

استنباط نماذج التقدير الطيفية الحقلية لرسم خريطة المادة العضوية من بيانات الصور الفضائية في سهل يحمور وميعار/طرطوس

وسيم المسبر*

الملخص

تم في هذا البحث تحديد البصمة الطيفية ضمن المدى الموجي (2500-350) نانومتر لترب من منطقة سهل يحمور وميعار في طرطوس. كما تم تقدير كمية المادة العضوية (OM) في منطقة الدراسة اعتماداً على أفضل نموذج ضمن كل من اتجاهات التقدير التالية:

[1] قيم الانعكاس عند أفضل الأطوال الموجي ارتباطاً (λ 568 نانومتر) وفق العلاقة الأسية: $[OM = 141.62e^{-31.23\lambda^{568}}]$.

[2] قيم الانعكاس عند القناة الثالثة (B3) وفق العلاقة الأسية: $[OM = 130.62e^{-30.61B3}]$.

[3] القيم الطيفية لنسبة القناتين (B8/B6) وفق علاقة اللوغاريتم العشري: $[OM = 0.0332 * \text{Log}(B8/B6) + 0.02629]$.

[4] القيم الطيفية لدليل التباين للقناتين $[(B8-B6)/(B8+B6)]$ وفق علاقة اللوغاريتم العشري التالية: $[OM = 0.0301 * \text{Log}(\frac{B8-B6}{B8+B6}) - 0.79915]$.

بلغت قيم معامل التحديد لنماذج الأطوال الموجية، القنوات الطيفية، نسب القنوات الطيفية والتحويلات الرياضية وفق دليل التباين ما يلي: 0.771، 0.693، 0.487 و 0.53، على التوالي. بلغت دقة تقدير نسبة المادة العضوية المقدر من الصورة الفضائية الى الفعلية 82% على مستوى الحقل مباشرة. تم رسم خريطة توزع المادة

* مدرس في قسم علوم التربة، كلية الزراعة، جامعة دمشق.

العضوية بتطبيق أفضل تلك النماذج الطيفية المختبرة حقليا على بيانات الصور الفضائية (sentinel-2) لمنطقة سهل يحمور وميعار في طرطوس.

الكلمات المفتاحية: البصمة الطيفية، مادة عضوية، صور فضائية، sentinel-2.

Formulating the field spectral estimation models for mapping organic matter by space images in Yahmor and Miaar plane/Tartous

Wassem Mesper*

Abstract

In this study, spectral signature during wavelength range (350-2500nm) of soils in Yahmor and Miaar plane/Tartous were determined. Organic matter in that area were estimated depending on the best spectral model during each category by: 1" reflectance value at wavelength (λ 568nm) using exponential equation [OM= $141.62e^{-31.23\lambda^{568}}$]. 2" band (B3) using exponential equation [OM= $130.62e^{-30.61B^3}$]. 3" ratio bands (B8/B6) using logarithmic equation [OM= $0.0332*\text{Log}(B8/B6) + 0.02629$]. 4" normalized bands $(B8-B6)/(B8+B6)$ using logarithmic equation [OM= $0.0301*\text{Log}(\frac{B8-B6}{B8+B6}) - 0.79915$]. Determination coefficient for models of: wavelength, bands, ratio bands and normalized bands were 0.693, 0.771, 0.487 and 0.53, respectively. Accuracy estimation of OM by image opposite actual reach 82% at field level. OM distribution map using Sentinel-2 image depending on the best field spectral model were mapping for Yahmor and Miaar plane/Tartous.

Keywords: Spectral signature, organic matter, space image, Sentinel-2.

*Dep. Soil Sci., Fac. Agric., Damascus Univ.

