

## تصميم أداة لرسم خرائط التبخر- نتح المرجعي في الساحل السوري باستخدام GIS

د. عباس عبدالرحمن\*

د. دارين برجية\*\*

(تاريخ الإيداع 1 / 4 / 2021. قُبل للنشر في 16 / 8 / 2021)

### □ ملخص □

تتطلب معظم الحسابات الهيدرولوجية تقديراً دقيقاً لقيم التبخر- نتح (Evapotranspiration)، وخاصةً تلك المتعلقة بإدارة مصادر المياه، وحسابات الموازنة المائية على المستوى الإقليمي. لأجل ذلك تم اقتراح وتطوير العديد من الطرق والمعادلات لحساب وتقدير قيم للتبخر- نتح المرجعي ( $ET_0$ )، والتي تمايزت فيما بينها وتدرجت، من المعادلات البسيطة التجريبية إلى المعادلات المعقدة المبنية على العمليات الفيزيائية، المسببة والمرافقة لكل من عمليتي التبخر- نتح والعوامل المؤثرة عليهما.

تم تصميم عدد من الأدوات البرمجية لإيجاد القيم المقدر للتبخر في مكان ما، إلا أن جميع هذه الأدوات نقطية، أي أنها تقوم بحساب قيمة التبخر في موقع معين، (غالباً ما يكون موضع المحطة المناخية)، وذلك بناءً على المدخلات أو المعطيات المناخية لهذا الموقع.

في هذا البحث تم تصميم أداة برمجية ضمن نظام المعلومات الجغرافي GIS لحساب قيم التبخر- نتح، ووضع خرائط غرضية لها في حوض الساحل السوري، انطلاقاً من المعطيات المناخية، مستخدمين طرائق التحليل المكاني والاستقراء الرياضي المكاني كأدوات أساسية في الـ GIS، ولقد اعتمدت الأداة المصممة على المعادلة التجريبية بلاني كريدل، وبنتيجة البحث فقد تم وضع خرائط غرضية شهرية للتوزع المكاني لقيم التبخر نتح في الساحل السوري.

**الكلمات المفتاحية:** التبخر- نتح المرجعي، معادلة بلاني - كريدل، التحليل المكاني.

\*أستاذ مساعد- قسم الهندسة المدنية- جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. E-mail: [a-abdulrahman@tishreen.edu.sy](mailto:a-abdulrahman@tishreen.edu.sy)

\*\*مدرس- كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. E-mail: [darinborjeh@tishreen.edu.sy](mailto:darinborjeh@tishreen.edu.sy)

## Designing Mapping tool for Reference Evapotranspiration Spatial Distribution in Syrian Coast Using GIS

Dr. Abbas Abdulrahman\*

Dr. Darin Burjieh\*\*

(Received 1 / 4 / 2021. Accepted 16 / 8 / 2021)

### □ ABSTRACT □

Most hydrological calculations require an accurate estimate of evaporation and evapotranspiration values, especially those relating to water resource management, and water balance calculations at the regional level. For these purposes, several methods and equations have been proposed and developed to calculate and estimate the values of evaporation and reference (ET<sub>0</sub>), which have varied from experimental simple equations to complex equations based on physical processes, accompanying both evaporation and the affecting on it factors.

A number of software tools are designed to estimate evaporation values in targeted locations, but all of these tools are point-based, so they compute the evaporation value at a specific location (often the location of the climate station), based on the climatic input or data of the site. In this research, a software tool was designed within ArcGIS platform to calculate evapotranspiration values, and to map them in the Syrian coastal basin, from climate data, using spatial analysis methods and spatial mathematical extrapolation as basic tools in GIS. The tool designed was based on the Blaney-Criddle empirical equation.

**Keywords:** Reference Evapotranspiration; Blaney – Criddle Formula; Spatial Analysis

---

\* Associate Professor, Department of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

E-mail: [a-abdulrahman@tishreen.edu.sy](mailto:a-abdulrahman@tishreen.edu.sy)

\*\*Assistant Professor, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

E-mail: [darinborjieh@tishreen.edu.sy](mailto:darinborjieh@tishreen.edu.sy)

**مقدمة:**

يشغل الساحل السوري الجزء الغربي من الجمهورية العربية السورية، حيث يمتد بين خطي عرض  $34^{\circ} 36'$  و  $35^{\circ} 56'$  وخطي طول  $35^{\circ} 43'$  و  $36^{\circ} 18'$ ، تنحصر ارتفاعات المنطقة المدروسة بين خط البحر على المنسوب 0 م وخط قمم الجبال الساحلية على ارتفاع يصل في بعض النقاط إلى +1500 م. يمثل التبخر- نتح فواقد الموازنة المائية (يومية أو شهرية أو سنوية)، جزء عمليات تبخر المياه المتواجدة في التربة السطحية وعلى أوراق النباتات، بالإضافة إلى عملية النتح للمياه المتواجدة داخل الغشاء النباتي. تتطلب معظم الحسابات الهيدرولوجية تقديراً دقيقاً لقيم التبخر- نتح (Evapotranspiration)، وخاصةً تلك المتعلقة بإدارة مصادر المياه، وبحسابات الموازنة المائية والاحتياجات الزراعية على المستوى الإقليمي. لأجل هذا فقد تم اقتراح وتطوير العديد من الطرق والمعادلات لحساب وإيجاد القيم المقدرة للتبخر- نتح المرجعي ( $ET_0$ )، والتي تمايزت فيما بينها، لاختلاف الظروف الجغرافية والمناخية التي رافقت وضعها، أو تبعاً للغرض الذي وضعت من أجله هذه الطريقة أو تلك، كما تدرجت هذه الطرق من المعادلات البسيطة التجريبية إلى المعادلات المعقدة المبنية على العمليات الفيزيائية، المسببة والمرافقة لكل من عمليتي التبخر والنتح والعوامل المؤثرة عليهما [1,2].

