

## استجابة بعض الأدلة الطيفية الخضريّة عريضة وضيقة الحزمة لمحصول القمح تحت تأثير عاملي الري والتسميد الآزوتي

إياد الخالد\*<sup>(1)</sup> ويوسف نمر<sup>(2)</sup> وإيمان الحمير<sup>(3)</sup>

- (1). الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، دمشق، سورية.
  - (2). قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق، دمشق، سورية.
  - (3). مديرية التخطيط والتعاون الدولي، وزارة الزراعة، دمشق، سورية.
- \*للمراسلة: د. إياد الخالد. البريد الإلكتروني: [dr.eyadalkhaled@gmail.com](mailto:dr.eyadalkhaled@gmail.com).

تاريخ القبول: 2016/10/16

تاريخ الإستلام: 2016/09/09

### المخلص

نُفذت تجربة حقلية في حقول الهيئة العامة للاستشعار عن بعد (محافظة ريف دمشق، سورية) خلال الموسم الزراعي 2014/2013 لاستعمال بعض القرائن الطيفية الخضريّة عريضة وضيقة الحزمة (-NDVI<sub>705</sub> -mSR<sub>705</sub> -EVI- SR -NDVI mNDVI<sub>705</sub>-) في دراسة الاستجابة الطيفية لنبات القمح خلال مراحل نموه تحت تأثير عاملي الري والتسميد الآزوتي ومحاولة التنبؤ بالإنتاجية من خلال هذه الأدلة الطيفية، وتحديد أفضلها، مع دراسة الارتباط بينها من جهة وبعض المؤشرات الخضريّة والإنتاجية من جهة أخرى. تمّ تسجيل القراءات الرديومترية باستخدام جهاز FieldSpecPro RS3 بفواصل زمني (15) يوم تقريباً مترافقة مع بعض المؤشرات الخضريّة (دليل المساحة الورقية والوزن الرطب والجاف ومحتوى الأوراق من الكلورفيل) من بداية عمر النبات وحتى نهاية موسم النمو. بالإضافة إلى القراءات الخاصة بالمحصول ومكوناته التي أخذت عند الحصاد. وجد أنّ جميع الأدلة الطيفية سلكت سلوكاً متشابهاً، حيث أنّ قيم هذه الأدلة كانت منخفضة في بداية عمر النبات لترتفع تدريجياً لتصل لفترة النمو الخضري الأعظمي مع ثباتها نوعاً ما خلال هذه الفترة لتعاود قيمها بالانخفاض مع تقدّم النبات بالعمر ودخوله مرحلة الشيخوخة متأثرةً بسلوك الصفات الخضريّة. لوحظ تباين في هذه القيم تحت تأثير مستويات التسميد المختلفة حيث سجّل مستوى التسميد الآزوتي N0 أقل قيم مقارنةً مع باقي مستويات التسميد خلال فترة حياة النبات لترتفع هذه القيم عند مستوى التسميد N1 وN2 وN3 على التوالي مع وجود فروقات معنويّة بين مستويات التسميد المختلفة منذ المراحل الأولى لنموّ النبات. لوحظ تباين طفيف في قيم الأدلة الطيفية تحت مستويات الري I<sub>0</sub> وI<sub>1</sub> وI<sub>2</sub> في المراحل الأولى من عمر النبات حتى 97 يوم من الزراعة، لتظهر الفروقات المعنويّة بعد هذا التاريخ بين معاملات الري نتيجةً لتطبيق معاملات الري بعد 103 يوم من الزراعة (مرحلة الاضطواء). أظهرت النتائج عند دراسة الارتباط بين الأدلة المدروسة ودليل المساحة الورقية إلى وجود علاقة ارتباط عالية المعنويّة بين الأدلة المختلفة ودليل المساحة الورقية والوزن الرطب، كانت موجبة عند مستوى دلالة 0.05 مع دليل EVI ومع باقي الأدلة عند مستوى دلالة 0.01 أمّا صفة الوزن الجاف أظهرت علاقة ارتباط موجبة معنويّة مع كلّ الأدلة المدروسة. وجدت علاقة ارتباط عالية المعنويّة بين الأدلة المدروسة والعلّة الحبيّة عند كل التواريخ المسجل بها القياسات الرديومترية فيما عدا القراءة المسجلة بعد 62 و208 يوم من الزراعة والموافقة لمراحل النمو الأولى والأخيرة من حياة النبات ولوحظ أنّ أعلى قيم لمعامل الارتباط سُجّلت للدليل NDVI بعد 145 يوم من الزراعة أمّا باقي الأدلة فسُجّلت أعلى القيم لمعامل الارتباط بعد 165 يوم من الزراعة والتي تتوافق مع فترة النمو الخضري الأعظمي. وجد أنّ أفضل علاقة للتنبؤ بالعلّة كانت مع دليل SRI عند 145 يوم من الزراعة. ومع دليلي SRI وmSR<sub>705</sub> عند 165 يوم من الزراعة.

**الكلمات المفتاحية:** الأدلة الخضريّة، عريضة الحزمة، ضيقة الحزمة، التنبؤ بالعلّة، القمح.

## المقدمة:

يُعدّ القمح المحصول الغذائي الأول في جميع أنحاء العالم، حيث يُعدّ خبز القمح الغذاء الرئيس لأكثر من ثلاثة أرباع سكان الكرة الأرضية. يحتلّ القطر العربي السوري المرتبة الثالثة على مستوى الوطن العربي من حيث المساحة المزروعة، حيث وصلت إلى قرابة 1.61 مليون هكتاراً، وبمتوسط إنتاجية مقدارها 2252 ك/هكتاراً، والإنتاج قرابة 3.609 مليون طنناً (وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، 2012)، ويغطّي قرابة 50% من المساحة المزروعة بمحاصيل الحبوب (Belaid, 2000). وقد تطوّرت زراعة القمح في القطر العربي السوري لاسيما في تسعينات القرن الماضي لتحقيق الاكتفاء الذاتي وتكوين فائض استراتيجي من حبوب القمح، وخاصةً زيادة المساحة المطرية. يُعزى تراجع غلّة محصول القمح في الزراعات المطرية رغم ازدياد المساحة المزروعة التي تغطّي مساحة لا بأس بها من المساحة الكلية المزروعة إلى قلّة معدّلات الهطول المطري السنوية، والتذبذب الحاد في معدّلات الهطول المطري من موسم زراعي لآخر، وعدم انتظام توزيع الأمطار خلال موسم النمو بما يتناسب واحتياجات النبات المائية، وبخاصّةً خلال المراحل المتقدّمة الحرجة (الازهار وامتلاء الحبوب) من نمو نباتات محصول القمح وتطورها. حيث تهطل معظم الأمطار في منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط خلال فصلي الخريف والشتاء، وتبدأ بوادر العجز المائي بالظهور خلال فصل الربيع، بسبب تراجع معدّل الهطول المطري، وبدء ارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط، فتتعرّض نباتات القمح في نظم الزراعة المطرية إلى الإجهاد المائي المعتدل الشدة خلال مرحلة الازهار، وتزداد وطأة الإجهاد المائي المترافق مع الحرارة المرتفعة خلال مرحلة امتلاء الحبوب، بسبب انحباس الأمطار وتراجع محتوى التربة المائي (Edmeades *et al.*, 1989).

وبما أنّ تقنية الاستشعار عن بعد من التقنيات الحديثة التي ساعدت مؤخراً في العديد من الدراسات الزراعية، مثل تصنيف التربة، ومراقبة الأمراض النباتية، والكشف المبكر لهذه الأمراض من خلال الخواص الطيفية. كما تمّ مراقبة الكثير من الإجهادات التي تتعرّض لها هذا النبات من جفاف، ونقص عناصر، والتميز بين المحاصيل من خلال دراسة السلوك الطيفي لنبات القمح تحت هذه الظروف المختلفة. حيث تتمتع تقنية الاستشعار عن بعد بخصائص مميزة، منها قدرة التمييز المكاني والطيفي والزمني والراديومترية، فالأهداف تختلف فيما بينها طيفياً تحت الظروف المختلفة التي تتعرّض لها (البصمة الطيفية). كما يمكن استنباط العديد من العلاقات بالاعتماد على المجالات الطيفية المختلفة لإظهار نوع هذه الإجهادات وتمييزها عن النباتات السليمة وبالتالي تمكّننا من الحصول على معلومات بدقّة مقبولة وسرعة عالية مع القليل من الجهد، على نطاقٍ واسع.

من خلال البحث والدراسة والحاجة إلى تمييز بعض الأهداف بعينها، وفصلها عن الأهداف الأخرى في الصور الفضائية أو القياسات الراديومترية، لجأ الباحثون إلى وضع العديد من المعادلات الرياضية التي تعتمد على مجالات طيفية مختلفة تدعى القرائن أو الأدلة النباتية (Indices)، لتمييز النباتات عن الأهداف الأخرى غير النباتية، أو لتمييز النباتات فيما بينها أو عن تلك المعرضة لإجهاد معين أو معاملة معينة. معظم القرائن النباتية الموضوعية تستخدم المجالات الطيفية المرئية، والتحت أحمر القريب، والتحت أحمر المتوسط. وعموماً ترتبط القرائن النباتية الخضريّة بكمية المادة الخضراء للنباتات إن صحّ التعبير، مثل دليل المساحة الورقية (Leaf area index (LAI)، والكتلة الحيّة للنبات Biomass، ونسبة التغطية الأرضية % Cover، التي يمكن أن تُستخدم كمؤشر على النمو الخضري (Wiegand *et al.*, 1991; Abd El-Gawad, 2000).

وضّح (Stancalie *et al.*, 2014) عند دراسة العلاقة بين بعض أدلة الغطاء النباتي المشتقة من الصور الفضائية مثل NDVI وEVI ودليل المساحة الورقية (LAI)، لتقييم حالة الغطاء النباتي تحت تأثير الجفاف الزراعي. إنّ هذه الأدلة تُعدّ مؤشراً جيّداً لحالة الغطاء النباتي تحت ظروف الإجهاد الجفافي، والمرتبطة بمدّة وشدّة الجفاف. أشار (Binfang *et al.*, 2010) أنّ دليل EVI يُعتبر دليلاً هاماً في مراقبة النمو خلال المراحل الفيزيولوجية، والتنبؤ بالإنتاج على نطاقٍ واسع.

كما توصّل (Chen *et al.*, 2013) باستخدام الصور الفضائية من نوع MODIS على مساحات واسعة لمحصول القمح إلى أنّ الدليلين NDVI وEVI لهما فعالية في قياس إضرار الغطاء النباتي، والمحتوى المائي، وكثافة المظلة النباتية للمحاصيل. كما أنّ دليل EVI حساساً لإمتصاص الضوء من قبل كلوروفيل الأوراق، ويمتلك حساسية أعلى من NDVI في المناطق المرتفعة في الكتلة الحيوية. وتزداد قيمة EVI تدريجياً مع مراحل النمو الخضري، وتصل إلى الذروة في بداية مرحلة التسنبل، ومن ثم تبدأ في الانخفاض في مرحلة نضج السنابل وحتى الحصاد. واستخدم (Babar *et al.*, 2006) دليل SRI للتنبؤ بالكتلة الحيوية الخضراء و(LAI)، ووجد أنّ هنالك علاقة بين SRI وغلّة الحبوب ومكونات الغلّة لمحصول القمح. حيث وجد ارتباط بين SRI والعائد الكلي من غلّة الحبوب كما وجد انخفاض في NDVI وSRI كلما اتّجه النبات إلى مرحلة امتلاء الحبوب. بيّن (Edyta and Nasilowska, 2011) إمكانية استخدام البيانات متعددة الأطياف، والفائقة الطيف على نطاقٍ واسع،

لتحديد كمية الآزوت في الغطاء النباتي، كما يمكن لدليلي SRI و NDVI المشتقين من هذه البيانات تقدير الإجهاد الناتج عن النقص بالسماذ الآزوتي الذي تتعرض له المحاصيل، وأوضح Pradhan *et al.*, (2014) إمكانية استخدام دليل (SRI) لتقييم الكتلة البيولوجية الخضراء، وعملية التمثيل الضوئي، والمحتوى المائي النسبي، والمغذيات، والإجهادات البيئية لمحصول القمح. وإمكانية التنبؤ بالغلّة من الحبوب والكتلة الحيوية، كما بينوا أنّ الدليلين (SRI) و (NDVI) هما الأكثر استخداماً لتقدير الكتلة الجافة للمحاصيل، ودليل المساحة الورقية، والكلوروفيل.