المقدمة

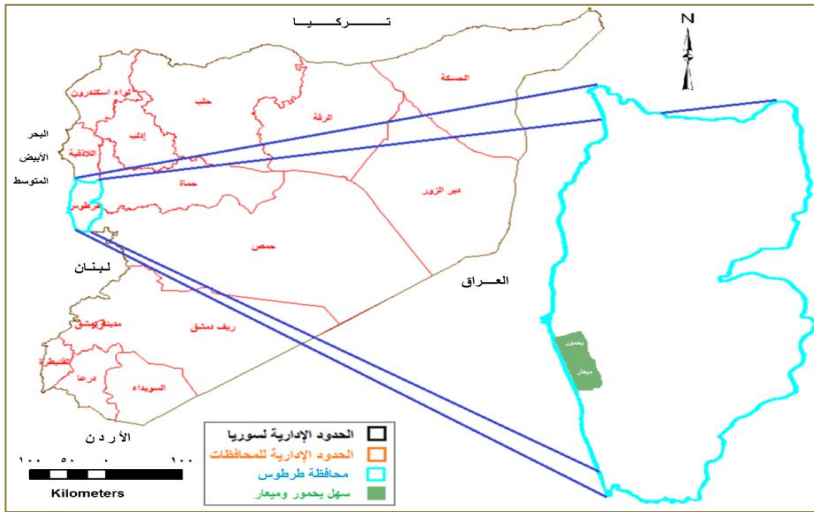
تعد المادة العضوية مؤشراً بالغ الأهمية لقدرة التربة على حفظ الماء ونفاذيتها وخصوبتها وكذلك لقابليتها للانجراف. يمكن أن يوفر رصد انعكاسية التربة معلومات عن عديد من خصائصها (Irons وزملاءه، 1989)، مثل: المحتوى المعدني، والمادة العضوية، والمحتوى الرطوبي، وحجم لجسيمات، ونسبة أكسيد الحديد، واللونو محتواها من الاملاح الذوابة (Bowers و Hanks، 1965). ذكر (Udelhoven وزملاءه 2003) أن خواص التربة ليست ثابتة ولا متجانسة في المكان والزمان، وأن تكلفة اجراء التحاليل غالبا ما تكون عاملاً محددًا عندما يتعلق الموضوع بدراسة خواص التربة المتغيرة لمساحات واسعة. دُرست الخصائص الطيفية لعديد من أنواع الترب مختلفة المحتوى من المادة العضوية في عديد من دول العالم. وجد Palacios و Ustin (1998) أن توفر المادة العضوية في التربة يؤدي إلى خفض الانعكاسية الطيفية بشكل عام. قام Barnes وزملاءه، (2003) و Jensen (2007) بدراسة الانعكاسية لتربة رملية وغيرها مع محتواها من المادة العضوية بنسب مختلفة فوجدوا أن الأطوال الموجية التي لها علاقة قوية مع المواد العضوية هي ما بين (0.425-0.695) ميكرومتر. بينما قد بينت (Consulting 1996, Limiting Liability Company) أن هناك (16) قناة هي الأكثر ارتباطاً بمحتوى التربة من المادة العضوية وهي (-1.39-1.62-1.64-1.66-1.69-1.7-1.75-2.28-2.32-0.52-0.59-0.85-0.87-0.9-1.2-1.38) ميكرومتر.

قام عليوي (2016) باستنباط وتطبيق عدة نماذج طيفية لتقدير التركيب الميكانيكي ومحتوى أكاسيد الحديد والمادة العضوية في ترب الحوض الأدنى لنهر الأبرش باستخدام الدراسات الطيفية الحقلية والصور الفضائية (RapidEye). يعتبر استنباط واختيار النماذج التقديرية من أهم مراحل دقة العمل عند خروجه المنمذج من المرحلة البحثية التجريبية الى التطبيقية وخاصة على مساحات واسعة.

يهدف هذا البحث الى استنباط نماذج طيفية لتقدير كمية المادة العضوية من بيانات طيفية حقلية بثلاث اتجاهات مقارنة هي: قيم الانعكاس الطيفي وفق كل طول موجي، وفق قنوات طيفية ووفق أدلة طيفية وذلك لاختيار الأنسب فيما بينها في علاقته بكمية المادة العضوية المقدرة؛ ثم تطبيق أفضل تلك النماذج الطيفية المختبرة حقليا على بيانات الصور الفضائية لرسم خريطة توزع المادة العضوية في منطقة سهل يحمور وميعار في محافظة طرطوس.

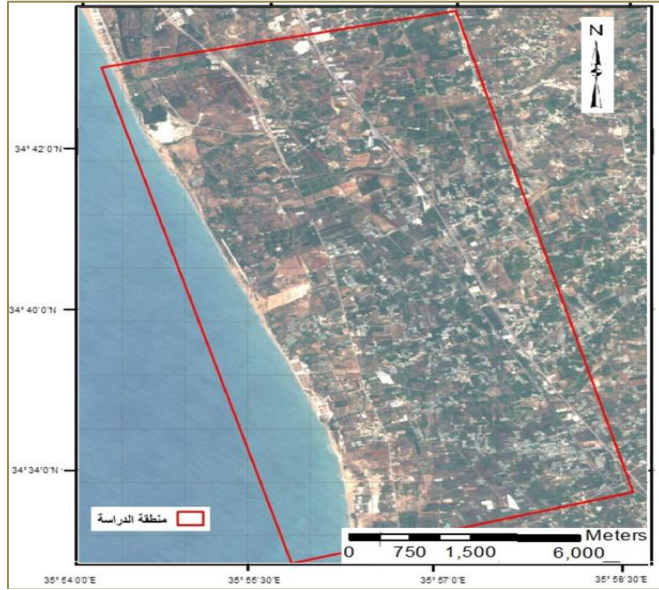
مواد البحث وطرائقه

1- منطقة الدراسة: تقع منطقة الدراسة في محافظة طرطوس جنوب مدينتها بعدة كيلومترات لتشمل سهل منطقتي يحمور وميعار (الشكل 1)، والتي تعتبر منطقة زراعية بامتياز حيث تنتشر الزراعات المحصولية الصيفية والشتوية وكذلك الأشجار المثمرة والزراعات المحمية.



