Journal Of the Iraqia University (75-3) February (2026)

ISSN(Print): 1813-4521 OnLine ISSN:2663-7502
Journal Of the Iraqia University
available online at
https://iasj.rdd.edu.iq/journals/journal/view/247

تحليل المؤشرات الطيفية ودورها في رصد التدهور البيئي والزحف الصحراوي في ناحية السماوة للمدة (٢٠٠٠-٢٠٢٤) باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

د. اسراء عبدالواحد علي مراد

الجامعة العراقية/ كلية الاداب

Title: Analysis of Spectral Indices and Their Role in Monitoring Environmental Degradation and Desertification Crawl in Al-Samawah District (2000–2024) Using Geographic Information Systems (GIS)

Dr. Israa Abdulwahid Ali Murad
Iraqi University / College of Arts
israaabdulwahidali@aliraqia.edu.iq

مستخلص

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل دور المؤشرات الطيفية في رصد التدهور البيئي وتتبع الزحف الصحراوي في ناحية السماوة للمدة (٢٠٠٠–٢٠٢٤) بالاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. تم توظيف مرئيات الأقمار الصناعية (Landsat) لاستخراج مجموعة من المؤشرات الطيفية الملائمة للبيئات الجافة، ولاسيما مؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة (SAVI) ومؤشر التربة العارية(BSI) ، وربطها بالخصائص المناخية (الحرارة، الأمطار، الرياح، رطوبة التربة)، والخصائص الجيولوجية والتضاريسية وأنواع الترب. أظهرت النتائج وجود تدهور بيئي واضح تمثل في تراجع مساحات الغطاء النباتي الجيد والكثيف، واتساع رقعة الأراضي الجرداء والترب العارية، ولاسيما فوق الترب الرملية والملحية، مما أدى إلى تنشيط عمليات التذرية الريحية وتسارع حركة الكثبان الرملية باتجاه المناطق الزراعية والسكنية. وتوصلت الدراسة إلى أن التفاعل بين العوامل المناخية القاسية والبنية الجيومورفولوجية الهشة أسهم بشكل مباشر في تفاقم ظاهرة الزحف الصحراوي في منطقة الدراسة.

الكلمات المفتاحية :الزحف الصحراوي، مؤشر التربة(BSI) ، نظم المعلومات الجغرافية.(GIS)

Abstract:

This study aims to analyze the role of spectral indices in monitoring environmental degradation and tracking desertification crawl in Al-Samawah District for the period (2000–2024), relying on Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) techniques. Landsat satellite imagery was utilized to extract a set of spectral indices suitable for arid environments, particularly the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) and the Bare Soil Index (BSI). These indices were integrated with climatic characteristics (temperature, rainfall, wind, and soil moisture), as well as geological and topographical features and soil types.The results revealed a clear environmental degradation manifested in the decline of high and medium-density vegetation cover and the expansion of barren lands and bare soils, especially over sandy and saline soils. This degradation has intensified wind erosion processes and accelerated the movement of sand dunes toward agricultural and residential areas. The study concluded that the interaction between harsh climatic factors and fragile geomorphological structures has contributed directly to the exacerbation of desertification crawl in the study area.**Keywords**: Desertification Crawl, Bare Soil Index (BSI), Geographic Information Systems (GIS), Remote Sensing, Al-Samawah District, Environmental Degradation.

مقدمة

تعد ظاهرة الزحف الصحراوي من أخطر المشكلات البيئية التي تواجه المناطق الجافة وشبه الجافة، لما تسببه من تدهور في الموارد الطبيعية وتهديد مباشر للأنشطة الزراعية والاستقرار البشري. وتبرز هذه المشكلة بوضوح في جنوب العراق، ولاسيما في ناحية السماوة، نتيجة تداخل العوامل

المناخية القاسية مع الخصائص الجيولوجية والتضاريسية الهشة. ومع التطور المتسارع في تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، أصبح بالإمكان رصد التغيرات البيئية وتحليل ديناميكية السطح الأرضي بدقة مكانية وزمانية عالية، من خلال الاعتماد على المؤشرات الطيفية المستخرجة من المرئيات الفضائية. وانطلاقًا من ذلك، تسعى هذه الدراسة إلى توظيف هذه التقنيات الحديثة لتشخيص مظاهر التدهور البيئي وتتبع تطور الزحف الصحراوي في ناحية السماوة خلال فترة زمنية طويلة تمتد لأكثر من عقدين.

مشكلة الدراسة:

تتمثل مشكلة الدراسة في التزايد الملحوظ لظاهرة التدهور البيئي والزحف الصحراوي في ناحية السماوة خلال العقود الأخيرة، نتيجة الارتفاع المستمر في درجات الحرارة، وتذبذب الهطول المطري، وانخفاض رطوبة التربة، وسيادة الرياح الشمالية الغربية، فضلاً عن هشاشة التكوينات الجيولوجية وأنواع الترب السائدة. ويقابل ذلك توظيف التقنيات الحديثة لرصد هذه الظاهرة مكانيًا وزمانيًا بصورة دقيقة ، مما يستدعي إجراء تحليل علمي متكامل يعتمد على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.

فرضية الدراسة

تنطلق الفرضية بان التغيرات المناخية والخصائص الجيومورفولوجية السائدة في ناحية السماوة أسهمت في تدهور الغطاء النباتي وزيادة مساحة الترب العارية، وأن المؤشرات الطيفية المستخرجة من المرئيات الفضائية قادرة على تشخيص هذا التدهور ورصد مسارات الزحف الصحراوي بدقة مكانية وزمانية عالية.

هدف الدراسة:

١. رصد وتحليل التغيرات البيئية في ناحية السماوة للمدة (٢٠٠٠–٢٠٢٤)

٢. تشخيص دور المؤشرات الطيفية في الكشف عن مظاهر التدهور البيئي والزحف الصحراوي.

٣. تحليل العلاقة بين العوامل المناخية والجيولوجية والتضاريسية وأنواع الترب وديناميكية الزحف الصحراوي.

٤. إنتاج خرائط مكانية توضح تطور الغطاء النباتي والترب العارية ومناطق الزحف الصحراوي.

منهجية الدراسة:

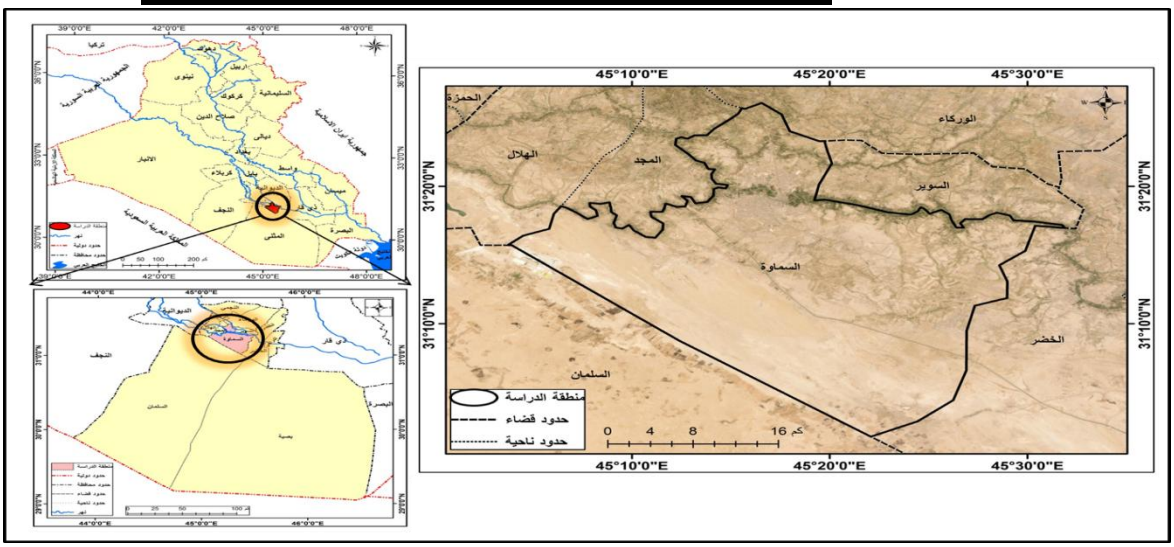
اعتمدت الدراسة المنهج التحليلي– المكاني، من خلال:

- استخدام مرئيات الأقمار الصناعية (Landsat) للعامين ٢٠٠٠ و٢٠٢٤.
- استخراج المؤشرات الطيفية (SAVI) ، (BSI)وتحليل تغيرها الزماني والمكاني.
- تحليل البيانات المناخية (الحرارة، الأمطار، الرياح، رطوبة التربة)
- دراسة الخصائص الجيولوجية والتضاريسية وأنواع الترب بالاعتماد على الخرائط الرقمية.
- توظيف نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لدمج الطبقات المكانية وإنتاج الخرائط التحليلية.
- تفسير النتائج جيومورفولوجيًا وربطها بظاهرة الزحف الصحراوي.

موقع الدراسة:

تقع منطقة الدراسة ضمن الحدود الإدارية لمحافظة المثنى في الجزء الجنوبي الغربي من العراق، وتُعد إحدى النواحي التابعة لقضاء السماوة. تمتد منطقة الدراسة فلكيًا بين دائرتي عرض (31°2'16"N –31°26'7"N)شمالًا، وخطي طول (45°3'59"E–45°32'5"E) شرقًا ، وتشغل مساحة تُقدَّر بنحو 877.8 كم² ، يلاحظ خريطة (١) ، اذ يحدها من الشمال قضاء السلمان، ومن الشرق مركز مدينة السماوة ونهر الفرات، ومن الجنوب قضاء الخضر، وتحدها من الغرب امتدادات الهضبة الغربية ، التي تُعد المصدر الرئيس للرواسب الرملية والكثبان الزاحفة باتجاه المنطقة

.خريطة(١)موقع منطقة الدراسة



المصدر: بالاعتماد على : وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، خريطة العراق الادارية ، مقياس ١/١٠٠٠٠٠٠ ، سنة ٢٠٢١ ، ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

اولاً- دراسة الخصائص المناخية: تعد العناصر المناخية المحرك الأساسي للعمليات الجيومورفولوجية في المناطق الجافة وشبه الجافة، وتلعب هذه العناصر دوراً مزدوجاً، اذ تعمل كعوامل تجهيز للمفتتات من جهة، وكقوة ناقلة من جهة أخرى، مما يؤدي إلى تفاقم ظاهرة الزحف الصحراوي.

١- **درجات الحرارة** تعد درجات الحرارة المحرك الحراري الأول لعمليات التجوية الميكانيكية وتفكك التربة (سلامة، ٢٠٠٤) [١] ومن ملاحظة جدول(٢) ، يتضح ان معدلات درجات الحرارة في منطقة الدراسة وللمدة (٢٠٠٠-٢٠٢٤) ، يكشف عن تحول واضح في البنية الحرارية للمنطقة، اذ تُشير البيانات إلى تصاعد تدريجي ومستمر في المعدلات الشهرية والسنوية، مع وجود تباين فصلي حاد يبدأ بأدنى مستوياته في شهر كانون الثاني الذي تراوح بين (٣.٤ و ٩.١ مْ)، ثم يتدرج بالارتفاع مع بداية الربيع ليصل إلى ذروته الحرارية المطلقة في شهري تموز وآب. ومن خلال المقارنة لمعدلات درجات الحرارة وللمدة(٢٠٠٠-٢٠٢٤) ، يتضح أن معدلات أشهر الصيف قفزت من (٢٤- ٢٥ مْ) في بدايات الألفية لتستقر فوق عتبة (٣٠ مْ) في السنوات الأخيرة، اذ سجل عام ٢٠٢٣ أعلى معدل في شهر تموز بواقع ٣١.١ مْ. ولا يقتصر هذا الارتفاع على فصل الصيف فحسب، بل امتد ليشمل الأشهر المعتدلة مثل تشرين الأول الذي زادت معدلاته بنحو (٣-٤ درجات) عما كانت عليه سابقاً، مما يشير إلى طول فترة الدفء السنوية وانكماش الفصول الباردة. كما يُلاحظ أن السنوات الممتدة بين (٢٠١٥-٢٠٢٤) يمثل الفترة الأكثر احتراراً واستقراراً في المعدلات المرتفعة، اذ نادراً ما تنخفض معدلات الذروة الصيفية عن ٢٨ مْ، مما خلق ضغطاً حرارياً مستمراً أدى إلى استنزاف الرطوبة المخزونة في التربة وتفكك جزيئاتها. هذا الارتفاع الحراري يعد المسبب الفيزيائي لظهور التربة العارية وانكماش الغطاء النباتي، اذ أدى طول فترة الدفء وانكماش الفصول الباردة إلى إضعاف المقاومة الحيوية للأرض أمام الرياح السائدة. وبالتالي يعد عامل اساسي لظاهرة الزحف الصحراوي واتساع رقعتها المكانية.