وأشار كلاً من Sims and Gamon, (2002) أنّ دليل (mSR<sub>705</sub>) لديه حساسية جيدة لمؤشرات الغطاء النباتي الفيزيائية الحيوية (المحتوى من الكلوروفيل و LAI)، وأنّ لها علاقة خطية مع هذه المؤشرات، والذي أعطى نتائج جيدة لتقديرها عن أعطية نباتية مختلفة. كما لوحظ حساسية المؤشر mSR<sub>705</sub> للمستويات المرتفعة من الآزوت، في حين أنّه يسجل ذات المؤشر هذه الحساسية عند المستويات المنخفضة من الآزوت. وأوضح Verrelst *et al.*, (2006) أنّ mSR<sub>705</sub> و mNDVI<sub>705</sub> تُعتبر مؤشرات ضيقة الحزمة، وضعت لتعويض تأثير ارتفاع سطح الورقة على الانعكاس. أظهرت نتائج الدراسة التي أجراها Qi-fa *et al.*, (2010) أنّ الآزوت في نباتات الأرز يمكن أن يتمّ الكشف عنه بفعالية من خلال الدليل mSR<sub>705</sub>. كما وجد Sovoe, (2011) أنّ mNDVI<sub>705</sub> هو واحد من مؤشرات الغطاء النباتي ضيقة الحزمة، وهو مقياس متطور للكتلة الحية الكلية، والغطاء النباتي الحيوي وهو يتراوح من -1 إلى 1. يقيس هذا المؤشر في حافة الجزء الأحمر من انعكاس طيف الغطاء النباتي، مما يجعله أكثر حساسية للتغيرات الطيفية في صحة النبات، مقارنةً بمؤشرات النطاق الطيفي العريض التقليدي. وقد تمّ اختيار الأطوال الموجية على حافة الحمراء من طيف الغطاء النباتي (705 و 750 نانومتر) لاختبار مؤشرات الغطاء النباتي mNDVI<sub>705</sub>، NDVI<sub>705</sub> وذلك لأجل تقدير محتوى الكلوروفيل و LAI في هيكل المظلة النباتية. كما وجد Hamzaha *et al.*, (2013) ارتباط مؤشر NDVI<sub>705</sub> مع نمو النباتات، والكتلة الحيوية ومساحة الورقة والمحتوى من الكلوروفيل.

يهدف البحث إلى:

- 1- استخدام بعض الأدلة الطيفية لدراسة تأثير عوامل الدراسة (الري والتسميد الآزوتي) في السلوك الطيفي وتحديد الدليل الطيفي الأكثر كفاءة.
- 2- دراسة علاقات الارتباط بين الأدلة الطيفية من جهة، وبعض المؤشرات الخضريّة والإنتاجية من جهة أخرى.
- 3- إمكانية التنبؤ بالإنتاجية الحبيبة لمحصول القمح من خلال الأدلة الطيفية المدروسة تحت ظروف الري والتسميد الآزوتي.

مواد البحث وطرائقه:

1- المادة النباتية:

نُفذت التجربة في حقول الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، في منطقة الصبورة في محافظة ريف دمشق بسورية، على صنف القمح شام 5. يقع الموقع على مسافة 17 كم غرب مدينة دمشق، ويُقدّر معدل الهطول المطري السنوي في المنطقة بنحو 255 ملم/سنة. ويوضح الجدول (1) كميات الهطول المطري والتلحي لموسم 2013-2014 والجدول (2) يوضح التركيب الميكانيكي (Richards, 1954) والكيميائي (Jackson, 1967) لتربة موقع تنفيذ الدراسة.

المعاملات المدروسة:

2- 1- الري (I) وفق ثلاثة مستويات:

شاهد (I<sub>0</sub>): زراعة مطرية.

ريّة واحدة (I<sub>1</sub>): إعطاء ريّة واحدة فقط وذلك في مرحلة الإشطاء.

ريتان (I<sub>2</sub>): إعطاء ريّتين خلال مرحلتي الإشطاء والتسبيل. تم الري بطريقة الغمر، وحُسبت كمية المياه في الريّة كالتالي:

كمية المياه في كلّ ريّة = شدة تدفق المياه (3.6 م<sup>3</sup>/سا) × مدة الري (4 ساعة).

$$= 3.6 \times 4 = 14.4 \text{ م}^3$$

14 م<sup>3</sup> لمساحة 216 م<sup>2</sup> أي 64.81 ل/م<sup>2</sup> ما يعادل 64.81 ملم هطول مطري.

2-2- التسميد الآزوتي وفق أربعة مستويات:

شاهد (N<sub>0</sub>): دون إضافة السماذ الآزوتي.

المعدل 1 (N<sub>1</sub>): المعدّل المنصوح به من وزارة الزراعة 120 كغ/هكتار.

المعدل 2 (N<sub>2</sub>): 180 كغ/هكتار.

المعدل 3 (N<sub>3</sub>): 240 كغ/هكتار. تمّ إضافة السماذ الآزوتي على دفعتين على شكل يوريا (ثلث عند الزراعة وثلثان عند مرحلة الإشطاء).

## 3- التصميم التجريبي:

تم استخدام تصميم القطع المنشقة لمرة واحدة Split-Plot Design حيث احتل فيها عامل الري القطع الرئيسية ووزعت معاملات التسميد عشوائياً على القطع الثانوية على ثلاث مكررات بمعدل 12 قطعة تجريبية في كل مكرر. تمت الزراعة نثراً بمعدل 250 كغ/هكتار، بتاريخ 2013/11/28.

## 4- الصفات المدروسة:

1-4- الصفات الخضريّة والإنتاجيّة: تمّ دراستها بشكلٍ متزامن مع القراءات الطيفية حيث تمّ قياس محتوى الأوراق من الكلورفيل بواسطة جهاز SPAD502 plus Chlorophyll Meter ، ودليل المساحة الورقية: تمّ حساب المساحة الورقية للنبات باستخدام جهاز قياس مساحة الأوراق LI-3000C وحسب دليل المساحة الورقية باستخدام العلاقة الرياضية  $(LAI=LA/GA)$ . حيث LA: مساحة المسطح الورقي و GA: مساحة الأرض التي يشغلها النبات. وحسب الوزن الرطب والجاف للنبات Fresh and Dry weight خلال مراحل النمو المدروسة. والغلة الحبيبة Grain yield (كغ/هكتار)، والغلة البيولوجية Biological yield.

الجدول 1. كمية الأمطار في منطقة الصبورة وتوزعها خلال موسم النمو.

تاريخ الهطول	كمية الهطول (مم)	نوع الهطول مطري -ثلجي
2013/09/22	1	مطري
2013/11/01	2	مطري
2013/11/09	5	مطري
2013/11/11	1	مطري
2013/11/18	25	مطري
2013/12/04	4	مطري
2013/12/5	20	مطري
2013/12/06	10	مطري
2013/12/13	50	ثلجي
2013/12/29	20	مطري
2014/1/28	5	مطري
2014/02/16	5	مطري
2014/03/9	14	مطري
2014/03/13	4	مطري
2014/03/25	2	مطري
2014/04/19	3	مطري
2014/05/8	23	مطري
المجموع	194	

الجدول (2) التحليل الميكانيكي والكيميائي لتربة الموقع خلال الموسم 2014/2013

التحليل الكيميائي لمستخلص عجينة التربة			البوتاس المتاح (مع/كغ)	الفوسفور المتاح (مع/كغ)	الأزوت المتاح (مع/كغ)	قوام التربة	التحليل الميكانيكي		
كربونات الكالسيوم CaCo3	التوصيل الكهربائي مليموز/سم	حموضة التربة PH					%	طين	سنت
25	1.3	8	320	2	6.0	سلتية طينية	28	48	24

2-4- الأدلة الطيفية: تم تسجيل القياسات الراديومترية باستخدام جهاز الراديوميتر الحقل Field SpecPro RS3 الذي يسمح مجال طيفي من 350 إلى 2500 نانوميتر بفاصل طيفي 2 نانوميتر من جميع القطع التجريبية، بمعدل مرة كل 15-20 يوم تقريباً، بدءاً من اليوم 62 من الزراعة وحتى نضج المحصول والحصاد، في 9 مواعيد من عام 2014 بتاريخ 24 كانون الثاني و12 شباط و4 آذار و19 آذار و2 نيسان و16 نيسان و4 أيار و19 حزيران. أخذت ثلاث قراءات راديومترية في كل قطعة تجريبية أي 108، مما يعني أنه سُجِّل 972 قراءة للتسعة مواعيد السابقة خلال فترة نمو نبات القمح. تم تحويل كل قراءة راديومترية مسجلة إلى منحنيات طيفية عن طريق برمجية VeiwSpecPro الملحقة بالجهاز، ثم تم تحويل القراءات الراديومترية إلى صيغ رقمية يمكن التعامل ببرمجية Excel. وتم استبعاد القيم من 1800 حتى 2500 لعدم دخولها في حساب أي دليل طيفي من الأدلة المدروسة. تم التعامل مع متوسط ثلاث قراءات راديومترية لكل قطعة تجريبية لحساب الأدلة الطيفية المدروسة سواء كانت ضيقة الحزمة الطيفية أو عريضة.

تم حساب نوعين من الأدلة الطيفية لكل قطعة تجريبية وبالتواريخ المسجلة فيها القياسات الراديومترية، الأول: الأدلة الطيفية الخضرية عريضة الحزمة Broadband Greenness Indices، التي يُستخدم في حسابها الانعكاس الناتج عن مجال طيفي واسع مثل المجال الطيفي تحت أحمر القريب، أو المتوسط أو المرئي الأحمر... إلخ، والثاني: الأدلة الطيفية الخضرية ضيقة الحزمة Narrowband Greenness Indices، التي يُستخدم في حسابها قيم طيفية محددة بعينها، ويعود ذلك إلى الاعتقاد بأن الأدلة الطيفية ضيقة الحزمة دور بارز في إيضاح التأثير المباشر للعلاقة مع الهدف التي من الممكن عدم وضوحها في العلاقات المعتمدة على الحزم العريضة (الجدول 3).

##### 5- التحليل الإحصائي:

حُلَّت البيانات بعد جمعها وتبويبها إحصائياً باستخدام برنامج التحليل الإحصائي GenStat لحساب قيم أقل فرق معنوي بين المتوسطات (L.S.D) واختبار (Duncan) عند مستوى معنوية 5%، وحسبت قيم معامل الارتباط (r) بين الصفات الخضرية والإنتاجية من جهة، والأدلة الطيفية من جهة أخرى، إضافة إلى دراسة الانحدار الخطي البسيط بطريقة Stepwise Regression باستخدام برنامج التحليل الإحصائي SPSS للتنبؤ المبكر بالغلة الحبيبة لمحصول القمح.

الجدول 3. الأدلة الطيفية المدروسة.

الوصف	المرجع	المعادلة	الاختصار	الدليل
<b>العريضة الحزمة</b>				
أشهر الأدلة وأكثرها استخداماً، وهو مقياس لصحة الغطاء النباتي الأخضر، قيمته تتراوح من -1 إلى 1. المدى الشائع للغطاء النباتي الأخضر 0.2 إلى 0.8.	Rouse, et al., (1973)	$= \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}}$	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
دليل قديم وقيمه تتراوح من 0 إلى أكثر من 30. المدى الشائع لهذا الدليل في النمو الخضري الأعظمي هو 2 وحتى 8. واستخدامه فعال على نطاق واسع وتحت مختلف الظروف	Sellers, (1985)	$= \frac{P_{NIR}}{P_{RED}}$	SRI	Simple Ratio Index
يستخدم الانعكاس من المجال الطيفي الأزرق المرئي لتصحيح انعكاسات التربة، والحد من تأثيرات الغلاف الجوي. قيمة هذا المؤشر يتراوح من -1 إلى 1. المدى الشائع في الأعظمية النباتية الخضراء من 0.2 وحتى 0.8	Huete, et al., (1997)	$= 2.5 \left( \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + 6P_{RED} - 7.5P_{BLUE} + 1} \right)$	EVI	Enhanced Vegetation Index
<b>الضيقة الحزمة</b>				
هو تعديل لمؤشر NDVI العريض النطاق. يستخدم في الكشف عن إجهاد الغطاء النباتي، يستفيد من حساسية الحافة الحمراء للتغيرات الصغيرة في الغطاء النباتي، كنقص المغذيات، والشيخوخة. قيمة هذا المؤشر يتراوح من -1 إلى 1. المدى الشائع في الأعظمية النباتية الخضراء من 0.2 وحتى 0.9	Gitelson, and Merzlyak, (1994).	$= \frac{P_{750} - P_{705}}{P_{750} + P_{705}}$	NDVI <sub>705</sub>	Red Edge Normalized Difference Vegetation Index
هو تعديل لدليل (SR) العريض النطاق. ويختلف عن SR باستخدام نطاقات على طول الحافة الحمراء، كما أنه يتضمن تصحيح انعكاس الورقة اللامعة، والكشف عن الإجهاد الغطاء النباتي. قيمته تتراوح من 0 إلى 30. المدى الشائع في الأعظمية النباتية الخضراء من 2 وحتى 8	Datt, (1999)	$= \frac{P_{750} - P_{445}}{P_{705} + P_{445}}$	mSRI <sub>705</sub>	Modified Red Edge Simple Ratio Index
دليل معدل للمؤشر NDVI <sub>705</sub> ، يقوم بتصحيح انعكاس الورقة اللامعة. فهو يستفيد من حساسية الحافة الحمراء للتغيرات الصغيرة في الغطاء النباتي، كنقص المغذيات، والشيخوخة. قيمته تتراوح من -1 إلى 1. المدى الشائع في الأعظمية النباتية الخضراء من 0.2 وحتى 0.7	Sims and Gamon, (2002)	$= \frac{P_{750} - P_{705}}{P_{750} + P_{705} - 2P_{445}}$	mNDVI <sub>705</sub>	Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index

حيث: P<sub>NIR</sub>: الانعكاس الناتج عن المجال الطيفي تحت الأحمر القريب.  
و P<sub>RED</sub>: الانعكاس الناتج عن المجال الطيفي الأحمر المرئي.  
و P<sub>BLUE</sub>: الانعكاس الناتج عن المجال الطيفي الأزرق المرئي.