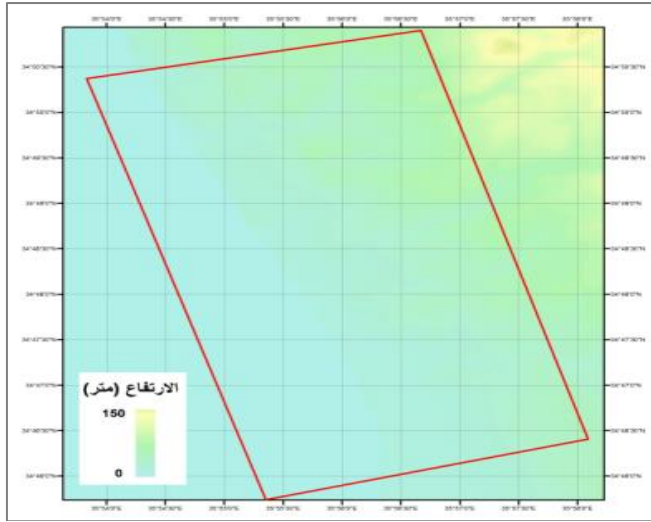
الشكل (1) سهل يحمور وميعار في طرطوس من سوريا

بينما يبين الشكل (2) موقع منطقة الدراسة على الصورة الفضائية بمساحة تشمل 10*5 كيلومتر محاذية لساحل البحر.



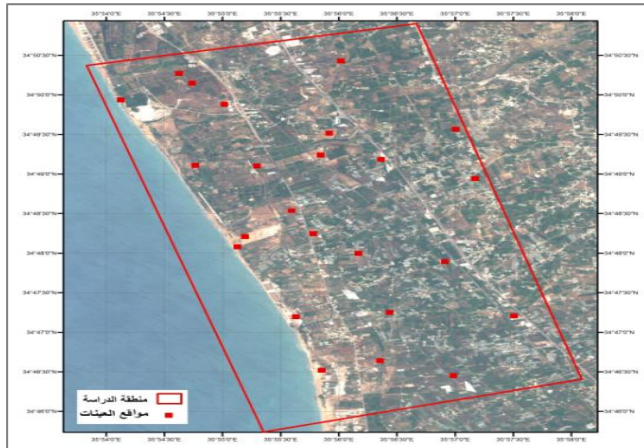
الشكل (2) موقع منطقة الدراسة على الصورة الفضائية

تقع منطقة الدراسة على السفح الغربي للجبال الساحلية المنحدرة نحو الغرب حيث يتراوح ارتفاعها من مستوى سطح البحر إلى حوالي 100م (الشكل 3)، والتي تقع ضمن منطقة الاستقرار المطري الأولى (بمعدل مطري يتجاوز 600 ملم سنوياً) حسب تصنيف مناطق استقرار أراضي الجمهورية العربية السورية.



الشكل (3) خريطة الارتفاع الرقمي لمنطقة الدراسة

2- تحديد مواقع العينات: تم تحديد مواقع عينات التربة (27) وفق إحداثياتها الجغرافية باستخدام جهاز تحديد الموقع الشامل (GPS) نوع Garmin Etrex الموزعة على كامل منطقة الدراسة (الشكل 4).



الشكل (4) مواقع عينات التربة في منطقة الدراسة

3- البيانات الطيفية

3-1- القياسات الطيفية الحقلية

تم تسجيل بيانات الانعكاس الطيفياً بطول موجية من 350-2500 نانومتر وبفاصل طيفي 1 نانومتر لترتب مواقع الدراسة باستخدام جهاز قياس الطيف الحقلية سبيكتروراديو متر FieldSpec®Pro.

تم حساب قيم الانعكاس الطيفي من بيانات الطيف المسجلة عند 2150 نانومتر حقلياً وفق قنوات طيفية تماثل تلك المستخدمة في صورة التابع الصناعي ذات الـ 13 قناة طيفية بعرض قنوات مختلفة حسب الطبيعة الموجية والتي تتراوح بين 20 و 180 نانومتر، وفق مراكز القنوات التالية (الجدول 1):

الجدول (1) بيانات القنوات الطيفية المستخدمة

رمز القناة	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
مركز القناة (نانومتر)	443	490	560	665	705	740	783	842	865	940	1610	1380	2190
عرض القناة (نانومتر)	20	65	35	30	15	15	20	115	20	20	30	90	180

ثم تم حساب بعض الأدلة الطيفية وفق نسب القنوات الطيفية السابقة، مثال: B6/B8.

