

## Modelling the Influence of Temperature and Precipitation on Tree-ring Width of *Pinus brutia* Ten. in Kfarfo and Hir Brafa Forests- Province of Tartous

Dr. Leila Abboud<sup>1</sup>  
Dr. Wael Ali<sup>2</sup>  
Heba Salhsb<sup>3</sup>

(Received 29 / 3 / 2017. Accepted 17 / 9 / 2017 )

### □ ABSTRACT □

*Pinus brutia* radial growth -as all wooden species- is often determined by climate, soil and physiological conditions. In order to model the relationship between radial growth of brutia pine and both of precipitation and temperature in Hir Brafa and Kfarfo forests-Tartous,10 dominant trees were selected in each forest, two perpendicular samples from each tree at breast height were taken. After samples treatment, they were cross-dated, and consequently a time series of 30 year covering the period 1982-2013 was obtained. Tree rings width were measured to the nearest 0.01 mm. The tree rings time series were standardized to remove the influence of age and forest management, by dividing measured values of rings width by smoothed ones that obtained using moving average on window of 5 years. Models were developed using the step wise method of multiple linear regression. As results, 5 models were constructed in Hir Brafa, and 2 models in Kfarfo. Spatial cross-validation was used and many statistical tests were applied to validate models developed. Results showed that, one of the two models constructed for Kfrfo forest were chosen as the best one among the tested models. It is recommended to develop more regression models for further conifers species and other tree species which are of importance in Syria.

**Key Words:** Pinusbrutia-Tree rings –Precipitation-Temperature- statistical modeling-Kfarfo–Hir Brafa-Syria.

<sup>1</sup> Associate Professor- Department of Forestry and Ecology - Faculty of Agriculture – Tishreen University- Lattakia- Syria

<sup>2</sup> Associate Professor at the Department of Forestry and Ecology - Faculty of Agriculture – Tishreen University- Lattakia- Syria

<sup>3</sup> PhD Student at the Department of Forestry and Ecology - Faculty of Agriculture – Tishreen University- Lattakia- Syria

## نمذجة تأثير الهطل ودرجة الحرارة في سماكة حلقات النمو السنوية للسنوبر البروتي (*Pinus brutia* Ten.) في غابتي كرفو وحير برفة - محافظة طرطوس

د. ليلى عبود<sup>1</sup>

د. وائل علي<sup>2</sup>

هبة سلهب<sup>3</sup>

(تاريخ الإيداع 29 / 3 / 2017. قبل للنشر في 17 / 9 / 2017)

### □ ملخّص □

يتحدد النمو الشعاعي لأشجار السنوبر البروتي، كما هو الحال عند بقية الأنواع الخشبية بشكل عام، بالعوامل الفيزيولوجية و التربة و المناخ. ويهدف نمذجة العلاقة بين سماكة حلقات النمو السنوية لدى السنوبر البروتي وبيانات الهطل ودرجة الحرارة في غابتي حير برفة وكرفو في محافظة طرطوس، تم تحديد عشرة أشجار سائدة في كل موقع. أخذت من كل شجرة سبرتان متعامدتان على ارتفاع الصدر. وبعد معاملة السبرات والقيام بعملية التأريخ البيئي Cross-dating حصلنا على سلاسل زمنية لحلقات النمو تمتد للفترة 1982-2013م، تم قياس سماكة حلقات النمو بدقة 0.01 ملم، ومن ثم تم تحويل قيم سلاسل حلقات النمو إلى قيم معايرة لاستبعاد تأثير العمر وعمليات التربية في النمو، وذلك بقسمة القيم المقاسة لسماكة حلقات النمو على القيم المقدرة بواسطة المتوسط المتحرك المحسوب على نافذة مقدارها 5/ سنوات. لنمذجة العلاقة بين حلقات النمو والمناخ استخدم نموذج الانحدار الخطي بالطريقة التدريجية. في النتيجة تم الحصول على خمسة موديلات رياضية في غابة حير برفة وموديلين في غابة كرفو، وبعد إجراء الاختبار المكاني المتصالب وحساب مؤشرات جودة الموديل لكل الموديلات، تم اختيار أحد الموديلين المطورين في غابة كرفو كأفضل موديل بين العلاقات المختبرة. توصي الدراسة بتطوير موديلات رياضية من نوع الانحدار لأنواع السنوبريات والأنواع الحراجية الأخرى التي تشكل جزءاً مهماً من الثروة الحراجية في بلادنا.

**الكلمات المفتاحية:** السنوبر البروتي- حلقات النمو- الهطل- درجة الحرارة- النمذجة الإحصائية- كرفو- حير برفة.

<sup>1</sup> أستاذ مساعد ، قسم الحراج والبيئة، كلية الزراعة، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية

<sup>2</sup> مدرس، قسم الحراج والبيئة، كلية الزراعة، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية

<sup>3</sup> طالبة دكتوراه، قسم الحراج والبيئة، كلية الزراعة، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية

## مقدمة:

تعد حلقات النمو السنوية واحدة من أهم الصفات الظاهرية للأخشاب و التي تظهر بشكل واضح في المقطع العرضي لجذع الشجرة في المناطق المعتدلة. تنتج الشجرة في هذه المناطق حلقة نمو واحدة سنوياً و نميز فيها نوعين من الخشب: الخشب الربيعي *springwood* أو الخشب المبكر وهو حلقة فاتحة اللون تتكون من خلايا قليلة الكثافة كبيرة الحجم والقطر متسعة الفجوات وذات جدر رقيقة بسبب تكونها في بداية فترة النمو، والخشب الصيفي *summerwood* أو الخشب الخريفي أو المتأخر، وهو حلقة غامقة اللون تتكون من خلايا صغيرة أكثر كثافة تمتاز بسماكة جدرانها وضيق فجواتها مما يعطيها اللون الداكن ويتشكل عادة هذا الخشب في نهاية فترة النمو. تعطي الشجرة في المناطق المعتدلة غالباً حلقة نمو واحدة كل سنة، ويشير تاريخ الحلقة الخارجية (آخر حلقة من الخارج) إلى سنة موت الشجرة أو قطعها، وأول حلقة من الداخل إلى تاريخ بذر الشجرة أو نموها من البذرة، وهكذا يمكن ربط كل حلقة نمو مع سنة تشكلها، وظروف المناخ السائد في تلك السنة (Fritts, 1976).

تعد درجة الحرارة والهطل من أهم العناصر المناخية التي تحدد نمو الأشجار الحراجية، حيث يرافق تغيرات هذه العناصر تغيرات في النمو عند الأشجار وتتعكس هذه التغيرات في حلقات النمو السنوية للشجرة عبر الزمن، حيث أن تعاقب السنوات الرطبة والجافة يسجل بأمانة من خلال تعاقب حلقات النمو الضيقة والعريضة.

ويعد الهطل واحداً من أهم العناصر المناخية وأكثرها تأثيراً في نمو وتطور النباتات، إذ تأتي أهمية الهطل في نمو النبات الحراجي من الدور الكبير الذي يلعبه الماء في حياة النبات بشكل عام وفي النمو القطري بشكل خاص، فالهطل المنخفض يمكن أن يؤدي إلى تشكل حلقات نمو ضيقة وخاصة إذا ما ترافق مع حرارة عالية (Fritts, 1976).

كذلك تؤثر درجة الحرارة في نمو النبات، وتختلف درجات الحرارة المثلى بين الأنواع والجماعات المختلفة ضمن النوع الواحد بحسب البيئة التي نشأ فيها. ويتسبب الصقيع خلال موسم النمو في موت جزء من كامبيوم الأشجار، وتكثر حلقات النمو المتأثرة بالصقيع في الأشجار ذات القشرة الرقيقة وتقل في الأشجار سميكة القشرة (عبيدو، 2000). كما أن ارتفاع درجة الحرارة إلى حد أعلى من الاحتياجات الطبيعية للنبات يؤدي إلى تسريع النمو لكن يكون الخشب أقل جودة ثم يبطئ النمو بشكل مبكر (نحال وآخرون، 1988). تعطي الأشجار الفتية حلقات نمو أعرض من تلك المعمرة وذلك لكونها أكثر نشاطاً وأسرع نمواً. ويؤثر عمر الأشجار في استجابتها لتغيرات العناصر المناخية، فالبادرات والأشجار الفتية تكون أكثر عرضة للتأثير السلبي لعوامل المناخ من الأشجار الناضجة، كما تخف مقاومة الأشجار الهرمة لبعض العوامل البيئية (نحال وآخرون، 1988).

