الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة الزراعية
قسم علوم التربة

دراسة فقد الفسفور من حوض الأبرش في محافظة طرطوس باستخدام النمذجة الرياضية والصور الفضائية

Studying Loss of Phosphorus in Al-abrash Basin in Tartus Province Using Mathematical Modeling and Satellite Images

بحث علمي أعد لنيل درجة الدكتوراه في علوم التربة

إعداد

م. هاني محمد إبراهيم

إشراف

المشرف العلمي
أ.د. محمد سعيد الشاطر
أستاذ في قسم علوم التربة
كلية الهندسة الزراعية
جامعة دمشق

المشرف المشارك
د. يونس محمد إدريس
مدير بحوث
الهيئة العامة للاستشعار عن بعد

دمشق 2020

تصريح

أصرح بأن البحث الموصوف بعنوان " دراسة فقد الفسفور من حوض الأبرش في محافظة طرطوس باستخدام النمذجة الرياضية والصور الفضائية" أعد لاستكمال الحصول على درجة الدكتوراه في علوم التربة بكلية الزراعة جامعة دمشق، ولم يسبق أن قدم للحصول على أي درجة علمية أخرى ولا هو مقدم حالياً لذلك، وأن كافة الأعمال والنتائج المذكورة هي محصلة جهدي الشخصي وبتوجيه من المشرفين العلميين، وإن أية معلومات أو طرائق أو نتائج أخرى ذكرت في هذه الرسالة قد نسبت إلى مصادرها ومؤلفيها بوضوح في النص وفي قائمة المراجع.

المرشح

هاني محمد إبراهيم

Declaration

This work has been submitted in partial fulfillment of the requirements for degree of Ph. D in the department of soil in faculty of agriculture, Damascus University. Title of thesis (Studying Loss of Phosphorus Using Mathematical Modelling and Satillite Images in Al-abrash Basin in Tartus Province), it is hereby declared that this work has not already been accepted for any degree, nor has it been submitted concurrently for any degree.

Candidate

Hani Ibraheem

شهادة

نشهد بأن العمل الموصوف في هذه الرسالة هو نتيجة بحث علمي قام به المرشح هاني محمد إبراهيم، بإشراف كل من الأستاذ الدكتور محمد سعيد الشاطر – كلية الهندسة الزراعية – جامعة دمشق، و الدكتور يونس إدريس – الهيئة العامة للاستشعار عن بعد.

المشرفون

المشرف العلمي	المشرف المشارك
الأستاذ الدكتور محمد سعيد الشاطر	الدكتور يونس إدريس

Certification

Certify that the work described in this letter is the result of research done by the candidate Hani Ibraheem, under the supervision of Prof.Dr. Mohammad Said Al-shater, faculty of agriculture, Damascus University, Dr. Younes Idriss, General Organization of Remote Rensing.

Supervisors

Prof.Dr. Mohammad Said Al-shater	Dr. Younes Idriss

السيد الأستاذ الدكتور عميد كلية الزراعة

نعلمكم أن طالب الدكتوراه هاني محمد إبراهيم الذي دافع عن أطروحة الدكتوراه بتاريخ 2020/7/21 قد قام بتصحيح جميع الأخطاء الواردة في الأطروحة، وأخذ جميع الملاحظات بعين الاعتبار، وأجرى التعديلات اللازمة، وأصبحت الأطروحة جاهزة.

أعضاء لجنة الحكم

أ.د. محمد سعيد الشاطر: قسم علوم التربة – كلية الزراعة – جامعة دمشق.

أ.د. حسن حبيب: قسم علوم التربة – كلية الزراعة – جامعة دمشق.

أ.م.د. أكرم البلخي: قسم علوم التربة – كلية الزراعة – جامعة دمشق.

د. وسيم المسبر: قسم علوم التربة – كلية الزراعة – جامعة دمشق.

د. محمد العبد: مدير بحوث – الهيئة العامة للاستشعار عن بعد.

دراسة فقد الفسفور من حوض الأبرش في محافظة طرطوس باستخدام النمذجة الرياضية والصور الفضائية

Studying Loss of Phosphorus in Al-abrash Basin in Tartus Province Using Mathematical Modeling and Satellite Images

نوقشت هذه الأطروحة المقدمه من قبل طالب الدكتوراه هاني محمد إبراهيم بتاريخ 2020/7/21 وأجيزت من قبل السادة أعضاء لجنة الحكم:

أ.د. محمد سعيد الشاطر: قسم علوم التربة – كلية الزراعة – جامعة دمشق.

أ.د. حسن حبيب: قسم علوم التربة – كلية الزراعة – جامعة دمشق.

أ.م.د. أكرم البلخي: قسم علوم التربة – كلية الزراعة – جامعة دمشق.

د. وسيم المسبر: قسم علوم التربة – كلية الزراعة – جامعة دمشق.

د. محمد العبد: مدير بحوث – الهيئة العامة للاستشعار عن بعد.

فهرس المحتويات

الملخص 13
Abstract 16
الفصل الأول 19
المقدمة 19
الدراسات المرجعية 21
1- دراسة تحولات الفسفور في التربة: 21
2- النمذجة الرياضية لعملية التمثيل الضوئي وتكوين الكربون العضوي باستخدام البيانات الاستشعارية: 27
3- تقدير معدلات امتصاص الفسفور باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية: 29
4- تقدير كميات الترب المنجرفة باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية والحقلية: 31
5- تقدير عمق الجريان السطحي باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية والحقلية: 32
6- تحديد وإظهار المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور: 34
مبررات وأهداف الدراسة 35
1- مبررات الدراسة: 35
2-أهداف الدراسة: 36
منطقة الدراسة 37
الفصل الثاني 39
مواد وطرائق العمل 39
1- مواد العمل: 39
1-1- البيانات الحقلية: 39
1-2- البيانات الاستشعارية: 39
1-3- البيانات المناخية: 42
1-4- البرامج والأدوات الأخرى المستخدمة: 42
2- طرائق العمل: 42
2-1- العمل الحقلي: 42
2-2- التحاليل المخبرية: 43
2-3- إعداد خريطة استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة: 44
2-4- أنشاء النماذج الإحصائية في بداية العمل: 44
2-5- حساب القرائن النباتية: 45
2-6- حساب الانحدار واتجاه الانحدار: 46

2-7- حساب كمية الفسفور المعدني النشط والمستقر في بداية عملية النمذجة:..... 47
2-8- تحديد قوام ترب منطقة الدراسة:..... 47
2-9- حساب قيم الكثافة الظاهرية:..... 48
2-9-1..... 48
2-10- تم تحويل كميات الفسفور بأشكاله الثلاث (P_{act}, P_{sta}, $P_{available}$) في بداية العمل 48
2-11- أنشاء النماذج الرياضية لدراسة تحولات الفسفور في ترب منطقة الدراسة: 49
2-12- تقدير معدلات امتصاص الفسفور باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية والحقلية: 51
2-13- تقدير حجم الإنجراف المائي للتربة باستخدام المعادلة العالمية للإنجراف RUSLE والبيانات الاستشعارية والحقلية:..... 57
2-14- تقدير عمق الجريان السطحي باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية والحقلية:..... 60
2-15- تحديد وإظهار المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور في منطقة الدراسة $CPSA_S$:..... 63
2-16- تحديد حدود الحوض المائي في منطقة الدراسة: 65
الفصل الثالث..... 66
النتائج والمناقشة..... 66
1- إعداد خريطة استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي:..... 66
2- خصائص ترب منطقة الدراسة:..... 68
3- حساب قيم الانحدار واتجاه الانحدار 72
4- تقدير الفسفور الكلي: 75
5- تقدير الفسفور العضوي..... 78
6- تقدير الفسفور المعدني الكلي:..... 81
7- تقدير الفسفور المعدني النشط (المثبت جزئياً): 82
8- تقدير الفسفور المعدني المستقر (المثبت):..... 83
9- تقدير الفسفور المتاح: 85
10- مقارنة متوسطات قيم كل من الفسفور العضوي والفسفور المعدني..... 88
11- معدنة الفسفور العضوي:..... 89
12- حركة الفسفور المعدني النشط (المثبت جزئياً) في التربة:..... 92
13- حركة الفسفور المعدني المستقر (المثبت) في التربة:..... 94
14- حركة الفسفور المعدني المتاح في التربة: 95
15- مقارنة متوسط امتصاص الفسفور، متوسط معدنة الفسفور العضوي، متوسط تحول الفسفور المعدني النشط، متوسط تحول الفسفور المعدني المستقر ومتوسط إتاحة الفسفور:..... 97

16- التحقق من نتائج النموذج الرياضي الخاص بدراسة تحولات الفسفور في التربة: 98
17- تقدير معدلات امتصاص الفسفور باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية: 100
18- تقدير معدلات الإنجراف المائي للتربة باستخدام المعادلة العالمية للإنجراف RUSLE والبيانات الاستشعارية والحقلية: 106
19- تقدير عمق الجريان السطحي باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية والحقلية: 117
20- تحديد وإظهار المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور في منطقة الدراسة $CPSA_S$: 123
الفصل الرابع 129
الاستنتاجات والتوصيات: 129
1- الاستنتاجات: 129
2- التوصيات: 130
المراجع 132
1- المراجع العربية 132
2- المراجع الاجنبية 133
الملحق 156

فهرس الأشكال

الشكل 1. حدود منطقة الدراسة 38
الشكل 2. توزع النقاط الحقلية ضمن منطقة الدراسة 43
الشكل 3. استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي في منطقة الدراسة 67
الشكل 4. استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي التفصيلية في منطقة الدراسة 68
الشكل 5. توزع المادة العضوية في منطقة الدراسة 70
الشكل 6. توزع كربونات الكلسيوم الكلية في ترب منطقة الدراسة 70
الشكل 7. توزع قيم الكثافة الظاهرية في ترب منطقة الدراسة 71
الشكل 8. صفوف درجات الانحدار في منطقة الدراسة 73
الشكل 9. اتجاه الانحدار في منطقة الدراسة 74
الشكل 10. توزع الفسفور الكلي في ترب منطقة الدراسة 77
الشكل 11. توزع الفسفور العضوي في ترب منطقة الدراسة 80
الشكل 12. توزع الفسفور المعدني الكلي في ترب منطقة الدراسة 82
الشكل 13. توزع الفسفور المعدني النشط في ترب منطقة الدراسة 83
الشكل 14. توزع الفسفور المعدني المستقر في ترب منطقة الدراسة 84
الشكل 15. توزع الفسفور المتاح في ترب منطقة الدراسة 87

الشكل 16. التوزع المكاني لمعدل المعدنة الكلي للفسفور العضوي..... 91
الشكل 17. التوزع المكاني لكمية الكربون الكلية المثبتة في منطقة الدراسة..... 102
الشكل 18. التوزع المكاني لكمية الفسفور الكلية الممتصة في منطقة الدراسة 105
الشكل 19. توزع قيم العامل R في منطقة الدراسة 107
الشكل 20. توزع قيم العامل C في منطقة الدراسة 108
الشكل 21. توزع قيم العامل K في منطقة الدراسة..... 109
الشكل 22. توزع قيم العامل P في منطقة الدراسة..... 110
الشكل 23. توزع قيم العامل LS في منطقة الدراسة 111
الشكل 24. الارتفاع عن سطح البحر في منطقة الدراسة 111
الشكل 25. توزع صفوف خطورة الإنجراف المائي..... 114
الشكل 26. توزع صفوف قوام التربة 117
الشكل 27. التوزع المكاني لمجموعات الترب الهيدرولوجية..... 118
الشكل 28. التوزع المكاني لرقم المنحنى CN في منطقة الدراسة..... 119
الشكل 29. التوزع المكاني لعمق الجريان السطحي السنوي في منطقة الدراسة..... 120
الشكل 30. البعد عن المسطحات المائية..... 124
الشكل 31. التوزع المكاني للمساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور 126

فهرس المخططات

المخطط 1. النموذج العام للدراسة 47
المخطط 2. نماذج دراسة تحولات الفسفور في ترب منطقة الدراسة 49
المخطط 3. نموذج حساب NPP في منطقة الدراسة..... 52
المخطط 4. نموذج حساب معدلات امتصاص الفسفور 57
المخطط 5. نموذج حساب كميات الترب المنجرفة..... 58
المخطط 6. نموذج حساب عمق الجريان السطحي..... 62
المخطط 7. نموذج تحديد وإظهار المساحات الزراعية الحرجة لفقد الفسفور 65
المخطط البياني 8. مساحات صفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي..... 67
المخطط البياني 9. معامل الارتباط بين القيم المقاسة والقيم المتنبا بها للكثافة الظاهرية 71
المخطط البياني 10. معامل الارتباط بين القيم المقاسة والقيم المتنبأ بها للفسفور الكلي 77
المخطط البياني 11. معامل الارتباط بين القيم المقاسة والقيم المتنبأ بها للفسفور العضوي..... 81
المخطط البياني 12. معامل الارتباط بين القيم المقاسة والقيم المتنبأ بها للفسفور المتاح 88
المخطط البياني 13. متوسط قيم الفسفور العضوي والفسفور المعدني في ترب منطقة الدراسة..... 88

المخطط البياني 14. المتوسط الشهري لمعدلات معدنة الفسفور العضوي في ترب منطقة الدراسة 90
المخطط البياني 15. المتوسط الشهري لمعدلات تحول الفسفور المعدني النشط في ترب منطقة الدراسة..... 93
المخطط البياني 16. المتوسط الشهري لمعدلات تحول الفسفور المعدني المستقر في ترب منطقة الدراسة..... 95
المخطط البياني 17. المتوسط الشهري لمعدلات إتاحة الفسفور المعدني المتاح في ترب منطقة الدراسة 97
المخطط البياني 18. مقارنة تحولات الفسفور في منطقة الدراسة..... 98
المخطط البياني 19. معامل الارتباط بين الفسفور العضوي (المحاكاة) والفسفور العضوي المقاس..... 99
المخطط البياني 20. معامل الارتباط بين الفسفور المعدني (المحاكاة) والفسفور المعدني المقاس 99
المخطط البياني 21. معامل الارتباط بين الفسفور المتاح (المحاكاة) والفسفور المتاح المقاس..... 99
المخطط البياني 22. تغيرات قيم NPP الشهرية في منطقة الدراسة..... 101
المخطط البياني 23. معدلات امتصاص الفسفور لصفوف الغطاء النباتي في منطقة الدراسة..... 104
المخطط البياني 24. النسب المئوية لمساحات صفوف الفسفور الممتصة في منطقة الدراسة..... 105
المخطط البياني 25. متوسط معدل امتصاص الفسفور الشهري مقارنة بمعدل التمثيل الضوئي الشهري..... 106
المخطط البياني 26. النسبة المئوية لمساحات صفوف الإنجراف السنوي في منطقة الدراسة 112
المخطط البياني 27. النسبة المئوية لمساحات صفوف الإنجراف الشهري 115
المخطط البياني 28. علاقة تغير شدة الإنجراف المائي مع تغير كمية الهطل المطري الشهري..... 115
المخطط البياني 29. علاقة تغير شدة الإنجراف المائي مع تغير قيم الغطاء النباتي الشهرية..... 116
المخطط البياني 30. علاقة تغير عمق الجريان السطحي مع تغير كمية الهطل المطري الشهري..... 122
المخطط البياني 31. معامل الارتباط بين عمق الجريان السطحي وكمية الهطل المطري الشهري 122
المخطط البياني 32. النسبة المئوية لمساحة كل صف من صفوف خطورة فقد الفسفور من المساحة الكلية لكل صف من صفوف الغطاء النباتي..... 128

فهرس الجداول

جدول 1. مركز المجال الطيفي (ميكرومتر) وقدرة التمييز المكاني (م) لصور SENTINEL_2 39
جدول 2. عرض القناة الطيفية (ميكرومتر) وقدرة التمييز المكاني (م) لصور LANDSAT 8..... 40
جدول 3. نوع المستشعر وتاريخ التقاط الصور المستخدمة في الدراسة..... 41
جدول 4. تصنيف قوام التربة وفقاً لمثلث القوام الأمريكي..... 48
جدول 5. قيم الثوابت الخاصة بدليل المساحة الورقية LAI..... 55
جدول 6. قيم العامل P إجراءات الحماية والحد من إنجراف التربة..... 59
جدول 7. صفوف حالة الرطوبة السابقة ANTECEDENT MOISTURE CLASSES AMC وفقاً لطريقة SCS 61
جدول 8. خصائص المجموعات الهيدرولوجية للترب..... 62

جدول 9. تصدير البيانات حسب طريقة LINEAR NORMALIZATION METHOD 63
جدول .10 قيم التثقيل المخصصة لكل عامل وفقاً لطريقة تجميع الرتب..... 64
جدول 11. صفوف الانحدار كنسبة مئوية وفقاً لدرجات الانحدار..... 73
جدول 12. اتجاه الانحدار وفقاً لدرجات الانحدار..... 74
جدول 13. البيانات الإحصائية الخاصة بمعادلة الانحدار الخطي المتعدد للفسفور الكلي..... 75
جدول 14. تحليل التباين ANOVA لنموذج الانحدار الخطي المتعدد للفسفور الكلي..... 75
جدول 15. قيم معاملات خط الانحدار الخطي المتعدد للفسفور الكلي..... 76
جدول 16. الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور الكلي في صفوف الغطاء النباتي..... 76
جدول 17. البيانات الإحصائية الخاصة بمعادلة الانحدار الخطي المتعدد للفسفور العضوي 78
جدول 18. تحليل التباين ANOVA لنموذج الانحدار الخطي المتعدد للفسفور العضوي 78
جدول 19. قيم معاملات خط الانحدار الخطي المتعدد للفسفور العضوي..... 79
جدول 20. الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور العضوي في صفوف الغطاء النباتي 80
جدول 21. الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور المعدني الكلي في صفوف الغطاء النباتي 82
جدول 22. الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور المعدني النشط في صفوف الغطاء النباتي..... 83
جدول 23. الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور المعدني المستقر في صفوف الغطاء النباتي 84
جدول 24. البيانات الإحصائية الخاصة بمعادلة الانحدار الخطي المتعدد للفسفور المتاح..... 85
جدول 25. تحليل التباين ANOVA لنموذج الانحدار الخطي المتعدد للفسفور المتاح..... 85
جدول 26. قيم معاملات خط الانحدار الخطي المتعدد للفسفور المتاح..... 86
جدول 27. الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور المعدني المتاح في صفوف الغطاء النباتي 87
جدول 28. التحليل الإحصائي لتحولات الفسفور العضوي النشط (المعدنة) (مغ فسفور/ كغ) 89
جدول 29. المتوسط الشهري لمعدلات المعدنة للفسفور العضوي (مغ فسفور/كغ) 90
جدول 30. متوسط كمية الفسفور العضوي المتمعدنة (مغ/كغ)..... 92
جدول 31. التحليل الإحصائي لتحولات الفسفور المعدني النشط (مغ فسفور/كغ)..... 92
جدول 32. المتوسط الشهري لمعدلات تحول الفسفور المعدني النشط (مغ فسفور/كغ)..... 93
جدول 33. التحليل الإحصائي لتغيرات الفسفور المعدني المستقر (مغ فسفور/كغ) 94
جدول 34. المتوسط الشهري لمعدلات تحول الفسفور المعدني المستقر (مغ فسفور/كغ) 95
جدول 35. التحليل الإحصائي لتغيرات الفسفور المعدني المتاح (مغ فسفور/كغ) 96
جدول 36. المتوسط الشهري لمعدلات تغير الفسفور المعدني المتاح (مغ فسفور/كغ)..... 96
جدول 37. المتوسط الشهري لكمية الكربون المثبتة في الغطاء النباتي (غ/م^2) 100
جدول 38. معدلات امتصاص الفسفور المتوسطة الشهرية في الغطاء النباتي (غ/م^2)..... 102

جدول 39. صفوف شدة الإنجراف والنسبة المئوية لمساحة كل صف في منطقة الدراسة 112
جدول 40. متوسط قيم الإنجراف السنوي..... 113
جدول 41. أرقام منحنيات CN الجريان السطحي لحالة الرطوبة السابقة العادية..... 118
جدول 42. قيم عمق الجريان السطحي وكمية الهطل المطري (تشرين الأول 2017 وحتى أيار 2018) 121
جدول 43. النسبة المئوية لمساحة كل صف من صفوف خطورة فقد الفسفور من مساحة كل صف من صفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي..... 127
جدول 44. التحاليل الكيميائية والفيزيائية لعينات التربة (الشهر التاسع لعام 2017)..... 156
جدول 45. التحاليل الكيميائية لعينات التربة (الشهر الرابع لعام 2018)..... 166

دراسة فقد الفسفور من حوض الأبرش في محافظة طرطوس باستخدام النمذجة الرياضية والصور الفضائية

الملخص

تم في هذه الدراسة تحديد وإظهار المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور لحوض الأبرش في محافظة طرطوس باتجاه المصادر المائية القريبة بتحديد ودراسة كل من عوامل النقل والإزاحة للفسفور (إنجراف التربة المائي، الجريان المائي السطحي، التضاريس، والبعد عن المصادر المائية) وعوامل مصادر الفسفور (تركيز الفسفور الكلي، و استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي). تم إجراء دراسة على تحولات الفسفور في ترب المنطقة بدءاً من شهر أيلول لعام 2017 وحتى شهر أيار لعام 2018 بتطبيق نموذج رياضي يعتمد على البيانات الاستشعارية (رطوبة التربة ودرجة حرارتها) والبيانات الحقلية (قيم فسفور التربة العضوي والمعدني) لعينات التربة السطحية حتى عمق 30سم. تم إعداد خريطة استعمالات الأراضي والغطاء الأراضي في بداية العمل باستخدام منهجية التفسير البصري لتحديد الأغطية النباتية الرئيسية المنتشرة في منطقة الدراسة وتقسيمها إلى صفوف (الغابات والحراج، الحمضيات، الزيتون، والمحاصيل الحقلية) وذلك لإعطاء كل صف من هذه الصفوف درجة تثقيل تتناسب مع كميات الأسمدة المضافة إليها في المراحل السابقة ليتم إدخال صفوف الغطاء النباتي المشتق من استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي كعامل آخر من عوامل مصادر الفسفور، ولاستخدام خريطة استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي كمُدخل من مدخلات النماذج الرياضية الأخرى التي تم إنجازها. كما تم بالتوازي مع دراسة تحولات الفسفور باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية والحقلية تقدير كميات الترب المنجرفة بشكل يومي ثم شهري بدايةً من شهر تشرين الأول لعام 2017 وحتى نهاية شهر أيار لعام 2018 بتطبيق المعادلة العالمية للإنجراف Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) للحصول في نهاية النمذجة على قيم كميات التربة المنجرفة السنوية (طن/هكتار/سنة) وتحديد صفوف خطورة فقد التربة، كما جرى حساب عمق الجريان المائي السطحي يومياً و شهرياً باستخدام طريقة دائرة صيانة التربة الأمريكية Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN) للأشهر الممتدة من شهر تشرين الأول لعام 2017 وحتى نهاية أيار لعام 2018 للحصول على عمق الجريان المائي السطحي (مم) السنوي وتوزعه المكاني. تم تحديد البعد عن المصادر المائية في منطقة الدراسة ولكل خلية من خلايا (بكسل) الشبكة المكانية GRID التي تغطي كامل المنطقة، كما تم حساب درجات الانحدار واتجاه الانحدار بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي Digital Elevation Model (DEM) كعامل من العوامل المساعدة على فقد الفسفور وإزاحته باتجاه المصدر المائي. جرى بعد ذلك إجراء تحليل مكاني Spatial Overlay لكل من عوامل مصادر الفسفور وعوامل النقل والإزاحة بعد تثقيلها بأوزان مختلفة وفقاً لأهمية كل عامل من هذه العوامل في تشكل المساحات الزراعية الحرجة لفقد الفسفور باستخدام طريقة جمع الرتب Rank Sum، للحصول على خريطة التوزع المكاني لصفوف خطورة فقد الفسفور ضمن حدود حوض الأبرش في محافظة طرطوس.

أظهرت نتائج العمل أن مساحة الأراضي المزروعة بالزيتون بلغت 113.32 كم^2، في حين بلغت مساحة الأراضي المزروعة بالحمضيات 21.62 كم^2، ومساحة أراضي الغابات والحراج 17.81 كم^2، ومساحة الأراضي المزروعة بالمحاصيل مع البيوت المحمية 83.93 كم^2، ومساحة الأراضي العمرانية 37.67 كم^2، ومساحة المسطحات المائية 10.6 كم^2. تراوحت قيم الفسفور الكلي في ترب منطقة الدراسة في بداية العمل بين (145.59 و 496.71 مغ/كغ)، وقيم الفسفور المتاح بطريقة أولسن بين (2.29 و 11.61 مغ/كغ)، وقيم الفسفور العضوي (33.51 و217.39 مغ/كغ)، وقيم الفسفور المعدني بين (116.69 و 416.68 مغ/كغ). تم تقسيم كميات الترب المنجرفة السنوية في منطقة الدراسة إلى أربعة صفوف حسب خطورة الإنجراف حيث بلغت النسبة المئوية لمساحة الأراضي غير المعرضة للإنجراف حوالي 38.5 % من المساحة الإجمالية لمنطقة الدراسة، في حين بلغ صف الإنجراف منخفض الخطورة حوالي 43.34 %، وصف الإنجراف متوسط الخطورة 1.4 %، حيث تركزت الترب المعرضة للإنجراف في الجزء الشرقي من منطقة الدراسة حيث تسود ترب غير عميقة على سفوح المنحدرات الشديدة والناشئة على صخور أم كلسية هشة. بلغت كمية مياه الجريان السطحي الكلية للفترة الممتدة من تشرين الأول لعام 2017 وحتى أيار لعام 2018 (191.87 مم)، حيث شكلت حوالي 21.48% من كمية الهطل المطري خلال نفس الفترة وتركزت بشكل كبير في الجزء الغربي والجنوب الغربي من منطقة الدراسة وربما يعود هذا إلى قوام التربة الثقيل (طيني، طيني لومي) المنتشر في تلك الأجزاء والتي لا تسمح بنفاذية عالية للمياه داخل عمود التربة، إضافة إلى انتشار زراعة المحاصيل الحقلية في تلك المناطق والتي لا تمنع حدوث الجريانات السطحية للمياه بصورة فعالة، بينما انخفضت كمية مياه الجريان السطحي في الأجزاء الشرقية من منطقة الدراسة وربما يعود ذلك إلى قوام التربة الخفيف نوعاً ما (رملي لومي، رملي طيني لومي) المنتشر في تلك الأجزاء، وأيضاً لطبيعة الغطاء النباتي السائد في تلك المناطق (غابات وحراج، زيتون) والتي تعمل على التخفيف من حدوث الجريانات السطحية وخاصة في المناطق ذات الانحدارات الشديدة. أشارت الدراسة إلى انتشار المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور على طول مجرى نهر الأبرش من الجهة الشرقية للسد(على طول المحور المار من قرية المضافة باتجاه قرية السيسنية وصولاً إلى سد الأبرش)، حيث تسود على طول مجرى النهر زراعة مساحات واسعة من المحاصيل الحقلية وزراعة البساتين المتنوعة (الحمضيات) والتي تتواجد في تربها كميات عالية نسبياً من الفسفور بمختلف أشكاله نتيجة لعمليات التسميد العضوي والمعدني في مراحل سابقة، إضافة لقرب هذه المساحات الزراعية من المصدر المائي (نهر الأبرش) وفروعه وقنواته، مما يساعد بشكل كبير جداً في ظهور هذه المساحات ودخولها في صف الأراضي عالية الخطورة والعالية جداً لفقد الفسفور، كما تسود المساحات الزراعية العالية الخطورة والعالية جداً لفقد الفسفور في الجزء الشرقي من سد الأبرش وبالتوازي تقريباً مع المحور السابق (على طول المحور المار من قرية بيت الشيخ يونس مروراً بقرية المديرجات وصولاً للسد)، وهذين المحورين الواقعين شرق سد الأبرش من المناطق التي تتعرض لعمليات إنجراف للتربة بشدات عالية وبصورة متكررة نتيجة لتوافر عوامل الإنجراف المائي، وأيضاً تواجد المساحات الزراعية عالية الخطورة والعالية جداً لفقد الفسفور في الجهة الغربية من سد

الأبرش (على طول المحور المار من قرية التوانين – ضهر الدير – هويسية باتجاه قرية تل كزل ومنه إلى البحر)، وكذلك يلاحظ انتشار المساحات الزراعية عالية الخطورة والعالية جداً لفقد الفسفور في الجزء الأوسط والشمالي من منطقة الدراسة خارج منطقة الحوض المائي (على طول المحور المار من قرية سمكة – الدنانير – رأس الدير - الوعوعية - باتجاه قرية مشتى غانم) وهي مناطق تتوزع فيها زراعات مختلطة من الحمضيات والمحاصيل الحقلية، وقريبة من شبكة من الأنهار والقنوات المائية، و تتعرض لإنجراف تربة بمستويات متوسطة مما يجعلها مساحات حرجة لفقد الفسفور.

الكلمات المفتاحية: الفسفور، النمذجة الرياضية، الاستشعار عن بعد، استعمالات الأراضي، الإنجراف المائي، حوض الأبرش، الجريان السطحي، RUSLE، NPP

Studying Loss of Phosphorus in Al-abrash Basin in Tartus Province Using Mathematical Modeling and Satellite Images

Abstract

In this study, The Critical Phosphorus Source Areas (CPSAs) was determined by identifying and studying both the transport factors of phosphorus (soil erosion, surface runoff, slope, Euclidean Distance) and source factors (total soil phosphorus, land use / land cover). Study was conducted on phosphorus transformation in the soil, starting from September 2017 to May 2018 through the application of a mathematical model based on remote sensed data (soil moisture, soil temperature) and field data (soil organic phosphorus, soil inorganic phosphorus) for top soil samples up to a depth of 30 cm.

Land use / Land cover was performed at the beginning of the work by using a visual interpretation method to determine the main vegetation classes in the study area, as follow (forest, olives, citruc, field crops) to give each of these classes a weighting value commensurate with the quantities of fertilizers added to it in the previous phases, to use the land use / land cover as a source factor of phosphorus, and also to use it as input for mathematical models that were completed in this study. Besides quantities of the soil erosion were estimated, starting from October 2017 until the end of May 2018 by applying the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model to determine the severity classes of soil erosion in the study area. The depth of surface runoff was performed by Rainfall – Runoff modeling using the soil conservation service curve number (SCS-CN) model from October 2017 to the end of May 2018 to obtain the annual surface runoff depth (mm) and it is spatial distribution. The Euclidean Distance from the water resources was determined for each GRID cell in the raster of the study area. The slope and aspect were calculated using the digital elevation model (DEM). The transport factors and source factors are integrated to locate the CPSAs at basin scale according to weighting values and using Overlay weighted sum method to get the spatial distribution of the phosphorus loss severity class's map. The results showed that the olive area was 113.32 km^2, the

citrus 21.62 km^2, the forest area 17.81 km^2, field crops with protected plantation 83.93 km^2, urban area 37.67 km^2, and water area was 10.6 km^2. The values of the total phosphorus in the soil at the beginning of the study ranged between (145.59 and 496.71 mg/kg), the values of the available Olsen phosphorus between (2.29 and 11.61 mg/kg), the values of inorganic phosphorus between (116.69 and 416.68 mg/kg). The quantity of soil erosion were classified into four classes according to the severity of the erosion, it show that about 38.5 % of the study area does not suffer from soil erosion, the low severity class represented about 43.34 % of the total area, and the medium severity class constituted about 1.4 % of the total area. The higher values of soil erosion were observed mainly in the eastern and northeastern parts of the study area, based on integration of a set of factors, including the steep slopes, high precipitation, and soils with low depth located on limestone. The total surface runoff for the period from October 2017 until May 2018 (191.87 mm), represents about 21.48% of the total amount of rainfall occurring during the same period. The amounts of runoff were high in the western and southwestern parts of the study area, and this may be due to the heavy soil type (clay, clay loam), which does not allow high permeability, in addition to the cultivation of field crops, which does not prevent the surface runoff significantly. While the amount of surface runoff has declined in the eastern part of the study area and may be due to the soil type (sandy loam, sandy clay loam), also the nature of the ground cover (Forest, olive) which prevent the surface runoff significantly. The study indicated that (CPSAs) were located along the course of Al-Abrash river from the eastern side of the dam (along the village of Al-Madafa to Al-Sisniyyah village untile Al-Abrash dam), where there are a large areas of field crops and orchards, which have relatively high quantities of total phosphorus in their soils as a result of organic and inorganic fertilizers in previous stages, as well as the proximity of these agriculture areas to water resources (Al –Abrash river) and it is branches and canals, and this leads to the emergence of agricultural areas exposed to highly phosphorous loss. Also (CPSAs) were located in the eastern parts of Al-Abrash dam, almost parallel to the previous region (along the village of Beit Al-Sheikh Younis to the village of Al-Mdeirjat to the dam), and these two regions suffer

from high soil erosion due to many factors. Besides (CPSAs) were located in the western parts of Al-Abrash dam (along the villages of Al-Tanween, Dahr Al-Dair, Huwaysiyeh, Tal Kazal, then to the sea). It is noted that (CPSAs) were located in the central and northern parts of the study area outside the water basin (along the villages of Smakah, Dananir, Ras Al Deir, Al-Awiya, Mashta Ghanem), these regions include citrus and field crops, close to a network of rivers and canals, which also expose to medium soil erosion.

Keywords: Phosphorus, Mathematical Modeling, Remote Sensing, Land use, Soil Erosion, Al-abrash basin, Runoff, RUSLE, NPP

الفصل الأول

المقدمة

يُعد عنصر الفسفور ذو أهمية زراعية وبيئية كبيرة، باعتباره واحداً من العناصر الغذائية الأساسية الكبرى فهو ضروري للحيوانات والنباتات البرية والمائية (Yang وزملاؤه، 2012)، وعاملاً محدداً لغلة المحاصيل الزراعية (Cheng وزملاؤه، 2011; Qiao وزملاؤه، 2013)، كان من الضروري نتيجة للطلب المتزايد على الغذاء بفعل الزيادة السكانية الكبيرة في جميع انحاء العالم تزويد الأراضي الزراعية بمخصبات الفسفور الطبيعية والصناعية وبكميات كبيرة للحفاظ على غلال وفيرة من الحبوب (Duan وزملاؤه، 2011; Townsend و Porder، 2012). تسبب الزيادة الكبيرة في استخدام الأسمدة الفسفورية على المدى الطويل تراكم الفسفور ضمن التربة والذي يمثل خطرا متناميا على البيئة المائية المحيطة Aquatic Environment (Bolland وزملاؤه، 1996; Zhuang وزملاؤه، 2007)، كما أن زيادة المخصبات المعدنية والعضوية Eutrophication ومنها الفسفور في المياه السطحية أو الجوفية كان نتيجة الاستخدام العالمي المتزايد للأسمدة الكيميائية في الأراضي الزراعية، وقد أشار كل من (Walker و Havens، 1995) إلى أن تراكيز الفسفور المنخفضة (0.03 إلى 0.06 مغ/ل) في الأجسام المائية المختلفة تشجع على ظهور الطحالب والاشنيات وانتشارها بشكل غزير في الأوساط المائية، مما يؤدي إلى انخفاض كمية الاكسجين في المسطحات المائية مما يتسبب بآثار بيئية وتغيرات نوعية كبيرة في الموارد المائية السطحية ويهدد الحياة المائية لبقية الكائنات الحية فيها. تكمن الاستجابة السريعة لدرء خطر تلوث المياه بالفسفور والعناصر الأخرى من خلال إدارة المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور والذي قد ينتقل إلى المصادر المائية السطحية أو الجوفية بفعل عوامل عديدة (Sharpley وزملاؤه، 2011; Campbell وزملاؤه، 2015; Rossel و Bui، 2016)، حيث وجد كل من (Pionke وزملاؤه، 2000; Sharpley وزملاؤه، 2013) أن الجزء الأكبر من كمية الفسفور الواصلة إلى المصادر المائية المجاورة (حوالي 80 %) مصدرها مساحات زراعية صغيرة لا تشكل سوى (20 %) من المساحة الكلية، و أن هذه المساحات الصغيرة تعتبر من المصادر الرئيسية لفقد الفسفور، لذا تم في الآونة الأخيرة التركيز على تطوير إجراءات مناسبة للحد من مساهمة الأراضي الزراعية في انتقال الفسفور للمياه السطحية المجاورة (Rivero وزملاؤه، 2007; Chang وزملاؤه، 2013; Djodjic و Villa، 2015). إلا أن طرائق اكتشاف وتحديد هذه المساحات غير مؤكدة، كما أن آليات تشكلها مازالت غير واضحة بالرغم من استمرار مثل هذه الأبحاث لأكثر من عقد من الزمن (Sharpley وزملاؤه، 2011; Van Dijk، 2016)، إلا أنه يمكن تحديد مجموعة من العوامل التي تساهم في تشكل تلك المساحات والتي يمكن ان تقسم إلى مجموعتين (عوامل داخلية تتعلق بتراكيز الفسفور في التربة) و (عوامل بيئية خارجية ومنها على سبيل المثال إنجراف التربة، الجريان السطحي، التضاريس، نوع استعمالات الأراضي..... الخ). تعتبر الإدارة الزراعية السليمة للفسفور في الأراض الزراعية، بالإضافة لتحديد المسارات الهيدرولوجية (المائية) لانتقال الفسفور إلى المسطحات المائية الحساسة للتراكيز العالية والمنخفضة على حد سواء لمثل هذه العناصر من المسائل الأساسية

والهامة للحفاظ على جودة ونوعية المياه والتي يمكن أن تستخدم في أغراض متنوعة، وتُعد مسألة تحديد المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور وانتقاله إلى المصادر المائية القريبة من أولى الاجراءات التي يجب أن تتخذها الإدارات المعنية للانتقال للخطوات والمراحل اللاحقة في عملية إدارة مثل هذه المناطق، بهدف وضع خطة زراعية بيئية للحد من كميات المغذيات ومنها الفسفور المزاحة باتجاه المياه السطحية القريبة بما يحقق هدفين أساسيين وهما المحافظة على كميات الفسفور بمختلف أشكاله في الترب الزراعية لاستخدامه لاحقاً في الإنتاج الزراعي مما ينعكس على الاقتصاد في استخدام الأسمدة والمخصبات الفسفورية غالية الثمن والتي تشكل عبئاً كبيراً في حسابات المردود الزراعي العائد على المزارعين والحكومات، والحد من تلوث المصادر المائية السطحية والجوفية والتي يمكن أن تستثمر في عدة قطاعات مختلفة في آن واحد كاستخدامها في عمليات الري وتربية الأسماك وحتى كمياه للشرب، مما يتسبب تلوثها بخسارة كبيرة وأضرار بالغة تحتاج إلى جهود وإمكانيات مادية وتقنية كبيرة للمعالجة. تُعد منطقة الدراسة قيد البحث من المناطق ذات التكثيف الزراعي العالي منذ ثمانينات القرن الماضي، حيث يتم فيها زراعة محاصيل مختلفة وعلى مدار العام، كما وتشغل الزراعات المحمية مساحة واسعة منها، أدى هذا إلى زيادة كبيرة في كميات الأسمدة والمخصبات ومنها الأسمدة الفسفورية بمختلف أنواعها المستخدمة في الإنتاج الزراعي، كما يتواجد في منطقة الدراسة مسطحين مائيين هامين هما نهر الأبرش وفروعه والقنوات المائية المرتبطة به وسد الأبرش والذي بني على نهر الأبرش لأغراض مختلفة زراعية وبيئية، وهذين المسطحين المائيين وتبعاً لدراسات عديدة حديثة نسبياً تمت في المنطقة وعلى حوض نهر الأبرش تحديداً (ياغي وزملاؤه، 2013; القطيني، 2015) أشارت إلى أنهما يعانيان من أنواع مختلفة من التلوث ومنه التلوث الزراعي بالأسمدة الزراعية والمبيدات الحشرية والتي تصل إلى مياه النهر ومياه السد بفعل عوامل الانتقال المختلفة من المساحات الزراعية المحيطة والتي تمت الاشارة إلى عدد منها سابقاً مما أدى لتدهور الخصائص الأحيائية للمياه وبخاصة في سد الأبرش وفي مياه النهر في الحوض الأدنى منه، وهذا يستوجب ضرورة وضع خطط وقاية ومعالجة لدرء الاخطار الناجمة عن مثل هذه الملوثات التي تهدد صحة وسلامة المسطحات المائية، تبدأ من مرحلة تحديد المساحات والمناطق الزراعية الحرجة والأكثر عرضة لفقد الفسفور وانتقاله إلى مياه النهر. تقدم تقانة الاستشعار عن بعد Remote Sensing بيانات هامة زمانياً ومكانياً عن أي هدف أو ظاهرة قيد الدراسة، وبالتالي يمكن من خلال هذه التقانة ونتائج النماذج الاستشعارية معرفة تركيز الفسفور الكلي وتوصيف مسارات فقده في منطقة ما. وحسب كل من (Nesme وزملاؤه، 2012; Wang وزملاؤه، 2012) فإن تقانة الاستشعار عن بعد يمكن أن تطبق في محاكاة حركة الفسفور نتيجة لميزاتها الواضحة في اشتقاق المعلومات والبيانات من سطح التربة عند مقاييس زمانية ومكانية مختلفة، حيث يمكن أن تستخدم هذه التقانة للحصول على معلومات جغرافية مكانية هامة بصورة مباشرة (خرائط استعمالات الأراضي)، وأيضاً في النماذج الهيدرولوجية البيئية التي تقدر كميات الملوثات المنتشرة على مساحات واسعة (Gassman، 2007).

الدراسات المرجعية

1- دراسة تحولات الفسفور في التربة:

يُعد الفسفور أحد أهم العناصر الغذائية الكبرى للمحاصيل الزراعية، وعامل مغذي هام وحيوي في المناطق الجافة وشبه الجافة (Zhao وزملاؤه، 2008). يتواجد الفسفور عموماً في التربة بأشكال مختلفة منها العضوي Organic Phosphorus ومنها المعدني Inorganic Phosphorus وبحسب (Stevenson، 1994) فإن الفسفور العضوي يشكل نسبة مئوية تتراوح بين 20 إلى 80 % من الفسفور الكلي Total Phosphorus. تقوم النباتات بامتصاص الفسفور الموجود في التربة على شكل شوارد فوسفات $H_2PO_4^{-1}$ و HPO_4^{-2}، ويسمى هذا الشكل من الفسفور بالفسفور المتاح أو القابل للإفادة ،Available Phosphorus وعلى الرغم من وجود كميات كبيرة من الفسفور الكلي عادةً ضمن التربة إلى أن تركيز شوارد الفوسفات القابلة للامتصاص من قبل النباتات في محلول التربة منخفضة جداً، حيث تتواجد مجموعة من العوامل المتعلقة بالتربة وبالمحصول المزروع التي تحكم درجة إتاحة عنصر الفسفور ضمن التربة ليكون قابلا للامتصاص ومن هذه العوامل (pH، كربونات الكلسيوم، درجة الملوحة، محتوى التربة من المادة العضوية، بالإضافة للخصائص الفيزيائية والنشاط الحيوي للتربة التي تؤثر أيضاً في خصوبة التربة (Abd El-Galil و Ibrahim، 2001; Khalil وزملاؤه، 2004). أشار (Chad وزملاؤه، 1991) إلى أن الفسفور المتاح انخفض بصورة معنوية مع ازدياد pH التربة، وازدادت الإتاحة مع زيادة كل من المادة العضوية، وسعة التبادل الكاتيوني، ومحتوى التربة من الطين. تمتلك بصورة عامة، الترب التي تحتوي على كميات كبيرة من المادة العضوية على كميات كبيرة من الفسفور العضوي، حيث بين كل من (Monika وزملاؤه، 2018) أن الفسفور العضوي ارتبط ارتباطاً معنوية موجباً مع الكربون العضوي الموجود في التربة وبمعامل ارتباط مساوي (R=0.651) وهذا ما كان قد أوضحه كل من (Kothandaraman و Krishnammorthy، 1977; Vishwanath و Doddamani، 1991) في أبحاثهم حيث أكدوا ان انخفاض الفسفور العضوي في التربة يمكن أن يعزى لانخفاض كمية المادة العضوية والكربون العضوي مع العمق، بالإضافة إلى ارتباط الفسفور العضوي ارتباطاً معنوياً موجباً مع الطين الموجود في التربة وبمعامل ارتباط مساوي (R=0.638)، وارتباطه ارتباطاً معنوياً موجباً مع الفسفور المتاح بمعامل ارتباط (R=0.454)، وارتباطه ارتباطا معنوياً موجباً مع الفسفور الكلي وبمعامل ارتباط (R=0.968) وهذا ما أكده (Dongale، 1993) في أبحاثه بوجود علاقة ارتباط عالية بين الفسفور العضوي والفسفور الكلي في التربة، كما بين (Tomar وزملاؤه، 1984) أن الزيادة في إتاحة الفسفور في محلول التربة تعود بصورة أساسية إلى عملية المعدنة Mineralization للفسفور العضوي، وعملية الإذابة للفسفور المعدني Solublization، وإلى انخفاض عمليات تثبيت الفسفور في التربة بعد إضافة الأسمدة الفسفورية لترب غير كلسية. يُشير مصطلح الفسفور الكلي إلى كافة أشكال الفسفور العضوي والمعدني المتواجدة في التربة بما فيها الفسفور المتاح والقابل لإفادة النباتات، حيث أشارت أبحاث كل من (Monika وزملاؤه، 2018) إلى وجود ارتباط معنوي موجب بين كمية الفسفور الكلي الموجود في التربة وكل من كميات الطين وبمعامل ارتباط

مساوي (R=0.706)، الكربون العضوي (R=0.597)، والفسفور المتاح (R=0.501) وهذا ما أوضحه كل من (Gupta و Lattoo، 1999; Trivedi وزملاؤه، 2010; Singh وزملاؤه، 2010) سابقاً. يتطلب التحديد الدقيق لكميات الفسفور الموجودة في التربة وكيفية توزعها في منطقة دراسية ما جمع عدد كبير من العينات الترابية الحقلية وإجراء تحاليل كيميائية مجهدة ومكلفة ماديا وتحتاج زمنا طويلا لتنفيذها، لذلك تم تطوير عدد من تقانات الاستقراء الرياضي Interpolation Techniques للتنبؤ بخصائص التربة في المواقع التي لم تأخذ فيها عينات حقلية (McBratney وزملاؤه، 2000)، بالإضافة إلى استخدام أدوات الاستشعار عن بعد Remote Sensing كوسائل قادرة بصورة فعالة وسريعة على تقديم معلومات متعلقة بمكونات التربة بناءً على خصائصها الطيفية Spectral Features وهذا ما أكسبها أهمية كبيرة في تقدير بعض خصائص التربة (McCarty وزملاؤه، 2002; Viscarra وزملاؤه، 2006). وبحسب كل من (Vasques وزملاؤه، 2008) فإن بعض خصائص التربة ومكوناتها (المادة العضوية، الرطوبة، قوام التربة، كربونات الكلسيوم.....الخ) يمكن تقديرها بشكل مباشر باستخدام تقانات الاستشعار عن بعد نظراً لامتلاكها خصائص طيفية واضحة في أغلب الترب، في حين يمكن الاستدلال على الخصائص الأخرى للتربة من خلال العلاقات الإحصائية القائمة بين الغطاء الارضي وتحت سطح الأرض. ونظراً لوجود الفسفور في التربة بكميات منخفضة لا تعطي استجابة طيفية واضحة Clear Spectral Response يمكن من خلالها ربط كمياته في التربة مع مقدار الامتصاصية أو الانعكاسية الحاصلة في مجال كهرومغناطيسي معين فإنه من الصعوبة بمكان تقدير كميات الفسفور في التربة بشكل مباشر باستخدام المجالات الطيفية للصور الفضائية، إلا أنه من الممكن عمل ذلك بصورة غير مباشرة من خلال علاقات الارتباط القائمة بين كميات الفسفور الموجودة في التربة بأشكال مختلفة وأحد مكونات التربة الأخرى والتي تمتلك استجابة طيفية واضحة في مجال كهرومغناطيسي معين يستطاع من خلاله تقدير كميات هذا المكون في التربة بصورة مباشرة باستخدام المجالات الطيفية للصور الفضائية، وبناءً على الفكرة السابقة فقد جرت العديد من الدراسات والأبحاث للتنبؤ بمكونات التربة الدقيقة والتي لا يمكن رصدها بصورة مباشرة باستخدام تقانات الاستشعار عن بعد، حيث أشار كل من (Lin وزملاؤه، 2014) إلى أن الدراسات السابقة أظهرت أن فسفور التربة لم يُظهر استجابة طيفية واضحة بصورة مباشرة، بينما كان بالإمكان تقدير تركيز فسفور التربة بطريقة غير مباشرة من خلال استخدام القرينة النباتية Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) المشتقة من البيانات الاستشعارية في المجالات الطيفية (تحت الاحمر، الاحمر). وبالرغم من تلك الصعوبات فقد تم إنجاز عدد من الدراسات للتنبؤ بقيم فسفور التربة من خلال نماذج رياضية تم اشتقاقها باستخدام القنوات الطيفية للصور الفضائية وبعض القرائن النباتية التي تشتق من تلك القنوات والتي تستخدم في دراسات الغطاء النباتي، حيث أشار كل من (Kim وزملاؤه، 2014) إلى وجود علاقة ارتباط قوية بين فسفور التربة الكلي والانعكاس الطيفي في المجال الكهرومغناطيسي تحت الاحمر باستخدام الصور الفضائية متعددة القنوات الطيفية Multispectral. كما تمكن كل من (MacDougall و Waller، 2018) في دراسة تم تنفيذها في مقاطعة Montario في كندا من إنجاز نموذج انحدار خطي متعدد تم فيه اعتبار فسفور

التربة كعامل تابع ومجموعة القنوات الطيفية (تحت الأحمر، وتحت الأحمر قصير الموجة، الأحمر) والقرائن النباتية Green Difference Vegetation Index (GDVI) و (Global Environmental Monitoring Index (GEMI عوامل مساعدة مستقلة لتحديد قيم فسفور التربة في النقاط التي لم تأخذ منها عينات ترابية للتحليل المخبري عند إجراء العمل الحقلي لجمع العينات الترابية اللازمة لبناء نماذج الانحدار الخطي المطلوبة، حيث بلغ معامل الارتباط في النموذج المذكور آنفاً $R^2 = 0.648$ عند معنوية (P-value = $3.14 * 10^{-26}$). وجد كل من (Adugna و Abegaz، 2015) أن طبقة التربة السطحية Topsoil احتوت على تراكيز أكبر من المادة العضوية، الآزوت الكلي، والفسفور المتاح، ومن السلت والرمل مقارنة بطبقات التربة تحت السطحية Subsoil، كما لاحظوا أن تغيرات خصائص التربة مكانيا تأثرت بشدة بعوامل خارجية منها (الممارسات الزراعية، وطرائق الإدارة الزراعية)، وعوامل داخلية منها (نوع التربة وعمقها). إن استخدام المعلومات المساعدة المرتبطة مكانياً ولا سيما بيانات الاستشعار عن بعد لتحسين دقة التنبؤ بخصائص التربة يتم الاعتماد عليه حالياً على نطاق واسع وبحسب (Zhang وزملاؤه، 2013) فإن التغيرات المكانية في محتوى التربة من المادة العضوية يَعود بصورة عامة إلى عوامل بيئية كالارتفاع عن سطح البحر Elevation والتضاريس وتغطية الغطاء النباتي Vegetation Coverage. وجد (Saeed وزملاؤه، 2014) أن محتوى المادة العضوية للتربة ارتبط ارتباطاً سالباً مع الارتفاع عن سطح البحر، حيث يتناقص محتوى التربة من المادة العضوية مع زيادة الارتفاع بمعدل معامل ارتباط (R= - 0.989) وذلك في دراسة أجراها على ترب من مناطق جبلية في باكستان، كما أشارت الدراسات إلى أهمية البيانات الاستشعارية الطيفية Spectral Data إلى جانب البيانات الأخرى كنموذج الارتفاع الرقمي Digital Elevation Model DEM في إمكانية تقدير محتوى التربة السطحية من المادة العضوية حيث تعتبر قرينة الاختلافات النباتية NDVI مؤشرا هاما يعكس نسب التغطية النباتية بالإضافة لظروف نمو الغطاء النباتي، وبينت أبحاث (Fu و Burgher، 2015) أن قيم الدليل النباتي NDVI ارتبطت مع عدد من المتغيرات النباتية الأرضية كالكتلة الحية biomass وبعض صفات الموقع التي تعتمد على خصائص التربة في ذلك الموقع. أشارت أبحاث كل من (Sumfleth و Duttmann، 2008) على أن توزع محتوى كربون التربة العضوي ارتبط ارتباطاً موجباً عالياً مع قيم الدليل النباتي NDVI وفي الوقت نفسه فإن بعض النتائج أظهرت أن محتوى التربة من الكربون العضوي تغير بتغير ظروف الغطاء النباتي (Neufeldt وزملاؤه، 2002; Ding وزملاؤه، 2012). ولتحديد التوزع المكاني لمحتوى التربة من المادة العضوية فقد تم في عدة أبحاث ودراسات تطبيق تحليل الانحدار المتعدد Multiple regression analysis على نطاق واسع، حيث استخدم (Cheng وزملاؤه، 2004) معادلة الانحدار الخطي المتعدد بين محتوى التربة من المادة العضوية كمتغير تابع من جهة وكل من مادة التربة الأصل Soil Parent Material والعوامل الطبوغرافية (Slope, Elevation) كعوامل مستقلة من جهة أخرى لتقدير كمية المادة العضوية في الترب شبه الاستوائية Subtropical في الصين، كما استنتج (Meersmans وزملاؤه، 2008) أن تطبيق نموذج الانحدار الخطي المتعدد تعطي نتائج بأخطاء قياسية منخفضة عند تقدير محتوى التربة من الكربون

العضوي لأنواع مختلفة من استعمالات الأراضي، كما استخدم كل من (Bhunia وزملاؤه، 2017) نموذج الانحدار متعدد المتغيرات Multivariate Regression Model في إنجاز خريطة كربون التربة العضوي Soil Organic Carbon Mapping، وبينت نتائج تحليل الانحدار بين قيم كربون التربة العضوي المقاس حقلياً وقيم القرينة النباتية NDVI المشتقة من صور التابع الصنعي LANDSAT 4-5 Thematic Mapper TM وجود ارتباط معنوي موجب (R^2= 0.54 ; p < 0.0075)، كما لوحظ وجود علاقة ارتباط إحصائية معنوية سالبة بين قيم كربون التربة العضوي وقيم دليل التربة الخالية من الغطاء النباتي Bare Soil Index BSI (R= - 0.72).

بين (Vaudour وزملاؤه، 2019) في دراسة هدفت إلى استكشاف قدرة الصور الفضائية متعددة الأطياف Multispectral Satellite Images للمستشعر Sentinel_2A في التنبؤ بالكثير من خصائص التربة السطحية في بيئات مناخية متباينة: منطقة معتدلة تتميز بأنماط زراعة مكثفة سنوية من المحاصيل الحقلية وتربة ناتجة عن اللوس Loess و/ أو الحجر الجيري Marine Limestone والحجر الطباشيري Chalk، ومنطقة ذات مناخ متوسطي تتميز بزراعة الكروم وتربة ناتجة من الحجر الجيري، الأحجار الرملية الكلسية Calcareous Sandstones أو الرواسب الغرينية، حيث تم أنشاء نماذج التنبؤ بخصائص التربة السطحية (pH, CEC, Clay, Silt, Sand, Iron, $CaCO_3$, SOC) باستخدام طريقة انحدار المربعات الصغرى الجزئية Partial Least Squares Regressions PLSR، فكانت نتائج التنبؤ متوسطة حسب قيم معامل التحديد R^2_{cv} Cross – validated coefficient of determination بقيم أكبر أو مساوية 0.5 لكل من الخصائص (SOC, pH, $CaCO_3$, CEC) للمنطقة الأولى، ونتائج تنبؤ قريبة من المتوسط ($0.5 > R^2_{cv} >$ 0.39) لكل من الخصائص (Clay, Iron, CEC) للمنطقة الثانية و تنبؤ متوسط للطين في المنطقة الاولى.

إن نموذج حركة الفسفور في التربة والذي تم تصميمه من قبل كل من (Jones وزملاؤه، 1984) ميز خمسة أشكال Pools مختلفة من الفسفور داخل التربة، حيث ضم النموذج ثلاثة أشكال من فسفور التربة المعدني Mineral Soil P وشكلين من الفسفور العضوي Organic Soil P. تم التركيز في هذه البحث على أربعة أشكال من الفسفور في ترب منطقة الدراسة وشَملت كل من الفسفور المتاح المستخلص بطريقة أولسن Available Phosphorus P_{OLSEN}، والفسفور المعدني النشط (المثبت جزئياً) Active Mineral Phosphorus P_{act}، والفسفور المعدني المستقر (المثبت) Stable Mineral Phosphorus P_{sta}، والفسفور العضوي النشط Active Organic Phosphorus OP_{act}، وبما أن الفسفور العضوي الطازج Fresh Organic P يمثل فقط كميات الفسفور الموجودة في المخلفات النباتية على سطح التربة (Radcliffe وزملاؤه، 2009)، فقد تم إهمال هذا الشكل من الفسفور خلال تنفيذ عملية النمذجة لدراسة تحولات عنصر الفسفور في ترب منطقة الدراسة.

يُعد الفسفور المعدني المتاح أحدِ أشكال الفسفور المعدني الذائب في محلول التربة Soil Solution أو المدمص بصورة ضعيفة Weakly Adsorbed على معقد التربة Soil Matrix، وبالتالي فهو يمثل الفسفور المتاح

للامتصاص من قبل النبات، كما يعتبر الفسفور المعدني النشط مخزن للفسفور القابل للتحول إلى فسفور متاح لإفادة النباتات وهو فسفور مستقر نسبياً (مثبت جزئياً) وقابل للادمصاص Desorbable بصور بطيئة (Vadas وزملاؤه، 2006) ويشكل مع الفسفور المعدني المستقر في التربة إضافة للفسفور المتاح للامتصاص من قبل النبات ما يسمى بالفسفور المعدني الكلي Total Mineral Soil P، و يتكون الفسفور المعدني المستقر من بلورات منخفضة الذوبان، حيث يرتبط الفسفور في هذا الشكل بصورة قوية مع الجزيئات المعدنية المتواجدة في التربة (مثبت)، ولذلك فإن جزء صغير من الفسفور المتواجد في التربة بهذا الشكل يصبح متاحاً للامتصاص من قبل النباتات بمعدلات منخفضة جداً، كما يوجد الفسفور العضوي النشط في المادة العضوية الدبالية للتربة، وبالتالي فإن كميته أكبر بكثير من كمية الفسفور الموجود في البقايا النباتية على سطح التربة.

تم في هذه الدراسة تطبيق خوارزمية كل من (Jones وزملاؤه، 1984) لتتبع معدنة الفسفور العضوي النشط في ترب منطقة الدراسة، حيث يتم في هذه الخوارزمية استخدام عاملين محددين لنشاط الأحياء الدقيقة في التربة وهما (درجة حرارة التربة ورطوبتها) وبالتالي تأثيرهما على سير عملية المعدنة ودرجتها والتي يجري حسابها في هذه الدراسة بشكل يومي من خلال نموذج رياضي تم تصميمه لهذا الغرض، كما تم تطبيق نفس الخوارزمية السابقة مع إجراء تعديلات على بعض مكونات هذه الخوارزمية لدراسة حركة الفسفور المعدني في ترب منطقة الدراسة بين الأشكال المعدنية الثلاثة (الفسفور المتاح، الفسفور المعدني النشط (المثبت جزئياً)، الفسفور المعدني المستقر (المثبت)) حيث تحكم معادلات هذه الخوارزمية حركة الفسفور المعدني في التربة بالاعتماد على مبدأ يقوم على وجود توازن سريع بين تركيز الفسفور الذائب في محلول التربة وتركيز الفسفور الموجود بالشكل المعدني النشط، ووجود توازن بطيء بين تركيز الفسفور الموجود بالشكل المعدني النشط وتركيز الفسفور الموجود بالشكل المعدني المستقر المخطط (2)، حيث بينت دراسات عديدة (Barrow و Shaw، 1975; Munns و Fox، 1976; Rajan و Fox، 1972; Sharpley، 1982) أن تركيز الفسفور الذائب المضاف إلى التربة ينخفض بشكل سريع مع الوقت نتيجة لتفاعله مع مكونات التربة و لا تلبث وتيرة هذا التفاعل الأولي السريع أن تنخفض مؤدية إلى تناقص في تركيز فسفور التربة الذائب بصورة أبطأ يمكن أن تستمر لعدة سنوات، وهذا ما وجده أيضاً (الحافظ وزملاؤه، 2013) من خلال تجربة حقلية على تربة كلسية جرى تنفيذها في كلية الزراعة بأبي جرش حيث بينوا أن أضافة سماد السوبر فوسفات قبل الزراعة و على أعماق مختلفة أدى إلى زيادة تركيز الفسفور المتاح خلال 48 ساعة من الإضافة في أعماق الاعتيان المدروسة جميعها واستمرار هذا التزايد بعد 15 يوماً من الزراعة، ومن ثم البدء بتناقص تركيز الفسفور المتاح بعد 30 يوماً من الزراعة واستمرار هذا التناقص بمعدل ثابت تقريباً خلال أزمنة الاعتيان المختلفة حتى بلغ النصف بعد 90 يوماً من الزراعة مقارنة بالزمن صفر (بعد الزراعة مباشرةً) وقد عزوا ذلك إلى دخول فوسفات الكلسيوم الأحادية المنحلة بفعل رطوبة التربة الجيدة ودرجة الحرارة المتوسطة في تفاعلات عكوسه تهدف إلى العودة إلى حالة التوازن متحولة من شكل ذائب إلى آخر أقل ذوباناً، وهذا التحول يحتاج إلى مدة تزيد على 30 يوماً في حين سيطرت في هذه المدة الأشكال الذوابة والمتاحة للنبات. يتم حالياً استخدام خوارزمية كل من (Jones وزملاؤه،

1984) المتعلقة بدراسة كل من معدنة الفسفور العضوي النشط، وحركة الفسفور المعدني في التربة في نماذج محاكاة عديدة ومنها Soil and Water Assessment Tool SWAT (Arnold وزملاؤه، 1998)، وهو نموذج رياضي مفتوح المصدر Open Source تم تطويره للتنبؤ بتأثير ممارسات الادارة المختلفة في الاراضي الزراعية على كل من المياه وحجم الرواسب Sediment والمواد الكيميائية الزراعية (اسمدة – مبيدات) التي تزاح من الاحواض المائية خلال فترات زمنية طويلة باتجاه المصادر المائية (Entsch وزملاؤه، 2005). كما يقوم برنامج SWAT بالتنبؤ بتأثير كل من عوامل (التضاريس، التربة، استعمالات الاراضي، الادارة، العوامل المناخية) على كل من (المياه، حجم الرواسب، العناصر الغذائية (N – P)) والمواد الكيميائية الزراعية المزاحة من الاحواض المائية عند مقاييس مكانية مختلفة (Gassman وزملاؤه، 2007). تم استخدام النموذج SWAT بصورة واسعة في نمذجة كميات الفسفور المزاحة خارج الأحواض المائية وبخاصة الفسفور الموجود في الأراضي الزراعية (Lin وزملاؤه، 2009; Santhi وزملاؤه، 2001; Veith وزملاؤه، 2005). إن المعادلات المستخدمة في نمذجة دورة عنصر الفسفور في الاحواض المائية في النموذج SWAT وغيره من النماذج الرياضية كالنموذج GLEAMS (Leonard وزملاؤه، 1987) والنموذج ANSWERS (Bouraoui وDillaha، 1996) كان قد جرى تطويرها بدايةً للعمل ضمن النموذج Erosion – Productivity Impact Calculator EPIC (Williams وزملاؤه، 1982).

يتطلب برنامج المحاكاة SWAT في بداية عمله عند دراسة حركة الفسفور وتحولاته في التربة تركيز كل من الفسفور المتاح والفسفور العضوي فقط، حيث يتم من خلال خوارزمية (Jones وزملاؤه، 1984) المعمول بها في برنامج SWAT استخدام تركيز الفسفور المتاح الأولي في التربة وقيم دليل إتاحة الفسفور Phosphorus Availability Index (PAI) لحساب تركيز الفسفور المعدني النشط (المثبت جزئياً) الأولي كما يلي:

$$minP_{act} = P_{solution} * \frac{1 - pai}{pai}$$

حيث أن $minP_{act}$ كمية الفسفور المعدني النشط (المثبت جزئياً) في التربة (مغ/كغ)، $P_{solution}$ الفسفور المتاح (مغ/كغ)، pai دليل أتاحة الفسفور.

ويتم حساب تركيز الفسفور المعدني المستقر (المثبت) الأولي في برنامج SWAT بالاعتماد على فرضية (Jones وزملاؤه، 1984) كما يلي:

$$minP_{sta} = 4 * minP_{act}$$

لإدخالهما فيما بعد في عملية النمذجة ودراسة تحولات الفسفور في التربة، في حين تم في هذه الدراسة تحديد تركيز الفسفور المعدني النشط (المثبت جزئياً) الأولي وتركيز الفسفور المعدني المستقر (المثبت) الأولي من تركيز الفسفور المعدني الكلي الأولي وتركيزالفسفور المتاح الأولي والذين تم حسابهما في بداية العمل من خلال إجراء تحليل مخبري لعينات ترابية حقلية (151 عينة تربة سطحية موزعة على كامل منطقة الدراسة) جُمعت

في بداية العمل لدراسة تحولات الفسفور في ترب منطقة الدراسة بالاعتماد على فرضية (Haney وزملاؤه، 2013) المذكورة في طرائق العمل.

إن دليل إتاحة الفسفور في التربة Phosphorus Availability Index (PAI) والذي يسمى بمعامل الادمصاص Sorption Coefficient يحكم التوازن القائم بين الفسفور الذائب في محلول التربة (المتاح) والفسفور المعدني النشط، وبالتالي وحسب (Jones وزملائه، 1984) فإن الفسفور المعدني النشط تتحدد قيمته الأولية في التربة من مجمل الفسفور المعدني الكلي من خلال معادلة رياضية تربط بين كمية الفسفور المتاح في التربة في لحظة ما ودليل إتاحة الفسفور PAI وتعطى قيمة هذا الدليل في نموذج المحاكاة SWAT برقم افتراضي PAI=0.4 وهذا يعني ان 40 % من الفسفور المضاف إلى التربة يبقى كفسفور متاح للامتصاص و60 % يتحول إلى فسفور معدني نشط (Vadas و White، 2010). وبشكل عام فإن قيم PAI في التربة يمكن أن تحدد بصورة تجريبية من خلال إضافة كميات مختلفة من الفسفور إلى التربة بصورة $K_2HPO_4^{-1}$ ومن ثم تحضين التربة لمدة ستة أشهر على درجة حرارة 25 درجة مئوية مع تعريضها لعدد من دورات الترطيب والجفاف ليتم في نهاية فترة التحضين قياس تركيز الفسفور المتاح، ليتم بعدها حساب قيم الدليل PAI من خلال المعادلة التالية (Jones وزملاؤه، 1984; Sharpley وزملاؤه، 1984; Vadas و White، 2010):

$$PAI = \frac{P_{solution,f} - P_{solution,i}}{fert_{min,P}}$$

حيث أن $P_{solution,f}$ كمية الفسفور في محلول التربة بعد الاضافة والتحضين، $P_{solution,i}$ كمية الفسفور في محلول التربة قبل الاضافة، $fert_{min,P}$ كمية الفسفور الذائب المضاف إلى التربة.

وجد (Sharpley وزملاؤه، 1984، 1989) أنه يمكن تقدير قيم الدليل PAI في التربة من خلال معادلات Pedotransfer Functions (PTFs)باستخدام مجموعة من خصائص التربة المختلفة الفيزيائية والكيميائية ومنها (قوام التربة – pH – نسبة التشبع بالقواعد.... الخ).

2- النمذجة الرياضية لعملية التمثيل الضوئي وتكوين الكربون العضوي باستخدام البيانات الاستشعارية:

يُعد الغطاء النباتي مكوناً أساسياً في المحيط الحيوي الأرضي، كما يلعب دوراً حاسماً في توازن الكربون على سطح الكرة الأرضية، ومخففاً من ارتفاع تركيز CO_2 في الغلاف الجوي، بالإضافة إلى تحكمه بتغير المناخ عالمياً. تُعرف الإنتاجية الأولية الصافية Net Primary Productivity (NPP) بأنها الكمية الكلية من الكربون التي تنتج من خلال عملية التركيب الضوئي Photosynthesis بوحدة المساحة في زمن معين بعد اقتطاع الجزء الخاص بالتنفس Respiration Autotrophic، كما يُعد NPP الأساس في تفاعلات المادة والطاقة في الوسط البيئي Ecosystem، وإضافة إلى أن NPP يصف بوضوح كمية مدخلات الطاقة في المحيط الحيوي وكمية CO_2 المُتمثلة Assimilation في الغطاء النباتي، فإنه أيضاً يعكس دورة عملية تدفق الكربون في الغلاف الجوي والأنظمة البيئة الأرضية وداخل التربة، وإضافة إلى ذلك فإن NPP يستخدم كعامل

تقييم رئيسي في الأبحاث المتعلقة بتدفقات الكربون الإقليمية وفي تنظيم العمليات البيئية (Field وآخرون، 1998). وبما أنه لا يمكن قياس قيم NPP بواحدة (غرام كربون/م^2/ شهر) بشكل مباشر على مقاييس خرائطية كبيرة إقليمية أو عالمية، فقد أصبح من الضروري استخدام أدوات أخرى لتقدير NPP بمساعدة الحواسب والنماذج الرياضية. طور الباحثون حول العالم عدد من النماذج الرياضية بالاستعانة ببيانات الاستشعار عن بعد (Ruimy وآخرون، 1994; Ricotta وآخرون، 1994)، وبعد حوالي نصف قرن من العمل أصبح هنالك عشرات من النماذج الرياضية العالمية لتقدير NPP والتي يمكن أن تُقسم تبعاً لآلية عملها إلى نماذج إحصائية Statistical Models- نماذج معاملات Parameter Models- نماذج عملياتية Process Models (Ruimy وآخرون، 1994). يُعد النموذج Carnegie-Ames-Stanford Approach CASA أحد النماذج العملية والذي يعتمد في مفهومه على مبدأ فعالية استخدام الضوء Light Use Efficiency LUE، حيث يأخذ بعين الاعتبار في عمله كل الظروف البيئية المحيطة بالغطاء النباتي، بالإضافة لخصائص الغطاء النباتي نفسه عند تقدير NPP (Field وآخرون، 1995; Potter وآخرون، 1993)، وقد تم استخدامه بصورة واسعة في الأنظمة الأرضية لتقدير NPP (Piao وآخرون، 2001; Chen وآخرون، 2002; Fang وآخرون، 2003; Zhu وآخرون، 2017; Raza and Mahmood، 2018)، حتى الآن لم يتم استخدام النموذج CASA والبيانات الاستشعارية (بيانات المستشعر Sentinel-2) لتقدير كميات NPP تبعاً لأنواع الغطاء النباتي المختلفة السائدة بحوض الأبرش في سورية. يُعد التقدير الدقيق لفعالية استخدام الضوء عاملا مهما وحاسما في تقدير NPP باستخدام النموذج CASA، ولذلك اعتقد مطورو النموذج بأنه تحت الظروف المثالية لنمو الغطاء النباتي فإن النباتات تُظهر أقصى فعالية لاستخدام الضوء Maximum Light Use Efficiency (ε max) ووضعوا لها قيمة شهرية مساوية 0.389 غرام كربون/ ميغا جول (Potter وآخرون، 1993; Field وآخرون، 1995) ولجميع الأنواع النباتية، بينما خصص (Running وآخرون، 2000) قيم فريدة لفعالية استخدام الضوء القصوى لكل نوع نباتي وفقاً لخصائص التمثيل الضوئي التي تتميز بها الأنواع النباتية المختلفة عند تقدير قيم NPP الأرضي على مقاييس خرائطية عالمية. قام كل من (Li وآخرون، 2012) بتقدير NPP الشهري في مقاطعة Shenzhen في الصين باستخدام بيانات الدليل النباتي NDVI المشتق من بيانات التابع الصنعي MODIS ودراسة تأثير ظروف المناخ الحدية على قيم NPP، كما عمل على تعديل النموذج الخاص بحساب الجزء من الاشعاع الشمسي الفعال ضوئياً الممتص من قبل الغطاء النباتي Fraction of Photo Synthetically Active Radiation FPAR وفقاً للخوارزمية المتبعة في NASA-MOD15 (Myneni وآخرون، 2017). يُعتبر الفهم الدقيق لاستجابة النظام البيئي الأرضي للاضطرابات البيئية المختلفة أمرا بالغ الأهمية لتوضيح تأثيرات التغيرات المناخية على دورة الكربون والعمليات البيئية الأخرى على مقاييس خرائطية كبيرة عالمية وإقليميه (Kurz وآخرون، 2008; Running، 2008) ومن هذه الاضطرابات البيئية موضوع الجفاف حيث ركز (Pei وآخرون، 2013) في دراستهم على تقييم تأثيرات الجفاف على NPP في الصين.

