



تأثير مرض الصدأ الأصفر في بعض الصفات الطيفية لمحصول القمح تحت الظروف المروية والبعلية

Effect of Yellow Rust Disease in Some Spectral Characteristics of Wheat Under the Irrigated and Rainfed Conditions

م. براءة هويس⁽³⁾

N. T. Ibrahem

د. باسل القاعي⁽²⁾

B. Al-kai

د. ناصر إبراهيم⁽⁴⁻¹⁾

B. Hawis

(1) الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، دمشق، سورية. nibrahem345@yahoo.com

(2) قسم وقاية النبات، كلية الزراعة، جامعة البعث، حمص، سورية.

(3) الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، حمص، سورية.

(4) المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد / ACSAD).

الملخص

تمت دراسة الانعكاس الطيفي لمحصول القمح تحت تأثير أهم مجهدين بيئيين: الأول أحيائي، وهو مرض الصدأ الأصفر لما له من تأثير متزايد في الآونة الأخيرة خاصة، والثاني لا أحيائي، وهو الري. إذ تم إجراء عدوى اصطناعية للصدأ الأصفر المتسبب عن الفطر *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* بتاريخ 2009/3/23 على نباتات القمح لأربعة أصناف مختلفة الحساسية للمرض هي أكساد₆₅، دوما₁، شام₁₀ و شام₆، وذلك تحت الظروف المروية والبعلية. أظهرت النتائج أن أعراض المرض بدأت بالظهور بعد 13 يوماً من إجراء العدوى، وأدى كل من الإجهاد المرضي و الزراعة البعل إلى زيادة في قيمة الانعكاس عند الأشعة الحمراء المرئية، وخفض قيمة الانعكاس عند الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR، وكذلك خفض قيمة دليل الاختلافات الخضرية NDVI. أدى مرض الصدأ الأصفر إلى خفض قيمة الانعكاس عند الأشعة تحت الحمراء القريبة وخفض قيمة الدليل NDVI قبل ظهور الأعراض المرضية بعدة أيام، لكن لم تصل قيمة الانخفاض إلى مستوى المعنوية الإحصائية لانعكاس الأشعة الحمراء إلا بعد ظهور الأعراض المرضية. وبالتالي يمكن التنبؤ بحدوث المرض قبل ظهوره بنحو أسبوع باستخدام الأشعة تحت الحمراء القريبة والدليل النباتي NDVI.

الكلمات المفتاحية: الانعكاس الطيفي، القمح، مرض الصدأ الأصفر، ري، بعل.

Abstract

The spectral reflectance of wheat under two environmental stresses are studied: the first is the yellow rust disease; which representing the biotic stress and the other is irrigation; representing the abiotic stress. An artificial infection of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* has been applied on 23 /3/ 2009 on four wheat varieties: Acsad₆₅, Doma₁, Sham₁₀ and Sham₆ under irrigated and rainfed conditions. The results indicated that the disease symptoms appeared after /13/ days from infection. Either disease or water stress led to increase the red reflectance values, but to decrease the near infrared reflectance (NIR) and normalized differences vegetation index (NDVI) values. The significant differences in the values of NIR and NDVI between healthy and diseased plants appeared many days before the visible symptoms took

place, but the significance in the red reflectance values didn't appear until the visible symptoms were shown. Early detection of disease was observed about one week before the symptoms has appeared using NIR and NDVI.

Keywords: Spectral reflectance, Wheat, Yellow rust disease, Irrigation, Rainfed.

المقدمة

يُعدّ القمح المحصول الغذائي الأكثر أهمية في بلدان غربي ووسط آسيا وشمال إفريقيا، إذ يحتل ثلث المساحة القابلة للزراعة في هذه المناطق. إلا أن معدل إنتاجيته لا يزال منخفضاً بسبب تعرضه للإجهادات الأحيائية وغير الأحيائية، إذ يبلغ معدل الإنتاجية نحو 1500 كغ/هـ، وهو أقل من ثلثي المعدل العالمي (El-Naimi وزملاؤه، 2001).

أدت إصابة محصول القمح بالفطر *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* westend المسبب لمرض الصدأ الأصفر إلى خسائر كبيرة في العقدين الماضيين في العديد من بلدان العالم، ولاسيما في المناطق الباردة والرطبة، إذ وصل الفقد في المحصول نتيجة الإصابة بالمرض إلى 75 % (Hassanpour وزملاؤه، 2001). إن الانتشار الواسع للأصناف الحساسة في كل من سورية ولبنان وتركيا سمح بتطور سلالات كثيرة من الفطر، ما أدى لحدوث الأوبئة (Yahyaoui وزملاؤه، 2001)، كما أن بعض العمليات الزراعية مثل تقديم مياه الري في مناطق الزراعات البعلية أدى لزيادة المحصول، ولكنه أدى لتطور وانتشار مرض الصدأ الأصفر أيضاً، ففي الأعوام القليلة الماضية انتشر مرض الصدأ الأصفر في معظم بلدان المنطقة، وتراوح الفقد في المحصول بين 10 و 40 % (El-Naimi وزملاؤه، 2001).

ينتشر مرض الصدأ الأصفر في سورية في عدة مناطق، فيلاحظ انتشاره في حقول القمح غربي مدينة حمص (خليل، 2003). يقع القسم الأعظم من مناطق زراعة القمح البعلية في سورية ضمن المناخ المتوسطي، ويتأثر بالإجهاد الحراري، وإجهاد الجفاف الذي يحدث غالباً مع فترة الإزهار، أو في بداية مرحلة امتلاء الحبوب، وعلى الرغم من أن هذه الإجهادات تخفف المحصول بشكل معنوي فإن الطبيعة المتكررة لحدوثها تحدّ من حدوث وباء مرض الصدأ الأصفر، مع أن الصدأ الأصفر يمكن أن يتسبب في فقدان مهم على النباتات الصغيرة في المناطق شبه الجافة، وذلك عندما ينمو الفطر الممرض بوجود ندى الربيع والبرودة النسبية. ويمكن أن تكون مخاطر مرض الصدأ الأصفر عالية في مناطق زراعة القمح البعلية في الربيع البارد ومع معدل مطري يتجاوز 400 ملم/سنة، ويؤدي الاعتماد على الري في المناطق الأكثر جفافاً إلى ظروف بيئية مثالية لتطور مرض الصدأ الأصفر (Ketata، 2001).

تؤثر الإجهادات النباتية بشكل مباشر أو غير مباشر في الإنعكاس الطيفي من خلال تأثيرها في بعض الصفات النباتية، مثل دليل مساحة الأوراق، وتركيز الكلوروفيل، والوزن الرطب، وغيرها من الصفات الأخرى التي يمكن مراقبتها باستخدام قياسات الطيف المنعكس عن النبات، وتستخدم بيانات الإنعكاس الطيفي مؤشراً على الحالة الفيزيولوجية النباتية من نقص العناصر الغذائية والإجهادات البيئية (Elliott و Regan، 1993). تؤدي الإجهادات الفيزيولوجية لتغيرات في الخواص الطيفية لأوراق النباتات ضمن المنطقة الحمراء القريبة والمنطقة المرئية، إذ يتزايد انعكاس الأشعة المرئية مع تزايد شدة الإجهاد، بينما يتناقص انعكاس الأشعة تحت الحمراء القريبة في مرحلة متقدمة من هجوم المرض، إذ تتوقف إنعكاسية النبات في هذا المجال بصورة رئيسة على البنية الداخلية لأوراق النبات (Sharp وزملاؤه، 1985؛ خاروف، 1994).

