جهة مراكش أسفي
ⵜⴰⵎⴰⵡⴰⵙⵜ ⵏ ⵟⴰⵣⵔⴼⵜ ⴰⵏⵎⴰⵙ
Région Marrakech Safi

LERMA
مختبر الدراسات حول الموارد، الحركية والجاذبية
laboratoire des Etudes sur les Ressources, Mobilité et Attractivité

كلية الآداب والعلوم الإنسانية مراكش
ⵜⴰⵙⴷⴰⵡⵉⵜ ⵏ ⵜⵓⵙⵙⵏⴰ ⴷ ⵜⵉⵙⵏⴰⵙⵜⵉⵏ ⵜⵉⵏⴰⵎⵓⵔⵉⵏ - ⵎⵔⵓⴽⵓⵛ
Faculté des Lettres et Sciences Humaines - Marrakech

MARRAKECH
جامعة القاضي عياض
UNIVERSITÉ CADI AYYAD

أعمال الملتقى الجهوي للبحث والابتكار بجهة مراكش أسفي

الجغرافية التطبيقية في خدمة التنمية الترابية بجهة مراكش أسفي: التحديات والفرص

متنوعات مهداة إلى الأستاذ
الدكتور أحمد زروال

تنسيق:

عبد الجليل الكريفة
ميلود وشالة
محمد الأكلع
طارق العرفي

2025

الجغرافية التطبيقية في خدمة التنمية الترابية بجهة مراكش أسفي: التحديات والفرص

La géographie appliquée au service du développement territorial dans la région de Marrakech-Safi : défis et opportunités

جهة مراكش أسفي
ⵜⴰⵎⴰⵡⴰⵙⵜ ⵏ ⵟⴰⵣⵔⴼⵜ ⴰⵏⵎⴰⵙ
Région Marrakech Safi

LERMA
مختبر الدراسات حول الموارد، الحركية والجاذبية
laboratoire des Etudes sur les Ressources, Mobilité et Attractivité

كلية الآداب والعلوم الإنسانية مراكش
ⵜⴰⵙⴷⴰⵡⵉⵜ ⵏ ⵜⵓⵙⵙⵏⴰ ⴷ ⵜⵉⵙⵏⴰⵙⵜⵉⵏ ⵜⵉⵏⴰⵎⵓⵔⵉⵏ - ⵎⵔⵓⴽⵓⵛ
Faculté des Lettres et Sciences Humaines - Marrakech

MARRAKECH
جامعة القاضي عياض
UNIVERSITÉ CADI AYYAD

Actes du Colloque régional de la recherche et de l'innovation de la région Marrakech-Safi:

La géographie appliquée au service du développement territorial dans la région de Marrakech-Safi : défis et opportunités

Mélanges en l'honneur du professeur
Dr. Ahmed ZAROUAL

Coordination:

Abdeljalil Lokrifa
Miloud Ouchala
Mohammed El Aklaa
Tarik El Orfi

2025

الجغرافية التطبيقية في خدمة التنمية الترابية
بجهة مراكش أسفي: التحديات والفرص

جهة مراكش أسفي
ⵜⴰⵖⵍⴰⵜ ⵎⵔⴰⴽⵛ ⴰⵡⵙⵙ
Région Marrakech Safi

LERMA
مختبر الدراسات حول الموارد، الحركية والجاذبية
laboratoire des Études sur les Ressources, Mobilité et Attractivité

كلية الآداب والعلوم الإنسانية مراكش
Faculté des Lettres et Sciences Humaines - Marrakech
MARRAKECH
جامعة القاضي عياض
UNIVERSITÉ CADI AYYAD

الجغرافية التطبيقية في خدمة التنمية الترابية
بجهة مراكش أسفي: التحديات والفرص

متنوعات مهداة إلى الأستاذ
أحمد زروال

تنسيق:

عبد الجليل الكريفة - محمد الاكلع

ميلود وشالة - طارق العرفي

2025

محفوظة جميع الحقوق
©Copyright

الجغرافية التطبيقية في خدمة التنمية الترابية بجهة مراكش أسفي: التحديات والفرص

تنسيـــــــــق : عبد الجليل الكريفة - محمد الاكلع - ميلود وشالة - طارق العرفي

منـشـــــورات : مختبر الدراسات حول الموارد، الحركية والجاذبية (LERMA)، كلية الآداب والعلوم الإنسانية - جامعة القاضي عياض، مراكش.

الإيداع القانوني : 2025MO2439

ردمـــــــــك : 978-9920-620-15-4

الطـبـعـة الأولى : 2025

تصميـم الغـلاف: طارق العرفي، ميلود وشالة

الطباعة والإخراج الفني : دار أبي رقراق للطباعة والنشر، الرباط

10 شارع العلويين رقم *3*، حسان – الرباط
الهاتف : *83 75 20 37 05* - **الفاكس :** *89 75 20 37 05*
E-mail : editionsbouregreg2015@gmail.com

اللجنة العلمية

- **الكريفة عبد الجليل** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **الأكلع محمد** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **بوجروف سعيد** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **وادريم مصطفى** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، المحمدية)
- **المباركي حسن** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **بنعلي عبد الرحيم** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **احمد محيي الدين ملين** (كلية العلوم الانسانية والاجتماعية، القنيطرة)
- **حسني المصطفى** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **هلال عبد المجيد** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **منسوم محمد** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **يحيوي عبد العزيز** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **ايت حسو محمد** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **بلفقيه عبد الصادق** (كلية العلوم الانسانية والاجتماعية، القنيطرة)
- **الغاشي محمد** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، بني ملال)
- **بوخروق محمد** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **ظريف جواد** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **حافيظ عبد** اللطيف (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، بني ملال)
- **عربي صفاء** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **حسني خالد** (المدرسة العليا للتكنولوجيا، الصويرة)
- **العيسي حنان** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **متوكل عبد العالي** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **طارق العرفي** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **وشالة ميلود** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)
- **عكاشة عبد المنعم** (كلية الآداب والعلوم الإنسانية، مراكش)

أحمد زروال أستاذ سابق بشعبة الجغرافيا بكلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة القاضي عياض بمراكش، ولد في فاتح يناير سنة 1954 بالعطاوية قلعة السراغنة، حاصل على دبلوم الدراسات العليا في الآداب سنة 1987 بكلية الآداب والعلوم الإنسانية بالرباط، وعلى شهادة التأهيل الجامعي سنة 2015. تتمحور أبحاثه حول الجغرافية الطبيعية عامة وبالخصوص ديناميات الأوساط الطبيعية الجبلية ومشاكل الإعداد والتنمية.

الفهـــرس

كلمة السيد عميد كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة القاضي عياض - مراكش

الأستاذ عبد الجليل الكريفة

كلمة السيد مدير مختبر الدراسات حول الموارد، الحركية والجاذبية(LERMA) ، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة القاضي عياض - مراكش

الأستاذ سعيد بوجروف

كلمة اللجنة المنسقة

الأستاذ محمد الأكلع

القسم الأول: الحكامة المائية في بعدها الجهوي بين متطلبات التنمية ورهانات الاستثمار.