يسمى العلم الذي يعنى بدراسة العلاقة بين حلقات النمو السنوية للأشجار والمناخ بعلم التأريخ المناخي الشجري (Dendroclimatology)، ويعرف بأنه العلم الذي يعيد بناء المناخ اعتماداً على حلقات النمو السنوية (Fritts, 1976). ويتعامل هذا العلم مع الزمن ودلالات التواريخ وكافة الحوادث المناخية، وحدد Fritts (1976) كيفية إعادة بناء السلاسل الزمنية لمناخ الزمن الماضي باتخاذ الخطوات التالية:

1- مقارنة السجلات المناخية مع عرض حلقات النمو المستخرجة من نفس الفترة الزمنية.

2- استخراج المعادلة الإحصائية للعلاقة بين الاثنين.

3- استخدام عرض حلقات النمو المؤرخة في المعادلة للتنبؤ وتقدير قيم العناصر المناخية للسنوات الماضية.

تعد المنطقة المتوسطية نموذجية لدراسات التأريخ المناخي الشجري، بسبب مناخها المعتدل الذي يتميز بفصل ماطر شتاءً وفصل جاف صيفاً (Olivaret al., 2012)، وتعد الصنوبريات *Pinus sp.* في هذه المنطقة من الأنواع

المناسبة لمثل هذه الدراسات، كونها تتميز بحلقات نمو متميزة وواضحة المعالم. درست أنواع مختلفة من الصنوبر في المنطقة المتوسطة للكشف عن العلاقات بين عناصر المناخ ونمو الأشجار باستخدام تقنيات علم التأريخ الشجري، كما هو الحال لدى الصنوبر الثمري *Pinus pinea* في جنوب البرتغال (Campelo et al., 2006) و الصنوبر البروتي *Pinus brutia* في شرق المتوسط (Sarris et al., 2007) والصنوبر البحري *Pinus spinaster* في وسط البرتغال (Vieira et al., 2009) وكذلك في وسط اسبانيا (Bogino & Bravo, 2008) والصنوبر الأسود *Pinus nigra* في جنوب شرق اسبانيا (Martin-Benito et al., 2008)، والصنوبر الحرجي *Pinus sylvestris* في حدود توزعه الجنوبية والغربية (Bogino et al., 2009). والصنوبر الحلبي *Pinus halepensis* في اليونان (Papadopoulou et al., 2009).

في سورية أجرى Chalabi (1980) دراسة بغية تحديد الإنتاجية الكامنة من الخشب للسنديان شبه العذري *Quercus serris ssp. pseudocerris* في منطقتي البايير والبسيط وصلنفة وتمكن من تحديد أنماط الظروف المناخية الرئيسية من أمطار وحرارة التي تتحكم بدقة في النمو القطري للنوع المذكور. و قام شلبي ومارتييني (1989) بدراسة العلاقة بين النمو الخشبي الثانوي لأشجار الشوح *Abies cilicica* والعناصر المناخية وتوصلا إلى أن خريفاً بارداً للسنة السابقة، وكذلك شتاءً بارداً وربيعاً دافئاً وصيفاً مطيراً نسبياً، تعتبر الظروف المواتية لتشكل حلقات نمو عريضة و العوامل المناخية المعاكسة تؤدي لتشكل حلقات نمو ضيقة. وفي دراسة سلهب (2011) دلت النتائج على أن السنوات المطيرة و معتدلة الحرارة وخاصة في الصيف تسهم في تشكل حلقات نمو عريضة، بينما تتشكل حلقات نمو ضيقة في السنوات قليلة الأمطار ذات الحرارة المرتفعة خاصة في فصلي الربيع والصيف بالنسبة للصنوبر الحلبي *Pinus halepensis* والصنوبر البروتي *Pinus brutia* في محافظة طرطوس. توصل ثابت (2012) من خلال بحث أجراه لبيان تأثير المناخ في النمو الشعاعي للصنوبر البروتي على السطح الشرقي لسلسلة الجبال الساحلية، إلى نتيجة مفادها أن الهطل المطري، وخاصة في أشهر الربيع والصيف، كان له التأثير الأساسي على التغيرات البيئية لسماكة حلقات النمو السنوية للصنوبر البروتي مقارنة بتأثير درجات الحرارة العظمى والصغرى التي اقتصر تأثيرها في أشهر الصيف (حزيران، تموز وآب) كمتوسط درجات الحرارة الصغرى و فقط في شهر آب كمتوسط درجات الحرارة العظمى.

يعد الصنوبر البروتي من الأنواع الحراجية الهامة في الساحل السوري، و هو يغطي مساحات لا بأس بها من المواقع المحرجة في محافظة طرطوس. تحاول هذه الدراسة تفسير جزء من النمو القطري المرتبط بالتغيرات المناخية من هطل وحرارة (صغرى-عظمى-جافة)، باستخدام علاقات الانحدار والحصول على نماذج رياضية قادرة على التنبؤ بمقدار هذا النمو انطلاقاً من تلك المتغيرات. مع العلم أن الأبحاث التي تعتمد تقنيات التأريخ الشجري المناخي في التنبؤ بالنمو القطري تبعاً للظروف المناخية لا تزال محدودة في بلادنا.

يهدف هذا البحث إلى بناء نماذج رياضية تسمح بتقدير سماكة حلقات النمو السنوية للصنوبر البروتي في غابتي كرفو وحير برفة، بالاعتماد على البيانات المناخية من هطل و حرارة (صغرى-عظمى-جافة).

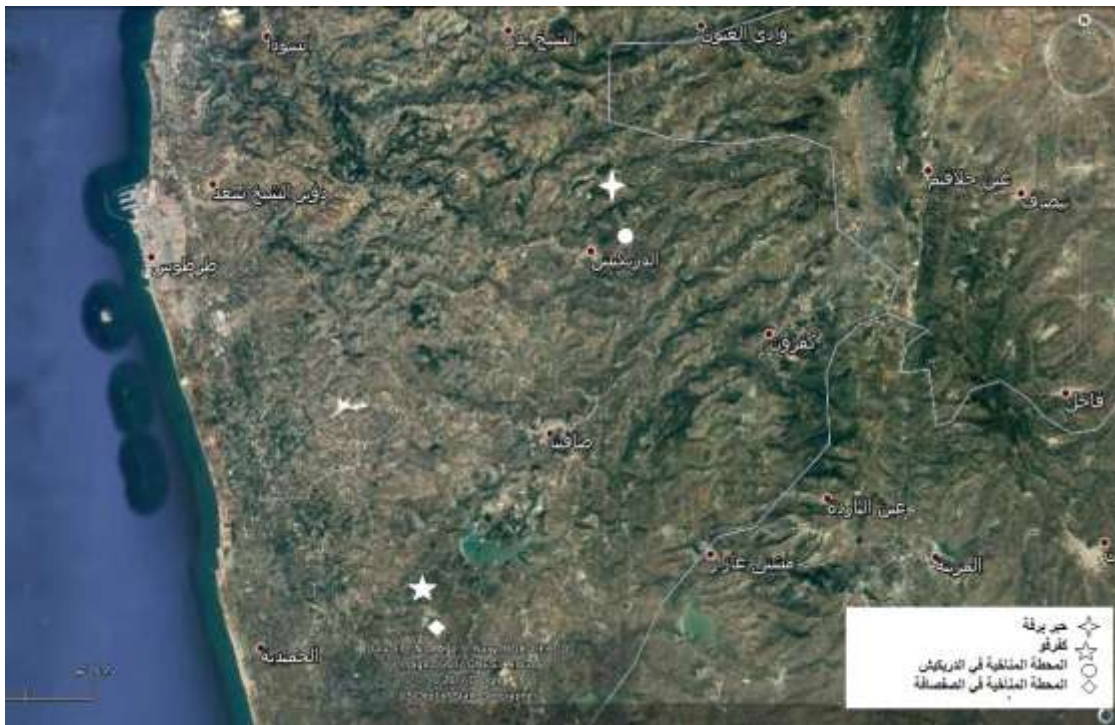
## طرائق البحث و مواده:

### 1- منطقة الدراسة :

تمت الدراسة في غابتي كرفرو وحير برفة الواقعان في محافظة طرطوس (سورية)، وهما موقعان حراجيان مشجران بالصنوبر البروتي منذ بداية السبعينيات من القرن الماضي.

