



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح – ورقلة-

كلية الرياضيات وعلوم مادة

مذكرة مكملة لنيل شهادة ماستر أكاديمي

قسم الفيزياء

تخصص أرصاد جوية

إعداد الطالبتين :

بوزيان شيماء و خروبي فاطمة



عنوان المذكرة

تأثير طريقة حساب النتح التبخري ETP على إشارات مؤشر الجفاف SPEI
تطبيق على منطقة المسيلة –الجزائر-

نوقشت يوم 19 جوان 2022 أمام اللجنة المكونة من السادة:

الصفة	الجامعة	اسم واللقب
رئيسا	جامعة قاصدي مرباح	فقيه عبد العالي
مشرفا	جامعة قاصدي مرباح	ناقص محمد الطاهر
مناقشا	جامعة قاصدي مرباح	هبال بلخير

السنة الجامعية: 2022 /2021

شكر وعرفان:

كن عالما...فإن لم تستطع كن متعلما، فإن لم تستطع فأحبب العلم، فإن لم تستطع فلا تبغضهم.

بعد رحلة بحث وجهد اكملت بإنجاز هذا البحث نحمد الله عز وجل على النعمة التي منا علينا فهو عالي القدير، كما يسعنا أن نخص بأسمى عبارات الشكر والتقدير للأستاذ الكريم وله كل الاحترامات، متنيا لهالصحة الجيدة والسعادة في الحياة أستاذ "ناقص محمد الطاهر" الذي تابعنا طوال الفترة لإعداد المذكرة والشكر الموصول إلى الذين ساهموا تكويننا في كل الأطوار التعليمية وإلى كل من ساعدنا في إنجاز هذا العمل من قريب أو بعيد وإلى الذين زرعوا التفاؤل فينا وقدموا لنا المساعدات والتسهيلات.

فالشكر الموصول إلى جميع من شارك ولو بكلمة في هذا العمل



إهداء:

مأجمل أن يجود المرء بأغلى مالهديه والأجمل أن يمدي الغالي

الأغلى.

هي ذبي ثمرة جهدي اجنيها اليوم هي هدية أهديها :

إلى من أفضلها على نفسي من كان دعائنا سر نجاحي { الحبيبة أمي } أطال الله في عمرها.

إلى الذي كد وجد من كان له الفضل الأول في بلوتي التعليم العالي { أبي الموقر }.

إلى إبني، من تسعد عيني برؤياه، فلذة كبدي، { أحمد جواد } ثمرة فؤادي.

إلى إخوتي هناء، أيوب وعلاء، محمد، أميرة، حسين، وحسان.

إلى زوجي { عبد الرزاق } حفظه الله.

إلى كل أهل زوجي.

إلى عائلتي { وخروبي جلمود }.

وإلى كل من ساندني في إنجاز هذا العمل.

خروبي فاطمة

إهداء:

الحمد لله وكفى والصلاة والسلام على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى أما بعد:

الحمد لله الذي وفقنا لتثمين هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا هذه ثمرة الجهد والنجاح بفضلته تعالى مهداة إلى الوالدة الكريمة وجدي الغالي وزوجي العزيز وحماي الكريمة حفظهم الله وأدامهم نورا لدربي.

اهدي ثمرة نجاحي إلى روح خالي (مصطفى) الزكية الطاهرة رحمه الله.

ولكل العائلة الكريمة التي ساندتني ولا تزال من أخوال وخالات وأخوات: صبرين، هناء، هاجر، سناء، أسماء، رهلة، عبير، حياة، شهد

وإلى رفيقات العمل حفظهم الله ورحمهم: خولة، ريمة، سهيلة

إلى كل من كان لهم أثر على حياتي، وإلى كل من أحبهم قلبي ونسيم قلبي.

بوزيان هيماء

فهرس المحتويات

i	شكر و عرفان:
ii	إهداء:
iii	فهرس المحتويات
iv	قائمة الجداول
v	قائمة المختصرات
ط	قائمة الأشكال
ي	قائمة الرموز
1	مقدمة:

الفصل الأول: دورة الماء

2	1.1-مقدمة:
2	2.1-ملخص عن دورة الماء
3	3.1- أجزاء دورة الماء
Erreur ! Signet non défini	3.1.1المياه المخزنة في المحيطات
3	2.3.1التبخر
4	3.3.1 الجريان السطحي: (بالانجليزية: Runoff)
4	4.3.1التكاثف
4	5.3.1التساقط
5	6.3.1 تسرب
Erreur ! Signet non défini	7.3.1 لارتشاح
Erreur ! Signet non défini	8.3.1 مجاري الأنهار
6	4.1-أهمية دورة المياه في الطبيعة:
7	1-5تأثير دورة الماء على حركة العناصر
7	1-6تأثير التغير المناخي على دورة المياه في الطبيعة

الفصل الثاني: طرق حساب وتقدير النتح التبخري

10	2-1-مقدمة
10	2-2-مفهوم النتح التبخري
10	2-2-1-التبخر (evaporation)
10	2-2-2-النتح (transpiration)
11	2-3-أنواع النتح التبخري
11	2-2-3-النتح التبخري الحقيقي (actual evapotranspiration)
12	2-4-بعض العوامل المؤثرة على عملية النتح
13	2-5-قياس التبخر

13.....	1-5-2-احواض التبخر(Evaporation Pans)
13.....	2-5-2-أجهزة قياس التبخر ذات المرجعية(Atmometers)
14.....	2-6-المعاملات المؤثرة في عملية التبخر
15.....	2-7-تطور معادلات حساب التبخر
15.....	2-8-معادلات حساب التبخر
15.....	2-8-1-معادلة بنمان (Penman1948)
15.....	2-8-1-1-معادلة بنمان-مونتيث ((PM)Penman-Monteith(1965))
15.....	2-8-1-2-معادلة بنمان -مونتيث تعديل الفاو((FAO(Penman-Monteith(PM1998))
16.....	2-8-2-معادلة ثورنثوايت (Thornthwaite)
17.....	2-8-3-معادلة هارجريفز (Hargreaves1985-1994)
18.....	2-8-4-معادلة هارجريفز 2002

الفصل الثالث:ظاهرة الجفاف ومؤشرات حسابه

20.....	1.3-مقدمة
20.....	2.3-تعريف الجفاف
21.....	3.3-أنواع الجفاف
21.....	3.3.1-الجفاف الجوي
21.....	3.3.2-الجفاف الزراعي
22.....	3.3.3-الجفاف الهيدرولوجي
22.....	3.4-أسباب الجفاف
23.....	3.5-آثار الجفاف
23.....	3.6-مؤشرات الجفاف
23.....	3.6.1-مفهوم مؤشرات الجفاف
24.....	3.6.2-عينة من مؤشرات الجفاف
25.....	3.7-مؤشر الجفاف SPEI
25.....	3.7.1-تعريف
25.....	3.7.2-حساب مؤشر الجفاف القياسيSPEI
26.....	3.7.3-قيم هطول الأمطار المعياري لفترة طويلة الى حد ما
26.....	3.7.3.1-مؤشر SPEI على مدى شهر واحد
26.....	3.7.3.2-مؤشر SPEI على مدى 3 أشهر
26.....	3.7.3.3-مؤشر SPEI على مدى 6 أشهر
26.....	3.7.3.4-مؤشر SPEI على مدى 9 اشهر
26.....	3.7.3.5-مؤشر SPEI على مدى 12 شهرا

الفصل الرابع:دراسة تأثير طريقة حساب النتح التبخري على مؤشر الجفاف

28.....	1.4-عرض منطقة المسيلة
28.....	2.4-دراسة مناخية

28	1.2.4- التساقطات
30	2.2.4- درجة الحرارة
32	3.2.4- مخطط اومبروترميك (Ombrothermique Gausson) لمنطقة المسيلة
32	3.4-دراسة تأثير طريقة حساب النتح التبخري (Evapotranspiration) على مؤشر الجفاف SPEI
33	1.3.4- الأداة المستعملة لعة R
33	2.3.4- ميزات برنامج R
33	3.3.4- عيوب برنامج R
34	4.3.4- حزمة SPEI في برنامج R
34	4.4-دراسة مقارنة مؤشر الجفاف
35	5.4-دراسة الترابط بين أنواع الجفاف
37	5.4-دراسة إحصائية بين فئات الجفاف
41	خاتمة عامة
43	المراجع والمصادر
	ملخص

قائمة الجداول:

رقم الجدول	قائمة الجداول	الصفحة
1-3	عينة من مؤشرات الجفاف	24
2-3	تصنيف مؤشر SPEI	25
1-4	المتوسط الشهري للتساقطات المطرية، المسيلة خلال افتره (1980-2012)	29
2-4	المتوسط الشهري لدرجة الحرارة ، المسيلة خلال افتره (1980-2012)	30
3-4	معامل الترابط لفئة الجفاف الجوي على أساس طرق حساب النتح التبخري، المسيلة خلال فترة (1980-2012)	31
4-4	معامل الترابط لفئة الجفاف الزراعي على أساس طرق حساب النتح التبخري، المسيلة خلال فترة (1980-2012)	35
5-4	معامل الترابط لفئة الجفاف الهيدرولوجي على أساس طرق حساب النتح التبخري، المسيلة خلال فترة (1980-2012)	36
6-4	الخطأ النسبي بين طرق حساب النتح التبخري بالنسبة للجفاف الجوي	37
7-4	الخطأ النسبي بين طرق حساب النتح التبخري بالنسبة للجفاف الزراعي	38
8-4	الخطأ النسبي بين طرق حساب النتح التبخري بالنسبة للجفاف الهيدرولوجي	39

قائمة المختصرات

الاسم العربي	الاسم الاجنبي	الاسم المختصر
المحتوى المائي المتاح	Available Water Content	AWC
لنتح التبخرى المحتمل	EvapoTranspiration Potentiel	ETP
منظمة الأغذية والزراعة	Food and Agriculture Organization	FAO
هاركريفز	Hargreaves	Har
لغة ترميز النص الفائق	HyperText Markup Language	HTML
منمذجة	Modelled	MOD
بينمان	Penman	Pen
مؤشر بالمر القياسى للجفاف الهيدرولوجى	Palmer Hydrological Drought Severity Index	PHDI
المؤشر القياسى لشذوذ سقوط الأمطار	Rainfall Anomaly Index	RAI
الرطوبة النسبية	Relative Humidity	RH
المؤشر القياسى لجفاف تدفق المجرى المائية	Streamflow Drought Index	SDI
تدفق المجرى المائية	Stream Flow	SF
المؤشر القياسى لعجز رطوبة التربة	Soil Moisture Deficit Index	SMDI
المؤشر القياسى المعيارى للتبخر النتحى للهطول	Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index	SPEI
المؤشر القياسى المعيارى للهطول	Standardized Precipitation Index	SPI
ثورنوايت	Thornthwaite	Tho
الولايات المتحدة الأمريكية	The United States of America	USA
المنظمة العالمية للارصاد الجوية	World Meteorological Organization	WMO

قائمة الرموز

الرمز	الاسم	الوحدة
E	ضغط بخار الماء	KPa
e°	ضغط بخار التشبع	KPa
e_a	ضغط البخار الفعلي	KPa
d_a	عجز ضغط البخار	بدون وحدة
RH	الرطوبة النسبية	%
P	ضغط الهواء الجوي	KPa
γ	الثابت الستيكومتري	$\gamma = 2.45 \text{ MJ/kg}$
R	نسبة الخلط (بخار الماء مع الهواء)	g/kg
T_d	درجة حرارة تكون الندى	$^{\circ}\text{C}$
G	تدفق كمية حرارة التربة	MJ/m ² /jour
d_a	عجز ضغط البخار	بدون وحدة
$f(h)$	مصطلح تصحيحي يأخذ في الحسبان خط عرض المكان	بدون وحدة
I	متوسط درجة الحرارة الشهرية $^{\circ}\text{C}$. يلغي المؤشر الحراري وهو مجموع اثني عشر شهرا.	$^{\circ}\text{C}$
Δ	نحدرار ضغط البخار المشبع عند متوسط درجة حرارة الهواء	$(\text{KPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1})$
Rn	صافي الاشعاع الكلي	$(\text{MJm}^{-2} / \text{j}^{-1})$
G	تدفق حرارة الارض	$(\text{MJ}^{-2} \text{J}^{-1})$
γ	ثابت القياس الستكومتري	$(\text{kpa}^{\circ}\text{C}^{-1})$
RH_{\max}	الرطوبة النسبية القصوى	%
RH_{\min}	الرطوبة النسبية الدنيا	%
u_2	سرعة الرياح.	(ms^{-1})
e_a	ضغط بخار كل وحدة من الماء المشبع	KPa

قائمة الأشكال:

الصفحة	قائمة الأشكال	رقم الشكل
03	دورة المياه	1-1
11	رسم توضيحي لظاهرة النتح	1-2
12	رسم توضيحي لعمليتي النتح التبخري	2-2
13	أحواض التبخر	3-2
14	صورة خارجية لمجموعة من مقياس بيثي	4-2
21	تعاقب حالات الجفاف وآثارها على أنواع الجفاف المختلفة	1-3
28	الموقع الجغرافي لمنطقة المسيلة-الجزائر	1-4
29	نظام هطول الأمطار الفصلي في منطقة المسيلة(1980-2012)	2-4
30	التساقطات المطرية السنوية، المسيلة (1980 - 2012)	3-4
31	النمط الشهري لدرجة الحرارة، المسيلة خلال الفترة 2012-1980	4-4
31	المتوسط السنوي لدرجة الحرارة، المسيلة خلال الفترة 1980 – 2012.	5-4
32	رسم بياني لمخطط اومبروترميك GAUSSEN لمنطقة مسيلة خلال الفترة 1980 – 2012.	6-4
33	شاشة مصورة لبرنامج R	7-4
34	الجفاف الجوي على أساس طرق حساب النتح التبخري الثلاث، المسيلة (1980 – 2012)	8-4
35	الجفاف الزراعي على أساس طرق حساب النتح التبخري الثلاث، المسيلة (1980 – 2012)	9-4
35	الجفاف الهيدرولوجي على أساس طرق حساب النتح التبخري الثلاث، المسيلة (1980 – 2012)	10-4
37	الجفاف الجوي	11-4
38	الجفاف الزراعي	12-4
39	الجفاف الهيدرولوجي	13-4

مقدمة عامة:

تعرف دورة الماء في الطبيعة او الدورة الهيدرولوجية بأنها الدورة المسؤولة عن حركة المياه في نظام الغلاف الجوي للأرض، وتتمثل في العديد من العمليات: كالتبخر والنتح، والتكاثف، والتساقط، والجريان السطحي، وغيرها، حيث يتم من خلال هذه الدورة إعادة تدوير المياه للمحافظة على وجود المسطحات المائية، واستمراره تكاثف السحب، وتساقط الأمطار على مر الأزمنة.

يعرف التبخر بتغيير الماء من سائل إلى بخار، من أهم العوامل التي تساهم في تكوين دورة الماء في الطبيعة. يحدث التبخر في الطبيعة بعدة طرق: تبخر رطوبة التربة، تبخر المياه من خزانات المياه (بحيرة، سد، تيار، ماء) والتبخر من النباتات. في هذا العمل سندرعدة طرق لتقدير معدل التبخر للتربة ونظام النبات، والمعروف باسم النتح التبخري المحتمل (ETP)، نظرا لأهميته في تقدير الاحتياجات المائية للنباتات والمحاصيل. في غياب القياسات الفعلية، تقدم الأبحاث عدة طرق لحساب معدل التبخر النظري، ومنها ثلاث طرق:

Penman-FAO 56 و Hargreaves، Thornthwaite

الجفاف ظاهرة طبيعية تؤثر على العديد من البلدان بما في ذلك الجزائر. الظاهرة لها اثار سلبية على البيئة، المجتمع، والاقتصاد. تتطلب إدارتها ظاهرة الجفاف إتاحة معلومات المراقبة اللازمة للهيئات المعنية من أجل اتخاذ تدابير الرقابة اللازمة ووضع برامج استجابة تجعل من الممكن تقليل أثارها إلى الحد الأدنى. في السنوات الأخيرة ركزت العديد من الدراسات على التغيرات المناخية الناجمة عن الجفاف. إن الزيادة في عدد السكان والتي تؤدي إلى زيادة الحمل على البيئة تساهم بشكل كبير في ذلك. في العديد من مناطق العالم، تؤدي الممارسة الزراعية غير المتكيفة مع الظروف البيئية والمناخية، جنبا إلى جنب مع الاستغلال المفرط لاحتياطات المياه، إلى تسريع عملية الجفاف، وفي بعض الأحيان تؤدي إلى حالة لا رجعة فيها، ألا وهي التصحر.