جدول (١)معدلات درجات الحرارة الشهرية والسنوية (مْ) للمدة (٢٠٠٠-٢٠٢٤)

السنة	ك ٢	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت ١	ت ٢	ك ١
2000	9.1	8	11.6	18	22.1	24.1	25.4	24.2	23.9	19.4	12.9	5.4
2001	7.3	8.6	12	17.1	23.1	25.2	26.5	25.3	23.2	16	10.1	6.7
2002	7.4	9.7	11.7	16.3	25.1	26.2	28	28	21.2	16.8	12.1	9
2003	5.7	3.6	8.3	15.6	22.6	26.2	26.5	24.1	23.2	19.4	13.4	8.5
2004	5.8	7.5	10.7	17.4	22.7	27.1	27.9	28.3	22.5	17.2	12.2	7.3
2005	6.9	8.4	11	16.6	22.7	26.7	27.7	28	25.8	18.7	9.4	4.3
2006	4.4	4.6	10.1	20.1	22.7	25.2	29.9	28.1	22.6	16.4	9.7	8.2
2007	5.5	6.4	12.5	17.1	21.6	24	26.1	28.3	22.1	18.2	9.1	8.7
2008	4.4	6.5	11.5	16.5	22.4	25.3	27	25.7	24.3	19.1	20.3	8.7
2009	4.4	6.5	11.5	16.5	22.4	25.3	27	25.7	24.3	19.1	20.3	8.7

2010	4.4	6.5	11.5	16.5	22.4	25.3	27	25.7	24.3	19.1	20.3	8.7
2011	4.4	6.5	11.5	16.5	22.4	25.3	27	25.7	24.3	18.4	10.9	9.4
2012	7.1	10.5	14	19.1	25.2	27	28.5	28.2	21.5	22.8	10.7	4.7
2013	4	8.9	12	17.1	26	27.1	28.2	28.3	23.4	19.7	11.6	7
2014	3.4	7.1	14.5	19.7	23.8	27	27.5	28.8	24.5	20	12.9	6.3
2015	4.1	9.9	12.6	17.6	24.7	28.1	27.9	28.1	26	20.7	13.2	10.2
2016	8.4	11.2	15	19.1	24.6	28.2	28.2	28.3	24.6	20.6	12.2	9.2
2017	6.4	8.7	12	18.3	24.2	27.6	29.2	28.2	23.2	19.8	12.1	9.1
2018	6.3	5.4	10.6	20	25.9	28	30	28.3	25	21.8	15.1	10.3
2019	8.3	10.1	14.4	18.9	23.6	26.8	28.3	27.9	25	17.6	15.2	7.7
2020	8.2	8.4	15.5	19.9	25.3	27.9	29.2	29.8	26	21	12.4	10
2021	7.1	10.1	13.3	17.9	25.8	27.9	30	30.5	نقص	22.3	13.2	7.7
2022	7.4	10.3	14.6	20.1	24.9	28.3	30	29.5	25	19.8	10.6	6.5
2023	5.5	5	13.3	18.8	24.9	27	31.1	30.2	26.6	20.8	14.4	8.7
2024	7.5	11.2	16.1	18.4	24.8	28.6	29.6	28.3	27.2	22.8	14.8	10.7

المصدر: NASA. Global Precipitation Measurement (GPM) or Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), [Dataset]. NASA Goddard Space Flight Center.

٢-الهطول المطري:من ملاحظة جدول(٢) ، يتبن وجود تذبذب حاد في معدلات الهطول المطري السنوي وللمدة(٢٠٠٠-٢٠٢٤)، اذ سجلت المنطقة أدنى مستوياتها في عام 2021 بنحو 57.45 ملم، بينما وصلت إلى ذروتها في عام 2013 بمقدار 274.49 ملم .هذا التفاوت الكبير يؤدي إلى اختلال استقرار التربة ، ففي سنوات الشح المطري، تنخفض رطوبة التربة السطحية إلى أدنى مستوياتها نحو 0.06 (خلال أشهر الصيف)، مما يتسبب في تفتت النسيج الحبيبي للتربة وفقدان قوى التماسك ونتيجة لذلك، تتحول المساحات الواسعة من السهول المنخفضة إلى مناطق تذرية نشطة تحت تأثير الرياح الشمالية الغربية .في حين، تساهم الأمطار الغزيرة ، لاسيما في شهر تشرين الثاني ، الذي سجل اعلى معدل لعام 2018 بمقدار 100.32 ملم، في تنشيط عمليات التعرية المائية بالمرتفعات والتلال الرملية. وبالرغم من أن هذه الأمطار تساهم في تثبيت التربة مؤقتاً عبر نمو الغطاء النباتي ، إلا أنها تعمل جيومورفولوجياً على نقل الرواسب الناعمة من الهضبة وتجريفها نحو المنخفضات، لتصبح بعد جفافها في فصول الصيف الحارة مادة أولية ومصدراً غنياً للرمال التي تغذي زحف الكثبان الرملية نحو المناطق المستقرة، مما يعزز من ظاهرة التصحر بآلية التعرية المزدوجة (المائية والريحية).

جدول(٢)معدلات الهطول المطري الشهري والسنوي (ملم) للمدة(٢٠٠٠ -٢٠٢٤)

السنة	ك٢	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت١	ت٢	ك١	المجموع السنوي
2000	14.3	4.4	2.3	3.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	19.5	29.0	80.8
2001	18.7	16.6	18.7	10.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	3.9	18.6	91.2
2002	31.5	8.1	2.5	31.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	42.5	122.5
2003	18.2	25.1	25.4	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	103.2
2004	20.4	15.6	4.6	11.8	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.9	10.8	107.0
2005	17.0	40.2	4.1	4.3	13.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.8	4.9	107.2
2006	42.1	14.0	1.8	24.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2	24.9	36.3	155.0
2007	14.9	15.3	11.4	37.1	18.6	0.0	0.1	0.1	0.0	0.9	15.6	9.4	123.4
2008	40.1	15.4	1.7	8.8	1.4	0.0	0.0	0.0	5.7	16.2	23.1	0.2	112.5
2009	7.1	12.3	11.6	13.5	2.0	0.2	0.0	0.0	0.1	49.4	31.1	5.3	132.7
2010	57.0	5.1	1.1	6.3	13.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	7.6	90.3
2011	20.2	15.5	3.8	19.2	3.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.6	1.3	0.6	64.6
2012	3.5	6.8	7.6	0.2	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	45.5	37.0	119.0
2013	68.3	34.0	0.7	20.3	19.5	0.0	0.0	0.0	0.1	16.3	92.5	22.8	274.5

2014	21.0	12.4	45.5	0.3	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	38.7	48.0	1.2	191.2
2015	14.2	11.3	14.3	0.4	4.3	0.0	0.0	0.0	1.6	39.8	75.8	12.9	188.7
2016	25.5	18.1	21.4	16.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	5.4	34.6	122.0
2017	13.9	18.0	4.0	11.5	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	6.0	3.4	59.9
2018	0.0	22.4	0.1	8.9	31.8	0.0	0.0	0.0	0.0	37.2	100.3	41.3	242.0
2019	56.6	23.3	35.2	28.5	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	14.7	5.3	46.2	222.6
2020	13.6	17.6	21.6	13.1	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.3	11.7	127.7
2021	16.6	13.1	4.6	0.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	17.7	57.5
2022	14.5	3.7	4.2	0.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	24.4	27.7	77.0
2023	17.9	16.0	36.6	32.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	22.2	22.2	153.4
2024	24.9	31.4	15.5	22.6	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	9.1	10.7	122.8

المصدر: NASA. Global Precipitation Measurement (GPM) or Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), [Dataset]. NASA Goddard Space Flight Center

٣-**رطوبة التربة السطحية** تعد رطوبة التربة العامل المؤثر في مدى استجابة السطح لعمليات التعرية الريحية (جودة،٢٠١٣)[٢]، ومن ملاحظة جدول(٣) ، يتضح وجود نمط موسمي حرج، إذ تنخفض قيم الرطوبة في أشهر الصيف لتتراوح بين (0.06) و (0.08) ، اذ تعكس هذه القيم المتدنية وصول التربة إلى حالة الجفاف التام، مما يؤدي إلى تلاشي قوى التماسك الهيدروليكي بين الحبيبات، وهو ما يفسر النشاط الجيومورفولوجي المرتفع ضمن المناطق المرتفعة والتلال الرملية التي تفقد رطوبتها بسرعة بفعل التبخر العالي، فتتحول إلى مصادر نشطة لتذرية الرمال وزحفها. في حين، سجلت أعلى قيم للرطوبة خلال السنوات المطيرة، ولا سيما عام 2019 ،اذ بلغ المتوسط السنوي حوالي (0.31) مع ذروة شهرية وصلت إلى (0.52) في شهري كانون الثاني، وشباط. تؤدي هذه الزيادة في الرطوبة إلى تشكيل قشور طينية ترفع من سرعة العتبة اللازمة لتحريك الرمال ، أي أن الرياح بالسرعة نفسها التي كانت تحرك الرمال في الصيف تصبح غير قادرة على تحريكها في الشتاء بسبب التماسك الناتج عن الرطوبة.

يتضح مما سبق، هناك علاقة عكسية قوية بين قيم رطوبة التربة السطحية وبين نشاط الزحف الصحراوي في منطقة الدراسة، اذ أدى انخفاض الرطوبة إلى ما دون 0.08 ،خلال فصول الصيف إلى تجريد التربة من حمايتها الفيزيائية، مما جعلها عرضة للنقل الريحي المستمر. بينما ساهمت فترات الارتفاع الرطوبي التي تجاوزت 0.40 في تعزيز تماسك السطح وتقليل مساحة البؤر المصدرة للغبار والرمال.

جدول (3)معدلات رطوبة التربة السطحية الشهرية والسنوية للمدة(٢٠٠٠ -٢٠٢٤)

السنة		ك٢	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت١	ت٢	ك١	المتوسط السنوي
2000		0.35	0.3	0.2	0.18	0.11	0.08	0.06	0.06	0.06	0.15	0.27	0.45	0.19
2001		0.44	0.44	0.38	0.26	0.14	0.1	0.08	0.07	0.07	0.09	0.19	0.4	0.22
2002		0.43	0.41	0.33	0.32	0.16	0.1	0.08	0.07	0.07	0.07	0.18	0.48	0.22
2003		0.46	0.46	0.41	0.34	0.17	0.1	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.32	0.22
2004		0.43	0.43	0.34	0.28	0.17	0.1	0.08	0.07	0.07	0.07	0.35	0.42	0.23
2005		0.43	0.46	0.38	0.3	0.21	0.11	0.09	0.08	0.08	0.08	0.22	0.35	0.23
2006		0.44	0.46	0.36	0.33	0.19	0.1	0.09	0.08	0.07	0.15	0.31	0.39	0.25
2007		0.45	0.46	0.41	0.36	0.19	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.09	0.35	0.23
2008		0.43	0.44	0.31	0.2	0.17	0.1	0.08	0.07	0.14	0.18	0.36	0.37	0.24
2009		0.32	0.35	0.28	0.28	0.16	0.09	0.08	0.07	0.07	0.33	0.44	0.42	0.24
2010		0.43	0.43	0.29	0.23	0.21	0.1	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.24	0.19
2011		0.37	0.42	0.33	0.3	0.18	0.1	0.09	0.08	0.07	0.09	0.1	0.18	0.19
2012		0.34	0.38	0.36	0.2	0.18	0.1	0.08	0.07	0.07	0.15	0.33	0.48	0.23
2013		0.5	0.5	0.37	0.31	0.22	0.11	0.09	0.08	0.07	0.19	0.45	0.44	0.28
2014		0.41	0.39	0.45	0.23	0.22	0.1	0.08	0.07	0.07	0.31	0.46	0.4	0.27
2015		0.42	0.43	0.39	0.22	0.16	0.09	0.08	0.07	0.08	0.31	0.49	0.44	0.26
2016		0.43	0.44	0.42	0.32	0.17	0.1	0.08	0.07	0.07	0.08	0.14	0.39	0.22

2017		0.41	0.44	0.34	0.32	0.29	0.16	0.1	0.08	0.07	0.07	0.08	0.14	0.19	0.2
2018		0.22	0.41	0.32	0.26	0.28	0.11	0.08	0.07	0.07	0.07	0.32	0.51	0.52	0.27
2019		0.52	0.52	0.51	0.46	0.31	0.13	0.1	0.08	0.08	0.08	0.22	0.22	0.47	0.31
2020		0.47	0.47	0.44	0.34	0.18	0.1	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.33	0.38	0.25
2021		0.4	0.4	0.31	0.19	0.14	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.13	0.32	0.19
2022		0.41	0.39	0.35	0.21	0.14	0.09	0.07	0.07	0.06	0.07	0.1	0.26	0.44	0.22
2023		0.41	0.44	0.43	0.38	0.2	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.13	0.28	0.43	0.25
2024		0.45	0.49	0.4	0.34	0.2	0.1	0.08	0.07	0.07	0.07	0.09	0.17	0.31	0.23

المصدر: NASA. Global Precipitation Measurement (GPM) or Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), [Dataset]. NASA Goddard Space Flight Center.