**A. غابة كرفرو:** تقع إلى الجنوب من محافظة طرطوس وتبعد عنها حوالي 20 كم، وعن البحر حوالي 5 كم شرقاً، ترتفع فوق سطح البحر حوالي 75 م، بمساحة تقريبية حوالي 20 هكتار. يشكل الصنوبر البروتي النوع الأساسي في الغابة، تم لاحقاً إدخال أشجار الكينا *Eucalyptus* في التشجير ضمن بقعتين في الموقع.

**B. غابة حير برفة:** تتبع لمنطقة الدريكيش إدارياً، بمساحة تقريبية حوالي 17 هكتار، تبعد عن مركز المحافظة حوالي 40 كم وعن منطقة الدريكيش حوالي 7 كم شمالاً، وترتفع عن سطح البحر حوالي 650 م. ترتفع كثافة الأشجار فيها وتبدو كغابة نقية من الصنوبر البروتي تغيب فيها طبقة تحت الغابة، وينمو على أطراف الغابة غطاءً نباتي من أنواع متفرقة كالسنديانيات *Quercus.sp* والغار النبيل *Laurus nobilis* والقطلب *Arbutus andrachne* والدلب الشرقي *Platanus orientalis* والبطم الفلسطيني *Pistacia palaestina* والاصطرك *Styrax officinalis* وسماق الدباغين *Rhus coriaria* وغيرها. ويظهر موقعي الدراسة في الشكل رقم (1).



الشكل (1) صورة تظهر موقعي الدراسة ضمن محافظة طرطوس بمقياس 1:4.2 كم

ويوضح الجدول (1) قيم بعض العناصر المناخية المحسوبة خلال فترة الدراسة في موقعين، حيث يظهر تباين قيم العناصر المناخية بين الغابتين، فيزيد معدل الهطل وتخفض قيم متوسطات الحرارة في غابة حير برفة عن ما هي عليه في غابة كرفرو، وقد يعود هذا إلى فرق الارتفاع بين الغابتين، حيث يزيد فرق الارتفاع بين الموقعين عن 500 م.

الجدول (1) قيم بعض العناصر المناخية في غابتي كرفو وحيير برفة المحسوبة خلال فترة الدراسة

كرفو			حيير برفة			العنصر المناخي
معامل التباين	الانحراف المعياري	المعدل	معامل التباين	الانحراف المعياري	المعدل	
25.0	250.72	1002.8	21.24	253.24	1192.3	الهطل السنوي
2.95	0.70	23.7	3.55	0.77	21.7	درجة الحرارة العظمى
4.84	0.77	15.9	4.93	0.69	14	درجة الحرارة الصغرى
4.29	0.85	19.8	3.71	0.66	17.8	درجة الحرارة الجافة

ونجد أن تباين الهطل السنوي يرتفع قليلاً في كرفو عما هو عليه في حيير برفة، في حين تقارب تباينات درجات الحرارة في كلا الموقعين.

## 2- البيانات الميئورولوجية:

تم الحصول على البيانات الميئورولوجية من المديرية العامة للأرصاد الجوية بدمشق، حيث شملت القيم الشهرية للهطل ودرجات الحرارة العظمى والصغرى والجافة، لفترة رصد امتدت من عام 1982 حتى عام 2013. تم الاعتماد على بيانات المحطة المناخية في طرطوس بالنسبة لغابة كرفو، وعلى بيانات محطة الدريكيش بالنسبة لغابة حيير برفة الجدول (2).

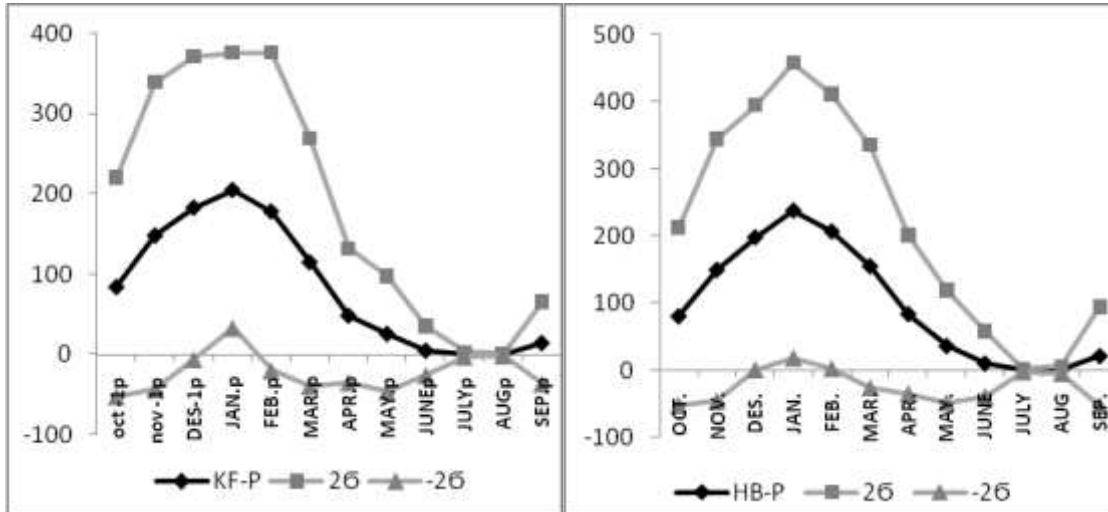
الجدول (2) إحداثيات المحطات الميئورولوجية المدروسة

خط العرض	خط الطول	الارتفاع (م)	المحطة
34° 52'	035° 94'	75	الصفصافة
34°25'	036° 14'	565	الدريكيش

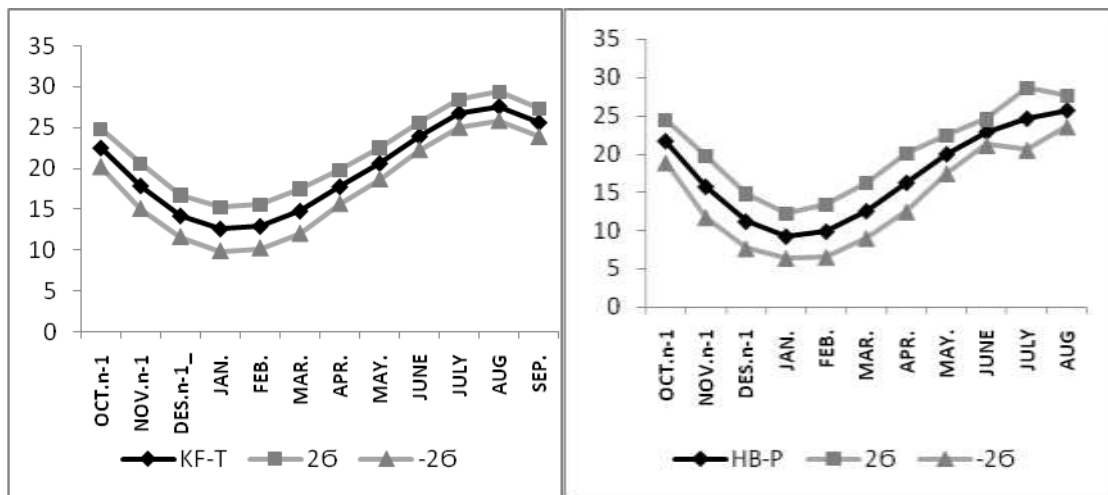
تم التأكد من موثوقية البيانات الميئورولوجية بطريقة بسيطة وذلك من خلال إضافة خط اتجاه من نوع الانحدار الخطي البسيط بين هذه البيانات والزمن للتأكد من عدم وجود قيم شاذة فيما بينها.