3- تقدير معدلات امتصاص الفسفور باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية:

يُعد عدم توفر العناصر الغذائية القابلة للذوبان في محلول التربة عائقاً كبيراً لنمو النباتات وأداء وظائفها المختلفة (Ragothama، 1999; Vance وزملاؤه، 2002). تتطلب النباتات كميات كبيرة من العناصر الغذائية الكبرى بالرغم من وجود نقص كبير في هذه العناصر في غالب الأحيان (Ragothama، 1999)، ويُعد الفسفور واحداً من أقل العناصر الغذائية الكبرى إتاحة للامتصاص في محلول التربة (Vance، 2008). يلعب الفسفور دورا أساسيا في الكثير من العمليات الفيسيولوجية التي تجري ضمن النباتات، وتُعد إتاحة هذا العنصر للامتصاص في محلول التربة أمر بالغ الأهمية للحفاظ على مختلف عمليات النبات الحيوية كالتمثيل الضوئي Photosynthesis ونمو النباتات ومختلف العمليات الفيسيولوجية الأخرى (Plaxton و Carswell، 1999; Ragothama، 1999، 2000; الشاطر و أبو نقطة، 2011; الشاطر و البلخي، 2016; الشاطر و البلخي، 2017)، كما أنه لا يؤدي دور بنائي وحسب في النباتات بل ولهُ وظائف تنظيمية مهمة في استقلاب الكربون داخل النبات Carbon Metabolism ونقل الطاقة وعمليات تحويل السكريات والنشويات وحركة المغذيات (Plaxton وCarswell، 1999; Ragothama، 1999، 2000)، وبالتالي فإن نمو النباتات وأداء وظائفها المختلفة يرتبط ارتباطاً وثيقاً بوجود عناصر غذائية متاحة في محلول التربة من جهة وبقدرة النباتات على القيام بعملية التمثيل الضوئي على الوجه الأكمل من جهة أخرى. تُعد الكربوهيدرات (السكروز والنشاء) المنتج النهائي لعملية التمثيل الضوئي (Rao و Terry، 1995; Flugge وزملاؤه، 2003). يُعتبر الضوء (الاشعاع الشمسي الفعال ضوئياً Photo synthetically Active Radiation PAR) وتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي من أهم وأكثر العوامل التي تؤثر على معدلات عملية التمثيل الضوئي وبالتالي كلما زادت كمية الضوء PAR ووصل معدل التمثيل الضوئي إلى حده الأقصى فإن تركيز ثاني أكسيد الكربون يصبح العامل المحدد الأكثر أهمية وبزيادة تركيز ثاني اكسيد الكربون في الغلاف الجوي فإن تثبيت Co_2 من قبل النباتات يمكن أن يزداد إلى معدل ضعف ما هو عليه في الحالة الطبيعية تقريباً، ولذلك يمكن الاستنتاج بأنه في ضوء وجود تركيز عالي من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وكمية كبيرة من الضوء PAR فإن العامل الوحيد الآخر الذي يمكن أن يصبح عاملاً مقيداً لعملية التمثيل الضوئي هو توافر الفسفور المتاح في محلول التربة بكميات مناسبة (Sivak و Walker، 1988). وحسب كل من (Plaxton، 2004; Vance، 2008) فإن إتاحة الفسفور في محلول التربة من عدمه لا يؤثر على عملية التمثيل الضوئي فحسب بل ولهُ تأثيرات فيزيولوجية متنوعة على نمو النباتات. أشار كل من (Harpole وزملاؤه، 2011) إلى أن النقص الحاصل في إتاحة الفسفور و الآزوت للنباتات يؤدي إلى انخفاض في كمية التمثيل الضوئي ونمو النبات في أغلب الاوساط البيئية الأرضية، كما أكد كل من (Sheriff وزملاؤه، 1986) على أن وجود تسميد فسفوري في غابات الصنوبر الشعاعي زاد من الكتلة الحية النباتية القائمة ومن المعدل الأعظمي للتمثيل الضوئي، وأيضاً بينت أبحاث (Ingestad وزملاؤه، 1995) أن قدرة الورقة النباتية على التمثيل الضوئي ارتبطت بصورة عالية مع محتواها من الفسفور والآزوت، وذلك لأن التمثيل الضوئي في النباتات ذات الكربون C_3 يتم تنظيمه من قبل (N-rich Ribulose1,5-

(RuBisCo bisphosphate carboxylase/oxygenase, بالإضافة إلى معقدات يخضور/ بروتين والتي تعمل كنظام أساسي في عملية تثبيت CO_2 وامتصاص الضوء على التوالي (Field و Mooney، 1986; Jiang وزملاؤه، 1993; Zubillaga وزملاؤه، 2002; Wang وزملاؤه، 2012)، وأيضاً دخول الفسفور كعنصر غذائي أساسي للنباتات في تركيب مركبات هامة منها ATP Adenosine Triphosphate, NADPH Nicotinamide Adenosine Dinucleotide Phosphate، الاحماض النووية، السكريات الفوسفاتية، الفوسفوليبيدات وجميعها تلعب أدوار هامة في التمثيل الضوئي (Hammond و White، 2008). كما استنتج كل من (Walker و Robinson، 1978; Rychter و Rao، 2005) أن مقابل كل ثلاثة جزيئات من ثاني أكسيد الكربون يتم تثبيته فإنه يتم استهلاك تسعة جزيئات من الأورثوفوسفات Orthophosphate، وبالتالي وحسب كل من (Flugge وزملاؤه، 2003) فإن التعويض المستمر والجيد للفسفور المتاح في محلول التربة أمر هام وضروري للحفاظ على عملية تثبيت كربون التمثيل الضوئي. كما أشار كل من (Field و Mooney، 1986) إلى وجود علاقة أساسية بين تزويد النباتات بالفسفور والآزوت وقدرة الورقة على التمثيل الضوئي Leaf Photosynthetic Capacity بغض النظر عن الأنواع النباتية أو ظروف النمو، وبناءً على تلك المفاهيم السابقة فقد تم تطوير عدد من النماذج الرياضية والتي تربط بين قيم الإنتاجية الأولية الصافية NPP المتمثلة من قبل الأنواع النباتية المختلفة المتواجدة في منطقة ما ومقدار امتصاص بعض العناصر الغذائية من التربة كالفسفور والآزوت (Paul و Tonu، 1997; Zhu وزملاؤه، 2003 a,b)، جرى بعدها تنفيذ العديد من الدراسات والأبحاث لتقدير معدلات امتصاص العناصر الغذائية (الفسفور والآزوت) في عدد من الأحواض المائية وتبيان التوزع المكاني لها وفقاً لنوع وطبيعة الغطاء النباتي المنتشر في مناطق الدراسة وذلك كدراسات منفصلة أو من ضمن نماذج رياضية مائية (هيدرولوجية) بيئية تحاكي دورة عنصر الفسفور والآزوت في مناطق الأحواض المائية وتعتمد بشكل رئيسي على بيانات الاستشعار عن بعد كمدخلات لتلك النماذج (Wang وزملاؤه، 2011; Dong وزملاؤه، 2014; Yang وزملاؤه، 2018). أشارت النتائج التي حصل عليها كل من (Wang وزملاؤه، 2011) في دراسة تم تنفيذها في حوض Guanting، شمال غرب مدينة بكين في الصين لتقييم كميات الآزوت المزاح نتيجة لامتصاصه من قبل الغطاء النباتي المنتشر في منطقة الدراسة باستخدام سلسلة زمنية من الصور الفضائية، إلى وجود توافق بين منحنى التغيرات الشهرية الحاصلة في قيم NPP المحسوبة في منطقة الدراسة (غرام كربون/م^2) من شهر آذار وحتى شهر أيلول ومنحنى التغيرات الحاصلة في معدلات امتصاص الآزوت خلال نفس الأشهر (غرام آزوت/م^2) مما يُشير إلى وجود علاقة ارتباط قوية بين الكربون والآزوت في النظام البيئي المتواجد في منطقة الدراسة وهذا ما يجعل هذه المعلومة هامة عند توظيفها في المراقبة المستمرة لمعدلات امتصاص الآزوت من قبل الغطاء النباتي في منطقة ما باستخدام البيانات الاستشعارية وخصوصاً في غياب بيانات تحقق أرضية فعالة عن العناصر الغذائية الممتصة وبخاصة للفسفور والآزوت، كما بين كل من (Dong وزملاؤه، 2014) في دراسة هدفت لإيجاد طريقة مبنية على الدمج بين عدد من النماذج الموجهة Oriented Models والبيانات الاستشعارية لإجراء محاكاة مكانية لدورة عنصر الفسفور

في منطقة دراسية من جهة ولإجراء تقييم مكاني لقدرة منطقة الدراسة المحيطة بالخزان المائي الموجود في المنطقة على الاحتفاظ بالفسفور في النطاقات المكانية المتشاطئة مع الخزان المائي ومنع وصول الفسفور إليه وأيضاً لحساب قيم الفسفور الممتص في منطقة الدراسة باستخدام معادلات (Paul و Tonu، 1997) و سلسلة من الصور الفضائية، حيث وجدوا تطابقا بين منحنى التغيرات الشهرية الحاصلة في امتصاص عنصر الفسفور في منطقة الدراسة من شهر آذار وحتى شهر أيلول ومنحنى التغيرات الشهرية الحاصلة في قيم NPP وهذا ما دل على وجود علاقة قوية بين الكربون والفسفور يمكن من خلالها التنبؤ بقيم الفسفور الممتص من خلال قيم NPP المتمثلة في منطقة الدراسة.

4- تقدير كميات الترب المنجرفة باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية والحقلية:

يُعد إنجراف التربة Soil Erosion من الأخطار الأساسية التي تهدد الزراعة المستدامة في أي منطقة باعتبار أن التربة هي المكون الرئيسي من مكونات الإنتاج الزراعي، لذلك فإن التقييم الدقيق لمخاطر إنجراف التربة وإعداد الخرائط اللازمة التي تحدد المساحات الأكثر عرضة للإنجراف في منطقة ما يمكن أن يساعد في تبيان حالة الأراضي وإجراء عمليات الصيانة السريعة للحد من الإنجراف، كما وتساعد على تحقيق الإدارة المثلى في المنطقة المستهدفة (Sharma وزملاؤه، 2012). أدت الحاجة الكبيرة لوجود برامج إدارة وتطوير ضمن الأحواض المائية للإستفادة القصوى من مصادرها المختلفة إلى تزايد الطلب على المعلومات والبيانات الدقيقة حول كميات الجريان السطحي Runoff وكميات الرواسب الداخلة والخارجة من وإلى الأحواض المائية (Hakim و Chandrakaran، 2005). أن إنجراف التربة وعمليات الترسيب Sedimentation تتأثر بالعديد من العوامل البيوفيزيائية Biophysical والبشرية، وتحدث بشدات مختلفة خلال الحوض المائي، غير أن المقياس المكاني لهذه العمليات لا يزال غير مفهوم، الأمر الذي يجعل متابعة وتقييم عمليات إنجراف التربة والترسيب مهمة معقدة ومرهقة، مع قدر كبير من عدم الثقة، ونتيجة لذلك فإن هنالك حاجة إلى تعيين قيم إنجراف التربة والترسيب بصورة كمية من خلال مقاييس حقلية ومراصد متابعة إقليمية حتى يتسنى تحليل مدى تأثيرها على إنتاجية التربة في الموقع المدروس وكذلك تأثيرها خارج الموقع على الجداول والمسيلات المائية (Wickenkamp وزملاؤه، 2000). إن التحليل المكاني يساعد في تحديد المساحات المعرضة للإنجراف المائي، كما أن التقدير المكاني الدقيق لمعدلات فقد التربة يُعد ذا أهمية قصوى في تصميم وتنفيذ عمليات السيطرة على الإنجراف أو إجراء ممارسات معينة لحفظ التربة والمياه (Shi وزملاؤه، 2004). تُعد الأحواض المائية كيانات طبيعية ذات خصائص مكانية غير متجانسة نتيجة للتباين المكاني لكل من كميات الهاطل المطري، والتضاريس، وأنواع الترب وهذا يؤدي إلى حدوث تباينات مكانية في عمليات إنجراف التربة وانتقال الرسوبيات ضمن الحوض المائي، لذلك يستلزم تطوير المنهجيات لتقدير كميات الترب المنجرفة وحجم الرسوبيات وذلك بتقسيم الحوض المائي إلى مساحات أصغر تتميز بتجانس في الخصائص الطبوغرافية والترابية والتوزيع المنتظم للأمطار ضمنها و استخدام بيانات كثيفة وموزعة بشكل جيد ضمن الحوض (Young وزملاؤه، 1987; Beven، 1989). تُعد نظم المعلومات الجغرافية GIS من المنهجيات المناسبة

والملائمة في تحليل التباين المكاني للعوامل المؤثرة في إنجراف التربة (الطبوغرافية، التربة، واستعمالات الأراضي والغطاء الأرضي)، حيث أدى التقدم التقني في نظم GIS إلى تطوير نماذج محاكاة مختلفة لتقييم وتقدير كميات الترب المنجرفة، وقد قُسمت النماذج إلى نماذج تجريبية Empirical Models تعتمد على بيانات حقلية ونماذج فيزيائية Physically Models تعتمد على معادلات تطبيقية مناسبة. يتم حالياً تقدير الإنجراف بتطبيق النماذج التجريبية على نطاق واسع، وذلك يعود إلى بساطتها وسهولة استخدامها، وعدم حاجتها إلى مدخلات كثيرة مقارنة بالنماذج الأخرى الأكثر شمولية. وتُعد معادلة فقد التربة العالمية Universal Soil Loss Equation USLE والتي تم تطويرها من قبل كل من (Wischmeier و Smith، 1978) واحدة من أكثر النماذج التجريبية فعاليةً وتطبيقاً على نطاق واسع وبخاصة عند تقييم فقد التربة بنتيجة الإنجراف المائي في غياب القياسات الحقلية (Efthimiou وزملاؤه، 2014). كما تم تطوير النموذج USLE ليصبح Revised Universal Soil Loss Equation RUSLE من قبل كل من (Renard وزملاؤه، 1991) لدمج نتائج البحوث الإضافية التي جرت لاحقاً، (التجارب، والبيانات، والموارد المتاحة، والفهم العميق لعملية الإنجراف المائي) وقد بقي الشكل الأساسي للمعادلة كما هو، بينما تم إجراء العديد من التعديلات على طرائق حساب العوامل الداخلة في تشكيل المعادلة. إن استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد و GIS يجعل عملية تقدير كميات الترب المنجرفة وتوزعها المكاني في منطقة ما أمراً مجدياً مع تكاليف معقولة ودقة جيدة وخاصة في المساحات الصغيرة (Millward وMersey، 1999; Fu وزملاؤه، 2005; Aydin وTecimen، 2010; Chen وزملاؤه، 2011). قام كل من (صفوان وزملاؤه، 2016) بتقدير كميات الترب المنجرفة في منطقة الشيخ بدر بسورية باستخدام المعادلة العالمية للإنجراف RUSLE وبرنامج WEPP، فتراوحت كميات الترب المنجرفة حسب النموذج RUSLE بين (2.8 و146 طن. هكتار$^{-1}$ سنة$^{-1}$)، بينما كانت حسب النموذج WEPP بين (3.564 و 288 طن.هكتار$^{-1}$ سنة$^{-1}$). أشار كل من (AL-Abed وزملاؤه، 2018) في دراسة على كامل محافظة طرطوس بسورية لتقدير كميات الترب المنجرفة أن الإنجراف المائي يهدد بصورة رئيسية الأتربة في المناطق الجبلية والمرتفعة حيث تغيب التغطية النباتية الطبيعية أو توجد بشكل متفرق، إضافة لتعرض هذه المناطق لكميات هطل مطري غزير مما يساعد في زيادة وتيرة فقد التربة نتيجة للإنجراف، حيث يصل فقد التربة السنوي في بعض المناطق إلى 150 طن. هكتار$^{-1}$ سنة$^{-1}$.

5- تقدير عمق الجريان السطحي باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية والحقلية:

يُعرف الجريان السطحي Surface Runoff بانه كمية الامطار التي تزيد عن قدرة امتصاص التربة نتيجة استمرار وزيادة كمية الامطار عن معدلات التسرب والتبخر، أي بعد وصول التربة إلى مرحلة الاشباع يبدأ الماء بالجريان على سطح الأرض تبعاً لدرجة انحدار السطح، إلى أن تصل المياه إلى أحد المجاري المائية. يُعد تقدير عمق الجريان Depth Runoff وتقييمه مسألة مهمة وذات صلة مباشرة بالدراسات والأبحاث الهيدرولوجية، إضافة للدراسات الجغرافية والبيئية، كما يُعتبر الجريان السطحي من العوامل الهامة المساهمة في تطور الفيضانات المائية وحدوث إنجراف للتربة وانتشار الملوثات وغيرها من الأخطار الهيدرولوجية الأخرى،

كما أن التقدير الدقيق لعمق وحجم الجريان السطحي الناتج عن هطل الأمطار من المهام الأساسية والهامة في إدارة الأحواض المائية والتي تشمل كيفية السيطرة والتحكم في الفيضانات وإدارتها، إضافة لكيفية تصميم شبكات الري والصرف، ومن هذه النقطة يعتبر التنبؤ بالمواقع والمساحات الحرجة الأكثر عرضة للجريان السطحي بعد هطل الأمطار في حوض مائي من الطرائق الفعالة في التقليل من الأضرار الناجمة عن الفيضانات وكيفية إدارتها. توجد عدة طرائق ونماذج لتقدير عمق الجريان السطحي وتبيان توزعه المكاني في الحوض المائي ومنها على سبيل المثال النموذج Artificial Neural Network (ANN)، والنموذج الذي يعتمد على طريقة قسم صيانة التربة الأمريكية Soil Conservation Service (SCS) والتي تُعرف بطريقة رقم المنحني SCS – Curve Number (CN) (Mishra و Singh، 2003). تُعد عملية تقدير عمق وحجم الجريان السطحي للمياه في منطقة ما من العمليات الصعبة والمعقدة والتي تستغرق وقتاً وجهداً كبيرين، إضافة للتكاليف العالية التي يتطلبها إجراء مثل هذه القياسات باستخدام الطرائق التقليدية، كما أن إمكانية القيام بتقييم الجريانات السطحية وقياسها في المناطق ذات التضاريس الوعرة والتي يصعب الوصول إليها كالمناطق الجبلية أمر محدود وصعب التنفيذ، ولذلك فإن تقانة الاستشعار عن بعد بما توفره من بيانات ذات تغطية مكانية كبيرة وبتكرارية زمنية مناسبة وتكلفة منخفضة يمكن أن تكون بديلا أكثر دقة وسهولة عند تقدير عمق الجريان السطحي على مستوى الحوض المائي (Murmu و Biswas، 2012). استخدم عدد من الباحثين حول العالم بنجاح GIS وتقانة الاستشعار عن بعد في تقدير CN في حساب عمق الجريان السطحي، حيث أشار كل من (Gajbhiya و Mishra، 2012) إلى أن الاستشعار عن بعد و GIS من التقانات الموثوقة جداً في اشتقاق و تحضير البيانات الداخلة في حساب قيم CN الخاصة بتقدير عمق الجريان السطحي. حدد كل من (Jasrotia وزملاؤه، 2002) العلاقة بين كمية الهطل المطري وعمق الجريان السطحي Rainfall – Runoff في حوض Tons المائي باستخدام طريقة SCS - CN والبيانات المشتقة من تقانة الاستشعار عن بعد. استنتج كل من (Ahmed و Verma، 2015) أن طريقة SCS – CN المبنية على البيانات الاستشعارية يمكن أن تستخدم بفعالية لتقدير الجريان السطحي من أحواض الأنهار ذات الخصائص الجغرافية المائية Geo - hydrological المشابهة. استخدم (العكام وزملاؤه، 2015) طريقة (SCS - CN) لتقدير حجم الجريان السطحي لحوض وادي دويريج الواقع في محافظة ميسان جنوب شرق العراق، بالاعتماد على بيانات الاستشعار عن بعد لتحديد نوع التربة الهيدرولوجية وتحديد نوع الغطاء الارضي وغيرها من التفاصيل المستخدمة في حساب حجم الجريان السطحي. كما قام (حميد، 2016) بتقدير حجم الجريان السطحي في وادي المر الجنوبي – شمالي العراق عن طريق تحليل البيانات الفضائية وبيانات نموذج الارتفاع الرقمي DEM من خلال توظيف مجموعة من البرمجيات لاستخراج بعض الخصائص الهيدرولوجية لحوض وادي المرالجنوبي والذي تبلغ مساحته (158 كم^2)، حيث تم تحليل بعض المعطيات الطبيعية للحوض كالتربة، وتصنيف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي بالاعتماد على SCS للحصول على قيم رقم المنحنى CN ومن ثم حساب عمق وحجم الجريان السطحي.

6- تحديد وإظهار المساحات الزراعية الأكثرعرضة لفقد الفسفور:

تُعرف المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور أو ما يسمى مساحات مصادر الفسفور الحرجة Critical Phosphorus Source Areas ($CPSA_S$) بأنها المناطق التي يترافق فيها وجود عوامل نقل الفسفور باتجاه المسطحات المائية Transport Factors مع عوامل مصدر الفسفور Source Factors (Sharpley و Jarvie، 2012; Xie و Zho، 2016)، حيث يوجد عدد من العوامل المؤثرة على فقد الفسفور وانتقاله باتجاه المسطحات المائية تتضمن (الهطل المطري، الطبوغرافية، إنجراف التربة، الجريان السطحي، البعد أو القرب عن المسطحات المائية Euclidean distance، استعمالات الأراضي /الغطاء الأرضي، وتركيز الفسفور في التربة)، وقد تم تحديد هذه العوامل لأول مرة من خلال التجارب الحقلية التي أجريت على فقد الفسفور في مواقع محددة، ومع ذلك فإن هنالك حاجة كبيرة لإيجاد طرائق مختلفة لتحديد $CPSA_S$. يعمل الهطل المطري على توليد جريان سطحي وتحت سطحي، حيث يمكن أن تزيد هذه العملية بصورة معنوية من فقد الفسفور الذائب في التربة (Weld وزملاؤه، 2001; Chang، 2010; Liu وزملاؤه، 2014). تعمل الانحدارات الشديدة على زيادة معدلات الجريان السطحي وإنجراف التربة وهذا يزيد بالتالي من فقد الفسفور بالشكلين الذائب والجزيئي غير الذائب (Kovacs وزملاؤه، 2012; Hahn وزملاؤه، 2014)، وبما أن إنجراف التربة يعتبر من العمليات المعقدة في الطبيعية فهو يزيد بشكل مباشر وقوي من فقد الفسفور الجزيئي أو غير الذائب (Kronvang وزملاؤه، 2005; Butler وزملاؤه، 2006; Kahiluoto وزملاؤه، 2015). أن تغير أنماط استعمالات الأراضي / الغطاء الأرضي والتي تحدث عادةً بفعل النشاط البشري يمكن أن تزيد من مساحات الأراضي الزراعية على حساب الأغطية الأرضية الأخرى مما يترتب على ذلك زيادة كبيرة في معدلات التسميد الفسفوري وهذا بدوره يؤدي إلى تراكم مستويات عالية من الفسفور في التربة مما يساعد على فقده فيما بعد نتيجة لعمليات الإنجراف التي تحدث للتربة (McDowell، 2012; Lou وزملاؤه، 2015). أن زيادة تركيز الفسفور في الأراضي الزراعية بشكل واسع النطاق وعالمي يقود إلى زيادة معدلات فقده (Watson وزملاؤه، 2007; Withers وزملاؤه، 2014)، حيث يتم تحديد تراكيز الفسفور في التربة من خلال عمليات تحليل التربة وحساب كميات الأسمدة المضافة. بشكل عام يمكن تصنيف الطرائق المستخدمة في تحديد وأظهار $CPSA_S$ بصورة عامة في ثلاث أنواع وهي تقنية تتبع النظائر Isotope Trace Technique، نماذج دليل الفسفور P-index، و النماذج البيئية الهيدرولوجية Ecohydrological. تستخدم تقنية تتبع النظائر عناصر مشعة لتتبع مسارات فقد الفسفور ومن ثم تحديد $CPSA_S$ (Zhang و Shan، 2008; Wang وزملاؤه، 2011 a, b)، كما تعمل نماذج دليل الفسفور على الدمج بين عوامل النقل للفسفور وعوامل المصدر لإظهار مدى ضعف وهشاشة المنطقة المدروسة في فقد الفسفور منها وبالتالي تحديد $CPSA_S$ (Lemunyon و Gilbert، 1993; Zhou و Gao، 2011)، كما تستخدم النماذج البيئية الهيدرولوجية في تحديد CPSAS بصورة متكررة وبخاصة النماذج التي تعتمد على بيانات الاستشعار عن بعد في عملها (White وزملاؤه، 2009; Rivero وزملاؤه، 2009; Hahn وزملاؤه، 2014). تركز كل من طرائق تقنية تتبع النظائر و نماذج

دليل الفسفور بصورة عامة على المقاييس المكانية الصغيرة، وبالرغم من أن النماذج البيئية الهيدرولوجية تهتم بحساب كميات العناصر الغذائية المزاحة خارج الاحواض المائية فإنها لا تأخذ بعين الاعتبار جميع العوامل الرئيسية التي تعمل على زيادة مساحات $CPSA_S$، فعلى سبيل المثال أشار (Wang وزملاؤه، 2011 a, b) إلى ان تقنية تتبع النظائر تناسب أكثر المقاييس الصغيرة على مستوى حقول التجارب Plot Scale، بينما بين (Zhou و Gao، 2011) أن نماذج دليل الفسفور مناسبة للمقاييس الصغيرة على مستوى الحقل او المزرعة Field Scale، في حين أوضح (Ghebremichael وزملاؤه، 2013) أن النماذج البيئية الهيدرولوجية غالباً ما تستخدم بصورة متكررة على مستوى الأحواض المائية Watershed Scale، ونتيجة لذلك غالباً ما تكون هذه الطرائق غير قادرة على اكتشاف العوامل الدافعة للتغيرات المكانية والزمانية الحاصلة في $CPSA_S$، وبالتالي يمكن من خلال نتائج نماذج الاستشعار عن بعد الوصول إلى معلومات حول تراكيز الفسفور ووصف مسارات فقده (Liu وزملاؤه، 2009; Oyama وزملاؤه، 2015; Shi وزملاؤه، 2016). قام (Zhou، 2016) من خلال دراسة هدفت لتحديد الخطورة الكامنة لفقد الفسفور من الأراضي الزراعية باتجاه المصادر المائية القريبة في أحد الاحواض المائية في الصين من خلال إجراء مجموعة من الدراسات الحقلية والتجارب باستخدام النمذجة الرياضية، بتطوير نموذج دليل الفسفور P Index Model كطريقة بسيطة وعملية تساعد في تعريف و تحديد مساحات مصادر الفسفور الحرجة Hot Spot Source Areas وتقدير إمكانية مساهمتها في تدفق الفسفور إلى المياه السطحية المجاورة، حيث أشارت الدراسة إلى أن المساحات الزراعية القريبة من الأنهار ومن الخزان المائي الموجود في المنطقة، إضافة للأراضي الزراعية حول القرى هي المصادر الرئيسية للفسفور والذي ينتقل ويزاح باتجاه الخزان المائي، كما أكدت الدراسة بوضوح على أن عوامل المصدر Source Factors وبخاصة درجة تشبع التربة بالفسفور Degree of P Saturation DPS وبالتوازي مع الممارسات الزراعية المتبعة فيما يتعلق بتطبيق الأسمدة الفسفورية المعدنية وروث الماشية، من أهم العوامل التي تحكم فقد الفسفور في المساحات الزراعية العالية الخطورة جداً والخطرة لفقد الفسفور، وعلى العكس من ذلك فإن عوامل النقل Transportation Factors هي التي حكمت خطورة فقد الفسفور في المساحات الزراعية المنخفضة الخطورة جداً والمنخفضة لفقد الفسفور.

مبررات وأهداف الدراسة

1- مبررات الدراسة:

1-1- تُعد الإدارة الزراعية السليمة للفسفور الموجود في الأراضي الزراعية، وتحديد الكميات المفقودة منه، ومسارات انتقاله إلى المسطحات المائية من الأمور الأساسية والهامة للحفاظ على جودة ونوعية المياه المستخدمة في الأغراض المختلفة، وأن من أولى الإجراءات المتخذة لإنجاز عملية الإدارة تلك هو تحديد المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد عنصر الفسفور بهدف وضع خطة زراعية وبيئية تحد من كميات الفسفور المفقودة وذلك بهدف الحفاظ على الفسفور في قطاع التربة (لاستخدامه لاحقاً في الإنتاج الزراعي وبالتالي الاقتصاد في استخدام الأسمدة والمخصبات المختلفة المضافة)، و الحد من تلوث المصادر المائية السطحية المحيطة.

1-2- تُعد منطقة الدراسة من المناطق ذات التكثيف الزراعي الكبير، حيث يتم فيها زراعة محاصيل مختلفة وعلى مدار العام، مما أدى إلى زيادة كبيرة في كميات العناصر المغذية المضافة بصورة أسمدة كيميائية ومنها الفسفور.

1-3- يوجد في منطقة الدراسة مسطح مائي (سد الأبرش) ونهر الأبرش والذين يعانيان من التلوث الصناعي والزراعي (أسمدة كيميائية، مبيدات، صرف صحي)، كما وإن طبوغرافية المنطقة المتنوعة وكمية الهطل المطري العالي شكلا عاملين حاسمين في حدوث الإنجراف المائي والجريانات المائية السطحية باتجاه مصادر المياه السطحية المحيطة حاملاً معه كميات كبيرة من مكونات التربة الكيميائة السطحية كالفسفور الذائب والفسفور الجزيئي قليل الذوبان والمرتبط مع مكونات التربة الأخرى.

1-4- معرفة مدى مساهمة الأراضي الزراعية في ظاهرة التلوث التي يعاني منها حوض نهر الأبرش وخاصة التلوث بالأسمدة الفسفورية، باعتبار أن هذا النوع من التلوث بالاسمدة الكيميائية تلوث غير نقطي أي لا يحدث من مصدر واضح ومعلوم الاحداثيات المكانية وإنما تلوث مساحي منتشر بصورة مستمرة أو متقطعة في الأراضي الزراعية مشكلاً مساحات صغيرة تكون فيها إمكانية انتقال وإزاحة الفسفور باتجاه المصادر المائية المحيطة كبيراً.

1-5- يُعد الإنجراف المائي في منطقة الدراسة (حوض الأبرش) خصوصاً والساحل السوري عموماً من أهم المشاكل التي تواجه الترب الزراعية، وذلك لأن عمليات تكوين التربة على الصخور الكلسية المنتشرة في المنطقة الساحلية تجري بصورة بطيئة ومن الصعب تعويض الفقد في هذه الترب نتيجة الإنجراف المائي الحاصل، إضافة لفقدان كميات كبيرة من العناصر المغذية وخاصة في الطبقة السطحية المعرضة للإنجراف وانتقالها إما إلى البحر أو إلى المصادر المائية المحيطة مما يؤدي إلى زيادة تلوثها بعنصري الفسفور والآزوت أو العناصر الثقيلة، يضاف إلى ذلك الفقد المستمر حالياً في الغطاء النباتي الطبيعي من غابات وحراج لأسباب مختلفة مما يساعد على تعرية التربة وبالتالي زيادة ظاهرة الإنجراف وتدهور الموارد الأرضية في المنطقة الساحلية.

2-أهداف الدراسة:

يتجلى الهدف العام للدراسة في تحديد وإظهار المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور من ترب حوض الأبرش، وتصنيفها حسب شدة الخطورة بتحديد وتحليل العوامل الرئيسية الدافعة لتشكل مثل هذه المساحات ومنها (تركيز الفسفور الكلي في التربة والتضاريس والهطل المطري وشدته وإنجراف التربة والجريان السطحي للمياه واستعمالات الأراضي والغطاء الأرضي والبعد عن المسطحات المائية)، حيث يتطلب تحقيق الهدف العام من هذه الدراسة انجاز مجموعة من الأهداف المرحلية ومنها:

2-1- إنجاز خرائط استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي Land use / Land cover الراهنة لمنطقة الدراسة.

2-2- اشتقاق المعلومات المكانية الطبوغرافية (درجات الانحدار واتجاهات الانحدار وأطوال المنحدرات...الخ) وتحديد حدود الحوض المائي وشبكة المجاري المائية ضمن منطقة الدراسة.

3-2- تقدير كميات الترب المنجرفة والجريانات السطحية الشهرية وتقييم التغيرات الفصلية في التغطية النباتية والهطل المطري على مخرجات معادلة RUSLE الخاصة بتقدير معدلات الإنجراف.

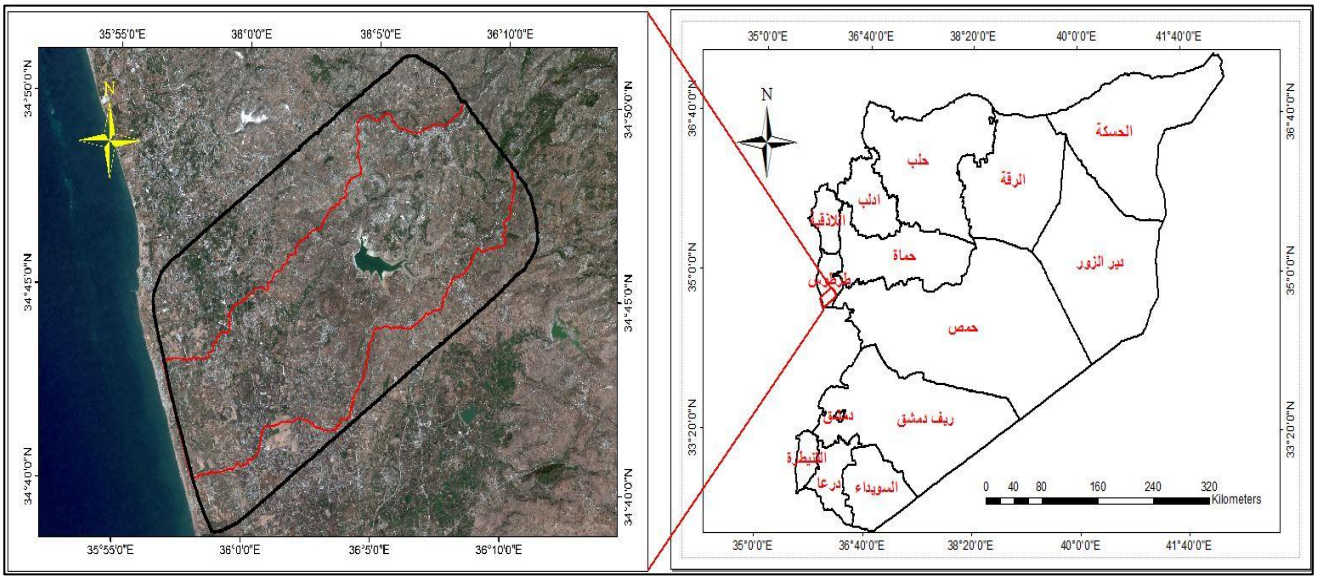
4-2- إنجاز عدد من خرائط التربة الغرضية وتصنيفها وتطبيق نماذج Pedotransfer Functions للحصول على بعض الخصائص الفيزيائية والمائية للتربة.

5-2- دراسة تحولات الفسفور وتراكيزه المختلفة في ترب منطقة الدراسة باستخدام النمذجة الرياضية والمعطيات الاستشعارية والحقلية.

منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة جنوب محافظة طرطوس بين خطي طول (56.481 35 و10.8102 36) وخطي عرض (50.5998 34 و39.23106 34) وبمساحة تقدر 285 كم^2. يتواجد في منطقة الدراسة مسطح مائي (سد الأبرش) الذي أقيم على نهر الأبرش بقدرة تخزينية تصل إلى (103 مليون متر مكعب)، ونهر الأبرش الذي ينبع من جبال الكفرون في صافيتا ثم ينحدر سريعاً باتجاه الجنوب الغربي متخللاً منطقة الدراسة ليصب في البحر المتوسط جنوب قرية الحميدية. يسود منطقة الدراسة المناخ المتوسطي المعتدل الماطر شتاءً الجاف صيفاً، كما تمتاز باعتدال درجات الحرارة في الفصول الأربعة، وارتفاع نسبة الرطوبة على مدار العام، ومعدلات هطل مطري عالية نسبياً تزيد عن (800 مم) سنوياً ويتفاوت معدل الهطل المطري من منطقة إلى أخرى داخل منطقة الدراسة فهو يتراوح بين (800 مم) سنوياً في محطة الحميدية القريبة من مصب نهر الأبرش على ساحل البحر الأبيض المتوسط و (1100 مم) في محطة صافيتا على ارتفاع (247 م) عن سطح البحر. لكن يلاحظ وجود تفاوت كبير في درجات الحرارة تبعاً للارتفاع عن سطح البحر وهذا ما يسبب تبايناً في طبيعة وتركيب الغطاء النباتي الطبيعي السائد في منطقة الدراسة ونوع الزراعات المتواجدة، حيث تنخفض معدلات درجة الحرارة بصورة عامة مع زيادة ارتفاع المنطقة عن مستوى سطح البحر، ويعد شهر كانون الثاني أبرد شهور السنة حيث تُسجل فيه أدنى قيم معدل درجة حرارة، وشهر آب أحر شهور السنة حيث تُسجل فيه أعلى قيم معدل درجة الحرارة. كما تنتشر في منطقة الدراسة زراعات متنوعة منها زراعات الزيتون في المناطق الجبلية و الوعرة والحمضيات في المناطق السهلية والأقل وعورة والزراعات المحمية وبكثافة كبيرة (خضروات بأنواعها...الخ) وبعض أنواع المحاصيل الصيفية والشتوية، كما تتواجد في منطقة الدراسة بعض المحميات الغابية والحراجية صغيرة المساحة ومنها على سبيل المثال أشجار السنديان والبلوط والسرو دائم الخضرة والخرنوب والزيتون البري والصنوبر وغيرها. تتصف ترب المنطقة المدروسة بشكل عام بمحتواها العالي من الفلزات الصخرية مثل الكوارتز SiO_2، الكالسيت $CaCO_3$، الدولوميت $CaMg(CO_3)_2$، الغضاريات المؤلفة من سيليكات (الألمينوم، الحديد والبوتاسيوم) أو البلاجيوكلاز المؤلف من سيليكات (الألمينيوم، والكلسيوم والصوديوم)، وأيضاً تحتوي هذه الترب وبنسب أقل على فلز الديوبسيد $CaMg(SiO_3)_2$، والهيماتيت Fe_2O_3 وأحياناً الأرغونيت $CaCO_3$

والأمفيبول (مجموعة من معادن السيليكات ذات اللون الغامق وتشكل بلورات موشورية أو أبرية)، حيث يتم التبادل الشاردي بين الكاتيونات والانيونات عبر شوارد الماء ضمن التربة حسب درجة pH، وحرارة التربة ورطوبتها، ويعكس محتوى هذه الترب من الفلزات ونسبها المئوية طبيعة الصخور الأم التي تحللت أو تعرت لتشكل هذه الترب عبر ملايين السنين والتي تشكل العمود الطبقي للجبال الساحلية المحيطة بهذه الترب والتي تتمثل بشكل أساسي بصخور كلسية دولوميتية، حوارية أو مارنية أو أفيوليتية وبازلتية. وهذه الفلزات لها دور هام في تثبيت بعض العناصر المعدنية التي تصل هذه الترب عبر مياه الري، المخصبات، الأسمدة وبالتالي تعيق انتقالها أو قابلية امتصاصها من قبل بعض النباتات المزروعة (قاسم وزملاؤه، 2011)، ويبين الشكل (1) حدود المنطقة.



الشكل 1. حدود منطقة الدراسة

الفصل الثاني

مواد وطرائق العمل

1- مواد العمل:

1-1- البيانات الحقلية:

1-1-1- شملت البيانات الحقلية عينات من التربة والنبات، تم جمعها من منطقة الدراسة خلال مراحل العمل المختلفة.

1-2- البيانات الاستشعارية:

استخدمت في هذه الدراسة مجموعة من البيانات الاستشعارية مختلفة المصدر والخصائص وهي على التوالي:

1-2-1- صور فضائية للتابع الصنعي Sentinel-2 بقدرة تمييز مكاني (10*10م) في المجالات الطيفية التالية (الأزرق، الأخضر، الأحمر، وتحت الأحمر القريب) غطت كامل منطقة الدراسة خلال فترة العمل الحقلي وأخذ العينات الترابية ومراحل العمل الأخرى، تم الحصول عليها من الموقع الالكتروني http://earthexplorer.usgs.gov. تتكون صور التابع الصنعي Sentinel-2 Level-1C من مجموعة من الطبقات الأولية Elementary Tiles or Granules والتي تتألف من عدد من ملفات Raster Files تُضغط باستخدام خوارزمية JPEG2000 Algorithm، والطبقة الواحدة عبارة عن صورة مرجعة مكانياً Orthorectification image (أبعادها 100*100كم) تعطى في نظام أسقاط UTM/WGS84، ويتم أرجاعها باستخدام نموذج الأرتفاع الرقمي ذو قدرة التمييز المكاني (90*90م) لتصحيح التشوهات الهندسية الأرضية. تتألف الصورة الواحدة الكاملة من 13 قناة طيفية بقدرات تمييز مكانية مختلفة (10م، 20م، 60م) وذلك حسب المجال الطيفي لكل قناة حيث تعبر القيم الراديومترية Radiometric Measurements لبكسلات صور التابع Sentinel-2 عن قيم الانعكاسية الطيفية غير المصححة من تأثيرات الغلاف الجوي Top-of-Atmosphere TOA Reflectance's والمشفرة في (12 bits)، إلا أنه في هذه الدراسة تم جمع القنوات الطيفية (b8, b4, b3, b2) والتي تعبر عن المجالات الطيفية (الأزرق، الأخضر، الأحمر، وتحت الأحمر القريب) على التوالي في صور Sentinel-2 المستخدمة في صورة واحدة، ومن ثم تم ضرب قيم الانعكاسية الطيفية في كل قناة بمعامل تحويل للحصول على قيم ينحصر مجالها بين (0 و 1) لاستخدامها في النماذج الرياضية المختلفة، والجدول (1) يبين قيم المجالات الطيفية في صور Sentinel_2 المستخدمة في الدراسة

جدول 1. مركز المجال الطيفي (ميكرومتر) وقدرة التمييز المكاني (م) لصور Sentinel_2

المجالات الطيفية للصور Sentinel_2 Bands	مركز المجال الطيفي (ميكرومتر) Central Wavelength	قدرة التمييز المكاني (م) Spatial Resolution
المجال الأزرق (2)	0.490	10
المجال الأخضر (3)	0.560	10

المجال الأحمر (4)	0.665	10
المجال تحت الأحمر القريب (8)	0.842	10

1-2-2- صور فضائية للتابع الصنعي Landsat 8 Operational Land Imager OLI and Thermal Infrared TIRS بقدرة تمييز مكاني (30*30م) في المجالات الطيفية التالية (الأزرق، الأخضر، الأحمر، وتحت الأحمر القريب) غطت كامل منطقة الدراسة خلال مراحل العمل، تم الحصول عليها من الموقع الالكتروني http://earthexplorer.usgs.gov. تتكون صور التابع الصنعي Landsat 8 من إحدى عشر قناة طيفية منها قناتين طيفيتين في المجال تحت الأحمر الحراري، وبقدرة تمييز مكانية حوالي 900 متر مربع لخلية الصورة (بكسل) وقدرة تمييز زمانية Tempopral Resolution كل 16 يوم. تم في هذه الدراسة جمع القنوات الطيفية (b5, b4, b3, b2) والتي تعبر عن المجالات الطيفية (الأزرق، الأخضر، الأحمر، وتحت الأحمر القريب) على التوالي في صور Landsat 8 المستخدمة في صورة واحدة Layer Stack، ومن ثم تحويل قيم الصور الرقمية من Digital Number (DN) إلى قيم الانعكاس الطيفي Spectral Radiance ومن ثم إلى قيم الانعكاسية الطيفية Spectral Reflectance في كل قناة باستخدام المعادلتين التاليتين للحصول على قيم ينحصر مجالها بين (0 و 1) لاستخدامها في النماذج الرياضية المختلفة.

$$L_\lambda = (Gain * DN) + Bias$$

حيث أن (Gain وBias) قيم معايرة خاصة بالصورة الفضائية وتعطى من خلال الملف الملحق بالصورة الفضائية Landsat 8 والمسمى Header File، (DN) القيم الرقمية لكل خلية من خلايا الصورة الفضائية.

يعطى الانعكاس الطيفي بالواحدة (واط/ م^2/ ستراديان/ميكرومتر).

$$P_\lambda = \frac{\pi * L_\lambda}{ESUN_\lambda * Cos\theta * d_r}$$

حيث أن (L_λ) الانعكاس الطيفي لكل قناة طيفية، ($ESUN_\lambda$) متوسط الأشعة الشمسية الواردة خارج الغلاف الجوي لكل قناة طيفية وواحدتها (واط/م^2/ ميكرومتر)، ($Cos\theta$) تجيب زاوية ورود الأشعة الشمسية، (d_r) مقلوب مربع المسافة النسبية بين الشمس والأرض، والجدول (2) يبين قيم المجالات الطيفية في صور Landsat 8 المستخدمة في الدراسة.

جدول 2. عرض القناة الطيفية (ميكرومتر) وقدرة التمييز المكاني (م) لصور Landsat 8

المجالات الطيفية للصور Landsat 8 Bands	عرض القناة الطيفية (ميكرومتر) Wavelength	قدرة التمييز المكاني (م) Spatial Resolution
المجال الأزرق (2)	0.45 – 0.51	30
المجال الأخضر (3)	0.53 – 0.59	30
المجال الأحمر (4)	0.64 – 0.67	30
المجال تحت الأحمر القريب (5)	0.85 – 0.88	30

يبين الجدول (3) نوع المستشعر وتاريخ التقاط الصور الفضائية المستخدمة في الدراسة.

جدول 3. نوع المستشعر وتاريخ التقاط الصور المستخدمة في الدراسة

تاريخ الصور	نوع المستشعر
2017/9/8	Sentinel-2 Level-1C
2017/10/18, 2017/10/8	Sentinel-2 Level-1C
2017/11/7	Sentinel-2 Level-1C
2017/12/27, 2017/12/12	Sentinel-2 Level-1C
2018/1/7	LANDSAT 8 OLI - TIRS
2018/2/8	LANDSAT 8 OLI - TIRS
2018/3/27, 2018/3/22	Sentinel-2 Level-1C
2018/4/16, 2018/4/6	Sentinel-2 Level-1C
2018/5/6	Sentinel-2 Level-1C

3-2-1- مجموعة من بيانات MODIS بلغت حوالي 72 صورة، اشتقت من الصور الفضائية الخاصة بالتابع الصنعي(Moderate Resolution Imaging Spectro radiometer (MODIS، لاستخدامها فيما بعد في أنشاء النماذج الرياضية، ومثلت بيانات عن درجة حرارة سطح الأرض Land Surface Temperature بقدرة تمييز مكاني (1*1كم)، تُعطى كمتوسطات قيم لكل ثمانية أيام، وبيانات عن قيم البخر نتح الفعلي وقيم البخر نتح الكامن بقدرة تمييز مكاني (500*500م)، تُعطى كمجموع تراكمي لقيم ثمانية أيام، حيث تم الحصول عليها من الموقع https://earthdata.nasa.gov وهي:

MOD11A2: MODIS/Terra (Land Surface Temperature 8-Day)

MOD16A2: MODIS/Terra (Net Evapotranspiration 8-Day)

4-2-1- نموذج الارتفاع الرقمي Digital Elevation Model (DEM) الذي يُعتبر تمثيل إحصائي بسيط لتضاريس سطح الأرض المستمرة بعدد كبير من النقاط المختارة معروفة الاحداثيات في حقل من الاحداثيات العشوائية، كما يعتبر من أكثر أنواع البيانات الجغرافية أهمية لاستخدامه في مجالات ودراسات مختلفة. توجد العديد من الطرائق المستخدمة في الحصول على بيانات الارتفاعات الرقمية منها على سبيل المثال الفوتوغرامتي المكاني والجوي Aerial and Spatial Photogrammetry, Radargrammetry, SAR Interferometry, Airborne Laser Scanning LIDAR، خطوط الكونتور الموجودة على الخرائط الطبوغرافية، غير أن نماذج الارتفاع الرقمي (DEM) المشتقة من بيانات الصور الفضائية المرئية لها أهمية أكبر في هذا المجال لما تتمتع به من قدرة على تحديث المعلومات المكانية بشكل مستمر، إضافة للتغطية الأرضية الواسعة، وسرعة الوصول للبيانات، وتكلفتها المنخفضة نسبياً. تم في هذه الدراسة الحصول على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي لمنطقة الدراسة بقدرة تمييز30م والمشتقة من بيانات المستشعر Shuttle Radar Topography Mission من خلال الموقع الالكتروني http://earthexplorer.usgs.gov وذلك لإدخال قيم الأرتفاع عن سطح البحر في النماذج الرياضية التي سيتم إنجازها في هذه الدراسة، ولحساب كل من درجات الانحدار Slope و اتجاه السفح Aspect، اتجاه الجريان Flow Direction وغيرها من بيانات التضاريس.

1-3- البيانات المناخية:

1-3-1- تم الحصول على قيم السطوع الشمسي الفعلية n (ساعة) اليومية لعامي 2017 و 2018 من المحطة المناخية الموجودة في مركز بحوث زاهد.

1-3-2- تم الحصول على بيانات الهطل المطري اليومية و الشهرية والسنوية لشتاء عامي 2017م و 2018م (من بداية شهر تشرين الأول 2017 وحتى نهاية أيار 2018) بقدرة تمييز مكاني 5 كم من خلال معطيات Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data (CHIRPS) global monthly average rainfall والمتاحة بصورة مجانية من قبل منظمة الأغذية والزراعة FAO (Water Productivity Open-access portal (WaPOR).

1-4- البرامج والأدوات الأخرى المستخدمة:

1-4-1- برنامج معالجة الصور الفضائية ERDAS IMAGINE Version 14.

1-4-2- برنامج نظام المعلومات الجغرافي ArcGIS version 10.2.1.

1-4-3- برنامج التحليل الإحصائي SPSS version 16.0.

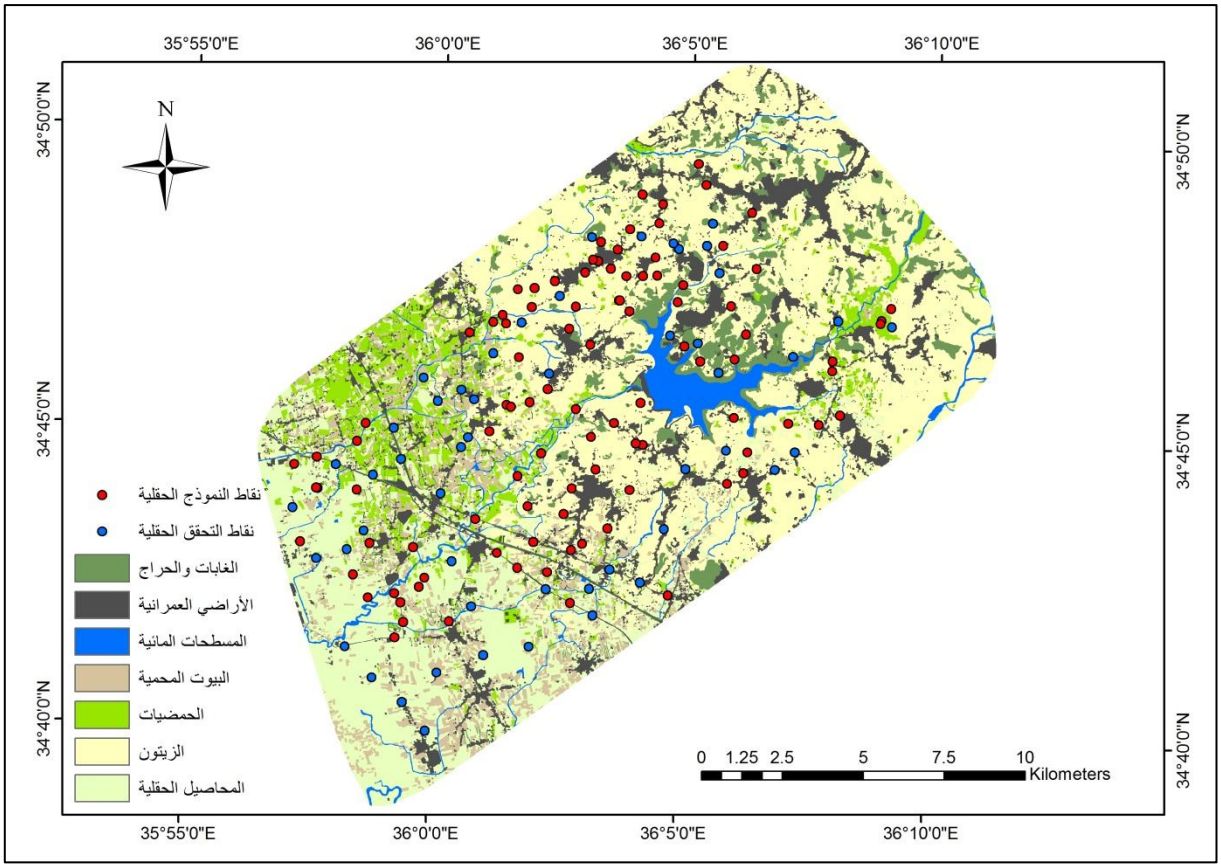
1-4-4- برنامج Microsoft Excel.

2- طرائق العمل:

2-1- العمل الحقلي:

تم في هذه الدراسة إجراء عمليتي مسح حقلي لجمع عينات نباتية من 44 نقطة موزعة على كامل منطقة الدراسة، حيث تم في الجولة الأولى التي نفذت بنهاية الشهر التاسع لعام 2017م جمع عينات نباتية (أوراق و أغصان و جذور) من أشجار الزيتون والحمضيات وأشجار الغابات المنتشرة في منطقة الدراسة، وجرى هذا العمل بالتزامن مع جمع عينات حقلية ترابية من 151 نقطة حقلية بعمق (0 – 30سم) موثقة الاحداثيات باستخدام جهاز تحديد المواقع الجغرافي Global Position System (GPS)، وموزعة على كامل منطقة الدراسة بصورة متجانسة، وتم مراعاة أن يكون توزيع النقاط ممثلا وشاملاً من حيث طبيعة الاستعمال الراهن، وطبيعة تضاريس المنطقة، والممارسات الزراعية المتبعة وذلك بالاستعانة بالصور الفضائية عالية الدقة المكانية، وتراوحت المسافات بين مواقع العينات الترابية المأخوذة (1 إلى 1.5كم)، والشكل (2) يبين توزع النقاط الحقلية في منطقة الدراسة. كما تم في الجولة الحقلية الثانية التي نفذت خلال الأسبوع الأول من الشهر الرابع لعام 2018م جمع عينات نباتية كاملة لبعض المحاصيل الحقلية المزروعة في منطقة الدراسة (القمح والذرة والحمص) المنتشرة بصورة أساسية في الجزء الغربي من منطقة الدراسة الذي يمثل جزءاً من سهل عكار، ونفذ هذا العمل بالتزامن مع جمع عينات ترابية سطحية من 23 نقطة حقلية إضافية منتشرة على كامل منطقة الدراسة. غسلت العينات النباتية بالماء المقطر ثم جففت وطحنت، وتم إجراء تحليل لتركيز عنصر الفسفور الكلي في العينات النباتية بطريقة الهضم بحمض الكبريت المركز ومن ثم قياس تركيز الفسفور في العينات على جهاز سبيكتروفوتوميتر، وشملت تحاليل العينات الترابية تقدير كل من (المادة العضوية، كربونات الكلسيوم الكلية،

pH، الكثافة الظاهرية، EC، قوام التربة، الفسفور المتاح، الفسفور المعدني، الفسفور الكلي و الفسفور العضوي).



الشكل 2. توزع النقاط الحقلية ضمن منطقة الدراسة

2-2- التحاليل المخبرية:

1-2-2- تم تقدير الفسفور الكلي (TP) في عينات التربة وذلك بترميد 1 غرام من تربة (جافة هوائياً جرى نخلها بمنخل أقطار فتحاته 2مم) لمدة ساعتين على درجة حرارة 550 درجة مئوية، ومن ثم معاملة العينة الترابية المرمدة ب 50 مل من حمض الكبريت H_2SO_4 بتركيز واحد مول كمحلول إذابة للفسفور، وبعدها رج العينة لمدة ساعتين على رجاج كهربائي، ثم ترشيح المعلق بورق ترشيح Whatman 40 وقُدر الفسفور في المستخلص بالطريقة اللونية Colorimetric باستخدام جهاز السبيكتروفوتومتر (HACH DR/4000) على طول موجة 690 نانومتر.

2-2-2- تم تقدير الفسفور المعدني (INOP) في عينات التربة بنفس الطريقة التي قُدر بها الفسفور الكلي (TP) ولكن بدون إجراء عملية ترميد للعينة الترابية.

3-2-2- تم تقدير الفسفور العضوي (OP) في عينات التربة بطريقة الأحتراق Ignition Method حسب كل من (Saunders و Williams، 1955) والتي تم تعديلها من قبل (Walker و Adams، 1958)، كما وردت هذه الطريقة في أبحاث (Turner وزملاؤه، 2003) حيث يُعطى الفسفور العضوي (OP) بالفرق بين الفسفور الكلي (TP) والفسفور المعدني (INOP) كما يلي:

$$OP = TP(\text{عينة مرمدة}) - INOP(\text{عينة غيرمرمدة})$$

2-2-4- تم استخلاص الفسفور المتاح (OLP) في التربة باستخدام طريقة أولسن (Olsen، 1954) وباستخدام هباب الفحم النشط (1غرام تضاف لكل عينة) ذو السطح النوعي العالي جداً وذلك للمساعدة على امتصاص اللون الأصفر والمائل للبني الفاتح أحياناً في محلول الاستخلاص الناتج عن انحلال جزء من المادة العضوية الدبالية بمحلول بيكربونات الصوديوم للحصول على مستخلص عديم اللون لاستخدامه في تقدير الفسفور المتاح بطريقة أولسن المعتادة.

2-2-5- تم تقدير المادة العضوية في التربة بطريقة الأكسدة الرطبة بديكرومات البوتاسيوم في وسط شديد الحموضة.

2-2-6- تم تقدير كربونات الكلسيوم الكلية باستخدام طريقة المعايرة الحجمية (Jackson، 1985).

2-2-7- تم تقدير تفاعل التربة بواسطة مقياس (pH) في معلق (1 : 2.5).

2-2-8- تم قياس نسبة الأملاح الذوابة باستخدام جهاز الموصلية الكهربائية Electrical conductivity (EC).

2-2-9- تم إجراء التحليل الميكانيكي في التربة بطريقة الهيدروميتر.

2-2-10- تم تقدير الكثافة الظاهرية للتربة بطريقة الأسطوانة.

2-3- إعداد خريطة استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة:

2-3-1- تم إنجاز خريطة استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي Land use/Land cover في منطقة الدراسة باستخدام التفسير البصري للصور الفضائية عالية ومتوسطة الدقة المكانية و برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc Map version 10.2.1، حيث تم استخدام صورة فضائية حديثة مرجعة وعالية الدقة المكانية من Google Earth وصورة فضائية متوسطة الدقة بقدرة تمييز مكاني 10م*10م من التابع الصنعي Sentinel-2 Level-1C ملتقطة بتاريخ 2017/9/8.

2-3-2- تم توصيف الخريطة الناتجة وفقاً لنظام تصنيف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي السوري المعتمد (إدريس، 2011)، وإنتاج إحصائيات تتضمن مساحة الفئات التصنيفية لاستعمالات الأراضي والغطاء الأرضي.

2-4- أنشاء النماذج الإحصائية في بداية العمل:

2-4-1- تم تطبيق طريقة الانحدار الخطى المتعدد Multiple Linear Regression، واستخدام إجرائية Stepwise Regression في برنامج التحليل الإحصائي SPSS version 16.0 لتحديد أفضل المتغيرات المستقلة من الناحية الإحصائية (المادة العضوية، كربونات الكلسيوم الكلية، PH، قوام التربة، الأملاح الذوابة، الارتفاع عن سطح البحر، درجة الانحدار، اتجاه الانحدار) والمتغيرات المساعدة الأخرى Auxiliary Variables (القرائن النباتية، القنوات الطيفية) المشتقة من البيانات الاستشعارية والتي يمكن أن تعطي ارتباطاً معنوياً عالياً مع البيانات الحقلية المستخدمة، وذلك لاشتقاق معادلات الانحدار الخطي المتعدد المعنوية الخاضعة

لكل الاختبارات الاحصائية، والتي يتم توظيفها فيما بعد في أنشاء نماذج رياضية تُمكننا من التنبؤ و تقدير كلاً من الفسفور الكلي (TP)، والفسفور العضوي (OP)، والفسفور المعدني (INOP)، والفسفور المتاح (OLP) في ترب منطقة الدراسة والتي لم يؤخذ منها عينات حقلية للتحليل المخبري أثناء تنفيذ العمل الحقلي عند جمع العينات الترابية في بداية الدراسة وذلك لإعداد خرائط رقمية تعبر عن قيم أشكال الفسفور المختلفة المتواجدة في ترب منطقة الدراسة في بداية العمل ليصار فيما بعد لاستخدام تلك الخرائط في عملية النمذجة الرياضية لدراسة تحولات الفسفور وانتقاله من شكل إلى آخر خلال مراحل الدراسة. تم في بداية العمل استخدام البيانات المخبرية الناتجة عن تحليل عينات التربة في 100 نقطة حقلية لأنشاء النماذج الاحصائية Training Points والتي ستعمل على التنبؤ بقيم الفسفور بأشكاله المختلفة في ترب منطقة الدراسة والتي لم تؤخذ لها عينات للتحليل المخبري في بداية العمل، واستخدام البيانات المخبرية في 51 نقطة حقلية Test Points لا جراء عملية التحقق من فعالية النماذج ودراسة معاملات الارتباط بين قيم الفسفور المحسوب من خلال النماذج الاحصائية في النقاط التي لم تأخذ منها عينات تربة في بداية الدراسة والقيم الحقلية المقاسة مخبرياً.

2-5- حساب القرائن النباتية:

مفهوم القرائن النباتية: هي مؤشرات تعتمد على مجالين طيفيين أو أكثر، مصممة لوصف الحالة النباتية (الانعكاس الطيفي النباتي)، وتخفيف تأثيرات كل من الأشعة الشمسية الواردة وتأثيرات التربة والغلاف الجوي. تكمن فائدة المؤشرات النباتية في قدرتها على قياس التغيرات الزمنية والمكانية للكتلة الحية النباتية وكثافتها. تم في هذه الدراسة حساب عدة قرائن نباتية من بيانات الصور الفضائية Sentinel-2 لاستخدامها فيما بعد كمتغيرات مستقلة مساعدة في أنشاء النماذج الإحصائية الخاصة بتقدير قيم الفسفور بأشكاله المختلفة في المواقع التي لم يؤخذ منها عينات ترابية للتحليل المخبري خلال مرحلة العمل الحقلي وجمع العينات في بداية الدراسة وهذه القرائن النباتية هي:

2-5-1- قرينة التغيرات النباتية Normalized Differences Vegetation Index (NDVI) حسب (Deering و Rouse، 1973).

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

حيث أن (NIR) قيمة الانعكاس للأشعة تحت الحمراء القريبة، (R) قيمة الانعكاس للأشعة الحمراء المرئية.

2-5-2- القرينة النباتية المضبوطة على التربة Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) حسب (Huete وزملاؤه، 1988).

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

حيث أن (L) معامل التربة البينية (معامل المعايرة Adjusted Factor) ويعطى قيمة (0.5)، (NIR) قيمة الانعكاس للأشعة تحت الحمراء القريبة، (R) قيمة الانعكاس للأشعة الحمراء المرئية.

2-5-3- القرينة النباتية المحسنة Enhanced Vegetation Index (EVI) حسب (Huete و زملاؤه، 1995).

$$EVI = 2.5\frac{(NIR - R)}{(NIR + 6R - 7.5BLUE + 1)}$$

حيث أن (NIR) قيمة الانعكاس للأشعة تحت الحمراء القريبة، (R) قيمة الانعكاس للأشعة الحمراء المرئية، (BLUE) قيمة الانعكاس للأشعة الزرقاء المرئية.

2-5-4- القرينة النباتية المعدلة بالتربة Modified Soil Adjusted Vegetation Index ($MSAVI_2$) حسب (Qi وزملاؤه، 1994).

$$MSAVI_2 = \frac{1}{2}\left[2(NIR + 1) - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - R)}\right]$$

2-5-5- القرينة النباتية المحسنة المضبوطة على التربة Optimized Soil Adjusted Vegetation Index (OSAVI) حسب (Rondeaux وزملاؤه، 1996).

$$OSAVI = \frac{1.16(NIR - R)}{(NIR + R + 0.16)}$$

حيث أن (NIR) قيمة الانعكاس للأشعة تحت الحمراء القريبة، (R) قيمة الانعكاس للأشعة الحمراء المرئية

2-5-6- القرينة النباتية المحولة Transformed Vegetation Index (TVI) حسب (Deering و Rouse، 1975).

$$TVI = sqrt[(NIR - R)/(NIR + R) + 0.5]$$

- قرينة نسبة الغطاء النباتي Ratio Vegetation Index (RVI) حسب (Jordan، 1969).

$$RVI = \frac{R}{NIR}$$

حيث أن (NIR) قيمة الانعكاس للأشعة تحت الحمراء القريبة، (R) قيمة الانعكاس للأشعة الحمراء المرئية

2-5-7- قرينة نسبة الغطاء النباتي Green Ratio Vegetation Index (GRVI) حسب (Sripada وزملاؤه، 2006).

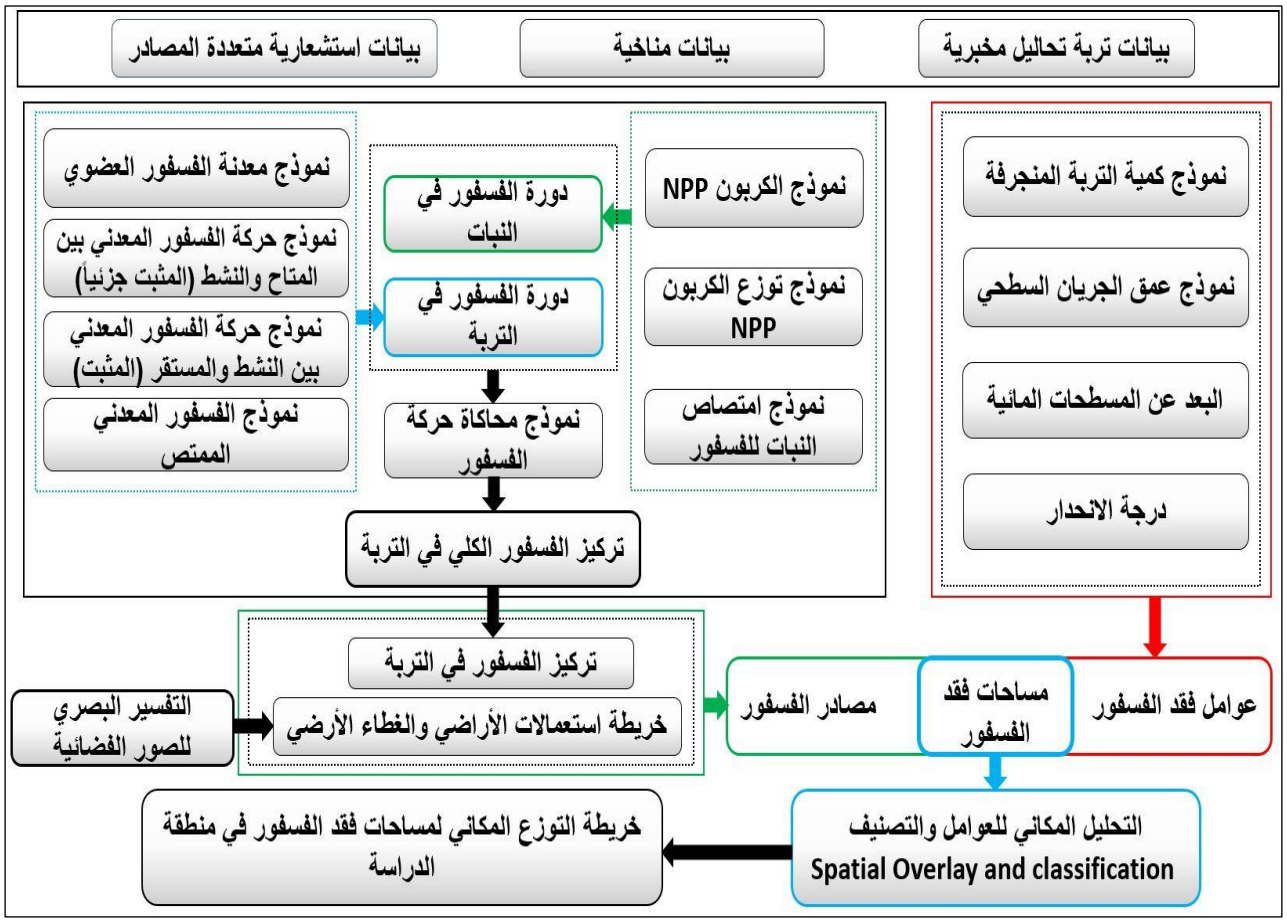
$$GRVI = \frac{NIR}{GREEN}$$

حيث أن (NIR) قيمة الانعكاس للأشعة تحت الحمراء القريبة، (GREEN) قيمة الانعكاس للأشعة الخضراء المرئية.

2-6- حساب الانحدار واتجاه الانحدار:

2-6-1- تم حساب قيم درجات الانحدار واتجاه الانحدار في منطقة الدراسة باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي (DEM).

و المخطط (1) يبين آلية العمل العام للدراسة.



المخطط 1. النموذج العام للدراسة

2-7- حساب كمية الفسفور المعدني النشط والمستقر في بداية عملية النمذجة:

2-7-1- تم حساب كمية الفسفور المعدني النشط (P_{act}) في ترب منطقة الدراسة في بداية العمل من خلال تطبيق المعادلة التالية (Haney وزملاؤه، 2013):

$$P_{act} = 18.1 + 1.6 * P_{available}$$

حيث أن ($P_{available}$) الفسفور المتاح في بداية العمل.

2-7-2- تم حساب كمية الفسفور المعدني المستقر (P_{sta}) في ترب منطقة الدراسة في بداية العمل من خلال تطبيق المعادلة التالية (Haney وزملاؤه، 2013):

$$P_{sta} = \text{Mineral Soil P} - (P_{available} + P_{act})$$

حيث أن (Mineral Soil P) الفسفور المعدني الكلي في التربة في بداية العمل.

2-8- تحديد قوام ترب منطقة الدراسة:

2-8-1- تم إنجاز نموذج رياضي في بيئة برنامج ERDAS باستخدام أداة Model Maker لتصنيف قوام ترب منطقة الدراسة بالاعتماد على نسب كل من الرمل والسلت والطين من عينات التربة التي تم تحليلها مخبرياً وباستخدام مثلث القوام الامريكي Soil Texture USDA كما يوضحه الجدول (4) التالي:

جدول 4. تصنيف قوام التربة وفقاً لمثلث القوام الأمريكي

قوام التربة	نسب كل من الرمل والسلت والطين
رملي	((silt + 1.5*clay) < 15)
رملي لومي	((silt + 1.5*clay >= 15) && (silt + 2*clay < 30))
لومي رملي	(clay >= 7 && clay < 20) && (sand > 52) && ((silt + 2*clay) >=) (30) || (clay < 7 && silt < 50 && (silt+2*clay)>=30)
لومي	(clay >= 7 && clay < 27) && (silt >= 28 && silt < 50) && (sand) (<= 52)
لومي سلتي	(silt >= 50 && (clay >= 12 && clay < 27)) || ((silt >= 50 && silt) (< 80) && clay < 12)
سلتي	(silt >= 80 && clay < 12)
لومي طيني رملي	((clay >= 20 && clay < 35) && (silt < 28) && (sand > 45))
لومي طيني	((clay >= 27 && clay < 40) && (sand > 20 && sand <= 45))
لومي طيني سلتي	((clay >= 27 && clay < 40) && (sand <= 20))
طيني رملي	(clay >= 35 && sand > 45)
طيني سلتي	(clay >= 40 && silt >= 40)
طيني	(clay >= 40 && sand <= 45 && silt < 40)

2-9- حساب قيم الكثافة الظاهرية:

2-9-1- تم حساب قيم الكثافة الظاهرية في ترب منطقة الدراسة في بداية العمل باستخدام معادلة Pedotransfer Functions (PTFs) (Tomasella و Hodnett، 1988) التالية:

$$\rho_b = 1.578 - 0.054 * OM - 0.006 * Silt - 0.004 * Clay$$

حيث أن (OM) كمية المادة العضوية %، (Silt) نسبة السلت في التربة %، (Clay) نسبة الطين في التربة %.

تم استخدام قيم الكثافة الظاهرية للتربة في عمليات التحويل لتراكيز الفسفور بأشكاله المختلفة من واحدات (غرام/م^2) إلى واحدات (مغ/كغ) وبالعكس عند تطبيق النماذج الرياضية الخاصة بالدراسة.

