Journal of Libyan Academy Bani Walid 2025
مجلة الأكاديمية الليبية بني وليد
e-ISSN: 3104-3860
المجلد الأول، العدد الثاني، 2025

تأثير المُناخ على شبكة الطرق المعبدة في منطقة بني وليد: دراسة حالة "1994–2024"

خديجة عبد السلام الغيطة [1]*، مفتاح عمران محمد كلم [2]
[1،2] قسم الجغرافيا، كلية الآداب ، جامعة بني وليد، ليبيا
*البريد الإلكتروني (للباحث المرجعي): khadijamohammed@bwu.edu.ly

Assessing the Climatic Impact on the Paved Road Infrastructure in Bani Walid, Libya: A Case Study (1994–2024)

Khadija Abdulsalam Algetta [1]*, Moftah Omran Muhammad Kalam [2]
[1,2] Department of Geography, Faculty of Arts, Bani Walid University, Libya.

Received: 26-03-2025; Accepted: 28-04-2025; Published: 25-05-2025

الملخص

تُعد منطقة بني وليد ضمن إقليم المناخ الجاف، مما يجعلها عرضة لتأثيرات التغيرات المناخية المتزايدة، ويؤثر ذلك بشكل كبير على شبكة الطرق .تؤدي درجات الحرارة المرتفعة والجفاف إلى تآكل الأسفلت وتشققه، كما تؤثر الأمطار والرياح والعواصف الرملية على حالة الطرق، بالإضافة إلى ذلك تساهم التقلبات المناخية في تدهور المواد المستخدمة في بناء الطرق مما يقلل من عمرها الافتراضي.

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تأثير أنماط المناخ، مثل درجات الحرارة وسقوط الأمطار، على حالة الطرق المعبدة في المنطقة، وتشمل الدراسة الأضرار الناتجة عن الظواهر المناخية مثل الجفاف، والفيضانات، والرياح .

السؤال الرئيسي لهذه الدراسة هو :ما أثر عناصر المناخ على شبكة الطرق المعبدة في منطقة بني وليد؟ من هنا بدأت الدراسة بتسليط الضوء على أهمية معرفة تأثير هذه العناصر المناخية على شبكة الطرق، أما منهجية الدراسة، فهي تعتمد على جمع وتحليل البيانات المتعلقة بالطقس وحالة الطرق مع استخدام الخرائط، بالإضافة إلى استخدام المنهج الوصفي التحليلي لدراسة حالة شبكة الطرق.

.

الكلمات الدالة: : نظم المعلومات الجغرافية، المناخ، الطقس، الطرق الرئيسية.

Abstract

Bani Walid is located within an arid climatic zone, making it especially susceptible to the escalating impacts of climate change. These climatic conditions have significant implications for the integrity and durability of the region's road infrastructure. Elevated temperatures and prolonged periods of drought contribute to asphalt softening, cracking, and surface degradation. Furthermore, extreme weather events such as heavy rainfall, strong winds, and sandstorms exacerbate the wear and tear of road surfaces.

Climatic variability also accelerates the deterioration of construction materials, leading to a reduced service life of paved roads. This study aims to examine the relationship between

climatic factors—particularly temperature and precipitation patterns—and the structural condition of paved roads in Bani Walid. Special attention is given to the damage caused by climatic hazards such as droughts, floods, and windstorms.
The central research question is: To what extent do climatic elements affect the paved road network in the Bani Walid area? In response, the study underscores the importance of understanding these environmental influences in order to enhance infrastructure planning and resilience.
The methodology involves collecting and analyzing meteorological and road condition data over a thirty-year period (1994–2024), employing geographic information systems (GIS), thematic mapping, and a descriptive-analytical approach to evaluate the current state and trends of road deterioration.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS), climate, weather, main roads.

المقدمة

تسهم شبكة الطرق بفعالية في ربط المراكز الحضرية والريفية، وتنشيط الحركة الاقتصادية والاجتماعية، وتعزيز التنمية الإقليمية، غير أن هذه الشبكة تتعرض لتهديدات متعددة، من أبرزها : العوامل المناخية، التي تلعب دورًا رئيسيًا في التأثير على كفاءتها وجودتها وعمرها الافتراضي. فالطرق، سواء أكانت معبّدة أم غير معبّدة، تتأثر بدرجات الحرارة المرتفعة والانخفاضات المفاجئة، وكميات الأمطار وشدة السيول، بالإضافة إلى تأثيرات الرطوبة المستمرة والرياح القوية التي تسهم في التعرية والتلف السريع للبنية التحتية.
تتمثل منطقة بني وليد نموذجًا مهمًا للدراسة، نظرًا لما تشهده من تغيرات مناخية وظروف بيئية خاصة تؤثر بشكل مباشر على سلامة شبكة الطرق فيها، سواء في المناطق الحضرية أو الريفية.
جاءت هذه الدراسة لتسليط الضوء على أثر كل من الحرارة والأمطار والرطوبة والرياح على شبكة الطرق في منطقة بني وليد، من خلال تحليل البيانات المناخية . وتهدف هذه الدراسة إلى فهم طبيعة العلاقة بين العوامل المناخية وشبكة الطرق، وتحديد درجة التأثر، بما يُسهم في تقديم رؤية علمية واقعية تدعم جهود التخطيط والصيانة .
تعتمد الدراسة على مجموعة من المناهج ، أبرزها: المنهج الوصفي التحليلي في وصف وتفسير الظواهر، المنهج الكمي الإحصائي في تحليل البيانات ، والمنهج التاريخي لتتبع تطور الظواهر المناخية.

مشكلة الدراسة:

1. ما حجم تأثير الأمطار الغزيرة والفيضانات المفاجئة على تآكل البنية التحتية للطرق، وانجراف التربة، وتكرار الأعطال المرورية في منطقة بني وليد؟
2. كيف تؤثر الرياح القوية المصحوبة بحركة الرمال، وانخفاض معدلات الرطوبة النسبية، في سلامة سطح الطريق واستقراره الهيكلي؟
3. ما تأثير درجات الحرارة على تدهور الطرق في منطقة بني وليد؟
4. هل تؤثر الرطوبة على البنية التحتية للطرق المعبدة في المنطقة بني وليد ؟

فرضيات الدراسة

1. تؤدي درجات الحرارة المرتفعة ، والتباين الحراري اليومي والموسمي، إلى حدوث تمدد وتقلص متكرر في طبقات الرصف الإسفلتية، مما يساهم في تشققات سطح الطريق وانخفاض كفاءته الوظيفية.
2. تسبب الأمطار الغزيرة معدلات عالية من جرف التربة وتعرية جوانب الطرق، ما يؤدي إلى تآكل البنية التحتية، وظهور الحفر، وتكرار الانقطاعات المرورية في شبكة الطرق بمنطقة بني وليد.

3. تسهم الرياح القوية المصحوبة بحركة الرمال وانخفاض نسب الرطوبة في تآكل سطح الطريق وتراكم الأتربة، مما يؤدي إلى تقليل مستوى الرؤية للسائقين ويزيد من احتمالية وقوع الحوادث المرورية.
4. أن نسبة الرطوبة العالية تتسبب في ضعف بنية الأساسات وزيادة احتمالية التآكل.