٤- **عامل الرياح:** تمثل الرياح قوة جيومورفولوجية تعمل وفق نظام حركي ثابت يجمع، بين القوة (السرعة) ، والتوجيه (الاتجاه) وعلى النحو الاتي:

١- **القوة المحركة (سرعة الرياح)**يتضح من خلال جدول(٤) ،أن سرعة الرياح في منطقة الدراسة تخضع لنمط فصلي تصاعدي، اذ تصل إلى ذروتها خلال شهر حزيران بمتوسطات تتراوح بين (4.98 – 4.00) م/ث للمدة (٢٠٠٠-٢٠٢٤) .ومن الناحية الجيومورفولوجية، تتجاوز هذه القيم في كثير من الأحيان سرعة العتبة الحرجة اللازمة لتحريك حبيبات الرمل الناعمة والمتوسطة، لاسيما وأنها تتزامن مع أدنى مستويات رطوبة التربة (0.06) ، هذا الاقتران بين القوة الحركية وجفاف السطح يفسر النشاط المرتفع في التلال الرملية ، اذ تتحول هذه المرتفعات إلى بؤر نشطة للتذرية الريحية.

٢- **المسار التوجيهي (اتجاه الرياح)**من ملاحظة جدول(٥) وشكل(١) ، يتضح سيادة واضحة للرياح الشمالية الغربية بنسبة (٧٤.٦٪)، ما يجعلها العامل المناخي الرئيس المتحكم في عمليات النقل الريحي وتوجيه الزحف الصحراوي في منطقة الدراسة. وتسهم هذه الرياح في تحريك الرواسب الرملية وإعادة تشكيل الكثبان باتجاه الجنوب الشرقي، في حين تأتي الرياح الشمالية (١١.٢٪) والرياح الغربية (٥.٨٪) بأدوار ثانوية تقتصر على دعم النقل الرملي والتذرية الجانبية للكثبان. أما بقية الاتجاهات فقد سُجلت نسب ضئيلة، ما يعكس ضعف تأثيرها الجيومورفولوجي واقتصار دورها على حالات محلية أو موسمية. كما تمثل حالة السكون (٤٪) فترات يسود فيها ترسّب الغبار والمواد العالقة، مؤديةً إلى استقرار نسبي ومؤقت لسطح الأرض. يتضح مما سبق، ان دور الرياح يظهر كعامل نقل جيومورفولوجي نشط بفضل ثبات اتجاهها الشمالي الغربي وقوتها الحركية التي تبلغ ذروتها في شهر حزيران بمعدلات تفوق (4.5) م/ث وقد أدى تضافر هذه القوى الريحية مع جفاف التربة السطحية إلى تعظيم كفاءة العمليات الريحية نحتاً ونقلاً وترسيباً، مما أدى بدوره إلى تنشيط حركة الكثبان الرملية وزيادة وتيرة الزحف الصحراوي باتجاه النطاقات الزراعية والسكنية في منطقة الدراسة.

جدول (4)معدلات سرعة الرياح الشهرية والسنوية (م/ث) للمدة(٢٠٠٠ -٢٠٢٤)

السنة	ك٢	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت١	ت٢	ك١	المتوسط السنوي
2000	2.26	2.5	2.81	2.7	3.2	4.22	3.48	3.33	3	2.3	2.08	2.42	2.86
2001	1.99	2.37	2.47	2.97	3.84	4.98	4.26	3.44	2.81	2.47	2.66	2.28	3.05
2002	2.5	2.41	2.53	2.93	2.96	3.87	3.51	3.19	2.61	2.43	1.97	2.58	2.79
2003	2.14	2.31	3.08	3.06	3.26	4.41	3.8	3.41	2.86	2.44	2.03	2.31	2.93
2004	2.58	2.57	2.58	2.78	3.03	4.4	3.86	3.53	2.73	1.97	2.34	2.32	2.85
2005	2.59	2.17	2.57	2.74	2.96	4.08	4.05	3.37	3.23	2.68	2.38	2.33	2.93
2006	2.33	2.51	2.64	2.85	3.12	4.04	4.65	3.53	3.16	2.64	2.64	2.37	3.04
2007	2.45	2.41	2.53	2.91	2.87	4.06	3.61	3.21	3.42	2.47	2.38	2.45	2.9
2008	2.28	2.83	2.45	2.87	2.94	4.48	3.79	3.16	2.61	3	2.2	2.59	2.93
2009	2.44	2.51	2.71	2.56	2.83	3.38	4.31	3.31	2.84	2.38	2.14	2.47	2.82
2010	2.22	2.55	2.5	2.51	2.89	3.61	4.07	3.34	3.06	2.07	2.15	2.24	2.77
2011	2.28	2.84	2.89	3.36	3.27	4.44	4.41	3.51	3.16	2.53	2.35	2.16	3.1

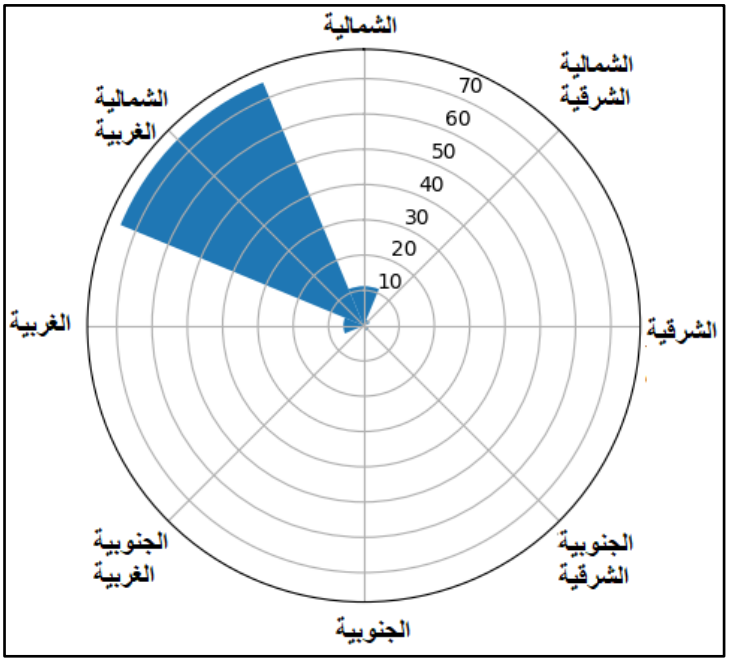
2012	2.22	2.58	2.91	2.94	3.33	4.54	4.3	3.2	3.16	2.58	2.3	2.41	3.04
2013	2.18	2.55	2.62	2.88	3.28	3.59	4.07	3.29	3.11	2.65	2.51	2.38	2.93
2014	2.15	2.64	2.58	2.77	3.12	4	3.37	3.18	2.87	2.77	2.42	2.3	2.85
2015	2.19	2.76	2.97	2.79	3.14	3.69	3.75	3.14	2.92	2.59	2.52	2.34	2.9
2016	2.34	2.55	2.69	2.88	2.85	4.38	4.04	3.36	3.13	2.43	2.13	2.43	2.88
2017	2.2	2.34	2.72	2.69	3.38	4.09	3.86	3.41	3.1	2.74	2.24	2.39	2.93
2018	2.38	2.5	2.66	3.03	2.91	4.29	3.84	3.29	2.86	2.39	2.33	2.25	2.9
2019	2.41	2.6	3.13	3.14	3.07	4.19	3.85	3.24	2.99	2.56	2.06	2.23	2.96
2020	2.31	2.76	2.88	2.75	3.07	4.24	4.3	3.41	3.1	2.49	2.32	2.24	2.99
2021	2.26	2.62	2.82	2.67	3.06	4.41	4.16	3.51	2.98	2.66	2.06	2.38	2.97
2022	2.43	2.73	3.07	3.09	3.47	4.3	4.02	3.35	3.16	2.5	2.25	2.13	3.05
2023	2.13	2.66	2.96	2.81	3.03	4	4.08	3.49	2.96	2.35	2.34	2.19	2.92
2024	2.21	2.71	2.54	2.77	3.14	4.15	3.9	3.4	3	2.53	2.24	2.28	2.91

المصدر: NASA. Global Precipitation Measurement (GPM) or Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), [Dataset]. NASA Goddard Space Flight Center.

جدول (٥)التوزيع الاتجاهي للرياح للمدة(٢٠٠٠ -٢٠٢٤)

الاتجاه	النطاق الزاوي (بالدرجات)	النسبة المئوية (%)	الوصف الجيومورفولوجي
شمالية	337.5° – 22.5°	11.2	رياح نشطة تساهم في نقل الرمال
شمالية شرقية	22.5° – 67.5°	1.8	رياح ثانوية نادرة الحدوث
شرقية	67.5° – 112.5°	0.3	رياح تكاد تكون منعدمة
جنوبية شرقية	112.5° – 157.5°	1.4	رياح عكسية غالبًا ما تسبق الأمطار
جنوبية	157.5° – 202.5°	0.4	رياح محلية ضعيفة
جنوبية غربية	202.5° – 247.5°	0.5	رياح نادرة جدًا وغير مؤثرة جيومورفولوجيًا
غربية	247.5° – 292.5°	5.8	تساهم في التذرية الجانبية للكثبان
شمالية غربية	292.5° – 337.5°	74.6	الاتجاه السائد والقوة المحركة للزحف
حالة السكون	سرعة < ٠.٥ م/ث	4	فترة ترسب الغبار والمواد العالقة

المصدر: NASA. Global Precipitation Measurement (GPM) or Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), [Dataset]. NASA Goddard Space Flight Center.



شكل (١)وردة الرياح للمدة(٢٠٠٠ -٢٠٢٤)

المصدر: بالاعتماد على جدول(٥).

