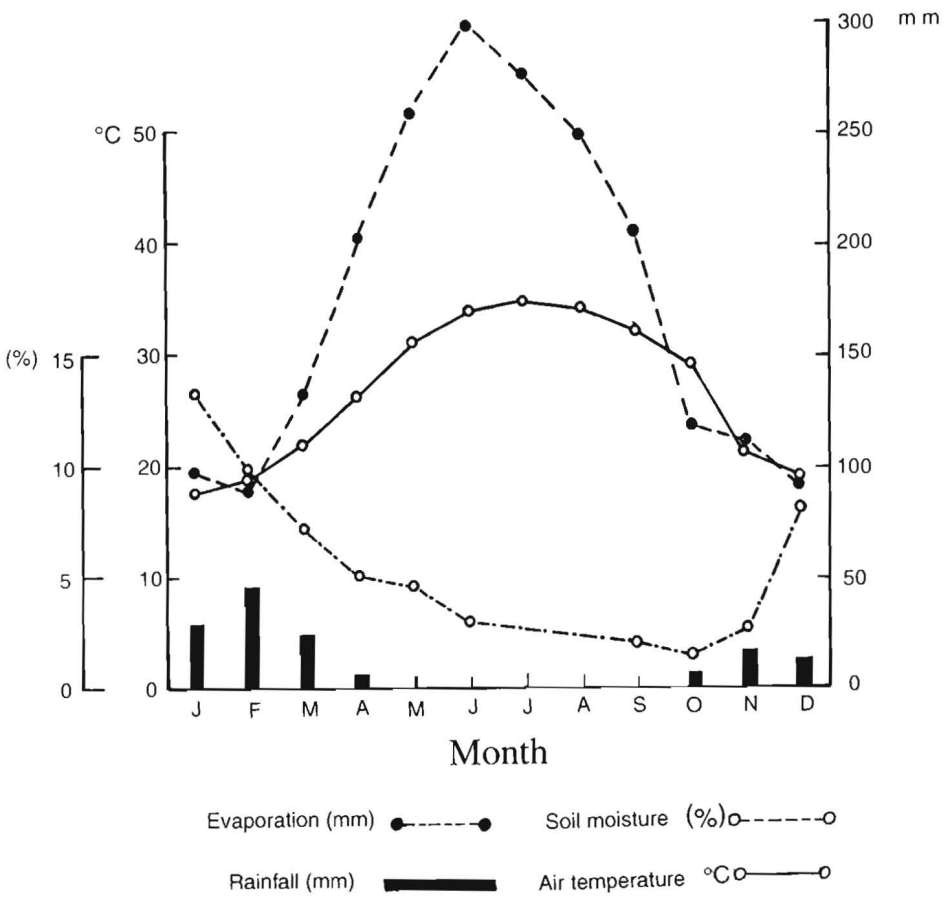
ديناميكية العشيرة النباتية

(١) النمو

الخط البياني في شكل (٤) يبين التغير في عدد أفراد العشيرة النباتية في زمن معين (N_t) مع الفتر الزمنية التالية (N_{t+1}) كما هو موضح بالمعادلة رقم (٣) التي تبين مسار نمو العشيرة النباتية خلال فترة زمنية معينة . ويستنتج من هذا الخط البياني أن معدل التكاثر (R_0) يساوي 1.15 ، ويعني ذلك أن منحنى النمو يتخذ الشكل الأسي حيث يتضاعف حجم العشيرة بمعدل ثابت قبل الوصول إلى مستوى قدرة الحمل (K) للنظام البيئي .



شكل ٤ . تغير عدد أفراد عشيرة نبات الهرم القطري مع الوقت . لاحظ أن معدل التكاثر أكبر من الوحدة (R = 1.15) .



شكل ٣ . المتوسط الشهري لدرجات اللحرارة (درجة مئوية) ، المطر (مم/ شهر) ، التبخر (مم/ يوم) ورطوبة التربة (٪) بالقرب من منطقة الدراسة .

