التفاعلات الوراثية x البيئية وتحليل ثباتية الغلة لطرز وراثية من القمح الطري باستخدام نموذج AMMI Biplot

هبة محمد منصور * (1) و بولص اسكندر خوري (1)

(1). قسم المحاصيل الحقلية، كلية الهندسة الزراعية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

(*للمراسلة: م. هبة منصور، البريد الالكتروني:hibamuhammedmansour@gmail.com).

تاريخ الاستلام: 2024/2/25 تاريخ القبول: 2024/5/9

الملخص

أُستخدم نموذج AMMI Biplot لتقييم التفاعلات الوراثية x البيئية وتحليل ثباتية الغلة لِـ 15 طرازاً وراثياً من القمح الطري في 4 مواقع بيئية متباينة في سورية (الغاب، حريصون، حمين، ودرميني) خلال موسم 2020–2021، نُفِّذت التجربة في المواقع الأربعة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (R.C.B.D) بثلاثة مكررات، حُلِّلت البيانات إحصائياً باستخدام برنامج GenStat 12th، حيث يجمع تحليل AMMI Biplot بين تحليل التباين التجميعي وتحليل المكونات الرئيسة (PCA)، بيَّنت نتائج تحليل التباين التجميعي وجود فروق معنوية بين كلٍ من: الطرز الوراثية المدروسة (G)، المواقع البيئية المختبَرة (E)، والتفاعل بينهما (GxE)؛ مما يشير إلى ضرورة تقييم واختبار الطرز الوراثية المدروسة في مواقع عديدة. بيَّنت نتائج تحليل التباين وفق نموذج AMMI أن المكونين الرئيسيين الأول والثاني كانا معنويين وفسَّرا 88% من التباينات الكلية؛ مما يدلُّ على كفاءة هذا النموذج في تمثيل وتفسير التفاعلات الوراثية x البيئية، كما قُدِّرت قيمة ثباتية AMMI (A.S.V) لترتيب الطرز الوراثية المدروسة تبعاً لثباتيتها، وعلى أساس هذه القيمة كان للسلالة المبشِّرة دوما68498 تليها السلالة أكساد 1300 ثباتية عالية. أشارت نتائج تحليل AMMI إلى أن أكثر الطرز الوراثية المدروسة ثباتيةً هما السلالتان المبشرتان دوما68498 ودوما68467، وأبدى الصنف **جولان2** تكيف خاص وملاءمة جيدة مع موقع درميني، بينما تكيفت السلالتان المبشرتان أكساد1147 و أكساد 1115 مع موقعَي حمين وحريصون، كما أوضحت النتائج أن موقع **الغاب** هو أفضل المواقع البيئية المختبَرة. أما أفضل الطرز الوراثية المدروسة التي جمعت بين الغلة المتفوقة والثباتية العالية هما السلالتان المبشرتان دوما66241 و دوما 66981، وتمثلان الطراز الوراثي المثالي المرغوب من قبل مربِّي النبات، أظهرت الدراسة أن مقاييس الثباتية المستنبطة من نموذج AMMI تعطي مؤشرات متقاربة من حيث تحديد ثباتية الطرز الوراثية، وتفيد بإمكانية تحسين عملية انتخاب واعتماد الأصناف الجديدة في برامج التربية باستخدام طريقة AMMI Biplot.

الكلمات المفتاحية: AMMI Biplot، قمح طري، ثباتية الغلة، تحليل المكونات الرئيسة، الطراز المثالي، قيمة A.S.V.

