النمذجة المكانية لتقييم القدرة الخصوبية لترب قضاء القاسم باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

زمن محمد علي

أ.م.د. رفل حسين نجم

المستخلص:

تُعد النمذجة المكانية للخصائص الخصوبية أحد المرتكزات الأساسية للإدارة المستدامة للموارد الأرضية وتحقيق كفاءة الإنتاج الزراعي. هدف البحث الحالي إلى تقييم القدرة الخصوبية لترب قضاء القاسم (محافظة بابل) عبر بناء نموذج مكاني رقمي يعتمد على مستويات المغذيات الكبرى (النيتروجين، الفسفور، البوتاسيوم NPK) ودرجة تفاعل التربة .(pH) اعتمدت الدراسة على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ومنهجية Radcliffe and) (Rochetteلحساب دليل تيسر المغذيات .(NAI) أظهرت نتائج النمذجة المكانية تبايناً حاداً في توزيع العناصر الغذائية إذ برز النيتروجين كعامل محدد حاد للخصوبة بمستويات منخفضة هيمنت على (68%) من مساحة القضاء، في حين سجل البوتاسيوم وفرة عالية بنسبة سيادة تجاوزت (91%). وكشفت مخرجات دليل (NAI) عن سيادة نطاق الخصوبة المنخفضة بنسبة (52.45%) من إجمالي المساحة، تلاه نطاق الخصوبة المتوسطة بنسبة (47.55%)، مع غياب تام للأصناف المرتفعة أو الزائدة. استنتج البحث أن ترب منطقة الدراسة تمتلك قاعدة معدنية رصينة لكنها تعاني من فقر نتروجيني حاد وتثبيت فوسفاتي جزئي، مما يؤكد ضرورة الانتقال من إدارة التسميد التقليدية إلى التسميد المكاني الموجه لرفع الكفاءة الإنتاجية للأراضي.

الكلمات المفتاحية:

النمذجة المكانية، القدرة الخصوبية، دليل تيسر المغذيات (NAI) ، نظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، قضاء القاسم.

Spatial Modeling for Soil Fertility Assessment in Al-Qasim District Using Geographic Information Systems (GIS)

Dr. Rafal Hussein Najm

hum.rafal.hus@uobabylon.edu.iq

Zaman Muhammad Ali

hum465.zamin.mohammed@student.uobabylon.edu.iq

Abstract

Spatial modeling of soil fertility characteristics is a fundamental pillar for sustainable land resource management and the enhancement of agricultural production efficiency. The current research aimed to evaluate the fertility capacity of soils in Al-Qasim District (Babil Governorate) by constructing a digital spatial model based on macronutrient levels (Nitrogen, Phosphorus, and Potassium - NPK) and soil reaction (pH). The study utilized Geographic Information Systems (GIS) techniques and the Radcliffe and Rochette methodology to calculate the Nutrient Availability Index (NAI).

Spatial modeling results revealed a sharp variation in nutrient distribution; Nitrogen emerged as an acute limiting factor for fertility, with low levels dominating 68% of the district's area. Conversely, Potassium recorded high abundance with a prevalence rate exceeding 91%. The NAI outputs indicated the dominance of the low-fertility zone, accounting for 52.45% of the total area, followed by the moderate-fertility zone at 47.55%, with a complete absence of high or excessive fertility categories. The research concluded that the study area's soils possess a solid mineral base but suffer from acute nitrogen deficiency and partial phosphate fixation. This underscores the necessity of transitioning from traditional fertilization management to site-specific (precision) fertilization to enhance land productivity efficiency.

Keywords

Spatial Modeling, Fertility Capacity, Nutrient Availability Index (NAI), Geographic Information Systems (GIS), Al-Qasim District.

المقدمة

تُعد التربة المورد الطبيعي الأكثر حيوية في استدامة الإنتاج الزراعي، حيث ترتبط قدرتها على إمداد المحاصيل بالعناصر الغذائية الأساسية ارتباطاً وثيقاً بنجاح خطط الأمن الغذائي. وفي ظل التحديات البيئية الراهنة، لم يعد التقييم التقليدي لخصوبة التربة كافياً لمواكبة متطلبات الزراعة الحديثة، مما استوجب البحث عن أدوات تقنية متطورة قادرة على تقديم رؤية مكانية دقيقة للواقع الخصوبي

وتبرز نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في مقدمة هذه التقنيات، لما توفره من إمكانات فائقة في النمذجة المكانية وتحليل التباينات الجغرافية للعناصر المغذية. إذ تتيح هذه الأدوات تحويل البيانات المختبرية الصماء إلى نماذج رقمية وخرائط استكمالية تكشف عن ديناميكية التوزيع المكاني للمغذيات، وهو ما يُعد تحولاً نوعياً في إدارة الموارد الأرضية

ويأتي قضاء القاسم، بوصفه جزءاً حيوياً من السهل الرسوبي العراقي، كمنطقة ذات ثقل زراعي يتطلب تقييماً علمياً دقيقاً لخصائصه التربية. فعلى الرغم من المزايا الطبيعية التي يتمتع بها، إلا أن هناك فجوة معرفية في فهم التوزيع المكاني الدقيق لخصوبته. ومن هذا المنطلق، يسعى البحث الحالي إلى سد هذه الفجوة عبر توظيف النمذجة المكانية لتقييم القدرة الخصوبية في القضاء، وصولاً إلى رسم خارطة طريق علمية لترشيد الاستثمار الزراعي فيه.

مشكلة البحث

يمكن صياغة مشكلة البحث الرئيسة من خلال التساؤلات الآتية:

- هل يوجد تباين مكاني في مستويات المغذيات الكبرى (النيتروجين، الفسفور، البوتاسيوم) في ترب منطقة الدراسة؟
- ما هو مستوى القدرة الخصوبية الفعالة لهذه الترب عند تقييمها كمياً ومكانياً وفقاً لدليل تيسر المغذيات(NAI) ؟

فرضية البحث

ينطلق البحث من فرضية علمية رئيسة مفادها أن: هناك تبايناً مكانياً واضحاً في القدرة الخصوبية لترب قضاء القاسم. وتتفرع من هذه الفرضية الأساسية الفرضيات الفرعية الآتية:

- تعاني ترب منطقة الدراسة من حالة عدم توازن غذائي إذ يشكل الفقر النتروجيني عاملاً محدداً رئيساً للإنتاج، في مقابل وفرة عالية ومخزون استراتيجي من البوتاسيوم يرتبط بطبيعة النسجة الناعمة ومعادن الطين السائدة في المنطقة
- تمتلك تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) قدرة وكفاءة عاليتين في بناء نماذج مكانية رقمية، يمكن الاعتماد عليها لتقييم وتصنيف القدرة الخصوبية للأراضي الزراعية بدقة وشمولية تتفوق على الطرائق التقليدية.

أهداف البحث

يسعى هذا البحث إلى تحقيق جملة من الأهداف العلمية والتطبيقية، تتبلور في النقاط الآتية:

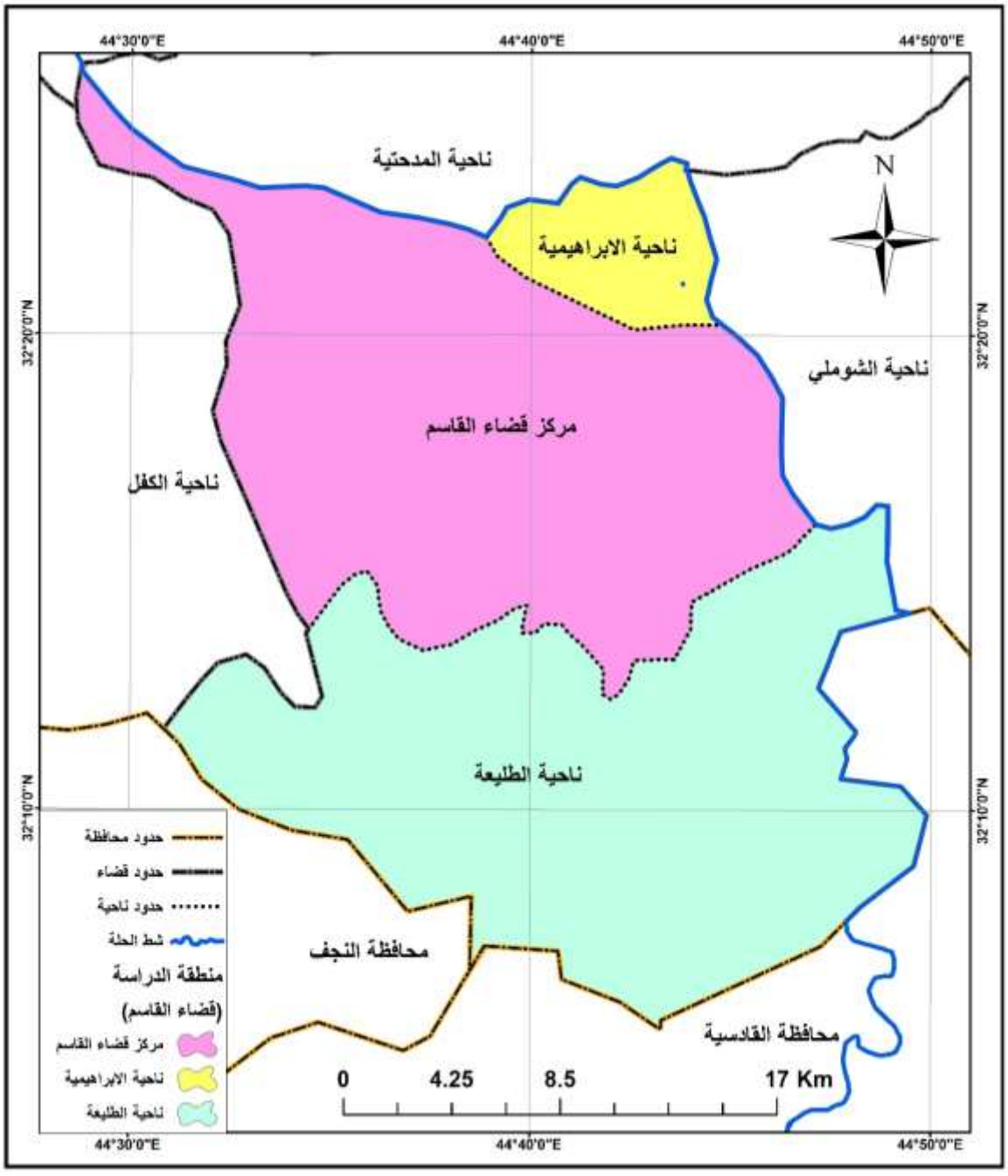
1- بناء نماذج مكانية رقمية متقدمة لتوزيع المغذيات الكبرى (NPK) باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، لبيان مناطق الوفرة المعدنية وبؤر الاستنزاف الخصوبي بدقة عالية.
2- التقييم الكمي والمكاني للقدرة الخصوبية الكلية لترب منطقة الدراسة، وتصنيفها إلى مستويات جغرافية واضحة بالاعتماد على تطبيق دليل تيسر المغذيات.(NAI)
3- تشخيص المحددات الرئيسة للإنتاج الزراعي في القضاء، وتقديم قاعدة بيانات مكانية رصينة تسهم في توجيه صناع القرار والمزارعين نحو ترشيد سياسات التسميد، وإدارة الموارد المائية، وتحقيق تنمية زراعية مستدامة مبنية على أسس علمية.