في دراستنا لرصد الجفاف في المنطقة شبه جافة، (المسيلة) شرق وسط الجزائر، استخدمنا مؤشر في هذا الميدان ألا وهو مؤشر SPEI (مؤشر التساقط والنتح القياسي المعياري). المؤشر يعتمد في حساباته على بيانات تساقط الأمطار ودرجة الحرارة (عنصر ضروري لتقديرات النتح التبخري، ETP). تختلف دقة طرق تقدير ETP من منطقة جغرافية إلى أخرى اعتمادا على الظروف المناخية السائدة في كل منطقة، هذا ما قادنا أولا إلى تحديد الإطار المناخي لمنطقة المسيلة.

وتقدم هذه المخطوطة، بالإضافة إلى مقدمة وخاتمة عامة، في شكل أربعة فصول:

الفصل الأول: مخصص لتعريف دورة الماء وعناصره الأساسية

الفصل الثاني: تعريف التبخر وطرق قياسه وحسابه

الفصل الثالث: تعريف الجفاف مع ذكر تصنيفاته، أسبابه، اثاره، والمؤشرات المستعملة في وصف الظاهرة.

الفصل الرابع: كان محوره الأساسي هي دراسة إحصائية حول تأثير طريقة حساب النتح التبخري على إشارات مؤشر الجفاف SPEI.

الفصل الأول:
دورة الماء

1.1-مقدمة:

تصف دورة الماء وجود حركة المياه على الارض داخلها وفوقها. وتتحرك مياه الأرض دائما، وتتغير أشكالها باستمرار، من سائل إلى بخار ثم إلى جليد، ومرة أخرى إلى سائل. لقد ظلت دورة الماء تعمل مليارات السنين، وتعتمد عليها كل الكائنات الحية التي تعيش على الأرض حيث من دونها تصبح الأرض مكانا طاردا تتعذرفيه الحياة. [1]

2.1-ملخص عن دورة الماء :

ليس لدورة الماء نقطة انطلاق، ولكن المحيطات تعد أفضل مكان لها لتنتقل منها. إن الشمس التي تعتبر المحرك الأساسي لدورة الماء تقوم بتسخين المياه في المحيطات التي تتبخر (تتحول) إلى بخار ماء داخل الجو. وتقوم التيارات الهوائية المتصاعدة بأخذ بخار الماء إلى أعلى داخل الغلاف الجوي، حيث درجات الحرارة الباردة التي تتسبب في تكثيف بخار الماء، وتحويله إلى سحب. تقوم التيارات الهوائية بتحرك السحب حول الكرة الأرضية، وتصطدم ذرات السحاب وتنمو وتسقط من السماء كأمطار، ويسقط بعض هذه الأمطار كجليد، ويمكن أن يتراكم كأنهار جليدية. وفي ظل الظروف المناخية الحارة يتعرض الجليد إلى الذوبان، خصوصا عندما يحل فصل الربيع، وتتدفق المياه المذابة على سطح الأرض، وتجري كمياه أمطار جليدية مذابة. وتسقط أغلب مياه الأمطار داخل المحيطات، أو على سطح الأرض حيث تسيل على سطح الأرض كمياه أمطار جارية نتيجة للجاذبية الأرضية. يدخل جزء من مياه الأمطار الجارية إلى مجاري الأنهار ويتحرك نحو المحيطات. وتسيل مياه الأمطار السطحية والمياه الجوفية لتشكل مياه عذبة في البحيرات والأنهار. ومع أن مياه الأمطار لا تذهب كلها إلى الأنهار إلا أن الكثير منها يتسرب داخل الأرض كإرتشاح. يبقى جزء من هذه المياه قريبا من سطح الأرض، ويمكن أن يسيل مرة أخرى إلى داخل مجاميع المياه السطحية (والمحيطات) لتشكل مياه جوفية. وتجد بعض من المياه الجوفية فتحات على سطح الأرض حيث تخرج منها كينابيع من المياه العذبة. وتقوم الجذور النباتية بامتصاص المياه الضحلة، ثم ترتشح من خلال أسطح الأوراق النباتية، لتعود مرة أخرى إلى الغلاف الجوي. تتسرب بعض من هذه المياه إلى داخل الأرض، وتعمق داخلها لتتزوّد بها الطبقات الصخرية المائية (صخور سطحية مشبعة)، التي تقوم بتخزين كميات هائلة من المياه العذبة لفترات طويلة من الزمن. ومع ذلك تظل المياه متحركة على مدى الزمن، ويعود بعض منها مرة أخرى إلى المحيطات و تستمر من جديد.

[1]



الشكل (1.1) دورة الماء

3.1- أجزاء دورة الماء:

تعد كمية المياه المخزنة في المحيطات لفترات طويلة أكثر بكثير من تلك التي تتحرك من خلال دورة الماء. ويصل إجمالي إمدادات المياه على مستوى العالم إلى 1.389.000.000 كلم مكعب ، منها 1.338.000.000 كلم مكعب مخزنة في المحيطات بنسبة تصل إلى 95% إذ توفر المحيطات حوالي 90% من المياه المتبخرة التي تذهب إلى دورة الماء تتعرض كمية الماء الموجودة في المحيطات لتغيرات على مدى فترات طويلة من الزمن. وتتشكل خلال الفترات المناخية الباردة مزيد من الأنهار والمجري الجليدية، مما يؤدي إلى تدني مستوى الماء في المحيطات والعكس صحيح خلال الفترات المناخية الحارة. المحيطات في حالة حركة توجد تيارات في المحيطات تقوم بتحريك كميات هائلة من الماء حول العالم. وتكون هذه التحركات على قدر كبير من التأثير على دورة الماء والأحوال الجوية. [1]

1.3.1-التبخير:

يعرف التبخر (بالانجليزية: **Evaporation**) بأنه العملية التي يتحول خلالها الماء من حالته السائلة إلى الحالة الغازية، وهو المسار الرئيسي لانتقال الماء من حالته السائلة إلى دورة الماء مرة أخرى على شكل بخار ماء في الغلاف الجوي. [2]

وتعد الطاقة الحرارية من العوامل الأساسية في حدوث عملية التبخر؛ وذلك لأنها تكسر الروابط الموجودة بين جزيئات الماء فيتبخر بشكل أسرع عند وصوله إلى درجة الغليان التي تعادل نحو 100 درجة مئوية، وتجدر الإشارة إلى أنه يمكن أن يتحول كل من الثلج والجليد إلى بخار ماء من خلال عملية يطلق عليها التسامي. [2]

تحدث مرحلة التبخر في دورة الماء عند ازدياد درجة حرارة سطح الأرض بفعل أشعة الشمس، حيث تزيد حرارة الشمس من سرعة جزيئات الماء مما يزيد من طاقتها الحركية بمقدار يكفيها لتنتقل إلى الغلاف الجوي على شكل غاز.

وتبقى هذه الجزيئات في الغلاف الجوي حوالي 10 أيام ترتفع خلالها عمودياً حتى تبدأ درجة حرارتها بالنقصان، وعندما تصبح باردة بما يكفي تبدأ بالتكاثف والتحول إلى الحالة السائلة على شكل قطرات ماء عالقة في الغلاف الجوي، ثم تتحول إلى غيوم لتبدأ بعد ذلك عملية الهطول.

ينتج عن عملية التبخر تشكل المياه العذبة؛ حيث أن المصدر الرئيسي للمياه المتبخرة في الغلاف الجوي هي مياه المحيطات المالحة التي تغطي سطح الأرض بنسبة 70%، وعند تبخر مياه المحيطات يبقى الملح ويتكاثف بخار الماء النقي على شكل غيوم ثم يهطل ليغذي الأنهار والبحيرات والجدول بالمياه العذبة. كما أن حوالي 90% من رطوبة الغلاف الجوي مصدرها تبخر مياه المحيطات والبحار والأنهار الموجودة على سطح الأرض، بينما يعود مصدر النسبة المتبقية لرطوبة الغلاف الجوي إلى عملية نتج النباتات. [2]

2.3.1- التكاثف :

يعرف التكاثف (بالإنجليزية: **Condensation**) بأنه عملية تحول بخار الماء إلى ماء سائل أي أنه عكس عملية التبخر، وتظهر أهمية عملية التكاثف في دورة الماء من خلال دورها في عملية تكوين السحب المعنية بهطول الأمطار وعودة المياه إلى سطح الأرض عبر دورة الماء.

تتكون الغيوم عندما تنخفض درجة حرارة البخار نتيجة ارتفاعه للأعلى في الغلاف الجوي، حيث يرتبط انخفاض درجة الحرارة في الأعلى بانخفاض الضغط بشكل طردي؛ إذ يعتمد المحتوى الحراري الكلي في أي نظام بشكل أساسي على كمية المادة الموجودة فيه.

وكما زاد الارتفاع عن مستوى سطح البحر قل ضغط الهواء نتيجة انخفاض جزيئات الهواء نسبة لوحد الحجم، لذا تقل كثافة الهواء ودرجة حرارته.

تبدأ جزيئات بخار الماء بالتكاثف حول جزيئات صغيرة عالقة في الهواء فتتشكل الغيوم، وتجدر الإشارة إلى أن بخار الماء يعد مكوناً أساسياً في الهواء بغض النظر عن كميته التي قد تختلف من حين إلى آخر.

يستطيع الإنسان رؤية بخار الماء على شكل ضباب (بالإنجليزية: **Fog**) عندما يكون بالقرب من سطح الأرض أثناء الطقس شديد الرطوبة. [2]

3.3.1- التساقط :

يعرف التساقط (بالإنجليزية: **Precipitation**) بأنه الماء المنهمر من الغيوم على شكل أمطار في معظم الأحيان، أو على شكل أمطار جليدية، أو أمطار ثلجية أو ثلوج، أو حبات برد في أحيان أخرى، وتكون هذه المرحلة هي المسؤولة عن انتقال الماء من الغلاف الجوي إلى سطح الأرض. [2]

تتشكل الأمطار بطريقتين:

○ **نظرية الإلتحام:** حين يزداد حجم بعض القطرات نتيجة حدوث تكاثف بخار إضافي أثر تصادم جزيئات الماء مع بعضها، وإذا كانت التصادمات كافية لإنتاج قطرة ماء ذات سرعة سقوط أكبر من سرعة التيار الصاعد للغيوم، فيؤدي ذلك إلى سقوط القطرة خارج الغيمة على شكل هطول. [2]

- **نظرية بيرجيرون:** والأكثر فاعلية لتصل قطرة الماء الى حجم قطرة التساقط فهي من خلال عملية بيرجيرون التي تعبر عن نمو بلورات الجليد بشكل أسرع بكثير من تكاثف بخار الماء الموجود في الغيمة، فتتساقط البلورات على شكل ثلج أو تدوب وتهطل كأمطار. [2] فيما يأتي أكثر أنواع التساقط شيوعاً :
- ✓ **المطر:** (بالانجليزية: **Rain**) قطرات سائلة من الماء تتكون عندما يتكاثف البخار حول جزيئات الغبار داخل الغيوم، فتتكون قطرات صغيرة تستمر بالتضخم حتى تصبح كبيرة جداً بحيث لا تتمكن الغيمة من حملها، فتسقط بينما يستمر حجمها بالازدياد تدريجياً نتيجة لالتصاقها بالمزيد من جزيئات الماء في طريقها الى الأسفل.
- ✓ **الثلج:** (بالانجليزية: **Snow**) كتل صغيرة من الماء المتجمد تسقط من السماء، وتتكون كل من هذه الكتل من بلورات جليدية عندما يتصاعد بخار الماء، أو حين يتحول البخار مباشرة من الحالة الغازية الى الصلبة على شكل ثلج.
- ✓ **البرد:** (بالانجليزية: **Hail**) حبات جليدية تتكون في العواصف الرعدية، حيث يمنع الهواء الصاعد حبات الماء المتجمد من السقوط، وعليه يبدأ حجم الحبات بالازدياد بفعل اصطدامها مع قطرات الماء شديدة البرودة حتى تصبح الغيمة غير قادرة على حمل البرد بسبب زيادة كتلته التي قد تصل الى أكثر من 0.68 كغم للحبة الواحدة، فيسقط على شكل حبات دائرية الشكل بالعادة، ويشير العلماء الى أن سرعة سقوط البرد قد تصل الى 128.75 كم/ساعة.
- ✓ **المطر الثلجي:** (بالانجليزية: **Sleet**) خليط من المطر والثلج يسقط من السماء، يتكون نتيجة تجمد قطرات المطر أثناء سقوطها الى الأرض، ويكون حجم حباته أصغر من حجم حبات البرد وأكثر رطوبة منه. [2]

4.3.1-المياه المخزنة:

يعتبر الماء المخزن منذ فترات طويلة في الكتل والأنهار الجليدية والثلجية جزءاً لا يتجزأ من دورة الماء. الثلوج والأنهار الجليدية تأتي ثم تذهب حيث يتعرض المناخ الجوي العالمي إلى تغييرات دائمة مع أنها عادة ماتكون تغييرات غير سريعة بما فيه الكفاية حتى يتمكن الناس من ملاحظتها. وقد شهد العالم الكثير من الفترات الزمنية الحارة، مثل تلك التي عاش فيها الديناصور قبل حوالي 100 مليون سنة، وكذلك فترات زمنية باردة مثل العصر الجليدي الأخير قبل حوالي 20000 سنة مضت. وخلال العصر الجليدي الأخير كان معظم نصف الكرة الأرضية الشمالي مغطى بالثلج والأنهار الجليدية. [1]

5.3.1-التسرب:

حركة الماء من سطح الأرض إلى داخل التربة والصخور التحتية، اللامياه الجوفية تبدأ كالتساقط في أي مكان في العالم تتسرب بعض المياه التي تسقط كأمطار أو جليد إلى داخل التربة والصخور تحت السطح. وتتوقف الكمية المتسربة على عدة عوامل. ويمكن أن تكون كمية الماء المتسربة، جراء الأمطار التي تسقط على الغطاءات الجليدية في جرين لاند، ضئيلة للغاية. بعض المياه التي تتسرب تبقى داخل طبقة التربة الضحلة، حيث يمكن أن تصبح مجرى مائياً من خلال التسرب إلى داخل حوض المجرى. [1]

6.3.1-الينابيع:

الينبوع هو الماء المتدفق نتيجة امتلاء أحد المستودعات المائية الأرضية إلى النقطة التي تتدفق فيها المياه إلى سطح الأرض. وتتراوح الينابيع من ينابيع صغيرة الحجم، وهي التي تتدفق مباشرة بعد هطول أمطار غزيرة، إلى ينابيع كبيرة، تتدفق منها مئات الملايين من الجالونات يوميا. ماء الينبوع ليس دائما نقياً عادة ما تكون مياه الينابيع نقية. [1]

7.3.1-النتح التبخري:

تمتص النباتات الماء عبر جذورها من الطبقة السطحية للتربة وتطلقه مجددا على شكل بخار عبر أوراقها من خلال عملية تعرف بالنتح (بالانجليزية: **Transpiration**)، وتعتبر هذه العملية من أهم مراحل دورة الماء لأنها تمثل أحد المصادر الرئيسية للمياه في الغلاف الجوي بما يقارب 10% من اجمالي المياه الموجودة فيه. [2]

وتعتمد معدلات النتح على درجة الحرارة، والرطوبة، وتوافر ضوء الشمس وشدته، وهطول الأمطار، ونوع التربة وتشعبها، وشدّة الرياح، وانحدار الأرض، وغيرها.