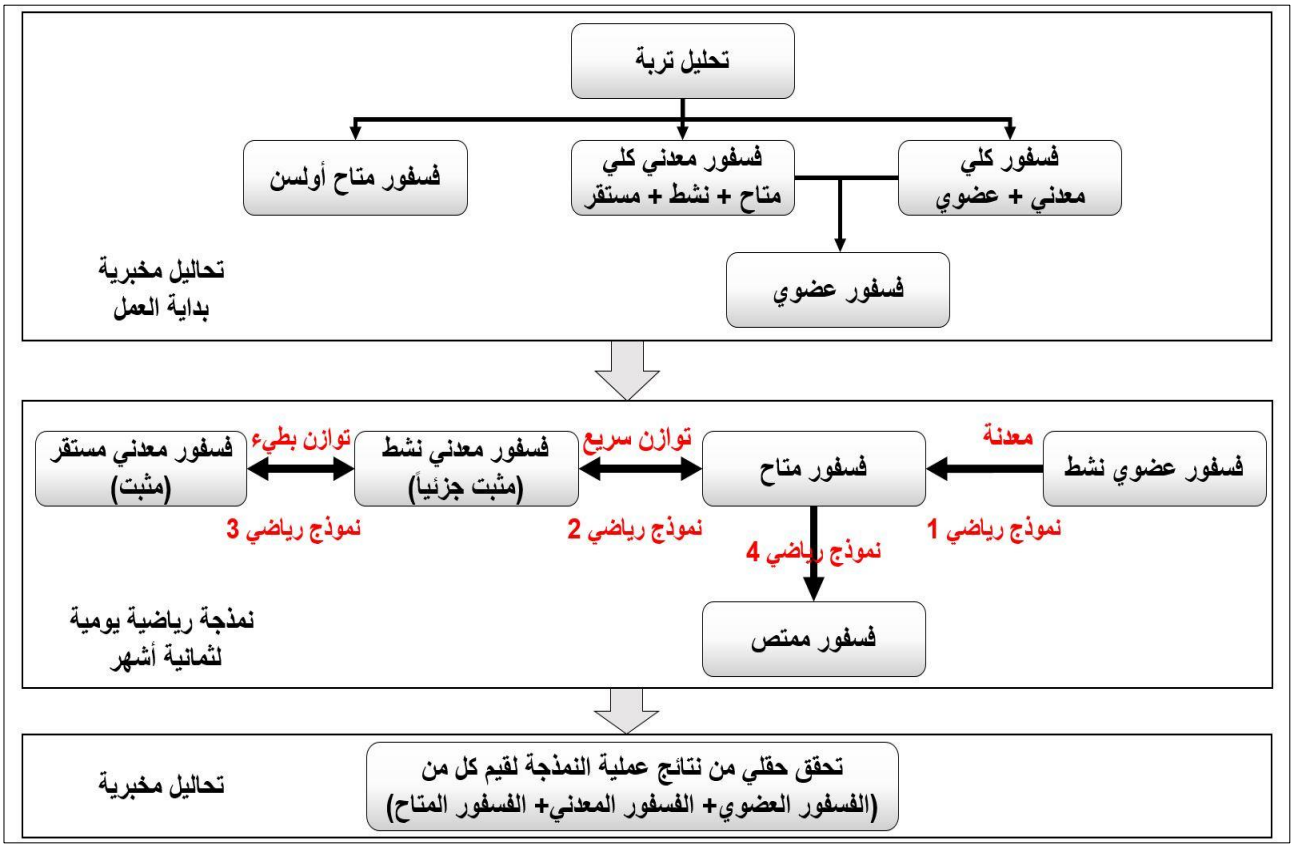
2-10- تم تحويل كميات الفسفور بأشكاله الثلاث (P_{act}, P_{sta}, $P_{available}$) في بداية العمل من واحدات (مغ/كغ) إلى واحدات (غ/م^2) من خلال المعادلة التالية:

$$\frac{gP}{m^2} = \frac{conc_P * \rho_b * depth_{ly}}{100}$$

حيث أن ($conc_P$) تركيز الفسفور في التربة (مغ/كغ)، (ρb) الكثافة الظاهرية للتربة (غرام/سم^3)، ($depth_{ly}$) عمق التربة (م).

2-11- أنشاء النماذج الرياضية لدراسة تحولات الفسفور في ترب منطقة الدراسة:

تم إنجاز النماذج الرياضية (1, 2, 3, 4) وتطبيقها في منطقة الدراسة بدايةً من شهر تشرين الأول لعام 2017 وحتى نهاية شهر أيار لعام 2018 كما يبينه المخطط (2) التالي.



المخطط 2. نماذج دراسة تحولات الفسفور في ترب منطقة الدراسة

2-11-1- نموذج المعدنة:

أ- حساب كميات الفسفور العضوي المتمعدنة في ترب منطقة الدراسة بشكل يومي ابتداءً من 2017/10/1 وحتى 2018/5/30 (نموذج 1) من خلال تطبيق المعادلة التالية (Jones وزملاؤه، 1984):

$$P_{mina} = 1.4 * \beta_{min} * (\gamma_{tmp} * W_{\varepsilon})^{0.5} * OP$$

حيث أن (P_{mina}) كمية الفسفور المتمعدنة من الفسفور العضوي (غ/م^2) والتي تضاف إلى الفسفور المتاح (OLP)، (β_{min}) معامل المعدنة Rate Coefficient for Mineralization of Humus Active Organic Nutrients والتي تُعطى في هذه الحالة وحسب الفرضية المتبعة في برنامج المحاكاة SWAT β_{min}=0.0003، (γ_{tmp}) عامل درجة الحرارة، (W_{ε}) عامل رطوبة التربة، (OP) كمية الفسفور العضوي (غ/م^2).

ب- حساب عامل درجة الحرارة Temperature Factor في ترب منطقة الدراسة من خلال المعادلة التالية (Jones وزملاؤه، 1984):

$$\gamma_{tmp} = 0.9 * \frac{T_{soil,ly}}{T_{soil,ly} + \exp[9.93 - 0.312 * T_{soil,ly}]} + 0.1$$

حيث أن (γ_{tmp}) عامل درجة الحرارة، (T_{soil}) درجة حرارة التربة (درجة مئوية).

ت- حساب عامل رطوبة التربة Water Factor في ترب منطقة الدراسة من خلال تطبيق المعادلة التالية (Potter وآخرون، 1993):

$$W_{\varepsilon} = 0.5 + 0.5 * \frac{E(x,t)}{E_p(x,t)}$$

حيث أن ((E (x , t) يمثل البخر نتح الفعلي (مم)، ((E p(x , t) يمثل البخر نتح الكامن (مم).

ث- تُضاف كمية الفسفور المتمعدنة من الفسفور العضوي في ترب منطقة الدراسة إلى الفسفور الذائب في محلول التربة والمتاح للامتصاص من قبل النباتات المخطط (2).

2-11-2- نموذج حركة الفسفور المعدني (الفسفور المتاح، النشط و المستقر) في التربة:

تم إنجاز النموذجين الرياضيين (2 ,3) الخاصين بحركة الفسفور المعدني بين الاشكال المعدنية الثلاثة (الفسفور المتاح – الفسفور المعدني النشط (المثبت جزئياً) – الفسفور المعدني المستقر (المثبت)) بشكل يومي ابتداءً من 2017/10/1 وحتى 2018/5/30 كما في المخطط (2) كما يلي:

أ- حساب قيم دليل اتاحة الفسفور PAI في ترب منطقة الدراسة التي تتراوح فيها كمية كربونات الكلسيوم الكلية بين (54 – 0.5 %) من خلال المعادلة التالية (Sharpley وزملاؤه، 1984):

$$PAI = -0.0061 * CaCO_3 + 0.58$$

حيث أن ($CaCO_3$) النسبة المئوية لكربونات الكلسيوم الكلية في التربة.

ب- تَحكم معادلات التوازن التالية حركة الفسفور في التربة بين الشكل الذائب في محلول التربة والشكل المعدني النشط (المثبت جزئياً) (Jones وزملاؤه، 1984):

$$P_{sol/act} = 0.1 * \left[P_{solution} - minP_{act} * \left(\frac{PAI}{1 - PAI}\right)\right]$$

$$\text{if} \quad P_{solution} > minP_{act} * \left(\frac{PAI}{1 - PAI}\right)$$

$$P_{sol/act} = 0.6 * \left[P_{solution} - minP_{act} * \left(\frac{PAI}{1 - PAI}\right)\right]$$

$$\text{if} \quad P_{solution} > minP_{act} * \left(\frac{PAI}{1 - PAI}\right)$$

حيث أن ($P_{sol/act}$) كمية الفسفور المنتقلة بين الشكل الذائب والشكل المعدني النشط (المثبت جزئياً) في التربة (غ/م^2)، ($P_{solution}$) كمية الفسفور في محلول التربة (غ/م^2)، ($minP_{act}$) كمية الفسفور في الشكل المعدني النشط (المثبت جزئياً) (غ/م^2)، (PAI) دليل إتاحة الفسفور.

عندما تكون إشارة القيمة ($P_{sol/act}$) موجبة فإن الفسفور في التربة ينتقل من الشكل الذائب إلى الشكل المعدني النشط (المثبت جزئياً)، وعندما تكون الاشارة سالبة فإن الفسفور ينتقل من الشكل المعدني النشط (المثبت جزئياً) إلى الشكل الذائب في محلول التربة.

ت- تَحكم معادلات التوازن التالية حركة الفسفور في التربة بين الشكل المعدني النشط (المثبت جزئياً) والشكل المعدني المستقر (المثبت) (Jones وزملاؤه، 1984):

$$P_{act/sta} = \beta_{eqP} * (4 * minP_{act} - minP_{sta})$$

$$\text{if} \quad minP_{sta} < 4 * minP_{act}$$

$$P_{act/sta} = 0.1 * \beta_{eqP} * (4 * minP_{act} - minP_{sta})$$

$$\text{if} \quad minP_{sta} > 4 * minP_{act}$$

حيث أن ($P_{act/sta}$) كمية الفسفور المنتقلة بين الشكل المعدني النشط (المثبت جزئياً) والشكل المعدني المستقر (المثبت) في التربة (غ/م^2)، (β_{eqP}) ثابت معدل التوازن البطيء Slow Equilibration Rate Constant وتساوي 0.0006 يومياً، ($minP_{act}$) كمية الفسفور الموجود بالشكل المعدني النشط (المثبت جزئياً) (غ/م^2)، ($minP_{sta}$) كمية الفسفور الموجود بالشكل المعدني المستقر (المثبت) (غ/م^2).

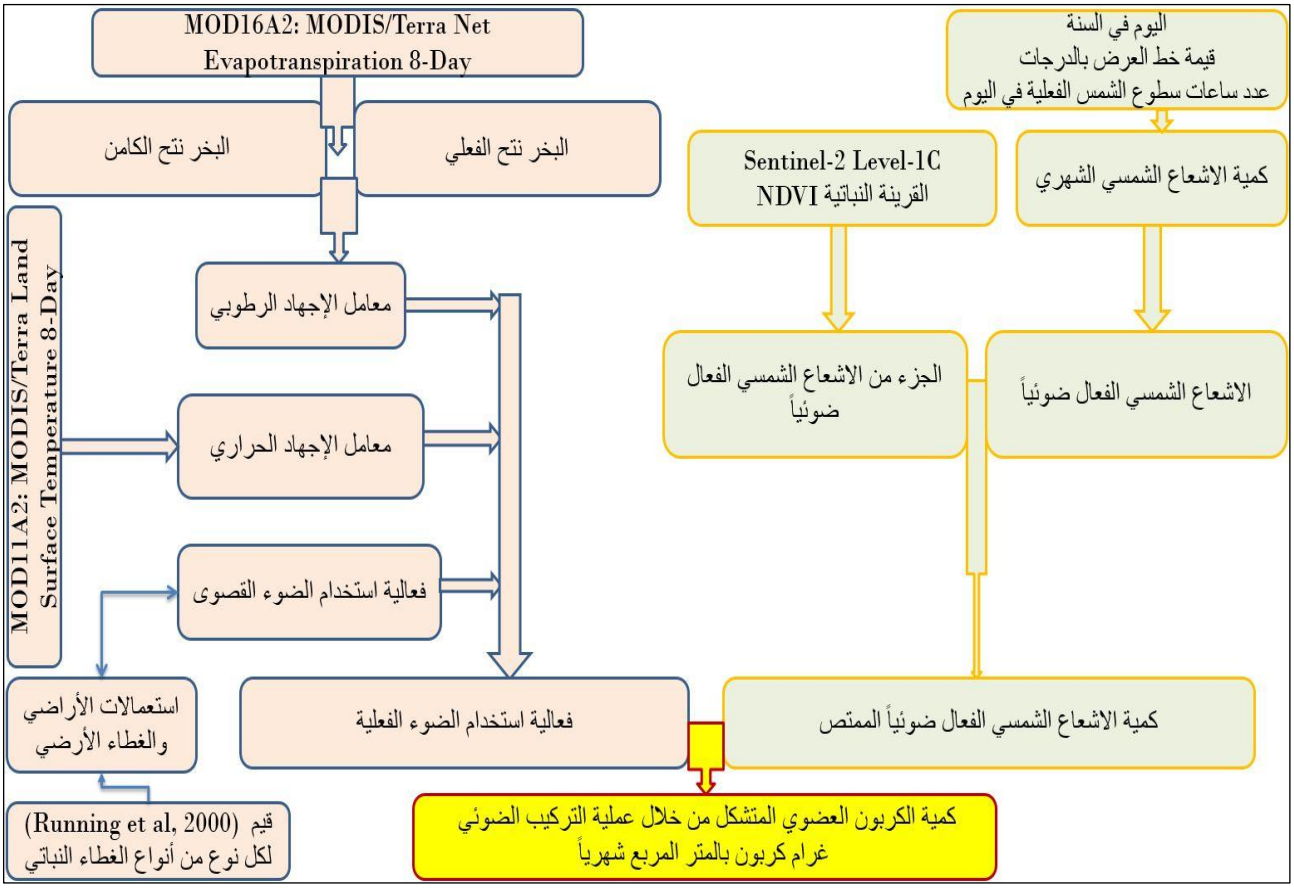
عندما تكون قيمة ($P_{act/sta}$) موجبة فإن الفسفور ينتقل من الشكل المعدني النشط (المثبت جزئياً) إلى الشكل المعدني المستقر (المثبت)، وعندما تكون القيمة سالبة فإن الفسفور ينتقل من الشكل المعدني المستقر (المثبت) إلى الشكل المعدني النشط (المثبت جزئياً).

2-12- تقدير معدلات امتصاص الفسفور باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية والحقلية:

1-12-2- حساب الإنتاجية الأولية الصافية Net Primary Productivity (NPP) بالاعتماد على النموذج Carnegie-Ames-Stanford Approach (CASA) والذي قُدم من قبل كل من (Potter وزملاؤه، 1993)، و يقوم هذا النموذج في مفهومه على وجود علاقة ارتباط خطية بين NPP (غرام كربون/م^2/شهر) من جهة وكل من الاشعاع الشمسي الفعال ضوئياً و الممتص من قبل الغطاء النباتي Absorbed Photosynthetically Active Radiation (APAR) و فعالية استخدام الضوء Actual Light Use Efficiency (ε) والتي تستخدم في تحويل الاشعاع الشمسي الفعال ضوئياً إلى زيادة في الكتلة النباتية الحية التي تساوي الإنتاجية الأولية الصافية (NPP) من جهة أخرى حسب ما تبينه المعادلة التالية:

$$NPP(x,t) = APAR(x,t) * \varepsilon(x,t)$$

حيث أن (APAR(x , t)) يمثل الاشعاع الشمسي الفعال ضوئياً الممتص من قبل الغطاء النباتي الأخضر في البيكسل x ضمن الصورة الفضائية التي تغطي منطقة الدراسة خلال الشهر t، يمثل الرمز أبسيلون (ε (x , t)) فعالية استخدام الضوء الفعلي للبيكسل x خلال الشهر t، وتقدر واحدتهما (غرام كربون / ميغا جول). يبين المخطط (3) آلية العمل المنجزة لحساب قيم (NPP) في منطقة الدراسة يومياً، ثم شهرياً.



المخطط 3. نموذج حساب NPP في منطقة الدراسة

يتم حساب (APAR(x , t)) الاشعاع الشمسي الفعال ضوئياً والممتص من خلال المعادلة التالية:

$$APAR(x,t) = SOL(x,t) * FPAR(x,t) * 0.5$$

حيث أن (SOL(x ,t)) تمثل الاشعاع الشمسي الكلي (ميغا جول / م^2) عند البيكسل x خلال الشهر t، (FPAR(x , t)) تمثل النسبة من الاشعاع الشمسي الفعال ضوئياً الممتص من قبل الغطاء النباتي، (0.5) تمثل نسبة الاشعاع الشمسي الفعال ضوئياً إلى الاشعاع الشمسي الكلي والتي يمكن أن تستخدم من قبل الغطاء النباتي.

بينما يتم حساب (ε (x , t)) فعالية استخدام الضوء الفعلي حسب (Potter وزملائه، 1993) من خلال المعادلة التالية:

$$\varepsilon\,(x,t) = T_{\varepsilon 1}(x,t) * T_{\varepsilon 2}(x,t) * W_{\varepsilon}(x,t) * \varepsilon_{max}$$

حيث أن ($T_{\varepsilon 1}$ (x , t)) و ($T_{\varepsilon 2}$ (x , t)) تشيران إلى تأثير الإجهاد الحراري على عملية التركيب الضوئي، (W_{ε} (x , t)) تشير إلى تأثير الإجهاد المائي، (ε_{max}) تمثل فعالية استخدام الضوء القصوى Maximum Light Use Efficiency تحت الظروف المثالية بدون أي اجهادات وواحدتها (غرام كربون / ميغا جول).

تم حساب (SOL(x , t)) الاشعاع الشمسي الكلي الشهري في معادلة (APAR(x , t)) بتطبيق معادلة (Power، 2001) كما يلي:

$$SOL_{monthly} = \left(a + b * \frac{n}{N}\right) * S_o$$

حيث أن ($SOL_{monthly}$) تمثل الاشعاع الشمسي الكلي الشهري (ميغا جول/م^2/شهر)، (n) مدة السطوع الشمسي الفعلية (ساعة)، (N) المدة القصوى للسطوع الشمسي daylight hours (ساعة)، (a و b) ثوابت تعطى بالقيم 0.25 و 0.50 على التوالي وذلك حسب توصية وردت في (Allen وزملائه، 1998)، (S_o) يمثل الاشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي Extraterrestrial Radiation (ميغا جول/م^2/شهر)، حيث يتم حساب (S_o) الاشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي حسب (Liou، 2002) كما يلي:

$$S_o = \frac{TI_o}{\pi\rho^2} * (\omega_o \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \sin\omega_o)$$

حيث أن (S_o) يمثل الاشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي Extraterrestrial Radiation (ميغا جول/م^2/شهر)، (T) الفترة الزمنية، (I_o) الثابت الشمسي، (φ) العرض الجغرافي، (ρ) تمثل المسافة النسبية بين الأرض والشمس، (ω_o) تمثل زاوية ساعة الشمس Solar Hour Angle، (δ) الانحراف الشمسي Solar Declination.

ويتم حساب المتغيرات (ω, δ_o ,ρ) في معادلة (S_o) من خلال تطبيق المعادلات التالية:

$$\rho = Sqrt\left\{1/[1 + 0.033 * \cos(\frac{2\pi J}{365})]\right\}$$

حيث أن (J) تمثل اليوم من السنة.

$$\omega_o = arcos(-\tan\varphi \tan\delta)$$

$$\delta = 0.409 * \sin(0.0172J - 1.39)$$

تم حساب ((FPAR(x , t)) النسبة من الاشعاع الشمسي الفعال ضوئياً والممتص من قبل الغطاء النباتي في معادلة ((APAR(x , t)) بتطبيق معادلة (Li and Wang، 2012) التي تعتمد على العلاقة القائمة بين الدليل النباتي (NDVI) والذي يُعبر عن الكتلة الحية النباتية من جهة و (FPAR) من جهة أخرى كما يلي:

$$FPAR = \begin{Bmatrix} 0 & NDVI \leq 0.075 \\ 1.054 * NDVI - 0.036 & 0.075 < NDVI < 0.875 \\ 0.916 & NDVI \geq 0.875 \end{Bmatrix}$$

ويتم حساب كل من ($T_{\varepsilon 1}$ (x , t)) و ($T_{\varepsilon 2}$ (x , t)) في معادلة حساب (ε (x , t)) فعالية استخدام الضوء الفعلي كما يلي:

$$T_{\varepsilon 1}(x,t) = 0.8 + 0.02 * T_{opt}(x) - 0.0005 * \left[T_{opt}(x)\right]^2$$

$$T_{\varepsilon 2} = C/\left\{1 + \exp^{[0.2*(T_{opt}-10-T)]}\right\}/\left\{1 + exp^{[0.3*(-T_{opt}-10+T)]}\right\}$$

حيث أن (T_{opt} (x)) تمثل درجة الحرارة المتوسطة الشهرية في منطقة الدراسة والمثالية لحدوث عملية التركيب الضوئي، (C) ثابت يعطى حسب (Li and Wang، 2012) القيمة 1.1919، (T) درجة حرارة الهواء المتوسطة الشهرية الفعلية في منطقة الدراسة.

ويتم حساب (W_ε (x , t)) تأثير الإجهاد المائي على عملية التركيب الضوئي في معادلة حساب (ε (x , t)) تبعاً لكل من (Potter وآخرون، 1993) كما يلي:

$$W_\varepsilon(x,t) = 0.5 + 0.5 * \frac{E(x,t)}{E_p(x,t)}$$

حيث أن (E (x , t)) يمثل البخر نتح الفعلي (مم)، (E p(x , t)) يمثل البخر نتح الكامن (مم).

تم في هذه الدراسة أيضاً استخدام قيم (Running وآخرون، 2000) المتعلقة بفعالية استخدام الضوء القصوى (ε_{max}) لكل نوع من أنواع الغطاء النباتي المتواجد في منطقة الدراسة.

2-12-2- إنجاز نموذج رياضي لحساب حصة كل من (المجموع الورقي، المجموع الخشبي للأغصان والفروع و المجموع الجذري) من كمية الكربون الكلية المثبتة NPP في وحدة المساحة لوحدة من الزمن (شهر) لكل من صف الغابات والحراج و صف الأشجار المثمرة (الزيتون والحمضيات) المنتشرين في منطقة الدراسة، واعتبار كمية الكربون الكلية المثبتة في صف المحاصيل الحقلية وحدة واحدة لا تتجزأ.

تعطى حصة المجموع الورقي من الكربون الكلي المثبت حسب كل من (Landsberg و Waring، 1997) كما تبينه المعادلة التالية:

$$NPP_L = \frac{dB_L}{d_t}$$

حيث أن (NPP_L) حصة المجموع الورقي من الكربون الكلي المثبت (غرام كربون/م^2/شهر)، (B_L) الكتلة الحية الورقية (غرام/م^2)، (t) الفترة الزمنية (شهر).

تتناسب الكتلة الحية الورقية (B_L) مع المساحة الورقية وتُحسب باستخدام خوارزمية NASA MODIS Land Algorithm والتي طورت من قبل (Heinsch وزملاؤه، 2003) كما يلي:

$$B_L = \frac{LAI}{SLA}$$

حيث أن (B_L) الكتلة الحية الورقية (غرام/م^2)، Leaf Area Index (LAI) دليل المساحة الورقية (م^2 ورقة/ م^2 مساحة أرضية)، Specific Leaf Area (SLA) المساحة الورقية الخاصة وهي نسبة المساحة الورقية Leaf Area إلى الكتلة الجافة Dry Mass (م^2/كغ) ويتم الحصول على قيمها من جدول الخصائص الاحيائية المستخدم في التابع الصنعي MODIS والمسمى The Biome Properties Look up Table (BPLUT) FOR MODIS17 حيث يتم استخدام القيم المرجعية في جدول التابع الصنعي MODIS لاشتقاق منتجات مثل Gross Primary Productivity (GPP) الإنتاجية الأولية الإجمالية (غرام كربون/م^2) و(NPP) (غرام كربون/م^2) بمقاييس مكانية منخفضة، كما يحتوي جدول الخصائص الاحيائية على قيم لعوامل مختلفة خاصة بحدود (درجات الحرارة، متوسط عجز ضغط بخار الماء، المساحة الورقية الخاصة بالأنواع النباتية، ومعاملات التنفس للغطاء النباتي الممثل في كل زمرة أحيائية Biome Type حسب (Running وزملاؤه، 2000;

White وزملاؤه، 2000)، كما يبين أيضاً جدول (BPLUT) الاختلافات الاحيائية في تخزين الكربون ومعدلات التحويل (Heinsch وزملاؤه، 2003).

تم حساب دليل المساحة الورقية (LAI) لصفي المحاصيل الحقلية والأشجار المثمرة باستخدام المعادلة التالية:

$$LAI = -\frac{1}{C_3} * \ln \frac{C_1 - SAVI}{C_2}$$

حيث أن (SAVI) (Huete، 1988) القرينة النباتية المضبوطة على التربة، (C1-C2-C3) ثوابت خاصة بنوع الغطاء النباتي.

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

حيث أن (L) معامل التربة البينية (معامل المعايرة Adjusted Factor)، Near Infrared (NIR) قيمة الانعكاس للأشعة تحت الحمراء القريبة، Visible Red (R) قيمة الانعكاس للأشعة الحمراء المرئية. تم حساب قيم (LAI) في صف الغابات والحراج باستخدام المعادلة التالية:

$$LAI = c_1 * e^{C_2 * NDVI}$$

حيث أن (NDVI) (Deering و Rouse، 1975) دليل نباتي تتراوح قيمته بين (-1 و +1). يبين الجدول (5) قيم الثوابت الخاصة بحساب دليل المساحة الورقية لكل من صفوف الغطاء النباتي التالية (المحاصيل الحقلية، الأشجار المثمرة، الغابات والحراج).

جدول 5. قيم الثوابت الخاصة بدليل المساحة الورقية LAI

المرجع	L	C_3	C_2	C_1	قيم الثوابت في معادلة LAI
(Gabriel و Parodi، 2002)	0.5	0.91	0.59	0.69	محاصيل حقلية
(D'Urso و Santini، 1996)	0.1	2.4	2.7	1.34	الأشجار المثمرة
-	-	-	3.555	0.295	الغابات والحراج

تعطى حصة المجموع الجذري من الكربون الكلي المثبت (NPP) في وحدة المساحة لوحدة من الزمن كما يلي:

$$NPP_R = K_{ra} * (NPP - NPP_L)$$

حيث أن (NPP_R) حصة المجموع الجذري من الكربون المثبت (غرام كربون/م^2/الشهر)، (K_{ra}) معامل انتقال العناصر الغذائية في المجموع الورقي Return Coefficient of Leaf Nutrients و حسب كل من (Pastor و Bochheim، 1981) تُعطى K_{ra}=0.1 كنسبة مئوية %. وتعطى حصة المجموع الخشبي للأغصان والفروع من الكربون المثبت في وحدة المساحة لوحدة الزمن من كمية الكربون الكلية المثبتة NPP كما يلي:

$$NPP_W = NPP - (NPP_L + NPP_R)$$

حيث أن (NPP_W) حصة المجموع الخشبي من الكربون المثبت (غرام كربون/م^2/شهر).

2-12-3- تم حساب كمية الفسفور الممتص في منطقة الدراسة يومياً و شهرياً بدايةً من شهر تشرين الأول 2017 وحتى نهاية شهر أيار 2018 حسب (Paul و Tonu، 1997) كما يلي:

$$X_{uptake} = \min(X_{available}, X_{demand})$$

حيث أن (X_{uptake}) معدل امتصاص الفسفور (غرام/م^2)، ($X_{available}$) الكمية من الفسفور المتاح في التربة (غرام/م^2)، (X_{demand}) كمية الفسفور المطلوبة لنمو الكتلة الحية النباتية (غرام/م^2).

تم في هذه الدراسة حساب قيم ($X_{available}$) باستخدام نموذج رياضي تم بناؤه في بداية العمل لدراسة تحولات عنصر الفسفور في ترب منطقة الدراسة بصورة يومية بدايةً من شهر تشرين الأول 2017 وحتى نهاية شهر أيار 2018 والمخطط البياني السابق (2) يبين آلية عمل النموذج حيث تم في البداية تقدير كميات كل من (الفسفور المتاح – الفسفور الكلي – الفسفور المعدني – الفسفور العضوي) مخبرياً في عينات تربة جُمعت من 151 نقطة موثقة الاحداثيات باستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي (GPS) ومنتشرة على كامل منطقة الدراسة بشكل متجانس، ومن ثم تقدير الشكل المتاح للفسفور من خلال النمذجة الرياضية حسب ما يبينه المخطط (2).

تم تقدير قيم (X_{demand}) أيضاً لكل من صف الغابات والحراج و صف الأشجار المثمرة في منطقة الدراسة تبعاً لكل من (Paul و Tonu، 1997) كما يلي:

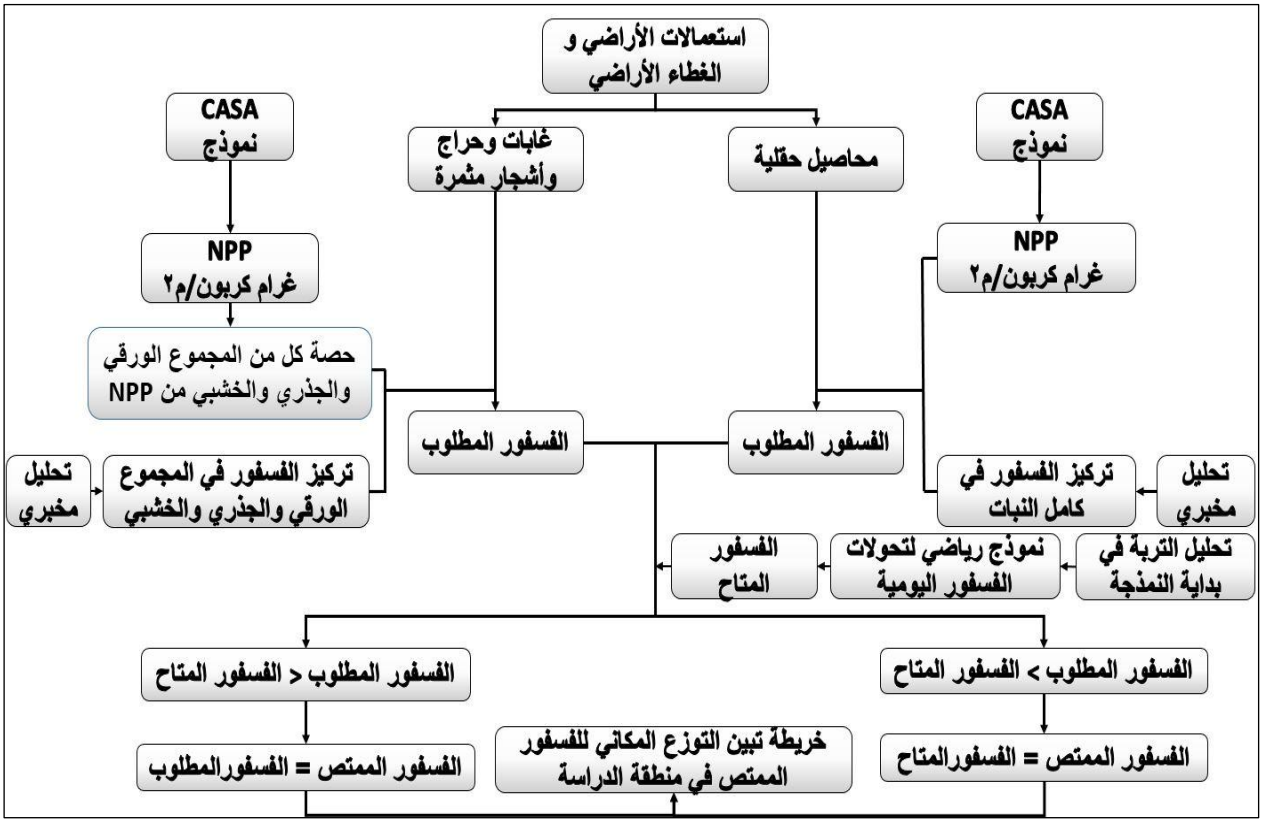
$$X_{dem} = (1 - K_{retra}) * X_L * NPP_L + X_W * NPP_W + X_R * NPP_R$$

حيث أن (K_{retra}) نسبة العنصر الغذائي المتموضع مجدداً في المجموع الورقي Foliage Nutrient Re-translocation وهي قيمة تجريبية بدون واحدة و تساوي حسب كل من (Zhu وزملاؤه، 2003) K_{retra}=0.35، (X_L) تركيز العنصر الغذائي (X= P) في المجموع الورقي للأشجار (غ/غ)، (X_W) تركيز العنصر الغذائي في المجموع الخشبي (غ/غ)، (X_R) تركيز العنصر الغذائي في المجموع الجذري (غ/غ).

كما تم تقدير قيم (X_{demand}) لنمو الكتلة الحية النباتية في صف المحاصيل الحقلية من خلال المعادلة التالية:

$$X_{demand} = NPP * X_{crop}$$

حيث أن (X_{crop}) تركيز العنصر الغذائي في كامل المجموع النباتي (مزيج من المجموع الورقي والمجموع الجذري) (غ/غ). يبين المخطط (4) آلية عمل النموذج الرياضي في بيئة برنامج ERDAS و باستخدام أداة Model Maker لحساب معدلات امتصاص الفسفور من قبل الغطاء النباتي وكيفية توزعه مكانياً في منطقة الدراسة.



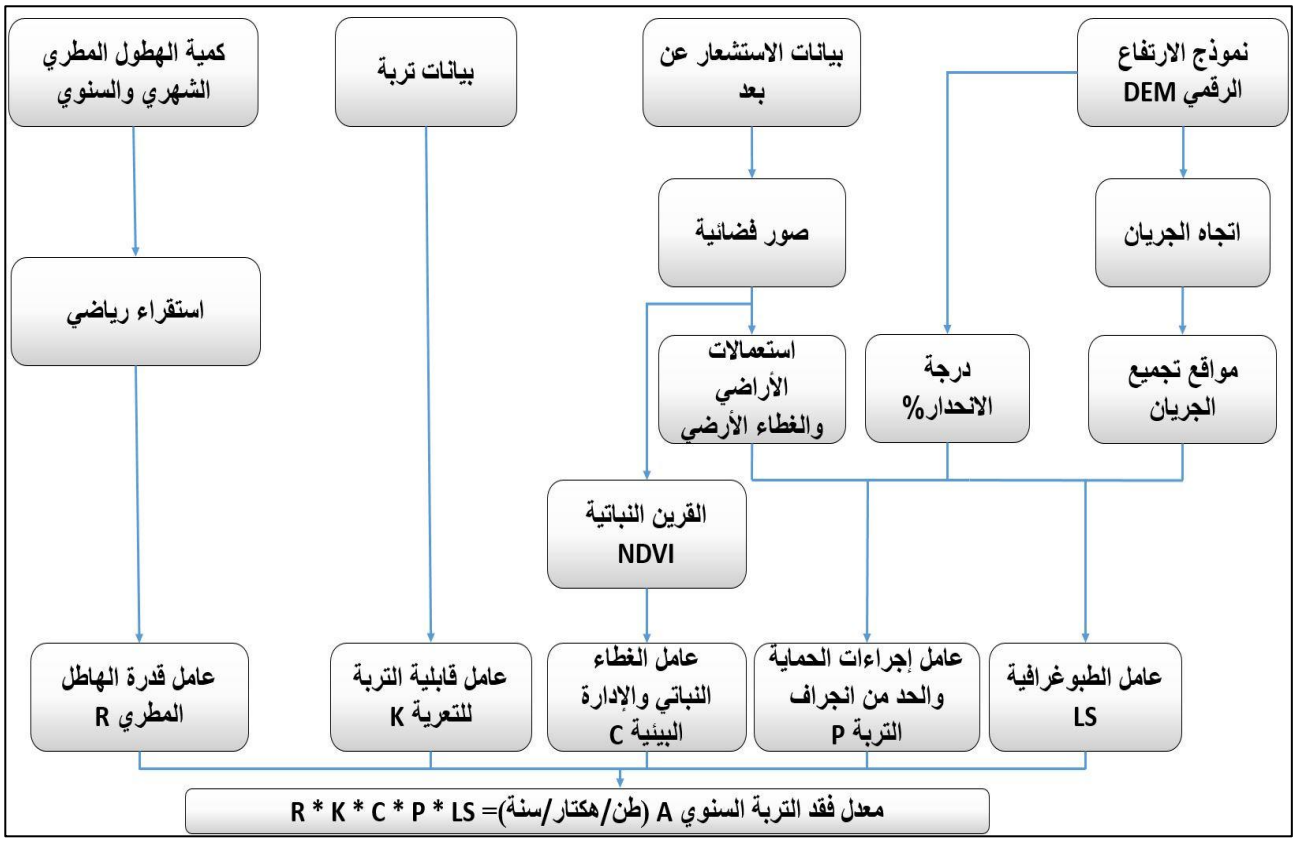
المخطط 4. نموذج حساب معدلات امتصاص الفسفور

13-2- تقدير حجم الإنجراف المائي للتربة باستخدام المعادلة العالمية للإنجراف RUSLE والبيانات الاستشعارية والحقلية:

تم تطبيق النموذج المعدل العالمي للإنجرافRevised Universal Soil Loss Equation RUSLE والذي تم اشتقاقه وتطويره من قبل كل من (Wischmeier و Smith، 1978; Renard وزملائه، 1991)، والذي تعطى معادلته كما يلي:

$$A = R * K * LS * C * P$$

حيث أن (A) معدل فقد التربة السنوي (طن. هكتار$^{-1}$ سنة$^{-1}$)، (R) عامل قدرة الهطل المطري على جرف التربة (MJ mm ha^{-1} h^{-1} year^{-1})، (K) عامل قابلية التربة للتعرية (t h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1})، (LS) عامل الطبوغرافية (شدة الانحدار، طول المنحدر)، (C) عامل الغطاء النباتي والإدارة البيئية، (P) عامل إجراءات الحماية والحد من إنجراف التربة. يبين المخطط (5) آلية العمل المنجزة لتقدير كميات الترب المنجرفة في منطقة الدراسة شهرياً ثم سنوياً.



المخطط 5. نموذج حساب كميات الترب المنجرفة

تم حساب عوامل RUSLE كما يلي:

2-13-1- حساب قيم عامل الهطل المطري (R) في منطقة الدراسة (بالاعتماد على بيانات الهطل المطري الشهرية والسنوية لشتاء عامي 2017م و 2018م)، وباستخدام معادلة كل من (Wischmeier و Smith، 1978) كما يلي:

$$R = 1.735 * 10^{(1.5*\log10\left(\frac{pi^2}{p}\right)-0.08188)}$$

حيث أن (pi) كمية الهطل المطري الشهري مم، (p) كمية الهطل المطري السنوي مم.

2-13-2- حساب قيم عامل قابلية التربة للتعرية (K) باستخدام عينات حقلية ترابية بعمق (0 – 30 سم) جُمعت من 151 نقطة موثقة الاحداثيات باستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي GPS موزعة على كامل منطقة الدراسة بصورة متجانسة، وبمسافات بين مواقع العينات الترابية المأخوذة تتراوح بين (1 إلى 1.5كم)، حيث تمت مراعاة أن يكون توزيع النقاط في منطقة الدراسة ممثل وشامل من حيث طبيعة الاستعمال الراهن، وطبيعة تضاريس المنطقة، والممارسات الزراعية المتبعة. والشكل (2) يبين توزع النقاط الحقلية في منطقة الدراسة ضمن خريطة استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي.

كذلك تم استخدام البيانات المخبرية من 100 نقطة حقلية Training Points وذلك لحساب متغيرات المعادلة (K) وهي كميات كل من (الرمل و السلت و الطين، والمادة العضوية) في المواقع التي لم تأخذ لها قراءات حقلية في منطقة الدراسة في بداية العمل أثناء تنفيذ العمل الحقلي وجمع عينات التربة، واستخدام البيانات

المخبرية في 51 نقطة حقلية Test Points لإجراء عملية التحقق من فعالية النماذج ودراسة معاملات الارتباط بين قيم كل من (الرمل والسلت و الطين، والمادة العضوية) المتنبأ به من خلال النماذج الإحصائية والقيم الحقلية المقاسة مخبرياً.

تم استخدام معادلات كل من (Torri وزملاؤه، 1997; Torri وزملاؤه، 2002) لحساب قيم العامل (K) في ترب منطقة الدراسة حسب الآتي:

$$K = 0.0293 * (0.65 - D_G + 0.24 * D_G^2) * \exp[-0.0021 * \left(\frac{OM}{f_{clay}}\right) - 0.00037 * \left(\frac{OM}{f_{clay}}\right)^2 - 4.02 * f_{clay} + 1.72 * f_{clay}^2]$$

$$D_G = -3.5 * f_{clay} - 2.0 * f_{silt} - 0.5 * f_{sand}$$

حيث أن (OM) النسبة المئوية لمحتوى التربة من المادة العضوية، (f_{clay}) نسبة الطين في التربة، (f_{silt}) نسبة السلت، (f_{sand}) نسبة الرمل في التربة.

2-13-3- حساب قيم عامل الطبوغرافية (شدة الانحدار، طول المنحدر) (LS) في منطقة الدراسة بالاعتماد على DEM بقدرة تمييز مكاني 30 م، وباستخدام المعادلة المقترحة من قبل كل من (Moore and Burch، 1986) كما يلي:

$$LS = (\frac{\text{Flow Acc} * \text{Cell Size}}{22.13})^{0.4} * (\frac{\text{Sinslope}}{0.0896})^{1.3}$$

حيث أن (Flow Acc) يعبر عن Flow Accumulation لكل خلية من خلايا DEM، (Cell Size) حجم خلية DEM وهي 30م، (Sin slope) جيب درجة الانحدار.

2-13-4- حساب قيم عامل إجراءات الحماية والحد من إنجراف التربة (P) باستخدام قيم كل من (Wischmeier و Smith، 1978) والتي تعتمد على قيم صفوف الانحدار في الأراضي الزراعية وأراضي الغابات والحراج كما يبينه الجدول (6) التالي.

جدول 6. قيم العامل P إجراءات الحماية والحد من إنجراف التربة

قيم العامل P	النسبة المئوية للانحدار	استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي
0.1	5 – 0	الأراضي الزراعية وأراضي الغابات والحراج
0.12	10 – 5	
0.14	20 – 10	
0.19	30 – 20	
0.25	50 – 30	
0.33	100 – 50	

2-13-5- حساب قيم عامل الغطاء النباتي والإدارة البيئية (C) في منطقة الدراسة باستخدام معادلة كل من (Tufekcioglu وزملاؤه، 2017) وهذه المعادلة تم اشتقاقها بناءً على المنهجية التي وضعها كل من (Vatandaslar وYavus، 2017) لحساب قيم (C)، وهي معادلة انحدار خطي يدخل فيها الدليل النباتي (NDVI) كعامل مستقل للتنبؤ بقيم العامل (C) كما يلي:

$$C = 0.59 + 0.725 * NDVI^3 - 0.1212 * NDVI^2 - 1.105 * NDVI$$

حيث أن (NDVI) الدليل النباتي ويعطى بالمعادلة التالية:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \qquad (1973\ ,\ Deering\ and\ Rouse)$$

حيث أن (NIR) قيمة الانعكاس للأشعة تحت الحمراء القريبة، (R) قيمة الانعكاس للأشعة الحمراء المرئية.

2-14- تقدير عمق الجريان السطحي باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية والحقلية:

2-14-1- تطبيق النموذج (SCS – CN) (SCS، 1985) في نمذجة العلاقة بين كمية الهطل المطري وعمق الجريان السطحي، والتي تُعد من الطرائق الأساسية في الدراسات الهيدرولوجية ودراسات تحليل الأثر البيئي، وهي طريقة شائعة الاستخدام نظراً لبساطتها واستجابتها لأربعة خصائص رئيسية من خصائص الحوض المائي (قوام التربة، واستعمالات الأراضي والغطاء الأرضي، والتضاريس، وحالة الرطوبة السابقة) كما عبر عنها كل من (Ponce وHawkins، 1996)، وتعطى المعادلات المعبرة عن النموذج (SCS – CN) كما يلي:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \qquad for\ I_a \leq P, otherwise\ \ Q = 0$$

$$I_a = \lambda * S \qquad where\ S = \frac{25400}{CN} - 254$$

حيث أن (P) كمية الهطل المطري (مم)، (Q) عمق الجريان السطحي (مم)، (I_a) معامل الاستخلاص الأولي (مم)، (S) قيمة الاحتفاظ القصوى بعد أن يبدأ الجريان السطحي (مم)، (λ) نسبة الاستخلاص الأولي (بدون واحدة)، (CN) رقم تجريبي تتراوح قيمته بين (0 و 100) ويعبر عن الاستجابة المائية لخصائص الحوض (بدون واحدة).

2-14-2- يعبر معامل الاستخلاص الأولي (I_a) عن مقدار فقد مياه الأمطار قبل بدء الجريان السطحي بالتبخر، أو ما تعترضه النباتات من مياه الأمطار، واحتفاظ السطح بالمياه، أو عن طريق الرشح، وأن نسبة هذا المعامل للعامل S تمثل ما يسمى بالمعامل λ والذي يعتمد على الظروف المناخية ويمكن أن تتراوح قيمته بين (0 و ∞)، وقد تم اعتماد قيمة قياسية ($\lambda = 0.2$) تبعاً لـ (SCS، 1985). كما يعبر المعامل (S) عن الإمكانية القصوى للاحتفاظ بالماء في التربة بعد بدء الجريان السطحي، ويصف هذا المعامل حالة التربة المشبعة بالماء بعد توقف عملية الرشح، و يرتبط العامل (S) ارتباطاً مباشراً بالغطاء الأرضي وعملية الرشح في التربة من خلال رقم المنحني (CN) والذي يعتبر رقم تجريبي بدون واحدة تتراوح قيمته بين (0 و 100) ويعتمد على حالة الرطوبة السابقة في تربة الحوض المائي، حيث تشير قيم (CN) العالية إلى احتمالية جريان سطحي كبير.

2-14-3- اشتقاق قيم رقم المنحني Curve Number (CN) تبعاً لصفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي ومجموعات الترب الهيدرولوجية Hydrologic Soil Groups (A, B, C, D) السائدة في منطقة الدراسة وذلك لظروف رطوبة سابقة عادية Normal Antecedent Moisture Conditions (كمية الهطل المطري لخمسة أيام سابقة ليوم حساب عمق الجريان المائي السطحي والتي تتراوح بين 12.7 و 27.9 مم) AMCII, 5-Day Antecedent Rainfall وذلك حسب (SCS، 1985). كما تم تحديث قيم رقم المنحني (CN) لظروف الرطوبة السابقة العادية (AMCII – CN) في منطقة الدراسة إلى قيم رقم منحني (CN) أخرى تبعاً لحالات رطوبة التربة السابقة الأخرى والتي يمكن أن تكون موجودة في ترب منطقة الدراسة قبل خمسة أيام من يوم حساب عمق الجريان السطحي ومنها حالة رطوبة التربة السابقة الجافة (Dry Condition) (AMCI) وحالة رطوبة التربة السابقة الرطبة (Wet Condition) (AMCIII) باستخدام معادلات كل من (Chow وزملاؤه، 1988):

$$CNI = \frac{CNII}{(2.334 - 0.01334 * CNII)}$$

$$CNIII = \frac{CNII}{(0.427 + 0.00573 * CNII)}$$

يبين الجدول (7) مجالات قيم كمية الهطل المطري الكلية في الخمسة أيام السابقة ليوم حساب عمق الجريان السطحي (مم) لكل صف من صفوف حالة الرطوبة السابقة وفق (SCS، 1972).

جدول 7. صفوف حالة الرطوبة السابقة Antecedent Moisture Classes AMC وفقاً لطريقة SCS

صف حالة الرطوبة السابقة AMC	كمية الهطل المطري الكلية في الخمسة أيام السابقة	
	فصل السكون	فصل النمو
I	أقل من 12.7 مم	أقل من 35.6 مم
II	12.7 إلى 27.9 مم	35.6 إلى 53.3 مم
III	أكثر من 27.9 مم	أكثر من 53.3 مم

2-14-4- أن أرقام المنحنيات (CN) لحالة الرطوبة السابقة العادية (AMCII – CN) والمعطاة في جداول خاصة والتي تناسب درجة الانحدار 5% تم تعديلها حسب معادلة (Williams، 1995) لتناسب درجات انحدار مختلفة قد تكون موجودة في المنطقة، وقد تم تطبيق المعادلة في هذه الدراسة والتي تعطى كما يلي:

$$CN_{2slope} = \frac{(CN_3 - CN_2)}{3} * [1 - 2 * \exp(-13.86 * slope)] + CN_2$$

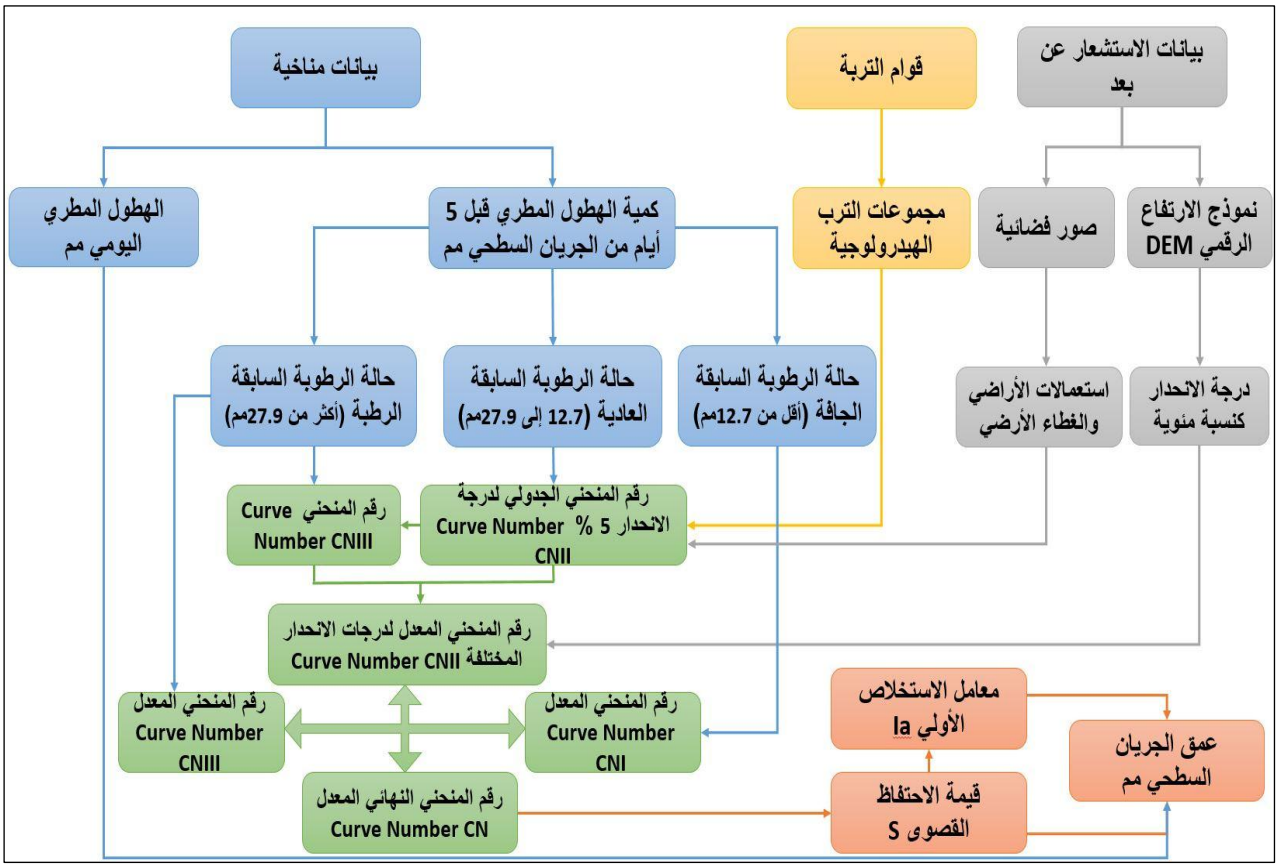
حيث أن (CN_{2slope}) رقم المنحني لحالة الرطوبة السابقة العادية المعدل تبعاً لدرجات انحدار مختلفة، (CN_3) رقم المنحني لحالة الرطوبة الرطبة تبعاً لدرجة انحدار ثابتة 5%، (CN_2) رقم المنحني لحالة الرطوبة العادية تبعاً لدرجة انحدار ثابتة 5%، (slope) درجة الانحدار كنسبة مئوية.

5-14-2- تحديد مجموعات الترب الهيدرولوجية Hydrological Soil Group (HSG) في منطقة الدراسة تبعاً لطريقة SCS (USDA، 1985) بالاعتماد على خصائص نفاذية التربة وقوامها. والجدول (8) يُظهر خصائص المجموعات الهيدرولوجية الأربعة المعروفة (A, B ,C ,D).

جدول 8 . خصائص المجموعات الهيدرولوجية للترب

المجموعة الهيدرولوجية للتربة	قوام التربة	الخصائص
A	رملي، لومي رملي، أو رملي لومي	إمكانية جريان سطحي منخفضة ومعدلات رشح عالية
B	سلتي لومي، لوم، سلت	معدلات رشح متوسطة
C	رملي طيني لومي	معدلات رشح منخفضة
D	طيني لومي، سلتي طيني لومي، رملي طيني، سلتي طيني، طيني	إمكانية جريان سطحي عالية، ومعدلات رشح منخفضة جداً

يبين المخطط (6) آلية العمل المنجزة لحساب عمق الجريان السطحي في منطقة الدراسة



المخطط 6. نموذج حساب عمق الجريان السطحي

2-15- تحديد وإظهار المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور في منطقة الدراسة $CPSA_S$:

2-15-1- تم بدايةً استخدام طريقة Linear Normalization Method (Lou وزملاؤه، 2016) لتصدير قيم بيانات عوامل النقل والإزاحة للفسفور المذكورة سابقاً (إنجراف التربة والجريان السطحي، والبعد عن المسطحات المائية، والانحدار) وعوامل مصدر الفسفور (تركيز الفسفور الكلي في التربة، ونمط استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي) إلى قيم دليل جديدة تتراوح بين (0.1 و 0.9) وذلك لتسهيل عملية المقارنة والتحليل بين المتغيرات المختلفة، ولتجنب وجود قيم قصوى شاذة في أثناء التحليل المكاني، ومن ثم إجراء حساب التحليل المكاني Spatial Overlay. والجدول (9) التالي يبين المعادلات المستخدمة في طريقة تحويل قيم البيانات إلى قيم دليل جديدة (0.1 إلى 0.9) حسب طريقة Linear Normalization Method.

جدول 9. تصدير البيانات حسب طريقة Linear Normalization Method

عوامل $CPSA_S$	العوامل	Linear Normalization Method
عوامل نقل الفسفور	إنجراف التربة	$Y = 0.1 + \frac{X - Min}{\text{Max} - \text{Min}} * (0.9 - 0.1)$
	الجريان السطحي	$Y = 0.1 + \frac{X - Min}{\text{Max} - \text{Min}} * (0.9 - 0.1)$
	الانحدار	$Y = 0.1 + \frac{X - Min}{\text{Max} - \text{Min}} * (0.9 - 0.1)$
	البعد عن المسطحات المائية	$Y = 0.1 + \frac{X - Min}{\text{Max} - \text{Min}} * (0.9 - 0.1)$
عوامل مصادر الفسفور	تركيز الفسفور الكلي في التربة	$Y = 0.1 + \frac{X - Min}{\text{Max} - \text{Min}} * (0.9 - 0.1)$
	استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي	المحاصيل 0.4، الحمضيات 0.3، الزيتون = 0.1 حراج وغابات 0.5، =

2-15-2- تم بعد ذلك إجراء عملية تثقيل Weighting لقيم كل من (إنجراف التربة، الجريان السطحي، الانحدار، البعد عن المسطحات المائية، تركيز الفسفور الكلي في التربة، نمط استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي) بناءً على تأثير كل منها على وجود المساحات الزراعية الهشة والعرضة لفقد الفسفور باستخدام طريقة الرتب Ranking Method (Roszkowska، 2013)، وبناءً على هذه الطريقة تم ترتيب العوامل السابقة تبعاً لأهميتها، وهذا يعني بأن البيانات رتبت من البيانات الأكثر أهمية إلى البيانات الأقل أهمية في موضوع فقد الفسفور، وقد تم اختيار طريقة تجميع الرتب Rank Sum في أثناء إجراء عملية التثقيل، والتي نُفذت باستخدام المعادلة التالية (Roszkowska، 2013).

$$W_i = (n - r_j + 1) / \sum (n - r_k + 1)$$

حيث أن (W_i) مقدار التثقيل للعامل (j)، (n) عدد العوامل المراد تثقيلها، (r_j) موقع الرتبة للعامل المراد تثقيله. كل عامل يثقل بمقدار ($n-r_j+1$) ومن ثم تجرى له عملية تعديل Normalization بتقسيمه على مجموع قيم التثقيل للعوامل الداخلة في الدراسة [$\Sigma(n-r_k+1)$] والجدول (10) يبين الأوزان المعطاة لكل عامل بناءً على طريقة تجميع الرتب.

جدول 10. قيم التثقيل المخصصة لكل عامل وفقاً لطريقة تجميع الرتب

العوامل	الرتبة	التثقيل ($n-r_j+1$)	التثقيل المعدل
إنجراف التربة	1	6	0.286
الجريان السطحي	2	5	0.238
الانحدار	6	1	0.048
البعد عن المسطحات المائية	5	2	0.095
تركيز الفسفور الكلي في التربة	3	4	0.19
استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي	4	3	0.143
المجموع		21	1

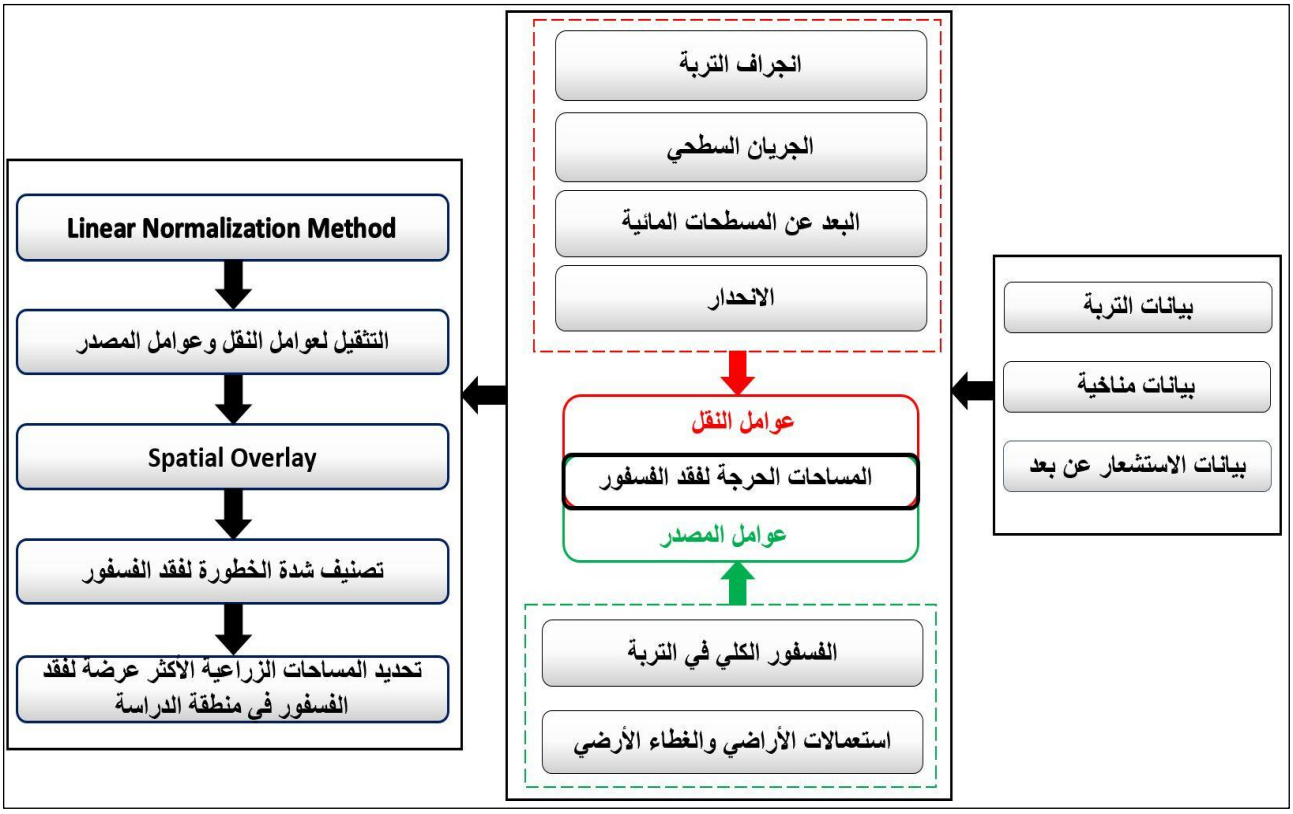
2-15-3- جرى بعد ذلك الدمج بين عوامل النقل والإزاحة للفسفور وبين عوامل مصادر الفسفور واستخدام قيم التثقيل المحسوب سابقاً وفق الجدول (10) لتحديد المساحات الزراعية الحرجة الأكثر عرضة لفقد الفسفور في منطقة الدراسة في برنامج ArcGis وباستخدام طريقة Overlay Weighted Sum حسب المعادلة التالية:

$$CPSA_S = (ER * W_1) + (RU * W_2) + (TP * W_3) + (LU * W_4) + (D * W_5) + (S * W_6)$$

حيث أن (ER) عامل إنجراف التربة، (RU) الجريان السطحي، (TP) الفسفور الكلي، (LU) استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي، (D) البعد عن المسطحات المائية، (S) الانحدار، (W_1 إلى W_6) التثقيل المخصص لكل عامل بناءً على قيم الجدول (10).

2-15-4- تصنيف الخريطة الناتجة عن عملية Overlay Weighted Sum إلى خمسة مستويات من الخطورة لفقد الفسفور في منطقة الدراسة باستخدام طريقة التصنيف Quantile Classification Method، وهي طريقة مناسبة للبيانات الموزعة خطياً Linearly Distributed Data، وتعمل على تخصيص العدد نفسه من قيم البيانات لكل صف من الصفوف الناتجة ضمن الخريطة أثناء التصنيف، ولكن بصفوف ذات مجالات مختلفة من القيم.

يبين المخطط (7) آلية العمل المنجز لتحديد المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور باتجاه المصادر المائية القريبة في منطقة الدراسة.



المخطط 7. نموذج تحديد وإظهار المساحات الزراعية الحرجة لفقد الفسفور

16-2- تحديد حدود الحوض المائي في منطقة الدراسة:

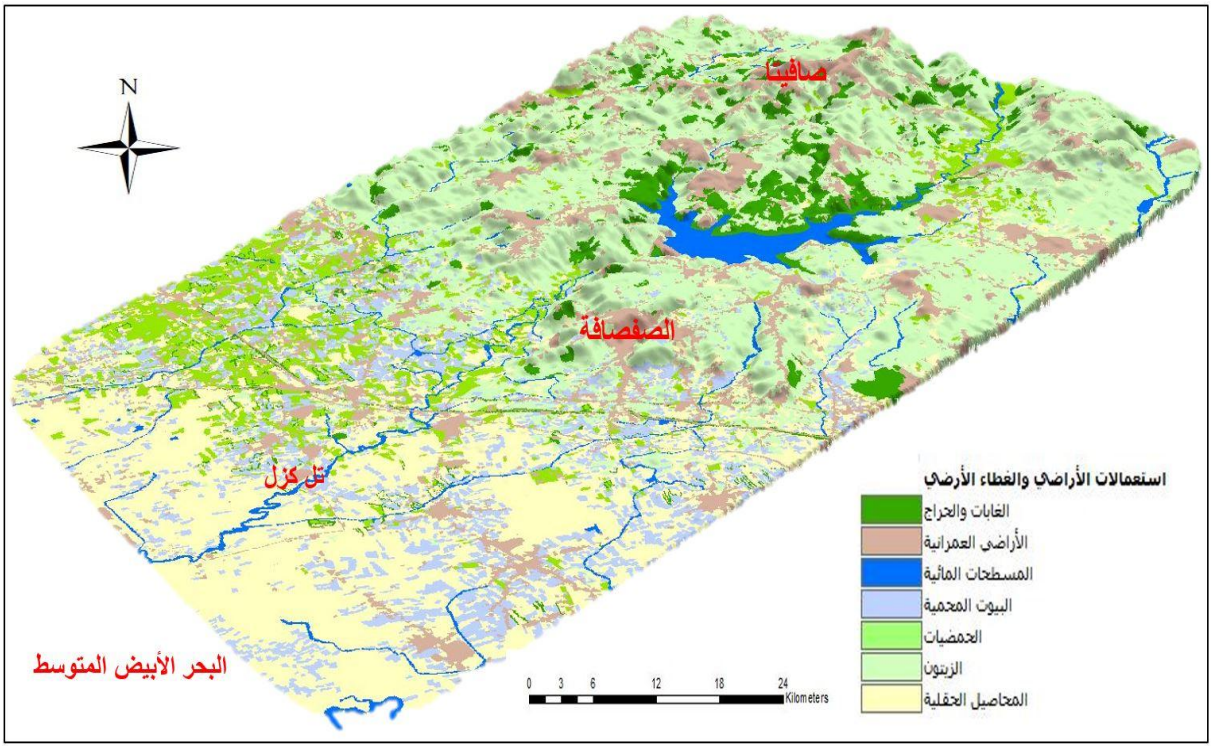
تم تحديد حدود الحوض المائي في منطقة الدراسة باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي DEM وخوارزمية Arc hydro في برنامج ArcGIS، حيث بلغت مساحة الحوض المائي ضمن حدود منطقة الدراسة في محافظة طرطوس حوالي 158.85 كم^2.

الفصل الثالث

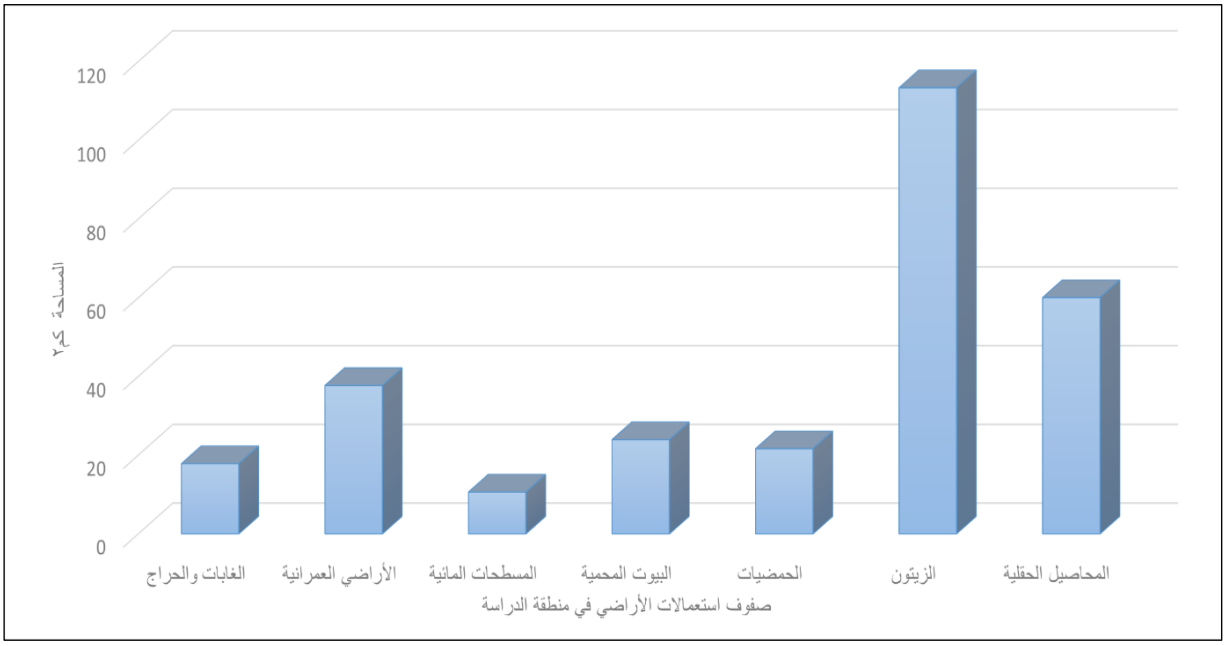
النتائج والمناقشة

1- إعداد خريطة استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي:

1-1- إعداد خريطة استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي على المستوى الأول والثاني بصورة ثلاثية الأبعاد باستخدام DEM بناءً على نظام استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي المعمول به في وزراة الزراعة والأصلاح الزراعي (إدريس، 2011). يبين الشكل (3) أنماط استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي السائدة في منطقة الدراسة، حيث يلاحظ امتداد مجرى نهر الأبرش في منطقة الدراسة الذي يتدفق من الجهة الشرقية لمنطقة الدراسة مروراً بسد الأبرش ليعود ويخرج من السد ويتجه غرباً ليصب في البحر. يبين المخطط البياني (8) مساحات صفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي في منطقة الدراسة، حيث بلغت مساحة الأراضي المزروعة بالزيتون 113.32 كم^2 وتركزت في الجزء الشرقي والشمالي الشرقي من منطقة الدراسة، في حين بلغت مساحة الأراضي المزروعة بالحمضيات 21.62 كم^2 وتركزت في الجزء الشمالي الغربي من منطقة الدراسة وحول ضفاف نهر الأبرش، مساحة أراضي الغابات والحراج 17.81 كم^2 وتوزعت بشكل رئيسي حول سد الأبرش وباتجاه منطقة صافيتا غرباً، مساحة الأراضي المزروعة بالمحاصيل مع البيوت المحمية 83.93 كم^2 وتوزعت في الجزء الغربي والجنوبي الغربي من منطقة الدراسة حيث تمثل جزء من سهل عكار، مساحة الأراضي العمرانية 37.67 كم^2 وانتشرت على كامل منطقة الدراسة، ومساحة المسطحات المائية 10.6 كم^2 تمثلت بشكل أساسي بسد الأبرش الذي أقيم على نهر الأبرش، ونهر الأبرش وقنواته وفروعه و بعض السدات المائية الصغيرة. حيث شكل صف الزيتون حوالي 39.77 % من مساحة منطقة الدراسة، يليه صف المحاصيل الحقلية مع البيوت المحمية وبنسبة مئوية بلغت 29.45 %، ثم صف الأراضي العمرانية 13.22 %، وصف الحمضيات 7.59 %، وصف الغابات والحراج 6.25 %، وأخيراً المسطحات المائية 3.72 % من مساحة المنطقة. تم استخدام خريطة استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي كمدخل أساسي من مدخلات النماذج الرياضية التي تم إنجازها في هذه الدراسة ومنها (إنجراف التربة، الجريان السطحي، التركيب الضوئي وتكوين الكربون العضوي في الانواع النباتية المنتشرة في منطقة الدراسة، نموذج امتصاص الفسفور)، كما تم استخدامها أيضاً كعامل متغير مستقل من عوامل مصادر الفسفور في منطقة الدراسة وإدخاله في النموذج الرياضي الهادف إلى تحديد المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور في منطقة الدراسة، إضافة لبقية العوامل الاخرى من عوامل المصدر وعوامل النقل والإزاحة.

