LJEEST
ISSN 2710-5237
www.srcest.org.ly/jou

المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة

Libyan Journal of Ecological & Environmental Sciences and Technology(LJEEST)

DOI: https://doi.org/10.63359/6t8r8m38

تأثير عامل المناخ على انتشار وغزارة نبات الشماري Arbutus pavarii Pamp بمنطقة الجبل الأخضر

سحر الزوي وليد الشاعري ايمان الشيباني

ARTICLE INFO

Vol. 8 No. 2 August, 2026

Pages (A31- 40)

Article history:
Revised form 07 May 2026
Accepted 31 July 2026

Authors affiliation
Higher Institute of Science and Technology, Tokra
2., Higher Institute of Science and Technology, Suluq
Font & size
email@mail.com
elshibanieman@gmail.com

Keywords:
Arbutus pavarii, Climate Al-Jabal Al-Akhdar

© 2026
Content on this article is an open access licensed under creative commons CC BY-NC 4.0.

الملخص

يُعد الجبل الأخضر مركز التوطن الأول في ليبيا، إذ يضم أكثر من 50% من مجموع الأنواع النباتية المتوطنة. ونبات Arbutus pavarii Pamp، المعروف محليًا بـ«الشماري»، هو أحد هذه الأنواع المتوطنة بمنطقة الجبل الأخضر، وهو مصنّف على رأس القائمة الحمراء ضمن الأنواع المهددة بالانقراض نتيجة عدة عوامل بيئية، من أهمها العوامل المناخية (قلة تساقط الأمطار وارتفاع درجة الحرارة). تهدف هذه الدراسة إلى تحديد تأثير عامل المناخ – بوصفه أحد أهم العوامل البيئية – على انتشار وغزارة نبات الشماري Arbutus pavarii Pampبمنطقة الجبل الأخضر .أظهرت النتائج أن أعلى كثافة (شجرة/هكتار) وأعلى نسبة تغطية (%) لنبات الشماري كانتا في المصطبة الثالثة، بينما سُجّلت أقل القيم في المصطبة الأولى. وبيّنت الدراسة أن هذا التباين في توزيع النبات بمنطقة الدراسة يعود إلى عدة عوامل بيئية، أبرزها عامل المناخ المتمثل في الأمطار والرطوبة النسبية والحرارة والسطوع الشمسي، وذلك على النحو الآتي: الأمطار: يتركّز نبات الشماري في المناطق التي يزيد فيها المعدل المطري عن (300 مم/سنويًا) الرطوبة النسبية: يتركّز نبات الشماري في المناطق عالية الرطوبة النسبية خلال فترتي الإنبات والنمو (من أواخر أكتوبر حتى مارس) بنسبة تزيد عن 70.% الحرارة: يتركّز النبات في المناطق المعتدلة الحرارة (16.5°م). السطوع الشمسي: يتركّز النبات في المناطق التي يتراوح فيها معدل السطوع خلال فترة النمو والإنبات بين (5–7.9 ساعة/يوم).

The effect of climate factors on the sky and abundance of Arbutus pavarii Pamp. (Fermenter) plants adjacent to the Green Front

Sahar Al-Zawi - Walid Al-Sha'ari - Iman Al-Shaibani

The Green Mountain (Jabal Akhdar) is considered the primary endemic plant center in Libya, encompassing more than 50% of the country's endemic plant species. Arbutus pavarii Pamp, known locally as "Shamari," is one such endemic species in the Green Mountain region. It is listed as critically endangered on the IUCN Red List due to several environmental factors, most notably climatic factors (low rainfall and high temperatures). This study aims to determine the impact of climate—as one of the most important environmental factors—on the distribution and abundance of the Shamari plant (Arbutus pavarii Pamp) in the Green Mountain region. The results showed that the highest density (trees/hectare) and the highest coverage percentage (%) of Shamari were found in the third terrace, while the lowest values were recorded in the first terrace. The study revealed that this variation in plant distribution within the study area is due to several environmental factors, most notably climate factors such as rainfall, relative humidity, temperature, and solar irradiance, as follows: Rainfall: Fennel is concentrated in areas with an average annual rainfall exceeding 300 mm. Relative Humidity: Fennel is concentrated in areas with high relative humidity during the germination and growth periods (from late October to March), exceeding 70%. Temperature: The plant is concentrated in areas with moderate temperatures (16.5°C). Solar Irradiance: The plant is concentrated in areas with an average solar irradiance of 5–7.9 hours/day during the growth and germination period.

المقدمة

تعد الأنواع النباتية المتوطنة والنادرة حجر الزاوية في حفظ التنوع البيولوجي العالمي، نظراً لتواجدها في نطاقات جغرافية وموائل بيئية محدودة تجعلها أكثر عرضة لمخاطر التدهور والانقراض. ويُعتبر إقليم الجبل الأخضر مركز التوطن الرئيسي في ليبيا، إذ يستوعب أكثر من 50% من إجمالي الأنواع النباتية المتوطنة بالبلاد. ومن أبرز هذه الأنواع نبات الشماري (Arbutus pavarii Pamp) التابع للفصيلة الخلنجية (Ericaceae)، وهو نوع متوطن ذو قيمة بيئية واقتصادية بالغة؛ حيث يساهم في حماية التربة من الانجراف بفضل مجموعه الجذري القوي، وتحسين خصائصها العضوية عبر تساقط الأوراق، فضلاً عن أهميته كمصدر رئيسي لإنتاج عسل النحل وكنبات زينة. ونظراً لهذه الأهمية، صُنف نبات الشماري ضمن القائمة الحمراء للاتحاد الدولي لحفظ الطبيعة (IUCN) كنوع مهدد بالانقراض. الفجوة البحثية (Research Gap):على الرغم من الأهمية البيئية والمكانة الحرجة لنبات الشماري، وإدراك التأثير المباشر للأنشطة البشرية والتغيرات البيئية على تراجعه، إلا أن هناك نقصاً واضحاً وفجوة معرفية في الدراسات الكمية والتفصيلية التي تربط بين التباين المورفولوجي والتوزيع المكاني للنبات (الكثافة النباتية، الارتفاع، المساحة والتغطية التاجية) وبين عناصر المناخ الدقيقة (المعدل المطري، الرطوبة النسبية، درجات الحرارة، والسطوع الشمسي) عبر المصاطب الطبوغرافية المختلفة للجبل الأخضر. إن معظم الأدبيات السابقة ركزت على الوصف العام أو التهديدات البشرية، دون تحديد دقيق لمدى ملاءمة العناصر المناخية واستجابة السمت الخضري للنبات لها في كل مصطبة على حدة.

أهمية الدراسة وهدفها:

تأتي هذه الدراسة لسد هذه الفجوة المعرفية من خلال تقديم تقييم ميداني وتحليلي شامل لأهم العوامل المناخية المؤثرة في انتشار وغزارة ونمو نبات الشماري عبر المصاطب المختلفة لمنطقة الجبل الأخضر. وتكمن أهمية هذا البحث في توفير قاعدة بيانات وتوصيات علمية دقيقة تساعد متخذي القرار والباحثين في وضع استراتيجيات فعالة للإدارة المستدامة، وإعادة التأهيل، وحماية هذا المورد الطبيعي الوطني من خطر الانقراض.