المقدمة:

تُعرَّف التفاعلات الوراثية x البيئية بأنها اختلاف أداء الطرز الوراثية باختلاف البيئات او استجابة الطرز الوراثية بصورة مختلفة مع اختلاف وتغيُّر الظروف البيئية، والصنف المثالي هو الصنف الذي يتميز بمتوسط غلة مرتفعة مترافقة مع أداء مستقر لا يتأثر بالتقلبات البيئية (Kang, 2004)، يواجه مربو النبات عادةً التفاعلات الوراثية x البيئية عند اختبار الأصناف المحسَّنة في برامج التربية؛ لذلك فإنهم عادةً ما يختبرون الطرز الوراثية في سلسلة من البيئات المتعددة والمتباينة قبل أن يتم اعتمادها وتوزيعها على المزارعين (Neisse *et al*.,2018). هذه السلسلة من البيئات تسمى اصطلاحاً بـ تجارب البيئات المتعددة Multi Environment Trails (METs) وهي مهمة وضرورية لاختبار وتحديد الطرز الوراثية ذات التكيف الواسع مع البيئات المختلفة وتلك الأخرى التي تتمتع بتكيف خاص مع بيئة محددة (Malik *et al*., 2018).

على الرغم من أن اختبار الطرز الوراثية في أي برنامج تربية يتم في مواقع متعددة ولعدة سنوات لضمان انتخاب طرز وراثية تتمتع بأداء جيد ومقبول في بيئات مختلفة، لكنّ تفسير وتحليل البيانات من هذه البيئات المتعددة بشكل فعال لا يزال يشكِّل تحدياً صعباً لمرّبي النبات، وهناك مهمتان رئيسيتان تقع على عاتقهم، الأولى تحديد فيما إذا كانت المنطقة المستهدفة متجانسة أو ينبغي تقسيمها إلى بيئات كبرى متباينة، والثانية هي انتخاب الطرز الوراثية المتفوقة وذات الثباتية العالية (Pupin *et al*., 2018).

إن الوعي المتنامي لأهمية التفاعلات الوراثية x البيئية قد زاد من دور البيئات المتعددة والحقول الاختبارية عند اعتماد الأصناف أو خلال المراحل النهائية من برامج التربية والانتخاب, كما أن تحليل تأثيرات التفاعل الوراثي x البيئي باستخدام الطرق المناسبة بدلاً من تجاهلها سيفيد في الكشف عن المزيد من الفرص لتحسين الأصناف المزروعة, والحد من المساوئ التي تحدثها هذه التأثيرات (Annicchiarico, 2002). يهتم مربو النبات في دراسة تأثير التفاعل بين الطرز الوراثية والبيئة لسببين: الأول أنه يخفض التقدم المتوقع من العملية الانتخابية، والثاني أنه يجعل عملية اعتماد الأصناف صعبة حيث أنه من الصعب إحصائياً تفسير العامل الأساسي المؤثر في الصنف (Gauch and Zobel, 1997).

اقترحت العديد من الطرق الوراثية الإحصائية لتقدير التفاعلات الوراثية x البيئية وتحليل الثباتية، يمكن تقسيمها إلى مجموعتين: طرق قياسية Parametric مزودة بمقاييس ومؤشرات وراثية خاصة بتحليل الثباتية، وطرق لاقياسية Non-Parametric تعتمد على مقارنة تراتيب الطرز الوراثية في البيئات المختلفة (Kang, 2020). من بين الطرق الإحصائية **القياسية** تعد طريقة تحليل التأثيرات الرئيسة التراكمية والتفاعل المتعدد (AMMI) **A**dditive **M**ain Effects and **M**ultiplicative **I**nteractions من أهم الطرق وأكثرها استخداماً، وهي وسيلة وأداة تحليلية فعّالة لتحديد نمط وحجم التفاعلات الوراثية x البيئية، وبالتالي استغلال هذه التفاعلات في دعم قرارات برامج التربية مثل تحديد الطرز الوراثية ذات التكيف الواسع أو الخاص والبيئات المثالية للانتخاب (Gauch and Zobel, 1997)، وتُظهر النتائج بشكل مخططات بيانية ثنائية الأبعاد تسمَّى Biplot (Gabriel,1971)، حيث تُمثِّل كلاً من الطرز الوراثية والبيئات والعلاقات بينها على الـ Biplot وتحدّد الطرز الوراثية والبيئات التي تتفاعل بصورة متشابهة باستخدام تقنية الأشعة المفردة (Ebdon and Gauch, 2002).