حدود البحث

تُعد خطوة التحديد الدقيق لأبعاد منطقة الدراسة، جغرافياً وموضوعياً، من الركائز الأساسية لنجاح عمليات النمذجة المكانية إذ إنها ترسم الإطار المرجعي الذي تُعالج ضمنه البيانات المكانية والوصفية. وتتحدد أبعاد هذه الدراسة ضمن النطاقات الآتية:

أولاً: الحدود المكانية (الفلكية والإدارية) من خلال الاستقراء الخرائطي والتحليل المكاني لشبكة الإحداثيات، تتحدد منطقة الدراسة (قضاء القاسم) فلكياً بوقوعها بين دائرتي عرض (32°00'00 و 32°26'00) شمالاً تقريباً، وخطي طول (44°25'00 و 44°55'00) شرقاً. أما من الناحية الإدارية، فيتجلى الموقع بحدود مكانية واضحة المعالم إذ تحاذي القضاء من الجهة الشمالية ناحية المدحتية، ويحده من الجهة الشرقية ناحية الشوملي. وفي حين يشترك القضاء في حدوده الجنوبية مع امتدادات إدارية تابعة لمحافظتي القادسية والنجف الأشرف، فإنه يلتصق من الجهة الغربية بالحدود الإدارية لناحية الكفل، ويُمكن تتبع هذا التموضع الجغرافي المهم بوضوح من خلال (خريطة 1)

خريطة (1): موقع منطقة الدراسة



المصدر: الباحثة بالاعتماد على المرئية الفضائية لاندسات لعام 2025 لمنطقة الدراسة

ثانياً: الحدود الموضوعية تنحصر هذه الدراسة موضوعياً في النمذجة المكانية للخصائص الكيميائية والفيزيائية وتقييم القدرة الخصوبية (دليل NAI) لترب قضاء القاسم باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية.(GIS)

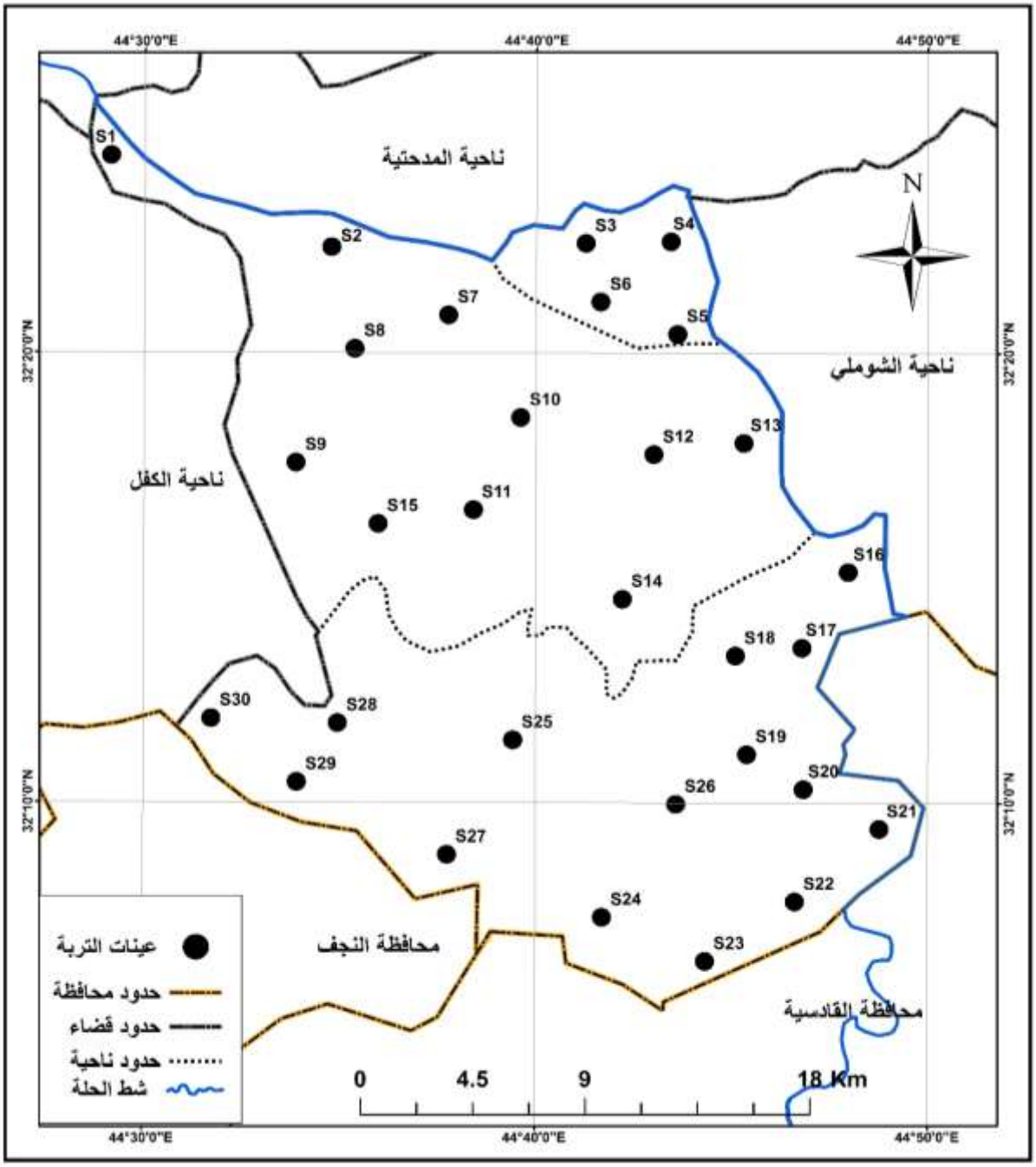
ثالثاً: الحدود الزمانية تتمثل بالمدة الزمنية التي جُمعت فيها البيانات الفضائية (المرئيات) والمناخية، إلى جانب المدة التي استغرقها العمل الميداني وجمع العينات الأرضية، والتي تركزت بشكل أساسي خلال المواسم الزراعية لعامي (2024 – 2025)

العمل الميداني وعينة الدراسة

لأجل تحقيق أهداف البحث وبناء نماذج استكمالية دقيقة تعكس الواقع الخصوبي لعموم القضاء، اعتُمدت منهجية العمل الميداني المكثف لجمع عينات التربة الممثلة لمختلف الوحدات الجيومورفولوجية والغطاءات الأرضية. وفي هذا السياق، تم سحب (30) عينة ترابية سطحية، وُزعت مكانياً بأسلوب علمي مدروس لضمان تغطية التباين الطبوغرافي والنسجي في المنطقة.

وتأسيساً على الخصائص الطبيعية، توزعت هذه العينات بواقع: (12) عينة ضُربت في قطاعات ترب كتوف الأنهار التي تمتاز بصرفها الجيد ونسجتها الخشنة نسبياً، و(13) عينة استُحصلت من ترب أحواض الأنهار التي تمثل الثقل الزراعي والنسجة الأنعم في القضاء، فضلاً عن (5) عينات سُحبت من الترب المتغدقة المتركزة في الأقسام الجنوبية ذات المناسيب المنخفضة. وبعد تحديد إحداثيات كل عينة بواسطة أجهزة تحديد المواقع العالمية(GPS) ، تم إسقاط هذه النقاط جغرافياً لتمثيلها خرائطياً كما هو موضح في (خريطة 2)، تمهيداً لإخضاعها للتحاليل المختبرية وبناء النماذج المكانية اللاحقة .