كما تم حساب بعض الأدلة الطيفية وفق تحويلات رياضية تمت على القنوات الطيفية السابقة وفق دليل التباين الطبيعي، مثال: $(B2+B3)/(B2-B3)$.

3-2- بيانات الصور الفضائية

تم استخدام صورة فضائية ملتقطة (بتاريخ 2017/8/9) من قبل التابع الصناعي sentinel-2 التابع لوكالة الفضاء الأوروبية (ESA)، والذي يؤمن صور فضائية ذات تكرارية زمنية عالية وبدقة تمييز طيفي ومكاني عالي ومتعدد، حيث تتركب الصور الفضائية الملتقطة من 13 مجال طيفي، هي (حسب وكالة الفضاء الأوروبية):

- أربع مجالات طيفية (بدقة مكانية 10م) هي: الأزرق (490 نانومتر)، والأخضر (560 نانومتر)، والأحمر (665 نانومتر)، وتحت الأحمر القريب (842 نانومتر).
- ستة مجالات طيفية (بدقة مكانية 20م) هي: 4 مجالات طيفية ضيقة في المجال الطيفي الأحمر (705 نانومتر، 740 نانومتر، 783 نانومتر، 865 نانومتر)، ومجالان طيفيان في المجال تحت الأحمر القصير (SWIR) (1610 نانومتر، 2190 نانومتر).
- ثلاثة مجالات طيفية (بدقة مكانية 60م) لدراسة تصحيح الغلاف الجوي هي: (443 نانومتر، 940 نانومتر و 1380 نانومتر).

كما تم استخدام صور فضائية 3D نوع SRTM (بدقة 30 متر) لتوليد خريطة الارتفاعات الرقمية. بالإضافة الى شرائح الحدود الإدارية للمحافظات والمناطق السورية.

4- البيانات الحقلية:

جمع العينات: تم جمع عينات التربة للتحاليل المخبرية بطريقة الحفر الصغيرة من مواقعها المحددة جغرافياً والتي تمثل جميع أنواع التربة الممكن وجودها في منطقة الدراسة. التحاليل المخبرية: تم تقدير المادة العضوية في التربة عن طريق اكسدة الكربون العضوي باستخدام مادة ديكرومات البوتاسيوم في وسط شديد الحموضة (الشاطر وزملاءه، 2010).

5- البرمجيات المستخدمة: تم خلال تنفيذ البحث استخدام عديد من البرمجيات هي: برمجيات تسجيل ومعالجة القراءات الطيفية (ViewSpecPro, RS³), برنامج معالجة الصور الفضائية 9.2 ERDAS EMAGINE, برنامج نظام معلومات جغرافي 9.3 ARC GIS, برامج التحليل الاحصائي (SPSS 16), برنامج Excel 2010.

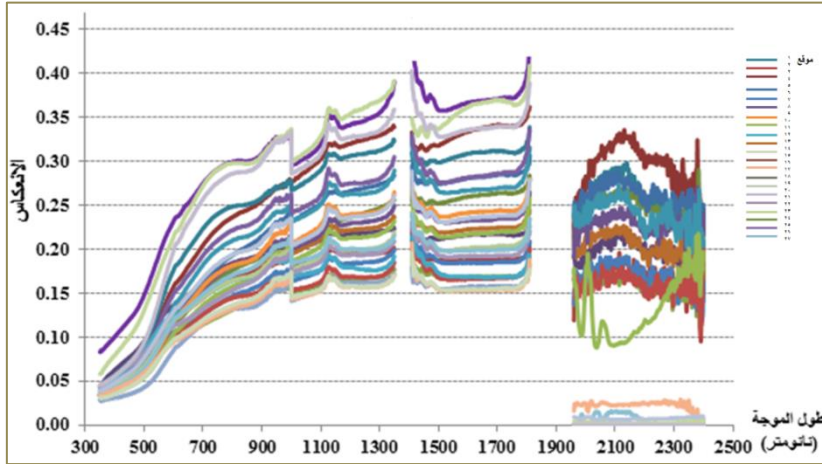
النتائج والمناقشة

تم تحليل واختبار بيانات الانعكاس الطيفي بثلاث اتجاهات مقارنة مع قيم تحليل المادة العضوية وهي: قيم الانعكاس الطيفي، قنوات طيفية وأدلة طيفية ذات نسب مباشرة وأخرى بتحويلات رياضية، وذلك لاختيار الأنسب فيما بينها في علاقته بكمية المادة العضوية المقدر لإدخاله كنموذج تقديري على بيانات الصورة الفضائية تُمكن من رسم خريطة المادة العضوية لمنطقة الدراسة.