على الرغم من أهمية تحليل الثباتية في برامج تربية المحاصيل الاستراتيجية, إلا أن المراكز البحثية المحلية والعربية لا تقوم بتحليل الثباتية بشكل منتظم, بدلاً من ذلك يطورون فهماً كاملاً للبيئات المستهدفة ومدى تأقلم مادتهم الوراثية معها، من خلال تقييم ومقارنة السلالات الجديدة بأفضل الأصناف المعتمدة في العديد من المواقع البيئية وإجراء تحليل إحصائي مركب اعتماداً على

متوسطات الغلة وعلى خبرة المربي؛ لذلك نعتقد أنه لابد من إجراء تحليل وراثي إحصائي خاص بالثباتية في المراحل النهائية من برامج التربية لانتخاب وتحديد الطرز الوراثية المتفوقة والمتأقلمة مع مدى واسع من البيئات قبل اعتمادها وتوزيعها على المزارعين.

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم التفاعلات الوراثية x البيئية باستخدام طريقة AMMI Biplot، وتحديد الطرز الوراثية المتفوقة في الغلة وعالية الثباتية عبر المواقع البيئية المتباينة، والطرز الوراثية المتلائمة مع بيئة محددة (المتفوقة في كل بيئة)، وتحديد الموقع الأفضل لاختبار وانتخاب الطرز الوراثية المتفوقة.

مواد البحث وطرائقه:

أُختبِر خمسة عشر طرازاً وراثياً من القمح الطري (*Triticum aestivum* L.)، تضمنت إحدى عشرة سلالة مبشِّرة وأربعة أصناف معتمدة، تم الحصول عليها من الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية (GCSAR) دمشق–سورية، ومن المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (ACSAD)، الواردة في الجدول (1).

الجدول (1): الطرز الوراثية المدروسة، نسبها وبعض صفاتها.

الرمز	الطراز الوراثي	النسب وبعض المواصفات
G1	السلالة دوما 66233	4WON-IR-257/5/YMH/HYS//HYS/TUR3055/3/DGA /4/ VPM / MOS
G2	السلالة دوما 68010	VEE/PJN//2*KAUZ/3/SHUHA-4/FOW-2
G3	السلالة دوما 66241	ATTILA 50Y//ATTILA/BCN/3/PFAU/MILAN
G4	السلالة دوما 66981	SERI.1B*2/3/KAUZ*2/BOW//KAUZ/4/TEVEE'S'/BOBWHITE #1
G5	السلالة دوما 68467	ATTILA*2/PBW65//PFAU/MILAN
G6	السلالة دوما 68498	P1.861/RDWG//DAJAJ-10
G7	السلالة أكساد 1300	ACSAD 901/3/NAC/VEE'S'//TEMMU196.74/TITO'S' ACS – W – 10472 (2007) – 5IZ – 11Z-11Z-01Z
G8	السلالة أكساد 1302	ACSAD 901/3/NAC/VEE'S'//TEMMU196.74/TITO'S' ACS – W – 10472 (2007) – 5IZ – 11Z-21Z-01Z
G9	السلالة أكساد 1304	ACSAD 901/3/NAC/VEE'S'//TEMMU196.74/TITO'S' ACS – W – 10472 (2007) – 5IZ – 11Z-31Z-01Z
G10	السلالة أكساد 1115	W3918A/ JUP// NS732/ Her /3/ Florkwa -3 ACS – W -9523- 6IZ -1IZ- 0IZ
G11	السلالة أكساد 1147	Chat's' // KVZ/ cgn /3/ BAU's' /4/ Karawan2 ACS – W -9669- 15IZ -1IZ - 1IZ- 0IZ
G12	الصنف بحوث 6	**صنف معتمد من GCSAR ، اعتمد عام 1991، غلته 3.785 طن/هـ.**
G13	الصنف دوما 4	ACSAD 529 /4/ C182-24 / C168.3 /3/ Con*2/ 7C // Cc/ Tob ACS – W -8024 -14IZ – 1IZ – 3IZ –OIZ **اعتمد عام 2007، غلته 2.375 طن/هـ في منطقة الاستقرار الثانية في سورية.**
G14	الصنف دوما 6	Snb's // shi # 4414/ crow's'/ crow's' ACS – W -9678- 23IZ -2IZ -0IZ **اعتمد عام 2014، غلته 4.2 طن/هـ، منطقة الاستقرار الأولى.**
G15	الصنف جولان2	**صنف معتمد من GCSAR ، اعتمد عام 2007، غلته 4.575 طن/هـ، منطقة الاستقرار الأولى.**