أهمية الدراسة

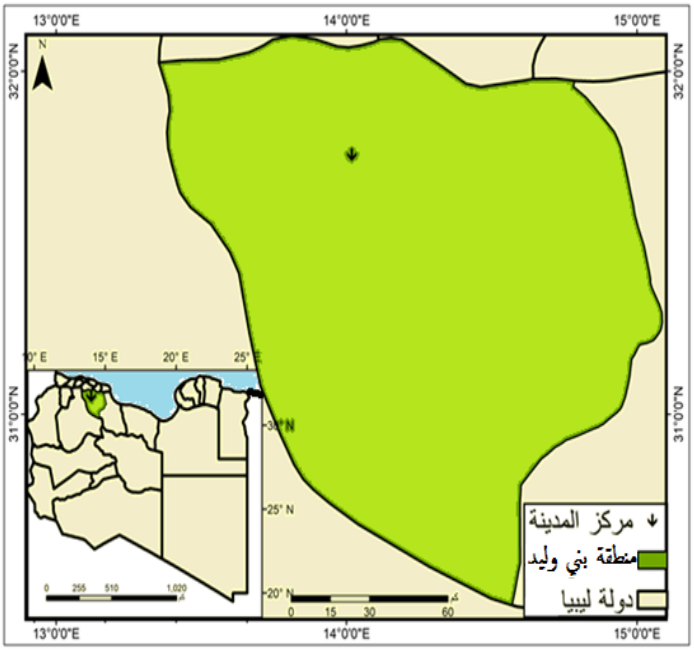
تكتسب هذه الدراسة أهمية كبيرة نظرًا، لأن منطقة بني وليد تعد منطقة حساسة من الناحية المناخية والجغرافية، حيث تواجه تحديات بيئية خاصة في مجال الحفاظ على شبكة الطرق، ففي ظل تأثير التغيرات المناخية المتزايدة، من الضروري إجراء دراسة علمية لتحليل تأثيرات هذه العوامل بشكل دقيق، من أجل توفير حلول عملية تساعد في تحسين استدامة الطرق وصيانتها في المستقبل.

أهداف الدراسة

1. معرفة أثر شدة هطول الأمطار والسيول الموسمية على ظواهر الانجراف وتآكل الطرق.
2. دراسة العلاقة بين نشاط الرياح ونسبة الرطوبة ومدى تأثيرها على تراكم الرمال والأتربة على الطرق وانخفاض مستوى الخدمة المرورية.
3. التعرف على أثر العوامل المناخية على شبكة الطرق في منطقة بني وليد.
4. دراسة العلاقة بين العوامل المناخية وتدهور الأسطح الطرقية.

الموقع الفلكي والجغرافي:

تقع منطقة بني وليد فلكيًا بين دائرتي عرضَ23 . 30 ˚ وَ19 .32 ˚شمالًا وبين خطي طولَ32 .13 ˚وَ5 .15 ˚ شرقًا [1]. بالمنطقة الوسطى غرب ليبيا ، وتقدر مساحتها 19.710 كيلو مترا مربعة. وتبعد عن ساحل البحر المتوسط مسافة 110كم تقريبًا ، كما يتضح من الشكل (1) .



الشكل (1) الموقع الفلكي لمدينة بني وليد.

المصادر: عمل الباحثين استناد إلى:

1-الأطلس الوطني للجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية ،أمانة التخطيط ، مصلحة المساحة ، طرابلس 1978، ص33.

(1) الإحداثيات من حساب الباحثين اعتماد على برنامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS)

2- استخدام برنامج (Arc map 10.3 -10.7.1 – open street map) لرسم شبكة الطرق والامتداد العمراني .
3-التقسيم الإداري لمنطقة بني وليد سنة 2002 ، أمانة اللجنة الشعبية لشعبية بني وليد 2006 .
الشكل (1) الموقع الجغرافي لمنطقة بني وليد

منهجية البحث :

تعتمد الدراسات عادةً على مجموعة من المناهج لتحقيق أهدافها، ومن أبرز المناهج :
1)المنهج الوصفي التحليلي: يستخدم لوصف وتفسير الظواهر وتحديد نمط توزيعها الزماني والمكاني. يتم من خلاله تحليل تأثير الظواهر وتفسير النتائج بناءً على البيانات، و استُخدم لوصف الظواهر المناخية السائدة (درجات الحرارة، معدلات الأمطار، شدة الرياح، نسب الرطوبة) وتحليل تأثيرها على الطرق.
2)المنهج الكمي الإحصائي: يُستخدم في تحليل البيانات الكمية.
3) المنهج التاريخي: يُستعان به لتتبع تطور الظواهر وتأثيرها عبر الزمن.

مصادر الدراسة:

تتنوع مصادر البيانات والمعلومات التي اعتمد عليها الباحثين، ومن المصادر :
*)البيانات المناخية: مثل بيانات درجات الحرارة ومعدلات الأمطار وشدة الرياح ونسب الرطوبة.
*)الخرائط ونظم المعلومات الجغرافية (GIS): تُستخدم لجمع وتحليل البيانات المتعلقة بحالة الطرق ورسم شبكات الطرق.
*)الأطالس والتقسيمات الإدارية: مثل الأطلس الوطني للجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية والتقسيم الإداري للمناطق.
*)المراجع العلمية: مثل الكتب والدراسات السابقة التي تتناول مواضيع ذات صلة بالبحث.
*)نموذج الارتفاع الرقمي (DEM): يُستخدم لتحليل التضاريس والانحدارات.
*) بيانات من جهات رسمية: مثل وزارة المواصلات ومصلحة الطرق والجسور.

العوامل المناخية وأثرها على شبكة الطرق في منطقة بني وليد :

تتعدد العوامل المناخية التي يمكن أن تؤثر بشكل كبير على شبكة الطرق، ويشمل ذلك الحرارة، والأمطار، والرطوبة، والرياح ، هذه العوامل تتفاعل مع المواد المستخدمة في بناء الطرق (مثل الأسفلت والخرسانة) وتؤثر في أداء البنية التحتية بشكل ملحوظ ، كما أن تأثير هذه العوامل يختلف باختلاف المنطقة والظروف الجغرافية والجيولوجية التي تتسم بها.
الحرارة من أبرز العوامل التي تؤثر في سلامة الطرق، فالتقلبات الحرارية تتسبب في تمدد وتقلص الأسطح المعبدة، مما يؤدي إلى ظهور التشققات، والتصدعات، وتدهور الطبقات السطحية، كما تعتبر الأمطار من العوامل المناخية التي تلعب دورًا كبيرًا في التأثير على شبكة الطرق، خاصة في المناطق التي تشهد أمطارًا غزيرة، كما يحدث في بعض الفصول في منطقة بني وليد.
أما الرطوبة العالية يمكن أن تتسبب في تدهور المواد المستخدمة في بناء الطرق بشكل أسرع، فتأثير الرطوبة يؤدي إلى تآكل الأسطح والعناصر الخرسانية، مما يزيد من خطر انهيار الطرق أو تلفها.وتساهم الرياح القوية والعاصفة في التعرية السطحية للطرق في المناطق المفتوحة، وقد تؤدي إلى تآكل الأسطح المعبدة في المناطق ذات الرياح العاتية، كما أن الرياح الشديدة قد تؤدي إلى تراكم الرمال على الطرق في بعض المناطق الصحراوية.

أولاً :الموقع الفلكي والجغرافي وأثره على شبكة الطرق:

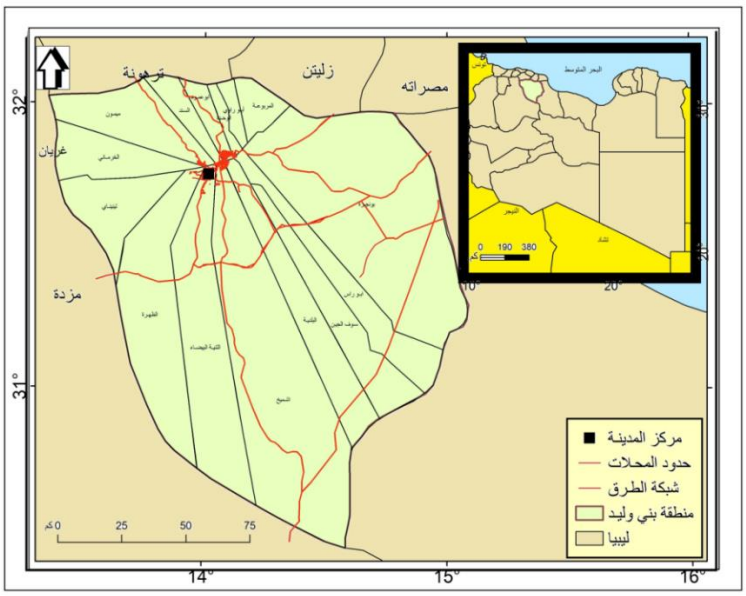
تقع منطقة بني وليد فلكيًا بين دائرتي عرض عرضَ23 . 30ْ و َ19 .32ْشمالًا وبين خطي طولَ32 .13ْوَ5 . 15ْ شرقًا، ضمن المنطقة الوسطى الغربية من ليبيا. تمتد مساحتها إلى 19,710 كيلومترات مربعة، وتبعد عن ساحل البحر المتوسط نحو 110 كم تقريبا، حيث يبرز موقعها كعامل مؤثر في ارتباطها بشبكات النقل، إذ يسهل وصولها إلى مدن مثل زليتن، سرت، وترهونة، مما يعزز من أهميتها الاقتصادية والاجتماعية في المقابل، تعاني بعض المناطق مثل مزدة من ضعف الاتصال، ما يؤدي إلى انعزالها نسبيًا وانخفاض الحركة إليها.

