

التباين المكاني للجفاف المناخي في سهل بنغازي باستخدام مؤشر (SPI) والمؤشر القاري-البحري لجونسون خلال الفترة 1981-2024م

رتاح أحميدة إبراهيم حسين

طالبة ماجستير بقسم الجغرافيا/كلية الآداب
جامعة طبرق - ليبيا
retagahmeda623@gmail.com

د. محمود مجّد محمود سليمان

أستاذ المناخ المشارك بقسم الجغرافيا/كلية الآداب
جامعة طبرق - ليبيا
mahmood.soliman@tu.edu.ly

تاريخ الاستلام 2025/11/25 تاريخ القبول 2025/12/10 تاريخ النشر 2026/01/01

الملخص:

يهدف هذا البحث إلى تحليل الجفاف المناخي في سهل بنغازي خلال الفترة 1981-2024، من خلال دمج مؤشرين مناخيين مختلفين في الطبيعة، هما: مؤشر الهطول المعياري (SPI)، ومؤشر جونسون للقارية-البحرية. اعتمد البحث على بيانات شهرية مستمدة من قاعدة بيانات NASA POWER، وتمّ استخدام أربع نقاط رصد موزعة من الساحل إلى الداخل لتمثيل التدرج المناخي بين التأثير البحري والقاري. أظهرت نتائج مؤشر SPI وجود تدرج واضح في شدة الجفاف من الشمال الساحلي إلى الجنوب شبه الصحراوي، بينما بين مؤشر جونسون زيادة ثابتة في القارية بالاتجاه ذاته. وكشفت العلاقة الإحصائية بين المؤشرين عن ارتباط سلبي الاتجاه يعكس تداخل العوامل المطرية والحرارية في تشكيل مستويات الجفاف. كما أبرز التحليل المكاني باستخدام Kriging تطابقاً ملحوظاً بين ارتفاع القارية وشدة الجفاف في الجنوب، مقابل اعتدال نسبي في المناطق الساحلية. وتؤكد النتائج أهمية دمج المؤشرات المطرية والحرارية مع التحليل المكاني لتفسير ديناميكية الجفاف في السهل.

الكلمات المفتاحية: الجفاف المناخي؛ مؤشر SPI؛ مؤشر جونسون للقارية-البحرية؛ التحليل المكاني، سهل بنغازي.

*Spatial Variability of Climatic Drought in the Benghazi Plain
Using the (SPI) and Johnson's Continentiality–Oceanity Index
(1981–2024)*

Mahmood M.M. Soliman

Associate Professor of Climatology, Department of Geography
Faculty of Arts, Tobruk University- Libya.
mahmood.soliman@tu.edu.ly

Ritaj A.A. Hussein

Master's Student, Department of Geography
Faculty of Arts, Tobruk University- Libya.
retagahmeda623@gmail.com

Received: 25/11/2025

Accepted: 10/12/2025

Published: 01/01/2026

Abstract :

This study aims to analyze climatic drought in the Benghazi Plain over the period 1981–2024 by integrating two climate indices of different natures: the Standardized Precipitation Index (SPI) and Johnson's continentality–maritime index. The analysis is based on monthly data obtained from the NASA POWER database. Four observation points were selected and distributed from the coastal zone toward inland areas to represent the climatic gradient between maritime and continental influences. The SPI results reveal a clear gradient in drought severity from the northern coastal areas toward the semi-desert southern parts of the plain, while Johnson's index indicates a steady increase in continentality along the same direction. Statistical analysis of the relationship between the two indices shows a negative correlation, reflecting the interaction between precipitation-related and thermal factors in shaping drought conditions. Furthermore, spatial analysis using the Kriging interpolation method demonstrates a notable spatial correspondence between increased continentality and higher drought severity in the southern areas, contrasted with relatively moderate conditions along the coast. These findings highlight the importance of integrating precipitation-based and thermal indices with spatial analysis to better interpret the dynamics of climatic drought in the Benghazi Plain.

Keywords: Climatic drought; Standardized Precipitation Index (SPI); Johnson's continentality–maritime index; spatial analysis; Benghazi Plain.

مقدمة:

تُعدُّ ظاهرة الجفاف أحد أبرز التحديات المناخية التي تواجه البيئات الجافة وشبه الجافة، نظراً لما تخلفه من آثار مباشرة على الموارد المائية والأنظمة الزراعية والبيئية. وفي ظل التغير المناخي العالمي وارتفاع درجات الحرارة، يزداد العجز المائي المناخي نتيجة لنقص معدلات الأمطار وارتفاع درجات الحرارة، ما يؤدي إلى تفاقم مستويات الجفاف حتى في المناطق التي لم تشهد تراجعاً كبيراً في معدلات الهطول سابقاً (WMO & GWP, 2016). والجفاف المناخي هو حالة مستمرة من النقص في هطول الأمطار مقارنة بمعدل الهطول، مما يؤدي إلى انخفاض توافر المياه الطبيعية ويؤثر على البيئة والأنشطة البشرية، ويُعد رصد الجفاف وتقدير شدته باستخدام مؤشرات محددة خطوة أساسية للتنبؤ به وإصدار التحذيرات المبكرة للتخفيف من آثاره (Andreu et al., 2015). ولتقدير شدة الجفاف، تم تطوير عدد من المؤشرات المعيارية، أبرزها مؤشر الهطول المعياري (SPI) الذي يعتمد على السلاسل المطرية الشهرية أو السنوية، ويستخدم على نطاق واسع لتحليل الجفاف في المناطق شبه الجافة (McKee et al., 1993)، كما يُعد مؤشر جونسون القاري-البحري أداة مهمة لتقدير التأثيرات الحرارية والمائية الناتجة عن موقع المنطقة على دائرة العرض، وبين البحر واليابس، ويستند إليه في الدراسات المناخية الحديثة لتقييم العلاقة بين المناخ والتوزيع الحراري للمناطق المختلفة (Toros et al., 2008; Soliman, 2020).

وقد أثبتت الدراسات فعالية استخدام مؤشر SPI إلى جانب (مؤشر جونسون) في بعض المناطق شبه الجافة، بما فيها شمال ليبيا (Soliman, 2020). ووجد (Ali and Hafi, 2022) أن مؤشر SPI قادر على رصد الدورات الجافة والرطوبة بدقة، وأظهرت نتائج الدراسة أهمية استخدام SPI في تحليل الجفاف على المدى الطويل، وتؤكد ملاءمته لتفسير الأنماط المناخية في ليبيا. وفي الجزائر طبقت إحدى الدراسات (Merabti et al., 2023) مؤشرات عديدة من بينها مؤشر SPI في دراسة شاملة للجفاف في الجزائر الشرقية، وأظهرت النتائج قدرته العالية على تحديد فترات الجفاف ورصد شدتها عبر مواقع مختلفة، مما يؤكد ملاءمته لتحليل الجفاف في مناطق شمال إفريقيا ذات التذبذب المطري الشديد. كما أظهرت دراسة في سلطنة عمان (El Kenawy et al., 2020) أن شدة الجفاف تتردد على مدى العقود الأخيرة، وأن التغيرات المناخية تؤثر بشكل متزايد على اتساع رقعته. ما يبرز

الحاجة لاستخدام مؤشرات معيارية مثل SPI لتقييم شدة الجفاف وفهم التباين المكاني في المناطق الجافة وشبه الجافة.

وفي شرق ليبيا، تزداد مظاهر التغير المناخي بشكل ملحوظ، مصحوبة بتذبذب الأمطار، ومن المتوقع أن يتسبب تغير المناخ بانخفاض طويل الأمد في متوسط مستويات الأمطار السنوية وفقاً لنماذج CMIP6 المستقبلية (World Bank, 2021). ويُعدُّ سهل بنغازي، بطبيعته شبه الجافة وحساسية موارده المائية وتنوع استخدامات أراضيه، بيئة نموذجية لدراسة خصائص الجفاف واتجاهاته المناخية. لذلك، يهدف هذا البحث إلى تقديم تقييم مزدوج للجفاف في سهل بنغازي، من خلال استخدام مؤشر الجفاف القياسي (SPI) إلى جانب الخصائص القارية-البحرية كما يقيسها مؤشر جونسون، خلال الفترة الممتدة بين 1981 و2024، وذلك لتحليل العلاقة بين شدة الجفاف وتدرج التأثير البحري-القاري في المنطقة.

أولاً: مشكلة البحث.

على الرغم من أهمية فهم الجفاف المناخي وتأثيراته على المناطق شبه الجافة، لا تزال الدراسات التي تجمع بين التحليل الزمني والمكاني للجفاف مع مراعاة الخصائص المناخية القارية-البحرية محدودة، خاصة في منطقة سهل بنغازي. لذا يحاول هذا البحث الإجابة عن عدة تساؤلات، أهمها:

- هل شهدت منطقة سهل بنغازي زيادة في شدة الجفاف خلال العقود الأخيرة؟
- كيف تختلف مؤشرات الجفاف المناخي المستمدة من مؤشر SPI عن تلك المرتبطة بالخصائص القارية-البحرية كمؤشر جونسون؟ وإلى أي مدى يسهم دمج مؤشري SPI وجونسون في توفير تقييم أكثر دقة وشمولية للجفاف في سهل بنغازي؟

ثانياً: أهداف البحث.