يشكل الحساب الدقيق لقيمة التبخر- نتح المرجعي خطوة أساسية، تسبق إيجاد القيمة الحقيقية للتبخر- نتح في المنطقة، بحسب نوع المحصول ومرحلة نموه وغيرها من الشروط الموضوعية والأئية [3]، ويكون الموضوع أكثر صعوبة وتعقيداً عند التصدي للمسائل على المستوى الإقليمي، حيث تتغير أنواع المحاصيل والشروط الموضوعية بشكل كبير وغير متوافق مع تموضع محطات القياس المناخية في المنطقة، ومن هنا تبرز بوضوح الإمكانات الكبيرة، التي يمكن أن تضعها برامج أنظمة المعلومات الجغرافية GIS [4,5,6] للاستفادة من تعدد البيانات ومن تنوعها، ضمن منطقة إقليمية كبيرة مثل الساحل السوري.

**أهمية البحث وأهدافه:**

يهدف البحث إلى تصميم أداة برمجية ضمن نظام المعلومات الجغرافي ArcGIS لحساب قيم التبخر- نتح المرجعي في الساحل السوري، بالاعتماد على علاقة بلاني - كريدل Blaney-Criddle، ووضع خرائط غرضية تبين التوزيع المساحي لقيم التبخر- نتح المرجعي، وتغيراته الشهرية والسنوية، اعتماداً على القيم المتوسطة لقياسات الحرارة، مما يمكن الدارسين من تقدير الكميات الإجمالية للتبخر - نتح، سواء على مستوى الساحل كاملاً أو على مستوى الأحواض الساكنة الجزئية.

**طرائق البحث ومواده:**

تم تنفيذ هذا البحث بالاعتماد على معادلة بلاني - كريدل Blaney-Criddle التجريبية [1]، لتقدير قيم التبخر- نتح في منطقة الساحل السوري، وذلك بشكل شهري وسنوي، وهي كالتالي:

$$ET_0 = p(0.46T_m + 8.13)$$

حيث:

ET<sub>0</sub>: كمية التبخر- نتح المحتمل (مم/ اليوم).

P: النسبة المئوية لعدد ساعات السطوع الشمسي بحسب درجات العرض.

T<sub>m</sub>: متوسط درجات الحرارة الشهرية (م°).

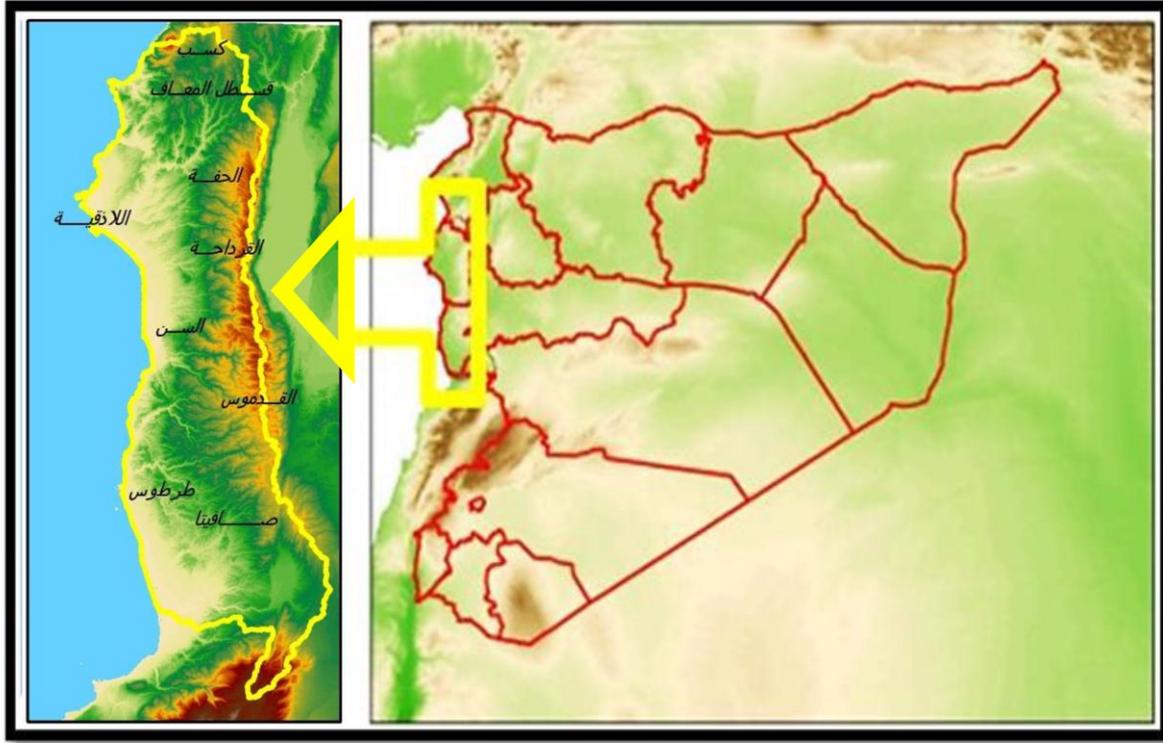
حيث تعتبر منظمة الغذاء العالمي FAO وبعض المراجع الأخرى [4,3]، أن علاقة بلاني - كريدل التجريبية يمكن تطبيقها بنجاح في منطقة ساحل المتوسط لتقدير احتياج أشجار الزيتون، مقارنة مع باقي العلاقات التي تعتمد على معادلات توازن الطاقة مثل بنمان-مونتينييه والتي يدخل في تركيبها العديد من البارامترات المناخية مثل الرطوبة النسبية والإشعاع الشمسي وسرعة الرياح مما لا يتوفر دوماً في سجلات المحطات المناخية.