تعتبر منطقة بني وليد نقطة عبور حيوية على الطريق الرابط بين طرابلس والمناطق الداخلية، مما ساهم في تطوير شبكة الطرق المحلية وزيادة نشاط الحركة المرورية ،وتلعب هذه الشبكة دورًا رئيسيًا في تعزيز الاقتصاد المحلي وتوزيع السكان، حيث تؤثر العوامل الطبيعية، وعلى رأسها الموقع الجغرافي والمناخ، في تحديد نوعية الطرق ووسائل النقل المستخدمة.

يؤثر المناخ السائد في منطقة بني وليد بشكل مباشر على كفاءة شبكة الطرق، حيث تتميز المنطقة بمناخ صحراوي جاف يتميز بارتفاع درجات الحرارة صيفًا وبرودة نسبية شتاءً، مع تباين في معدلات هطول الأمطار.

ويظل الموقع الجغرافي لمنطقة بني وليد عاملاً حاسمًا في تحديد دورها كمحور نقل، حيث تربطها الطرق بطرابلس وسرت ومصراتة، مما يعزز من مكانتها الإستراتيجية في شبكة النقل الليبية، ويؤثر المناخ الصحراوي الجاف السائد في منطقة بني وليد بشكل كبير على كفاءة شبكة الطرق، فارتفاع درجات الحرارة يؤدى إلى تمدد المواد المستخدمة في الرصف الإسفلتي، مما يسبب تشققات وفجوات تقلل من عمر الطرق ، وبالتالي فهي بحاجة إلى الصيانة الدورية.

وعلى الرغم من ندرة الأمطار أحياناً ، فإن الأمطار الغزيرة قد تؤدي إلى تآكل أكتاف الطرق المعبدة وجرف الطرق غير المعبدة، خاصة في المناطق المنخفضة ، كما أن السيول المفاجئة قد تسبب أضرارًا جسيمة للبنية التحتية للطرق.



الشكل (2) الموقع الجغرافي لمدينة بني وليد بليبيا.

المصادر: عمل الباحثان استناد إلى:

1-الأطلس الوطني للجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية ،أمانة التخطيط ، مصلحة المساحة ، طرابلس 1978، ص33.
2- استخدام برنامج (open street map –Arc map 10.3 -10.7.1) لرسم شبكة الطرق والامتداد العمراني .
3-التقسيم الإداري لمنطقة بني وليد سنة 2002 ، أمانة اللجنة الشعبية لشعبية بني وليد 2006 .
الشكل (2) الموقع الفلكي والجغرافي لمنطقة بني وليد

ثانياً: تأثير درجة الحرارة على شبكة الطرق .

تشهد منطقة بني وليد تأثيرات واضحة لارتفاع درجات الحرارة على شبكة الطرق، وذلك لوقوعها ضمن نطاق المناخ الجاف وشبه الجاف وتتميز منطقة بني وليد بدرجات حرارة مرتفعة صيفًا تصل إلى أكثر من 40 درجة مئوية، مع فروق حرارية كبيرة بين النهار والليل ويؤدى هذا المناخ إلى تمدد وانكماش متكرر للمواد الإنشائية، مما يسرّع من ظهور التشققات والتصدعات في الطبقات الإسفلتية، كما تساهم الحرارة العالية في ذوبان الإسفلت وتشكل فجوات مما يضعف البنية التحتية للطرق ويزيد من تدهورها و ارتفاع تكاليف الصيانة، يعد المناخ وعناصره من أكثر العوامل تأثيرًا في الطرق ووسائل النقل ، وتختلف خطورة هذه العوامل من حيث الشدة ، فبعضها ذات تأثير بسيط و أخرى يكون تأثيرها شديداً، ويؤثر المناخ على شبكة الطرق سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة.

وموقع المنطقة المتاخم للصحراء جعل مناخها قاريًا وشبه صحراويًا، لعدم وصول المؤثرات البحرية الملطفة إليها. وساعد موقعها على الوادي الخصيب، وعلى طريق النقل الذي يربطها بالمناطق الحضرية في الشمال على تطورها.(بولسيرفس 2000 ، ص11- 17)

الجدول (1) أدني وأقصى درجة حرارة يومية لفترة الدراسة 1995-2024.

الحرارة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
أدني	0.3	0.5	0.5	4.8	6.1	8.8	11.7	13.0	12.0	8.0	3.3	0.3
أقصى	29.3	34.4	38.1	42.1	44.9	47.9	48.5	49.1	45.8	41.8	44.3	42.2

المصدر: المركز الوطني للأرصاد الجوية ، طرابلس ، (بيانات غير منشورة) ، سنة 2024

خضعت منطقة بني وليد، الواقعة ضمن النطاق الجاف وشبه الجاف، لمناخ قاري يتميز بارتفاع درجات الحرارة صيفًا وتفاوت كبير بين حرارة النهار وبرودة الليل ومن الجدول (1) لوحظ أنه قد سجلت درجات حرارة قصوى خلال أشهر الصيف، تجاوزت 49°م في بعض السنوات (أغسطس 2002)، في مقابل انخفاض شديد شتاءً وصل إلى 0.3°م (ديسمبر 2020- يناير 2021)، وهو ما يعكس مدى التباين الحراري اليومي والسنوي الذي تتعرض له المنطقة.

1. التمدد والانكماش الحراري وتأثيره على رصف الطرق :

يُعد التفاوت الحراري بين الليل والنهار عاملاً رئيسيًا في تدهور الرصف الإسفلتي، حيث يؤدي تعرض الطريق للحرارة المرتفعة إلى تمدد المواد الإسفلتية والخرسانية، بينما يسبب الانخفاض الليلي للحرارة انكماشها، مما ينتج عنه إجهادات متكررة تؤدي إلى تشققات وتصدعات سطحية.

تعاني بعض الطرق الرئيسية والفرعية في منطقة بني وليد من تشققات حرارية واضحة، خاصة على الطرق المعبدة بالإسفلت، مما يؤدي إلى فقدان التماسك السطحي وزيادة الحاجة إلى الصيانة المتكررة

وتظهر التشوهات السطحية مثل التموجات والانبعاجات، خاصة في فترات الصيف الحار، نتيجة لليونة الأسفلت بفعل الحرارة العالية، خلال فترات الصيف الحارة، مما يؤدي إلى ظهور تشوهات في سطح الطريق، خاصة عند مرور المركبات الثقيلة. وعند انخفاض درجة الحرارة ليلاً، يتصلب الإسفلت، مما يؤدي إلى ظهور تشققات دائمة بمرور الزمن، حيث تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى تمدد المواد الإسفلتية والخرسانية، وانخفاضها يؤدي إلى انكماش هذه المواد، ما يؤدي إلى تشقق وتصدع سطح الطريق. مما يؤدي إلى تدهور بنيته وزيادة الحاجة إلى الصيانة الدورية (Asphalt Institute, 2015, p. 97). ويؤدي هذا التباين الحراري الكبير بين الليل والنهار إلى تفاقم هذه المشكلة، إذ يصبح الإسفلت أكثر ليونة عند ارتفاع الحرارة، مما يسبب تشوهات سطحية مثل التموجات والانبعاجات، بينما يؤدي انخفاض الحرارة إلى تصلب المادة الإسفلتية وتكوّن تشققات طولية وعرضية تؤثر على كفاءة الطريق وسلامة مستخدميه، كما أن للتطرفات اليومية في درجة الحرارة وكبر المدى الحراري بين الليل والنهار له دوره في الأضرار بالطرق حيث إنهما يسببان تمددًا وانكماشًا للطريق، ومع مرور الزمن يتعرض الطريق إلى التآكل وتزيد به نسبة الحفر والتشققات التي تؤثر سلبًا على إطارات السيارات فتتمزق وتنفجر .وهذا يلاحظ بكثرة في الطرق الخارجية التي تربط المنطقة بالمدن المجاورة مثل طريق بني وليد–مصراتة وطريق بني وليد–ترهونة.(الغيطة ،2021 ، ص27).