أمكن تمييز نباتات القمح المصابة بمرض الصدأ الأصفر عن نباتات القمح المصابة بنقص العناصر، وعن نباتات القمح السليمة طيفياً (Moshou وزملاؤه، 2003)، وبينت بعض الدراسات أن الإنعكاس الطيفي للقمح المصاب بمرض الصدأ الأصفر كان أعلى عند طول موجة 670-560 نانومتر، ولكن أقل عند NIR، وتم بنجاح معرفة درجة الإصابة، والمساحة المصابة بالصدأ الأصفر، بالاعتماد على الأدلة الطيفية، المعتمدة بدورها على العلاقات بين انعكاسات بعض الحزم (Huang وزملاؤه، 2004). وتختلف الاستجابة الطيفية لمرض الصدأ الأصفر حسب نوع القمح سواء القاسي أو الطري، وكذلك درجة حساسية الصنف للمرض (ابراهيم وزملاؤه، قيد النشر).

تستخدم بيانات الانعكاس الطيفي مؤشراً على المحتوى المائي، ويتناسب الإنعكاس في الأشعة الحمراء من المجال المرئي عكساً مع المحتوى المائي في النبات، في حين تُعد الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) الأكثر علاقةً من نطاقات الطيف دلالةً مع محتوى الماء في الأوراق، ومع حالة الماء في النبات (Myers، 1983).

تم تطوير أدلة طيفية (Vegetative Indices) للتخفيف من أثر عوامل غير داخلية في دراسة قيم الإنعكاسات الطيفية، وأحد الأدلة النباتية الشائعة هو دليل تسوية التباين النباتي Normalized Difference Vegetative Index- NDVI، وهو يشير إلى الفرق بين قيم الإنعكاس عند الأشعة تحت الحمراء القريبة والأشعة الحمراء مقسومةً على مجموع هاتين القيمتين (Rouse وزملاؤه، 1973)، مما يخفف من تأثير التربة وتأثير الظل في قيم الانعكاسات (Deering، 1978).

ولدليل ارتباط مع العديد من الصفات النباتية، فهو يرتبط طردياً مع كل من محتوى اليخضور والإنتاجية (Abd El-Gawad وزملاؤه، 2004) ولدليل مساحة الأوراق (ابراهيم وزملاؤه، 2011)، والكتلة الحيوية والمادة الجافة (LI وزملاؤه، 2001؛ Abd El-Gawad وزملاؤه، 2004)، كما

تتخفف قيم الـ NDVI بشكل معنوي في نباتات القمح المصابة بالصدأ الأصفر مقارنةً بالسليمة بالتزامن مع تطور المرض (Devades, 2009). تأتي أهمية الأدلة الطيفية النباتية في الكشف المبكر عن الإجهادات النباتية المائية (ري وبعل)، والمرضية (مصاب بالصدأ الأصفر وشاهد دون إصابة) بالترتيب التالي: الدليل المائي (Normalized Difference Water Index) NDWI، ثم الدليل النباتي NDVI، يليهما الدليل الخضري (Normalized Difference Greenness Index) NDVI، الذي يرصد فقط التأثير النباتي المرئي ضمن مجال النطاقين الأحمر والأخضر (ابراهيم وزملاؤه، 2013). فعند اتساع رقعة الانتشار الجغرافي التي ينمو فيها المحصول يحدث تداخل لتأثير الإجهادات البيئية بشقيها الأحيائية وغير الأحيائية في نمو وانتاجية القمح. إن الانتشار الواسع للزراعة البعلية وانتشار الأمراض، ولاسيما الأصداء وانتقالها إلى حالة وبائية يحتاج إلى دراسة ومراقبة، ما يتطلب جهداً كبيراً وتكلفةً عاليةً. إن تقانة الاستشعار عن بعد تؤمن الرصد التكراري عالي الزمنية ولجميع المناطق المزروعة على مساحة شاملة وفي التوقيت نفسه.

تأتي أهمية تقانة الاستشعار عن بعد في رصد التغيرات التي قد تتعرض لها النباتات على مساحات واسعة عن طريق قياس الاختلافات في درجة الانعكاس الطيفي للنباتات المصابة مع السليمة، والنتيجة عن التغير في الخصائص الفيزيولوجية والمورفولوجية للنباتات نتيجة التعرض للإجهادات البيئية سواء الأحيائية أو غير الأحيائية الممرضة. إذ تسجل هذه التغيرات الطيفية بقنوات معينة من الطول الموجي للإشعاع المنعكس وعلى مساحات شاملة باستخدام الصور الفضائية، ما يؤمن رؤيةً شاملةً للمساحات المزروعة، مع مراقبة التغيرات الفيزيولوجية والمورفولوجية للنباتات ضمن هذه المساحات ولكل محصول.

مع التوسع في زراعة القمح على مساحات واسعة كمحصول استراتيجي، تزايد في السنوات الأخيرة تأثير مرض الصدأ الأصفر في خفض إنتاجية هذا المحصول، ما دعى للبحث عن تقانات جديدة لمراقبة مرض الصدأ الأصفر تكون أكثر سرعةً في اكتشاف المرض، إضافةً إلى توفير الوقت والجهد، وبالتالي يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير مرض الصدأ الأصفر (أهم مجهد بيئي أحيائي) في بعض الصفات الطيفية لمحصول القمح تحت الظروف المروية والبعلية (أهم مجهد بيئي لا أحيائي)، وإمكانية استخدام قياسات الانعكاس الطيفي في الكشف المبكر عن مرض الصدأ الأصفر.

مواد البحث وطرائقه

تم خلال الموسم الزراعي 2009/2008 إجراء تجربة حقلية في حقل زراعي يقع قرب محطة البحوث العلمية الزراعية بحمص (سورية)، إذ زرع بذار القمح بتاريخ 2008/12/2 بطريقة النثر وبمعدل 32 كغ/دونم، وبلغت مساحة القطعة التجريبية الواحدة 10 م²، بمساحة تجربة صافية بلغت 640 م²، وبمساحة تجربة كاملة (مع الهوامش وممرات الخدمة) بلغت أكثر من 1000 م². تمت جميع العمليات الزراعية وفق توصيات وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي السورية في منطقة الزراعة لتتماثل بذلك مع الحقول الزراعية المجاورة لمنطقة الدراسة، بدءاً من اختيار الأرض وحرثها، والتسميد بالعناصر الأساسية وفق المعدلات المنصوح بها، ومكافحة الأعشاب الضارة.

1 - الأصناف المزروعة:

زُرعت أربعة أصناف اثنان من القمح الطري (A) هما شام6 (SH6) وشام10 (SH10)، وإثنان من القمح القاسي (D) هما اكساد65 (AC) ودوما1 (DO).

2 - الري:

تم الري وفق نظامين: الأول بالري السطحي (IR)، والثاني بعلأ (دون ري) (RF). بلغ عدد الريات ثلاث في ظروف التجربة بتاريخ 2009/4/5 و 2009/5/4 و 2009/5/19.

3 - الإصابة بمرض الصدأ الأصفر:

وذلك وفق معاملة إصابة (DIS)، والأخرى دون إصابة (شاهد) (W) تمت حمايتها باستخدام المبيد الفطري (Azoxystrobin) لمنع الإصابة ولعدة مرات، بفواصل 15 يوماً تقريباً بين الرش والآخرى.