ندرة الموارد المائية وديناميةالمجالات الزراعية بالمجالات الجافة حالة الحيز الترابي لسيدي المختار بإقليم شيشاوة 19

محمد بادلة

الموارد المائية وإشكالية الندرة في حوض أسيف المال: دراسة عند الحاشية الشمالية الغربية لأطلس مراكش 33

معاذ منصوري، عمر بومنير

الحكامة المائية بمنطقة السراغنة: من أجل تدبير مستدام للموارد المائية في ظل الندرة.....45

عبد الصمد الزو

غراسة الزيتون بجهة مراكش اسفي: آثار التغيرات المناخية ورهانات الاستدامة (حالة إقليم قلعة السراغنة).....59

فاطمة الزهراء بوعلالة

الصرف الصحي بدير أطلس مراكش، طريقة تصريف عشوائية تهدد مستقبل بيئة وجودة الموارد المائية "نموذج جماعتي أميزميز وتحناوت" 71

نادية قاسي ، مصطفى وادريم ، كمال حالي

القسم الثاني: تأهيل النظم البيئية الجهوية وتثمين الموارد الترابية.

تثمين سلسلة إنتاج الزيتون بجهة مراكش آسفي: التحديات وتدخلات الفاعليين إقليم قلعة السراغنة نموذجا.....83

توفيق عدية، عبد الصادق بلفقيه

السياحة الجبلية بجماعة ويركان، الفرص والتحديات.....99

رضوان الغالمي، ثرية بوحفاض، إبراهيم التركي

الاستغلال الزراعي للدرجات النهرية السفلى بواد القصب وأساليب الحماية (هضاب شياضمة-حاحا).....113

عبد القادر النايري، مصطفى وادريم ، رشيدة المرابط ، الزهرة زيكة

أدوار وتحديات القادة التربويون لترسيخ الوعي المائي بمؤسسات الثانوي التأهيلي بمديرية آسفي. 125

محمد كلاد، عبد العزيز حمدي

أزمة التدبير الجماعي للموارد في المجالات الجبلية: بين التراجع وإشكالية استدامة المشترك "حالة أودية الزات وأوريكا" 139

سعيد ابناي

هشاشة الأوساط الطبيعية: مشاكل الإعداد وأسس التنمية المستدامة بحوض إمريغة "بالسفح الشمالي لأطلس مراكش"151

يونس ايت حمو، سعيدة أمني، أحمد زروال

تدبير الجفاف المناخي بمناطق الزراعة البورية، نموذج جماعة سيدي عيسى، شمال عبدة.....165

ضمار أمنة، وادريم مصطفى

التوضعات الكاربوناتية الثانوية بالحوز الشرقي: القشرات الكلسية - الرصراصة والفليس 171
محمد الأكلع

القسم الثالث: تدبير الأخطار الطبيعية وإشكالية التخطيط والتهيئة المندمجة.

استخدام معطيات الأقمار الإصطناعية وإعادة التحليل لقياس التساقطات المطرية بالأحواض النهرية. حوض أوريكة نموذجا 187
محمد المهدي السعيدي، مريم رشدان، المهدي الخالقي
ذاكرة الكوارث الطبيعية وثقافة الخطر عند ساكنة حوض غيغاية بالأطلس الكبير الغربي 199
ميلود وشالة، عبد الجليل الكريفة، طارق العرفي
عالية حوض أوريكة ووقع المخاطر الطبيعية: التحديات و آفاق التهيئة والتدبير 215
زكرياء ايت الحاج لحسن، عبد الرحيم بنعلي
مظاهر الهشاشة الطبيعية والبشرية وإشكالية التهيئة المجالية حالة زلزال الحوز - الجماعة الترابية ثلاث نيعقوب - الأطلس الكبير - 225
سعيد عزيوي، خالد بودراوي
تدبير الحركات الكتلية بالمنحدرات الجبلية: حالة حوض نفيس بالأطلس الكبير الغربي مقاربة خرائطية 241
هشام ركيز ، عبد الجليل الكريفة
زلزال الحوز: من كارثة طبيعية إلى فرصة تنموية 261
عبد الرزاق بن احساين
الأنشطة الصناعية تأثرها وتأثيرها على المجالات الساحلية، ساحل أسفي نموذجا 279
مارية أمجوض، فتيحة موفق

القسم الرابع: المدن الذكية والتدبير الترابي المستدام.

التخطيط المستدام لتنمية المناطق الجبلية بالمغرب دراسة تحليلية للمخطط التوجيهي لتهيئة الجبل في جهة مراكش-آسفي 293
المصطفى صبير
التخطيط الاستراتيجي والمدن الذكية المستدامة "حالة مدينة مراكش" 307
مريم سكراتي، سعيد عزيوي
تغيرات أنماط التدبير الترابي و انعكاساتها السوسيومجالية -حالة إقليم الرحامنة - 317
أحمد الإبراهيمي، حسن المباركي
دور الاقتصاد التضامني في تثمين المنتجات المحلية وتحقيق التنمية المستدامة بجماعة أوناغة شمال الصويرة 329
رشيدة أمرير، مصطفى وادريم

القسم الثالث:
تدبير الأخطار الطبيعية وإشكالية التخطيط والتهيئة المندمجة.

استخدام معطيات الأقمار الإصطناعية وإعادة التحليل لقياس التساقطات المطرية بالأحواض النهرية. حوض أوريكة نموذجا

The use of Satellite and Reanalysis data to measure watershed precipitation. The Ourika Basin as a Case Study

محمد المهدي السعيدي[1]، مريم رشدان[2]، المهدي الخالقي[2]

[1] كلية العلوم والتقنيات، جامعة القاضي عياض، مراكش

[2]جامعة محمد السادس متعددة التخصصات التقنية، بنكرير

ملخص: تهدف هذه الدراسة إلى تقييم دقة بيانات التساقطات المطرية المستمدة من الأقمار الاصطناعية ومنتجات إعادة التحليل مقارنة بالقياسات الأرضية التقليدية، مع تطبيق ذلك على حوض أوريكة في المغرب كحالة دراسية، كما تسعى إلى تحديد إمكانية استخدام هذه البيانات كبديل أو مكمل للقياسات الأرضية في المناطق التي تفتقر إلى شبكات رصد كافية. وتم هنا تحليل منتجات مهمة GPM وبيانات إعادة التحليل ERA5 ومقارنتها بقياسات محطة أغبالو الأرضية وذلك باستخدام مؤشرات إحصائية مثل معامل الارتباط. فعلى المستوى اليومي، كانت معاملات الارتباط بين البيانات الشبكية والأرضية متوسطة (50-60%) مع فروقات طفيفة في الكميات. وعلى المستوى الشهري، تحسنت الدقة بشكل ملحوظ، حيث وصلت معاملات الارتباط إلى 0.84. وعلى المستوى السنوي، أظهرت البيانات الشبكية اتجاهًا مشابهًا للبيانات الأرضية، مع وجود بعض المبالغة في التقدير في سنوات محددة. ولتصحيح الفروقات بين البيانات الشبكية والأرضية تم تطبيق معادلات الانحدار الخطي مما ساهم في تحسين دقة التقديرات وقياس التساقطات على مجمل مساحة الحوض. وتثبت الدراسة أن بيانات الأقمار الاصطناعية وإعادة التحليل يمكن أن تكون أدوات فعالة في تقدير التساقطات المطرية، خاصة في المناطق ذات الشبكات الأرضية المحدودة، ويُنصح باستخدامها بعد تصحيحها لتحسين دقة النماذج الهيدرولوجية وإدارة وتدبير الموارد المائية.