تطلق الغابات كميات كبيرة من الماء إلى الغلاف الجوي عبر أوراق أشجارها وجذور النباتات الوعائية من خلال عملية النتح؛ إذ تعد أوراق النباتات المصدر الرئيسي للنتح التبخري (بالانجليزية: **Evapotranspiration**) الصادر عن الغابات، الأمر الذي يزيد من نسبة جفاف الغابات. [2]

يشير مصطلح النتح التبخري إلى مجموع عمليات التبخر الصادرة عن نتح النباتات الموجودة على اليابسة وأسطح البحار والمحيطات إلى الغلاف الجوي، وهو أحد أهم المراحل التي تمر بها دورة الماء في الطبيعة والتي تلعب فيها الغابات دورا مهما، كما ينتقل الماء من النباتات إلى الغلاف الجوي بطرق أخرى أهمها ما يطلق عليه الاعتراض. [2]

8.3.1-الجريان السطحي: (بالانجليزية: **Runoff**)

يحدث الجريان السطحي عند ازدياد معدلات هطول الأمطار وتشبع التربة؛ بحيث يصبح سطح الأرض غير قابل لامتصاص المزيد من الماء فتتكون الأنهار والبحيرات ثم تعود المياه مرة أخرى إلى المحيطات. قد يؤدي الجريان السطحي أحيانا إلى تبخر الماء إلى الغلاف الجوي مباشرة؛ فحين تتدفق مياه الجريان نحو بحيرة مع عدم وجود منافذ لتتدفق المياه خارجها سيتبخر الماء لعدم وجود طريقة أخرى لعودة الماء إلى الغلاف الجوي، وبالتالي ستزداد الشوائب والأملاح في البحيرة حتى تصبح مالحة؛ كالبحيرة المالحة الكبرى في ولاية يوتا، والبحر الميت في فلسطين. [2]

4.1- أهمية دورة الماء في الطبيعة:

تكمّن أهمية دورة الماء في الطبيعة بما يأتي: [2]

- توفير المياه العذبة اللازمة لكافة الكائنات الحية على كوكب الأرض، وتجديد مصادرها على الكرة الأرضية، أي تجديد مياه الأنهار، والبحار، والجداول.
- تنظيم المناخ.

- المحافظة على رطوبة الجو.
- توفير تربة صالحة للزراعة.

5.1 - تأثير دورة الماء على حركة العناصر: [2]

تظهر أهمية دورة الماء في تأثير مراحل حركتها في الطبيعة وأنماط هطول الأمطار فيها بشكل رئيسي على الأنظمة في كوكب الأرض. كما تعد عمليتي الجريان السطحي وهطول الأمطار من أهم العوامل التي تساهم في دورة انتقال مختلف العناصر؛ كعنصر الكربون، والنيتروجين، والفوسفور، والكبريت، حيث تساهم عملية الجريان السطحي في نقل العناصر الموجودة على اليابسة إلى الأنظمة البيئية المائية المختلفة.

6.1 - تأثير التغير المناخي على دورة المياه في الطبيعة: [2]

- يؤثر التغير المناخي في نسبة بخار الماء، وتشكل الغيوم، وأنواع الهطولات المطرية، وأنواع التيارات المتدفقة التي ترتبط بشكل أساسي بدورة المياه في الطبيعة، وذلك من خلال ما يأتي :
- عند ارتفاع درجة حرارة الهواء يزداد تبخر الماء، ويصبح الهواء متشبعًا بجزيئات الماء المتبخرة، وبالتالي تحدث عواصف مطرية قوية تؤدي إلى حدوث الفيضانات.
 - بالمقابل فإن ارتفاع درجة حرارة الهواء، وازدياد عملية تبخر الماء من الأرض يؤديان إلى حدوث جفاف في التربة، وعند هطول المطر لا تستطيع التربة امتصاصها، وتجري المياه نحو الأنهار والجداول.
 - الاعتراض: هطول الأمطار الذي يتم اعتراضه بواسطة أسطح النباتات والأشجار بدلا من سقوطه على سطح الأرض والمسطحات المائية ثم تبخره فيما بعد.

الفصل الثاني:
طرق حساب وتقدير النتح
التبخري

2-1-1- مقدمة:

اقترح علماء المناخ وعلماء المناخ الزراعي العديد من الدراسات البحثية حول استخدام معادلات تقدير ETP.

تم اجراء معادلات التقدير هذه على مستوى التربة الجرداء أو المزروعة على مستوى الدراسات الهيدرولوجية الخ. في محطات الأرصاد الجوية تم وضع خزانات مقياس التبخر لقياس فقدان الماء عن طريق التبخر باستخدام الطريقة المباشرة. منذ عم 1950 تم تطوير العديد من الصيغ لتقدير النتح التبخري منها معادلة Thornthwait 1944, Penma-Monteith-FAO 1998, Hargreaves 1985.

يقدم هذا الفصل أو لا مفهوم النتح التبخري ثم أنواع التبخر, العوامل المؤثرة على عملية النتح , ثم عرضا تقديميا للطرق والأساليب المستخدمة بشكل شائع كبديل في غياب الأدوات التقليدية. يمكن أن تكون هذه الأساليب بسيطة أو معقدة, أو تجريبية أو أكثر نظرية بطبيعتها سوء كانت تستند إلى توازن درجة حرارة الهواء أو الطاقة [5].

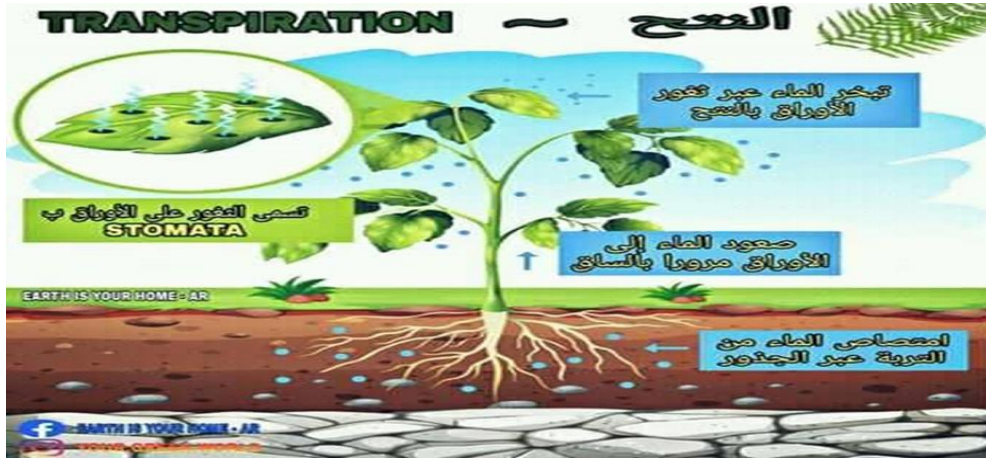
2-2- مفهوم النتح التبخري:

2-2-1- التبخر (evaporation):

التبخر عملية فيزيائية يتحول فيها الماء من الحالة السائلة الى الحالة الغازية في شكل بخار الماء على السطح عند درجة حرارة تقع دون درجة الغليان، ترتبط وتيرة التبخر أو التبخر السطحي لسائل ما بقيمة التطايرية التي هي معامل يعبر عن مدى قابلية مادة معينة سائلة أو صلبة للتبخر /التبخير، بعض الحالات يتحول فيها الماء من الحالة الصلبة(جليد او ثلج) إلى بخار دون أن يمر بالحالة السائلة وتعرف هذه العملية بالتسامي (sublimation). [8]

2-2-2- النتح (transpiration):

تعرف عملية النتح بأنها عملية إخراج النبات لبخار الماء من خلال مسامات أو ثغور صغيرة تقع على الأوراق إلى الغلاف الجوي، وتتكون هذه الثغور من خليتين حارستين تشكلان مساماً صغيراً في سطح الأوراق، حارسة على التحكم في فتح وإغلاق هذه الثغور إستجابة للمحفزات البيئية المختلفة. تعد عملية النتح خطوة هامة في دورة المياه، وتكثر أهميتها غالباً في إعادة المياه الى الغلاف الجوي على تبخر البحيرات والأنهار، كما تعد عملية النتح الية هامة في نقل الماء من التربة إلى النبات ومنها إلى الغلاف الجوي. [9]



الشكل 2-1: رسم توضيحي لعملية النتح

2-3-2-2 أنواع النتح التبخري

2-3-2-2-1 النتح التبخري الممكن أو المحتمل (POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION):

هو التبخر من المسطحات المائية من التربة المشبعة بالمياه بحيث توجد مياه كافية للتعويض عن المفقود بصورة مستمرة وهو أعلى تبخر يمكن حدوثه ويتأثر عادة بالظروف المناخية. [6]

2-3-2-2-2 النتح التبخري الحقيقي (actual evapotranspiration):

هي كمية المياه المتبخرة فعلا من التربة حيث ينعدم في التربة الجافة جدا ويعادل التبخر الممكن في التربة المشبعة والمسطحات المائية ويقصد به كمية المياه المفقودة او التي تفقد فعلا من منطقة معينة في مدة زمنية معينة وتحت مستوى معين من رطوبة التربة، وفي ظل الظروف المحلية السائدة من ظروف جوية وظروف تتعلق برطوبة التربة والغطاء النباتي

2-3-2-2-2 النتح التبخري الأعظمي (Maximum evapotranspiration):

هو نتح التبخر الأعظمي لمحصول أو نبات معين وخلال مراحل أطواره الفينولوجية وتحت ظروف مناخية محددة وقيمة نتح التبخر الأعظمي أقل أو تساوي قيمة نتح تبخر الاساسي أو الممكن. وهناك علاقة تربط بينهما

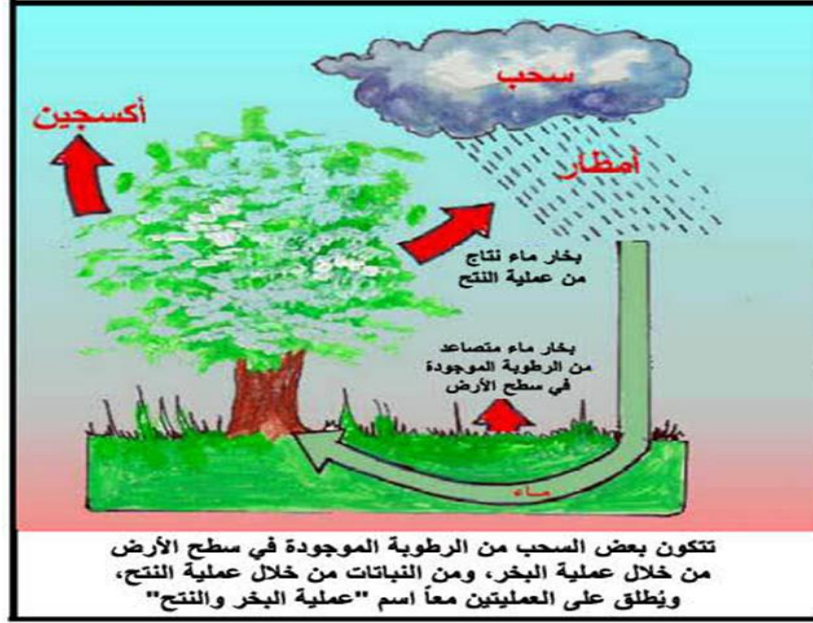
$$ETM = K * ETP$$

هي:

K: معامل استهلاك النبات للماء (معامل الزرع)، وهي تتوقف على نوع النبات ومرحلة نموه.

الفصل الثاني: طرق حساب وتقدير النتح التبخري

شكل



السحب المتكونة من عملية البخر والنتح

الشكل 2-2: رسم توضيحي لعملية النتح التبخري

4-2- بعض العوامل المؤثرة على عملية النتح:

من العوامل التي تؤثر على عملية النتح التبخري ما يأتي:

❖ العوامل المناخية:

✓ درجة الحرارة.

✓ الرطوبة النسبية.

✓ الرياح سرعتها و اتجاهها.

✓ الطاقة الشمسية.

✓ الضغط الجوي.

❖ العوامل الأرضية:

✓ رطوبة التربة.

✓ قابلية توصيل الماء للتربة.

✓ عمق المياه الأرضية.

✓ لون التربة.

✓ اتجاه المنحدر.

✓ كثافة التساقط.

❖ العوامل النباتية:

✓ نوع النبات.

✓ كثافة المجموعة الخضرية والجذرية وحجمها. [6]

2-5-5- قياس التبخر:

❖ يقاس التبخر بواسطة مقاييس التبخر (vaporation) ويوجد منها نوعان رئيسيان:

▪ النوع الأول يقاس بواسطة التبخر من سطح مائي مكشوف، ويستخدم فيه حوض معدني قطره 121 سم وعمقه حوالي 25,4 سم. وعند استخدامه يملأ الحوض بالماء ويعرض للجو ثم يقاس الانخفاض الذي يطرأ على سطح الماء به من حين إلى آخر. والجهاز القياسي المستخدم في محطات الأرصاد الجوية الأمريكية، والمستخدم كذلك في كثير من محطات العالم العربي هو الجهاز المعروف باسم (class A PAN)

▪ النوع الثاني يقاس بواسطة التبخر من سطح مبلل بالماء. ورقة من النشاف أو أي مادة أخرى مشابهة له، ومن أبسط الأجهزة التي من هذا النوع وأشهرها المعروف بجهاز بيثي (بيثي PLASS) وهو عبارة عن أنبوبة زجاجية مدرجة توضع مكنسة بعد أن تملأ بالماء، ويثبت فوق فوهتها قرص من النشاف، فالذي يحدث في هذه الحالة هو أن الماء يتبخر من سطح ورقة النشاف التي تمتص بدورها الماء من الأنبوبة فينخفض ارتفاع الماء بها، وتدل سرعة هذا الانخفاض في فترة معينة على نشاط عملية التبخر أو بطئها. [7]

2-5-1- أحواض التبخر (Evaporation Pans):

وتعتبر من أكثر الطرق شيوعاً وأسهلها استخداماً في قياس التبخر، وتختلف هذه الأحواض في الأبعاد والمواد المصنعة، وفي طرق تثبيتها فمنها ما يثبت على ارتفاع فوق سطح الأرض ومنها ما يوضع على السطح مباشرة ومنها ما يدفن في التربة.

• الجهاز القياسي المشهور المستخدم في كثير من محطات الرصد الجوي هو الجهاز المعروف باسم (The U.S.A Wetherbureau class A evaporation pan) ويعرف اختصاراً بـ "Class A Pan" [7].