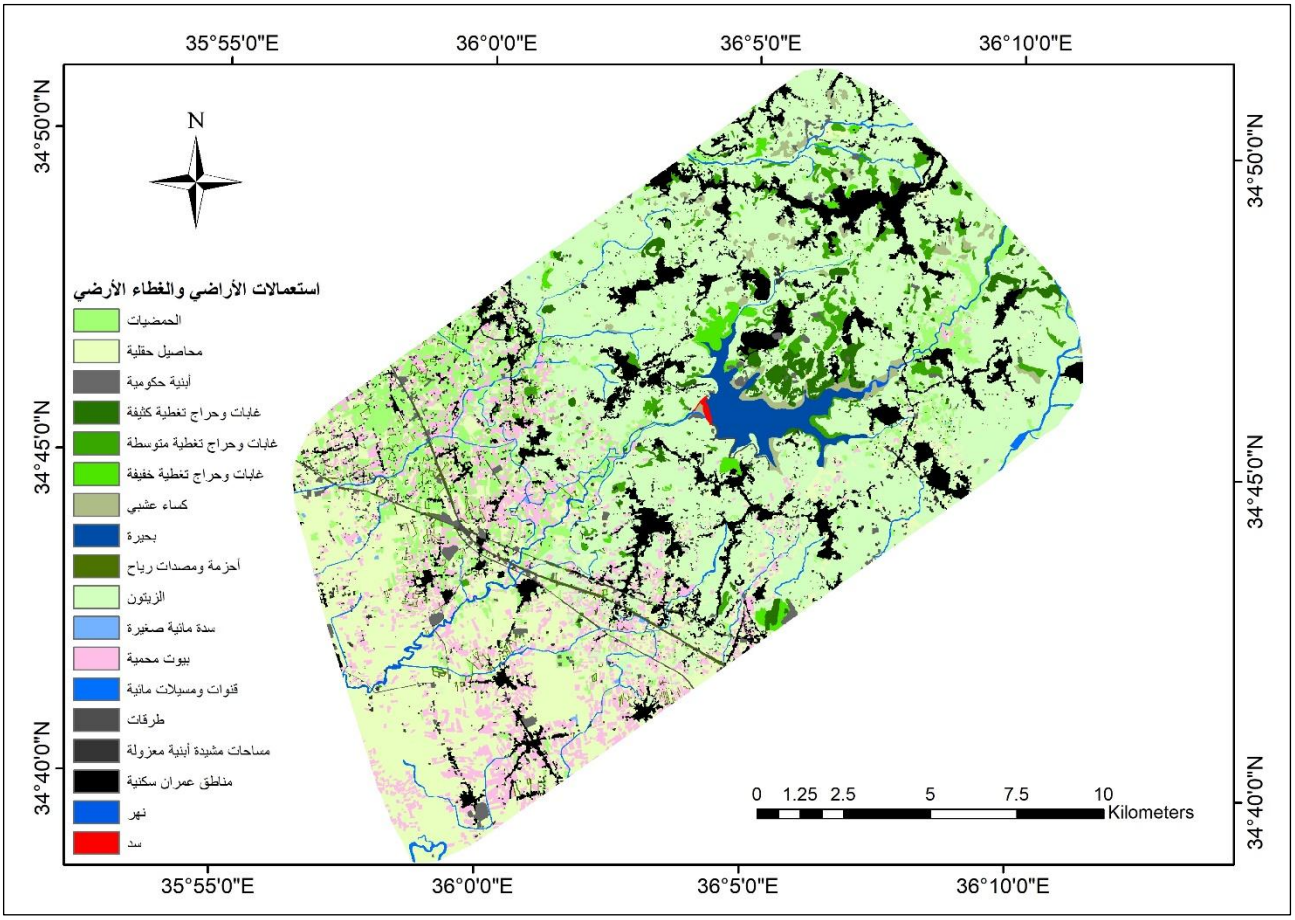


الشكل 3. استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي في منطقة الدراسة



المخطط البياني 8. مساحات صفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي

2-1- إعداد خريطة استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي التفصيلية باستخدام منهجية التفسير البصري للصور الفضائية على المستوى الأول والثاني و الثالث. الشكل (4) يبين خريطة استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي التفصيلية في منطقة الدراسة والتي أشتملت على تفاصيل عديدة متعلقة بكل صف من صفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي السبعة الأساسية الموجودة في نظام استعمالات الأراضي السوري المعمول به في وزارة الزراعة والاصلاح الزراعي والهيئة العامة للاستشعار عن بعد (إدريس، 2011)، وبخاصة فيما يتعلق بصفوف الغطاء النباتي المنتشر في منطقة الدراسة.



الشكل 4. استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي التفصيلية في منطقة الدراسة

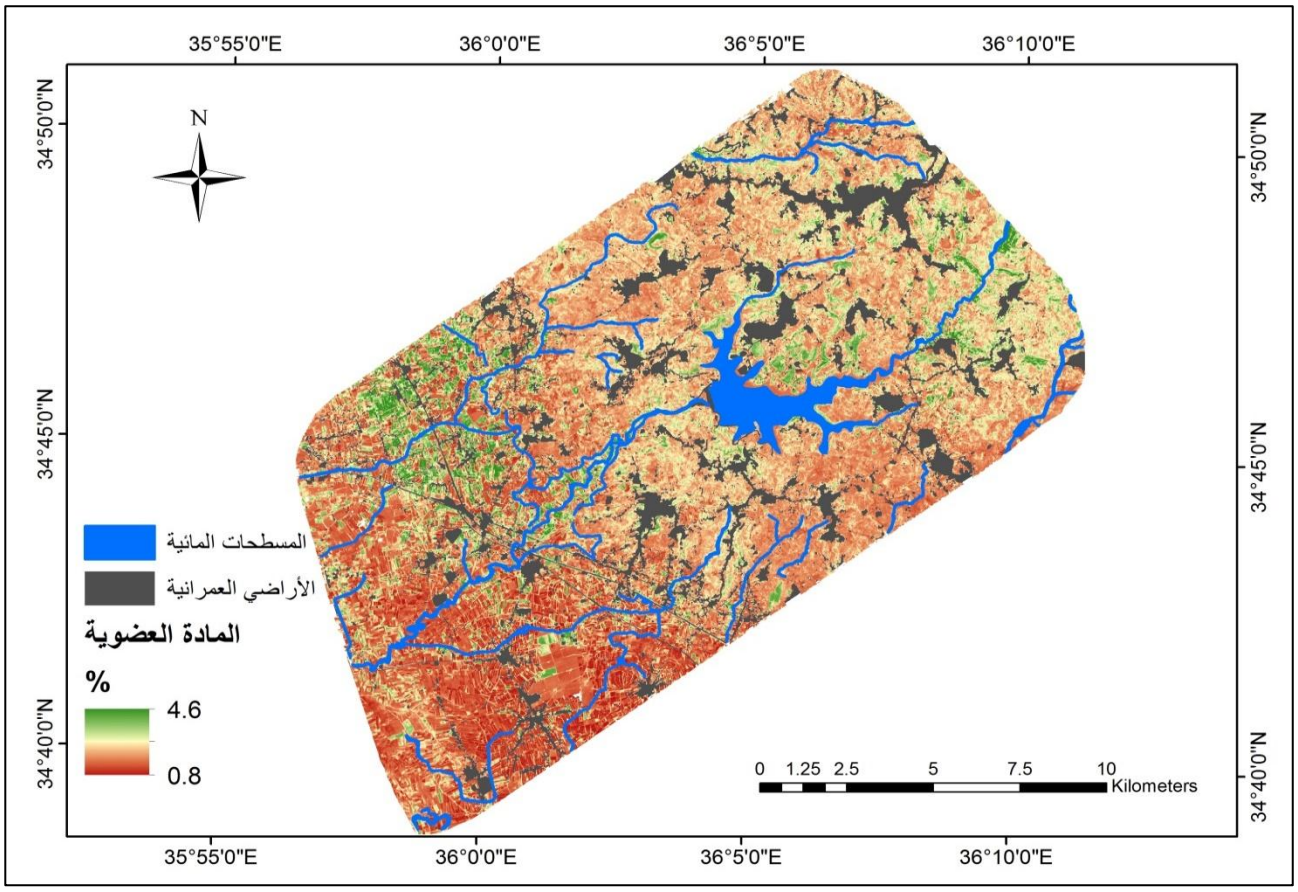
2- خصائص ترب منطقة الدراسة:

بينت نتائج التحاليل المخبرية والنمذجة الرياضية التي أجريت على عينات التربة السطحية (0 – 30سم) المأخوذة من منطقة الدراسة (151 عينة تربة موزعة على كامل منطقة الدراسة) خلال إجراء المسح الحقلي وجمع العينات في نهاية الشهر التاسع لعام 2017 أن قيم pH تراوحت بين (7.02 و 8.31) وهي قيم معتدلة إلى خفيفة القاعدية، وهذا يمكن أن يعود إلى السعة التنظيمية للتربة buffering capacity الناتجة عن وجود كميات كبيرة جداً من كربونات الكلسيوم الكلية ومركبات الكربونات الأخرى في تركيب الصخرة الأم المشكلة لترب منطقة الدراسة، وخاصة في الأجزاء الشرقية حيث تتواجد ترب على سفوح المنحدرات بأعماق قليلة لاتتجاوز 40 سم تشكلت على صخور أم كلسية. تراوحت قيم المادة العضوية في ترب منطقة الدراسة بين (0.8 و 4.6 %)، حيث تنتشر القيم العالية من المادة العضوية في الجزء الشمالي الغربي من منطقة الدراسة حيث تسود زراعة الحمضيات والتي يتم فيها استخدام كميات كبيرة من الاسمدة العضوية الطبيعية (زبل بلدي)، وحول سد الأبرش من الجهة الشرقية والشمالية حيث تنتشر مساحات من الغابات الطبيعية والحراج و أيضاً حول مجرى نهر الأبرش من الجهتين الشرقية والغربية لسد الأبرش حيث تتواجد زراعات عديدة (محاصيل حقلية وحمضيات)، في حين تنخفض كمية المادة العضوية نسبياً في الجزء الغربي والجنوبي الغربي من ترب المنطقة حيث تنتشر زراعة المحاصيل الحقلية التي تستنزف جزء كبير من المادة العضوية نتيجة لعمليات المعدنة

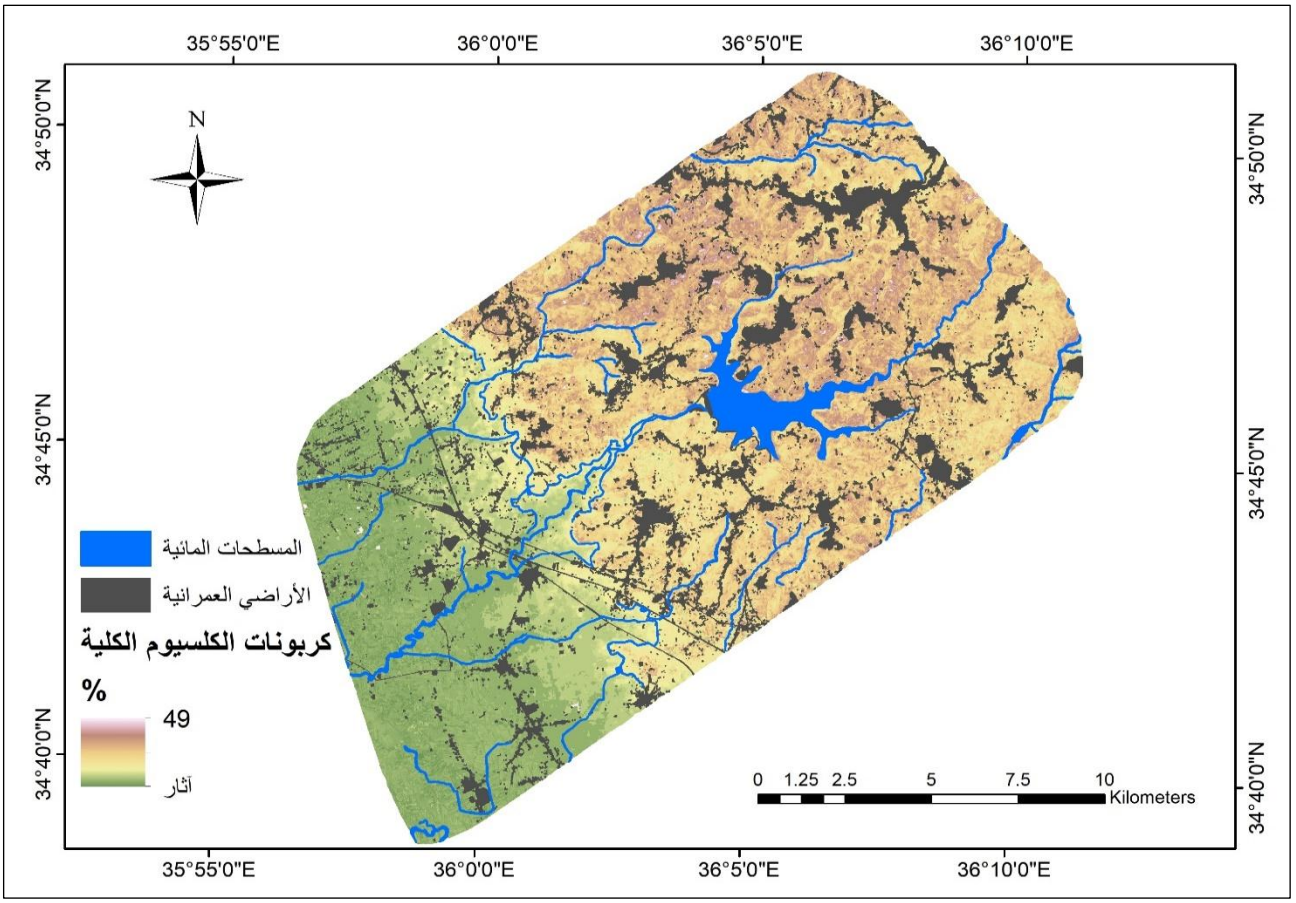
السريعة التي تحدث بفعل الممارسات الزراعية المختلفة، والشكل (5) يبين التوزع المكاني لقيم المادة العضوية في ترب منطقة الدراسة.

بينت النتائج وجود قيم منخفضة من كربونات الكلسيوم الكلية في الجزء الغربي من منطقة الدراسة حيث تسود تربة طينية سوداء عميقة تتراوح فيها نسبة كربونات الكلسيوم الكلية بين (0 – 10 %) وهي ترب منخفضة المحتوى جداً إلى ترب منخفضة من كربونات الكلسيوم الكلية، في حين تنتشر القيم العالية من كربونات الكلسيوم الكلية في الجزء الشرقي من منطقة الدراسة حيث تسود تربة غير عميقة لا يتجاوز عمقها 40 إلى 50 سم في كثير من المساحات تشكلت من صخور أم كلسية منتشرة في المناطق الجبلية وعلى سفوح المنحدرات حيث وصلت قيم كربونات الكلسيوم الكلية فيها حوالي 49 %، والشكل (6) يبين التوزع المكاني لقيم كربونات الكلسيوم الكلية في منطقة الدراسة.

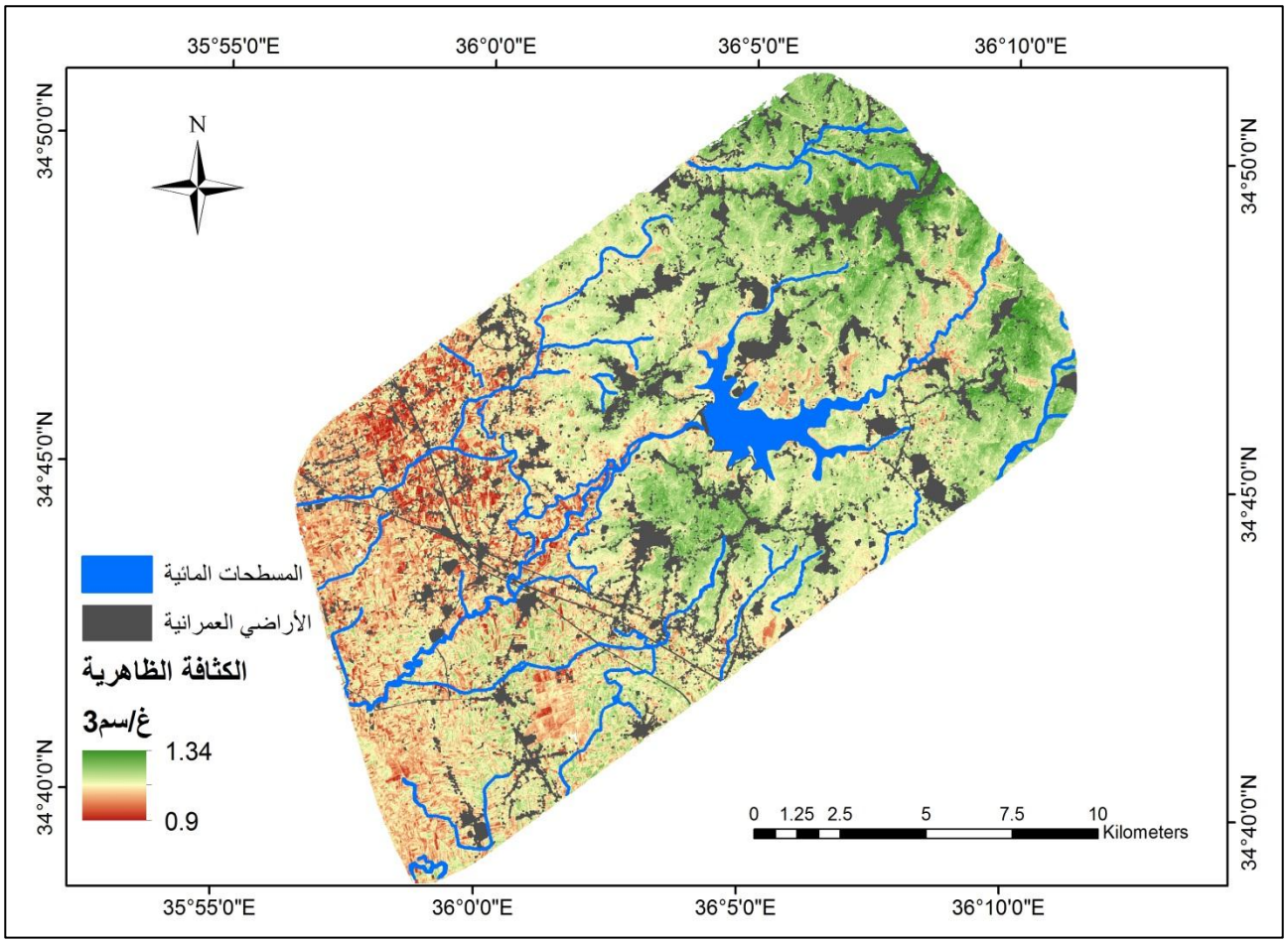
تراوحت قيم الكثافة الظاهرية في منطقة الدراسة بين (0.9 و 1.34 غ/سم^3) حيث تنتشر القيم العالية للكثافة الظاهرية بشكل عام على المرتفعات في الجزء الأوسط والشرقي من المنطقة والتي تتميز بقوام تربة يتراوح بين الطيني اللومي و الرملي الطيني اللومي و اللومي وكمية منخفضة نسبياً من المادة العضوية، في حين تنتشر القيم المنخفضة نسبياً على ضفاف نهر الأبرش وحول سد الأبرش من الجهة الشرقية للسد حيث تسود الترب الطينية ثقيلة القوام، كما و تتركز القيم المنخفضة للكثافة الظاهرية نوعاً ما في الجزء الغربي والشمالي الغربي من المنطقة والتي تسود فيها الترب الطينية اللومية والطينية وكميات جيدة من المادة العضوية وبخاصة في الأجزاء الشمالية الغربية حيث تنتشر زراعة الحمضيات، ويبين الشكل (7) التوزع المكاني للكثافة الظاهرية في منطقة الدراسة.



الشكل 5. توزع المادة العضوية في منطقة الدراسة

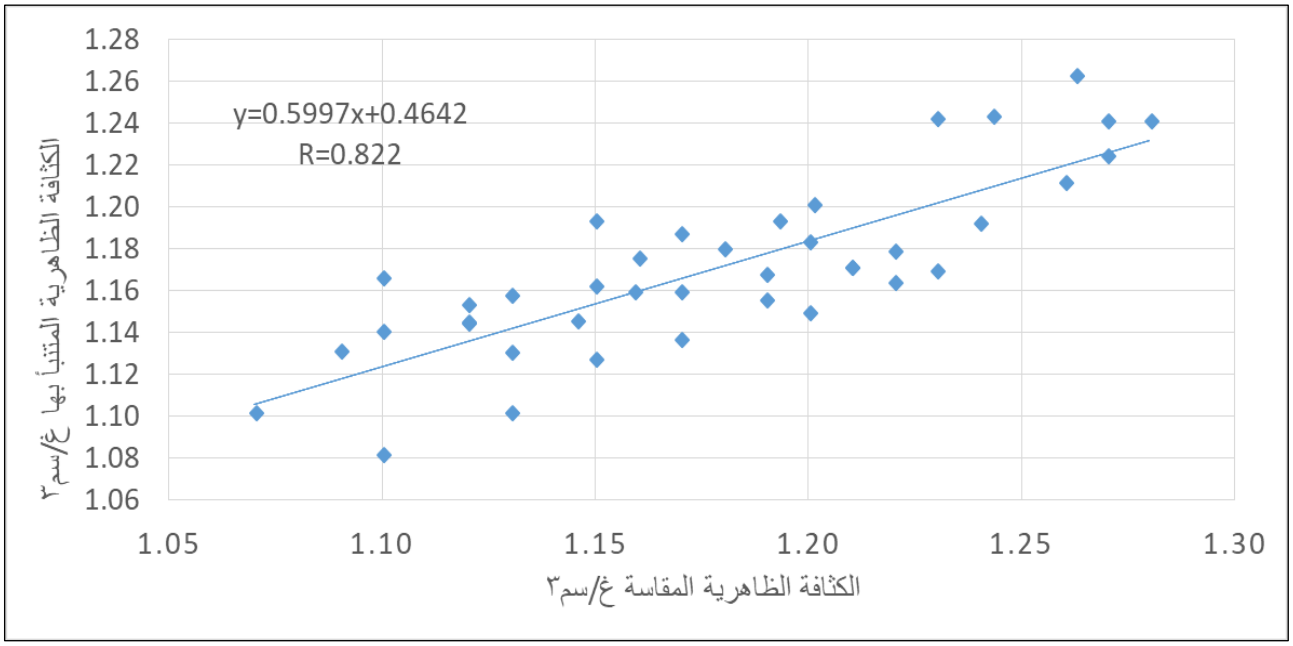


الشكل 6. توزع كربونات الكلسيوم الكلية في ترب منطقة الدراسة



الشكل 7. توزع قيم الكثافة الظاهرية في ترب منطقة الدراسة

بلغت قيمة معامل الارتباط بين قيم الكثافة الظاهرية المقاسة حقلياً وقيم الكثافة الظاهرية المتنبأ بها من خلال تطبيق معادلة كل من (Tomasella و Hodnett، 1988) R=0.822 كما يشير المخطط البياني (9).



المخطط البياني 9. معامل الارتباط بين القيم المقاسة والقيم المتنبا بها للكثافة الظاهرية

3- حساب قيم الانحدار واتجاه الانحدار

3-1- حساب الانحدار

يُعد الانحدار واحداً من أكثر مقاييس الخصائص الطبيعية Landscape أهمية، والمشتق العمودي الأول للارتفاع (Evans، 1972)، كما يشير الانحدار إلى زاوية ميل سطح الأرض عن الأفق، ويمكن حسابه باستخدام انظمة المعلومات الجغرافية من خلال عدد من المعادلات الرياضية (Chang و Tsai، 1991; Peucker وDouglas ، 1974; Green وSibson، 1978; McCullagh و Ross، 1980; McKenna، 1987; Scarlatos، 1989)، وتختلف دقة حساب كل طريقة من الطرائق باختلاف المعادلة الرياضية المستخدمة، كما تعتمد الدقة بشكل رئيسي على الدقة المكانية لنموذج DEM المستخدم في حساب الانحدار. تعتبر طريقة المشتق المكاني Spatial Derivative (Burrough وزملاؤه، 1998; Carter، 1992) من الطرائق الأكثر شيوعاً في حساب الانحدار في نظم المعلومات الجغرافية، حيث يشير المشتق إلى معدل التغير في قيم البيانات ويتم حساب الانحدار كما يلي:

$$Slope\ \% = 100 * \sqrt{\left[\frac{\Delta Z_x}{\Delta X}\right]^2 + \left[\frac{\Delta Z_y}{\Delta Y}\right]^2}$$

حيث أن (ΔZ_x) التغير في الارتفاع في الاتجاه (x)، (ΔZ_y) التغير في الارتفاع في الاتجاه (y)، (ΔX) قدرة التمييز المكاني في الاتجاه (X)، (ΔY) قدرة التمييز المكاني في الاتجاه (Y).

يتم حساب الانحدار حالياً باستخدام DEM المشتقة من بيانات الصور الرقمية بصيغة Raster في نظم المعلومات الجغرافية من خلال تمرير مصفوفة رقمية (Kernel 3*3) عبر سطح الشبكة المكانية المربعة Grid والتي تضم قيم الارتفاع عن سطح البحر، فعلى سبيل المثال يتم حساب درجة الانحدار للخلية E في شبكة Grid من خلال قيم الارتفاع عن سطح البحر للخلايا الثمانية المجاورة والمعلمة كما يلي (A, B, C, D, F, G, H):

A	B	C
D	E	F
G	H	I

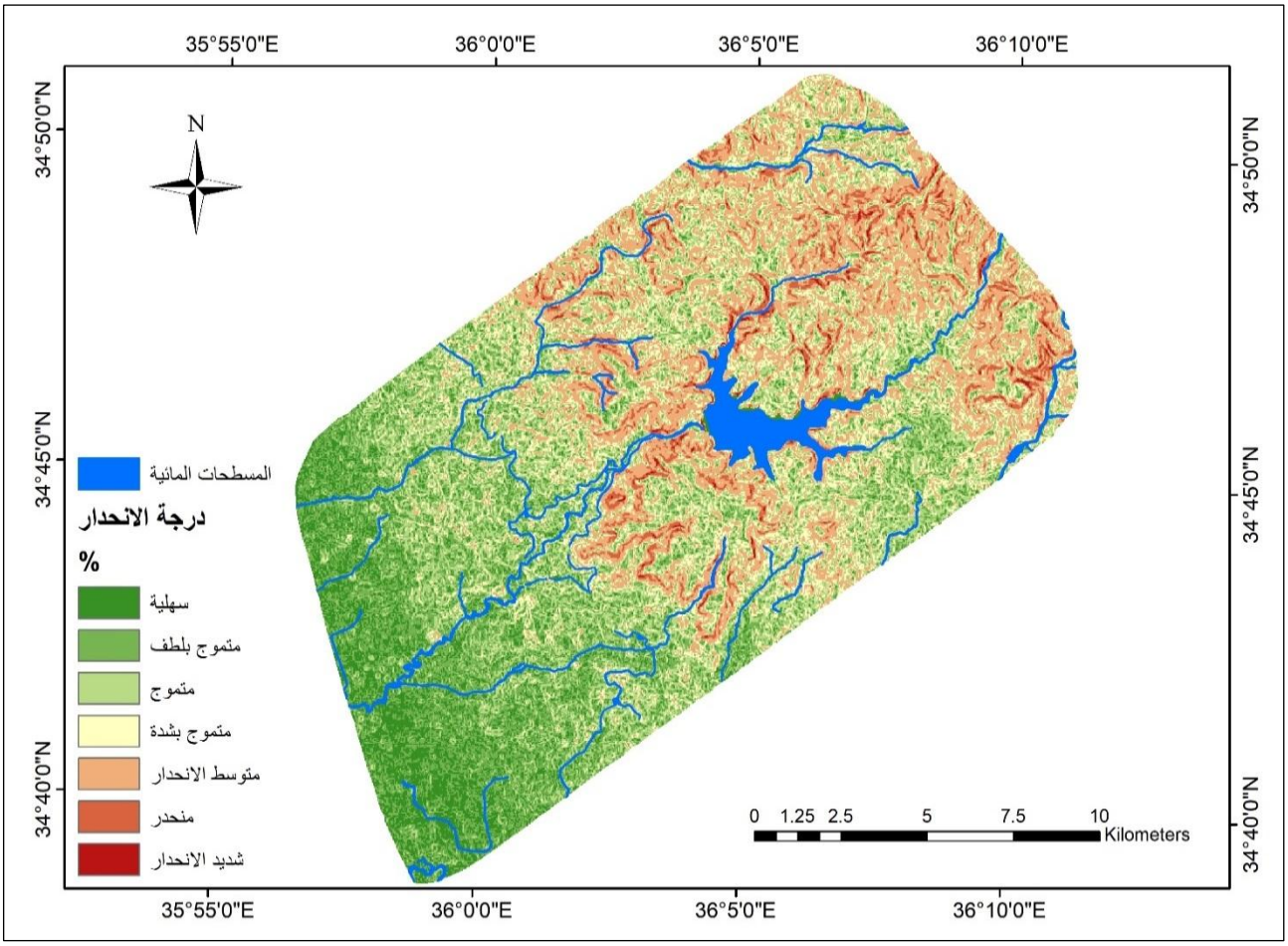
كما يعتبر الانحدار من المتغيرات الهامة في عدد من الدراسات البيئية، حيث بينت دراسات عديدة (Swanston وزملاؤه، 1973; Stock وزملاؤه، 2002; Turner، 1938; Verstappen، 1983; Way، 1973) ارتباط الانحدار بعوامل مختلفة من خصائص التربة ومنها عمق التربة، قوام التربة، شبكة مسيلات التربة الداخلية، مقطع التربة، وإنجراف التربة. تم في هذه الدراسة حساب الانحدار في منطقة الدراسة باستخدام خوارزمية ArcMap والمشروحة سابقاً بناءً على DEM لمنطقة الدراسة وتم بعد ذلك تصنيف قيم الانحدار

تبعاً لمنهجية Soil and Terrain Digital Database (SOTER) إلى الصفوف التالية (Dobos وزملاؤه، 2007).

جدول 11. صفوف الانحدار كنسبة مئوية وفقاً لدرجات الانحدار

الانحدار %	شكل التضاريس
2 - 0	سهل Flat
5 - 2	متموج بلطف Gently undulating
10 - 5	متموج Undulating
15 - 10	متموج بشدة Rolling
30 - 15	متوسط الانحدار Moderately steep
45 - 30	منحدر Steep
> 45	شديد الانحدار Extreme

يبين الشكل (8) صفوف درجات الانحدار وتوزعها المكاني، حيث يلاحظ ازدياد درجات الانحدار باتجاه الجزء الشرقي والشمالي الشرقي من المنطقة حيث تتواجد سلسلة جبلية تحيط بسد الأبرش.



الشكل 8. صفوف درجات الانحدار في منطقة الدراسة

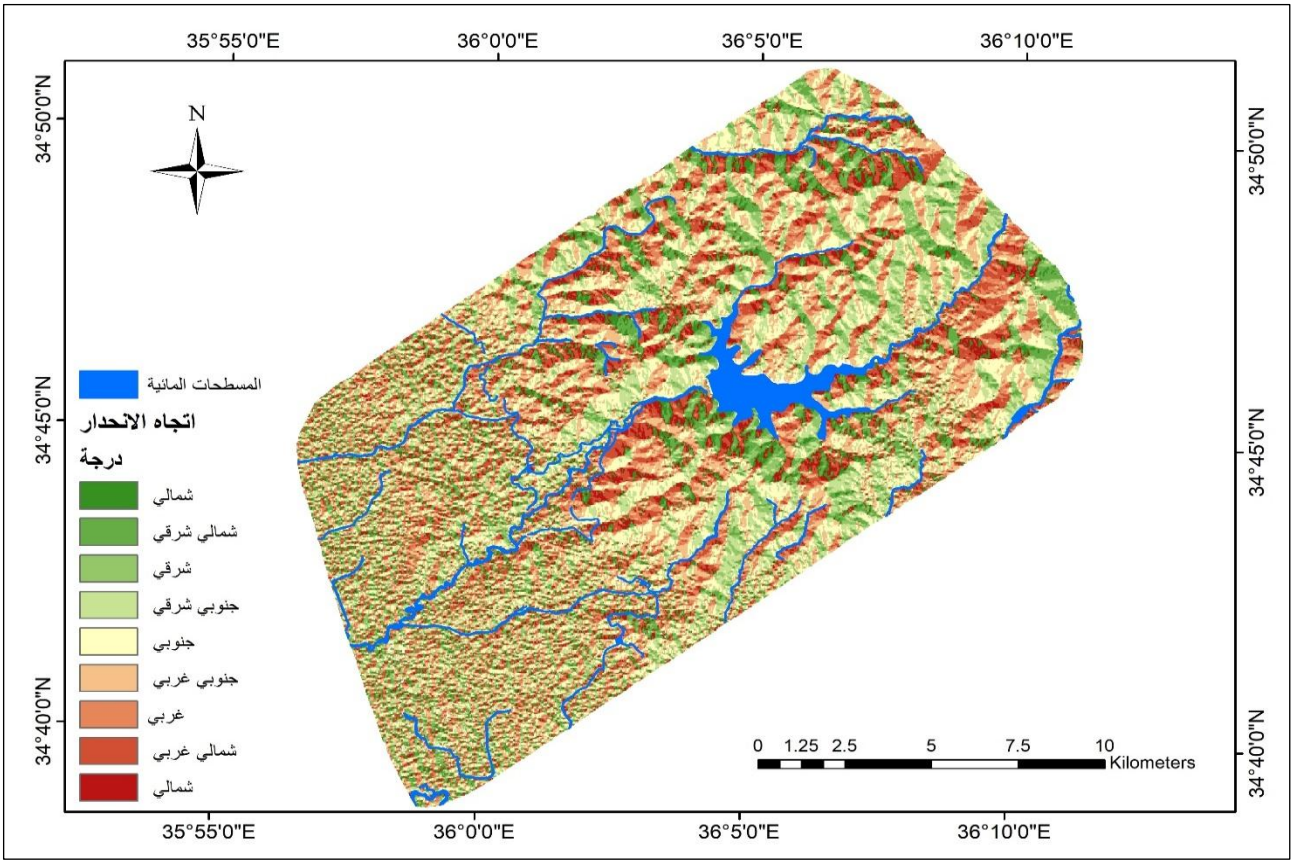
2-3- اتجاه الانحدار

تراوحت قيم اتجاه الانحدار بين (1.4 و 359.59 درجة)، حيث تم حساب قيم الانحدار بالدرجات باستخدام DEM، ثم جرى تصنيف اتجاه الانحدار بناءً على الجدول (12).

جدول 12. اتجاه الانحدار وفقاً لدرجات الانحدار

تجاه الانحدار	درجة الانحدار
شمالي	22.5 – 0
شمالي شرقي	67.5 – 22.5
شرقي	112.5 – 67.5
جنوبي شرقي	157.5 – 112.5
جنوبي	202.5 – 157.5
جنوبي غربي	247.5 – 202.5
غربي	292.5 – 247.5
شمالي غربي	337.5 – 292.5
شمالي	360 - 337.5

يبين الشكل (9) التوزع المكاني لاتجاه الانحدار في منطقة الدراسة.



الشكل 9. اتجاه الانحدار في منطقة الدراسة

4- تقديرالفسفور الكلي:

4-1- تم تقدير كميات الفسفور الكلي Total Phosphorus (TP) في المواقع التي لم يؤخذ منها عينات تربة لتحليل الفسفور الكلي في بداية العمل (بداية النمذجة) عند جمع عينات التربة (عينات حقلية ترابية من 151 نقطة حقلية) في نهاية الشهر التاسع لعام 2017 ببناء نموذج رياضي إحصائي باستخدام مجموعة من المتغيرات التفسيرية المستقلة (المادة العضوية، القرائن النباتية، المجالات الطيفية، الارتفاع عن سطح البحر، درجة الانحدار، اتجاه الانحدار، الرمل، السلت، الطين). فيما يلي الجداول الاحصائية الخاصة بأنشاء النموذج:

4-2- يلاحظ من الجدول (13) أن قيمة معامل التحديد R^2= 0.430 Square R بينما كانت قيمة معامل التحديد المعدل R^2= 0.418 Adjusted R Square وهي دالة إحصائية أكثر مصداقية في تفسير الارتباط بين المتغيرات لأنها تأخذ بعين الاعتبار كل المتغيرات المستقلة التفسيرية الداخلة في معادلة الانحدار الخطي المتعدد (النموذج) مما يعني أن 64.7 % من التغيرات التي تحدث في قيم الفسفور الكلي في التربة يمكن تفسيرها بالتغيرات التي تحدث في قيم كل من (SOM, DEM)، كما أن قيمة معامل الارتباط R Correlation coefficient التي تقيس مدى قوة العلاقة (الارتباط) بين المتغير التابع (الفسفور الكلي) و المتغيرات التفسيرية المستقلة (SOM, DEM) بلغت R= 0.656 عند مدى معنوية للعلاقة Sig. F Change مساوي 0.000 وهي قيمة معنوية عند مستوى الدلالة 0.05 و 0.01.

جدول 13. البيانات الإحصائية الخاصة بمعادلة الانحدار الخطي المتعدد للفسفور الكلي

Change Statistics					Std. Error of the Estimate	Adjusted R Square	R Square	R	Model
Sig. F Change	df2	df1	F Change	R Square Change					
0.000	97	1	25.213	0.148	35.394	0.418	0.430	0.656	1

4-3- يوضح الجدول (14) تحليل التباين ANOVA للنموذج الرياضي المعتمد، حيث تم استخدام قيم الجدول (14) للتأكد من معنوية نموذج الانحدار الخطي المتعدد المفترض باستخدام اختبار F، حيث يلاحظ أن قيمة F المحسوبة F=36.616 عند مستوى معنوية 0.000 وهي أقل من مستوى المعنوية 0.05 و 0.01 وهذا يعني أن نموذج الانحدار الخطي المتعدد معنوي عند مستوى الدلالة 0.05 و 0.01، وبالتالي فإن معادلة خط الانحدار المتعدد المقترحة تناسب البيانات المستخدمة في الدراسة.

جدول 14. تحليل التباين ANOVA لنموذج الانحدار الخطي المتعدد للفسفور الكلي

Sig.	F	Mean Square	df	Sum of Squares	Model	
0.000	36.616	45870.04	2	91740.08	Regression	1
		1252.745	97	121516.281	Residual	
			99	213256.361	Total	

4-4- يوضح الجدول (15) قيم معاملات نموذج الانحدار الخطي المتعدد بطريقة Stepwise، حيث يلاحظ أن قيمة ثابت نموذج الانحدار الخطي المتعدد يساوي (247.495) وهي قيمة معنوية عند مستوى الدلالة 0.05 و 0.01 وذلك لأن قيمة مستوى المعنوية المشاهد في الجدول (15) 0.000 وهي أقل من 0.05 و 0.01، أما قيمة

معامل المتغير التفسيري SOM والذي يساوي (57.660) فذو قيمة معنوية عند مستوى الدلالة 0.05 و 0.01 وذلك لأن قيمة مستوى المعنوية المشاهد في الجدول 0.000 وهي أقل من 0.05 و 0.01، أي أن قيم المادة العضوية في التربة ارتبطت ارتباطاً معنوياً موجباً مع قيم الفسفور الكلي، وأيضاً يتبين من الجدول (9) أن قيمة معامل المتغير التفسيري DEM والذي يساوي (0.258-) هي قيمة معنوية عند مستوى الدلالة 0.05 و 0.01 وذلك لأن قيمة مستوى المعنوية المشاهد في الجدول 0.000 وهي أقل من 0.05 و 0.01، أي أن قيم الارتفاع عن سطح البحر DEM ارتبطت ارتباطاً معنوياً سالباً مع قيم الفسفور الكلي. وهذا يتوافق مع نتائج كل من (Gupta and Lattoo، 1999; Singh وزملاؤه، 2010; Monika وزملاؤه، 2018).

جدول 15. قيم معاملات خط الانحدار الخطي المتعدد للفسفور الكلي

Correlations			Sig.	t	Standardized Coefficients	Unstandardized Coefficients		Model	
Part	Partial	Zero-order			Beta	Std. Error	B		
			0.000	16.386		15.104	247.495	(Constant)	1
0.603	0.624	0.531	0.000	7.864	0.618	7.332	57.660	SOM	
-0.385	-0.454	-0.259	0.000	-5.021	-0.395	0.051	-0.258	DEM	

وبناءً على بيانات الجداول (13, 14, 15) يُمكن صياغة معادلة الانحدار الخطي المتعدد الخاصة بتقدير الفسفور الكلي TP في ترب منطقة الدراسة بالاعتماد على قيم المتغيرات المستقلة التفسيرية (DEM ,SOM) كما يلي:

$$TP = 247.495 + 57.660 * OM - 0.258 * DEM$$

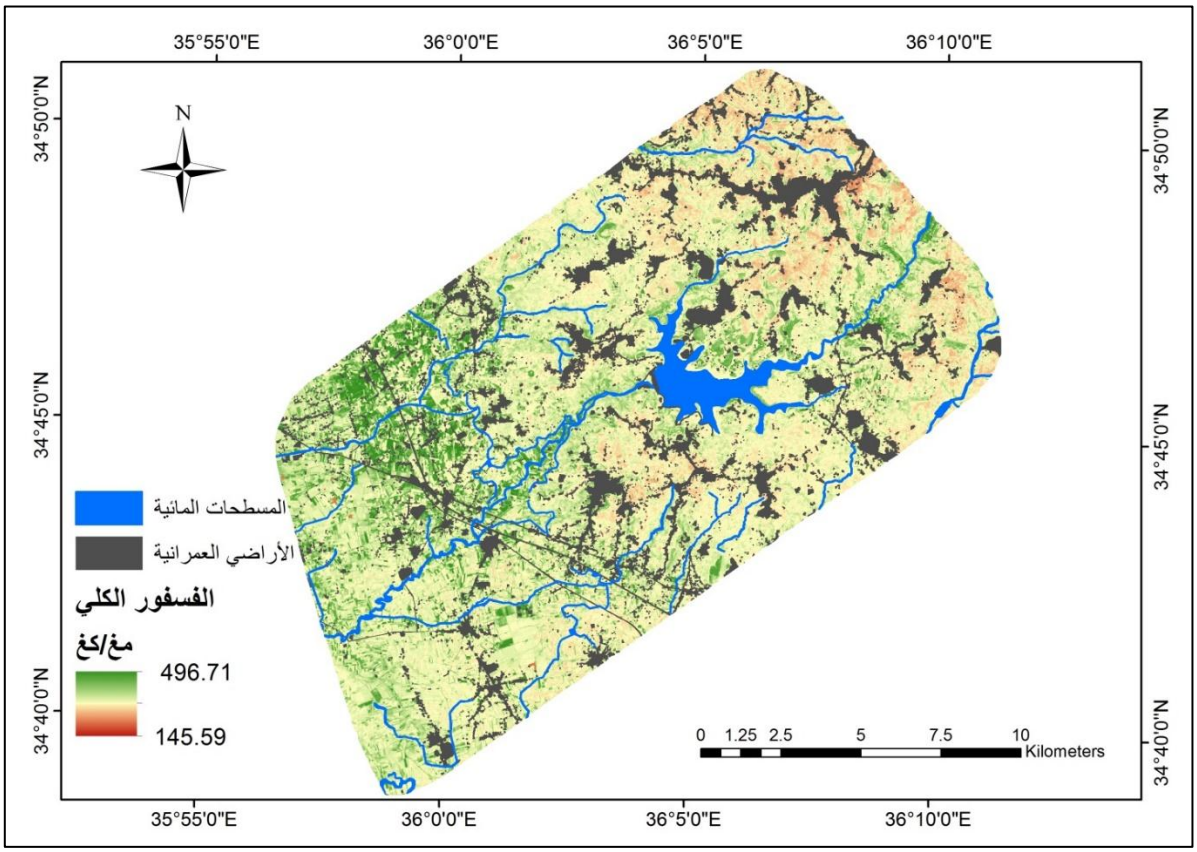
4-5- تراوحت قيم الفسفور الكلي في ترب منطقة الدراسة في بداية العمل بين (145.59 و 496.71 مغ/كغ)، والجدول (16) التالي يبين قيم الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور الكلي تبعاً لكل صف من صفوف الغطاء النباتي المنتشر في منطقة الدراسة، إضافة لمساحة كل صف من صفوف الغطاء النباتي والنسبة المئوية لمساحة كل صف من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة.

جدول 16. الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور الكلي في صفوف الغطاء النباتي

صف الغطاء النباتي	الحد الأعلى لقيم الفسفور الكلي مغ/كغ	الحد الأدنى لقيم الفسفور الكلي مغ/كغ	متوسط قيم الفسفور الكلي (مغ/كغ)	المساحة ($كم^2$)	المساحة %
الغابات والحراج	496.71	165.97	359.18	17.81	6.25
الحمضيات	494.31	173.71	390.68	21.61	7.59
الزيتون	473.17	145.59	324.83	113.32	39.77
المحاصيل الحقلية	480.91	146.36	344.16	83.93	29.45

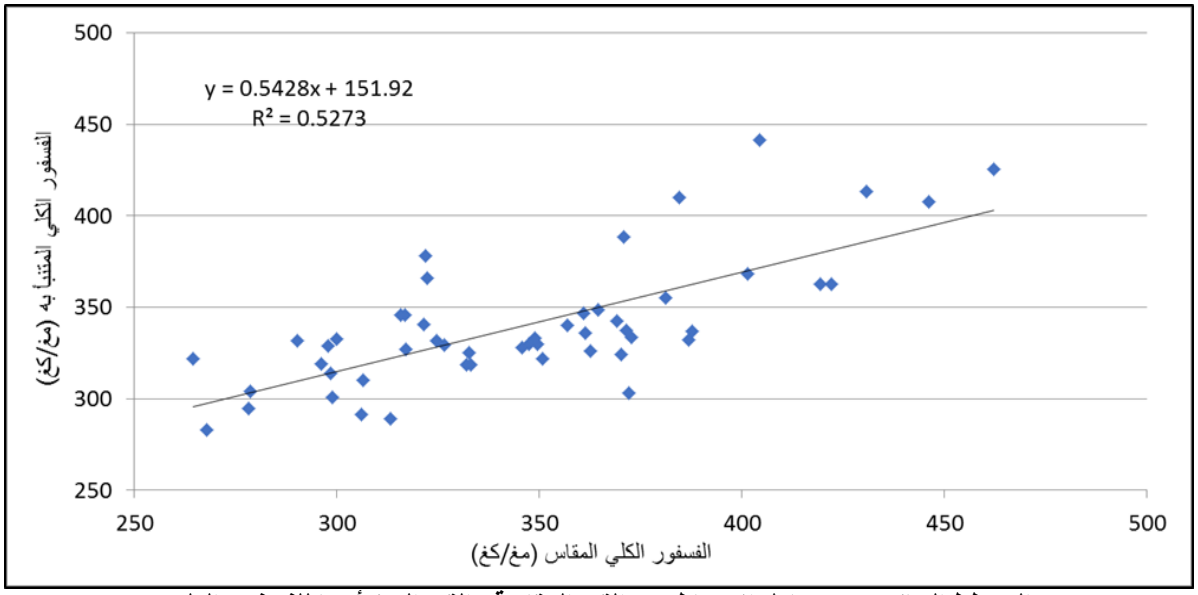
يلاحظ من خلال الشكل (10) الذي يبين التوزع المكاني لقيم الفسفور الكلي في منطقة الدراسة بأن القيم العالية للفسفور الكلي تركزت في الجزء الغربي و الشمالي الغربي من منطقة الدراسة حيث تسود زراعة الحمضيات،

وأيضاً على طول مجرى نهر الأبرش من الجهتين الشرقية والغربية للسد حيث تسود زراعات مختلفة (زراعات محمية ومحاصيل مختلفة وحمضيات) تستخدم فيها كميات كبيرة من الاسمدة المعدنية والعضوية، بينما انخفضت قيم الفسفور الكلي في الجزء الشرقي والشمالي الشرقي من منطقة الدراسة.



الشكل 10. توزع الفسفور الكلي في ترب منطقة الدراسة

6-4- بلغت قيمة معامل الارتباط بين قيم الفسفور الكلي المقاس حقلياً وقيم الفسفور الكلي المتنبأ به من خلال المعادلة الرياضية السابقة R=0.726 والمخطط البياني (10) التالي يبين قيمة معامل التحديد.



المخطط البياني 10. معامل الارتباط بين القيم المقاسة والقيم المتنبأ بها للفسفور الكلي

5- تقدير الفسفور العضوي

5-1- تم تقدير كميات الفسفور العضوي Organic Phosphorus (OP) في المواقع التي لم يؤخذ منها عينات تربة لتحليل الفسفور العضوي في بداية العمل (بداية النمذجة) عند جمع عينات التربة (عينات حقلية ترابية من 151 نقطة حقلية) في نهاية الشهر التاسع لعام 2017 بأنشاء نموذج رياضي إحصائي باستخدام مجموعة من المتغيرات التفسيرية المستقلة (المادة العضوية، القرائن النباتية، المجالات الطيفية، الارتفاع عن سطح البحر، درجة الانحدار، اتجاه الانحدار، الرمل، السلت، الطين). فيما يلي الجداول الاحصائية الخاصة بأنشاء النموذج:

5-2- يلاحظ من الجدول (17) أن قيمة معامل التحديد R^2= 0.742 Square R بينما كانت قيمة معامل التحديد المعدل R^2= 0.736 Adjusted R Square وهي دالة إحصائية أكثر مصداقية في تفسير الارتباط بين المتغيرات لأنها تأخذ بعين الاعتبار كل المتغيرات المستقلة التفسيرية الداخلة في معادلة الانحدار الخطي المتعدد (النموذج) وهذا يعني أن 85.8 % من التغيرات التي تحدث في قيم الفسفور العضوي في التربة يمكن تفسيرها عن طريق التغيرات التي تحدث في قيم كل من (SOM, GRVI)، كما أن قيمة معامل الارتباط R Correlation coefficient التي تقيس مدى قوة العلاقة (الارتباط) بين المتغير التابع (الفسفور العضوي) و المتغيرات التفسيرية المستقلة (SOM, GRVI) بلغت R= 0.861 عند مدى معنوية للعلاقة Sig. F Change مساوي 0.005 وهي قيمة معنوية عند مستوى الدلالة 0.05 و 0.01.

جدول 17. البيانات الإحصائية الخاصة بمعادلة الانحدار الخطي المتعدد للفسفور العضوي

Change Statistics					Std. Error of the Estimate	Adjusted R Square	R Square	R	Model
Sig. F Change	df2	df1	F Change	R Square Change					
0.005	97	1	8.308	0.022	14.125	0.736	0.742	0.861	2

5-3- يوضح الجدول (18) تحليل التباين ANOVA للنموذج الرياضي المعتمد وقد استخدمت قيم الجدول (18) للتأكد من معنوية نموذج الانحدار الخطي المتعدد المفترض باستخدام اختبار F، حيث يلاحظ أن قيمة F المحسوبة F=139.233 عند مستوى معنوية 0.000 وهي أقل من مستوى المعنوية 0.05 و 0.01 وهذا يعني أن نموذج الانحدار الخطي المتعدد معنوي عند مستوى الدلالة 0.05 و 0.01، وبالتالي فإن معادلة خط الانحدار المتعدد المقترحة تناسب البيانات المستخدمة في الدراسة.

جدول 18. تحليل التباين ANOVA لنموذج الانحدار الخطي المتعدد للفسفور العضوي

Sig.	F	Mean Square	df	Sum of Squares	Model	
0.000	139.233	27780.604	2	55561.208	Regression	2
		199.526	97	19354.045	Residual	
			99	74915.253	Total	

5-4- يوضح الجدول (19) قيم معاملات نموذج الانحدار الخطي المتعدد بطريقة Stepwise، حيث يلاحظ أن قيمة ثابت نموذج الانحدار الخطي المتعدد يساوي (18.014-) وهي قيمة معنوية عند مستوى الدلالة 0.05 وذلك لأن قيمة مستوى المعنوية المشاهد في الجدول (19) 0.031 وهي أقل من 0.05، أما قيمة معامل المتغير

التفسيري SOM والذي يساوي (34.322) فذو قيمة معنوية عند مستوى الدلالة 0.05 و 0.01 وذلك لأن قيمة مستوى المعنوية المشاهد في الجدول 0.000 وهي أقل من 0.05 و 0.01، أي أن قيم المادة العضوية في التربة ارتبطت ارتباطاً معنوياً موجباً مع قيم الفسفور العضوي، وأيضاً يتبين من الجدول (19) أن قيمة معامل المتغير التفسيري GRVI والذي يساوي (22.418) هي قيمة معنوية عند مستوى الدلالة 0.05 و 0.01 وذلك لأن قيمة مستوى المعنوية المشاهد في الجدول 0.005 وهي أقل من 0.05 و 0.01، أي أن قيم الدليل النباتي GRVI ارتبطت ارتباطاً معنوياً موجباً مع قيم الفسفور العضوي. هذا يتفق ونتائج (Viswanath and Doddamani، 1991; Monika وزملاؤه، 2018).

جدول 19. قيم معاملات خط الانحدار الخطي المتعدد للفسفور العضوي

Correlations			Sig.	t	Standardized Coefficients	Unstandardized Coefficients		Model	
Part	Partial	Zero-order			Beta	Std. Error	B		
			0.031	-2.195		8.207	-18.014	(Constant)	2
0.339	0.555	0.848	0.000	6.577	0.621	5.219	34.322	SOM	
0.149	0.281	0.791	0.005	2.882	0.272	7.777	22.418	GRVI	

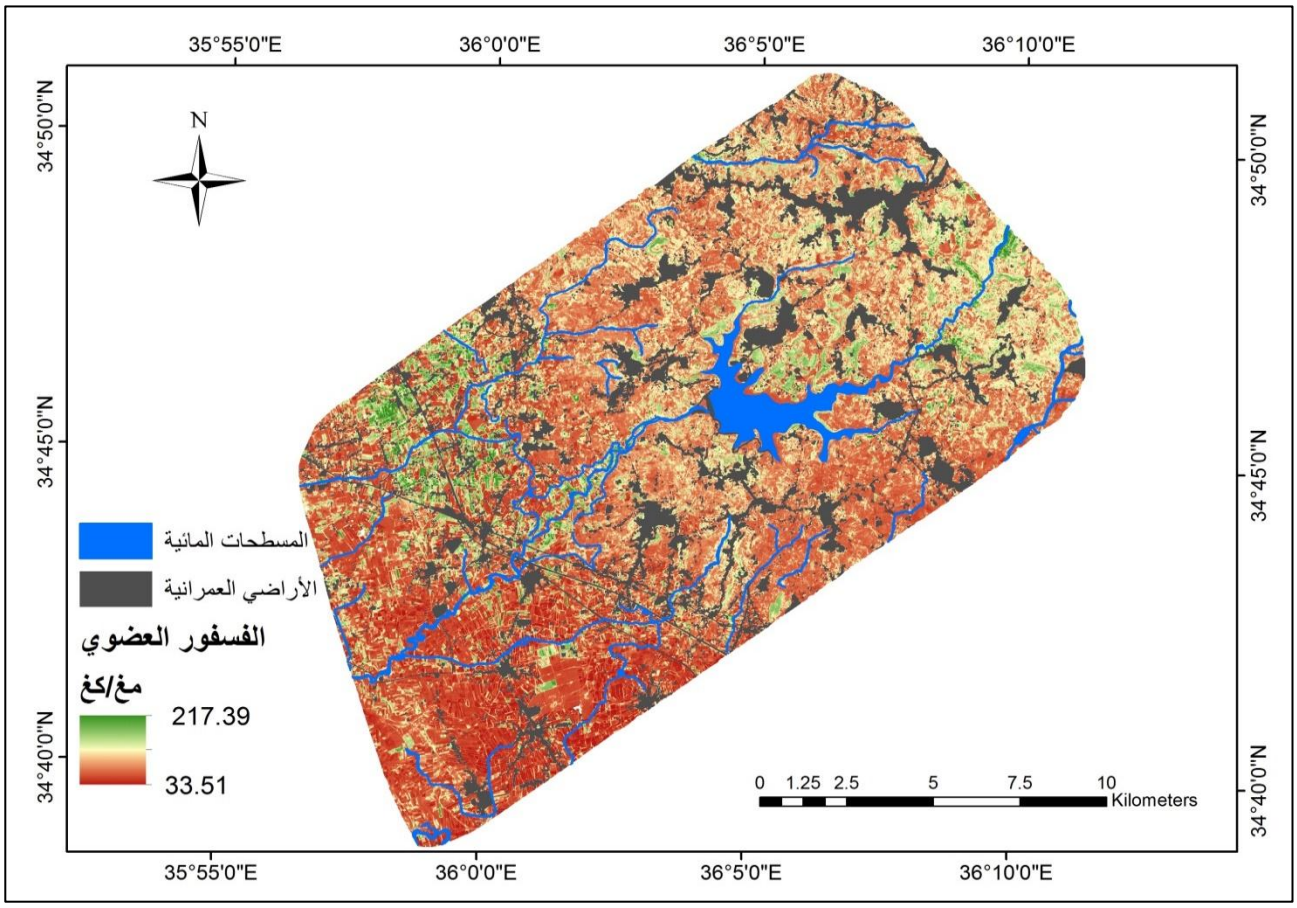
يُمكن بناءً على بيانات الجداول (17, 18, 19) صياغة معادلة الانحدار الخطي المتعدد الخاصة بتقدير الفسفور العضوي OP في ترب منطقة الدراسة بالاعتماد على قيم المتغيرين المستقلين التفسيريين (GRVI ,SOM) كما يلي:

$$OP = -18.014 + 34.322 * SOM + 22.418 * GRVI$$

5-5- تراوحت قيمة الفسفور العضوي في منطقة الدراسة في بداية العمل بين (33.51 و217.39 مغ/كغ)، وتركزت القيم العالية في الجزء الشمالي الغربي من منطقة الدراسة، كما تركزت أيضاً على سفوح المرتفعات في وسط وشرق منطقة الدراسة حيث تسود زراعة الزيتون بشكل كبير ووجود جيوب متفرقة من الغطاء الغابي (محميات غابية) والعشبي المنتشر على سفوح الجبال، واستخدام المزارعين للسماد البلدي بشكل جيد وبخاصة على اشجار الزيتون و بساتين الحمضيات المتواجدة على اطراف الوديان. بينما يمكن ان يعزى انخفاض كميات الفسفور العضوي في الجزء الجنوبي والجنوبي الغربي من منطقة الدراسة نتيجة لعمليات المعدنة السريعة التي تحدث، كون تلك المناطق تستثمر بزراعات المحاصيل المختلفة والبيوت المحمية مما لايتيح تراكم للمخلفات النباتية على سطح التربة لفترات طويلة، ونتيجة للممارسات الزراعية المختلفة ومنها الحراثة المستمرة وقلب التربة مما يشجع عمليات المعدنة الحيوية. يبين الشكل (11) التوزع المكاني للفسفور العضوي في ترب منطقة الدراسة. يبين الجدول (20) قيم الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور العضوي لكل صف من صفوف الغطاء النباتي الموجود في منطقة الدراسة.

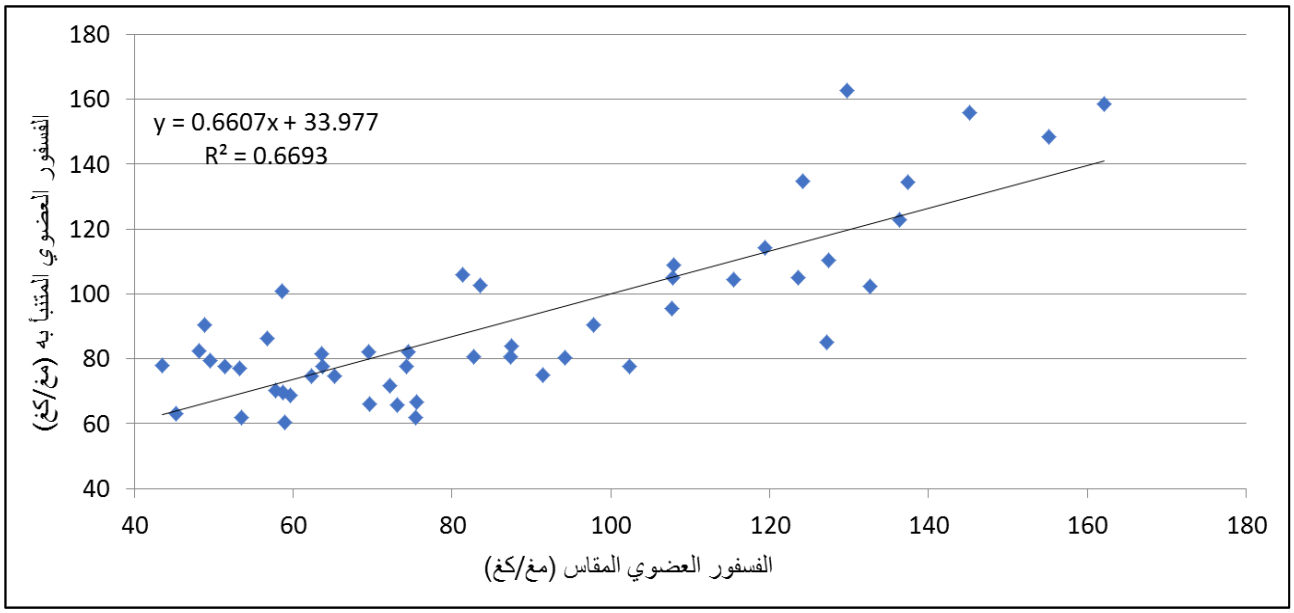
جدول 20. الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور العضوي في صفوف الغطاء النباتي

صف الغطاء النباتي	الحد الأعلى لقيم الفسفور العضوي مغ/كغ	الحد الأدنى لقيم الفسفور العضوي مغ/كغ	متوسط قيم الفسفور العضوي (مغ/كغ)
الغابات والحراج	210.25	62.42	107.35
الحمضيات	217.39	74.34	110.88
الزيتون	206.61	38.97	81.61
المحاصيل الحقلية	203.91	33.51	70.39



الشكل 11. توزع الفسفور العضوي في ترب منطقة الدراسة

6-5- بلغ معامل الارتباط بين قيم الفسفور العضوي المقاس حقلياً وقيم الفسفور العضوي المتنبأ به من خلال المعادلة الرياضية الإحصائية السابقة $R=0.818$ كما يبين المخطط البياني (11) التالي قيمة معامل التحديد.



المخطط البياني 11. معامل الارتباط بين القيم المقاسة والقيم المتنبأ بها للفسفور العضوي

6- تقديرالفسفور المعدني الكلي:

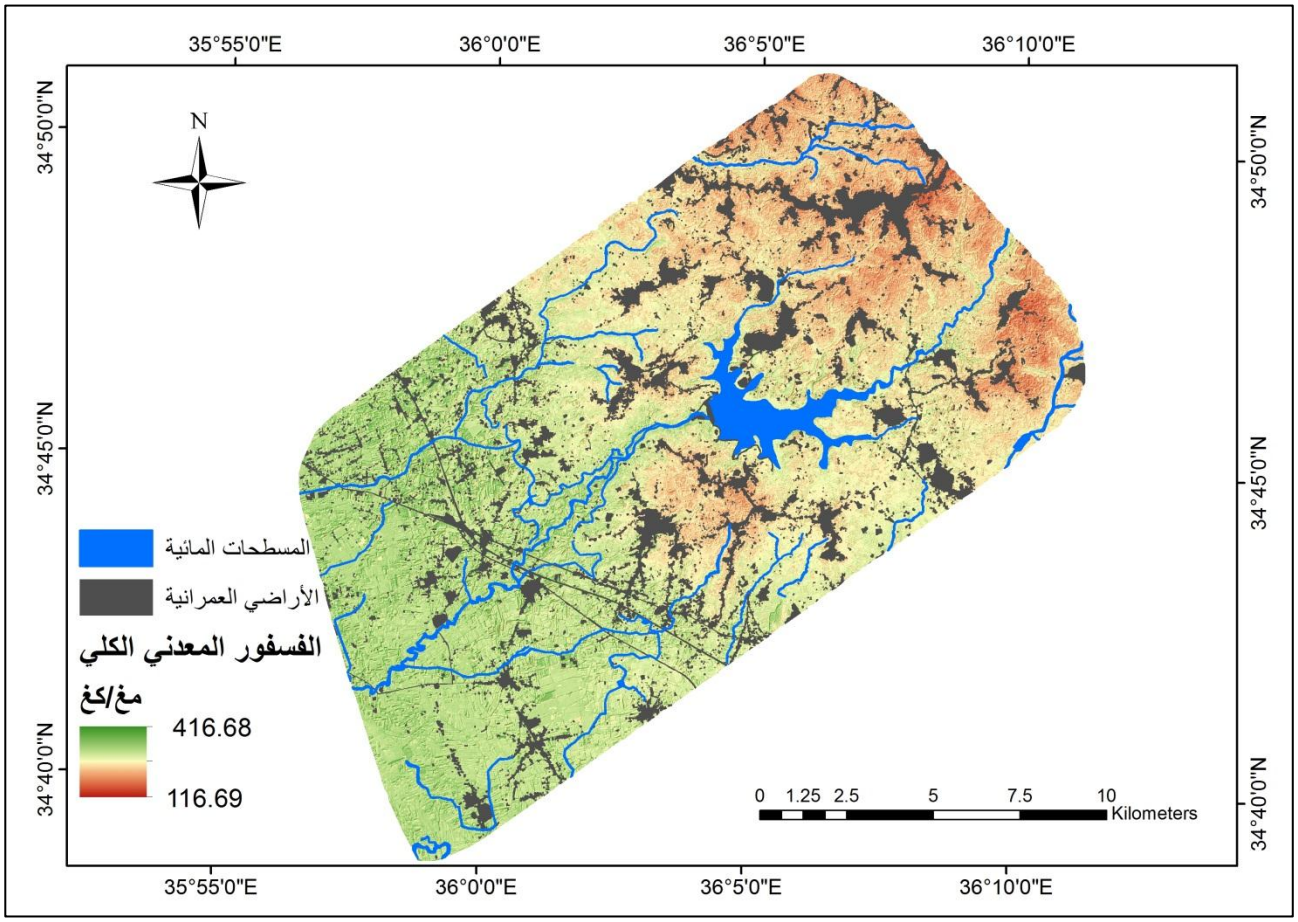
6-1- تم تقدير الفسفور المعدني الكلي Inorganic Phosphorus (INOP) في المواقع التي لم يؤخذ منها عينات تربة لتحليل الفسفور المعدني في بداية العمل (بداية النمذجة) عند جمع عينات التربة (عينات حقلية ترابية من 151 نقطة حقلية) في نهاية الشهر التاسع لعام 2017، وذلك بعد تقدير كل من الفسفور الكلي (TP) والفسفور العضوي (OP) في منطقة الدراسة بتطبيق النماذج الرياضية الإحصائية الخاصة بكل منهما كما ورد سابقاً، ويحسب الفسفور المعدني الكلي من المعادلة التالية:

$$INOP = TP - OP$$

6-2- تراوحت قيم الفسفور المعدني في منطقة الدراسة في بداية العمل بين (116.69 و 416.68 مغ/كغ)، حيث يتبين من الشكل (12) أن القيم العالية للفسفور المعدني تركزت على طول مجرى نهر الأبرش وفي الجزء الغربي و الشمالي الغربي من منطقة الدراسة حيث تتركز زراعة المحاصيل الحقلية والحمضيات والبيوت المحمية، إضافة للسفوح الجبلية المطلة على سد الأبرش من الجهة الشرقية حيث تنتشر مساحات من المحميات الغابية المختلفة، بينما تركزت القيم المنخفضة في الجزء الشرقي والشمالي الشرقي من منطقة الدراسة حيث تنتشر زراعة الزيتون على سفوح المنحدرات. يبين الجدول (21) قيم الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور المعدني الكلي لكل صف من صفوف الغطاء النباتي الموجود في منطقة الدراسة، كما يُظهر الشكل (12) التالي التوزع المكاني لقيم الفسفور المعدني في ترب منطقة الدراسة.

جدول 21. الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور المعدني الكلي في صفوف الغطاء النباتي

صف الغطاء النباتي	الحد الأعلى لقيم الفسفور المعدني الكلي مغ/كغ	الحد الأدنى لقيم الفسفور المعدني الكلي مغ/كغ	متوسط قيم الفسفور المعدني الكلي (مغ/كغ)
الغابات والحراج	411.06	133.5	251
الحمضيات	416.68	135.8	276.77
الزيتون	407.28	116.69	240.62
المحاصيل الحقلية	408.62	133.78	271.88



الشكل 12. توزع الفسفور المعدني الكلي في ترب منطقة الدراسة

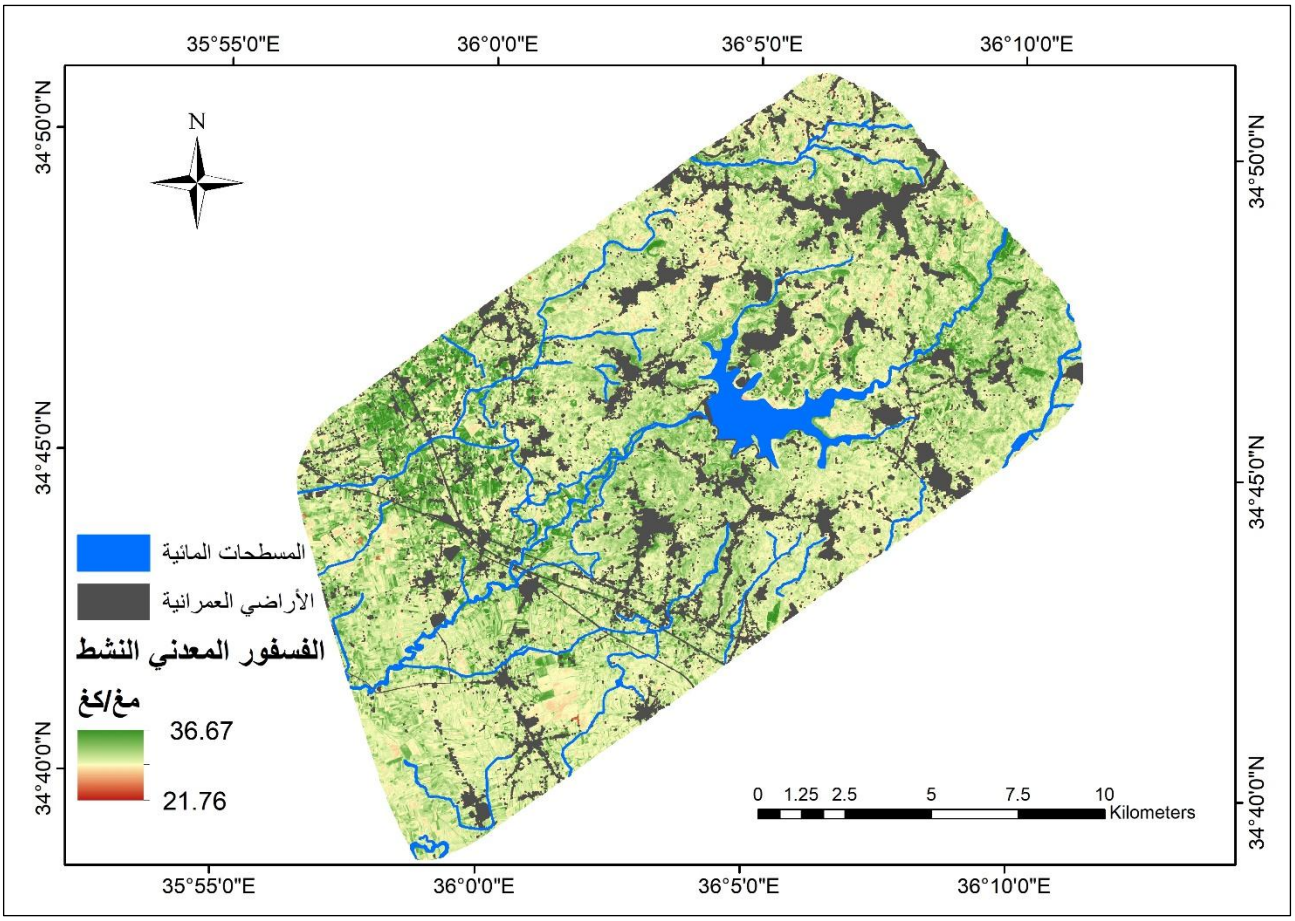
7- تقدير الفسفور المعدني النشط (المثبت جزئياً):

7-1- تراوحت قيم الفسفور المعدني النشط في بداية العمل بين (21.76 و 36.67 مغ/كغ)، والشكل (13) التالي يبين التوزع المكاني لقيم الفسفور النشط في ترب منطقة الدراسة، حيث تتواجد القيم المرتفعة من هذا الفسفور بشكل عام في الجزء الغربي والشمالي الغربي من منطقة الدراسة وحول مجرى نهر الأبرش من الجهتين

الغربية والشرقية للسد. يبين الجدول (22) قيم الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور المعدني النشط (المثبت جزئياً) لكل صف من صفوف الغطاء النباتي الموجود في منطقة الدراسة.