1- إعداد النماذج الطيفية الحقلية لتقدير المادة العضوية

1-1- البصمة الطيفية لعينات التربة

يبين الشكل (5) قيم الانعكاس الطيفي عند كل 1 نانومتر ضمن المدى الموجي (2500-350) نانومتر المسجلة للتربة المدروسة وفق ما يسمى البصمة الطيفية لكل تربة. توضح بيانات التغيرات الطيفية فيما بين التربة المدروسة وجود وحدات فيزيوغرافية وترب مختلفة فيما بينها بالصفات الفيزيائية والكيميائية.

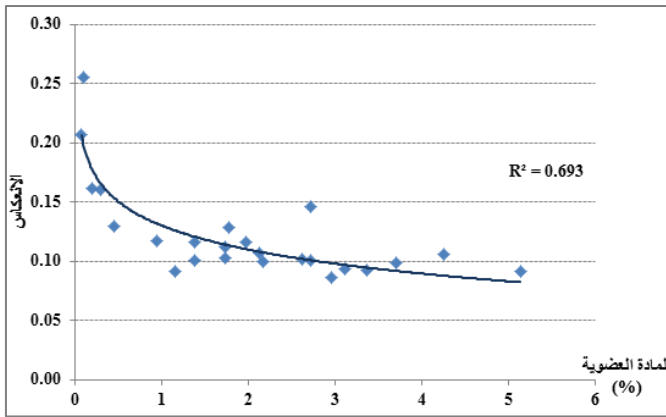


الشكل (5) البصمة الطيفية للتربة المدروسة

2-1- علاقة المادة العضوية بمؤشرات الانعكاس الطيفي

أ- وفق الطول الموجي

تحقق أعلى ارتباط عند عدة أطوال موجية (λ) أهمها (565، 566، 567، 568، 569، 570، 571، 572، 573، 574، 575، 576 و 577 نانومتر) بقيم ارتباط تراوحت بين -0.595 الى -0.598 لإحصائية معنوية مستوى 1% بين كمية المادة العضوية (OM) وانعكاس تلك الأطوال الموجية. حيث يمثلها الطول الموجي (568 نانومتر) بقيمة ارتباط بلغت -0.598؛ وبالتالي تم تقدير كمية المادة العضوية اعتماداً على القيم الانعكاس عند الطول الموجي (568 نانومتر) وفق النموذج الرياضي الممثل بالعلاقة الأسية التالية: $[OM = 141.62e^{-31.23\lambda 568}]$ وفق معامل تحديد قدره (0.693)، كما يمثله الشكل (6).



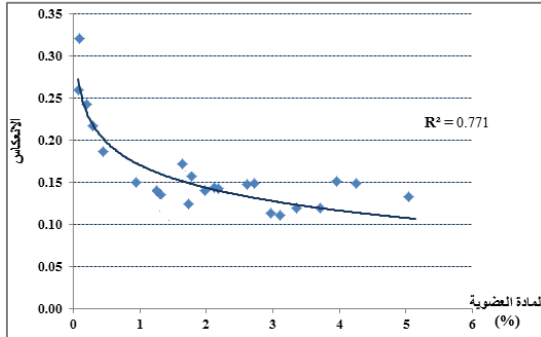
الشكل (6) نسبة المادة العضوية مقابل قيم الانعكاس

عند الطول الموجي (568 نانومتر)

ب- وفق القنوات الطيفية

تحققت أعلى قيمة للارتباط القنوات (-0.592) بين كمية المادة العضوية (OM) وانعكاس القنوات الطيفية عند نسبة القناة الثالثة (B3) وفق مستوى ثقة (0.01)؛ وبالتالي

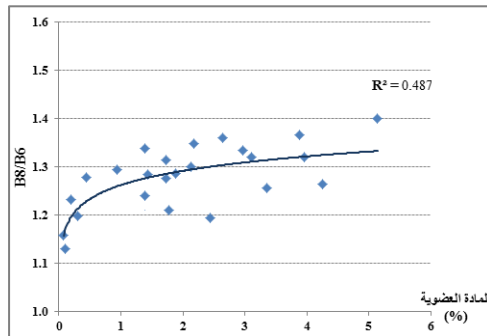
تم تقدير كمية المادة العضوية اعتماداً على القيم الانعكاس عند القناة الثالثة (B3) وفق النموذج الرياضي الممثل بالعلاقة الأسية التالية: $[OM = 130.62e^{-30.61B3}]$ وفق معامل تحديد قدره (0.771)، كما يمثله الشكل (7).