تمت جدولة هذه البيانات على شكل سنوات بيولوجية تمتد من شهر تشرين أول للعام السابق لتشكل حلقة النمو حتى شهر أيلول لسنة تشكلها، على افتراض أن حلقة النمو تتأثر بالظروف المناخية للفترة الممتدة من تشرين أول للعام السابق وحتى أيلول من عام تشكلها، وهذه الفترة مستخدمة في العديد من الأبحاث ضمن مجال علم تأريخ المناخ الشجري في المنطقة المتوسطة أمثال: Berger وآخرون (1979) و Kiaei & Bakhshi (2011) و Akkemik وآخرون (2008) و Kose & Guner (2012).

يوضح الشكل (2) تغيرات متوسطات الهطولات الشهرية لموقعي الدراسة، مع انحرافين معياريين عنها. يزداد التباعد بين متوسط السلسلة والانحرافين المعياريين كلما اتجهنا نحو الأشهر الماطرة، والعكس بالعكس. تسلك المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة سلوكاً مختلفاً عن متوسطات الهطل (الشكل 3)، حيث يقل تنذب السلسلة و بالتالي تنقلص المسافة بين الانحرافين المعياريين و المتوسط .



الشكل (2) تغيرات متوسطات الهطل الشهري في منطقتي الدراسة



الشكل (3) تغيرات متوسطات الحرارة الجافة الشهرية في منطقتي الدراسة

### طريقة أخذ العينات ومعاملتها:

تم اختيار 10 أشجار ضمن كل موقع دراسة من الأشجار السائدة، التي تتمتع بأفطار ضخمة وتيجان مضاء ومتجانسة، كونها تتأثر فقط بعوامل التربة والمناخ، في حين أن تأثيرها بالعمليات التريوية قليل جداً. و تم استخلاص سبرتين من كل شجرة بواسطة مسبر بريسلا (بطول 40 سم)، بعد ذلك تم وضع السبرات في مساطر خشبية ذات مجاري مفتوحة تتناسب و حجوم العينات المستخلصة، وتم تثبيتها بدقة وعناية، وسجل بجانب كل سبرة: اسم الموقع، ورقم الشجرة، والجهة التي أخذت منها وتاريخ أخذها (الشكل 4)، وتركت حتى تمام الجفاف. بعد ذلك خضعت السبرات إلى عملية تنعيم وصقل باستخدام ورق الزجاج الناعم جداً حتى أصبحت حدود حلقات النمو واضحة تماماً ( Stokes & Smiley, 1996 ).

بهدف توثيق حلقات النمو الضيقة و السميقة، واكتشاف السبرات الشاذة وحلقات النمو الكاذبة، طبقت عملية التأريخ البيئي (Cross-dating) من خلال:

- مقارنة السبرتين المأخوذتين من كل شجرة مع بعضهما البعض.
- المقارنة بين كافة السبرات.

- ربط حلقات النمو مع تاريخ تشكلها بدءاً من القشرة وحتى المركز (Yamaguchi, 1991).  
تم قياس سماكة حلقات النمو بمساعدة الحاسب الآلي باستخدام أداة المسطرة في برنامج Adobe Photoshop CS4 و بدقة قياس بلغت 0.01 مم، وذلك بعد مسح للعينات المستخلصة باستخدام جهاز الماسح الضوئي (Scanner).



الشكل (4) مسبر بريسler المستخدم وعينة من السبرات المستخلصة بعد معاملتها

بعد معالجة السبرات تم الحصول في كل موقع على سلسلة نهائية من حلقات النمو مؤلفة من 32 حلقة تغطي الفترة الممتدة من 1982/1981-2012/2013.

### 3- العمل الإحصائي:

#### معالجة البيانات:

تستدعي دراسة العلاقات حلقات النمو السنوية- المناخ في الكثير من الحالات تحويل البيانات الخام إلى قيم قياسية، وتسمى هذه العملية Standardization، وذلك لاستبعاد تأثير العمر و العمليات التربوية ضمن الغابة. نفذت هذه العملية من خلال حساب المتوسط المتحرك Moving Average لسماكة حلقات النمو السنوية بنافاذة مقدارها 5/ سنوات، ومن ثم تقسيم القيم الفعلية المقاسة لسماكة حلقات النمو السنوية على قيم المتوسط المتحرك المقابلة لها. وبذلك نكون قد حصلنا على سلسلة جديدة في كل موقع، متوسطها يساوي الواحد، وتسمى بسلسلة مؤشر (Growth index).



**التحليل الإحصائي:**

بعد جمع البيانات وتبويبها، تم تحليل العلاقات بين البارامترات الحراجية (سماكة حلقات النمو كمتحول التابع) و البارامترات الميتيورولوجية (كميات الهطل ودرجات الحرارة كمتحولات المستقلة) للفترة 1982-2013، في المرحلة الأولى باستخدام علاقات الارتباط (Correlation) لاختبار طبيعة هذه العلاقة، وفي المرحلة التالية باستخدام تحليل الانحدار الخطي المتعدد Multiple Linear Regression. وبلغ عدد المتحولات التي شملت التحليل 67 متحولاً تضمنت: المتوسطات الشهرية والفصلية والسنوية لكل من الهطل ودرجات الحرارة بأنواعها. و استبعد فصل الصيف بالنسبة للهطل، وذلك لندرة الأمطار أو انعدامها في معظم الأحيان. وأنجز العمل الإحصائي باستخدام برنامج SPSS الإصدار (17)، و برنامج Excel.

وقد تم العمل الإحصائي وفق مرحلتين:

**1. تصميم الموديل Model Construction:**

تم استخدام تقنية Response function أو ما يسمى تابع الاستجابة (Biondi & Waikul, 2004) و هي طريقة مبتكرة من قبل (Fritts, 1976) تستخدم في تحديد العلاقة بين سماكة حلقة النمو والمتحولات المناخية، و يعبر عن هذا التابع بتحليل الانحدار الخطي المتعدد، وقد اعتمدت طريقة Stepwise لتحديد المتغيرات ذات الأثر المعنوي في سماكة حلقات النمو عند مستوى المعنوية (P= 0.05)، حيث أن جميع المتغيرات و الموديلات يجب أن تكون معنوية على المستوى 0.05.

**2. اختبار جودة الموديل Model Validation:**

من أجل اختبار جودة الموديلات الرياضية الناتجة تم إتباع طريقة الاختبار المكاني المتصالب Cross-validation تتص هذه الطريقة على اختبار العلاقات الرياضية الناتجة من موقع الدراسة الأول (كفرفو) في موقع الدراسة الثاني (حير برفة) والعكس بالعكس. والهدف من ذلك هو تقييم هذه العلاقات واختبار إمكانية تعميمها في مواقع أخرى.

وتم حساب قيمة معامل التحديد المعدل  $R^2_{adj}$  لكل علاقة من علاقات الانحدار الناتجة وفق المعادلة (Weisberg,2005):

$$R^2_{adj} = R^2 - \frac{K \times (1 - R^2)}{n - K - 1}$$

حيث أن  $R^2$  هي معامل التحديد

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2}$$

حيث:

n عدد القيم المقاسة أو الفعلية، و k عدد المتحولات الداخلة في تركيب الموديل.

