

التنبؤ بالمواسم المطرية الرطبة والجافة في الموصل

باستخدام دليل المطر القياسي (SPI)

أ.م.د. بثينة عبد الجادر عبد العزيز/ قسم الاحصاء/ كلية الادارة والاقتصاد /
الجامعة المستنصرية

المستخلص

يعاني العراق نقصاً مستمراً في موارده المائية السطحية او الجوفية او التساقط لذا تعد دراسة التساقط المطري غاية في الاهمية لمعرفة اتجاهات الامطار في العراق ومنها الموصل وما ستكون عليه في المستقبل ومعرفة الفترات الرطبة والجافة وتحديد اماكنها وتوقع كمياتها مستقبلاً لاستثمار كل الطاقات للحفاظ على هذا المورد الحيوي وتأمين الامن المائي.

تناول البحث مسألة التنبؤ بالمواسم المطرية الرطبة والجافة في محطة الموصل باستخدام تقنية دليل المطر القياسي (SPI) المستخرج من تحويل توزيع كاما الى التوزيع الطبيعي القياسي ، واعتماداً على بيانات كميات الامطار الساقطة الشهرية (مم) للمدة من ١٩٤٠-٢٠١٣ . وقد اظهرت نتائج التحليل ان هناك ٣١ موسماً مطرياً رطباً ، و٤٢ موسماً مطرياً جافاً لعموم مدة الدراسة والبالغة ٧٣ موسم مطري . اما نتائج التنبؤ بكميات الامطار لمدة عشر سنوات لاحقة ابتداءً من ٢٠١٤ ولغاية ٢٠٢٣ فقد بينت ظهور خمسة مواسم مطرية رطبة، وخمسة مواسم مطرية جافة، على الرغم من ان الاتجاه العام للامطار في محطة الموصل يشير الى التناقص مع الزمن .

المصطلحات الرئيسية للبحث/ دليل المطر القياسي- توزيع كاما- طرائق التقدير- انموذج السلسلة

الزمنية الموسمية- المواسم المطرية- التنبؤ.



مجلة العلوم
الاقتصادية والإدارية
المجلد ٢١ العدد ٨٥
الصفحات ٣٨٤-٤٠٨

١- المقدمة

يعاني العراق نقصا مستمرا في موارده المائية عموما سواء كانت مياه سطحية او مياه جوفية او مياه التساقط لأسباب عديدة منها طبيعية واخرى ناتجة عن التدخل البشري سواء بسوء استخدام المتوفر من المياه او التدخل السياسي الخارجي في كمية الوارد من المياه السطحية والممثلة بالانهار الى العراق . ان الامطار في العراق تتناقص بدرجات متفاوتة بين اقاليمه الطبيعية من اقصى الشمال وحتى الجنوب . وتكمن المخاوف في احتمال استمرارية التناقص في كميات الامطار الساقطة مستقبلا ، واحتمالية زيادة معدلات التناقص الى حدود تصبح مقلقة ومحرجة .

تعد الامطار من العناصر المناخية شديدة الاهمية في تأثيرها على الانشطة الاقتصادية وعلى وجه الخصوص النشاط الزراعي ، ولاسيما في المناطق التي تعتمد زراعتها على مياه الامطار وبالدرجة الاساس في محافظة نينوى شمال العراق ، اذ تعد منطقة زراعة الحبوب زراعة ديمية مثل محصولي القمح والشعير . وتسقط الامطار في المدة الممتدة من شهر تشرين الاول في سنة معينة وتمتد حتى نهاية ايار بالسنة اللاحقة لها وبذلك تسمى هذه المدة (بالموسم المطري) .

ولغرض التنبؤ بكميات الامطار الساقطة لكل موسم مطري نستخدم احد الاساليب الاحصائية الواسعة التطبيق في المجالات الاقتصادية والانواع الجوية والتي هي نماذج بوكس-جنكز الموسمية ذات الرتب الدنيا . اذ تعد دراسة الامطار ذات اهمية متميزة في مجالات تطبيقية واسعة منها على سبيل المثال ، في الزراعة ، والفيضانات ، ومناسيب المياه في الانهار ، والاستخدامات الحضرية .

لذا تعد دراسة التساقط المطري غاية في الاهمية وما ستكون عليه في المستقبل، وكذلك معرفة المواسم او الفترات الرطبة والجافة وتحديدتها وامكانية توقعها وتوقع كمياتها مستقبلا لاستثمار كل الطاقات للحفاظ على هذا المورد الحيوي وتأمين الامن المائي، وان التنبؤ بفترات الزيادة او النقصان في الامطار يوفر للمعنيين بهذا المجال اتخاذ مايلزم لمواجهة فترات الجفاف القادمة، وتوفير اجراءات التكيف معها ما امكن .

٢-اهداف البحث

- 1-تحديد الاتجاه العام للامطار الساقطة في الموصل .
- ٢-احتساب الفترة الزمنية للمواسم الجافة والرطبة .
- ٣- التنبؤ بالمواسم المطرية الجافة والرطبة في الموصل .

٣-الجانب النظري

النماذج الموسمية (8) Seasonal models

تستخدم هذه النماذج لتمثيل السلاسل الزمنية الموسمية والتي تعيد سلوكيتها كل فترة زمنية محددة ويطلق عليها بالموسم ، ومنها نموذج الانحدار الذاتي الموسمي .



التنبؤ بالمواسم المطرية الرطبة والجافة في الموصل باستخدام دليل المطر القياسي (SPI)

١- نموذج الانحدار الذاتي الموسمي Seasonal autoregressive model

ان نموذج الانحدار الذاتي الموسمي من الرتبة الاولى والذي يرمز له بالرمز SAR(1) والذي تكتب معادلته بالشكل الاتي:-

$$Z_t = \phi_{1s} Z_{t-1s} + a_t \quad \dots\dots\dots 1$$

اذا ان Z_t تمثل قيم السلسلة الزمنية بالانحرافات و a_t تمثل التشويش الابيض white noise ذات وسط حسابي صفر وتباين σ^2 ولتحقيق شرط الاستقرار فان $|\phi_{1s}| < 1$

وان الدالة المولدة للتباينات المشتركة Autocovariance generating function⁽⁸⁾ لهذا الانموذج هي:-

$$\gamma(B) = \sigma^2 \psi(B) \psi(B^{-1}) \quad \dots\dots\dots 2$$

التباين والتباين المشترك من الدالة

لهذا ينبغي كتابة الانموذج بصيغة الاخطاء العشوائية كما في المعادلة الاتية:-

$$Z_t = \frac{1}{(1 - \phi_{1s} B^s)} a_t \quad \dots\dots\dots 3$$

وعليه فان الدالة المولدة له تكون كالآتي:-

$$\gamma(B) = \sigma^2 \frac{1}{(1 - \phi_{1s} B^s)} * \frac{1}{(1 - \phi_{1s} B^{-s})} \quad \dots\dots\dots 4$$

اذ ان

$$\psi(B) = \frac{1}{(1 - \phi_{1s} B^s)} \quad \dots\dots\dots 5$$

اذ تمكن الباحث من اشتقاق التباين

والتباين المشترك للازاحات ks من

الدالة المولدة بدلا من اخذ التوقع (E) للمعادلة (1) بعد ضربها ب Z_{t-s} .

$$\gamma_0 = \sigma^2 (1 + \phi_{1s}^2 + \phi_{1s}^4 + \phi_{1s}^6 + \dots\dots\dots) \quad \dots\dots\dots 6$$

وهو يمثل الحدود الخالية من B^s والتي تنتج من حاصل ضرب مفكوك المتواليتين الهندستين في المعادلة

(4) كما في المعادلة (6) والتي هي بدورها تمثل مفكوك المتوالية الهندسية الاتية:-

$$\gamma_0 = \sigma^2 \frac{1}{(1 - \phi_{1s}^2)} \quad \dots\dots\dots 7$$

وعند اخذ معاملات B^s للمعادلة (4) بعد عملية ضرب مفكوك المتواليتين الهندستين فالتباين المشترك عند

الازاحة (1s) هو:-

$$\gamma_{1s} = \sigma^2 (\phi_{1s} + \phi_{1s}^3 + \phi_{1s}^5 + \phi_{1s}^7 + \dots\dots\dots) \quad \dots\dots\dots 8$$

وعند استخراج المعلمة (ϕ_{1s}) كعامل مشترك فالنتيجة ستكون متوالية هندسية:-

$$\gamma_{1s} = \sigma^2 \frac{\phi_{1s}}{(1 - \phi_{1s}^2)} = \phi_{1s} \gamma_0 \quad \dots\dots\dots 9$$

وعند اخذ معاملات B^{2S} واتباع الاجراء نفسه فان التباين المشترك عند الازاحة (2S) هو:-

$$\gamma_{2S} = \sigma^2 \frac{\phi_{1S}^2}{(1 - \phi_{1S}^2)} = \phi_{1S}^2 \gamma_0 \quad \dots\dots\dots 10$$

وعليه فان التباين المشترك عند الازاحة (KS) هو:-

$$\gamma_{KS} = \sigma^2 \frac{\phi_{1S}^K}{(1 - \phi_{1S}^2)} = \phi_{1S}^K \gamma_0 \quad K = 1,2,3,\dots\dots\dots 11$$

وعليه فان دالة الارتباط الذاتي لانموذج SAR(1) ستكون بالشكل الاتي:-

$$\rho_{ks} = \left\{ \begin{array}{l} \gamma_{ks} = \phi_{1S}^k \quad k = 1,2,3,4,\dots\dots\dots \\ \gamma_0 \\ 0 \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots 12$$

اذ فان هذه الدالة تتناقص اسيا عند الازاحات ks و k تاخذ القيم، 1، 2، 3، 4،

اما دالة الارتباط الذاتي الجزئي للانموذج التي تستخرج من المعادلة الاتية :-

$$\rho_j = \phi_{k1}\rho_{j-1} + \phi_{k2}\rho_{j-2} + \dots\dots\dots + \phi_{kk}\rho_{j-k} \quad j = 1,2,\dots\dots\dots k \quad \dots\dots\dots 13$$

بعد التعويض بمعاملات الارتباط الذاتي المستخرجة المذكور انفا فان:-

$$\phi_{kk} = \left\{ \begin{array}{l} \rho_{ks} \\ 0 \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} k = s \\ o.w \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots 14$$

اي انها تنقطع بعد الازاحة (1s) اذ ان 1 يمثل رتبة الانموذج

مراحل بناء انموذج الانحدار الذاتي الموسمي⁽⁸⁾

ان مراحل بناء نموذج الانحدار الذاتي الموسمي لا تختلف عن مراحل بناء النماذج غير الموسمية والمتمثلة:-

1- التشخيص Identification

اذ يتم تشخيص انموذج الانحدار الذاتي الموسمي من الرتبة الاولى من خلال دالتي الارتباط الذاتي التي تتناقص اسيا عند الازاحات ks و k ياخذ القيم 1 و 2 و 3..... ودالة الارتباط الذاتي الجزئي التي تنقطع بعد الازاحة الموسمية الاولى (1s).