الشكل (7) نسبة المادة العضوية مقابل قيم الانعكاس في المجال (B3)

ت - وفق نسب القنوات الطيفية

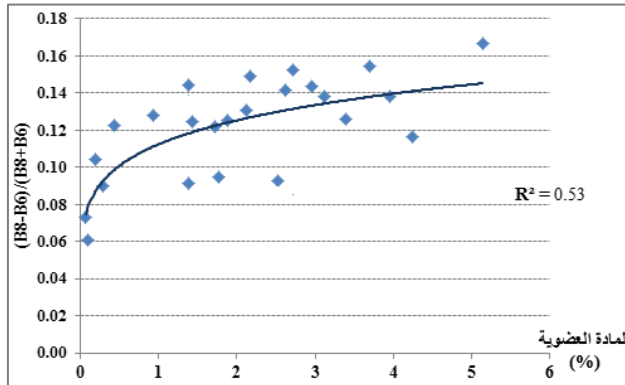
تحققت أعلى قيمة ارتباط (0.614) بين كمية المادة العضوية (OM) ونسب القنوات الطيفية عند نسبة القناتين (B8/B6) وفق مستوى ثقة (0.01)؛ وبالتالي تم تقدير كمية المادة العضوية اعتماداً على القيم الطيفية لنسبة القناتين (B8/B6) وفق النموذج الرياضي الممثل بعلاقة اللوغاريتم العشري التالية: $[OM = 0.0332 * \text{Log}(B8/B6) + 0.02629]$ وفق معامل تحديد قدره (0.487)، كما يمثله الشكل (8).



الشكل (8) نسبة المادة العضوية مقابل قيم انعكاس نسبة القناتين (B8/B6)

ث - وفق تحويلات رياضية

تحققت أعلى قيمة ارتباط (0.611) بين كمية المادة العضوية (OM) ودليل التباين اللقناتين $[(B8-B6)/(B8+B6)]$ عن بقية القنوات وفق مستوى ثقة (0.01)؛ وبالتالي تم تقدير كمية المادة العضوية اعتماداً على القيم الطيفية لهذا الدليل وفق النموذج الرياضي الممثل بعلاقة اللوغاريتم العشري التالية: $OM = 0.0301 * \text{Log}(\frac{B8-B6}{B8+B6}) - 0.79915$ وفق معامل تحديد قدره (0.53)، كما يمثله الشكل (9).

الشكل (9) نسبة المادة العضوية مقابل قيم انعكاس الدليل $[(B8-B6)/(B8+B6)]$

وعند مقارنة دراسة تقدير نسبة تواجد المادة العضوية في عينات التربة المدروسة وفق قيم الانعكاس الطيفي باستخدام أساليب كل من: الأطوال الموجية و/أو القنوات الطيفية و/أو نسب القنوات الطيفية و/أو التحويلات الرياضية وفق دليل التباين؛ فإنه يفضل استخدام القنوات الطيفية عن بقية المؤشرات الأخرى المدروسة لارتفاع قيمة معامل التحديد لها عن بقية نماذج التقدير. حيث بلغت قيم معامل التحديد (0.693)، (0.771، 0.487 و 0.53) لمؤشرات التقدير المدروسة التالية: الأطوال الموجية، القنوات الطيفية، نسب القنوات الطيفية والتحويلات الرياضية، على التوالي. وبالتالي سيتم تطبيق النموذج الرياضي لتقدير المادة العضوية من بيانات قيم انعكاس القناة الطيفية الثالثة

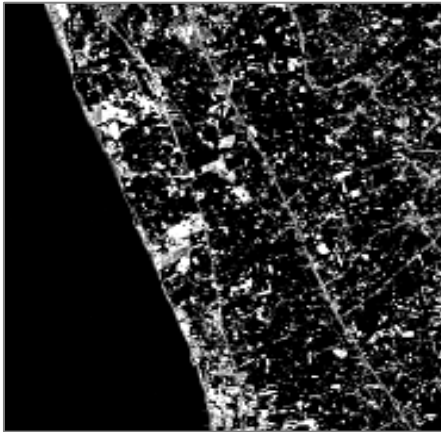
على بيانات الصور الفضائية (S-2) لرسم خريطة المادة العضوية لمنطقة إعداد نماذج التقدير الطيفي.

2- تطبيق نموذج التقدير الطيفي لرسم خريطة المادة العضوية من الصور الفضائية

2-1- معالجة الصور الفضائية/إزالة تأثير الغطاء النباتي والسماط العمرانية

تم استخدام برنامج معالجة الصور الفضائية (ERDAS) في تحليل ومعالجة الصورة الفضائية وتطبيق نموذج التقدير الطيفي بهدف رسم خريطة المادة العضوية لمنطقة الدراسة.