- حساب مؤشر SPI على فترات تراكمية، وتحديد السنوات الجافة والرطبة.
- حساب الخصائص القارية-البحرية وفق مؤشر جونسون وتحديد تدرجاتها عبر المنطقة.
- تقييم العلاقة بين مؤشر الجفاف (SPI) وتأثيرات القارية-البحرية وفق مؤشر جونسون.
- تحليل الأنماط المكانية للجفاف باستخدام التحليل المكاني في برنامج (ArcMap GIS).

ثالثاً: أهمية البحث.

تكمن أهمية هذا البحث في الجمع بين مؤشر الجفاف المطري (SPI) والمؤشر القاري-البحري لجونسون، وهو دمج يتيح فهماً أكثر عمقاً للعوامل المحركة للجفاف في سهل بنغازي. ويسهم هذا الاختبار المزدوج في الكشف عن درجة الجفاف بما يوفر إطاراً علمياً أدق لتفسير التباينات المناخية. وتكمن أهمية النتائج في قدرتها على دعم صناعات القرار والجهات المعنية بإدارة الموارد المائية والزراعة، من خلال توفير قاعدة بيانات للجفاف يمكن الاعتماد عليها في وضع استراتيجيات للتكيف مع تزايد موجات الجفاف.

رابعاً: البيانات المناخية والمنهجية والأساليب.

1. البيانات المناخية:

اعتمد هذا البحث على بيانات مناخية شهرية مستمدة من قاعدة بيانات NASA POWER، وهي منصة مفتوحة تتيح معطيات مناخية ناتجة عن دمج رصدات الأقمار الصناعية مع مخرجات النماذج المناخية العالمية، وجاء اختيار هذه القاعدة لتعويض نقص محطات الرصد المناخي المنتظمة في سهل بنغازي، إضافة إلى عدم اكتمال السلاسل الزمنية في بعض المحطات المتاحة مثل محطة بنغازي ومطار بنينا. وتوفر قاعدة بيانات NASA POWER عناصر مناخية أساسية عند ارتفاع مترين تشمل الأمطار ودرجات الحرارة العظمى والصغرى وغيرها من المتغيرات المؤثرة في التحليل المناخي. وقد اعتمد البحث على بيانات الارتفاع ذاته لأربع نقاط رصد موزعة من الشمال إلى الجنوب، وهي طلميثة، دريانة، جردينة، وشرق سلطان، وتمثل النقاط الثلاث الأولى مواقع داخل تجمعات سكنية قائمة، بينما جرى اختيار نقطة شرق سلطان لكونها تمثل منطقة شبه صحراوية خالية من المراكز العمرانية وتقع شرق بلدة سلطان على الساحل الجنوبي لسهل بنغازي، بما يسمح بتغطية التدرج البيئي بين النطاق الساحلي والمناطق الداخلية الجافة. وامتدت السلسلة الزمنية المستخدمة لأكثر من أربعة عقود (1981-2024)، كما يوضح الجدول (1) الخصائص الطبيعية لهذه النقاط.

جدول 1: الخصائص الطبيعية لنقاط الرصد المختارة في منطقة سهل بنغازي

نقطة الرصد	دائرة العرض شمالاً	خط الطول شرقاً	الارتفاع بالمتر	المسافة عن البحر/كلم	فترة الرصد
طلميثة	32.701°	20.941°	52	0860.	2024 – 1981
دريانة	32.348°	20.313°	4	1.170	2024 – 1981
جردينة	31.803°	20.202°	65	.05062	2024 – 1991
شرق سلطان	31.084°	20.656°	58	46.480	2024 – 1981

المصدر: تم تحديد المواقع والارتفاعات والمسافات باستخدام برنامج (DEM 30 M) & (ArcMap 10.8).

ولتأكيد موثوقية البيانات، تمت مقارنة بيانات NASA POWER المتاحة مع قياسات الأرصاد الجوية الليبية في محطة بنينا (LNMC, 1981-2010)، وأظهرت المقارنة توافقاً مقبولاً في متوسطات الأمطار الشهرية خلال فترة الرصد وبالتالي في المعدلات السنوية، مما يدعم استخدامها في تقييم الجفاف، خاصة في المناطق التي تفتقر إلى محطات أرصاد جوية. ومن جهة أخرى خلال التحليل الإحصائي والمقارنة البصرية بين البيانات الشبكية والقياسات الأرضية، أثبتت البيانات مفتوحة المصدر موثوقية في تمثيل درجات حرارة الهواء القريب من سطح الأرض على ارتفاع مترين (Marzouk, 2021).

2. المنهجية والأساليب:

1.2. مؤشر التساقط المعياري (Standardised precipitation index) SPI

يُحسب مؤشر SPI وفق التحليل الإحصائي الذي أسس له (McKee et al., 1993) كالآتي:

$$SPI = \frac{X_i - X_i^{Average}}{\sigma} \quad \text{(المعادلة رقم 1)}$$

في المعادلة يتم قسمة الفرق بين المجموع السنوي للأمطار (X_i) والمعدل العام للأمطار ($X_i^{Average}$) على الانحراف المعياري خلال فترة الرصد والذي يرمز له بالرمز (σ). ويتطلب حساب المؤشر المعياري للهطول سلسلة بيانات طويلة لتحديد دالة التوزيع الاحتمالي، والتي يتم تحويلها إلى توزيع طبيعي بانحراف معياري قدره واحد، حيث تشير قيم SPI الموجبة إلى هطول أكبر من المتوسط، وتشير القيم السلبية إلى هطول أقل من المتوسط. وبناءً عليه يتم توزيع قيم (SPI) حسب درجات الجفاف والرطوبة كما في الجدول (2).

جدول 2: توزيع قيم (SPI) حسب درجات الجفاف والرطوبة

درجة الجفاف والرطوبة	قيم SPI
شديد الرطوبة	2
رطب جداً	من 1.50 إلى 1.99
معتدل الرطوبة	من 1 إلى 1.49
رطب خفيف	من 0 إلى 0.99
جاف خفيف	من 0 إلى -0.99
معتدل الجفاف	من -1 إلى -1.49
جاف جداً	من -1.50 إلى -1.99
شديد الجفاف	-2

المصدر: Zalika, A. G. 2008. P3.

2.2. مؤشر جونسون Johnson للقارية والبحرية:

يُحسب مؤشر جونسون بالصيغة التالية (Toros et al., 2008; Baltas, 2007):

$$J.C = \frac{1.7 E}{\sin f} - 20.4 \quad (\text{المعادلة رقم 2})$$

حيث J.C هي اختصار لمؤشر جونسون، ويمثل E المدى السنوي لمتوسط درجات الحرارة الشهرية، في حين يشير Sin f إلى جيب خط العرض الذي تقع عنده محطة الأرصاد الجوية، والقيم 1.7 و 20.4 هي قيم ثابتة. ويصنف المناخ بأنه بحري عندما تقع قيمة معامل J.C بين (0-33)، وبأنه قاري عندما تتراوح قيمته بين (34-66)، بينما يُعدُّ قارياً متطرفاً إذا كانت قيمة J.C في المدى (67-100).

3.2. التحليل الإحصائي والتحليل المكاني:

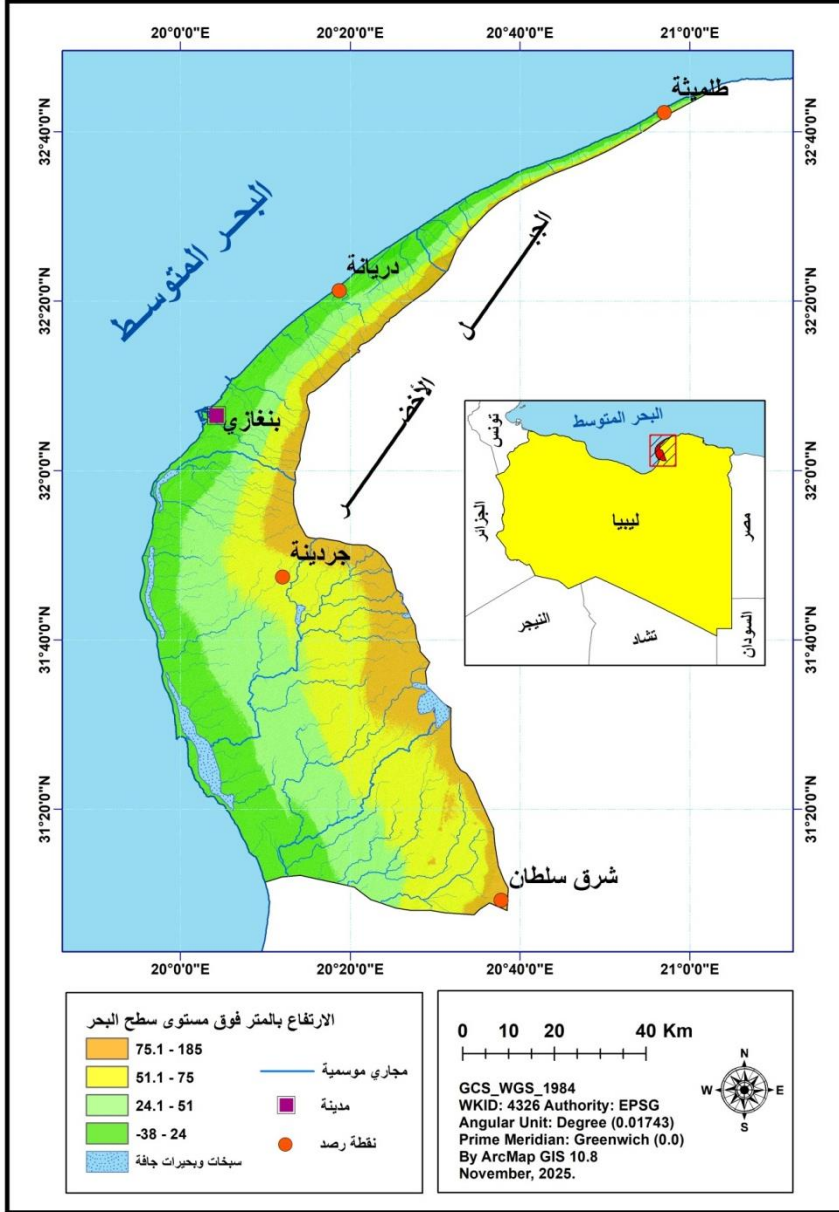
بناءً على نتائج مؤشري الجفاف (SPI) ومؤشر جونسون للقارية-البحرية تم إيجاد العلاقة الإحصائية بين المؤشرين باستخدام معادلة الانحدار الخطي البسيط. ثم جرى تنفيذ التحليل المكاني باستخدام برنامج ArcMap 10.8 عبر أدوات الاستيفاء المكاني Interpolation وبصورة خاصة أداة Kriging، لإنتاج خرائط التدرج المكاني لظاهرة الجفاف. وتتيح هذه المنهجية الثنائية (إحصائية - مكانية) بناء صورة أدق حول تطور الجفاف في سهل بنغازي، وتقييم العلاقة بين تغيرات الهطول والتأثيرات القارية-البحرية.