2- التقدير Estimation

لتقدير معلمة الانموذج بالامكان استخدام عدة طرائق اهمها طريقة الامكان الاعظم التامة

دالة الامكان التامة Exact Likelihood function

استطاع الباحث من تمديد طريقة الامكان الاعظم التامة والمستخدم لتقدير معلمات انموذج الانحدار الذاتي غير الموسمي من الرتبة p والمشتقة من قبل Box-Jenkins الى حالة انموذج الانحدار الذاتي الموسمي من الرتبة الاولى.

ان دالة المشاهدات $(Z_n, Z_{n-1}, \dots, Z_2, Z_1)$ التي تتوزع توزيع طبيعي بوسط حسابي يساوي متجه صفري ومصفوفة التباين والتباين المشترك Γ_n هي:-

$$L(Z_1, Z_2, \dots, Z_n | \phi_{1s}, \sigma^2) = (2\pi\sigma^2)^{-\frac{n}{2}} |M|^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} Z'MZ\right\} \dots\dots\dots 15$$

اذ ان المصفوفة M هي

$$M = \sigma^2 \Gamma_n^{-1} \dots\dots\dots 16$$

ويفرض ان متجه المشاهدات قد جزء على جزئين

$$Z' = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_s \quad Z_{s+1}, Z_{s+2}, \dots, Z_n\} \dots\dots\dots 17$$

فان

$$L(Z_1, Z_2, \dots, Z_n | \phi_{1s}, \sigma^2) = L(Z_{s+1}, Z_{s+2}, \dots, Z_n | Z_s, \phi_{1s}, \sigma^2) * L(Z_s, \phi_{1s}, \sigma^2) \dots\dots\dots 18$$

اذ ان

$$Z'_s = (Z_1, \dots, Z_s) \dots\dots\dots 19$$

فان الدالة لهذه المشاهدات هي:-

$$L(Z_s | \phi_{1s}, \sigma^2) = (2\pi\sigma^2)^{-\frac{s}{2}} |M_s|^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{\frac{-1}{2\sigma^2} Z'_s M_s Z'_s\right\} \dots\dots\dots 20$$

اذ ان المصفوفة M_s تعرف بالشكل الاتي:-

$$M_s = \sigma^2 \begin{pmatrix} \gamma_0 & \gamma_1 & \gamma_2 & \gamma_{s-1} \\ \gamma_1 & \gamma_0 & \gamma_1 & \gamma_{s-2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma_{s-1} & \dots & \dots & \gamma_0 \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} (1-\phi_{1s}^2) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & (1-\phi_{1s}^2) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & (1-\phi_{1s}^2) \end{pmatrix} \dots\dots\dots 21$$

بعد التعويض عن التباين بموجب المعادلة (7) والتباينات المشتركة بصفر عند الازاحات اقل من S وعليه فان

المعادلة (20) تصبح بالشكل الاتي:-

$$L(Z_s | \phi_{1s}, \sigma^2) = (2\pi\sigma^2)^{-\frac{s}{2}} (1-\phi_{1s}^2)^{\frac{s}{2}} \exp\left\{\frac{-1}{2\sigma^2} (1-\phi_{1s}^2) \sum_{t=1}^s Z_t^2\right\} \dots\dots\dots 22$$

اما دالة المشاهدات للجزء الثاني من المتجه Z_t فتستخرج كالاتي:-

ان الاخطاء العشوائية a_{s+1}, \dots, a_n تكون مرتبطة مع مشاهدات المتجه Z_t بموجب المعادلة الاتية على

فرض ان الجزء الاول من المتجه Z_t ثابت :-

$$a_t = Z_t - \phi_{1s} Z_{t-s} \quad t = s+1, \dots, n \dots\dots\dots 23$$

$$L(Z_{s+1}, \dots, Z_n | Z_s, \phi_{1s}, \sigma^2) = L(a_{s+1}, \dots, a_n) * |J| \quad \dots\dots\dots 24$$

اذ ان الاخطاء تتوزع توزيع طبيعي بوسط حسابي صفر وتباين ثابت σ^2 فان دالة الإمكان له هي:-

$$L(a_{s+1}, \dots, a_n) = (2\pi\sigma^2)^{\frac{-(n-s)}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=s+1}^n a_t^2\right\} \quad \dots\dots\dots 25$$

فان

$$L(Z_{s+1}, \dots, Z_n | Z_s, \phi_{1s}, \sigma^2) = (2\tau\sigma^2)^{\frac{-(n-s)}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=s+1}^n (Z_t - \phi_{1s}Z_{t-s})^2\right\} \quad \dots\dots\dots 26$$

اذ ان $|J|=1$ وعليه فان دالة الإمكان لجميع المشاهدات على وفق المعادلة (18) ستكون بالشكل الآتي:-

$$L(Z_1, \dots, Z_n | \phi_{1s}, \sigma^2) = (2\tau\sigma^2)^{\frac{-n}{2}} (1 - \phi_{1s}^2)^{\frac{s}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \left((1 - \phi_{1s}^2) \sum_{t=1}^s Z_t^2 + \sum_{t=s+1}^n (Z_t - \phi_{1s}Z_{t-s})^2 \right)\right\} \quad \dots\dots\dots 27$$

وعند اخذ اللوغاريتم الطبيعي للطرفين والتفاضل الجزئي الى LnL بالنسبة للمعلمة ϕ_{1s} ومساواته بالصفر نحصل على:-

$$\frac{-s\hat{\phi}_{1s}}{(1 - \hat{\phi}_{1s}^2)} + \frac{1}{\hat{\sigma}^2} \left[\hat{\phi}_{1s} \sum_{t=1}^s Z_t^2 + \sum_{t=s+1}^n Z_t Z_{t-s} - \hat{\phi}_{1s} \sum_{t=s+1}^n Z_{t-s}^2 \right] = 0 \quad \dots\dots\dots 28$$

وبعد ضرب طرفي المعادلة المذكورة انفا ب σ^2 فان الحد الاول بدون s سيمثل التباين المشترك المقدر عند الازاحة 1s وبالتعويض عنه بما يساويه

$$\hat{\gamma}_{1s} = \sum_{t=s+1}^n Z_t Z_{t-s} / n \quad \dots\dots\dots 29$$

فان المعادلة 28 ستكون بالشكل الآتي:-

$$-s \left(\sum_{t=s+1}^n Z_t Z_{t-s} / n \right) + \left[\hat{\phi}_{1s} \sum_{t=1}^s Z_t^2 + \sum_{t=s+1}^n Z_t Z_{t-s} - \hat{\phi}_{1s} \sum_{t=1}^s Z_t^2 - \hat{\phi}_{1s} \sum_{t=2s+1}^n Z_t^2 \right] = 0 \quad \dots\dots\dots 30$$

وعليه فان تقدير المعلمة ستكون وفق الصيغة الآتية

$$\hat{\phi}_{1s} = \frac{\sum_{t=s+1}^n Z_t Z_{t-s}}{\sum_{t=2s+1}^n Z_{t-s}^2} * \left(\frac{n-s}{n} \right) \quad \dots\dots\dots 31$$

اذ ان متجه المشاهدات يمثل انحراف القيم عن وسطها الحسابي وعند التعويض عنها فان الصيغة ستكون كما هو ات:-

$$\hat{\phi}_{1,S} = \frac{\sum_{t=s+1}^n (Z_t - \bar{Z})(Z_{t-s} - \bar{Z})}{\sum_{t=2s+1}^n (Z_{t-s} - \bar{Z})^2} * \left(\frac{n-s}{n}\right) \quad \dots\dots\dots 32$$

3- تدقيق صحة تشخيص النموذج⁽⁸⁾ Diagnostic checking for the model

بعد ان يتم تشخيص الانموذج وتقدير معلمته تاتي مرحلة تدقيق التشخيص ويتم باختبار فرضية العدم التي تنص على ان الاخطاء a_t متغيرات عشوائية غير مترابطة ضد الفرضية البديلة انها متغيرات مترابطة باستخدام الاحصاء Q^* المعرفة بالشكل الاتي:-

$$Q^* = n(n+2) \sum_{k=1}^m (n-k)^{-1} \hat{\rho}_{at}^2(k) \quad , m = \sqrt{n} \quad \dots\dots\dots 33$$

ان الاحصاء المذكورة انفا تتوزع توزيع مربع كاي فاذا كانت القيمة المستخرجة للاحصاء اقل من قيمة مربع كاي الجدولة بدرجة حرية m وبمستوى معنوية معين تقبل الفرضية وعليه فان الانموذج جيد في تمثيل البيانات اما اذا كانت اكبر ينبغي العودة الى المرحلة الاولى لاعادة تشخيص الانموذج وتقدير معلمته ومن ثم اختباره.