جدول 22. الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور المعدني النشط في صفوف الغطاء النباتي

صف الغطاء النباتي	الحد الأعلى لقيم الفسفور المعدني النشط مغ/كغ	الحد الأدنى لقيم الفسفور المعدني النشط مغ/كغ	متوسط قيم الفسفور المعدني النشط (مغ/كغ)
الغابات والحراج	36.15	26.37	29.4
الحمضيات	36.67	27.94	29.98
الزيتون	34.66	21.76	27.62
المحاصيل الحقلية	35.72	24.29	27.69



الشكل 13. توزع الفسفور المعدني النشط في ترب منطقة الدراسة

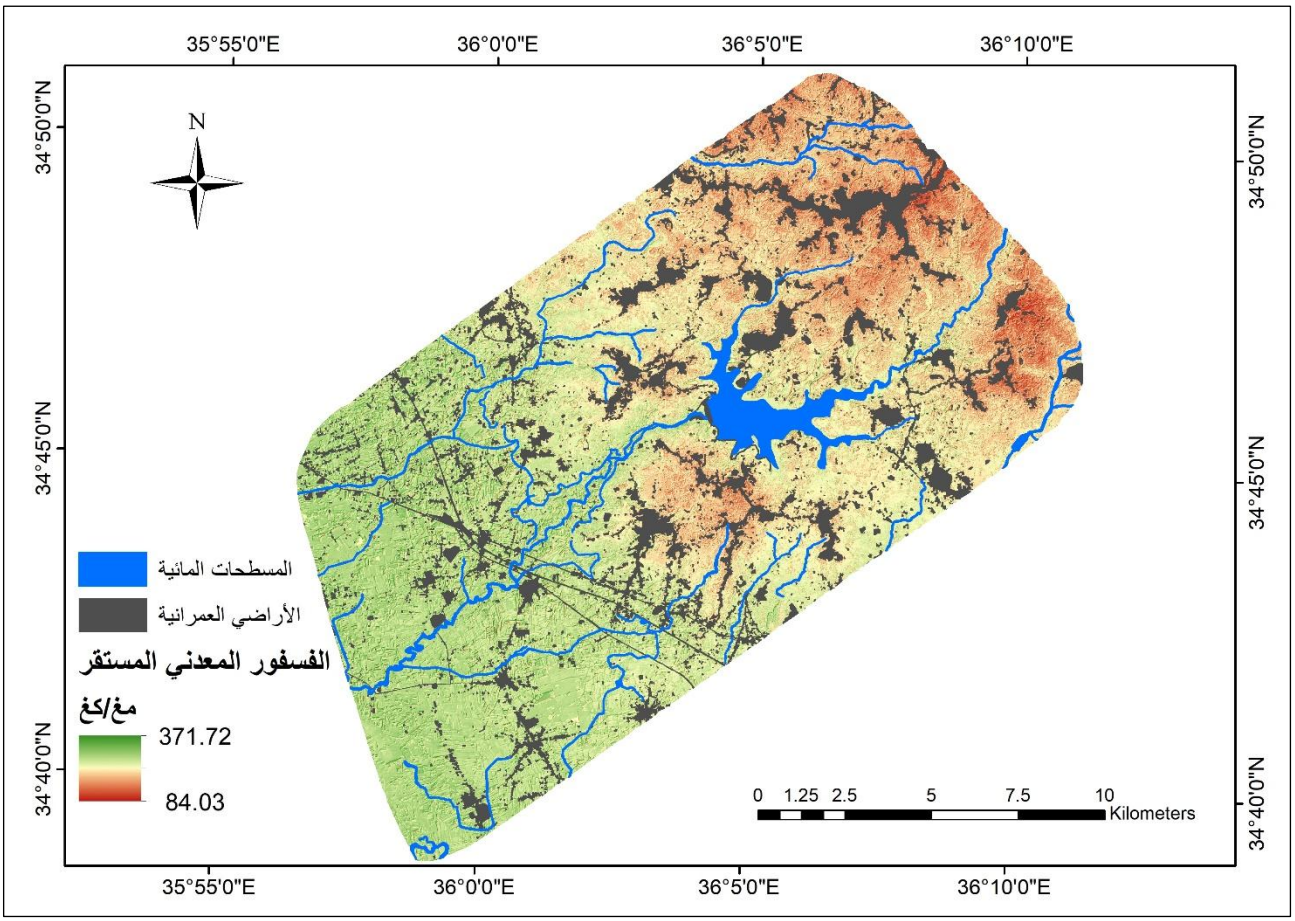
8- تقدير الفسفور المعدني المستقر (المثبت):

8-1- تراوحت قيم الفسفور المعدني المستقر في بداية العمل بين (84.03 و 371.72 مغ/كغ)، والشكل (14) التالي يبين التوزع المكاني لقيم الفسفور المستقر في ترب منطقة الدراسة، حيث تتواجد القيم المرتفعة من هذا

الفسفور في الجزء الغربي من منطقة الدراسة حيث تسود الترب الطينية والطينية اللومية العميقة نوعاً ما، والتي تكثر فيها الممارسات الزراعية المختلفة من تسميد بمختلف أشكاله (المعدني والعضوي) وحراثة وقلب للتربة الزراعية باستمرار. يبين الجدول (23) قيم الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور المعدني المستقر (المثبت) لكل صف من صفوف الغطاء النباتي الموجود في منطقة الدراسة.

جدول 23. الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور المعدني المستقر في صفوف الغطاء النباتي

صف الغطاء النباتي	الحد الأعلى لقيم الفسفور المعدني المستقر مغ/كغ	الحد الأدنى لقيم الفسفور المعدني المستقر مغ/كغ	متوسط قيم الفسفور المعدني المستقر (مغ/كغ)
الغابات والحراج	355.91	102.33	214.48
الحمضيات	364.65	100.78	239.17
الزيتون	363.27	84.03	207.07
المحاصيل الحقلية	371.72	101.48	238.21



الشكل 14. توزع الفسفور المعدني المستقر في ترب منطقة الدراسة

9- تقديرالفسفور المتاح:

9-1- تم تقدير كميات الفسفور المتاح Olsen Phosphorus (OLP) في المواقع التي لم يؤخذ منها عينات حقلية للتحليل المخبري أثناء تنفيذ العمل الحقلي وجمع العينات الترابية في نهاية الشهر التاسع لعام 2017، بأنشاء نموذج رياضي إحصائي باستخدام مجموعة من المتغيرات التفسيرية المستقلة (المادة العضوية، كربونات الكلسيوم الكلية، pH، كمية الرمل، كمية السلت، كمية الطين، الارتفاع عن سطح البحر، درجة الانحدار، اتجاه الانحدار، القرائن النباتية) والتي يُمكن أن يكون لها تأثير معنوي كبير على تواجد الفسفور المتاح (OLP) في ترب منطقة الدراسة، وفيما يلي الجداول الاحصائية الخاصة بأنشاء النموذج:

9-2- يلاحظ من الجدول (24) أن قيمة معامل التحديد Square R R^2=0.513 بينما كانت قيمة معامل التحديد المعدل Adjusted R Square R^2= 0.498 وهي دالة إحصائية أكثر مصداقية في تفسير الارتباط بين المتغيرات لأنها تأخذ بعين الاعتبار كل المتغيرات المستقلة التفسيرية الداخلة في معادلة الانحدار الخطي المتعدد (النموذج) وهذا يعني أن 70.6% من التغيرات التي تحدث في قيم الفسفور المتاح بطريقة أولسن في التربة يمكن تفسيرها بالتغيرات التي تحدث في قيم كل من (pH, SOM, SAND)، كما أن قيمة معامل الارتباط R Correlation coefficient التي تقيس مدى قوة العلاقة (الارتباط) بين المتغير التابع (الفسفور المتاح أولسن) و المتغيرات التفسيرية المستقلة (pH, SOM, SAND) بلغت R=0.716 عند مدى معنوية للعلاقة Sig. F Change مساوي 0.008 وهي قيمة معنوية عند مستوى الدلالة 0.05 و 0.01.

جدول 24. البيانات الإحصائية الخاصة بمعادلة الانحدار الخطي المتعدد للفسفور المتاح

Change Statistics					Std. Error of the Estimate	Adjusted R Square	R Square	R	Model
Sig. F Change	df2	df1	F Change	R Square Change					
0.008	96	1	7.455	0.038	1.306	0.498	0.513	0.716	3

9-3- يوضح الجدول (25) تحليل التباين ANOVA للنموذج الرياضي المعتمد وقد استخدمت قيم الجدول (25) للتأكد من معنوية نموذج الانحدار الخطي المتعدد المفترض باستخدام اختبار F، حيث يلاحظ أن قيمة F المحسوبة F=33.747 عند مستوى معنوية 0.000 وهي أقل من مستوى المعنوية 0.05 و 0.01 وهذا يعني أن نموذج الانحدار الخطي المتعدد معنوي عند مستوى الدلالة 0.05 و 0.01، وبالتالي فإن معادلة خط الانحدار المتعدد المقترحة تناسب البيانات المستخدمة في الدراسة.

جدول 25. تحليل التباين ANOVA لنموذج الانحدار الخطي المتعدد للفسفور المتاح

Sig.	F	Mean Square	df	Sum of Squares	Model	
0.000	33.747	57.596	3	172.789	Regression	3
		1.707	96	163.844	Residual	
			99	336.634	Total	

9-4- يوضح الجدول (26) قيم معاملات نموذج الانحدار الخطي المتعدد بطريقة Stepwise، حيث يلاحظ أن قيمة ثابت نموذج الانحدار الخطي المتعدد يساوي (21.645) وهي قيمة معنوية عند مستوى الدلالة 0.05 و

0.01 وذلك لأن قيمة مستوى المعنوية المشاهد في الجدول (26) 0.000 وهي أقل من 0.05 و 0.01، أما قيمة معامل المتغير التفسيري pH والذي يساوي (2.370-) فذو قيمة معنوية عند مستوى الدلالة 0.05 و 0.01 وذلك لأن قيمة مستوى المعنوية المشاهد في الجدول 0.000 وهي أقل من 0.05 و 0.01، أي أن قيم pH التربة ارتبطت ارتباطاً معنوياً سالباً مع قيم الفسفور المتاح أولسن، كما يلاحظ من الجدول (26) أن قيمة معامل المتغير التفسيري SOM والذي يساوي (1.995) هي قيمة معنوية عند مستوى الدلالة 0.05 و 0.01 وذلك لأن قيمة مستوى المعنوية المشاهد في الجدول 0.000 وهي أقل من 0.05 و 0.01، أي أن قيم المادة العضوية في التربة ارتبطت ارتباطاً معنوياً موجباً مع قيم الفسفور المتاح أولسن، وأيضاً يتبين من الجدول (26) أن قيمة معامل المتغير التفسيري SAND والذي يساوي (0.042-) هي قيمة معنوية عند مستوى الدلالة 0.05 و 0.01 وذلك لأن قيمة مستوى المعنوية المشاهد في الجدول 0.008 وهي أقل من 0.05 و 0.01، أي أن قيم الرمل في التربة ارتبطت ارتباطاً معنوياً سالباً مع قيم الفسفور المتاح أولسن. وهذا ما يتوافق ونتائج كل من (Tomar وزملاؤه، 1984; Chad وزملاؤه، 1991; Mohsen وزملاؤه، 2008; Trivedi وزملاؤه، 2010 Adugna and ; Abegaz، 2015; Dinesh وزملاؤه، 2016).

جدول 26. قيم معاملات خط الانحدار الخطي المتعدد للفسفور المتاح

Correlations			Sig.	t	Standardized Coefficients	Unstandardized Coefficients		Model	
Part	Partial	Zero-order			Beta	Std. Error	B		
			0.000	8.346		2.594	21.645	(Constant)	3
-0.512	-0.591	-0.475	0.000	-7.186	-0.513	0.330	-2.370	pH	
0.527	0.603	0.469	0.000	7.406	0.538	0.269	1.995	SOM	
-0.194	-0.268	-0.085	0.008	-2.730	-0.198	0.015	-0.042	SAND	

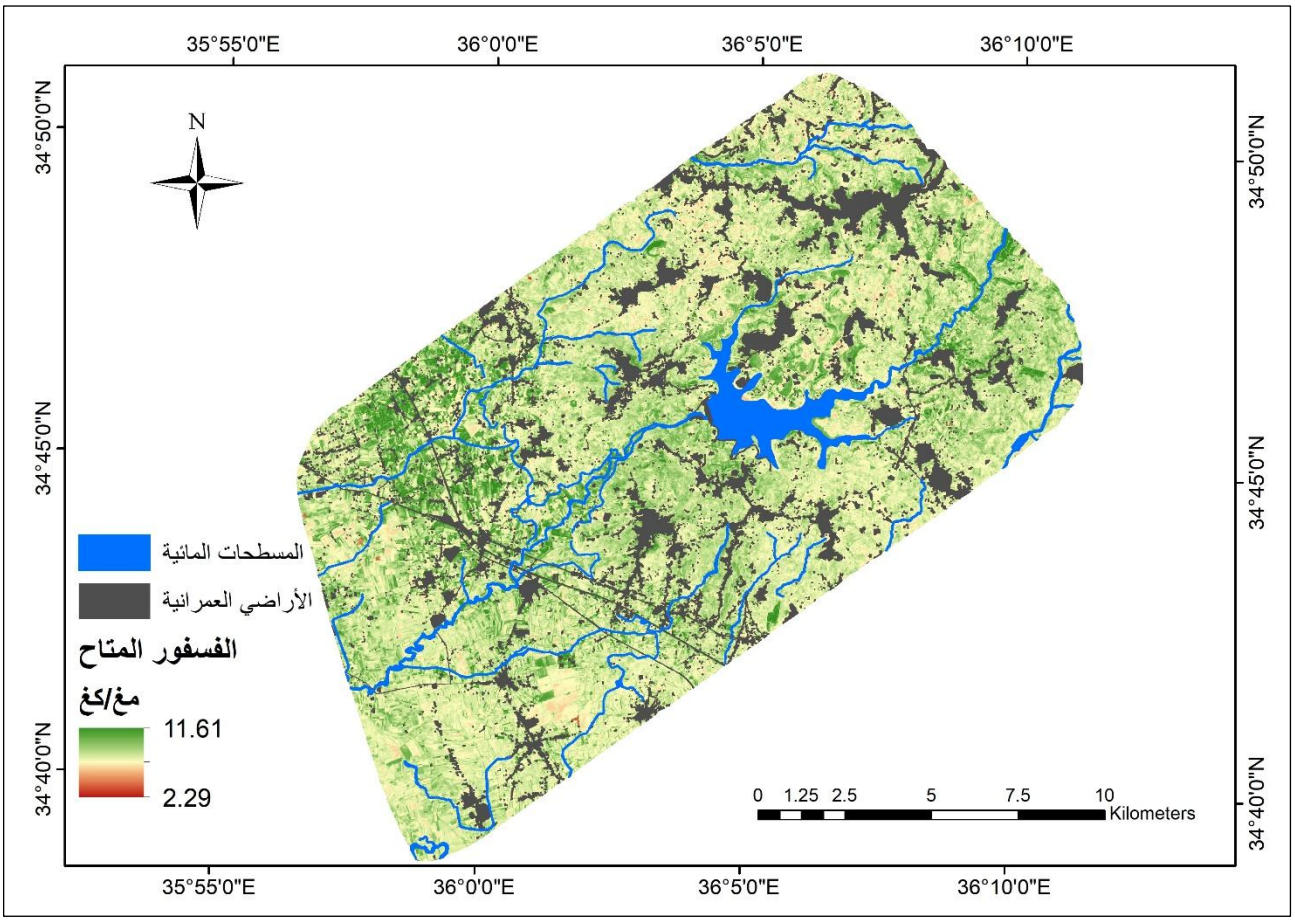
يُمكن بناءً على بيانات الجداول (24, 25, 26) صياغة نموذج (معادلة) الانحدار الخطي المتعدد الخاصة بتقدير الفسفور المتاح OLP في ترب منطقة الدراسة بالاعتماد على قيم المتغيرات المستقلة التفسيرية (pH, SOM, SAND) كما يلي:

$$OLP = 21.645 - 2.370 * pH + 1.995 * SOM - 0.042 * SAND$$

9-5- تراوحت قيم الفسفور المتاح بطريقة أولسن في ترب منطقة الدراسة في بداية العمل بين (2.29 و 11.61 مغ/كغ) وتركزت القيم العالية في الجزء الأوسط والشمالي الغربي من منطقة الدراسة، وعلى طول مجرى نهر الأبرش من الجهتين الغربية والشرقية لسد الأبرش كما يبينه الشكل (15). يبين الجدول (27) قيم الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور المعدني المتاح لكل صف من صفوف الغطاء النباتي الموجود في منطقة الدراسة.

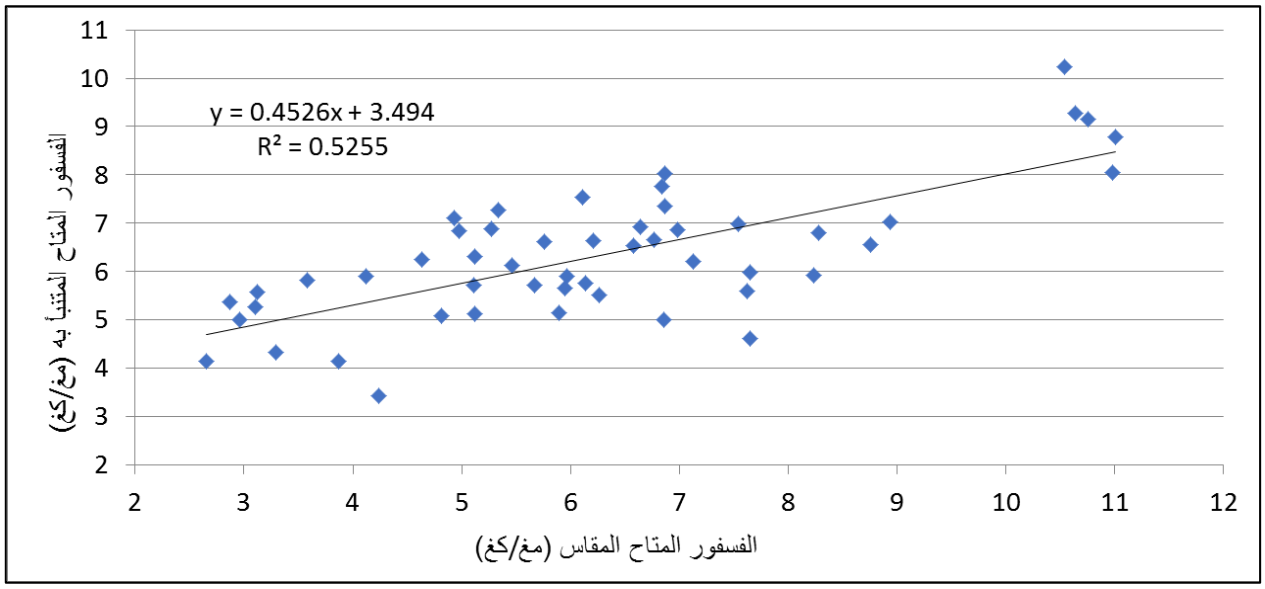
جدول 27. الحد الأعلى والحد الأدنى ومتوسط قيم الفسفور المعدني المتاح في صفوف الغطاء النباتي

صف الغطاء النباتي	الحد الأعلى لقيم الفسفور المعدني المتاح مغ/كغ	الحد الأدنى لقيم الفسفور المعدني المتاح مغ/كغ	متوسط قيم الفسفور المعدني المتاح (مغ/كغ)
الغابات والحراج	11.28	5.17	7.06
الحمضيات	11.61	6.15	7.42
الزيتون	10.35	2.29	5.95
المحاصيل الحقلية	11.01	3.87	5.99



الشكل 15. توزع الفسفور المتاح في ترب منطقة الدراسة

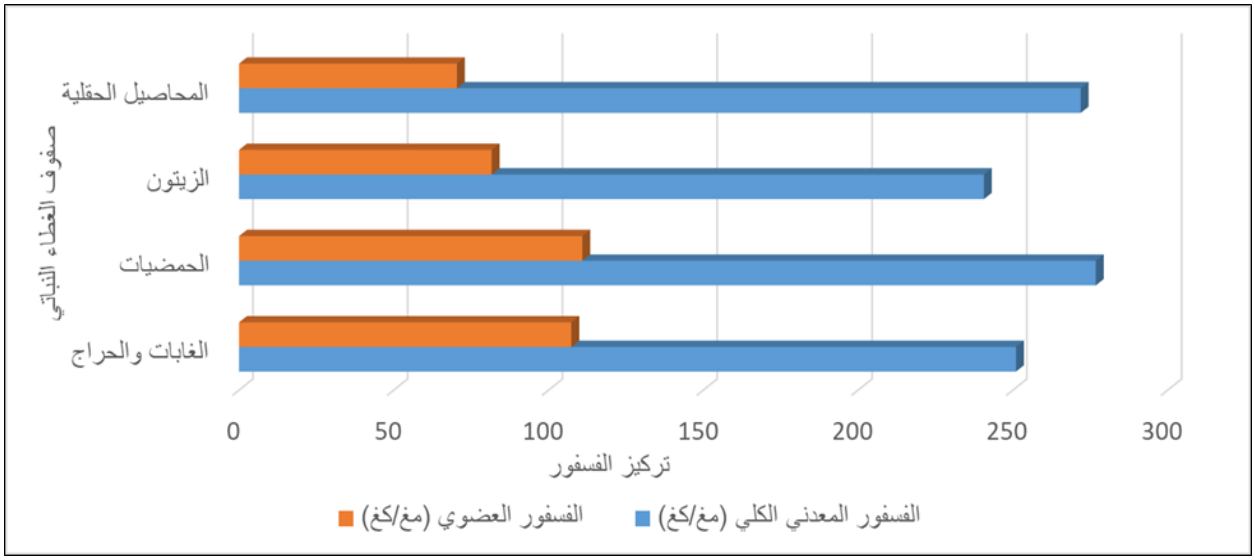
6-9- بلغ معامل الارتباط بين قيم الفسفور المتاح بطريقة أولسن المقاس حقلياً وقيم الفسفور المتاح المتنبأ به في المواقع التي لم يؤخذ منها عينات حقلية للتحليل المخبري في بداية الدراسة R=0.725 كما هو واضح في المخطط البياني (12).



المخطط البياني 12. معامل الارتباط بين القيم المقاسة والقيم المتنبأ بها للفسفور المتاح

10- مقارنة متوسطات قيم كل من الفسفور العضوي والفسفور المعدني

تم إجراء المقارنات لكل صف من صفوف الغطاء النباتي المنتشر في المنطقة (الغابات والحراج، الحمضيات، الزيتون، المحاصيل الحقلية)، فبلغ متوسط تركيز الفسفور العضوي في ترب صف الغابات والحراج (107.35 مغ/كغ) وشكل حوالي 29.89 % من الفسفور الكلي في التربة، بينما بلغ في ترب صف الحمضيات (110.88 مغ/كغ) وشكل حوالي 28.38 % من الفسفور الكلي في التربة، في حين شكل الفسفور العضوي حوالي 25.12 % من كمية الفسفور الكلي في ترب صف الزيتون وبقيمة متوسطة بلغت (81.61 مغ/كغ)، بينما شكل الفسفور العضوي 20.45 % من الفسفور الكلي في ترب صف المحاصيل الحقلية وبقيمة متوسطة بلغت (70.39 مغ/كغ). يوضح المخطط البياني (13) نسب كل من الفسفور العضوي والفسفور المعدني في ترب منطقة الدراسة تبعاً لكل صف من صفوف الغطاء النباتي.



المخطط البياني 13. متوسط قيم الفسفور العضوي والفسفور المعدني في ترب منطقة الدراسة

تتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليها كل من (Khan and Mandal، 1973; Monika وزملاؤه، 2018)، حيث شكل الفسفور العضوي حوالي 29.82 % و 28.58 % من كمية الفسفور الكلية في التربة على التوالي في كلا الدراستين.

11- معدنة الفسفور العضوي:

11-1- تم دراسة تغيرات محتوى ترب منطقة الدراسة من الفسفور العضوي النشط (المعدنة) مع الزمن وتبيان التوزع المكاني لتلك التغيرات كما يلي:

حسب كل من (Dong وزملاؤه، 2014) يُعد الفسفور العضوي النشط الشكل الأساسي من الفسفور العضوي الكلي وبالتالي فإن نتائج الجدول (28) ركزت على التغيرات الحاصلة في فسفور التربة العضوي النشط، حيث تم محاكاة التحولات اليومية في محتوى التربة من الفسفور العضوي النشط بدايةً من 10/1/ 2017م وحتى 2018/5/30م من خلال نموذج رياضي تم إنجازه في هذه الدراسة، حيث تم حساب القيم الشهرية للفسفور العضوي النشط في ترب منطقة الدراسة من قيم الفسفور العضوي النشط اليومية، والجدول (28) يبين متوسط محتوى الترب من الفسفور العضوي النشط تبعاً لصفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي المختلفة المتواجدة في منطقة الدراسة. يلاحظ من الجدول (28) أن متوسط محتوى التربة من الفسفور العضوي النشط تناقص من شهر إلى آخر خلال فترة الدراسة ولكن الكمية الكلية تغيرت بصورة قليلة، فكان المحتوى المتوسط الشهري Average مساوياً (92.56 مغ/كغ فسفور عضوي نشط) في شهر أيلول 2017م، وأصبح (89.42 مغ/كغ فسفور عضوي نشط) في شهر أيار 2018م نتيجة لعمليات المعدنة التي حدثت في التربة خلال تلك الفترة. تم ترتيب المحتوى المتوسط Mean من الفسفور العضوي النشط في ترب منطقة الدراسة ترتيباً تنازلياً ولكل صف من صفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي على التوالي كما يلي: (الحمضيات، أراضي الغابات والحراج، الزيتون، المحاصيل الحقلية)

جدول 28. التحليل الإحصائي لتحولات الفسفور العضوي النشط (المعدنة) (مغ فسفور/ كغ)

الشهر	أراضي الغابات والحراج	الحمضيات	الزيتون	المحاصيل الحقلية	Average
أيلول	107.35	110.88	81.61	70.39	**92.56**
تشرين الأول	106.83	110.36	81.2	69.75	**92.04**
تشرين الثاني	106.43	109.94	80.89	69.42	**91.67**
كانون الأول	106.1	109.55	80.61	69.11	**91.33**
كانون الثاني	105.86	109.34	80.46	68.94	**91.15**
شباط	105.38	108.84	80.1	68.5	**90.71**
آذار	105	108.44	79.8	68.13	**90.34**
نيسان	104.79	108.22	79.65	67.96	**90.16**
أيار	103.99	107.37	79.03	67.27	**89.42**
Mean	**105.74**	**109.22**	**80.37**	**68.83**	**91.04**

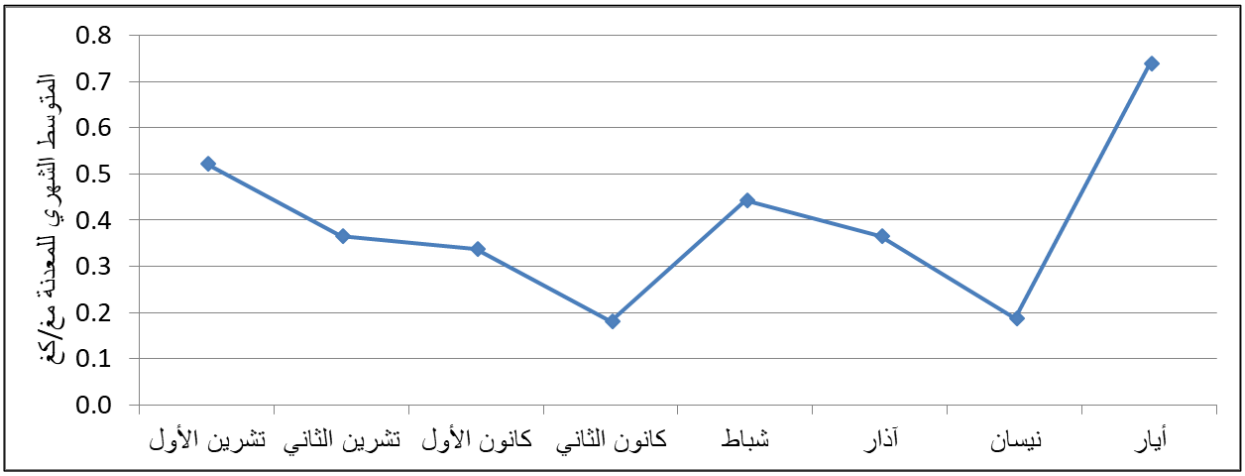
تعود التراكيز العالية من الفسفور العضوي النشط في ترب منطقة الدراسة لوجود نسب عالية من المادة العضوية الدبالية تصل إلى 4.6 % كما هو موضح في الشكل (5)، وينسب ذلك لإضافة كميات كبيرة من الأسمدة العضوية الطبيعية (زبل بلدي) في بساتين الحمضيات و بعض بساتين الزيتون، إضافة لكميات كبيرة من الاسمدة العضوية الصناعية على المحاصيل الزراعية وفي البيوت المحمية والتي تشغل مساحة كبيرة من منطقة الدراسة، ويضاف إلى ذلك الكميات العالية من بقايا المحاصيل الزراعية والتي تقلب في التربة كل عام والتي تعمل على تحسين محتوى التربة من الفسفور العضوي.

2-11- بينت نتائج النمذجة الرياضية أن المتوسط الشهري Monthly Average لمعدلات المعدنة للفسفور العضوي في ترب منطقة الدراسة تراوحت بين (0.18 مغ/كغ) في شهر كانون الثاني لعام 2018 و (0.74 مغ/كغ) في شهر أيار لنفس العام، والمتوسط الإجمالي Overall Average لمعدل معدنة الفسفور العضوي بلغ (0.39 مغ/كغ) كما يبين الجدول (29).

جدول 29. المتوسط الشهري لمعدلات المعدنة للفسفور العضوي (مغ فسفور/كغ)

الغطاء النباتي	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	Mean
حمضيات	0.51	0.43	0.39	0.21	0.49	0.41	0.22	0.85	**0.42**
محاصيل حقلية	0.65	0.33	0.31	0.17	0.44	0.37	0.17	0.69	**0.44**
غابات وحراج	0.52	0.40	0.37	0.20	0.48	0.39	0.20	0.80	**0.32**
زيتون	0.41	0.31	0.28	0.15	0.36	0.30	0.16	0.62	**0.39**
Average	**0.52**	**0.37**	**0.34**	**0.18**	**0.44**	**0.37**	**0.19**	**0.74**	**0.39**

يبين الشكل (14) المتوسط الشهري لمعدلات معدنة الفسفور العضوي بدءاً من شهر تشرين الأول لعام 2017 وحتى شهر أيار لعام 2018.

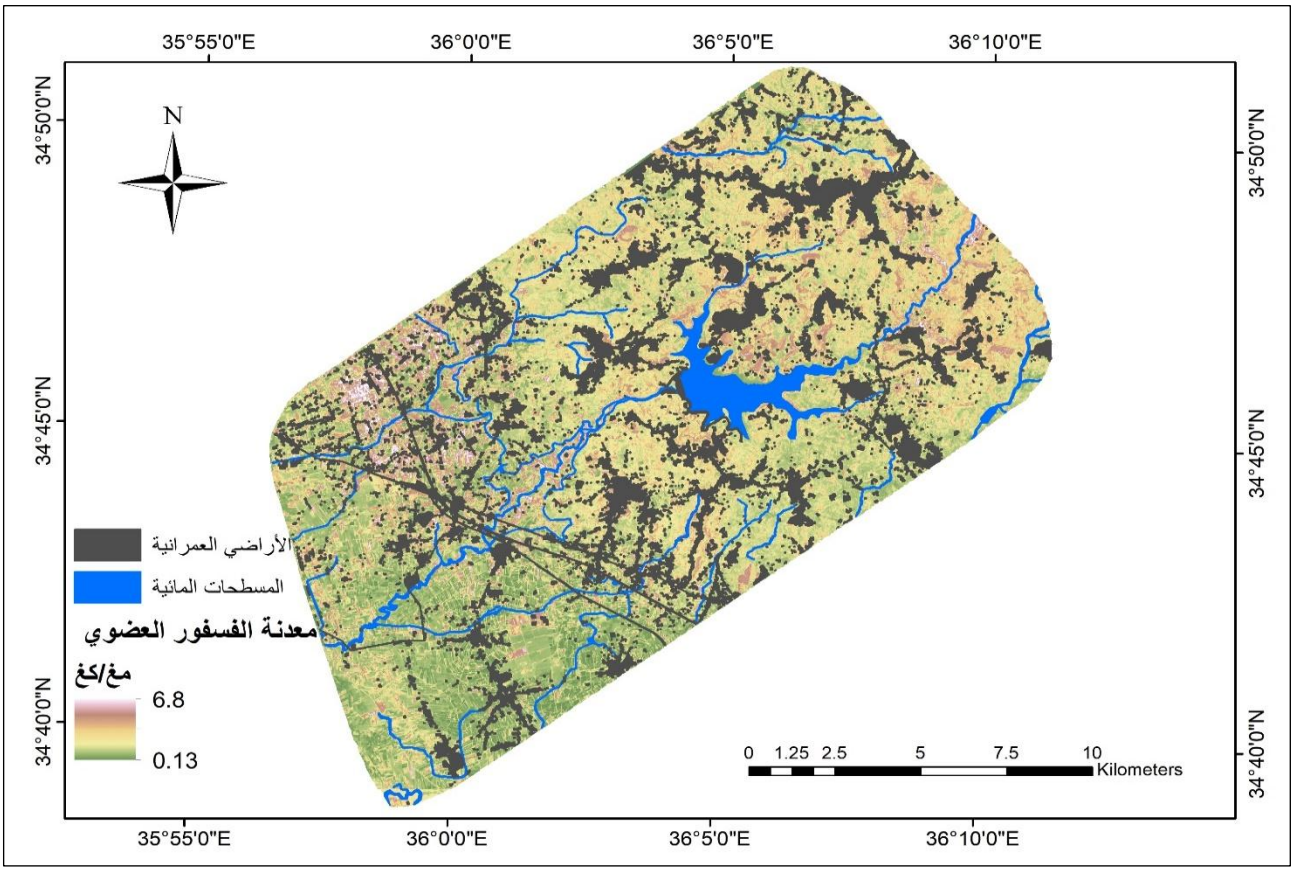


المخطط البياني 14. المتوسط الشهري لمعدلات معدنة الفسفور العضوي في ترب منطقة الدراسة

3-11- يلاحظ من الشكل (14) أن المتوسط الشهري لمعدنة الفسفور العضوي بدأ بالانخفاض من شهر تشرين الأول وحتى شهر كانون الثاني، ثم عاد وبدأ بالتذبذب صعوداً وانخفاضاً حتى شهر نيسان ليعود ويرتفع بشكل

كبير خلال شهر أيار وربما يعود ذلك إلى اختلاف درجات حرارة التربة ورطوبتها خلال الأشهر المدروسة مما يؤثر على نشاط وفعالية الكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بعملية المعدنة.

4-11- تراوح معدل المعدنة الكلي للفسفور العضوي في ترب منطقة الدراسة خلال الأشهر الممتدة من شهر تشرين الأول لعام 2017 إلى شهر أيار لعام 2018 بين (0.13 – 6.8 مغ/كغ) والشكل (16) يبين التوزع المكاني لمعدل معدنة الفسفور العضوي خلال الأشهر السابقة.



الشكل 16. التوزع المكاني لمعدل المعدنة الكلي للفسفور العضوي

5-11- يلاحظ من الشكل (16) ازدياد معدلات المعدنة في الجزء الشمالي الغربي من منطقة الدراسة حيث تسود زراعة الحمضيات والمحاصيل الحقلية وعلى سفوح الجبال وفي الاودية في الجزء الاوسط والشرقي حيث تنتشر بقع بمساحات صغيرة من المحميات الغابية والحراج على طول مجرى نهر الأبرش من جهة الشرق وصولاً إلى سد الأبرش ومن جهة الغرب عند خروج النهر من السد باتجاه سهل عكار حيث تتواجد نسب جيدة من المركبات الدبالية في ترب تلك المساحات المذكورة أنفاً والجدول (30) يبين متوسط كمية الفسفور العضوي التي تمعدنت وتحولت إلى فسفور متاح خلال الأشهر الممتدة من شهر تشرين الأول 2017 وحتى شهر أيار 2018 ولكل صف من صفوف الغطاء النباتي المنتشر في منطقة الدراسة، حيث بلغ متوسط كميات الفسفور العضوي المُتمعدنة (3.37, 3.3, 2.7, 2.36 مغ/كغ) لكل من (الحمضيات، الغابات والحراج، الزيتون، محاصيل حقلية) على التوالي وربما يعود هذا إلى كميات المادة العضوية العالية نسبياً في كل من بساتين الحمضيات وفي مناطق الغابات والحراج مقارنة بصف المحاصيل الحقلية.

جدول 30. متوسط كمية الفسفور العضوي المتمعدنة (مغ/كغ)

الغطاء النباتي	متوسط كمية الفسفور العضوي المُتمعدنة
غابات وحراج	3.30
حمضيات	3.73
زيتون	2.70
محاصيل حقلية	2.36

12- حركة الفسفور المعدني النشط (المثبت جزئياً) في التربة:

12-1- تم دراسة تغيرات محتوى ترب منطقة الدراسة من الفسفور المعدني النشط مع الزمن وأظهار التوزع المكاني لتلك التغيرات، و تم محاكاة التحولات اليومية في محتوى التربة من الفسفور المعدني النشط بدايةً من 10/1/ 2017م وحتى 2018/5/30م، ثم حساب القيم الشهرية للفسفور المعدني النشط في ترب منطقة الدراسة من قيم الفسفور المعدني النشط اليومية من خلال نموذج رياضي تم إنجازه، ويبين الجدول (31) متوسط محتوى الترب من الفسفور المعدني النشط تبعاً لصفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي المختلفة المتواجدة في منطقة الدراسة. يلاحظ من الجدول (31) أن متوسط محتوى التربة من الفسفور المعدني النشط تزايد من شهر إلى آخر خلال فترة الدراسة بشكل طفيف في كافة صفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي ماعدا صف المحاصيل الحقلية حيث تزايدت كمية الفسفور المعدني النشط بدءً من شهر أيلول وحتى شهر آذار ثم عادت وتناقصت كمية الفسفور المعدني النشط بصورة قليلة خلال شهري نيسان و أيار، فكان المحتوى المتوسط Average الشهري مساوياً (28.67 مغ/كغ فسفور معدني نشط) في شهر أيلول 2017م، وأصبح (29.47 مغ/كغ فسفور معدني نشط) في شهر أيار 2018م نتيجة لانتقال كميات من الفسفور المعدني المستقر أو الفسفور المعدني المتاح إلى شكل الفسفور المعدني النشط. تم ترتيب المحتوى المتوسط Mean من الفسفور المعدني النشط في ترب منطقة الدراسة ترتيباً تصاعدياً ولكل صف من صفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي على التوالي كما يلي: (الزيتون، المحاصيل الحقلية، أراضي الغابات والحراج، الحمضيات).

جدول 31. التحليل الإحصائي لتحولات الفسفور المعدني النشط (مغ فسفور/كغ)

الشهر	أراضي الغابات والحراج	الحمضيات	الزيتون	المحاصيل الحقلية	Average
أيلول	29.4	29.98	27.62	27.69	**28.67**
تشرين الأول	29.54	30.17	27.74	27.81	**28.82**
تشرين الثاني	29.68	30.36	27.84	27.92	**28.95**
كانون الأول	29.81	30.53	27.93	28.01	**29.07**
كانون الثاني	29.89	30.63	27.98	28.06	**29.14**
شباط	30.1	30.86	28.10	28.17	**29.30**
آذار	30.14	31.01	28.16	28.18	**29.37**
نيسان	30.15	31.07	28.17	28.16	**29.39**

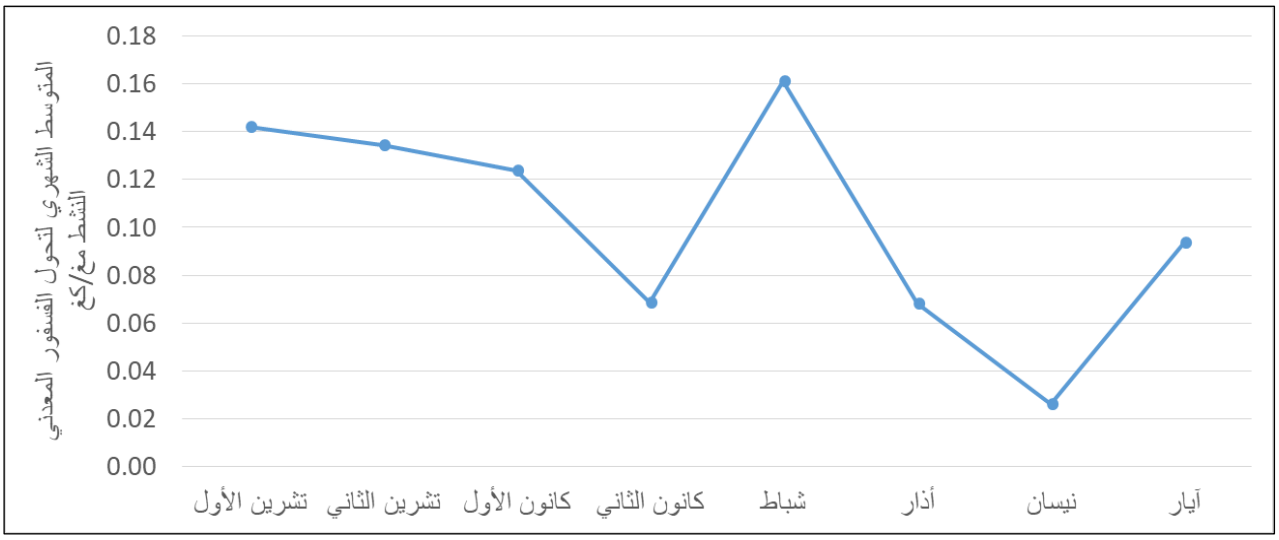
29.47	28.14	28.26	31.29	30.2	**أيار**
29.13	**28.02**	**27.98**	**30.66**	**29.88**	**Mean**

2-12- بينت نتائج النمذجة الرياضية أن المتوسط الشهري Monthly Average لمعدلات التحول للفسفور المعدني النشط في ترب منطقة الدراسة تراوحت بين (0.03 مغ/كغ) في شهر نيسان لعام 2018 و (0.16 مغ/كغ) في شهر شباط لنفس العام، والمتوسط الإجمالي Overall Average لمعدل تحول الفسفور المعدني النشط بلغ (0.10 مغ/كغ) والجدول (32) يبين ذلك.

جدول 32. المتوسط الشهري لمعدلات تحول الفسفور المعدني النشط (مغ فسفور/كغ)

الغطاء النباتي	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	Mean
حمضيات	0.19	0.19	0.18	0.1	0.23	0.15	0.06	0.23	**0.16**
محاصيل حقلية	0.12	0.11	0.09	0.05	0.11	0.002	-0.02	-0.02	**0.07**
غابات وحراج	0.14	0.14	0.14	0.08	0.18	0.07	0.01	0.04	**0.1**
زيتون	0.12	0.10	0.09	0.05	0.12	0.05	0.02	0.09	**0.08**
Average	**0.14**	**0.13**	**0.12**	**0.07**	**0.16**	**0.07**	**0.03**	**0.09**	**0.10**

يبين المخطط البياني (15) المتوسط الشهري لمعدلات تحول الفسفور المعدني النشط بدءاً من شهر تشرين الأول لعام 2017 وحتى شهر أيار لعام 2018.



المخطط البياني 15. المتوسط الشهري لمعدلات تحول الفسفور المعدني النشط في ترب منطقة الدراسة

3-12- يلاحظ من المخطط البياني (15) أن المتوسط الشهري لتحول الفسفور المعدني النشط بدأ بالانخفاض من شهر تشرين الأول وحتى شهر كانون الثاني، ثم عاد وبدء بالتذبذب صعوداً وانخفاضاً حتى شهر نيسان ليعود ويرتفع خلال شهر أيار وربما يعود ذلك إلى اختلاف درجات حرارة التربة ورطوبتها خلال الأشهر المدروسة.

13- حركة الفسفور المعدني المستقر (المثبت) في التربة:

13-1- تم دراسة تغيرات محتوى الترب من الفسفور المعدني المستقر مع الزمن وأظهار التوزع المكاني لتلك التغيرات، حيث تم محاكاة التحولات اليومية في محتوى التربة من الفسفور المعدني المستقر بدايةً من 2017/10/1م وحتى 2018/5/30م من خلال نموذج رياضي تم بناؤه لهذا الغرض. تم حساب القيم الشهرية للفسفور المعدني المستقر في ترب منطقة الدراسة من قيم الفسفور المعدني المستقر اليومية، ويبين الجدول (33) متوسط محتوى الترب من الفسفور المعدني المستقر تبعاً لصفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي المختلفة المتواجدة في منطقة الدراسة. يلاحظ من الجدول (33) أن متوسط محتوى التربة من الفسفور المعدني المستقر تزايد من شهر إلى آخر خلال فترة الدراسة لكل من صفي الغابات والحراج والزيتون، بينما تناقص متوسط محتوى التربة من الفسفور المعدني المستقر من شهر أيلول وحتى شهر أيار لكل من صفي المحاصيل الحقلية والحمضيات، و حدث التزايد والتناقص في متوسط محتوى التربة من الفسفور المعدني المستقر بكميات منخفضة، فكان المحتوى المتوسط Average الشهري مساوياً (224.73 مغ/كغ فسفور معدني مستقر) في شهر أيلول 2017م، وأصبح (224.51 مغ/كغ فسفور معدني مستقر) في شهر أيار 2018م، وربما يعود ذلك لاختلاف درجات الحرارة والرطوبة في التربة والتي تحاكي مجمل عمليات التجوية أو التثبيت التي تحدث للفسفور في التربة، إضافة لكميات الفسفور الموجودة في التربة بأشكال مختلفة (فسفور متاح، فسفور عضوي، ....الخ). تم ترتيب المحتوى المتوسط Mean من الفسفور المعدني المستقر في ترب منطقة الدراسة ترتيباً تصاعدياً ولكل صف من صفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي على التوالي كما يلي: (الزيتون، غابات وحراج، محاصيل حقلية، حمضيات).

جدول 33. التحليل الإحصائي لتغيرات الفسفور المعدني المستقر (مغ فسفور/كغ)

الشهر	أراضي الغابات والحراج	الحمضيات	الزيتون	المحاصيل الحقلية	Average
أيلول	214.48	239.17	207.07	238.21	**224.73**
تشرين الأول	214.55	239.14	207.16	238.01	**224.72**
تشرين الثاني	214.62	239.12	207.25	237.81	**224.7**
كانون الأول	214.69	239.09	207.33	237.60	**224.68**
كانون الثاني	214.73	239.08	207.37	237.48	**224.67**
شباط	214.82	239.05	207.48	237.16	**224.63**
آذار	214.9	239.03	207.56	236.87	**224.59**
نيسان	214.93	239.02	207.6	236.76	**224.58**
أيار	215.04	238.99	207.71	236.32	**224.51**
Mean	**214.75**	**239.08**	**207.39**	**237.36**	**224.64**

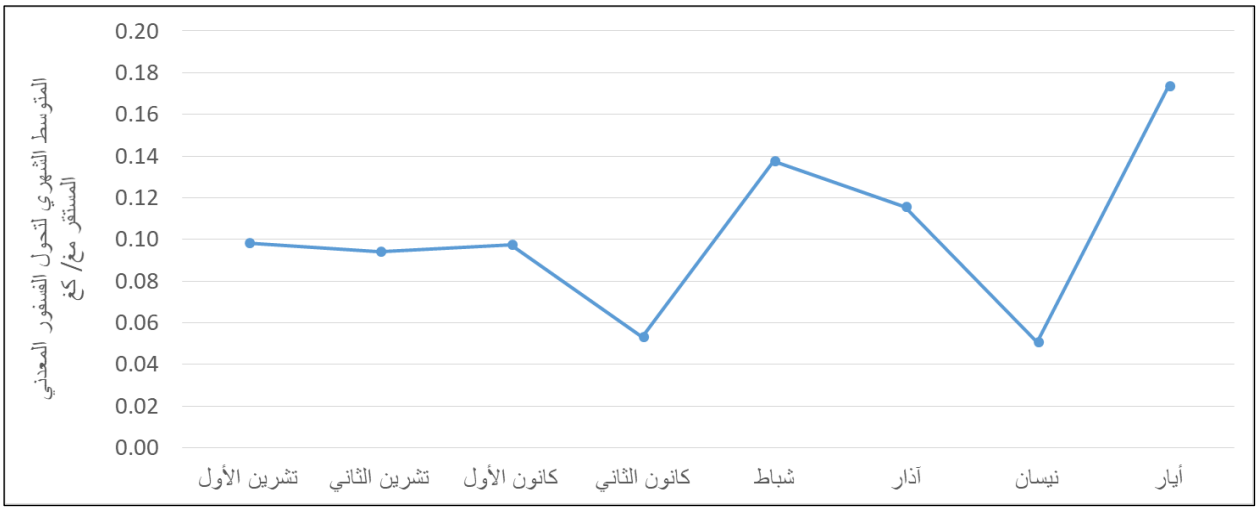
13-2- بينت نتائج النمذجة الرياضية أن المتوسط الشهري Monthly Average لمعدلات التحول للفسفور المعدني المستقر في ترب منطقة الدراسة تراوحت بين (0.05 مغ/كغ) في شهر نيسان لعام 2018 و (0.17

مغ/كغ) في شهر أيار لنفس العام، والمتوسط الإجمالي Overall Average لمعدل التحول للفسفور المعدني المستقر بلغ (0.10 مغ/كغ) والجدول (34) يبين ذلك.

جدول 34. المتوسط الشهري لمعدلات تحول الفسفور المعدني المستقر (مغ فسفور/كغ)

الغطاء النباتي	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	Mean
حمضيات	-0.03	-0.03	-0.03	-0.01	-0.03	-0.02	-0.01	-0.03	**0.02**
محاصيل حقلية	-0.2	-0.2	-0.21	-0.12	-0.33	-0.28	-0.12	-0.44	**0.24**
غابات وحراج	0.07	0.07	0.07	0.04	0.09	0.07	0.04	0.11	**0.07**
زيتون	0.09	0.09	0.08	0.04	0.10	0.08	0.04	0.12	**0.08**
Average	**0.1**	**0.09**	**0.1**	**0.05**	**0.14**	**0.12**	**0.05**	**0.17**	**0.10**

يبين المخطط البياني التالي (16) المتوسط الشهري لمعدلات تحول الفسفور المعدني المستقر بدءً من شهر تشرين الأول لعام 2017 وحتى شهر أيار لعام 2018.



المخطط البياني 16. المتوسط الشهري لمعدلات تحول الفسفور المعدني المستقر في ترب منطقة الدراسة

3-13- يلاحظ من المخطط البياني التالي (16) أن المتوسط الشهري لتحول الفسفور المعدني المستقر بدء بالانخفاض من شهر تشرين الأول وحتى شهر كانون الثاني، ثم عاد وبدء بالتذبذب صعوداً وانخفاضاً حتى شهر نيسان ليعود ويرتفع خلال شهر أيار وربما يعود ذلك إلى اختلاف درجات حرارة التربة ورطوبتها خلال الأشهر المدروسة.

14- حركة الفسفور المعدني المتاح في التربة:

1-14- تم دراسة تغيرات محتوى الترب في منطقة الدراسة من الفسفور المعدني المتاح أولسن مع الزمن وتبيان التوزع المكاني لتلك التغيرات، حيث تم محاكاة التحولات اليومية في محتوى التربة من الفسفور المعدني المتاح بدايةً من 2017/10/1م وحتى 2018/5/30م من خلال نموذج رياضي تم إنجازه لهذه الغاية. تم حساب القيم الشهرية للفسفور المعدني المتاح في ترب منطقة الدراسة من قيم الفسفور المعدني المتاح اليومية، والجدول

(35) يبين متوسط محتوى الترب من الفسفور المعدني المتاح تبعاً لصفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي المختلفة المتواجدة في منطقة الدراسة. يلاحظ من الجدول (35) أن متوسط محتوى التربة من الفسفور المعدني المتاح تزايد من شهر إلى آخر خلال فترة الدراسة في ترب كل من صفي الغطاء النباتي الحمضيات والزيتون، بينما تزايد متوسط محتوى التربة من الفسفور المعدني المتاح لصف المحاصيل الحقلية من شهر أيلول وحتى شهر شباط ثم بدأ بالتناقص من شهر آذار وحتى أيار، وهذا ينطبق أيضاً على صف الغابات والحراج حيث كان التناقص للفسفور المتاح في شهر نيسان. بلغ المحتوى المتوسط Average الشهري (6.61 مغ/كغ فسفور معدني متاح) في شهر أيلول 2017م، وأصبح (7.39 مغ/كغ فسفور معدني متاح) في شهر أيار 2018م، كما تم ترتيب المحتوى المتوسط Mean من الفسفور المعدني المتاح في ترب منطقة الدراسة ترتيباً تصاعدياً ولكل صف من صفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي على التوالي كما يلي: (الزيتون، المحاصيل الحقلية، أراضي الغابات والحراج، الحمضيات).

جدول 35. التحليل الإحصائي لتغيرات الفسفور المعدني المتاح (مغ فسفور/كغ)

الشهر	أراضي الغابات والحراج	الحمضيات	الزيتون	المحاصيل الحقلية	Average
أيلول	7.06	7.42	5.95	5.99	**6.61**
تشرين الأول	7.17	7.62	6.02	6.11	**6.73**
تشرين الثاني	7.28	7.82	6.09	6.24	**6.86**
كانون الأول	7.39	8.01	6.17	6.36	**6.98**
كانون الثاني	7.46	8.13	6.22	6.43	**7.06**
شباط	7.61	8.38	6.32	6.57	**7.22**
آذار	7.65	8.54	6.35	6.56	**7.28**
نيسان	7.65	8.6	6.36	6.53	**7.29**
أيار	7.70	8.88	6.45	6.51	**7.39**
Mean	**7.44**	**8.15**	**6.21**	**6.37**	**7.04**

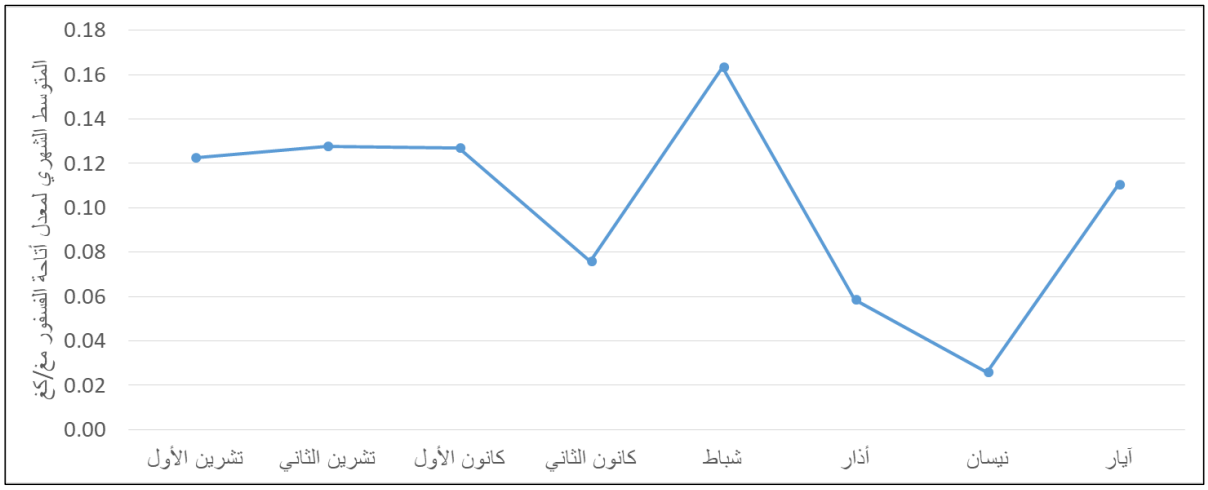
2-14- بينت نتائج النمذجة الرياضية أن المتوسط الشهري Monthly Average لمعدلات التحول للفسفور المعدني المتاح في ترب منطقة الدراسة تراوحت بين (0.03 مغ/كغ) في شهر نيسان لعام 2018 و (0.16 مغ/كغ) في شهر شباط لنفس العام، والمتوسط الإجمالي Overall Average لمعدل التحول للفسفور المعدني المتاح بلغ (0.10 مغ/كغ) والجدول (36) يبين ذلك.

جدول 36. المتوسط الشهري لمعدلات تغير الفسفور المعدني المتاح (مغ فسفور/كغ)

الغطاء النباتي	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	Mean
حمضيات	0.2	0.2	0.2	0.11	0.26	0.15	0.06	0.28	**0.18**
محاصيل حقلية	0.12	0.13	0.12	0.07	0.15	-0.01	-0.03	-0.02	**0.08**

غابات وحراج	0.11	0.11	0.11	0.07	0.15	0.04	-0.004	0.06	**0.08**
زيتون	0.07	0.08	0.08	0.05	0.1	0.03	0.01	0.09	**0.06**
Average	**0.12**	**0.13**	**0.13**	**0.08**	**0.16**	**0.06**	**0.03**	**0.11**	**0.10**

يبين المخطط البياني التالي (17) المتوسط الشهري لمعدلات تحول الفسفور المعدني المتاح بدءً من شهر تشرين الأول لعام 2017 وحتى شهر أيار لعام 2018.



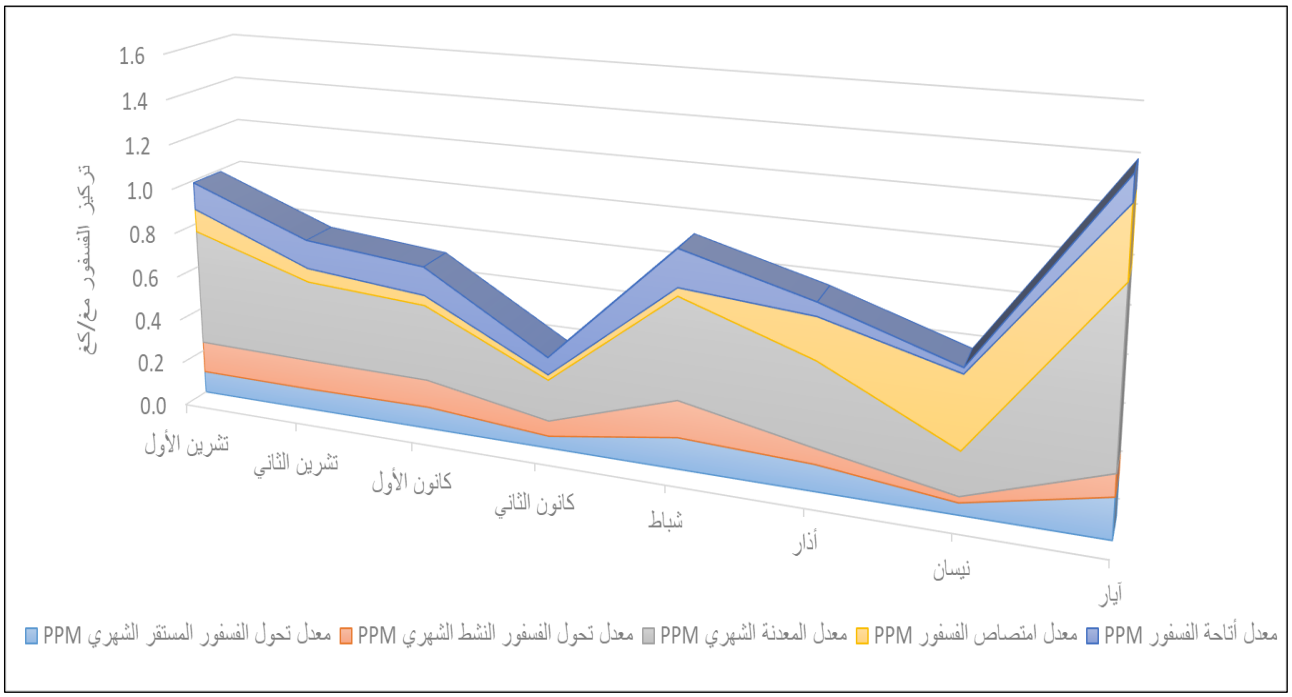
المخطط البياني 17. المتوسط الشهري لمعدلات إتاحة الفسفور المعدني المتاح في ترب منطقة الدراسة

3-14- يلاحظ من المخطط البياني (17) أن المتوسط الشهري لتحول الفسفور المعدني المتاح تزايد من شهر تشرين الأول وحتى شهر تشرين الثاني ثم عاد وتناقص من كانون الأول وحتى كانون الثاني، ثم عاد وبدء بالتذبذب صعوداً وانخفاضاً حتى شهر نيسان ليعود ويرتفع خلال شهر أيار وربما يعود ذلك إلى اختلاف درجات حرارة التربة ورطوبتها خلال الأشهر المدروسة.

15- مقارنة متوسط امتصاص الفسفور، متوسط معدنة الفسفور العضوي، متوسط تحول الفسفور المعدني النشط، متوسط تحول الفسفور المعدني المستقر ومتوسط إتاحة الفسفور:

لدى مقارنة كل من متوسط معدل امتصاص الفسفور الشهري، متوسط معدل معدنة الفسفور العضوي الشهري، متوسط معدل تحول الفسفور المعدني النشط الشهري، متوسط معدل تحول الفسفور المعدني المستقر الشهري ومتوسط معدل إتاحة الفسفور الشهري (مغ/كغ) تبين تطابق في المنحنيات الخمسة خلال الأشهر الممتدة من بداية شهر تشرين الأول لعام 2017 إلى نهاية شهر أيار لعام 2018، مع اختلاف واضح في حجم كل شكل من أشكال الفسفور تبعاً للفترة الزمنية (الشهر) والناجمة عن الاختلافات في درجة حرارة التربة و رطوبتها واللتان تؤثران في مجمل العمليات الحيوية (المعدنة) داخل التربة وحركة الفسفور المعدني من شكل إلى آخر. يُوضح المخطط البياني (18) المساهمة الكبيرة لعملية المعدنة وتحويل الفسفور العضوي في التربة إلى فسفور معدني متاح قابل للامتصاص من قبل النباتات مقارنة بحجم مساهمة كل من الفسفور المعدني النشط والفسفور المعدني المستقر في إتاحة الفسفور وهذا ما كان قد أشار له سابقاً كل من (Tomar وزملاؤه، 1984) حيث بين أن الزيادة في إتاحة الفسفور في محلول التربة تعود بصورة أساسية إلى عملية المعدنة Mineralization للفسفور

العضوي، ثم عملية الاذابة للفسفور المعدني Solublization. كما يلاحظ ازدياد حجم الفسفور الممتص بدايةً من شهر شباط وحتى شهر أيار ويترافق ذلك مع انخفاض حجم الفسفور المتاح للامتصاص، وذلك مقارنة بالأشهر الممتدة من شهر تشرين الأول وحتى شهر شباط وربما يعود ذلك إلى ازياد الكتلة الحية النباتية في منطقة الدراسة والعائدة إلى ازدياد عمليات التمثيل الضوئي وتكوين الكربون العضوي بدايةً من شباط وحتى أيار وهذا يتوافق والدورة الزراعية الشتوية المعتمدة في المنطقة، مما ينجم عنه زيادة بمعدلات امتصاص العناصر الغذائية ومنها الفسفور المتاح. يوضح المخطط البياني (18) تناقص متوسطات معدلات كل من العمليات التالية (امتصاص الفسفور، معدنة الفسفور العضوي، تحول الفسفور المعدني النشط، تحول الفسفور المعدني المستقر، إتاحة الفسفور) بدايةً من شهر تشرين الأول وحتى شهر كانون الثاني، لتعود وترتفع وتيرة تلك العمليات خلال شهر شباط، لتعود مرة أخرى وتنخفض خلال شهر نيسان، لترتفع مجدداً خلال شهر أيار، وربما يعود ذلك التذبذب في معدلات تلك العمليات صعوداً وهبوطاً نتيجة لاختلاف درجات حرارة التربة ورطوبتها وذلك بفعل الهطل المطري الغزير و المتفرق التي جرت في أشهر (آذار، نيسان، أيار) من عام 2018.

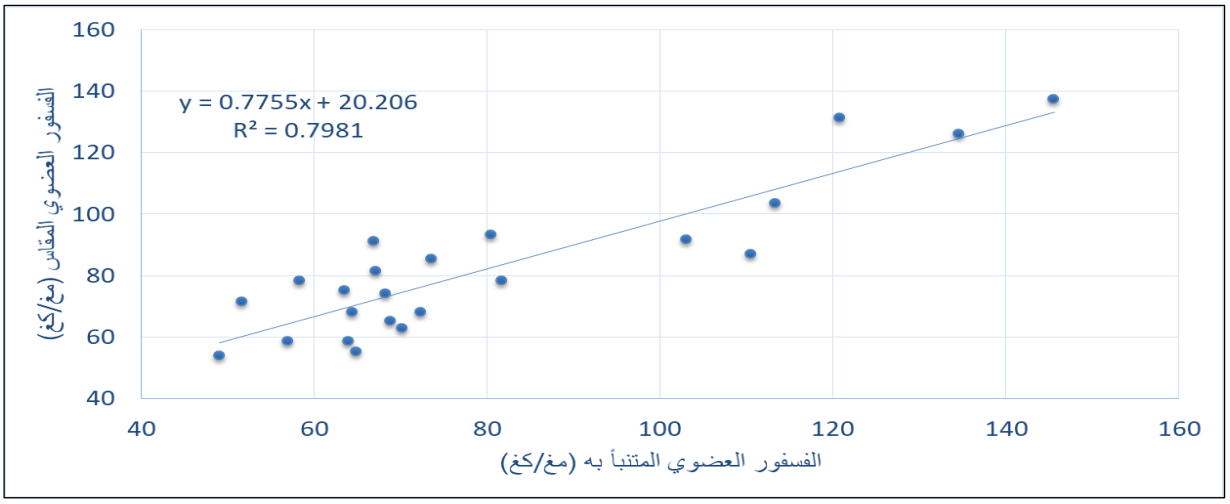


المخطط البياني 18. مقارنة تحولات الفسفور في منطقة الدراسة

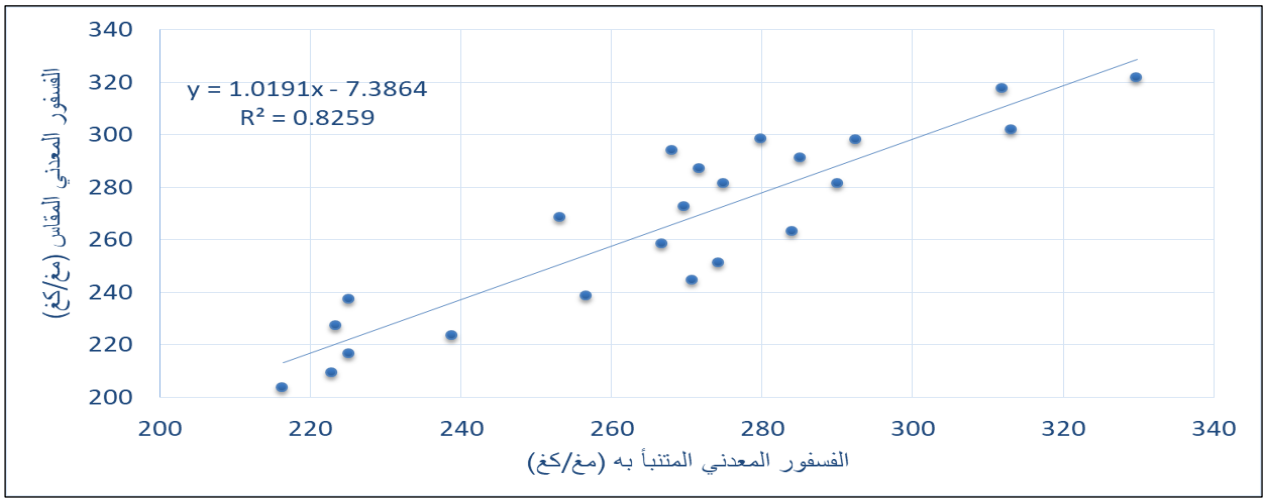
16- التحقق من نتائج النموذج الرياضي الخاص بدراسة تحولات الفسفور في التربة:

جرى خلال الأسبوع الأول من الشهر الرابع لعام 2018م مسح حقلي لجمع عينات تربة من 23 نقطة موزعة على كامل منطقة الدراسة وذلك لإجراء عملية تحقق من نتائج النماذج الرياضية الخاصة بنمذجة الفسفور العضوي النشط والمعدني غير المتاح والفسفور المتاح أولسن حيث كانت معاملات الارتباط بين قيم الفسفور العضوي، الفسفور المعدني، والفسفور المتاح الناتج عن عملية النمذجة المتنبأ بها (المحاكاة) Simulated Phosphorus في نهاية الأسبوع الأول الشهر الرابع لعام 2018 والفسفور العضوي، الفسفور المعدني، والفسفور المتاح المقاس في عينات التربة (0.89, 0.91, 0.67) على التوالي والمخططات البيانية

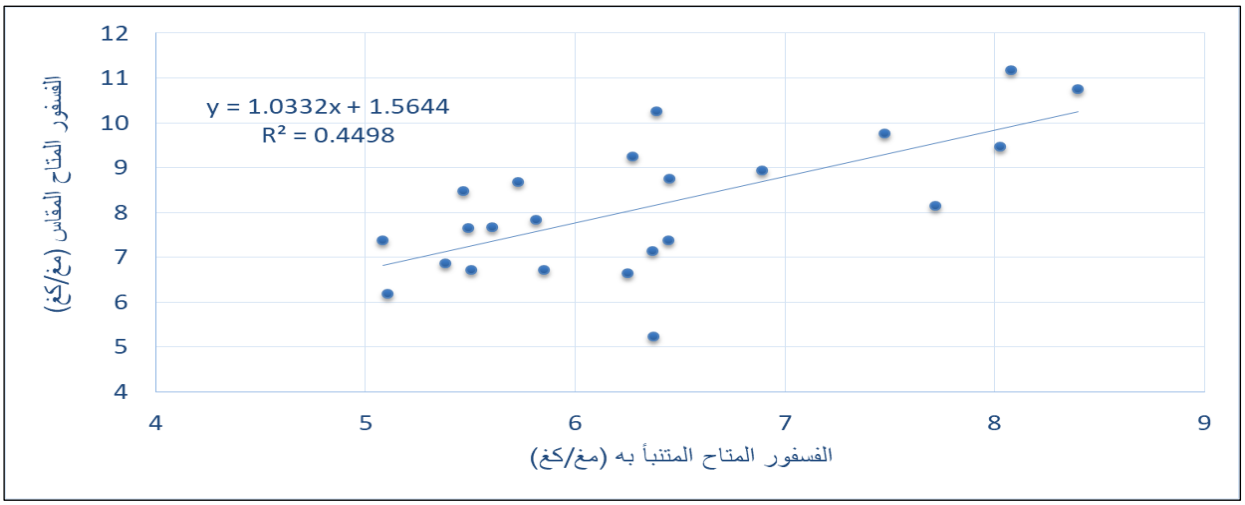
(19, 20, 21) التالية تبين معاملات التحديد بين القيم المتنبأ بها (المحاكاة) والقيم المقاسة في عينات التربة الحقلية كما يلي:



المخطط البياني 19. معامل الارتباط بين الفسفور العضوي (المحاكاة) والفسفور العضوي المقاس



المخطط البياني 20. معامل الارتباط بين الفسفور المعدني (المحاكاة) والفسفور المعدني المقاس



المخطط البياني 21. معامل الارتباط بين الفسفور المتاح (المحاكاة) والفسفور المتاح المقاس

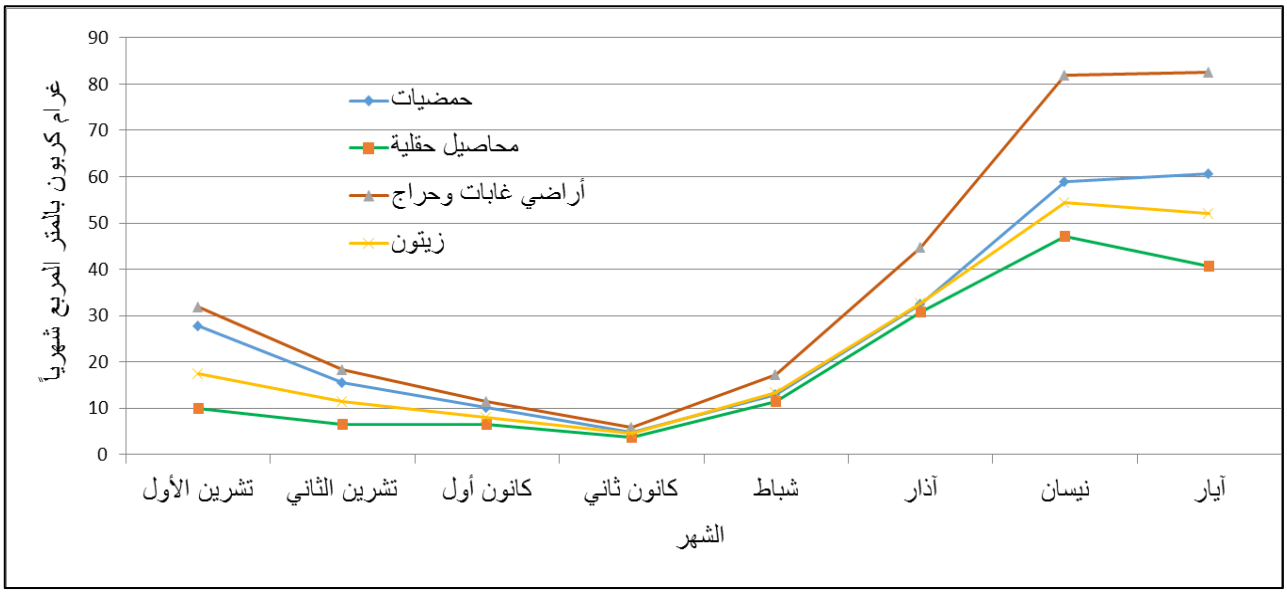
17- تقدير معدلات امتصاص الفسفور باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية:

17-1- بلغت أعلى قيمة للإنتاجية الأولية الصافية NPP للأشهر الثمانية كما يلي (120.86, 59.07, 31.51, 19.63, 39.14, 110.3, 234.99, 264.15) بواحدة (غرام كربون/م^2/الشهر) على التوالي من شهر تشرين الأول عام 2017 وحتى شهر أيار عام 2018. كما بينت نتائج النمذجة الرياضية أن المتوسط الشهري Monthly Average لكمية الكربون المثبتة في الغطاء النباتي NPP تراوحت بين (4.73 غرام كربون/م^2) في شهر كانون الثاني لعام 2017 و (60.56غرام كربون/م^2) في شهر نيسان لعام 2018، في حين بلغ المتوسط الإجمالي لتثبيت الكربون (27.097 غرام كربون/م^2) كما يبينه الجدول (37) الذي يُظهر متوسط قيم NPP الشهرية لصفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي في منطقة الدراسة.