تمّ الاعتماد على خرائط توزّع الحرارة في منطقة البحث، والمستنتجة من سلسلة البيانات المتوفرة على الشبكة العنكبوتية [http://www.worldclim.org]، حيث يختصّ هذا الموقع بتقديم خدمات بيئية وبيانات متعلقة بالمناخ بشكل مجاني للاستخدام العلمي غير التجاري، تمثل بيانات المناخ التي تم تحميلها من هذا الموقع القيم الوسطية لدرجات الحرارة العظمى والدنيا خلال الفترة من 1950 وحتى 2000. تمّت تهيئة بيانات النسبة المئوية لعدد ساعات السطوع الشمسي P الواردة في معادلة بلاني - كريدل، بتحويل البيانات الجدولية إلى ملف مصفوفي Raster Data (خرائط توزع مكاني حسب خطوط العرض)، حيث تمّ اختيار نظام الإسقاط UTM\_37N ميركاتور التربيعي، الحزمة 37 شمالاً، وهو نظام الإسقاط المناسب والمعتمد من قبل الهيئة العامة للاستشعار عن بعد في الجمهورية العربية السورية. تتوضع منطقة الدراسة بين خطي عرض 36° 34' و 35° 56' وخطي طول 35° 43' و 36° 18'، وقد تمّ استخدام برمجية ArcGIS 10.7 وصندوق الأدوات الخاص به، مستعينين بخاصية Model Builder، والتي تمكّننا من وضع عدّة أدوات متسلسلة في البرنامج (عمليات متسلسلة على طبقات مختلفة من البيانات)، ضمن هيكلية معادلة بلاني - كريدل، وذلك ضمن إطار واحد شامل، يمكّننا من تقدير ورسم خرائط التبخر- نتح، من خلال تنفيذ أمر واحد فقط.

### النتائج والمناقشة:

تمّ أولاً إيجاد حدود الحوض الساحلي السوري المبين في الشكل (1)، وذلك باستخدام نظام المعلومات الجغرافي ArcHydro ArcGIS، وتطبيق المنهجية التقليدية في هذه الأداة بدءاً من معالجة النموذج الإرتفاعي DEM وتهيئته، حتى استنتاج المسيلات المائية وتجميعها في أحواض ساكنة، ومن ثمّ تجميعها في محيط مغلف واحد، يشكّل الحدود الطبيعية للحوض الساحلي السوري، وقد تمّ اعتماد هذه الطبقة إطاراً عاماً لجميع الطبقات التالية، باعتبارها تمتد خارج حدود المنطقة.

بلغت مساحة حوض الساحل 5500 كم مربع، وهو مكوّن من عدد من الأحواض الساكنة، تبدأ جميعها من الشرق (قمم الجبال الساحلية)، على ارتفاع يصل حتى 1500 متر، وتتجه باتجاه الغرب لتصبّ في البحر المتوسط.



الشكل (1). حدود الحوض الساحلي السوري

تم استخدام معادلة بلاني - كريدل، لبناء الموديل اللازم لتنفيذ سلسلة العمليات، الهادفة إلى استنتاج خرائط التوزع المكاني لقيم التبخر - نتح المرجعي، وتقدير الكمية الإجمالية للتبخر - نتح المرجعي بالأمطار المكعبة، وصولاً لاستنتاج الارتفاع الوسطي على كامل المنطقة مقدراً بالملم ارتفاع.

كانت الطبقات التي تم الاعتماد عليها في بناء الموديل كالتالي:

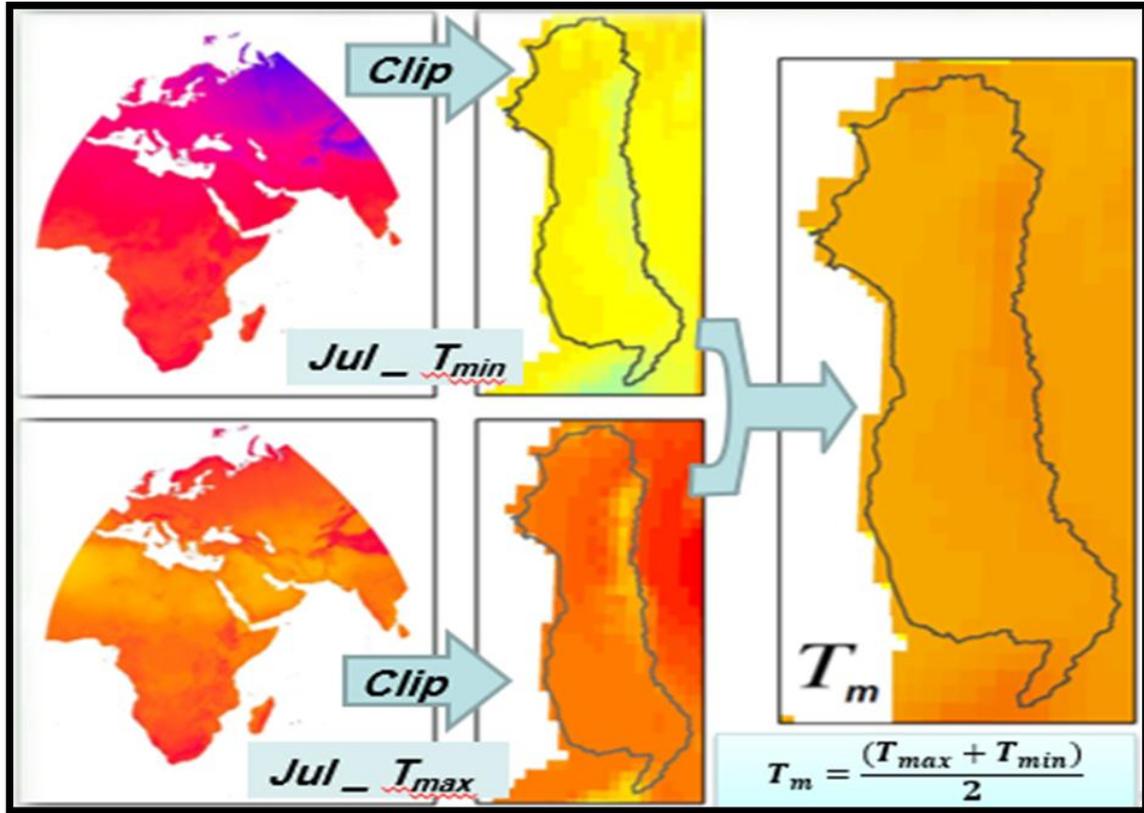
- طبقة الحرارة العظمى (طبقة خاصة لكل شهر)
  - طبقة الحرارة الدنيا (طبقة خاصة لكل شهر)
  - طبقة النسبة المئوية لعدد ساعات السطوع الشمسي (طبقة خاصة لكل شهر)
  - طبقة حدود الحوض الساكب (حدود منطقة العمل)
  - طبقة النموذج الإرتفاعي العددي DEM للمنطقة الساحلية.
- وتم اعتماد معادلة بلاني - كريدل لبناء نموذج تقدير تبخر - نتح، وفق المنهجية التالية:

$$ET_0 = P(0.46T_m + 8.13)$$

- تهيئة طبقة البيانات المناخية (الحرارة الوسطية العظمى والصغرى لكل شهر)، واقتصاصها على حدود الحوض الساحلي في الجمهورية العربية السورية.