## النتائج والمناقشة:

## 1- السلوك الطيفي للأدلة الطيفية عريضة الحزمة تأثير مستويات التسميد الآزوتي:

أظهرت النتائج عند تتبع السلوك الطيفي للأدلة NDVI وSRI وEVI خلال فترة حياة نبات القمح تحت تأثير مستويات التسميد الآزوتي، إلى أن هذه القيم كانت منخفضة في بداية عمر النبات، لترتفع تدريجياً لتصل لفترة النمو الخضري الأعظمي مع ثباتها نوعاً ما خلال هذه الفترة، لتعاود قيمها بالانخفاض مع تقدم النبات بالعمر ودخوله مرحلة الشيخوخة إلى الحصاد، والذي يعبر عن السلوك الطبيعي والعام للأدلة الطيفية الخضريّة خلال فترة حياة نبات القمح (الشكل 1)، ويعود ذلك بشكل أساسي أن هذه الأدلة أدلة خضريّة، تعتمد قيمتها على قيم الانعكاس المسجلة في المجالين الطيفيين تحت الأحمر القريب والمرئي، حيث يؤثر على الانعكاس في المجال تحت أحمر القريب كل من الكتلة الحيّة للنبات، والمساحة الورقية، والوزن الرطب، وعدد طبقات النبات. وبالتالي يزداد الانعكاس مع ارتفاع قيم هذه الصفات الخضريّة. في حين يعود التأثير على الانعكاس في المجال الأحمر والأزرق المرئي، إلى تركيز الكلورفيل في الأوراق، حيث يقلّ الانعكاس مع ارتفاع تركيز الكلورفيل في النبات (Lusch, 1999). هذه العلاقة تقود إلى تفسير سلوك هذه الأدلة خلال مراحل نمو نبات القمح، ففي بداية عمر النبات تكون الكتلة الحيّة، والمساحة الورقية منخفضة لنبات القمح، وبالتالي يكون الانعكاس في المجال تحت أحمر القريب منخفضاً في هذه المرحلة، أما عندما يكون الانعكاس في المجال الطيفي الأحمر مرتفع نسبياً، يكون نتيجة انخفاض تركيز الكلورفيل، وتداخل تأثير انعكاس التربة لعدم التغطية الكاملة للأرض في هذه المرحلة من عمر النبات، الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض قيمة هذه الأدلة في هذه المرحلة (Alkhaled et al., 2005). مع تقدم النبات بالعمر ووصوله لمرحلة النمو الخضري الأعظمي (97-126 يوم من الزراعة)، نجد أن قيم هذه الأدلة قد وصلت لأعلى القيم، نتيجة لانعكاس المرتفع الذي بلغ أعلى قيمة له في المجال الطيفي تحت الأحمر القريب، متأثراً بارتفاع الكتلة الحيّة، والمساحة الورقية، والوزن الرطب والجاف (الشكل 1). في حين سجّل الانعكاس في المجال الطيفي الأحمر والأزرق أدنى القيم متأثراً بارتفاع تركيز الكلورفيل، وقد أشار إلى هذه النتيجة (Pradhan et al., 2014). عند وصول النبات مرحلة الشيخوخة نجد أن قيم هذه الأدلة تعاود الانخفاض متأثرة بانخفاض الانعكاس في المجال الطيفي تحت الأحمر القريب، والعائد لانخفاض الكتلة الحيّة للنبات، ومساحة الأوراق، وبالمقابل ارتفاع قيم الانعكاس نسبياً في المجال الطيفي الأحمر والأزرق نتيجة تدهور الكلورفيل في النبات مع تقدمه في العمر (الشكل 1). كان هذا السلوك العام للأدلة NDVI وSRI وEVI بغض النظر عن مستويات التسميد المختلفة.

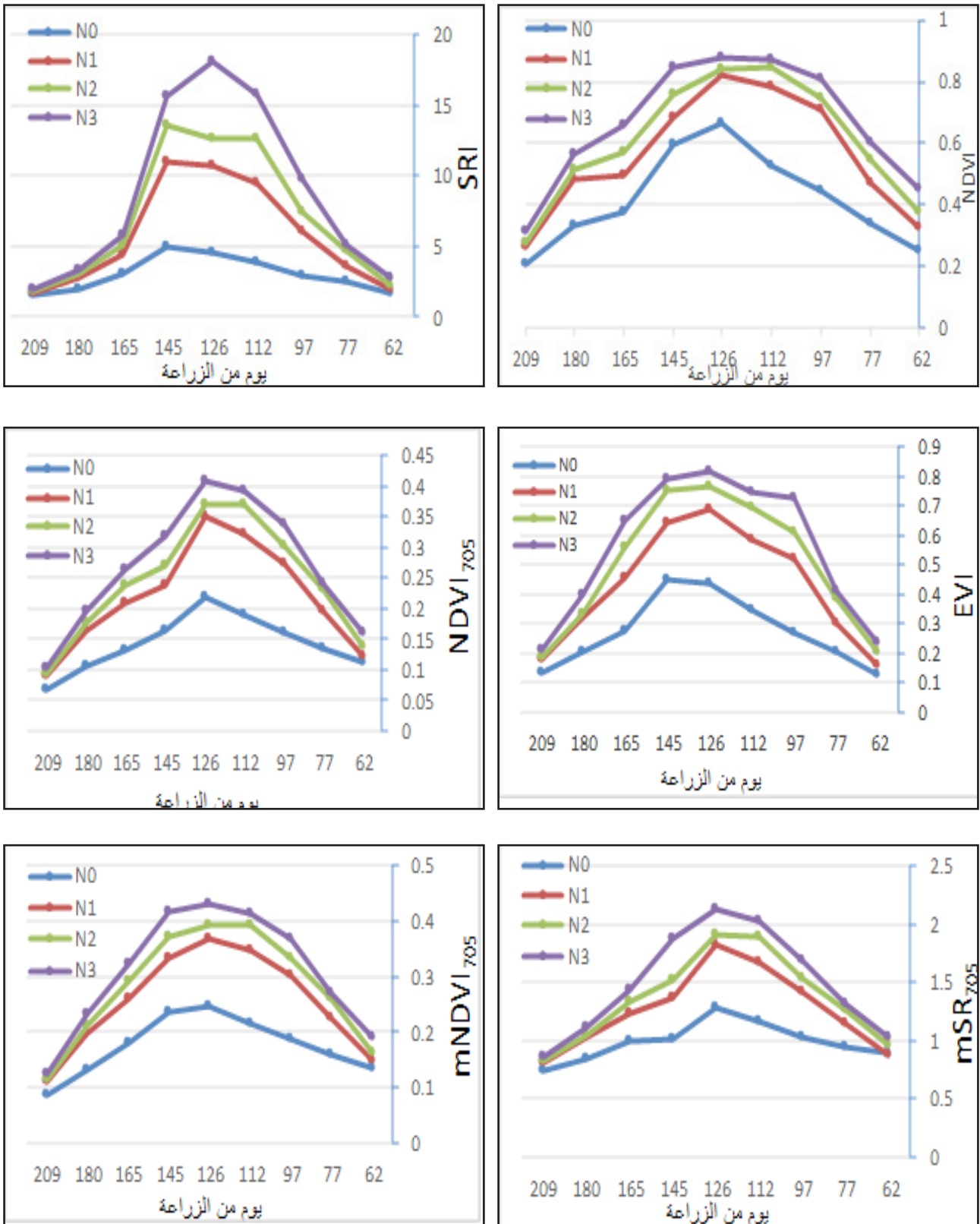
وعند مقارنة قيم هذه الأدلة تحت تأثير مستويات التسميد المختلفة، لوحظ تباين في هذه القيم حيث سجّل مستوى التسميد الآزوتي N0 أقل قيم لهذه الأدلة مقارنةً مع باقي مستويات التسميد خلال فترة حياة النبات، لترتفع هذه القيم عند مستوى التسميد N1. كما سجّلت هذه القيم ارتفاعاً أعلى عند مستوى التسميد N2 مقارنةً مع المستوى الذي سبقه لتسجل أعلى القيم عند مستوى التسميد N3. تُبين نتائج تحليل التباين الموضحة في الجدول (4) إلى وجود فروقات معنويّة بين مستويات التسميد المختلفة منذ المراحل الأولى لنمو النبات، وقد يُعزى ذلك إلى إضافة كميات السماد الآزوتي المختلفة حسب المعاملات المدروسة بدءاً من الزراعة، والتي كان لها تأثير واضح على الكتلة الحيّة، والمساحة الورقية، وتركيز الكلورفيل، التي تتأثر بزيادة كمية التسميد الآزوتي (الجدول 4). فعند 62 يوم من الزراعة كانت قيم NDVI المسجلة 0.252 و0.327 و0.378 و0.449 لمستويات التسميد N0 وN1 وN2 وN3 على التوالي، وقيم SRI لنفس مستويات التسميد 1.693 و1.999 و2.266 و2.750 على التوالي (الجدول 4). ظهرت الفروق المعنويّة بين المستوى N3 وجميع المعاملات، ولم تكن الفروق معنويّة بين المستويين N0 وN1 وبين المستويين N1 وN2، أما قيم EVI المسجلة عند هذا التاريخ فكانت لنفس مستويات التسميد 0.127 و0.162 و0.204 و0.239 على التوالي (الجدول 4). يُلاحظ هنا تقارب هذه القيم نوعاً ما مع تسجيل فرق معنوي بين N0 من جهة وN2 وN3 من جهة أخرى، وعدم وجود فروق معنوي بين كل من (N0 وN1) و(N1 وN2) و(N2 وN3) و(N2 وN1) و(N3 وN2) و(N3 وN1) وهذا يتوافق مع ما ورد من نتائج لصفات المساحة الورقية، والوزن الرطب، وتركيز الكلورفيل، من حيث ارتفاعها مع زيادة كمية السماد الآزوتي. أما خلال فترة النمو الأعظمي خلال حياة نبات القمح والممتدة من 97 حتى 148 يوم من الزراعة فعند 148 يوم من الزراعة وجد فروق معنويّة واضحة بين مستويات التسميد المختلفة لدى كافة الأدلة الخضريّة عريضة الحزمة، فكانت قيم NDVI المسجلة 0.596 و0.685 و0.759 و0.845 وقيم SRI المسجلة 4.919 و11.041 و13.644 و15.627 وقيم EVI المسجلة 0.267 و0.518 و0.612 و0.731 لمستويات التسميد N0 وN1 وN2 وN3 على التوالي، وهذا يتفق مع ما ورد من نتائج لصفات المساحة الورقية، والوزن الرطب، وتركيز الكلورفيل، من حيث تسجيلها لأعلى القيم عند مستوى الأزوت المرتفع N3

وأدنى القيم مع معاملة الشاهد N0 (الجدول 4)، وهذا يتوافق مع ماتوصل له (Franke *et al.*, 2007). ومع تقدّم النبات في العمر ووصوله لمرحلة الشيخوخة تقاربت قيم الدليل (SRI) للمستويات المختلفة من التسميد الأزوتي متأثرةً بغياب الكلورفيل وانخفاض الكتلة الحيّة (الشكل 1).