2. التبخر وفقدان الرطوبة وتأثيره على شبكة الطرق:

يؤدي انخفاض الرطوبة في التربة أسفل الطرق إلى مشاكل في استقرار التربة، ويحدث هذا نتيجة ارتفاع درجات الحرارة التي يزيد من معدل تبخر الرطوبة من التربة ، مما يؤدي إلى هبوط الأرضيات وفقدان استقرارها وتتفاقم هذه المشكلة في الطرق الترابية ، مما يقلل من كفاءة استخدامها ويزيد من صعوبة التنقل، خاصة خلال فصول الجفاف. في المناطق الجافة، يؤدي ارتفاع درجات الحرارة إلى زيادة معدل التبخر، مما يؤثر على نسبة الرطوبة في التربة أسفل الطريق، خاصة في الطرق غير المعبدة، مما قد يؤدي إلى تآكل التربة الأساسية وتراجع قدرة الطريق على التحمل (Rahardjo, Fredlund & 1993, p. 179).

تحتاج شبكات الطرق في المناطق ذات درجات الحرارة العالية إلى صيانة دورية مكثفة لمكافحة تأثيرات الحرارة، مما يزيد من تكاليف التشغيل والصيانة، الأمر الذي يشكل تحديًا للجهات المسؤولة عن إدارة البنية التحتية تتأثر الجسور كذلك بدرجات الحرارة المرتفعة، فهي تؤدي إلى تمدد العناصر الإنشائية، مما قد يتسبب في حدوث تشققات في الهياكل الخرسانية، ويستدعي ذلك تعزيز الصيانة الدورية لتجنب تدهور الأداء الهيكلي .

3. آثار الحرارة على المنشآت المرتبطة بالطرق

لا تقتصر التأثيرات الحرارية على الطرق فقط، بل تمتد لتشمل الجسور والمنشآت المرتبطة بها، حيث تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى تمدد العناصر الإنشائية، مما يُحدث تشققات هيكلية قد تؤثر في الأداء العام وتستدعي تعزيز أعمال الصيانة الدورية ، وتفرض هذه التأثيرات المناخية عبئًا متزايدًا على الجهات المعنية بالبنية التحتية، نظرًا لارتفاع تكاليف الصيانة والتأهيل، والحاجة إلى مراقبة دورية لحالة الطرق، خصوصًا في المناطق الصحراوية المعرضة للظروف القاسية. ويُعد تحسين تصميم الطرق، واختيار مواد مقاومة للحرارة، وتنفيذ برامج مراقبة حرارية دورية من أهم الإجراءات المقترحة للتقليل من حدة هذه التأثيرات.

ثالثاً: تأثير الرطوبة النسبية على شبكة الطرق بمنطقة بني وليد.

تشهد منطقة بني وليد بيئة مناخية حارة وجافة، حيث ترتفع درجات الحرارة بشكل ملحوظ خلال فصل الصيف وتنخفض في فصل الشتاء، تتأثر المنطقة بشكل خاص بتقلبات الرطوبة النسبية، والتي تلعب

دورًا كبيرًا في تحديد جودة شبكة الطرق في المنطقة . وتُعد الرطوبة النسبية من العوامل المناخية ذات الأثر المباشر وغير المباشر على البنية التحتية للطرق، خصوصًا في المناطق التي تسود فيها الظروف المناخية الجافة وشبه الجافة، كما هو الحال في منطقة بني وليد الواقعة في شمال غرب ليبيا حيث تتسم هذه المنطقة بمعدلات حرارة مرتفعة صيفًا، وانخفاض ملحوظ شتاءً، فضلًا عن تباين نسبي في معدلات الرطوبة عبر الفصول، مما يجعل شبكة الطرق عرضة لتغيرات بيئية دورية تؤثر على كفاءتها الإنشائية. وتتسبب الرطوبة النسبية المنخفضة في جفاف التربة المحيطة بالطرق، مما يؤدي إلى انكماشها وتصدعها و هذا يؤثر سلبًا على استقرار الأساسات، أما في حال ارتفاع الرطوبة النسبية بشكل مفاجئ، فيمكن أن يؤدي ذلك إلى زيادة امتصاص التربة للماء، مما يضعف قدرتها على دعم الأحمال الثقيلة.

تؤثر الرطوبة أيضًا على درجة الحرارة السطحية للطرق في المناطق الجافة، ويمكن أن يؤدي انخفاض الرطوبة إلى ارتفاع درجات الحرارة السطحية بشكل كبير، مما يسبب تمدد المواد الإسفلتية وتشققات، مما يتطلب صيانة دورية أكثر بسبب تآكل المواد نتيجة التغيرات المناخية، وبما أن المنطقة تقع ضمن إقليم المناخ الجاف وشبه الجاف، فإنها تعاني من انخفاض معدلات الرطوبة النسبية وارتفاع درجات الحرارة، خاصة في فصل الصيف .هذه الظروف تؤثر على شبكة الطرق بعدة طرق؛ فانخفاض الرطوبة يؤدي إلى زيادة جفاف الأسفلت، مما قد يسبب تشققات وتآكلًا في الطبقات السطحية للطرق، كما أن ارتفاع درجات الحرارة مع قلة الرطوبة يزيد من تمدد وانكماش المواد المستخدمة في بناء الطرق وإن قلة الأمطار وارتفاع معدلات التبخر يؤديان إلى تراكم الغبار على الطرق، مما يزيد من تآكل الأسطح بفعل الاحتكاك.

الجدول(2) متوسطات الرطوبة النسبية الشهرية والفصلية والسنوية لمنطقة بني وليد(1990م-2017).

المعدل	فصل الشتاء			فصل الربيع			فصل الصيف			فصل الخريف		
	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر
أعلى متوسط %	80	70	60	60	50	50	40	40	50	50	60	60
أدنى متوسط %	40	40	30	30	30	30	20	30	30	30	10	40
م/ الشهري %	50	50	50	40	30	30	30	30	30	40	40	40
المعدل الفصلي	فصل الشتاء 50%			فصل الربيع33.3%			فصل الصيف30%			فصل الخريف40%		
المتوسط السنوي 40%												

المصدر : من إعداد الباحثين استنادًا على بيانات محطة الأرصاد الجوية طرابلس بيانات غير منشورة 2017 م.

توضح بيانات الجدول (2) معدلات الرطوبة الشهرية متقاربة ما بين 30 – 50 ، وكانت أعلى نسبة في فصل الشتاء حيث بلغت 50 % ، و يرتفع معدل الرطوبة في فصل الشتاء بسبب انخفاض درجة الحرارة ، ويبلغ أدناه في فصل الصيف فلا يتجاوز30% ، في فصل الخريف بلغت الرطوبة 60% ، وكان أدنى معدل رطوبة 10% ، أما المعدل الفصلي فبلغ 40% ، أما في فصل الربيع فقد كان أعلى معدل رطوبة 50% و المعدل الفصلي فبلغ 33.3% (الغيطة، 2021 ، ص 19).