تم تقييم كفاءة وجود الموديل المقترحة و المفاضلة بينها باستخدام عدد من المعايير الإحصائية (Pretzsch,

2001) وهي :

1. المتوسط المطلق لخطأ الموديل  $\bar{e}$  (Model Bias): ويمثل متوسط الفرق بين القيم المقاسة والقيم المقدرة أو

المتنبأ بها ويعطى بالمعادلة:

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)$$

3. المتوسط النسبي لخطأ الموديل %  $\bar{e}$  (Model Bias %):

$$\bar{e} \% = \frac{\bar{e} \times 100}{\bar{Y}}$$

3. الانحراف المعياري المطلق لمتوسط خطأ الموديل  $S_e$  (Model Precision): ويعبر عن الانحراف المعياري

لأخطاء الموديل :

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n-1}}$$

4. الانحراف المعياري النسبي لمتوسط خطأ الموديل %  $S_e$  (Model Precision %):

$$S_e \% = \frac{S_e \times 100}{\bar{Y}}$$

5. دقة الموديل  $m_x$  (Model Accuracy):

$$m_x = \sqrt{S_e^2 + \bar{e}^2}$$

5. الدقة النسبية للموديل %  $m_x$  (Model Accuracy %): ويمثل درجة قرب القيم المقدرة من القيم

الحقيقية المقاسة.

$$m_x \% = \frac{m_x \times 100}{\bar{Y}}$$

حيث أن:

n: عدد القيم الفعلية

$Y_i$ : هي القيمة الفعلية التي ترتيبها (i)

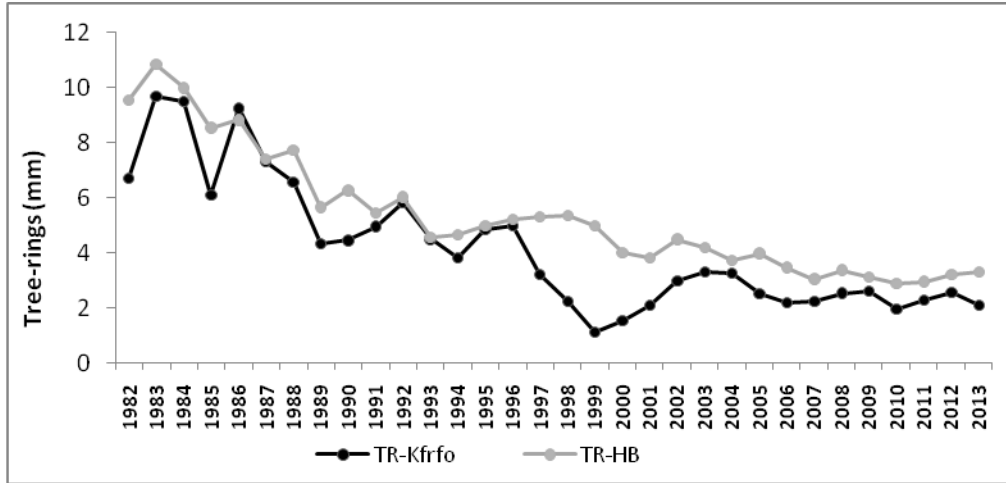
$\hat{Y}_i$ : القيمة المحسوبة أو المقدرة من خلال الموديل التي ترتيبها (i).

$\bar{Y}_i$ : المتوسط الحسابي للقيم الفعلية  $i = 1, \dots, n$

### النتائج والمناقشة:

نتيجة عملية قياس الحلقات وجد بأن متوسط سماكة حلقات النمو الخام لفترة الدراسة في غابة كرفو 4.18 ملم، و في غابة حير برفة 5.35 ملم، وهي قيم مرتفعة نسبياً. وهذا يعود إلى أن الأشجار المدروسة مازالت في عمر النمو النشط حيث تكون حلقات النمو أكثر سماكة، و هي لم تصل بعد إلى حد الاستقرار النسبي للنمو حيث تقل سماكتها و تستقر نسبياً (نحال، 1982، Fritts، 1976). حيث تكون الحلقات ذات سماكة كبيرة في السنوات الأولى من عمر الأشجار ومن ثم تتناقص تدريجياً سماكة الحلقات مع التقدم بالعمر، كما يظهر في الشكل (5).

لوحظ تكرار تشكل حلقات كاذبة في غابة كرففو خلال المواسم : 1996-1997، 1994-1995، 1986-1987. تنشأ حلقات النمو الكاذبة غالباً من وجود فترة جفاف خلال فصل النمو. وهي من الصعوبات التي تواجه أبحاث حلقات النمو (Fritts, 1976; Yamaguchi, 1991)، أما في غابة حير برفة فلم يلاحظ وجود حلقات كاذبة.



الشكل (5) تغيرات سماكة حلقات النمو عبر الزمن خلال الفترة المدروسة في موقعي الدراسة

### نمذجة العلاقة بين سماكة حلقات نمو الصنوبر البروتي و الحرارة و الهطل:

بنتيجة تحليل العلاقات بين البارامترات الحراجية (سماكة حلقات النمو كمتحول التابع) و البارامترات الميتيورولوجية (كميات الهطل ودرجات الحرارة كمتحولات المستقلة) للفترة 1982-2013، وجدت قيم معامل الارتباط لموقعي الدراسة (جدول 3). وجدت في كلا الموقعين علاقة جيدة وسلبية بين حلقات النمو و الحرارة بينما كانت ضعيفة وسلبية مع الهطل.

جدول (3) قيم معاملات الارتباط (R) بين بارامترات النمو و البارامترات المناخية المدروسة في موقعي الدراسة

Mean	Min	Max	Precipitation	Correlation	موقع الدراسة
-0.750	-0.784	-0.681	-0.017	Tree rings	كرففو
-0.217	-0.200	-0.229	0.551	Growth index	
-0.62	-0.53	-0.66	-0.27	Tree rings	حير برفة
-0.17	-0.08	-0.24	0.35	Growth index	

و بعد عملية المعايرة والحصول على قيم مؤشر النمو (Growth index) حصلنا على قيم ارتباط جيدة وإيجابية بين هذا المؤشر وقيم الهطل، في حين انخفضت قيم معامل الارتباط مع الحرارة و بقيت سلبية (جدول 3). باستخدام تحليل الانحدار الخطي المتعدد Multiple Linear Regression في برنامج SPSS تم الحصول على خمسة موديلات رياضية في غابة حير برفة تفسر العلاقة بين النمو القطري (حلقات النمو) والظروف المناخية، وهي موضحة في الجدول (4) :

جدول (4) الموديلات التي تشرح العلاقة بين قيم مؤشر النمو (growth Index) للصنوبر البروتي والظروف المناخية في غابة حير برفة

Equation	Regression	R <sup>2</sup> adj
(1)	$I_{TR} = 0.988 + 0.001 P_6$	0.19
(2)	$I_{TR} = 0.938 + 0.002 P_6 + 0.001 P_4$	0.40
(3)	$I_{TR} = 0.96 + 0.002 P_6 + 0.001 P_4 + 0.0003 P_{10}$	0.46
(4)	$I_{TR} = 1.053 + 0.001 P_6 + 0.001 P_4 - 0.0003 P_{10} - 0.0144 m_1$	0.53
(5)	$I_{TR} = 0.588 + 0.0012 P_6 + 0.0006 P_4 - 0.0004 P_{10} - 0.0168 m_1 + 0.0194 S_t$	0.59

حيث أن :

$I_{TR}$ : مؤشر حلقات النمو

$P_6$  : مجموع الهطل لشهر حزيران

$P_4$  : مجموع الهطل لشهر نيسان

$P_{10}$  : مجموع الهطل لشهر تشرين أول للسنة السابقة لتشكيل الحلقة

$m_1$  : متوسط درجة الحرارة الصغرى لشهر كانون ثاني

$S_t$  : متوسط درجة الحرارة الجافة لفصل الصيف

نلاحظ من الجدول (4) أن للهطل خلال شهر حزيران الأثر الأكبر في سماكة حلقات النمو للصنوبر البروتي في غابة حير برفة، حيث ساهم في تفسير 19% من التباينات في عرضها ( $R^2=0.19$ ) في الموديل الأول، وجاء في المرتبة الثانية من الأهمية الهطل خلال شهر نيسان، حيث ساهم مع هطل حزيران بتفسير 40% من التباينات، وهذا يتوافق مع دراسة *Piraino et al.* (2012) الذي وجد أن الميزان المائي للتربة في نهاية الربيع وبداية الصيف هو من أهم العناصر المناخية التي تتحكم بالنمو الشعاعي عند الصنوبر الثمري *Pinus pinea* في وسط إيطاليا.