4- التنبؤ⁽⁸⁾ Forecasting

بعد ان تم تشخيص الانموذج وتقدير معلمته واختباره يصبح جاهزا لحساب القيم المستقبلية للسلسلة الزمنية ويكون التنبؤ بالاعتماد على التوقع الشرطي اذ ان القيمة المستقبلية هي:-

$$\hat{Z}_t^{(L)} = EZ(t+L) = E(Z_t | Z_1, Z_2, \dots, Z_n) \quad \dots\dots\dots 34$$

وبعد ان يتم التنبؤ بكميات الامطار الساقطة كما في الجانب التطبيقي يمكن استخدام تقنية دليل المطر القياسي Standard Precipitation Index ، والذي يرمز له (SPI) لتحديد هل ان الموسم المطري رطب ام جاف. ويعد دليل المطر القياسي من التقنيات الحديثة لتحديد المواسم الرطبة والجافة لأي مكان في العالم ، وله اهمية كبيرة في دراسة موردا طبيعيا شديد الأهمية وهو الماء. وسيكون تأكيد البحث على كمية الامطار الساقطة في محطة الموصل وليست جميع مظاهر التساقط (الذي يشمل الثلج والبرد والمطر) ولذلك سيكون SPI دليل المطر القياسي .

وقد اهتم الكثير من الباحثين في مجال الانواء الجوية ، وفي المناخ بدراسة هذه التقنية وتطويرها والوصول الى نتائج وحقائق مقارنة للواقع الفعلي . ووردت اول إشارة لـ SPI عام 1993 وتعود الى الباحث T.Mckee⁽⁵⁾، اذ استخدمه لعدة مقاييس زمنية للامطار اذ انه بالإمكان ان يحدد هذا المقياس ظهور مواسم مطرية رطبة واخرى جافة، وبذا فانه يقدم اندازا مبكرا بالجفاف ويساعد بذلك على تجاوز هذا الموسم او المواسم الجافة (فترة جافة) واخذ الحيطة والحذر والاستعداد له مبكرا .

وقد اوضح Mckee ان فترة الجفاف تحدث عندما تستمر قيم SPI سالبة وتصل الى اشدّها عند -1 فاقل ، وتنتهي فترة الجفاف عندما تصبح قيم SPI موجبة . وتتطلب حسابات SPI ان تكون الفترة المطلوبة للدراسة 30 سنة على الاقل⁽⁵⁾ .

ويعد SPI⁽⁶⁾ اداة مهمة جدا لانها تساعد على معرفة وتحديد مواسم الرطوبة والجفاف وكذلك الفترة التي تستمر بها هذه الفترات (اي امتدادها الزمني) . ومن المعروف ان نقص الامطار له تاثير في خصائص التربة ، وخصائص المياه الجوفية والمياه السطحية عموما ، اذ يمكن استخدام هذه التقنية لتحليل رطوبة التربة باعتماد الفترات الزمنية القصيرة للامطار ، في حين تحتاج تحاليل تصاريح الانهار ، ومناسيب المياه الجوفية ، وحجم الخزين المائي في الخزانات المائية الى فترات زمنية طويلة للامطار .

وكما يمكن الاستفادة من دليل المطر القياسي في متابعة تاثيرات التغيرات المناخية في اي موقع في العالم بالاعتماد على السجلات المطرية ، حيث توضح هذه القيم حقائق فترات الرطوبة والجفاف لأية محطة ، كما ويمكن ملاحظة اي تغير غير طبيعي في خصائص المطر مثل انخفاض كمية الامطار الساقطة وسوء توزيعها خلال الموسم المطري، اضافة الى تأخر الموسم المطري ، وزيادة تكرار دورات الجفاف مما يعطي استنتاجا بوجود تغير مناخي في ذلك الموقع من العالم او العكس .

وقد صنف Mckee⁽⁶⁾ قيم SPI الى ثمانية اصناف تصف حالة المطر او صفة الموسم المطري ما بين الجفاف بدرجات وبين الرطوبة بدرجات مختلفة ايضا ، كما يوضح ذلك جدول (1) .

جدول (1) تصنيف قيم SPI لاي محطة مطرية مفترضة

التصنيف	قيم SPI
شديد الرطوبة جدا	≥ 2
شديد الرطوبة	1.5 الى 1.99
متوسط الرطوبة	1 الى 1.49
معتدل الرطوبة	0 الى 0.99
جاف معتدل	0 الى -0.99
جاف متوسط	-1 الى -1.49
شديد الجفاف	-1.5 الى -1.99
شديد الجفاف جدا	≤ -2

م: (5)

حساب قيم دليل المطر القياسي (Standardized precipitation index) (SPI)

يمكن ايجاد قيم دليل المطر القياسي SPI بطريقتين :-

١- الدرجة المعيارية

استخدم Mckee وآخرون^(٥) وكذلك yild^(٩) الدرجة المعيارية لحساب قيم دليل المطر القياسي اذ

$$SPI = (X_i - \bar{X}) / S_x \quad \dots\dots\dots 35$$

Xi: تمثل مجموع المطر للشهر و \bar{X} الوسط الحسابي و S_x يمثل الانحراف المعياري , وقد اعتبر الباحث Mckee ان القيم الموجبة لقيم SPI المستخرجة على وفق المعادلة المذكور انفا تمثل الفترات المطرية الرطبة وعليه فان الفرق بين قيمة المطر الفعلي ومعدل المطر تمثل الزيادة المطرية precipitation surplus بينما تمثل القيم السالبة للدليل الفترات الجافة لذا فان الفرق بين قيمة المطر الفعلي ومعدل المطر يمثل العجز المطري deficit.precipitation ومن ثم الاستعانة بالجدول (١) لتحديد اصناف هذه الفترات.^(٥)

٢-توزيع غاما^(٢) Gamma Distribution

ان توزيع غاما له تطبيق واسع في الانواء الجوية فمثلا يستخدم لوصف توزيع الامطار خلال فترة زمنية (يوم، اسبوع، شهر).

ان الدالة الاحتمالية لهذا التوزيع تعرف بالشكل الاتي^(٢):-

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} X^{\alpha-1} e^{-X/\beta} \quad X > 0, \beta > 0, \alpha > 0 \quad \dots\dots\dots 36$$

اذ ان

β تمثل معلمة القياس α (Scale parameter) تمثل معلمة الشكل (Shape parameter) و Γ دالة غاما. ان العزوم الرائية حول الصفر لتوزيع غاما^(٧) هي:-

$$m'r = \beta' \alpha (\alpha + 1) \dots\dots\dots (\alpha + r - 1) \dots\dots\dots 37$$

فالعزم الاول هو $m'1 = \beta \alpha$ اما العزوم الرائية حول الوسط الحسابي فهي:-

$$mr = E(X - EX)^r \quad \dots\dots\dots 38$$

$$m2 = EX^2 - (EX)^2 = \beta^2 \alpha (\alpha + 1) - (\beta \alpha)^2 = \sigma^2 \quad \dots\dots\dots 39$$

ان العزم الثاني هو: اما معامل الالتواء لهذا التوزيع فهو $\gamma = 4/\alpha$ وعندما تزداد قيمة α فان معامل الالتواء سيؤول للصفر اما الدالة التراكمية^(٢) فهي

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x X^{\alpha-1} e^{-X/\beta} dx \quad \dots\dots\dots 40$$

ولحساب هذه الدالة ينبغي معرفة قيمة كل من α و β

تقدير معلمات توزيع غاما

ان المسألة الرئيسية الاحصائية عند استخدام توزيع غاما في التطبيق لبيانات مناخية يتطلب تقدير كل من قيمة α و β وهناك عدة طرائق لتقدير معلمات

هذا التوزيع منها طريقة العزوم (Moment method) (3) اذ ان:

$$\hat{\alpha} = \frac{(EX)^2}{EX^2 - (EX)^2} = \frac{(\bar{X})^2}{\sum X_i^2 / n - \bar{X}^2} \dots\dots\dots 41$$

$$\hat{\beta} = \frac{EX}{\hat{\alpha}} = \frac{\sum X_i^2 / n - \bar{X}^2}{\bar{X}} \dots\dots\dots 42$$

اما في طريقة الامكان الاعظم (The Maximum Likelihood Method) فان دالة الامكان تعرف بالشكل الاتي:

$$L = \prod_i^n f(x_i, \beta, \alpha) \dots\dots\dots 43$$

وياخذ اللوغاريتم الطبيعي لهذه الدالة (4) ينتج :-

$$LnL = \sum_{i=1}^n Ln f(x_i, \beta, \alpha) = -n\alpha Ln\beta - nLn\Gamma(\alpha) + (\alpha - 1) \sum_{i=1}^n LnXi - \frac{1}{\beta} \sum_{i=1}^n Xi \dots\dots\dots 44$$

وبالتفاضل الجزئي للمعادلة (44) بالنسبة للمعلمة β نحصل على:

$$\partial LnL / \partial \beta = -\frac{n\alpha}{\beta} + \frac{1}{\beta^2} \sum_{i=1}^n Xi \dots\dots\dots 45$$

ويجعل الطرف الايسر يساوي صفر نحصل على المقدر للمعلمة β

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{X}}{\hat{\alpha}} \dots\dots\dots 46$$

وعند التفاضل الجزئي للمعادلة (44) بالنسبة للمعلمة α ينتج

$$\partial LnL / \partial \alpha = -nLn\beta - n \frac{\Gamma' \alpha}{\Gamma \alpha} + \sum_{i=1}^n LnXi \dots\dots\dots 47$$

وقد اطلق الباحث Thom (1) على $\partial Ln\Gamma \alpha / \partial \alpha$ بـ digamma function ويرمز لها بالرمز $\Psi(\hat{\alpha})$ وقد عبر Thom (2) عنها بالمقدار:

$$\Psi(\hat{\alpha}) = Ln\hat{\alpha} - \frac{1}{2\hat{\alpha}} - \sum_{k=1}^m (-1)^{k-1} \lambda_k / 2k\alpha^{2k} + Rm \dots\dots\dots 48$$