خريطة 2: مواقع عينات التربة في قضاء القاسم



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية Arc Map GIS

المبحث الأول: النمذجة المكانية للخصائص الخصوبية لترب منطقة الدراسة

يهدف هذا المبحث إلى تحليل الخريطة الخصوبية لترب قضاء القاسم، واستكشاف ديناميكية التوزيع المكاني للمغذيات الكبرى، لبيان مناطق الوفرة والاستنزاف، مما يوفر قاعدة بيانات علمية رصينة لترشيد إدارة الأسمدة وتحقيق التنمية الزراعية المكانية.

أولاً: التوزيع المكاني لمستويات النتروجين الجاهز (N) وتأثيراته الخصوبية

يتبوأ عنصر النتروجين (N) مكانة الصدارة بين العناصر الغذائية لكونه المحرك الأساس للنمو الخضري وبناء مادة الكلوروفيل في النبات. ومن خلال استقراء مخرجات النمذجة المكانية لتوزيع هذا العنصر في ترب قضاء القاسم، يُلاحظ اتجاه المحتوى العام نحو الانخفاض الملحوظ، وهو انعكاس طبيعي للظروف المناخية الجافة وسيادة بيئة الأكسدة التي تسرّع من تحلل المادة العضوية (وهي المصدر الرئيس للنتروجين في التربة). ويمكن تشخيص التباين المكاني لهذا العنصر في النقاط الآتية:

-**السيادة المكانية للمستويات المتوسطة-المنخفضة** :كشفت المعطيات الإحصائية عن هيمنة واضحة للفئة التي تتراوح قيمها بين (11.7 – 13.8 ملغم/كغم)، حيث غطت مساحات شاسعة بلغت (450.61) كم²، وهو ما يشكل نسبة حاكمة تصل إلى (68.02%) من إجمالي مساحة القضاء. ويعكس هذا الامتداد الواسع تجانساً نسبياً في مستوى الخصوبة النتروجينية التي تُصنف ضمن المستويات دون المتوسطة مقارنة بالمعايير العالمية للترب الخصبة. ويُعزى هذا الانخفاض إلى قابلية النتروجين العالية للغسل (Leaching) مع مياه الري، لا سيما في الترب المزيجية

-**نطاقات الانخفاض الملحوظ (بؤر الاستنزاف)** :ظهرت الفئة الدنيا (9.5 – 11.6 ملغم/كغم) في مساحات مؤثرة بلغت (139.22) كم² وبنسبة (21.02%). وتتركز هذه المستويات المتدنية بوضوح في الأجزاء الشمالية (ناحية المدحتية وأكتاف الأنهار). ويرتبط هذا التدني بعاملين متداخلين: الأول هو خشونة النسجة في مناطق الأكتاف (ارتفاع نسبة الرمل والغرين) مما يسهل فقدان النترات (NO_3^-) بالغسل، والثاني يتمثل في الإجهاد الزراعي الكثيف الذي أدى إلى استنزاف العنصر دون تعويضه ببرامج تسميد متوازنة

-**بؤر التركز النسبي (القيم الأعلى)** :انحسرت المستويات المرتفعة نسبياً (13.9 – 18.1 ملغم/كغم) في رقع جغرافية محدودة ومبعثرة لم تتجاوز مساحتها (72.6) كم² (حوالي 11%). وتتوطن هذه البؤر في

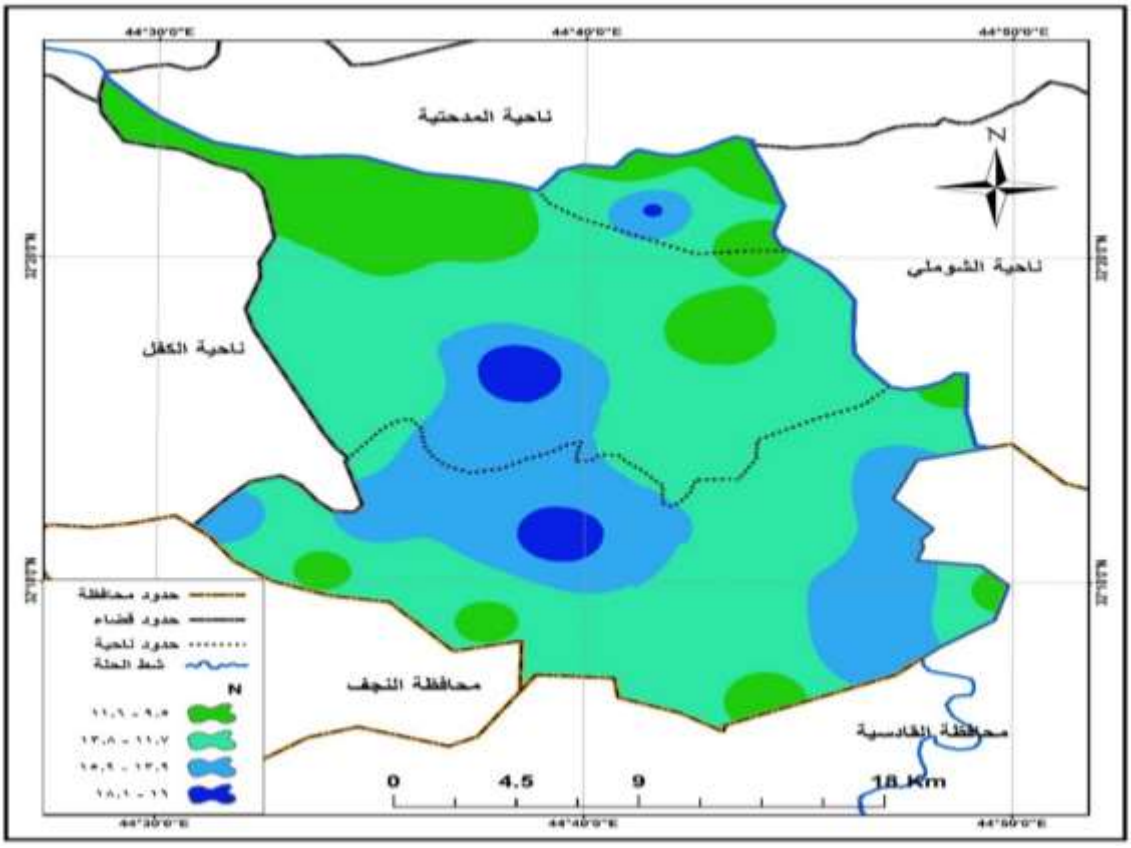
المناطق الوسطى ذات النسجة الأنعم والأكثر احتواءً على الطين، حيث يسهم الطين في دمص (Adsorption) صور النتروجين الأمونية، حامياً إياها من الفقدان بالغسل

جدول (1): التحليل المساحي لتباين مستويات النتروجين الجاهز (N) في ترب قضاء القاسم

فئات النتروجين (ملغم/كغم)	المساحة (كم²)	الأهمية النسبية (%)
11.6 – 9.5	139.22	21.02
13.8 – 11.7	450.61	68.02
15.9 – 13.9	66.25	10.00
18.1 – 16.0	6.35	0.96
المجموع الكلي	662.43	100.00

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مخرجات التحليل المكاني وبرمجيات نظم المعلومات الجغرافية.

خريطة (3): النمذجة المكانية لتوزيع النتروجين الجاهز (N) في قضاء القاسم



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على

1-نتائج التحاليل المختبرية الكيميائية

2-وباستخدام نظم المعلومات الجغرافية(GIS)

ثانياً: التباين المكاني للفسفور الجاهز (P) في ترب منطقة الدراسة

على النقيض من النتروجين، كشفت نتائج النمذجة المكانية للفسفور (P) عن واقع خصوبي متوازن يميل نحو الجودة، وهو مؤشر إيجابي لدعم نمو الجذور وتنشيط العمليات الحيوية للنبات، وتتضح معالم هذا التوزيع كما يلي:

-**السيادة المطلقة للمستويات المتوسطة-الجيدة** :تشير القراءات المكانية إلى أن أكثر من نصف أراضي القضاء تقع ضمن الفئة (12.6 – 15.4 ملغم/كغم)، شاغلةً مساحة واسعة بلغت (334.23) كم²، وبنسبة سيادة مقدارها (50.46%). وتُعد هذه القيم مستويات كافية (Adequate) لتلبية احتياجات معظم المحاصيل الحقلية كالقمح والشعير. ويعكس تركز هذا النطاق في الأجزاء الوسطى والشرقية تراكمات تاريخية لعمليات التسميد الفوسفاتي (مثل سماد الدابDAP)، والتي نجحت في بناء مخزون متبقٍ في التربة رغم مشاكل التثبيت الشائعة في الترب الجيرية

-**النطاقات المقبولة** :احتلت الفئة الثانية (9.61 – 12.5 ملغم/كغم) المرتبة الثانية من حيث الانتشار، بمساحة بلغت (219.40) كم² ونسبة (33.12%). وتتوزع هذه الأراضي في الأطراف الشمالية والجنوبية، ورغم تراجع قيمها نسبياً، إلا أنها تظل ضمن الحدود الحرجة التي تستجيب بشكل فعال لإضافات الأسمدة، ولا يمكن تصنيفها كأراضٍ فقيرة.