تشهد منطقة بني وليد فترات طويلة من انخفاض الرطوبة النسبية، حيث تصل إلى أقل من 20% في فصل الصيف. بالرغم من انخفاض الرطوبة النسبية خلال النهار، إلا أن درجة الحرارة تنخفض بشكل

ملحوظ خلال الليل، مما يزيد من احتمال تمدد وانكماش الأسطح الإسفلتية على الطرق، وبالتالي يتسبب في حدوث تشققات أو تدهور سريع في المواد المستخدمة . وبما أن الرطوبة النسبية تزداد بانخفاض درجات الحرارة ، فإن الرطوبة النسبية على المنطقة لن تكون ناتجة عن انخفاض درجات الحرارة أو وجود مسطحات مائية مجاورة ، وإنما السبب الرئيسي هو الرياح الشمالية والشمالية الشرقية في هذا الفصل من السنة التي تكون محملة بنسبة من بخار الماء ، وبالتالي يكون معدل الرطوبة النسبية في أشهر الصيف منخفضًا حيث لم يتجاوز المعدل الفصلي 57% سنة 2003 (البرغوتي ، 2016، ص43).

وتأثير الرطوبة على النقل يكون في تأثيره على السائق وما تسببه الرطوبة من إزعاج أثناء القيادة، أما الطرق فتأثيرها منخفض نتيجة لاختلاف النسبة من شهر إلى آخر والتي تنخفض بدرجة لا تؤثر على الطرق (الغيطة ،2007،ص38).

من الناحية الجيومورفولوجية، يؤدي انخفاض الرطوبة النسبية، خاصة في أشهر الصيف، إلى تسريع عمليات الجفاف في التربة السطحية المحيطة بالطرق، مما ينتج عنه انكماش في التربة وتغير في بنيتها الفيزيائية هذا التغير ينعكس سلبًا على استقرار الأساسات الداعمة للطريق، إذ تنخفض قدرة التربة على مقاومة الأحمال، خصوصًا إذا تعرضت لاحقًا لزيادة مفاجئة في الرطوبة، ما يؤدي إلى زيادة درجة التشبع وضعف القدرة التحميلية للتربة. (الحمودي، 2019، ص. 113) على مستوى المواد الإنشائية، تُظهر الدراسات أن الأسفلت المستخدم في رصف الطرق يتأثر بدرجة كبيرة بتغيرات الرطوبة والحرارة ، فمع انخفاض الرطوبة النسبية وارتفاع درجات الحرارة السطحية، كما هو الحال في شهور يونيو ويوليو وأغسطس، تحدث تمددات في الطبقات السطحية بسبب ارتفاع درجات الحرارة السطحية التي قد تتجاوز 55 درجة مئوية، مما يُضعف الروابط بين جزيئات المادة الإسفلتية ويؤدي إلى تشققات سطحية وطولية تتفاقم مع مرور الوقت إذا لم تتم معالجتها بالصيانة ، تقلبات الرطوبة اليومية، خاصة بين الليل والنهار، تُحدث فروقات حرارية حادة تتسبب في انكماش وتمدد متكرر للمواد السطحية، وهو ما يؤدي إلى تدهور طبقات الرصف في المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية.

رابعاً: تأثير الرياح والعواصف الرملية على شبكة الطرق:

تُعد الرياح والعواصف الرملية من أبرز العناصر المناخية المؤثرة على كفاءة شبكة الطرق وسلامة النقل البري في البيئات الصحراوية وشبه الصحراوية، ومن بينها منطقة بني وليد الواقعة في نطاق يتصف بشدة التقلبات الجوية وبتكرار الظواهر الريحية المرتبطة بالمنخفضات الصحراوية .حيث تسهم الرياح، وخاصة الرياح المحلية الجافة) مثل رياح القبلي(، في رفع درجات الحرارة وخفض مستويات الرطوبة الجوية، مما يزيد من تفكك التربة السطحية ويؤدي إلى تآكل جوانب الطرق وتوسع التشققات في الطبقات الإسفلتية، لا سيما في أطراف المنطقة والمناطق المفتوحة المعرضة مباشرة لممرات الرياح .

جدول(3) أقصى ومتوسط سرعة الرياح م/ث على منطقة بني وليد خلال الفترة 1995م -2024

	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر
أقصى سرعة م/ث	10.6	10.2	10.8	10	9.3	12.7	9.4	8.7	7.2	7.9	7.5	10.2
م/سرعة الرياح	7.3	7.4	7.7	7.5	7.2	7.2	6.4	6.0	5.3	5.7	5.7	6.6

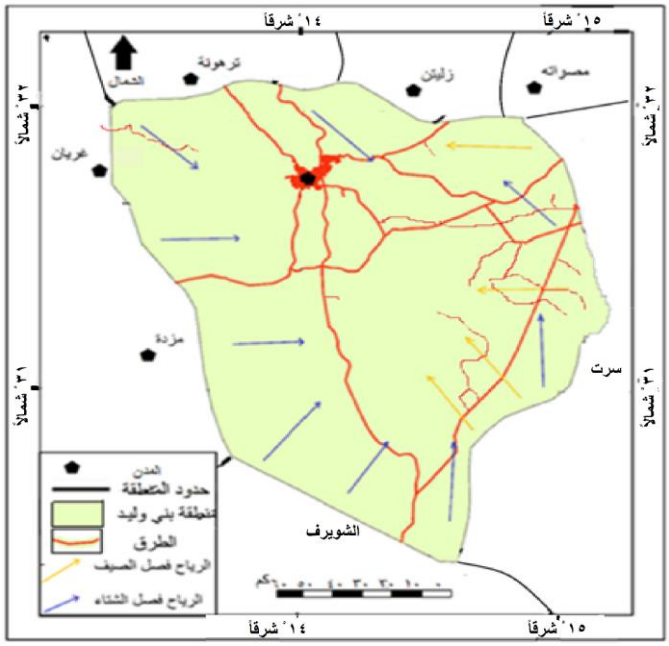
المصدر: المركز الوطني للأرصاد الجوية ، طرابلس ، (بيانات غير منشورة) ، سنة 2024

من الجدول يتبين أن أعلى سرعة لرياح كانت 12.7 م/ث وكانت في شهر مايو سنة 2023 ، أما أعلى متوسط لسرعة الرياح فكان 7.7 م/ث ، وتتسبب هذه الرياح في تقليل الرؤية بشكل أكبر وقد تؤدي إلى تعطل مؤقت في حركة النقل بسبب الرمال المتطايرة.

كما تشير البيانات المناخية للفترة 1995–2024 إلى تفاوت شهري واضح في سرعة الرياح، إذ تُسجّل أعلى السرعات في شهور الربيع وأوائل الصيف، بالتزامن مع نشاط رياح الجنوب الجافة، بينما تنخفض في فصلي الخريف والشتاء، حيث تسود الرياح الشمالية والغربية .

تتسبب الرياح الشديدة المصحوبة بالغبار في انخفاض مستوى الرؤية الأفقية على الطرق، ما يمثل تهديدًا مباشرًا لسلامة مستخدمي الطرق، ويرتبط هذا الانخفاض في الرؤية بزيادة معدلات الحوادث المرورية، خصوصًا في المواقع التي تفتقر إلى إشارات تحذيرية أو إنارة كافية. كما تؤدي إلى تراكم الرمال على سطح الطرق في فترات زمنية قصيرة، الأمر الذي يفرض تدخلات متكررة لإزالة هذه التراكمات ويزيد من العبء المالي على البلديات.