الكلمات المفتاحية: التساقطات المطرية، الأقمار الاصطناعية، إعادة التحليل، حوض أوريكة، المغرب.

Abstract: This study aims to evaluate the accuracy of satellite-derived and reanalysis precipitation datasets compared to traditional ground-based observations, using the Ourika watershed in Morocco as a case study. Furthermore, it seeks to assess the potential utility of these datasets as an alternative or supplement to ground measurements, particularly in regions with insufficient monitoring networks. Specifically, precipitation products from the GPM (Global Precipitation Measurement) mission and the ERA5 reanalysis dataset were analyzed and evaluated against measurements from the Aghbalou ground station using statistical metrics, including the correlation coefficient (R).

At the daily timescale, moderate correlation coefficients (R ≈ 0.5-0.6) were found between the gridded datasets and ground observations, with slight discrepancies in precipitation quantities. Accuracy improved markedly at the monthly scale, where correlation coefficients reached up to 0.84. On an annual scale, the gridded datasets exhibited trends similar to those of the ground data, although some overestimation was observed in specific years. To correct the discrepancies between the gridded and ground-based data, linear regression equations were applied. This bias correction significantly improved the accuracy of precipitation estimates and facilitated the quantification of precipitation across the entire watershed area. The findings demonstrate that satellite and reanalysis precipitation data can serve as effective tools for precipitation estimation, especially in data-scarce regions or areas with limited ground observation networks. Consequently, their use, following appropriate bias correction, is recommended for enhancing the accuracy of hydrological models and supporting effective water resources management and planning.

Keywords: Precipitation, Satellites, Reanalysis, Ourika Watershed, Morocco.

1- مقدمة

تلعب التساقطات المطرية دورًا حيويًا في الدورة الهيدرولوجية، حيث تؤثر بشكل مباشر على توازن الموارد المائية في الأحواض النهرية. ومع ذلك، فإن القياس الدقيق لكمية التساقطات المطرية يظل تحديًا، خاصة في المناطق التي تفتقر إلى شبكات كثيفة من محطات القياس الأرضية. ويعد هذا القياس الدقيق أمرًا بالغ الأهمية لضمان تدبير التساقطات بشكل أفضل والتحكم في تأثيراتها

الهيدرولوجية. كما أن دقة هذا القياس ضرورية لتحليل التغيرات والاتجاهات المطرية أو التنبؤ بالأحداث الهيدرومناخية القصوى، خاصة وأن الاحتباس الحراري أدى إلى إعادة توزيع التساقطات المطرية، مما ساهم في حدوث كل من موجات الجفاف والفيضانات الشديدة. (Planton et al., 2008 ; Sapiano et al., 2008 ; Saouabe et al., 2020)

فالتوزيعات المكانيّة والزمانيّة للتساقطات المطرية تتأثر بعدد من العوامل الطبيعية والمناخية والتي تتفاعل فيما بينها لتحدد كميّة وتوقيت التساقطات في مناطق معينة. من بين هذه العوامل الموقع الجغرافي، حيث تؤثر المسافة عن البحار والمحيطات في كمية الأمطار التي تتساقط على منطقة ما، حيث تكون المناطق الساحلية أكثر تعرضًا للأمطار مقارنة بالمناطق الداخلية التي قد تكون جافة. من جهة أخرى، تساهم التضاريس الجبلية في زيادة معدلات الأمطار على جوانبها المواجهة للرياح (الجانب الرطب) وتقليلها على الجوانب الأخرى (الجانب الجاف)؛ وتؤثر كذلك الرياح السائدة في نقل الرطوبة من المحيطات إلى اليابسة، مما يؤدي إلى تساقط الأمطار في مناطق معينة، كما أن الرياح المحلية مثل الرياح الموسمية قد تساهم في تغيير توزيع الأمطار خلال فصول السنة المختلفة. أما زمنيا، فتتأثر أنماط التساقطات بالأحداث الموسمية مثل فصل الصيف الذي يشهد زيادة في الأمطار في بعض المناطق المدارية، أو بفعل ظواهر مناخية مثل ظاهرة "النينيو" التي قد تسبب تذبذبًا في كميات الأمطار على مستوى العالم.

في السابق كانت القياسات تعتمد على الملاحظات الأرضية، غير أن ندرة مواقع الرصد وسوء توزيعها جغرافيًا، إلى جانب السجلات الزمنية المحدودة، شكلت عائقًا كبيرًا أمام فهم الموارد المائية وإدارتها ونمذجتها هيدرولوجيًا؛ ولاحقًا، تم تعزيز قياسات الأمطار بتقديرات مستمدة من النماذج المناخية وإعادة التحليل ومعطيات الأقمار الاصطناعية. وقد شهدت هذه الأخيرة تطورًا ملحوظًا في السنوات الأخيرة بفضل التحسينات المستمرة في أساليب التقدير وتقنيات القياس. وقد ساهم فعلا التطبيق الواسع لبيانات هذه المنتجات الجديدة في تعزيز البحث الهيدرومناخي بشكل كبير، لا سيما في المناطق التي تندر فيها محطات القياس الأرضي وذلك بفضل البيانات الشاملة والممتدة عبر مساحات جغرافية واسعة وأزمنة طويلة ,.Maggioni et al ; 2011 ,.Behrangi et al) .2018)

فالدراسات التي استخدمت معطيات الأقمار الاصطناعية أو إعادة التحليل في قياس التساقطات المطرية شهدت تطورًا كبيرًا في السنوات الأخيرة، حيث أتاح التقدم التكنولوجي في هذا المجال إمكانية الحصول على بيانات دقيقة وشاملة على مستوى واسع. ومن أبرز الدراسات في هذا السياق على مستوى الحوض الأبيض المتوسط دراسات ,.Camici et al ; 2014 ,Conti et al) (Retalis et al., 2022 ; 2018 التي استخدمت معطيات الأقمار الاصطناعية لتقييم تقديرها للتساقطات المطرية مقارنة مع المحطات الأرضية، مما ساعد في تحسين التقديرات المناخية في مناطق ذات شبكات رصد محدودة. كما استخدم Gomis-Cebolla) (Hisam et al., 2023 ; et al., 2023 تقنيات إعادة تحليل بيانات الرادارات الأرضية والنماذج المناخية لدراسة تأثير التغيرات المناخية على أنماط التساقطات. وقد أظهرت هذه الدراسات كيف أن استخدام هذه المعطيات يتيح تحسينًا كبيرًا في النمذجة الهيدرولوجية وتحليل التغيرات الزمنية والمكانية للتساقطات المطرية.