-**بؤر الوفرة العالية** :برزت الفئة العليا (15.5 – 18.3 ملغم/كغم) في مساحات مؤثرة بلغت (92.69) كم² وبنسبة (13.99%). وتتركز هذه البؤر الغنية غرب القضاء (ناحية الكفل) إضافة إلى بعض الجيوب الجنوبية الشرقية. وغالباً ما يرتبط هذا الارتفاع بأنماط الزراعة المكثفة للخضروات التي تتلقى جرعات سمادية مركزة، أو بتوافر ظروف موضعية تعزز من المادة العضوية التي تقلل من تثبيت الفسفور وتحوله إلى صور غير جاهزة

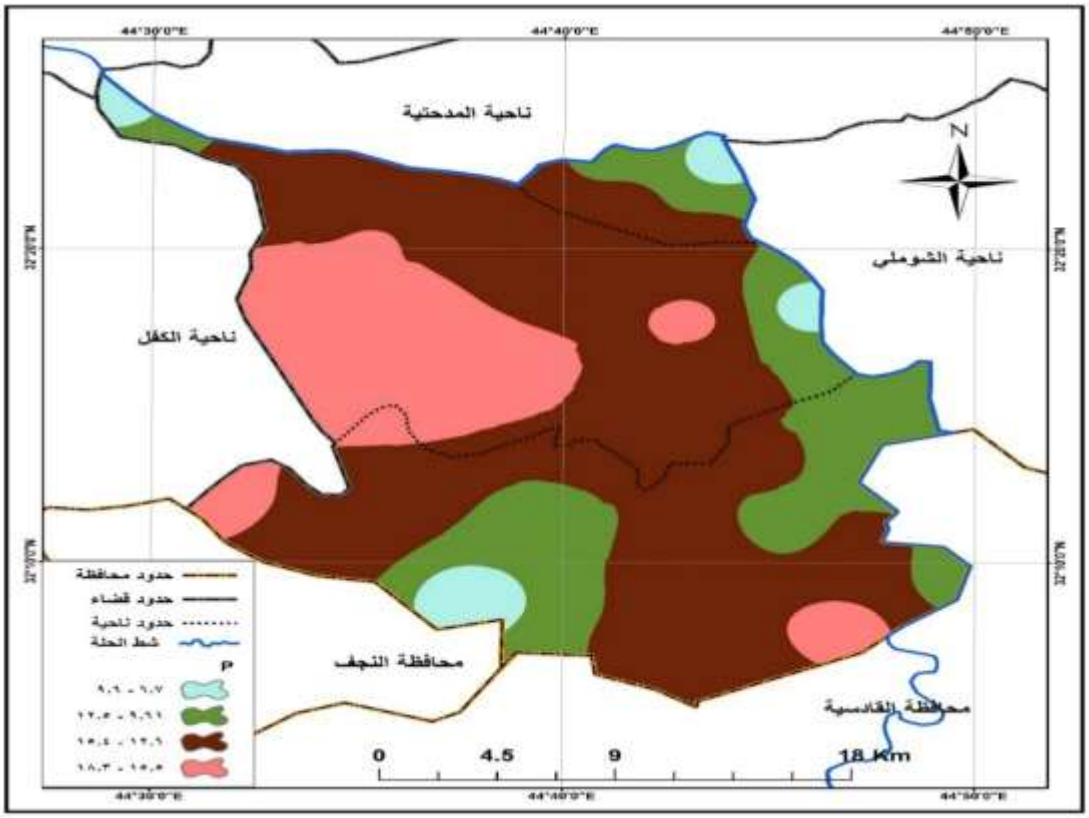
-**المناطق الفقيرة (هامشية التأثير)** تلاشت المساحات التي تعاني من نقص حاد في الفسفور (6.7 – 9.6 ملغم/كغم) لتقتصر على رقع ضئيلة جداً لم تتجاوز (16.11) كم²، وبنسبة هامشية بلغت (2.43%).

جدول (2): التوزيع المكاني لفئات الفسفور الجاهز (P) وأهميتها النسبية في منطقة الدراسة

فئات الفسفور (ملغم/كغم)	المساحة (كم²)	الأهمية النسبية (%)
6.7 – 9.6	16.11	2.43
9.61 – 12.5	219.40	33.12
12.6 – 15.4	334.23	50.46
15.5 – 18.3	92.69	13.99
المجموع الكلي	662.43	100.00

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مخرجات التحليل المكاني وبرمجيات نظم المعلومات الجغرافية.

خريطة (4): النمذجة المكانية لتركيز الفسفور الجاهز (P) في قضاء القاسم



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على

1–نتائج التحاليل المختبرية الكيميائية

2–باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)

ثالثاً: النمذجة المكانية للبوتاسيوم الجاهز (K) ودلالاته المعدنية

تتسم ترب منطقة الدراسة، شأنها شأن معظم ترب السهل الرسوبي العراقي، بغناها الواضح والمؤكد بعنصر البوتاسيوم الجاهز .(K) وقد أكدت النمذجة المكانية هذه الوفرة الخصوبية بشكل قاطع، وهو ما يعزز قدرة النباتات على مقاومة الإجهادات البيئية والملحية. ويتلخص هذا المشهد الخصوبي في الآتي:

-**السيادة المطلقة لمستويات الوفرة العالية** :أظهرت التحليلات المكانية أن الغالبية العظمى من أراضي القضاء تتمتع بمستويات بوتاسيوم تفوق الحاجة الآنية للمحاصيل. إذ هيمنت الفئتان الوسطيتان (157.7 – 172.0 ملغم/كغم) و (172.1 – 186.5 ملغم/كغم) بشكل كاسح، لتشغلا مجتمعتين مساحة (604.99) كم²، محققة نسبة سيادة مطلقة بلغت (91.33%) من إجمالي المساحة. ويغطي هذا الامتداد معظم الوحدات الإدارية في الوسط والجنوب، ويرتبط ارتباطاً جينياً وثيقاً بسيادة معادن الطين في المنطقة. فبما أن دقائق الطين تُعد المستودع الطبيعي للبوتاسيوم، فإن الترب ذات النسجة الناعمة تحتفظ بمخزون استراتيجي هائل من هذا العنصر، ليكون جاهزاً للامتصاص بمجرد توفر الرطوبة الملائمة

-**بؤر التركيز الأقصى** :سجلت الفئة العليا (186.6 – 200.9 ملغم/كغم) حضوراً في جيوب متناثرة شغلت مساحة (21.32) كم² وبنسبة (3.22%). وتتركز هذه البؤر في الأراضي الطينية الثقيلة جداً، أو في الحيازات التي لم تتعرض لاستنزاف زراعي مستمر، مما أتاح تراكم البوتاسيوم المتحرر من عمليات التجوية المعدنية بمرور الزمن

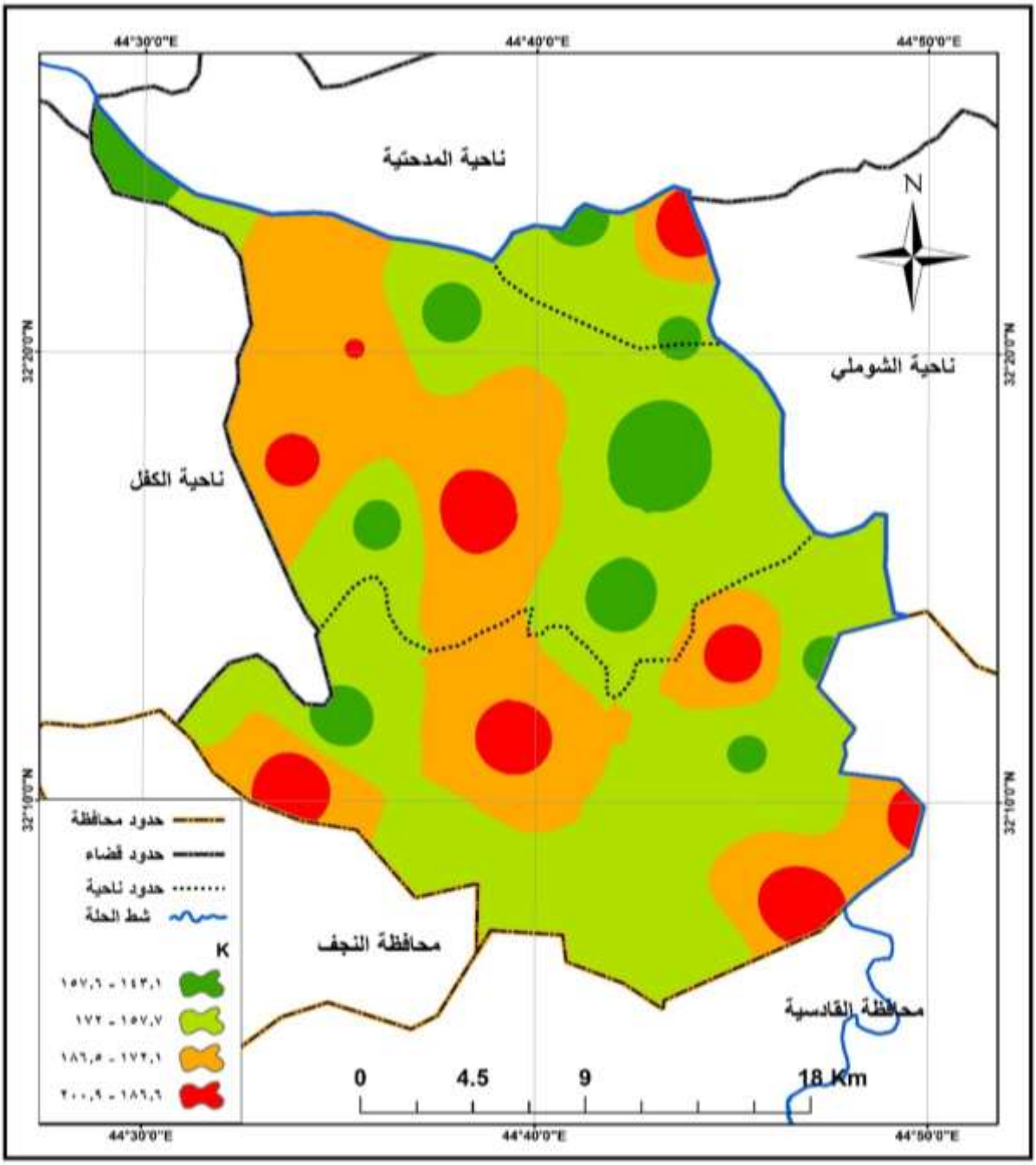
-**النطاقات الأقل وفرة** :انحصرت القيم الدنيا (143.1 – 157.6 ملغم/كغم) في الشريط الشمالي المحاذي لمجرى النهر وأكتاف الأنهار، بمساحة (36.12) كم² وبنسبة (5.45%). ورغم أن هذا الانخفاض يُعزى لخشونة النسجة وزيادة معدلات الغسل في مناطق الأكتاف، إلا أن هذه القيم بحد ذاتها تظل كافية ومثالية لمعظم المحاصيل الزراعية، ولا تندرج إطلاقاً ضمن خانة العجز أو النقص