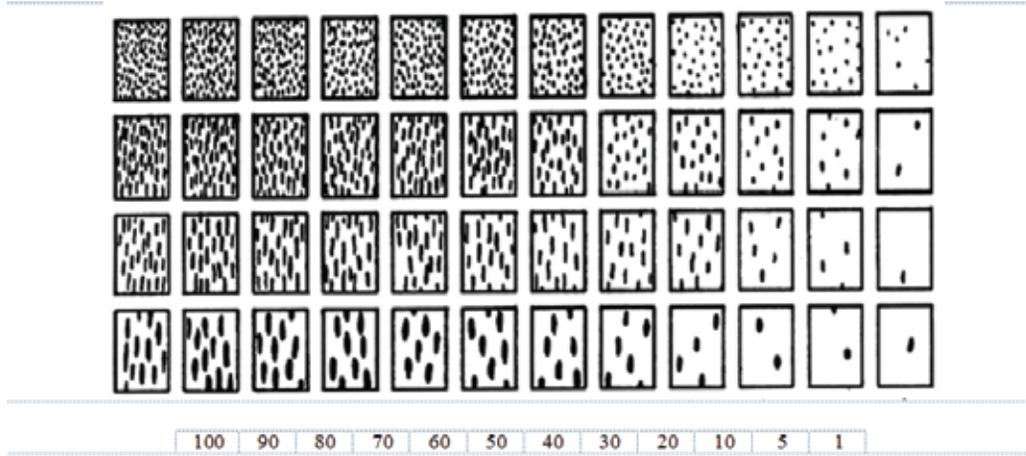
العدوى الاصطناعية وقياس شدة الإصابة

أجريت العدوى بالفطر المسبب لمرض الصدأ الأصفر باستخدام المعلق المائي لأبواغ الفطر (*Puccinia striiformis*)، الذي تم تأمينه عن طريق المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (إيكاردا/ICARDA)، وذلك برش مناطق العدوى عدة مرات خلال يوم العدوى وفق مرحلة واحدة بتاريخ 2009/3/23.

شملت قراءات الإصابة المرضية لأمراض الصدأ كلاً من شدة الإصابة وطراز الإصابة (كامل، 1985):

- شدة الإصابة: تمثل نسبة الأجزاء المصابة إلى المساحة الكلية للنبات أو الورقة، وتؤخذ من سلم يتدرج من 0 إلى 100 وهو سلم بترسون وكامبل المعتمد دولياً (الشكل 1).

إذا كانت شدة الإصابة أقل من 1 % فتعد عادةً آثاراً، ويرمز لها بالحرف T.



الشكل 1. سلم درجات انتشار الأصداء عندما تكون البثرات بأحجام مختلفة.

- طراز الإصابة: هناك عدة طرز للإصابة التي تسببها سلالات الصدأ على أصناف القمح، وهي تبين درجة المقاومة أو القابلية للإصابة لأصناف القمح، كالآتي:

(O) منيع: لا توجد بثرات يوريدية أو قشور للنسيج الميت.

(R) مقاوم: تكون البثرات اليوريدية دقيقة، مبعثرة ومعزولة محاطة بمساحات حادة ومتصلة من الأنسجة الميتة.

(MR) متوسط المقاومة: إذ تكون البثرات اليوريدية صغيرة إلى متوسطة الحجم، ومنفصلة، والمساحات الناتجة من فرط الحساسية موجودة على شكل هالات أو دوائر من أنسجة ميتة، وتكون البثرات عادةً في جزر خضراء مصفرة قليلاً.

(MS) متوسط القابلية للإصابة: تكون البثرات اليوريدية متوسطة، ولا توجد مساحات من الأنسجة الميتة، يمكن أن تتكون المساحات الشاحبة (المصفرة) تحت ظروف غير مناسبة.

(S) قابل للإصابة: تكون البثرات اليوريدية كبيرة، ومندمجة بصفة عامة، وعديدة، ولا توجد أنسجة ميتة، لكن يمكن أن تكون مصفرة.

(X) متوسط: متغاير الخواص، البثرات اليوريدية متنوعة، وتشمل في بعض الأحيان كل أنواع الإصابة، ويوجد تداخل بينها على الورقة نفسها.

ونظراً لاختلاف الأصناف المزروعة في درجة حساسيتها للإصابة، فقد تم استخدام ما يسمى بمعامل العدوى، الذي يأخذ القيم التالية حسب كل صنف: 0.8 للصنف شام6 متوسط الحساسية، 0.4 للصنف شام10 متوسط المقاومة، كذلك 0.4 للصنف دوما1 متوسط المقاومة، بينما أعطيت القيمة 1 للصنف اكساد65 الحساس. ثم يتم حساب دليل المرض (DI)، كجداء القراءة النسبية المثوية للإصابة بمعامل العدوى لكل صنف، وذلك حسب Tubbs وزملائه (1986).

التصميم التجريبي

تم التحليل الإحصائي لعوامل الدراسة وفق تصميم القطع المنشقة مرتين في 4 مكررات (الشكل 2)، وفق التوافق: 4 (أصناف) × 2 (إصابة) × 2 (ري) × 4 (مكرر) = 64 قطعة تجريبية.

V1	V4	V2	V3	V3	V4	V1	V2
dis							
V4	V1	V3	V2	V3	V2	V1	V4
w	w	w	w	w	w	w	w
V1	V3	V4	V2	V4	V1	V2	V3
dis							
V3	V1	V4	V2	V2	V3	V1	V4
w	w	w	w	w	w	w	w
V2	V3	V1	V4	V2	V1	V4	V3
dis							
V4	V1	V2	V3	V1	V4	V2	V3
w	w	w	w	w	w	w	w
V1	V2	V3	V4	V4	V2	V3	V1
dis							
V2	V1	V4	V3	V2	V3	V4	V1
w	w	w	w	w	w	w	w

بعلي

مروي

الشكل 2. مخطط تصميم التجربة الحقلية.

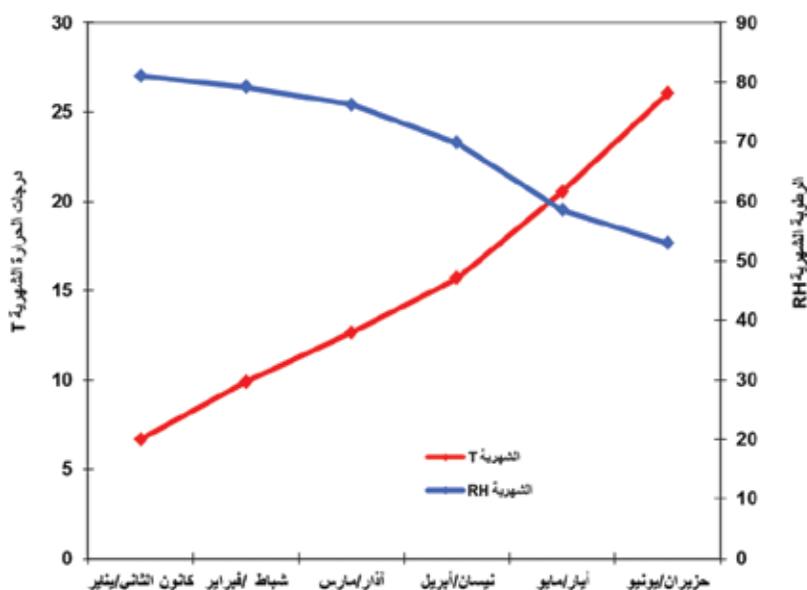
القراءات المسجلة

تم تسجيل القراءات الطيفية المراد تحليلها باستخدام جهاز الراديوتر المحمول حقلياً (Field spec pro)، إذ يقوم الجزء المستشعر بتسجيل كل الانعكاسات الطيفية بزوايا قدرها 25 درجة ومن ارتفاع 1.5 م عن قمة النبات، كما يقوم هذا الجزء المستشعر بتسجيل الانعكاسات الطيفية كافة عند جميع الأطوال الموجية الممتدة من 350 إلى 2500 نانومتر بفاصل طيفي قدره 1 نانومتر، أي بعدد قنوات طيفية قدرها 2150 قناة. يتم تسجيل القراءات ألياً وفق برنامج RS3 المزود به الجهاز، على أن يتم أولاً إجراء معايرة على لوح أبيض معياري يحقق انعكاسية تامة للأشعة الشمسية، ثم قراءة المعاملة المستهدفة، لتحفظ بيانات كل قراءة في ملف بيانات على هيئة Rad، ثم يتم عرض وتحويل هذه الملفات ببرنامج View spec pro إلى ملفات ذات هيئة Dat، وتحويلها لاحقاً إلى ملفات Excel، لتكون جاهزة لعملية التحليل، ثم تم استخدام برنامج HySCAP لتجميع وانتقاء القنوات الطيفية ذات العلاقة المباشرة في رصد التغيرات الطيفية للمعاملة المستهدفة حسب كل إجهاد أحيائي أو لا أحيائي. يتم حساب الدليل النباتي لعلاقة إنعكاس كل من الأشعة الحمراء (R)، والأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) بالصيغة الرياضية التالية (Rouse وزملاؤه، 1973):

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

المعطيات المناخية

يُظهر الشكل 3 والجدول 1 البيانات المناخية خلال فترة التجربة، وذلك في الموسم الزراعي 2009/2008 وفق محطة الأرصاد الجوية لمدينة حمص، والتي لا تبعد أكثر من 500 م عن موقع التجربة، إذ يبين الشكل 3 متوسط درجات الحرارة الشهرية (م°)، ومتوسط الرطوبة الشهرية (%). كما يبين الجدول 1 معدل الهطول المطري الشهري (ملم)، وذلك خلال موسم نمو محصول القمح 2009/2008.