وفي المغرب قام باحثون كثر بتقييم واستخدام معطيات الأقمار الاصطناعية ونماذج إعادة التحليل لتقدير التساقطات المطرية والنمذجة الهيدرولوجية في مختلف الأحواض النهرية Ait Dhmane et ; 2022 ,.Rachdane et al ; 2015 ,.Milewski et al) (El Khalki et al., 2023 ; 2023 ,.al ويتم أحيانا دمج بيانات الأقمار الاصطناعية مع النماذج المناخية لتحليل توزيع الأمطار بشكل أكثر دقة. وإعادة تقييم كمياتها، مما ساعد في تحسين إدارة الموارد المائية وتحسين التوقعات بالفيضانات والجفاف والتخطيط لمخاطرها.

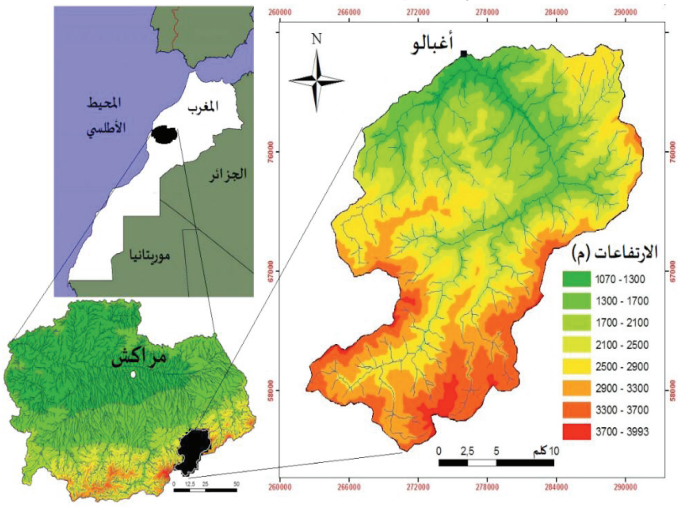
في هذا السياق، يهدف هذا البحث إلى التطرق لكيفية استخدام بيانات الأقمار الاصطناعية ومنتجات إعادة التحليل في تقدير كميات التساقطات المطرية في الأحواض النهرية، وكيفية تقييم دقة هذه البيانات مقارنة بالقياسات الأرضية التقليدية، مع تطبيق ذلك على حوض أوريكة كنموذج؛ وسيتم استعراض أبرز مصادر البيانات الفضائية وتقنيات إعادة التحليل التي تدمج بين

بيانات النماذج المناخية ومعطيات مختلف الرادارات الأرضية لتوفير تقديرات دقيقة. ومن خلال هذه الدراسة، سنناقش الفوائد المرتبطة باستخدام هذه التقنيات، ومدى إمكانية اعتمادها بعد تصحيحها كأدوات مكملة أو بديلة للمحطات الأرضية في سياقات مختلفة، مثل إعداد الموازنات الهيدرولوجية وتحليل اتجاهات التساقطات المطرية للتنبؤ بالتغيرات المناخية.

2- مجال الدراسة

يقع الحوض النهري لأوريكة إلى غاية محطة أغبالو في الأطلس الكبير الغربي جنوب شرق مدينة مراكش، وهو جزء من الحوض الكبير لتانسيفت، ويتواجد بين خطي عرض 31° و31° 21′ شمالاً وخطي طول 7° 30′ و7° 60′ غرباً ويغطي مساحة تبلغ 503 كم² (الشكل 1). يتميز الحوض بارتفاعات تتراوح بين 1070 متر عند سافلته بمحطة أغبالو و3993 متر عند أعلى نقطة في الحوض بمتوسط ارتفاع يبلغ حوالي 2540 متر. ويتميز مناخ حوض وادي أوريكة بتغايرية كبيرة من حيث الزمان والمكان، فهو يشهد أقصى معدلات تساقطات الأمطار خلال فصل الربيع، بينما يعاني من جفاف شديد في الصيف على الرغم من بعض العواصف خلال هذا الفصل. أما فيضانات الوادي فهي تحصل في أي وقت من السنة، وغالبًا ما تكون مفاجئة. وقد وقعت العديد من الفيضانات حتى خلال موسم الصيف، مما تسبب في أضرار جسيمة (Saidi et al., 2010 ; Vinet et al. 2016 ; Bennani et al., 2019)، ويبلغ متوسط التساقطات السنوية حوالي 500 ملم بمحطة أغبالو (حسب فترة القياس)، ولكن هذه الكمية وكثافتها تختلف حسب الارتفاع حيث يمكن أن تتجاوز 700 ملم سنويًا على قمم الحوض العالية، وهذا التباين الكبير يشكل عائقا أمام دراسات التوزيع الجغرافي لهذه التساقطات، فعدد محطات الرصد والقياس غير كاف وغير موزع بشكل جيد، وهنا تكمن أهمية استخدام معطيات الأقمار الإصطناعية وإعادة التحليل لتجاوزها لهذا العائق، وذلك نظرا لتغطيتها مكانيا لمجمل مساحة الحوض وزمانيا لمدة طويلة ودون انقطاعات.

الشكل 1 : الموقع الجغرافي للحوض النهري لأوريكة عند محطة أغبالو



3- المعطيات ومنهجية البحث

تعتبر المحطات الأرضية من أبرز التقنيات التقليدية المستخدمة في قياس تساقطات الأمطار، حيث تعتمد على أجهزة لقياس كمية الأمطار التي تصب على منطقة معينة على مدى فترة زمنية محددة. تُثبت هذه المحطات في مواقع استراتيجية وتعمل باستخدام أجهزة مثل الموازين المطرية أو المقاييس الميكانيكية لتسجيل كميات الأمطار التي تتساقط، وتعتبر هذه الطريقة من أقدم

وأسهل طرق قياس الأمطار، حيث تقدم بيانات دقيقة وموثوقة على مستوى محلي وغالبا ما تثبت هذه المحطات في سافلة الأحواض النهرية وعلى مستوى السدود.

ومع ذلك، يواجه استخدام المحطات الأرضية تحديات كبيرة، من أبرزها التغطية المحدودة زمانًا ومكانًا. فمن حيث المكان، لا يمكن لهذه المحطات أن تغطي جميع المناطق بشكل متساوٍ، خاصة في المناطق النائية أو الوعرة، مما يؤدي إلى نقص في البيانات. أما من حيث الزمن، فالمحطات الأرضية تواجه مشكلة في الحصول على بيانات مستمرة بشكل دقيق، حيث قد تتأثر أحيانًا بتعطل الأجهزة أو صعوبة الوصول إليها للصيانة، وهذا يؤدي إلى فترات بيانات غير مكتملة أو غير دقيقة في بعض الأحيان، مما يؤثر على القدرة على تحليل التوزيع الزمني والمكاني للأمطار بشكل دقيق. لهذا أصبحت القياسات باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد وإعادة التحليل بديلاً معتمداً خلال السنوات الأخيرة، وذلك للتمكن من تغطية فترات زمنية ومجالات مكانية أوسع، وهذا ما يساعد على إنجاز دراسات مناخية وهيدرولوجية بشكل أكثر فعالية.