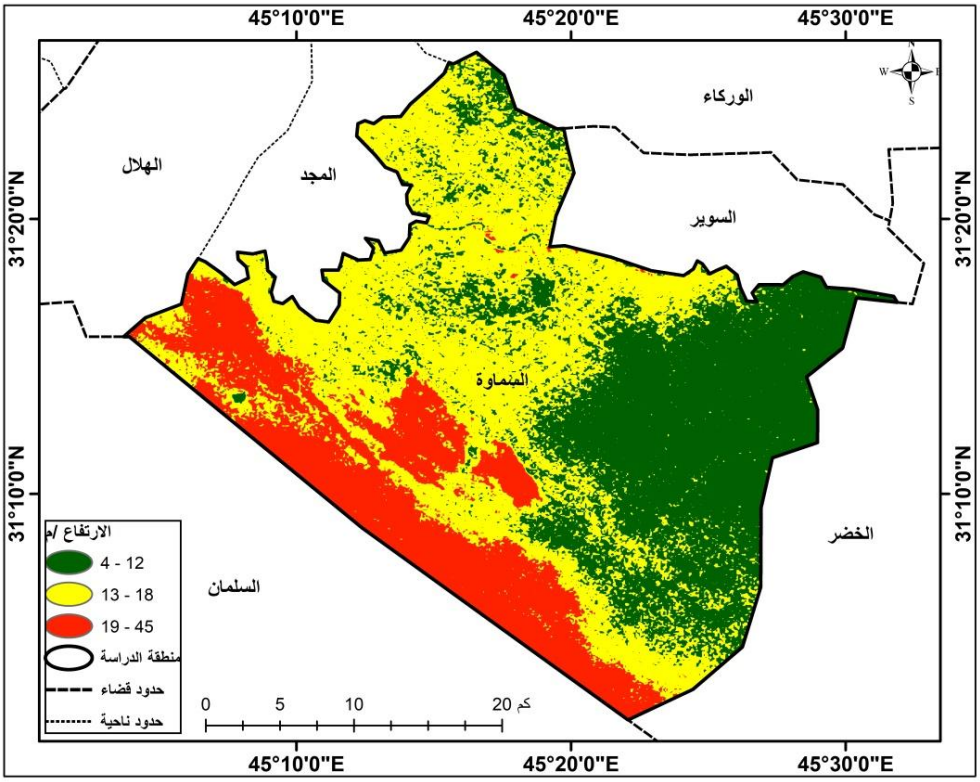
ثانياً- دراسة الخصائص التضاريسية ودوره في توجيه مسارات الزحف الصحراويتلعب الخصائص التضاريسية لمنطقة الدراسة ، دوراً حاسماً في تشكيل المظهر الجيومورفولوجي وتحديد شدة العمليات الريحية، اذ تنقسم منطقة الدراسة، إلى ثلاثة مستويات طوبوغرافية متباينة. ومن ملاحظة جدول(٦) ، تشغل المناطق المرتفعة ، وتلال ومرتفعات صخرية ، مساحة تقدر بنحو (180.8)كم²، ويتراوح ارتفاعها بين 19 – 45 متراً فوق مستوى سطح البحر؛ وتمتاز هذه النطاقات بكونها الأكثر عرضة للرياح السائدة، مما يجعلها مناطق نشاط مرتفع جداً لتشكل الكثبان الرملية وانطلاق شرارة الزحف الصحراوي نحو المناطق الأقل ارتفاعاً. في حين، تبرز المناطق متوسطة الارتفاع كأكبر نطاق مساحي في المنطقة ،اذ بلغت حوالي (374.4كم²)وتتراوح ارتفاعها (18 – 13)م، وهي تمثل مناطق الانتقال البيئي، اذ تبدأ الكثبان الرملية بالاستقرار أو الانجراف جزئياً، مما يجعل تربتها في حالة تذبذب مستمر بين التعرية والترسيب. أما المناطق المنخفضة التي تتراوح ارتفاعها بين(٤-١٦)م ، فقد شغلت مساحة تقدر بنحو 322.6 كم²، وهي تمثل جيومورفولوجياً حوض الترسيب النهائي، فبالرغم من استقرارها البيئي النسبي وتجمع المياه فيها، إلا أنها تقع تحت التهديد المباشر للرمال الزاحفة من المرتفعات المجاورة.

جدول(٦) فئات الارتفاع لمنطقة الدراسة

الارتفاع/م	مساحة /كم٢	الوصف الطوبوغرافي
4 – 12	322.6	مناطق منخفضة، غالبًا سهول مفتوحة أو وديان، تجمع محتمل للمياه، مستقرة بيئيًا، نشاط منخفض للكثبان الرملية.
13 – 18	374.4	مناطق متوسطة الارتفاع، تشمل تلال منخفضة أو بداية الكثبان، نشاط بيئي متوسط، التربة معرضة جزئيًا للانجراف.
19 – 45	180.8	أعلى المناطق، تلال أو مرتفعات صخرية ورملية، معرضة بشكل كبير للرياح وتشكيل الكثبان، نشاط مرتفع جدًا، مناطق عرضة للزحف الصحراوي.
المجموع	877.8	

المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM ، بدقة (١٥*١٥)م لسنة ٢٠٢٤ ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

خريطة(٢) التوزيع المكاني لفئات الارتفاع ضمن المنطقة



المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM ، بدقة (١٥*١٥)م لسنة ٢٠٢٤ ومخرجات برنامج Arc map 10.8.إن هذا التدرج الطوبوغرافي من المرتفعات (مصادر الرياح) إلى المنخفضات (مناطق الاستقرار) يعزز من كفاءة النقل الريحي، اذ تعمل الجاذبية مع اتجاه الرياح على تسريع حركة الرمال لاسيما للترب الصخرية والضحلة نحو الترب الغرينية والفيضية المستقرة في المنخفضات، مما يفاقم من مشكلة ردم الأراضي الزراعية في السماوة.

ثالثاً- دراسة التكوينات الجيولوجية تتشكل البنية الجيولوجية لمنطقة الدراسة من تباين واضح يؤثر بشكل مباشر على ديناميكية السطح ونشاط الزحف الصحراوي. ومن ملاحظة جدول(٧) وخريطة(٣) ، يتضح ان رواسب السهل الفيضي تمثل المساحة الأكبر بنحو 265.7 كم²، وهي رواسب غرينية وطينية تعود للعصر الرباعي (الهولوسين) (Deikran, 1993)[٣]، وتمثل النطاق المستقر الذي يتعرض حالياً لتهديد الغمر بالرمال. ويأتي التهديد الرئيسي من الرواسب الرملية التي تغطي 217.3 كم²، والتي تتمثل برواسب ريحية حديثة ومفككة، تعمل كمصدر مستمر لتغذية الكثبان الرملية الزاحفة بفعل الرياح السائدة.أما المناطق المتدهورة بيئياً، فتتمثل في رواسب الأهوار الجافة ، ورواسب السبخات، بمساحة بلغت نحو 131.3 كم²، 105.7كم² ، وعلى التوالي ، ان هذه التكوينات المتميزة بنعومة حبيباتها وارتفاع محتواها الملحي والجبسي، تحولت بعد جفافها إلى أسطح هشّة تساهم في توليد العواصف الغبارية وتملح التربة المجاورة . اما بالنسبة لتكوين الفرات ، وبالرغم من مساحته المحدودة البالغة 6.2 كم²، إلا أنه يمثل القاعدة الصخرية الصلبة المكونة من الحجر الجيري والدولوميت التي تعود لعصر الميوسين الأسفل، والتي تقاوم عمليات النحت والزحف بفعالية عالية.اما بالنسبة لرواسب التشققات الفيضية و المنخفضات الضحلة فقد بلغت حوالي (54.5)كم٢ و (52.7) كم²، على التوالي، والتي تعمل كمصايد طبيعية للرمال الزاحفة، بالإضافة إلى ترسبات الكتوف النهرية التي بلغت حوالي (22.0)كم² .اما الرواسب البشرية فقد بلغت مساحتها حوالي (22.5)كم²، وهي تساهم في تباين خشونة السطح وتوجيه مسارات النقل الريحي محلياً. إن هذا التداخل المساحي والنوعي يؤكد أن المنطقة تمر بمرحلة تحول من سيادة التعرية النهرية إلى التعرية الريحية ، مما يعزز من كفاءة عمليات التصحر في منطقة الدراسة

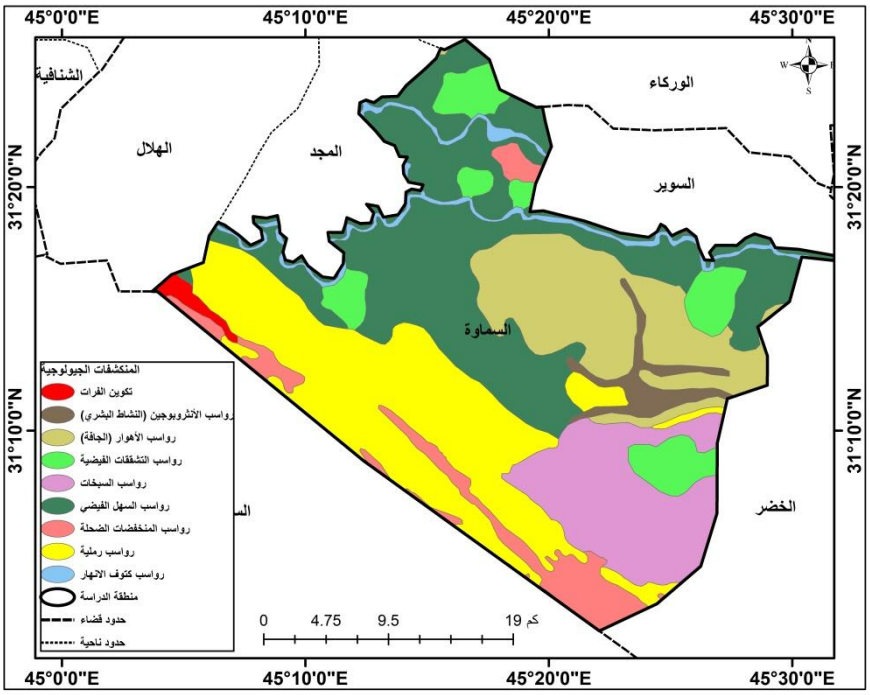
.

جدول(٧) المنكشفات الجيولوجية في منطقة الدراسة

المنكشفات الجيولوجي	مساحة/كم٢
رواسب الأنثروبوجين (النشاط البشري)	22.5
رواسب التشققات الفيضية	54.5
تكوين الفرات	6.2
رواسب السهل الفيضي	265.7
رواسب الأهوار (الجافة)	131.3
السداد الطبيعية	22.0
رواسب السبخات	105.7
رواسب رملية	217.3
رواسب المنخفضات الضحلة	52.7

Deikran, D. B., & Mahdi, A. I. (1993). *The geology of Al-Nasiriya Quadrangle: Sheet NH-38-3 (GM 33), Scale 1:250,000* (Report No. 2258). State Establishment of Geological Survey and Mining (GEOSURV), Department of Geological Survey.

خريطة(٣) التوزيع المكاني للمنكشفات الجيولوجية لمنطقة الدراسة



Deikran, D. B., & Mahdi, A. I. (1993). *The geology of Al-Nasiriya Quadrangle: Sheet NH-38-3 (GM 33), Scale 1:250,000* (Report No. 2258). State Establishment of Geological Survey and Mining (GEOSURV), Department of Geological Survey.

ثالثا– دراسة الترب وعلاقتها بديناميكية السطح:

تُظهر دراسة أصناف التربة في منطقة الدراسة تبايناً نوعياً يعكس سيادة الظروف الجافة والعمليات الإرسابية، ومن ملاحظة جدول(٨)،وخريطة(٤)، يتضح ان الترب الملحية– القلوية (Zo) تشغل المساحة الأكبر بنحو ٣٤٤٠ كم² وبنسبة ٣٩.١٩٪، وهي ترب تمتاز بهشاشة بنيتها وغياب الغطاء النباتي الطبيعي ، مما يجعلها أسطحاً مثالية لعمليات التذرية الريحية. وتأتي الترب الغرينية الحديثة (Jc) في المرتبة الثانية بمساحة بلغت حوالي، ٢٦٤.٣ كم² ،وبنسبة ٣٠.١١٪، وهي ترب ناتجة عن الترسيب النهري والتي تمثل النطاق الزراعي الأساسي، إلا أن موقعها الجيومورفولوجي يجعلها عرضة الردم الرملي وفقدان الخصوبة نتيجة زحف المواد الرملية من الأصناف المجاورة.