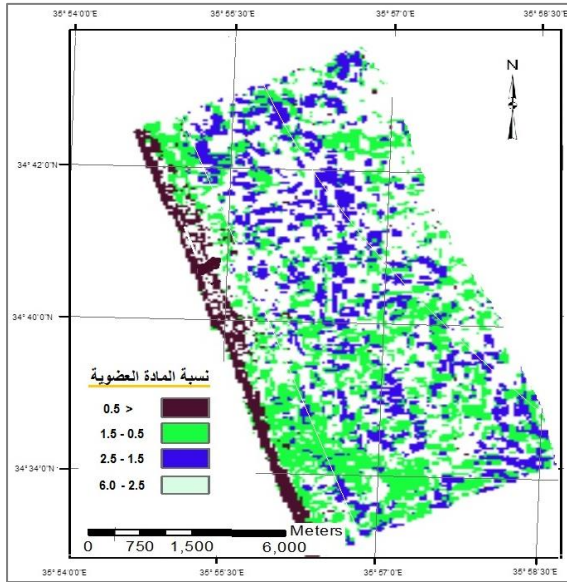
تم إزالة تأثير الغطاء النباتي بالاعتماد على قرينة الغطاء النباتي (NDVI) للصورة الفضائية وخط التربة الأساس لاستخلاص المناطق غير المغطاة بالغطاء النباتي، ثم إزالة تأثير السماط العمرانية عنها عن طريق استخدام قيم نماذج الأدلة الطيفية لتلك السماط حسب إبراهيم (2015)، بحيث يعبر مشهد الانعكاس الناتج للصورة الفضائية عن انعكاسية الترب الجرداء في الصورة الفضائية (الشكل 10) لتكون بذلك جاهزة لتطبيق النموذج المستنبط.



الشكل (10) مشهد الانعكاس للصورة الفضائية الناتج عن الترب الجرداء

2-2- رسم خريطة المادة العضوية بتطبيق نموذج التقدير الطيفي

تم تطبيق النموذج الرياضي لتقدير المادة العضوية (OM) من بيانات قيم انعكاس القناة الطيفية الثالثة (B3) المستنبط طيفياً من المرحلة التحليلية الحقلية [OM = $130.62e^{-30.61B3}$] على بيانات الصورة الفضائية المجهزة والناجمة عن معالجة المرحلة السابقة من إزالة كافة السمات عدا التربة. وبذلك تنتج خريطة المادة العضوية لمنطقة إعداد نماذج التقدير الطيفي والموضحة في الشكل (11). يبين الشكل (11) خريطة توزيع نسبة المادة العضوية ضمن أربع فئات تصنيفية في سهل يحمور وميعار في طرطوس، حيث تتوضع التربة التي تحوي مادة عضوية أقل من 0.5% على الشريط الساحلي الذي تغلبه التربة الرملية، بينما تسود تربة المنطقة تراكيز المادة العضوية التي تتراوح بين 0.5-2.5%.



الشكل (11) خريطة انتشار نسبة المادة العضوية في سهل يحمور وميعار في طرطوس

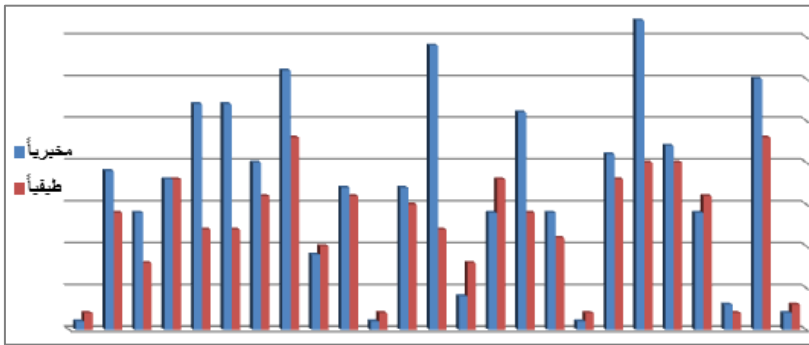
3- اختبار دقة تقدير النموذج الطيفي في رسم خريطة المادة

العضوية

يوضح الشكل (12) نسبة المادة العضوية المقدره طيفياً مقابل المخبري في منطقة الدراسة لعدد من الحقول الاختبارية. بينما يوضح الجدول (2) نتائج التحليل الإحصائي لاختبار دقة تقدير نسبة المادة العضوية من بيانات الصور الفضائية مقابل بيانات التحليل المخبري. حيث بلغ متوسط نسبة المادة العضوية في حقول الاعتيان 1.911% مقابل 1.243% المقدر من الصور الفضائية لنفس تلك الحقول بانحراف معياري قدره 1.292 و 0.732 على التوالي. وبدقة تقدير نسبة مادة عضوية مقدره الى فعليه 82% بالنسبة على مستوى الحقل مباشرة، بينما عندما تحسب كمتوسط خطأ على مستوى جميع حقول المنطقة (أي متوسط المنطقة ككل) فترتفع الى حوالي 90%.

$$\text{معادلة تقدير الدقة: } \text{acc} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i - L_i}{L_i} \right) * 100$$

حيث: دقة (acc) تقدير المادة العضوية المقدره فضائياً (Si) والمقدره مخبرياً (Li) للحقل (i) ولجميع الحقول (n).