## 2- السلوك الطيفي للأدلة الطيفية الخضريّة ضيقة الحزمة تحت تأثير مستويات التسميد الأزوتي:

تُعدّ مؤشرات  $NDVI_{705}$  و  $mSRI_{705}$  و  $mNDVI_{705}$  أدلةً خضريّة تعتمد على قيم الانعكاس المسجّلة في منطقة الحافة الحمراء، وهي المنطقة التي تقع عند نهاية المجال الطيفي المرئي وبداية المجال تحت الأحمر القريب. حيث تمثل الحافة الحمراء منطقة التغيّر المفاجئ في الانعكاس الناتج عن الآثار المجتمعة للإمتصاص القوي للكلوروفيل في المنطقة الحمراء، والمساحة الورقية، وعدد طبقات الأوراق، والوزن الرطب والجاف في منطقة تحت الأحمر القريب (NIR) (Dawson and Curran, 1998). انطلاقاً من ذلك يمكن تفسير السلوك الطيفي لدليل  $NDVI_{705}$  خلال مراحل نمو نبات القمح تحت تأثير مستويات التسميد الأزوتي، حيث يُلاحظ انخفاض هذه القيم في بداية عمر النبات متأثرةً بتقارب قيم الانعكاس عند القيم الطيفية 705 و 750 في منطقة الحافة الحمراء، لترتفع هذه القيم مع النمو الأعظمي للقمح لتبلغ أعلى قيم لها عند 126 يوم من الزراعة، متأثرةً بالتغيّر الحادّ في منطقة الحافة الحمراء والذي يمثل أعلى انعكاس في هذه الفترة نتيجة زيادة المساحة الورقية، والوزن الرطب، وعدد طبقات الأوراق عند القيمة الطيفية 750 نانومتر، وانخفاض الانعكاس لأقل قيمة عند القيمة الطيفية 705 نانومتر متأثرةً بارتفاع تركيز الكلورفيل (الشكل 1). ومع تقدّم النبات بالعمر ووصوله لمرحلة النمو الخضري الأعظمي (126 يوم من الزراعة)، التي توافقت اكتمال الإسطاء وبداية التسنبل نجد أنّ قيم  $NDVI_{705}$  قد بلغت أعلى قيمها نتيجة للإنعكاس المرتفع الذي بلغ أعلى قيمة له في المجال الطيفي تحت الأحمر القريب متأثراً بارتفاع الكتلة الحيّة، والمساحة الورقية، والوزن الرطب والجاف التي سجلت أعلى القيم عند هذه المرحلة، وهذا يتوافق مع ما توصل إليه (Filella and Penuelas, 2007) (الشكل 1)، وعند وصول النبات مرحلة الشيخوخة نجد أنّ قيم  $NDVI_{705}$  تعاود الانخفاض متأثرةً بانخفاض الانعكاس عند القيمة الطيفية 705nm والعائد لانخفاض الكتلة الحيّة للنبات، ومساحة الأوراق. وارتفاع قيم الانعكاس نسبياً عند القيمة الطيفية 705nm نتيجة تدهور الكلورفيل في النبات مع تقدّمه في العمر (الشكل 1). كما يُلاحظ عند تتبع سلوك القرينة النباتية  $mNDVI_{705}$  خلال فترة حياة نبات القمح تحت مستويات التسميد الأزوتي، أنّه كان مشابهاً جداً لسلوك دليل  $NDVI_{705}$ ، حتى أنّ القيم لكلا الدليلين كانت متقاربة جداً فيما عدا القراءة المسجلة بتاريخ 4/16 أي عند 145 يوم من الزراعة. نلاحظ قيم أعلى بقليل لدليل  $NDVI_{705}$  مقارنةً مع دليل  $mNDVI_{705}$  (الشكل 1)، ويمكن إسقاط نفس التفسيرات التي سبقت للدليل  $NDVI_{705}$  على الدليل  $mNDVI_{705}$  مع الأخذ بعين الاعتبار أنّ ما يؤثر على قيم الانعكاس عند القيمة الطيفية 445 نانومتر في المجال الطيفي الأزرق مشابهاً تماماً لمؤثرات قيم الانعكاس عند النقطة الطيفية 705 نانومتر الواقعة في بداية الحافة الحمراء. وكان سلوك الدليل  $mSR_{705}$  مشابهاً للدليل التقليدي SRI من ناحية انخفاض قيمته في بداية عمر النبات إلى ارتفاعها مع تقدّم النبات في العمر وبلوغ مرحلة النمو الخضري الأعظمي إلى انخفاضها ووصولها لمرحلة الشيخوخة، متأثراً بقيم الانعكاس المسجّلة عند القيمة الطيفية 750 نانومتر ذات العلاقة الوثيقة مع الكتلة الحيّة، والمساحة الورقية، والوزن الرطب للنبات، وقيم الانعكاس عند القيمة الطيفية الزرقاء ذات العلاقة الوثيقة مع تركيز الكلورفيل، وهذا يتوافق مع ما توصل إليه (Sims and Gamon, 2002).





الشكل 1. سلوك الأدلة الطيفية تحت مستويات مختلفة من التسميد الآزوتي خلال فترة حياة نبات القمح.

لوحظ من جدول تحليل التباين أن مستوى التسميد الآزوتي N3 سجل أعلى قيم للمؤشر  $NDVI_{705}$  مقارنة مع باقي مستويات التسميد خلال فترة حياة النبات يليه N0 و N1 و N2 التي سجلت أقل قيم لهذا الدليل، كما تبين نتائج تحليل التباين الموضحة في الجدول (4) إلى وجود فروق معنوية بين مستويات التسميد المختلفة منذ المراحل الأولى لنمو النبات. فقد لوحظ وجود فرق معنوي اعتباراً من اليوم 62 من الزراعة بين N0 و N3 متأثرة بإضافة السماد الآزوتي في بداية الزراعة، والتأثير الذي تحدثه هذه الإضافة من السماد الآزوتي على زيادة الكتلة الحية، والمساحة الورقية، وتركيز الكلورفيل. ارتفعت قيمة  $NDVI_{705}$  بشكل واضح بعد إضافة الدفعة الثانية من التسميد الآزوتي بتاريخ 3/10 ويعود ذلك إلى الدور الذي يلعبه هذا السماد في زيادة الوزن الرطب للنبات، وتركيز الكلورفيل، ودليل المساحة الورقية، والتي تؤثر بدورها على الانعكاس الطيفي للنبات، وقد أشار لذلك (Boehm et al., 2004) حيث وجدوا فروق معنوية عند 126 يوم من الزراعة بين مستويات التسميد المختلفة فيما عدا N1 و N2، في حين كانت الفروق المعنوية المسجلة لكافة مستويات التسميد الآزوتي بعد 148 يوم من الزراعة الأعلى على الإطلاق. وهذا يتفق مع ما ورد من نتائج لصفات المساحة الورقية، والوزن الرطب، وتركيز الكلورفيل من حيث تسجيلها لأعلى القيم عند مستوى الآزوت الأعلى N3 وأدنى القيم عند معاملة الشاهد N0 وهي عدم إضافة الآزوت (الجدول 4)، وهذا يتوافق مع ماتوصل له (Franke et al., 2007). وعند مقارنة جدول تحليل التباين لدليل  $mNDVI_{705}$  تحت مستويات التسميد المدروسة، لوحظ تسجيل فروقاً معنوية لقيم هذا الدليل مشابهة تماماً لتلك المسجلة لدليل  $NDVI_{705}$  وفي جميع مراحل النمو (الجدول 4)، وأن قيم الدليل  $msRI_{705}$  ارتفعت بارتفاع مستوى التسميد من N0 إلى N3 في جميع مراحل نمو نبات القمح، ولكن لم نجد فروقات معنوية بين المستويات جميعها، فعند 126 و 145 يوم من الزراعة يلاحظ فروقات معنوية بين قيم  $msR_{705}$  المسجلة تحت مستويات N1 و N2 مع وجود فروقات معنوية بينها وبين كل من N0 و N3 (Sims and Gamon, 2002).

الجدول 4. تأثير التسميد الآزوتي على الأدلة الطيفية الخضرية خلال مراحل النمو المختلفة لنبات القمح.

يوم 209	يوم 180	يوم 165	يوم 145	يوم 126	يوم 112	يوم 97	يوم 77	يوم 62	موعد القراءة	الدليل
									المعاملة	
0.205 <sup>a</sup>	0.331 <sup>a</sup>	0.373 <sup>a</sup>	0.596 <sup>a</sup>	0.665 <sup>a</sup>	0.529 <sup>a</sup>	0.444 <sup>a</sup>	0.341 <sup>a</sup>	0.252 <sup>a</sup>	N0	NDVI
0.266 <sup>b</sup>	0.482 <sup>b</sup>	0.498 <sup>b</sup>	0.685 <sup>b</sup>	0.822 <sup>b</sup>	0.784 <sup>b</sup>	0.707 <sup>b</sup>	0.472 <sup>b</sup>	0.327 <sup>b</sup>	N1	
0.273 <sup>b</sup>	0.513 <sup>b</sup>	0.569 <sup>c</sup>	0.759 <sup>c</sup>	0.843 <sup>b</sup>	0.848 <sup>c</sup>	0.749 <sup>b</sup>	0.545 <sup>b</sup>	0.378 <sup>c</sup>	N2	
0.310 <sup>c</sup>	0.567 <sup>c</sup>	0.661 <sup>d</sup>	0.845 <sup>d</sup>	0.882 <sup>c</sup>	0.876 <sup>c</sup>	0.812 <sup>c</sup>	0.606 <sup>c</sup>	0.449 <sup>d</sup>	N3	
<b>0.036</b>	<b>0.067</b>	<b>0.043</b>	<b>0.035</b>	<b>0.028</b>	<b>0.059</b>	<b>0.041</b>	<b>0.0751</b>	<b>0.049</b>	<b>LSD</b>	
1.524 <sup>a</sup>	1.956 <sup>a</sup>	3.001 <sup>a</sup>	4.919 <sup>a</sup>	4.607 <sup>a</sup>	3.897 <sup>a</sup>	2.905 <sup>a</sup>	2.490 <sup>a</sup>	1.693 <sup>a</sup>	N0	SRI
1.728 <sup>b</sup>	2.770 <sup>b</sup>	4.468 <sup>b</sup>	11.041 <sup>b</sup>	10.765 <sup>b</sup>	9.442 <sup>b</sup>	6.048 <sup>b</sup>	3.553 <sup>ab</sup>	1.999 <sup>ab</sup>	N1	
1.760 <sup>b</sup>	3.023 <sup>b</sup>	5.117 <sup>bc</sup>	13.644 <sup>c</sup>	12.654 <sup>b</sup>	12.628 <sup>c</sup>	7.437 <sup>c</sup>	4.658 <sup>bc</sup>	2.266 <sup>b</sup>	N2	
1.910 <sup>c</sup>	3.296 <sup>b</sup>	5.783 <sup>c</sup>	15.627 <sup>d</sup>	18.148 <sup>c</sup>	15.819 <sup>d</sup>	9.713 <sup>d</sup>	5.079 <sup>c</sup>	2.750 <sup>c</sup>	N3	
<b>0.147</b>	<b>0.5560</b>	<b>0.828</b>	<b>1.292</b>	<b>2.886</b>	<b>2.163</b>	<b>1.272</b>	<b>1.236</b>	<b>0.348</b>	<b>LSD</b>	
0.135 <sup>a</sup>	0.207 <sup>a</sup>	0.274 <sup>a</sup>	0.448 <sup>a</sup>	0.438 <sup>a</sup>	0.344 <sup>a</sup>	0.267 <sup>a</sup>	0.205 <sup>a</sup>	0.127 <sup>a</sup>	N0	EVI
0.176 <sup>b</sup>	0.318 <sup>b</sup>	0.457 <sup>b</sup>	0.646 <sup>b</sup>	0.692 <sup>b</sup>	0.585 <sup>b</sup>	0.518 <sup>b</sup>	0.302 <sup>b</sup>	0.162 <sup>ab</sup>	N1	
0.187 <sup>bc</sup>	0.332 <sup>b</sup>	0.561 <sup>c</sup>	0.751 <sup>c</sup>	0.770 <sup>c</sup>	0.693 <sup>c</sup>	0.612 <sup>c</sup>	0.388 <sup>c</sup>	0.204 <sup>bc</sup>	N2	
0.207 <sup>c</sup>	0.399 <sup>c</sup>	0.650 <sup>d</sup>	0.791 <sup>c</sup>	0.822 <sup>c</sup>	0.749 <sup>c</sup>	0.731 <sup>d</sup>	0.408 <sup>c</sup>	0.239 <sup>c</sup>	N3	
<b>0.021</b>	<b>0.062</b>	<b>0.043</b>	<b>0.065</b>	<b>0.071</b>	<b>0.069</b>	<b>0.075</b>	<b>0.074</b>	<b>0.060</b>	<b>LSD</b>	
0.069 <sup>a</sup>	0.106 <sup>a</sup>	0.132 <sup>a</sup>	0.163 <sup>a</sup>	0.219 <sup>a</sup>	0.190 <sup>a</sup>	0.160 <sup>a</sup>	0.134 <sup>a</sup>	0.114 <sup>a</sup>	N0	NDVI <sub>705</sub>
0.089 <sup>b</sup>	0.166 <sup>b</sup>	0.208 <sup>b</sup>	0.239 <sup>b</sup>	0.350 <sup>b</sup>	0.322 <sup>b</sup>	0.274 <sup>b</sup>	0.196 <sup>b</sup>	0.122 <sup>ab</sup>	N1	
0.092 <sup>b</sup>	0.177 <sup>b</sup>	0.238 <sup>c</sup>	0.271 <sup>c</sup>	0.370 <sup>b</sup>	0.370 <sup>c</sup>	0.304 <sup>c</sup>	0.231 <sup>bc</sup>	0.138 <sup>ab</sup>	N2	
0.102 <sup>b</sup>	0.196 <sup>b</sup>	0.265 <sup>c</sup>	0.320 <sup>d</sup>	0.410 <sup>c</sup>	0.393 <sup>c</sup>	0.338 <sup>d</sup>	0.243 <sup>c</sup>	0.161 <sup>b</sup>	N3	
<b>0.019</b>	<b>0.034</b>	<b>0.028</b>	<b>0.032</b>	<b>0.031</b>	<b>0.034</b>	<b>0.029</b>	<b>0.040</b>	<b>0.040</b>	<b>LSD</b>	
0.736 <sup>a</sup>	0.847 <sup>a</sup>	1.003 <sup>a</sup>	1.021 <sup>a</sup>	1.283 <sup>a</sup>	1.168 <sup>a</sup>	1.030 <sup>a</sup>	0.953 <sup>a</sup>	0.902 <sup>a</sup>	N0	mSR <sub>705</sub>
0.802 <sup>b</sup>	1.037 <sup>b</sup>	1.237 <sup>b</sup>	1.364 <sup>b</sup>	1.831 <sup>b</sup>	1.682 <sup>b</sup>	1.425 <sup>b</sup>	1.147 <sup>b</sup>	0.871 <sup>a</sup>	N1	
0.823 <sup>bc</sup>	1.054 <sup>b</sup>	1.334 <sup>bc</sup>	1.524 <sup>b</sup>	1.911 <sup>b</sup>	1.896 <sup>c</sup>	1.537 <sup>b</sup>	1.265 <sup>bc</sup>	0.964 <sup>ab</sup>	N2	
0.856 <sup>c</sup>	1.113 <sup>b</sup>	1.431 <sup>c</sup>	1.885 <sup>c</sup>	2.139 <sup>c</sup>	2.037 <sup>c</sup>	1.694 <sup>c</sup>	1.311 <sup>c</sup>	1.031 <sup>b</sup>	N3	
<b>0.0480</b>	<b>0.106</b>	<b>0.103</b>	<b>0.207</b>	<b>0.149</b>	<b>0.144</b>	<b>0.114</b>	<b>0.146</b>	<b>0.119</b>	<b>LSD</b>	
0.088 <sup>a</sup>	0.133 <sup>a</sup>	0.181 <sup>a</sup>	0.236 <sup>a</sup>	0.246 <sup>a</sup>	0.215 <sup>a</sup>	0.187 <sup>a</sup>	0.159 <sup>a</sup>	0.137 <sup>a</sup>	N0	mNDVI <sub>705</sub>
0.111 <sup>ab</sup>	0.199 <sup>b</sup>	0.262 <sup>b</sup>	0.336 <sup>b</sup>	0.369 <sup>b</sup>	0.347 <sup>b</sup>	0.304 <sup>b</sup>	0.225 <sup>b</sup>	0.150 <sup>ab</sup>	N1	
0.114 <sup>b</sup>	0.212 <sup>b</sup>	0.293 <sup>c</sup>	0.374 <sup>c</sup>	0.393 <sup>b</sup>	0.394 <sup>c</sup>	0.336 <sup>c</sup>	0.261 <sup>bc</sup>	0.164 <sup>ab</sup>	N2	
0.124 <sup>b</sup>	0.233 <sup>b</sup>	0.322 <sup>c</sup>	0.419 <sup>d</sup>	0.431 <sup>c</sup>	0.415 <sup>c</sup>	0.369 <sup>d</sup>	0.273 <sup>c</sup>	0.190 <sup>b</sup>	N3	
<b>0.023</b>	<b>0.037</b>	<b>0.029</b>	<b>0.037</b>	<b>0.027</b>	<b>0.033</b>	<b>0.029</b>	<b>0.040</b>	<b>0.045</b>	<b>LSD</b>	