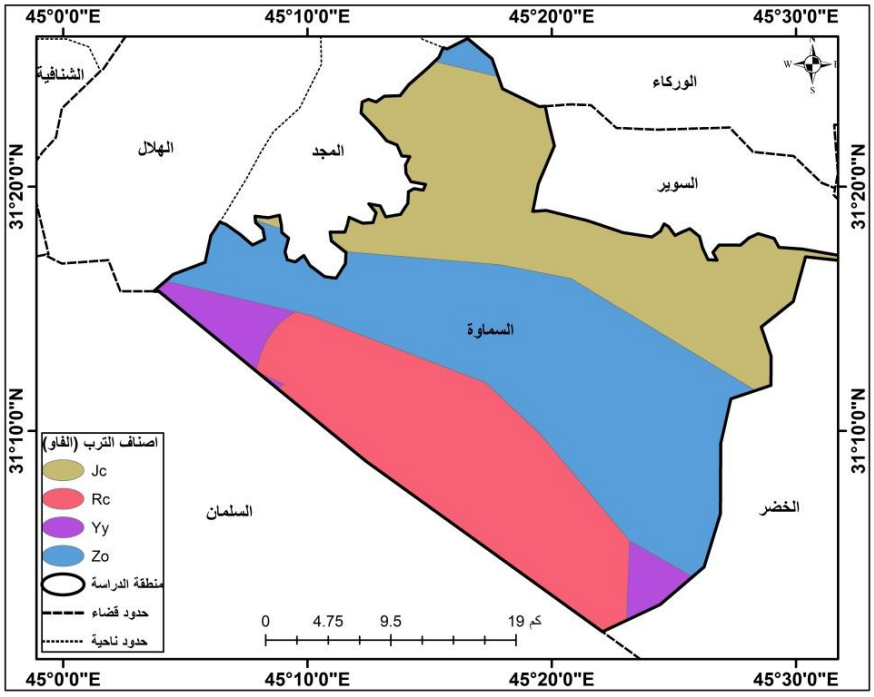
جدول(٨) اصناف الترب وفق تصنيف(الفاو) في منطقة الدراسة

رمز الترب حسب FAO	الوصف	المساحة (كم²)	النسبة المئوية (%)
Zo	ترب ملحية – قلوية	344.0	39.19%
Jc	ترب غرينية حديثة ناتجة عن الترسيب النهري، تتميز بخصوبة نسبية وارتباطها بالسهول الفيضية.	264.3	30.11%
Yy	ترب رملية أو ضعيفة التطور ، قليلة العمق والمواد العضوية.	38.7	4.41%
Rc	ترب ضحلة أو صخرية ضعيفة التطور، تتشكل في البيئات الجافة ذات التجوية المحدودة.	230.8	26.29%
المجموع		877.8	100%

المصدر: FAO–Unesco, Soil map of the world: 1: 5 000 000.1977 .

ومن جانب آخر، تشكل الترب الضحلة أو الصخرية (Rc) مساحة قدرها ٢٣٠.٨ كم² ،وبنسبة ٢٦.٢٩٪، وهي ترب ضعيفة التطور ترتبط غالباً بالانكشافات الصخرية لتكوين الفرات، ورغم صلابتها إلا أنها تفتقر للقدرة على صد الزحف الرملي. أما الترب الرملية (Yy)، وبالرغم من مساحتها المحدودة البالغة ٣٨.٧ كم² ،وبنسبة ٤.٤١٪، إلا أنها تلعب دوراً خطيراً باعتبارها تراباً غير متماسكة وقليلة العمق، مما يجعلها منطلقاً سهلاً لحبيبات الرمل التي تنقلها الرياح الشمالية الغربية السائدة. إن هذا التداخل بين الترب الملحية والرملية والضحلة يشكل حزاماً للهشاشة يحيط بالترب الغرينية الخصبة، مما يعزز من كفاءة العمليات الجيومورفولوجية المسؤولة عن الزحف الصحراوي وتدهور الأراضي في المنطقة.

خريطة(٤) التوزيع المكاني لاصناف الترب في منطقة الدراسة



المصدر: مخرجات برنامج Arc map 10.8.

ثالثاً– دراسة المؤشرات الطيفية ودورها في رصد التدهور البيئي والزحف الصحراوي للمدة(٢٠٠٠–٢٠٢٤)تعد المؤشرات الطيفية المستخرجة من مرئيات الفضائية من أهم الأدوات الحديثة في دراسة التغيرات البيئية، لما تمتلكه من قدرة عالية على توصيف خصائص سطح الأرض، ولاسيما الغطاء النباتي، والرطوبة السطحية، والتربة العارية، وهي عناصر ترتبط ارتباطًا مباشرًا بظاهرة الزحف الصحراوي. وقد جرى في هذه الدراسة

اعتماد مجموعة من المؤشرات الطيفية الملائمة لطبيعة البيئة الجافة في منطقة الدراسة، بهدف تشخيص مظاهر التدهور البيئي ومتابعة امتداد الزحف الصحراوي مكانيًاوزمانياً، اذ تم تحليل المؤشرات البيئية المستخرجة من صور الأقمار الصناعية (Landsat) وللمدة(٢٠٠٠ و٢٠٢٤) ، وعلى النحو الاتي:

١- **مؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة (SAVI):** يستخدم مؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI) لقياس كثافة الغطاء النباتي وتقليل تأثير انعكاس التربة العارية، ولاسيما في المناطق الجافة وشبه الجافة، وفق المعادلة الاتية[٤] (Huete, A. R. 1988):

$$SAVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} \times (1 + L)$$

اذ ان:NIR =الأشعة تحت الحمراء القريبة و تتمثل (Band 4) في لاندسات٧ ، و (Band 5) في لاندسات٨Red =النطاق الأحمر (تمثلها (Band 3) في لاندسات ٧ ، و(Band 4) في لاندسات٨L=معامل تعديل التربة (هو ثابت رياضي تتراوح قيمته بين ٠ و ١) و تعطى القيمة ٠.٥ لمناطق الجافة وشبه الجافة. من ملاحظة جدول(٩) وخريطة(٥)،(٦) ، يتضح ان مؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة (SAVI) للمدة بين عامي ٢٠٠٠ و ٢٠٢٤ يشهد تراجع بيئي حاد وواضح في بنية الغطاء الخضري، اذ بلغت مساحة الأراضي الجرداء (أقل من ٠.١) بنسبة نمو بلغت ٥٢٪، لتمتد فوق الترب الرملية (Yy) والملحية (Zo) التي فقدت تماسكها الطبيعي. كما يظهر ان فئة الغطاء النباتي الفقير جداً (٠.١ – ٠.٢) ، قد ازدادت بمقدار ٨٣.٩ كم² لتشغل مساحة إجمالية قدرها ٦٨٤.٦ كم² في عام ٢٠٢٤؛ وهذا التوسع يعكس تحول أجزاء واسعة من منطقة الدراسة إلى ألسنة زحف نشطة بدأت بغمر النباتات الطبيعية وتدمير ركائز الاستقرار البيئي.

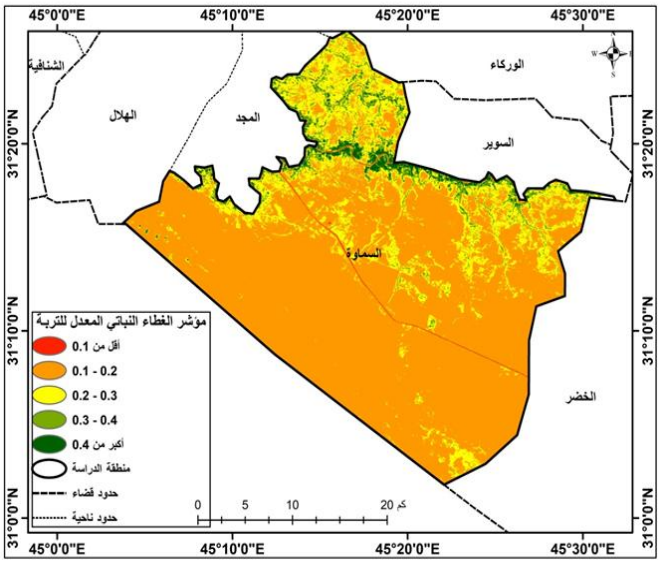
جدول(٩)مؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة (SAVI)

مؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة(SAVI)	المساحة/كم٢		الوصف البيئي	الفرق (كم²)	نسبة التغير (%)	التوزيع المكاني
	٢٠٠٠	٢٠٢٤				
أقل من ٠.١	2.5	3.8	أراضٍ جرداء	1.3	52%	تتركز في الترب الرملية (Yy) والملحية (Zo) التي فقدت حمايتها.
0.1 – 0.2	600.7	684.6	غطاء نباتي فقير جداً	83.9	13.9%	مناطق ألسنة الزحف اذ بدأت الرمال بغمر النبات الطبيعي.
0.2 – 0.3	202.9	134.9	غطاء نباتي متوسط	−68	−33.5%	حواف السهل الفيضي التي تعاني من الإجهاد الرطوبي.
0.3 – 0.4	51.0	39.0	غطاء نباتي جيد	−12	−23.5%	الأراضي الزراعية المروية والمستقرة نسبياً.
أكبر من ٠.٤	20.6	15.5	غطاء نباتي كثيف	−5.1	−24.7%	المناطق القريبة جداً من ضفاف الأنهار والمشاريع الإروائية.

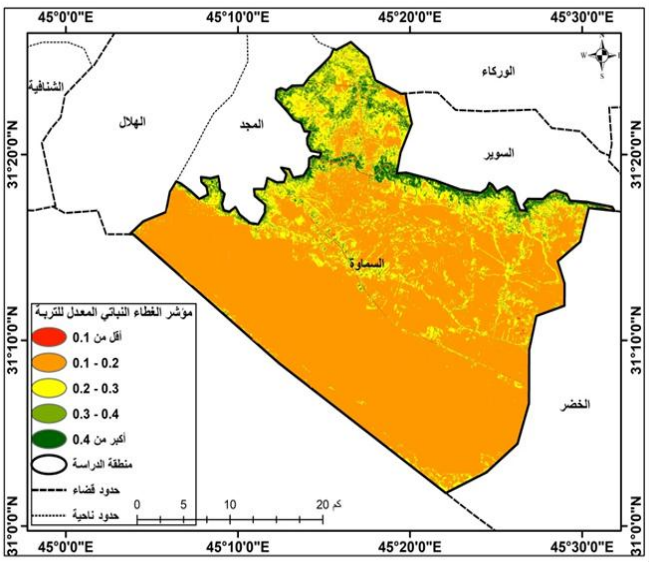
المصدر: بالاعتماد على المرئية الفضائية (لاند سات ٧ و٨) بتاريخ (٢٠٠٠/٩/٢٨ – ٢٠٢٤)،بدقة تميز ٣٠ متر

خريطة(٥)التوزيع المكاني لمؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة (SAVI) لسنة ٢٠٠٠

خريطة(٦)التوزيع المكاني لمؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة (SAVI) لسنة ٢٠٢٤



المصدر: بالاعتماد على المرئية الفضائية (لاند سات ٧) بتاريخ (٢٠٠٠/٩/٢٨)،بدقة تميز ٣٠ متر .



المصدر: بالاعتماد على المرئية الفضائية (لاند سات ٨)بتاريخ (٢٠٢٤/٩/٢٨)،بدقة تميز ٣٠ متر .

في حين، يظهر ان فئة الغطاء النباتي المتوسط (٠.٢ – ٠.٣) قد فقدت نحو ٦٨ كم² من مساحتها بنسبة تراجع بلغت ٣٣.٥٪، مما يؤكد انتقال حواف السهل الفيضي إلى مرحلة الإجهاد الرطوبي الشديد. ولم تكن المناطق الزراعية والمروية بمعزل عن هذا التدهور، إذ انخفضت مساحة الغطاء النباتي الجيد والكثيف (أكبر من ٠.٣) بمقدار ١٧.١ كم² مجتمعة، مما يشير إلى تقلص المساحات الخضراء حتى في المناطق القريبة من ضفاف الأنهار والمشاريع الإروائية. هذا التباين المكاني والزماني يؤكد أن منطقة الدراسة فقدت جزءاً كبيراً من حصانتها البيئية، اذ تراجعت الفئات المستقرة لحساب الفئات الهشة، مما يفتح المجال واسعاً لتفاقم ظاهرة الزحف الصحراوي وتدهور الأراضي.