خامساً: منطقة الدراسة وخصائصها المناخية:

يقع سهل بنغازي في شمال شرق ليبيا، بين دائرتي عرض (31.121° – 32.767°) وخطي طول (19.920° – 21.090°)، ويتخذ شكلاً مخروطياً يتسع تدريجياً نحو الجنوب ليلبلغ أكبر اتساع له عند منطقة سلطان، بينما يضيق شمالاً قرب ظلمية بسبب اقتراب السفوح الغربية للجبل الأخضر من ساحل البحر المتوسط. ويُحاط سهل بنغازي بمحيط جغرافي متنوع (الشكل 1) من الشمال والغرب يطل مباشرة على البحر المتوسط. ومن الشرق يحده الجبل الأخضر، ومن الجنوب يتصل السهل تدريجياً بالسهول الرملية في خليج سرت. ويُعد هذا الامتداد الطولي من الجنوب إلى الشمال واحداً من أهم السمات الطبوغرافية التي تؤثر مباشرة في أنماط التدرج الحراري واتجاهات الرياح، ومن ثم في توزيع الأمطار ومظاهر الجفاف داخل المنطقة. ويتراوح الارتفاع في السهل بين مستويات أقل من مستوى سطح البحر، وأخرى شبه منبسطة في القطاعين الجنوبي والأوسط (–38 متراً إلى 24 متراً)، ومستويات أعلى نسبياً نحو الشمال (حتى 185 متراً)، بما يعكس انتقالاً تدريجياً نحو الحافة الغربية للجبل الأخضر.

أدى التباين الطبوغرافي في منطقة الدراسة إلى فروق مكانية واضحة في التعرض للكتل الهوائية الرطبة ومسار المنخفضات الجوية القادمة من جهة الغرب حيث البحر المتوسط. فالمناطق الواقعة بالقرب من الجبل الأخضر تتلقى كميات أمطار أكبر نتيجة ظاهرة الرفع التضاريسي (Orographic lifting)، حيث يُجبر الهواء الرطب على الصعود عند مواجهة المرتفعات، مما يسبب تكاثف بخار الماء وهطول الأمطار (Barry & Chorley, 2003)، بينما تتراجع كميات الهطول جنوباً داخل السهل.

شكل 1: الموقع والخصائص الطبيعية لسهل بنغازي



المصدر: باستخدام برنامج (ArcMap GIS 10.8) اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي (12.5 متر).

وبناءً على هذا التفاعل بين ضيق السهل شمالاً واتساعه جنوباً وتدرج الارتفاع من الساحل نحو الداخل، يتأثر سهل بنغازي بمزيج من الخصائص المناخية البحرية والقارية، وهو

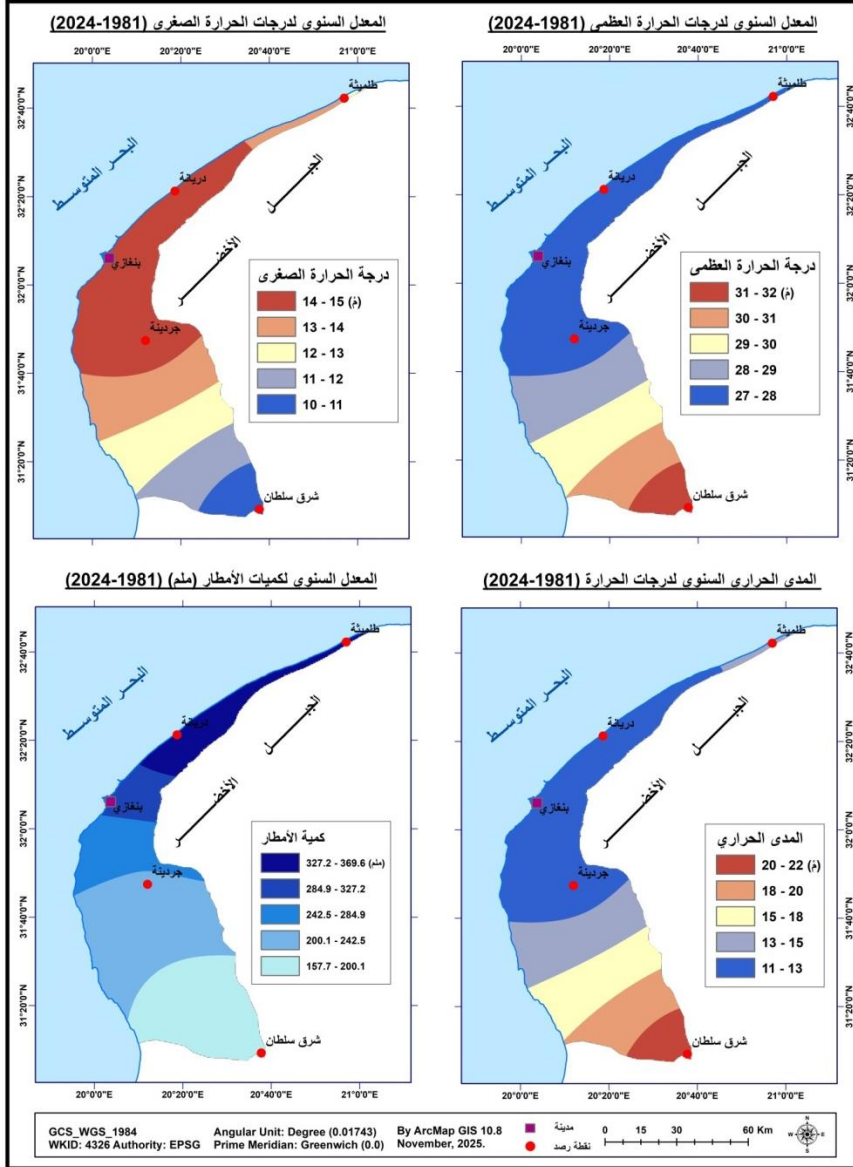
ما يجعله منطقة انتقالية حساسة، فالمناطق الساحلية تسجل عادة انخفاضاً في التباين الحراري وارتفاعاً في الرطوبة، بينما تظهر المناطق الجنوبية داخل السهل خصائص أكثر قارية تتمثل في زيادة التباين الحراري السنوي وانخفاض الأمطار وارتفاع الجفاف المناخي.

بالنظر إلى (الشكل 2) يظهر الدور الحاسم للبحر المتوسط والجبل الأخضر في تشكيل الخصائص المناخية لسهل بنغازي، توضح الخرائط المناخية الأربع تدرجاً واضحاً في خصائص المناخ عبر سهل بنغازي، حيث تعكس كل خريطة جانباً من تأثير الموقع الجغرافي والعوامل البحرية والقارية على توزيع الحرارة والأمطار. ويظهر من خريطة المعدل السنوي لدرجات الحرارة الصغرى أن القيم ترتفع باتجاه الساحل من طلميثة شمالاً حتى بنغازي جنوباً مروراً بمنطقة دريانة، بينما تنخفض تدريجياً نحو الداخل والجنوب شرق منطقة سلطان. أما خريطة درجات الحرارة العظمى فتعكس نمطاً معكوساً، إذ ترتفع القيم باتجاه الجنوب والداخل لتصل إلى مستويات تتجاوز 31°م في شرق سلطان، بينما تنخفض على طول الشريط الساحلي حيث تتراوح بين 27 و29°م. ويعزى هذا الاختلاف إلى انحسار تأثير البحر المتوسط على الساحل وعدم توغله في المناطق الداخلية.