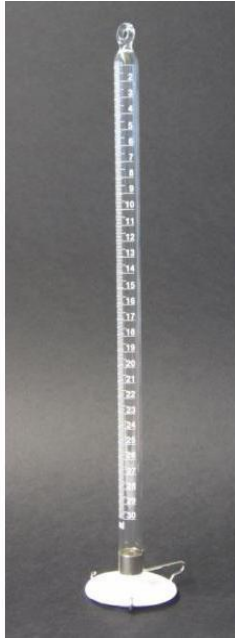
2-5-2- أجهزة قياس التبخر ذات المرجعية (Atmometers):

أشهر الأجهزة من هذا النوع ما يعرف بجهاز بيثي (pich atmometers) والذي تم تصميمه في العام 1872، وهو عبارة عن أنبوب زجاجي مدرج ويثبت فوق فوهتها ورقة نشاف تثبت على تلك الفتحة بواسطة مربيط ويملاً بالماء المقطر، ويعلق للجهاز منكسا بحيث تكون الفتحة المقفلة بورقة النشاف الى الاسفل. والذي يحدث في هذه الحالة هو أن الماء يتبخر من سطح ورقة النشاف التي تمتص بدورها الماء من الأنبوبة فينخفض ارتفاع الماء بها ويدل معدل هذا الانخفاض على مستوى التبخر لفترة محددة. [7]

الفصل الثاني: طرق حساب وتقدير النتح التبخري



الشكل 2-3: أحواض التبخر [1]



الشكل 2-4: صورة خارجية لمجموعة من مقاييس بيشي. [1]

2-6- المعاملات المؤثرة في عملية التبخر:

- ❖ درجة الحرارة T
- ❖ الرطوبة النسبية RH
- ❖ الاشعاع R
- ❖ سرعة الرياح

7-2-تطور معادلات حساب التبخر:

برزت الدراسات التي توضح كيفية تفاعل حركة المياه وذلك من خلال الدراسات التي قام بها العالم برونلي Bernoly وغيره من علماء عصر النهضة في أوروبا، ثم ظهرت محاولات لحساب احتياجات المحاصيل المائية بالإضافة الى دراسات لتفسير و تحليل عملية التبخر.

فالهدف كان ايجاد علاقات توضح عملية التبخر على أساس المنهج العلمي التجريبي ،حيث تم عمل دراسات تعتمد على القياسات الدقيقة لعملية التبخر حيث كان معظمها يحاول عمل معادلات ونماذج للتنبؤ بكمية التبخر بناء على درجة حرارة الهواء ،أو الإشعاع الشمسي،بينما قليل من الدراسات أشارت إلى دور رطوبة الهواء،ولا توجد تفاصيل حول أثر سرعة الرياح بصورة مباشرة...

تم تطوير مصطلح "الإستخدامالإستهلاكي" كمؤشر لعملية احتياجات المحاصيل المائية بناء على التبخر وتم اجراء العديد القياسات الموسمية لمخفف المحاصيل في ما بين عام 1890 حتى 1925.تطور هذا المصطلح حقا وتم استبداله بمصطلح"التبخر الزراعي" [7].(Evapotranspiration).

8-2-معادلات حساب النتح التبخري:

1-8-2-معادلة بنمان (Penman1948):

تم تطوير معادلة دقيقة لحساب التبخر بواسطة عالم الفيزياء البريطاني،هارود بنمان (Howard Penman) خلال الحرب العالمية الثانية بغرض دعم المجهود الحربي.كان هدفه التنبؤ بدرجة جفاف سطح التربة ومستوى رطوبتها في مناطق أوروبا الغربية ،انحرف العالم البريطاني بنمان عن النهج الهندسي الأمريكي التقليدي لتقدير التبخر الزراعي ،حيث حاول بنمان حصر العوامل التي تؤثر على عملية التبخر الزراعي.أصبحت معادلة بنمان واسعة الإنتشار حيث انها دقيقة إلى حد ما الا ان توفير البيانات الإلكترونية كان يشكل تحديا كبيرا.[7]

1-1-8-2-معادلة بنمان-مونتيث (PM)(1965-Penman-Monteith):

قام الباحث جون مونتيث بإعادة صياغة معادلة بنمان باستخدام معادلة أكثر تفصيلا لمكون النقل الديناميكي الهوائي،تضمنت هذه المعادلة عوامل جديدة للمقاومة الديناميكية الهوائية والمقاومة السطحية ،قدمت هذه التعديلات مرونة للتطبيق على مجموعة واسعة من السطوح وأنواع النباتات.[7]

2-1-8-2-معادلة بنمان -مونتيث تعديل الفاو((FAO(Penman-Monteith(1998))

تم احداث تغيير على معادلة بنمان-مونتيث من قبل لجنة الخبرة الاستشارية لمنظمة الاغذية والزراعة (FAO)حيث ذكرت اللجنة بأنها هي افضل الطرق لتقدير التبخر الزراعي وعمل بعض التعديلات الطفيفة المتعلقة بالعوامل البيئية تستخدم هذه الطريقة قيم ثابتة لمقاومة سطح النبات وارتفاع المحصول،ولإجراء العمليات الحسابية بهذه الطريقة لابد من معرفة قيم عناصر المناخ من قبل محطات الأرصاد الجوية .[7]

وتنص المعادلة على الاتي:

حيث

$$ETP = \frac{0.408\Delta.(Rn-G)+\gamma \cdot \frac{900}{T+273} u_2.(e_a-e_b)}{\Delta+\gamma.(1+0.34u_2)} \quad (1-2)$$

ETPالتبخر المحتمل [13](mm/j)

Rn صافي الاشعاع الكلي (MJm^{-2}/j^{-1})

G تدفق حرارة الارض ($MJ/m^2/J$)

$G = 0.1Rn$ خلال النهار ($rad > 0$)

γ ثابت السيكرومتري ($kpa^{\circ}C^{-1}$)

P قياس الضغط الجوي [14] (KPa)

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065Z}{293} \right)^{5.26} \quad (2-2)$$

Δ انحدار ضغط البخار المشب عند متوسط درجة حرارة الهواء ($KPa. ^{\circ}C^{-1}$)

$$\Delta = 4098 \left[\frac{0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T+273.3}\right)}{(T+273.3)^2} \right] \quad (3-2)$$

T متوسط درجة حرارة الهواء □.

u_2 سرعة الرياح (ms^{-1}).

e_a ضغط بخار كل وحدة من الماء المشبع (kpa). [14]

$$e_a = \frac{1}{2} \left[e_s(T_{min}) \left(\frac{RH_{max}}{100} \right) + e_s(T_{max}) \left(\frac{RH_{min}}{100} \right) \right] \quad (4-2)$$

RH_{max} الرطوبة النسبية القصوى % [14].

RH_{min} الرطوبة النسبية الدنيا % [14].

$$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} \cdot P \quad (5-2)$$

2-8-2- معادلة ثورنثوايت (Thornthwaite):

طبق العالمان ثورونثوايت و هولزمان نظرية النقل الديناميكي الهوائية لحساب التبخر الزراعي، واقترحوا طريقة تتطلب قياس سرعة الرياح والرطوبة على ارتفاعين فوق السطح، على الرغم من أن هذه النظرية مقبولة من الناحية النظرية إلا أنه كان من الصعب تطبيقها عمليا نظرا لصعوبة و تكلفة اجراء القياسات بدقة. لاحقا قام العالم بدراسة احتياجات الغطاء النباتي من الماء لحساب التبخر الزراعي. فقام بداية بحساب مؤشر منفصل لكل شهر ثم جمع هذه المؤشرات الشهرية لحساب المؤشر السنوي العام، ويستعمل هذا المؤشر العام لحساب التبخر الزراعي ان هذا المؤشر يأخذ بعين الاعتبار كمية الأمطار و مدة الاشعاع ودرجة الحرارة، كما

الفصل الثاني: طرق حساب وتقدير النتح التبخري

طور من هذا المؤشر معامل اخر يمكنه من الإنتقال من تقدير مياه الري بشكل الشهري إلى السنوي. [7]. وتنص المعادلة على الآتي:

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \cdot f(h) \quad (6-2)$$

حيث:

ETP التبخر المحتمل الشهري (mm). [15]

I المؤشر السنوي الحراري وهو مجموع اثني عشر شهرا.

$$I = \sum_{1}^{12} i, i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad (7-2)$$

T متوسط درجة الحرارة الشهرية □.

$f(h)$ مصطلح تصحيحي يأخذ في الحسبان خط عرض المكان.

$$a = \frac{1.6}{100} I + 0.5 \quad (8-2)$$

من اجل تسهيل عملية حساب التبخر الزراعي قام ثورنثوايت بوضع جداول خاصة لمختلف المعاملات التي يستعملها في الحسابات المطلوبة، تبين أن طريقة ثورنثوايت لعام 1948، ذات أفضلية لتقدير دقيق في المناخات الرطبة وتقلصت الى حد كبير في المناخات الجافة.

2-8-3- معادلة هارجريفز (1985-1994): (Hargreaves)

قام العالمان كريستيانسن و هارجريفز بتطوير سلسلة من المعادلات لحساب التبخر من العشب استنادا الى درجة حرارة الهواء وبيانات الرطوبة، من أجل تحديد التبخر الزراعي المرجعي وقد قاموا فيما بعد بتخفيض متطلبات بيانات الطقس الى درجة حرارة الهواء و الإشعاع خارج الغلاف الجوي المحسوب، للتنبؤ بالطاقة المحتملة المتاحة واستخدموا الفرق بين درجات الحرارة القصوى والدنيا للهواء لتقدير تأثير الرطوبة النسبية والغيوم وكان تنويج هذه الجهود هو معادلة هارجريفز لعام 1985، المقبولة على نطاق واسع، لحساب التبخر الزراعي المرجعي. [7] وتنص المعادلة على الآتي:

$$ET_0 = 0.0023 \times 0.408 \cdot R_a (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times (T_{avg} + 17.8) \quad (9-2)$$

$$T_{avg} = (T_{max} + T_{min}) / 2 \quad (10-2)$$

4-8-2-معادلة هارجريفز 2002:

$$ET_0 = 0.0005304R_a(T_{max} - T_{min} - 0.0123P_{rcp})^{0.76}(T_{avg} + 170) \quad (11-2)$$

$$R_a = 15,392 \times d_r \times [W_s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \sin W_s] \quad (12-2)$$

الفصل الثالث:

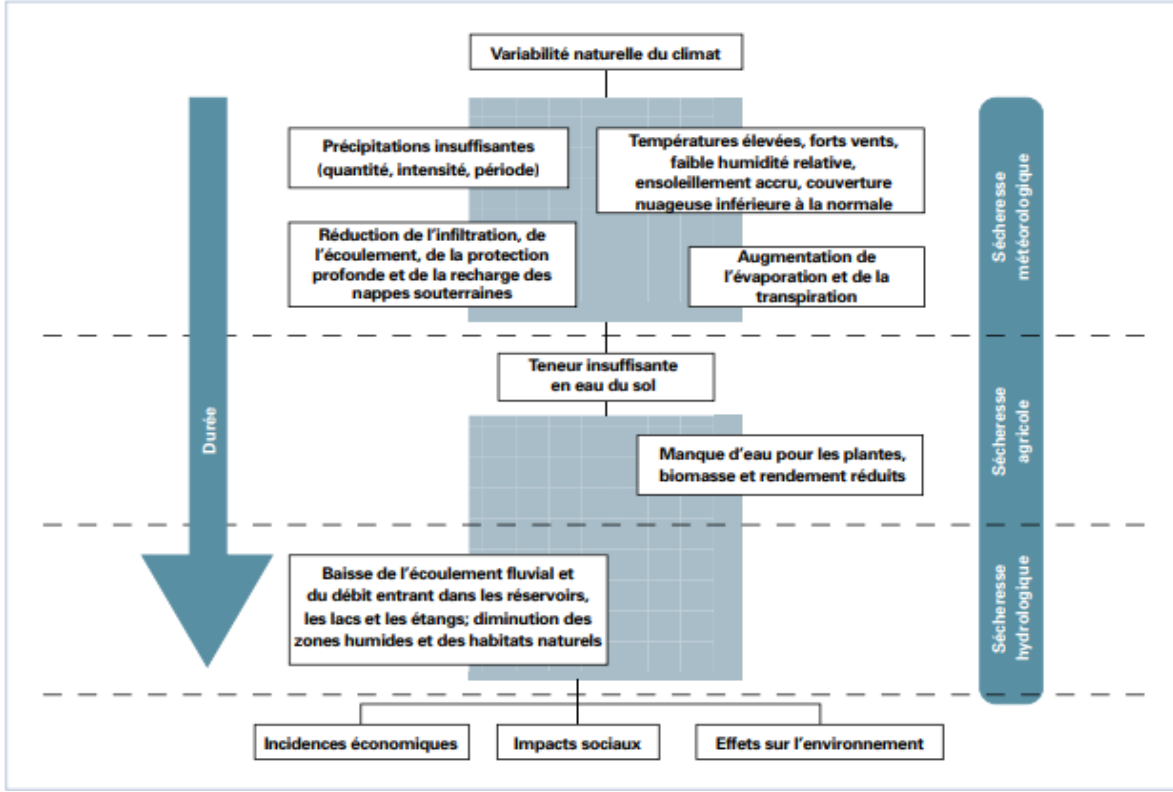
ظاهرة الجفاف ومؤشرات
حسابه

1.3-مقدمة:

يختلف الجفاف عن الظواهر الأخرى في كثير من النواحي في ظهوره وتمركزه. في الواقع انه خطر طبيعي يبدأ ببطء لذلك غالبا ما يتحدث المرء عن ظاهرة ذات تطور بطيء. هناك إنحراف تراكمي لهطول الأمطار عن القيم العادية أو القيم أو المتوقعة (متوسط المدى الطويل على سبيل المثال). يمكن أن يتجلى هذا النقص التراكمي في هطول الأمطار بسرعة في صورة نقص خلال فترة زمنية قصيرة ولكن قد يستغرق أيضا شهورا قبل أن ينعكس نقص المياه في انخفاض تدفق مجاري المياه وانخفاض مستوى الخزانات. بسبب التطور البطيء للظاهرة. غالبا ما تستغرق آثار الجفاف عدة أسابيع أو شهور حتى يتم الشعور بها. [3].

2.3- تعريف الجفاف:

الجفاف يعني القحط الذي يحدث للأرض بسبب انحباس تساقط الأمطار، ويعني العجز المائي العام في منطقة معينة خلال فترة زمنية معينة، كما أنه يعني سيادة الطقس الجاف لفترة طويلة أو قصيرة مما يؤدي إلى تفاقم حاجة الإنسان، الحيوان، والنبات للماء، وانعدام الجريان السطحي للماء ونضوب الابار والمنابع. يساهم انحباس الأمطار لمدة طويلة في اتساع ظاهرة القحط، والتصحر، وهذه الحالة تسود دائما وبشكل اعتيادي في المناطق الصحراوية، وبشكل مفاجئ وغير اعتيادي في المناطق غير الصحراوية (خاصة الشبه الجافة)، وستتعرف فيما يلي على أسباب هذه الظاهرة، أنواعها والآثار الناجمة عنها [11]. يوضح الشكل (1-3) تعاقب حالات الجفاف وأثاره القطاعات المختلفة .



الشكل 3-1: تعاقب حالات الجفاف. [3]

3.3-أنواع الجفاف:

تصنف حالات الجفاف عموما حسب هذه الأنواع : جوي ، زراعي، هيدرولوجي [3].

3.3.1- الجفاف الجوي:

ويعني أن كميات الأمطار المتساقطة على منطقة معينة تكون أقل من الكميات العادية، وذلك مرتبط بشكل ما بارتفاع درجات الحرارة، ونسبة التبخر، كما يمكن أن يأخذ الجفاف الجوي شكل الجفاف الدائم، كالذي يحدث في المناطق ذات المناخ المتوسطي، وذلك في فصل الصيف، أو في المناطق شبه المدارية في فصل الشتاء أو يمكن أن يكون هذا الجفاف جفافا عرضيا مؤقت على فترات ولكن بشكل مفاجئ، كما يعرف الجفاف الجوي عموما بعتبة تقابل عجزا معيناً في هطول الأمطار مقارنة بالمعتاد خلال العتبة (فترة زمنية محددة) المحددة. تختلف العتبة من موقع إلى آخر حسب احتياجات المستخدم أو تطبيقات معينة. يمكن الكشف عن الجفاف الجوي باستخدام مؤشرات الجفاف المعروفة [3].