### 3- السلوك الطيفي للأدلة الطيفية الخضرية عريضة الحزمة تحت تأثير مستويات الري:

أظهرت النتائج عند دراسة السلوك للأدلة NDVI وSRI وEVI خلال فترة حياة نبات القمح تحت تأثير معاملات الري، انخفاضها في بداية عمر النبات لترتفع تدريجياً لتصل لفترة النمو الخضري الأعظمي، لتعاود قيمها بالانخفاض مع تقدم النبات بالعمر ودخوله مرحلة الشيخوخة إلى الحصاد (الشكل 2)، متأثرةً بالعوامل التي تؤثر على الانعكاس في المجالين الطيفيين تحت أحمر القريب والأحمر المرئي والتي شرحت سابقاً لنفس الدليل تحت تأثير معاملة التسميد، وهذا يتوافق مع ما توصل إليه Babar et al., (2006).

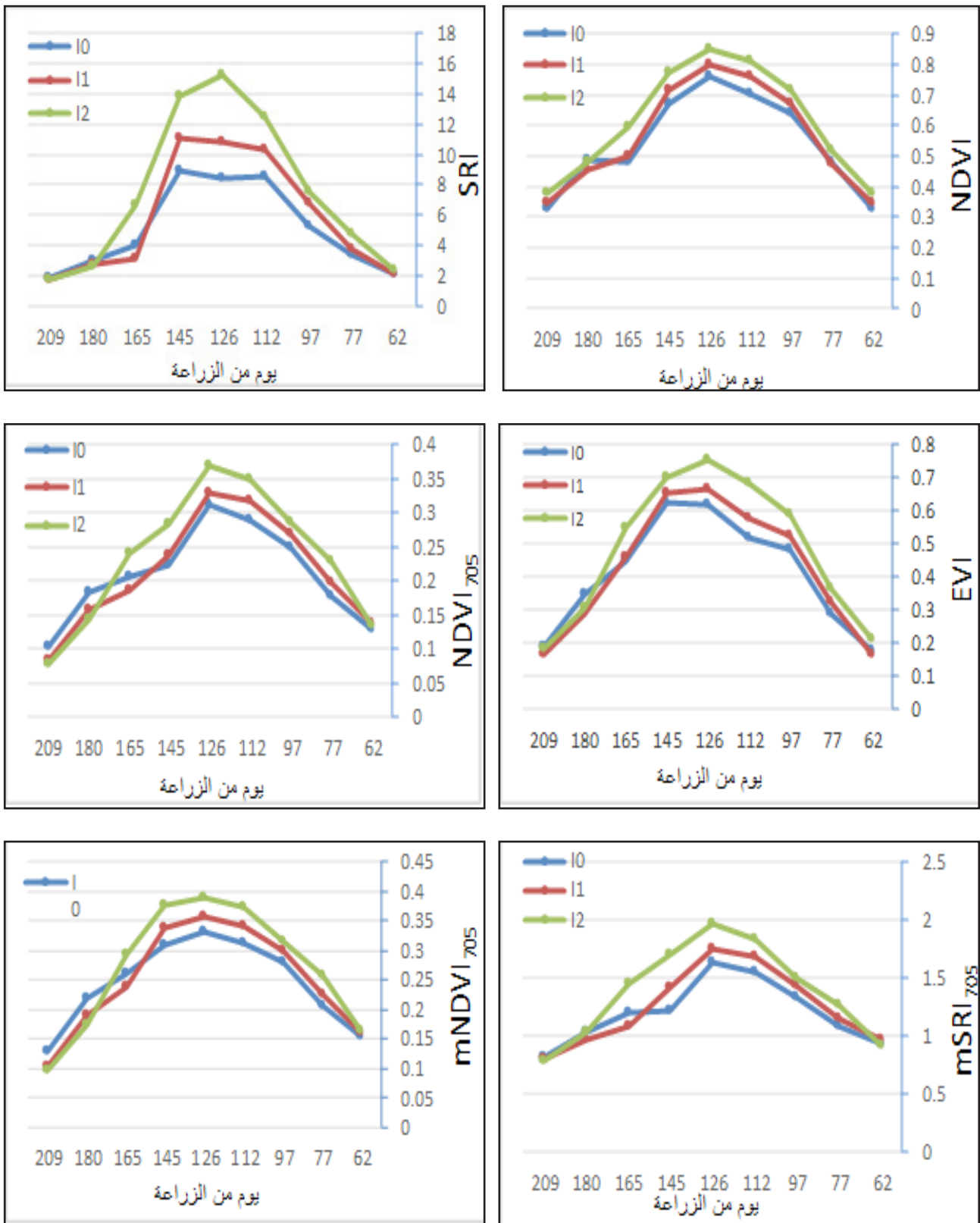
وعند مقارنة قيم هذه الأدلة تحت تأثير معاملات الري، يلاحظ تباين طفيف في هذه القيم تحت المستويات  $I_0, I_1, I_2$  في المراحل الأولى من عمر النبات وحتى 97 يوم من الزراعة، في حين لم يلاحظ وجود فروقاً معنوية بين معاملات الري خلال هذه الفترة، وقد يعزى ذلك إلى تطبيق معاملات الري بعد 103 يوم من الزراعة (مرحلة الاشطاء)، وبالتالي لم يظهر تأثير الري على الصفات الخضرية المؤثرة على الانعكاس في المجالين تحت التحت الأحمر القريب والأحمر المرئي (الجدول 5)، أما عند تطبيق معاملة الري بعد 103 يوم ظهرت فروقات معنوية بين جميع المعاملات فكانت قيم NDVI المسجلة بعد 112 يوم من الزراعة تحت تأثير معاملات الري على النباتات 0.702 و 0.761 و 0.815 لمستويات الري  $I_0$  و  $I_1$  و  $I_2$  على التوالي (الجدول 5)، واستمرت هذه الفروقات حتى موعد الري الثانية التي أعطيت بعد 155 يوم من الزراعة (مرحلة التسنبل). وكانت قيم NDVI المسجلة بعد 165 يوم من الزراعة بعد ظهور تأثير الري على النباتات 0.478 و 0.500 و 0.597 لمستويات الري  $I_0$  و  $I_1$  و  $I_2$  على التوالي (الجدول 5)، حيث كانت الفروقات المعنوية بين ( $I_1, I_0$ ) و  $I_2$  وذلك بسبب تأثير الري على الكتلة الحية، والمساحة الورقية التي تتأثر ارتفاع قيمها بزيادة كمية مياه الري (قانشاو وآخرون، 2007) (الجدول 5). وبالتالي أثر ذلك على الانعكاس في المجال تحت أحمر القريب للنبات تحت معاملة  $I_2$  مقارنة مع  $I_1$ ، و  $I_1$  مقارنة مع  $I_0$ ، وسجلت NDVI قيمةً مرتفعةً في هذه المرحلة من عمر النبات تحت المعاملة  $I_2$  مقارنةً مع المعاملة  $I_1$  وقيمةً مرتفعةً للمعاملة  $I_1$  مقارنةً مع المعاملة  $I_0$ .

ظهرت فروق معنوية بين قيم SRI عند 145 يوم من الزراعة، فكانت القيم (8.944 و 1.0391 و 13.940 لمعاملات  $I_0$  و  $I_1$  و  $I_2$  على التوالي)، ويمكن أن يعزى ذلك لظهور تأثير الري في الصفات الخضرية للنبات تحت تأثير هذه المعاملة حيث يؤدي الري إلى زيادة في الكتلة الحية، وLAI، والوزن الرطب (قانشاو وآخرون، 2007) (الجدول 5)، مما يؤدي إلى زيادة تأثيرها في معاملة الري  $I_2$  مقارنة مع  $I_1$  وزيادتها في  $I_1$  مقارنة مع  $I_0$ ، الذي يؤدي بدوره إلى زيادة الانعكاس للنبات تحت تأثير  $I_2$  مقارنة مع  $I_1$  و  $I_1$  مقارنة مع  $I_0$  وبالتالي قيم SRI تكون أعلى في  $I_2$  ثم  $I_1$  ثم  $I_0$ .