وتأتي خريطة المدى الحراري السنوي لتؤكد هذا التدرج الحراري الواضح في منطقة الدراسة، حيث يتسع المدى الحراري باتجاه الداخل نتيجة الابتعاد عن التلطيف البحري، بينما يضيق قرب الساحل بسبب استقرار تأثير البحر وارتفاع الرطوبة النسبية. ويُعد اختلاف المدى بين 11° و22°م مؤشراً واضحاً على انتقال السهل من مناخ بحري ساحلي إلى مناخ قاري في الجنوب.

وتُظهر خريطة المعدل السنوي للأمطار تركزاً واضحاً لطول أكبر في شمال السهل، ولا سيما في محيط منطقة طلميثة، حيث تتلقى المنطقة التأثير المباشر للمنخفضات الجوية شتاءً وتواجه خطوط سير الرياح الغربية الممطرة. كما يسهم الانحدار الحاد للجبل الأخضر نحو البحر في تعزيز الرفع التضاريسي، الأمر الذي يزيد من كميات الأمطار في كل من طلميثة ودريانة. وتراجع الأمطار تدريجياً باتجاه الجنوب لتصل إلى مستويات منخفضة في منطقة جردينة، فهطول أقل في نقطة الرصد الواقعة شرق سلطان، وهو نمط يعكس تضاداً للتأثير البحري وتنامي الخصائص القارية في جنوب السهل.

شكل 2: الخصائص الحرارية والأمطار في سهل بنغازي (1981-2024).



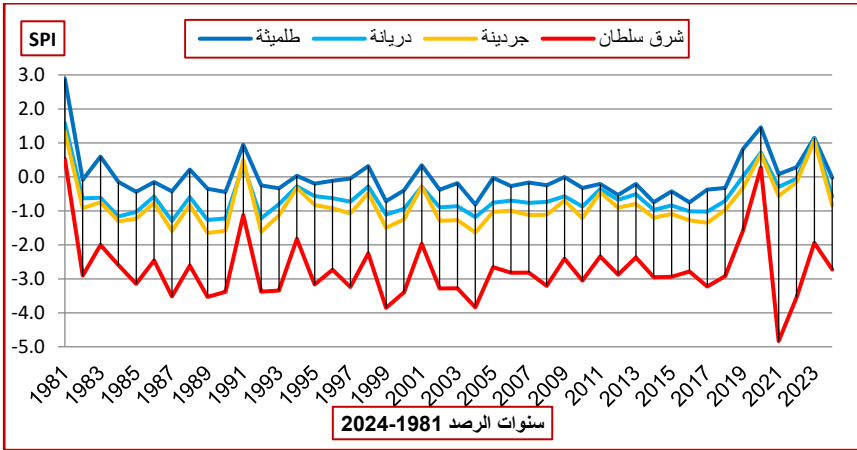
المصدر: باستخدام برنامج (ArcMap GIS 10.8) اعتماداً على البيانات في الملحق رقم (1).

سادساً: النتائج والمناقشة:

1. نتائج مؤشر التساقط المعياري (SPI)

تتيح قيم SPI في نقاط الرصد الأربعة المنتشرة بين الساحل الشمالي والامتداد الداخلي الجنوبي تتبع وتحليل التباينات المكانية لشدة الجفاف، ويُسهّم هذا التحليل في تفسير الملامح المناخية للسهل، وبيان كيفية تغير شدة الجفاف عبر الانتقال من المناطق الساحلية الأكثر تأثراً بالبحر إلى المناطق الداخلية الأكثر جفافاً، وهذا يوفر إطاراً علمياً واضحاً للنتائج المعروضة في الشكل أدناه.

شكل 3: نتائج مؤشر SPI في نقاط الرصد المختارة بمنطقة سهل بنغازي.



المصدر: بالاعتماد على بيانات الملحق (2).

يُظهر (الشكل 3) والمستمد من مؤشر الهطول المعياري (SPI) تباين واضح في النمطين الزمني والمكاني للجفاف عبر نقاط الرصد الواقعة بين الساحل الشمالي الضيق عند طلمينة والامتداد الجنوبي عند شرق سلطان. ويُظهر هذا التدرج المناخي أن شدة الجفاف تتزايد تدريجياً كلما ابتعدنا عن التأثيرات البحرية واقترنا من المناطق الداخلية ذات الطابع شبه القاري. ففي طلمينة، التي تُعد أقرب النقاط إلى البحر المتوسط وأكثرها تعرضاً للتأثيرات البحرية الرطبة، تميل قيم SPI إلى تسجيل مستويات أعلى تصل إلى (+2.8) في سنة 1981، وتظهر دورات الجفاف فيها بدرجة أقل مقارنة ببقية النقاط. ويعزى ذلك إلى قدرة الساحل على التقليل من التذبذب المطري السنوي وتقليل التفاوت بين السنوات الرطبة

والجافة. أما في دريانة، الواقعة بين الجبل الأخضر والساحل، فتُظهر النتائج نمطاً انتقالياً؛ إذ تتكرر فيها فترات الجفاف المتوسط مع وجود سنوات رطبة نسبياً بفعل الارتفاع النسبي والانحدار المواجه للرياح الرطبة القادمة من الشمال والشمال الغربي إذ تتراوح قيم SPI في نقطة رصد دريانة بين (-1.1) في سنة 2017 و(+1.6) في سنة 1981. ويزداد الجفاف وضوحاً في منطقة جردينة، حيث تتراجع معدلات الهطول السنوي ويزداد تكرار القيم السالبة لـ SPI لتتراوح بين (-1.6) في سنة 2004 و(-1.2) في سنة 2014، ما يعكس تأثير الانحسار التدريجي للرياح البحرية وارتفاع درجة القارية. وتظهر في هذه المنطقة موجات جفاف قصيرة ومتوسطة المدى بوتيرة أعلى، بما يتسق مع كونها منطقة انتقالية بين الشمال الرطب والجنوب الجاف. وتبلغ شدة الجفاف ذروتها عند نقطة الرصد شرق سلطان، حيث سجلت أدنى قيم SPI على المستوى السنوي (-4.8) في سنة 2021، وعددًا أكبر من سنوات الجفاف المعتدل إلى الشديد، وهو ما يعكس الطابع الجاف للمنطقة الجنوبية لسهل بنغازي، وضعف التأثيرات البحرية، وارتفاع درجات الحرارة والمدى الحراري السنوي.

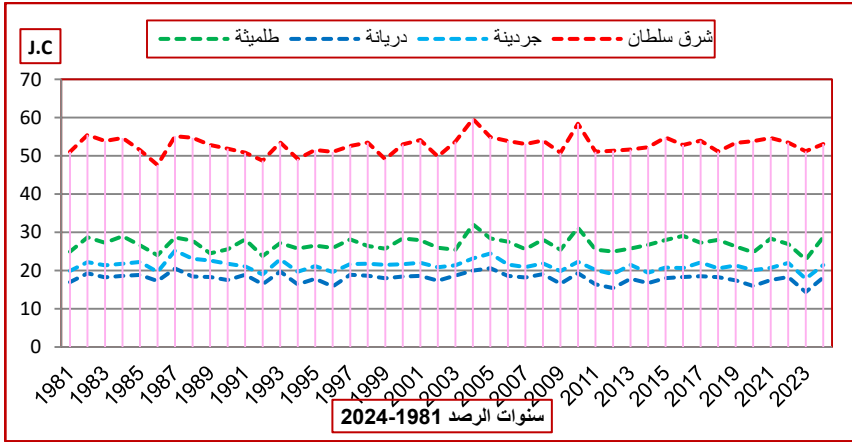
وبصورة عامة، تبين السلاسل الزمنية لمؤشر SPI أن سهل بنغازي لا يشهد بالضرورة تبايناً موضعياً حاداً بين نقاط الرصد في جميع الفترات، إذ تتسم بعض السنوات بطابع مناخي عام يغلب عليه الجفاف أو الرطوبة على مستوى الإقليم بأكمله. ويعد عام 1981 مثلاً بارزاً لسنة رطبة شملت معظم محطات السهل نتيجة تحسن الظروف المطرية واتساع تأثير المنخفضات المتوسطة، في حين برزت في سنوات أخرى موجات جفاف شاملة انعكست في قيم سالبة متقاربة عبر النقاط الأربع، وهو ما يتوافق مع تأثير الأنماط المناخية واسعة النطاق ذات الطابع الإقليمي. ومع تجميع النمط المكاني للقيم، يتضح بجملاء وجود تدرج متصاعد في شدة الجفاف من الشمال الساحلي نحو الجنوب الداخلي، بما يتسق مع الانخفاض الملحوظ في كميات الأمطار واتجاه المناخ نحو القارية. وتؤكد هذه النتائج أهمية مؤشر SPI في رصد التباينات المكانية الدقيقة للجفاف في البيئات الساحلية-الداخلية، كما تؤكد دور البحر المتوسط والجبل الأخضر في تشكيل الأنماط المطرية عبر امتداد سهل بنغازي.

2. نتائج مؤشر جونسون (Johansson).