التنبؤ بالمواسم المطرية الرطبة والجافة في الموصل باستخدام دليل المطر القياسي (SPI)

وعند التعويض عن $m=1$ و $\lambda = 1/6$ فان

$$\Psi(\hat{\alpha}) = Ln\hat{\alpha} - \frac{1}{2\hat{\alpha}} - \frac{1}{12\hat{\alpha}^2} \dots\dots\dots 49$$

ويجعل الطرف الأيسر يساوي صفر بالمعادلة (47) وبالتعويض عن $\Psi(\hat{\alpha})$, نحصل على:

$$\frac{1}{2\hat{\alpha}} + \frac{1}{12\hat{\alpha}^2} = Ln\bar{X} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n LnXi = U \dots\dots\dots 50$$

وعلى فرض ان الطرف الايمن يساوي U واجراء بعض

العمليات لتبسيط المعادلة نحصل على معادلة من الدرجة الثانية وباستخدام طريقة الدستور لحلها نحصل على $\hat{\alpha}^{(4)}$

$$\hat{\alpha} = \frac{1 \pm \sqrt{1 + \frac{4}{3}U}}{4U} = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3}U}}{4U} \dots\dots\dots 51$$

لان معلمة الشكل تكون موجبة

بعد ان تم تقدير معالم التوزيع تحسب الدالة التراكمية F(x) ليسنى حساب قيم دليل المطر القياسي ويوصفه يمثل التوزيع الطبيعي القياسي لتحويل توزيع غاما⁽⁴⁾.

$$SPI = Z = -(t - \frac{2.515517 + 0.802583t + 0.010328t^2}{1 + 1.432788t + 0.189269t^2 + 0.001308t^3}) \quad 0 < F(x) \leq 0.5 \dots\dots 52$$

$$SPI = Z = +(t - \frac{2.515517 + 0.802583t + 0.010328t^2}{1 + 1.432788t + 0.189269t^2 + 0.001308t^3}) \quad 0.5 < F(x) \leq 1 \dots\dots\dots 53$$

اذ ان t تعرف بالشكل الاتي:

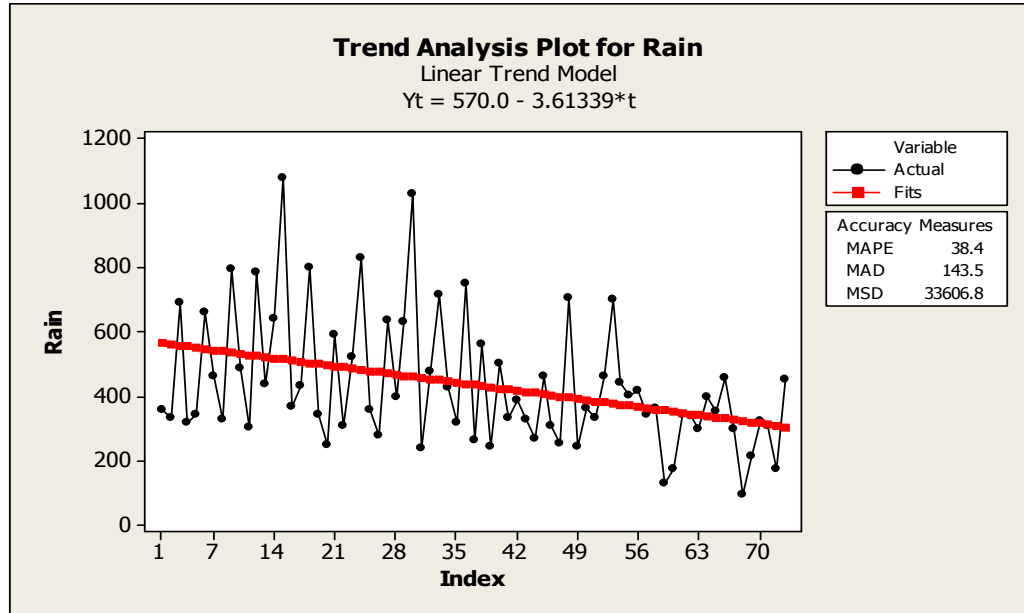
$$t = \sqrt{Ln(\frac{1}{F(x)^2})} \quad 0 < F(x) \leq 0.5 \dots\dots\dots 54$$

$$t = \sqrt{Ln(\frac{1}{(1 - F(x))^2})} \quad 0.5 < F(x) \leq 1 \dots\dots\dots 55$$

بعدها يستخدم الجدول (١) لتحديد اصناف المواسم المطرية.

الجانب التطبيقي

سيتم التطبيق على بيانات فعلية تمثل المجاميع الكلية للأمطار الساقطة لكل موسم (ملم) في محطة الموصل المناخية للمدة (2013-1940)⁽¹⁾، كما في جدول (٢). ويلاحظ من الجدول ان اعلى كمية مطر سقطت في موسمي 1955-1954 وكانت ١٠٨١.٣ ملم ، وفي 1970-1969 كانت ١٠٣١.٧ ملم ، في حين كانت اقل كمية مطر ساقطة في موسمي ٢٠٠٧-٢٠٠٨ وكانت ٩٧.٢ ملم ، وفي 19٩٩-١٩٩٨ كانت ١٢٧.٥ ملم . وقد تم ايجاد الاتجاه العام لكميات الامطار الساقطة خلال مدة الدراسة وبالبالغة ٧٣ موسما مطريا كما في شكل (١) ، وحيث يتضح من خلاله ان الامطار تتناقص مع الزمن .
شكل (١) الاتجاه العام لكميات الامطار (ملم) في الموصل للمدة (١٩٤٠-٢٠١٣)



ولغرض ايجاد دليل المطر القياسي SPI تم حساب الدالة الاحتمالية التراكمية $F(x)$ بموجب المعادلة رقم (٦) بالاعتماد على المعادلتين (١٧ و١٢) في تقدير المعلمتين β, α على التوالي ، بعدها تم استخراج قيم دليل المطر القياسي بموجب المعادلتين رقم (١٨ و١٩) وباستخدام برنامج خاص كتب بلغة Matlab كما في الملحق، وبعد ذلك تم تصنيف قيم دليل المطر لكل موسم بموجب التصنيف الوارد في جدول ١ ، ووضعت النتائج في جدول ٢ .



التنبؤ بالمواسم المطرية الرطبة والجافة في الموصل باستخدام دليل المطر القياسي (SPI)

جدول (٢) كميات الامطار (مم) والدالة التراكمية ودليل المطر القياسي مع اصناف المواسم في محطة الموصل للمدة (١٩٤٠-٢٠١٣) .

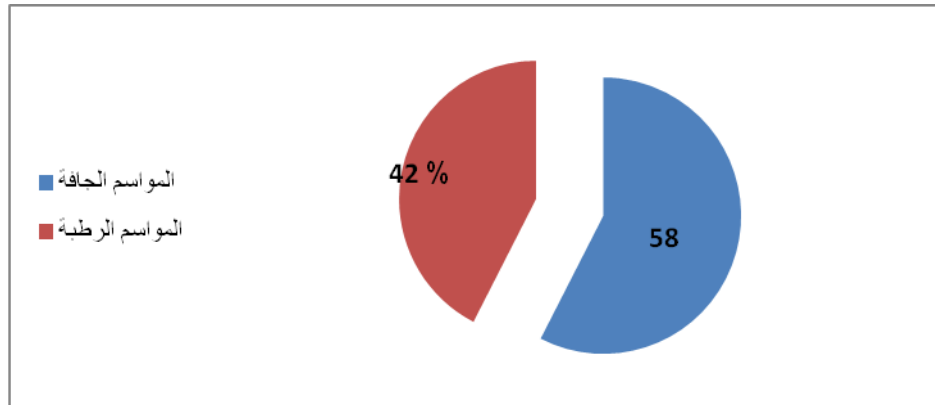
الموسم المطري	كمية المطر ملم	الدالة التراكمية	دليل المطر القياسي	الصف
٤١-١٩٤٠	357.6	0.384433	-0.29582	جاف معتدل
٤٢-١٩٤١	333.8	0.330111	-0.4415	جاف معتدل
٤٣-١٩٤٢	٦٩١.٤٠	0.900492	1.28651	متوسط الرطوبة
٤٤-١٩٤٣	٣١٦.٦	0.291362	-0.55131	جاف معتدل
٤٥-١٩٤٤	345.2	0.356085	-0.37086	جاف معتدل
٤٦-١٩٤٥	661.8	0.878618	1.170222	متوسط الرطوبة
٤٧-١٩٤٦	٤٦٥.٥	0.616144	0.297325	معتدل الرطوبة
٤٨-١٩٤٧	٣٣٠.٣	0.322173	-0.46353	جاف معتدل
٤٩-١٩٤٨	٧٩٥.٨	0.952605	1.66730	شديد الرطوبة
٥٠-١٩٤٩	٤٨٧.٥	0.656884	0.411201	معتدل الرطوبة
٥١-١٩٥٠	٣٠١.٦	0.258312	-0.65048	جاف معتدل
٥٢-١٩٥١	٧٨٩.١	0.950208	1.649055	شديد الرطوبة
٥٣-١٩٥٢	٤٣٨.٣	0.562091	0.158394	معتدل الرطوبة
٥٤-١٩٥٣	٦٤٣.٠	0.862699	1.094617	متوسط الرطوبة
٥٥-١٩٥٤	١٠٨١.٣	0.99514	2.58754	شديد الرطوبة جدا
٥٦-١٩٥٥	٣٧٠.٧	0.414326	-0.21846	جاف معتدل
٥٧-١٩٥٦	٤٣٣.١	0.551334	0.131203	معتدل الرطوبة
٥٨-١٩٥٧	٨٠٣.٨	0.95533	1.701068	شديد الرطوبة
٥٩-١٩٥٨	٣٤٤.٧	0.354944	-0.37392	جاف معتدل
٦٠-١٩٥٩	٢٤٩.٣	0.15303	-1.02559	جاف متوسط
٦١-١٩٦٠	٥٩٤.٠	0.812881	0.890574	معتدل الرطوبة
٦٢-١٩٦١	٣٠٩.٣	0.27517	-0.59916	جاف معتدل
٦٣-١٩٦٢	٥٢٤.١	0.718267	0.579603	معتدل الرطوبة
٦٤-١٩٦٣	٨٣٣.٤	0.964215	1.80401	شديد الرطوبة
٦٥-١٩٦٤	٣٥٧.٥	0.384204	-0.29641	جاف معتدل
٦٦-١٩٦٥	٢٧٨.١	0.208695	-0.81294	جاف معتدل
٦٧-١٩٦٦	٦٣٥.٦	0.855969	1.064463	متوسط الرطوبة
٦٨-١٩٦٧	٣٩٩.٨	0.479733	-0.05317	جاف معتدل
٦٩-١٩٦٨	٦٣١.٩	0.852502	1.049299	متوسط الرطوبة
٧٠-١٩٦٩	١٠٣١.٧	0.992627	2.440529	شديد الرطوبة جدا
٧١-١٩٧٠	٢٤١.٥	0.139177	-1.08611	جاف متوسط
٧٢-١٩٧١	٤٧٥.٩	0.635751	0.349049	معتدل الرطوبة
٧٣-١٩٧٢	٧١٧.٤	0.916801	1.386037	متوسط الرطوبة
٧٤-١٩٧٣	٤٢٩.٢	0.543183	0.110668	معتدل الرطوبة
٧٥-١٩٧٤	٣٢٠.٨	0.300755	-0.52412	جاف معتدل
٧٦-١٩٧٥	٧٥٠.٠	0.933893	1.507608	شديد الرطوبة
٧٧-١٩٧٦	٢٦٦.٥	0.185489	-0.89666	جاف معتدل
٧٨-١٩٧٧	٥٦٤.٣	0.776243	0.761524	معتدل الرطوبة
٧٩-١٩٧٨	٢٤٥.٤	0.146032	-1.05568	جاف متوسط
٨٠-١٩٧٩	٥٠١.٠	0.680474	0.470918	معتدل الرطوبة
٨١-١٩٨٠	٣٣١.٩	0.325799	-0.45344	جاف معتدل
٨٢-١٩٨١	٣٨٩.٣	0.456358	-0.11182	جاف معتدل
٨٣-١٩٨٢	٣٢٧.٦	0.316065	-0.48062	جاف معتدل
٨٤-١٩٨٣	٢٦٧.٢	0.186861	-0.89154	جاف معتدل
٨٥-١٩٨٤	٤٦٥.٢	0.615569	0.295821	معتدل الرطوبة
٨٦-١٩٨٥	٣٠٩.٢	0.274949	-0.59982	جاف معتدل
٨٧-١٩٨٦	٢٥٤.٦	0.162763	-0.98522	جاف معتدل