تهب على المنطقة رياح محلية تقوم بـدورٍ كبيرٍ في التأثير على النقل البري وهي تهب في فصل الربيع وأوائل الصيف، وهما يمثلان الموسم الذي تتعرض فيه ليبيا لمرور الانخفاضات الصحراوية ، التي تصاحبها رياح القبلي المزعجة ، وتسمى برياح(القبلي) عندما تصبح جنوبية. هذه الرياح تكون جافة لأنها قادمة من اليابس ويبلغ متوسط سرعة هذه الرياح 2 كم/ ساعة. وتعتبر رياح القبلي من أخطر الظواهر المناخية فهي تتسبب في ردم وإخفاء معالم الطرق بالأتربة، كما تؤثر على الرؤية لدى السائقين، وتؤثر على الطرق بصورة كبيرة وذلك لما تثيره من أتربة تتجمع على الطرق؛ وتؤدي إلى خسائر بشرية كبيرة، كما تكلف مبالغ مالية كبيرة تستخدم لإزالة الكثبان المتراكمة على الطرق، بدلاً من تخصيصها في تطوير مرافق النقل أو بناء طرق جديدة .حيث تتراكم الرمال أثناء ساعات قليلة ، وتسبب العواصف الرملية أخطارًا حقيقية بالنسبة لسائقي السيارات، ذلك لأن الغبار الذي يثيره الهواء يحد من القدرة على الرؤية مما ينجم عنه خسارة في الأرواح والممتلكات.(أبوالعينين، 1988 ، ص 177)



الشكل (3) اتجاهات هبوب الرياح لفصلي الشتاء والصيف على منطقة بني وليد

المصادر: من عمل الباحثين استنادا إلى:

1-أمانة التخطيط ، مصلحة المساحة ،الأطلس الوطني للجماهيرية الليبية ، 1978،ص 54

2- باستخدام برنامج 1- (Arc map 10.3 –open street map لرسم شبكة الطرق).

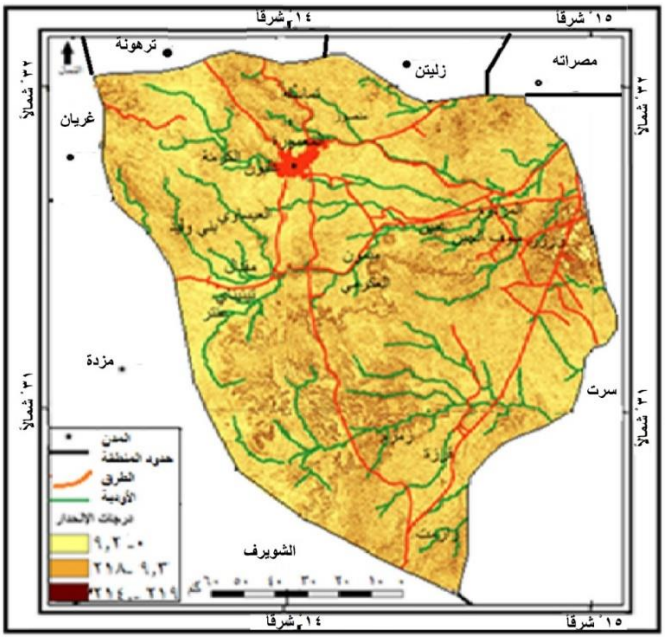
من الشكل (3) يلاحظ أنه في فصل الشتاء يكون اتجاه الرياح شماليًا، وشماليًا غربيًا إلى غربيًا أحيانًا . وأعظم سرعة للرياح تحدث عند بداية فترة الظهيرة، وأقل سرعة لها تسجل عند الساعات الأولى قبل

شروق الشمس، وكثيرًا ما يشعر الفرد بشدة الرياح أثناء النهار، وخفتها نسبيًا أثناء الليل من جانب آخر فإن حركة الجزيئات الدقيقة من الرمال والغبار عبر الرياح تعمل على تآكل الطبقات السطحية للأسفلت، مما يُسرّع من عمليات التدهور والتشقق، ويقلل من عمر الطرق هذا النوع من التآكل يكثر في المواقع المفتوحة أو التي تفتقر إلى حواجز صد رياح أو مصدات نباتية.

أما تأثير العواصف الرملية في منطقة بني وليد فيشكل خطرًا كبيرًا على الطرق، حيث أن الرياح المصحوبة بالرمال قد تقيد الرؤية بشكل كبير، وقد تؤدي هذه العواصف إلى تراكم الرمال على الطرق في فترات قصيرة، مما يضاعف من تكلفة صيانة الطرق وللحاجة إلى تنظيفها بشكل دوري، من الناحية الجيومورفولوجية، تتسارع عمليات التعرية الريحية في ظل ضعف الغطاء النباتي على جوانب الطرق، ما يسهل نقل الرمال وجزيئات الغبار عبر الرياح النشطة إلى المسارات المرورية .ومع تكرار هذه العمليات، تتكوّن الكثبان الرملية على جوانب الطرق، فتؤدي إلى انسداد المسارات وتآكل الحواف، وتراجع القدرة الاستيعابية للطرق خاصة في المناطق الواقعة جنوب وغرب المنطقة يمكن ملاحظة هذا التأكل على الطرق بأطراف منطقة بني وليد، خاصة تلك الطرق التي تتراكم الرمال على سطحها، مما يعيق حركة المرور داخل الطرق الرئيسية المؤدية إلى منطقة بني وليد أو داخلها، كما يؤدي إلى تآكل الأساسات وتوسع التشققات وتلف السطح، خاصة بعد فترات من الرياح القوية المستمرة المقترنة بدرجات حرارة مرتفعة، ويتطلب تدخلًا دوريًا لإزالة هذه الرمال، أما في حال هبوب الرياح وهطول الأمطار، فإنه يزيد من احتمالية التعرية والانجراف المائي في فترات الهطول المطري.

خامساً:- تأثير الأمطار والسيول على شبكة الطرق في بني وليد.

تُعد الأمطار والسيول من أبرز العوامل الطبيعية التي تُسهم في تدهور البنية التحتية للطرق في منطقة بني وليد، حيث تؤدي إلى تآكل الطبقات السطحية، وتدمير الأسفلت، وانجراف التربة، خاصة في المناطق ذات الانحدارات الطبوغرافية الحادة أو المجاورة للأودية، تعاني المنطقة من سوء في تصريف مياه الأمطار، مما يؤدي إلى تراكمها فوق الطرق وتشكل برك مائية تُسرّع من تلف طبقة الأسفلت، وتُقلل من العمر الافتراضي للطريق .



الشكل (4) توزيع الأودية ودرجات الانحدار لمنطقة بني وليد.

- المصادر: عمل الباحثين استنادًا إلى:1 -وزارة المواصلات ،مصلحة الطرق والجسور ، بيانات غير منشورة 2017 .
- 2 -نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لمنطقة بني وليد .
- 3 - استخدام برنامج (ARC GIS 10.3) (open street) map) لرسم شبكة الطرق .
- 4 -الأطلس الوطني للجماهيرية الليبية ، مرجع سابق ، ص 33.

تتكون التضاريس المحيطة بمنطقة بني وليد من سهول منبسطة نسبيًا مع بعض التلال، والأودية الجافة التي تنشط بشكل مؤقت خلال فترات هطول الأمطار، التربة في المنطقة غالبًا ما تكون رملية أو طينية رملية ذات نفاذية متفاوتة، والغطاء النباتي قليل ومتناثر، مما يجعل التربة أكثر عرضة للتعرية .وتُعد السيول الجارفة الناتجة عن الهطول الغزير والمفاجئ أحد أخطر المظاهر، إذ تعمل على تآكل حواف الطرق، وتُسبب تصدعات وانهيارات في جسم الطريق، إضافة إلى جرف الأتربة والحصى نحو سطح الطريق، مما يعيق حركة المرور ويزيد من احتمالية وقوع الحوادث المرورية كما أن انجراف التربة الناجم عن شدة الانحدار ونقص الغطاء النباتي يؤدي إلى تكوين حفر وشقوق تُضعف البنية الإنشائية للطرق، خصوصًا في الأطراف والمناطق الريفية غير المعبدة .