3-3-2- الجفاف الزراعي:

أفضل تعريف للجفاف من النوع الزراعي هو عدم وجود كمية من المياه في التربة لضمان نمو المحاصيل والأعلاف (المواد المستخدمة لإطعام الحيوانات الأليفة)، بدلا من الانحراف عن هطول الأمطار المعتاد خلال فترة زمنية معينة. هذا النوع من الجفاف يكون ناتجا عن ندرة هطول الأمطار أو بفعل سوء توزيعها بين فصول السنة، كما يظهر أيضا بالرغم من الأمطار التي تساقطت متأخرة عن الدورة الزراعية،

الفصل الثالث : ظاهرة الجفاف ومؤشرات حسابه

وهو ما يعني أن الجفاف الزراعي لا يتحدد بكمية الأمطار وإنما بكيفية التوزيع الفصلي لها. للجفاف الزراعي ارتباط وثيق بالجفاف المناخي، فأنحباس تساقط الأمطار لمدة طويلة يؤدي إلى انخفاض في مخزون التربة من الماء، بل وتجف مع مرور الوقت مما يسبب ذبول المزروعات وموتها. تختلف حدة الجفاف الزراعي واثاره حسب الفصل الذي يحدث فيه. يختلف معدل التسلل باختلاف ظروف الرطوبة السابقة. تتميز التربة أيضا بخصائص متغيرة فبعضها يتمتع بقدرة منخفضة على الاحتفاظ بالمياه، وبالتالي فهي أكثر عرضة للجفاف الزراعي. تعتمد حالات الجفاف هذه بشكل كبير على الظروف المناخية والخصائص الفيزيائية والبيولوجية للتربة [3].

3-3-3- الجفاف الهيدرولوجي:

الجفاف من النوع الهيدرولوجي هو عبارة عن عجز حاد في الموارد المائية، نتيجة شح الأمطار، ويلاحظ فيه الانخفاض الكبير في جريان الأودية وفي مستوى المياه الباطنية عن المستوى العادي، وينتهي الأمر إلى جفاف العيون والينابيع ونضوب مياه الآبار. يرتبط هذا النوع من الجفاف ارتباطا وثيقا بالجفاف الجوي لأن حدوث عجز كبير في كمية الأمطار المتساقطة ينجم عنه انخفاض في الموارد المائية السطحية والباطنية. وله علاقة أقل بنقص هطول الأمطار مقارنة بالمعتاد، حيث تم تعريفه عموما على أنه إنحراف إمدادات المياه السطحية والمياه الجوفية بالنسبة لبعض الظروف المتوسطة في مختلف المرات. كما هو الحال مع الجفاف من النوع الزراعي، لا توجد علاقة مباشرة بين كمية الهطول ودرجة إمداد المياه السطحية والجوفية للبحيرات والخزانات وخزانات المياه الجوفية والجداول، فهو مرتبط أكثر أغراضها من استعمالاتها (مثل الري، الترفيه، السياحة، النقل وإنتاج الطاقة، إمدادات المياه المنزلية وحماية الخ). هناك أيضا فجوة زمنية كبيرة بين اضطراب هطول الأمطار واللحظة التي يظهر فيها عدم كفايتها في العناصر السطحية والجوفية للنظام الهيدرولوجي، كما ان عودة هذه العناصر إلى وضعها الطبيعي بطيئة بسبب طول فترات إعادة التغذية لمصادر إمداد المياه السطحية [3].

3-4- أسباب الجفاف:

نقص المياه هو السبب الرئيسي للجفاف عندما لا يكون الشتاء او الربيع ممطرا بدرجة كافية. لا تمتلئ احتياجات المياه، خاصة اذا كانت مصحوبة بارتفاع في درجات الحرارة التي تزيد من ظاهرة الجفاف، لأنه سيكون مزيد من التبخر ونتج النبات (النتح التبخري - Evapotranspiration)، الذي يجفف التربة. عادة لكي يتشكل نمط من أنماط الجفاف يجب أن يستمر نوع معين من الطقس. المنخفضات الجوية، التي هي ظواهر مناخية (كتل هوائية باردة و رطوبة صاعدة) تسمح تؤدي بهطول الأمطار. فنقوم الأعاصير المضادة (الكتل الهوائية الهابطة) بإمداد الهواء الساخن والجاف، وبالتالي عدم هطول الأمطار. عموما لكي نكون في حالة جفاف يجب أن يمتد تواجد الإعصار المضاد لفترة زمنية معينة. بشكل عام يعتبر نقص المياه وارتفاع درجات الحرارة من الأسباب الطبيعية للجفاف. تؤدي الأنشطة البشرية مثل إزالة الغابات وغزو الخرسانة على الأراضي الزراعية الى تفاقم الجفاف. كما يؤدي نقص المياه إلى حدوث عجز في الاحتياجات الجوية وسدود المياه وإذا تمت إدارتها بشكل سيئ فسيكون الجفاف أكثر وضوحا. تتطلب الزراعة والمصانع والمسكن كمية كبيرة من المياه، وبالتالي يجب وضع قيود على المياه حتى لا ينخفض مستوى منسوب المياه الجوفية والأنهار التي كانت

تعاني بالفعل من نقص المصادر المائية. كما ينصح باتخاذ تدابير تنظيمية لمكافحة الاستهلاك المفرط لاحتياجات المياه [3].

3-5-أثار الجفاف:

يلعب الجفاف دورا سلبيا من عواقبه نذكر ما يلي:

- تعرية التربة التي تؤدي إلى فساد النظام الطبيعي.
- تدمير الموطن الأصلي للحيوانات والنباتات مما يؤثر على الأنظمة الأيكولوجية في اليابسة و في الماء.
- نقص المياه اللازمة للمحاصيل الغذائية وانخفاض غلة المحاصيل والأراضي العشبية.
- ازدياد حالات النقص في الغذاء والمجاعات بالإضافة إلى الأوبئة الناجمة عن سوء التغذية.
- الاضطرابات الاجتماعية و الصراعات على الموارد الطبيعية (المياه والغذاء).
- هجرة السكان وزيادة لاجئي المناخ.
- بعض أنواع المشاكل مثل الغزوات وتقليص إنتاج الكهرباء.
- نقص المياه للصناعات.
- تعديل أو تعطيل أو حتى تدمير النظم البيئية وخاصة الأراضي الرطبة.
- اندلاع الحرائق في الغابات بسبب ارتفاع درجات الحرارة [3].

3-6-مؤشرات الجفاف:

3-6-1- مفهوم مؤشرات الجفاف:

المؤشرات هي متغيرات أو عناصر تستخدم لوصف ظروف الجفاف. تشمل هطول الأمطار ودرجة الحرارة وتدفق مجاري المياه الجوفية ومستويات الخزانات ورطوبة التربة والغطاء الثلجي. مع ذلك فإن المؤشرات هي تمثيلات رقمية تشير إلى شدة وديمومة نوبات الجفاف، محسوبة باستخدام عناصر مناخية أو جوية مائية. تستخدم المؤشرات لتحديد شدة الجفاف وموقعه ووقت ظهوره ومدته. كما تشير الكثافة إلى إنحراف المؤشر عن القيمة العادية، يمكن تعيين عتبة شدة لتحديد متى انتهى والمنطقة التي تأثرت. يشير وقت البدء والمدة إلى التواريخ التقريبية عندما يتم تظهر هذه الظروف و زوالها. تعتمد التأثيرات على مزيج الخطر نفسه والعناصر المعرضة له (الانسان، الأراضي الزراعية، الخزانات ومصادر إمدادات المياه) ومدى ضعف هذا العناصر. المعلومات المستخلصة من المؤشرات و الشواهد مفيدة لتخطيط وتصميم تطبيقات تقييمات المخاطر و أنظمة الإنذار المبكر، و لدعم القرارات المتخذة من أجل تخفيف التهديد في المناطق المتضررة. بالإضافة إلى ذلك يمكن استخدام مؤشرات مختلفة للتحقق من صحة النتائج التي تم الحصول عليها، و هي مصنفة في العديد من المراجع حسب النوع وسهولة الاستخدام. مؤشرات الجفاف يمكن تجميعها في أربع فئات (4) وهي جوية، رطوبة التربة، هيدرولوجية وبواسطة الاستشعار عن بعد. فمثلا المؤشرات الجوية، تستخدم عموما

الفصل الثالث : ظاهرة الجفاف ومؤشرات حسابه

القياسات التي تم جمعها في محطات الأرصاد الجوية مثل هطول الأمطار ودرجة الحرارة والتبخر وما إلى ذلك. تتم مقارنة القيم التي تم الحصول عليها بالقيم القديمة وهي بسيطة وسهلة وسريعة الاستخدام [3].

2-6-3 عينة من مؤشرات الجفاف:

يوضح الجدول الآتي عينة من مؤشرات الجفاف وبعض المعلومات عنها [12]:

الجدول 1-3: عينة من مؤشرات الجفاف

المؤشر	معلومات الإدخال	المزيد من المعلومات
SPI- مؤشر الهطول العادي	P	أوصت به المنظمة (WMO) كنقطة انطلاق لرصد الجفاف في الأحوال الجوية.
SPEI- مؤشر الهطول المعاري لنتج التبخر	T P	أوصت به المنظمة (WMO) كنقطة انطلاق لرصد الجفاف في الأحوال الجوية.
RAI- مؤشر شذوذ هطول الأمطار	P	مجموعة البيانات الكاملة مطلوبة.
PHDI- مؤشر الجفاف الهيدرولوجي بالمر.	T ،P AWC	مجموعة البيانات الكاملة مطلوبة .
SDI- مؤشر الجفاف القائم على التدفق .	SF	الحسابات المطلوبة مشابهة لـ SPI مع استبدال هطول الأمطار ببيانات الجريان السطحي
SMDI- مؤشر عجز الرطوبة	MOD	القيم الأسبوعية على أعماق مختلفة ،حسابات معقدة.

P: التساقطات

T: درجة الحرارة

AWC محتوى الماء المتاح

MOD: القيمة المنمذجة

SF: تدفق التيار

3-7- مؤشر الجفاف SPEI :

3-7-1-تعريف:

مؤشر هطول الأمطار والنتج المعياري (Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index)، هو مؤشر حديث (Vicente-Serrano and Lopez-Moreno, 2010). تم تصميم المؤشر ليأخذ في الاعتبار، بالإضافة الى هطول الأمطار، درجة الحرارة (العنصر الرئيسي في تقييم النتج التبخري)، وهكذا يمكن تحديد فترات الجفاف. كما يمكن تنزيل برنامج حساب المؤشر مجاناً موقع الويب التالي: <https://spei.csic.es>

3-7-2- حساب مؤشر الجفاف القياسي SPEI:

يتميز مؤشر الجفاف SPEI من مزايا الطابع المتعدد المقاييس (الأزمنة)، إضافة لإدراجه لمفهوم تأثير درجة الحرارة على النتج التبخري عند المعايرة الذاتية لشدة الجفاف. يعتمد المؤشر على حساب ميزان المياه الشهري (هطول الأمطار مطروحاً منه النتج التبخري). يمكن تقدير النتج التبخري المحتمل بعدة طرق مثل ثورونثوايت (Thorntwaite)، بانمان (Penman-FAO 56)، هارجريفز (Hargreaves)، تيرك (Turc)، الخ. تتطلب كل طريقة عدداً من المعطيات مثل درجة الحرارة، التساقط، الرطوبة النسبية، الشمس كثافة الغيوم، وسرعة الرياح. إن أبسط هذه الطرق هي طريقة ثورونثوايت، فالطريقة تحتاج فقط الى درجة حرارة شهرية لتقدير التبخر المحتمل (Evapotranspiration Potential, ETP).

يتم تصنيف قيم المؤشر SPEI كما هو مبين في الجدول التالي:

الجدول 2-3: جدول تصنيف مؤشر SPEI

التصنيف	SPEI
رطب للغاية	2.0 فما فوق
رطب جداً	من 1.5 إلى 1.99
رطب معتدل	من 1.0 إلى 1.49
عادي	من 0.99 إلى -0.99
جفاف معتدل	من -1.0 إلى -1.49
الجفاف شديد	من -1.5 إلى -1.99
جفاف حاد	أقل من -2.0

3-7-3-3-قيم هطول الأمطار المعياري لفترة طويلة الى حد ما:

3-7-3-1-مؤشر SPEI على مدى شهر واحد:

خريطة مؤشر SPEI المحسوبة على مدى شهر واحد تشبه الى حد بعيد الخريطة التي تمثل النسبة المئوية لهطول الأمطار الطبيعي لمدة 30 يوما. يقدم المؤشر لشهر واحد في الواقع تمثيلا أكثر دقة لهطول الأمطار الشهر الحالي مقارنة بقيم نفس الشهر خلال فترة الدراسة [3].

3-7-3-2-مؤشر SPEI على مدى 3 أشهر:

يؤسس مؤشر SPEI على مدى 3 أشهر المقارنة بين إجمالي هطول الأمطار خلال فترة الثلاث أشهر التي تم فحصها وإجمالي هطول الأمطار لنفس هذه الشهور الثلاثة خلال فترة الدراسة. يتيح مؤشر SPEI على مدى 3 أشهر المنتهية في نهاية فبراير إمكانية مقارنة هطول الأمطار التراكمي لشهور ديسمبر ويناير وفبراير من العام قيد المراجعة مع هطول الأمطار التراكمي لشهر ديسمبر إلى فبراير لجميع السنوات المعروضة في تاريخ الملاحظات التي تمت في المحطة المدروسة [3]. يصنف هذا المقياس مع مقياس شهر واحد ضمن الأزمنة القصيرة، و هو مفيد في دراسات نوبات الجفاف العابرة قصيرة المدى.

3-7-3-3-مؤشر SPEI على مدى 6 أشهر:

يقارن مؤشر SPEI لمدة 6 أشهر هطول الأمطار خلال السنة أشهر لجميع السنوات التي تتوفر لها السجلات على سبيل المثال يتيح مؤشر SPEI على مدى 6 أشهر المنتهية في نهاية سبتمبر إمكانية مقارنة هطول الأمطار التراكمي من أبريل الى سبتمبر من العام قيد المراجعة مع هطول الأمطار التراكمي لنفس الفترة لجميع السنوات التي مرت [3]. يصنف هذا المقياس ضمن الأزمنة المتوسطة، و هو مفيد في الدراسات بمشاكل الزراعة عموما.

3-7-3-4-مؤشر SPEI على مدى 9 اشهر:

يوفر مؤشر SPEI على مدى 9 أشهر مؤشرا لأنظمة مدى هطول الأمطار بين الفصول. عادة ما يستغرق ظهور ظروف الجفاف مرور موسما واحدا على الأقل [3].

3-7-3-5-مؤشر SPEI على مدى 12 شهرا:

في هذه المقياس الزمني يوفر مؤشر SPEI تمثيلا لأنظمة هطول الأمطار طويلة الأجل يقارن مؤشر SPEI لمدة 12 شهرا هطول الأمطار لمدة 12 شهرا متتاليا على مدى نفس السلسلة المكونة من 12 شهرا متتاليا من جميع السنوات التي لدينا قراءات لها. يصنف هذا المقياس ضمن الأزمنة الطويلة، و هو مفيد في الدراسات بمخزونات المياه السنوية.