المائي معظم شهور السنة . ويعتبر جفاف المنطقة مع زيادة المناشط البشرية بمثابة مؤشر لتدهور النظم البيئية الأرضية مما يتطلب حتمية إتخاذ خطوات فعالة لمكافحة هذا التدهور وإعادة النظم البيئية إلى توازنها البيئي (الحافظ ١٩٨٦) .

حيث تمثل (b_t) درجة نجاح التكاثر Reproductive success للنبات في عمر معين . وبمعرفة عدد الأحياء ودرجة الخصوبة فإنه يمكن تقدير طول عمر الجيل الواحد Generation time (T) والمعدل الذاتي لزيادة الأفراد Intrinsic rate of increase (r) كما يلي :

$$T = \frac{\sum x \; L_x \; b_x}{\sum \; L_x \; b_x} \qquad r = \frac{Ln \; R_0}{T}$$

ولتطبيق هذه النماذج الرياضية على نبات الهرم القطري كحالة دراسة ، فقد تم الحصر الديموجرافي Demographic census لأطوار حياة النبات لعشيرة نباتية تنمو طبيعيًا بالقرب من أبو سمرة في دولة قطر . وتم جمع البيانات وتتبع العشيرة النباتية حسب الطرق المستخدمة بواسطة (Hegazy 1992, Hegazy and Eesa 1991) . وقد تم تطبيق النماذج الرياضية السابقة في تحليل النتائج تبعاً لكل من (Hegazy 1992 , Pielou 1977 , Searle 1966)

النتائج والمناقشة

العوامل البيئية

يبين شكل (٣) المتوسط الشهري لدرجات الحرارة والمطر والتبخر ورطوبة التربة ، تتميز منطقة الدراسة بإرتفاع درجات الحرارة معظم شهور السنة ، حيث بلغ المتوسط الشهري للحرارة خلال أشهر الصيف أكثر من ثلاثين درجة مئوية بينما يتميز الشتاء بإعتدال المتوسط الشهري لدرجات الحرارة والتي تراوحت بين ١٧-٢٢ درجة مئوية . ويلاحظ أن هناك تدني ملحوظ في كميات هطول المطر . فتعتبر المنطقة جافة ذات فصل مطري واحد خلال الشتاء مع متوسط سنوي أقل من ١٠٠ مم . ومما يزيد المنطقة جفافًا معدل التبخر العالي جدا والذي يتعدى معدل هطول الأمطار طوال العام ، حيث تعدت قيمة التبخر ٢٠٠ مم / يوم في الفترة من إبريل إلى أكتوبر ، بينما تراوحت بين ٨٠ - ١٤٠مم / يوم في باقي شهور السنة . وتتميز التربة بجفافها وقلة محتواها

III ـ جدول الحياة والخصوبة Life table and fecundity schedule

يتكون جدول الحياة والخصوبة من عدة أعمدة يرمز لكل منها برمز خاص ويرصد بها معلومات عن شرائح الأعمار Age classes المختلفة عند فترات زمنية متتابعة (cf. Hegazy 1990 and 1994) فإذا كانت (x) تمثل فترة زمنية من العمر Age interval ، بينما (N_x) هي عدد الأفراد في كل شريحة من العمر ، فإنه يمكن حساب عدد الأحياء (L_x) Survivals في كل شريحة من العمر كما يلي :

$$L_x = \frac{N_x}{N_0}$$

بينما يتم تقدير عدد الأموات Number of dying (dx) كما يلي :

$$d_x = L_x - L_{x+1}$$

ومن عدد الأحياء وعدد الأموات يمكن حساب معدل الموت (q_x) في كل شريحة من العمر Age-specific mortality rate كمايلي :

$$q_x = \frac{d_x}{L_x} = 1 - \frac{L_{x+1}}{L_x}$$

بينما يتم حساب التوقعات المستقبلية لحياة الأفراد (e_x) في الأعمار المختلفة Expectation of future life كما يلي :