متوسط الرطوبة	1.343068	0.910025	٧٠٦.١	٨٨-١٩٨٧
جاف متوسط	-1.06423	0.144084	٢٤٤.٣	٨٩-١٩٨٨
جاف معتدل	-0.2513	0.401564	٣٦٥.١	٩٠-١٩٨٩
جاف معتدل	-0.43211	0.333519	٣٣٥.٣	٩١-١٩٩٠
معتدل الرطوبة	0.295821	0.615569	٤٦٥.٢	٩٢-١٩٩١
متوسط الرطوبة	1.33388	0.908525	٧٠٣.٧	٩٣-١٩٩٢
معتدل الرطوبة	0.172949	0.56783	٤٤١.١	٩٤-١٩٩٣
جاف معتدل	-0.03606	0.486572	٤٠٢.٩	٩٥-١٩٩٤
معتدل الرطوبة	0.05961	0.522836	٤١٩.٦	٩٦-١٩٩٥
جاف معتدل	-0.38867	0.349465	٣٤٢.٣	٩٧-١٩٩٦
جاف معتدل	-0.246	0.403618	٣٦٦.٠	٩٨-١٩٩٧
شديد الجفاف جدا	-2.19158	0.01428	١٢٧.٥	٩٩-١٩٩٨
شديد الجفاف	-1.6517	0.049521	١٧٦.٧	٢٠٠٠-١٩٩٩
جاف معتدل	-0.3580	0.350834	٣٤٢.٩	٠١-٢٠٠٠
جاف معتدل	-0.40908	0.34194	٣٣٩.٠	٠٢-٢٠٠١
جاف معتدل	-0.66531	0.253542	٢٩٩.٤	٠٣-٢٠٠٢
جاف معتدل	-0.05262	0.479954	٣٩٩.٩	٠٤-٢٠٠٣
جاف معتدل	-0.31862	0.375744	٣٥٣.٨	٠٥-٢٠٠٤
معتدل الرطوبة	0.267645	0.604751	٤٥٩.٦	٠٦-٢٠٠٥
جاف معتدل	-0.66126	0.254841	٣٠٠.٠	٠٧-٢٠٠٦
شديد الجفاف جدا	-2.60628	0.004602	٩٧.٢	٠٨-٢٠٠٧
شديد الجفاف	-1.31026	0.095419	٢١٤.١	٠٩-٢٠٠٨
جاف معتدل	-0.51897	0.30255	٣٢١.٦	١٠-٢٠٠٩
جاف معتدل	-0.61705	0.269231	٣٠٦.٦	١١-٢٠١٠
شديد الجفاف	-1.66445	0.048229	١٧٥.٤	١٢-٢٠١١
معتدل الرطوبة	0.228026	0.589401	٤٥١.٨	2013-2012

ومن خلال قيم SPI نجد ان عدد المواسم المطرية الرطبة ٣١ موسما وبنسبة ٤٢% ، في حين

كان عدد المواسم المطرية الجافة ٤٢ موسما وبنسبة ٥٨% كما موضح في الشكل (٢) .

شكل (٢) النسب المئوية للمواسم المطرية الرطبة والجافة



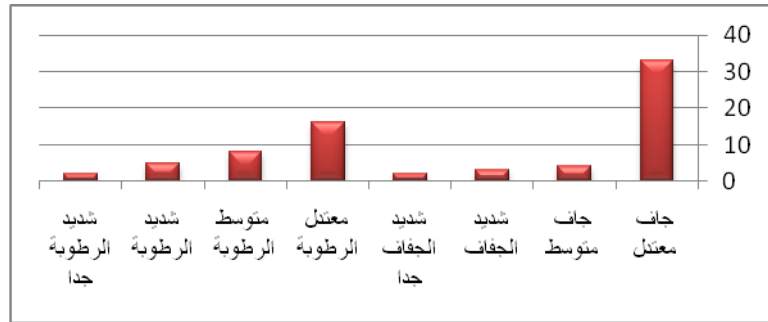
وقد تم تبويب اصناف المواسم المطرية الى عدة اصناف جافة ورطبة مع النسب المئوية لها وكما في جدول (٣) وشكل

(٣) .

جدول (٣) تكرارات اصناف المواسم المطرية

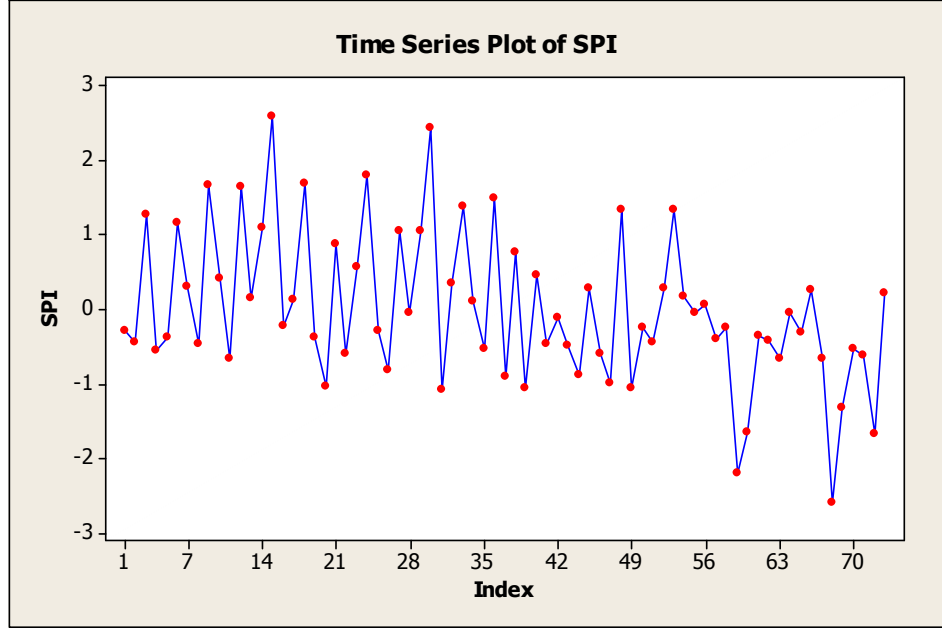
الصنف	عدد التكرارات	التكرار النسبي المئوي
جاف معتدل	٣٣	45.21
جاف متوسط	٤	5.48
شديد الجفاف	٣	4.11
شديد الجفاف جدا	٢	2.74
معتدل الرطوبة	١٦	21.92
متوسط الرطوبة	٨	10.95
شديد الرطوبة	٥	6.85
شديد الرطوبة جدا	٢	2.74
المجموع	٧٣	١٠٠

شكل (٣) تكرارات المواسم الرطبة والجافة



ويبدو من ملاحظة جدول وشكل ٣ ان المواسم الجافة اكثر تكرارا من المواسم الرطبة ، وان صنف جاف معتدل يمثل التكرار الاكبر من بين جميع الاصناف وبنسبة ٤٥.٢١ % ، اما اقل الاصناف تكرارا فهو صنف شديد الجفاف جدا وصنف شديد الرطوبة جدا فقد ظهر كلاهما مرتين فقط خلال ٧٣ موسما مطريا وبنسبة ٢.٧٤ % .