الفصل الرابع:

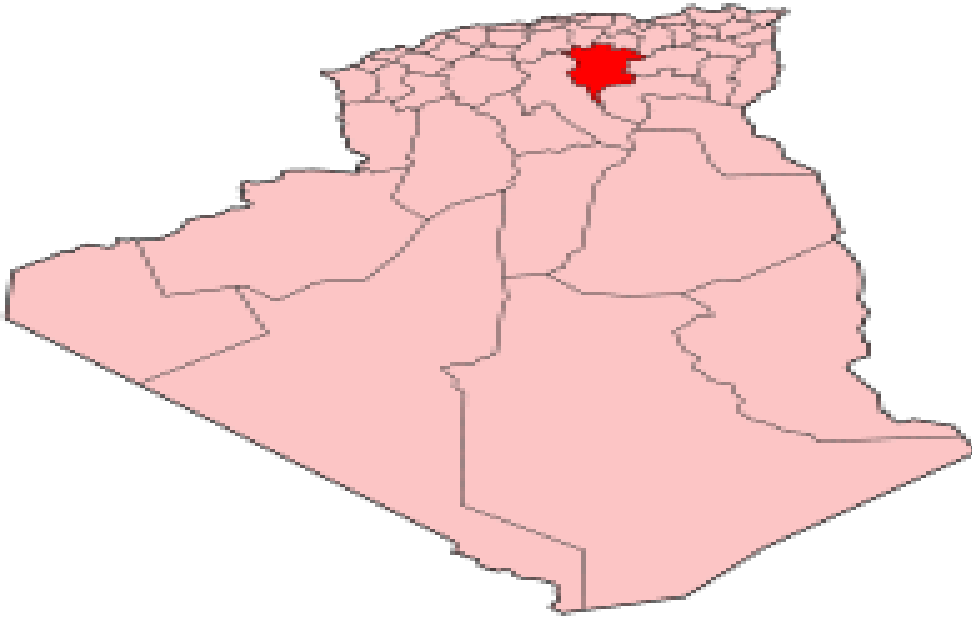
دراسة تأثير طريقة حساب النتح
التبخري على مؤشر الجفاف

1.4 مقدمة:

في هذا الفصل الأخير سوف نتطرق الى طرق حساب النتح التبخيري ETP لمنطقة المسيلة خلال الفترة 1980 - 2012 وحساب مؤشرات الجفاف SPEI.

2.4- عرض منطقة المسيلة:

تقع المسيلة شمال شرق الجزائر العاصمة في منطقة الحضنة عند الإحداثيات (35° 40' شمالا، 4° 30' شرقا) و على علو 441 مترا من سطح البحر. تضاريس المنطقة غير متجانسة للغاية. المنطقة على اتصال بأربع وحدات جبلية الاطلس التلي في الشمال، السهول الجزائرية الغربية المرتفعة في الغرب والأطلس الصحراوي في الجنوب والشرق. تحدد هذه المجموعات بداخلها منخفضا مغلقا، منخفض شط الحضنة الذي يبلغ ارتفاعه 400 متر من سطح البحر. [3]



الشكل (1.4): الموقع الجغرافي لمنطقة المسيلة

2.4- دراسة مناخية:

من أجل التعرف على الطابع المناخي لمنطقة المسيلة، سنعرض النظم الشهرية والسنوية للمتغيرات المناخية الرئيسية مثل: درجة الحرارة، والتساقط. تم توفير البيانات المناخية من قبل المكتب الوطني للأرصاد الجوية (دار البيضاء، الجزائر العاصمة).

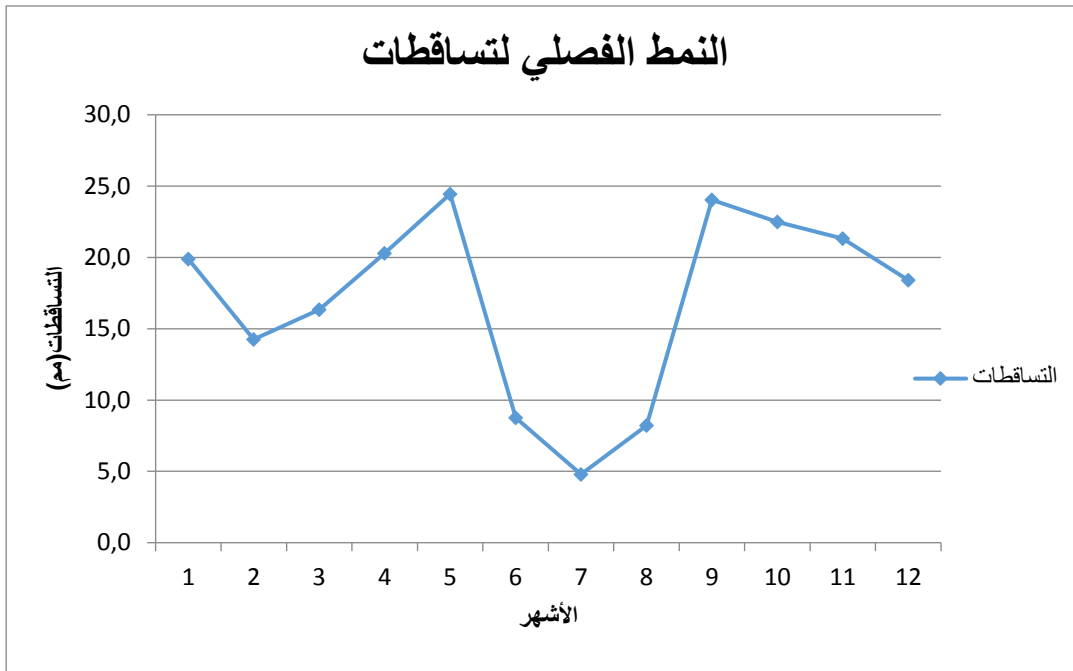
1.2.4- التساقطات:

تساقط الأمطار غير منتظم، ويظهر النظام الشهري لمنطقة المسيلة خلال فترة 1980-2012 قيم منخفضة للغاية في أشهر الصيف، حوالي 4,8 ملم في جويلية، والحد الأقصى في ماي بقيمة 24,4 ملم، أنظر الجدول (1.4) و الذي يمثله الشكل (2.4)

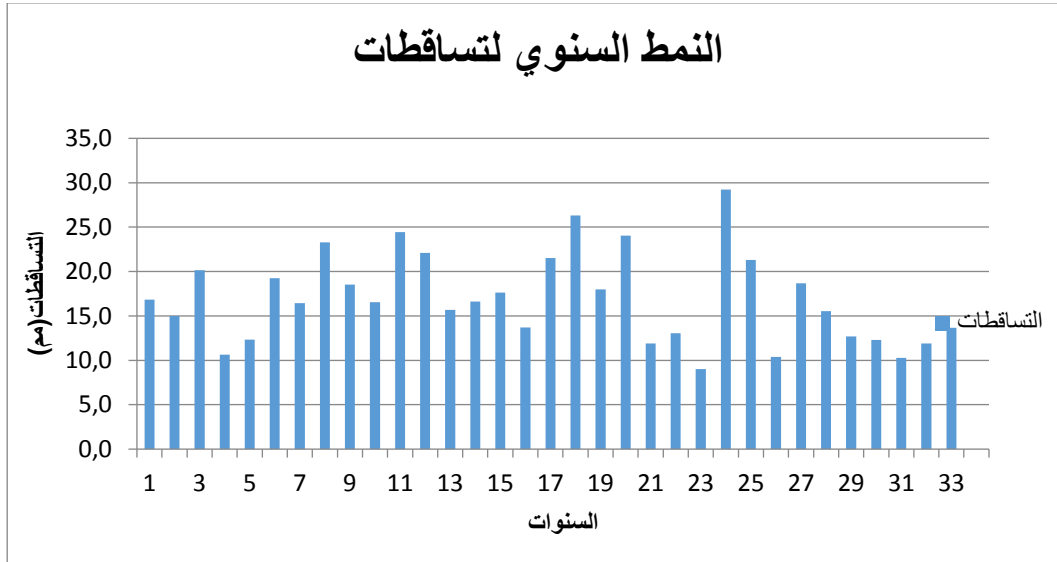
الفصل الرابع: دراسة تأثير طريقة حساب النتح التبخري على مؤشر الجفاف

الجدول (1.4): متوسط الشهري للتساقطات المطرية، المسجلة خلال الفترة 1980 - 2012

الشهر	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
التساقطات (مم)	19,9	14,3	16,4	20,3	24,4	8,8	4,8	8,2	24	22,5	21,3	18,4



الشكل (2.4): نظام هطول الأمطار الفصلي في محطة المسيلة 1980-2012



الشكل (3.4): التساقطات المطرية السنوية، المسيلة (1980-2012)

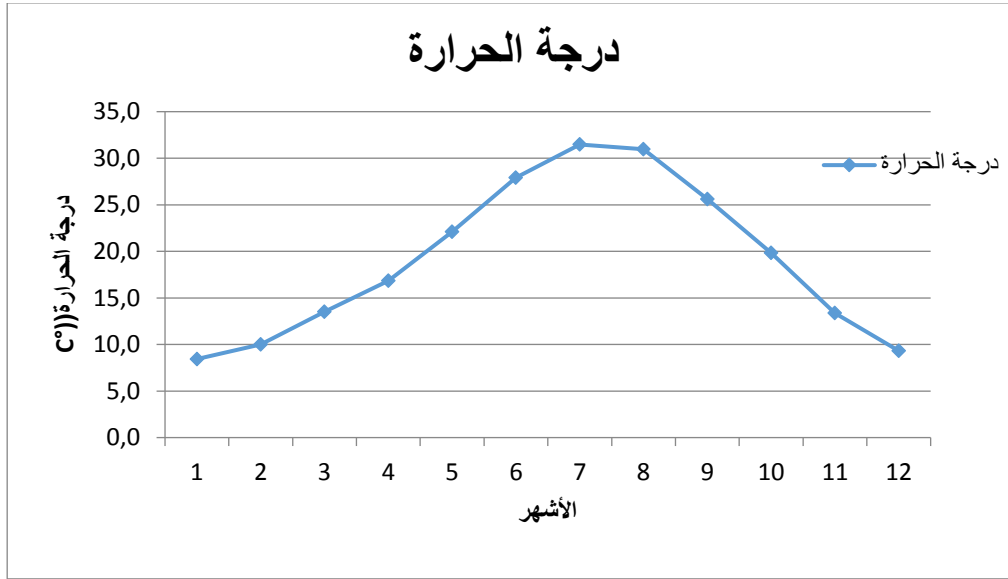
نلاحظ أن النمط السنوي للتساقطات كانت غير منتظمة (متذبذبة).

2.2.4- درجة الحرارة:

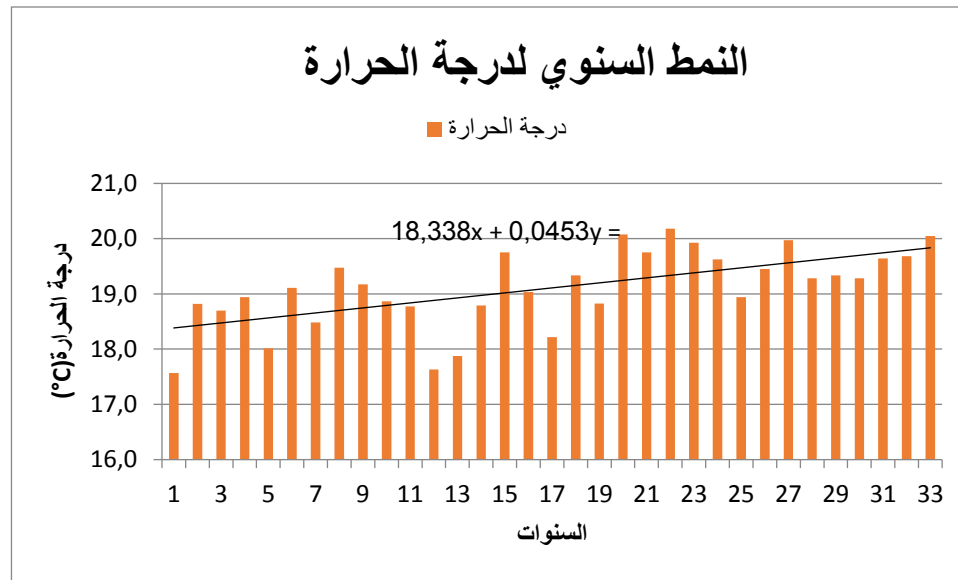
يوضح النمط الشهري بالنسبة لدرجة الحرارة لمسيلة ($T(^{\circ}C)$)، خلال الفترة 1980-2012، أن درجة الحرارة الدنيا الشهرية مسجلة في شهر جانفي 8,4 درجة مئوية، وأن درجة الحرارة العظمى مسجلة في شهر جويلية 31,5 درجة مئوية، أنظر الجدول (2.4) و الذي يمثل الشكل (4.4)

الجدول (2.4): متوسط الشهري لدرجة الحرارة، المسيلة خلال الفترة 1980 - 2012

الشهر	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$T(^{\circ}C)$	8,4	10	13,5	16,8	22,1	27,9	31,5	31	25,6	19,8	13,4	9,3



الشكل (4.4): النمط الشهري لدرجة الحرارة ، المسيلة خلال الفترة 2012-1980



الشكل (5.4): المتوسط السنوي لدرجة الحرارة، المسيلة خلال الفترة 2012 – 1980.

نلاحظ أن النمط السنوي لدرجة الحرارة كانت في تزايد على مر السنوات.

3.2.4- مخطط اومبروترميك (Ombrothermique Gausse) لمنطقة المسيلة :

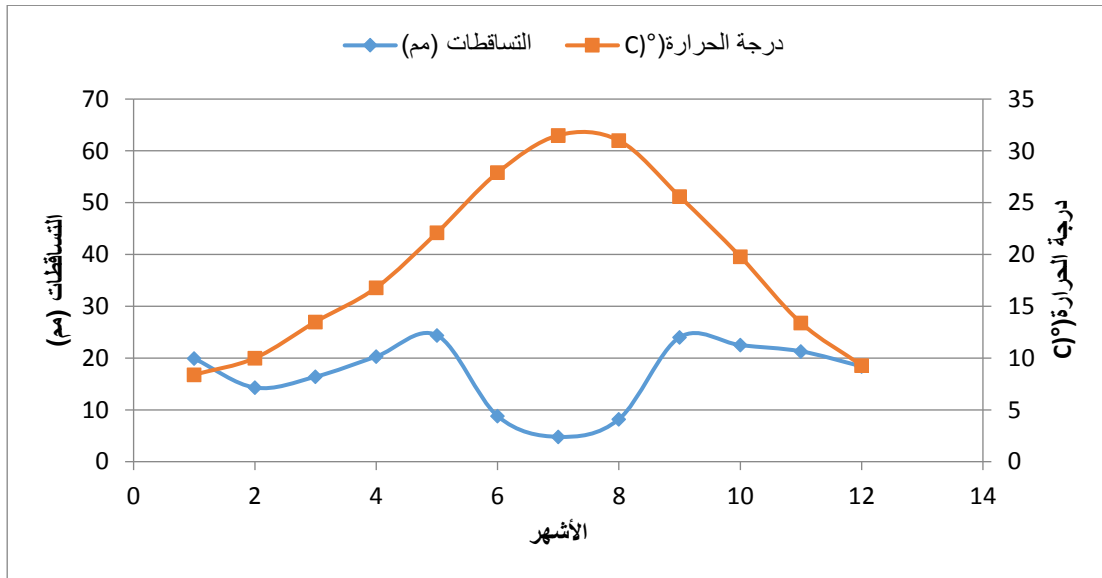
يسمح الرسم البياني اومبروترميك بتحديد فترات الجفاف والرطوبة لأي منطقة، انطلاقاً من قياسات المتوسطة الشهرية [4] لهطول الأمطار ودرجة الحرارة، حيث ان محور تساقط الأمطار يساوي ضعف درجة حرارة، كما يلي:

$$P=2T \quad (1.4)$$

P: المتوسط الشهري لتساقط الأمطار (مم).

T: المتوسط الشهري لدرجة الحرارة (درجة مئوية).

بشكل عام، إذا كان منحنى تساقط الأمطار أعلى من منحنى درجة الحرارة، فإن الفترة تكن رطبة وإذا لم تكن كذلك فهي جافة. وفقاً للمخطط اومبروترميك المطبق على منطقة المسيلة، الشكل (6.4) نلاحظ أن منطقة المسيلة جاف عملياً خلال معظم شهور السنة، ماعدا شهري جانفي وديسمبر وهما عادي إلى رطب.