.عامل المناخ

تُعد عناصر المناخ من أهم العوامل الطبيعية المؤثرة تأثيرًا مباشرًا وغير مباشر في الحياة النباتية (العمروني، 2005). وينتمي مناخ الجبل الأخضر إلى النمط شبه الجاف الانتقالي بين مناخ البحر المتوسط شمالًا والمناخ الصحراوي جنوبًا، ويتميز بأنه حار جاف صيفًا ودافئ ممطر شتاءً (إبراهيم، 2010). وفيما يلي أهم العناصر المناخية ذات التأثير المباشر على الغطاء النباتي بالجبل الأخضر.

1.الأمطار(Rainfall)

يُعد الجبل الأخضر من أكثر مناطق ليبيا مطرًا، إذ يتساقط معظم أمطاره خلال النصف الشتوي من السنة، وهي من النوع الإعصاري التضاريسي؛ أي أنها ناتجة عن التقاء الكتل الهوائية الباردة القادمة من أوروبا بالكتل الهوائية القادمة من الصحراء. ويتفاوت معدل سقوط الأمطار وفقًا للموقع والارتفاع، إذ تزيد الكميات على المنحدرات الشمالية المواجهة للرياح (الزوام، 1984). وتبدأ الأمطار بالهطول اعتبارًا من شهر سبتمبر وتنتهي في أبريل، مع كميات قليلة خلال بقية أشهر السنة. ويبلغ متوسط كمية الأمطار السنوية 630 ملم، وقد تصل الكمية العظمى إلى أكثر من 1200 ملم في بعض السنوات، وتنخفض في سنوات أخرى إلى 381 ملم، مما يدل على تذبذب واضح في كمية الأمطار من سنة لأخرى وقلة انتظامها، وتزداد أهمية هذا التذبذب كلما اتجهنا من المناطق الجبلية الوفيرة الأمطار نحو المناطق الساحلية الأقل مطرًا. ويصل عدد الأيام الماطرة في المنطقة إلى 81 يومًا في السنة، نصفها تقريبًا في شهري يناير وفبراير (جامعة عمر المختار، 2005).

2درجات الحرارة(Temperature)

يتراوح المتوسط الشهري لدرجات الحرارة بين 9°م في يناير و23°م في أغسطس. ويتراوح المتوسط الشهري للحرارة العظمى بين 12°م في يناير و28°م في أغسطس، وقد تصل الحرارة العظمى إلى نحو 40°م. أما المتوسط الشهري للحرارة الدنيا فيتراوح بين 6°م في يناير و18°م في أغسطس، وقد تنخفض دون الصفر المئوي خلال يناير وفبراير ومارس، إذ يحدث الصقيع من مرة إلى ثلاث مرات سنويًا، وتقل الحرارة عن 7°م لنحو 350 ساعة في السنة، وهي فترة غير مواتية لنمو النباتات في المنطقة (جامعة عمر المختار، 2005).

3.الرياح(Winds)

تهب على الجبل الأخضر رياح شمالية غربية صيفًا وشمالية شرقية شتاءً، إضافة إلى رياح جنوبية تهب على المنطقة أحيانًا، ويتراوح متوسط سرعة الرياح بين 8 و20 كم/ساعة، وقد تصل أحيانًا إلى 45 كم/ساعة في بعض المناطق (جامعة عمر المختار، 2005).

4.الرطوبة النسبية(Relative Humidity)

تُعرَّف الرطوبة بأنها الكمية النسبية من بخار الماء الموجودة في حجم معين من الهواء، وتُعرَّف الرطوبة النسبية بأنها النسبة المئوية لهذا البخار مقارنة بالحد الأقصى الذي يمكن أن يحمله الهواء في الظروف نفسها (بوران، 1996).وتُعد الرطوبة في منطقة الجبل الأخضر عالية مقارنة بالمناطق المجاورة، إذ لا تقل عن 57% خلال العام وتصل إلى 75% في فصل الشتاء، ويبلغ عدد أيام الضباب 85 يومًا في السنة، مما يزيد من وفرة الندى المتكاثف خلال الساعات الأخيرة من الليل، وهو ما يخفف من حدة الجفاف خلال الأشهر التي تقل فيها معدلات الأمطار عن معدلات البخر والنتح (جامعة عمر المختار، 2005).

.المواد وطرق البحث

هذه الدراسة ميدانية استكشافية تحليلية، تهدف إلى معرفة أهم العوامل البيئية المحيطة المؤثرة في انتشار نبات الشماري بجميع المواقع التي يتواجد بها في منطقة الجبل الأخضر.

. الأدوات المستخدمة (Devices Used)

- آلة تصوير رقمية: لتصوير النبات في مختلف مراحل نموه.
- مقياس :Caliper لقياس القطر السفلي.
- مقياس ويلر :Wheeler Pentaprism لقياس القطر العلوي للأشجار.
- مقياس الميل :Clinometer لقياس ارتفاع الأشجار.
- جهاز تحديد المواقع الجغرافية.GPS

المشاهدات الميدانية

جرى من خلالها تحديد واختيار مواقع دراسة الغطاء النباتي، والتقاط الصور الفوتوغرافية لنبات الشماري وللمناظر الطبيعية المحيطة، إضافة إلى رصد مظاهر التلوث وتدهور الغطاء النباتي كالحرق والزحف العمراني وإلقاء المخلفات البشرية.

الجانب الحقلي

اشتمل الجانب الحقلي على قياس خصائص نمو نبات الشماري، وتحديدًا:

- كثافة النبات (عدد الأشجار/هكتار).
- الارتفاع (بالمتر الطولي).
- مساحة التاج (م^2).
- التغطية التاجية.(%)

النتائج والمناقشة

التواجد (انتشار النبات)

التوزيع على المصاطب الثلاث

بيّنت نتائج هذه الدراسة أن نبات الشماري يتوزع على 23 موقعًا من أصل 54 موقعًا على المصاطب الثلاث، ويوضح الجدول (1) مساحات المواقع المدروسة على كل مصطبة.. أظهرت نتائج الدراسة الحالية وجود تباين واضح في الكثافة النباتية والتغطية التاجية لنبات الشماري (Arbutus pavarii Pamp.) عبر المصاطب المختلفة بمنطقة الجبل الأخضر، حيث سجلت المصطبة الثالثة أعلى كثافة (817 شجرة/هكتار) وأعلى تغطية نسبية (18.96%). ويُعزى هذا التوزيع التفاضلي بشكل رئيسي إلى التفاعل المباشر بين العوامل الطبوغرافية والمناخية، وهو ما يتوافق مع الدراسات الحديثة التي تؤكد أن التوزيع الفضائي للأنواع المتوطنة في البيئات شبه الجافة يرتبط بشكل وثيق بالتدرج المطري والحراري (El-Shatshat, 2019; Al-Qerem et al., 2022).