الشكل 3. متوسط درجات الحرارة (م°) والرطوبة الشهرية (%) خلال موسم 2009/2008.

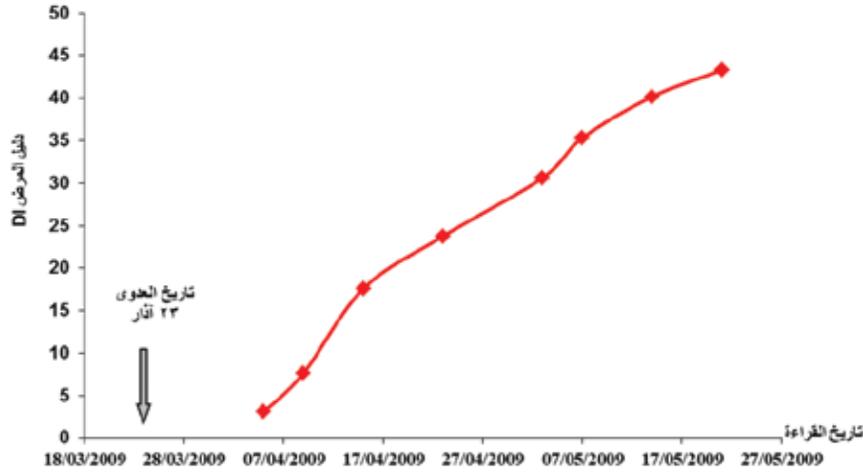
الجدول 1. معدل الهطول المطري الشهري (ملم) خلال موسم النمو الزراعي 2009/2008.

الشهر	الهطول المطري (ملم)	الهطول التراكمي (ملم)
كانون الثاني (يناير)	36.6	36.6
شباط (فبراير)	81	117.6
آذار (مارس)	101.9	219.5
نيسان (أبريل)	47.3	266.8
أيار (مايو)	0.001	266.8

النتائج والمناقشة

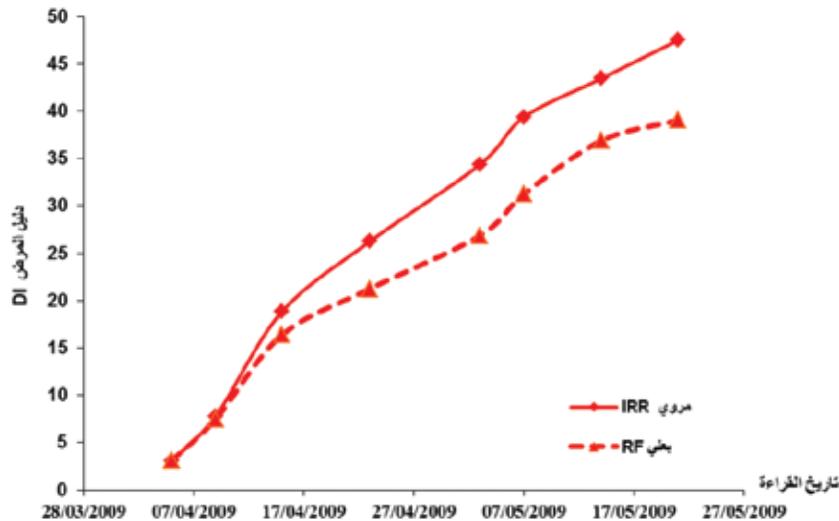
1 - تطور شدة الإصابة بمرض الصدأ الأصفر على نبات القمح تحت الظروف المروية والبعلية:

يبين الشكل 4 تطور دليل مرض الصدأ الأصفر كمتوسط لأصناف القمح الأربعة المدروسة باختلاف درجة حساسيتها. كان أول تسجيل للإصابة بعد 13 يوماً من العدوى، فبلغ دليل المرض 3.09 في 2009/4/5، وأصبح 7.66 بتاريخ 2009/4/9، واستمر بالتزايد حتى بلغ 43.28 بتاريخ 2009/5/21.



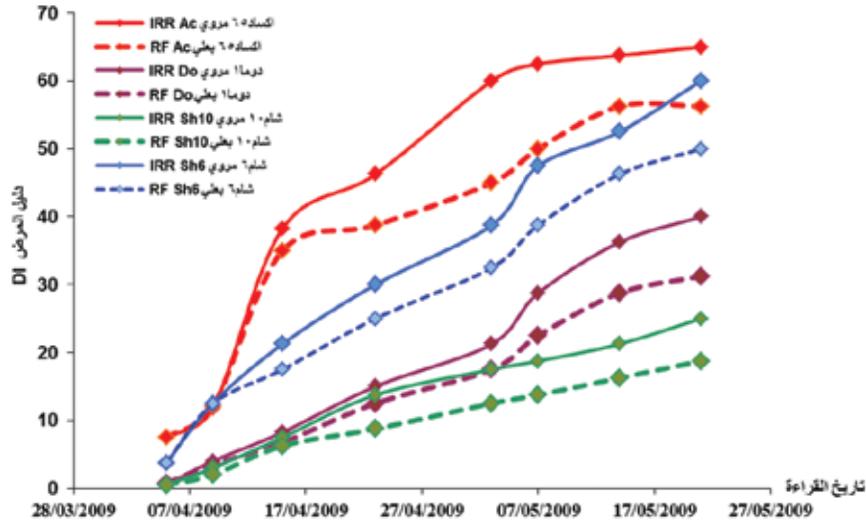
الشكل 4. تطور مرض الصدأ الأصفر مع الزمن على نباتات القمح.

ويُظهر الشكل 5 تطور مرض الصدأ الأصفر على نبات القمح تحت الظروف المروية والبعلية، إذ يلاحظ عدم وجود فروق معنوية في قيم دليل المرض بين المعاملات المروية والمعاملات البعلية في القراءتين المسجلتين بتاريخ 5 أبريل و 9 أبريل، في حين بدأت الفروق المعنوية بالظهور ابتداءً من 15 أبريل، واستمرت حتى القراءة الأخيرة بتاريخ 21 مايو مع استمرار تزايد دليل المرض.



الشكل 5. تطور مرض الصدأ الأصفر على نبات القمح تحت الظروف المروية والبعلية.

يظهر الشكل 6 تأثير مرض الصدأ الأصفر في جميع أصناف القمح المدروسة تحت الظروف المروية والبعلية من خلال وجود فروق في قيمة دليل المرض لكل صنف بين المروي والبعلي، ولكن لم يصل إلى درجة المعنوية إلا بتاريخ 15 أبريل وذلك لصنف أكساد65 فقط، أما بتاريخ 23 أبريل فسُجل الفرق المعنوي لدليل المرض بين المعاملات المروية والبعلية لكل من أكساد65 وشام6 و شام10 وشام6، وكذلك بتاريخ 3 مايو، أما ابتداءً من 7 مايو فقد أبدى كل صنف فرقاً معنوياً لدليل المرض بين معاملي الري والبعلي.