٢- **مؤشر التربة العارية(BSI)** :جرى اعتماد مؤشر التربة العارية (Bare Soil Index – BSI) للكشف عن انتشار السطوح المكشوفة والترب العارية، التي تمثل البيئات الأكثر قابلية للتذرية الريحية ، ويستخرج وفق المعادلة الاتية (Rikimaru,. 2002)[٥] :

$$BSI = \frac{(SWIR1 + Red) - (NIR + Blue)}{(SWIR1 + Red) + (NIR + Blue)}$$

اذ ان:SWIR 1= الأشعة القصيرة اذ تتمثل ب Band 5 لاندسات ٧ ، و Band 6 لاندسات ٨Red= (النطاق الأحمر) وتتمثل ب Band 3 لاندسات٧، وBand 4 لاندسات٨NIR= (الأشعة تحت الحمراء القريبة) وتتمثل ب Band 4 لاندسات٧ ، وBand 5 لاندسات٨Blue =(النطاق الأزرق)وتتمثل ب Band 1 لاندسات٧، وBand 2 لاندسات٨يتضح من ملاحظة جدول(١٠) وخريطة(٧)،(٨) ان مؤشر التربة العارية (BSI) تعكس حالة التدهور الشديد على معظم أراضي منطقة الدراسة، اذ سجلت الفئة (أكبر من ٠.٣) المساحة الأوسع ، إذ ارتفعت من 645.0 كم² في عام ٢٠٠٠ لتصل إلى 682.3 كم² في عام ٢٠٢٤، بزيادة قدرها 37.3 كم² .وتعكس هذه الزيادة تحول مساحات شاسعة إلى ترب عارية تماماً وفاقدة لأي حماية طبيعية، مما يجعلها بؤراً نشطة لتصدير الرمال نحو المناطق المجاورة. كما سُجلت زيادة ملموسة في فئة التدهور المتوسط بنحو 37.7 كم²، وهو مؤشر خطير على انضمام أراضٍ جديدة إلى نطاق الانكشاف السطحي وبداية تشكل ألسنة الزحف الرملي

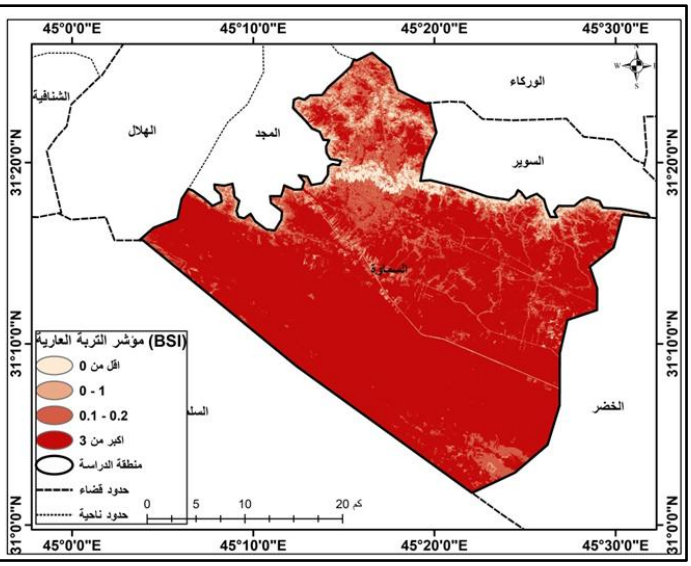
جدول(١٠)مؤشر التربة العارية (BSI).

مؤشر التربة العارية (BSI)	مساحة/كم٢		الفرق في المساحة (كم²)	نسبة التغير (%)	الوصف البيئي	التوزيع المكاني
	٢٠٠٠	٢٠٢٤				

أقل من ٠	19.3	18.7	−0.6	−3.1%	غير متدهورة (نبات/مياه)	تمثل الأراضي الزراعية النشطة قرب النهر.
0 – 0.1	44.2	44.4	0.2	0.4%	تدهور طفيف	ترب رطبة أو مناطق بها بقايا نباتية طبيعية.
0.1 – 0.2	132.0	169.7	37.7	28.5%	تدهور متوسط	أراضٍ بدأت تفقد غطاءها (بداية الزحف).
اكبر من ٣	645.0	682.3	37.3	5.7%	تدهور شديد	ترب عارية تماماً، وهي الغالبة في منطقة الدراسة.
	877.8					

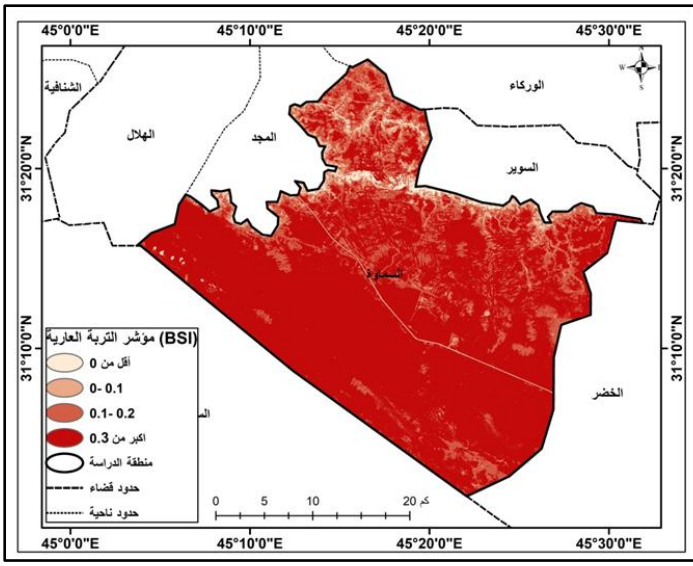
المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM ، بدقة (١٥*١٥)م لسنة ٢٠٠٠ و ٢٠٢٤ ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

خريطة(٧)التوزيع المكاني لمؤشر التربة العارية (BSI) لسنة ٢٠٠٠



المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM ، بدقة (١٥*١٥)م لسنة ٢٠٠٠ ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

خريطة(٨)التوزيع المكاني لمؤشر التربة العارية (BSI) لسنة ٢٠٢٤



المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM ، بدقة (١٥*١٥)م لسنة ٢٠٢٤ ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

في حين، نلاحظ ان مساحة الأراضي غير المتدهورة (أقل من ٠)، قد انخفضت مساحتها لتصل إلى 18.7كم² ، وهي تنحصر بشكل رئيس في النطاقات الضيقة جداً والمحاذية لمجرى النهر والمناطق الزراعية النشطة. إن هذا التباين الكبير بين المساحات المتدهورة والمستقرة، والنمو المستمر في فئات التربة العارية، يؤكد ان منطقة الدراسة تعاني من انكشاف طيفي واسع للسطح، مما التربة الرملية والملحية ،عرضة مباشرة لفعل التعرية الريحية، وهو ما يفسر تسارع ديناميكية الزحف الصحراوي خلال العقدين الماضيين.

٣- **مؤشر الرطوبة السطحية (MSI)** :أُستخدم مؤشر الرطوبة السطحية (Moisture Stress Index – MSI) أو (NDMI) لتقييم حالة الإجهاد المائي للتربة والنبات ، ويستخرج من المعادلة الاتية[٦] :

$$MSI = \frac{SWIR_1}{NIR}$$

اذ ان:SWIR 1= الأشعة القصيرة اذ تتمثل ب Band 5 لاندسات ٧ ، و Band 6 لاندسات ٨NIR= (الأشعة تحت الحمراء القريبة) وتتمثل ب Band 4 لاندسات٧ ، و Band 5 لاندسات٨من ملاحظة جدول(١١)وخريطة(٩)،(١٠)،تُشير نتائج تطبيق مؤشر الرطوبة السطحية (MSI)إلى هيمنة حالة الإجهاد الرطوبي الشديد على المساحة الأكبر من منطقة الدراسة، اذ سجلت الفئة (أكبر من ٢) اتساعاً مستمراً من 721.7 كم² في عام ٢٠٠٠ لتصل إلى 731.3 كم² في عام ٢٠٢٤. هذا النمو المساحي يعكس تزايد جفاف الأنسجة النباتية وانخفاض المحتوى المائي للتربة، مما أدى إلى تحويلها إلى ترب هشة فاقدة لتماسكها، وهي النطاقات التي تُمثل اليوم بؤراً نشطة للزحف الصحراوي.في حين، شهدت المناطق ذات الرطوبة العالية (أقل من ٠.٥) انخفاضاً واضحاً من 39.8 كم² إلى 34.3 كم²، وهو تراجع يمس الاراضي الزراعية المحيطة بالنهر. كما سجلت فئة الرطوبة المتوسطة تراجعاً طفيفاً بنحو 3.3 كم²، مما يؤكد أن الإجهاد المائي بدأ يلتهم أراضي السهل الفيضي ذات الرطوبة الأرضية الجيدة. إن هذا الخلل في التوازن الرطوبي، والمتمثل في نمو فئة الإجهاد الشديد على حساب الفئات الرطبة، يثبت أن منطقة الدراسة تمر بمرحلة تجفف سطحي متسارع، مما يجعل الترب الرملية والملحية عرضة مباشرة للانجراف الريحي وتطور أشكال الزحف الرملي.

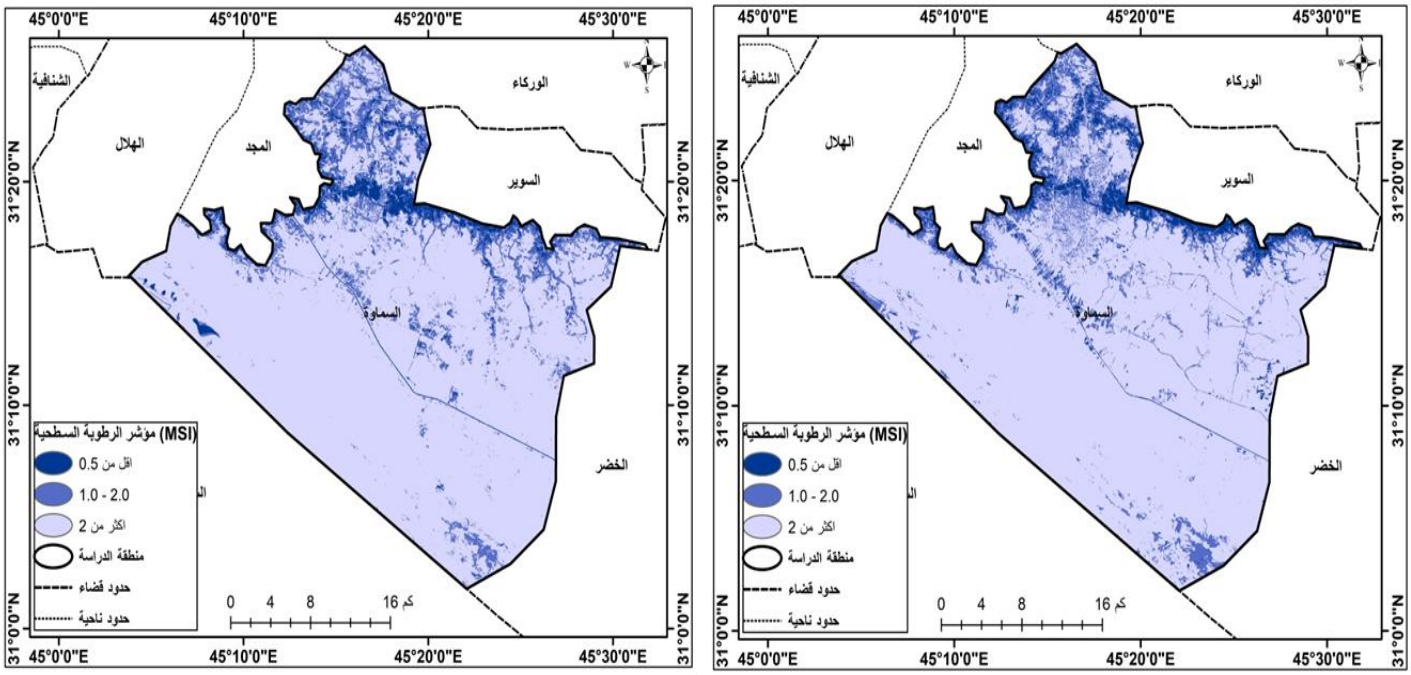
جدول(١١)مؤشر الرطوبة السطحية (MSI)