مواقع تنفيذ البحث:

نُفِّذ البحث في أربعة مواقع بيئية متباينة في سورية وهي:

- الموقع الأول: قرية حريصون التابعة لمنطقة بانياس– محافظة طرطوس، والواقعة على الحدود الإدارية لمحافظة اللاذقية، ترتفع حوالي 10م فوق سطح البحر.
- الموقع الثاني: في قرية درميني التابعة لمحافظة اللاذقية، تبعد 20 كم عن مدينة جبلة، وترتفع 750م فوق سطح البحر.
- الموقع الثالث: في قرية حمين التابعة لمحافظة طرطوس، تبعد عنها 25 كم، وترتفع 400م فوق سطح البحر.
- الموقع الرابع: منطقة الغاب–محافظة حماة، تبعد عن مركز المحافظة 8 كم، وترتفع 190 م عن سطح البحر.

طريقة الزراعة:

زُرعت التجارب في المواقع الأربعة خلال موسم 2020–2021 م في بداية شهر كانون أول، بثلاثة مكررات، تمت فلاحة الأرض عميقاً من أجل التخلص من الأعشاب الضارة وبقايا المحصول السابق. قُسِّمت الأرض إلى قطع تجريبية، تضمنت كل قطعة 4 سطور، طول السطر 1 متر، والمسافة بين سطر وآخر 25 سم، بين نبات وآخر 3 سم، وبين كل قطعة تجريبية وأخرى 50 سم.

تحليل التباين التجميعي:

نُفِّذت التجربة في المواقع البيئية الأربعة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (R.C.B.D)، لحساب أقل فرق معنوي (L.S.D) عند مستوى 5% بين الطرز الوراثية والمواقع والتفاعل بينهما، وأُجري تحليل التباين التجميعي لصفة الغلة الحبية عبر المواقع البيئية المختبَرة تبعاً لنموذج AMMI Biplot باستخدام برنامج GenStat 12th edition للتأكد من وجود فروق معنوية بين كلٍ من الطرز الوراثية (G)، المواقع البيئية المختبَرة (L)، والتفاعل بينهما (GXL).

تحليل الثباتية وفق طريقة AMMI Biplot:

مكَّن تطور علم الإحصاء واستخدام البرامج الحاسوبية من استكشاف جزء أكبر من التفاعلات الوراثية x البيئية حتى وصل إلى أكثر من 95% (Gauch,1996)، اقترحت طريقة AMMI Biplot من قبل Gabriel (1971) و Gollop (1968) ومن ثم طوِّرت من قبل العديد من الباحثين منهم {Gauch, 2006; Yan *et al*., 2007; Gauch *et al*., 2008; Farshadfar *et al*., 2011; Mohammed, 2009; Tarakanovas and Ruzgas, 2006}، وهي ملائمة لتحليل التجارب التي تتضمن حجم كبير من البيانات وعدد أكبر من الطرز الوراثية والبيئات مقارنة بطرق أخرى.