يكتسب مؤشر جونسون أهمية خاصة في البيئات الانتقالية مثل سهل بنغازي، حيث

تتفاعل التأثيرات البحرية القادمة من البحر المتوسط مع السمات القارية الناتجة عن الابتعاد عن الساحل والارتفاعات المتدرجة نحو الجبل الأخضر. ومن ثم فإن تحليل قيم مؤشر جونسون في نقاط الرصد الأربع يتيح تفسيراً أدق للخصائص الحرارية المسيطرة على السهل، وربطها بأنماط الجفاف المسجلة عبر مؤشر SPI.

شكل 4: نتائج مؤشر جونسون (J.C) في نقاط الرصد نقاط الرصد المختارة بمنطقة سهل بنغازي



المصدر: بالاعتماد على بيانات الملحق (3).

تُظهر السلسلة الزمنية لمؤشر جونسون عبر النقاط الأربع نمطاً مكانياً متسقاً مع التصنيف القاري-البحري المتوقع؛ القيم الأدنى للمؤشر تتركز في المحطات الساحلية الأقرب إلى البحر (طلمينة ودريانة وجردينة)، بينما تسجل الجهات الداخلية (شرق سلطان) قيماً أعلى تدل على طابع أكثر قارية. هذا التوزيع المكاني الثابت يشير إلى وجود تدرج قاري-بحري واضح عبر امتداد السهل، حيث يقل تأثير التلطيف الحراري للبحر بالاتجاه جنوباً وشرقاً بعيداً عن البحر.

على المستوى الزمني، تُظهر السلاسل تقلبات متعددة المقياس: تقلبات سنوية حادة متعاقبة مع دورات عقدية واضحة تعكس تباينات مناخية إقليمية. كما يتضح من الشكل أن هناك فترات يحدث خلالها ارتفاع أو انخفاض شبه متزامن لقيم J.C عبر معظم النقاط، ما يدل على تأثير عوامل مناخية إقليمية، تفوق التباينات المحلية المؤقتة مثل التغيرات في درجات الحرارة السطحية. وإلى جانب التدرج المكاني الثابت لمؤشر جونسون من الشمال الغربي إلى

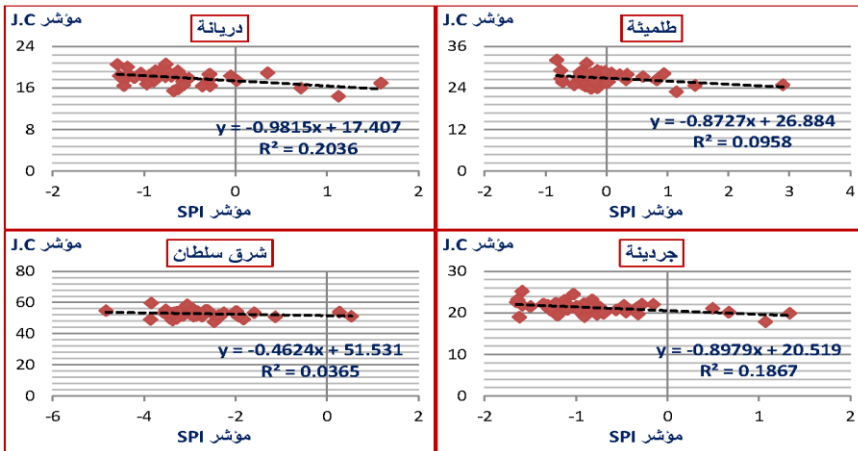
الجنوب الشرقي، تؤثر أيضاً إشارات مناخية عريضة النطاق في تعديل سلوك القارية-البحرية عبر الزمن.

من جهة أخرى، يمكن تفسير الارتفاع الطفيف في قيم مؤشر J.C خلال بعض العقود باعتباره انعكاساً لتزايد الفرق بين درجات الحرارة الصغرى والعظمى وما ينتج عنه من اتساع في المدى الحراري السنوي، وهو ما يشير إلى تنامي الخصائص القارية في السهل، ويتسق مع الاتجاهات الحرارية المرتبطة بالاحتزاز الإقليمي. وفي المقابل، تعكس الفترات التي تنخفض فيها قيم J.C هيمنة أكبر للتأثير البحري أو تراجعاً في التباين الحراري السنوي، الأمر الذي قد يسهم في التخفيف النسبي من الجفاف عبر الحد من التبخر نتج المحتمل (PET) خاصة في المناطق ذات الغطاء النباتي في الجبل الأخضر. هذا يوفر تفسيراً فيزيائياً مهماً لاختلاف شدة الجفاف الملاحظة عبر نقاط الرصد (كما سجلته قيم SPI)، لأن المواقع ذات J.C الأعلى تتعرض لفروقات حرارية أكبر وبالتالي تكون أكثر عرضة للجفاف.

3. العلاقة الإحصائية بين مؤشري SPI وجونسون:

للتعرف على العلاقة بين نتائج تطبيق المؤشرين تم استخدام نموذج الانحدار الخطي البسيط من خلال برنامج Excel لقياس اتجاه العلاقة وقوتها بين نتائج المتغيرين في نقاط الرصد الأربع، مما يوفر أساساً كمياً لتفسير التفاعل بين السلوك المطري والخصائص الحرارية في المنطقة. وتعرض الأشكال الآتية نتائج هذه العلاقة في كل نقطة رصد بمنطقة الدراسة.

شكل 5: نتائج معادلة الانحدار الخطي البسيط بين مؤشر SPI ومؤشر جونسون.



المصدر: بالاعتماد على قيم نتائج مؤشري (SPI) و (J.C) في الملحق (2 و 3).

من خلال (الشكل 5) تُظهر نتائج الانحدار الخطي البسيط بين مؤشر الهطول المعياري (SPI) ومؤشر جونسون (J.C) عبر نقاط الرصد الأربع وجود علاقة سلبية الاتجاه بين المؤشرين، أي أن ارتفاع قيمة مؤشر جونسون - التي تعبر عن تزايد الطابع القاري وارتفاع المدى الحراري - يرتبط بانخفاض قيم SPI التي تعكس شدة الجفاف المطري. ويُعد هذا النمط منطقيًا من الناحية المناخية، إذ تتوافق القارية العالية عادة بارتفاع الطلب الحراري (PET) وضعف التأثيرات البحرية المخففة، مما يؤدي إلى تفاقم أثر أي نقص في الأمطار، ومن ثم انخفاض قيم SPI.

ففي طلميثة، تُظهر معادلة الانحدار ميلاً سلبياً واضحاً ($b = -0.8727$)، لكنه يتوافق بقيمة تفسيرية منخفضة ($R^2 = 0.0958$)، مما يشير إلى أن العلاقة بين المؤشرين موجودة لكنها ضعيفة، وهو ما يعكس تأثير البحر المتوسط القادر على تعديل التذبذب الحراري وتقليل حساسية الحرارة تجاه الهطول. أما في دريانة، فتبدو العلاقة أكثر وضوحاً ($R^2 = 0.2036$, $b = -0.9815$)، وهو ما يدل على دور أكبر للحرارة في تفسير التباين المطري، خصوصاً مع تموضعها انتقالياً بين الساحل والجبل الأخضر.

وفي جردينة، تتكرر العلاقة السلبية ($b = -0.8979$)، لكن بقيمة تفسيرية أقل ($R^2 = 0.1867$)، وهو ما يعكس طابعها المتوسط بين تأثيرات الساحل والداخل ويؤكد أن للطابع الحراري دوراً معتبراً لكنه ليس وحيداً في تحديد شدة الجفاف. وتبلغ العلاقة أدنى مستوياتها في شرق سلطان ($R^2 = 0.0365$) رغم استمرار الاتجاه السليبي ($b = -0.4624$)، ما يدل على أن الجفاف في المنطقة الجنوبية يخضع بدرجة أكبر للعجز المطري المباشر وانخفاض معدلات الهطول، بينما يصبح تأثير القارية أقل قدرة على تفسير التباينات السنوية للهطول.

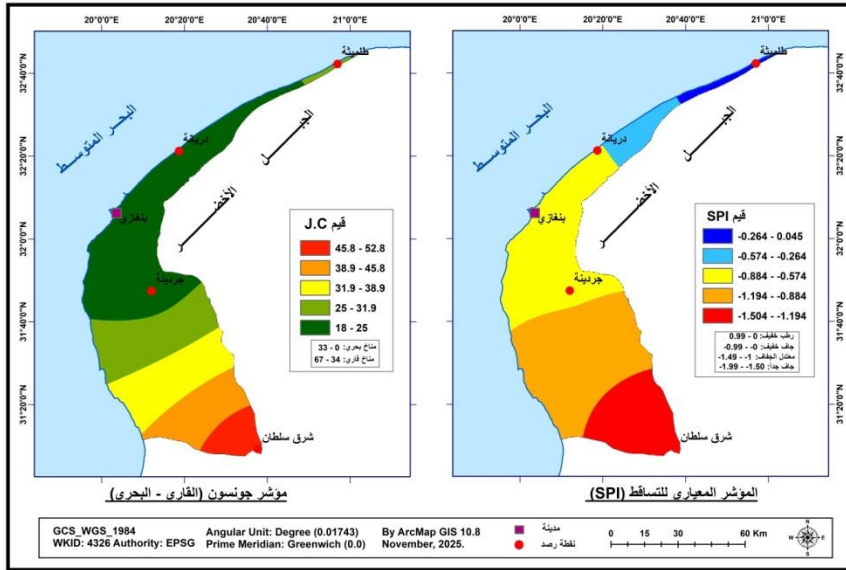
ويكشف هذا التباين بين النقاط الأربع أن العلاقة بين المؤشرين تعتمد بدرجة كبيرة على الموقع الجغرافي، فكلما اقتربت المنطقة من الساحل ازداد تأثير البحر وتراجعت قوة العلاقة الإحصائية، بينما تتحسن العلاقة نسبياً في المناطق الانتقالية، ثم تنخفض مرة أخرى في الجنوب نتيجة سيادة الجفاف المطري الشديد الذي تتراجع أمامه قدرة المؤشر الحراري وحده على تفسير السلوك المناخي. ويوضح ذلك أن مؤشر جونسون لا يُستخدم لتفسير قيم SPI بشكل مباشر، بل يساهم في تفسير البيئة المناخية التي تجعل بعض المناطق أكثر

حساسية للجفاف من غيرها، خصوصاً من حيث القارية والطلب الحراري.