أما عند مقارنة قيم EVI تحت تأثير مواعيد الري المسجلة بعد 112 يوم، فكانت 0.518 و 0.577 و 0.683 لمستويات الري  $I_0$  و  $I_1$  و  $I_2$  على التوالي (الجدول 5)، حيث كانت الفروقات المعنوية بين ( $I_1, I_0$ ) نتيجة تأثير الري على زيادة الكتلة الحية، وLAI، والوزن الرطب الذي أثر على زيادة الانعكاس في المجال المرئي تحت الأحمر القريب. استمرت هذه الفروقات لموعد الري الثانية التي أعطيت بعد 155 يوم من الزراعة (مرحلة التسنبل)، وكانت قيم EVI المسجلة بعد 165 يوم من الزراعة بعد ظهور تأثير الري على النباتات (0.448 و 0.460 و 0.548 للمعاملات  $I_0$  و  $I_1$  و  $I_2$  على التوالي) (الجدول 5)، وذلك بسبب تأثير الري على الكتلة الحية، والمساحة الورقية التي تزيد بزيادة كمية مياه الري، وهذا يتطابق مع نتائج قانشاو وآخرون (2007).

### 4- السلوك الطيفي للأدلة الطيفية الضيقة الحزمة تحت تأثير مستويات الري:

تظهر النتائج عند دراسة السلوك الطيفي العام لهذه الأدلة أنه كان مشابهاً للسلوك الذي سلكته الأدلة العريضة الحزمة خلال فترة حياة نبات القمح تحت تأثير معاملة الري، حيث كانت هذه القيم منخفضة في بداية عمر النبات لترتفع تدريجياً لتصل لفترة النمو الخضري الأعظمي، لتعاود قيمها بالانخفاض مع تقدم النبات بالعمر ودخوله مرحلة الشيخوخة إلى الحصاد (الشكل 2)، وعند مقارنة قيم هذه الأدلة تحت تأثير مواعيد الري، لوحظ تباين في هذه القيم حيث سجلت معاملة  $I_0$  بدون ري قيم أقل مقارنة مع المعاملتين المروبتين حتى 145 يوم من الزراعة، لترتفع هذه القيم عند المعاملة  $I_1$  (رية واحدة)، كما سجلت هذه القيم ارتفاعاً أكبر عند المعاملة  $I_2$  (ريتين)، مقارنة مع المستوى الذي سبقه، فقد بينت نتائج تحليل التباين الموضحة في الجدول (2) إلى عدم وجود فروقات معنوية بين معاملات الري في المراحل الأولى لنمو النبات، وقد يعزى ذلك إلى أنه تم تطبيق معاملات الري بعد 103 يوم من الزراعة (مرحلة الاشطاء)، وبالتالي لم يحدث عامل الري خلال هذه الفترة أي تأثير معنوي على الكتلة الحية LAI والوزن الرطب، الأمر الذي انعكس بدوره على عدم التأثير المعنوي على قيم الانعكاس في المجالات الطيفية المكونة لهذه الأدلة.



الشكل 2. سلوك الأدلة الطيفية الخضيرية خلال فترة حياة نبات القمح تحت مستويات مختلفة من الري

وقد ظهرت الفروقات المعنويّة بين جميع المعاملات بعد ذلك فكانت قيم  $NDVI_{705}$  المسجّلة بعد 112 يوم من الزراعة بعد ظهور تأثير الري على النباتات 0.288 و 0.318 و 0.351 لمستويات الري  $I_0$  و  $I_1$  و  $I_2$  على التوالي (الجدول 5)، وذلك بسبب تأثير الري على الكتلة الحيّة، والمساحة الورقية المعروف زيادتها بزيادة كمّيّة مياه الري، وهذا يتوافق مع ما توصل إليه Hamzaha *et al.*, (2013) الذين وجدوا أنّ  $NDVI_{705}$  يرتبط مع الكتلة الحيّة، ومساحة الورقة، والمحتوى من الكلوروفيل. وكانت قيم  $NDVI_{705}$  المسجّلة بعد 165 يوم من ظهور تأثير الريّة الثانية على النباتات 0.207 و 0.186 و 0.240 لمستويات الري  $I_0$  و  $I_1$  و  $I_2$  على التوالي (الجدول 5)، حيث كانت الفروق المعنويّة بين ( $I_1$ ،  $I_0$ ) و  $I_2$ ، وسجّلت قيم الدليل  $msr_{705}$  عند 145 يوم من الزراعة 1.227 و 1.418 و 1.7 للمعاملات  $I_0$  و  $I_1$  و  $I_2$  على التوالي (الجدول 6). وربما يعود ذلك لظهور تأثير هذا العامل على الصفات الخضريّة للنبات تحت تأثير هذه المعاملة، حيث يؤدّي الري إلى زيادة الكتلة الحيّة، وLAI، والوزن الرطب، مما يؤدّي إلى زيادة تأثيرها في معاملة الري  $I_2$  مقارنةً مع  $I_1$  وزيادتها في  $I_1$  مقارنةً مع  $I_0$ ، الذي يؤدّي بدوره إلى زيادة الانعكاس للنبات تحت تأثير  $I_2$  مقارنةً مع  $I_1$  و  $I_1$  مقارنةً مع  $I_0$  وبالتالي قيم  $msr_{705}$  تكون أعلى في  $I_2$  ثم  $I_1$  ثم  $I_0$ . كانت قيم  $mNDVI_{705}$  المسجّلة بعد 126 يوم من الزراعة بعد ظهور تأثير الري على النباتات 0.332 و 0.358 و 0.390 لمعاملات الري  $I_0$  و  $I_1$  و  $I_2$  على التوالي، حيث كانت الفروقات معنويّة بين جميع المعاملات، وربما يعود ذلك لظهور تأثير هذا العامل على الصفات الخضريّة للنبات تحت تأثير هذه المعاملة، حيث يؤدّي الري إلى زيادة في الكتلة الحيّة وLAI والوزن الرطب (قانشا وآخرون، 2007) مما يؤدّي إلى زيادة تأثيرها في معاملة الري  $I_2$  مقارنةً مع  $I_1$  وزيادتها في  $I_1$  مقارنةً مع  $I_0$  الذي يؤدّي بدوره إلى زيادة الانعكاس للنبات تحت تأثير  $I_2$  مقارنةً مع  $I_1$  و  $I_1$  مقارنةً مع  $I_0$

الجدول 5. تأثير الري على الأدلة الطيفية الخضرية خلال مراحل النمو المختلفة لنبات القمح.

الدليل	موعد القراءة المعاملة	يوم 62	يوم 77	يوم 97	يوم 112	يوم 126	يوم 145	يوم 165	يوم 180	يوم 209
NDVI	I0	0.328 <sup>a</sup>	0.483 <sup>a</sup>	0.642 <sup>a</sup>	0.702 <sup>a</sup>	0.760 <sup>a</sup>	0.670 <sup>a</sup>	0.478 <sup>a</sup>	0.485 <sup>a</sup>	0.328 <sup>a</sup>
	I1	0.347 <sup>ab</sup>	0.473 <sup>a</sup>	0.673 <sup>a</sup>	0.761 <sup>b</sup>	0.800 <sup>b</sup>	0.719 <sup>b</sup>	0.500 <sup>a</sup>	0.456 <sup>a</sup>	0.347 <sup>a</sup>
	I2	0.379 <sup>b</sup>	0.517 <sup>a</sup>	0.718 <sup>b</sup>	0.815 <sup>c</sup>	0.850 <sup>c</sup>	0.775 <sup>c</sup>	0.597 <sup>b</sup>	0.478 <sup>a</sup>	0.379 <sup>a</sup>
	LSD	0.0432	0.065	0.036	0.051	0.024	0.030	0.038	0.058	0.031
SRI	I0	2.054 <sup>a</sup>	3.346 <sup>a</sup>	5.288 <sup>a</sup>	8.549 <sup>a</sup>	8.491 <sup>a</sup>	8.944 <sup>a</sup>	4.027 <sup>b</sup>	3.014 <sup>a</sup>	1.783 <sup>a</sup>
	I1	2.156 <sup>a</sup>	3.753 <sup>ab</sup>	6.727 <sup>b</sup>	10.333 <sup>a</sup>	10.829 <sup>a</sup>	11.039 <sup>b</sup>	3.122 <sup>a</sup>	2.698 <sup>a</sup>	1.717 <sup>a</sup>
	I2	2.322 <sup>a</sup>	4.735 <sup>b</sup>	7.562 <sup>b</sup>	12.457 <sup>b</sup>	15.311 <sup>b</sup>	13.940 <sup>c</sup>	6.627 <sup>c</sup>	2.572 <sup>a</sup>	1.692 <sup>a</sup>
	LSD	0.301	1.070	1.102	1.873	2.500	1.119	0.717	0.4815	0.127
EVI	I0	0.173 <sup>a</sup>	0.288 <sup>a</sup>	0.481 <sup>a</sup>	0.518 <sup>a</sup>	0.622 <sup>a</sup>	0.622 <sup>a</sup>	0.448 <sup>a</sup>	0.346 <sup>a</sup>	0.187 <sup>b</sup>
	I1	0.166 <sup>a</sup>	0.325 <sup>ab</sup>	0.527 <sup>ab</sup>	0.577 <sup>a</sup>	0.667 <sup>a</sup>	0.653 <sup>ab</sup>	0.460 <sup>a</sup>	0.290 <sup>a</sup>	0.163 <sup>a</sup>
	I2	0.210 <sup>a</sup>	0.365 <sup>b</sup>	0.588 <sup>b</sup>	0.683 <sup>b</sup>	0.753 <sup>b</sup>	0.701 <sup>b</sup>	0.548 <sup>b</sup>	0.307 <sup>a</sup>	0.179 <sup>ab</sup>
	LSD	0.052	0.064	0.065	0.060	0.062	0.057	0.037	0.054	0.018
NDVI <sub>705</sub>	I0	0.130 <sup>a</sup>	0.178 <sup>a</sup>	0.249 <sup>a</sup>	0.288 <sup>a</sup>	0.314 <sup>a</sup>	0.223 <sup>a</sup>	0.207 <sup>a</sup>	0.184 <sup>b</sup>	0.102 <sup>b</sup>
	I1	0.137 <sup>a</sup>	0.197 <sup>ab</sup>	0.271 <sup>ab</sup>	0.318 <sup>b</sup>	0.329 <sup>a</sup>	0.237 <sup>a</sup>	0.186 <sup>a</sup>	0.156 <sup>ab</sup>	0.084 <sup>a</sup>
	I2	0.135 <sup>a</sup>	0.228 <sup>b</sup>	0.288 <sup>b</sup>	0.351 <sup>c</sup>	0.368 <sup>b</sup>	0.285 <sup>b</sup>	0.240 <sup>b</sup>	0.143 <sup>a</sup>	0.078 <sup>a</sup>
	LSD	0.035	0.034	0.025	0.029	0.026	0.028	0.025	0.029	0.016
mSR <sub>705</sub>	I0	0.936 <sup>a</sup>	1.086 <sup>a</sup>	1.330 <sup>a</sup>	1.561 <sup>a</sup>	1.634 <sup>a</sup>	1.227 <sup>a</sup>	1.206 <sup>b</sup>	1.034 <sup>a</sup>	0.820 <sup>a</sup>
	I1	0.969 <sup>a</sup>	1.152 <sup>ab</sup>	1.435 <sup>b</sup>	1.686 <sup>a</sup>	1.761 <sup>a</sup>	1.418 <sup>b</sup>	1.086 <sup>a</sup>	0.966 <sup>a</sup>	0.804 <sup>a</sup>
	I2	0.922 <sup>a</sup>	1.269 <sup>b</sup>	1.500 <sup>b</sup>	1.840 <sup>b</sup>	1.978 <sup>b</sup>	1.700 <sup>c</sup>	1.462 <sup>c</sup>	1.039 <sup>a</sup>	0.789 <sup>a</sup>
	LSD	0.103	0.127	0.099	0.125	0.129	0.179	0.090	0.091	0.0416
mNDVI <sub>705</sub>	I0	0.156 <sup>a</sup>	0.206 <sup>a</sup>	0.280 <sup>a</sup>	0.313 <sup>a</sup>	0.332 <sup>a</sup>	0.310 <sup>a</sup>	0.262 <sup>a</sup>	0.221 <sup>b</sup>	0.127 <sup>b</sup>
	I1	0.162 <sup>a</sup>	0.226 <sup>ab</sup>	0.300 <sup>ab</sup>	0.342 <sup>a</sup>	0.358 <sup>b</sup>	0.338 <sup>a</sup>	0.238 <sup>a</sup>	0.189 <sup>ab</sup>	0.104 <sup>a</sup>
	I2	0.163 <sup>a</sup>	0.257 <sup>b</sup>	0.317 <sup>b</sup>	0.373 <sup>b</sup>	0.390 <sup>c</sup>	0.376 <sup>b</sup>	0.295 <sup>b</sup>	0.173 <sup>a</sup>	0.096 <sup>a</sup>
	LSD	0.039	0.035	0.025	0.029	0.023	0.032	0.025	0.032	0.020