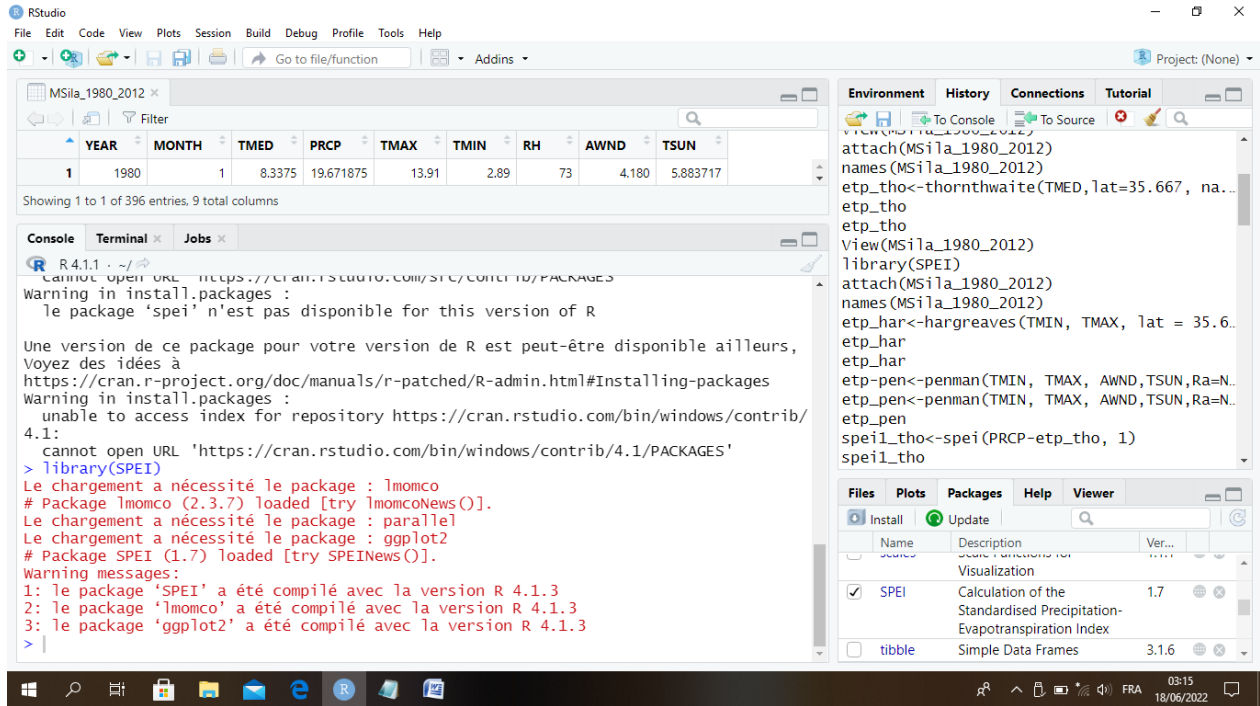


الشكل (6.4): رسم بياني لمخطط اومبروترميك GAUSSEN لمنطقة مسيلة خلال الفترة 1980 – 2012.

3.4- دراسة تأثير طريقة حساب النتح التبخري (Evapotranspiration) على مؤشر الجفاف SPEI:

في دراستنا لتحديد تأثير مؤشر الجفاف SPEI بطريقة حساب النتح التبخري، قمنا باستعمال البرنامج الإحصائي R، الذي يوفر أداة جاهزة لحساب المؤشر وبالطرق الثلاث.

1.3.4- الأداة المستعملة لغة R :



الشكل (7.4) شاشة مصورة لبرنامج R

البرنامج الإحصائي **R**، هو واحد من أشهر البرامج الإحصائية، هذا البرنامج يعتمد على لغة البرمجة **R**، تم إنشاؤه بواسطة زملاء في جامعة أوكلاند بنيوزيلندا، روبرت جنتلمان وجورج إهاكا. في عام 1993 كانت انطلاقة هذا البرنامج بأنه مجاني (مفتوح المصدر).

البرنامج الإحصائي **R** هو برنامج يسمح ببناء البرامج والتطبيقات الإحصائية، كذلك هذا البرنامج يحوي تشكيلة واسعة من التطبيقات الإحصائية مثل الانحدار الخطي وغير الخطي، واختبارات الفروض الإحصائي، وهناك العديد من الحزم المتخصصة والتي يمكن تحميلها على البرنامج لكي يمكن استخدامها، هذه الحزم تغطي معظم الأساليب الإحصائية وبشكل متخصص ودقيق جدا، يتم تثبيت الحزم الأساسية مباشرة. [10]

2.3.4- ميزات برنامج R :

- مجاني
- يمتلك واجهة لغة **HTML** مما يساعد على تنفيذ الأوامر البرمجية بسهولة

3.3.4- عيوب برنامج R :

- إجراء التحليل يكون بكتابة الأوامر فقط ولذلك فهو يتطلب بعض المعرفة بلغات البرمجة.
- يمثل منافسا بالنسبة للشركات الكبيرة نظرا لكونه مفتوح المصدر، إذا يمكن استخدامه بحرية وتغييره ومشاركته من قبل أي شخص. [10]

4.3.4- حزمة SPEI في برنامج R :

و هي مجموعة من الوظائف لحساب التبخر المحتمل والعديد من مؤشرات الجفاف المستخدمة على نطاق واسع بما في ذلك المؤشر المعياري للتساقط (SPI: Standarized Precipitaion Index) والمؤشر المعياري للتساقط و النتح التبخري (SPEI : Standarized Precipitaion – Evapotranspiration Index).

4.4-دراسة مقارنة مؤشر الجفاف:

1.4.4- تقليص الأزمنة: تم تقليص الأزمنة الفردية الشهرية (1، 3، 6، 9، 12) إلى ثلاث فئات:

➤ **الفئة الأولى:** متوسط قيم المؤشر للأزمنة 1 و 3. و هي تمثل المدى القصير لظاهرة الجفاف أو ما يسمى بالجفاف الجوي (METEOROLOGICAL DROUGHT).

➤ **الفئة الثانية:** قيم المؤشر لفترة 6 أشهر. و هي تمثل المدى المتوسط لظاهرة الجفاف أو ما يسمى بالجفاف الزراعي (AGRICULTURE DROUGHT).

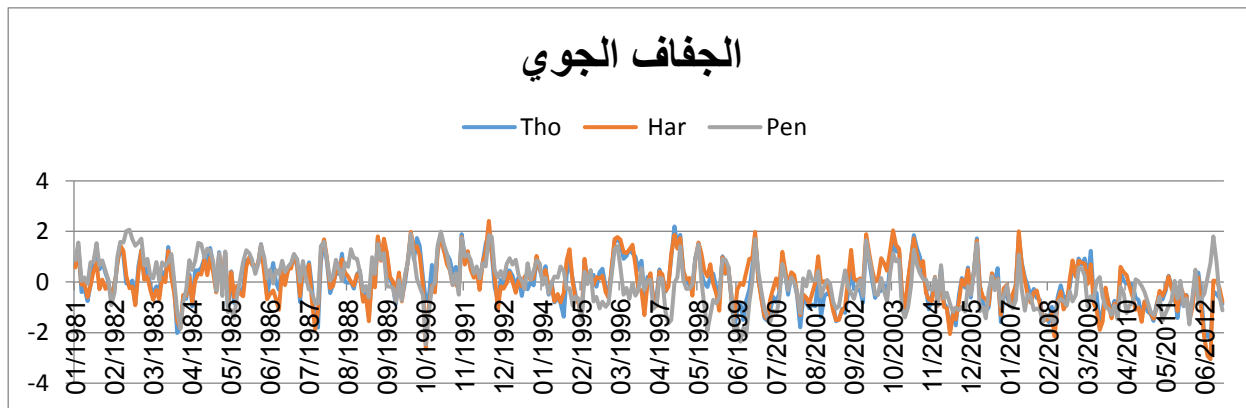
➤ **الفئة الثالثة:** متوسط قيم المؤشر للأزمنة 9 و 12. و هي تمثل المدى الطويل لظاهرة الجفاف أو ما يسمى بالجفاف الهيدرولوجي (HYDROGICAL DROUGHT).

الرسومات التالية (8.4)، (9.4) و (10.4) تمثل التغير الزمني لفئات الجفاف الثلاث (الجوي، الزراعي و الهيدرولوجي) على أساس طرق حساب النتح التبخري:

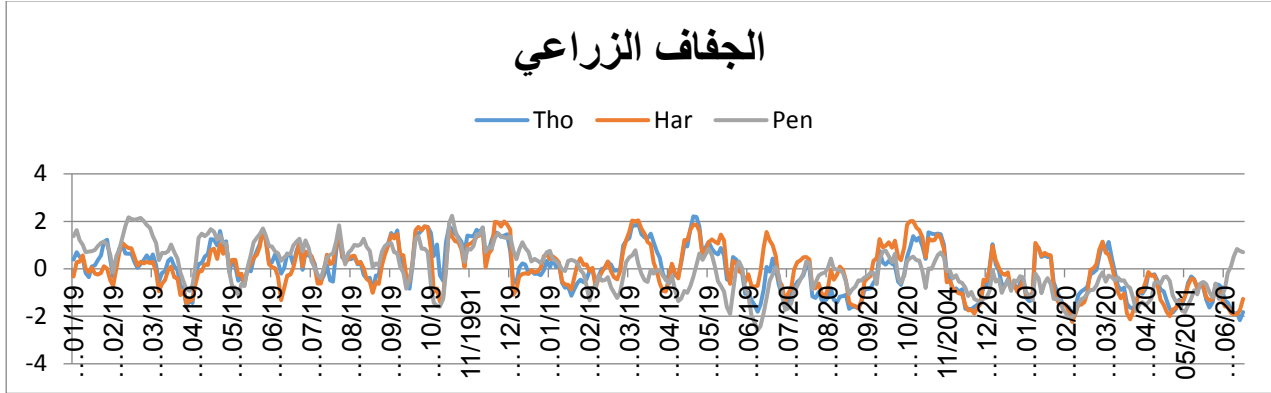
1. Thornthwaite (Tho)

2. HHargreaves (Har)

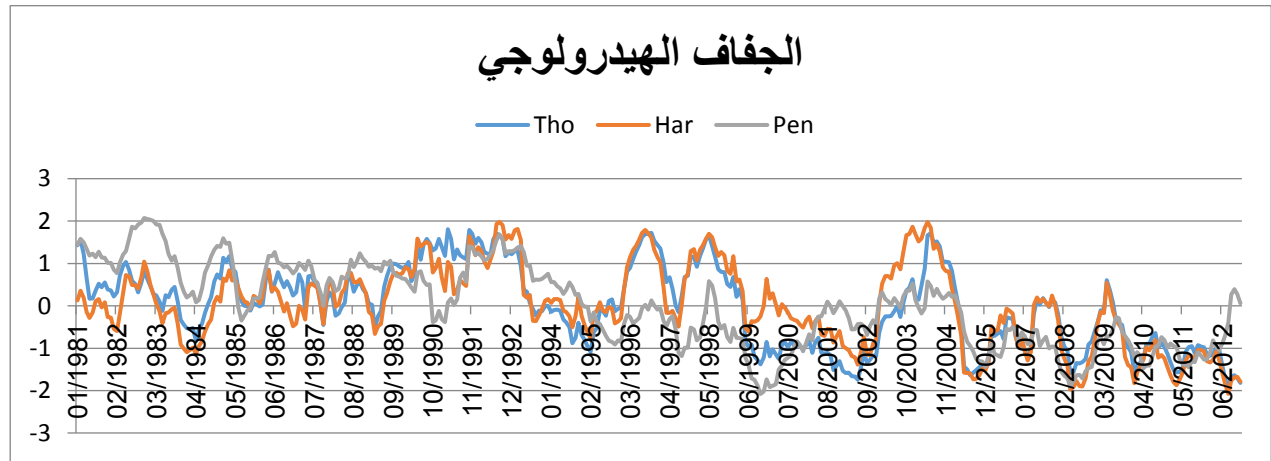
3. Penman (Pen)



الشكل (8.4): الجفاف الجوي على أساس طرق حساب النتح التبخري الثلاث، المسيلة (1980 – 2012)



الشكل (9.4): الجفاف الزراعي على أساس طرق حساب النتح التبخري الثلاث، المسيلة (1980 – 2012)



الشكل (10.4): الجفاف الهيدرولوجي على أساس طرق حساب النتح التبخري الثلاث، المسيلة (1980 – 2012)

5.4- دراسة الترابط بين أنواع الجفاف:

تبين الجداول التالية معاملات الترابط بين فئات الجفاف (الجوي، الزراعي، الهيدرولوجي)

جدول (3.4): معامل الترابط لفئة الجفاف الجوي على أساس طرق حساب النتح التبخري، المسيلة (1980 – 2012)

Pen	Har	Tho	الجفاف الجوي
0,65	0,91	1	Tho
0,59	1	0,91	Har
1	0,59	0,65	Pen

- نلاحظ أن Tho يتوافق بشكل كبير مع Har (0,91) مقارنة مع Pen (0,65)

- نلاحظ أن Har يتوافق بشكل كبير مع Tho (0,91) مقارنة مع Pen (0,59)

الفصل الرابع: دراسة تأثير طريقة حساب النتح التبخري على مؤشر الجفاف

- نلاحظ أن Pen يتوافق بشكل متوسط مع Tho (0,65) مقارنة مع Har (0,59)

جدول (4.4): معامل الترابط لفئة الجفاف الزراعي على أساس طرق حساب النتح التبخري، المسيلة (1980 – 2012)

الجفاف الزراعي	Tho	Har	Pen
Tho	1	0,89	0,61
Har	0,89	1	0,54
Pen	0,61	0,54	1

- نلاحظ أن Tho يتوافق بشكل كبير مع Har (0,89) مقارنة مع Pen (0,61)

- نلاحظ أن Har يتوافق بشكل كبير مع Tho (0,89) مقارنة مع Pen (0,54)

- نلاحظ أن Pen يتوافق بشكل متوسط مع Tho (0,61) مقارنة مع Har (0,54)

جدول (5.4): معامل الترابط لفئة الجفاف الهيدرولوجي على أساس طرق حساب النتح التبخري، المسيلة (1980 – 2012)

الجفاف الهيدرولوجي	Tho	Har	Pen
Tho	1	0,88	0,61
Har	0,88	1	0,49
Pen	0,61	0,49	1

- نلاحظ أن Tho يتوافق بشكل كبير مع Har (0,88) مقارنة مع Pen (0,61)

- نلاحظ أن Har يتوافق بشكل كبير مع Tho (0,88) مقارنة مع Pen (0,49)

- نلاحظ أن Pen يتوافق بشكل متوسط مع Tho (0,61) مقارنة مع Har (0,49)

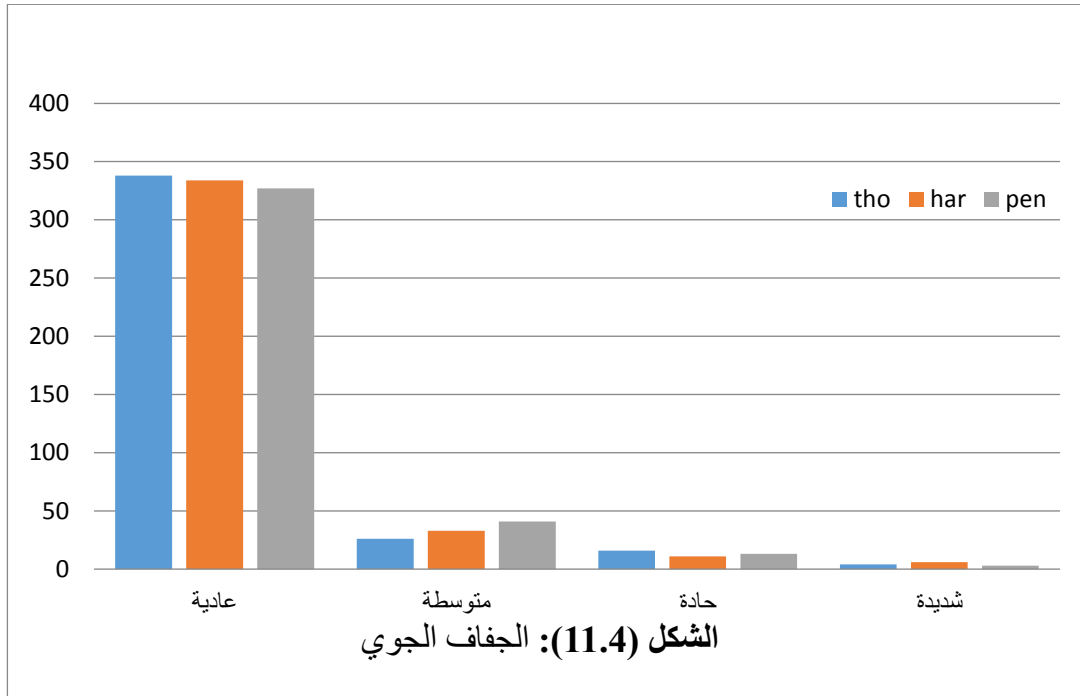
✓ من الجداول السابقة نستنتج أن أكبر معامل ارتباط هو بين طريقتي النتح التبخري Tho و Har وهذا بالنسبة للجفاف الجوي ثم الزراعي وأخيرا الهيدرولوجي على التوالي. كما نستنتج معامل ارتباط متوسط بين طريقة Pen و THO من جهة ، وبقيمة أقل منه بين Har و Pen وهذا بالنسبة للجفاف الجوي ثم الزراعي وأخيرا الهيدرولوجي على التوالي.