معطيات الأقمار الاصطناعية وإعادة التحليل واستعمالها في قياس التساقطات المطرية

- الأقمار الاصطناعية

توجد العديد من الأقمار الاصطناعية المتخصصة في رصد التساقطات المطرية على المستوى العالمي، ومن أهم منتجات هذه الأقمار (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) **CHIRPS** وهو نظام بيانات عالمي متخصص في تقدير كميات الأمطار، طُوِّر بواسطة مؤسسات بحثية بالتعاون مع "مجموعة المخاطر المناخية" ؛ ويهدف هذا النظام إلى توفير سجلات طويلة الأمد ودقيقة لمقاييس الأمطار، خصوصًا في المناطق النامية التي تعاني من نقص في البيانات المناخية الدقيقة؛ ويعتمد على منهجية دمج بين البيانات المستخلصة من الأقمار الاصطناعية والبيانات الأرضية (محطات الرصد)، حيث يقوم بإنشاء سجلات يومية أو شهرية لتقديرات التساقطات.

بالنسبة لبيانات الأقمار الاصطناعية، فهو يعتمد على بيانات الأشعة تحت الحمراء الحرارية التي تُلتقط بواسطة هذه الأقمار والتي تُستخدم لتقدير شدة التساقطات بناءً على الرطوبة النسبية للغيوم. وبالنسبة للبيانات الأرضية فهي تستخلص من محطات الرصد الأرضية كلما وجدت وذلك لتحسين دقة التقديرات. وبخصوص التغطية الزمنية، يوفر CHIRPS بيانات عن التساقطات منذ عام 1981 إلى الآن، مما يجعله مثاليًا لدراسات طويلة الأمد، ويغطي تقريبا كامل الأرض كما يتوفر على دقة مكانية متميزة تصل إلى 5 كلم، مما يتيح دراسات محلية دقيقة.

GPM (Global Precipitation Measurement)

هو أحد أهم منتجات الأقمار الاصطناعية لرصد التساقطات عالميًا، وقد أطلقته وكالة الفضاء الأمريكية ناسا بالتعاون مع وكالة الفضاء اليابانية JAXA في عام 2014، ويهدف إلى قياس التساقطات المطرية والثلجية على نطاق عالمي وبدقة مكانية تصل إلى عشر كيلومترات، ويتميز بدقة زمانية جيدة (كل نصف ساعة). ولقياس التساقطات بهذه الدقة يستخدم مجموعة من الأجهزة عالية التقنية، أحدهم يرسل موجات مزدوجة التردد نحو الأرض تقيس الانعكاسات الناتجة عن اصطدامها بقطرات المطر أو حبيبات الثلج ويوفر صورة ثلاثية الأبعاد لتوزيع وشدة التساقطات داخل الغيوم ويمكنه التفريق بين أنواع التساقطات (مطر خفيف، أمطار غزيرة، ثلوج ...). من جهة ثانية يستخدم أيضا موجات قصيرة جدا لاستشعار الإشعاعات الطبيعية المنبعثة من الغلاف الجوي والسحب بترددات متعددة، ويمكنه بذلك تحديد خصائص قطرات المطر والثلج في الغيوم.

وبفضل دقته الزمانية الجيدة وتحديثاته المتكررة، يُعتبر مثاليًا لمتابعة الأحداث الجوية القصوى واللحظية (مثل الأمطار الغزيرة والعواصف) أو لتوفير بيانات شبه فورية لدراسة وتدبير الفيضانات مثلا.

- بيانات إعادة التحليل المطرية

هي مجموعات بيانات مناخية يتم إنشاؤها من خلال دمج الملاحظات الجوية (مثل البيانات المأخوذة من المحطات الأرضية، الأقمار الاصطناعية، البالونات الجوية، السفن، والطائرات) مع النماذج الرياضية للأرصاد الجوية. الهدف هو توفير تمثيل شامل لحالة الغلاف الجوي على مدار فترة زمنية طويلة.

ERA5 على سبيل المثال، هو أحد أشهر مشاريع إعادة التحليل التي يديرها المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى والذي يوفر بيانات مناخية عالمية بدقة مكانية تصل إلى خمسة وعشرين كيلومتر وقياس زماني كل ساعة. تمتد هذه البيانات من سنة 1950 حتى الوقت الحاضر (مع تحديثات دورية) وتُستخدم في العديد من التطبيقات، مثل دراسة التغير المناخي وإدارة المياه والمجال الزراعي.

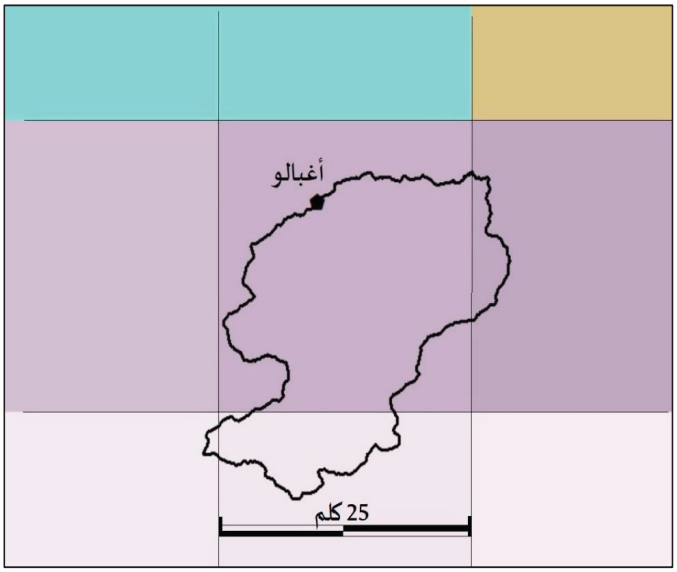
يتم تجميع ملاحظات الأرصاد الجوية من المصادر المتعددة المذكورة ويتم تصحيح أي أخطاء أو مشكلات في البيانات، مثل الثغرات أو التناقضات، ويتم استخدام نموذج رياضي معقد لمحاكاة الغلاف الجوي. هذا النموذج يعتمد على قوانين الفيزياء والأرصاد الجوية، ويتم دمج تقديرات التساقطات مع مخرجات النموذج لإخراج تقدير متكامل لحالة الغلاف الجوي، ويتم بذلك إنتاج المعطيات بشكل دوري وتخزينها كشبكة تغطي الكرة الأرضية بالدقة الزمانية المذكورة (كل ساعة).