مؤشر الرطوبة السطحية (MSI)	المساحة/كم٢		مقدار التغير (كم²)	نسبة التغير (%)	الوصف البيئي	التوزيع المكاني
	٢٠٠٠	٢٠٢٤				
أقل من ٠.٥	39.8	34.3	-5.5	-13.8%	رطوبة عالية (نبات صحي)	مناطق البساتين والزراعة الكثيفة حول النهر.
2.0 – 1.0	116.3	113.0	-3.3	-2.8%	رطوبة متوسطة	مناطق السهل الفيضي ذات الرطوبة الأرضية الجيدة.
أكبر من ٢.٠	721.7	731.3	9.6	1.3%	إجهاد رطوبي شديد	الترب الهشة التي بدأت تفقد تماسكها (مناطق الزحف).
المجموع	878.6					

المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM ، بدقة (١٥*١٥)م لسنة ٢٠٠٠ و ٢٠٢٤ ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

خريطة(٩) التوزيع المكاني لمؤشر الرطوبة السطحية (MSI) لسنة٢٠٠٠

خريطة(١٠) التوزيع المكاني لمؤشر الرطوبة السطحية (MSI) لسنة ٢٠٢٤



المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM ، بدقة (١٥*١٥)م لسنة ٢٠٠٠ ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

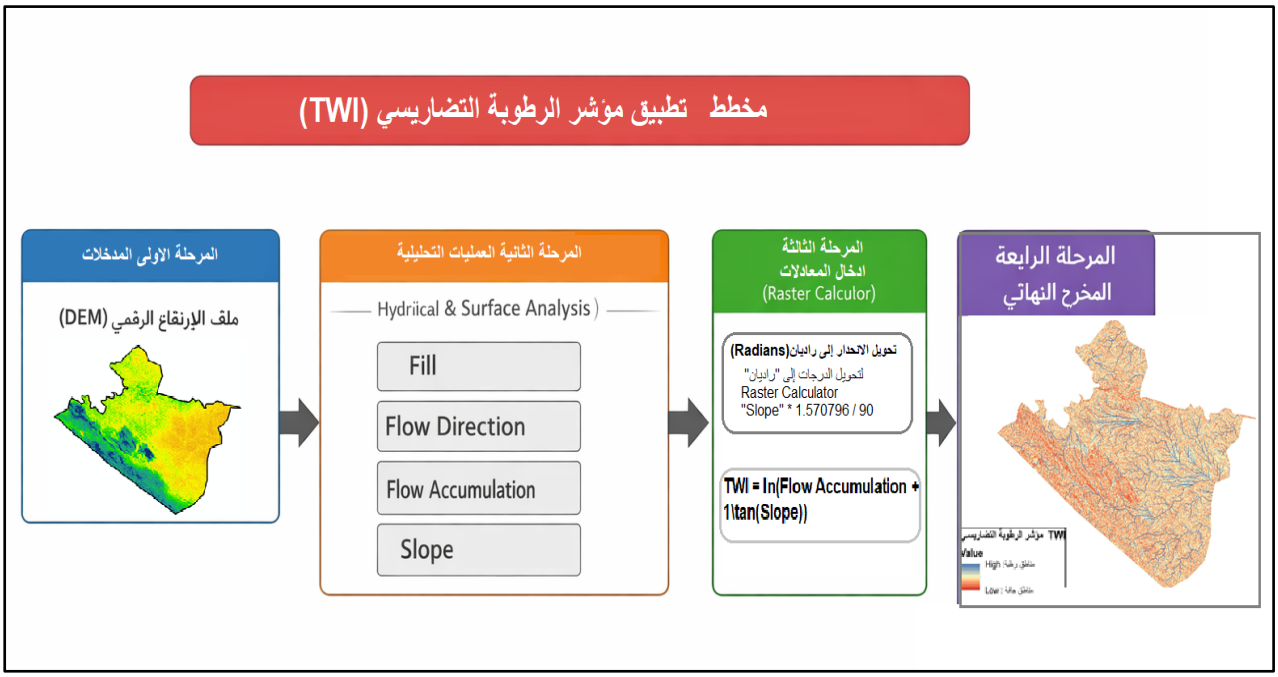
المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM ، بدقة (١٥*١٥)م لسنة ٢٠٢٤ ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

٤- مؤشر الرطوبة التضاريسي TWI:

يعد مؤشر الرطوبة التضاريسي (TWI) أحد أهم المؤشرات الهيدرولوجية الطوبوغرافية المستخدمة في تحليل بيئات المناطق الجافة وشبه الجافة. صُمم هذا المؤشر لغرض محاكاة السلوك المائي للسطح بناءً على الخصائص الهندسية للأرض، اذ يقوم بقياس مدى قدرة التضاريس على حجز المياه وتجميعها في خلايا محددة مقابل قدرتها على تصريفها. تكمن القيمة الفعلية لمؤشر TWI في قدرته على تحديد مناطق الهشاشة ومناطق الاستقرار. ففي منطقة الدراسة، تعمل الأراضي ذات القيم المرتفعة للمؤشر كبيئات مقاومة للتذرية الريحية نتيجة زيادة تماسك حبيبات تربتها بفعل التجمع المائي التضاريسي. أما المناطق ذات القيم المنخفضة، فهي تمثل البيئات التي تعاني من جفاف تضاريسي مزمن، مما يجعلها المادة الخام الأولى لظاهرة الزحف الرملي عند تعرضها للرياح السائدة.تم تطبيق هذا المؤشر بالاعتماد على النموذج المطور من قبل (Beven & Kirkby, 1979)[7]، والذي يربط بين المساحة المساهمة في تجميع المياه ، وظل الانحدار ، وذلك لتحديد النطاقات القادرة على الاحتفاظ بالرطوبة، ضمن بيئة برنامج ArcGIS 10.8 ، وذلك وفق الخطوات المنهجية الآتية ، يلاحظ شكل(٢):

- **الإعداد والمعالجة الأولية:** تبدأ العملية بمعالجة DEM باستخدام أداة (Fill) لإزالة الفجوات الرقمية ، مما يضمن استمرارية الجريان السطحي وتلافي الأخطاء الحسابية في النمذجة الهيدرولوجية.
- **اشتقاق المتغيرات الهيدرولوجية:** والتي تشمل ، استخراج اتجاه الجريان (Flow Direction) تحديد المسار الذي تسلكه المياه من كل خلية إلى جاراتها المنحدرة. واستخراج التراكم المائي (Flow Accumulation) حساب المساحة التراكمية التي تصب في كل خلية (Upstream contributing area)، وهو المتغير الذي يحدد أماكن التجمع المائي المحتملة.
- **التحليل السطحي (Surface Analysis)** : استخراج درجة الانحدار (Slope) ثم تحويل قيم الانحدار إلى نظام الراديان لضمان التوافق البرمجي مع الدوال المثلثية في أداة Raster Calculator، ولتحقيق الدقة الرياضية في حساب ظل الزاوية (tan) كما نصت عليه منهجية (Kirkby, 1979 & Beven)، اذ يمثل الراديان الوحدة القياسية في النمذجة الفيزيائية لحركة المياه فوق السطح، وذلك عبر المعادلة التالية[8] (Anton, 2012):(Slope * 1.570796 / 90)تم بعد ذلك تطبيق معادلة مؤشر الرطوبة التضاريسي(TWI) وفق المعادلة الاتية[9]:(TWI)= Ln(("Flow_Accumulation" + 1) / (Tan("Slope_in_Radians"))

شكل(٢) يوضح خطوات تطبيق مؤشر الرطوبة التضاريسي(TWI)



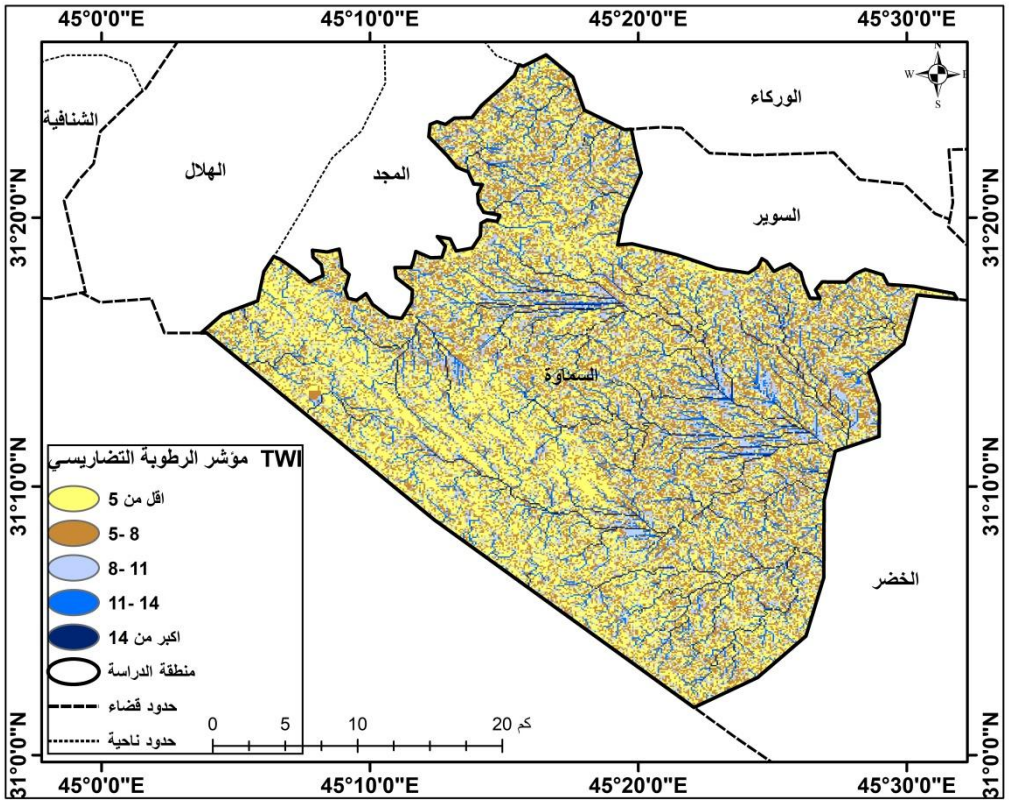
المصدر: ومخرجات برنامج Arc map 10.8.يتضح من جدول (١٢) وخريطة(١١) ، ان العامل الطوبوغرافي يعمل كمحفز لعمليات التدهور في معظم مساحة المنطقة، اذ تهيمن فئة الجفاف التضاريسي الحاد (أقل من ٥) على مساحة تصل إلى ٣٦٩.٢ كم². ويُعزى ذلك إلى طبيعة المرتفعات الصخرية والمناطق شديدة الانحدار التي تفتقر للقدرة على الاحتفاظ بالمياه، مما يجعل تربتها جافة وهشة ميكانيكياً. وتليها فئة الرطوبة المنخفضة (٥ – ٨) بمساحة ٢٦٣.٨ كم²، وهي تمثل الأراضي المستوية الجافة التي تُشكل بؤر الزحف الرملي الرئيسة، إذ أن غياب التجمع المائي التضاريسي في هذه النطاقات يمنع تماسك الحبيبات، مما يسهل على الرياح الشمالية الغربية تعريتها ونقلها.

جدول(١٢)مؤشر الرطوبة التضاريسي TWI

مؤشر الرطوبة التضاريسي TWI	المساحة/كم٢	الوصف البيئي	التوزيع المكاني
أقل من ٥	369.2	جفاف تضاريسي حاد	المرتفعات الصخرية والمناطق شديدة الانحدار البعيدة عن النهر.
٥ – ٨	263.8	رطوبة منخفضة	الأراضي المستوية الجافة التي تمثل بؤر الزحف الرملي
٨ – ١١	141.4	رطوبة متوسطة	مناطق السهل الفيضي البعيدة نسبياً عن المجرى المائي.
١١ – ١٤	74.2	رطوبة عالية	الأكتاف النهرية والمنخفضات الطبيعية التي تحجز الأمطار.
أكبر من ١٤	29.1	تشبع مائي (استقرار تام)	مجرى النهر والأهوار الصغيرة أو القنوات المائية النشطة.
	877.8		

المصدر: ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

خريطة(١١)التوزيع المكاني لمؤشر الرطوبة التضاريسي TWI



المصدر: ومخرجات برنامج Arc map 10.8.في حين، تضيق مساحات الاستقرار البيئي كلما ارتفعت قيم المؤشر، اذ تشغل فئة التشبع المائي والاستقرار التام (أكبر من ١٤) أصغر مساحة بواقع ٢٩.١ كم^2 ، والتي تتمثل في مجرى النهر والقنوات المائية النشطة. أما المناطق ذات الرطوبة العالية و المتوسطة (٨ – ١٤) فقد بلغت مساحتها الإجمالية ٢١٥.٦ كم^2، وهي النطاقات التي تعمل كحواجز رطوبة طبيعية تحد من نشاط الرمال بفضل قدرتها التضاريسية على حجز مياه الأمطار والرطوبة الجوفية. إن تركز أكثر من ٦٣٣ كم^2 من مجموع الفئتين الأولى والثانية، ضمن نطاق الجفاف التضاريسي يؤكد أن طبوغرافية المنطقة، في معظمها، مهيأة لاستقبال وتنشيط ظاهرة الزحف الصحراوي.يتضح مما سبق، أن هناك علاقة عكسية بين قيم TWI ونشاط الزحف، فكلما انخفضت القدرة التراكمية للمياه تضاريسياً ، زادت فرص تحول المنطقة إلى مصدر للمفتتات الرملية، مما يجعل التضاريس عاملاً مساعداً للرياح في تشكيل المظاهر الصحراوية بالمنطقة.