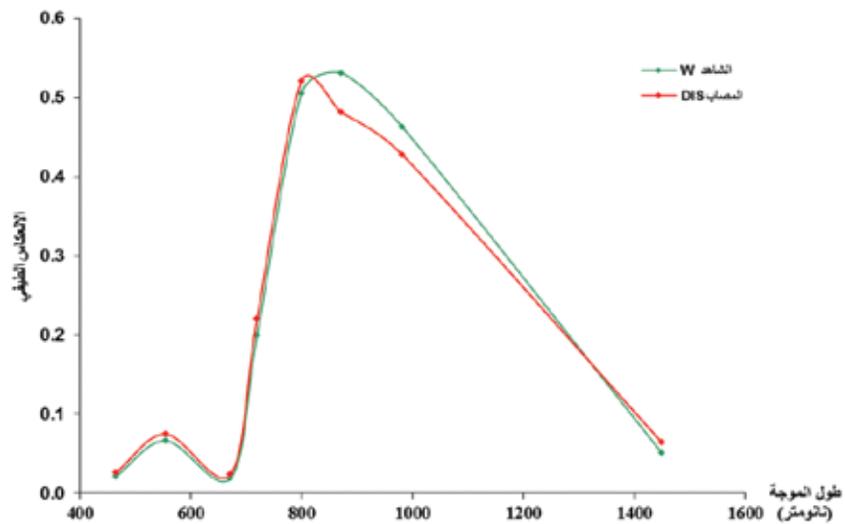
الشكل 6. تطور مرض الصدأ الأصفر تحت الظروف المرورية والبعلية لأصناف القمح المدروسة شام6، شام10، أكساد65، دوما1.

2 - الإنعكاسات الطيفية لمحصول القمح تحت ظروف الإصابة بمرض الصدأ الأصفر:

تم استخدام برنامج HySCAP لتجميع وانتقاء القنوات الطيفية ذات العلاقة المباشرة في رصد التغيرات الطيفية للمعاملة المستهدفة حسب كل إجهاد أحيائي أو لا أحيائي. وبناءً على ذلك تم اختيار المجالات الطيفية التالية:

800	820-780 نانومتر، وتمثلها الحزمة 800	5	480-450 نانومتر، وتمثلها الحزمة 465	1
872	885-860 نانومتر، وتمثلها الحزمة 872	6	685-660 نانومتر، وتمثلها الحزمة 672	2
982	995-970 نانومتر، وتمثلها الحزمة 982	7	570-540 نانومتر، وتمثلها الحزمة 555	3
1450	1460-1440 نانومتر، وتمثلها الحزمة 1450	8	735-705 نانومتر، وتمثلها الحزمة 720	4

يلاحظ من الشكل 7 الذي يوضح الإنعكاسات الطيفية لنباتات القمح المصابة والسليمة عند الحزم الطيفية المذكورة سابقاً وذلك بتاريخ 2009/4/9، أن الإنعكاس الطيفي للنباتات المصابة كان أعلى منه عند النباتات السليمة، وذلك من الحزمة الأولى حتى الخامسة، وكان الفرق معنوياً عند كل الحزم، ثم انخفض الإنعكاس الطيفي للنباتات المصابة في الحزمتين السادسة والسابعة ليصبح أقل مما هو عند النباتات السليمة أيضاً وبفارق معنوي، أما الحزمة الأخيرة فكان الإنعكاس عند النباتات المصابة أعلى، لكنه لم يصل لدرجة المعنوية. كما تلاحظ الذروة الأولى في الإنعكاس عند الحزمة الثالثة والموافقة للمجال الأخضر المرئي، ومن الواضح أن الحزمتين الممتلئين بالأطوال الموجية 872 و 982 كانتا الأكثر فاعلية في إظهار الفرق بين النباتات السليمة والمصابة، وذلك مقارنة بالحزم الأخرى المدروسة، وتعد الحزمة 872 الأفضل. وبناءً عليه سيتم دراسة هذا المجال، بالإضافة لدليل ال NDVI الذي يدخل المجال تحت الأحمر القريب كأحد مركبتيه، والمجال الأحمر كمرحلة أخرى.



الشكل 7. الانعكاسات الطيفية لنباتات القمح السليمة والمصابة عند أهم الحزم الطيفية بتاريخ 2009/4/9.

إن كلاً من الحزم الأولى والثانية والثالثة هي حزم ممتصة من قبل الكلوروفيل، ولذلك فإن انخفاض محتوى الأوراق من الكلوروفيل الناجم عن الإصابة بمرض الصدأ الأصفر يؤدي لزيادة الانعكاس في هذه الحزم، أما الحزمتان السادسة والسابعة فهما من الحزم المتأثرة بالبنية الداخلية للأوراق (خاروف، 1994)، ولذلك تؤدي الإصابة المرضية لانخفاض الانعكاس المصاحب لانخفاض حيوية النبات المصاب.

3 - تأثير مرض الصدأ الأصفر والري في الصفات الطيفية:

تأثير الصدأ الأصفر والري في انعكاس الأشعة الحمراء:

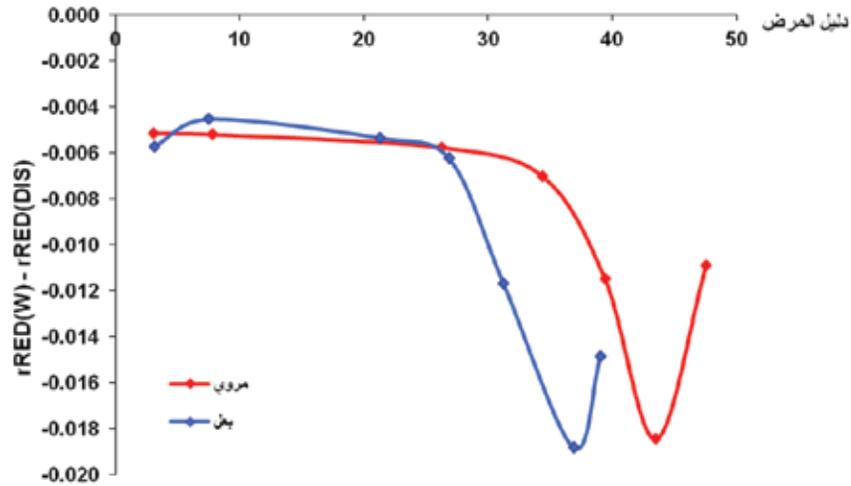
يبين الجدول 2 تأثير مرض الصدأ الأصفر والري في قيم انعكاس الأشعة الحمراء عن نباتات القمح. تتركز الأشعة الحمراء حول متوسط طول موجة 672 نانومتر، إذ سُجل وجود فرق معنوي في قيم انعكاس الأشعة الحمراء في المرحلة 2009/4/9 (وهي أول قراءة تلي إجراء الري) بين المعاملات المدروسة، ولوحظ أن أثر المرض كان أكبر من أثر الجفاف، وذلك تتفوق معنوي للمصاب المروي على الشاهد البعلي، ويستمر هذا الأثر في المراحل التالية: 2009/4/20 و 2009/5/2 و 2009/5/7، أما في 2009/5/14 فتتفوق أثر الجفاف على أثر المرض، بينما لم يلحظ في 2009/5/21 أي فرق معنوي بين الشاهد والإصابة سواء في ظروف الري والجفاف. بلغ متوسط نسبة تأثر انعكاس الأشعة الحمراء عند النباتات المصابة تحت الظروف المروية 22.7%، وسُجلت أعلى القيم في 14 أيار/مايو (36%)، وبلغت تحت الظروف البعلية 17.5%، وأعلىها في 5 نيسان/أبريل (31%).

الجدول 2. تأثير مرض الصدأ الأصفر والري في قيم انعكاس الأشعة الحمراء (672 نانومتر) لنباتات القمح.