منهجية استخدام المعطيات الشبكية لقياس التساقطات المطرية بالأحواض النهرية

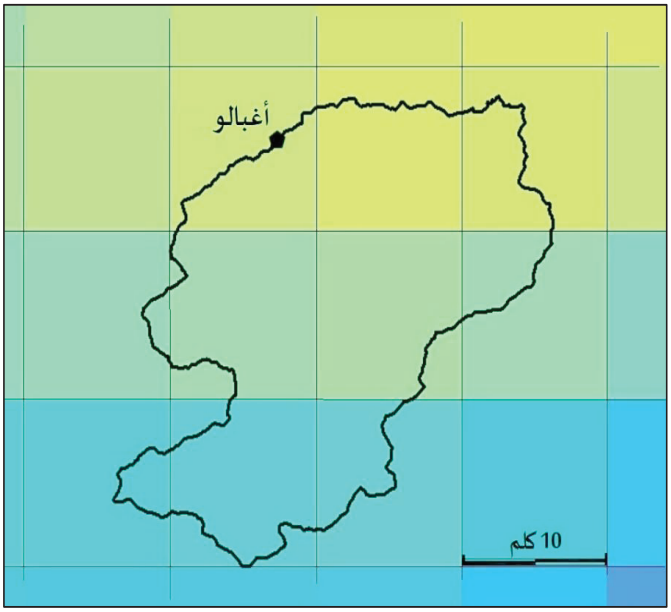
توفر شبكة الإنترنت العديد من المصادر المتاحة التي تقدم بيانات تساقطات الأمطار المستمدة من الأقمار الاصطناعية أو إعادة التحليل كموقع وكالة ناسا الأمريكية أو الموقع الياباني جاكسا أو صفحة المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى. ويتم بهذه المواقع اختيار الفترة الزمنية والمنطقة الجغرافية المطلوبة وتنزيل بياناتها. وبمجرد هذا التنزيل، يمكن استخدام أحد برامج نظم المعلومات الجغرافية لتمثيلها بصريًا واستخراج جداول القيم من بيانات الأقمار على مستوى مواقع المحطات. وبعد التأكد من أن بيانات الأقمار الاصطناعية وإعادة التحليل تتطابق زمنيًا ومكانيًا مع بيانات المحطات الأرضية، نمر لمرحلة مقارنة قيم كلا البيانات. وتتم هذه المقارنة بحساب الإحصائيات الأساسية مثل مؤشرات الارتباط والجذر التربيعي لمتوسط الخطأ والانحراف المطلق المتوسط، كما يمكن أيضا رسم المقارنة بين القيم. فإذا كان معامل الارتباط مرتفعًا وقيمة الانحراف منخفضة فهذا يعني تطابقًا جيدًا بين البيانات. ويمكن أن تكون هناك اختلافات بسبب دقة الإحداثيات الجغرافية أو اختلاف دقة القياس بين المحطات ومعطيات الأقمار أو تأثيرات التضاريس والسحب على استشعار التساقطات من الفضاء.

4- النتائج والمناقشة

لاستخدام معطيات الأقمار الإصطناعية وإعادة التحليل لقياس التساقطات المطرية بالحوض النهري لأوريكة، قمنا بتحميل هذه المعطيات من المنصات المذكورة والمخصصة لهذا الغرض. وباستعمال برنامج نظم المعلومات الجغرافية، استخلصنا بيانات تساقطات الأمطار من تلك المعطيات وتحديدا بيانات المربع الذي يحتوي على محطة أغبالو المناخية، وذلك لأجل مقارنتها مع بيانات التساقطات التي سجلتها مباشرة هذه المحطة الأرضية (الشكلين 2 و3).



الشكل 2 : شبكة القياس الخاصة بمعطيات إعادة التحليلERA5

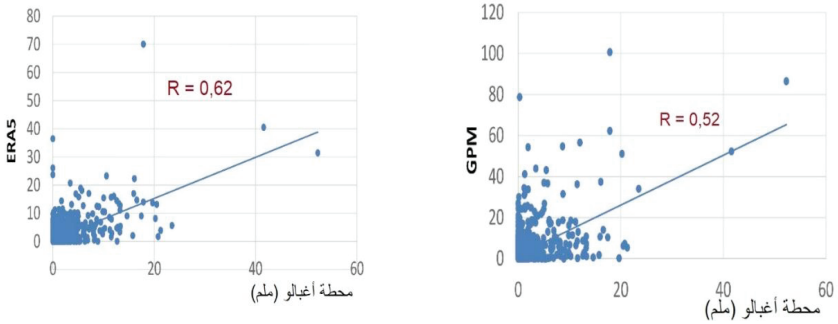


الشكل 3 : شبكة القياس الخاصة بمعطياتGPM

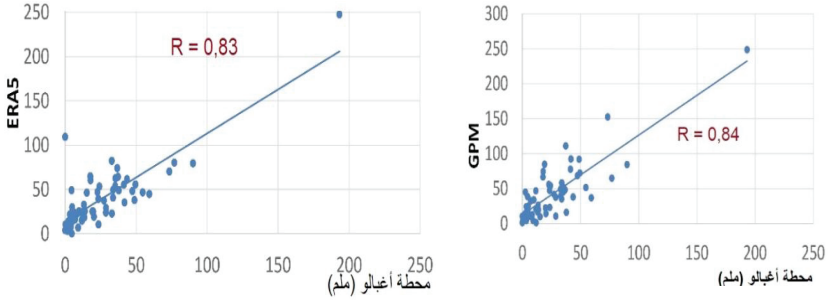
تقييم دقة التقديرات على المستويات اليومية والشهرية والسنوية

على النطاق اليومي، تُظهر معاملات الارتباط بين تقديرات مقاييس الأمطار المستمدة من الأقمار الصناعية وإعادة التحليل من جهة، ومقاييس الأمطار المسجلة في محطة أغبالو من جهة أخرى، قيمًا قريبة من 50% و60% (الشكل 4)، ومتوسط الفرق ضئيل نسبيًا، وهو في حدود 1,4 و1,1 مليمتر يوميا للمنتجين. تجدر الإشارة أن معاملات الارتباط لا تكون عادة مرتفعة على النطاق

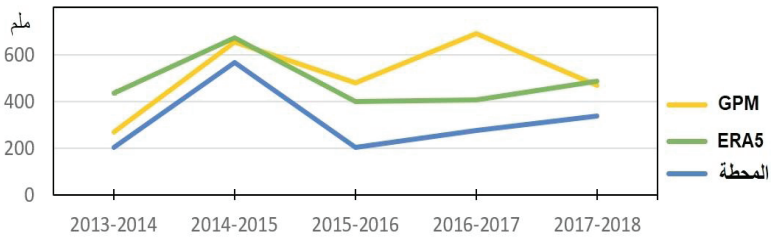
اليومي وقد يكون السبب أحيانًا اختلاف فترة التسجيل بين المنتجات الشبكية والسجلات الأرضية. ففي المحطات الأرضية لقياس الأمطار، تؤخذ القياسات بين الساعة 8 صباحًا من اليوم المعني والساعة 8 صباحًا من اليوم التالي، بينما تمتد قياسات المنتجات المستمدة من الأقمار الاصطناعية وإعادة التحليل من الساعة 0 إلى الساعة 0. لذلك، تتحسن دقة تقدير هذه المنتجات على النطاق الشهري، حيث يختفي هذا الاختلاف الزمني الطفيف. وهكذا، ترتفع معاملات الارتباط إلى 0.84 و0.83 على التوالي للمنتجين، وتبلغ متوسط الفروقات الشهرية مع المحطة الأرضية 20 و16 مليمترًا. أما على النطاق السنوي (الشكل 6)، فتبدو المصادر الثلاثة للبيانات (الأرضية والشبكية) متبعة لنفس الاتجاه، رغم وجود أحيانا مبالغة نسبية في تقدير المنتجات الشبكية مقارنة بالسجلات الأرضية، كحالة سنتي 2016/2015 و2017/2016.