رابعاً– التقييم البيئي ومخاطر الزحف الصحراوي:

يعد التقييم البيئي أداة تحليلية متكاملة لتشخيص درجة هشاشة النظام البيئي وتحديد مستويات المخاطر المرتبطة بظاهرة الزحف الصحراوي، ولا سيما في البيئات الجافة وشبه الجافة التي تتسم بحساسية عالية تجاه التغيرات المناخية والجيومورفولوجية. وانطلاقًا من ذلك، جرى في هذه الدراسة دمج نتائج الخصائص الطبيعية مع مخرجات المؤشرات الطيفية ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، بهدف تحديد مناطق الخطورة البيئية وتباينها المكاني في منطقة الدراسة.اذ تم الاعتماد على أداة Combine ضمن أدوات التحليل المتقدمة في برنامج Arc Map لدمج المؤشرات الأربعة(MSI ، BSI, TWI، SAVI)، اذ تهدف هذه العملية إلى استخراج مناطق التطابق البيئي، وهي المناطق التي تتلاقى فيها خصائص محددة ، لاسيما جفاف التربة مع انعدام الغطاء النباتي، لتعطي دلالة قطعية على مستوى الخطورة ، اذ تم تقسم المنطقة على اربع مستويات للخطورة بحسب نتيجة التطابق للمؤشرات المذكورة ، يلاحظ جدول(١٣) وخريطة(١٢) وعلى النحو الاتي :

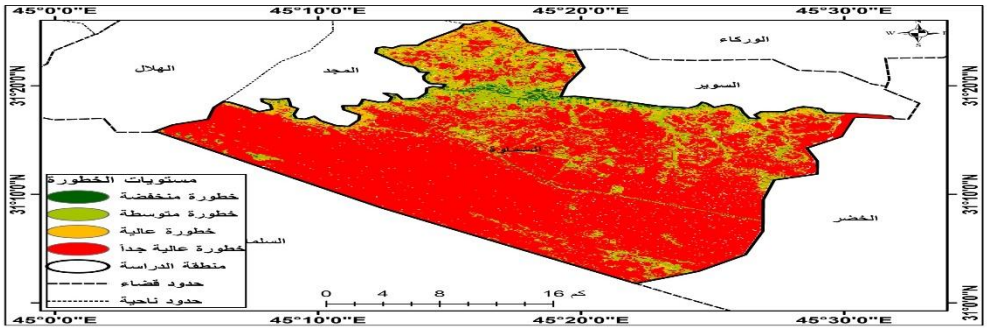
جدول(١٣) مستويات الخطورة لمؤشرات الطيفية ضمن منطقة الدراسة

مستوى الخطورة	مؤشر النبات (SAVI)	مؤشر التربة (BSI)	مؤشر التضاريس (TWI)	مؤشر الإجهاد (MSI)	المساحة/كم٢	الوصف البيئي
منخفضة	كثيف جداً	آمنة (مغطاة)	رطوبة عالية	رطوبة ممتازة	10.6	مناطق السهل الفيضي الرطبة وضفاف الأنهار المستقرة.
متوسطة	جيد (مقبول)	انكشاف بسيط	رطوبة متوسطة	إجهاد خفيف	129.4	أراضي زراعية مجهدة جزئياً أو نطاقات حماية نباتية.
عالية	متوسط (مجهد)	انكشاف جزئي	جفاف تضاريسي	إجهاد متوسط	77.6	مناطق هشة بيئياً بدأت تفقد تماسك تربتها وغطائها.
عالية جداً	فقير (متدهور)	تربة عارية	جفاف حاد	إجهاد شديد	660.2	بؤر الزحف النشط، الهضبة الغربية، والترب الرملية الهشة.

المصدر: ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

١- **فئة الخطورة المنخفضة** :تمثل هذه الفئة المساحة الأقل انتشاراً في منطقة الدراسة، اذ بلغت مساحتها حوالي 10.6 كم²، إلا أنها الأهم من الناحية البيئية. اذ تمتاز هذه الأراضي برطوبة تضاريسية عالية، مما يعني أنها مناطق منخفضة طبوغرافياً تعمل كمستجمعات للمياه والرطوبة الأرضية. هذا الاستقرار المائي سمح لمؤشر النبات (SAVI) بأن يسجل حالة كثيفة جداً، اذ تعمل الجذور على تماسك حبيبات التربة ومنعها من الانجراف. وتنتشر هذه الاراضي ضمن ضفاف الأنهار والسهل الفيضي المستقر، اذ تنعدم فيه قيم انكشاف التربة(BSI) ، مما يخلق حاجزاً طبيعياً يمتص طاقة الرياح المحملة بالرمال. إن بقاء هذه المساحة محدودة جداً يفسر الضغط الكبير الذي تتعرض له الموارد المائية في المنطقة، مما يجعلها جزراً خضراء وسط محيط من التدهور.

٢- **فئة الخطورة المتوسطة** :تغطي هذه الفئة مساحة تقدر بحو 129.4 كم²، وهي تمثل الأراضي التي تقع في المنطقة الانتقالية بين الاستقرار والتدهور ، اذ نجد أن هذه المناطق بدأت تعاني من إجهاد خفيف في أنسجة الغطاء النباتي، مما أدى إلى تحول النبات من كثيف إلى جيد أو متوسط ، إن هذه الفئة تعكس حالة من التوازن القلق، فالتربة هنا بدأت تظهر عليها علامات الانكشاف البسيط ، مما يعني أن الطبقة الواقية للسطح بدأت تتآكل. وتنتشر هذه الفئة ضمن الأراضي الزراعية التي تعاني من تذبذب الإمدادات المائية، وهي النطاقات التي تسبق بؤر الزحف. إن اتساع هذه المساحة مقارنة بالفئة الأولى يشير إلى أن عمليات التصحر بدأت تزحف فعلياً نحو المناطق المستقرة، مستغلةً ضعف المقاومة الحيوية في هذه الأراضي.خريطة(١٢) التوزيع المكاني لمستويات الخطورة في منطقة الدراسة



المصدر: ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

٣- **فئة الخطورة العالية** :تشغل هذه الفئة مساحة تقدر بنحو 77.6 كم²، وهي تمثل المرحلة التي يتفوق فيها الجفاف الفيزيائي على المحتوى الحيوي للأرض. يتضح ضمن هذه الفئة ان أن الجفاف التضاريسي أصبح هو المحرك الرئيسي، اذ يمنع شكل السطح والميول الطبوغرافية استقرار الرطوبة، مما يؤدي إلى جفاف التربة السريع. هذا الجفاف انعكس مباشرة على مؤشر التربة (BSI) الذي سجل انكشافاً جزئياً واسعاً، اذ تبدأ ذرات التربة في فقدان تماسكها وتصبح هشة، أما مؤشر النبات (SAVI) فأنها تتصف بالقيم المتوسطة ، وهي حالة تعبر عن نباتات تقاوم

الموت لكنها لا توفر أي حماية حقيقية للسطح. وتتمثل هذه الفئة بألسنة الزحف التي بدأت تتغلغل في النطاقات الرعوية والزراعية، وهي المناطق التي تشهد بداية تكون النبكات الرملية الصغيرة.

٤- **فئة الخطورة العالية جداً** :تمثل هذه الفئة الكتلة المساحية الأكبر ، اذ بلغت مساحتها حوالي 660.2 كم²، وهي تمثل التطابق المطلق لجميع عوامل التدهور للمؤشرات الطيفية ، اذ سجلت جفافاً تضاريسياً حاداً لمؤشر (TWI) متزامناً مع إجهاد رطوبي شديد لمؤشر (MSI) ، مما أدى إلى تحويل الأرض إلى تربة عارية تماماً ، فضلاً عن انعدام الغطاء النباتي (SAVI) والتي تكون ضمن القيم التي تتصف بانها نبات فقير جداً، مما يترك السطح مكشوفاً بالكامل أمام طاقة الرياح الشمالية الغربية السائدة في المنطقة. إن هذه الفئة تتركز في الهضبة الغربية والتكوينات الرملية، وتلعب هذه الفئة دور مهم في تصدير الرمال التي تغذي العواصف الغبارية وتدفع بالكثبان الرملية نحو المدينة. إن هيمنة هذه الفئة على 75% من المساحة الكلية تؤكد أن منطقة الدراسة تمر بمرحلة حرجة من الزحف الصحراوي، اذ فقدت الأرض قدرتها الذاتية على الاستشفاء البيئي.

الاستنتاجات:

١. أظهرت منطقة الدراسة تدهورًا بيئيًا واضحًا تمثل في تراجع الغطاء النباتي الجيد والكثيف واتساع رقعة الأراضي الجرداء.

٢. أسهم الارتفاع الحراري والتذبذب المطري وانخفاض رطوبة التربة في زيادة هشاشة السطح الأرضي.

٣. أدت الرياح الشمالية الغربية السائدة إلى توجيه مسارات الزحف الصحراوي نحو الجنوب الشرقي.

٤. شكلت الترب الرملية والملحية والأهوار الجافة مصادر رئيسة لتغذية الكثبان الرملية.

٥. أثبتت المؤشرات الطيفية كفاءتها العالية في رصد التدهور البيئي وتتبع تطور الزحف الصحراوي مكانيًا وزمانيًا.

التوصيات:

١. اعتماد المؤشرات الطيفية كأداة أساسية في برامج مراقبة التصحر والزحف الصحراوي.

٢. تعزيز الغطاء النباتي في المناطق الهشة للحد من التذرية الريحية.

٣. وضع خطط إدارة مستدامة للترب الملحية والرملية.

٤. إنشاء مصدات رياح طبيعية وصناعية في مسارات الزحف النشط.

٥. الاستفادة من نتائج الدراسة في التخطيط البيئي والزراعي لحماية الأراضي المتدهورة.

المصادر والهوامش

[١]- سلامة، حسن رمضان، (٢٠٠٤)، أصول الجيومورفولوجيا، دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة،ص١٣٠.

[٢]- جودة، جودة حسنين، (٢٠١٣)، الجيومورفولوجيا، دراسة الأشكال الأرضية، دار المعرفة الجامعية،ص٦٤.

[3] -Deikran, D. B., & Mahdi, A. I. (1993), *The geology of Al-Nasiriya Quadrangle, Sheet NH-38-3 (GM 33), Scale 1:250,000* (Report No. 2258), State Establishment of Geological Survey and Mining (GEOSURV), Department of Geological Survey.

[4] -Huete, A. R. (1988), A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment.

[5] - Rikimaru, A., et al. (2002), Tropical forest integrated monitoring system, *ITTO Tropical Forest Update*.

[6]-Rock, B. N., et al. (1986), Remote detection of forest damage, BioScience.

[7] -Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979), A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, Hydrological Sciences Bulletin, 24(1), 43-69.

[8]-Anton, H., Bivens, I. C., & Davis, S. (2012), Calculus, Early Transcendentals.

[9] -Beven, K. J., & Kirkby, M. J, (1979). A physically based,variable contributing area model of basin hydrology, Hydrological Sciences Bulletin, 24(1), 43-69.