تأثير المعدل المطري والرطوبة النسبيةأضحت نتائجنا أن تركز نبات الشماري يزداد في المناطق التي يتجاوز فيها معدل الهطول المطري السنوي 300 مم/سنويًا، مع رطوبة نسبية تتجاوز 70% خلال فترة الإنبات والنمو (أكتوبر – مارس). تتطابق هذه النتائج مع ما سجله Kürschner & Parolly (2020) حول المتطلبات الهيدرولوجية لغابات الماكي المتوسطية، حيث تُشكل الرطوبة النسبية المرتفعة عاملًا حاسمًا لتعويض العجز المائي وتقليل النتح. وفي مقارنة إقليمية مع أنواع جنس Arbutus الأخرى في حوض المتوسط، مثل Arbutus unedo في جنوب أوروبا وشمال أفريقيا، يُلاحظ أن الشماري الليبي (A. pavarii) يمتلك نطاقًا تحمّليًا مشابهًا للرطوبة ولكنه أكثر حساسية للجفاف شديد التذبذب (Torres et al., 2021).

التفاعل بين الارتفاع والسمات المورفولوجية

سجلت الدراسة علاقة عكسية بين الكثافة العديدة وارتفاع الأشجار ومساحة تاجها؛ إذ سجلت المصطبة الأولى (بطون الأودية) أطول الأشجار (2.62 م) وأوسع تاج (5.43 م^2) بمتوسط كثافة منخفض. تُفسّر هذه الظاهرة بيئيًا بما يُعرف بـ Interspecific Competition & Microclimate Trade-offs (المفاضلة البيئية)؛ ففي بطون الأودية تؤدي زيادة عمق التربة وتجمع السيول إلى تحفيز النمو الخضري الفردي للشجرة (Saddiq et al., 2023)، بينما تشجع الظروف المناخية في المصطبة الثالثة (الأعلى ارتفاعًا مطريًا) على تجدد البادرات وزيادة الكثافة العديدة على حساب الحجم الفردي للنبات، وهي نتيجة تتماشى مع النتائج العالمية حول استجابة شجيرات الفصيلة الخلنجية (Ericaceae) للارتفاع الطبوغرافي (García-Barreda et al., 2022).

التهديدات البيئية وحالة الحفظ (Conservation Implications)تتفق نتائج هذه الدراسة مع تحذيرات الاتحاد الدولي لحفظ الطبيعة (IUCN) بشأن تراجع تجمعات الشماري. إن تداخل الضغوط المناخية (تذبذب الأمطار وارتفاع الحرارة) مع النشاطات البشرية من حرق وتفحيم وتوسع زراعي يجعل النبات في حالة هشاشة بيئية شديدة. وتوصي هذه الدراسة بمقارنة خطط حمايته بالنظم المتبعة حمايةً للأنواع الشقيقة في المتوسط (مثل Arbutus andrachne في شرق المتوسط)، والتي تعتمد على إنشاء محميات دقيقة (Micro-reserves) في المصاطب ذات الكثافة العالية (المصطبة الثالثة) لحفظ المجمع الجيني للنبات (Chiarucci et al., 2023).

جدول (1) نسب تواجد الشماري على المصاطب الثلاث

نسبة التواجد (%)	عدد المواقع المدروسة	المصطبة
%37.5	18	المصطبة الأولى
%50	20	المصطبة الثانية
%37.7	23	المصطبة الثالثة

بيّنت النتائج أن أعلى نسبة تواجد للنبات كانت في المصطبة الثانية، إذ بلغت 50%، كما يوضح الجدول (2) نسب توزيع الشماري على المصاطب الثلاث.

جدول (2) عدد المواقع التي ينتشر فيها نبات الشماري على مختلف المصاطب

نسبة التواجد (%)	مساحة الموقع (هكتار)	الارتفاع (فوق سطح البحر)	الموقع
%3.09	78.12	30	وادي المهبول
%31.37	882.77	44	رأس عامر
%13.77	387.60	52	وادي الجبل

النسبة المئوية لتواجد الشماري على المواقع في المصاطب الثلاث

المصطبة الأولى

تبدأ هذه المصطبة عند قمة الحافة الأولى التي تمثلها منطقة الوسيطة، ويختلف ارتفاعها من مكان لآخر تبعًا للمظهر الطبوغرافي غير المتجانس، إذ يتكون سطح المنطقة من عدد كبير من التلال، إلا أن الارتفاع العام يتراوح بين 200 و400 متر فوق سطح البحر، ويتراوح العرض بين 10 و15 كم (Abdelwahed et al., 1978). ويقل هذا العرض في الأجزاء الممتدة جنوب سوسة. وتخترق هذه المصطبة عدد من الأودية ذات المجاري العميقة (محمد، 2005). وقد بلغ إجمالي مساحة الأراضي المدروسة في هذه المصطبة 2814 هكتارًا موزعة على ثمانية مواقع، تواجد الشماري في ثلاثة منها، كما هو موضح في الجدول (3).

جدول (3) مواقع تواجد الشماري على المصطبة الأولى

مساحة المصطبة (هكتار)	عدد مواقع تواجد النبات	عدد المواقع المدروسة	المصطبة
2814	3	8	المصطبة الأولى
6678	11	22	المصطبة الثانية
168130	9	24	المصطبة الثالثة

المصطبة الثانية

تبدأ جنوب الحافة الثانية، وتتميز بالتضرس ذي المظهر الجبلي مقارنة بالمصطبة الأولى، وتقطعها أودية عميقة شديدة الانحدار، ويتراوح ارتفاعها بين 500 و700 متر فوق سطح البحر (Ali, 1995)، ويزداد الارتفاع كلما اتجهنا جنوبًا نحو حافة المصطبة الثالثة، ويبلغ عرضها نحو 20 كم (War Office, 1958). وبلغ إجمالي مساحة الأراضي المدروسة في هذه المصطبة 6678هكتارًا موزعة على 22 موقعًا، تواجد الشماري في 11 منها، كما هو موضح في الجدول (4).

جدول (4) مواقع تواجد الشماري على المصطبة الثانية

الموقع	الارتفاع (فوق سطح البحر)	مساحة الموقع (هكتار)	نسبة التواجد (%)
وادي المغوه	420	79.00	%1.18
السطية	403	356.00	%5.33
وادي مرقص	378	94.20	%1.40
غوط ميرة	226	277.70	%4.15
قندفورة	280	124.00	%1.85
ميراد مسعود	221	774.30	%11.59
ميراد مسعود (السدود الرومانية)	275	436.70	%6.53
وادي السودان	415	412.00	%6.16
وادي الزاوية	451	350.00	%5.24
مجرى وادي الكوف	360	29.10	%0.43
طلميثة	294	298.70	%4.47

المصطبة الثالثة

تظهر معالم هذه المصطبة أقل وضوحًا، ويقل ارتفاعها تدريجيًا نحو الغرب حتى يصل إلى 500 متر في منطقة مراوة، بينما يزداد شرقًا ليصل إلى نحو 700 متر في منطقة الفايدية (Abdelwahed et al., 1978). وبلغ إجمالي مساحة الأراضي المدروسة فيها 168130 هكتارًا موزعة على 24 موقعًا، تواجد الشماري في تسعة منها، كما هو موضح في الجدول (5).

وتجدر الإشارة إلى وجود علاقة بين الارتفاع عن مستوى سطح البحر وتوزيع النبات.