جدول (3): المساحات والنسب المئوية لمستويات البوتاسيوم الجاهز (K) في ترب القضاء

فئات البوتاسيوم (ملغم/كغم)	المساحة (كم²)	الأهمية النسبية(%)
143.1 – 157.6	36.12	5.45
157.7 – 172.0	349.27	52.73
172.1 – 186.5	255.72	38.60
186.6 – 200.9	21.32	3.22
المجموع الكلي	662.43	100.00

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مخرجات التحليل المكاني وبرمجيات نظم المعلومات الجغرافية.

خريطة (5): النمذجة المكانية لتوزيع البوتاسيوم الجاهز (K) في قضاء القاسم



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على

1-نتائج التحاليل المختبرية الكيميائية

2-باستخدام نظم المعلومات الجغرافية(GIS)

رابعاً: النمذجة المكانية لدرجة تفاعل التربة (pH) ودلالاتها الكيميائية

يُعد تفاعل التربة (pH) بمنزلة الدليل الكيميائي الحيوي الأكثر تأثيراً في بيئة الجذور، إذ يعكس الحالة الأيونية لمحلول التربة(Soil Solution) ، ويتحكم بصورة مباشرة في ميكانيكية جاهزية العناصر الغذائية ونشاط الأحياء الدقيقة. ومن خلال استقراء مخرجات النمذجة المكانية لتوزيع قيم (pH) في قضاء القاسم، يتضح سيادة التفاعل القاعدي الخفيف، وهو ما يمثل استجابة حتمية للظروف المناخية الجافة والمحتوى المعدني الجيري السائد، ويمكن تفصيل التباين المكاني لهذه القيم وفقاً للآتي:

-**السيادة المطلقة للمدى القاعدي المتعادل** :كشفت نتائج النمذجة المكانية عن حالة من التجانس الكيميائي الملحوظ، حيث تهيمن الفئتان الوسطيتان (7.09 – 7.25) و(7.26 – 7.43) على المشهد الجغرافي لترب القضاء. وتشغل هاتان الفئتان معاً مساحة شاسعة بلغت (617.85) كم²، محققةً نسبة سيادة مطلقة مقدارها (93.27%) من إجمالي المساحة الكلية. ويظهر هذا النطاق مغطياً معظم الوحدات الإدارية، لاسيما في القطاعات الوسطى والشمالية. ويُعزى انحصار معظم قيم التربة ضمن هذا المدى الضيق إلى امتلاك هذه الترب سعة تنظيمية (Buffering Capacity) عالية، ناتجة عن وفرة كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$)التي تعمل كمنظم أيوني يمنع الانحرافات الحادة في قيم الـpH ، وهي سمة بنيوية أصيلة لترب السهل الرسوبي العراقي

-**النطاقات المائلة للقاعدية المتوسطة** :برزت الفئة العليا (7.44 – 7.60) في مساحات جغرافية محدودة ومبعثرة لم تتجاوز (28.08) كم² وبنسبة (4.24%). ويرتبط هذا الارتفاع الطفيف في القلوية داخل هذه البؤر بزيادة نسبية في تركيز أملاح الصوديوم(Na) ، أو نتيجة التأثيرات الهيدرولوجية للمياه الجوفية القريبة من السطح، والتي تسهم في تركيز الأملاح القاعدية عند سيادة عمليات التبخر

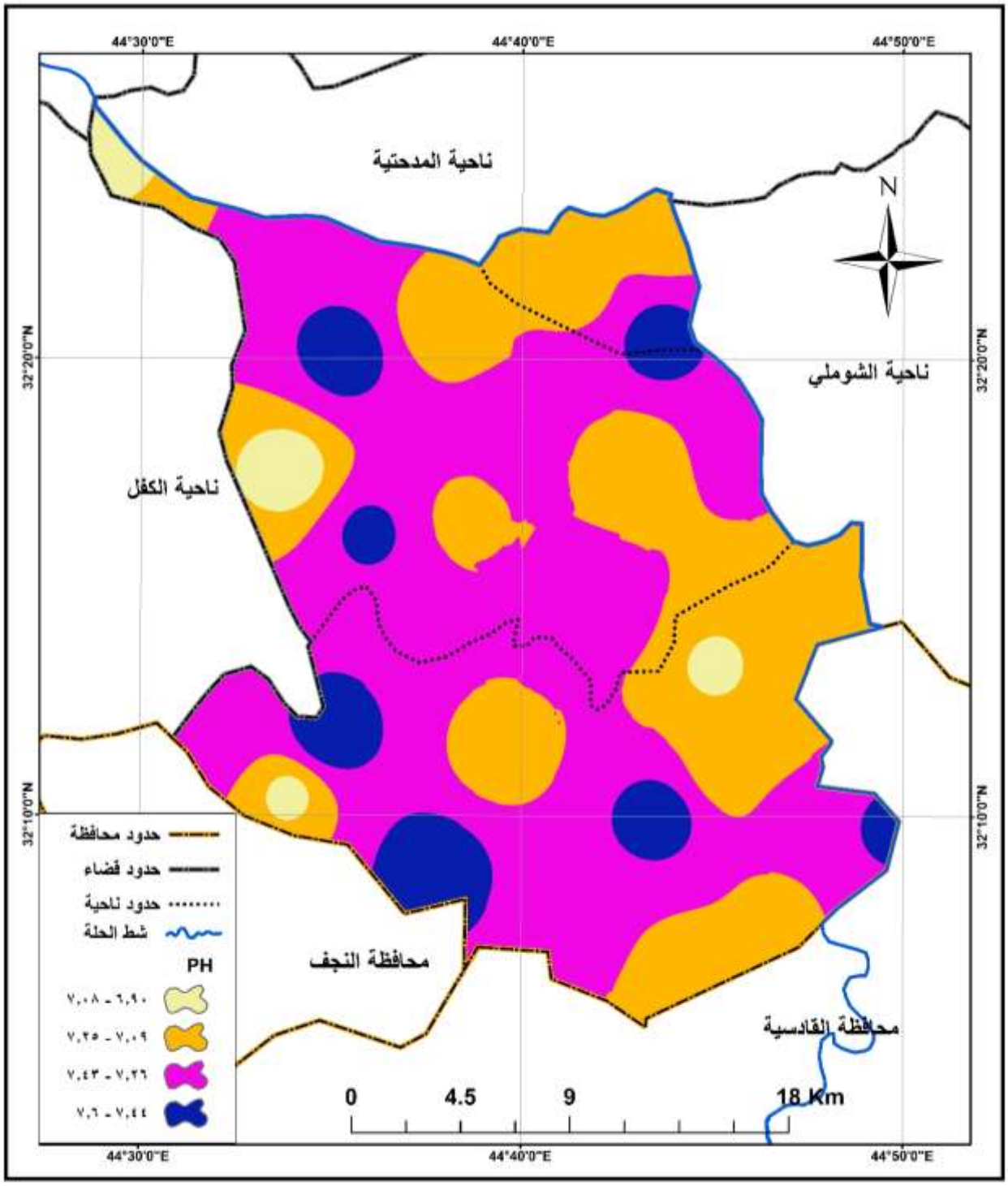
-**النطاقات المتعادلة (مناطق النشاط العضوي)** :انحسرت القيم الدنيا والمقتربة من التعادل (6.90 – 7.08) في نطاق مكاني ضيق جداً لم يتعدَّ (16.5 كم²) وبنسبة (2.49%). وغالباً ما يتزامن ظهور هذه القيم القريبة من التعادل (7.0) مع مناطق الزراعة الكثيفة والبساتين حيث يؤدي تراكم المادة العضوية ونشاط جذور الأشجار إلى إفراز أحماض عضوية وثاني أكسيد الكربون، مما يسهم في خفض قيم الـ pH موضعياً وتعديل تفاعل التربة نحو التعادل المثالي