## 5- دراسة الارتباط بين الأدلة الطيفية والصفات الخضرية والغلة:

تمّ دراسة الارتباط بين متوسط قراءات الأدلة الطيفية المدروسة وكلّ من متوسط قراءات دليل المساحة الورقية، وتركيز الكلورفيل، والوزن الرطب والجاف المسجّل خلال مراحل نمو النبات المختلفة. أظهرت النتائج عند دراسة الارتباط بين الأدلة المدروسة ودليل المساحة الورقية، إلى وجود علاقة ارتباط معنوية بين الأدلة المختلفة ودليل المساحة الورقية، حيث كانت العلاقة موجبة ومعنوية عند مستوى دلالة (0.05) مع دليل EVI ومع باقي الأدلة عند مستوى دلالة 0.01 (الجدول 6)، ويُعزى ذلك لتوافق سلوك دليل المساحة الورقية مع السلوك الذي سلكته هذه الأدلة خلال حياة النبات من حيث ارتفاعها لتصل لمرحلة النمو الخضري الأعظمي، لتتخفض بعدها عندما يصل النبات للنضج والحصاد. كما لوحظ أنّ أعلى قيمة لمعامل الارتباط سجّلت مع الدليل NDVI بقيمة قدرها 0.966\*\*\*. وأظهرت صفة الوزن الرطب علاقة ارتباطاً موجبة ومعنوية مع دليل EVI عند مستوى دلالة 0.05، أمّا باقي الأدلة فسجّلت علاقة ارتباط موجبة ولكنها غير معنوية (الجدول 6). وأظهرت صفة الوزن الجاف علاقة ارتباط موجبة غير معنوية مع كل الأدلة المدروسة، وقد يعود السبب في ذلك لسلوك الوزن الجاف المستمر في الزيادة بقيمته حتى نهاية عمر النبات، في حين أنّ جميع الأدلة تغيّر سلوكها عند النمو الخضري الأعظمي، وبدأت قيمها في الانخفاض إلى مرحلة النضج والحصاد (الجدول 6).

أظهرت النتائج عند دراسة الارتباط بين الأدلة المدروسة وتركيز الكلورفيل وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية عند مستوى دلالة 0.05 مع كل من الأدلة  $mSR_{705}$  و  $NDVI_{705}$  و SR وموجبة عالية المعنوية مع باقي الأدلة عند مستوى دلالة 0.01 (الجدول 6)، ويُعزى ذلك لتوافق سلوك تركيز الكلورفيل مع السلوك الذي سلكته هذه الأدلة خلال حياة النبات من حيث ارتفاعها لتصل لمرحلة النمو الخضري الأعظمي، لتتخفف بعدها إلى أن تصل لمرحلة النضج والحصاد. كما لوحظ أن أعلى قيمة لمعامل الارتباط سجلت مع الدليل NDVI بقيمة قدرها  $0.966^{**}$ .

الجدول 6. معامل الارتباط بين الأدلة الطيفية والصفات الخضرية خلال مراحل النمو لنبات القمح

الأدلة الطيفية	دليل المساحة الورقية	الوزن الرطب	الوزن الجاف	تركيز الكلورفيل
EVI	0.876*	<b>0.861*</b>	0.684	<b>0.966**</b>
$mNDVI_{705}$	0.925**	0.798	0.595	0.930**
$mSR_{705}$	0.934**	0.762	0.516	0.905*
NDVI	<b>0.966**</b>	0.715	0.474	0.922**
$NDVI_{705}$	0.956**	0.725	0.482	0.905*
SR	0.920**	0.731	0.463	0.874*

\*، \*\* معنوية قيمة معامل الارتباط عند مستوى دلالة 0.05 و 0.01 على التوالي

ولمعرفة أفضل المراحل التي تحقق أفضل ارتباط بين الأدلة الطيفية المدروسة وغلّة القمح من الحبوب والقش كخطوة أولى للتنبؤ بالغلّة، تمّ دراسة الارتباط بين هذه الأدلة الطيفية والغلّة الحبيّة عند كلّ قراءة راديومترية سجّلت خلال فترة حياة النبات، حيث وجد علاقة ارتباط عالية المعنوية بين هذه الأدلة والغلّة الحبيّة عند كلّ التواريخ المسجّل بها القياسات الراديومترية، فيما عدا القراءة المسجّلة بعد 62 و 208 يوم من الزراعة والموافقة لمراحل النمو الأولى والأخيرة من حياة النبات. كما لوحظ أن أعلى قيم لمعامل الارتباط سجّلت للأدلة NDVI بقيمه  $0.665^{**}$  بعد 145 يوم من الزراعة أمّا باقي الأدلة  $mNDVI_{705}$  و  $mSR_{705}$  و  $NDVI_{705}$  و EVI و SR فسجّلت أعلى القيم لمعامل الارتباط بعد 165 يوم من الزراعة وكانت  $0.595^{**}$  و  $0.738^{**}$  و  $0.609^{**}$  و  $0.605^{**}$  و  $0.789^{**}$  على التوالي والتي تتوافق فترة النمو الخضري الأعظمي (الجدول 7).

سجّلت نتائج مشابهة عند دراسة الارتباط بين الأدلة الطيفية المدروسة والغلّة من القش عند كلّ قراءة راديومترية، حيث وجد علاقة ارتباط عالية المعنوية بين هذه الأدلة والغلّة من القش عند كلّ التواريخ المسجّل بها القياسات الراديومترية فيما عدا القراءة المسجّلة بعد 62 و 208 يوم من الزراعة، ولوحظ أن أعلى قيم لمعامل الارتباط سجّلت للدليل  $NDVI_{705}$  بعد 145 يوم من الزراعة، أمّا باقي الأدلة فسجّلت أعلى القيم لمعامل الارتباط بعد 165 يوم من الزراعة والتي تتوافق مع فترة النمو الخضري الأعظمي (الجدول 7).



الجدول 7. الارتباط بين الأدلة الطيفية المدروسة وكل من الغلة من القش والغلة الحبيبة عند كل قراءة راديومترية.

يوم من الزراعة									
208	180	165	145	126	112	97	77	62	الغلة الحبيبة
0.129	0.368*	0.655**	.665**	0.599**	0.441**	0.475**	0.365*	0.288	NDVI
0.104	0.107	0.789**	0.688**	0.716**	0.507**	0.563**	0.507**	0.274	SRI
0.282	0.259	0.605**	0.498**	0.574**	0.561**	0.501**	0.430**	0.319	EVI
-0.124	0.024	0.609**	0.655**	0.559**	0.461**	0.494**	0.459**	0.04	NDVI705
0.091	0.325	0.738**	0.602**	0.633**	.484**	0.521**	0.480**	0.027	mSR705
-0.158	0.007	0.595**	0.549**	0.565**	0.455**	0.485**	0.452**	0.04	mNDVI705
208	180	165	145	126	112	97	77	62	الغلة من القش
0.186	0.398*	0.695**	0.672**	0.656**	0.499**	0.536**	0.381*	0.374*	NDVI
0.158	0.145	0.839*	0.752**	0.767**	0.568**	0.601**	0.530**	0.369*	SR
0.345*	0.293	0.657**	0.545*	0.627**	0.621**	0.543**	0.448**	0.400*	EVI
-0.078	0.073	0.645**	0.710**	0.624**	0.527**	0.540**	0.497**	0.068	NDVI705
0.143	0.397**	0.792**	0.653**	0.692**	0.550**	0.565**	0.512**	0.022	mSR705
-0.114	0.057	0.635**	0.633**	0.627**	0.522**	0.532**	0.491**	0.076	mNDVI705

\*, \*\* معنوية قيمة معامل الارتباط عند مستوى دلالة عند 0.05 و 0.01 على التوالي

#### 6- التنبؤ بإنتاجية الغلة الحبيبة لمحصول القمح:

وجد أن أفضل الارتباطات بين هذه الأدلة والغلة الحبيبة كانت بعد 145 و 165 يوم من الزراعة، وعلى هذا الأساس تم الاعتماد على هاتين المرحلتين لمحاولة التنبؤ المبكر للغلة الحبيبة لمحصول القمح باستخدام طريقة الانحدار الخطي البسيط Simple Liner Regression لتوضيح العلاقة بين كل دليل من هذه الأدلة على حدة والغلة الحبيبة، وتحديد أفضلها من حيث إمكانية التنبؤ بالغلة الحبيبة، كما تم استخدام طريقة الانحدار المتدرج Stepwise Regression بإدخال جميع الأدلة الواحد تلو الآخر لإيجاد أفضل معادلة للتنبؤ اعتماداً على الأدلة الطيفية التي تعطي أفضل معامل تحديد ( $R^2$ ).

عند دراسة الانحدار البسيط بين الأدلة الطيفية والغلة الحبيبة عند 145 يوم من الزراعة، وجد أن أفضل علاقة للتنبؤ بالغلة كانت مع دليل SRI وكانت قيمة معامل التحديد 0.474، في حين كان أقلها مع دليل  $mNDVI_{705}$  بمعامل تحديد 0.302، وعند استخدام طريقة الانحدار Stepwise Regression لدراسة إمكانية التنبؤ بالغلة الحبيبة عند 145 يوم من الزراعة، وجد أن معادلة التنبؤ اعتمدت على دليل SRI بمعامل تحديد قدره 0.474 الجدول (8).

الجدول 8. معادلات الانحدار الخطي البسيط للتنبؤ بالغلة الحبيبة اعتماداً على الأدلة الطيفية عند 145 يوم من الزراعة.

الأدلة الطيفية	معادلات الانحدار الخطي البسيط للتنبؤ بالغلة الحبيبة اعتماداً على الأدلة الطيفية	(معامل التحديد) R <sup>2</sup>
NDVI	Grain Yield (Kg/ha) = -5160.729 + 9804.402 NDVI	0.442
SRI	Grain Yield (Kg/ha) = -878.727 + 246.664 SRI	0.474
EVI	Grain Yield (Kg/ha) = -1775.476 + 5594.037 EVI	0.248
NDVI705	Grain Yield (Kg/ha) = -2047.526 + 15944.789 NDVI705	0.429
mSR705	Grain Yield (Kg/ha) = -1122.476 + 2093.779 mSR705	0.362
mNDVI705	Grain Yield (Kg/ha) = -2020.243 + 11521.621 mNDVI705	0.302
	معادلات الانحدار بطريقة Stepwise Regression للتنبؤ بالغلة الحبيبة اعتماداً على الأدلة الطيفية	
الأدلة الخضرية	Grain Yield (Kg/ha) = -878.727 + 246.664 SRI	0.474

وعند دراسة الانحدار البسيط بين الأدلة الطيفية والغلة الحبيبة عند 165 يوم من الزراعة، وجد أنّ أفضل علاقة للتنبؤ بالغلة كانت مع دليلي SRI و mSR705، وكانت قيمة معامل التحديد لكلٍّ منها 0.623 و 0.544 على التوالي في حين كان أقلها مع دليل NDVI بمعامل تحديد 0.284، وباستخدام طريقة الانحدار Stepwise Regression عند 165 يوم من الزراعة، اعتمدت معادلة التنبؤ مع الأدلة الخضرية على دليل SRI بمعامل تحديد قدره 0.623 (الجدول 9).

الجدول 9. معادلات الانحدار الخطي البسيط للتنبؤ بالغلة الحبيبة اعتماداً على الأدلة الطيفية عند 165 يوم من الزراعة.

الأدلة الطيفية	معادلات الانحدار الخطي البسيط للتنبؤ بالغلة الحبيبة اعتماداً على الأدلة الطيفية	(معامل التحديد) R <sup>2</sup>
NDVI	Grain Yield (Kg/ha) = -2611.919 + 8609.970 NDVI	0.429
SRI	Grain Yield (Kg/ha) = -1205.680 + 678.563 SR	0.623
EVI	Grain Yield (Kg/ha) = -1349.333 + 6714.519 EVI	0.366
NDVI705	Grain Yield (Kg/ha) = -1642.195 + 16851.069 NDVI705	0.371
mSR705	Grain Yield (Kg/ha) = -4468.451 + 5096.975 mSR705	0.544
mNDVI705	Grain Yield (Kg/ha) = -2226.815 + 15633.158 mNDVI705	0.354
	معادلات الانحدار بطريقة Stepwise Regression للتنبؤ بالغلة الحبيبة اعتماداً على الأدلة الطيفية	
الأدلة الخضرية	Grain Yield (Kg/ha) = -1205.680 + 678.563 SRI	0.623

#### الاستنتاجات:

1) وجد أنّ جميع الأدلة الطيفية سلكت سلوكاً متشابهاً، حيث أنّ قيم هذه الأدلة كانت منخفضة في بداية عمر النبات لترتفع تدريجياً لتصل لفترة النمو الخضري الأعظمي مع ثباتها نوعاً ما خلال هذه الفترة، لتعاود قيمها بالانخفاض مع تقدّم النبات بالعمر ودخوله مرحلة الشيخوخة إلى الحصاد متأثرةً بسلوك الصفات الخضريّة. كما لوحظ تباين في هذه القيم تحت تأثير مستويات التسميد المختلفة، حيث سجّل مستوى التسميد الأزوتي N0 أقل قيم مقارنةً مع باقي مستويات التسميد خلال فترة حياة نبات القمح، لترتفع هذه القيم عند مستوى التسميد N1 و N2 و N3 على التوالي، مع وجود فروقات معنويّة بين مستويات التسميد المختلفة منذ المراحل الأولى من عمر النبات.