جدول 37. المتوسط الشهري لكمية الكربون المثبتة في الغطاء النباتي (غ/م^2)

الغطاء النباتي	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	Mean
حمضيات	27.72	15.57	10.11	4.82	12.89	32.43	58.85	60.62	**27.87**
محاصيل حقلية	9.82	6.41	6.45	3.76	11.49	30.71	47.05	40.71	**19.55**
غابات وحراج	31.74	18.39	11.49	5.9	17.25	44.76	81.9	82.5	**36.74**
زيتون	17.36	11.42	8.05	4.45	13.32	32.62	54.47	52.12	**24.23**
Average	**21.66**	**12.95**	**9.03**	**4.73**	**13.74**	**35.13**	**60.56**	**58.99**	**27.097**

يشير هذا إلى انخفاض كمية التمثيل الضوئي وتكوين المادة العضوية ابتداء من شهر تشرين الأول وحتى شهر كانون ثاني لتعود بعدها كمية التمثيل الضوئي بالارتفاع وهذا يعود لأسباب عديدة منها انخفاض عدد ساعات السطوع الشمسي وانخفاض درجة حرارة الهواء، إضافة لدخول محصولي الزيتون والحمضيات بفترة سبات شتوي تنخفض فيها قدرة النباتات على أداء الوظائف الحيوية و الفيزيولوجية المختلفة، كما يلاحظ ارتفاع قيم التمثيل الضوئي في صف المحاصيل الحقلية بدءاً من منتصف شهر كانون الثاني وحتى شهر نيسان نتيجة لبداية زراعة الموسم الشتوي بدءاً من منتصف شهر تشرين ثاني وحتى منتصف شهر كانون أول والذي يتمثل بمحاصيل أساسية منها (القمح – الحمص) وبالتالي ازدياد الكتلة النباتية الحية نتيجة لعملية التمثيل الضوئي. يبين المخطط البياني (22) تغيرات متوسطات قيم NPP لصفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي المختلفة بدايةً من شهر تشرين الأول عام 2017م وحتى شهر أيار عام 2018م.



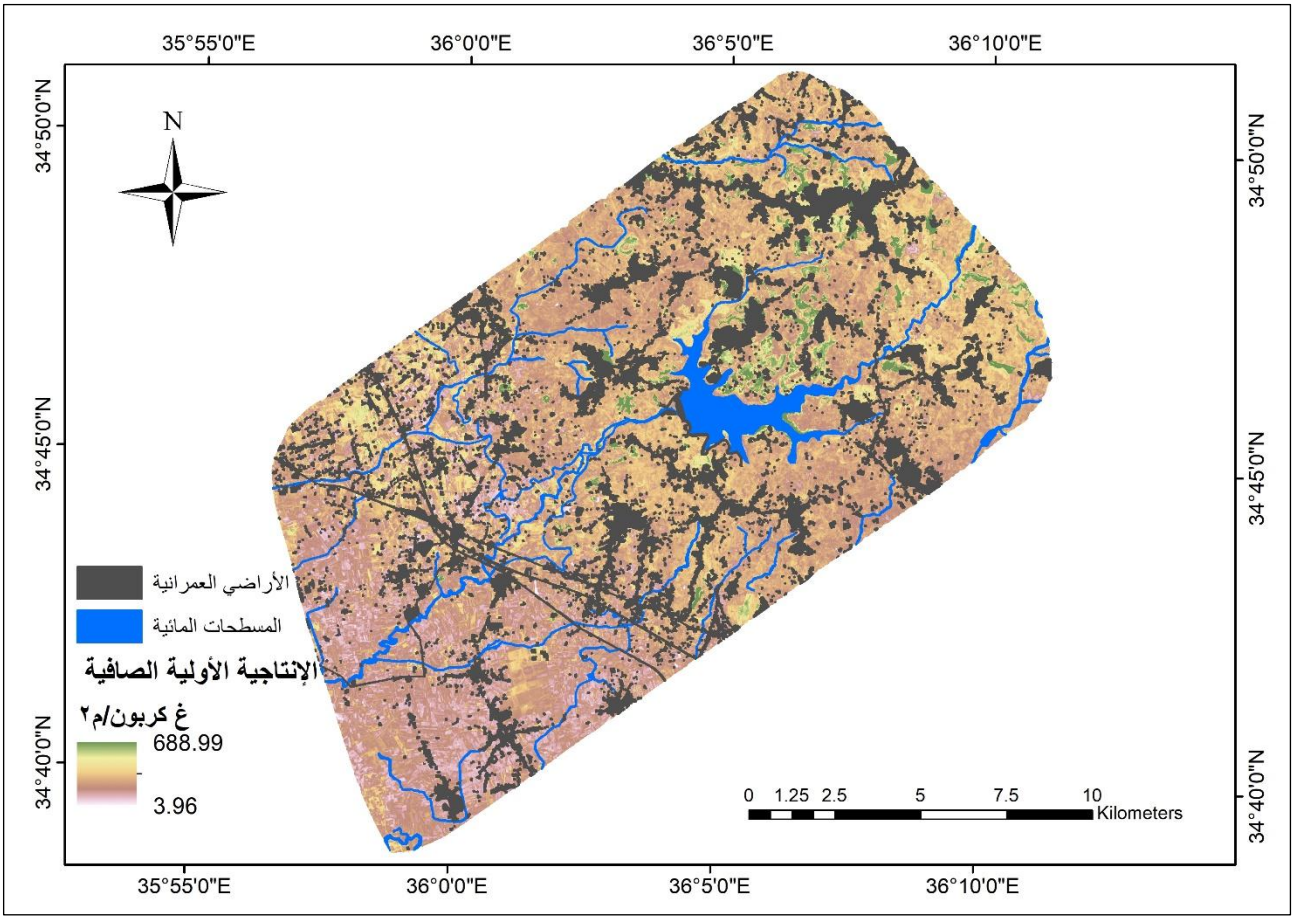
المخطط البياني 22. تغيرات قيم NPP الشهرية في منطقة الدراسة

2-17- أن قيم NPP لصف أراضي الغابات والحراج كان أعلى من قيم باقي الصفوف بدءً من شهر تشرين الأول وحتى شهر أيار، كما يلاحظ من المخطط البياني (22) أن الاندفاعة الكبيرة لهذا الصف في عملية التمثيل الضوئي وتكوين قيم NPP كانت أعلى من بقية الصفوف بدءً من شهر كانون الثاني وحتى أيار وربما يعود ذلك للعوامل الفيزيولوجية والبيئية الخاصة بهذه الأنواع النباتية والتي جعلت منها أكثر استجابة وكفاءة من بقية الأنواع المتواجدة في منطقة الدراسة (الحمضيات، الزيتون) للقيام بالوظائف الحيوية المختلفة ومنها التمثيل الضوئي وتكوين كميات أعلى من NPP، وهذا يمكن أن يعود بدرجة كبيرة إلى قيم فعالية استخدام الضوء القصوى (ε_{max}) العالية الخاصة بنباتات هذا الصف المتواجد في منطقة الدراسة (Running وآخرون، 2000).

3-17- يلاحظ أن قيم NPP لصف المحاصيل الحقلية كانت منخفضة مقارنة ببقية صفوف الغطاء النباتي الأخرى في منطقة الدراسة بدءً من شهر تشرين الأول وحتى شهر أيار، نظراً لوجود مساحات كبيرة في هذا الصف لم تكن مزروعة في شهري أيلول و تشرين أول ومن ثم عادت وزرعت بمحاصيل شتوية بدءً من منتصف شهر تشرين ثاني وحتى منتصف شهر كانون أول.

4-17- يلاحظ ارتفاع قيم NPP لصف المحاصيل الحقلية من شهر كانون ثاني وحتى شهر نيسان متوافقاً مع نمو المحاصيل الشتوية المزروعة، وانخفاض قيم NPP لهذا الصف بدءً من شهر أيار حيث يتوافق هذا الانخفاض مع نضج للمحاصيل الشتوية واقترابها من فترة الحصاد وبالتالي توقف لعملية التمثيل الضوئي وتكوين NPP جزئياً.

5-17- يبين الشكل (17) خريطة التوزع المكاني للكمية الكلية المثبتة من الكربون بدايةً من شهر تشرين الأول لعام 2017 وحتى نهاية شهر أيار لعام 2018، حيث بلغ الحد الأدنى للكربون المثبت خلال الأشهر الثمانية في الغطاء النباتي ضمن منطقة الدراسة (3.96 غرام كربون/ م^2) والحد الأعلى (688.99 غرام كربون/ م^2).



الشكل 17. التوزع المكاني لكمية الكربون الكلية المثبتة في منطقة الدراسة

17-6- أظهرت نتائج النمذجة الرياضية أن معدلات امتصاص الفسفور المتوسطة الشهرية Monthly Average للغطاء النباتي في منطقة الدراسة تراوحت بين (0.01 غرام فسفور/م^2) في شهري كانون الثاني وشباط لعام 2018 و (0.08 غرام فسفور/م^2) في شهري نيسان و أيار لنفس العام، في حين بلغ المتوسط الإجمالي لمعدل امتصاص الفسفور (0.04 غرام فسفور/م^2) كما يبينه الجدول (38).

جدول 38. معدلات امتصاص الفسفور المتوسطة الشهرية في الغطاء النباتي (غ/م^2)

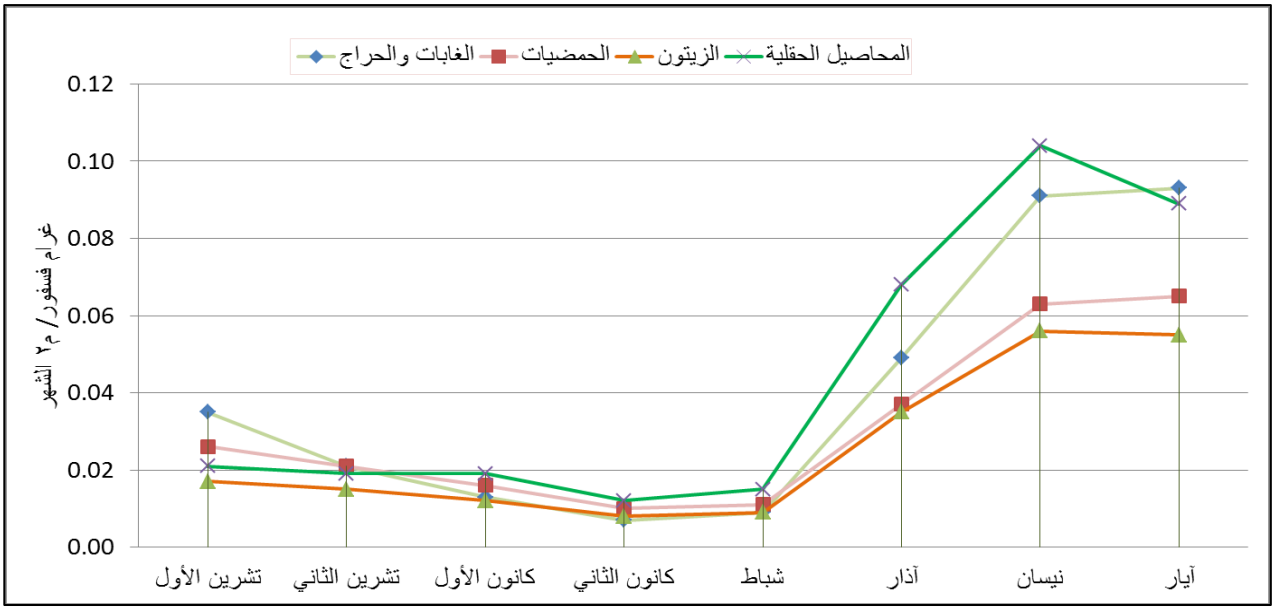
الغطاء النباتي	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	Mean
حمضيات	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.04	0.06	0.07	**0.03**
محاصيل حقلية	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.07	0.10	0.09	**0.04**
غابات وحراج	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.05	0.09	0.09	**0.04**
زيتون	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04	0.06	0.06	**0.03**
Average	**0.03**	**0.02**	**0.02**	**0.01**	**0.01**	**0.05**	**0.08**	**0.08**	**0.04**

17-7- أظهرت نتائج النمذجة الرياضية في الجدول (38) أن معدلات امتصاص الفسفور الشهرية في منطقة الدراسة لصف المحاصيل الحقلية تراوحت بين (0.012 غرام فسفور/م^2) في شهر كانون الثاني لعام 2017 و

(0.104 غرام فسفور/م^2) في شهر نيسان لعام 2018، في حين بلغ المتوسط الإجمالي لمعدل امتصاص الفسفور (0.043 غرام فسفور/م^2)، كما تراوحت معدلات امتصاص الفسفور الشهرية لصف الحمضيات بين (0.01 غرام فسفور/م^2) في شهر كانون الثاني و (0.065 غرام فسفور/م^2) في شهر أيار و بلغ المتوسط الإجمالي لمعدل امتصاص الفسفور في صف الحمضيات (0.031 غرام فسفور/م^2)، يليه صف الزيتون وبقيم تراوحت بين (0.008 غرام فسفور/م^2) في شهر كانون الثاني و (0.056 غرام فسفور/م^2) في شهر نيسان وبمتوسط إجمالي بلغ (0.026 غرام فسفور/م^2) ، وأخيراً تراوحت معدلات امتصاص الفسفور الشهرية في صف الغابات والحراج بين (0.007 غرام فسفور/م^2) في شهر كانون الثاني و (0.093 غرام فسفور/م^2) في شهر أيار وبمعدل وسطي إجمالي (0.04 غرام فسفور/م^2).

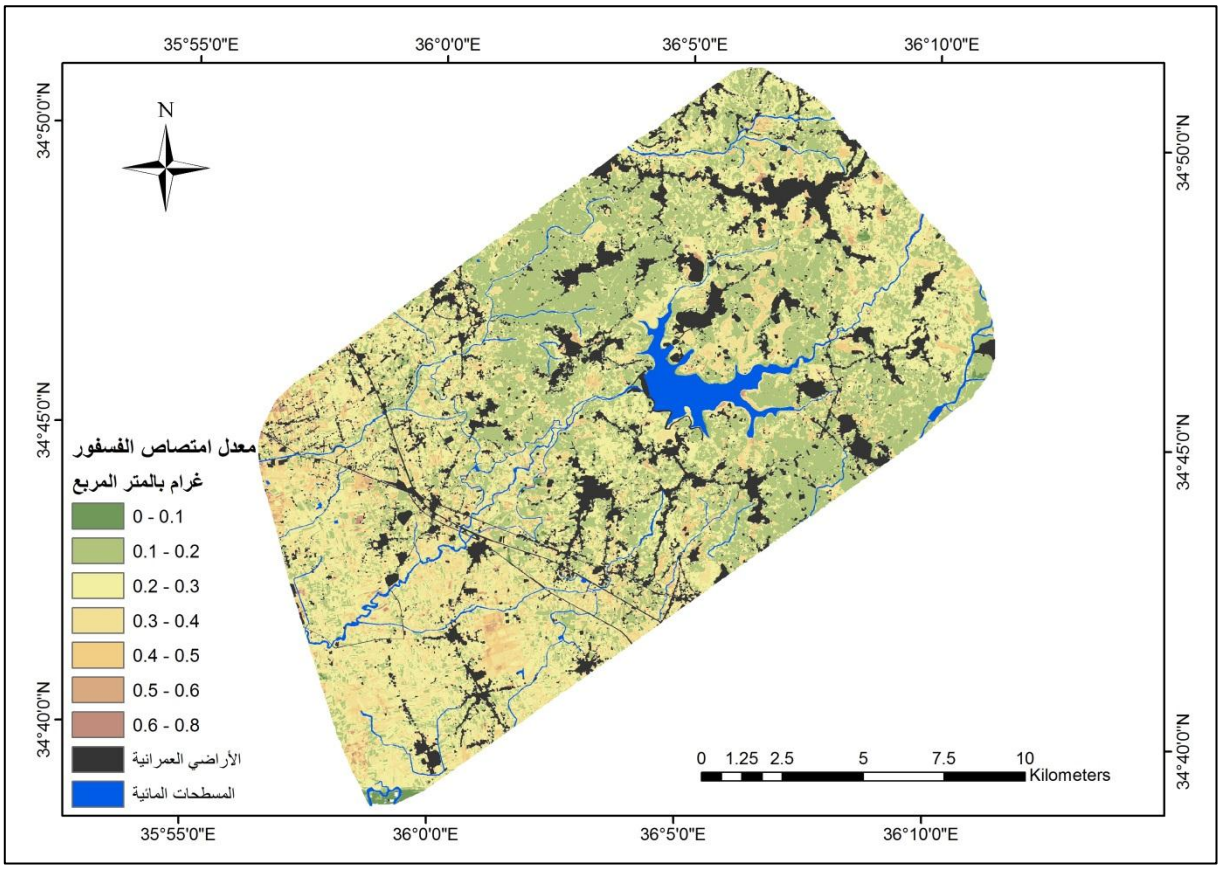
17-8- يبين المخطط البياني (23) معدلات امتصاص الفسفور الشهرية لكل صف من صفوف الغطاء النباتي (الغابات والحراج و الزيتون و الحمضيات و المحاصيل الحقلية) المنتشرة في منطقة الدراسة، حيث أوضحت نتائج النمذجة الرياضية ازدياد معدلات امتصاص الفسفور في صف المحاصيل الحقلية بدايةً من شهر كانون الثاني لعام 2017م وحتى شهر نيسان لعام 2018م ليعود وينخفض معدل الامتصاص في شهر أيار لعام 2018 وهذا يتوافق والدورة الزراعية المطبقة لنمو المحاصيل الزراعية الشتوية في المنطقة، حيث تبدأ الكتلة الحية النباتية للمحاصيل الزراعية والتي يعبر عنها بالدليل النباتي الاستشعاري NDVI المطبق في النموذج الاستشعاري المنجز الخاص بحساب كمية التمثيل الضوئي وتكوين الكربون العضوي بالازدياد من شهر كانون الثاني لتصل ذروتها في شهر نيسان وبخاصة بمحاصيل مثل القمح والشعير والحمص ثم لا تلبث الكتلة الحية النباتية و تبدأ بالتناقص من نهاية شهر نيسان باتجاه شهر أيار وهي فترة نضج المحاصيل واقترابها من وقت الحصاد على اعتبار أن زراعة المحاصيل الزراعية تبدأ في تلك المناطق في بداية كانون الاول تقريباً، حيث تترافق الزيادة في الكتلة الحية النباتية في هذا الصف بزيادة في عمليات امتصاص الفسفور. يلاحظ أيضاً من المخطط البياني (23) ازدياد معدلات امتصاص الفسفور في صفي الحمضيات والزيتون ابتداءً من شهر شباط مع استمرار هذا الارتفاع خلال الأشهر التالية بما يتوافق مع تسارع العمليات الفيسيولوجية والحيوية داخل النبات والتي تؤدي لزيادة نمو أشجار الزيتون والحمضيات في منطقة الدراسة وهذا ما يتفق مع (Bouhafa وزملاؤه، 2018) في دراسة هدفت لتتبع حركية تغير تراكيز كل من الفسفور والآزوت والبوتاسيوم في أوراق خمسة أصناف من الزيتون تحت ظروف الري بالتنقيط في حقول زراعية وسط المغرب، حيث وجدوا أن امتصاص الفسفور كان عالياً خلال فترة الأزهار والعقد مشيراً ذلك إلى أهمية الفسفور لأشجار الزيتون خلال هذه الفترة وهذا يتوافق مع المخطط البياني (23) والذي يبين ازدياد معدل امتصاص الفسفور بدءً من شهر شباط وحتى شهر أيار، كما تتفق النتائج مع (Ayoub وزملاؤه، 2014) في بحث لدراسة الحركية الفصلية لبعض المغذيات الكبرى في أوراق ثلاث أنواع من الحمضيات Citrus Reticulate، حيث بين ازدياد تراكيز كل من الفسفور والبوتاسيوم في الأوراق خلال الشتاء والربيع ليصل للتركيز الأعظمي خلال شهري حزيران وتموز وذلك في نهاية فترة انقسام خلايا الثمار وبداية تضخمها، ومع تقدم موسم النمو يتناقص تركيز الفسفور

والبوتاسيوم في الأوراق تدريجياً حتى يتم حصاد الثمار في أواخر الخريف، وهذا ما يتوافق والمخطط البياني (23) الذي يبين ازدياد معدلات امتصاص الفسفور في صف الحمضيات بدايةً من شهر شباط وحتى شهر أيار.



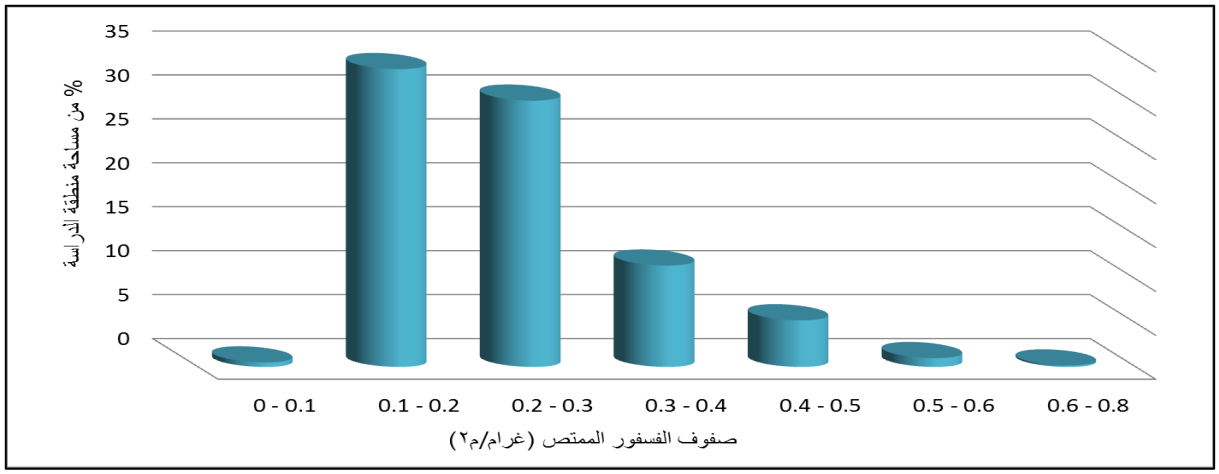
المخطط البياني 23. معدلات امتصاص الفسفور لصفوف الغطاء النباتي في منطقة الدراسة

9-17- يبين الشكل (18) خريطة التوزع المكاني لكمية الفسفور الكلية الممتصة من قبل الغطاء النباتي في منطقة الدراسة بداية من شهر تشرين الأول لعام 2017م وحتى نهاية شهر أيار لعام 2018، حيث يلاحظ أن معدلات الامتصاص العالية نسبياً للفسفور تركزت في الجزء الغربي من المنطقة وحول مجرى نهر الأبرش حيث تسود زراعة المحاصيل الحقلية (القمح – الذرة – الحمص - الحمضيات) والتي تستهلك كميات كبيرة من الفسفور المتاح في التربة بالمقارنة مع بقية صفوف الغطاء النباتي الأخرى، كما يلاحظ انخفاض نسبي في معدلات امتصاص الفسفور في مناطق انتشار زراعة الزيتون في الجزء الأوسط والشرقي من المنطقة نتيجة لزيادة النسبة المئوية من كربونات الكلسيوم الكلية في التربة من جهة، وقلة عمق طبقة التربة المتشكلة على صخور كلسية نتيجة لعوامل عديدة منها إنجراف التربة، مما أدى لقلة إتاحة عنصر الفسفور للامتصاص. وقد يُعزى التفاوت بمعدلات امتصاص الفسفور بين الأنواع النباتية المختلفة المنتشرة في منطقة الدراسة إلى الاختلافات الفيسيولوجية في قدرة النباتات على القيام بعملية التمثيل الضوئي وتكوين الكربون العضوي وبخاصة في أشهر الشتاء والتي تعتبر فترة سكون للعصارة النباتية وبخاصة في الاشجار المثمرة (الزيتون – الحمضيات) واشجار الغابات والحراج.



الشكل 18. التوزع المكاني لكمية الفسفور الكلية الممتصة في منطقة الدراسة

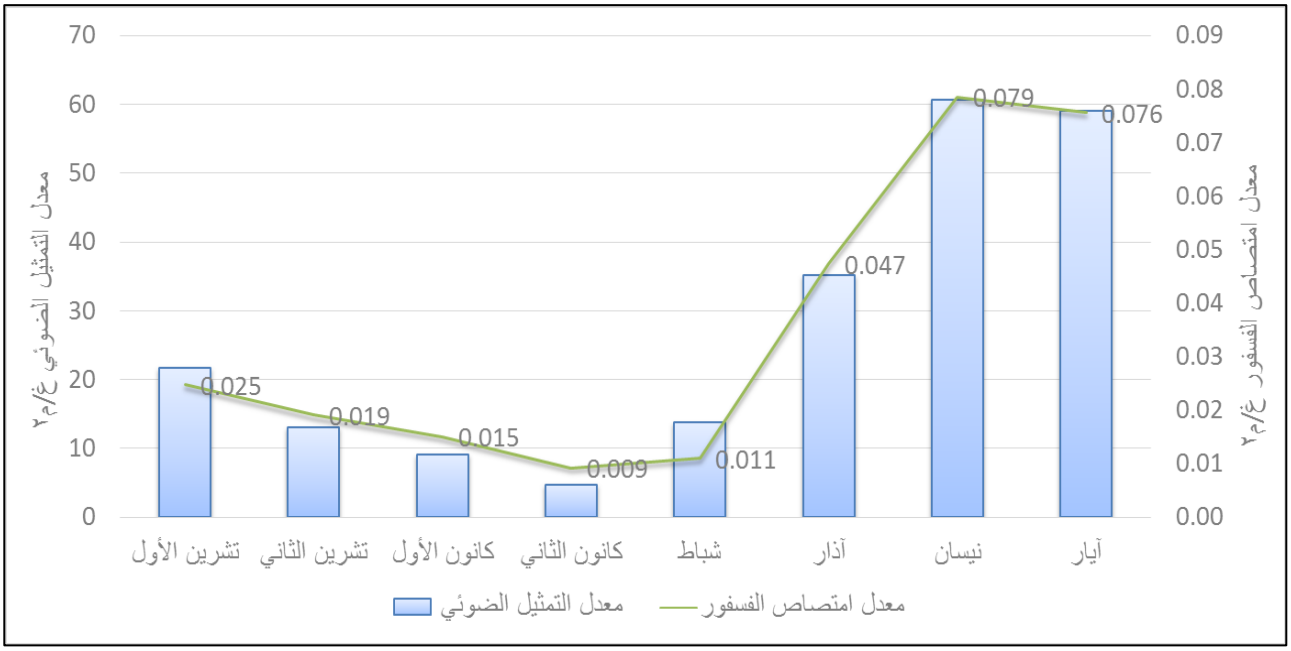
17-10- تم تصنيف الكمية الكلية من الفسفور الممتص خلال الفترة من بداية شهر تشرين الأول لعام 2017م وحتى نهاية شهر أيار لعام 2018م في المنطقة المدروسة إلى سبعة صفوف، حيث شغل الصف الثاني (0.1 – 0.2 غرام فسفور/م^2) حوالي 33.9 % من مساحة المنطقة، يليه الصف الثالث (0.2 – 0.3 غرام فسفور/م^2) وبمساحة شكلت 30.31 % من منطقة الدراسة ثم الصف الرابع (0.3 – 0.4 غرام فسفور/ م^2) وبمساحة شغلت 11.54 % والمخطط البياني (24) يوضح النسب المئوية لمساحات صفوف الفسفور الممتص والمقدر بدءاً من شهر تشرين الأول لعام 2017 وحتى أيار لعام 2018.



المخطط البياني 24. النسب المئوية لمساحات صفوف الفسفور الممتصة في منطقة الدراسة

11-17- لوحظ من خلال المخطط البياني (25) وجود تطابق بين منحنى NPP الشهري و منحنى امتصاص الفسفور الشهري (غرام فسفور/م^2/ الشهر) بداية من شهر تشرين الأول لعام 2017 وحتى نهاية شهر أيار لعام 2018 مما يشير إلى وجود علاقة ارتباط جيدة بين قيم الكربون المتمثل من خلال عملية التمثيل الضوئي ومعدل امتصاص الفسفور من قبل الانواع النباتية المختلفة المتواجدة في منطقة الدراسة. يبين المخطط البياني (25) حركية تغير قيم NPP للأنواع النباتية المتواجدة في منطقة الدراسة شهرياً مقارنة بحركية تغير قيم امتصاص الفسفور لنفس الأشهر، وهذا يتفق مع نتائج كل من (Dong وزملاؤه، 2014; Yang وزملاؤه، 2018).

12-17- يلاحظ من المخطط البياني (25) انخفاض متوسط معدلات امتصاص الفسفور في منطقة الدراسة ابتداءً من شهر تشرين الأول لعام 2017م وحتى شهر كانون الثاني لعام 2018م (0.025, 0.019, 0.015, 0.009 غ/م^2) ليعود ويرتفع معدل الامتصاص للفسفور بداية من شهر شباط ليستقر نوعاً ما في شهري نيسان و آيار (0.076, 0.079, 0.047, 0.011 غ/م^2) وهذا ما يتوافق مع تغيرات قيم NPP الشهرية للأنواع النباتية المدروسة، وربما يعود ذلك إلى انخفاض كمية التمثيل الضوئي وتكوين الكربون العضوي في الأشهر الأولى وحتى شهر كانون الثاني نتيجة انخفاض مجمل المساحة المزروعة بالمحاصيل الحقلية والتي تشكل حوالي 29.45 % من مساحة المنطقة، حيث أن زراعة المحاصيل الحقلية تبعاً لدورة المحاصيل الشتوية المعمول بها في المنطقة تبدأ تقريباً من بداية كانون الأول، وبدء زيادة الكتلة الحية النباتية بداية من شهر شباط.

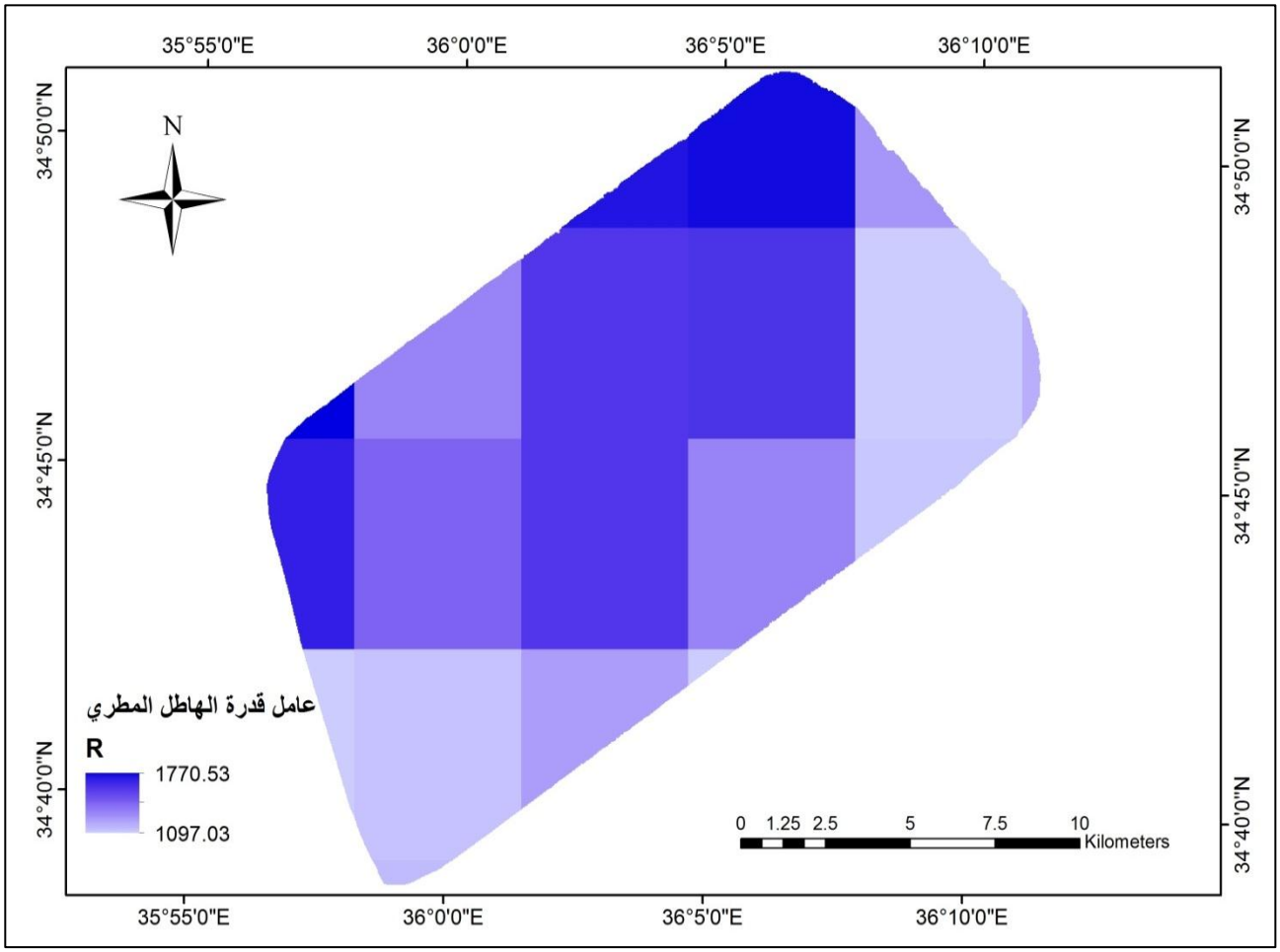


المخطط البياني 25. متوسط معدل امتصاص الفسفور الشهري مقارنة بمعدل التمثيل الضوئي الشهري

18- تقدير معدلات الإنجراف المائي للتربة باستخدام المعادلة العالمية للإنجراف RUSLE والبيانات الاستشعارية والحقلية:

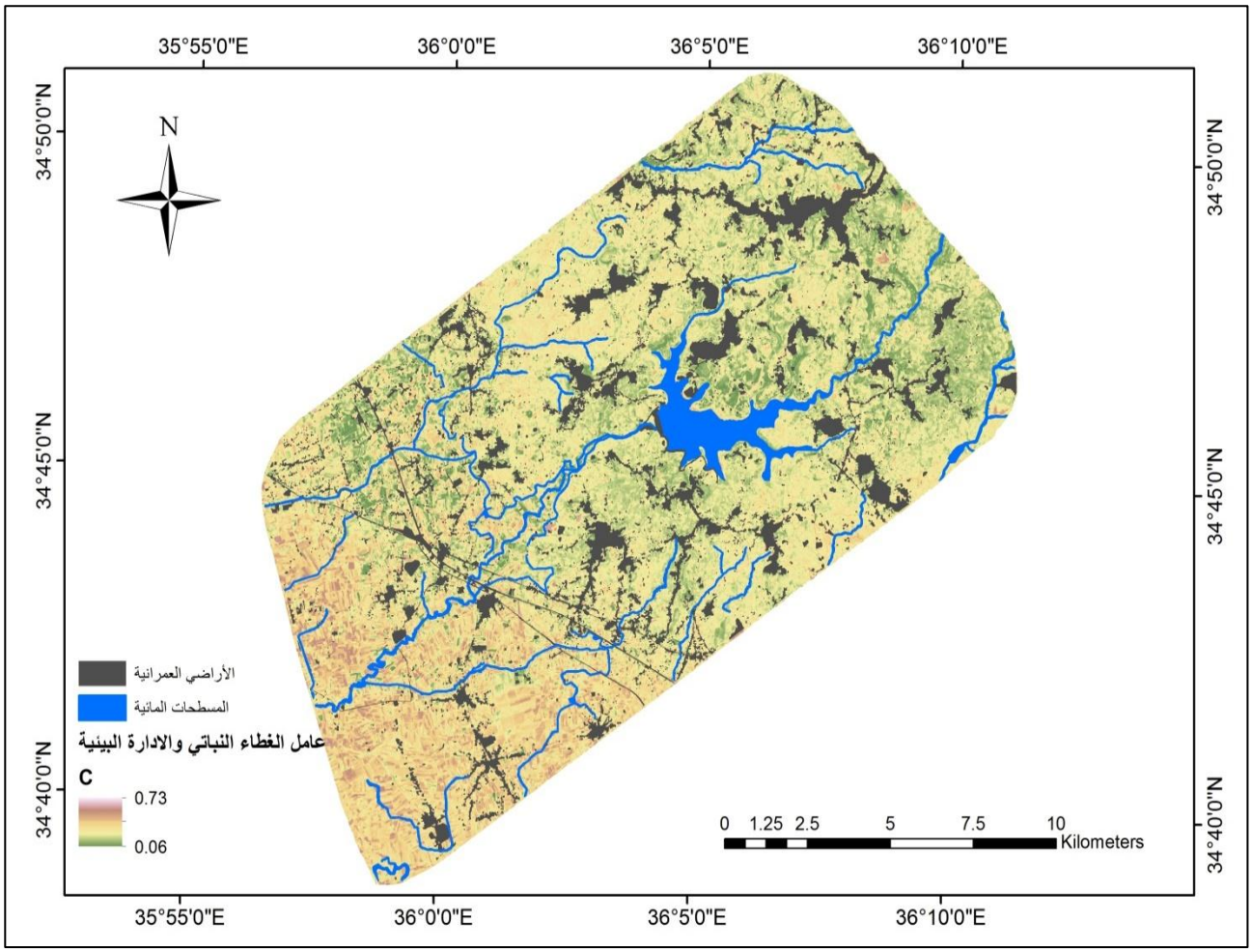
1-18- تراوحت قيم العامل R السنوية والتي تعبر عن قدرة الهطل المطري على جرف التربة في منطقة الدراسة بين (1097.03 و 1770.53) (MJ mm ha^{-1} h^{-1} year^{-1})، حيث يعود التباين في قيم العامل R من

من جزء إلى آخر ضمن منطقة الدراسة للاختلافات المكانية المسجلة عن الهطل المطري وتوزعها في منطقة الدراسة والتي وصلت ككمية إجمالية إلى (893.38 مم) خلال الفترة الممتدة من بداية شهر تشرين الأول عام 2017 وحتى نهاية شهر آيار عام 2018. تشير القيم العالية للعامل R إلى القدرة العالية الكامنة للهطل المطري على جرف التربة، والشكل (19) يبين توزع قيم العامل R في منطقة الدراسة وتباينه من منطقة إلى أخرى حسب كميات الهطل المطري المسجلة وتوزعها.



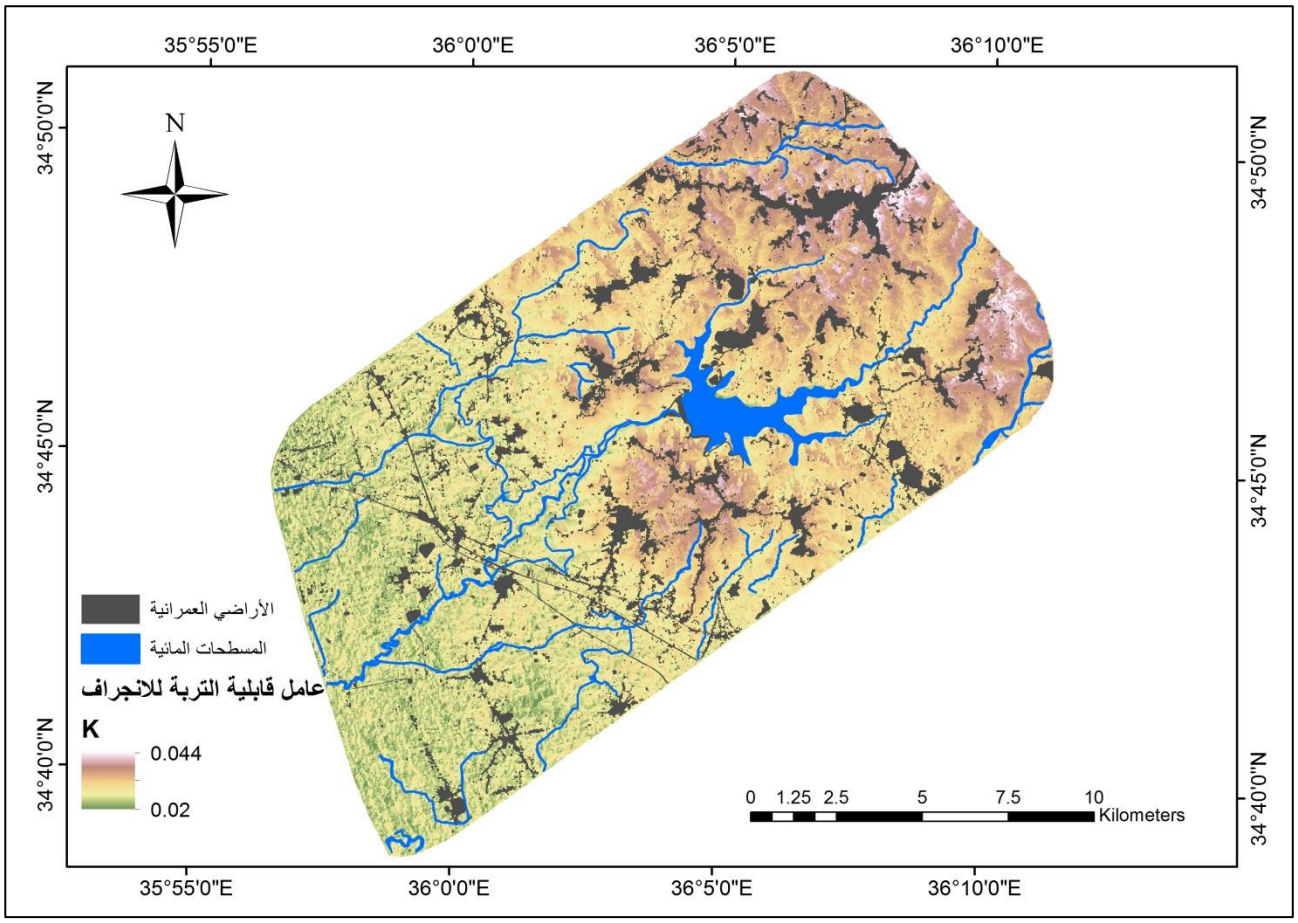
الشكل 19. توزع قيم العامل R في منطقة الدراسة

2-18- تراوحت قيم العامل C والذي يعبرعن كثافة الغطاء النباتي وتوزعه المكاني في المنطقة المدروسة بين (0.06 و 0.73) و تعزى القيم المنخفضة للعامل C إلى وجود تغطية نباتية عالية في المنطقة والتي تعمل على التقليل من حجم الفقد بالتربة نتيجة للإنجراف المائي، بينما تعزى القيم العالية إلى وجود تغطية نباتية منخفضة وغطاء نباتي مبعثر لا يساعد في الحد من إنجراف التربة خلال الهطل المطري العالي وبخاصة على سفوح المنحدرات. الشكل (20) يوضح التوزع المكاني لقيم العامل C الناتج عن توزع الغطاء النباتي في المنطقة.



الشكل 20. توزع قيم العامل C في منطقة الدراسة

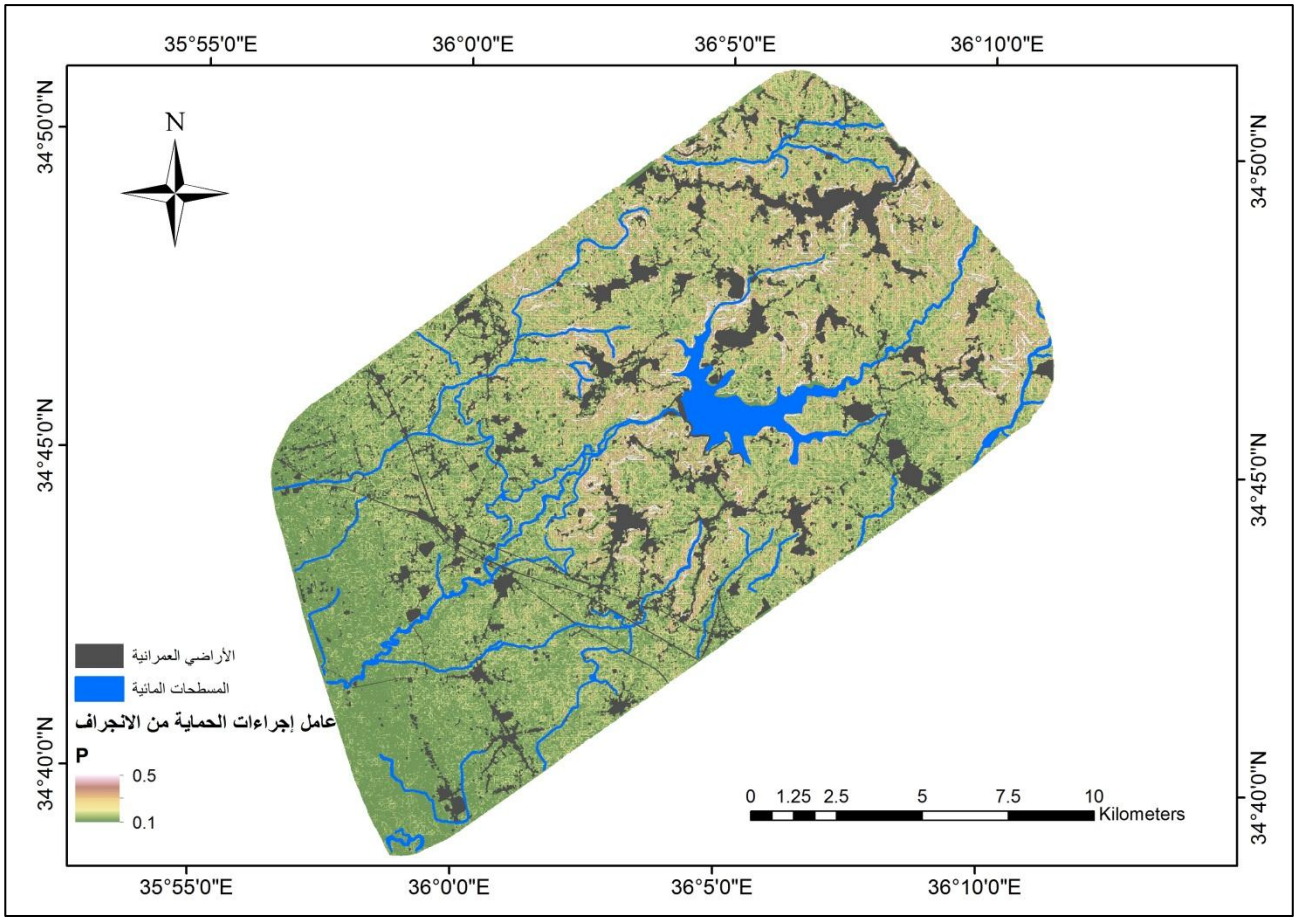
3-18- تراوحت قيم العامل K والذي يشير إلى قابلية التربة للتعرية المائية بين (0.02 و 0.044) ($t\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$) حيث يعتبر هذا العامل مقياس كمي لحساسية التربة وقابليتها للإنجراف تبعاً لمجموعة من خصائصها الفيزيائية (كميات كل من الرمل، السلت، الطين) وبالتالي قوام التربة وكمية المادة العضوية الموجودة ضمن قطاعها، و تعبر القيم العالية للعامل K إلى استعداد عالي للتربة السطحية للإنجراف نتيجة التكوين الميكانيكي الهش لحبيباتها ومحتواها المنخفض من المادة العضوية والتي تشكل الملاط الذي يعمل على تماسك حبيبات التربة ويقلل إمكانية إزاحتها وإنجرافها من مكان إلى آخر بفعل الهطل المطري الغزير. يلاحظ من الشكل (21) والذي يبين التوزع المكاني لقيم العامل K في منطقة الدراسة أن القيم العالية تتواجد في الجزء الأوسط والشرقي من منطقة الدراسة على الأراضي المرتفعة و المنحدرة والتي تسود فيها الترب اللومية، إضافة للترب الرملية الطينية اللومية والترب الرملية اللومية قليلة العمق، بينما تتواجد القيم المنخفضة في الجزء الغربي وفي الاماكن ضعيفة الانحدار وعلى طول مجرى نهر الأبرش حيث تسود الترب الطينية والطينية اللومية العميقة.



الشكل 21. توزع قيم العامل K في منطقة الدراسة

4-18- يعتبر العامل P مقياس لفعالية إجراءات الوقاية و السيطرة المتبعة في منطقة ما للحد من كميات الترب المنجرفة، وبشكل عام تكون عادةً قيمة هذا العامل أقل من 1 في حال كانت إجراءات الحماية والحد من الإنجراف فعالة بدرجة كبيرة (Gitas وزملائه، 2009; Roger و Herbert، 2016). تم إنجاز نموذج رياضي في بيئة Model Maker باستخدام قيم كل من (Wischmeier و Smith، 1978) الخاصة بحساب قيم العامل P وبالاعتماد على النسبة المئوية للانحدار ونوع استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي الراهن حسب الجدول (6)، فتراوحت قيم العامل P بين (0.1 و 0.5)، حيث تشير القيم العالية للعامل P إلى عدم و جود فعالية كبيرة لإجراءات الوقاية والسيطرة المتخذة في المنطقة المدروسة للحد من كميات الترب المنجرفة، بينما تشير القيم المنخفضة إلى أن الإجراءات المتخذة للحد من الإنجراف المائي كوجود مصاطب حجرية ومدرجات تكسر الانحدارات الشديدة وتقلل من فقدان التربة باتجاه الأودية والمسيلات أكثر فعالية. تتواجد القيم العالية للعامل P في المناطق المرتفعة على سفوح المنحدرات في الجزء الاوسط والشرقي من منطقة الدراسة والتي لا تتواجد فيها إجراءات حماية فعالة كالمدرجات والمصاطب الحجرية، إضافة لإزالة الغطاء النباتي الطبيعي (حرائق – قطع غابات وحراج) وهذا ما يؤدي إلى زيادة معدلات الإنجراف في هذه المناطق، بينما تسود قيم P المنخفضة في الاجزاء ضعيفة الانحدار ومنخفضة الارتفاع في الجزء الغربي من منطقة الدراسة وحول مجرى نهر الأبرش حيث تتواجد زراعة الحمضيات والمحاصيل الحقلية والتي تسود على مدار العام

تقريباً مخففةً من كميات الترب المنجرفة. والشكل (22) يبين التوزع المكاني لقيم العامل P في المنطقة المدروسة.

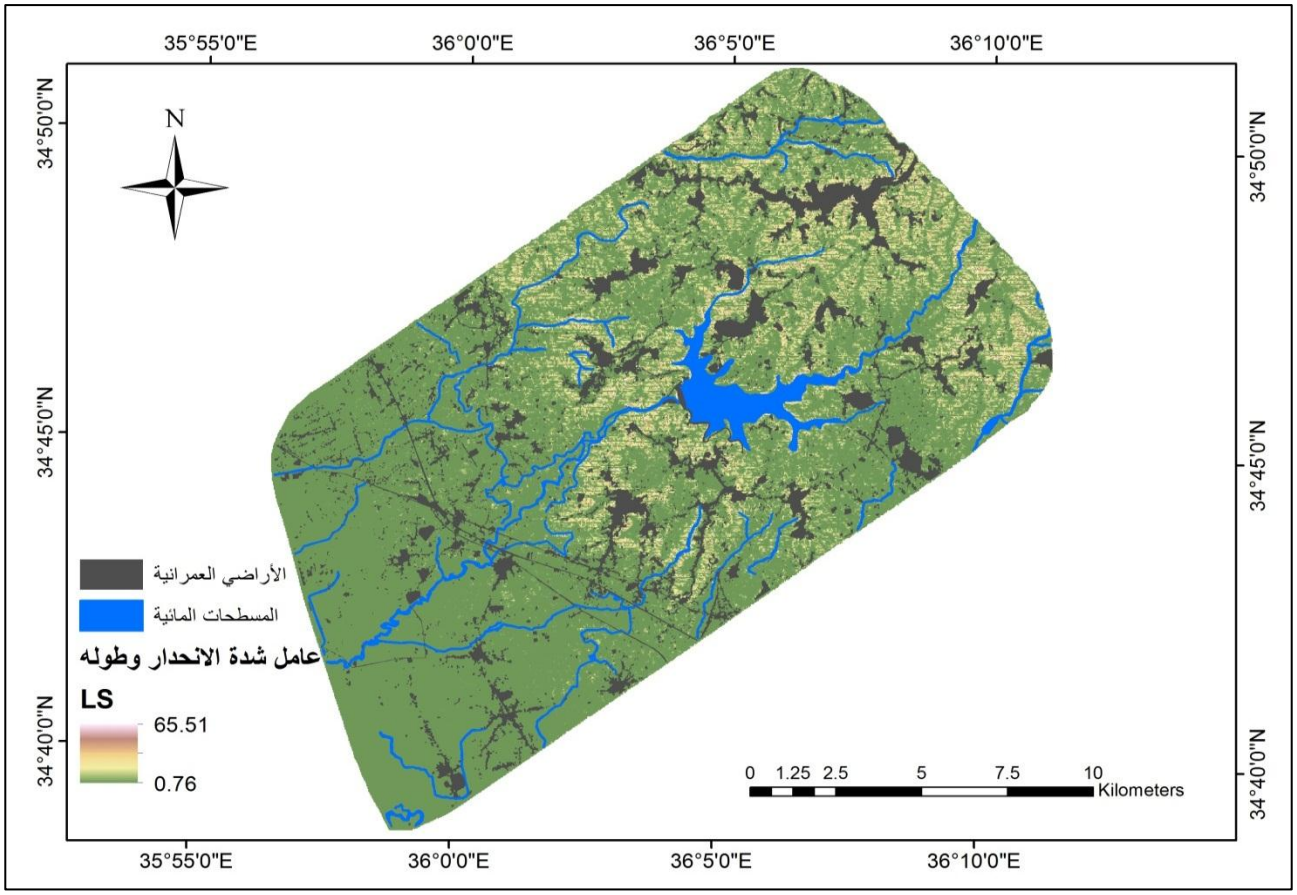


الشكل 22. توزع قيم العامل P في منطقة الدراسة

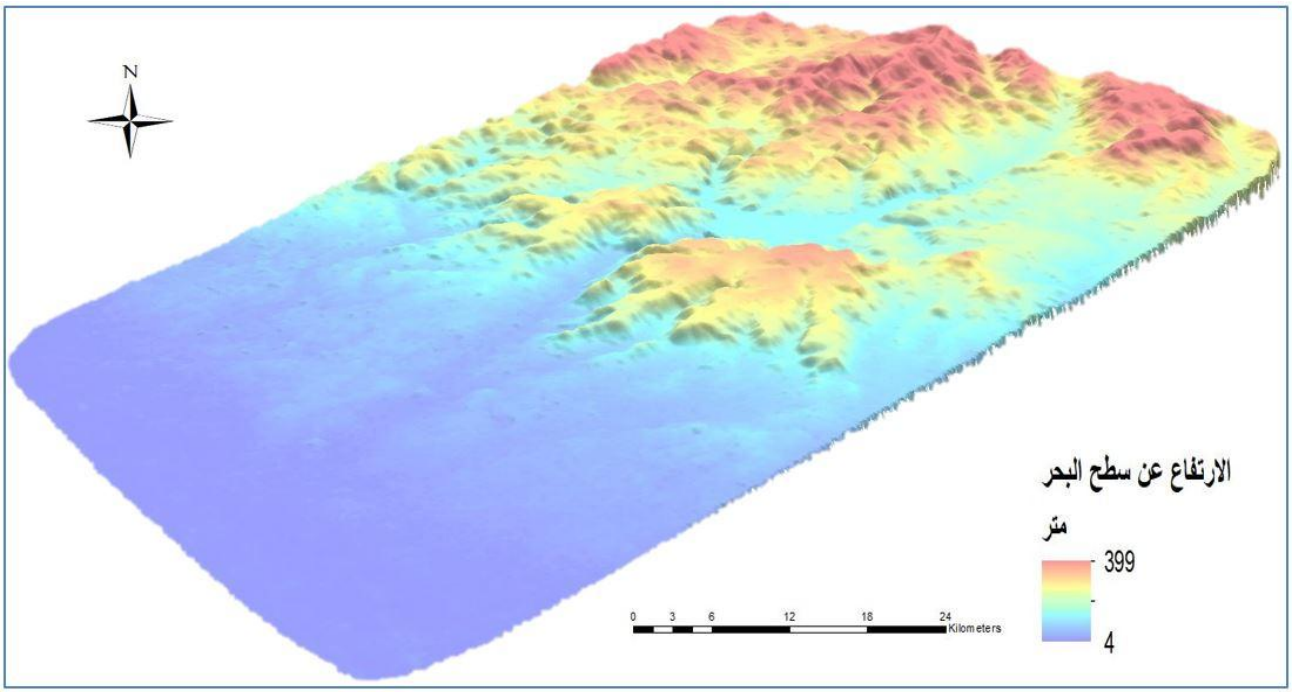
5-18- تراوحت قيم الارتفاع عن سطح البحر في منطقة الدراسة حسب DEM المستخدم في الدراسة بين (4 و 399 م)، و يلاحظ ازدياد الارتفاع عن سطح البحر بدءً من الجهة الغربية وباتجاه الأجزاء الشرقية من منطقة الدراسة حيث تنتشر سلسلة جبلية تحيط بسد الأبرش من جميع الاتجاهات الشكل (24).

تراوحت قيم العامل LS والذي يعبر عن عامل الطبوغرافية (شدة الانحدار و طول المنحدر) في منطقة الدراسة بين (65.51 و 0.76) الشكل (23)، حيث تشير القيم المنخفضة للعامل LS إلى قيم درجات انحدار منخفضة وإلى طول أكبر للمنحدر مما يخفف من كميات الترب المنجرفة عند حدوث هطولات مطرية غزيرة، بينما تدل القيم المرتفعة للعامل LS إلى أن درجات الانحدار على سفوح المنحدارت كبيرة وحادة مما يساعد على زيادة كميات الترب المنجرفة عند حدوث الهطل المطري. تتواجد القيم العالية لهذا العامل على سفوح المنحدرات في الجزء الشرقي والشمالي الشرق من منطقة الدراسة وفي المناطق المحيطة بنهر الأبرش من جهة الشرق وصولاً لسد الأبرش والذي تحيط به سلسلة جبلية من جميع الاتجاهات، بينما تواجدت القيم المنخفضة في الجزء الغربي من منطقة الدراسة وهي أراضي قليلة الارتفاع وسهلية نوعاً ما، حيث تشكل جزء من سهل عكار. والشكلين

(23, 24) يبينان التوزع المكاني لقيم العامل LS ، وقيم الارتفاع عن سطح البحر على التوالي في منطقة الدراسة.



الشكل 23. توزع قيم العامل LS في منطقة الدراسة



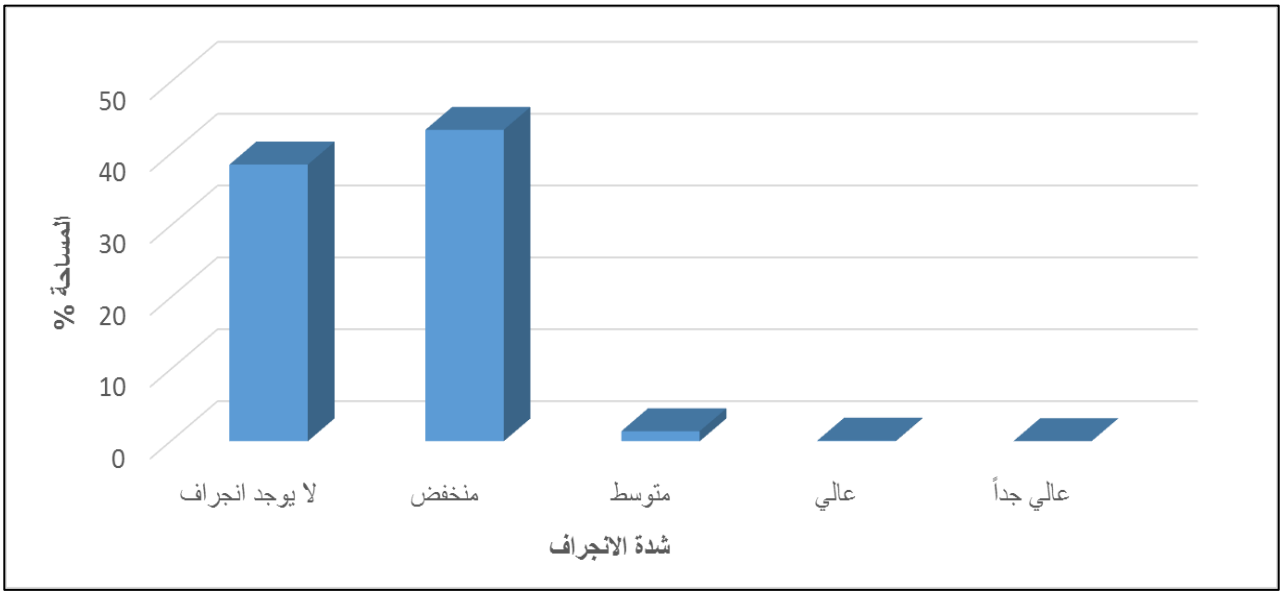
الشكل 24. الارتفاع عن سطح البحر في منطقة الدراسة

6-18- تم تقسيم كميات الترب المنجرفة السنوية في منطقة الدراسة إلى أربعة صفوف حسب خطورة الإنجراف بحسب (Mazahreh وزملائه، 2018)، والجدول (39) التالي يبين صفوف الخطورة للإنجراف المائي مترافقاً مع معدل فقد التربة (طن/هكتار/سنة) الموافق لكل صف من صفوف الخطورة والنسبة المئوية لمساحة كل صف من صفوف الخطورة من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة.

جدول 39. صفوف شدة الإنجراف والنسبة المئوية لمساحة كل صف في منطقة الدراسة

شدة الإنجراف	معدل فقد التربة (طن. هكتار$^{-1}$ سنة$^{-1}$)	المساحة في منطقة الدراسة %
لا يوجد إنجراف	0	38.5
منخفض	10 - 0	43.34
متوسط	50 - 10	1.4
عالي	200 - 50	0.07

7-18- يوضح المخطط البياني (26) التالي النسبة المئوية لمساحات صفوف شدة الإنجراف السنوية من مساحة منطقة الدراسة الكلية، حيث يتضح أن حوالي 38.5 % من مساحة منطقة الدراسة لا تعاني من ظاهرة الإنجراف المائي، بينما شكل صف الخطورة المنخفض حوالي 43.34 % من المساحة الكلية وبمعدل فقد تربة أقل من (10 طن/هكتار/سنة)، في حين شكل صف خطورة الإنجراف المتوسط حوالي 1.4 % من المساحة الكلية وبمعدل فقد للتربة تراوح بين (10 – 50 طن/هكتار/سنة).



المخطط البياني 26. النسبة المئوية لمساحات صفوف الإنجراف السنوي في منطقة الدراسة

تتوافق هذه النتائج عموماً مع النتائج التي حصل عليها كل من (AL-Abed وزملائه، 2018) في دراسة تمت لتحديد معدلات فقد التربة نتيجة للإنجراف المائي على كامل محافظة طرطوس باستخدام النموذج USLE، حيث وجد أن حوالي 39.95 % من مساحة محافظة طرطوس لا تعاني من إنجراف للتربة، بينما حوالي 45 %

من مساحة المحافظة كانت تعاني من إنجراف منخفض (أقل من 10 طن.هكتار$^{-1}$ سنة$^{-1}$)، في حين كانت مساحة الأراضي التي تعاني من إنجراف متوسط الشدة لا تزيد عن 15 % من مساحة المحافظة، والمساحات المعرضة للإنجراف العالي والعالي جداً كانت حوالي 0.64 % من مساحة المحافظة.

8-18- تم حساب متوسط قيم الإنجراف السنوي (طن. هكتار$^{-1}$ سنة$^{-1}$) لجميع البيكسلات في الصورة Image لكميات الترب المنجرفة السنوية ولكل صف من صفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي كما يوضحه الجدول (40) التالي:

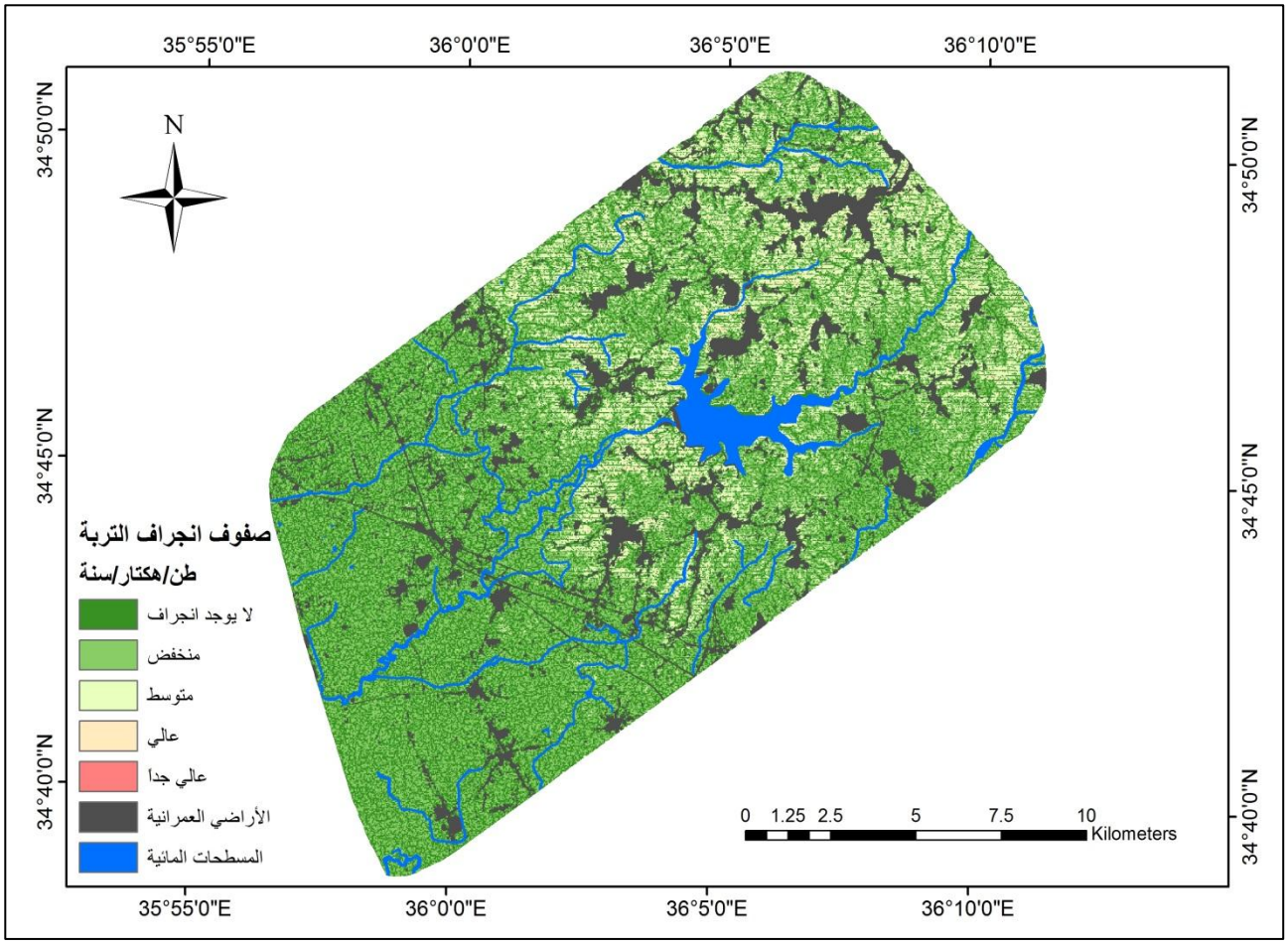
جدول 40. متوسط قيم الإنجراف السنوي

استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي	متوسط معدل فقد التربة (طن. هكتار$^{-1}$ سنة$^{-1}$)
الغابات والحراج	12.34
الزيتون	9.02
الحمضيات	2
المحاصيل الحقلية مع البيوت المحمية	1.25

يلاحظ من الجدول (40) أن متوسط معدل فقد التربة في صف الغابات والحراج كان أعلى من بقية الصفوف وبمتوسط مساوي (12.334 طن. هكتار$^{-1}$ سنة$^{-1}$)، يليه صف الزيتون وبمتوسط وقدره (9.017 طن. هكتار$^{-1}$ سنة$^{-1}$) وهذا يعود لتواجد هذين الصفين في الجزء الاوسط والشرقي من منطقة الدراسة حيث تتوزع على الأراضي المرتفعة شديدة الانحدار والتي تسود فيها الترب اللومية، إضافة للترب الرملية الطينية اللومية قليلة العمق والناشئة على صخور أم كلسية هشة، ولعدم وجود إجراءات حماية كافية تخفف من كميات الترب المنجرفة في هذه المناطق كالمدرجات الحجرية وغيرها، وهذا ما يؤدي لحدوث معدلات إنجراف عالية للتربة عند حدوث زخات مطرية شديدة، بينما يتم زراعة الحمضيات والمحاصيل الحقلية في الأراضي السهلية ضعيفة الانحدار والتي تنتشر في الجزء الغربي والشمالي الغربي من منطقة الدراسة وحول ضفاف نهر الأبرش حيث تسود الترب الطينية والطينية اللومية العميقة والتي تقل فيها معدلات الإنجراف السنوية مقارنة بالمناطق الشرقية والشمالية الشرقية من المنطقة، وهذه النتائج تتوافق مع (إدريس و قطنا، 2020) حيث وجدوا أن صف الغابات والحراج يتعرض لمعدلات إنجراف عالية مقارنة ببقية صفوف الغطاء النباتي الأخرى، يليه صف الزيتون، بينما يتعرض صفي الحمضيات والمحاصيل الحقلية المنتشرين في المنطقة الساحلية بشكل عام إلى معدلات إنجراف قليلة وذلك في دراسة هدفت لإجراء التحليل المكاني للقطاع الزراعي في الساحل السوري ودراسة العوامل المؤثرة عليه واتجاهات تطوره. كما ويمكن أن يتم تفسير كمية الفقد المرتفعة نسبياً من التربة نتيجة للإنجراف المائي الحاصل في صف الغابات والحراج مقارنة ببقية صفوف الغطاء النباتي الأخرى وبخاصة صف الزيتون والذي ينتشر في نفس الحيز الجغرافي تقريباً (الأجزاء الشرقية من منطقة الدراسة على سفوح المنحدرات وفي

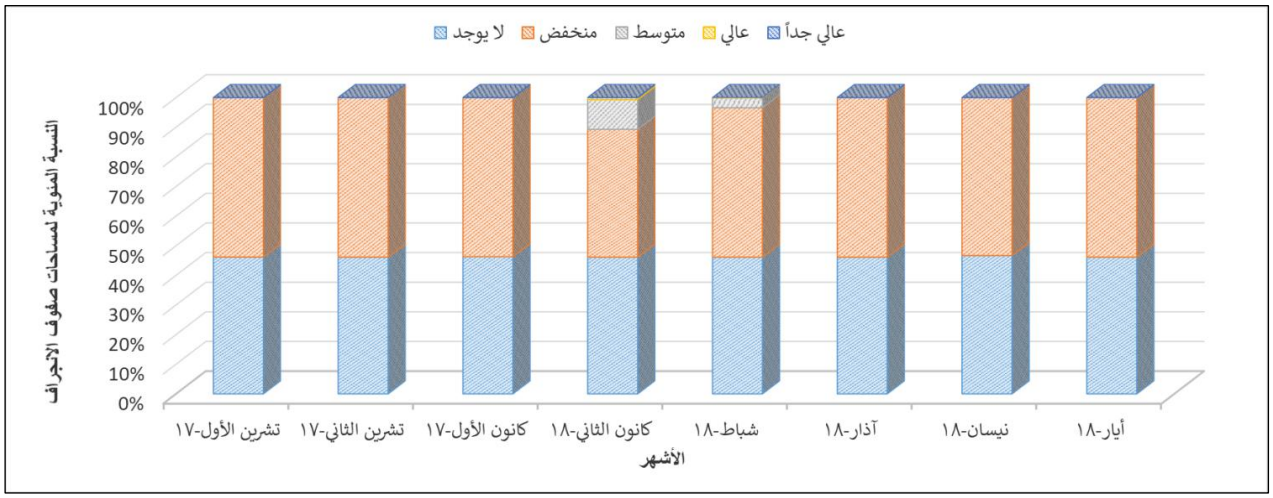
المناطق المرتفعة) الذي تنتشر به بقع الغابات والحراج إلى أن صف الغابات والحراج في خريطة استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي يضم تحته عدد من مستويات الكثافة (غابات وحراج كثيفة، متوسطة الكثافة، خفيفة الكثافة) المتعلقة بالغطاء الغابي الحراجي، كما يضم أيضاً هذا الصف أراضي الغطاء العشبي وهي جميعها لا تتوضع في بقعة جغرافية واحدة ضمن منطقة الدراسة وإنما تتوزع في مواقع مختلفة وبخاصة في الاجزاء الشرقية وحول سد الأبرش من جميع الاتجاهات، وهذا ما يجعل بعض المواقع ضمن صف الغابات والحراج تتعرض لمعدلات إنجراف أعلى من غيرها من الصفوف وبخاصة ما هو متواجد على السفوح الجبلية شديدة الانحدار.