تاريخ القراءة	المعاملة				LSD _{0.05}
	IR		RF		
	w	dis	w	dis	
18 مارس	0.0156	0.016	0.0162	0.0163	0.001
31 مارس	0.0191	0.02	0.0192	0.0198	0.001
5 أبريل	0.0179	0.0231	0.0183	0.024	0.001
9 أبريل	0.0179	0.0231	0.0203	0.0249	0.0004
23 أبريل	0.0189	0.0247	0.0217	0.027	0.001
2 مايو	0.0226	0.0296	0.028	0.0343	0.001
7 مايو	0.034	0.0455	0.0441	0.0558	0.007
14 مايو	0.0508	0.0693	0.096	0.1148	0.013
21 مايو	0.1438	0.1548	0.1884	0.2033	0.021

تظهر قيم انعكاس الأشعة الحمراء عن المصاب المروي مقارنةً بالمصاب البعلي وجود فرق معنوي بينهما ابتداءً من تاريخ 2009/4/9 ولنهاية الموسم، إذ كانت انعكاسية المعاملات البعلية المصابة لهذه الحزمة أعلى من انعكاسية المروية المصابة، ما يدل على تأثر المعاملات البعلية المصابة أكثر من المعاملات المروية المصابة.

إذاً تتأثر قيمة الانعكاس عند الأشعة الحمراء عن نباتات القمح بعوامل الإجهاد، سواء كانت الإصابة أو الري، وهذا يتوافق مع ما ذكره كل من Raz وزملائه (2003) و Huang وزملائه (2004)، ولم يلحظ تغير معنوي في قيم الانعكاس للأشعة الحمراء بتأثير الإصابة قبل تسجيل ظهور المرض على النبات، إلا أن التغير في درجة قيم الانعكاس الطيفي للأشعة الحمراء ارتبطت مع درجة تسجيل الإجهاد المرضي والجفاف، ما يجعل من هذه العلاقة المباشرة مؤشراً جيداً في تقدير الإصابة المرضية باستخدام الأشعة الحمراء، ويبين الشكل 8 العلاقة بين دليل المرض من جهة، وبين الفرق في قيم الانعكاس للأشعة الحمراء بين نباتات القمح السليمة والمصابة في كلا الظروف المروية والبعلية من جهة ثانية.



الشكل 8. علاقة شدة مرض الصدأ الأصفر بقيم الفرق لانعكاس الأشعة الحمراء بين نباتات القمح المصابة والسليمة في الظروف المروية والبعلية.

يتبين من الشكل 8 أنه مع تزايد دليل المرض يتزايد الفرق في قيم الانعكاس للأشعة الحمراء ولكن ببطء، وذلك حتى يبلغ دليل المرض القيمة 34.38 في الظروف المروية، والقيمة 26.87 في الظروف البعلية، إذ تتسارع عندها الزيادة في الفرق في قيم الانعكاس مع ازدياد شدة المرض. ويلاحظ في المرحلة الأخيرة تناقص الفرق في قيم انعكاس الأشعة الحمراء بالرغم من ازدياد شدة المرض، ويفسر ذلك بقرب النبات من مرحلة الجفاف، وعندها ينخفض الفرق في قيم الانعكاس بين النباتات المصابة والسليمة.

تأثير مرض الصدأ الأصفر والري في انعكاس الأشعة تحت الحمراء القريبة:

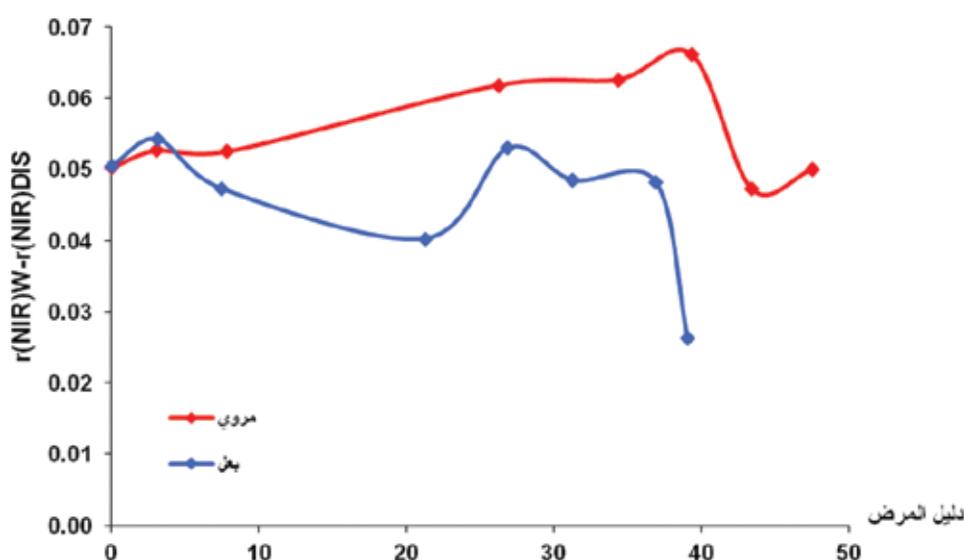
يبين الجدول 3 تأثير مرض الصدأ الأصفر والري في قيم انعكاس الأشعة تحت الحمراء القريبة عن نباتات القمح. إذ تمثل الحزمة الطيفية 872 نانومتر الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR). بينت النتائج وجود فروق معنوية في قيم انعكاس الأشعة تحت الحمراء القريبة بين معاملات الشاهد والإصابة، سواء في الظروف المروية أو البعلية، ابتداءً من 31 مارس، وفي 9 أبريل، وهي أول قراءة تلي الري، ولوحظ تساوي أثر الجفاف مع أثر المرض، إذ لا يوجد فرق معنوي بين الانعكاس لكل من الشاهد البعلي والمصاب المروي، أما في 23 أبريل فتتفوق أثر المرض على أثر الجفاف، وتوقفت قيمة الانعكاس لمعاملة الشاهد البعلي (0.423) معنوياً على معاملة المصاب المروي (0.405)، ما يدل على أن للمرض الأثر الأكبر في إجهاد النبات، في حين تتفوق أثر الجفاف على أثر المرض في باقي القراءات. وتكون نسبة تأثر المعاملات بالمرض متساوية تقريباً بالمتوسط العام (لكل المراحل) بين الظروف المروية والبعلية، إذ يشكل 11.4% (7 إلى 14.6) للظروف المروية، و 11.1% (7.6 إلى 15.2) للظروف البعلية، وكانت المرحلة الأكثر تأثراً في الظروف المروية بتاريخ 2 مايو، أما في الظروف البعلية فكانت 2 و 14 مايو.

الجدول 3. تأثير الصدأ الأصفر والري في قيم انعكاس الأشعة تحت الحمراء القريبة لنباتات القمح خلال مراحل النمو.

تاريخ القراءة	المعاملة				LSD _{0.05}
	IR		RF		
	w	dis	w	dis	
18 مارس	0.5897	0.6027	0.5993	0.589	0.019
31 مارس	0.6623	0.612	0.6598	0.6093	0.019
5 أبريل	0.6564	0.6038	0.6548	0.6005	0.026
9 أبريل	0.5553	0.5028	0.5068	0.4595	0.023
23 أبريل	0.4665	0.4048	0.4233	0.383	0.013
2 مايو	0.4268	0.3643	0.3518	0.2988	0.020
7 مايو	0.5104	0.4443	0.3298	0.2813	0.025
14 مايو	0.3941	0.3468	0.3175	0.2693	0.031
21 مايو	0.3672	0.3173	0.277	0.2508	0.029

يلاحظ عند مقارنة المصاب المروي بالمصاب البعلي وجود فرق معنوي بينهما ابتداءً من 9 أبريل ولنهاية الموسم، ما يدل على أن انعكاسية المعاملات البعلية المصابة لهذه الحزمة كانت أقل من انعكاسية المروية المصابة، وهذا يدل على تأثير المعاملات البعلية المصابة أكثر من المعاملات المروية المصابة. إذ تتأثر قيمة الانعكاس عند الأشعة تحت الحمراء القريبة عن نباتات القمح بعوامل الإجهاد سواءً كانت الإصابة أو الري، وهذا يتوافق مع Huang وزملائه (2004).