حيث تم الحصول على قيم الحرارة العظمى والدنيا المتوسطة لاثني عشر شهراً، من خرائط توزع الحرارة المتاحة في موقع worldclimate العالمي، ومن ثم تم حساب  $T_m$  متوسط درجات الحرارة الشهرية لكل شهر ( $^{\circ}\text{C}$ )، وفق المعادلة التالية الموضحة في الشكل (2):

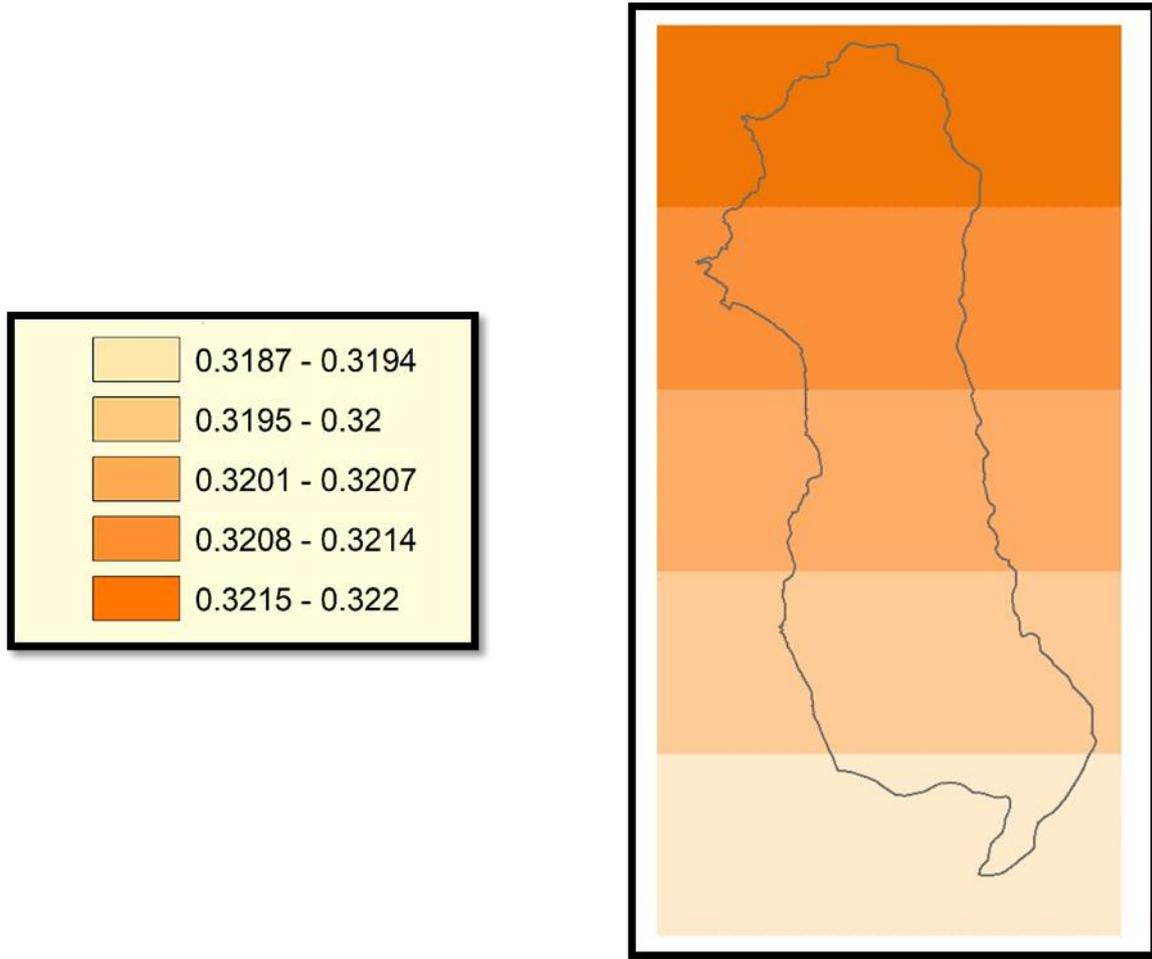
$$T_m = \frac{(T_{max} + T_{min})}{2}$$



الشكل (2).  $T_m$  متوسط درجات الحرارة الشهرية لشهر تموز ( $^{\circ}\text{C}$ ).