18-9- يبين الشكل (25) صفوف خطورة الإنجراف المائي (طن. هكتار$^{-1}$ سنة$^{-1}$) والذي تم حسابه من معدلات الفقد للتربة الشهرية (طن. هكتار$^{-1}$ شهر$^{-1}$) ابتداء من شهر 2017/10 وحتى شهر 2018/5، و يلاحظ توزع الإنجراف بصورة رئيسية في الجزء الشرقي والشمالي الشرقي من منطقة الدراسة نتيجة لتضافر مجموعة من العوامل منها الارتفاع عن سطح البحر و كميات هطول مطري عالية نسبياً و الانحدارات الشديدة، بالإضافة لانتشار تربة غير عميقة على طبقة صخرية كلسية تساعد على زيادة شدة الإنجراف الحاصل.



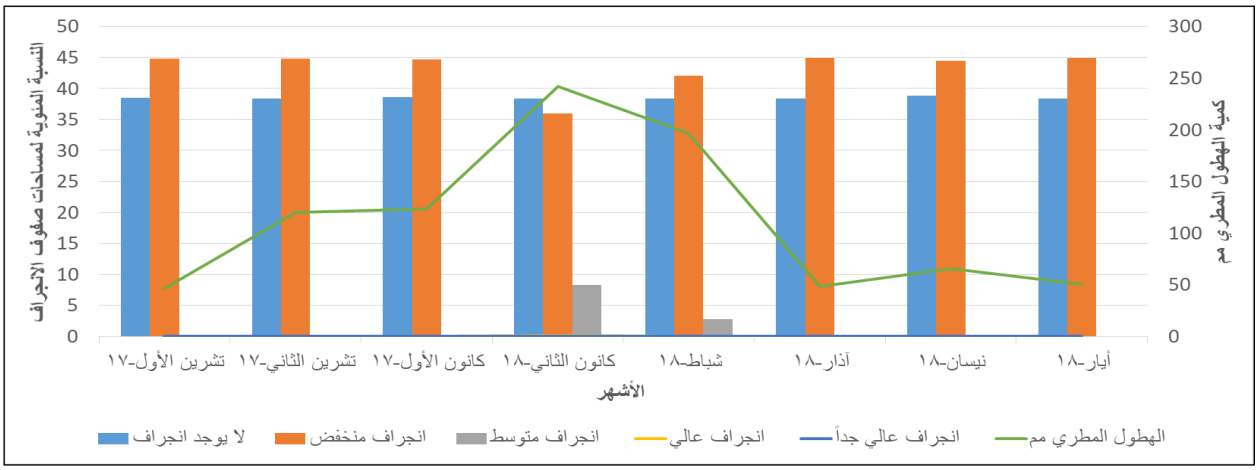
الشكل 25. توزع صفوف خطورة الإنجراف المائي

10-18- يوضح المخطط البياني (27) النسبة المئوية لمساحات صفوف شدة الإنجراف الشهرية ابتداءً من شهر 2017/10م وحتى شهر 2018/5م، حيث يلاحظ أن شدة الإنجراف كانت عالية خلال شهري كانون الثاني وشباط عام 2018م، فتزايدت المساحات متوسطة الإنجراف على حساب تناقص المساحات خفيفة الإنجراف في منطقة الدراسة خلال هذين الشهرين وربما يعود ذلك إلى كميات الهطل المطري العالية التي تحصل عادةً خلال هذين الشهرين من السنة في المنطقة الساحلية، وإلى ضعف التغطية النباتية نسبياً خلال هذه الفترة.



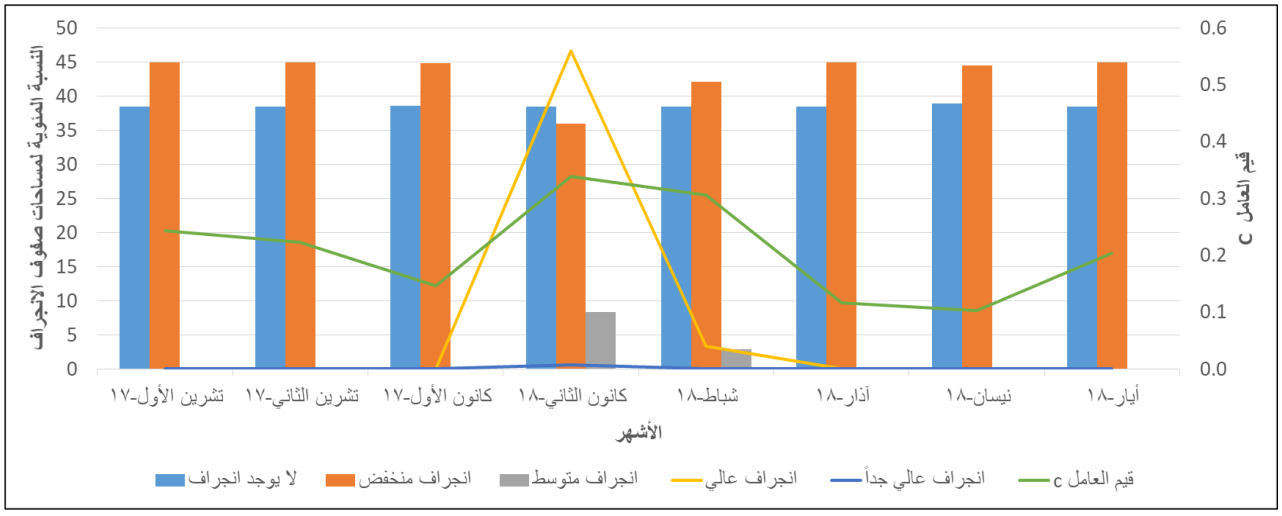
المخطط البياني 27. النسبة المئوية لمساحات صفوف الإنجراف الشهري

11-18- يلاحظ من المخطط البياني (28) أن كمية الهطل المطري تزايدت من بداية شهر تشرين الأول لعام 2017 وحتى شهر كانون الثاني لعام 2018 لتعود وتتناقص بداية من شهر شباط لعام 2018 وحتى شهر آذار، وبالتالي فإن أعلى قيم سجلت للهطل المطري كانت خلال شهري كانون الثاني و شباط لعام 2018 بمعدل بلغ حوالي (242.17 و 196.37 مم) على التوالي، كما يلاحظ ازدياد النسبة المئوية لمساحة صف الإنجراف المتوسط (10 – 50 طن/هكتار/سنة) خلال شهري كانون الثاني وشباط على حساب تناقص النسبة المئوية لمساحة صف الإنجراف المنخفض (0 – 10 طن/هكتار/سنة)، وهذا ما يشير إلى الدور المعنوي الفاعل لمعدل الهطل المطري خلال هذين الشهرين في تزايد المساحات المعرضة للإنجراف بشدات عالية.



المخطط البياني 28. علاقة تغير شدة الإنجراف المائي مع تغير كمية الهطل المطري الشهري

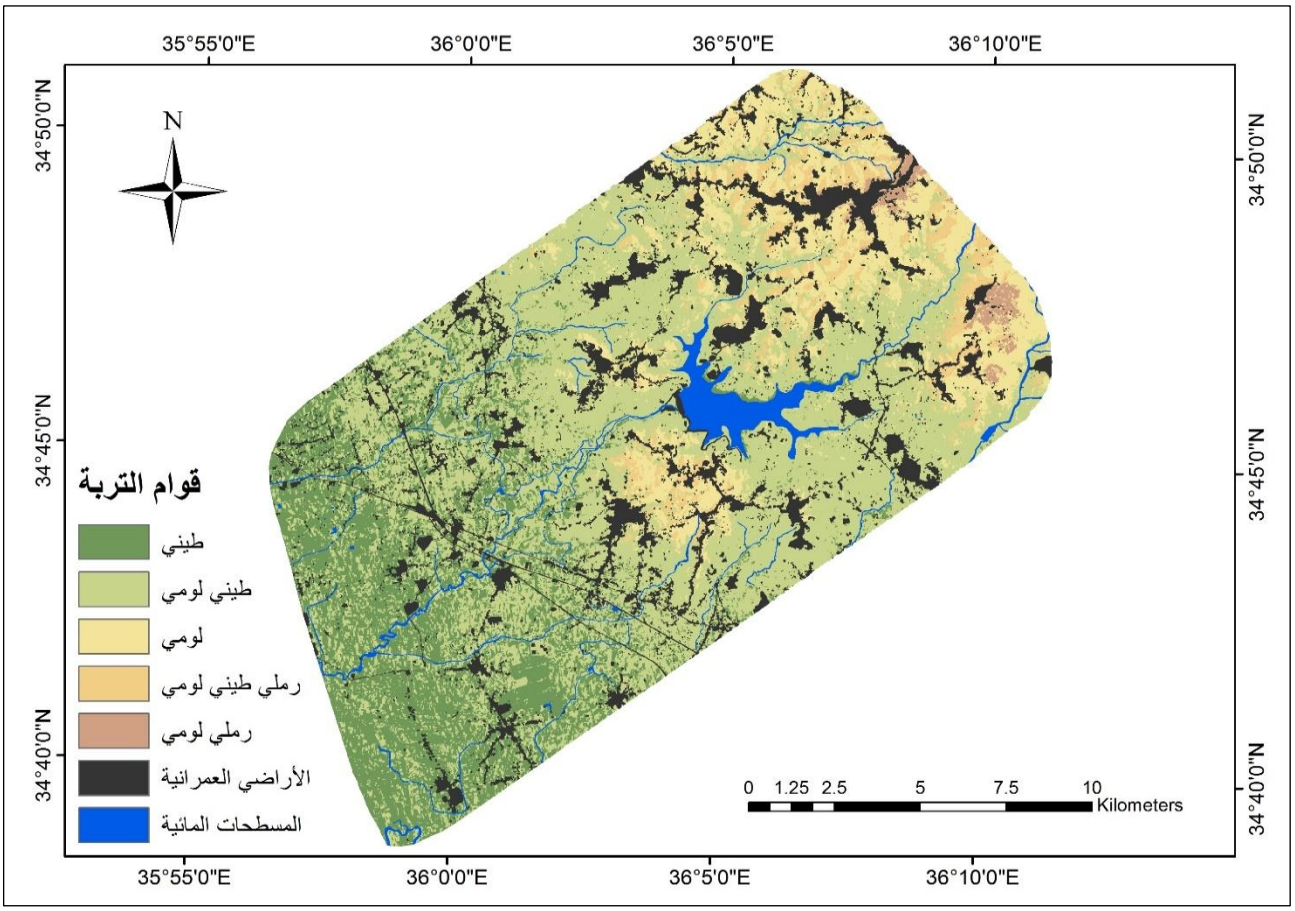
12-18- تم حساب متوسط قيم العامل C في منطقة الدراسة شهرياً بداية من شهر تشرين الأول لعام 2017 وحتى شهر أيار لعام 2018 ولكافة صفوف الغطاء النباتي المنتشر في منطقة الدراسة، والذي يعبرعن مقدارالتغطية النباتية الموجودة، حيث يستخدم الدليل النباتي NDVI والذي يمثل حجم الكتلة النباتية الحية كمؤشر رقمي عن قيم هذا العامل. يلاحظ من المخطط البياني (29) أن قيم العامل C تناقصت بداية من شهر تشرين الأول لعام 2017 وحتى شهر كانون الأول لعام 2017، ثم ما لبثت أن تزايدت من كانون الأول وحتى شهر شباط لعام 2018 وعادت للتناقص حتى شهر آذار لعام 2018 ثم عادت واستقرت إلى شهر نيسان 2018، وهذا يشير إلى انخفاض مجمل الكتلة الحية النباتية بداية من شهر كانون الأول لعام 2017 وحتى شهر آذار لعام 2018 وهو ما يتوافق مع مؤشر NPP خلال تللك الأشهر نتيجة لانخفاض معدلات التمثيل الضوئي وتكوين الكربون العضوي وبالتالي تناقص الكتلة الحية النباتية، وهو أيضاً ما يتوافق مع ازدياد النسبة المئوية لمساحة صف الإنجراف المتوسط (10 – 50 طن/هكتار/سنة) خلال شهري كانون الثاني وشباط لعام 2018، وازدياد النسبة المئوية لمساحة صفي الإنجراف العالي والعالي جداً خلال شهر كانون الثاني لعام 2018 على حساب تناقص النسبة المئوية لمساحة صف الإنجراف المنخفض (0 – 10 طن/هكتار/سنة)، وهذا ما يشير إلى الدور المعنوي الفاعل للتغطية النباتية في الحد من عمليات الإنجراف التي تتعرض لها التربة.



المخطط البياني 29. علاقة تغير شدة الإنجراف المائي مع تغير قيم الغطاء النباتي الشهرية

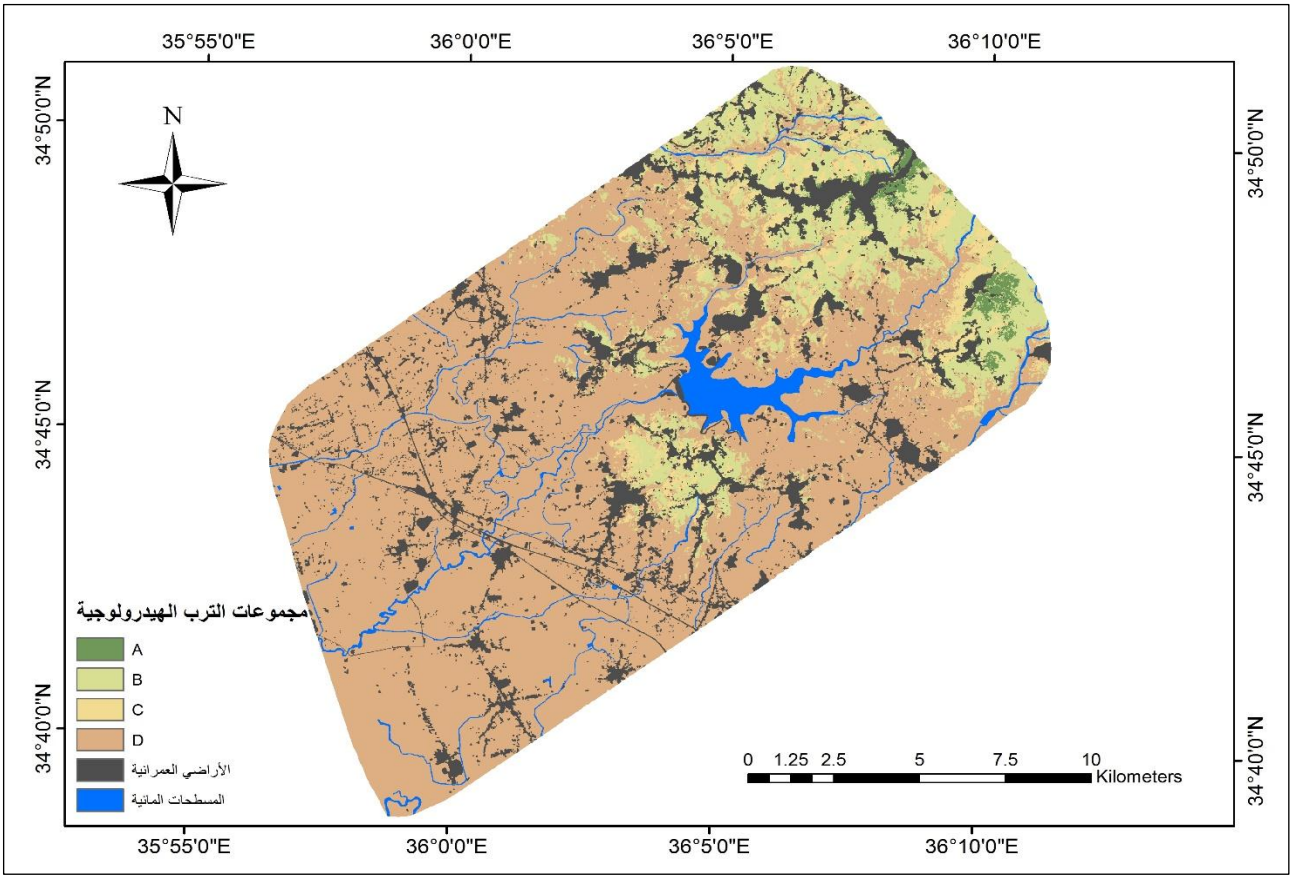
19- تقدير عمق الجريان السطحي باستخدام النمذجة الرياضية والبيانات الاستشعارية والحقلية:

19-1- حسب نتائج التحليل الميكانيكي لعينات التربة، وتبعاً لتصنيف مثلث القوام الأمريكي، تتواجد في منطقة الدراسة عدة أنواع من الترب (الترب الطينية، الطينية اللومية، اللومية، الرملية الطينية اللومية، الرملية اللومية)، حيث تنتشر الترب الطينية في الجزء الغربي من منطقة الدراسة والتي تشكل جزء من سهل عكار وهي ترب سوداء عميقة و كتيمة، بينما تنتشر الترب اللومية والرملية الطينية اللومية والرملية اللومية في الجزء الاوسط والشرقي من منطقة الدراسة وعلى سفوح المناطق المرتفعة والمنحدرات، في حين تنتشر الترب الطينية اللومية في الجزء الغربي من المنطقة و حول مجرى نهر الأبرش من الجهتين الغربية والشرقية للسد وفي المناطق المنخفضة بصورة عامة. يبين الشكل (26) التوزع المكاني لصفوف قوام التربة في منطقة الدراسة.



الشكل 26. توزع صفوف قوام التربة

19-2- كما تم بناءً على توزع صفوف قوام التربة تحديد مجموعات الترب الهيدرولوجية في منطقة الدراسة، حيث تضمنت المنطقة على المجموعات الهيدرولوجية التالية (A, B, C, D)، ويبين الشكل (27) التوزع المكاني لمجموعات الترب الهيدرولوجية الأربعة المنتشرة بالمنطقة، حيث يلاحظ سيادة للمجموعة الهيدرولوجية (D) والتي تمتاز بإمكانية جريان سطحي عالية، ومعدلات رشح منخفضة وتضم مجموعات الترب التالية (طيني لومي، سلتي طيني لومي، رملي طيني، سلتي طيني، طيني).



الشكل 27. التوزع المكاني لمجموعات الترب الهيدرولوجية

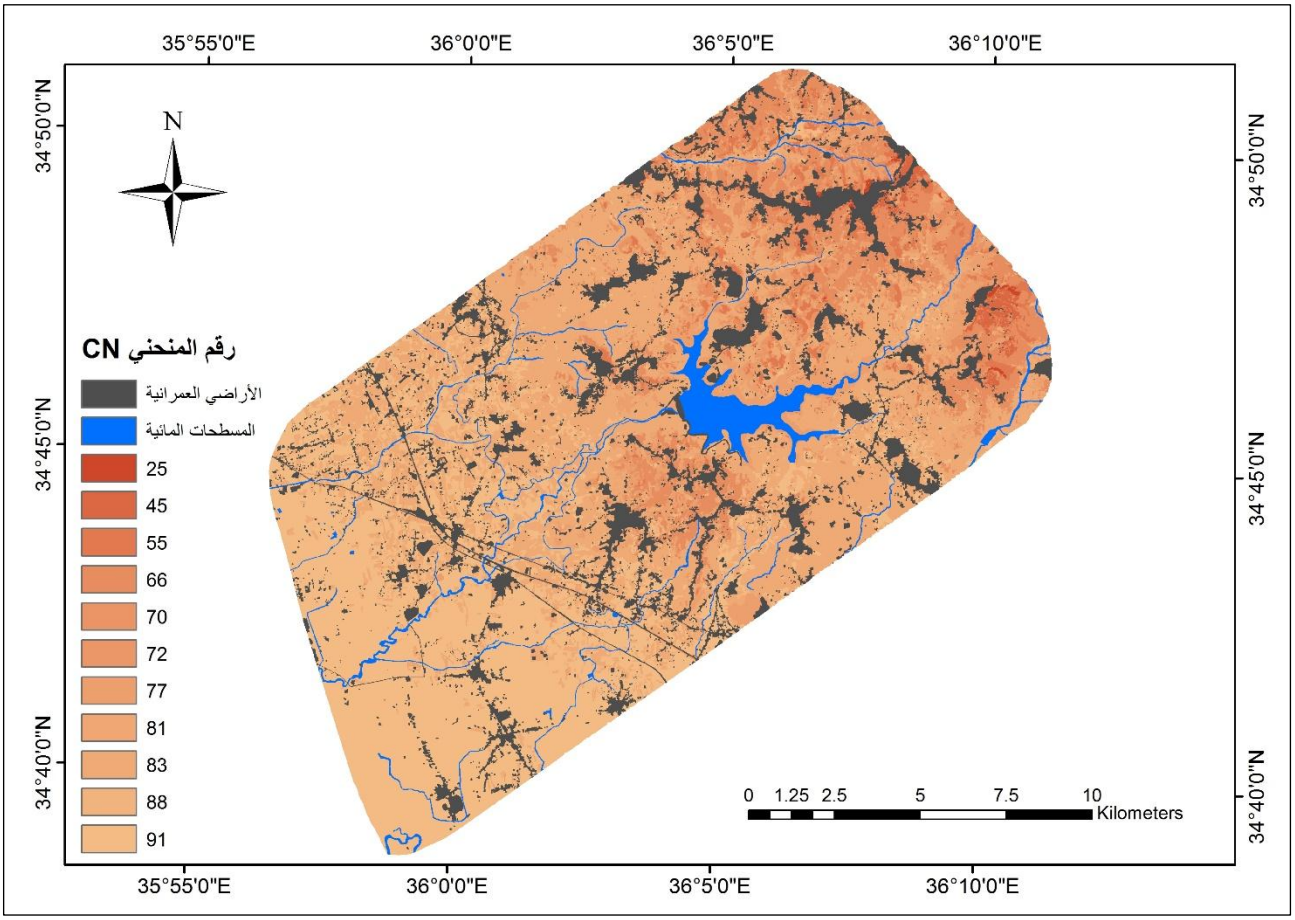
3-19- أن أرقام منحنيات الجريان السطحي Curve Numbers (CN) في منطقة الدراسة، والتي تعتبر أرقام تجريبية تستخدم في التنبؤ بالجريان السطحي المباشر، وتتراوح قيمها بين (0 و 100) تعطى في جداول خاصة بناءً على تقاطع مجموعة من الخصائص المميزة لمنطقة ما وهي (المجموعة الهيدرولوجية لتربة المنطقة، استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي، وحالة الرطوبة السابقة)، ولذلك فقد تم في هذه الدراسة تحديد قيم أرقام المنحنيات (CN) من هذه الجداول تبعاً لخصائص منطقة الدراسة (مجموعات الترب الهيدرولوجية، استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي) وباعتبار أن قيم (CN) تعطى في تلك الجداول على أساس أن حالة الرطوبة السابقة هي الحالة العادية (كمية الهطل المطري الكلية في الخمسة أيام السابقة ليوم حساب عمق الجريان السطحي تتراوح بين 12.7 إلى 27.9 مم). يبين الجدول (41) حسب (SCS، 1972) قيم أرقام منحنيات الجريان السطحي (CN) تبعاً لحالة الرطوبة المسبقة العادية والتي تم تحديدها بناءً على تقاطع معلومات خريطة استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي المنجزة في هذه الدراسة ومجموعات الترب الهيدرولوجية والتي تم تحديدها وفقاً لصفوف قوام التربة المنتشرة في ترب منطقة الدراسة.

جدول 41. أرقام منحنيات CN الجريان السطحي لحالة الرطوبة السابقة العادية

صفوف استعمالات الأراضي	مجموعات الترب الهيدرولوجية			
	A	B	C	D
الأراضي الزراعية	72	81	88	91

البساتين	45	66	77	83
الغابات والحراج	25	55	70	77

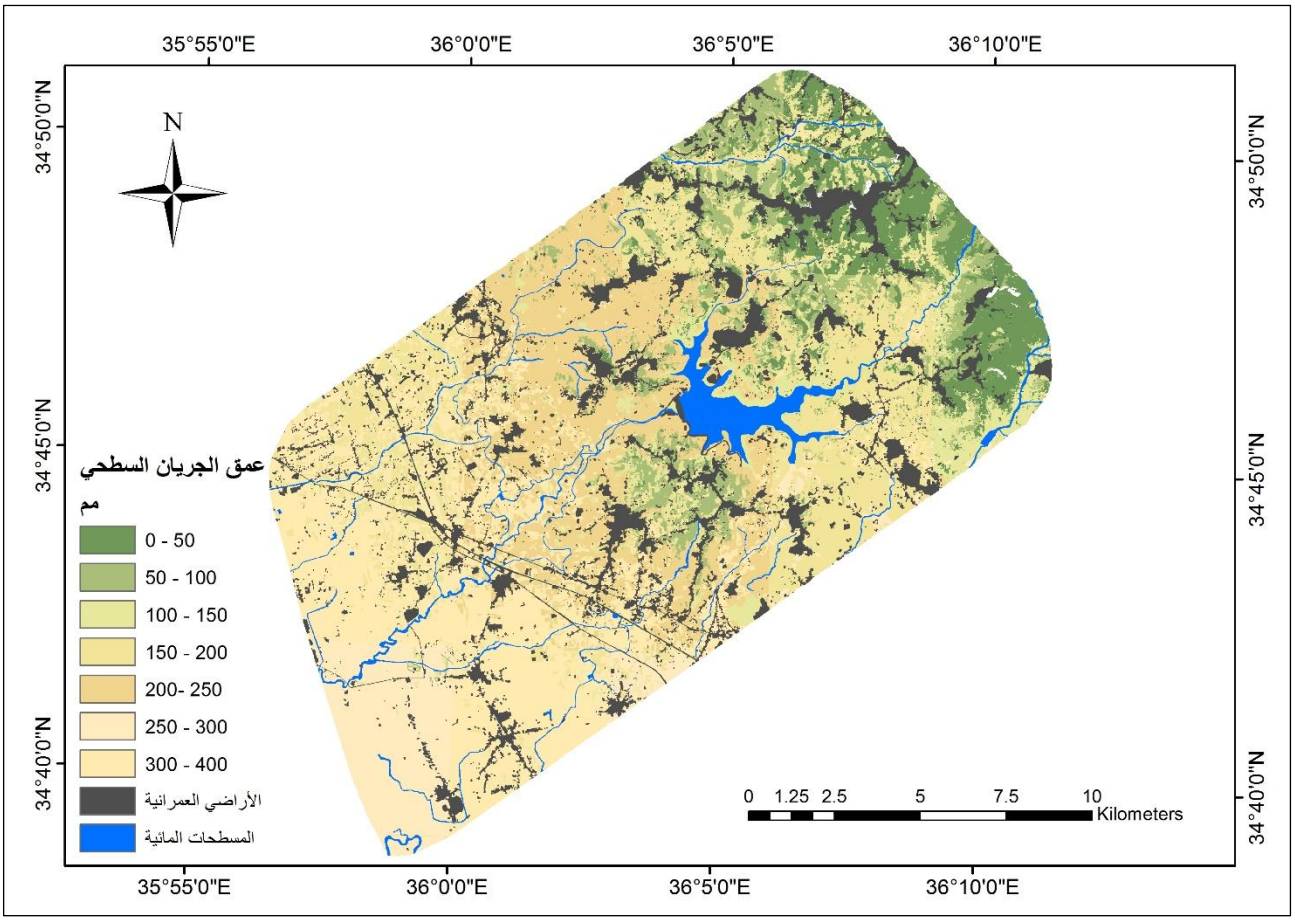
4-19- تم إنجاز خريطة التوزع المكاني لقيم رقم المنحني (CN) في منطقة الدراسة باعتبار أن حالة الرطوبة السابقة هي الرطوبة العادية Antecedent Moisture Condition (AMCII)، من خلال عمل نموذج رياضي يقاطع بين مجموعات الترب الهيدرولوجية المنتشرة في منطقة الدراسة و صفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي السائدة، والشكل (28) يبين التوزع المكاني لأرقام المنحنيات (CN) في منطقة الدراسة، حيث يلاحظ تناقص قيم رقم المنحنى (CN) من الأجزاء الغربية لمنطقة الدراسة باتجاه الأجزاء الشرقية، وبشكل خاص يتضح انتشار القيم المنخفضة على المناطق المرتفعة وسفوح المنحدرات الجبلية حيث تنتشر فيها الترب اللومية والترب الرملية الطينية اللومية والرملية اللومية من جهة وتنتشر زراعة الزيتون و وجود بقع من المحميات الغابية والحراج من جهة أخرى.



الشكل 28. التوزع المكاني لرقم المنحنى CN في منطقة الدراسة

5-19- تم إنجاز خريطة التوزع المكاني لعمق الجريان السطحي السنوي (مم) بالمنطقة المدروسة للفترة الممتدة من بداية تشرين الأول لعام 2017 وحتى أيار لعام 2018 من بيانات الجريان السطحي اليومية والتي تم إنجاز نموذج رياضي لحسابها في هذه الدراسة باستخدام أداة Model Maker في برنامج ERDAS، و تم الأخذ

بعين الاعتبار مجموعة من العوامل مثل (قوام التربة، استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي، حالة الرطوبة السابقة سواء كانت عادية أو جافة أو رطبة، كمية الهطل المطري اليومي بدءً من 2017/10/1 وحتى 2018/5/30). يبين الشكل (29) التوزع المكاني لقيم عمق الجريان السطحي في منطقة الدراسة، حيث يتضح من الشكل (29) أن عمق مياه الجريان السطحي كان عالياً في الجزء الغربي والجنوب الغربي من منطقة الدراسة وهذا ربما يعود إلى قوام التربة الثقيل (طيني، طيني لومي) المنتشر في تلك الأجزاء والتي لا تسمح بنفاذية عالية للمياه داخل عمود التربة، إضافة إلى انتشار زراعة المحاصيل الحقلية في تلك المناطق والتي لا تمنع حدوث الجريانات السطحية للمياه بصورة فعالة نتيجة لوجود مساحات زراعية لا يتم استثمارها في الدورة الزراعية الشتوية القائمة في منطقة الدراسة وانتشار ظاهرة الزراعة ضمن البيوت المحمية المتفرقة، بينما انخفضت كمية مياه الجريان السطحي في الجزء الاوسط والشرقي من منطقة الدراسة وربما يعود ذلك إلى قوام التربة الخفيف نوعاً ما (رملي لومي، ورملي طيني لومي) المنتشر في تلك الأجزاء، وأيضاً لطبيعة الغطاء النباتي السائد في تلك المناطق (غابات وحراج، زيتون) والتي تعمل على التخفيف من حدوث الجريانات السطحية وبخاصة في المناطق ذات الانحدارات الشديدة. تم تقسيم كمية مياه الجريان السطحي الحاصلة في منطقة الدراسة إلى سبعة صفوف كما يوضح الشكل (29) الذي يبين التوزع المكاني لصفوف عمق مياه الجريان السطحي (مم) للفترة الممتدة من بداية تشرين الأول 2017 وحتى نهاية أيار 2018.



الشكل 29. التوزع المكاني لعمق الجريان السطحي السنوي في منطقة الدراسة

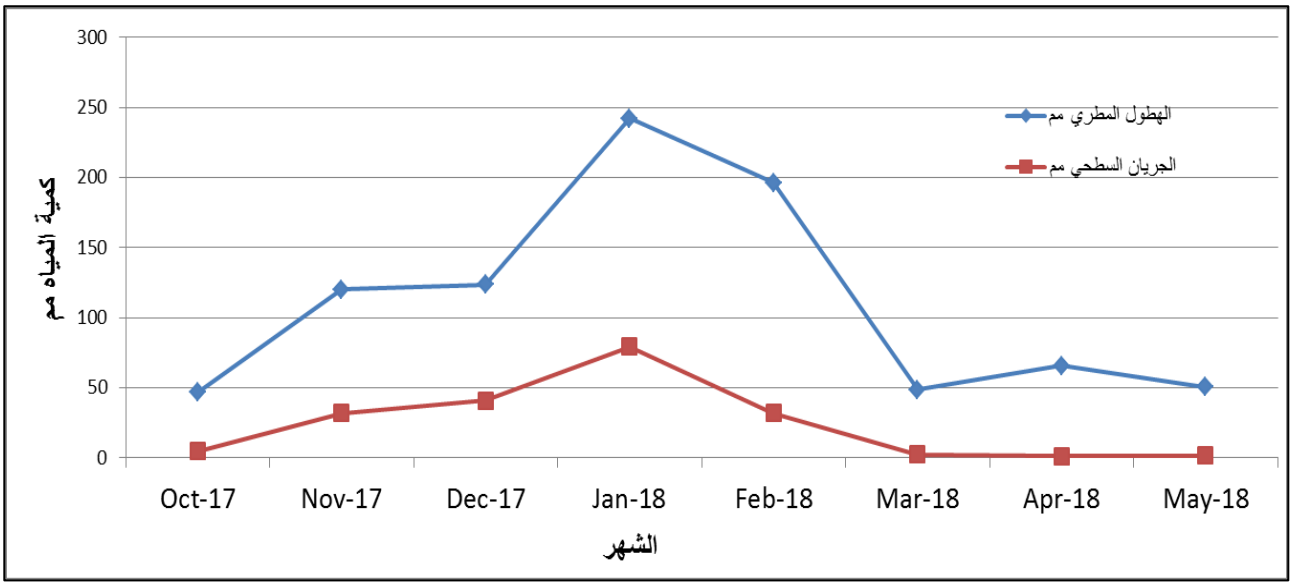
19-6- بلغت كمية مياه الهطل المطري السنوي الكلية بدءً من تشرين الأول 2017 وحتى نهاية أيار 2018 في منطقة الدراسة (893.38 مم)، في حين بلغت كمية مياه الجريان السطحي الكلية لنفس الفترة (191.87 مم)، و يتضح مما سبق أن كمية الجريان السطحي تمثل 21.48 % من كمية الهطل المطري الحاصلة، والجدول (42) التالي يبين كميات الهطل المطري والجريان السطحي الشهرية (مم) الحاصلة.

جدول 42. قيم عمق الجريان السطحي وكمية الهطل المطري (تشرين الأول 2017 وحتى أيار 2018)

الشهر	الهطل المطري (مم)	الجريان السطحي (مم)	الجريان السطحي %
تشرين الأول	46.62	4.33	9.28
تشرين الثاني	120.1	31.75	26.44
كانون الأول	123.59	40.57	32.83
كانون الثاني	242.17	79.10	32.66
شباط	196.37	31.58	16.08
آذار	48.64	2.22	4.56
نيسان	65.62	0.94	1.43
أيار	50.27	1.38	2.74
المجموع	893.38	191.87	21.48

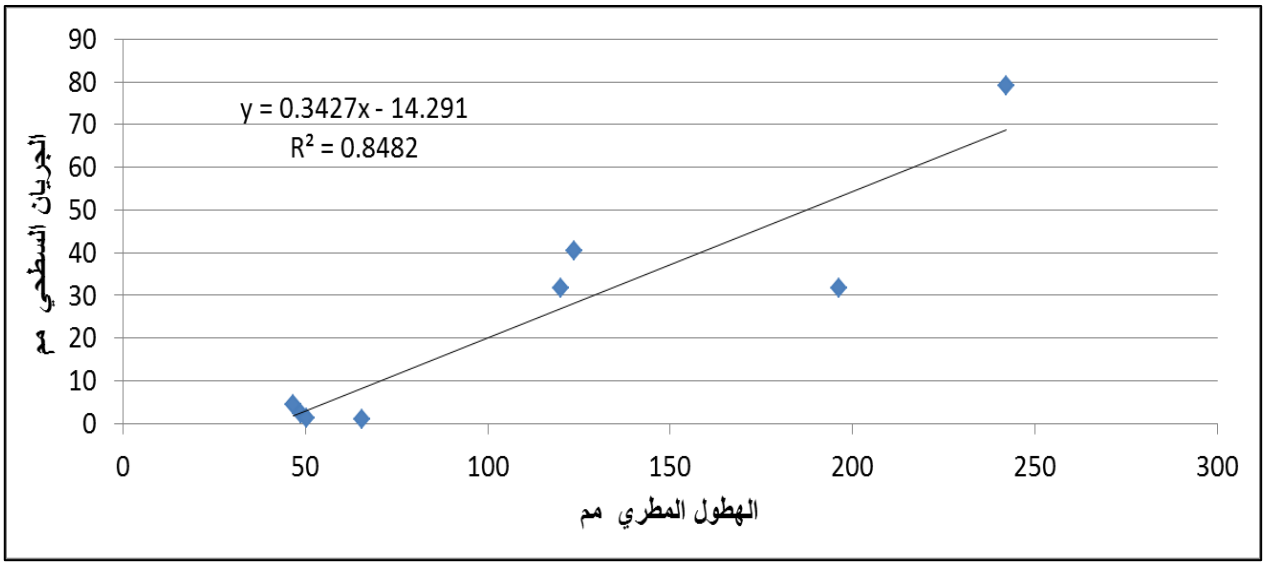
يتبين من الجدول (42) أن أعلى قيم جريان سطحي تم تسجيلها في شهر كانون الثاني وبمعدل بلغ (79.1 مم)، يليه شهر كانون الأول وبمعدل (40.57 مم)، ثم الجريان السطحي الحاصل خلال شهري تشرين الاول وشباط وبمعدل (31.75 و 31.58 مم) على التوالي، وهذا يتوافق نوعاً ما مع المخطط البياني (27) والذي يشير إلى حدوث الإنجراف المائي للترب في منطقة الدراسة بشكل واضح وفعال خلال شهري كانون الثاني وشباط، و أن الجريان السطحي للمياه لا يلبث أن يتحول بعد فترة من الزمن إلى إنجراف مائي للتربة نتيجة لتشبع الطبقة السطحية للتربة بالمياه وتفكك بناؤها وخصوصاً في التربة منخفضة النفاذية الأمر الذي يساعد عند توفر عوامل أخرى كالانحدارات الشديدة إلى حدوث الإنجراف المائي للتربة.

19-7- تمت مقارنة التغيرات الحاصلة في قيم عمق الجريان السطحي (مم) وكمية الهطل المطري الشهرية (مم) بداية من تشرين الأول 2017 وحتى نهاية أيار2018، فتبين أن تغير قيم عمق الجريان السطحي الشهرية تتبع نفس منحى تغير قيم كمية الهطل المطري الشهرية كما يبينه المخطط البياني (30) وهذا ما يشير إلى وجود علاقة ارتباط قوية بين عمق الجريان السطحي وكمية الهطل المطري الشهرية في منطقة الدراسة، وتُعد هذه المعلومة الهيدرولوجية هامة لناحية إمكانية إجراء المراقبة المستمرة لمعدلات الجريان المائي السطحي الحاصل في منطقة الدراسة وتتبع مسارات حدوث الجريانات السطحية من خلال مراقبة وتتبع بيانات الهطل المطري اليومية والشهرية وأماكن توزعها.



المخطط البياني 30. علاقة تغير عمق الجريان السطحي مع تغير كمية الهطل المطري الشهري

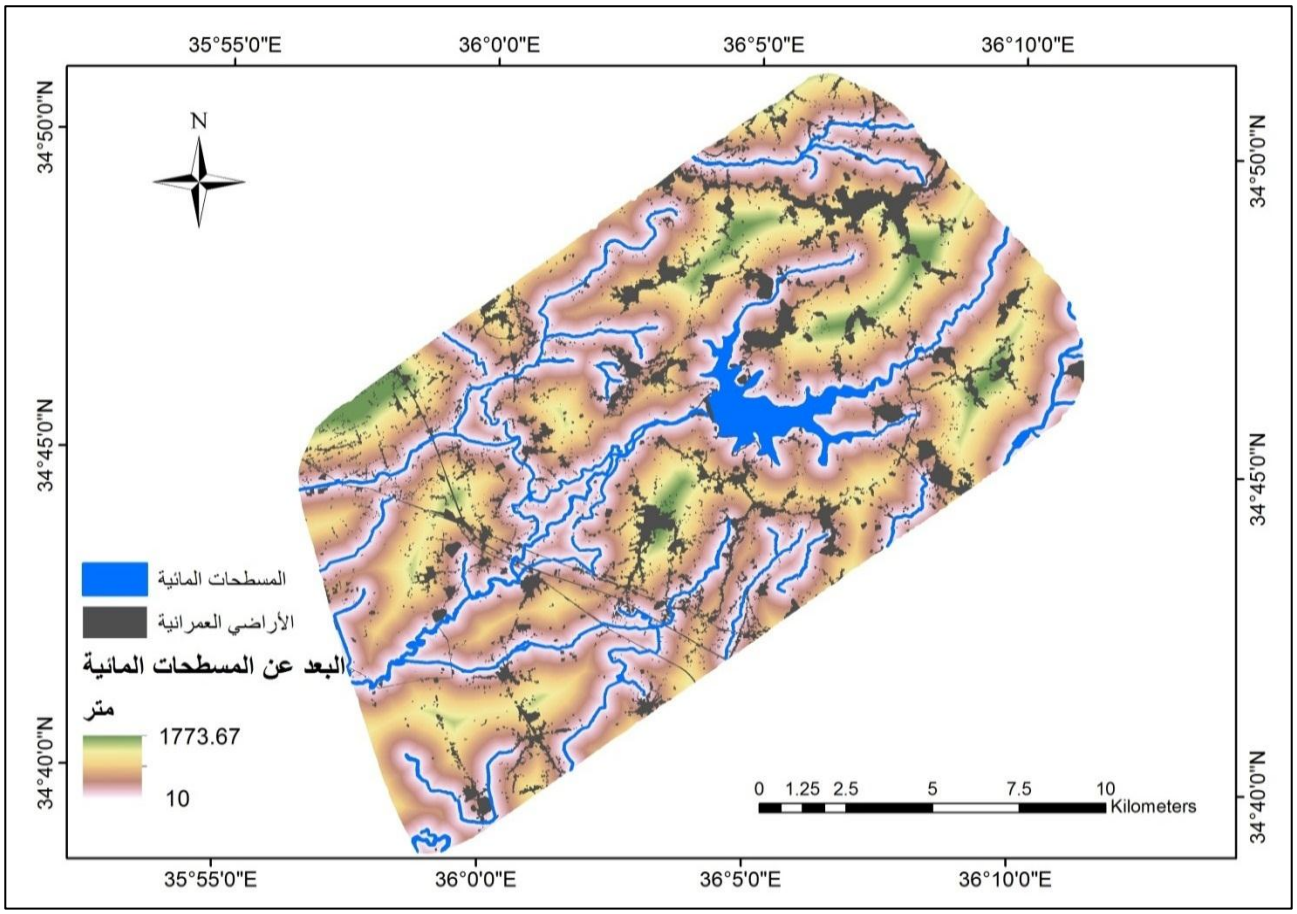
8-19- يبين المخطط البياني (31) علاقة الارتباط الخطية الموجبة بين قيم عمق الجريان السطحي وكمية الهطل المطري الشهرية والتي بلغت (R=0.92).



المخطط البياني 31. معامل الارتباط بين عمق الجريان السطحي وكمية الهطل المطري الشهري

20- تحديد وإظهار المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور في منطقة الدراسة $CPSA_S$:

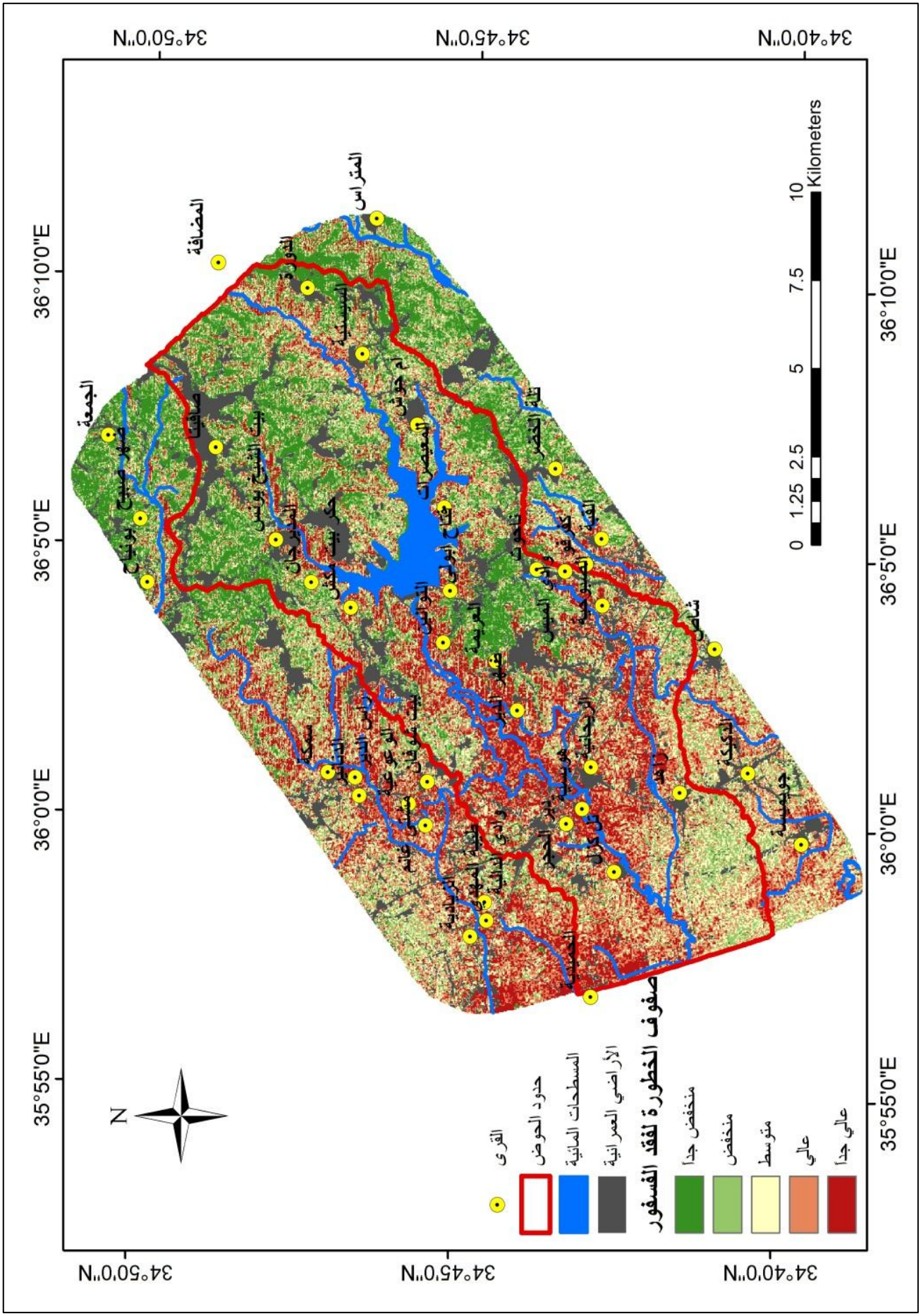
20-1- تُعرف المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور أو ما يسمى مساحات مصادر الفسفور الحرجة Critical Phosphorus Source Areas ($CPSA_S$) بأنها المناطق التي يترافق فيها وجود عوامل النقل للفسفور باتجاه المسطحات المائية Transport Factors مع عوامل المصدر للفسفور Source Factors (Sharpley و Jarvie، 2012; Xie و Zho، 2016)، حيث يتواجد عدد من العوامل المؤثرة في فقد الفسفور وانتقاله باتجاه المسطحات المائية المحيطة ومنها على سبيل المثال (الهطل المطري، الطبوغرافية، إنجراف التربة، الجريان السطحي، البعد أو القرب عن المسطحات المائية Euclidean distance، نوع استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي الموجود في المنطقة، وتركيز الفسفور في التربة). يلعب عامل البعد عن المسطحات المائية دوراً مهماً في منطقة الدراسة كعامل نقل للملوثات، وبخاصة المبيدات والأسمدة الزراعية ونواتج الإنجراف المائي للتربة، كما تشكل المسيلات المائية أماكن للصرف الزراعي والصحي والصناعي في منطقة حوض الأبرش بشكل خاص في ظل عدم فاعلية محطات معالجة مياه الصرف الصحي وعدم وجود أماكن معالجة لهذه المخلفات من ماء جفت وأسمدة ومبيدات مزاحة من المناطق الزراعية المحيطة بسد الأبرش أو المنتشرة على طول المجرى المائي مما يساهم في تلوث المصادر المائية من جهة وفقدان عناصر التربة الغذائية السطحية وبخاصة الفسفور وانتقاله إلى البحر من جهة أخرى. يبين الشكل (30) التوزع المكاني للبعد عن المسطحات المائية Euclidean Distance والتي تمثل المسافة الكائنة بين كل خلية (بكسل) من خلايا Raster منطقة الدراسة و أقرب مصدر مائي واقع في نفس المنطقة (Raster) سواء كان نهر أو قناة ري أو سد، والذي تم حسابه في برنامج ArcGIS بهدف تحديد المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد عنصر الفسفور عند مقاطعته مع بقية العوامل الأخرى الداخلة في تحديد و إظهار المساحات الزراعية الحرجة لفقد الفسفور، و تراوحت المسافات بين المسطحات المائية وكل خلية من خلايا منطقة الدراسة بين (10 و 1773.67 متر)، بحيث تكون الأراضي الزراعية القريبة من المسطحات المائية أكثر تعرضاً لفقد الفسفور باتجاه المياه أذا توافرت عوامل النقل والإزاحة من إنجراف تربة وجريان مياه سطحي في المنطقة ولو بمستويات منخفضة، في حين تتطلب المساحات الزراعية البعيدة عن المصادر المائية نسبياً والحاوية على تراكيز مختلفة من الفسفور وبأشكال متنوعة وجود عوامل لنقل الفسفور (إنجراف تربة، وجريان مياه سطحي) بشدات ومستويات عالية، إضافة لتضاريس (انحدار) حادة حتى يتم إيصال الترب المنجرفة وما تحمله من فسفور جزيئي، أو ايصال جريانات المياه السطحية وما تحمله من فسفور ذائب وغير ذائب إلى المسطح المائي، وإذا لم تتوافر عوامل نقل وإزاحة الفسفور بشدات ومستويات عالية قادرة على إيصال الأتربة وما تحتويه من فسفور وايصال جريانات المياه الفرعية والثانوية إلى المصارف الرئيسية وقنوات الري أو الأنهار فإنه لا يحدث فقد للفسفور وإنما إزاحته من مكان إلى آخر وتراكمه في مساحات زراعية جديدة.



الشكل 30. البعد عن المسطحات المائية

2-20- يلاحظ من الشكل (31) انتشار المساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور على طول مجرى نهر الأبرش من الجهة الشرقية للسد(على طول المحور المار من قرية المضافة باتجاه قرية السيسنية وصولاً إلى سد الأبرش)، و تسود على طول مجرى النهر في هذه المنطقة زراعة مساحات واسعة من المحاصيل الحقلية وزراعة البساتين المتنوعة (الحمضيات، والرمان...الخ) والتي تتواجد في تربها كميات عالية نسبياً من الفسفور الكلي بمختلف أشكاله نتيجة لعمليات التسميد العضوي والمعدني في مراحل سابقة، إضافة لقرب هذه المساحات الزراعية من المصدر المائي (نهر الأبرش) وفروعه وقنواته، وهذا يساعد بشكل كبير جداً في ظهور هذه المساحات ودخولها في صف الأراضي العالية الخطورة والعالية جداً لفقد الفسفور، كما تسود المساحات الزراعية العالية الخطورة والعالية جداً لفقد الفسفور في الجزء الشرقي من سد الأبرش، وبالتوازي تقريباً مع المحور السابق (على طول المحور المار من قرية بيت الشيخ يونس مروراً بقرية المديرجات وصولاً للسد)، وهذين المحورين الواقعين شرق سد الأبرش من المناطق التي تتعرض لعمليات إنجراف للتربة بشدات عالية وبصورة مستمرة نتيجة لتوافر عوامل الإنجراف المائي والتي أشارت إليها دراسات عديدة الشكل (25)، وهذا يتوافق ونتائج (القطيني، 2015) والتي أشارت في دراستها إلى ارتفاع قيم العكارة في نتائج تحاليل العينات المائية في سد الأبرش في خليج السيسنية خلال شهر شباط وذلك بعد موسم الهطل المطري وازدياد التعرية المائية في منطقة الحوض الأعلى لنهر الأبرش، كما أشارت الدراسة إلى وجود نوع من الإنجراف المائي يُعرف

بالإنجراف الأخدودي وهي اخاديد عميقة واسعة كتلك المنتشرة على منحدرات منطقة صافيتا ومنها أخدود المسقى في قرية التوانين الذي يصب في مجرى النهر بعد سد الأبرش، وأيضاً يتوافق والنتائج التي توصل إليها كل من (ياغي وزملاؤه، 2013) في دراسة هدفت إلى تحديد الواقع البيئي للموارد المائية السطحية في حوض نهر الأبرش ضمن مشروع المراقبة والإدارة البيئية المتكاملة لنهر الأبرش باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، و بينوا من خلال خارطة قابلية التلوث الناتجة عن استخدام الأسمدة والمبيدات في الحوض الصباب لنهر الأبرش إلى أن قابلية التلوث بالأسمدة الزراعية والمبيدات في المحورين المذكورين سابقاً متوسطة إلى عالية وعالية جداً. تتواجد أيضاً المساحات الزراعية العالية الخطورة والعالية جداً لفقد الفسفور في الجهة الغربية من سد الأبرش (على طول المحور المار من قرية التوانين – ضهر الدير – هويسية باتجاه قرية تل كزل ومنه إلى البحر)، حيث أن نهر الأبرش الممتد على طول هذا المحور من القرى والواقع ضمن السهل الساحلي والذي تنتشر فيه زراعة مساحات واسعة من المحاصيل الحقلية المتنوعة الشتوية والصيفية والتي تتطلب كميات عالية من الأسمدة ومنها الأسمدة الفسفورية (ياغي وزملاؤه، 2013; القطيني، 2015) وما تبين من خلال نتائج التحاليل الكيميائية للفسفور الكلي في هذه المنطقة الشكل (10)، يتعرض لفيضان مياهه في الشتاء بفعل تشكل الجريانات السطحية في الأراضي الزراعية على أطراف السرير النهري نتيجة لتوافر عوامل تشكل هذه الجريانات في هذه المنطقة السهلية والتي تم الإشارة إليها سابقاً في هذه الدراسة، كل ذلك يجعل من هذه المساحات مناطق حرجة لفقد الفسفور باتجاه المصدر المائي ومنه إلى خارج حدود المساحات الزراعية المنتشرة على أطراف السرير النهري. يلاحظ من الشكل (31) انتشار المساحات الزراعية العالية الخطورة والعالية جداً لفقد الفسفور في الجزء الأوسط والشمالي من منطقة الدراسة خارج منطقة الحوض المائي (على طول المحور المار من قرية سمكة – الدنانير – رأس الدير - الوعوعية - باتجاه قرية مشتى غانم) وهي مناطق تتوزع فيها زراعات مختلطة ومنها الحمضيات والمحاصيل الحقلية، والقريبة من شبكة من الأنهار والقنوات، والتي تتعرض لإنجراف تربة بمستويات متوسطة مما يجعلها مساحات حرجة لفقد الفسفور، كما تعد منطقة الحميدية غربي منطقة الدراسة والقريبة من البحر من المساحات الحرجة لفقد الفسفور باتجاه شبكة القنوات المائية المار من خلالها، وهي منطقة تكثيف زراعي للمحاصيل الحقلية بشكل واسع وهذا أيضاً يتفق مع ما أشارت إليه (القطيني، 2015) التي استنتجت وجود مستوى تلوث بيئي مرتفع جداً في الحوض الأدنى من نهر الأبرش في سهل عكار وبخاصة ناحيتي الصفصافة والحميدية، كما أوضحت الدراسة أيضاً أن تلوث مياه نهر الأبرش بمركبات الآزوت والفسفور والتي تسربت من الأراضي الزراعية وارتفاع تركيزها في المجرى الأدنى للنهر أدى إلى نمو النباتات المائية بشكل كبير فيه مما أعاق جريان المياه وهدد الحياة المائية فيه. يبين الشكل (31) التوزع المكاني للمساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور (الحرجة) في منطقة الدراسة.



الشكل 31. التوزع المكاني للمساحات الزراعية الأكثر عرضة لفقد الفسفور

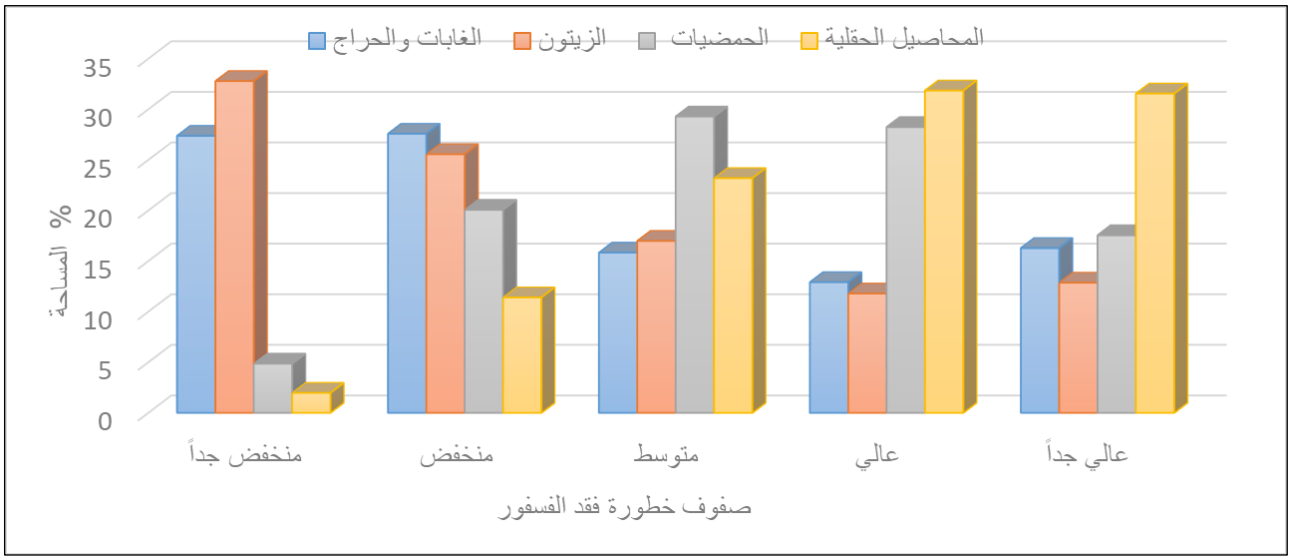
يبين الجدول (43) النسبة المئوية لمساحة كل صف من صفوف خطورة فقد الفسفور (منخفض جداً، منخفض، متوسط، عالي، عالي جداً) من المساحة الكلية لكل صف من صفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي المتواجد في منطقة الدراسة (الغابات والحراج، الزيتون، الحمضيات، والمحاصيل الحقلية).

جدول 43. النسبة المئوية لمساحة كل صف من صفوف خطورة فقد الفسفور من مساحة كل صف من صفوف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي

استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي	صفوف خطورة فقد الفسفور %				
نوع الغطاء النباتي	منخفض جداً	منخفض	متوسط	عالي	عالي جداً
الغابات والحراج	27.38	27.58	15.83	12.92	16.28
الزيتون	32.79	25.56	16.99	11.79	12.87
الحمضيات	4.86	20.06	29.28	28.24	17.55
المحاصيل الحقلية	1.98	11.41	23.20	31.86	31.56

يلاحظ من الجدول (43) أن صفي الخطورة المنخفض والمنخفض جداً لفقد الفسفور في منطقة الدراسة شكلا حوالي 54.96 % و 58.35 % من المساحة الكلية لصفي الغابات والحراج و الزيتون على التوالي، في حين شكل صف الخطورة المتوسط حوالي 15.83% و 16.99% من المساحة الكلية لكل من الغابات والحراج وصف الزيتون على التوالي، كما شكل صف الخطورة العالي والعالي جداً لفقد الفسفور حوالي 29.2% و 24.66% من صف الغابات والحراج وصف الزيتون على التوالي، وهذا يشير إلى أن أكثر من نصف مساحة كل من صفي الغابات والحراج والزيتون لا تعاني من خطورة عالية لفقد الفسفور وهذا ربما يعود لتضافر مجموعة مختلفة من العوامل مع بعضها البعض (تركيز الفسفور الكلي، الجريان السطحي، إنجراف التربة، مساحة صفوف الغطاء النباتي المختلفة..... الخ) أدت لهذه النتيجة، كما يلاحظ انتشار تراكيز الفسفور الكلي المنخفضة نسبياً في ترب هذين الصفين مقارنة بترب صفي كل من الحمضيات والمحاصيل الحقلية الشكل (10)، والذي يعود بدوره إلى انخفاض كميات التسميد المعدني والعضوي في مراحل سابقة، إضافة إلى عمليات النقل و الإزاحة السابقة والتي تحدث للفسفور بدرجات مختلفة نتيجة لعمليات الإنجراف والجريان المائي السطحي التي تحدث في مناطق انتشار صفي الغابات والحراج وصف الزيتون بشكل عام، وهذا ما يسهم بجزء كبير في منع تشكل مثل تلك المساحات الزراعية العرضة لفقد الفسفور باتجاه المصادر المائي القريبة، و يشغل صفي الغابات والحراج وصف الزيتون جزءاً كبيراً من المساحات الوعرة والمنحدرة في منطقة الدراسة ذات الترب قليلة العمق والمنشأ الكلسي والمعرضة لحدوث إنجراف للتربة السطحية باستمرار. يلاحظ من خلال الجدول (43) أن صفي الخطورة المنخفض والمنخفض جداً لفقد الفسفور في ترب منطقة الدراسة شكلا حوالي 24.9 % و 13.39 % من المساحة الكلية لكل من صف الحمضيات وصف المحاصيل الحقلية على التوالي، في حين شكل صف الخطورة المتوسط حوالي 29.28 % و 23.20 % من المساحة الكلية لكل من الحمضيات والمحاصيل الحقلية على التوالي، كما شكل صف الخطورة العالي والعالي جداً لفقد الفسفور حوالي 45.79 %

63.42 % من المساحة الكلية لكلا صفي الحمضيات والمحاصيل الحقلية على التوالي، وهذا يعني أن أكثر من نصف مساحة صف المحاصيل الحقلية وحوالي نصف مساحة صف الحمضيات تعتبر مناطق خطرة لفقد الفسفور باتجاه المسطحات المائية القريبة، وربما يعود ذلك لارتفاع تراكيز الفسفور الكلي في ترب هذه المناطق من ناحية نتيجة لعمليات التسميد المعدني والعضوي المستمرة في هذه المساحات منذ عدة سنوات بغية تحقيق انتاج زراعي عالي أدى لتراكم الفسفور بكميات عالية نسبياً، وأيضاً تأثير عوامل أخرى بنسب مختلفة في تشكيل مثل هذه المساحات عالية الخطورة لناحية فقد الفسفور من ناحية أخرى، ومنها قرب هذه المساحات من المصادر المائية المختلفة (نهر، قناة،....الخ)، إضافة لتشكل السيول والجريانات السطحية العالية في تللك المناطق والتي تعمل على إذابة وإزاحة الفسفور باتجاه المصدر المائي، وذلك نتيجة كميات الهطل المطري العالية و التي تحدث بزخات مطرية شديدة تعمل على تشكل مثل تلك الفيضانات والسيول والتي تقوم بحمل كميات كبيرة من الفسفور الذائب أو الجزيئي إلى المصادر المائية المختلفة وبخاصة في الجهة الغربية من منطقة الدراسة والتي تضم جزء كبير من سهل عكار ذو التربة الطينية العميقة الكتيمة والتي تساعد على حدوث مثل تلك الجريانات والسيول مفاقمة من ظاهرة فقد الفسفور. يبين المخطط البياني (32) النسبة المئوية لمساحة كل صف من صفوف خطورة فقد الفسفور من المساحة الكلية لكل صف من صفوف الغطاء النباتي المنتشر في منطقة الدراسة، و يلاحظ ارتفاع النسبة المئوية لمساحة كل من صفي الغابات والحراج والزيتون لصفي الخطورة المنخفض والمنخفض جداً لصالح بقية صفوف الخطورة (المتوسطة، العالية، والعالية جداً)، في حين يلاحظ انخفاض النسبة المئوية لمساحة كل من صفي الحمضيات والمحاصيل الحقلية لصفي الخطورة المنخفض والمنخفض جداً لصالح مساحات صفوف الخطورة الأخرى لفقد الفسفور.



المخطط البياني 32. النسبة المئوية لمساحة كل صف من صفوف خطورة فقد الفسفور من المساحة الكلية لكل صف من صفوف الغطاء النباتي

الفصل الرابع

الاستنتاجات والتوصيات:

1- الاستنتاجات:

1-1- انتشار المساحات الزراعية الحرجة لفقد الفسفور على طول مجرى نهر الأبرش من الجهتين الشرقية والغربية لسد الأبرش وصولاً إلى البحر نتيجة لكميات الأسمدة الفسفورية العالية المضافة على المحاصيل الحقلية وبساتين الحمضيات المزروعة.

2-1- شكل صفي الخطورة العالي والعالي جداً لفقد الفسفور حوالي 45.79 % و 63.42 % من المساحة الكلية لكل من صفي الحمضيات والمحاصيل الحقلية على التوالي.

3-1- شكل صفي الخطورة العالي والعالي جداً لفقد الفسفور حوالي 29.2% و 28.78% من المساحة الكلية لكل من صفي الغابات والحراج و الزيتون على التوالي.

4-1- يلاحظ أن حوالي 38.5 % من مساحة منطقة الدراسة لا تعاني من ظاهرة الإنجراف المائي، بينما شكل صف الخطورة المنخفض حوالي 43.34 % من المساحة الكلية وبمعدل فقد تربة أقل من (10 طن/هكتار/سنة)، في حين شكل صف خطورة الإنجراف المتوسط حوالي 1.4 % من المساحة الكلية وبمعدل فقد للتربة تراوح بين (10 – 50 طن/هكتار/سنة).

5-1- يلاحظ توزع الإنجراف بصورة رئيسية في الجزء الشرقي والشمالي الشرقي من منطقة الدراسة نتيجة لتضافر مجموعة من العوامل منها الارتفاع عن سطح البحر، و كميات هطول مطري عالية نسبياً، و الانحدارات الشديدة، بالإضافة لانتشار تربة غير عميقة على طبقة صخرية كلسية تساعد على زيادة شدة الإنجراف الحاصل.

6-1- بينت الدراسة أن عامل الجريان السطحي للمياه وحدوث الفيضانات في فصل الشتاء لا يقل خطورة عن عامل الإنجراف المائي للتربة في شدته وتأثيره على الترب السطحية وإمكانية إزاحة ونقل جزء كبير من الفسفور باتجاه المصدر المائي القريب أو باتجاه البحر.

7-1- شكل جريان المياه السطحية ما نسبته 21.48 % من كمية الهاطل المطري فوق منطقة الدراسة للفترة الممتدة من بداية شهر تشرين الأول لعام 2017 وحتى نهاية شهر أيار لعام 2018.

8-1- أظهرت نتائج النمذجة الرياضية أن معدلات امتصاص الفسفور المتوسطة الشهرية للغطاء النباتي في منطقة الدراسة تراوحت بين (0.01 غرام فسفور/م^2) في شهري كانون الثاني وشباط لعام 2018 و (0.08 غرام فسفور/م^2) في شهري نيسان و أيار لنفس العام، في حين بلغ المتوسط الإجمالي لمعدل امتصاص الفسفور (0.04 غرام فسفور/م^2).

9-1- يلاحظ أن معدلات الامتصاص العالية نسبياً للفسفور تركزت في الجزء الغربي من المنطقة وحول مجرى نهر الأبرش حيث تسود زراعة المحاصيل الحقلية (القمح – الذرة – الحمص - الحمضيات) والتي تستهلك

كميات كبيرة من الفسفور المتاح في التربة بالمقارنة مع بقية صفوف الغطاء النباتي الأخرى، كما يلاحظ انخفاض نسبي في معدلات امتصاص الفسفور في مناطق انتشار زراعة الزيتون في الجزء الأوسط والشرقي من المنطقة نتيجة لزيادة النسبة المئوية من كربونات الكلسيوم الكلية في التربة من جهة، وقلة عمق طبقة التربة من جهة أخرى، مما أدى لقلة إتاحة عنصر الفسفور للامتصاص. وقد يُعزى التفاوت بمعدلات امتصاص الفسفور بين الأنواع النباتية المختلفة المنتشرة في منطقة الدراسة إلى الاختلافات الفيسيولوجية في قدرة النباتات على القيام بعملية التمثيل الضوئي وتكوين الكربون العضوي وبخاصة في أشهر الشتاء والتي تعتبر فترة سكون للعصارة النباتية وبخاصة في الاشجار المثمرة (الزيتون – الحمضيات) واشجار الغابات والحراج.

1-10- بينت الدراسة أهمية الدمج بين عوامل إزاحة الفسفور وفقده باتجاه المصادر المائية القريبة وبين عوامل مصادر الفسفور وذلك لتحديد المساحات الزراعية الحرجة والأكثر عرضة لفقد الفسفور.

1-11- أظهر البحث الدور الهام للبيانات الاستشعارية كعامل مساعد أساسي إلى جانب البيانات الحقلية و المناخية الأخرى في تزويد النماذج الرياضية المختلفة المنجزة في هذه الدراسة بما تتطلبه من مدخلات لتحديد المساحات الزراعية الحرجة و الأكثر عرضة لفقد الفسفور باتجاه المسطحات المائية القريبة.

2- التوصيات:

2-1- الحد من التسميد الفسفوري المعدني الذي يؤدي إلى تراكم كميات كبيرة من الفسفور الكلي في ترب منطقة الدراسة واستخدام المخصبات العضوية الطبيعية، وذلك بإجراء دراسات معمقة لتعديل التوصية السمادية المعمول بها حالياً في وزارة الزراعة والاصلاح الزراعي للأنواع النباتية المنتشرة في المنطقة المدروسة وبخاصة للمحاصيل الحقلية والحمضيات، مما يساهم مع الزمن في خفض تراكيز الفسفور الكلي، وبالتالي التقليل من خطورة تحول هذه المساحات الزراعية إلى مساحات حرجة لفقد الفسفور وتلويث المسطحات المائية القريبة، وأيضاً خسارة هذا العنصر الغذائي دون الاستفادة منه بالشكل الأمثل في الأنتاج الزراعي.

2-2- التركيز على تكثيف الدراسات والأبحاث لإيجاد حلول عملية للاستفادة من كميات الفسفور الكلي العالية المتواجدة في ترب منطقة الدراسة والعمل على إتاحة هذا العنصر للامتصاص من قبل النبات، دون الحاجة لإضافات سمادية أخرى عالية من الفسفور المعدني، وذلك لتحقيق أنتاج زراعي جيد وبأقل تكلفة أنتاج ودون زيادة الخطورة الناتجة عن تراكم الفسفور في الترب الزراعية على الحياة المائية المحيطة.

2-3- يوصى بالاستمرار في إقامة المصاطب الحجرية والمدرجات في الأجزاء الشرقية من منطقة الدراسة للتقليل من ظاهرة إنجراف التربة المائي المتكررة والتي أدت في كثير من المناطق إلى فقد إجزاء كبيرة من التربة، حيث لوحظ انتشار ترب على سفوح المنحدرات لا يتجاوز عمقها 40 – 50 سم.

2-4- يوصى بإجراء الدراسات اللازمة لتحديد المناطق المناسبة لإقامة سدات صغيرة لحصاد المياه في المناطق المعرضة لحدوث جريانات سطحية عالية وفيضانات للاستفادة من هذه الكميات الكبيرة من الهطل المطري في أشهر الصيف ولمنع حدوث إضرار جانبية كبيرة ناتجة عن الجريانات السطحية ومنها إزاحة ونقل العناصر الغذائية في التربة مع ما تحمله من معلقات ورسوبيات باتجاه المسطحات المائية.

5-2- التركيز على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية نظراً لقدرتها على تزويد النماذج الرياضية الهيدرولوجية والبيئية والزراعية بالمدخلات اللازمة لعملها وذلك أثناء تنفيذ الدراسات على مقاييس مكانية وزمانية عالية.

المراجع

1- المراجع العربية

1. **أبو نقطة، فلاح; الشاطر، محمد سعيد. (2011).** كتاب خصوبة التربة والتسميد (الجزء النظري). منشورات جامعة دمشق، كلية الزراعة.
2. **إدريس، يونس.(2011).** نظام تصنيف استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي. منشورات وزراة الزراعة والإصلاح الزراعي والهيئة العامة للاستشعار عن بعد. دمشق- سورية.
3. **إدريس، يونس; قطنا، حسان.(2020).** التحليل المكاني للقطاع الزراعي في الساحل السوري ودراسة العوامل المؤثرة عليه واتجاهات تطوره. مشروع المخطط الأقليمي للأقليم الساحلي. المحور الزراعي. المرحلة الثانية.
4. **الحافظ، منال; حبيب، حسن; و البلخي، أكرم. (2013).** تأثير زمن إضافة الفسفور وعمقه في إتاحته في تربة كلسية. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية – المجلد (29) – العدد 2 – الصفحات 169 - 180.
5. **حميد، دلي .(2016).** التحليل المكاني لتقدير حجم الجريان السطحي باستخدام SCS – CN لحوض وادي المر الجنوبي – شمال العراق. مجلة تكريت للعلوم الصرفة، 21 (5).
6. **الشاطر، محمد سعيد; البلخي، أكرم.(2016).** كتاب الزراعة العضوية (الجزء النظري). منشورات جامعة دمشق. كلية الزراعة.
7. **الشاطر، محمد سعيد; البلخي، أكرم.(2017).** كتاب الأسمدة والتسميد (الجزء النظري). منشورات جامعة دمشق. كلية الزراعة.
8. **العكام، اسحق; علوان، نوال .(2015).** تقدير حجم الجريان السطحي لحوض وادي دويريج بالاعتماد على تقنية التحسس النائي ونظم المعلومات الجغرافية. مجلة البحوث الجغرافية، العدد 21.
9. **قاسم، عبد الرحمن; سرحيل، أحمد.(2011).** دراسة انتقال بعض عناصر الأثر من المياه و التربة إلى النباتات في المنطقة الساحلية السورية باستخدام تقنية التحليل بالتنشيط النيتروني. تقرير نهائي، قسم الجيولوجيا، هيئة الطاقة الذرية.عدد الصفحات 49.
10. **القطيني، رهف.(2015).** "التدهور البيئي في حوض الأبرش". رسالة ماجستير. قسم الجغرافية. كلية الآداب والعلوم الإنسانية. جامعة دمشق. عدد الصفحات 204.
11. **محمد، صفوان. كبيبو، عيسى. الشهابي، عمران. ومحفوض، ايلين. (2016).** تقدير الإنجراف المائي في منطقة الشيخ بدر – سورية باستخدام المعادلة العالمية للإنجراف RUSLE وبرنامج WEPP. المجلة الدولية للمياه والبيئة، المجلد الخامس، العدد الأول، ص ص 102-113.