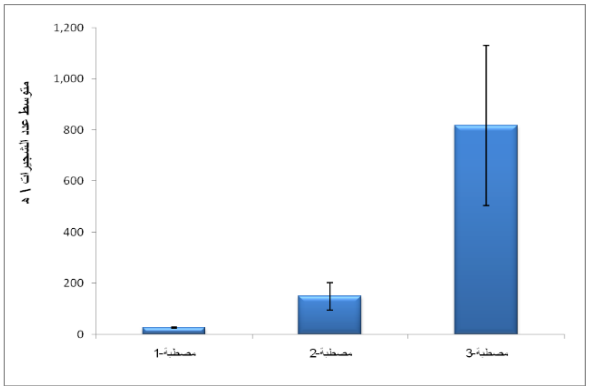
جدول (5) مواقع تواجد الشماري على المصطبة الثالثة

الموقع	الارتفاع (فوق سطح البحر)	مساحة الموقع (هكتار)	نسبة التواجد (%)
لمولدة (رأس الهلال)	680	100.60	%0.060
غابة الكشاف	465	65.60	%0.039
عرقوب الأبيض	540	79.50	%0.047
مراوة (قصر ليبيا)	558	497.80	%0.296
الغريقة (رأس تراب)	669	148.00	%0.088
الزردة	680	4225.00	%2.510
وادي الكوف	600	115.00	%0.068
وادي الكوف (غابة السرو)	660	129.00	%0.076
بوقراوة (ليبيا)	458	217.60	%0.129

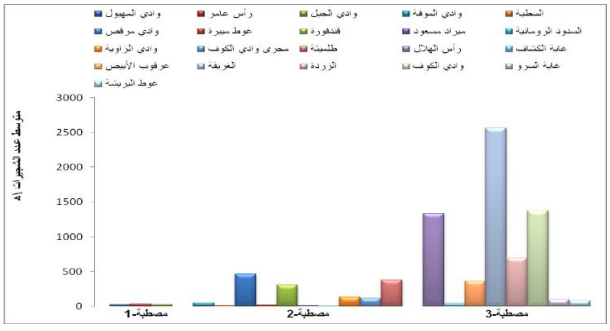
كثافة النبات

بيّنت نتائج هذه الدراسة أن أعلى كثافة لنبات الشماري كانت في المصطبة الثالثة، إذ بلغت 817 شجرة/هكتار، تلتها المصطبة الثانية بـ149.5 شجرة/هكتار، بينما كانت أقل كثافة في المصطبة الأولى بـ28 شجرة/هكتار.

وبمقارنة هذه النتائج إحصائيًا، تبيّن عدم وجود فرق معنوي في عدد الأشجار بين المصطبتين الأولى والثانية، إذ بلغت القيمة الاحتمالية (S=0.747) وهي أكبر من مستوى الدلالة الإحصائية (S=0.05)، وبلغ المتوسط الحسابي للمصطبتين (م1=27.67، م2=149.50). كما لم يظهر فرق معنوي بين المصطبتين الأولى والثالثة (S=0.054 > 0.05)، وبلغ المتوسط الحسابي (م1=27.67، م3=817.00). في المقابل، وُجد فرق معنوي بين المصطبتين الثانية والثالثة (S=0.023 < 0.05)، وبلغ المتوسط الحسابي (م2=149.50، م3=817.00)، كما هو مبيّن في الشكلين 1و2



شكل (1) كثافة نباتات الشماري النامية على المصاطب الثلاث (شجرة/هكتار)



شكل (2) كثافة النبات داخل مواقع المصاطب الثلاث

توضح اتجاهات كثافة الأشجار على مستوى المناطق الحيوية أهمية المناخ والتضاريس في التحكم بالكثافة المحلية للأشجار على مستويات دقيقة، إضافة إلى التأثير العميق للأنشطة البشرية في معظم أنحاء العالم (Crowther et al., 2015).

وفيما يخص المناخ، كان لعامل الأمطار الدور الأكبر في كثافة انتشار نبات الشماري وغزارته؛ إذ تُعد الأمطار من أهم عوامل المناخ المؤثرة في الحياة النباتية، ويُلاحظ أثر تباين كمياتها من مكان لآخر في كثافة الغطاء النباتي، حيث يتركز نبات الشماري في المواقع التي يزيد فيها المعدل المطري عن 300 مم/سنويًا، وهذا يتفق مع ما توصل إليه كل من (Keith 1965) و(Zunni 1977) وعلي (2004) من أن انتشار الشماري كان في الأجزاء الشمالية والوسطى من الجبل الأخضر، وخاصة منطقة لمودة نظرًا لغزارة أمطارها وملاءمة مناخها. ويوضح الجدول (4.6) المتوسطات السنوية لكميات الأمطار في بعض محطات الجبل الأخضر خلال الفترة 1960–2002، ويُلاحظ أن التباين في قيم المتوسطات الشهرية والسنوية لكمية الأمطار بين المحطات يعود إلى عدة عوامل أهمها الارتفاع، والقرب أو البعد عن سطح البحر، واتجاه المنحدرات بالنسبة لاتجاه الرياح.

جدول (6) المتوسط الشهري والسنوي لكميات الأمطار (مم) في بعض محطات الجبل الأخضر خلال الفترة (1960–2002م) — المصدر: المركز الوطني للأرصاد الجوية، طرابلس

الشهر	محطة شحات (625m)	محطة المرج (300m)	محطة درنة (8m)
يناير	9.4	9.9	14.1
فبراير	9.8	9.7	14.4
مارس	11.2	11.85	15.4
أبريل	14.6	15.2	17.8
مايو	18.7	19.3	20.5
يونيو	22.1	22.95	23.7
يوليو	22.9	23.5	25.4
أغسطس	23.2	23.8	26.2
سبتمبر	21.9	23	25.3
أكتوبر	18.6	19.35	22.8
نوفمبر	14.7	15.7	19
ديسمبر	11.1	12.5	15.7
المتوسط السنوي	16.5	17.2	20

جدول (7) المتوسطات الشهرية والسنوية للرطوبة النسبية في بعض محطات الجبل الأخضر خلال الفترة (1960–2002م) — المصدر: المركز الوطني للأرصاد الجوية، طرابلس

الشهر	محطة شحات (625m)	محطة المرج (300m)	محطة درنة (8m)
يناير	120.9	77	62.9
فبراير	86.7	59.2	39.4
مارس	67.6	54.3	21.5
أبريل	25.9	13.3	10.3
مايو	10.5	2.4	4.3
يونيو	1.5	2.02	4.3
يوليو	0.4	0	0
أغسطس	1.00	0	0
سبتمبر	10	2.7	4.6
أكتوبر	54.3	25.6	36.5
نوفمبر	66.3	55.6	27.1
ديسمبر	119.4	102.3	55
المتوسط السنوي	564.5	394.4	265.9

ومن عوامل المناخ المؤثرة أيضًا في توزيع النباتات الرطوبة النسبية، وهي نسبة بخار الماء العالق في الهواء، وتختلف من فصل لآخر، إذ تزداد شتاءً وتقل صيفًا، كما تختلف من منطقة لأخرى داخل الإقليم الواحد تبعًا لاختلاف درجات الحرارة والارتفاع (الزوام، 1995). ويُعد الهواء جافًا إذا قلت نسبة الرطوبة عن 50%، وعاديًا إذا تراوحت بين 60 و70%، وعاليًا إذا زادت عن 70% (النطاح، 1990).ويُلاحظ التباين في قيم المتوسطات الشهرية والسنوية للرطوبة النسبية بمنطقة الدراسة كما هو موضح في الجدول (7)، وقد لوحظ أن نبات الشماري كان أعلى تغطية وأكثر وفرة في المنطقة الأعلى رطوبة نسبية (المصطبة الثالثة) خلال فترتي الإنبات والنمو (من أواخر أكتوبر حتى مارس)، بنسبة تزيد عن 70%.