5.4-دراسة إحصائية بين فئات الجفاف:

لمعرفة الخطأ النسبي نستعمل هذه المعادلة:

$$((X-Y)/X)*100 \quad (2.4)$$

- الجفاف الجوي :



- لمعرفة مدى تقارب وتباين بين طرق النتح التبخري قمنا بحساب الخطأ النسبي بينهم وهي موضحة في الجداول التالية:

جدول (6.4): الخطأ النسبي بين طرق النتح التبخري بالنسبة للجفاف الجوي

Pen	Har	Tho	الخطأ النسبي (%)
27	10	1	Tho
31	1	11	Har
1	24	23	Pen

- نلاحظ تقارب كبير بين Tho و Har (11%) مقارنة مع Pen (23%).

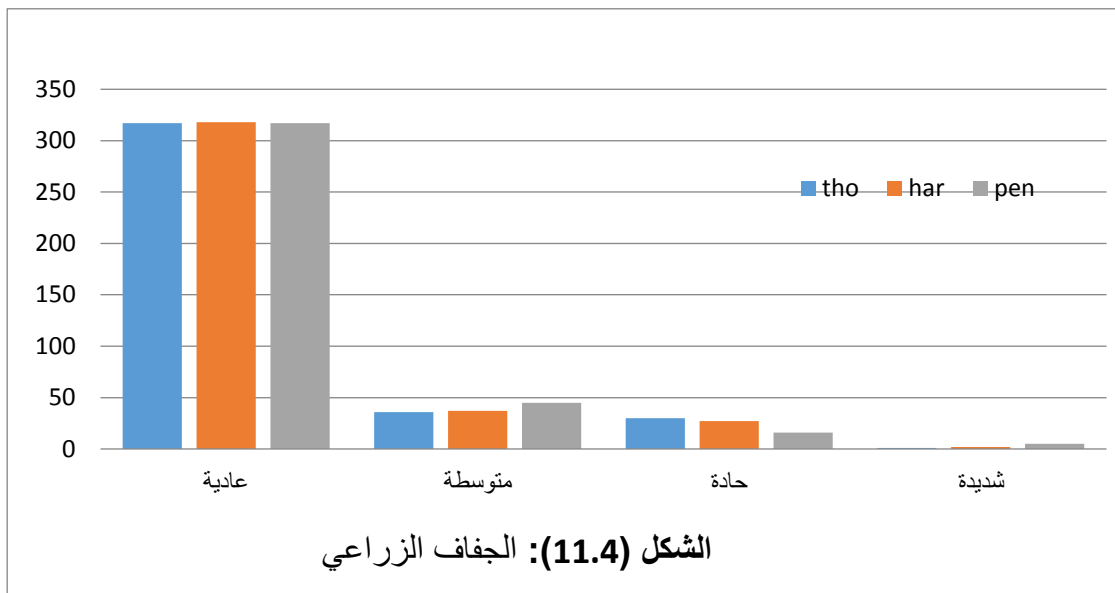
الفصل الرابع: دراسة تأثير طريقة حساب النتح التبخري على مؤشر الجفاف

- نلاحظ نفس التقارب بين Har و Tho (10%) مقارنة مع Pen (24%).

- نلاحظ تقارب متوسط بين Pen وكلا من Har و Tho (31%) (27%).

✓ بالنسبة للجفاف الجوي نستنتج تقارب كبير بين كلاً من Har و Tho (الخطأ النسبي بينهما في حدود 10%) في حين أن التقارب متوسط بين Pen وكلا من Har و Tho (الخطأ النسبي في حدود 30%).

✓ الجفاف الزراعي:



جدول (7.4): الخطأ النسبي بين طرق النتح التبخري بالنسبة للجفاف الزراعي

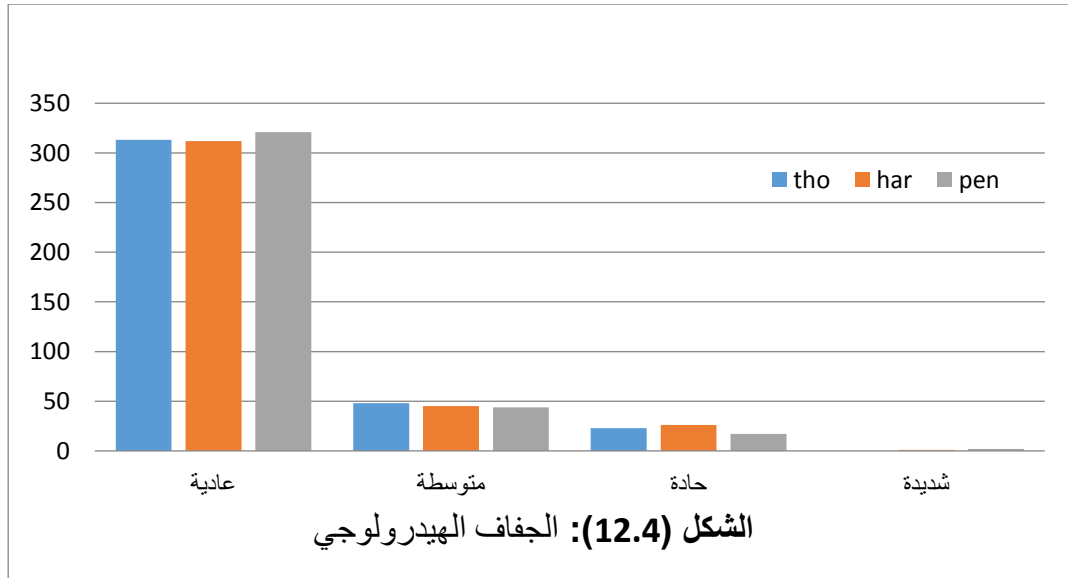
نلاحظ تقارب كبير بين Har و Tho (13%) مقارنة مع Pen (25%)

نلاحظ نفس التقارب بين Har و Tho (8%) مقارنة مع Pen (26%)

نلاحظ تقارب متوسط بين Pen وكلا من Har و Tho (30%) (27%)

✓ بالنسبة للجفاف الزراعي نستنتج تقارب كبير بين كلاً من Har و Tho (الخطأ النسبي بينهما في حدود 10%) في حين أن التقارب متوسط بين Pen وكلا من Har و Tho (الخطأ النسبي في حدود 30%)

- الجفاف الهيدرولوجي:



جدول (6.4): الخطأ النسبي بين طرق النتح التبخري بالنسبة للجفاف الهيدرولوجي

Pen	Har	Tho	الخطأ النسبي (%)
23	11	1	Tho
22	1	9	Har
1	50	21	Pen

نلاحظ تقارب كبير بين Tho و Har (9%) مقارنة مع Pen (21%).

نلاحظ نفس التقارب بين Tho و Har (11%) مقارنة مع Pen (50%).

نلاحظ تقارب متوسط بين Pen وكلا من Tho و Har (23%) (22%).

✓ بالنسبة للجفاف الهيدرولوجي نستنتج تقارب كبير بين كلا من Tho و Har (الخطأ النسبي بينهما في حدود 10%) في حين أن التقارب متوسط بين Pen وكلا من Tho و Har (الخطأ النسبي في حدود 21%)

الخاتمة العامة

خاتمة عامة:

يعتبر النتح التبخري خطوة مهمة في دورة الماء، إنه عملية نقل الرطوبة من الأرض إلى الغلاف الجوي من خلال تبخر الماء ونتاج النباتات. يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير طريقة حساب ثلاث طرق في إشارات مؤشر الجفاف (SPEI (Standardized Precipitation-Evaporation Index). الطرق الثلاث المختارة مدرجة في البرنامج الاحصائي R، و هي كما يلي: **Penman-FAO**، **Hargreaves**، **Thorntwaite** و **56**. طبقت الدراسة على منطقة المسيلة (الجزائر)، و التي امتدت خلال الفترة 1980 الى غاية 2012. قمنا بحساب مؤشر الجفاف SPEI بالنسبة للأشهر 1، 3، 6، 9، 12 و التي قلصناها الى ثلاث فئات. الفئة الأولى تمثل الجفاف الجوي (متوسط بين الأزمنة 1 و 3). الفئة الثانية تمثل الجفاف الزراعي (مثلها الزمن 6 أشهر). الفئة الثالثة تمثل الجفاف الهيدرولوجي (متوسط بين الأزمنة 9 و 12). كل فئة من الفئات الثلاث صنفت بدورها الى اربع حالات، و هي جفاف عادي، معتدل، شديد، وشديد جدا، كل حالة تمثل مجال من شدة الجفاف.

سمحت الدراسة أولا بمعرفة المناخ السائد في منطقة مسيلة، حيث تبين انها جافة عمليا خلال معظم شهور السنة، ماعدا شهري جانفي وديسمبر وهما عادي إلى رطب. أظهرت الدراسة توافق وترابط كبيرين بين مؤشرا الجفاف (SPEI(Torntwaite) و (SPEI(Hargreaves)، حيث ان الخطأ النسبي بينهما هو في حدود 10%. اما بالنسبة لمؤشر الجفاف (SPEI(Penman)، فان التقارب بينه وبين (SPEI(Torntwaite) فهو ترابط متوسط، وبشكل اقل منه بينه و بين (SPEI (Hargreaves)، حيث ان الخطأ النسبي بينهم يتراوح بين 20% و 30%.

مصادر ومراجع

المراجع والمصادر:

- [1] دورة الماء – ويكيبيديا (2022/6/6) <http://ar.m.wikipedia.org>
- [2] دورة الماء في الطبيعة – موضوع (2022/4/5) <http://mawdoo3.com>.
- [3] عبعبوب ربيعة، حميدة كوثر، ناقص محمد الطاهر، رصد ظاهرة الجفاف في موقع شبه جاف منطقة المسيلة، الجزائر باستخدام المؤشرات الوحدة (SPI , SPEI) ، مذكرة ماستر تخصص ارساد جوي، 2019.
- [4] المركز الوطني للجفاف، جامعة نبراسكا لينكولن، (الولايات المتحدة الأمريكية) كارلو شيرر.
- [5] سعد الله سليمة ، ناقص محمد الطاهر، تقدير التبخر المحتمل بطرق مختلفة .التطبيق غلى م وقع ذو مناخ صحراوي (تقرت - ورقلة) مذكرة ماستر تخصص أرساد جوية 2018.
- [6] حميد رجب الجنابي ، مفهوم التبخر / النتح والعوامل المؤثرة فيه وطرق قياسه.دراسات في علم المناخ.جامعة الأنبار ، قسم الجغرافية.
- [7] أحمد الصديق حياتي محاضرة أساسيات الطقس وحسابات التبخر جامعة هوهاي في الصين، مايو 2020. ص92
- [8] مفهوم التبخر – ويكيبيديا (2022/4/3) <http://ar.m.wikipedia.org>
- [9] عملية النتح –موضوع (2022/4/16) <http://mawdoo3.com>.
- [10] نظام التحليل الإحصائي <https://www.sea-stat.com>
- [11] مفهوم الجفاف –موضوع <http://mawdoo3.com>.
- [12] المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، 2016، كتيب المؤشرات ومؤشرات الجفاف، ص52.
- [13] عبد الوهاب بس، الهيدرولوجيا ، توزيع 2002، ص157.
- [14] فاليري بوورلي، النتحالتبخري، جامعة مونتبيل، 2011، ص23.

ملخص:

يعتبر التبخر عنصر أساسي في دورة الماء في الطبيعة، حيث ان طريقة تقدير النتح التبخري أساسية في تحديد دقة حساب مؤشرات الجفاف. في هذه الدراسة، استخدمنا مؤشر الجفاف SPEI (مؤشر التساقط والنتح التبخري القياسي)، المحسوب على أساس ثلاث طرق النتح التبخري: Hargreaves ، Thornthwaite ، Penman-Fao. طبقت الدراسة على منطقة المسيلة (الجزائر)، على امتداد الفترة بين 1980 و 2012. اظهرت الدراسة توافق وترابط كبيرين بين مؤشرا الجفاف SPEI(Thornthwaite) و SPEI(Hargreaves)، حيث ان الخطأ النسبي بينهما هو في حدود 10%. اما بالنسبة لمؤشر الجفاف SPEI(Penman)، فان التقارب بينه وبين SPEI(Thornthwaite) فهو ترابط متوسط، وبشكل اقل منه بينه وبين SPEI (Hargreaves)، حيث ان الخطأ النسبي بينهم يتراوح بين 20% و 30%.

الكلمات المفتاحية: النتح التبخري، مؤشر الجفاف SPEI، المسيلة (الجزائر).

Résumé :

L'évaporation est une composante essentielle du cycle de l'eau, et la méthode d'estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) est déterministe dans la précision des indices de sécheresse. Dans cette étude, nous avons utilisé l'indice SPEI (Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index), calculé sous la base de trois méthodes de calcul d'ETP : Thornthwaite, Hargreaves et Penman-Fao. L'étude a été appliquée sur la région de M'Sila (Algérie), au cours de la période comprise entre 1980 et 2012.

L'étude a montré une grande concordance et corrélation entre les indicateurs de sécheresse SPEI (Thornthwaite) et SPEI (Hargreaves), où l'erreur relative entre eux est inférieure à 10 %. Quant à l'indice de sécheresse SPEI (Penman), la convergence entre celui-ci et SPEI (Thornthwaite) est moyenne, et elle est moindre qu'entre lui et SPEI (Hargreaves), où l'erreur relative entre eux varie entre 20% et 30%

Mots clés : Evapotranspiration Potentiel, indice de sécheresse SPEI, M'Sila (Algérie).

Abstract:

Evaporation is an essential component of the water cycle, and the method of estimating potential evapotranspiration (PET) is deterministic in the accuracy of drought indices. In this study, we used the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI), calculated under three methods of calculating PET: Thornthwaite, Hargreaves and Penman-Fao. The study was applied on the region of M'Sila (Algeria), during the period between 1980 and 2012.

The study showed a high agreement and correlation between the drought indices SPEI (Thornthwaite) and SPEI (Hargreaves), where the relative error between them is less than 10%. As for the SPEI (Penman) drought index, the convergence between it and SPEI (Thornthwaite) is medium, and it is less than between it and SPEI (Hargreaves), where the relative error between them varies between 20% and 30%.

Keywords: Potential Evapotranspiration, SPEI drought index, M'Sila (Algeria).