$$e_x = \sum_{j=x}^{\infty} = \frac{L_j}{L_x}$$

فإذا كانت (b_x) تمثل عدد وحدات التكاثر ، فإنه يمكن إستنتاج معدل التكاثر Reproductive rate (R_0) والقيمة التكاثرية (V_x) Reproductive value كما يلي :

$$R_0 = \sum L_x \; b_x$$

$$V_x = \sum_{j=x}^{\infty} = \frac{L_t}{L_x} . \; b_t$$

ويمكن التعبير عن ذلك بسلسلة المعادلات التتابعية الخطية Linear recurrence equations كالآتي :

$$t_2a_0 = (t_1a_0 \times B_0) + (t_1a_1 \times B_1) + ... + (t_1a_s \times B_s)$$

$$t_2a_1 = (t_1a_0 \times P_0)$$

$$t_2a_2 = (t_1a_1 \times P_1)$$

$$t_2a_3 = (t_1a_2 \times P_2)$$

$$t_2a_s = (t_1a_{s-1} \times P_{s-1})$$

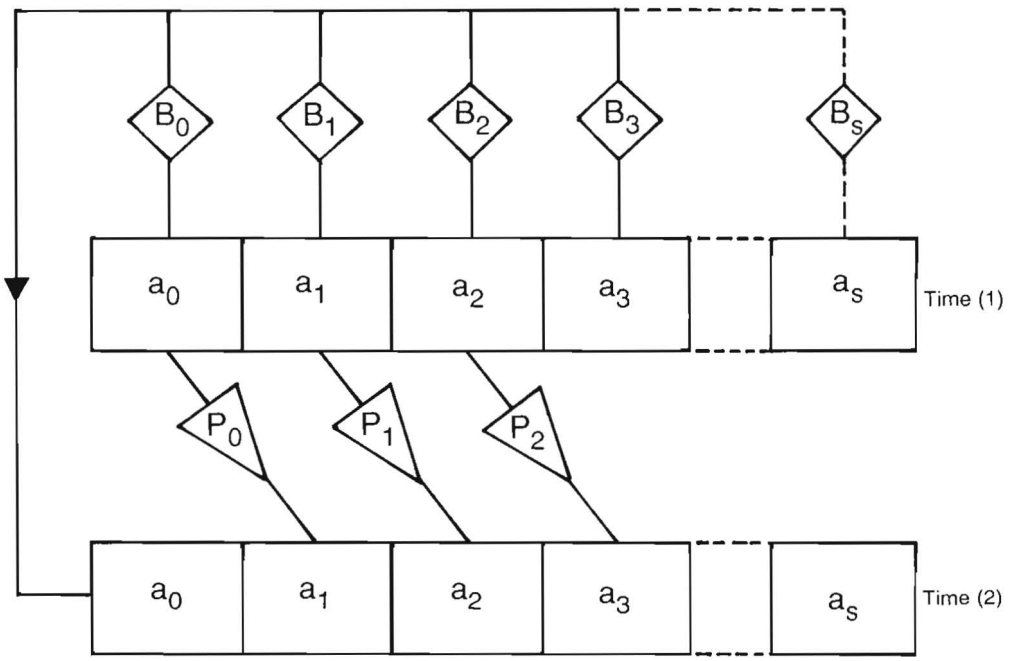
وبإستخدام هذه المعادلات فإنه يمكن التوصل إلى التقدير الكمي لكل مرحلة في دورة حياة النبات . كما أنه يمكن التعبير عن هذه المعادلات خلال المراحل المختلفة من الفترة الزمنية (t) إلى (t+1) . بإستخدام المصفوفة الإنتقالية Transition matrix والمتجه العمود Column vector كما يلي :

$$\begin{bmatrix} m_{1.1} & m_{1.2} & m_{1.s} \\ m_{2.1} & m_{2.2} & \cdots\ m_{2.s} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{s.1} & m_{s.2} & m_{s.s} \end{bmatrix}_t \times \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_s \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_s \end{bmatrix}_{t+1}$$

حيث تمثل (n_t) و (n_{t+1}) التغير في المراحل المختلفة للعشائر (N_t) و (N_{t+1}) من الفترة الزمنية (t) إلى الفترة الزمنية (t+1) ، وتمثل (m) الثوابت البيولوجية .