اما فيما يتعلق بقيم SPI فقد تم رسمه مع الزمن لتحديد عدد المواسم الجافة والرطبة مع فترة بقاء هذه المواسم كما موضح في شكل ٤ .



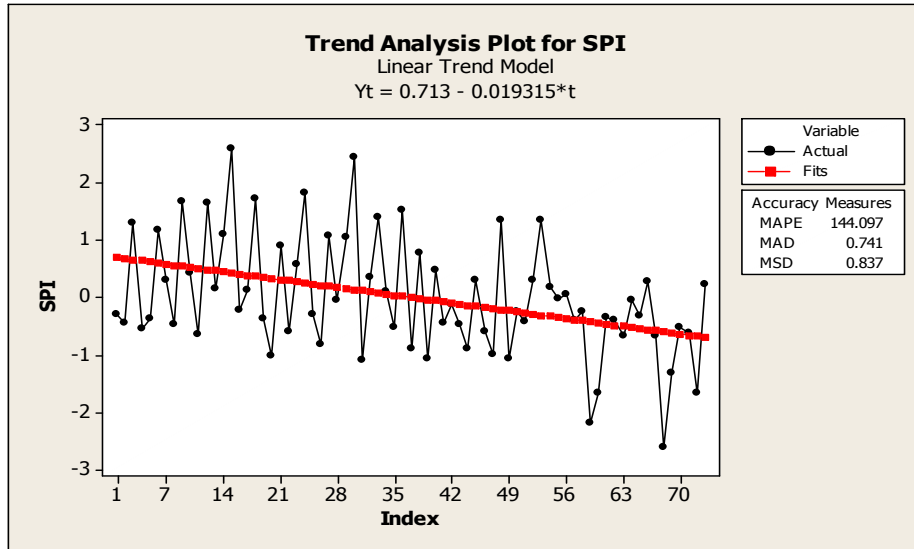
ويتضح من الشكل المذكور انفا ان القيم الموجبة (فوق الصفر) تمثل عدد المواسم المطرية الرطبة والبالغة ٣١ موسما ، في حين تمثل القيم السالبة (تحت الصفر) عدد المواسم المطرية الجافة والبالغة ٤٢ موسما . الفترات الجافة والفترات الرطبة تعني الفترة تكرر موسمين مطريين متتاليين او اكثر . ويتضح من الجدول (٤) ان عدد الفترات الجافة في الموصل خلال مدة البحث (٩) وتراوحت اطوال هذه الفترات بين ٢ الى ٩ مواسم ، وقد بلغ معدل طول الفترة الجافة ٣.٩ موسم ، وكانت اشد الفترات الجافة طولاً او بقاء هي الفترة الثامنة بطول ٩ موسم مطري ، والفترة التاسعة بطول بقاء ٦ موسم مطري. اضافة الى ان هاتين الفترتين الاخيرتين تميزتا بشدة الجفاف ايضا ، فقد ظهر تصنيف شديد الجفاف ، وشديد الجفاف جدا فيهما فقط دون بقية الفترات ، وبذلك يمكننا القول ان حالات الجفاف تزايدت خلال فترة تسعينيات القرن الماضي وبداية القرن الحالي ويوضح الشكل (٥) هذه الفترات.

اما الفترات الرطبة خلال مدة البحث ايضا فقد بلغت (٨) فترات تراوحت اطوالها بين ٢ الى ٤ مواسم، وقد بلغ معدل طول بقاء الفترة الرطبة ٢.٥ موسم ، وكانت اشد الفترات الرطبة طولاً او بقاء هي الفترة الثالثة بطول ٤ موسم مطري، فضلا عن ان هذه الفترة تميزت ايضا بشدة الرطوبة حيث ظهر تصنيف شديد الرطوبة وشديد الرطوبة جدا فيها، مع تكرار ظهور تصنيف شديد الرطوبة مرة واحدة لكل من الفترة الرابعة والفترة الخامسة فقط ، وظهر تصنيف شديد الرطوبة جدا مرة واحدة اخرى في الفترة السادسة، وهذا يعني ان الفترات الرطبة مع شدتها وطول بقاءها تكررت في فترة الخمسينيات والستينيات والسبعينات فقط من القرن الماضي، اذ غلبت صفة الجفاف السنوات الاخيرة من فترة البحث كما في شكل (٥) ايضا، اذ يبدو واضحا ان الاتجاه العام لقيم SPI تتناقص مع الزمن مما يتفق مع اتجاه الذبذبات المناخية والمطرية بشكل خاص في العراق الى التناقص .

جدول (٤) الفترات الجافة والرطبة في الموصل للمدة (١٩٤٠-٢٠١٣)

الفترات الرطبة			الفترات الجافة		
طول الفترة	المواسم المطرية	ت	طول الفترة	المواسم المطرية	ت
٢	٤٧/٤٦ ، ٤٦/١٩٤٥	١	٢	٤٢/٤١ ، ٤١/١٩٤٠	١
٢	٥٠/٤٩ ، ٤٩/١٩٤٨	٢	٢	٤٥/٤٤ ، ٤٤/١٩٤٣	٢
٤	٥٤/٥٣ ، ٥٣/٥٢ ، ٥٢/١٩٥١	٣	٢	٦٠/٥٩ ، ٥٩/١٩٥٨	٣
٢	٥٥/٥٤	٤	٢	٦٦/٦٥ ، ٦٥/١٩٦٤	٤
٢	٥٨/٥٧ ، ٥٧/١٩٥٦	٤	٢	٨٣/٨٢ ، ٨٢/٨١ ، ٨١/١٩٨٠	٥
٢	٦٤/٦٣ ، ٦٣/١٩٦٢	٥	٤	٨٤/٨٣	٥
٢	٧٠/٦٩ ، ٦٩/١٩٦٨	٦	٢	٨٧/٨٦ ، ٨٦/١٩٨٥	٦
٣	٧٤/٧٣ ، ٧٣/٧٢ ، ٧٢/١٩٧١	٧	٤	٩١/٩٠ ، ٩٠/٨٩ ، ٨٩/١٩٨٨	٧
٣	٩٤/٩٣ ، ٩٣/٩٢ ، ٩٢/١٩٩١	٨	٩	٩٩/٩٨ ، ٩٨/٩٧ ، ٩٧/١٩٩٦ ١٠٠/٩٩ ، ١٠١/٩٨ ، ١٠٢/٩٧ ، ١٠٣/٩٦ ١٠٤/٩٥ ، ١٠٥/٩٤ ، ١٠٦/٩٣ ، ١٠٧/٩٢	٨
			٦	١٠٨/١٠٧ ، ١٠٧/١٠٦ ، ١٠٦/١٠٥ ، ١٠٥/١٠٤ ١٠٤/١٠٣ ، ١٠٣/١٠٢ ، ١٠٢/١٠١ ، ١٠١/١٠٠ ، ١٠٠/٩٩	٩

شكل (٥) الاتجاه العام لقيم SPI لمحطة الموصل للمدة (١٩٤٠-٢٠١٣)



التنبؤ بكميات الأمطار والمواسم المطرية

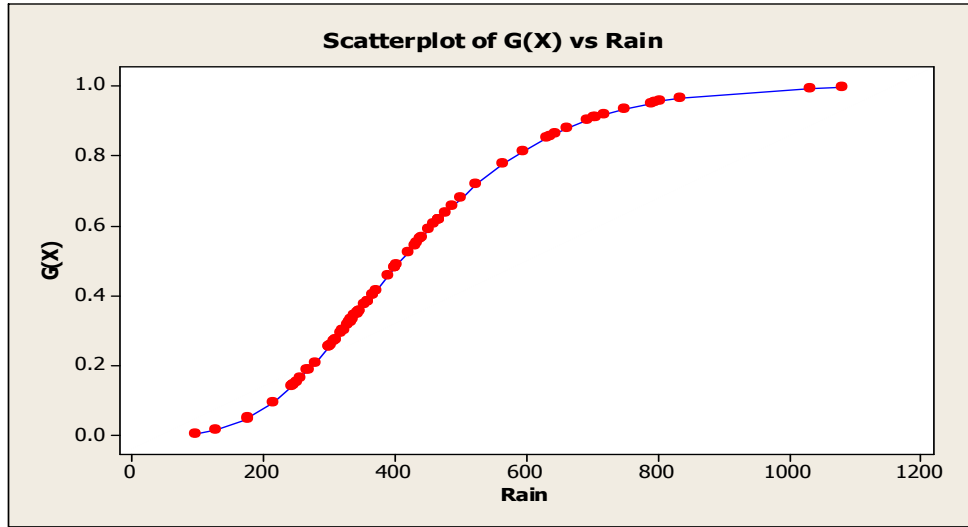
تم استخدام النموذج SAR(1) بطول موسم ٣ بالاعتماد على منهجية بناء هذا النموذج (انظر الملحق) بحسب ماورد في الجانب النظري لحساب قيم التنبؤات المستقبلية لكميات الأمطار الساقطة في الموصل للمواسم من (٢٠١٣ - ٢٠٢٣) كما تم حساب قيم الدالة التراكمية وقيم دليل المطر القياسي وتصنيفها وكما ورد في الجدول (٥) .