12.**ياغي، أحمد; عبد ربه، ريم; علي، عيسى; بوحسون، منيف.** المراقبة و الإدارة البيئية المتكاملة لنهر الأبرش، تحديد الواقع البيئي الراهن للموارد المائية السطحية في حوض النهر. (تقرير لوزارة الدولة لشؤون البيئة والهيئة العامة للاستشعار عن بعد، 2013)، دمشق، سورية. 152 صفحة.

2- المراجع الاجنبية

1. **Abd El-Galil, A. and M.S. Ibrahim. (2001).** "Phosphorus status as affected by soil characteristics and land use for soils in Sohag Governorate". Assiut J. Agric. Sci. 32(5):87-104.
2. **Adugna. A., Abegaz, A. (2015).** "Effects of soil depth on the dynamics of selected soil properties among the highlands resources of Northeast Wollega, Ethiopia: are these sign of degradation". Solid Earth Discuss., doi: 10. 5194/sed-7-2011-2015.
3. **Ahmed, I., Verma, V. (2015)**. "Application of curve number method for estimation of runoff potential in GIS environment". Second International Conference on Geological and Civil Engineering IPCBEE vol. 80 pp 16-20, Singapore.
4. **Al-Abed, M., Salhab, J., Ibrahim, H., Dweri, S. (2018).** "Quantitative Estimation of Annual Soil Loss by Integration of Remote Sensing, GIS, and Universal Soil Loss Equation (Case Study: Tartus District, Syria)". Annals of Arid Zone 57(3 and 4): 129-134.
5. **Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998).** "FAO Irrigation and drainage". Paper No. 56.
6. **Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, S., Williams, J. R. (1998). "**Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: Model development". J.Am. Water Resources Assoc. 34(1):73-89.
7. **Arp, P.A., Oja, T. (1997).** "A forest soil vegetation atmosphere model (ForSVA). I. Concepts". Ecol Model. 95.211–24.
8. **Aydın, A., Tecimen, H. B. (2010).** "Temporal Soil Erosion Evaluation: A CORINE Methodology Application at Elmalı Dam Watershed, Istanbul". Environ .Earth Sci., 61: 1457-1465.

9. **Ayoub, M., Salghi, R., Abouatallh, A., Alaoui, S.M. (2014). "**Seasonal Dynamic of Mineral Macronutrients in Three Varieties of Clementine (Citrus Reticulate) Leaves". R. Salghi et al Int. Journal of Engineering Research and Applications. ISSN: 2248-9622, Vol. 4, Issue 7(Version 6), pp.195-200.
10. **Barrow, N.J., Shaw, T.C. (1975). "**The Slow Reactions between Soil and Anions.2. Effect of Time and Temperature on the Decrease in Phosphate Concentration in Soil Solution". Soil Sci. 119:167-177.
11. **Beven, K. J. (1989).** "Changing ideas in hydrology: the case of physically based models" .Hydrol. J. 105:157–172.
12. **Bhunia, S.G., Shit, K.P., Pourghasemi, R.H. (2017).** "Soil organic carbon mapping using remote sensing techniques and multivariate regression model". Geocarto International. https://doi.org/10.1080/10106049.
13. **Bolland, M.D.A., Yeates, J.S., Clarke, M.F. (1996).** Effect of fertilizer type, sampling depth, and years on Colwell soil test phosphorus for phosphorus leaching soils. Fertil. Res. 44,177–188.
14. **Bouhafa, K., Moughli, L., Bouabid, R., Douaik, A., Taarabt, Y. (2018).** "Dynamics of Macronutrients in Olive Leaves". Journal of Plant Nutrition. DOI: 10.1080/01904167.2018.1431664.
15. **Bouraoui, F., Dillaha, T. A. (1996). ANSWERS-2000: "**Runoff and sediment transport model". J. Environ. Engng Div. ASCE 126(6), 493-502.
16. **Burrough, P., McDonnell, R. (1998).** "Principles of Geographic Information Systems". Oxford University Press, New York, NY – 333 p.
17. **Butler, D.M., Franklin, D.H., Ranells, N.N., Poore, M.H., Green, J.T. (2006).** "Ground cover impacts on sediment and phosphorus export from manured riparian pasture". J. Environ. Qual. 35 (6), 2178–2185.
18. **Campbell, J.M., Jordan, P., Arnscheidt, J. (2015).** Using high-resolution phosphorus data to investigate mitigation measures in headwater river catchments. Hydrol. Earth Syst .Sci. 19 (1), 453 –464.

19. **Carter, J. (1992).** "The Effect of Data Precision on the Calculation of Slope and Aspect Using Gridded DEMs". Cartographica, – Vol. 29, – №. 1 – pp. 22–34.
20. **Chang, N.B. (2010).** "Hydrological connections between low-impact development, watershed best management practices, and sustainable development". J. Hydrol. Eng. 15 (6), 384–385.
21. **Chang, N.B., Xuan, Z., Yang, Y.J. (2013).** "Exploring spatiotemporal patterns of phosphorus concentrations in a coastal bay with MODIS images and machine learning models". Remote Sens. Environ. 134, 100–110.
22. **Chang. K., Tsai. B. (1991).** "The effect of DEM resolution on slope and aspect mapping".Cartography and GIS, –№18 (1) – pp. 69–77.
23. **Chen, L.J., Liu, G.H., Li, H.G. (2002).** "Estimating Net Primary Productivity of Terrestrial Vegetation in China Using Remote Sensing". J. Remote Sens. 6: 129–135.
24. **Chen, T., Niu, R.Q., Li, P. X., Zhang, L. P., Du, B. (2011).** "Regional Soil Erosion Risk Mapping Using RUSLE, GIS, and Remote Sensing: A Case Study in Miyun Watershed, North China". Environ. Earth Sci., 63: 533–541.
25. **Cheng, L., Bucciarelli, B., Shen, J., Allan, D., Vance, C.P. (2011).** White lupin cluster root acclimation to phosphorus deficiency and root hair development involve unique glycerophosphodiester phosphodiesterases. Plant Physiol. 156 (3), 1025–1032.
26. **Cheng, X.F., Zhen, S.X., Yu, D.S., Pan, X.Z., Wang, H.J., Sun, W.X. (2004).** "Using GIS spatial distribution to predict soil organic carbon in Subtropical China". Pedosphere 14 (4), 425–431.
27. **Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W. (1988).** "Applied Hydrology". McGraw-Hill: New York, USA.
28. **D' Urso, G., Santini, A. (1996).** "A Remote Sensing and Modeling Integrated Approach for The Management of Irrigation Distribution Systems", in Proceedings of the International Conference Evapotranspiration and Irrigation

Scheduling, edited by C.R. Camp, E .J .Sadler and R.E .Yoder, pp. 435-441, San Antonio, Texas.

29. **Deering, D., Rouse, J. (1975). "**Measuring forage production of grazing units from Landsat MSS data". Proceedings, 10th International Symposium on Remote Sensing of Environment 2:1169-1178.
30. **Dinesh, K., Sushil, L., Binita, T. (2016).** "Assessment of Relationship between Soil pH and Macronutrients, Western Nepal". JCBPS; Section D; Vol. 6, No.2; 303-311.
31. **Ding, Y.K., Yang, J., Song, B.Y., Zhang, L. (2012). "**Effect of different vegetation types on soil organic carbon in Mu Us desert". Acta Partaculture Sinica 21 (2), 18–25.
32. **Djodjic, F., Villa, A. (2015).** "Distributed, high-resolution modelling of critical source areas for erosion and phosphorus losses". Ambio 44 (2), 241 – 251**.**
33. **Dobos, E., Daroussin, J., Montanarella, L. A. (2007).** "Quantitative procedure for building physiographic units forthe European SOTER database. In 'Digital Terrain Modelling". Development and Applications in a Policy Support Environment, European Commission, Springer. Pp.227–259.
34. **Dong, G., Yang, S., GAO, Y., Bai, J., Wang, X., Zheng, D. (2014).** "Spatial Evaluation of Phosphorus Retention in Riparian Zones Using Remote Sensing Data". Environ Earth Sci 72: 1643-1657.
35. **Dongale, J. H. (1993).** "Depth wise distribution of different forms of phosphorus in lateritic soils of coastal region". J. Indian Soc. Soil Sci, 41(1):62-66.
36. **Duan, Y., Xu, M., He, X., Li, S., Sun, X. (2011).** "Long-term pig manure application reduces the requirement of chemical phosphorus and potassium in two rice-wheat sites in subtropical China". Soil Use Manag. 27 (4), 427–436.
37. **Efthimiou, N., Lykoudi, E., Karavitis, C. (2014).** "Soil erosion assessment using the RUSLE model and GIS". European Water 47:15-30.

38. **Fang, J., Piao, S., Field, C.B., Pan, Y., Guo, Q., Zhou, L., Peng, C., Tao, S. (2003).** "Increasing net primary production in China from 1982 to 1999". Front. Ecol. Environ. 1. 293–297.
39. **Field, C., Mooney, H.A. (1986**). "The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants": in: Thomas JG (EDT) on the economy of plant form and function. Cambridge University Press Pp 25-55.
40. **Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T., Falkowski, P. (1998).** "Primary production of the biosphere. Integrating terrestrial and oceanic components". Science .281: 237–240.
41. **Field, C.B., Randerson, J.T., Malmström, C.M. (1995).** "Global net primary production: Combining ecology and remote sensing". Remote Sens. Environ. 51. 74–88.
42. **Flügge, U.I., Hausler, R.E., Ludewig, F., Fischer, K. (2003). "**Functional genomics of phosphate antiport systems of plastids Physiologia Plantarum". 118, pp. 475-482.
43. **Freund, R. J., Littell, R. C. (2000)**. "SAS system for regression". SAS Institute, Cary.
44. **Fu, B. J., Zhao, W., Chen, L. D., Zhang, Q. J., Lü, Y. H., Gulinck, H., and Poesen, J.(2005).** "Assessment of Soil Erosion at Large Watershed Scale Using RUSLE and GIS: A Case study in the Loess Plateau of China". Land Degrade. Dev., 16(1): 73-85.
45. **Fu, B.H., Burgher, I. (2015). "**Riparian vegetation NDVI dynamics and its relationship with climate, surface water and groundwater". J. Arid Environ. 113. 59–68.
46. **Gabriel, I.R., Parodi, N. (2002).** "AHVRR Hydrological Analysis System Algorithms and Theory".Version 1.3.
47. **Gajbhiye, S., Mishra, S.K. (2012).** "Application of NRSC-CN curve number model in runoff estimation using RS & GIS". IEEE-International Conference on Advanced in Engineering, Science and Management (ICAESM-2012).

48. **Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H., Arnold, J. G. (2007).** "The Soil and Water Assessment Tool: Historical development, applications and future research directions". Trans. ASABE. 50(4):1211-1250.
49. **Ghebremichael, L.T., Veith, T.L., Hamlett, J.M. (2013).** "Integrated watershed-and farm-scale modeling framework for targeting critical source areas while maintaining farm economic viability". J. Environ. Manag. 114, 381–394.
50. **Gitas, I. Z., Douros, K., Minakou, C., and Silleos, G. N. (2009).** "Multi-Temporal Soil Erosion Risk Assessment in N. Chalkidiki Using a Modified USLE Raster Model", Earsel e Proceedings, 8, 40–52.
51. **Green, P.J., and Sibson, R. (1978).** "Computing dirichlet tesselation in the plane". The Computer Journal 21 – pp.168–173.
52. **Gupta, J. P. and Lattoo, A. K. (1999).** "Distribution of different forms of phosphorus in the soils of subtropical zone of Jammu Region" . J. Indian Soci. Soil Sci. 47, 147-148.
53. **Hahn, C., Prasuhn, V., Stamm, C., Milledge, D.G., Schulin, R. (2014).** "A comparison of three simple approaches to identify critical areas for runoff and dissolved reactive phosphorus losses". Hydrol. Earth Syst. Sci. 18 (8), 2975–2991.
54. **Hakim, A.V.M., Chandrakaran, S. (2005). "**Hydrology of high and mid land watershed of Kerala". Edi. Book; Hydrology and watershed Management, Himanshu Publications, Udaypur pp. 224-233.
55. **Haney, R.L., White, M.J., Arnold, J.G., Haney, E.B., Harmel, R.D. (2013). "**Re-defining and quantifying inorganic phosphate pools in the soil and water assessment tool". Journal of Soil Science and Environmental Management. Vol. 4(8), pp. 155-162.
56. **Harpole, W. S., Ngai, J. T., Cleland, E. E., Seabloom, E. W., Borer, E. T., Bracken, M. E. S., Elser, J.J., Gruner, D.S., Helmut, H., Shurin, J.B., Smith, J.E. (2011). "**Nutrient co-limitation of primary producer communities". Ecology Letters. 14. 852-862.

57. **Heinsch, F.A., Reeves, M., Votava, P., Kang, S., Milesi, C., Zhao, M. S. (2003).** "User's guide. GPP and NPP (MOD17A2/A3) products NASA MODIS land algorithm".v2.0; p. 13–7.
58. **Huete, A. R. (1988).** "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)". Remote Sensing of Environment 25:295-309.
59. **Ingestad, T., Hellgren, O., Lund, A. B. L. I. (1995).** "Database for birch plants at steady state". Performance of birch plants (Betula pendula Roth.) under non-limiting conditions and under limitation by nitrogen and light. Department of Ecology and Environmental Research, Swedish University of Agricultural Sciences. Report No. 75.
60. **Jackson, M.L. (1985).** "Soil Chemical Analysis - Advanced Course", 2nd edn. M.L. Jackson, Madison, WI.
61. **Jasrotia, A. (2002).** "Rainfall-Runoff and Soil Erosion Modeling using Remote Sensing and GIS technique-A case study of Tons watershed". Journal of Indian Society of Remote Sensing, 167-179.
62. **Jiang, Z.C., Rodermel, R.L., Shibles, R.M. (1993).** "Photosynthesis Rubisco activity and amount, and their regulation by transcription in senescing Soybean leaves". Plant Physiol. 101: 105-112.
63. **Jones, C.A. C.V. Cole., Sharpley, A.N., Williams. (1984). "**A simplified Soil and plant Phosphorus Model. I. Documentation". Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 800 – 805.
64. **Jordan, C. F. (1969).** "Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor" .Ecology, vol. 50. no. 4, pp. 663–666.
65. **Kahiluoto, H., Kuisma, M., Ketoja, E., Salo, T., Heikkinen, J. (2015).** "Phosphorus in manure and sewage sludge more recyclable than in soluble inorganic fertilizer". Environ. Sci. Technol. 49 (4), 2115–2122.
66. **Khalil, M. N., Mohamed, I. R., Metwally, M. A and Abdel-Khalik, M. A. (2004).** "Distribution of some nutrients in certain soils of the New Valley governorate". Zagazig J.Agric. Res., 31(5): 2287-2314.

67. **Khan and Mandal. (1973).** the distribution of different inorganic forms of phosphorus in rice soils of West Bengal. J. Indian Soc.Soil Sci. 21(4):395-402.
68. **Kim, J., Grunwald, S., and Rivero, R.G. (2014).** "Soil phosphorus and nitrogen predictions across spatial escalating scales in an aquatic ecosystem using remote sensing images". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 52.6724-6737.
69. **Kothandaraman, G. V. and Krishanamoorthy, K. K. (1977).** "Distribution of inorganic phosphorus fractions in Tamil Nadu soil". Madras Agricultural J.64:516-521.
70. **Kovacs, A., Honti, M., Zessner, M., Eder, A., Clement, A., Blöschl, G. (2012).** "Identification of phosphorus emission hotspots in agricultural catchments". Sci. Total Environ. 433, 74–88.
71. **Kronvang, B., Bechmann, M., Lundekvam, H., Behrendt, H., Rubæk, G.H., Schoumans, O.F., Hoffmann, C.C. (2005).** "Phosphorus losses from agricultural areas in river basins". J. Environ. Qual. 34 (6), 2129–2144.
72. **Kurz, W.A., Stinson, G., Rampley, G.J., Dymond, C.C., Neilson, E.T. (2008).** "Risk of natural disturbances makes future contribution of Canada's forests to the global carbon cycle highly uncertain". Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 105, 1551.
73. **Landsberg, J.J., Waring, R.H. (1997).** "A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance, and partitioning". Forest Ecol Manag; 95:209–228.
74. **Lemunyon, J., Gilbert, R.G. (1993).** "The concept and need for a phosphorus assessment tool". J. Prod. Agric. 6 (4), 483–486.
75. **Leonard, R.A., Knisel, W.G., Still, D.A. (1987). GLEAMS. "**Groundwater loading effects of agriculture management systems". Transactions of ASAE, 30(5):1403 – 1418.
76. **Li, T., Wang, Z. (2012).** "Estimation of Monthly Net Primary Productivity and Its Variation Characteristics in Shenzhen Based on CASA Model, GIS and RS". J. Basic Sci. Eng. 20: 126–135.

77. **Lin, C., Ma, R., Zhu, Q., Li, J. (2014).** "Using hyper-spectral indices to detect soil phosphorus concentration for various land use patterns". Environ Monit Assess 187:4130. DOI 10.1007/s10661-014-4130-x.
78. **Lin, Z., Radcliffe, D. E., Risse, L. M., Romeis, J. J., and Jackson, C. R. (2009). "**Modeling phosphorus in the Lake Allatoona watershed using SWAT: II. Effect of land use change". J. Environ. Qual. 38(1): 121-129.
79. **Liou, KN. (2002).** "An introduction to atmospheric radiation". New York: Academic Press.
80. **Liu, C., Yang, S., Wen, Z., Wang, X., Wang, Y., Li, Q., Sheng, H. (2009).** "Development of ecohydrological assessment tool and its application". Sci. China Ser. E Technol. Sci. 52 (7), 1947–1957.
81. **Liu, H. Q., and Huete, A. (1995).** "A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 33:457-465.
82. **Liu, R., Wang, J., Shi, J., Chen, Y., Sun, C., Zhang, P., Shen, Z. (2014).** "Runoff characteristics and nutrient loss mechanism from plain farmland under simulated rainfall conditions". Sci. Total Environ. 468, 1069–1077.
83. **Lou, H., Yang, S., Zhao, C., Shi, L., Wu, L., Wang, Y., Wang, Z. (2016).** "Detecting and analyzing soil phosphorus loss associated with critical source areas using a remote sensing approach". Science of the Total Environment 573, 397 – 408.
84. **Lou, H., Yang, S., Zhao, C., Zhou, Q., Bai, J., Hao, F., Wu, L. (2015).** "Phosphorus risk in an intensive agricultural area in a mid-high latitude region of China". Catena 127, 46–55.
85. **MacDougall, M.J., Waller, M.K.E. (2018).** "Remote Sensing of Terrestrial Phosphorus at a Watershed Scale: A Case Study from the Pefferlaw/Uxbridge and Beaver Sub-watersheds of Lake Simcoe". Technical Report. Project LS-16-17-004. St. Lawrence River Institute of Environmental Sciences, Cornwall, ON.

86. **Mahmood, S. A., Raza, S. M.H. (2018).** "Estimation of Net Rice Production through Improved CASA Model by Addition of Soil Suitability Constant (ħα)". Sustainability, 10(6), 1788; https://doi.org/10.3390/su10061788
87. **Mazahreh, S., Alkharabsheh, M., Bsoul, M., Abu Hammor, D., Al Mahasneh, L. (2018). "**Identification and Mapping of Hot Spot Areas Susceptible to Soil Erosion in Erak AL KARAK Area Using Geoinformatics". International Journal of Research - Granthaalayah, 6(6), 246-259.
88. **McBratney, A.B., Odeh, I.O.A., Bishop, T.F.A., Dunbar, M.S., Shatar, T.M. (2000).** "An overview of pedometric techniques for use in soil survey". Geoderma 97, 293–327.
89. **McCarty, G. W., Reeves, J. B., Reeves, V. B., Follett, R. F., and Kimble, J. M. (2002).** "Mid-infrared and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy for soil carbon measurement". Soil Science Society of America Journal, 66, 640–646.
90. **McCullagh, M. J., Ross, C. J. (1980).** "Delaunay trianglulation of a random data set for isarithmic mapping". The Cartographic Journal 17 – pp. 93–99.
91. **McDowell, R.W. (2012).** "Minimising phosphorus losses from the soil matrix". Curr. Opin. Biotechnol. 23 (6), 860–865.
92. **McKenna, D. G. (1987).** "The inward spiral method: an improved TIN generation technique and data structure for land planning applications". Proc. Auto-Carto 8 – pp. 670–679.
93. **Meersmans, J., Ridder, F.D., Canters, F., Baets, S.D., Molle, M.V. (2008).** "A multiple regression approach to assess the spatial distribution of soil organic carbon (SOC) at the regional scale (Flanders, Belgium)". Geoderma 143 (1–2), 1–13.
94. **Millward, A. A., and Mersey, J. E. (1999).** "Adapting the RUSLE to Model Soil Erosion Potential in a Mountainous Tropical Watershed". Catena, 38: 109-129.
95. **Mishra, S.k., Singh, V.P. (2003).** "Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology". Kluwer Academic Publishers, Dodrecht.

96. **Mohsen, S., Majid, R., Borzoo, G. K. (2008).** "Prediction of Soil Available Phosphorus Based on Soil Organic Carbon". American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 4 (2): 189-193.ISSN 1818-6769.
97. **Monika, S. B., Rajanikant, B. G., Sugandh, N. S. (2018).** "Study of Different Phosphorus Fractions and their Relationship with Soil Properties in Agricultural Botany Research Farm, Nagpur, India". Int.J. Curr.Microbiol .App.Sci 7(1): 1130-1137.
98. **Mooney, H.A., Klooster, S.A. (1993).** "Terrestrial ecosystem production: A process model based on global satellite and surface data". Glob. Biogeochem. Cycles. 7.811–841.
99. **Moore, I.D., and Burch, G.J. (1986).** "Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation" .Soil Sci Soc Amer J, 50, 1294-1289.
100. **Munns, D.N., Fox, R.L. (1976). "**The Slow Reaction, Which Continues After Phosphate Adsorption: Kinetics and Equilibrium in Some Tropical Soils". Soil Sci.Soc.Am.J.40:46-51.
101. **Murmu, S., Biswas, S. (2012).** "Application of Remote Sensing and GIS Technique in Runoff Estimation of a Catchment using SCS model". Proceeding of the Regional Conference of the International Network of Women Engineers & Scientists (INWES), New Delhi.
102. **Myneni, R.B., Knyazikhin, Y., Zhang, Y., Tian, Y., Wang, Y., Lotsch, A., Privette, J.L., Morisette, J.T., Running, S.W., Nemani, R. (2017).** "MODIS Leaf area Index (LAI) and Fraction of Photo synthetically Active Radiation Absorbed by Vegetation (FPAR) Product (MOD15)".
103. **Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R., King, K. W .(2005). "**Soil and Water Assessment Tool (Version 2000). Theoretical documentation". GSWRL 02-01, BRC 02-05, TR-191. College Station, Texas: Texas Water Resources Institute.
104. **Nesme, T., Toublant, M., Mollier, A., Morel, C., Pellerin, S. (2012).** "Assessing phosphorus management among organic farming systems: a farm

input, output and budget analysis in southwestern France". Nutr. Cycl. Agroecosyst. 92 (2), 225 –236.

105. **Neufeldt, H., Resck, D.V.S., Ayarza, M.A. (2002).** "Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil". Geoderma 107, 151–164.
106. **Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., Dean, L. A. (1954).** "Estimation of available phosphorus in soils by extraction with NaHCO3". USDA Cir.939. U.S. Washington.
107. **Oyama, Y., Matsushita, B., Fukushima, T. (2015).** "Distinguishing surface cyanobacterial blooms and aquatic macrophytes using Landsat/TM and ETM+ shortwave infrared bands". Remote Sens. Environ. 157, 35–47.
108. **Pastor, J., Bockheim, J.G. (1981).** "Biomass and Production of an Aspen-Mixed Hardwood". Spodosol Ecosystem in Northern Wiscosin. Can. J.For.Res.11, 132-138.
109. **Paul, A.A., Tõnu, O. (1997).** "A forest soil vegetation atmosphere model (ForSVA), I: Concepts". Ecol. Model. 95. (2), 211–224.
110. **Pei, F., Liu, X., Lao, CH. (2013).** "Assessing the impacts of droughts on net primary productivity in China". Journal of Environmental Management .114: 362 – 371.
111. **Peucker T. K., Douglas D. H. (1974).** "Detection of surface specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data". Computer Graphics and Image Processing, 4 – pp. 375–387.
112. **Piao, S.L. (2001).** "Application of CASA model to the estimation of Chinese terrestrial net primary productivity". Acta Phytoecologica Sinica 25, 603- 608.
113. **Pionke, H.B., Gburek, W.J., Sharpley, A.N. (2000).** "Critical source area controls on water quality in an agricultural watershed located in the Chesapeake Basin". Ecol. Eng. 14 (4), 325 –335.
114. **Plaxton, W.C. (2004).** "Plant response to stress: biochemical adaptations to phosphate deficiency". R. Goodman (Ed.), Encyclopedia of Plant and Crop Science, Marcel Dekker, New York, pp. 976-980.

115. **Plaxton, W.C., Carswell, M.C. (1999).** "Metabolic aspects of the phosphate starvation response in plants". H.R. Lerner (Ed.), Plant Responses to Environmental Stresses: From Phytohormones to Genome Reorganization, Marcel Dekker, New York, pp. 349-372.
116. **Ponce, V.M., and Hawkins, R.H. (1996).** "Runoff curve number: has it reached maturity". Journal of Hydrology Engineering, 1, pp. 11-19.
117. **Potter, C. S., Randerson, J. T., Field, C. B. (1993).** "Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data, Global Biogeochem". Cycles. 7.811-841.
118. **Potter, C.S., Randerson, J.T., Field, C.B., Matson, P.A., Vitousek, P.M., Piao, S.L., Fang, J.Y., Guo, Q.H. (2001).** "Application of CASA model to the estimation of Chinese terrestrial net primary productivity". Acta Phytoecol. Sin. 25. 603–608.
119. **Power, HC. 2001.** "Estimating clear-sky beam irradiation from sunshine duration". Solar Energy. 71(4):217–224.
120. **Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., and Kerr, Y. H. (1994).** "A modified soil adjusted vegetation index". Remote Sensing of Environment 48:119-126.
121. **Qiao, Y.X., Pei, B.D., Da, S.S., Cheng, L.S., Ling, Y.Q., Ostermann, A., Yao, H., Xian, Y.L. (2013).** ¨Effects of rainfall and manure application on phosphorus leaching in field lysimeters during fallow season". J. Soils Sediments 13, 1527–1537.
122. **Radcliffe, D. E., Lin, Z., Risse, L. M., Romeis, J. J., and Jackson, C. R. (2009).** "Modeling phosphorus in the Lake Allatoona watershed using SWAT: I. Developing phosphorus parameter values". J. Environ. Qual. 38(1): 111-120.
123. **Ragothama, K.G. (1999).** "Phosphate acquisition Annual Review of Plant Physiology", 97, pp. 1087-1093.
124. **Ragothama, K.G. (2000).** "Phosphate transport and signaling Current Opinion in Plant Biology", 3, pp. 182-187.

125. **Rajan, S.S.S., Fox, R.L. (1972). "**Phosphate Adsorption by Soils. 1. Influence of Time and Ionic Environment on Phosphate Adsorption". Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 3,493-504.
126. **Rao, I.M., Terry, N. (1995).** "Leaf phosphate status, photosynthesis, and carbon partitioning in sugar beet". IV. Changes with time following increased supply of phosphate to low-phosphate plants) Plant Physiology, 107, pp. 1313-1321.
127. **Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., and Porter, J.P. (1991).** "RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation". J. Soil Water Conserve. 46(1):30-33.
128. **Ricotta, C., Avena, G., Palma, A.D. (1994).** "Mapping and monitoring net primary productivity with AVHRR NDVI time-series: statistical equivalence of cumulative vegetation indices". Isprs. J. Photogramm. Remote Sens. 54: 325–331.
129. **Rivero, R.G., Grunwald, S., Binford, M.W., Osborne, T.Z. (2009).** "Integrating spectral indices into prediction models of soil phosphorus in a subtropical wetland". Remote Sens. Environ. 113 (11), 2389–2402.
130. **Rivero, R.G., Grunwald, S., Bruland, G.L. (2007).** "Incorporation of spectral data into multivariate geo statistical models to map soil phosphorus variability in a Florida wetland" .Geoderma 140 (4), 428 –443.
131. **Roger, J., and Herbert, B. (2016).** "Application of the USLE to Southwestern Rangelands", Hydrology and Water Resources.
132. **Rondeaux, G., Steven, M., and Baret, F. (1996).** "Optimization of soil adjusted vegetation indices". Remote Sensing of Environment 55:95-107.
133. **Rossel, R.A.V., Bui, E.N. (2016).** "A new detailed map of total phosphorus stocks in Australian soil". Sci. Total Environ. 542, 1040 –1049.
134. **Roszkowska, W. (2013).** "Rank ordering criteria weighting methods – A comparative overview". Optimum studia ekonomiczne NR, 5(65).

135. **Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. (1973).** "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS". In3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, pp. 309–317.
136. **Ruimy, A., Saugier, B., Dedieu, G. (1994).** "Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data". J. Geophys. Res. Atmos. 99, 5263–5283.
137. **Running, S.W. (2008).** "Ecosystem disturbance, carbon, and climate". Science .321:652- 653.
138. **Running, S.W., Thornton, P.E., Nemani, R., Glassy, J.M. (2000).** "Global Terrestrial Gross and Net Primary Productivity from the Earth Observing System". In Methods in Ecosystem Science; Springer: New York, NY, USA. pp. 44–57.
139. **Rychter, A.M., Rao, I. M. (2005).** "Role of Phosphorus in Photosynthetic Carbon Metabolism". Taylor and Francis Group, LLC.
140. **Santhi, C., Arnold, J. G., Williams, J. R., Dugas, W. A., Srinivasan, R., and Hauck, L. M. (2001).** "Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources". J. American Water Resour. Assoc. 37(5): 1169-1188.
141. **Saunders, W.M., and Williams, E.G. (1955).** "Observations on the determination of organic phosphorus in soils". J. Soil Sci. 6: 254–267.
142. **Scarlatos, L.L. (1989).** "An automated critical line detector for digital elevation matrices". Proc. Auto-Carto 9 – pp. 146–155.
143. **SCS. (1985).** "National Engineering Handbook", Section 4: Hydrology. Soil Conservation Service, US Department of Agriculture, Washington D.C.
144. **Sharpley, A. N., Jones, C. A., Gray, C., Cole, C. V. (1984).** "A simplified soil and plant phosphorus model: 2. Prediction of labile, organic, and sorbed phosphorus". Soi. Sci. Soc. Amer. J. 48(4):805-809.
145. **Sharpley, A. N., Singh, U., Uehara, G., Kimble, J. (1989).** "Modeling soil and plant phosphorus dynamics in calcareous and highly weathered soils". Soil Sci. Soc. Amer. J. 53(1):153-158.

146. **Sharpley, A., Jarvie, H.P., Buda, A., May, L., Spears, B., Kleinman, P. (2013).** "Phosphorus legacy: overcoming the effects of past management practices to mitigate future water quality impairment". J. Environ. Qual. 42 (5), 1308 –1326.
147. **Sharpley, A.N. (1982). "**A prediction of The Water Extractable Phosphorus Content of Soil Following A phosphorus Addition". J. Environ. Qual. 11: 166-170.
148. **Sharpley, A.N., Jarvie, H.P. (2012).** "Agriculture Management Water Quality and Ecology Putting Practice into Policy". In: Eaglesham, A., Korth, K., Hardy, R.WF. (Eds), National Agricultural Biotechnology Council Conference Proceedings vol. 24, pp. 87 – 116.
149. **Sharpley, A.N., Kleinman, P.J., Flaten, D.N., Buda, A.R. (2011).** "Critical source area management of agricultural phosphorus: experiences, challenges and opportunities". Water Sci. Technol. 64 (4), 945.
150. **Sheriff, D.W., Nambiar, E.K.S., Fife, D.N. (1986).** "Relationships between nutrient status, carbon assimilation and water use efficiency in Pinus radiata needles". Tree Physiol. 2: 73-88.
151. **Shi, L., Liu, P., Kloog, I., Lee, M., Kosheleva, A., Schwartz, J. (2016).** "Estimating daily air temperature across the Southeastern United States using high-resolution satellite data: a statistical modeling study". Environ. Res. 146, 51–58.
152. **Shi, Z.H., CAI, S.F., Ding, S.W., Wang, T.W., and Chow, T.L. (2004).** "Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the Three Gorge area of China". Catena, 55:33-48.
153. **Shrivastava, O. P. and Pathak, A. N. (1970).** "Effect of texture on the availability of soil phosphorus". Phosphorsaure. 28.181-187.
154. **Singh, R., and Omankar, P. K. (2010).** "Phosphorus forms in some soil of mid-western Uttar Pradesh. Profile distribution and transformation of phosphorus". J. Indian Soc. Soil Sci., 35(4): 634-641.

155. **Sivak, M.N., Walker, D.A. (1986)**. "Photosynthesis in vivo can be limited by phosphate supply". The New Phytologist, 102, pp. 499-512.
156. **Soil Conservation Service. (1972)**. Table 4.2, p. 4.12.
157. **Sripada, R. P., Heiniger, R. W., White, J. G., and Meijer, A. D. (2006).** "Aerial color infrared photography for determining early-season nitrogen requirements in corn". Agronomy Journal 98: 968-977.
158. **Stevenson, F.J. (1994).** "Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions", 2nd edition.Wiley, New York.
159. **Stock, J. D., Bellugi, D., Dietrich, W. E., Allen, D. (2002).** "Comparison of SRTM topography to USGS and high-resolution laser altimetry topography in steep landscapes: Case studies from Oregon and California". Eos Trans. AGU, Fall Meet. Suppl., Abstract H21G-09, –№ 83 – p.47
160. **Swanston, D.N., Dyrness, C.T. (1973).** "Stability of steep land". J. Forest. – 71– pp.264–269.
161. **Tomar, N.K., Khmna, S.S., and Gupta, A.P. (1984).** "Transformation of phosphates varying in citrate and water" solubility in Calcareous soil after incubation with cattle dung". J lndian Soc. Soil Sci. 32:421-26.
162. **Tomasella, J., Hodnett, M.G. (1998). "**Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia". Soil Science 163: 190-202.
163. **Torri, D., Poesen, J., and Borselli, L. (1997).** "Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset". Catena, 31(1), 1-22.
164. **Torri, D., Poesen, J., and Borselli, L. (2002).** "Corrigendum to “Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset" .[Catena 31 (1997) 1–22] and to "Erratum to Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset" [Catena 32 (1998) 307–308]. Catena, 46(4), 309-310.
165. **Townsend, A.R., Porder, S. (2012).** "Agricultural legacies, food production and its environmental consequences". Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 109 (16), 5917–5918.

166. **Trivedi, S. K., Tomar, R. A. S., Tomar, P. S., and Naresh Gupta. (2010).** "Vertical distribution of different forms of phosphorus in Alluvial soils of Gird Region of Madhya Pradesh". J. Indian Soc. Soil sci. Vol. 58(1): 86-90.

167. **Tufekcioglu, M., Yavuz, M., Dinc, M., Duman, A., Vatandaslar, C., Tufekcioglu, A. (2017).** "Estimating surface soil erosion using RUSLE methodology". Conference Paper · August 2017. IMCOFE 2017 / ROME.

168. **Turner, B.L., Cade-Menun, B.J., and Westermann, D.T. (2003).**"Organic phosphorus composition and potential bioavailability in semi-arid arable soils of the western United States". Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 1168–1179.

169. **Turner, L.M. (1938).** "Some profile characteristics of the pine-growing soils of the coastal plain region of Arkansas". Arkansas Agr. Exp. Sta., Bull. 361. Fayetteville, AK – 52p.

170. **USDA, Soil Conservation Service. (1985).** "National Engineering Handbook", USA.

171. **Vadas, P. A., Krogstad, J., Sharpley, A. N. (2006). "**Modeling phosphorus transfer between labile and non-labile soil pools: Updating the EPIC model". Soil Sci. Soc. Am. J. 70:736–743.

172. **Vadas, P.A., White, M.J. (2010). "**Validating Soil Phosphorus Routines in the SWAT Model". Trans. ASABE. 53(5): 1469-1476.

173. **Van Dijk, K.C., Lesschen, J.P., Oenema, O. (2016). "**Phosphorus flows and balances of the European Union member states". Sci. Total Environ. 542, 1078 –1093.

174. **Vance, C.P. (2008). "**Plants without Arbuscular mycorrhizae" P.J. White, J.P. Hammond (Eds.), The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions, Springer Science, Berlin, pp. 117-142.

175. **Vance, C.P., Uhde-Stone, C., Allan, D.L. (2002). "**Phosphorus acquisition and use: critical adaptation by plants for securing a non-renewable resource". The New Phytologist, 157, pp. 423-447.

176. **Vasques, G. M., Grunwald, S., & Sickman, J. Q. (2008).** "Comparison of multivariate methods for inferential modeling of soil carbon using visible/near-infrared spectra". Geoderma, 146, 14–25.
177. **Vatandaşlar, C., and Yavuz, M. (2017).** "Modeling cover management factor of RUSLE using very high-resolution satellite imagery in a semiarid watershed". Environmental Earth Sciences, 76(2).
178. **Vaudour, E., Gomez, G., Fouad, Y., Lagacherie, P. (2019).** "Sentinel-2 image capacities to predict common topsoil properties of temperate and Mediterranean agroecosystems". Remote Sensing of Environment 223, 21- 33.
179. **Veith, T. L., Sharpley, A. N., Weld, J. L., and Gburek, W. J. (2005).** "Comparison of measured and simulated phosphorus losses with indexed site vulnerability". Trans. ASAE 48(2): 557-565.
180. **Verstappen, H.T. (1983).** "Applied geomorphology". Elsevier Science Publishing Co. New York, NY– 437 p.
181. **Viscarra Rossel, R. A., Walvoort, D. J. J., McBratney, A. B., Janik, L. J., & Skjemstad, J. O. (2006).** "Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties". Geoderma, 131, 59–75.
182. **Vishwanath, J., and Doddamani, V. S. (1991).** "Distribution of P fractions in some Vertisols". J. Indian Soc. Soil Sci. 39:441-445.
183. **Walker, D.A., Robinson, S.P. (1978).** "Chloroplast and cell a contemporary view of photosynthetic carbon assimilation" Berichte. Deutsche. Botanische. Gesellschaft, 91, pp. 512-526.
184. **Walker, T.W., and Adams, A.F.R. (1958).** "Studies on soil organic matter. I. Influence of phosphorus content of parent materials on accumulation of carbon, nitrogen, sulfur and organic phosphorus in grassland soils". Soil Sci. 85: 307–318.
185. **Walker, W.W., Havens, K.E. (1995).** "Relating algal bloom frequencies to phosphorus concentrations in Lake Okeechobee". Lake and Reserv Manage 11: 77-83.

186. **Wang, D., Mathew, W. M., Jindong, S., Xiaohui, F., Fernando, M., Hammond, J.P., White, P.J. (2008).** "Sucrose transport in the phloem: integrating root responses to phosphorus starvation". J Exp Bot. 59: 93–109.
187. **Wang, D., Maughan, M.W., Sun, J., Feng, X., Miguez, F., Lee, D. (2012).** "Impact of nitrogen allocation on growth and photosynthesis of Miscanthus (Miscanthus*giganteus)".Glob Change Biol Bioenergy. 4. 668 – 697.
188. **Wang, L., Liang, T., Kleinman, P.J., Cao, H. (2011b).** "An experimental study on using rare earth elements to trace phosphorous losses from nonpoint sources". Chemosphere 85 (6), 1075–1079.
189. **Wang, X., Wang, Q., Wu, C., Liang, T., Zheng, D., Wei, X. (2012).** "Amethod coupled with remote sensing data to evaluate non-point source pollution in the Xin'anjiang catchment of China". Sci. Total Environ. 430, 132 –143.
190. **Wang, X., Wang, Q., Yang, S., Zheng, D., Wu, C., Mannaerts, C.M. (2011a).** "Evaluating nitrogen removal by vegetation uptake using satellite image time series in riparian catchments". Sci. Total Environ. 409 (13), 2567–2576.
191. **Watson, C.J., Smith, R.V., Matthews, D.I. (2007).** "Increase in phosphorus losses from grass land in response to Olsen-P accumulation". J. Environ. Qual. 36 (5), 1452–1460.
192. **Way, D.S. (1973).** "Terrain analysis: a guide to site selection using aerial photographic interpretation". Dowden, Hutchinson, and Ross Inc., Stroudsburg, PA – 392 p.
193. **Weld, J.L., Sharpley, A.N., Beegle, D.B., Gburek, W.J. (2001).** "Identifying critical sources of phosphorus export from agricultural watersheds". Nutr. Cycl. Agroecosyst. 59 (1), 29–38.
194. **White, M., Thornton, P. (2000).** "Parameterization and Sensitivity Analysis of the BIOME–BGC Terrestrial Ecosystem Model: Net Primary Production Controls". Earth Interactions 4.

195. **White, M.J., Storm, D.E., Busteed, P.R., Stoodley, S.H., Phillips, S.J. (2009).** "Evaluating nonpoint source critical source area contributions at the watershed scale". J. Environ. Qual. 38 (4), 1654–1663.
196. **White, P.J., Hammond, J.P. (2008).** "Phosphorus Nutrition of Terrestrial Plants". The Ecophysiology of Plant – Phosphorus Interaction. Springer, Dordrecht, the Netherlands, pp 51 – 81.
197. **Wickenkamp, V., Duttmann, R., and Mosimann, T. (2000).** "A multiscale approach to predicting soil erosion on cropland using empirical and physically based soil erosion models in a geographic information system". In: J. Schmidt (Editor), Soil Erosion: Application of Physically-based Models. Springer, Berlin, Germany, pp. 109-133.
198. **Williams, J. R., Dyke, P. T., and Jones, C. A. (1982).** "EPIC—A model for assessing the effects of erosion on soil productivity". In Proc., Third mt. ConI. On State-of-the-Art in Ecol. Modeling. Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.
199. **Williams, J.R. (1995).** "The EPIC model". P. 909 – 1000. In V. P.Singh (ed). Computer models of watershed hydrology. Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO. Chapter 25.
200. **Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978).** "Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning". Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. 58pp.
201. **Withers, P.J., Sylvester-Bradley, R., Jones, D.L., Healey, J.R., Talboys, P.J. (2014).** "Feed the crop not the soil: rethinking phosphorus management in the food chain". Environ. Sci. Technol. 48 (12), 6523–6530.
202. **Xie, W., Zhao, D. (2016).** "Controlling Phosphate Releasing from Poultry Litter Using Stabilized Fe – Mn Binary Oxide Nanoparticles". Sci. Total Environ. 542, 1020 – 1029.
203. **Yang, S., Bai, J., Zhao, C., Lou, H., Wang, Z., Guan, Y., Zhang, Y., Zhang, C., YU, X. (2018).** "Decline of N and P Uptake in the Inner Protection Zone of

A Terminal Reservoir during Inter-Basin Water Transfers". Water, 10, 178; doi: 10.3390/w10020178.

204. **Yang, W.J., Cheng, H.G., Hao, F.H., Ouyang, W., Liu, S.Q., Lin, C.Y. (2012).** "The influence of land-use change on the forms of phosphorus in soil profiles from the Sanjiang Plainof China". Geoderma 189–190, 207–214.
205. **Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D., and Anderson, W.P. (1987).** "AGNPS: an agricultural non-point source pollution model". Conservation research report 35, US Dept. Agric. Res. Services, Washington, DC, USA.
206. **Zhang, H., Shan, B. (2008).** "Historical distribution and partitioning of phosphorus in sediments in an agricultural watershed in the Yangtze-Huaihe region, China". Environ. Sci. Technol. 42 (7), 2328–2333.
207. **Zhang, S.W., Shen, C.Y., Chen, X.Y., Ye, H.C., Huang, Y.F., Lai, S. (2013).** "Spatial interpolation of soil texture using compositional kriging and regression kriging with consideration of the characteristics of compositional data and environment variables". J. Integrativ .Agric. 12 (9), 1673–1683.
208. **Zhao, Q., Zeng, D. H., Fan, Z. P., and Lee, D.K. (2008).** "Effect of land cover change on soil phosphorus fractions in southeastern Horqin sandy land, northern China". Pedosphere.18 (6): 741-748.
209. **Zhou, B. (2016).** "Assessments through field studies, experiments and modeling of potential risk for phosphorus loss from an agricultural watershed". P.h.D. THESIS, Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo. Page Number 67.
210. **Zhou, H., GAO, C. (2011).** "Assessing the risk of phosphorus loss and identifying critical source areas in the Chaohu Lake watershed, China". Environ. Manag. 48 (5), 1033–1043.
211. **Zhu, Q., Zhao, J., Zhu, Z., Zhang, H., Zhang, Z., Guo, X., Bi, Y., Sun, L. (2017)**. "Remotely Sensed Estimation of Net Primary Productivity (NPP) and Its Spatial and Temporal Variations in the Greater Khingan Mountain Region, China". Sustainability, 9, 1213; doi: 10.3390/su9071213.

212. **Zhu, Z., Arp, P., Meng, F., Bourque, C. P. A., Foster, N. W. (2003a).** "A forest nutrients cycling and biomass model (ForNBM) based on year-round, monthly weather conditions, part I: assumption, structure and processing". Ecol Model. 169.347–360.
213. **Zhu, Z., Arp, P., Meng, F., Bourque, C. P. A., Foster, N. W. (2003b).** "A forest nutrients cycling and biomass model (ForNBM) based on year-round, monthly weather conditions Part II: calibration, verification, and application". Ecol Model. 170.13–27.
214. **Zhuang, Y.H., Wu, Y.Q., Li, Y. (2007).** "Effect of combined application of organic and inorganic fertilizers on phosphorus leaching in vegetable soils". Soils 39, 905–909 (in Chinese).
215. **Zubillaga, M.M., Aristi, J.P., Lavado, R.S. (2002).** "Effect of Phosphorus and Nitrogen Fertilization on sunflower (Helianthus annus L.) Nitrogen uptake and yield". J Agron Crop Sci .188: 267–274.

الملحق

جدول 44. التحاليل الكيميائية والفيزيائية لعينات التربة (الشهر التاسع لعام 2017)

EC_MSEMENS	EC_G_L	% CaCO3	PH	Landuse	Y	X	ID
0.26	0.13	4.0	7.08	o	34.784100	36.148860	**1**
0.25	0.13	45.0	8.26	o	34.796520	36.057000	**2**
0.25	0.12	2.5	7.23	p	34.707211	36.052798	**3**
0.21	0.10	18.0	7.46	p	34.718036	35.955013	**4**
0.22	0.11	47.5	8.13	o	34.784685	36.063707	**5**
0.18	0.09	2.0	7.21	o	34.746797	36.120741	**6**
0.26	0.13	27.0	7.84	p	34.717384	35.993072	**7**
0.15	0.07	2.0	7.23	p	34.716217	35.970705	**8**
0.23	0.11	33.0	7.87	c	34.725640	36.013670	**9**
0.20	0.10	44.5	8.29	o	34.814729	36.074008	**10**
0.36	0.18	1.0	7.33	p	34.739720	35.966230	**11**
0.34	0.17	2.0	7.29	p	34.713445	35.960493	**12**
0.33	0.16	4.5	7.27	p	34.717815	36.046331	**13**
0.26	0.13	21.0	7.07	o	34.727837	36.043449	**14**
0.42	0.21	10.0	7.54	p	34.721530	35.976270	**15**
0.22	0.11	2.0	7.35	p	34.719655	36.050066	**16**
0.26	0.13	44.5	8.17	o	34.805639	36.067033	**17**
0.42	0.21	4.0	7.27	p	34.733055	35.960228	**18**
0.10	0.05	6.0	7.40	o	34.724381	36.077455	**19**
0.20	0.10	40.0	8.12	o	34.787680	36.079870	**20**
0.28	0.14	18.0	7.54	p	34.727458	35.952083	**21**
0.29	0.14	29.0	7.67	c	34.738000	36.027620	**22**
0.30	0.15	9.5	7.59	p	34.689180	35.971041	**23**
0.66	0.33	2.0	7.28	p	34.739507	35.952164	**24**
0.56	0.28	12.0	7.53	p	34.708943	35.997196	**25**
0.49	0.24	1.0	7.13	p	34.666401	35.998903	**26**
0.27	0.13	17.5	7.15	o	34.782741	36.020990	**27**
0.78	0.39	14.5	7.06	p	34.777600	36.010040	**28**
0.36	0.18	7.0	7.37	p	34.674137	35.990762	**29**
0.31	0.15	3.5	7.65	p	34.741691	35.959676	**30**
0.21	0.10	44.0	8.21	o	34.813164	36.104151	**31**
0.54	0.27	6.0	7.06	p	34.744530	36.035290	**32**
0.33	0.16	3.5	7.36	p	34.699782	36.054198	**33**
0.33	0.16	18.0	7.71	p	34.696394	35.990506	**34**
0.33	0.16	44.0	8.18	o	34.741729	36.114173	**35**
0.12	0.06	12.0	7.41	o	34.753510	36.059530	**36**
0.22	0.14	17.0	7.12	o	34.757419	36.135682	**37**
3.18	1.59	7.0	7.58	pp	34.772021	36.018279	**38**
0.21	0.10	19.0	7.51	p	34.780741	36.017917	**39**
0.22	0.11	2.5	7.43	p	34.690538	36.032995	**40**
0.23	0.11	6.5	7.37	p	34.716407	36.021422	**41**
0.21	0.10	43.5	8.08	o	34.809440	36.072896	**42**

0.41	0.20	3.5	7.34	p	34.687909	36.017724	**43**
0.29	0.14	42.0	8.02	o	34.785198	36.030664	**44**
0.16	0.08	5.0	7.06	o	34.771071	36.026881	**45**
0.20	0.10	3.5	7.20	p	34.706763	36.038144	**46**
0.21	0.10	7.5	7.42	o	34.787690	36.060080	**47**
0.12	0.06	22.0	7.74	o	34.747660	36.069370	**48**
0.22	0.11	34.0	7.86	o	34.779277	36.103279	**49**
0.22	0.11	28.0	7.72	o	34.782410	36.152450	**50**
0.28	0.14	34.0	8.00	c	34.718130	35.978400	**51**
0.28	0.14	4.5	7.24	o	34.771370	36.087990	**52**
0.36	0.18	6.5	7.37	p	34.758632	36.030912	**53**
0.25	0.12	45.5	8.17	o	34.798472	36.052640	**54**
0.25	0.12	25.5	8.01	p	34.713769	36.006242	**55**
0.27	0.13	3.0	7.17	c	34.711456	36.038462	**56**
0.21	0.10	19.0	7.69	o	34.801805	36.059054	**57**
0.12	0.06	5.0	7.16	o	34.762430	36.036830	**58**
0.17	0.09	3.0	7.28	o	34.741280	36.084100	**59**
0.25	0.12	43.5	8.12	o	34.817380	36.066940	**60**
0.15	0.07	2.5	7.24	p	34.745600	36.008210	**61**
0.29	0.14	43.0	8.19	o	34.803888	36.053384	**62**
0.25	0.12	3.0	7.18	p	34.680723	35.980463	**63**
0.31	0.15	43.0	8.21	o	34.799930	36.071977	**64**
0.12	0.06	4.0	7.08	o	34.749426	36.052045	**65**
0.22	0.11	34.5	7.94	o	34.758283	35.999954	**66**
0.30	0.15	37.0	8.11	o	34.755937	36.100005	**67**
0.20	0.10	28.0	7.87	o	34.759390	36.068230	**68**
0.26	0.13	6.0	7.05	o	34.740496	36.053789	**69**
0.26	0.13	3.0	7.19	o	34.783670	36.134220	**70**
0.20	0.10	47.0	8.31	o	34.789981	36.025814	**71**
0.22	0.11	31.0	7.98	p	34.704307	35.987121	**72**
0.29	0.15	43.5	8.11	o	34.792606	36.038217	**73**
0.26	0.13	39.0	8.14	o	34.794726	36.067828	**74**
0.25	0.12	26.5	7.84	o	34.780801	36.027482	**75**
0.26	0.13	44.5	8.14	o	34.790471	36.031382	**76**
0.77	0.38	7.0	7.23	c	34.757699	36.023187	**77**
0.24	0.12	2.0	7.29	o	34.764604	35.995003	**78**
0.31	0.16	7.0	7.21	p	34.692020	35.987750	**79**
0.15	0.07	4.0	7.23	p	34.697053	36.005922	**80**
0.25	0.12	46.5	8.21	o	34.802478	36.079857	**81**
0.21	0.10	14.5	7.43	o	34.754730	36.118317	**82**
0.40	0.20	9.0	7.76	o	34.712445	36.028441	**83**
0.20	0.10	16.0	7.31	o	34.820510	36.088371	**84**
0.43	0.21	4.0	7.08	c	34.761510	36.007750	**85**
0.20	0.10	2.5	7.32	o	34.779421	36.043575	**86**
0.25	0.25	2.5	7.22	p	34.709234	35.973123	**87**
0.18	0.09	21.0	7.45	o	34.786947	36.097941	**88**

0.18	0.09	1.0	7.06	o	34.766796	36.037188	**89**
0.23	0.11	18.0	7.42	o	34.787688	36.060334	**129**
0.12	0.06	0.5	7.25	o	34.775110	36.050836	**91**
0.19	0.09	42.0	8.16	o	34.785593	36.045593	**92**
0.26	0.13	42.5	8.09	o	34.794976	36.072721	**93**
0.45	0.22	40.0	8.10	o	34.809801	36.090953	**94**
0.28	0.14	5.5	7.31	c	34.783220	36.148560	**95**
0.27	0.13	25.5	7.93	o	34.740622	36.103646	**96**
0.18	0.09	12.5	7.44	o	34.807590	36.063140	**97**
0.36	0.18	2.5	7.09	c	34.732570	36.001870	**98**
0.20	0.10	5.0	7.07	o	34.803719	36.094711	**99**
0.22	0.11	44.5	8.07	o	34.803990	36.077876	**100**
0.25	0.12	26.0	7.96	o	34.706410	35.995430	**101**
0.25	0.12	21.0	7.53	o	34.724098	36.058316	**102**
0.26	0.13	11.5	7.65	o	34.778368	36.077642	**103**
0.25	0.12	41.0	8.15	o	34.797612	36.106170	**104**
0.33	0.17	7.0	7.11	p	34.701850	35.989380	**105**
0.32	0.16	14.5	7.66	o	34.768308	36.094245	**106**
0.23	0.11	5.5	7.24	o	34.775430	36.082540	**107**
0.40	0.20	38.5	7.81	c	34.798819	36.050876	**108**
0.23	0.11	28.0	7.69	o	34.780330	36.022240	**109**
0.23	0.11	20.0	7.68	c	34.796148	36.093627	**110**
0.19	0.09	16.0	7.49	o	34.748025	36.067028	**111**
0.19	0.09	0.5	7.02	p	34.735008	36.065462	**112**
0.28	0.14	23.0	7.70	o	34.772237	36.099595	**113**
0.20	0.10	8.0	7.41	c	34.750433	35.985319	**114**
1.55	0.77	10.0	7.43	p	34.751536	35.975827	**115**
0.27	0.13	2.5	7.32	o	34.769637	36.132701	**116**
0.22	0.11	2.5	7.22	p	34.746690	36.097668	**117**
0.24	0.12	25.0	7.68	c	34.746479	35.973135	**118**
0.53	0.26	9.0	7.54	p	34.757250	36.024640	**119**
0.23	0.11	8.5	7.54	p	34.701325	36.013256	**120**
0.31	0.15	46.0	8.23	o	34.750160	36.017560	**121**
0.24	0.12	6.0	7.21	p	34.706040	36.079330	**122**
0.21	0.10	4.0	7.24	p	34.712740	36.059470	**123**
0.23	0.11	5.5	7.35	o	34.737510	36.098228	**124**
0.21	0.10	5.0	7.25	o	34.754570	36.128620	**125**
0.26	0.13	4.0	7.11	o	34.748330	36.010460	**126**
0.24	0.12	11.0	7.45	o	34.787530	36.152020	**127**
0.26	0.13	31.0	7.88	o	34.826270	36.085580	**128**
0.23	0.11	24.0	7.75	p	34.741735	35.988086	**129**
0.27	0.13	37.0	8.01	o	34.719820	36.033530	**130**
0.46	0.23	44.0	8.09	o	34.795225	36.048333	**131**
0.20	0.10	33.0	7.92	p	34.776342	36.087009	**132**
0.21	0.10	7.0	7.36	o	34.703059	36.046528	**133**
0.20	0.10	26.5	7.82	o	34.757100	36.046640	**134**

0.44	0.22	3.0	7.27	p	34.682569	36.002265	**135**
0.30	0.15	3.5	7.29	p	34.746448	36.104819	**136**
0.23	0.11	37.0	7.94	o	34.805063	36.050385	**137**
0.18	0.09	13.0	7.21	c	34.772430	36.132740	**138**
0.34	0.17	44.5	8.25	o	34.794509	36.062254	**139**
0.23	0.11	5.0	7.41	o	34.803625	36.089151	**140**
0.30	0.15	3.0	7.17	p	34.732930	35.973580	**141**
2.57	1.28	8.5	7.12	pp	34.733194	35.959766	**142**
0.24	0.12	2.5	7.14	c	34.737150	35.978810	**143**
0.21	0.10	3.5	7.04	o	34.734977	36.046002	**144**
0.29	0.14	9.0	7.11	o	34.729617	36.031293	**145**
0.20	0.10	8.0	7.46	o	34.709337	36.069846	**146**
0.36	0.18	33.0	7.81	p	34.702916	35.978372	**147**
0.92	0.46	29.0	7.84	pp	34.758922	36.012226	**148**
0.33	0.16	39.0	7.88	o	34.792485	36.081539	**149**
0.35	0.18	22.0	7.72	o	34.788524	36.039962	**150**
0.22	0.11	9.5	7.11	o	34.773400	36.119230	**151**

INORGANIC_P mg/Kg	**TOTAL_P mg/Kg**	**OLSEN_P mg/Kg**	**ORGANIC_MA %**	**MOISTURE %**	**EC_TEMPERA C^{o}**
234.47	368.12	7.65	2.87	8.04	15.0
194.23	301.75	4.10	1.65	1.51	13.7
286.78	419.45	6.77	2.21	8.46	12.1
288.52	382.17	7.18	1.66	6.79	14.4
175.97	242.70	3.54	1.51	2.17	13.6
201.27	316.79	6.87	2.31	3.30	14.9
295.87	390.74	6.54	2.03	2.67	16.0
263.54	317.01	7.13	1.42	6.41	13.4
278.95	441.29	10.11	3.65	3.47	14.5
296.47	410.34	4.32	2.21	3.94	14.4
237.29	296.21	5.95	1.32	5.16	15.0
268.67	326.49	5.46	1.45	6.84	12.4
244.69	336.12	5.85	1.32	7.78	14.6
193.89	305.92	5.56	2.10	7.40	12.4
289.16	361.39	4.12	1.59	5.05	13.8
257.73	327.31	7.76	1.49	9.19	14.3
241.54	349.49	3.12	2.32	1.09	13.6
278.67	341.88	6.76	1.65	6.76	13.1
253.60	313.21	7.62	1.55	5.69	16.0
275.13	397.60	3.35	2.32	4.26	16.0
307.62	372.80	6.26	1.54	7.51	12.1
302.13	412.51	4.23	2.35	5.47	12.4
243.34	370.76	4.93	2.47	8.79	13.7
210.67	275.98	5.89	1.61	5.40	14.7
307.65	380.32	4.97	1.54	7.07	13.2

303.66	356.93	6.64	1.64	4.83	13.5
236.48	388.61	10.29	3.21	8.63	13.3
246.31	304.82	7.21	1.41	3.22	16.0
257.71	333.14	5.11	1.28	6.12	12.5
293.98	381.65	5.91	1.48	3.87	14.6
216.21	335.75	5.94	2.11	2.23	16.0
289.31	410.84	7.98	2.54	5.29	14.1
289.54	362.68	3.58	1.58	9.99	13.7
264.78	334.12	5.54	1.65	7.12	13.6
210.92	298.43	3.87	1.89	2.41	14.4
222.54	344.88	5.91	2.07	3.16	14.4
170.62	223.35	7.06	1.36	3.99	14.4
241.99	369.23	8.23	1.97	11.92	14.5
289.43	402.64	6.27	2.47	2.26	16.0
293.24	430.67	11.01	3.01	11.42	12.4
294.35	377.78	7.81	1.67	8.82	14.9
232.67	327.99	5.74	2.21	2.95	13.6
293.84	381.16	7.54	1.98	9.53	13.6
212.63	327.15	2.68	1.75	2.22	13.9
215.80	274.04	8.12	1.68	7.53	13.4
297.28	361.00	8.76	1.87	7.19	13.0
202.52	309.30	5.12	2.00	4.65	15.9
217.18	303.49	7.35	1.98	5.45	16.0
224.57	284.82	3.87	1.44	6.34	12.8
198.23	322.39	8.94	2.87	2.56	15.9
268.59	336.41	2.35	1.97	4.55	16.1
239.51	300.76	6.65	1.75	3.65	14.1
296.58	409.89	7.52	2.63	9.77	14.5
181.47	268.67	3.54	1.91	1.62	14.4
307.62	364.40	3.10	1.85	7.07	13.7
254.44	374.27	5.64	2.11	3.27	14.4
186.57	257.89	4.81	1.64	4.41	15.3
219.31	313.43	5.54	2.41	3.53	14.6
173.68	267.89	5.67	1.68	4.39	15.8
254.73	304.15	3.42	1.57	1.82	14.5
288.69	371.44	5.97	1.78	2.21	14.3
286.63	403.14	8.24	2.54	4.96	13.7
294.65	370.14	5.12	1.35	7.69	12.4
188.95	296.09	5.51	2.22	1.66	14.5
226.07	319.32	5.26	2.14	3.26	16.1
226.71	290.28	2.96	1.68	6.04	15.9
186.41	279.95	4.21	1.84	1.88	14.5
185.42	317.30	5.61	2.14	4.75	15.9
189.14	287.98	6.13	2.23	5.26	14.4
214.87	264.41	6.98	1.87	7.69	12.8
228.63	333.89	5.68	2.12	1.15	13.8

311.50	389.63	4.54	1.54	8.29	13.5
288.07	390.39	4.00	2.35	1.32	13.7
280.24	383.78	8.17	2.61	3.50	13.7
249.03	297.85	5.12	1.87	3.38	14.4
198.98	304.51	5.64	2.17	2.99	12.2
272.77	356.28	7.95	1.87	7.69	14.1
202.53	321.95	6.87	2.44	2.76	14.5
281.17	349.28	3.18	1.54	4.86	12.5
256.73	308.90	5.09	1.34	9.08	12.0
231.78	306.07	4.24	1.65	6.98	12.7
222.65	306.32	3.69	1.87	6.61	13.8
274.32	339.69	5.12	1.48	11.24	14.9
247.73	335.62	5.12	1.98	8.62	12.0
298.57	422.11	6.84	2.25	5.76	14.2
215.36	329.81	6.87	2.35	5.63	14.4
228.06	312.28	8.87	1.68	6.16	12.6
227.78	324.48	8.34	1.97	7.05	14.6
243.16	350.80	5.27	2.04	7.76	13.2
212.72	331.15	7.67	2.54	7.75	14.4
222.65	272.22	6.76	1.54	5.46	14.4
201.54	277.67	3.54	1.87	4.41	13.9
211.88	293.33	4.29	1.91	5.15	12.8
234.71	278.25	3.29	1.63	4.50	14.3
248.49	417.62	10.62	3.52	10.70	16.2
202.51	314.93	8.74	2.54	4.96	14.5
245.61	318.76	4.12	1.79	7.89	14.8
296.21	387.63	5.34	1.74	2.05	12.4
209.46	306.33	6.11	2.28	8.66	14.4
274.18	372.06	2.65	1.87	1.64	12.4
263.17	361.58	5.87	2.11	5.47	13.8
248.65	335.79	4.59	1.65	4.72	14.3
258.19	332.73	4.63	1.87	5.32	15.8
244.14	309.45	3.52	1.87	2.14	14.1
293.51	355.77	8.98	1.54	5.18	12.7
262.79	321.40	5.76	2.11	4.32	15.9
201.32	318.64	8.33	2.54	8.94	12.4
235.41	378.19	6.32	2.34	3.72	16.2
233.78	327.20	4.75	1.98	5.81	14.5
265.03	401.35	6.11	2.75	4.00	16.1
192.86	306.13	6.24	2.36	4.74	14.5
293.74	348.86	5.54	1.64	7.06	13.7
233.38	311.74	4.99	1.57	4.93	14.5
316.91	462.12	10.75	3.21	3.29	14.3
306.17	388.92	6.82	1.61	3.36	14.4
288.63	337.34	8.82	1.61	2.67	14.6
262.52	332.08	8.28	1.87	6.16	13.7

207.42	332.66	7.84	2.88	4.37	14.3
299.57	404.93	5.61	2.13	9.38	12.3
265.87	324.60	2.87	1.54	10.72	13.4
216.65	268.01	3.81	1.84	1.78	13.3
275.65	402.99	8.24	2.65	5.90	12.4
229.41	384.62	10.64	3.14	9.74	12.1
212.43	269.71	6.44	1.64	5.21	14.3
207.93	292.25	6.87	1.84	8.06	13.5
233.24	278.52	5.89	1.21	5.35	12.8
280.90	435.13	9.51	3.64	8.12	13.6
197.31	339.52	7.23	3.11	4.22	16.3
283.43	345.75	6.86	1.52	3.48	14.6
251.62	359.30	3.54	1.85	4.32	12.7
211.63	316.50	6.12	2.36	2.01	13.3
316.27	446.05	10.98	3.25	5.58	15.3
239.25	285.49	5.20	1.84	11.76	12.6
293.51	404.83	8.12	2.54	4.45	12.1
230.44	300.02	7.65	1.54	8.28	12.5
189.67	287.49	6.43	1.62	2.40	14.5
305.49	386.78	6.14	2.27	3.75	15.2
292.80	425.17	8.65	2.65	6.78	12.4
248.54	316.38	3.26	1.98	2.47	14.3
241.14	348.90	6.58	2.24	7.24	12.6
261.19	310.50	7.59	1.35	3.96	12.4
288.33	392.54	8.87	1.64	8.02	12.7
242.28	404.41	10.54	3.46	4.91	12.4
232.52	311.70	4.98	1.84	5.91	14.4
233.42	328.29	7.45	2.11	10.48	14.3
232.21	315.80	6.21	2.12	7.93	14.6
237.78	307.50	4.11	1.54	5.26	12.4
245.12	347.43	7.65	1.74	2.40	14.4
228.26	306.47	4.51	1.73	5.13	12.7
247.43	298.86	4.81	1.64	6.03	14.4
258.34	306.52	4.98	1.64	7.45	14.8

SILT %	**SAND %**	**CLAY %**	**Bulk Density g/cm^3**	**ORGANIC_P mg/Kg**
33	39	28		133.65
22	32	46		107.52
17	54	29	1.27	132.67
20	25	55		93.65
25	30	45		66.73
33	43	24		115.52
20	25	55		94.87
21	27	52	1.19	53.47

23	28	49		162.34
17	52	31		113.87
20	30	50	1.17	58.92
22	27	51		57.82
34	42	24		91.43
33	50	17		112.03
24	25	51	1.12	72.23
35	41	24		69.58
27	32	41	1.15	107.95
21	30	49		63.21
24	38	38		59.61
30	35	35		122.47
22	32	46	1.22	65.18
35	49	16		110.38
20	35	45	1.12	127.42
19	30	51		65.31
23	29	48		72.67
18	26	56	1.13	53.27
33	40	27		152.13
34	38	28		58.51
17	24	59	1.21	75.43
21	31	48		87.67
19	52	29		119.54
33	50	17		121.53
21	37	42		73.14
22	37	41		69.34
32	45	23	1.24	87.51
35	48	17		122.34
29	36	35		52.73
33	40	27	1.10	127.24
34	39	27		113.21
17	30	53	1.13	137.43
22	33	45		83.43
21	50	29		95.32
19	29	52	1.20	87.32
33	39	28		114.52
23	48	29		58.24
31	42	27	1.20	63.72
29	32	39		106.78
36	50	14		86.31
25	29	46		60.25
22	49	29	1.16	124.16
22	26	52		67.82
18	23	59		61.25
22	52	26		113.31
28	39	33		87.20

24	26	50		56.78
32	41	27		119.83
25	33	42		71.32
22	53	25		94.12
34	48	18	1.26	94.21
20	48	32		49.42
22	51	27	1.23	82.75
33	38	29		116.51
24	24	52	1.12	75.49
21	49	30		107.14
37	47	16		93.25
20	28	52	1.17	63.57
32	34	34		93.54
33	50	17		131.88
32	48	20		98.84
29	35	36	1.16	49.54
35	38	27		105.26
19	27	54		78.13
32	40	28		102.32
30	34	36		103.54
33	40	27	1.21	48.82
34	39	27		105.53
23	47	30		83.51
21	29	50		119.42
20	35	45		68.11
21	34	45		52.17
22	49	29	1.28	74.29
29	33	38		83.67
23	37	40		65.37
19	52	29		87.89
36	38	26	1.17	123.54
20	51	29		114.45
23	29	48		84.22
31	34	35		96.70
22	50	28	1.27	107.64
29	31	40		118.43
21	53	26		49.57
24	49	27		76.13
24	28	48		81.45
30	33	37	1.15	43.54
28	32	40		169.13
34	48	18		112.42
29	34	37		73.15
22	25	53	1.10	91.42
15	54	31		96.87
17	50	33	1.24	97.88

22	30	48		98.41
33	50	17		87.14
21	24	55	1.09	74.54
19	49	32		65.31
21	25	54		62.26
19	26	55	1.13	58.61
22	28	50		117.32
29	34	37		142.78
33	40	27		93.42
30	33	37	1.07	136.32
35	47	18		113.27
36	48	16		55.12
22	29	49		78.36
21	32	47		145.21
19	30	51		82.75
20	31	49		48.71
31	35	34	1.19	69.56
22	35	43		125.24
22	52	26		105.36
21	35	44	1.15	58.73
24	50	26		51.36
22	36	42		127.34
21	35	44		155.21
33	35	32		57.28
31	36	33		84.32
23	49	28	1.26	45.28
29	33	38		154.23
19	51	30		142.21
20	31	49	1.18	62.32
31	42	27		107.68
31	42	27		104.87
24	31	45		129.78
18	48	34		46.24
35	45	20		111.32
23	36	41	1.19	69.58
24	27	49		97.82
28	38	34		81.29
19	32	49		132.37
31	35	34		67.84
24	48	28	1.20	107.76
20	30	50		49.31
22	34	44		104.21
21	33	46	1.10	162.13
31	45	24		79.18
32	50	18		94.87
33	37	30	1.15	83.59

22	27	51		69.72
22	46	32		102.31
23	28	49		78.21
34	37	29	1.23	51.43
21	29	50	1.22	48.18

جدول 45. التحاليل الكيميائية لعينات التربة (الشهر الرابع لعام 2018)

OLSEN_P mg/Kg	INORGANIC_P mg/Kg	ORGANIC_P mg/Kg	Y	X
8.15	258.67	78.54	34.739720	35.966230
10.26	298.67	68.29	34.721530	35.976270
5.23	216.57	91.85	34.724381	36.077455
8.76	281.53	91.26	34.689180	35.971041
7.68	281.75	58.69	34.674137	35.990762
6.72	209.57	55.34	34.741729	36.114173
10.75	317.74	93.54	34.690538	36.032995
8.68	272.74	71.56	34.706763	36.038144
6.86	203.85	81.65	34.741280	36.084100
9.24	294.35	78.42	34.758283	35.999954
7.14	263.27	87.23	34.780801	36.027482
8.94	291.34	75.38	34.761510	36.007750
6.64	237.42	103.56	34.766796	36.037188
7.65	251.38	54.18	34.732570	36.001870
6.19	223.61	58.92	34.803990	36.077876
7.38	244.84	63.13	34.768308	36.094245
11.18	321.83	137.42	34.750433	35.985319
8.47	227.51	131.45	34.701325	36.013256
7.84	287.26	74.29	34.748330	36.010460
6.72	238.62	68.34	34.803625	36.089151
9.46	298.28	126.34	34.737150	35.978810
9.76	302.25	85.56	34.709337	36.069846
7.38	268.64	65.28	34.773400	36.119230