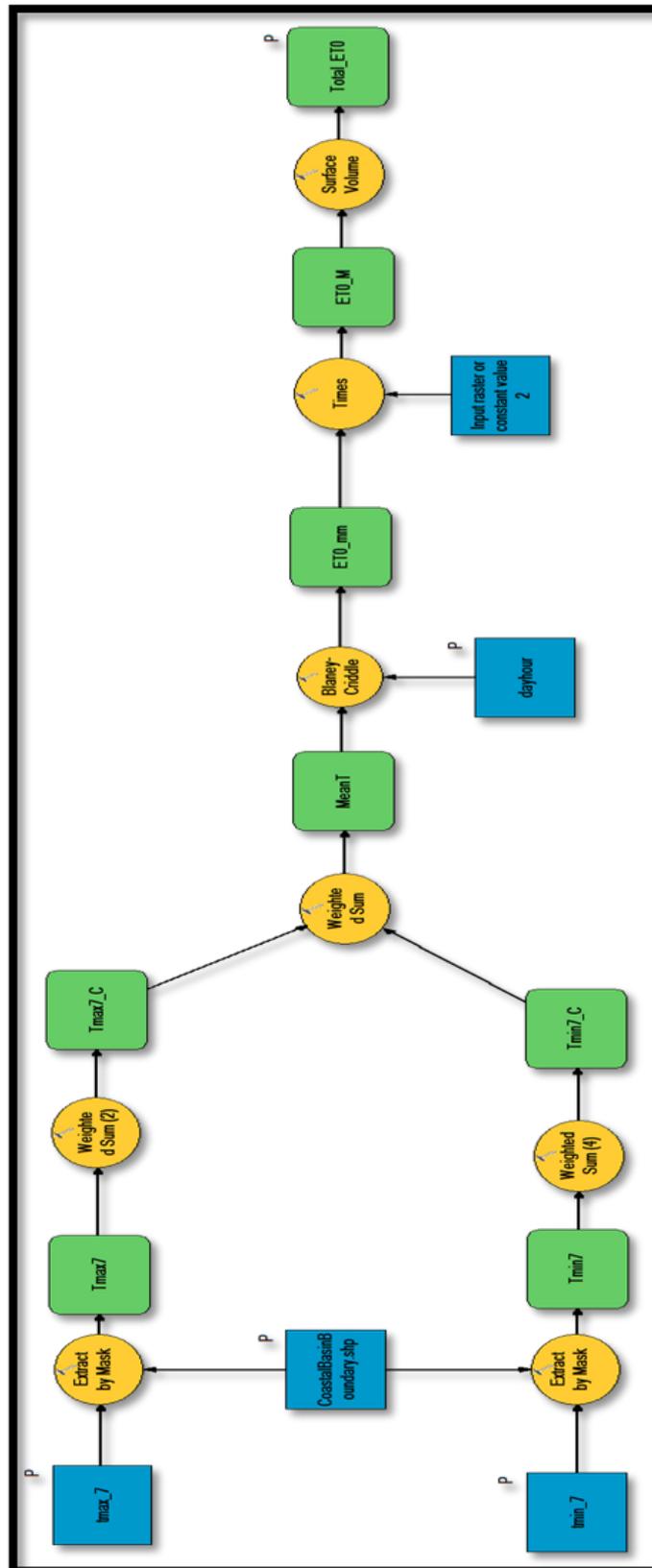
بتكرار العملية لجميع الأشهر، حصلنا على 12 خريطة لتوزع درجات الحرارة الوسطية  $T_m$  خلال أشهر العام، ولتطبيق معادلة بلاني - كريدل على مستوى كل خلية في الطبقة المصفوفية في منطقة الدراسة، لابد من تحويل القيم الجدولية المعروفة للنسبة المئوية لعدد ساعات السطوع الشمسي (قيم وسطية شهرية)، إلى طبقة مصفوفية raster، وقد تم الاعتماد على النسبة المئوية لعدد ساعات السطوع الشمسي، وفق خطي العرض  $35^{\circ}$ ،  $37^{\circ}$  لامتداد المنطقة الساحلية ضمن هذين الخطين المبينة في الجدول (1)، حيث تم تحويل القيم الجدولية إلى طبقة مصفوفية Raster، كما يوضحها الشكل (3).

الجدول (1). النسبة المئوية لعدد ساعات السطوع الشمسي % وفق خطي العرض $35^{\circ}$ ، $40^{\circ}$ .												
Latitude North	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
$35^{\circ}$	23	25	27	29	31	32	32	30	28	25	23	22
$40^{\circ}$	22	24	27	30	32	34	33	31	28	25	22	21

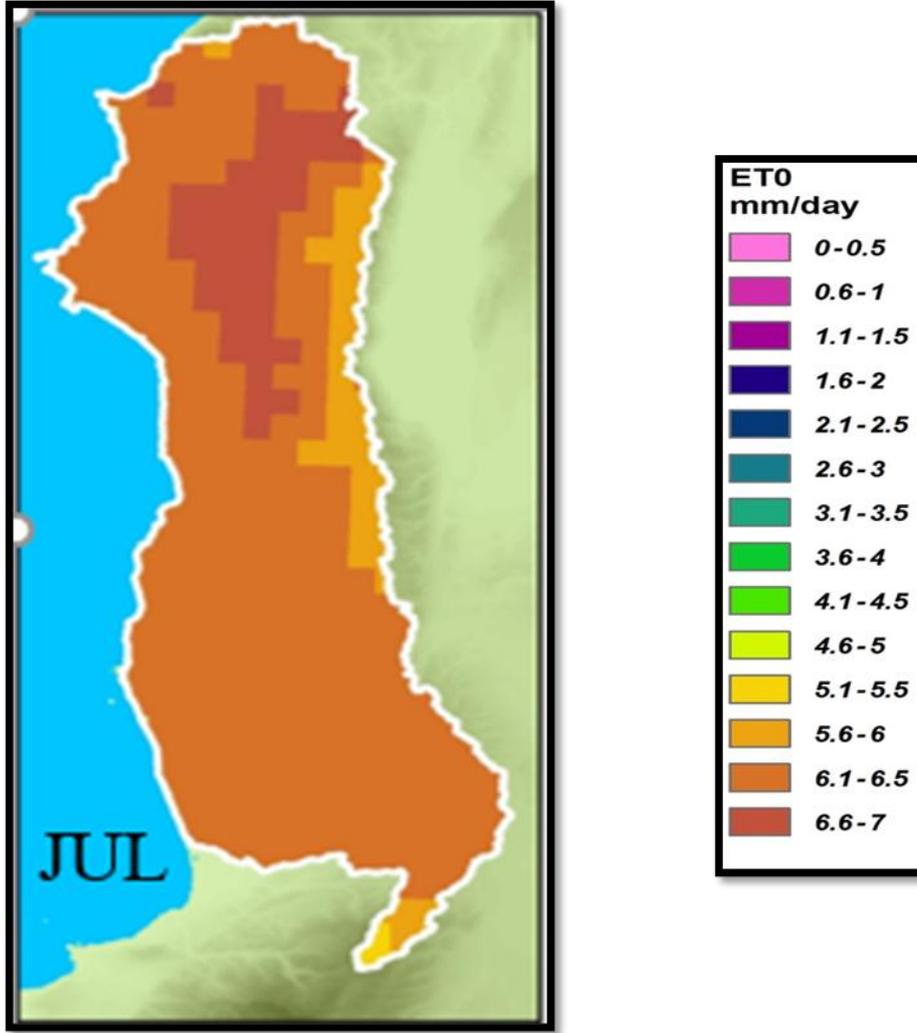


الشكل (3). P النسبة المئوية لعدد ساعات السطوع الشمسي (شهر تموز) وفق خطي العرض 35°، 40°

ومن ثم تمّ بناء نموذج تقدير قيم التبخر - نتح المرجعي لشهر تموز وفق الشكل (4)، الذي يوضّح نموذج تقدير قيم التبخر - نتح المرجعي لشهر تموز.