جدول (4): التوزيع المساحي والنسب المئوية لفئات تفاعل التربة (pH) في منطقة الدراسة

فئات تفاعل التربة(pH)	المساحة (كم²)	الأهمية النسبية(%)
6.90 – 7.08	16.5	2.49
7.09 – 7.25	253.14	38.21
7.26 – 7.43	364.71	55.06
7.44 – 7.60	28.08	4.24
المجموع الكلي	662.43	100.00

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مخرجات النمذجة المكانية وبرمجيات.(GIS)

خريطة (6): النمذجة المكانية لدرجة تفاعل التربة (pH) في قضاء القاسم



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على

1-نتائج التحاليل المختبرية الكيميائية

2-باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)

المبحث الثاني: التقييم المكاني للقدرة الخصوبية لترب منطقة الدراسة باستخدام دليل تيسر المغذيات (NAI)

تمهيد :يُعد التقييم الكمي والمكاني للقدرة الخصوبية أحد المسارات المنهجية المتقدمة التي تهدف إلى تحويل القراءات الكيميائية المخبرية للتربة إلى مؤشرات رقمية ذات دلالات جغرافية وإنتاجية واضحة. إن الانتقال من دراسة العناصر الغذائية بشكل منفرد إلى اعتماد أدلة تركيبية متكاملة يتيح فهماً أعمق للتداخلات القائمة بين المغذيات الكبرى ودرجة تفاعل التربة، مما يوفر رؤية شاملة عن حالة التربة الراهنة ومناطق العجز أو الوفرة فيها. وفي هذا المبحث، سيتم التركيز على تشخيص الواقع الخصوبي لترب قضاء القاسم عبر توظيف دليل تيسر المغذيات (NAI) الذي يجمع بين الدقة الرياضية والنمذجة المكانية الرقمية، لبيان المستويات الفعلية لجاهزية العناصر وتوزيعها الجغرافي عبر امتداد منطقة الدراسة.

أولاً: منهجية التقييم الخصوبي (دليل NAI)

يُعد تصنيف (Radcliffe and Rochette, 1983) من المناهج الكمية الرائدة والموثوقة في تقييم القدرة الخصوبية للتربة، إذ يعتمد على أساليب رياضية دقيقة تتوافق في مسارها العام مع أنظمة التقييم العالمية للملاءمة المكانية والإنتاجية كأنظمة .(Sys et al.) ويرتكز هذا التصنيف، والذي يُعرف أكاديمياً بدليل تيسر المغذيات(Nutrient Availability Index) (NAI) ، على استنباط مستويات الجاهزية للمغذيات الكبرى (النيتروجين، الفسفور، البوتاسيوم) وتحليل علاقتها التبادلية مع درجة تفاعل التربة .(pH) وتتم المعالجة الإحصائية لاستخراج الدليل عبر تطبيق المعادلة الرياضية الآتيةNAI=N*P*K*pH :

حيث يتم تحويل القيم المقاسة بالمختبر للمغذيات الكبرى (نيتروجينN، فسفورP، بوتاسيومK) في صورتها الميسرة والرقم الهيدروجيني (pH) الى ارقام (مستويات) قياسية (نقاط تقييم) والتي تتراوح بين (0.2) للمستوى المنخفض و(1.0) للمستوى الزائد، كما هو موضح في الجدول (4). ومن خلال استخراج حاصل ضرب هذه النقاط، يتم تحديد الدليل النهائي ومطابقته مع المعايير التصنيفية لتحديد مستوى الخصوبة الفعلي للتربة، كما يبينه الجدول (5) (درياق، 2008، ص 50-51.(Chen, 2013, p. 214

جدول (5): مؤشرات التقييم الكمي لحالة المغذيات الكبرى في التربة

العنصر المغذي المتيسر (ppm)	مستوى منخفض (0.2)	مستوى متوسط (0.5)	مستوى مرتفع (0.8)	مستوى زائد (1.0)
النيتروجين(NO_3-N)	أقل من 10	10 – 20	20 - 30	أكثر من 30
الفسفور (طريقة أولسن(	أقل من 5	5 – 15	15 - 40	أكثر من 40
البوتاسيوم (خلات الأمونيوم(	أقل من 150	150 - 250	250 - 800	أكثر من 800
رقم الحموضة(pH)	أكثر من 9.0	8.0 - 9.0	7.30 - 8.0	6.70 - 7.30

المصدر:-

1-جمال سعيد درياق، تقييم الحالة الخصوبية لبعض ترب منطقة الجبل الأخضر، المختار للعلوم، العدد 18، جامعة عمر المختار، ليبيا، 2008، ص51.

2- Chen, D .Li. the study of soil fertility spatial varial variation feature based on GIS and data mining, part II, college of information and technology, jilin agricultural university, china, ,2013، pp.214

3- Zhong, L. et al, assessment on soil fertility of dongting lake wetland area (china) based on GIS and fuzzy evaluation, j. cent. South univ. teehnol. 2011, pp.1468.

جدول (6): المعايير التصنيفية لمستويات دليل تيسر المغذيات(NAI)

دليل تيسر المغذيات(NAI)	التوصيف الخصوبي (مستوى التقييم)
أقل من 0.1	قدرة منخفضة (تتطلب تدخلاً بإضافة المغذيات)
0.1 - 0.4	قدرة متوسطة (تتطلب تدخلاً بإضافة المغذيات)
0.4 - 0.6	قدرة مرتفعة
أكثر من 0.6	قدرة زائدة

المصدر:-جمال سعيد درياق، تقييم الحالة الخصوبية لبعض ترب منطقة الجبل الأخضر، المختار للعلوم، العدد 18، جامعة عمر المختار، ليبيا، 2008، ص51.

ثانياً: التحليل المكاني لمستويات الخصوبة الكلية في قضاء القاسم

استناداً إلى معطيات النمذجة المكانية والمطابقة المساحية للجدول (7)، يمكن فرز أراضي منطقة الدراسة إلى مستويين خصوبيين رئيسين، وهما:

-**نطاق الخصوبة المنخفضة** :يمثل هذا النطاق الأراضي التي سجلت قيماً متدنية للدليل تراوحت بين (0.04 – 0.10). ويُعد هذا النطاق هو المهيمن على المشهد الخصوبي للقضاء، إذ امتد ليغطي مساحة شاسعة بلغت (347.44) كم²، وهو ما يشكل نسبة (52.45%) من إجمالي منطقة الدراسة، متركزاً بوضوح في الأقسام الشمالية والوسطى وبعض الأطراف الجنوبية. ويرجع هذا التراجع الحاد في قيم الدليل (لأكثر من نصف القضاء) إلى التطبيق الرياضي لقانون الحد الأدنى (Liebig's Law of the Minimum) فعلى الرغم من الوفرة العالية للبوتاسيوم وتسجيله نقاط تقييم تتراوح بين (0.5 – 0.8)، والمستويات المقبولة للفسفور، إلا أن الفقر النتروجيني (قيم أقل من 10ppm) عمل كـ عامل محدد (Limiting Factor)حاد. وبما أن هيكلية معادلة (NAI) تعتمد على الضرب التراكمي، فإن النقطة المتدنية للنيتروجين (0.2) أدت بالضرورة إلى هبوط الدليل النهائي إلى المستوى المنخفض، بغض النظر عن جودة العناصر الأخرى.