الشكل 4 : الانحدار الخطي والعلاقة بين البيانات الشبكية وبيانات محطة أغبالو على الصعيد اليومي



الشكل 5 : الانحدار الخطي والعلاقة بين البيانات الشبكية وبيانات محطة أغبالو على الصعيد الشهري



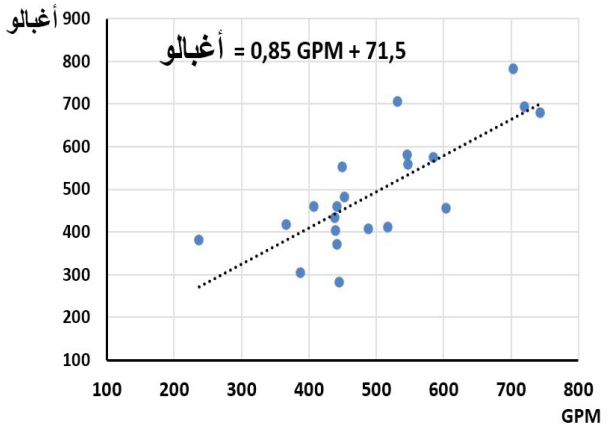
الشكل 6 : تباين التقديرات السنوية للتساقطات المطرية بين المعطيات الشبكية ومعطيات محطة أغبالو

تصحيح فرق التقديرات وحساب التساقطات على مجمل الحوض النهري

توجد (تقريبا دائما) فروقات نسبية بين تقديرات مقاييس الأمطار المسجلة بالأقمار الاصطناعية أو إعادة التحليل وتلك المسجلة بمحطات الأرصاد الأرضية، وذلك راجع أساسا إلى طرق التقدير. فالأقمار الاصطناعية تعتمد على الاستشعار عن بعد

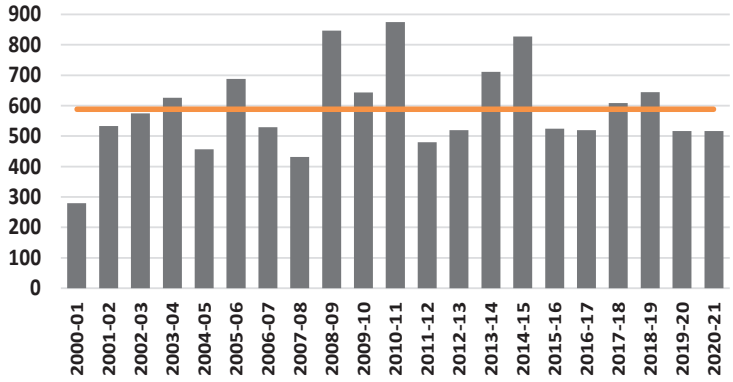
بإرسال إشعاعات كهرومغناطيسية (مثل الأشعة تحت الحمراء) لتقدير كمية التساقطات الممكنة، بينما تستخدم المحطات الأرضية أدوات القياس المباشر كالممطار مثلا؛ كما يرجع سبب الفروقات أيضا إلى رقعة القياس المكاني ودقته، فالأقمار الاصطناعية تقيس كمية الأمطار على مساحات واسعة (عشرات الكيلومترات المربعة)، بينما تقيسها محطات الأرصاد الأرضية في نقطة محددة، لذلك طبيعي ألا تمثل بيانات المحطات الأرضية التوزيع المكاني الكامل للأمطار بسبب التباين الجغرافي الممكن. ولاستعمال معطيات الأقمار الاصطناعية وإعادة التحليل الممتدة زمنا ومكانا والتي تغطي مجمل الحوض النهري، يجب تصحيح الفروقات الملاحظة بينها وبين بيانات المحطات الأرضية. لهذا الغرض، يمكن استعمال معادلة خط الانحدار الخطي التي تربط بينها.

على سبيل المثال، لتصحيح البيانات السنوية لمنتج GPM من سنة 2000-01 إلى 2020-21، سنستخدم معادلة الانحدار الخطي الخاصة به مع بيانات محطة أغبالو (الشكل 7)، وسنقوم بتصحيح كل مربع من الشبكة التي تغطي الحوض النهري (الشكل 3) وفقًا لهذه المعادلة، وبذلك سنحصل على مقاييس تساقطات الأمطار السنوية لكل المدة الزمنية المتاحة في قاعدة بيانات القمر الاصطناعي والموزعة مكانيًا على كامل الحوض النهري. يكفي تحميل وتصحيح بيانات التساقطات المطرية لكل مربع في الشبكة التي يغطيها الحوض النهري للحصول على كميات الأمطار المتساقطة على كامل الحوض، مما يسمح بالحصول على فكرة عن كميات المياه الواردة إلى الحوض النهري والتي يمكن مقارنتها بصبيب الوادي المقاس عند المصب لمعرفة الاستجابة الهيدرولوجية للحوض.



الشكل 7 : معادلة الانحدار الخطي بين المعطيات الشبكية ومعطيات محطة أغبالو على الصعيد السنوي

للحصول على كمية التساقطات بكامل الحوض النهري لأوريكة، يمكن الآن استعمال متوسط معطيات GPM المصححة والتي تغطي مجمل الحوض، ويمثل الشكل 8 قيم هذه التساقطات من 2000-01 إلى 2020-21، ونلاحظ أن متوسط التساقطات ارتفع إلى 589 ملم بعدما كان على مستوى محطة أغبالو بسافلة الحوض 494 ملم خلال نفس المدة.



الشكل 8 : قيم التساقطات المطرية السنوية بحوض أوريكة

ولقياس وإعداد الميزان المائي السنوي للحوض النهري، يمكن مقارنة متوسط التساقطات هذا (589 ملم) مع متوسط الصبيب السنوي للوادي، والذي يبلغ في نفس الفترة 3 م^3/ث، أي 189 ملم، وبذلك تبلغ قيمة الفواقد عن طريق النتح والتبخر مثلا 400 ملم ونسبة الجريان المائي 32 في المائة.

خاتمة

في هذه الدراسة، تم التطرق إلى كيفية وأهمية استخدام معطيات الأقمار الاصطناعية ومنتجات إعادة التحليل لقياس التساقطات المطرية على الأحواض النهرية، مع أخذ منتوجي GPM وERA5 على مستوى حوض أوريكة كنماذج. وتم تقييم دقة هذه المعطيات ومدى توافقها مع البيانات الأرضية، وأظهرت النتائج، على المستويات اليومية والشهرية والسنوية، وجود بعض المبالغة في تقدير التساقطات من قبل هذه المنتجات الشبكية مقارنة بمعطيات محطة أغبالو الأرضية؛ ولتصحيح تلك الانحرافات، تم تطبيق معادلة خط الانحدار الخطي لتحسين دقة المعطيات المستخرجة وتقريبها من قيم القياسات المباشرة الأرضية وذلك لأجل استخدام بياناتها الممتدة زمنا والتي تغطي مجمل الحوض النهري.