4. التحليل المكاني لنتائج مؤشري SPI وجونسون:

من خلال دمج المخرجات المكانية للمؤشرين ضمن بيئة برنامج (ArcMap 10.8)، عن طريق أدوات الاستيفاء التي من ضمنها أداة (Kriging) يمكن تحديد المناطق التي يتطابق فيها نقص الأمطار مع ارتفاع القارية، والمناطق التي يخفف فيها التأثير البحري من شدة الجفاف. ويتيح هذا التحليل استكشاف البنية المكانية للجفاف في سهل بنغازي وتفسير الفروق بين الشمال الساحلي الأكثر اعتدالاً والجنوب الداخلي الأكثر جفافاً، وهو ما يساعد في بناء تصور شامل لتداخل العوامل المناخية المؤثرة في المنطقة.

شكل 6: التحليل المكاني لنتائج مؤشري SPI وجونسون
في منطقة سهل بنغازي (1981-2024)



المصدر: باستخدام برنامج (ArcMap GIS 10.8) بالاعتماد على الملحقين (2 و 3).

تُظهر الخريطتان في (الشكل 6) تدرجاً مكانياً متسقاً بين المؤشرين؛ حيث تتوافق أعلى قيم القارية في جنوب السهل، خاصة في منطقة شرق سلطان، مع أدنى قيم SPI التي تعكس أشد مستويات الجفاف. كما يتضح أن المناطق الساحلية في طلميثة ودريانة تتمتع بطابع بحري أقوى يتجلى في انخفاض مؤشر جونسون وارتفاع نسبي في قيم SPI مقارنة

بالمناطق الداخلية. ويبرز هذا التطابق المكاني أن اشتداد القارية يرافقه ضعف في الهطول وارتفاع في شدة الجفاف، في حين يخفف التأثير البحري من حدة الجفاف قرب الساحل. وتؤكد هذه الأنماط أن البنية الحرارية-المطرية في السهل تتدرج من مناخ متوسطي رطب نسبياً شمالاً إلى مناخ شبه قاري جاف جنوباً.

سابعاً: النتائج والتوصيات:

- أظهرت قيم مؤشر SPI وجود تدرج واضح في شدة الجفاف من الشمال الساحلي الضيق نحو الجنوب الداخلي الواسع، حيث سجلت كل من طلميثة ودريانة أقل مستويات الجفاف، بينما بلغت ذروتها في جردينة وشرق سلطان.

- بينت السلاسل الزمنية لمؤشر SPI أن بعض السنوات تتخذ طابعاً إقليمياً عاماً (رطبة أو جافة)، مما يشير إلى تأثير الأنماط المناخية واسعة النطاق على المنطقة بأكملها.

- أظهر مؤشر جونسون تزايداً ثابتاً في القارية باتجاه الجنوب، مع أعلى القيم في شرق سلطان وأدناها في طلميثة، مما يعكس تراجع التأثير البحري واتساع المدى الحراري السنوي.

- أكدت العلاقة الإحصائية بين مؤشري SPI و J.C وجود ارتباط سلبي الاتجاه بينهما، أي أن زيادة القارية تقابلها زيادة في شدة الجفاف، مع اختلاف قوة العلاقة تبعاً لقرب الموقع من البحر.

- كشفت التحليلات المكانية باستخدام أداة Kriging عن تطابق مكاني ملحوظ بين ارتفاع القارية وشدة الجفاف في الجنوب، بينما أظهر الشمال الساحلي توازناً أفضل بين الهطول والطلب الحراري.

- أوضحت الدراسة أنّ شدة الجفاف لا ترتبط بنقص الأمطار وحده، بل بتعاضد التأثير القاري وارتفاع التباين الحراري، ما يجعل تفسير حساسية الجفاف في السهل مرهوناً بكلا المؤشرين.

استناداً إلى النتائج، تؤكد الدراسة على ضرورة تعزيز شبكة الرصد المناخي في سهل بنغازي ومحيطه، بما يقلل من الاعتماد الكامل على البيانات المستمدة من الأقمار الصناعية ويتيح الحصول على قياسات ميدانية أكثر دقة واستمرارية. كما توصي بتطوير منظومة متكاملة لرصد الجفاف تعتمد على دمج المؤشرات المطرية والحرارية معاً، بما في ذلك استخدام مؤشر SPEI لقدرته على تمثيل الطلب المناخي على المياه بصورة أشمل. وأيضاً يجب ربط



خرائط J.C مع خرائط SPI وخرائط PET لتكوين صورة كاملة عن الجفاف في المنطقة. ويعد تعزيز نظم الإنذار المبكر بالجفاف خطوة أساسية لتحسين فعالية الجداول الزمنية الخاصة بإدارة الجفاف، وفق ما تشير إليه المبادرات الدولية مثل البرنامج الأوروبي لدراسة الجفاف في أفريقيا (DEWFORA, 2014). وتوصي الدراسة بتوجيه التخطيط الزراعي نحو المناطق الأقل عرضة للجفاف بالقرب من الساحل، واعتماد استراتيجيات إدارة مياه أكثر صرامة.

ثامناً: المراجع:

- Ali, A. A. M., & Hafi, Z. B. (2022). Standardized precipitation index (SPI) in North Libya and connection with North Atlantic Oscillation (NAO).
- Andreu J., David H., Abel S., Javier P., Dionysis A., Wouter W., Henny A.J. van L., Eleni K., Carlo B., Alessandro C., Susana D., Itziar G., Antonio M., Dario M., Francisco R., Irmí S., Lucia S., Julia R., Drought Indicators: Monitoring, Forecasting And Early Warning, Seventh framework programme of the European Community for research and technological development, Technical Report No.33, March 31th 2015.
- Baltas, E. (2007). Spatial distribution of climatic indices in northern Greece. *Meteorological Applications*, 14, 69–78.
- Barry, R. G., & Chorley, R. J. (2003). *Atmosphere, Weather and Climate* (8th ed.). Routledge.
- DEWFORA. (2014). Improved Drought Early Warning and Forecasting to Strengthen Preparedness and Adaptation to Droughts in Africa – Final Project Report. Seventh Framework Programme of the European Union (FP7), Contract No. 265454.
- El Kenawy, A. M., Al Buloshi, A., Al-Awadhi, T., Al-Nasiri, N., Navarro-Serrano, F., Alhatrushi, S., Robaa, S. M., Domínguez-Castro, F., McCabe, M. F., Schuwerack, P. M., López-Moreno, J. I., & Vicente-Serrano, S. M. (2020). Evidence for intensification of meteorological droughts in Oman over the past four decades. *Atmospheric Research*, 246.
- Libyan National Meteorological Center (LNMC). Benina airport meteorological station data for period (1981–2010), [Unpublished data].
- Marzouk, O. A. (2021). Assessment of global warming in Al Buraimi, Sultanate of Oman based on statistical analysis of NASA POWER data over 39 years, and testing the reliability of NASA POWER against meteorological measurements. *Heliyon*, 7(3).
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology* (pp. 179–184). American Meteorological Society.

- Merabti, A., Darouich, H., Paredes, P., Meddi, M., & Pereira, L. S. (2023). Assessing spatial variability and trends of droughts in Eastern Algeria using SPI, RDI, PDSI, and MedPDSI. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 42, 101226.
- NASA POWER (2025). NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) Data Access Viewer. National Aeronautics and Space Administration.
- Soliman, M.M.M. 2020. Trend Analysis of Temperatures and Precipitation in northern part of Libya, (PhD Unpublished), Department of Geography, University of Karabuk, Karabuk, Turkey.
- Toros, H., Deniz, A., & İncecik, S. (2008). Continentality and oceanality indices in Turkey. In *Proceedings of the Twenty-First Annual Conference of PACON: Energy and Climate Change, Innovative Approaches to Solving Today's Problems* (pp. –), Hawaii, USA, June 1–5, 2008.
- World Bank. (2021). Libya Climate Risk Country Profile. Climate Knowledge Portal.
- World Meteorological Organization & Global Water Partnership. (2016). Handbook of drought indicators and indices (M. Svoboda & B. A. Fuchs, Eds.; WMO-No. 1173). Integrated Drought Management Programme. Geneva, Switzerland.
- Zalika, A. G. (2008). Analysis of meteorological drought in Slovenia with two drought indexes. BALWOIS 2008 Conference, Ohrid, Republic of Macedonia.