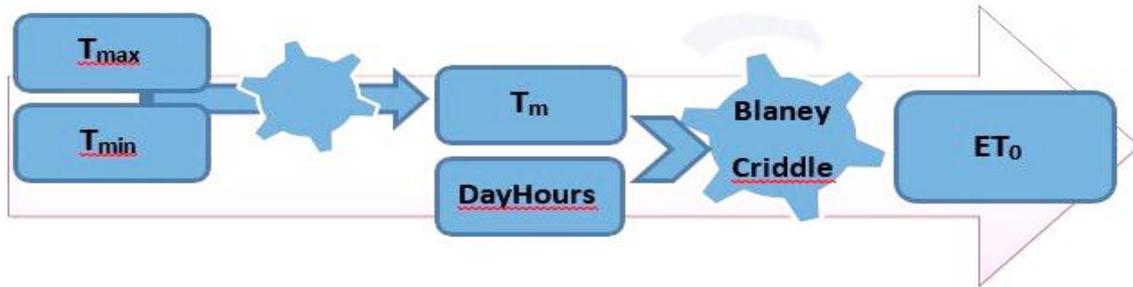


الشكل (4). نموذج تقدير قيم التبخر - نتج المرجعي لشهر تموز



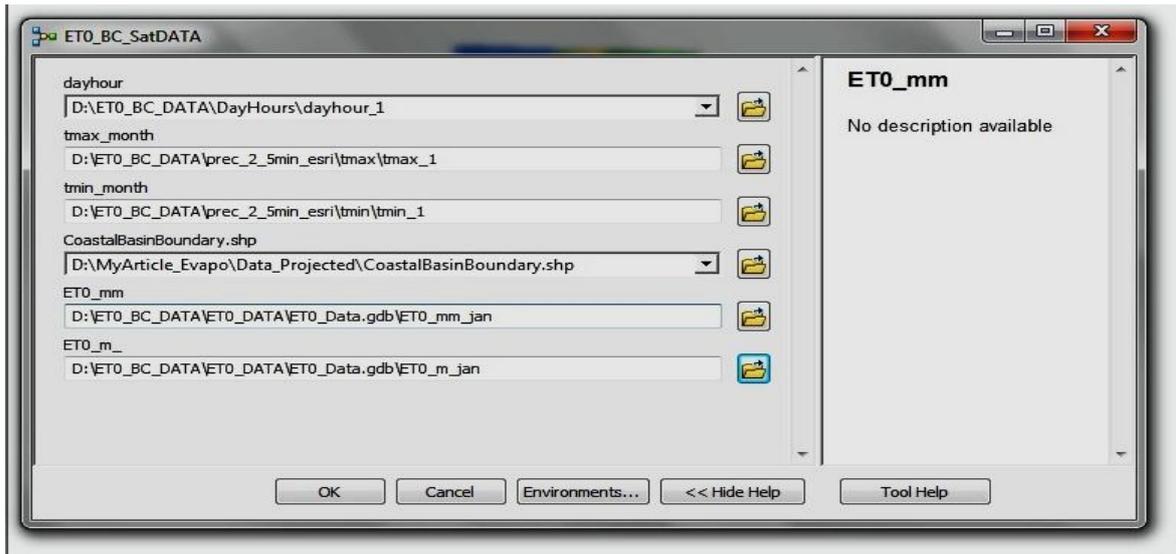
الشكل (5). خريطة التوزيع المكاني المساحي لقيم التبخر - نتح المرجعي لشهر تموز

وبناءً على ما سبق يمكن إيجاز النموذج الكلي للعام وفق الشكل المبسط التالي:



الشكل (6). النموذج الكلي للعام

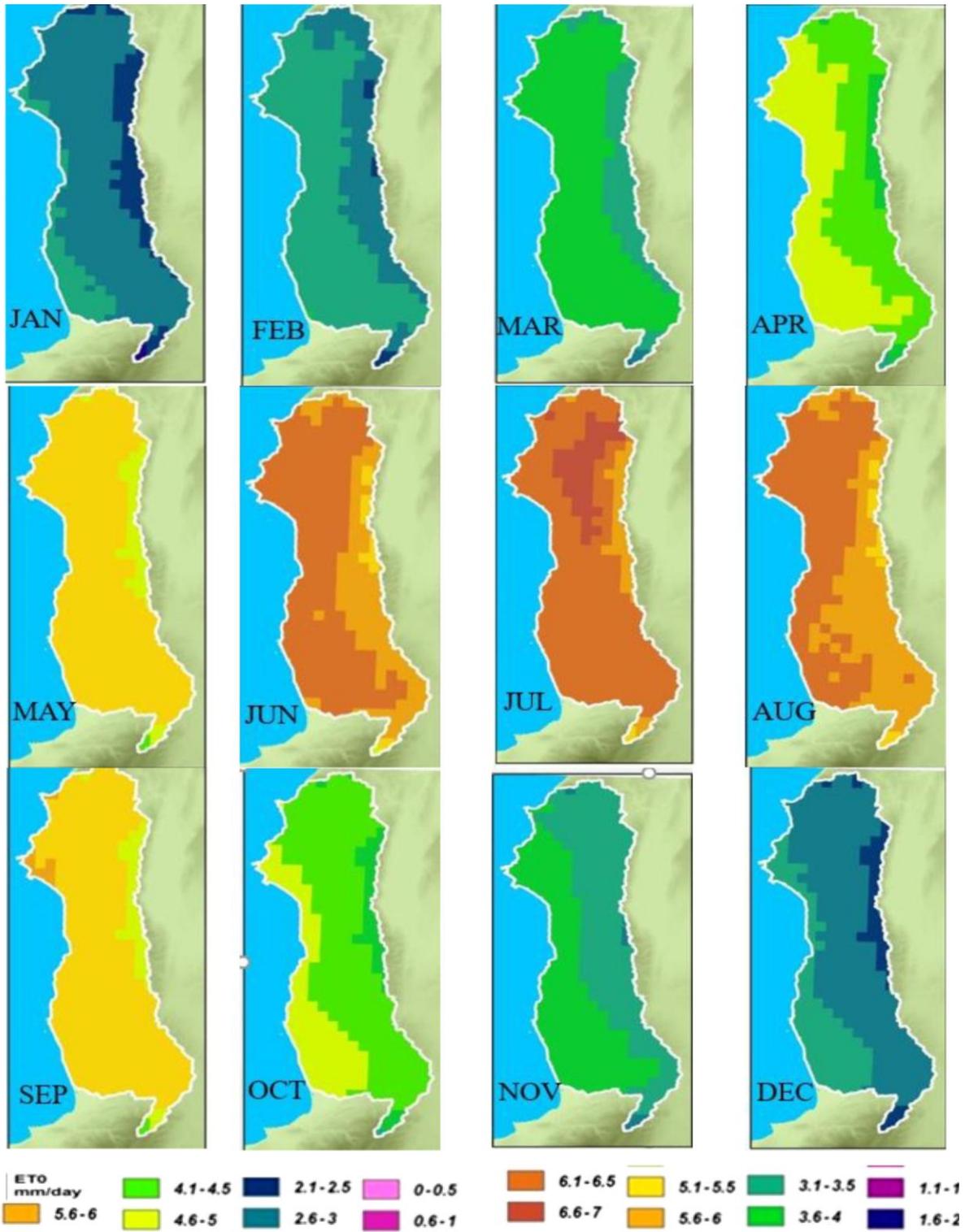
حيث تمّ بناء الموديل اللازم لتنفيذ سلسلة العمليات الهادفة إلى استنتاج خرائط التوزيع المكاني لقيم التبخر - نتح المرجعي، وتقدير الكمية الإجمالية لقيمة التبخر - نتح المرجعي بالأمطار المكعبة، وصولاً لاستنتاج الارتفاع الوسطي على كامل المنطقة لمدة عام بالكامل مقدراً بالملم ارتفاع، وتظهر الأداة المصممة بعد أول عملية تشغيل ناجحة وفق الشكل (7).