وخلصت الدراسة إلى التأكيد على أهمية استخدام معطيات الأقمار الاصطناعية ومنتجات إعادة التحليل وضرورة إجراء عمليات تصحيحها عند استخدامها في الدراسات المناخية والهيدرولوجية، خاصة في المناطق ذات خصوصيات مناخية وجغرافية مختلفة، كما تشير إلى أهمية الجمع بين البيانات الأرضية ومعطيات النماذج الحديثة لتعزيز دقة التقديرات وتحسين إدارة الموارد المائية. ومع التطور المستمر في تقنيات الاستشعار عن بعد وقدرات الحوسبة، يُتوقع أن تصبح هذه الأدوات أكثر دقة وفاعلية في المستقبل.

وعلى العموم، فمن خلال استخدام معطيات الأقمار الاصطناعية أو بيانات إعادة التحليل أو كلاهما، يمكن تجويد تقديرات التساقطات المطرية في الأحواض النهرية، وهذا قد يساهم في دعم اتخاذ القرارات المتعلقة مثلا بتدبير الموارد المائية والحد من آثار الفيضانات والتخطيط الزراعي. كما تتيح هذه التقنيات تحليل الظواهر المناخية المتطرفة بهذه الأحواض، مما يعزز من القدرة على التنبؤ بها والتخفيف من آثار الكوارث الطبيعية المرتبطة بها خصوصا في الظرفية الحالية للتغير المناخي.

لائحة المصادروالمراجع:

- Ait Dhmane, L. ; Moustadraf, J. ; Rachdane, M. ; Saidi, M.E. ; Benjmel, K. ; Amraoui, F. ; Ezzaouini, M.A. ; Ait Sliman, A. ; Hadri, A. (2023) Spatiotemporal Assessment and Correction of Gridded Precipitation Products in North Western Morocco. *Atmosphere*, 14, 1239. https://doi.org/10.3390/atmos14081239
- Behrangi, A.; Khakbaz, B.; Jaw T.C.; AghaKouchak, A.; Kuolin Hsu, K.; Sorooshian, S (2011). Hydrologic evaluation of satellite precipitation products over a mid-size basin. , 397(3-4), 225–237. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.043
- Bennani, O. ; Druon, E. ; Leone, F. ; Tramblay, Y. ; Saidi, M.E. (2019) "A spatial and integrated flood risk diagnosis: Relevance for disaster prevention at Ourika valley (High Atlas-Morocco)", Disaster Prevention and Management: An International Journal, Vol. 28 No. 5, pp. 548-564. https://doi.org/10.1108/DPM-12-2018-0379
- Camici, S.; Ciabatta, L.; Massari, C.; Brocca, L. (2018). How reliable are satellite precipitation estimates for driving hydrological models: a verification study over the mediterranean area. Journal of Hydrology, (), S002216941830489X–. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.067
- Conti, F.L. ; Hsu K.L. ; Noto, L. V. ; Soroosh, S. (2014). Evaluation and comparison of satellite precipitation estimates with reference to a local area in the Mediterranean Sea. Atmospheric Research, 138(), 189–204. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.11.011
- El Khalki E.M., Tramblay Y., Saidi M.E., Marchane A. and Chehbouni A. (2023) Hydrological assessment of different satellite precipitation products in semi-arid basins in Morocco. Frontiers in Water, 5:1243251. https://doi.org/10.3389/frwa.2023.1243251
- Gomis-Cebolla, J. ; Rattayova, V. ; Salazar-Galán, S. ; Francés F. (2023) Evaluation of ERA5 and ERA5-Land reanalysis precipitation datasets over Spain (1951–2020). Atmospheric Research, Volume 284, https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106606
- Hisam, E. ; Mehr, A.D. ; Alganci, U., Seker D.Z. (2023) Comprehensive evaluation of Satellite-Based and reanalysis precipitation products over the Mediterranean region in Turkey. Advances in Space Research, Volume 71, Issue 7, 3005-3021, https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.11.007
- Maggioni, V. ; Massari, C. (2018). On the performance of satellite precipitation products in riverine flood modeling: A review. Journal of Hydrology, 558, 214–224. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.039
- Milewski, A. ; Elkadiri, R. ; Durham, M. (2015). "Assessment and Comparison of TMPA Satellite Precipitation Products in Varying Climatic and Topographic Regimes in Morocco" Remote Sensing 7, no. 5: 5697-5717. https://doi.org/10.3390/rs70505697
- Planton, S. ; Déqué, M. ; Chauvin, F. ; Terray, L. (2008). Expected impacts of climate change on extreme climate events. 340(9-10), 0–574. https://doi.org/10.1016/j.crte.2008.07.009

- Rachdane, M.; El Khalki, E.M.; Saidi, M.E.; Nehmadou, M.; Ahbari, A.; Tramblay, Y. (2022) Comparison of High-Resolution Satellite Precipitation Products in Sub-Saharan Morocco. Water, 14, 3336. https://doi.org/10.3390/w14203336
- Retalis, A. ; Katsanos, D. ; Michaelides, S. ; Tymvios, F. (2022) Evaluation of high-resolution satellite precipitation data over the Mediterranean Region. Chapter 5, Editor(s): Silas Michaelides Pages 159-175, ISBN 9780128229736, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822973-6.00017-2
- Saidi, M.E. ; L. Daoudi, L. ; Aresmouk, M.E.H. et Blali, A. (2003) Rôle du milieu physique dans l'amplification des crues en milieu montagnard, exemple de la crue du 17 août 1995 dans la vallée de l'Ourika (Haut-Atlas, Maroc). Science et changements planétaires / Sécheresse, Volume 14-2, p. 107-114, Paris.
- Saidi, M.E. ; L. Daoudi, L. ; Aresmouk, M.E.H. ; Fniguire, F. & Boukrim, B. (2010) Les crues de l'oued Ourika (Haut Atlas, Maroc) : Événements extrêmes en contexte montagnard semi-aride. Comunicações Geológicas, Lisbonne, t. 97, pp. 113-128.
- Saouabe, T. ; El Khalki, E.M. ; Saidi, M.E. ; Najmi, A. ; Hadri, A. ; Rachidi, S ; Mourad, J ; Tramblay, Y. (2020). Evaluation of the GPM-IMERG Precipitation Product for Flood Modeling in a Semi-Arid Mountainous Basin in Morocco. *Water*, 12, 2516. https://doi.org/10.3390/w12092516
- Sapiano, M. R. P. ; Smith, T. M. & Arkin, P. A. (2008). A new merged analysis of precipitation utilizing satellite and reanalysis data. Journal of Geophysical Research, 113(D22). https://doi.org/10.1029/2008jd010310
- Vinet, F. ; Saidi, M.E. ; Douvinet, J. ; Fehri, N. ; Nasrallah, W. ; Menad, W. ; Mellas, S. (2016) Urbanization and land use as a driver of flood risk. The Mediterranean Region under Climate Change. A Scientific Update. IRD éditions, Marseille. ISBN : 978-2-7099-2219-7. p.563-575.