تاسعاً: الملاحق:

ملحق 1: المعدل السنوي لدرجات الحرارة المنوية وكميات الأمطار (مم)
 في نقاط رصد منطقة الدراسة (1981-2024).

السنة	طلعيّة				دريانة				جديّة				شرق سلطان			
	عظمى	صغرى	مدى	مطر	عظمى	صغرى	مدى	مطر	عظمى	صغرى	مدى	مطر	عظمى	صغرى	مدى	مطر
1981	27.9	13.8	14.1	862.9	27.3	15.6	11.6	612.9	27.6	15.4	12.2	553.0	32.1	10.5	21.6	411.2
1982	28.2	12.9	15.3	356.5	27.3	15.0	12.4	278.7	27.6	14.7	12.9	251.0	33.0	10.0	23.0	174.2
1983	27.7	12.9	14.9	463.1	26.8	14.8	12.0	280.2	27.1	14.4	12.7	272.4	32.2	9.7	22.5	233.5
1984	28.2	12.8	15.4	346.3	27.0	14.8	12.2	197.3	27.3	14.5	12.8	196.4	32.5	9.8	22.7	194.5
1985	27.9	13.3	14.7	300.0	27.5	15.2	12.2	215.0	27.8	14.9	12.9	204.9	32.2	10.4	21.8	155.6
1986	27.2	13.3	13.8	345.1	26.7	15.0	11.7	282.9	27.0	14.8	12.1	265.3	31.4	10.7	20.6	200.3
1987	28.0	12.7	15.1	400.4	27.1	14.4	12.8	171.6	27.9	14.1	13.8	151.7	32.7	9.9	22.9	126.0
1988	28.2	13.1	13.7	405.3	27.3	15.0	12.1	277.7	28.0	14.8	13.2	153.2	33.1	10.3	22.8	186.8
1989	27.2	13.2	14.0	311.7	27.3	15.2	12.1	170.9	27.9	14.9	13.0	137.7	32.5	10.3	22.2	119.8
1990	28.0	13.7	14.3	294.4	27.5	15.6	11.8	175.7	28.2	15.4	12.8	144.6	32.6	10.7	21.9	127.5
1991	28.0	12.9	15.1	531.8	27.2	15.0	12.3	426.1	27.2	14.7	12.6	440.5	31.6	10.1	21.6	288.1
1992	26.4	12.6	13.8	326.6	26.1	14.6	11.5	174.3	26.3	14.3	11.9	142.5	30.6	9.6	20.9	135.5
1993	28.1	13.3	14.8	311.3	27.8	15.3	12.5	239.7	28.1	14.9	13.1	209.4	32.7	10.3	22.4	134.2
1994	28.0	13.6	14.4	375.3	27.1	15.6	11.5	324.1	27.5	15.3	12.1	323.3	32.0	10.9	21.1	239.4
1995	27.9	13.3	14.6	334.1	27.2	15.3	11.9	275.5	27.6	15.0	12.6	249.1	32.3	10.5	21.8	146.4
1996	27.5	13.1	14.4	349.1	26.5	15.2	11.3	263.1	27.2	15.0	12.1	232.8	32.3	10.7	21.6	173.9
1997	28.1	13.0	15.1	361.1	27.3	15.1	12.3	243.1	27.4	14.7	12.8	207.7	32.6	10.4	22.1	134.3
1998	27.9	13.3	14.6	430.4	27.3	15.2	12.2	320.5	27.9	15.1	12.8	296.9	33.1	10.7	22.4	203.1
1999	28.3	13.9	14.4	231.2	27.6	15.6	12.0	171.0	28.0	15.3	12.7	136.3	32.3	11.3	21.1	83.2
2000	28.1	12.9	15.2	292.5	27.2	15.1	12.1	197.8	27.5	14.8	12.7	172.3	32.5	10.2	22.2	114.5
2001	28.6	13.6	15.1	437.7	27.8	15.7	12.2	316.2	28.3	15.4	12.9	325.2	33.1	10.5	22.6	219.3
2002	28.4	14.0	14.5	293.2	27.6	15.8	11.8	200.4	28.1	15.6	12.5	158.9	32.6	11.3	21.3	119.5
2003	28.1	13.9	14.3	331.5	27.9	15.8	12.2	203.0	28.2	15.5	12.7	158.1	33.6	11.2	22.4	114.4
2004	29.5	13.2	16.4	196.4	27.9	15.3	12.6	135.3	28.2	15.1	13.2	91.3	34.6	10.4	24.3	64.7
2005	28.3	13.1	15.2	363.9	27.8	15.0	12.8	217.1	28.4	14.8	13.6	193.4	33.1	10.3	22.8	150.0
2006	28.4	13.4	14.9	310.3	27.5	15.3	12.2	225.8	27.7	15.0	12.7	194.7	33.1	10.6	22.5	139.3
2007	28.2	13.8	14.3	332.3	27.7	15.7	12.0	207.7	28.0	15.5	12.5	166.7	33.1	10.8	22.3	133.4
2008	28.8	13.6	15.1	312.3	28.0	15.7	12.3	209.3	28.4	15.6	12.8	162.3	34.0	11.5	22.5	93.0
2009	28.3	14.1	14.3	368.7	27.6	16.1	11.5	241.6	27.9	15.8	12.2	236.4	32.8	11.2	21.6	158.0
2010	30.2	14.1	16.1	289.2	28.4	16.0	12.4	167.2	28.7	15.8	12.9	129.3	35.0	11.1	23.9	92.2
2011	28.0	13.7	14.3	316.6	27.1	15.6	11.5	284.3	27.8	15.5	12.3	278.2	32.6	11.0	21.7	152.3
2012	28.0	13.9	14.1	228.5	27.1	15.9	11.2	202.6	27.5	15.6	12.0	179.5	32.9	11.2	21.7	92.3
2013	28.4	14.0	14.4	313.1	27.8	15.8	11.9	238.8	28.2	15.5	12.7	195.7	33.0	11.1	21.8	135.3
2014	28.7	14.0	14.7	159.1	27.4	15.8	11.6	108.5	27.6	15.5	12.1	95.1	33.1	11.1	22.0	64.8
2015	28.7	13.6	15.1	249.4	27.7	15.7	12.0	138.1	27.9	15.4	12.5	113.8	33.7	11.0	22.8	63.2
2016	29.7	14.3	15.4	150.7	28.2	16.1	12.1	81.9	28.4	16.0	12.4	62.2	33.9	11.7	22.2	79.2
2017	28.8	13.9	14.9	263.7	28.0	15.9	12.1	78.6	28.5	15.7	12.9	45.3	33.7	11.1	22.5	30.0
2018	29.4	14.1	15.1	276.4	28.6	16.6	12.1	174.6	28.7	16.3	12.4	147.5	33.9	12.2	21.7	92.9
2019	28.1	13.6	14.6	604.8	27.0	15.2	11.8	373.8	27.4	14.8	12.6	296.2	32.9	10.5	22.4	225.3
2020	27.9	13.8	14.1	836.7	27.2	15.8	11.3	592.2	27.8	15.6	12.3	536.2	33.2	10.7	22.5	397.2
2021	29.1	13.9	15.2	396.0	27.8	16.0	11.8	267.5	28.2	15.8	12.4	214.9	34.1	11.3	22.7	135.9
2022	28.6	13.9	14.8	483.5	27.9	15.9	12.1	348.8	28.5	15.7	12.8	322.1	33.3	10.9	22.4	196.0
2023	27.8	14.3	13.5	998.4	27.3	16.4	10.8	970.5	27.7	16.2	11.6	800.8	33.1	11.4	21.7	253.8
2024	30.4	15.1	15.3	223.8	28.8	16.8	12.0	217.5	29.1	16.5	12.7	231.6	34.5	12.2	22.3	144.6
المعدل	28.3	13.6	14.7	369.7	27.5	15.5	12.0	261.4	27.9	15.2	12.6	231.3	32.9	10.8	22.2	157.6

المصدر: اعتماداً على بيانات (NASA POWER)