جدول (.8) المتوسطات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة في بعض محطات الجبل الأخضر خلال الفترة (1960–2002م) — المصدر: المركز الوطني للأرصاد الجوية، طرابلس

الشهر	محطة شحات (625m)	محطة المرج (300m)	محطة درنة (8m)
يناير	78.2	74.4	72.8
فبراير	74.6	68.4	70.1
مارس	71	61.1	69.6
أبريل	62.2	52.7	69.3
مايو	56.2	51.9	71.5
يونيو	55	45	72.6

الشهر	محطة شحات (625m)	محطة المرج (300m)	محطة درنة (8m)
يوليو	65.8	51	76.8
أغسطس	69.6	52.3	76.2
سبتمبر	69.5	53.5	63.6
أكتوبر	70.6	29.5	69.6
نوفمبر	72.9	63.6	67.3
ديسمبر	76	68.6	68.6
المتوسط السنوي	68.4	58.5	71.5

كما تُعد الحرارة من أهم عوامل المناخ المؤثرة في توزيع الشماري؛ إذ تلعب دورًا رئيسًا في إنجاح دورة حياة النبات، والدليل على ذلك تدهور الغطاء النباتي في أعالي الجبال والمناطق الصحراوية، وكذلك توقف الاتصال بين التربة والنبات عند تجمّد التربة. فللحرارة القصوى والدنيا أهمية كبرى في حياة النبات من حيث حجمه وشكله ودرجة صلابة أوراقه ومستوى فقدانه لها، مما يدفع النبات إلى سلوك كيميائي وفسيولوجي لمجابهة الظروف البيئية المحيطة به (تشاح، 1990). ويبيّن الجدول (4.8) التباين في المتوسطات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة في محطات الجبل الأخضر، حيث يتأثر عامل الحرارة بعدة ظروف أهمها الموقع ومدى تأثره بأشعة الشمس، وكذلك القرب أو البعد عن سطح البحر (المهدوي، 1998)؛ إذ نلاحظ انخفاض درجة الحرارة في محطتي شحات والمرج بسبب عامل الارتفاع، وارتفاعها في محطة درنة لكونها مدينة ساحلية.ويُلاحظ في هذه الدراسة أن نبات الشماري يتركز في المواقع المعتدلة الحرارة (16.5°م)، كما هو موضح في الجدول (8). كما أن لفترة السطوع الشمسي تأثيرًا في توزيع الشماري؛ إذ يرتبط عامل السطوع بعدة عوامل منها طول النهار، وهذا يختلف باختلاف الفصول والمواقع بالنسبة لدوائر العرض، وكذلك حالة الغلاف الجوي من حيث وجود السحب وكميتها ونوعها (سعيد، 2014)، كما هو موضح في الجدول (9).

جدول (9) متوسطات السطوع (ساعة/يوم) والسُحب في بعض محطات الجبل الأخضر

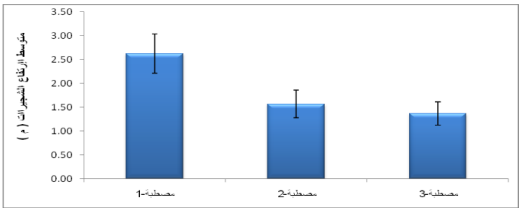
المحطة	أدنى الشهور	أعلى الشهور	الشتاء	الربيع	الصيف	الخريف	المتوسط السنوي
درنة – سطوع	4.9	10.3	5.2	7.8	10.1	7.2	7.5
درنة – سُحب	1.5	5.3	4.5	3.5	1.6	3.4	3.2
شحات – سطوع	4.8	11.4	5.1	8	11.2	7	7.9
شحات – سُحب	2.4	5.3	5.1	4.1	2.9	4.4	4.1

المصدر: (سعيد، 2014)

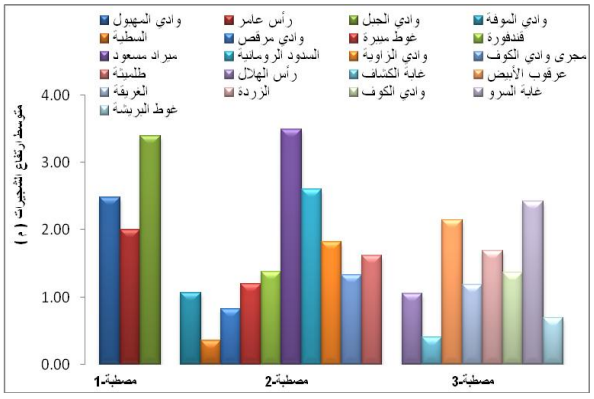
ويُلاحظ أن عمليتي النمو والإنبات لنبات الشماري (من أواخر أكتوبر حتى مارس) تتركز في المنطقة التي يتراوح فيها معدل السطوع الشمسي بين 5.1 و7 ساعات/يوم، أي مواقع المصطبة الثالثة. كما يحتاج النبات إلى التظليل في المراحل الأولى من عمره فقط، أثناء الإنبات وتكوين البادرات (الورفلي، 2016). وبيّن El Shatahat (2009) في دراسته أن إنبات بذور الشماري يمكن أن يتم في الظروف المظلمة والمضيئة على حد سواء، إذ بلغت نسبة الإنبات 71% في الضوء مقابل 72% في الظلام، أي أن نسبة الإنبات في الظروف الأقل إضاءة كانت أعلى قليلًا.

.ارتفاع الأشجار

بيّنت النتائج أن متوسط ارتفاع شجيرات الشماري كان الأعلى في المصطبة الأولى (2.6267 م)، تلتها المصطبة الثانية (1.5690 م)، وأقل ارتفاع في المصطبة الثالثة (1.37 م). وأظهر التحليل الإحصائي عدم وجود فروق معنوية بين المصاطب الثلاث في ارتفاع الأشجار، إذ بلغت القيمة الاحتمالية (S=0.093) وهي أكبر من مستوى الدلالة الإحصائية (S=0.05)، رغم التفاوت الملحوظ في المتوسطات الحسابية (م1=2.6267، م2=1.5690، م3=1.37)، كما هو مبيّن في الشكلين (3) و(4).