2) لوحظ تباين طفيف في قيم الأدلة الطيفية تحت مستويات الري I<sub>0</sub> و I<sub>1</sub> و I<sub>2</sub> في المراحل الأولى من عمر النبات حتى 97 يوم من الزراعة، لتظهر الفروقات المعنويّة بعد هذا التاريخ بين معاملات الري نتيجة لتطبيق معاملات الري بعد 103 يوم من الزراعة (مرحلة الاشطاء).

- (3) أظهرت النتائج عند دراسة الارتباط بين الأدلة المدروسة ودليل المساحة الورقية، إلى وجود علاقة ارتباط عالية المعنوية بين الأدلة المختلفة ودليل المساحة الورقية، كانت موجبة عند مستوى دلالة 0.05 مع دليل EVI ومع باقي الأدلة عند مستوى دلالة 0.01، أما صفة الوزن الرطب أظهرت علاقة ارتباط موجبة ومعنوية مع الدليل EVI عند مستوى دلالة 0.05، أما صفة الوزن الجاف أظهرت علاقة ارتباط موجبة غير معنوية مع كل الأدلة المدروسة.
- (4) وجدت علاقة ارتباط عالية المعنوية بين الأدلة المدروسة والغلة الحبيبة عند كل التواريخ المسجل بها القياسات الراديومترية فيما عدا القراءة المسجلة بعد 62 و 208 يوم من الزراعة، والموافقة لمراحل النمو الأولى والأخيرة من حياة النبات، ولوحظ أن أعلى قيم لمعامل الارتباط سجلت للدليل NDVI بعد 145 يوم من الزراعة، أما باقي الأدلة فسجلت أعلى القيم لمعامل الارتباط بعد 165 يوم من الزراعة والتي تتوافق فترة النمو الخضري الأعظمي. وسجلت نتائج مشابهة عند دراسة الارتباط بين الأدلة الطيفية المدروسة والغلة من القش.
- (5) وجد أن أفضل علاقة للتنبؤ بالغلة كانت مع الدليل SRI عند 145 يوم من الزراعة بطريقتي الانحدار البسيط، والانحدار المتدرج Stepwise Regression. أما عند 165 يوم من الزراعة وجد أن أفضل علاقة للتنبؤ بالغلة كانت مع الأدلة SRI و  $mSR_{705}$  عند 165 يوم من الزراعة بطريقة الانحدار البسيط وباستخدام طريقة الانحدار Stepwise Regression عند 165 يوم، وكان الدليل SR الأفضل للتنبؤ بالغلة الحبيبة لمحصول القمح.

#### المراجع :

- قانشاو، عناية و مأمون خيتي وفاروق الشوا (2007). أثر الري التكميلي في إنتاجية القمح القاسي في محافظة القنيطرة. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية. 23 (2).
- وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي (2012). دائرة الإحصاء، مديرية التخطيط والتعاون الدولي، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، دمشق، سورية.
- الإحصاء.
- Abd El-Gawad, A.A.; H.K. Zaki; A.M. Abo-Shetaia; E.A. Al-Khaled (2000). A try to apply spectral reflectance of wheat plant for predicting yield. Egypt J. Appl. Sci., 15(8):375- 397.
- Al-Khaled, E.A.; A.A Abd El-Gawad.; A.M. Abo-Shetaia.; M.A. Ashoub and H.K. Zaki (2005) Spectral signatures and identification of some summer crops using remote sensing techniques. Annals of Agricultural Science. 50 (1): 65- 82.
- Babar M.A.; M. P. Reynolds; M. van Ginkel; A. R. Klatt; W. R. Raun; and M. L. Stone (2006). Spectral reflectance indices as a potential indirect selection criteria for wheat yield under irrigation. Crop Sci., 46:578–588.
- Belaid, A. (2000). Durum wheat in WANA production, trade and grains from technological change. In. Option Mediterranean. Pp 35-54.
- Binfang, H.; F. Yan; and L. Huali (2010). Monitoring phenological key stages of winter wheat basing on temporal series of EVI data in Anhui China. Information Science and Engineering (ICISE). pp 6724 – 6728.
- Boehm, D.J.; W.A. Berzonsky; and M. Bhattacharya (2004). Influence of nitrogen fertilizer treatments on spring wheat (*Triticum aestivum*) flour characteristics and effect on fresh and frozen dough quality. Cereal Chem. 81 (1):51- 54.
- Chen, J.; H. Yan; X. Xiao; H. Huang; J. Liu; and X. Bai (2013). Multiple cropping intensity in China derived from Agro-meteorological Observations and MODIS Data. Chinese Geographical Science doi: 10.1007/s11769-2013-0637-2.
- Dawson, T.P. and Curran, P.J., (1998) A new technique for interpolating red edge position. International Journal of Remote Sensing, 19, pp. 2133–2139. Datt, B. (1999). A new reflectance index for remote sensing of chlorophyll content in higher plants: tests using eucalyptus leaves. Journal of

Plant Physiology. 154:30- 36.

- Lusch, D.P. (1999). Introduction to environmental remote sensing. Center for remote sensing and GIS, Michigan State University
- Edmeades, G.O.; J. Bolanos; H.R. Lafitte; S. Rajaram; W.N. Pfeif; and R.A. Fisher (1989). Traditional approaches to breeding for drought resistance in cereal. Pp: 27- 52, in F.W.G. Baker (ed). Drought resistance in cereal ICSU Press and CAB In, Walling ford, UK.
- Filella, A.; and J. Penuelas (2007) . Technical note a new technique for interpolating the reflectance red edge position. International Journal of Remote Sensing. 15(7).
- Franke, J.; and G. Menz (2007). Multitemporal wheat disease detection by multi spectral remote sensing. *Precis. Agric.*, 8:161–172
- Gitelson, A.A.; and M.N. Merzlyak (1994). Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus Hippocastanum* L. and *Acer Platanoides* L. leaves. Spectral Features and Relation to Chlorophyll Estimation. *Journal of Plant Physiology*. 143:286- 292.
- Hamzaha, S.; A.A. Naseria; S.K. AlaviPanahb; B. Mojaradic; H.M. Bartholomeusd; J.G.P.W. Cleversd; and M. Behzad (2013). Estimating salinity stress in sugarcane fields with spaceborne hyperspectral vegetation indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. (21): 282–290.
- Huete, A.R.; H. Liu; K. Batchily; and W. van Leeuwen (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 59(3):440- 451.
- Jackson, M.L. (1967) Soil Chemical Analysis. Pp. 72- 184. Prentice Hall of India Private Ltd., New Delhi.
- Pradhan, S.; K.K. Bandyopadhyay; R.N. Sahoo; V.K. Sehgal; R. Singh; V.K. Gupta; and D.K. Joshi (2014). Predicting wheat grain and biomass yield using canopy reflectance of booting stage. *J. Indian Soc. Remote Sens.* DOI 10.1007/s12524-014-0372-x 201.
- Qi-fa, Z.; Z. Liu; and J. Huang (2010). Detection of nitrogen-over fertilized rice plants with leaf positional difference in hyperspectral vegetation index. *J. Zhejiang Univ. Sci. B.*, 11(6):465–470.
- Richards, L.A. (1954) Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. Hand Book, NO. 6. U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C.
- Rouse, J.W.; R.H. Haas; J.A. Schell; and D.W. Deering (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA. SP-351 I: 309- 317.
- Sellers, P.J. (1985). Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration. *International Journal of Remote Sensing*. 6:1335- 1372.
- Sims, D.A.; and J.A. Gamon, (2002). Relationships Between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*. 81:337- 354.
- Sovoe, S. (2011). Mapping irrigated area fragments for crop water use assessment using handheld spectroradiometer. *International Journal of Agronomy*. Article ID 974040. 8 pages . DOI : 10. 1155 /2011 /974040.
- Stancalie, G.h.; A.T. Nertan; L. Toulivos; M. Spiliotopoulos (2014). Potential of using satellite based vegetation indices and biophysical variables for the assessment of the water footprint of crops: Second International Con Nence on Remote Sensing and Geoinformation of Environment. 7- 10

April, Pafos, Cyprus.

- Verrelst, J.; M. Kneubühle; B. Koetz; and M. Schaepman (2006). Directional sensitivity analysis of vegetation indices from multi-angular chris/proba data. Centre for Geo-Information, Wageningen, UR, Wageningen, The Netherlands Jochem.
- Wiegand, C.L.; A.J. Richardson; D.E. Escobar; and A.H. Gegbermann (1991). Vegetation indices in crop assessments, Rem. Sens. Environ., 35: 105 – 119.
- Edyta, W.; and S. Nasilowska (2011). Delimitation of nitrates pollution source areas on the base of vegetation indices derived from MODIS. University of Warsaw, Faculty of Geography and Regional Studies, Department of Geo-informatics and Remote Sensing, Warsaw, Poland.

## Response of Some Spectral Vegetation Indices (Broad and Narrow Band) of Wheat Crop under Irrigation and Nitrogen Fertilization Factors

Eyad Al-Khaled\* <sup>(1)</sup> Yousef Nemr <sup>(2)</sup> and Iman Alhumaer<sup>(3)</sup>

(1). General Organization of Remote Sensing (GORS), Damascus, Syria.

(2). Crops Field Department, Damascus University, Damascus, Syria.

(3). Planning and International Cooperation, Ministry of Agriculture and Agrarian Reform (MAAR), Damascus, Syria.

(\*Corresponding author: Dr. Eyad Al-Khaled. E.Mail. [dr.eyadalkhaled@gmail.com](mailto:dr.eyadalkhaled@gmail.com)).

Received: 09/09/2016

Accepted: 16/10/2016

### Abstract

A field experiment was conducted at the General Organization of Remote Sensing (GORS), Damascus countryside, Syria, during 2013/ 2014 season, using some spectral indices i.e. NDVI, SRI, EVI,  $NDVI_{705}$ ,  $mSR_{705}$ ,  $mNDVI_{705}$ , to determine the spectral response of wheat plant throughout its different developing stages under the effect of irrigation and nitrogen fertilization, also using spectral indices in predicting yield, and study the correlation between the spectral indices, and some vegetative and productivity characteristics. The FieldSpecPro RS3 was used to record the radiometric characteristics, each 15 days, also some vegetation indices were recorded (Leaf Area Index LAI, fresh and dry weight, and chlorophyll content in leaves), starting from the beginning to the end of plant growth, besides the yield and yield components at harvest. It was noticed that the performance of all spectral indices was similar, they were low at the beginning of plant growth, then increased to reach their maximum values at the vegetative stage, then decreased again with the development of plant growth and harvest. Nitrogen fertilizer showed a significant effect on spectral indices at the first plant stages,  $N_0$  gave the lowest values, while  $N_1$ ,  $N_2$ , and  $N_3$  gave a highest value. In terms of irrigation levels ( $I_1$ ,  $I_2$ , and  $I_3$ ), a very low difference in spectral indices was noticed at the first plant stages, but the differences began to appear after 97 days from sowing, because of the addition of irrigation during tillering stage. The results showed high significant correlation between the different indices and LAI and fresh weight, it was positive with EVI, at 0.05% level of significance. It was noticed that all three spectral indices had a relation with water content, but the dry weight showed a positive correlation but not significant. It has been found a high significant correlation between the indices and grain yield at each radiometric measurement except after 62 and 208 days after sowing, which are accompany with the first and last stages of growth plant,

respectively. It is also noticed that NDVI, recorded the highest correlation values after 145 days from sowing, but the other indices  $mNDVI_{705}$ ,  $mSR_{705}$ ,  $NDVI_{705}$ , EVI, and SR recorded the highest correlation values after 165 days from sowing, which coincides with the maximum vegetation growth. With respect to yield prediction, it has been found that the best linear model was with the SRI index after 145 from sowing, besides the spectral indices SRI and  $mSR_{705}$  which also gave a good prediction linear model after 165 days from sowing.

**Keys Words:** Vegetation indices, Broad band, Narrow band, Yield Prediction, Wheat.