أما العامل الثالث المؤثر فقد كان الهطل خلال شهر تشرين الأول للسنة السابقة لتشكيل حلقة النمو وكان تأثيره سلبياً، كما كان لمتوسط درجة الحرارة الصغرى للشهر الأبرد في السنة وهو كانون الثاني أثراً سلبياً في النمو الشعاعي للصنوبر البروتي، بينما كان للحرارة المتوسطة لفصل الصيف أثر إيجابياً. ونلاحظ أن الهطل يملك تأثيراً أكثر أهمية من درجة الحرارة في سماكة حلقات النمو، ويتوافق هذا مع ما توصل إليه ثابت (2012) من خلال بحث أجراه لبيان تأثير المناخ في النمو الشعاعي للصنوبر البروتي على السفح الشرقي لسلسلة الجبال الساحلية باستخدام علم المناخ الشجري، حيث وجد أن الهطل المطري، وخاصة في أشهر الربيع والصيف، كان له التأثير الأساسي على تغيرات سماكة حلقات النمو السنوية للصنوبر البروتي مقارنة بتأثير درجات الحرارة. وكذلك أظهرت نتائج دراسة خليل (2014) حول تأثير الهطل والحرارة في النمو الشعاعي لأشجار الصنوبر البروتي في الجزء الشمالي لسلسلة الجبال الساحلية السورية، تفوق تأثير الهطل في سماكة حلقات النمو على الحرارة.

لدى اختبار العلاقة بين النمو القطري (حلقات النمو) والظروف المناخية (كميات هطل و درجة حرارة) في غابة

كفرفو حصلنا على نموذجين خطيين، كما هو موضح في الجدول رقم (5) :

جدول (5) الموديلات التي تفسر العلاقة بين قيم مؤشر النمو (growth Index) للصنوبر البروتي والظروف المناخية في غابة كرفو.

Equation	Regression	adj R <sup>2</sup>
(1)	$I_{TR} = 0.694 + 0.0003P_y$	0.28
(2)	$I_{TR} = 1.674 + 0.0003 P_y - 0.0369 X_{10}$	0.37

حيث :

$P_y$  : مجموع الهطل خلال الموسم المطري

$X_{10}$  : متوسط درجة الحرارة العظمى لشهر تشرين الأول للسنة السابقة لسنة تشكل الحلقة.

يبين لنا الجدول (5) أن مجموع الهطل خلال الموسم المطري هو العامل الأكثر تأثيراً في سماكة حلقات النمو للصنوبر البروتي في غابة كرفو، حيث ساهم بتفسير 28% ( $R^2=0.28$ ) من التباينات في عرض حلقات النمو. أما العامل الثاني المؤثر فكان درجة الحرارة العظمى لشهر تشرين الأول للسنة السابقة لسنة تشكل الحلقة، ويبدو أن ارتفاع الحرارة خلال هذا الشهر يؤثر سلباً في نمو النبات لاحقاً، قد يعود ذلك إلى تأثير ارتفاع الحرارة العظمى بشكل سلبي على المخزون المائي للتربة.

عند المفاضلة بين الموديلات السبعة السابقة نجد أن قيمة معامل التحديد المعدل  $R^2$  adj كانت تزداد مع زيادة عدد المتغيرات في المعادلة وبلغت أعلى قيمة لها 0.59 للموديل الخامس المصمم في غابة حير برفة، وهذا يعني أن هذا الموديل يفسر 59% من التباينات الموجودة في عرض حلقات النمو وهي نسبة مقبولة، ولكن هذا الموديل يملك العدد الأكبر من المتحولات المناخية مقارنة مع غيره من الموديلات الناتجة.

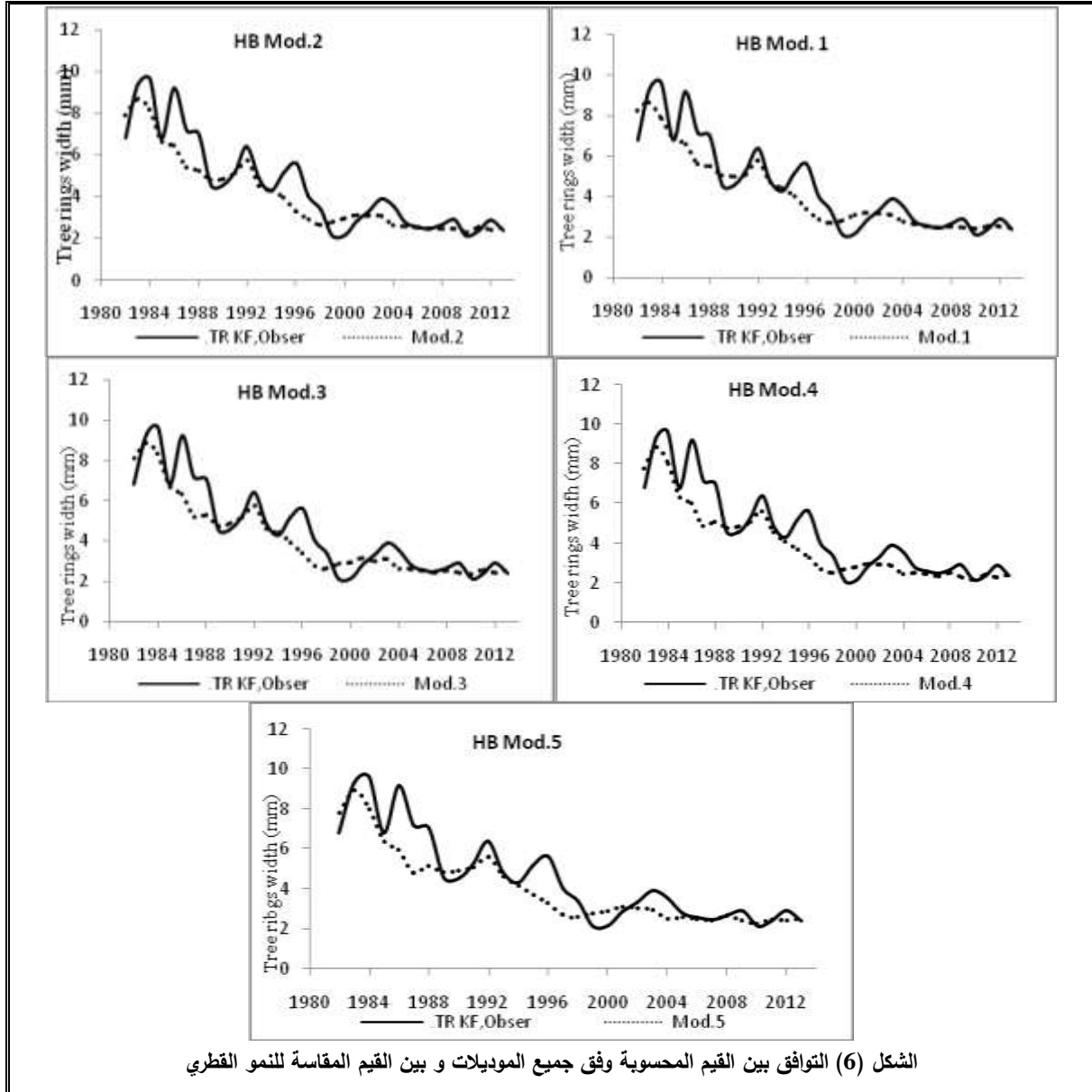
المفاضلة بين الموديلات، تم تطبيق طريقة الاختبار المكاني المتصالب، ومن ثم جرى اختبار العلاقات الرياضية الناتجة من موقع الدراسة الأول (حير برفة) في موقع الدراسة الثاني (كرفو) للوقوف على مدى دقة التنبؤ لهذه العلاقات (جدول 6).