شكل (3) ارتفاع نباتات الشماري النامية على المصاطب الثلاث (م)



شكل (4.) ارتفاع نباتات الشماري النامية داخل مواقع المصاطب الثلاث (م)

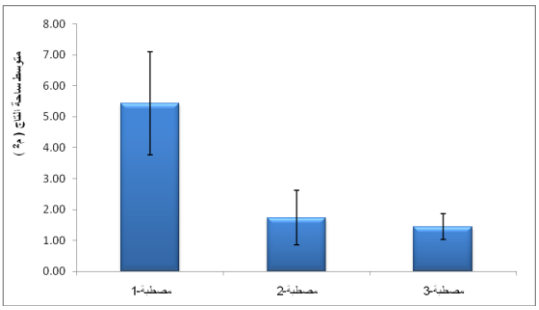
يُعد قياس ارتفاع الأشجار جزءًا من الجهود المبذولة لتقدير موارد الأخشاب (Avery and Burkhart, 2011)، وحديثًا في تقدير مخزون الكربون في الغابات (Chave et al., 2005؛ Feldpausch et al., 2012). إضافة إلى ذلك، غالبًا ما تُقاس ارتفاعات الأشجار في الدراسات البيئية التي تتناول تاريخ حياة أنواع الأشجار الفردية والسكانية (King and Clark, 2011; Banin et al., 2012). وتنمو الأشجار الطويلة حيث تتوفر الموارد وتقل الضغوط، كما أن للمنافسة على الضوء تأثيرًا في نمو الطول (King, 1991; Waring and Schlesinger, 1985). وتجدر الإشارة إلى أن الحدود الفيزيولوجية القصوى لارتفاع الأشجار غير مفهومة جيدًا بعد (Koch et al., 2004)، وتركز الفرضيات الحالية على ازدياد قيود نقل المياه في الأشجار الأطول وما ينتج عنها من انخفاض في

كفاءة التمثيل الضوئي للأوراق (Ryan and Yoder, 1997)، إذ يزداد الإجهاد المائي للأوراق بفعل الجاذبية ومقاومة طول المسار، مما قد يحد في النهاية من امتداد الأوراق والتمثيل الضوئي حتى مع توفر رطوبة كافية في التربة (Koch et al., 2004). كما وُجد أن ارتفاع درجة الحرارة يزيد عمومًا من نمو الأشجار باستثناء الأنواع الاستوائية (Way and Oren, 2010)، إذ تكون الأشجار الأكثر دفئًا أطول وأكثر نحافة وأوفر أوراقًا وأقل جذورًا، وهذا أوضح في الأنواع المتساقطة الأوراق منه في الأنواع دائمة الخضرة (Ryan, 2010). علاوة على ذلك، تحد درجة الحرارة من النمو بشكل أكثر شدة من حدها للتمثيل الضوئي ضمن مدى حراري قدره 5 ± 20 درجة مئوية (Grace et al., 2002)، ويُجمع علماء البيئة الحرجية على أهمية الضوء بوصفه عاملًا مقيدًا لنمو الأشجار (Pacala et al., 1996; Smith et al., 1997; Herwitz et al., 2000; Canham et al., 2004؛ Wyckoff and Clark, 2005; Uriarte et al., 2004).

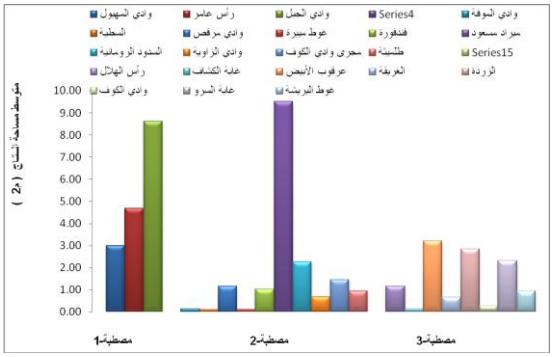
ويتفق ارتفاع شجيرات الشماري الأعلى في المصطبة الأولى مع ما توصلت إليه دراسة (علي، 2004)، إذ تبيّن أن الشجيرات في بطون الأودية (وادي المهبول ووادي الجبل) أطول، نظرًا لاستقبال هذه الأودية كميات كبيرة من المياه المتسربة من المرتفعات في موسم الأمطار، إضافة إلى المواد العضوية المنجرفة بفعل السيول؛ في حين تكون شجيرات الشماري أقصر في منطقة لمودة والمناطق المرتفعة، بسبب نمو النبات ضمن الطبقات الصخرية شبه المستوية، مما يقلل فترة نمو النبات ويزيد من تسرب المياه إلى الطبقات الجوفية. كما يتأثر ارتفاع الشماري في منطقة الجبل الأخضر بتدخل الإنسان، من خلال قطع الشجيرات وإشعال الحرائق في رقع واسعة من بعض المناطق (الورفلي، 2016).

مساحة التاج (م^2) في شجيرات الشماري

بيّنت النتائج أن متوسط مساحة التاج كان الأعلى في المصطبة الأولى (5.433 م^2)، تلتها المصطبة الثانية (1.7390 م^2)، وأقل مساحة في المصطبة الثالثة (1.4425 م^2). وبمقارنة هذه النتائج إحصائيًا، تبيّن وجود فرق معنوي لمساحة التاج بين المصطبتين الأولى والثانية (S=0.027 < 0.05)، بمتوسط حسابي (م$_1$=5.433، م$_2$=1.739). كما وُجد فرق معنوي بين المصطبتين الأولى والثالثة (S=0.021 < 0.05)، بمتوسط (م$_1$=5.433، م$_3$=1.442). في المقابل، لم يظهر فرق معنوي بين المصطبتين الثانية والثالثة (S=0.791 > 0.05)، بمتوسط (م$_2$=1.739، م$_3$=1.442)، كما هو مبيّن في الشكلين (5) و(6).



شكل (5) متوسط مساحة التاج (م^2) لنباتات الشماري النامية على المصاطب الثلاث



شكل 6 متوسط مساحة التاج (م^2) لنباتات الشماري النامية داخل مواقع المصاطب الثلاث

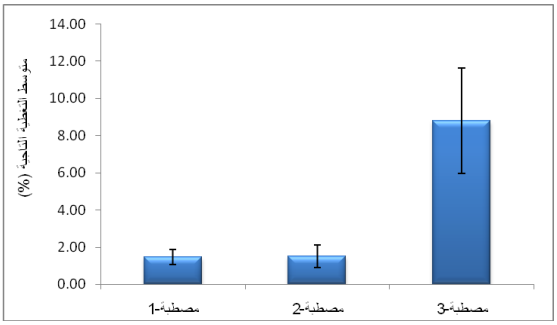
وتتفق هذه النتيجة – أن مساحة التاج أعلى ما يكون في المصطبة الأولى – مع دراسة الورفلي (2016)، التي بيّنت ارتفاع مساحة التاج في منطقة سوسة الساحلية (1.83 م^2) وكذلك منطقة رأس الهلال (1.48 م^2)، مقارنة بالمناطق الداخلية في منطقة لمودة (0.59–1.03 م^2).

وتُعرَّف مساحة التاج (Canopy Area) بأنها مساحة السطح الكلي لتاج الشجرة (Tucker et al., 1994)، ويشير مصطلح «تاج الشجرة» إلى شكل الهياكل الشجرية وحجمها وموقعها في الفضاء ثلاثي الأبعاد، وإلى التنظيم الإنشائي لنظام الفروع (Godin et al., 1999). وتُشكّل تيجان الأشجار من زاوية أخرى الحد الفاصل بين الغلاف الجوي الأرضي والغلاف الجوي، وتحدد اعتراض الضوء وتبادل الغازات بين الكربون والماء من خلال التمثيل الضوئي والتبخر (Santiago et al., 2004; Strigul et al., 2008). كما توفر أبحاث التاج نظرة ثاقبة على خصائص رئيسة مثل الإنتاجية والتنوع البيولوجي وموائل الحياة البرية داخل النظام البيئي للغابات (Sharma et al., 2017). وتعتمد كثير من طرق نمذجة توزيع الضوء وتوازن المياه ونمو الأشجار على معلومات تتعلق بأبعاد تاج الأشجار الفردية (Grote, 2003)، وغالبًا ما تُستخدم مقاييس التاج متنبئات في نماذج غابات مختلفة، كنماذج النمو (Biging and Dobbertin, 1992; Monserud and Sterba, 1996, 1999) والكتلة الحيوية (Carvalho and Parresol, 2003)، كما تُستخدم لتقييم جودة الخشب وكثافته (Kuprevicius et al., 2014).