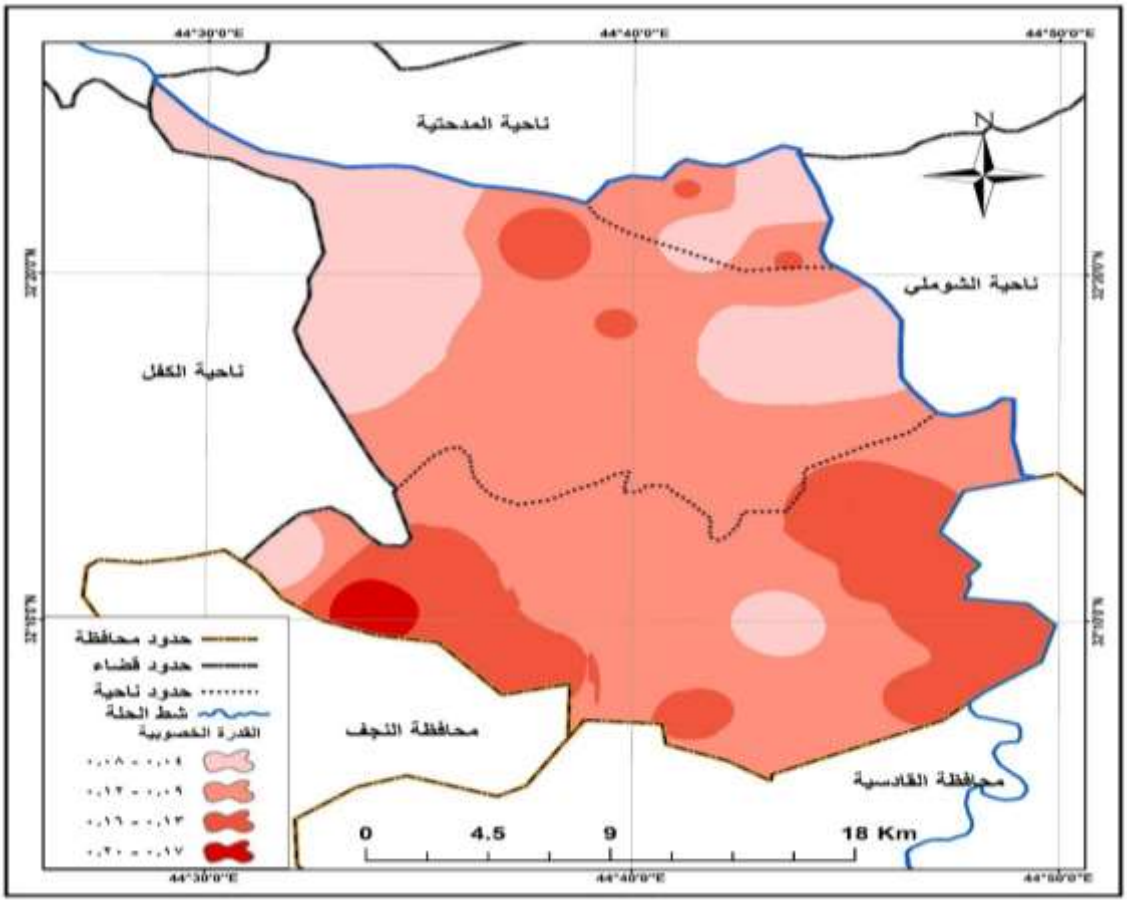
-**نطاق الخصوبة المتوسطة** :يشمل هذا النطاق الأراضي التي تراوحت قيم الدليل فيها بين (0.11 – 0.20)، والذي يمكن تفريعه مكانياً إلى مستويين الأول يمثل الخصوبة المتوسطة–الدنيا بقيم (0.11 – 0.12)، وشغل مساحة (231.23) كم² بنسبة (34.91%)، ممثلاً الأراضي التي تحسنت فيها مستويات النيتروجين قليلاً لتعبر حاجز (10ppm) .أما المستوى الثاني فيمثل الخصوبة المتوسطة–العليا بقيم (0.13 – 0.20)، ويُعد أفضل البؤر الخصوبية في القضاء، حيث شغل مساحة (83.76) كم² بنسبة (12.65%) متركزاً في جيوب متفرقة جنوباً وشرقاً. ويعود سر هذا الارتفاع النسبي إلى تزامن التحسن في محتوى المادة العضوية مع وفرة الفسفور، مما رفع حاصل الضرب الرياضي ليدفع هذه الأراضي نحو صنف الخصوبة المتوسطة.(Zhong et al., 2011, p. 1468)

جدول (7): التوزيع المساحي لمستويات القدرة الخصوبية (NAI) في منطقة الدراسة

فئات الدليل(NAI)	المساحة (كم²)	الأهمية النسبية(%)
0.04 – 0.10	347.44	52.45
0.11 – 0.12	231.23	34.91
0.13 – 0.16	80.26	12.12
0.17 – 0.20	3.50	0.53
المجموع الكلي	662.43	100.00

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على مخرجات النمذجة المكانية وبرمجيات.(GIS)

خريطة (7): التوزيع المكاني لمستويات القدرة الخصوبية الشاملة للتربة (NAI) في قضاء القاسم.



المصدر : من عمل الباحثة بالاعتماد على

1–نتائج التحاليل المختبرية الكيميائية

2–تطبيق معادلة (NAI)

ثالثاً: التقييم الخصوبي التفصيلي بحسب وحدات التربة الجيومورفولوجية

لأجل تشخيص المسببات الدقيقة لتباين الخصوبة، تم تقسيم القراءات حسب الوحدات الطبوغرافية والجيومورفولوجية، وكالآتي:

.1تقييم القدرة الخصوبية لترب كتوف الأنهار:

تُمثل هذه الوحدة النطاقات الأرضية المحاذية لمجاري الأنهار، وتتسم جيومورفولوجياً بنسجة خشنة نسبياً وصرف مائي نشط، مما ينعكس مباشرة على ديناميكية العناصر المغذية. وبيّن الجدول (8) أن (66.7%) من عينات هذه الوحدة ضمن مستوى الخصوبة المتوسطة، في حين وقعت (33.3%) ضمن المستوى المنخفض. وقد سجلت العينة (S7) أعلى مؤشر خصوبي في هذه الوحدة بقيمة (0.160)، ويعزى ذلك إلى الوفرة الفوسفاتية العالية (ppm17.7) التي رافقتها مستويات جيدة من النيتروجين والبوتاسيوم، مما خلق توازناً غذائياً رفع من قيمة الدليل. في المقابل، تهاوت قيم العينات(S2, S4, S13) لتسجل أدنى مستوى (0.040)، والسبب الرئيس والوحيد في هذا الانهيار الرياضي والخصوبي هو استنزاف النيتروجين (أقل من ppm10) الذي حدّ من فاعلية البوتاسيوم المتوفر بكثرة في تلك المواقع.

جدول (8): معطيات دليل (NAI) وتقييم الخصوبة لعينات ترب كتوف الأنهار

رقم العينة	N (ppm)	نقاط N	P (ppm)	نقاط P	K (ppm)	نقاط K	pH	نقاط pH	الدليل (NAI)	التقييم الخصوبي
S1	13.6	0.5	9.9	0.5	148.2	0.2	7.28	1.0	0.050	منخفضة
S2	9.9	0.2	10.3	0.5	157.3	0.5	7.44	0.8	0.040	منخفضة
S3	11.7	0.5	9.8	0.5	164.7	0.5	7.20	1.0	0.125	متوسطة
S4	9.7	0.2	9.3	0.5	156.8	0.5	7.46	0.8	0.040	منخفضة
S5	14.9	0.5	9.6	0.5	167.6	0.5	7.28	1.0	0.125	متوسطة
S7	14.7	0.5	17.7	0.8	186.9	0.5	7.34	0.8	0.160	متوسطة
S13	9.5	0.2	12.8	0.5	170.3	0.5	7.39	0.8	0.040	منخفضة
S16	10.7	0.5	11.5	0.5	184.4	0.5	7.48	0.8	0.100	متوسطة
S17	11.3	0.5	11.0	0.5	162.9	0.5	7.20	1.0	0.125	متوسطة
S20	11.5	0.5	13.5	0.5	179.1	0.5	7.19	1.0	0.125	متوسطة
S21	13.2	0.5	13.9	0.5	157.5	0.5	7.22	1.0	0.125	متوسطة
S22	10.1	0.5	10.3	0.5	157.0	0.5	7.21	1.0	0.125	متوسطة

المصدر:- الباحثة بالاعتماد على نتائج التحاليل المختبرية الكيميائية ونتائج معادلة (NAI)

2.تقييم القدرة الخصوبية لترب أحواض الأنهار:

تشكل ترب الأحواض الامتداد الجغرافي الأوسع للسهل الفيضي في المنطقة. وبتحليل الجدول (9)، يتبين أن سلوكها الخصوبي يقترب كثيراً من سلوك الأكتاف حيث بلغت نسبة العينات ذات الخصوبة المتوسطة (61.5%)، والمنخفضة (38.5%). وقد تميزت العينة (S18) ضمن أراضي ناحية الطليعة بتسجيلها قيمة عليا بلغت (0.160)، مستفيدة من قفزة في المحتوى الفوسفاتي (ppm15.8) الذي منحها النقطة التقييمية (0.8). أما العينات (S12, S26) فقد تراجعت قيمتها إلى (0.040) متأثرة بالفقر النتروجيني الحاد. ومما يسترعي الانتباه هنا، أن تموضع هذه الترب في مواقع (الأحواض) لم يشفع لها في بناء محتوى نتروجيني جيد، مما يؤكد أن النيتروجين يظل عنصراً بالغ الحركية وسريع الفقد أينما وُجد ما لم يُعزز ببرامج تسميد مستدامة.

جدول (9): معطيات دليل (NAI) وتقييم الخصوبة لعينات ترب أحواض الأنهار

رقم العينة	N (ppm)	نقاط N	P (ppm)	نقاط P	K (ppm)	نقاط K	pH	نقاط pH	الدليل (NAI)	التقييم الخصوبي
S6	9.9	0.2	12.9	0.5	170.8	0.5	7.19	1.0	0.050	منخفضة
S8	9.6	0.2	10.6	0.5	164.3	0.5	7.14	1.0	0.050	منخفضة
S9	9.8	0.2	14.8	0.5	157.9	0.5	7.20	1.0	0.050	منخفضة
S10	14.4	0.5	9.4	0.5	154.6	0.5	7.25	1.0	0.125	متوسطة
S11	10.4	0.5	10.9	0.5	175.5	0.5	7.42	0.8	0.100	متوسطة
S12	9.8	0.2	12.3	0.5	169.8	0.5	7.39	0.8	0.040	منخفضة
S14	14.5	0.5	9.5	0.5	156.4	0.5	7.35	0.8	0.100	متوسطة
S15	15.2	0.5	10.1	0.5	171.6	0.5	7.46	0.8	0.100	متوسطة
S18	15.8	0.5	15.8	0.8	162.0	0.5	7.44	0.8	0.160	متوسطة
S19	13.0	0.5	10.6	0.5	159.6	0.5	7.11	1.0	0.125	متوسطة
S23	10.8	0.5	9.7	0.5	185.1	0.5	7.38	0.8	0.100	متوسطة
S25	12.1	0.5	14.3	0.5	181.2	0.5	7.43	0.8	0.100	متوسطة
S26	9.9	0.2	9.1	0.5	176.5	0.5	7.32	0.8	0.040	منخفضة