II ـ النموذج المصفوفي Matrix model

في حالة تقسيم العشيرة النباتية إلى عدة مجاميع (s) حسب العمر ، حيث تتميز كل مجموعة بعدد من الأفراد في نفس العمر ، فإذا كانت (N_{it}) تمثل عدد الأفراد في عمر معين (i) حيث ($i=a_0, a_1, a_2 .... a_s$) ، وبمرور الوقت من (t_1) إلى (t_2) فإن الأفراد ($a_0 , a_1, a_2 , a_3, ... a_{s-1}$) تنتقل إلى المجموعة التالية الأكبر في العمر (شكل ٢) .



شكل ٢ . جدول الحياة التخطيطي لعشيرة نباتية ذات أجيال متداخلة .

a = عدد الأفراد في كل شريحة من العمر .

B = الخصوبة في كل شريحة من العمر .

p = الأفراد الحية في كل شريحة من العمر .

أما إذا كانت R>1 فإن منحنى النمو يتخذ الشكل الأسي Exponential . وعندما تكون R<1 فإن نمو العشيرة النباتية يقترب من أقصى معدلاته والذي يعرف بقدرة الحمل (K) Carrying capacity . وفي هذه الحالة تصبح المعادلة التفاضلية السابقة كالتالي :

$$N_{t+1} = N_t R + K (1-R) \quad \ldots\ldots (3)$$

فإذا تم إدخال المعدل الذاتي للنمو (r) Intrinsic rate of increase فإن المعادلة التفاضلية لنمو العشيرة النباتية تصبح كالتالي :

$$\frac{dN}{dt} = rN_o \quad \ldots\ldots (4)$$

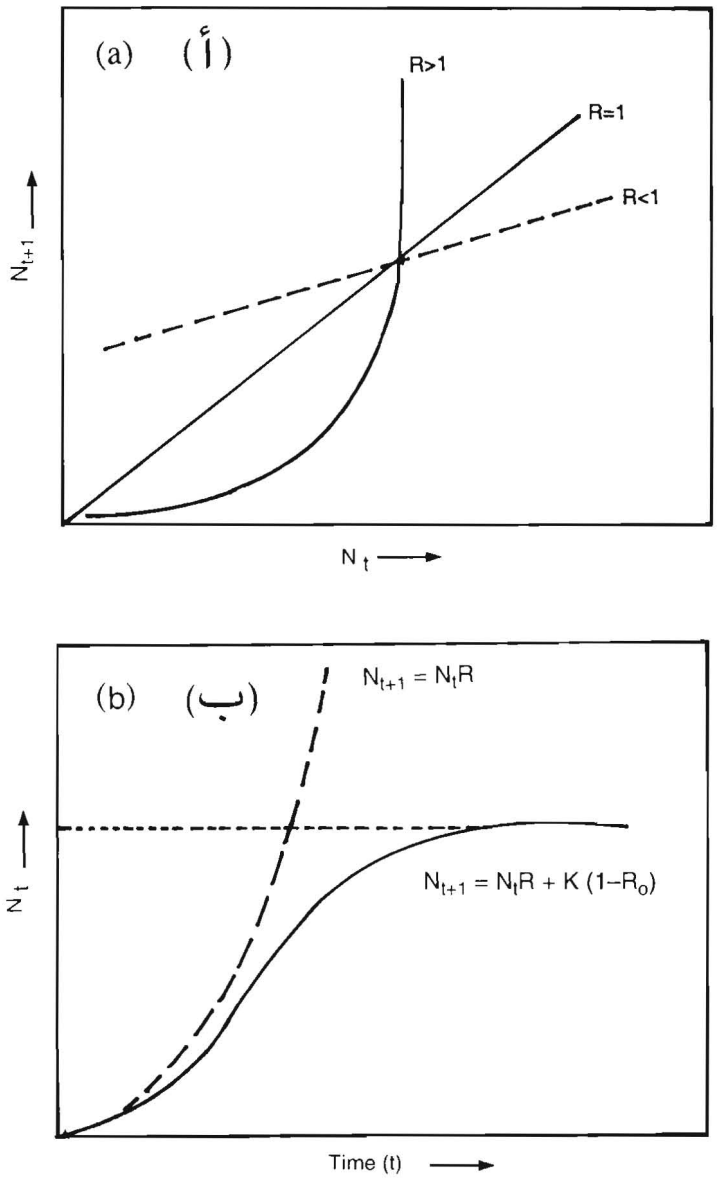
حيث تمثل (N_o) حجم العشيرة النباتية عند بداية الحصر . ويمكن الحصول على حجم العشيرة النباتية بعد فترة زمنية معينة (N_t) بتكامل المعادلة السابقة والتي تصبح :