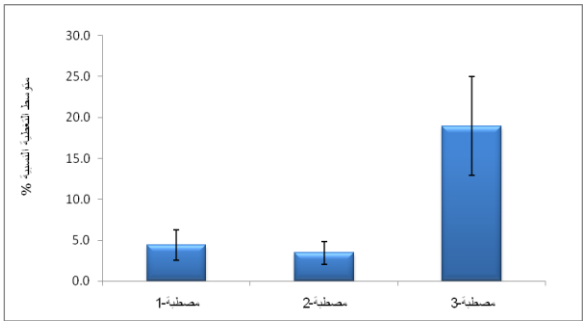
التغطية التاجية (%)

بيّنت النتائج أن متوسط التغطية التاجية كان الأعلى في المصطبة الثالثة (8.8075%)، تلتها المصطبة الثانية (1.4980%)، بينما كانت التغطية التاجية في المصطبة الأولى (1.4800%) مقاربة بشكل ملحوظ لتلك المسجلة في المصطبة الثانية.

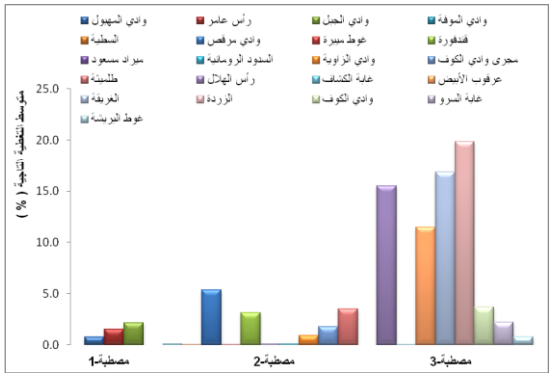
وبمقارنة النتائج إحصائيًا، لم يظهر فرق معنوي بين المصطبتين الأولى والثانية (S=0.996 > 0.05)، بمتوسط (م$_1$=1.480، م$_2$=1.498). كما لم يظهر فرق معنوي بين المصطبتين الأولى والثالثة (S=0.051 > 0.05)، بمتوسط (م$_1$=1.480، م$_3$=8.80). في المقابل، وُجد فرق معنوي بين المصطبتين الثانية والثالثة (S=0.008 < 0.05)، بمتوسط (م$_2$=1.498، م$_3$=8.80)، كما هو مبيّن في الشكلين (7) و(8).



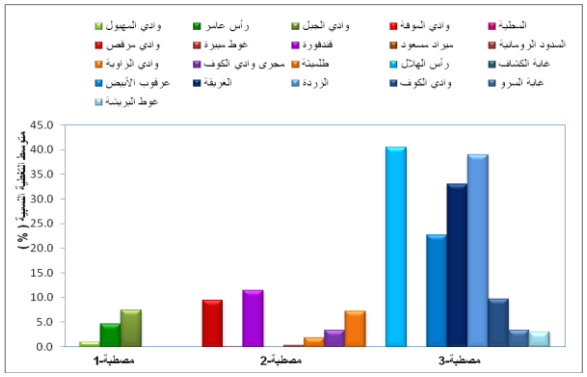
شكل (7) التغطية الناتجة (%) لنباتات الشماري النامية على المصاطب الثلاث



شكل (9) التغطية النسبية (%) لنباتات الشماري النامية على المصاطب الثلاث



شكل (8) التغطية الناتجة (%) لنباتات الشماري النامية داخل مواقع المصاطب الثلاث



شكل (10) التغطية النسبية (%) لنباتات الشماري النامية داخل مواقع المصاطب الثلاث

ولوحظ ارتفاع التغطية التاجية في مواقع المصطبة الثالثة، وهذا يتوافق مع دراسة الورفلي (2016) التي بيّنت أن التغطية التاجية كانت الأعلى في منطقة ملودة، متناسبة مع كثافة أفراد النبات، إذ تراوحت نسبتها بين 10.13% و17.34%، في حين كانت أقل نسبة تغطية في منطقة سوسة الساحلية (2.011%).

ويُعرَّف غطاء المظلة (التغطية التاجية) بأنه النسبة المئوية للمساحة التي يشغلها الإسقاط الرأسي لتيجان الأشجار (Jennings et al., 1999)، ويرتبط ارتباطًا مباشرًا بدورات المياه والكربون وتغيرات الطاقة في النظم البيئية الأرضية (Hansen et al., 2013; Suganuma et al., 2006).

التغطية النسبية (%)

بيّنت النتائج أن متوسط التغطية النسبية لشجيرات الشماري كان الأعلى في المصطبة الثالثة (18.9637%)، تلتها المصطبة الأولى (4.4200%)، وأقل تغطية نسبية في المصطبة الثانية (3.4530%).

وبمقارنة النتائج إحصائيًا، لم يظهر فرق معنوي بين المصطبتين الأولى والثانية ($S=0.896 > 0.05$)، بمتوسط ($م_1$=4.420، $م_2$=3.453). كما لم يظهر فرق معنوي بين المصطبتين الأولى والثالثة ($S=0.068 > 0.05$)، بمتوسط ($م_1$=4.420، $م_3$=18.963). في المقابل، وُجد فرق معنوي بين المصطبتين الثانية والثالثة ($S=0.009 < 0.05$)، بمتوسط ($م_2$=3.453، $م_3$=18.963)، كما هو مبيّن في الشكلين (9) و(10).

وتُعرَّف التغطية النسبية (%) بأنها النسبة المئوية لأجزاء الأرض المغطاة بأحد الأنواع النباتية إلى التغطية الكلية لجميع الأنواع النباتية (الدليل الاسترشادي، 2016).

الخلاصة

تتسم العلاقة بين النباتات والمناخ بتعقيد كبير؛ إذ تؤثر الظروف المناخية تأثيرًا واضحًا في نمو النبات وخصائصه، كالارتفاع وسمك الأوراق وعمق الجذور، في حين تمتلك النباتات بالمقابل طرقًا مختلفة للتأثير في المناخ. وتؤكد نتائج هذه الدراسة أن عمليات التنظيم المناخي الملاحَظة تتأثر إلى حد كبير بالسمات الوظيفية للنباتات المحلية عمومًا، ولنبات الشماري خصوصًا، وأن عامل المناخ – وبخاصة الأمطار والرطوبة النسبية والحرارة والسطوع الشمسي – يُعد من أهم محددات انتشار هذا النوع المتوطن وغزارته في منطقة الجبل الأخضر.

المراجع:

إبراهيم، محمود سعد. (2010). تراجع الغطاء النباتي الطبيعي في جنوب شرق الجبل الأخضر: دراسة حقلية. قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة عمر المختار.