جدول (6) النتائج الحسابية لاختبارات جودة الموديلات المصممة لغابة حير برفة والمطبقة على بيانات حلقات النمو المأخوذة من غابة كرفو

HB Models	No. of Variables	R <sup>2</sup> adj	R <sup>2</sup>	Bias	Bias %	Precision	Precision %	Accuracy	Accuracy %
M0d.1	1	0.19	0.22	-0.236	-5.212	1.014	22.354	1.041	22.954
M0d.2	2	0.40	0.44	-0.321	-7.078	1.010	22.257	1.060	23.355
M0d.3	3	0.46	0.52	-0.320	-7.063	1.034	22.796	1.083	23.865
M0d.4	4	0.53	0.59	-0.470	-10.350	1.057	23.305	1.157	25.500
M0d.5	5	0.59	0.66	-0.413	-9.096	1.084	23.895	1.160	25.567

نلاحظ من الجدول (6) بأن الفروقات قليلة بين قيم مؤشرات الجودة لكل موديل، تميز الموديل الأول بأقل قيمة للمتوسط النسبي لخطأ النموذج (- 5.212 %) وأفضل قيمة لدقة النموذج (22.954 %)، وهذا يعني أنه على فرض أن توزع خطأ الموديل كان توزيعاً طبيعياً فإن 95 % من القيم المقدرة لن ينحرف أكثر من 22.95 % عن القيم الحقيقية. وكانت أقل قيمة للانحراف المعياري النسبي لمتوسط خطأ الموديل كانت (22.257%) و هي للموديل رقم(2).

و يبين الشكل (6) مدى التوافق النسبي بين القيم المحسوبة أو المتنبأ بها والقيم الحقيقية للنمو القطري. حيث نلاحظ تقارب كبير بين الموديلات الخمسة السابقة، ونلاحظ تميز الموديل الأول إلى حد ما، حيث يقل تشتت قيمه نسبياً عن بقية الموديلات، وهذا يتوافق مع ما هو مثبت إحصائياً في الجدول (4).



الشكل (6) التوافق بين القيم المحسوبة وفق جميع الموديلات و بين القيم المقاسة للنمو القطري

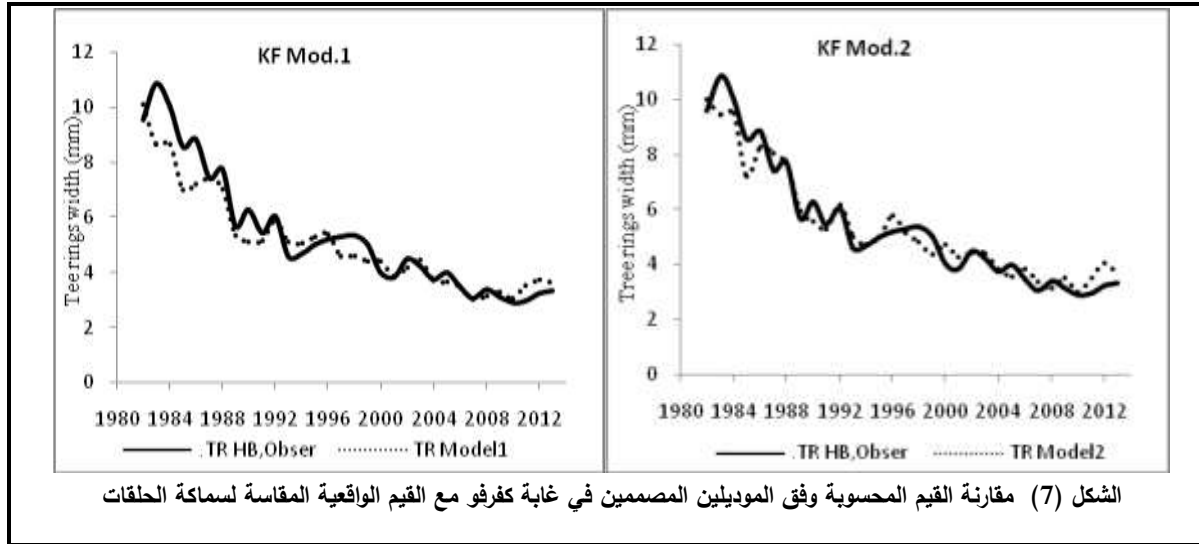
يوضح الجدول (7) نتائج اختبار جودة الموديلات المصممة في غابة كرفو والمطبقة على حلقات النمو المأخوذة في غابة حير برفة.

جدول (7) النتائج الحسابية لاختبارات جودة الموديلات المصممة في غابة كرفو و المطبقة على بيانات حلقات النمو في غابة حير برفة

KF Models	No. of Variables	R <sup>2</sup> adj	R <sup>2</sup>	Bias	Bias%	Precision	Precision%	Accuracy	Accuracy%
M0d.1	1	0.28	0.30	-0.091	-1.699	0.978	18.283	0.982	18.362
M0d.2	2	0.37	0.41	0.166	3.104	0.859	16.067	0.875	16.364

نلاحظ من الجدول (7) بأن نتائج اختبار الموديلين الرياضيين لغابة كرفو كانت أفضل بالنسبة لمؤشرات اختبار جودة الموديل بشكل عام. وكانت أقل قيمة للمتوسط النسبي لخطأ النموذج (-1.699%) للموديل الأول وهي قيمة مقبولة، وأفضل قيمة لدقة النموذج (16.36%) وهي للموديل الثاني، وهذا يعني أنه على فرض أن توزع خطأ الموديل كان توزعاً طبيعياً فإن 95% من القيم المقدرة لن ينحرف أكثر من 16.36% عن القيم الحقيقية. بينما بلغت أقل قيمة للانحراف النسبي لمتوسط خطأ الموديل (16.07%) وهي للموديل الثاني، وهي قيمة مقبولة.

ويظهر الشكل (7) مدى التماثل بين والقيم المقاسة لعرض حلقات النمو للصنوبر البروتي في غابة كرفو. حيث نلاحظ أن القيم المقدره لكلا الموديلين تتوزع بشكل مقبول نسبياً حول منحنى حلقات النمو الحقيقي، مع تفوق نسبي للموديل الثاني خاصة في بداية السلسلة، حيث تزداد نقاط التقاطع مع منحنى حلقات النمو الحقيقي.



الشكل (7) مقارنة القيم المحسوبة وفق الموديلين المصممين في غابة كرفو مع القيم الواقعية المقاسة لسماكة الحلقات

استناداً إلى نتائج اختبارات جودة الموديلات في الجدولين (4) و(5)، نلاحظ أن الموديل رقم 2 و المصمم في غابة كرفو هو الموديل الأفضل الذي يفسر العلاقة بين المتغيرات المناخية المدروسة وسماكة حلقات النمو، ويتضمن هذا الموديل مجموع كميات الهطل للموسم الماطر ودرجة الحرارة العظمى لشهر تشرين الأول للسنة السابقة لسنة تشكل حلقة النمو، وهذا يعني أن سماكة حلقة النمو تتناسب طردياً مع مجموع الهطل خلال الموسم الماطر، وهذا ما يتوافق مع العديد من الأبحاث التي تؤكد دور الهطل في النمو الشعاعي للصنوبر البروتي، حيث ذكر Sarris و آخرون (2007) أن تراجع كميات الهطل في منطقة البحر الأبيض المتوسط أدى إلى انخفاض في سماكة حلقات نمو أشجار الصنوبر البروتي، و كذلك وجد ثابت (2013) عند دراسته للسنوات الاستثنائية عند الصنوبر البروتي على السفح الشرقي للجبال الساحلية المطلة على الغاب بأن الهطل هو أكثر عامل محدد للنمو في منطقة الدراسة. وكذلك فإن سماكة حلقات النمو تتناسب عكساً مع درجة الحرارة العظمى لشهر تشرين الأول من السنة السابقة لسنة تشكلها، ويتوافق هذا مع ما ذكره Bradley (1985) في أن الظروف المناخية قبل فترة النمو تؤثر في العمليات الفيزيولوجية للشجرة لذلك فهي تؤثر في النمو فيما بعد بشكل كبير.

### الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- يمكن نمذجة سماكة حلقات النمو لأشجار الصنوبر البروتي بالاعتماد على قيم عناصر المناخ من حرارة وهطول.
- 2- تؤثر الهطولات في أشهر حزيران ونيسان لسنة تشكل الحلقة، وفي تشرين أول من السنة السابقة معنوياً في سماكة حلقات النمو.
- 3- إن 28% من التباينات في سماكة حلقات النمو لأشجار الصنوبر البروتي تعود إلى مجموع كميات الهطل خلال السنة الهيدرولوجية بأكملها.