وعليه لوحظ ظهور تغيرات طيفية في الأشعة تحت الحمراء القريبة المنعكسة عن النباتات المصابة عند مقارنتها بغير المصابة وفي مراحل مبكرة من حدوث الإجهاد المرضي حتى قبل ظهور أعراضها على النباتات المصابة، إذ تم تسجيل التغير في مراحل تسبق ظهور أعراض المرض بعدة أيام، فقد تم إجراء العدوى المرضية في 23 مارس، إلا أن الأعراض الظاهرية لم تسجل إلا في 5 أبريل، أما طيفياً وباستخدام الحزمة 872 نانومتر فقد تم تسجيل الفرق بين النباتات المصابة والسليمة في 31 مارس، إذ بلغت قيمة الانعكاس في النباتات السليمة 0.66، و 0.61 في النباتات المصابة، ويبين الشكل 9 العلاقة بين دليل المرض والفرق في قيمة الانعكاس عند الأشعة الحمراء القريبة بين النباتات المصابة والسليمة سواء تحت الظروف المروية أو البعلية.



الشكل 9. علاقة شدة مرض الصدأ الأصفر والري في قيم الفرق لانعكاس الأشعة تحت الحمراء القريبة بين نباتات القمح المصابة والسليمة المروية والبعلية.

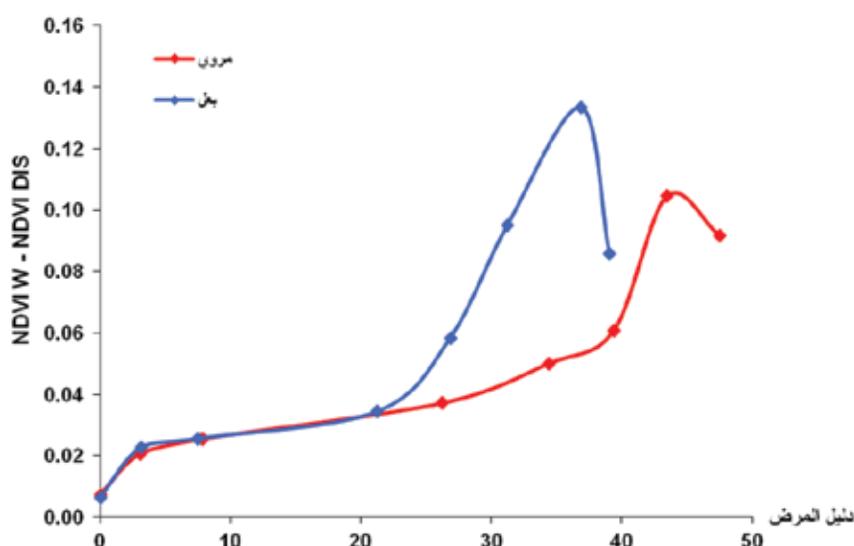
تأثير مرض الصدأ الأصفر والري في قيم الدليل الطيفي النباتي NDVI :

يبين الجدول 4 تأثير مرض الصدأ الأصفر والري في قيم الدليل الطيفي النباتي (NDVI) لنباتات القمح، إذ تبدأ الفروق في المرحلة الثانية في 31 مارس (أي بعد العدوى بـ 8 أيام وقبل الري الأولى)، فيظهر أثر المرض على قيم الـ NDVI، إذ تأخذ قيمة 0.944 بالمتوسط لمعاملات الشاهد، أما المعاملات المصابة فتأخذ قيمة 0.937 بالمتوسط، وكذلك في المرحلة الثالثة في 5 أبريل (وهي قبل الري) إذ كان الفرق معنوياً بين الإصابة والشاهد، وهذا يعني وجود فرق في القيم الطيفية نتيجة الإصابة بالصدأ قبل ظهورها بعدة أيام، ثم تسجيلها بالدليل الطيفي نفسه بعد ظهورها، أما في المرحلة الرابعة أي في 9 أبريل (وهي بعد الري الأولى بـ 4 أيام)، فيلاحظ وجود فروق معنوية بين الشاهد المروي والبعل، وكذلك بين معاملة الشاهد ومعاملة الإصابة، سواء بوجود الري أو دونه، وتبلغ نسبة تأثير الـ NDVI بالمرض بالمتوسط 2.7% وذلك في المرحلة الرابعة، أما في المرحلة الخامسة (20 أبريل) فيظهر أيضاً كل من أثر المرض والري، ويتفوق معنوياً الشاهد المروي ثم الشاهد البعلي، ثم يأتي المصاب المروي، ما يدل على أن أثر المرض كان أكبر من أثر الجفاف في هذه المرحلة، وتبلغ نسبة تأثير الـ NDVI بالمرض في هذه المرحلة تحت ظروف الري 4% و 3.8% تحت الظروف البعلية. وفي المرحلة السادسة (2 مايو) يتساوى تأثير المرض مع تأثير الجفاف، إذ لا يوجد فرق معنوي بين المصاب المروي والشاهد البعلي، وتكون نسبة تأثير الـ NDVI بالمرض 5.5% تحت ظروف الري و 6.8% تحت الظروف البعلية، أما في المرحلة السابعة (7 مايو) فيكون أثر الجفاف أكبر من أثر المرض لكن بشكل غير معنوي، ويصل تأثير الـ NDVI بالمرض لـ 6.9% تحت ظروف الري و 12.5% تحت ظروف البعل، وفي المرحلتين الثامنة والتاسعة (14 و 21 مايو) يتفوق أثر الجفاف على أثر المرض، وتزداد نسبة تأثير الـ NDVI بالمرض لتصل لـ 21.8% تحت الظروف المروية و 45.5% تحت الظروف البعلية، وتبلغ بالمتوسط نسبة تأثير الـ NDVI بالمرض 7% في الظروف المروية، وتتراوح من 0.7 إلى 20.9%، وتبلغ أعلى نسبة في 21 مايو، أما في الظروف البعلية فتتراوح من 0.6 إلى 45%، وتبلغ أعلى نسبة في 21 مايو أيضاً.

الجدول 4. تأثير مرض الصدأ الأصفر والرّي في قيم الـ NDVI .

تاريخ القراءة	المعاملة				LSD _{0.05}
	IR		RF		
	w	dis	w	dis	
18 مارس	0.9486	0.9483	0.9475	0.9463	0.003
31 مارس	0.9439	0.9367	0.9435	0.9372	0.002
5 أبريل	0.9468	0.9263	0.9456	0.923	0.003
9 أبريل	0.9376	0.9122	0.9228	0.8973	0.003
23 أبريل	0.922	0.8849	0.9027	0.8684	0.005
2 مايو	0.8994	0.8494	0.8525	0.7942	0.006
7 مايو	0.8747	0.8139	0.7638	0.6686	0.05
14 مايو	0.7707	0.6663	0.5369	0.4036	0.06
21 مايو	0.4366	0.345	0.1907	0.1048	0.03

عند مقارنة المصاب المروي مع المصاب البعلي يلاحظ وجود فرق معنوي بينهما ابتداءً من 9 أبريل حتى نهاية الموسم، ما يدل على أن حيوية المعاملات المروية المصابة أعلى من حيوية المعاملات البعلية المصابة، واستطاع هذا الدليل الطيفي النباتي رصد تأثير المجهدات في نباتات القمح سواءً الأحيائية منها أو غير الأحيائية، كما تمكن من رصد المرض النباتي قبل ظهور الأعراض البصرية المرضية بمدة زمنية جيدة، إذ انخفضت قيمة هذا الدليل الطيفي من 0.944، وذلك للنباتات السليمة وقبل ظهور الأعراض المرضية إلى 0.937 للنباتات المصابة، ما يعني إمكانية استخدام هذا الدليل الطيفي في الكشف المبكر عن حدوث المرض على نباتات القمح. ويبين الشكل 10 العلاقة بين دليل المرض، والفرق في قيمة دليل الـ NDVI بين النباتات المصابة والسليمة، سواء تحت الظروف المروية أو البعلية.