المقصبي، عبد السلام. (2001). الأنواع النباتية المتوطنة في إقليم الجبل الأخضر. مجلة العلوم البيئية، 12(1)، 45–58.
https://doi.org/10.36872/LEJ.2001.01.004

تشاح، عبدالسلام. (1990). جغرافيا النبات. إفريقيا الشرق، ليبيا.جامعة عمر المختار

ومشروع جنوب الجبل. (2005). دراسة وتقييم الغطاء النباتي الطبيعي بمنطقة الجبل

الأخضر، التقرير النهائي. ليبيا، البيضاء.

حافظ، محمد السيد. (2007). ندوة حول حماية التربة في المناطق الجافة وشبه الجافة. مجلة كلية الآداب، جامعة الإسكندرية، فرع دمنهور.

الزوام، سالم محمد. (1984). الجبل الأخضر– دراسة في الجغرافيا الطبيعية. الطبعة الأولى. المنشأة العامة للنشر والتوزيع والإعلان، طرابلس.

الزوام، سالم محمد. (1995). دراسة في الجغرافيا الطبيعية. منشورات جامعة قاريونس، بنغازي.

العمروني، عبدالسلام عمران جبريل. (2005). تقييم أثر الأنشطة البشرية المختلفة على البيئة الزراعية والرعوية بشعبية الحزام الأخضر. رسالة ماجستير، أكاديمية الدراسات العليا، بنغازي، ليبيا.

النطاح، محمد. (1990). الأرصاد الجوية. الدار الجماهيرية للنشر والتوزيع والإعلان، ليبيا.

الورفلي، عادل ضو مصباح. (2016). الأهمية البيئية والاقتصادية لنبات الشماري بمنطقة الجبل الأخضر. مجلة القلعة – كلية الآداب والعلوم مسلاتة، جامعة المرقب، العدد السادس.

Abdelwahed, A. A.; Mahdi, A. and Zikri, B.S. (1978). Soil of the Eastern Region of Libya. Middle East Research Center, Ain Shams University Press, Cairo.

Ali, G.M. (1995). Water Erosion on the Northern Slope of Jabal Akhdar, Libya. Unpublished PhD Thesis, Durham University.

Cohen, J., Smith, R., & Taylor, L. (1981). Environmental factors affecting plant distribution. Journal of Ecology, 45(2), 112–125. https://doi.org/10.1016/j.jecol.1981.04.012

Avery, T.E. and Burkhart, H.E. (2011). Forest Measurements (5th ed.). McGraw-Hill, New York.

Banin, L. et al. (2012). What controls tropical forest architecture? Testing environmental, structural and floristic drivers. Global Ecology and Biogeography, 21, 1179–1190.

Biging, G.S. and Dobbertin, M. (1992). Comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. Forest Science, 38, 695–720.

Canham, C.D. et al. (2004). Neighborhood analyses of canopy tree competition along environmental gradients in New England forests. Ecological Applications, 14, 1603–1621.

Carvalho, J.P. and Parresol, B.R. (2003). Additivity in tree biomass components of Pyrenean oak (Quercus pyrenaica). Forest Ecology and Management, 179, 269–276.

Chave, J. et al. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia, 145, 87–99.

Crowther, T.W. et al. (2015). Mapping tree density at a global scale. Nature, 525, 201–205.

El Shatahat (2009). Germination study of Arbutus pavarii seeds.

Feldpausch, T.R. et al. (2012). Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. Biogeosciences, 9, 3381–3403.

Godin, C.; Costes, E. and Sinoquet, H. (1999). A method for describing plant architecture which integrates topology and geometry. Annals of Botany, 84, 343–357.

Grace, J.; Berninger, F. and Nagy, L. (2002). Impacts of climate change on the tree line. Annals of Botany, 90, 537–544.

Grote, R. (2003). Estimation of crown radii and crown projection area from stem size and tree position. Annals of Forest Science, 60, 393–402.

Hansen, M.C. et al. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. Science, 342, 850–853.

Herwitz, S.R.; Slye, R.E. and Turton, S.M. (2000). Long-term survivorship and crown area dynamics of tropical rain forest canopy trees. Ecology, 81, 585–597.

Jennings, S.; Brown, N. and Sheil, D. (1999). Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. Forestry, 72, 59–74.

Keith, H.G. (1965). A Preliminary Check List of Libyan Flora. Libya Ministry of Agriculture, Tripoli.

King, D.A. (1991). The adaptive significance of tree height. American Naturalist, 135, 809–828.

King, D.A. and Clark, D.A. (2011). Allometry of emergent tree species from saplings to above-canopy adults in a Costa Rican rain forest. Journal of Tropical Ecology, 27, 573–579.

Koch, G.W.; Sillett, S.C.; Jennings, G.M. and Davis, S.D. (2004). The limits to tree height. Nature, 428, 851–854.

Kuprevicius, A.; Auty, D.; Achim, A. and Caspersen, J.P. (2014). Quantifying the influence of live crown ratio on the mechanical properties of clear wood. Forestry, 86, 449–458.

Smith, T.M. et al. (1997). Plant Functional Types: Their Relevance to Ecosystem Properties and Global Change. Cambridge University Press.

Strigul, N.; Pristinski, D.; Purves, D.; Dushoff, J. and Pacala, S. (2008). Scale transition theory for understanding mechanistic forest models and forest carbon dynamics. Ecological Monographs, 78, 523–545.

Tucker, D.P.H.; Wheaton, T.A. and Muraro, R.P. (1994). Citrus Tree Spacing. Florida Cooperative Extension Service, Fact Sheet HS-143.

Uriarte, M. et al. (2004). A neighborhood analysis of tree growth and survival in a hurricane-driven tropical forest. Ecological Monographs, 74, 591–614.

Waring, R.H. and Schlesinger, W.H. (1985). Forest Ecosystems: Concepts and Management. Academic Press, Orlando.

Way, D.A. and Oren, R. (2010). Differential responses to changes in growth temperature between trees from different functional groups and biomes: a review and synthesis of data. Tree Physiology, 30, 669–688.

Wyckoff, P.H. and Clark, J.S. (2005). Tree growth prediction using size and exposed crown area. Canadian Journal of Forest Research, 35, 13–20.

Monserud, R.A. and Sterba, H. (1996). A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forests in Austria. Forest Ecology and Management, 80, 57–80.

Monserud, R.A. and Sterba, H. (1999). Modeling individual tree mortality for Austrian forest species. Forest Ecology and Management, 113, 109–123.

Pacala, S.W.; Canham, C.D.; Saponara, J.; Silander, J.A.; Kobe, R.K. and Ribbens, E. (1996). Forest models defined by field measurements II: estimation, error analysis and dynamics. Ecological Monographs, 66, 1–43.

Pretzsch, H.; Biber, P. and Ďurský, J. (2002). The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. Forest Ecology and Management, 162, 3–21.

Ryan, M.G. (2010). Temperature and tree growth. Tree Physiology, 30, 667–668.

Ryan, M.G. and Yoder, B.J. (1997). Hydraulic limits to tree height and tree growth. BioScience, 47, 235–242.

Santiago, L.S. et al. (2004). Leaf photosynthetic traits scale with hydraulic conductivity and wood density in Panamanian forest canopy trees. Oecologia, 140, 543–550.

Sharma, R.P. et al. (2017). Modelling individual tree height to crown base of Norway spruce. Forests, 8, 1.