جدول (٥) كميات الامطار المتنبأ بها مع الدالة التراكمية وقيم SPI واصناف المواسم
للمدة (٢٠١٣-٢٠٢٣) في محطة الموصل

الموسم المطري	كمية المطر ملم	الدالة التراكمية	دليل المطر القياسي	الصنف
١٤-٢٠١٣	362.137	0.394801	-0.26881	جاف معتدل
١٥-٢٠١٤	289.221	0.231789	-0.73492	جاف معتدل
١٦-٢٠١٥	442.834	0.571365	0.18193	معتدل الرطوبة
١٧-٢٠١٦	393.003	0.464636	-0.09102	جاف معتدل
١٨-٢٠١٧	352.479	0.372723	-0.32659	جاف معتدل
١٩-٢٠١٨	437.851	0.561168	0.15606	معتدل الرطوبة
٢٠-٢٠١٩	410.157	0.502456	0.0864	معتدل الرطوبة
٢١-٢٠٢٠	387.635	0.452625	-1.12122	جاف متوسط
٢٢-٢٠٢١	435.082	0.555449	0.14159	معتدل الرطوبة
٢٣-٢٠٢٢	419.69	0.52303	0.06009	معتدل الرطوبة

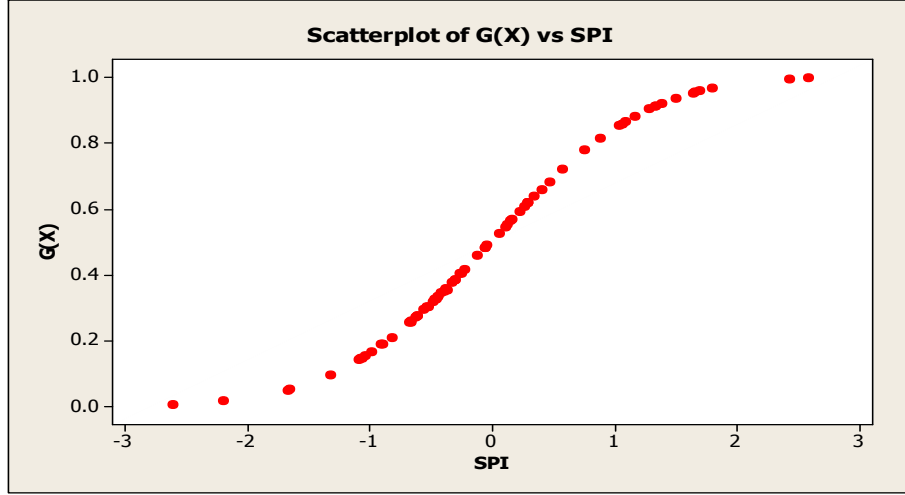
ويمكن حساب قيم دليل المطر القياسي لهذه الكميات لتحديد المواسم المطرية الجافة والرطبة من خلال تسقيط كمية المطر المتنبأ بها على منحنى الاحتمالية التراكمية لگاما مقابل كمية المطر للمواسم كافة كما في الشكل (٦) .

شكل (٦) كميات الامطار (ملم) للمواسم المطرية (١٩٤٠-٢٠١٣) والدالة الاحتمالية المقابلة لها



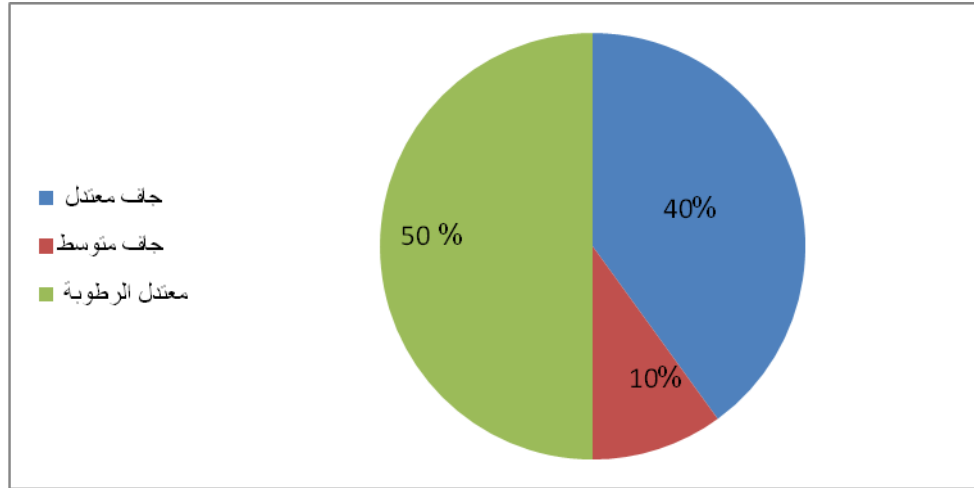
ثم يتم بعد ذلك نقل الاحتمالية التراكمية على منحنى الاحتمالية التراكمية لگاما مقابل دليل المطر القياسي للمدة (١٩٤٠-٢٠١٣) ، كما في الشكل (٧) وذلك لتحديد قيمة دليل المطر القياسي للمواسم المطرية المتنبأ بها ، كما في جدول ٥ .

شكل (٧) الدالة الاحتمالية التراكمية وقيم SPI للمدة (١٩٤٠-٢٠١٣) في الموصل



ويظهر من خلال هذا الجدول ان المواسم المطرية الرطبة المتنبأ بها تمثل نسبة ٥٠% وكانت في الغالب من صنف معتدل الرطوبة ، في حين مثلت المواسم المطرية الجافة نسبة ٥٠% منها ٤٠% جاف معتدل و ١٠% جاف متوسط ، كما في الشكل (٨) .

شكل (٨) النسب المئوية لأصناف المواسم المطرية المتنبأ بها في الموصل للمدة ٢٠١٣-٢٠٢٣



النتائج والتوصيات

١- ان كميات الامطار الساقطة في محطة الموصل تتميز بالتذبذب الواضح واختلاف كميات السقوط من موسم الى اخر ، فقد سقطت اعلى كمية مطر في موسم ١٩٥٤-19٥٥ بمقدار ١٠٨١.٣ ملم واقل كمية سقطت في موسم ٢٠٠٧/٢٠٠٨ بمقدار ٩٧.٢ ملم من مجموع ٧٣ موسم مطري وحيث كان معدل كمية المطر العام لعموم مدة الدراسة (١٩٤٠-٢٠١٣) ٤٣٦.٣ ملم .

٢- ان الاتجاه العام لكميات الامطار الساقطة في محطة الموصل يظهر تناقضا مع الزمن بمقدار ٣.٦١٣٣٩ .

٣- اعتمادا على قيم دليل المطر القياسي SPI تبين ان عدد المواسم المطرية الجافة ٤٢ موسما وبنسبة ٥٨% ، اما المواسم المطرية الرطبة فقد بلغت ٣١ موسما وبنسبة ٤٢% .

٤- تم تصنيف المواسم المطرية الى اربعة اصناف جافة واربعة اصناف رطبة ، وبينت الدراسة ان الصنف جاف معتدل ظهر بتكرار ٣٣ موسم وبنسبة ٤٥.٢١% وهو الاعلى تكرارا في محطة الموصل، يليه تكرار صنف معتدل الرطوبة ب ١٦ موسم وبنسبة ٢١.٩٢% ، في حين كانت اقل الاصناف ظهورا هي الاصناف ذات الشدة الواضحة في الجفاف وفي الرطوبة وهي شديد الجفاف جدا وشديد الرطوبة جدا ب ٢ موسم لكل منهما وبنسبة ٢.٧٤% .

٥- اظهرت الدراسة وجود مجموعة فترات جافة ورطبة في ٧٣ موسم مطري منها تسع فترات جافة وبطول فترة جفاف ٣.٩ موسم ، وكانت اطول الفترات الجافة هي الفترة الثامنة بطول ٩ مواسم متتالية ، في حين كانت هناك ثمان فترات رطبة وبطول فترة رطوبة ٢.٥ موسم ، وان اطول فترة رطوبة هي الفترة الثالثة بطول ٤ مواسم متتالية .

٦- ان ظهور الفترات المطرية الرطبة تركزت في خمسينيات وستينيات وسبعينيات القرن الماضي ، بينما تركزت الفترات المطرية الجافة في تسعينيات القرن الماضي وبداية القرن الحالي .

٧- يشير الاتجاه العام لدليل المطر القياسي SPI ان هناك تناقضا بقيمه مع الزمن ، وان قيمة هذا التناقص تبلغ ١٩٣١٥ . . .

٨- تشير قيم SPI المستخرجة لكميات الامطار المتنبأ بها للسنوات العشر القادمة ٢٠١٤-٢٠٢٣ الى ظهور عدد متساوي من المواسم المطرية الجافة والرطوبة ب ٥ مواسم لكل منهما . ومن بين المواسم الجافة غلب صنف جاف معتدل بنسبة ٤٠% ، وصنف جاف متوسط بنسبة ١٠% . في حين كانت المواسم الرطبة من صنف واحد فقط وهو معتدل الرطوبة بنسبة ٥٠% .

ويوصي البحث :

١- تستخدم تقنية SPI دليل المطر القياس في التصنيف والتنبؤ بالمواسم المطرية في محطات اخرى في العراق بسبب كفاءتها في التصنيف بشكل يتوافق مع الواقع الفعلي للامطار .

٢- امكانية استخدام تقنية SPI لتصنيف الامطار الشهرية والامطار اليومية لاعطاء وصفا دقيقا للكميات الساقطة في الموصل وبقيّة مناطق العراق .