تؤدي هذه السيول إلى تآكل تدريجي لجوانب الطرق الترابية، حيث ت إغلاق بعض الطرق الرئيسية نفصل الحبيبات الناعمة من التربة بفعل جريان المياه السطحية، مما يوسع الحفر والأخاديد ويضعف الكتف الترابي، وهو ما يهدد سلامة المركبات ويزيد من مخاطر الحوادث المرورية (عبد الله ، 2020، ص. 112).

بالنسبة لأمطار منطقة الدراسة، فإن موقع المنطقة في ظل الجبل الغربي من الشمال والشمال الغربي جعل هذه المرتفعات تستأثر بمعظم الأمطار التي تحملها الرياح الغربية، ولا يصل منها إلا نسبة ضئيلة . من الأمطار ،وهي أمطار شتوية تبدأ من شهر أكتوبر حتى شهر مارس بفعل الرياح الشمالية الغربية والشمالية الشرقية القادمة من البحر المتوسط إلى المنطقة هي رياح دافئة نسبيًا بالنسبة لما عليه الحال في الساحل، نتيجة لانخفاض درجات الحرارة على اليابس، مما يساعد على تكاثف بخار الماء الذي ينتج عنه سقوط الأمطار تقع منطقة الدراسة ضمن إقليم انتقالي بين الجبل والصحراء ويضم هذا الإقليم المناخي المناطق الجنوبية للجبل الغربي، ومناطق القبلة التي تفصلها عن الحمادة الحمراء، وأماكن أخرى من ليبيا لا يزيد معدل المطر السنوي عن 110-100 ملم .يمكن اعتبار خط المطر 25 ملم هو أقصى امتداد لها من ناحية الجنوب، وتمثلها في الغرب محطة الأرصاد، ومعدل مطرها 59 ملم (الغيطة ،2007، ص43) .

تؤثر الأمطار على شبكة الطرق في منطقة بني وليد بشكل كبير، حيث تسبب تدميرًا لبعض الطرق العامة والجسور نتيجة السيول الجارفة .ويؤدي هطول الأمطار الغزيرة إلى ارتفاع منسوب المياه في الطرقات، مما يؤدي إلى أزمات في حركة المرور وتشكل سيولاً قد تؤثر على سلامة السائقين والمشاة . كما تؤدي الأمطار إلى إغلاق بعض الطرق الرئيسة، مثل طريق بني وليد - ترهونة، مما يزيد من صعوبة التنقل في المنطقة التي تفتقر إلى بنية تحتية فعالة لتصريف مياه الأمطار، إذ لا توجد شبكة متكاملة لقنوات التصريف، كما أن تصميم الطرق لا يراعي انحدارات المياه، مما يُفاقم من مشكلة تجمع المياه في المناطق المنخفضة وتؤدي هذه التحديات إلى صعوبة تنقل السكان وارتفاع كلفة الصيانة، بالإضافة إلى التأثير السلبي على الجوانب الاقتصادية والاجتماعية .

تأثير الأمطار على شبكة الطرق في منطقة بني وليد يعتبر مشكلة كبيرة، نتيجة لعدم استعداد البنية التحتية للمواجهة .في عام2024 ، تعرضت المنطقة لأمطار غزيرة أدت إلى تدمير بعض الطرق العامة، وتعاني منطقة بني وليد من عدم انتظام الأمطار وتذبذبها، مما يؤدي إلى تكوين سيول جارفة عند هطول الأمطار تؤثر الأمطار الغزيرة على الطبقات السطحية للأسفلت، حيث يؤدي تسرب المياه إلى طبقة الأساس إلى ضعف التماسك بين الحبيبات، مسببة تشققات طولية وعرضية وانتفاخات في طبقات

الإسفلت، مما يغير من مناسيب الطرق ويقلل من قدرتها الإنشائية (حسن، 2019، ص. 78). لذلك، فإن مواجهة هذه الظواهر تتطلب تبني حلول هندسية وجغرافية متكاملة، تشمل تحسين أنظمة التصريف، وتخطيط الطرق بما يتناسب مع الخصائص الطبوغرافية والهيدرولوجية للمنطقة، واعتماد مواد إنشاء مقاومة للمياه والعوامل المناخية .كما ينبغي إجراء دراسات دورية لتقييم تأثير العوامل المناخية على شبكة الطرق وتحديد المناطق الأكثر عرضة للتآكل والانهيار .

االشكل (5) تضرر جسر وادي النورة من السيول.

الصورة التقطت في ديسمبر 2024

ونظرًا لهذه الخصائص الجغرافية والمناخية، فإن شبكة الطرق في منطقة بني وليد تواجه تحديات محددة نتيجة لهطول الأمطار، فالأمطار القليلة نسبيًا يمكن أن تتسبب في جريان سطحي على الأسطح غير المستوية أو المنحدرة بجوار الطرق .نظرًا لقلة الغطاء النباتي، فإن هذا الجريان يحمل معه جزيئات التربة، مما يؤدي إلى تآكل تدريجي لجوانب الطرق والتكثف الترابي، واتساع الحفر والأخاديد الصغيرة على جوانب الطرق، مما يشكل خطرًا على المركبات التي تنحرف عن المسار، وعلى الرغم من ندرة الأمطار الغزيرة، إلا أنها يمكن أن تحدث جريانًا كبيرًا في الأودية الجافة المحيطة بمنطقة بني وليد، وهذه الفيضانات المفاجئة يمكن أن تغمر أجزاء من الطرق التي تعبر هذه الأودية أو تقع بالقرب منها، مما يؤدي إلى قطع الطرق التي تعبر الأودية وخاصة الطرق الثانوية أو الزراعية التي لا تحتوي على بنية تحتية لتصريف المياه .كما أن تراكم المياه والحطام على الطرق الرئيسية يعيق حركة المرور داخل المنطقة أو بينها وبين المناطق المجاورة، إضافة إلى الضرر الناتج عن قوة تدفق المياه، غالبًا ما تكون الأمطار في المناطق الجافة مصحوبة برياح قوية وعواصف رملية .يمكن أن تتسبب هذه الرياح في تراكم كميات كبيرة من الرمال على الطرق، مما يسبب إغلاقًا مؤقتًا للطرق بسبب تراكم الرمال، وخاصة الطرق الواقعة في المناطق المكشوفة أو القريبة من الكثبان الرملية .كما يتآكل سطح الطريق بسبب احتكاك الرمال على المدى الطويل، تؤدي الرياح المصاحبة للأمطار في المناطق الصحراوية إلى تراكم الرمال على الطرق، مما يعيق الرؤية ويزيد من تآكل الأسطح المرصوفة بفعل احتكاك الرمال المستمر (القادري، 2021، ص 96).

الجدول (5) أعلى كميات الأمطار خلال الشهور لسنوات 1995-2024.

	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
الكميات	28.3	55.4	39.5	12.2	46.1	9.6	0.3	37.4	9.8	27	21.3	55.9
المتوسط	5.0	7.6	5.7	2.9	5.4	1.1	0.1	1.5	3.4	5.6	2.9	6.5

المصدر : من إعداد الباحثين استنادا على بيانات محطة الأرصاد الجوية طرابلس بيانات غير منشورة 2024 م

بلغت أقصى كمية للأمطار هطلت في شهر ديسمبر 56 ملم، ثم يأتي بعدها شهر فبراير حيث كانت أكبر كمية أمطار سقطت 55.4 ملم، وكانت في مارس 39.5 ملم، أما أقل متوسط وكمية فكان في يوليو وأغسطس، وكان أعلى متوسط سنوي 7.6 ملم في شهر فبراير وكانت أعلى كمية أمطار طوال السنة في سنة 2024 وبلغت 110.6 ملم، بينما كانت أقل نسبة في 2001 وبلغت 18.1 ملم، تختلف كميات المطر من مكان إلى آخر حيث تصل في الشمال إلى أكثر من 110 ملم، حيث يزداد تأثير البحر في الشمال لقربها من الساحل مقارنة بجنوب المنطقة، وتنخفض الكمية بالتدريج لتصبح 100 ملم، وتتناقص معدلات الأمطار إلى 50 ملم في الوسط حتى تكاد تختفي في الجنوب (الغيطة 2021 ،ص25).