يعتمد تحليل AMMI Biplot على إجراء تحليل التباين التجميعي Pooled Analysis of Variance متبوعاً بتحليل المكونات الأساسية Principal Components Analysis (Gauch, 1988; Gauch and Zobel, 1996)، ويُستخدَم تحليل المكونات الرئيسة (PCA) من قبل الباحثين ومربّي النبات في تفسير وتحليل بيانات التجارب التي يتم فيها جمع قدر كبير من البيانات وللعديد من المتغيرات كما في تجارب البيئات المتعددة، لذا يحتاج مربو النبات إلى أسلوب إحصائي يساعد في اختصار البيانات والمتغيرات، ومن هنا تبرز أهمية تحليل المكونات الرئيسة لاختزال وتلخيص أكبر قدر ممكن من البيانات وتحويلها إلى مجموعة أصغر بكثير من المتحولات المستقلة تدعى بالمكونات الرئيسة (Smith, 2002).

من أهم خصائص نموذج AMMI هو إمكانية الحصول على مخططات بيانية تمثِّل الطرز الوراثية والبيئات وتفسِّر التفاعلات بينها بسهولة ووضوح، وانطلاقاً من أن نموذج AMMI غير مزوّد بمقياس كمي Quantitative Measure اقترح Purshase (1997) مقياساً مشتقاً من نموذج AMMI هو قيمة أو دليل ثباتية AMMI Stability Value (A.S.V)، تقدَّر هذه القيمة لكل طراز وراثي، وتفيد في ترتيب الطرز الوراثية تبعاً لثباتيتها وفق المعادلة التالية:

$$A.S.V=\sqrt{\left[\frac{SSPCA1}{SSPCA2}*(PCA1)^2\right]+(PCA2)^2}$$

، حيث $SSPCA_1/SSPCA_2$ تمثِّل مجموع مربعات قيم PCA_1 مقسومة على مجموع مربعات قيم PCA_2، وPCA_1 تمثّل قيمة المكون الرئيس الأول للطراز الوراثي المدروس، PCA_2 قيمة المكون الرئيس الثاني للطراز الوراثي المدروس.

النتائج والمناقشة:

يظهر في الجدول (2) نتائج تحليل التباين التجميعي لصفة الغلة الحبية وفقاً لنموذج AMMI، بيَّن التحليل أن 51% من التباينات الكلية عائدة للتباين بين الطرز الوراثية المدروسة، 39% للتفاعلات الوراثية x البيئية، و 10% للتأثيرات البيئية وكانت جميعها معنوية؛ مما يشير إلى أن الطرز الوراثية المدروسة قد استجابت بصورة مختلفة للمواقع البيئية المتباينة، وبالتالي ضرورة دراسة الاستجابات المختلفة للطرز الوراثية باختلاف البيئات والتأكُّد من ثباتيتها؛ لأن التفاعلات الوراثية x البيئية المعنوية تقلل الارتباط بين القيمة الوراثية والقيمة المظهرية لصفة الغلة الحبية وتخفّض كفاءة الانتخاب وتعيق تحقيق التقدُّم الوراثي المنشود (Singh *et al*.,2006; Farshadfar *et al*.,2011)، كما يُظهر تحليل التباين أن المكونين الرئيسيين الأول والثاني PCA_1 و PCA_2 كانا معنويين وفسَّرا 88% من التباينات الكلية الموجودة، ولم تتجاوز النسبة المتبقية من التباينات غير المفسرة 11%، مما يشير إلى فعالية وكفاءة تحليل وتفسير نموذج AMMI للتفاعلات الحاصلة (Kaya *et al*.,2002; Gauch & Zobel,1997).