$$N_t = N_o e^{rt} \quad \ldots\ldots (5)$$

حيث تمثل (e) أساسي اللوغاريتم الطبيعي ، بينما تمثل المعادلة منحنى النمو الأسي الذي يعني تضاعف حجم العشيرة بمعدل ثابت . وعند الأخذ في الاعتبار قدرة الحمل (K) ، فإن المعادلة رقم (4) تصبح كالتالي :

$$\frac{dN}{dt} = rN \frac{KN}{K} = rN \quad (1) \frac{N}{K} \quad \ldots\ldots (6)$$

والتي تعرف بالمعادلة اللوغارتيمية Logistic equation وتصف المنحنى السجمي المستمر Continuous sigmoid curve كما هو موضح في شكل رقم (١ب) .



شكل ١ . تغير عدد أفراد العشيرة النباتية مع الوقت .

أ - منحنى النمو حسب معدل التكاثر (أنظر متن البحث للتفاصيل) .

ب- منحنى النمو الأسي (خط متقطع) والسجمي المستمر (خط صلب) .

وتهدف هذه الدراسة إلى تطبيق إستخدام معادلات النمو Growth equations ، المصفوفة الإنتقالية Transition matrix وجدول الحياة والخصوبة Life table and fecundity schedule في دراسة عشيرة من نبات الهرم القطري تنمو برياً في دولة قطر لبيان إمكانية إستخدامه في إعادة تأهيل الأراضي الصحراوية المتدهورة .

النماذج الرياضية

I ـ معادلات النمو Growth equations

تصاغ المعادلة الأساسية التي تصف التغير في عدد أفراد العشيرة النباتية من الفترة الزمنية (t) إلى الفترة التالية (t + 1) كالآتي

$$N_{t+1} = N_t + (B-D)+(I-E) \quad \ldots\ldots (1)$$

حيث تمثل (N) عدد الأفراد أو الكثافة في الفترة الزمنية (t) و(t + 1) على التوالي ، أما (B) فتمثل عدد الأفراد المستوطنة Established ، (D) عدد الأفراد المفقودة أو الميتة Mortality ، (I) و (E) عدد الأفراد (أعضاء التكاثر) المهاجرة إلى الداخل Immigration أو إلى خارج حدود العشيرة النباتية Emigration . فإذا كانت (R) هي معدل التكاثر Reproductive rate ، فإن المعادلة رقم (1) يمكن إستبدالها لتصبح المعادلة التفاضلية Differential equation التالية :

$$N_{t+1} = N_t \; R \quad \ldots\ldots (2)$$

فإذا كانت قيمة $N_{t+1} = N_t$ أو $R = 1$ فإن العشيرة النباتية تكون في حالة إتزان ويكون منحنى النمو خطاً مستقيماً (شكل ١ أ)