4- أن درجة الحرارة الصغرى لأبرد شهر في السنة (كانون ثاني) ومتوسط درجة الحرارة في فصل الصيف، ودرجة الحرارة العظمى لشهر تشرين أول من السنة السابقة هي متغيرات درجة الحرارة الأهم والمؤثرة في تشكل حلقة النمو وسماكتها.

### يوصى بما يلي :

- اختبار الموديلات الرياضية المستحصل عليها من هذا البحث في غابات الصنوبر البروتي في مناطق أخرى من المنطقة الساحلية للوقوف على مدى جودتها وقدرتها على التنبؤ بالنمو الشعاعي لهذا النوع الحراجي.
- تطوير موديلات رياضية من نوع الانحدار لأنواع الصنوبريات والأنواع الحراجية الأخرى التي تشكل جزءاً مهماً من الثروة الحراجية في بلادنا.
- معايرة النمو للصنوبر البروتي باستخدام بارامترات أخرى مناخية مثل (درجات الحرارة المتطرفة-سرعة الرياح-الهطولات المتطرفة...الخ)، أو بارامترات متعلقة بالموقع و التي تؤثر في النمو خاصة ( الانحدار، المعرض، و المحتوى الرطوبي للتربة...وغيرها).
- استخدام أشجار الصنوبر البروتي الطبيعية المعمرة والتي تتوافق مع محطات مناخية ذات سلاسل زمنية طويلة بهدف رصد أدق لعلاقات الانحدار بين حلقات النمو والبارامترات الميئورولوجية.

### المراجع :

1. ثابت، علي. دراسة تأثير المناخ في النمو الشعاعي للصنوبر البروتي (*Pinus brutia Ten.*) في سوريا (منطقة الغاب) باستخدام علم المناخ الشجري. المجلة العربية للبيئات الجافة، 2012.
2. ثابت، علي. السنوات الاستثنائية عند الصنوبر البروتي. *Pinus brutia Ten.* على السطح الشرقي للجبال الساحلية المطلة على الغاب وعلاقتها بالمناخ. مجلة بحوث جامعة حلب، العدد 102، 2013.
3. خليل، سومر. تأثير مجموع الهطل الشهري ومتوسط درجة الحرارة الشهرية للصنوبر البروتي في المنطقة الساحلية السورية. رسالة ماجستير، كلية الزراعة، جامعة حلب، 2014، 100 ص.
4. سلهب، هبة. دراسة التأريخ الشجري وعلاقته بالتغيرات المناخية عند الصنوبر البروتي والحلبي في محافظة طرطوس. رسالة ماجستير، كلية الزراعة، جامعة دمشق، 2011، 92 ص.
5. شلبي، محمد نبيل. مرتيني، غالية. دراسة العلاقة بين النمو الخشبي الثانوي لأشجار الشوح والمتغيرات المناخية في سورية. مجلة بحوث جامعة حلب، العدد 12، 1989، ص: 57-89.
6. عبيدو، محمد. علم البيئة الحراجية. منشورات جامعة دمشق، سورية، 2000، 364 ص.
7. نحال، ابراهيم. الصنوبر البروتي *Pinus brutia* وغاباته في سورية وبلدان شرقي المتوسط، منشورات جامعة حلب، سورية، 1982، 238 ص.
8. نحال، ابراهيم. رحمة، أديب. شلبي، محمد نبيل. الحراج والمشاتل الحراجية. منشورات جامعة حلب، سورية، 1988، 265 ص.

1. AKKEMIK Ü, D'ARRIGO R, CHERUBINI P, KÖSE N, JACOBY G, *Treering reconstructions of precipitation and streamflow for northwestern Turkey*. International Journal of Climatology, 2008, 28:173-183.



2. BERGER, A. L. ; GUIOT, J. ; MATHIEU, L. ; MUNAUT, A. V. *Tree -Rings and Climate in Morocco*. Tree -Ring Bulletin , 1979, Vol. 39 : 61-75.
3. BIONDI, F.; WAIKUL, K. *DENDROCLIM2002: A C++ Program for Statistical Calibration of Climate Signals In Tree-Ring Chronologies*. Comput. Geosci., 2004, 30, 303–311.
4. BOGINO S., BRAVO F, *Growth response of Pinus Pinaster Ait. to Climatic Variables in Central Spanish Forests*, Annals of Forest Science, 2008, V. 68 : 506–518.
5. BOGINO S., FERNÁNDEZ NIETO M. J., BRAVO F, *Climate Effect on Radial Growth of Pinus sylvestris at Its Southern and Western Distribution Limits*, Silva Fennica, 2009, V. 43,I.4 : 609–623.
6. BRADLEY, R.S., *Quaternary Palaeoclimatology: Methods of Palaeoclimatic Reconstruction*. Unwin Hyman, London, 1985, 472.
7. CAMPELO, F. ; NABAIS, C. ; FREITAS, H. ; GUTIÉRREZ, E. *Climatic Significance Of Tree-Ring Width And Intra-Annual Density Fluctuations In Pinus pinea From a Dry Mediterranean Area In Portugal*. Springer Verlag/EDP Sciences, Annals of Forest Science, V. 64, I.2, 2006, 229–238.
8. CHALABI M.C; SERRE-BACHET F. *Analyse dendroclimatologique de deux stations syriennes de Quercus cerris ssp. Pseudocerris*. Ecologia Mediterranea, V.7, I.1, 1980.
9. FRITTS, H. C. *Tree Rings and Climate*. Book, Academic Press, London, 1976, 567.
10. KIAEI, M. ; BAKHSHI, R. *A dendrochronological study on Acer velutinum in northern Iran*. Indian Journal of Science and Technology. V.4, I.0974-6846, 2011, P1547-1550.
11. KOSE, N. , GUNER, H. T. *The effect of temperature and precipitation on the intra-annual radial growth of Fagus orientalis Lipsky in Artvin, Turkey*. Turk J Agric For, V.36 , 2012, 501-509
12. MARTIN-BENITO D., CHERUBINI P., DEL RIO M. CAÑELLAS I., *Growth Response to Climate and Drought in Pinus nigra Arn. Trees of Different Crown Classes*, Trees, V.22, 2008, 363–373.
13. OLIVAR, J. ; BOGINO, S. ; SPIECKE, H. ; BRAVO, F. *Climate Impact on Growth Dynamic and Intra-Annual Density Fluctuations in Aleppo Pine (Pinus halepensis) Trees of Different Crown Classes*. Science Direct, J. Dendrochronologia, V. 30, I.1, 2012, 35–47.
14. PAPADOPOULOS A.M., TOLICA K., PANTERA A., MAHERAS P., *Investigation of The Annual Variability of the Aleppo pine Tree-Ring width : The Relationship With the Climatic Conditions in The Attica Basin*, Global Nest Journal, V. 11, 2009, 583–592.
15. PIRAINO S., CAMIZ S., DI FILIPPO A., PIOVESAN G., SPADA F., *A Dendrochronological Analysis of Pinus pinea L. on The Italian Mid-Tyrrhenian Coast*, Springer link, Geochronometria, V40, I 1, 2012, 77-89.
16. PRETZSCH, H. *Modellierung des Waldwachstums*. Parey Buchverlag Berlin, 2001, 341.
17. PRETZSCH, H. *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009, 664.
18. SARRIS D. ; CHRISTODOULAKIS, D. ; KORNER C. *Recent decline in precipitation and tree growth in the eastern Mediterranean*, Global Change Biology Journal, V.13,I6,2007, 1187-1200.

19. STOKES, M. ; SMILEY, T. *An Introduction to Tree-ring Dating*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona,1996.
20. VIEIRA J. ; CAMPELO F. ; NABAIS C. ; *Age-Dependent Responses of Tree-Ring Growth and Intra-Annual Density Fluctuations of Pinus pinaster to Mediterranean Climate*, Springer link, J. Trees , V. 23, I. 2, 2008, 257-265.
21. WEISBERG, S. *Applied Linear Regression*, Third Edition. Wiley Inter science. 2005, 310.
22. YAMAGUCHI, D.K. *A simple method for cross-dating increment cores from living trees*, Canadian Journal of forest research., V.21, I.3, 1991, 414-416.