الشكل (7). الأداة المقترحة لحساب التبخر - نتح المرجعي.

يتم تحديد الطبقات واختيارها من مجموعة البيانات، بعد تنظيمها ضمن مجلدات مخصصة وفق طبيعتها، كما يتم تحديد مكان حفظ المخرجات وأسمائها ليتم العودة إليه عند الحاجة.

تم تطبيق الأداة على كامل منطقة الساحل السوري، حيث تم استنتاج التوزيع المكاني لقيم التبخر - نتح المرجعي  $ET_0$  وتغيراتها زمنياً خلال 12 شهراً، على شكل خرائط التوزيع المكاني لقيم التبخر - نتح المرجعي  $ET_0$  وتغيراتها زمنياً، والمبينة في الشكل (8)، ثم تم تصدير النتائج إلى جدول خاص لحساب القيمة الإجمالية لكمية التبخر - نتح المرجعي بالأمتار المكعبة خلال الشهر، ومن ثم خلال العام. بلغت أدنى قيمة للتبخر - نتح المرجعي  $ET_0$  في شهر كانون الثاني  $2.1 \text{ mm/day}$ ، في حين كانت أعلى قيمة لها في شهر تموز  $6.3 \text{ mm/day}$ ، وذلك بشكل وسطي وعلى كامل الحوض.