<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>

ملحق 2: نتائج مؤشر SPI

شرق سلطان		جردينة		دريانة		طلمينة		السنة
نوع المناخ	SPI	نوع المناخ	SPI	نوع المناخ	SPI	نوع المناخ	SPI	
رطب خفيف	0.53	معتدل الرطوبة	1.34	رطب جداً	1.59	شديد الرطوبة	2.90	1981
شديد الجفاف	-2.91	جاف خفيف	-0.92	جاف خفيف	-0.63	جاف خفيف	-0.09	1982
شديد الجفاف	-2.00	جاف خفيف	-0.74	جاف خفيف	-0.61	رطب خفيف	0.60	1983
شديد الجفاف	-2.59	معتدل الجفاف	-1.31	معتدل الجفاف	-1.16	جاف خفيف	-0.15	1984
شديد الجفاف	-3.15	معتدل الجفاف	-1.23	معتدل الجفاف	-1.03	جاف خفيف	-0.44	1985
شديد الجفاف	-2.46	جاف خفيف	-0.77	جاف خفيف	-0.57	جاف خفيف	-0.15	1986
شديد الجفاف	-3.52	جاف جداً	-1.59	معتدل الجفاف	-1.29	جاف خفيف	-0.43	1987
شديد الجفاف	-2.61	جاف خفيف	-0.82	جاف خفيف	-0.59	رطب خفيف	0.22	1988
شديد الجفاف	-3.53	جاف جداً	-1.65	معتدل الجفاف	-1.27	جاف خفيف	-0.35	1989
شديد الجفاف	-3.38	جاف جداً	-1.59	معتدل الجفاف	-1.22	جاف خفيف	-0.44	1990
معتدل الجفاف	-1.12	رطب خفيف	0.49	رطب خفيف	0.35	رطب خفيف	0.94	1991
شديد الجفاف	-3.38	جاف جداً	-1.62	معتدل الجفاف	-1.22	جاف خفيف	-0.25	1992
شديد الجفاف	-3.34	معتدل الجفاف	-1.13	جاف خفيف	-0.80	جاف خفيف	-0.34	1993
جاف جداً	-1.82	جاف خفيف	-0.32	جاف خفيف	-0.28	رطب خفيف	0.03	1994
شديد الجفاف	-3.17	جاف خفيف	-0.83	جاف خفيف	-0.56	جاف خفيف	-0.20	1995
شديد الجفاف	-2.73	جاف خفيف	-0.92	جاف خفيف	-0.63	جاف خفيف	-0.11	1996
شديد الجفاف	-3.24	معتدل الجفاف	-1.08	جاف خفيف	-0.73	جاف خفيف	-0.05	1997
شديد الجفاف	-2.25	جاف خفيف	-0.47	جاف خفيف	-0.28	رطب خفيف	0.32	1998
شديد الجفاف	-3.85	جاف جداً	-1.50	معتدل الجفاف	-1.11	جاف خفيف	-0.72	1999
شديد الجفاف	-3.40	معتدل الجفاف	-1.25	جاف خفيف	-0.94	جاف خفيف	-0.40	2000
جاف جداً	-1.97	جاف خفيف	-0.28	جاف خفيف	-0.29	رطب خفيف	0.34	2001
شديد الجفاف	-3.28	معتدل الجفاف	-1.29	جاف خفيف	-0.89	جاف خفيف	-0.38	2002
شديد الجفاف	-3.28	معتدل الجفاف	-1.27	جاف خفيف	-0.86	جاف خفيف	-0.18	2003
شديد الجفاف	-3.84	جاف جداً	-1.64	معتدل الجفاف	-1.18	جاف خفيف	-0.82	2004
شديد الجفاف	-2.66	معتدل الجفاف	-1.03	جاف خفيف	-0.76	جاف خفيف	-0.03	2005
شديد الجفاف	-2.82	جاف خفيف	-0.99	جاف خفيف	-0.70	جاف خفيف	-0.27	2006
شديد الجفاف	-2.82	معتدل الجفاف	-1.12	جاف خفيف	-0.76	جاف خفيف	-0.17	2007
شديد الجفاف	-3.21	معتدل الجفاف	-1.12	جاف خفيف	-0.74	جاف خفيف	-0.25	2008
شديد الجفاف	-2.40	جاف خفيف	-0.70	جاف خفيف	-0.57	رطب خفيف	0.00	2009
شديد الجفاف	-3.05	معتدل الجفاف	-1.22	جاف خفيف	-0.87	جاف خفيف	-0.33	2010
شديد الجفاف	-2.34	جاف خفيف	-0.45	جاف خفيف	-0.36	جاف خفيف	-0.21	2011
شديد الجفاف	-2.88	جاف خفيف	-0.90	جاف خفيف	-0.67	جاف خفيف	-0.53	2012
شديد الجفاف	-2.37	جاف خفيف	-0.80	جاف خفيف	-0.51	جاف خفيف	-0.21	2013
شديد الجفاف	-2.95	معتدل الجفاف	-1.20	جاف خفيف	-0.97	جاف خفيف	-0.74	2014
شديد الجفاف	-2.94	معتدل الجفاف	-1.09	جاف خفيف	-0.84	جاف خفيف	-0.42	2015
شديد الجفاف	-2.78	معتدل الجفاف	-1.28	معتدل الجفاف	-1.01	جاف خفيف	-0.75	2016
شديد الجفاف	-3.23	معتدل الجفاف	-1.35	معتدل الجفاف	-1.02	جاف خفيف	-0.37	2017
شديد الجفاف	-2.92	جاف خفيف	-0.97	جاف خفيف	-0.70	جاف خفيف	-0.33	2018
جاف جداً	-1.59	جاف خفيف	-0.32	رطب خفيف	0.02	رطب خفيف	0.82	2019
رطب خفيف	0.28	رطب خفيف	0.67	رطب خفيف	0.72	معتدل الرطوبة	1.46	2020
شديد الجفاف	-4.83	جاف خفيف	-0.56	جاف خفيف	-0.29	رطب خفيف	0.08	2021
شديد الجفاف	-3.55	جاف خفيف	-0.16	جاف خفيف	-0.05	رطب خفيف	0.29	2022
جاف جداً	-1.94	معتدل الرطوبة	1.07	معتدل الرطوبة	1.13	معتدل الرطوبة	1.15	2023
شديد الجفاف	-2.73	جاف خفيف	-0.83	جاف خفيف	-0.59	جاف خفيف	-0.02	2024

المصدر: اعتماداً على بيانات (NASA POWER) وبتطبيق المعادلة رقم (1).

ملحق 3: نتائج مؤشر جونسون

شرق سلطان		جربة		درية		طلمة		السنة
نوع المناخ 33 <	J.C	نوع المناخ 33 >	J.C	نوع المناخ 33 >	J.C	نوع المناخ 33 >	J.C	
قاري	51.05	بحري	19.90	بحري	16.95	بحري	24.93	1981
قاري	55.49	بحري	22.18	بحري	19.26	بحري	28.70	1982
قاري	53.87	بحري	21.38	بحري	18.22	بحري	27.25	1983
قاري	54.68	بحري	21.80	بحري	18.62	بحري	29.00	1984
قاري	51.48	بحري	22.22	بحري	18.84	بحري	26.60	1985
قاري	47.62	بحري	19.65	بحري	17.24	بحري	23.98	1986
قاري	55.15	بحري	25.19	بحري	20.53	بحري	28.65	1987
قاري	54.72	بحري	23.09	بحري	18.42	بحري	27.81	1988
قاري	52.83	بحري	22.61	بحري	18.32	بحري	24.51	1989
قاري	51.89	بحري	21.80	بحري	17.52	بحري	25.54	1990
قاري	50.82	بحري	21.05	بحري	18.91	بحري	28.14	1991
قاري	48.74	بحري	18.96	بحري	16.43	بحري	23.81	1992
قاري	53.49	بحري	22.96	بحري	19.72	بحري	27.17	1993
قاري	49.18	بحري	19.69	بحري	16.38	بحري	25.75	1994
قاري	51.54	بحري	21.15	بحري	17.86	بحري	26.52	1995
قاري	51.02	بحري	19.59	بحري	15.84	بحري	25.93	1996
قاري	52.60	بحري	21.70	بحري	18.90	بحري	28.13	1997
قاري	53.46	بحري	21.77	بحري	18.65	بحري	26.41	1998
قاري	49.09	بحري	21.49	بحري	17.96	بحري	25.72	1999
قاري	52.99	بحري	21.64	بحري	18.42	بحري	28.41	2000
قاري	54.12	بحري	22.05	بحري	18.59	بحري	27.95	2001
قاري	49.82	بحري	20.86	بحري	17.33	بحري	25.99	2002
قاري	53.70	بحري	21.38	بحري	18.69	بحري	25.41	2003
قاري	59.67	بحري	23.14	بحري	19.99	بحري	32.09	2004
قاري	54.90	بحري	24.46	بحري	20.59	بحري	28.38	2005
قاري	53.89	بحري	21.55	بحري	18.61	بحري	27.54	2006
قاري	53.09	بحري	20.91	بحري	18.16	بحري	25.57	2007
قاري	54.01	بحري	21.85	بحري	19.07	بحري	28.11	2008
قاري	50.81	بحري	19.84	بحري	16.54	بحري	25.40	2009
قاري	58.40	بحري	22.27	بحري	19.33	بحري	31.18	2010
قاري	51.07	بحري	20.16	بحري	16.38	بحري	25.45	2011
قاري	51.35	بحري	19.06	بحري	15.42	بحري	24.94	2012
قاري	51.67	بحري	21.49	بحري	17.87	بحري	25.77	2013
قاري	52.27	بحري	19.42	بحري	16.73	بحري	26.72	2014
قاري	54.80	بحري	20.77	بحري	18.03	بحري	27.97	2015
قاري	52.84	بحري	20.63	بحري	18.29	بحري	29.06	2016
قاري	53.98	بحري	22.11	بحري	18.53	بحري	27.28	2017
قاري	51.14	بحري	20.57	بحري	18.27	بحري	28.00	2018
قاري	53.40	بحري	21.34	بحري	17.45	بحري	26.31	2019
قاري	53.82	بحري	20.12	بحري	15.95	بحري	24.77	2020
قاري	54.67	بحري	20.69	بحري	17.52	بحري	28.34	2021
قاري	53.46	بحري	22.00	بحري	18.31	بحري	26.93	2022
قاري	51.19	بحري	17.83	بحري	14.38	بحري	22.89	2023
قاري	53.09	بحري	21.45	بحري	18.18	بحري	28.74	2024

المصدر: اعتماداً على بيانات (NASA POWER) وتطبيق المعادلة رقم (2).