يقوم المطر بإحداث انفصال حبيبي للمواد الناعمة، ومن ثم تتناثر على سطح الطريق فتحوله إلى سطح خشن حيث ينفصل بدوره مع تزايد الأحمال المرورية، كما يؤدي تجمع المطر وتسربه إلى طبقة الأساس إلى ضعف قوة التماسك بين الحبيبات ويقلل من القوة الإنشائية للطريق، بالإضافة إلى انتفاخ طبقات الإسفلت التي تكون سريعة في امتصاص المياه، مما يسبب شروخًا وتشققات وتغييرًا في مناسيب الطريق ،ويؤدي المطر كذلك إلى تآكل جوانب الطرق الترابية والممهدة (العصفوري،2009، ص212). تلاحظ هذه الظاهرة على الطرق المؤدية إلى الأودية خاصة إذا كان أساسها ترابي، وإن غزارة المطر تؤثر على طرق النقل البري بالمنطقة وله آثار مدمرة حيث يتسبب في تصدع الطرق وانهيار الجسور، كما حدث في سنة2000 م انهيار جسر مقام على وادي ميمون نتيجة السيول الغزيرة كما أن الأمطار الغزيرة تؤثر على الطرق خاصة الشوارع الضيقة، إذ أن تدفق الأمطار يكون له أثر مدمر عليها حيث تتصدع وتتعرّض للخراب وتؤدي إلى توقف الحركة كما في مركز المدينة، وفي جزيرة الدوران حيث تتجمع المياه، يرتبط تأثير الأمطار على طرق النقل بكمية الأمطار ونوع الطبقة السطحية الطولية والعرضية وزيادة حجم الشقوق، كما تؤدي الأمطار إلى تآكل جوانب الطرق غير المرصوفة ويكون تأثيرها خطيرًا جدًا عندما تكون حفر وأخاديد، ويلاحظ ذلك في وادي القرجومة نتيجة انحدار المياه الغزيرة من أعلى التلال منحدرة بالوادي، وخلال مرورها تمر بالطرق وتحدث به حفرًا وأخاديد، وفي منطقة بني وليد، لكونها لا تمتلك شبكة متكاملة لتصريف مياه الأمطار، حيث أنه عند إنشاء الطرق لم يتم تزويدها بمصارف مائية لتصريف المياه المتجمعة، ومن ثم تتكون مستنقعات تعرقل الحركة من جهة، وتؤدي إلى تآكل الطرق وتسبب تصدعات بها من جهة أخرى (الغيطة 2021، ص 24)

النتائج

1. تؤدي درجات الحرارة المرتفعة (تجاوز 49°م صيفًا) إلى تمدد حراري في المواد الإسفلتية، مما يسرع من تآكل الطبقات السطحية للطرق، خاصة في المناطق المكشوفة جيومورفولوجيًا.
2. يساهم المدى الحراري اليومي الكبير (التفاوت بين الليل والنهار) في إحداث إجهادات حرارية متكررة، تتجلى في تشققات طولية وعرضية تُضعف التماسك الهيكلي للطرق.

3. يؤدي فقدان الرطوبة من الطبقات التحتية للتربة (بسبب التبخر الشديد) إلى هبوط تدريجي في الطرق غير المعبدة، مما يعكس تفاعلًا سلبيًا بين المناخ الجاف وخصائص التربة.
4. يعمل تراكم الرمال المصاحب للرياح القوية على تسريع تآكل أسطح الطرق، خاصة في المناطق ذات الغطاء النباتي المحدود، مما يزيد من حدة التحديات الجيومورفولوجية.
5. تؤدي الرطوبة النسبية المنخفضة (أقل من 30% صيفًا) إلى جفاف التربة التحتية، مما يقلل من قدرتها على تحمل الأحمال المرورية ويساهم في تشقق الطبقات الأساسية.
6. تُظهر التقلبات الموسمية في الرطوبة (تصل إلى 84% شتاءً) تأثيرًا تراكميًا على استقرار الطرق، مع تفاقم المشكلات في المناطق ذات التصميم غير المتكيف مع السياق المناخي المحلي.

التوصيات :

1- تدعيم الطبقات التحتية للطرق بمواد محسنة :يُنصح باستخدام مواد ذات قدرة عالية على الاحتفاظ بالرطوبة ومقاومة الهبوط لتقليل تأثير الجفاف على استقرار التربة الداعمة للطرق.

2-استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد : توظيف تقنيات الأقمار الصناعية والطائرات المسيرة لرصد التشققات الحرارية في مراحلها المبكرة، مما يتيح التدخل المبكر والصيانة الوقائية .

3-تصميم شبكات تصريف مياه الأمطار ذات سعة استيعابية عالية :ضرورة دمج خزانات ترشيح طبيعية وتقنيات هندسية متقدمة لتقليل تأثير الجريان السطحي على البنية الطرقيّة، مع مراعاة الخصائص الطبوغرافية والهيدرولوجية للمنطقة .

4-تطبيق تقنيات حصاد مياه الأمطار في المناطق الصحراوية المحيطة: لتعزيز استقرار التربة ودعم الغطاء النباتي، مما يحد من عمليات التعرية الريحية والجريان السطحي .

5-إعادة تقييم التوسع العمراني في المناطق المنخفضة :خاصة القريبة من المجاري المائية، بناءً على تحليل المخاطر متعدد المعايير لتقليل التعرض للفيضانات والسيول .

6-تحديد أولويات الصيانة بناءً على تقييمات مستمرة لتأثير العوامل المناخية، مما يعزز استدامة الشبكة الطرقيّة .

المصادر:

أولاً :المراجع الأجنبية :

1. Asphalt Institute. (2015). The Asphalt Handbook (p. 97). Lexington, KY: Asphalt Institute.
2. Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (1993). Soil Mechanics for Unsaturated Soils (p. 179). John Wiley & Sons.

ثانياً: المراجع العربية :

1. أبوالعينين، حسن سيد أحمد. (1988). أصول الجغرافيا المناخية. الإسكندرية: الدار الجامعية.
2. البرغوثي، ميلاد محمد عمر، (2016)، التنمية الزراعية في أودية بني وليد– ليبيا (رسالة دكتوراه غير منشورة)، كلية الآداب، جامعة المنصورة.
3. الحمودي، محمد، (2019)، الجيومورفولوجيا التطبيقية وتقييم أخطار التربة في شمال غرب ليبيا، بنغازي.
4. العصفوري، حامد حامد عوض، (2009)، المناخ وأثره على الأنشطة البشرية غربي الدلتا: دراسة في جغرافية النقل، رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة القاهرة.
5. الغيطة، خديجة عبد السلام ،(2007) حركة النقل على شبكة الطرق لمدينة بني وليد ومجاوراتها ، رسالة ماجستير، كلية الآداب والعلوم /جامعة المرقب .

6. الغيطة، خديجة عبد السلام، (2021)، حوادث الطرق في منطقة بني وليد بليبيا: دراسة في جغرافية النقل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (رسالة دكتوراه)، جامعة طنطا، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.
7. القادري، سامي، (2021)، الجغرافيا المناخية وتأثير العوامل الجوية على البنية التحتية، بيروت: دار الفكر العربي.
8. حسن، محمد، (2019)، دراسات في هندسة الطرق والمياه، طرابلس: مكتبة النهضة.
9. عبد الله، على، (2020)، الجغرافيا التطبيقية وتأثير العوامل المناخية على البنية التحتية، القاهرة، دار العلوم الجامعية.
10. اللجنة الشعبية للمرافق مع شركة بوليسرفس للاستثمارات الهندسية ومكتب المشاريع البلدية _ فاديكو _ وارسو _ بولندا بني وليد ،المخطط الشامل ، 2000 التقرير النهائي تقرير رقم 57.