الشكل (12) نسبة المادة العضوية المقدره مخبرياً وطيفياً

الجدول (2) التحليل الإحصائي لاختبار دقة تقدير
نسبة المادة العضوية من الصور الفضائية مقابل الحقل

دقة المقدر الى الفعلي %	المادة العضوية (%)		الرقم
	فضائياً	حقلياً	
82	1.243	1.911	المتوسط
	0.732	1.292	الانحراف القياسي

الخلاصة

تم في هذا البحث ما يلي:

1. تحديد البصمة الطيفية ضمن المدى الموجي (350-2500) نانومتر لترترب من منطقة سهل يحمور وميعار في طرطوس.
2. تم تقدير كمية المادة العضوية في منطقة الدراسة اعتماداً على كل من:
 - قيم الانعكاس عند أفضل الأطوال الموجي ارتباطاً (568 نانومتر) وفق النموذج الرياضي الممثل بالعلاقة الأسية التالية: $[OM = 141.62e^{-31.23\lambda^{568}}$.
 - قيم الانعكاس عند القناة الثالثة (B3) وفق النموذج الرياضي الممثل بالعلاقة الأسية التالية: $[OM = 130.62e^{-30.61B^3}]$.
 - القيم الطيفية لنسبة القنوات القناتين (B8/B6) وفق النموذج الرياضي الممثل بعلاقة اللوغاريتم العشري التالية: $[OM = 0.0332 * \text{Log}(B8/B6) + 0.02629]$.
 - القيم الطيفية لدليل التباين للقناتين $[(B8-B6)/(B8+B6)]$ وفق النموذج الرياضي الممثل بعلاقة اللوغاريتم العشري التالية: $[OM = 0.0301 * \text{Log}(\frac{B8-B6}{B8+B6}) - 0.79915]$.
3. يفضل استخدام نموذج القنوات الطيفية عن بقية النماذج الأخرى المدروسة [الأطوال الموجية، نسب القنوات الطيفية و التحويلات الرياضية وفق دليل التباين] لارتفاع قيمة

- معامل التحديد لها (0.771) عن بقية نماذج التقدير، البالغة (0.693، 0.487 و 0.53)، على التوالي.
4. بلغت دقة تقدير نسبة مادة عضوية مقدرة الى فعلية 82% على مستوى الحقل مباشرة، بمتوسط نسبة المادة العضوية في حقول الاعتيان 1.911% مقابل 1.243% المقدر من الصور الفضائية لنفس تلك الحقول بانحراف قياسي قدره 1.292 و 0.732 على التوالي.
5. بينما بلغ متوسط الدقة على مستوى جميع حقول المنطقة (أي متوسط المنطقة ككل) حوالي 90%.
6. تم رسم خريطة توزع المادة العضوية في منطقة سهل يحمور وميعار في طرطوس بتطبيق أفضل تلك النماذج الطيفية المختبرة حقليا [OM= $130.62e^{-30.61B^3}$] على بيانات الصور الفضائية.

المراجع

- إبراهيم، ناصر طراف. (2015) تقنية الصور الفضائية فائقة الدقة الطيفية في كشف ورسم حدود وكمية السمات الأرضية. المؤتمر الهندسي الأول - اللاذقية - 16/ - 2015/8 /18.
- الشاطر، محمد سعيد. البلخي، اكرم. الكبرا، ميساء. 2010. خصوبة التربة والتسميد. منشورات جامعة دمشق.
- عليوي، عدنان. (2016). معالجة صور فضائية لرصد اكاسيد الحديد والتركيب الميكانيكي في ترب من الحوض الادنى لنهر الابرش. رسالة ماجستير. كلية الزراعة، جامعة دمشق.
- Barnes, E., K. Sudduth, J. Hummel, S. Lesch, D. Corwin, C. Yang, C. Daughtry and W. Bausch. 2003. Remote- and Ground-based Sensor Technologies to Map Soil Properties, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 69(6): 619-630.
- Bowers, S.A. and R.J. Hanks. 1965. Reflection of radiant energy from soils. Soil Sci. 190:130-138.
- Consulting Limiting Liability Company. 1996. User's Manual of ENVI: Software Satellite images processing. Colorado, USA.
- Irons, J.R., R.A. Weismiller and G.W. Petersen. 1989. Soil reflectance. In G. Asrar (ed.). Theory and Applications of Optical Remote Sensing. Wiley Series of Remote Sens., J. Wiley and Sons, New York, NY.
- Jensen, R.J. 2007. Remote Sensing of Soil, Minerals and Geomorphology. Department of Geology, University of Puerto Rico at Mayagues.
- Palacios O. A. and S. Ustin. 1998. Remote Sensing of Soil Properties in the Santa Monica Mountains I, Remote Sensing the Environment, 65: 170-183.
- Udelhoven, T., Emmerling, C. and T. Jarmer. 2003. Quantitative analysis of soil chemical properties with diffuse reflectance spectrometry and partial least square regression: A feasibility study, Plant and soil, 251: 319-329.