التنوع البيولوجي تناقصه ، ويترتب على هذا تبسيط مفرط للنظم البيئية . ولقد تركز معظم الإهتمام بدراسة التصحر على مستوى مناطق بأكملها دون التعامل مع النظم البيئية المختلفة كل بمفردة . وتناولت معظم الدراسات السابقة المناشط البشرية غير المواتية كالإستخدام السيئ للغطاء النباتي والأراضي والموارد المائية المتاحة ، ولقد أثر ذلك على تدهور الأراضي وتصحرها (Kassas 1987, Grainger 1986, Dregne 1983, Glantz 1977) . ونظراً لتنوع النظم البيئية في منطقة الخليج فإن عمليات وقف التصحر تتطلب إستراتيجيات خاصة في إستخدام وإدارة النباتات المستخدمة في مكافحة التصحر ، أو إعادة تأهيل الأراضي المتدهورة والحفاظ على تنوعها البيولوجي .

ويتطلب ذلك إستخدام أنواع نباتية محلية ذات مدى بيئي واسع حيث يكون لها القدرة على النمو في البيئات المختلفة . ومن هذه النباتات يوجد الهرم القطري *Zygophyllum quatarense* Hadidi (Zygophyllaceae) الذي ينمو في مختلف البيئات القطرية مما يؤهله للإستخدام في إعادة تأهيل الأراضي المتدهورة وحمايتها من الإنجراف . فعلى الرغم من كثرة الدراسات السابقة ، إلا أنه ينقصنا معرفة الكثير عن مثل هذه الأنواع النباتية التي تنتشر بوفرة في منطقة الخليج من حيث معدلات التوالد ، البقاء ، الفناء والتكاثر بالإضافة إلى التوقعات المستقبلية لكل عشيرة نباتية بناء على ماضيها وحاضرها . ويعتبر إستخدام النماذج الرياضية في مثل هذه الدراسات عاملاً أساسيًا لتحاشي تدمير النباتات والحفاظ على التوازن البيئي حيث تعتمد هذه الدراسات على عمليات إحصائية عن ماضي وحاضر الأنواع النباتية والتي تمكننا من التنبؤ بمستقبلها وكيفية إداراتها وتنميتها سواء في موائلها الطبيعية أو في الأماكن المستصلحة والمعاد تأهيلها نتيجة التصحر .

المقدمة :

بينما يعتبر البشر العامل الرئيسي في تدهور النظم البيئية الأرضية وتصحرها ، فإنهم أيضاً ضحايا هذا التدهور . ونظراً لأن التصحر ينطوي أساساً على تدمير النظم البيئية وإختفاء مجموعات نباتية وحيوانية كثيرة فهو أحد الأسباب الرئيسية لخسارة التنوع البيولوجي Biodiversity في المناطق القاحلة وشبه القاحلة مما يحد من فرص الحفاظ على الحياة البرية وإنمائها لصالح الإنسان (Vrestraete 1983 والقصاص ١٩٩٠ و Minguet 1991 وطلبة ١٩٩٢) . وبالنسبة لمنطقة الخليج العربية ، فهي تعتبر من أكثر المناطق جفافًا وتتميز بمعدلات سريعة للتنمية الإجتماعية والزراعية والصناعية ، مما أدى إلى إستحداث مناشط بشرية عديدة ذات أثر غائر في النظم البيئية ومكوناتها .

ونتيجة لذلك برزت مشاكل التلوث وإستنزاف الموارد الطبيعية وأخيراً التصحر وإضطراب الحياة البرية التي كانت تزخر بها . وقد أدى إنتشار التصحر إلى تدهور العديد من البيئات الطبيعية مما أفقد العديد من الأحياء البرية النباتية والحيوانية موطنها وقدراتها على الحياة والتكاثر حتى إنقرض بعضها أو أصبح مهدداً بالإنقراض . كما دفع بالكثير من الأنواع إلى الهجرة خارج المنطقة (الشخاترة ١٩٨٦ ، القصاص ١٩٩٠ ، بلبع ونسيم ١٩٩٠) . وتتميز في منطقة الخليج نظم بيئية طبيعية عديدة منها التكوينات الرملية ، السباخ ، المنخفضات ، الحواف الصخرية ، هضاب الحماد ، الجبال والوديان ، والأراضي الزراعية المهجورة .