التنبؤ بالمواسم المطرية الرطبة والجافة في الموصل باستخدام دليل المطر القياسي (SPI)

المصادر

- ١- الهيئة العامة للأتواء الجوية العراقية والرصد الزلزالي، وزارة النقل والمواصلات، بيانات الامطار الشهرية في محطة الموصل للمدة (١٩٤٠-٢٠١٣)، قسم الموارد المائية، بيانات غير منشورة .
- 2-Aksoy,H.,Use of Gamma Distribution in Hydrological Analysis ,Turk.J.Engin. Environ.Sci., 2000, Turkey , pp419-428 .
- 3-Hwang ,T.Y .and Ping –Huang , On New Moment Estimation of Parameters of The Gamma Distribution Using Its Characterization , Ann .Inst. Statist. Math. , vol.54 , no. 4 , 2002 , pp 840-847 .
- 4-Kumar,M.N. and others , On The Use of Standardized Precipitation Index (SPI) for Drought Intensity Assessment , Meteorological Application , Meteorol-16 , 2009, pp381-389 .
- 5-Mckee,T.B. and others , The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales , Eight Conference on Applied Climatology , 17-22 January 1993 , Anaheim ,California .
- 6-Thom, H.C. , A note on The Gamma Distribution, Monthly Weather Review , vol. 86 , no. 4 , 1958 , pp 117 .
- 7-Wiens.D.P. , and others , Aclass of Method of Moments Estimators for The Two Parameters Gamma Family , Pak . J. Statist. Vol.19 , 2003 , pp129-141 .
- 8- Wei .W.W. , Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methodes , Second Edition , Addison Wesley , 2006 , USA ,p 146 .
- 9-Yildiz O. , Assessing Temporal and Spatial Characteristics of Drought in The Hirfandi Dam Basin , Scientific Research and Essay , vol.4 , no. 4 , 2009 , pp 249-255

الملحق

مراحل بناء أنموذج بيانات كميات الامطار الساقطة في الموصل للفترة ١٩٤٠-٢٠١٣ تشخيص الانموذج تم حساب معاملات الارتباط الذاتي والجزئي كما في الجدولين الملحقين ١ و٢ على التوالي كما تم رسمها كما في الشكلين الملحقين ١ و٢ على التوالي.

Autocorrelation Function: Rain

Lag	ACF	T	LBQ
1	0.008306	0.07	0.01
2	0.012599	0.11	0.02
3	0.523349	4.47	21.44
4	-0.043955	-0.30	21.59
5	0.000349	0.00	21.59
6	0.451598	3.10	38.26
7	-0.140969	-0.86	39.91
8	0.021823	0.13	39.95
9	0.392177	2.37	53.10
10	-0.077132	-0.43	53.62
11	-0.080049	-0.45	54.19
12	0.391469	2.19	67.94
13	-0.118952	-0.63	69.23



التنبؤ بالمواسم المطرية الرطبة والجافة في الموصل باستخدام دليل المطر القياسي (SPI)

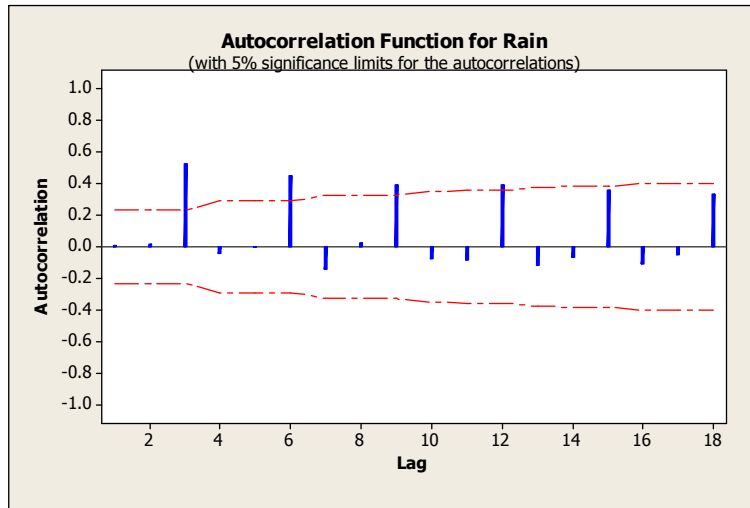
14	-0.070640	-0.37	69.70
15	0.358871	1.87	81.85
16	-0.105284	-0.53	82.9

الجدول الملحق (١) معاملات الارتباط الذاتي لكميات الامطار الساقطة

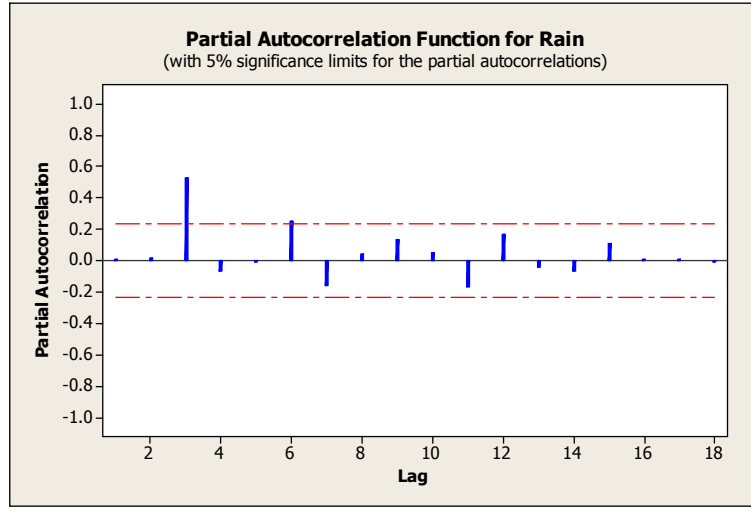
Partial Autocorrelation Function: Rain

Lag	PACF	T
1	0.008306	0.07
2	0.012531	0.11
3	0.523260	4.47
4	-0.067856	-0.58
5	-0.011973	-0.10
6	0.248046	2.12
7	-0.156299	-1.34
8	0.039119	0.33
9	0.132934	1.14
10	0.053529	0.46
11	-0.170671	-1.46
12	0.170002	1.45
13	-0.044571	-0.38
14	-0.068072	-0.58
15	0.110237	0.94
16	0.009161	0.08

الجدول الملحق (١٢) معاملات الارتباط الذاتي الجزئي لكميات الامطار الساقطة



الشكل الملحق (١) دالة الارتباط الذاتي لكميات الامطار الساقطة



الشكل الملحق (٢) دالة الارتباط الذاتي الجزئي لكميات الامطار الساقطة

من خلال ملاحظة قيم معاملات الارتباط الذاتي نجد انها تتناقص بشكل تدريجي عند الازاحات ٣ و ٦ و ٩ و ١٢ و ١٥ في حين ان قيم معاملات الارتباط الذاتي الجزئي معنوية عند الازاحة الاولى. ومن خلال هذين الدالتين يمكن ان نشخص نموذج لتمثيل بيانات الامطار والذي هو الانحدار الذاتي الموسمي ويطول موسم ٣. وقد تم تقدير هذا الانموذج كما في الجدول الملحق (٣) كما نتم اختباره في الجدول الملحق (٤) الذي يشير ان احصاءة الاختبار غير معنوية في كافة الازاحات المأخوذة. لذا تم حساب التنبؤات المستقبلية لعشرة مواسم قادمة كما في الجدول الملحق (٥) مع إحدى الثقة الادنى والاعلى.

Final Estimates of Parameters

Type	Coef	SECoef	T	P
SAR 3	0.5558	0.1006	5.52	0.000
Constant	191.74	19.78	9.69	0.000
Mean	431.62	44.52		

Number of observations: 73

Residuals: SS = 2022136 (backforecasts excluded)

MS = 28481 DF = 71



التنبؤ بالمواسم المطرية الرطبة والجافة في الموصل باستخدام دليل المطر القياسي (SPI)

الجدول الملحق (٣) تقدير معلمات الانموذج المشخص

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic

Lag	12	24	36	48
Chi-Square	9.9	16.9	24.0	31.3
DF	10	22	34	46
P-Value	0.453	0.770	0.899	0.952

الجدول الملحق (٤) اختبار تشخيص الانموذج

Forecasts from period 73

95% Limits

Period	Forecast	Lower	Upper	Actual
74	362.137	31.296	692.979	
75	289.221	-41.620	620.062	
76	442.834	111.993	773.675	
77	393.003	14.501	771.505	
78	352.479	-26.023	730.981	
79	437.851	59.349	816.353	
80	410.157	18.103	802.211	
81	387.635	-4.419	779.689	
82	435.082	43.028	827.136	
83	419.690	23.545	815.836	

الجدول الملحق (٥) التنبؤات المستقبلية لكميات الامطار الساقطة مع حدى الثقة الادنى والاعلى

برنامج يحسب دليل المطر القياسي

Clc

Clear all

N=input ("N= ");

F=input ("F= ");

CO=input ("CO= ");

C1=input ("C1= ");

C2=input ("C2= ");

D1=input ("D1= ");

D2=input ("D2= ");

D3=input ("D3= ");

FOR I=1:N;

IFF(I)<=0.5

T(I)= Sqrt(log(1/F(i)^2));

SPI(I)= -(T-(CO+C1*T+C2*T^2)/(1+D1*T+D2*t^2+D3^3));

Els

T(I)= Sqrt(log(1 / (1-F(i))^2));

SPI(I)= T-(CO+C1*T+C2*T^2)/(1+D1*T+D2*t^2+D3^3);

END

END

SPI



Forecasting The Wet and Dry Rainy Seasons in Mosul Using Standardized Precipitation Index (SPI)

Abstract

Iraq suffers the continuing lack of water resources in generdwether it is surface or underearth water or rain. The study of rain has got the utmost importance in order to the rain direction in Iraq and in Mosul in particular and what it will be in future. It also shows the wet as well as the dry seasons and the possibility of expecting them and expecting their quantities in order to invest them and to keep this vital resource The research deals with predict the wet and dry rainy seasons in Mosul using (SPI) Standardized precipitation index extracted from conversion of Gamma distribution to standardized normal distribution , depending on data of monthly rain amounts for 1940-2013 . Results showed existence of 31 wet rainy seasons , and 42 dry rainy seasons for the whole time of study which is 73 rainy seasons. Results of rainy seasons prediction for the time 2014-2023 showed five wet rainy seasons and five dry rainy seasons , although the general trend of rain in Mosul station refer to declines with time .

Keywords: Standardized precipitation index -Gamma distribution -Estimation methods- seasonal time series model -Rainy seasons- Forecasting.