المصدر:- الباحثة بالاعتماد على نتائج التحاليل المختبرية الكيميائية ونتائج معادلة (NAI)

3.تقييم القدرة الخصوبية للترب المتغدقة:

تنحصر هذه الوحدة في الأقسام الجنوبية (ناحية الطليعة)، وتنفرد بكونها بيئة مثالية لاختزان المواد العضوية نتيجة سيادة الظروف اللاهوائية التي تبطئ من عمليات التحلل. وكما يوضح الجدول (10)، تعد هذه الوحدة الأغنى خصوبياً على مستوى القضاء إذ صُنفت (80%) من عيناتها ضمن المستوى المتوسط. وقد حصدت العينة (S29) أعلى قيمة خصوبية إطلاقاً في مجمل منطقة الدراسة بقيمة (0.200)، إذ شكلت هذه البقعة (وهي من مخلفات بيئة الأهوار القديمة) مستودعاً جيّدًا للمادة العضوية، مما حافظ على النيتروجين (12.4 ppm) والفسفور (16.9 ppm) في مستويات متقدمة، متزامناً ذلك مع انخفاض مثالي في الـ pH (7.15) أسهم في زيادة انحلال وجاهزية العناصر. ومع ذلك، تبقى هذه الخصوبة الكامنة أسيرة ومقيدة بمشاكل سوء الصرف والتغدق التي تتطلب تدخلاً هندسياً لاستصلاحها.

جدول (10): معطيات دليل (NAI) وتقييم الخصوبة لعينات الترب المتغدقة

رقم العينة	N (ppm)	نقاط N	P (ppm)	نقاط P	K (ppm)	نقاط K	pH	نقاط pH	الدليل (NAI)	التقييم الخصوبي
S24	13.3	0.5	10.4	0.5	185.9	0.5	7.23	1.0	0.125	متوسطة
S27	14.2	0.5	10.3	0.5	159.5	0.5	7.13	1.0	0.125	متوسطة
S28	15.1	0.5	12.4	0.5	164.7	0.5	7.24	1.0	0.125	متوسطة
S29	12.4	0.5	16.9	0.8	170.1	0.5	7.15	1.0	0.200	متوسطة
S30	9.8	0.2	9.1	0.5	157.1	0.5	7.40	0.8	0.040	منخفضة

المصدر:- الباحثة بالاعتماد على نتائج التحاليل المختبرية ونتائج معادلة (NAI)

تأسيساً على مخرجات تحليل خريطة القدرة الخصوبية وجداول التقييم، يُستنتج خلو منطقة الدراسة بصورة تامة من الأراضي ذات الخصوبة (المرتفعة) أو (الزائدة)، إذ لم يتمكن الدليل في أي بقعة من تجاوز عتبة (0.4). ويعود هذا الافتقار إلى طبيعة الترب في البيئات الجافة والفقيرة هيكلياً بالمادة العضوية. ورغم امتلاك هذه الترب لقاعدة معدنية صلبة ورصينة (تتجلى في غنى البوتاسيوم وقيم الـ pH المعتدلة نسبياً)، إلا أنها ترزح تحت وطأة الفقر النتروجيني الحاد والتثبيت الفوسفاتي الجزئي. وعليه، فإن أي مسعى للارتقاء بالكفاءة الإنتاجية لهذه الأراضي مرهونٌ حصرياً بتبني برامج صارمة للتسميد النتروجيني والفوسفاتي المستدام والمحسوب مكانياً، مع انتفاء الحاجة العاجلة للاستثمار في الأسمدة البوتاسية في الوقت الراهن.

الاستنتاجات

1. **التباين الخصوبي الحاد (قانون الحد الأدنى)** :أثبتت النمذجة المكانية وجود حالة من عدم التوازن الغذائي في ترب منطقة الدراسة ففي حين يهيمن البوتاسيوم بوفرة عالية جداً على (91%) من المساحة، شكل الفقر النتروجيني (الذي هيمن على 68% من القضاء) عاملاً محدداً وقاسياً (Limiting Factor)أدى إلى هبوط القدرة الخصوبية الكلية.
2. **انخفاض دليل تيسر المغذيات :(NAI)** أظهر التقييم المكاني خلو قضاء القاسم تماماً من أصناف الخصوبة (المرتفعة) و(الزائدة). إذ تقبع أكثر من نصف أراضي القضاء (52.45%) ضمن مستوى الخصوبة المنخفضة، في حين تُصنف المساحة المتبقية ضمن الخصوبة المتوسطة، مما يعكس افتقار التربة للمادة العضوية واعتمادها الكلي على المضافات الخارجية.
3. **التأثير الجيومورفولوجي على الجاهزية الغذائية** :كشف التحليل المكاني للوحدات الأرضية عن مفارقة بيئية إذ سجلت الترب المتغدقة (في ناحية الطليعة) أعلى مؤشر خصوبي كامن لاحتفاظها بالفسفور والنيتروجين والمادة العضوية، في حين عانت ترب كتوف الأنهار (رغم جودة صرفها) من استنزاف حاد في النيتروجين بسبب سرعة الغسل وخشونة النسجة.
4. **استقرار المخزون الفوسفاتي** :بينت النمذجة أن أكثر من نصف أراضي القضاء تتمتع بمستويات (متوسطة إلى جيدة) من الفسفور الجاهز، مما يؤشر إلى وجود أثر متبقٍ (Residual Effect) لعمليات التسميد الفوسفاتي التاريخية المتراكمة في تلك الترب رغم طبيعتها الجيرية.
5. **السعة التنظيمية والاستقرار الكيميائي** :أظهرت النمذجة المكانية لدرجة تفاعل التربة (pH) سيادة المدى القاعدي الخفيف والمتعادل (7.1 – 7.4) في أكثر من (93%) من مساحة القضاء. ويعكس هذا التجانس الكيميائي امتلاك التربة لسعة تنظيمية (Buffering Capacity) عالية تقيها من التذبذبات الحادة، إلا أن هذه القاعدية هي ذاتها التي تساهم في التثبيت الجزئي للفسفور وتقليل جاهزيته.

التوصيات

1. **إقرار سياسة التسميد المكاني الموجه** :توصي الدراسة بضرورة انتقال المزارعين والجهات الإرشادية من التسميد العشوائي إلى التسميد المبني على الخرائط الرقمية. ويجب تركيز الجهود وتكثيف جرعات الأسمدة النتروجينية (اليوريا) في عموم القضاء، مع إعطاء أولوية قصوى لمناطق الأكتاف والأحواض الشمالية التي تعاني من استنزاف حاد.

2. **إيقاف هدر الأسمدة البوتاسية** :نظراً للوفرة الطبيعية والمخزون الاستراتيجي العالي لعنصر البوتاسيوم في ترب منطقة الدراسة (بفعل معادن الطين)، يُوصى بتقنين أو إيقاف إضافة الأسمدة البوتاسية في الوقت الراهن، لتوجيه التكاليف الاقتصادية نحو الأسمدة التي تعاني التربة من نقصها الفعلي.
3. **استثمار الخصوبة الكامنة للترب المتغدقة** :توجيه مشاريع الاستصلاح الهندسي (شبكات البزل) نحو الأقسام الجنوبية من القضاء فبمجرد معالجة المشاكل الفيزيائية (سوء الصرف) لهذه الأراضي، ستتحول إلى أخصب البؤر الإنتاجية في المنطقة لامتلاكها أعلى مؤشر في دليل.(NAI)
4. **تحديث قاعدة البيانات الخصوبية** :اعتماد الخرائط الرقمية المُنتجة في هذا البحث (خرائط N, P, K وخريطة NAI) كقاعدة بيانات رسمية في مديرية زراعة بابل، لتكون مرجعاً أساسياً في تحديد وتوزيع الحصص السمادية السنوية على الوحدات الإدارية وفقاً للاحتياج المكاني الفعلي وليس على أساس المساحة الزراعية فقط.
5. **الإدارة الكيميائية لتفاعل التربة** :نظراً للطبيعة القاعدية الخفيفة لترب المنطقة، يُوصى بالاعتماد على الأسمدة ذات التأثير الحامضي (مثل سماد اليوريا) وتجنب الأسمدة القاعدية، فضلاً عن تشجيع الإضافات العضوية المستدامة التي تفرز أحماضاً عضوية أثناء تحللها، مما يسهم في خفض الـ (pH) موضعياً في بيئة الجذور، وبالتالي تحرير الفسفور المثبت وزيادة جاهزيته للامتصاص.

المصادر:

المصادر العربية:

1. درياق، جمال سعيد، تقييم الحالة الخصوبية لبعض ترب منطقة الجبل الأخضر، المختار للعلوم، العدد 18، جامعة عمر المختار، ليبيا، 2008.

المصادر الأجنبية:

2- Radcliffe, D., & Rochette, P. (1983). Assessment of Soil Fertility.

3. Chen, D. Li. (2013). The study of soil fertility spatial variation feature based on GIS and data mining, part II. College of Information and Technology, Jilin Agricultural University, China.
4. Zhong, L., et al. (2011). Assessment on soil fertility of Dongting lake wetland area (China) based on GIS and fuzzy evaluation. J. Cent. South Univ. Technol.