ويعتبر كل من هذه النظم موطن بيئي لعدد من الكائنات البرية النباتية والحيوانية مما يجعلها مختلفة فيما بينها في تنوعها البيولوجي أو في مدى تأثير مناشط الإنسان عليها أو في درجة تصحرها . ونتيجة للتصحر المتزايد ، يواصل

تطبيق النماذج الرياضية في إدارة وإستغلال النباتات البرية المؤهلة للإستخدام في إستعادة الأراضي المتدهورة بمنطقة الخليج العربي

أحمد كامل حجازي

قسم النبات ـ كلية العلوم ـ جامعة القاهرة ـ الجيزة ـ ص .ب (١٢٦١٣) ـ مصر

الملخص . إزداد الإهتمام في الآونة الأخيرة بدراسة النباتات البرية في المناطق القاحلة لغرض الحفاظ على الحياة الفطرية وإعادة تأهيل النظم البيئية المتدهورة . وعلى الرغم من كثرة هذه الدراسات والتي شملت أماكن عديدة إلا أنه ينقصنا معرفة الكثير عن الأنواع النباتية المحلية في البيئات المختلفة من حيث معدلات التوالد والبقاء والفناء والتكاثر بالإضافة إلى التوقعات المستقبلية لكل مجموعة نباتية بناء على ماضيها وحاضرها . ولما كانت معظم الدراسات السابقة يصاحبها تدمير عدد كبير من الأفراد خلال الدراسة ، فقد لزم معالجة هذه الدراسات بإستخدام النماذج الرياضية وذلك لتحاشي تدمير النباتات والحفاظ على التوازن البيئي ، حيث تعتمد هذه النماذج الرياضية على عمليات إحصائية وتعدادية عن ماضي وحاضر الأنواع النباتية الموجودة والتي تمكننا من التنبؤ بمستقبلها وكيفية إدارتها وتنميتها سواء في موائلها الطبيعية أو في البيئات المتدهورة .

لقد أجريت هذه الدراسة الحقلية على عشيرة Population بالغة من نبات الهرم القطري *Zygophyllum quatarense* Hadidi (Zygophyllaceae) الذي ينمو برياً في دولة قطر . فقد تم الحصر التعدادي للأطوار المختلفة في دورة حياة النبات ، ومن خلال تحليل النتائج باستخدام معادلات النمو Growth equations ، ونموذج المصفوفة الانتقالية Transition matrix وجدول الحياة والخصوبة Life table and fecundity schedule ، أمكن تقدير معدلات التوالد والفناء والبقاء ، كما أمكن التنبؤ بمستقبل هذا النوع وكيفية ادارته .

وقد بينت الدراسة أنه بإستخدام النماذج الرياضية يمكن تطوير طرق إدارة وتنمية النباتات البرية المحلية في منطقة الخليج العربي لأغراض إعادة تأهيل الأراضي المتدهورة أو لغرض الحفاظ على التنوع البيولوجي مما يقلل من مشاكل التصحر .

وبينت الدراسة أيضاً أن نبات الهرم القطري يتميز بسلوك بيئي يؤهله للإستخدام كبديل محلي في إعادة تأهيل النظم البيئية المتدهورة ، ومن هذه الصفات تميزه بمعدلات تكاثر عالية في الأعمار المختلفة ، قدرة عشائره النباتية على الإستمرار في الحياة لأكثر من جيل واحد ، زيادة التوقعات المستقبلية لحياة النباتات البالغة ، والمدى البيئي الواسع ، وتحمل الجفاف والملوحة .