الشكل 10. علاقة دليل المرض بالفرق في قيمة دليل الـ NDVI بين النباتات المصابة والسليمة تحت الظروف المروية و البعلية.

وبمقارنة الأشكال 8 و 9 و 10 يلاحظ أن علاقة دليل المرض مع الفرق في قيم دليل الـ NDVI تكون أكثر وضوحاً من علاقته مع الفرق في قيم الانعكاس عند كل من الحزمتين 672 و 872، وقد يعود ذلك لدور دليل الـ NDVI في تحيية تأثير عوامل جانبية غير متعلقة بالعوامل المدروسة.

الاستنتاجات والمقترحات

- 1 - تعد الحزمة 872 (885-860) نانومتراً الأفضل في دراسة مرض الصدأ الأصفر على القمح.
- 2 - لم يلحظ أي تغير معنوي في قيم الانعكاس للأشعة الحمراء (672 نانومتر) بتأثير الإصابة قبل توقيت تسجيل ظهور الأعراض المرئية للإصابة على النباتات.
- 3 - سُجل انخفاض معنوي في قيمة الانعكاس للأشعة تحت الحمراء القريبة (872 نانومتر) قبل ظهور الأعراض المرضية بعدة أيام.
- 4 - سُجل انخفاض معنوي في قيمة الدليل NDVI قبل ظهور الأعراض المرضية بعدة أيام.
- 5 - أدى تزايد الإجهاد سواء المائي أو المرضي إلى تزايد في قيمة الانعكاس عند الأشعة الحمراء، وإلى انخفاض قيمة الانعكاس للأشعة تحت الحمراء القريبة، وكذلك انخفاض في قيمة دليل الـ NDVI.
- 6 - تستخدم بيانات الانعكاس الطيفي، ولاسيما في المجال تحت الأحمر القريب، وكذلك الأدلة النباتية في رصد وتسجيل الإجهادات النباتية.
- 7 - إمكانية التنبؤ المبكر عن حدوث الإجهادات قبل ظهور أعراضها المظهرية على النبات بعدة أيام.

المراجع

- ابراهيم، ناصر طراف؛ عبد العظيم عبد الجواد؛ عبد الفتاح ادريس؛ حسين زكي. 2011. مقارنة طيفية ثنائية البعد لتقدير صفات الغطاء النباتي - دليل مساحة الأوراق، مجلة الاستشعار عن بعد، دمشق، سورية، العدد 23: 3-18.
- ابراهيم، ناصر طراف؛ باسل القاعي؛ براءة هويس. 2013. علاقة الأدلة الطيفية الخضرية والمائية بمرض الصدأ الأصفر على القمح تحت الظروف المروية والمطرية، مجلة الاستشعار عن بعد، دمشق، سورية، العدد 25: 25-43.
- ابراهيم، ناصر طراف؛ باسل القاعي؛ براءة هويس. (قيد النشر). الاستجابة الطيفية لبعض أصناف القمح الطري والقاسي لمرض الصدأ الأصفر (المخطوط)، مجلة الاستشعار عن بعد، دمشق، سورية.
- خاروف، حسن حلمي. 1994. الاستشعار عن بعد وتفسير المرئيات. المركز العربي للتعبير والترجمة، 800 صفحة.
- خليل، حسن. 2003. أمراض النبات. مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة البعث، سورية، 430 صفحة.
- كامل، أحمد. 1985. الدليل الحقلّي لأهم آفات القمح والشعير. المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (إيكاردا). نشرة فنية رقم 1.
- Abd El-Gawad, A. A; A. S, Edris, H. K, Zaki, and N. T, Ibrahem. 2004. Estimation of Soybean Yield and Vegetation Amount from Canopy Reflectance Measurements, Arab Univ. J. Agric. Sci. Cairo, 12(1): 221 - 240.
- Deering, D. W. 1978. Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors. Ph. D. Dissertation, Texas A & M University, College Station, TX, 338 pp.
- Devades, R. 2009. Analysis of the interaction of nitrogen application and stripe rust infection in wheat using in situ proximal and remote sensing techniques, University of New England.
- El-Naimi, M; A. Yahyaoui, H. Ketata, O. Abdalah, M. Nachit and M. S, Hakim. 2001. Screening for Yellow Rust Resistance in Bread and Durum Wheat. Conference on yellow rust in the central and west asia and north africa region, Karaj, Iran.
- Elliott, G. A and K. L. Regan. 1993. Use of Reflectance Measurements to Estimate Early Cereal Biomass Production on Sandplain Soils. Australian Journal of Experimental Agriculture, 33(2):179 - 183.
- Hassanpour H. M; M. Torabi, and V. Mardoukhi. 2001. Seedling and Adult Plant Reaction to Different Pathotypes of Puccinia Striformis Westend. In Newly Released Wheat Varieties for Rainfed Areas of Iran. Conference on yellow rust in the central and west asia and north Africa region, Karaj, Iran.
- Huang, W; J. Wang, H. Wan, L. Liu, M. Huang and J. Wang. 2004. Monitoring of wheat yellow rust with dynamic hyperspectral data, Sch. of Geogr., Beijing Normal Univ, Beijing.
- Ketata, H. 2001. The Importance of Yellow Rust in Rainfed-Wheat Areas of Central and West Asia and North Africa (CWANA). Conference on yellow rust in the central and west Asia and north Africa region, Karaj, Iran.
- Li, H; R. J. Lascano, E. Barnes, J. Booker, L.T. Wilson, E. Segarra and K. F. Bronson. 2001. Temporal Patterns of Cotton Reflectance and NDVI -Days Lint Yield Modeling. In P. Dugger and D. Richer (ed.) Proc. Beltwide Cotton Conf., Anaheim, CA.

- Natl. Cotton Counc. Of Am., Memphis. TN. 9 - 13 Jan.
- Moshou, D; C. Bravo , S. Wahlen, J. West, A.Mccartney, J. De Baerdemaeker and H. Ramon. 2003. Simultaneous identification of plant stresses and diseases in arable crops based on a proximal sensing system and Self-Organising Neural Networks, 4th European Conference on Precision Agriculture, Berlin.
 - Myers, V. I. 1983. Remote Sensing Applications in Agriculture, In Manual of Remote Sensing, Second Edition, Edit by Colwell, R. N., (American Society of Photogrammetry, The Sheridan Press): 2111 - 2227.
 - Raz, M; A. Karnieli and D.J. Bunfil. 2003. Characterization of water and nitrogen stresses in wheat leaves by the visible and near-infrared reflectances, EGS - AGU - EUG Joint Assembly, Abstracts from the meeting held in Nice, France.
 - Rouse, J. W; 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.
 - Sharp E. L, C.R. Perry, A.L. Scharen, G.O. Boatwright, D.C. Sands, L.F. Lautenschlager, C.M. Yahyaoui and F.W. Ravet. 1985. Monitoring cereal rust development with a spectral radiometer. Phytopathology 75:936 - 939.
 - Tubbs, R. W; J. M. Prescott, E. E. Saari, and H. J. Dubinm. 1986. Disease Methodology Manual. CIMMYT, Mexico D.F.46pp.
 - Yahyaoui, A; C.R. Wellings, K. Torabi Nazari, H. Ketata and L. Cetin. 2001. Effective Resistance Genes to Yellow (Stripe) Rust of Wheat in Central and Western Asia. Conference on yellow rust in the central and west Asia and north Africa region, Karaj, Iran.

N° Ref- 291