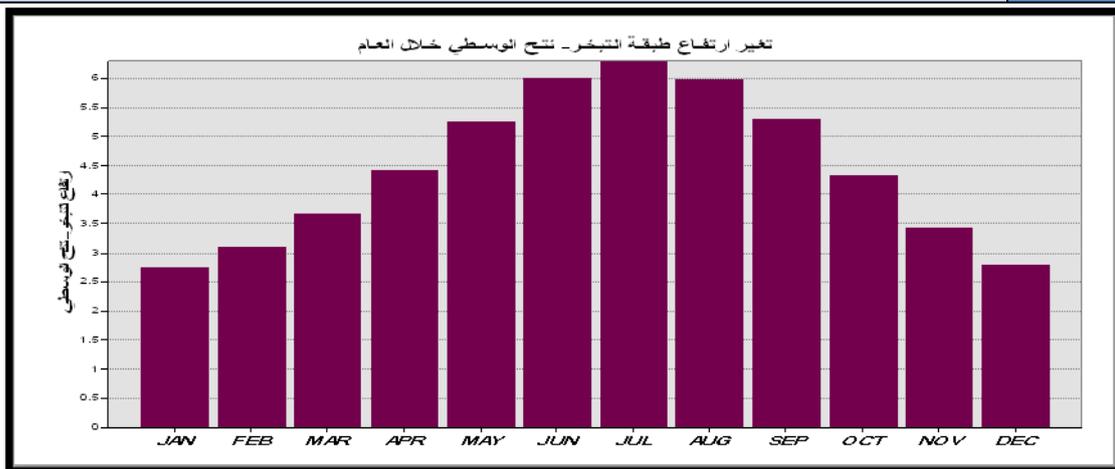


الشكل (8). التوزيع المكاني لقيم التبخر - نتح المرجعي ET0 وتغيراتها زمنياً

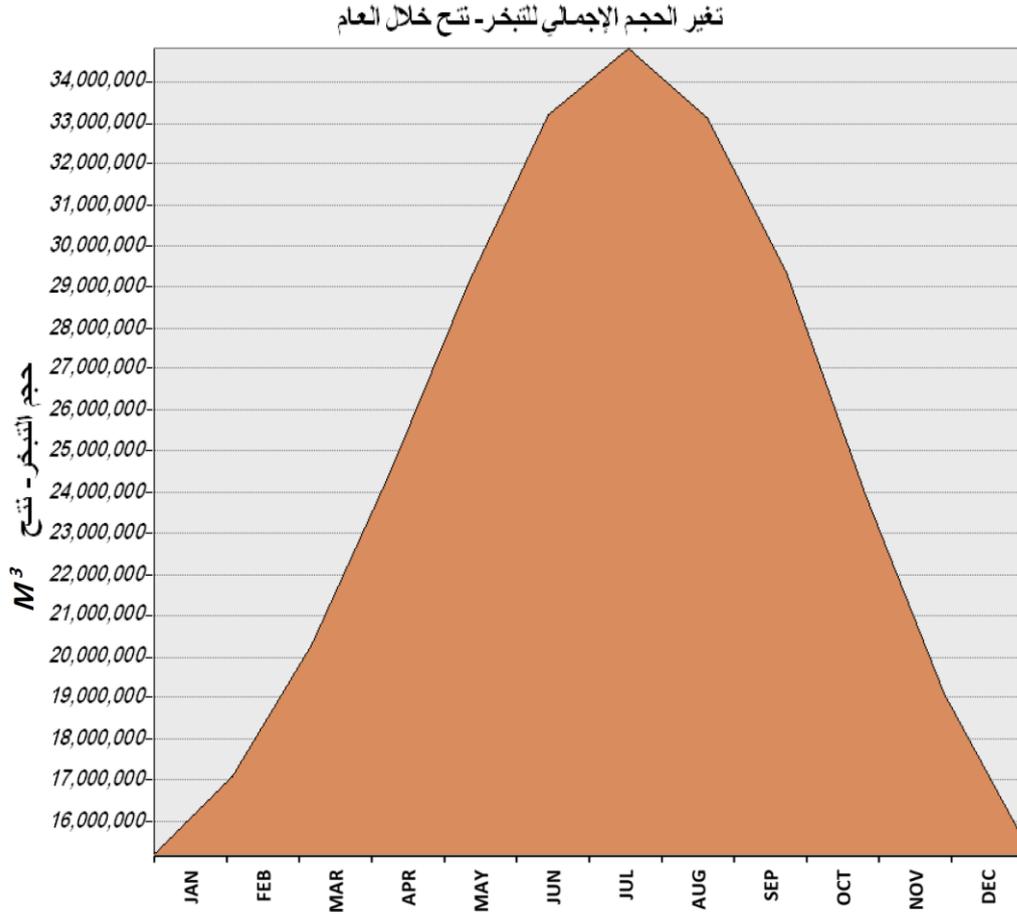
يلخّص الجدول رقم (2) القيم الوسطية لحجم التبخر- نتح على كامل مساحة الحوض خلال أشهر العام، حيث بلغت أعلى قيمة للتبخر نتح خلال شهر تموز  $34813752 \text{ m}^3/\text{day}$  و  $15170395 \text{ m}^3/\text{day}$  خلال شهر كانون الثاني، وبمجموع إجمالي خلال العام **8992 MCM**، كما يوضح الشكل (9) تغيّر ارتفاع طبقة التبخر - نتح الوسطي خلال العام، ويوضح الشكل (10) تغيّر الحجم الإجمالي للتبخر - نتح خلال العام.

الجدول رقم (2) القيم الوسطية لحجم التبخر- نتح على كامل مساحة الحوض خلال أشهر العام

الشهر	حجم التبخر اليومي $\text{m}^3$	ارتفاع التبخر	حجم التبخر الشهري $\text{m}^3$
كانون 2	15170395	2.7	470282236
شباط	17095399	3.1	478671162
آذار	20290719	3.7	629012289
نيسان	24482877	4.4	734486296
أيار	29126494	5.3	902921316
حزيران	33175375	6.0	995261257
تموز	34813752	6.3	1079226313
آب	33092354	6.0	1025862972
أيلول	29348279	5.3	880448372
تشرين 1	23927167	4.3	741742181
تشرين 2	19072896	3.4	572186869
كانون 1	15549113	2.8	482022498
<b>8992 MCM</b>			



الشكل (9) تغيّر ارتفاع طبقة التبخر - نتح الوسطي خلال العام



الشكل (10) تغير الحجم الإجمالي للتبخر - نتح خلال العام

### الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تم اقتراح أداة لاستنتاج ورسم خرائط التوزيع المكاني لقيم التبخر- نتح في الساحل السوري، اعتماداً على معادلة بلاني كريدل، ضمن نظام المعلومات الجغرافي ArcGIS.
- 2- بلغت أعلى قيم للتبخر نتح في الساحل السوري 6.3 mm في شهر تموز، وأدناها 2.7mm في شهر كانون الثاني.
- 3- ينسجم التوزيع المكاني لقيم التبخر - نتح المرجعي بشكل عام، بالازدياد بدءاً من قمم الجبال في الشرق وبتجاه الشريط الساحلي في الغرب، ما عدا شهر تموز، حيث ظهرت القيم العظمى للتبخر في حوض نهر الكبير الشمالي في وسط المنطقة.
- 4- بلغت القيمة الإجمالية لحجم التبخر-نتح المرجعي على مساحة حوض الساحل 8992 مليون متر مكعب سنوياً.

## References:

- 1 Slaviša Trajković, Milan Gocić, (2010), *Comparison of Some Empirical Equations for Estimating Daily Reference Evapotranspiration*, Series: Architecture and Civil Engineering Vol. 8, pp. 163 - 168
- 2 Jensen, Marvin E. (2010), *Historical Evolution of ET Estimating Methods, A Century of Progress*, CSU/ARS Evapotranspiration Workshop, Fort Collins, CO, 12-Mar-2010.
- 3 *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*, FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1998
- 4 Ramiro T. Gonzalez del Cerro, M.S.P Subathra, et al, (2021), “*Modelling the daily reference evapotranspiration in semi-arid region of South India: A case study comparing ANFIS and empirical models*”, *Information Processing in Agriculture Vol.8 (2021) 173–184*
- 5 Mohammad Mehdi Heydari, et al, (2013), *Comparison of Evapotranspiration Models for Estimating Reference Evapotranspiration in Arid Environment*, Middle-East Journal of Scientific Research 15 (9): 1331-1337
- 6 Chuanyan Zhao, Zhongren Nan, Guodong Cheng, (2005), *Evaluating Methods of Estimation and Modelling Spatial Distribution of Evapotranspiration in the middle Heihe River Basin, China*, American Journal of Environmental Sciences 1 (4): pp 278-285.
- 7 Almhhab Ayoub, Busu Ibrahim, (2008), *Decision Support System for Estimating Actual crop Evapotranspiration using Remote Sensing, GIS and Hydrological Models*, Map Asia, Kuala Lumpur, Malaysia