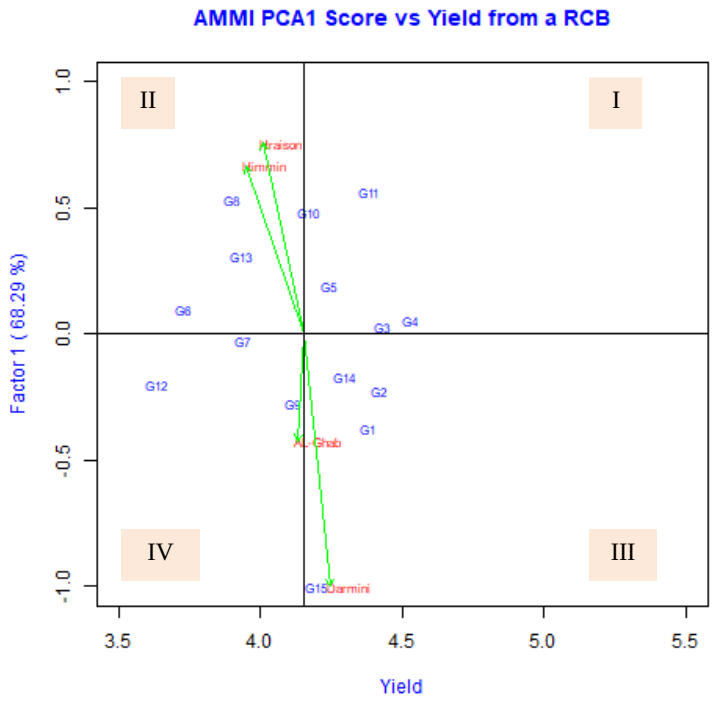
الجدول (2): تحليل التباين وفق نموذج AMMI لصفة الغلة الحبية.

مصادر التباين	D.F	S.S	M.S	النسبة المئوية للتباين المفسّر	النسبة التراكمية Accumulated
المعاملات	59	24.526	0.416*	---	---
الطرز الوراثية (G.)	14	12.541	0.896*	51.130	51.130
المواقع البيئية (E.)	3	2.393	0.798*	9.760	60.890
التفاعلات G.E	42	9.592	0.228*	39.109	100
المكررات (R. in E.)	8	0.337	0.042	---	---
$IPCA_1$	16	6.549	0.409*	68.290	68.290
$IPCA_2$	14	1.913	0.137*	19.939	88.229
المتبقي Residual	12	1.129	0.094	11.771	100
الخطأ Error	112	3.7	0.033	---	---
الكلي Total	179	28.563	0.160	---	---

يظهر في مخطط $AMMI_1$ Biplot (الشكل 1) توزُّع الطرز الوراثية والمواقع البيئية المختبرة تبعاً لمتوسط غلتها الحبية وقيم PCA_1، يمثِّل محور السينات X-abscissa متوسطات الغلة الحبية للطرز الوراثية المدروسة والمواقع البيئية المختبَرة، مقابل قيم المكون الرئيس الأول PCA_1 للطرز الوراثية والمواقع البيئية على محور العينات Y-ordinate، بحيث أن القيم المتعامدة مع بعضها سواءً الطرز الوراثية أو المواقع يكون لها نفس متوسط الغلة الحبية، والتي تقع على نفس المستوى الأفقي يكون لها نفس النمط من التفاعلات الوراثية x البيئية. تدل قيم PCA_1 الكبيرة للطرز الوراثية أو المواقع البيئية سواءً موجبة أو سالبة على إسهام أكبر بالتفاعلات الوراثية x البيئية وحساسية أعلى تجاه التغيرات البيئية، أي أن الطرز الوراثية التي تملك قيم PCA_1 صفرية أو قريبة من الصفر تكون قليلة التأثُّر بالعوامل البيئية ومتكيفة مع جميع المواقع البيئية المختبَرة، وقيم PCA_1 المنخفضة للمواقع البيئية تدل على انخفاض تأثير التفاعلات الوراثية x البيئية فيها (Gauch and Zobel,1996).

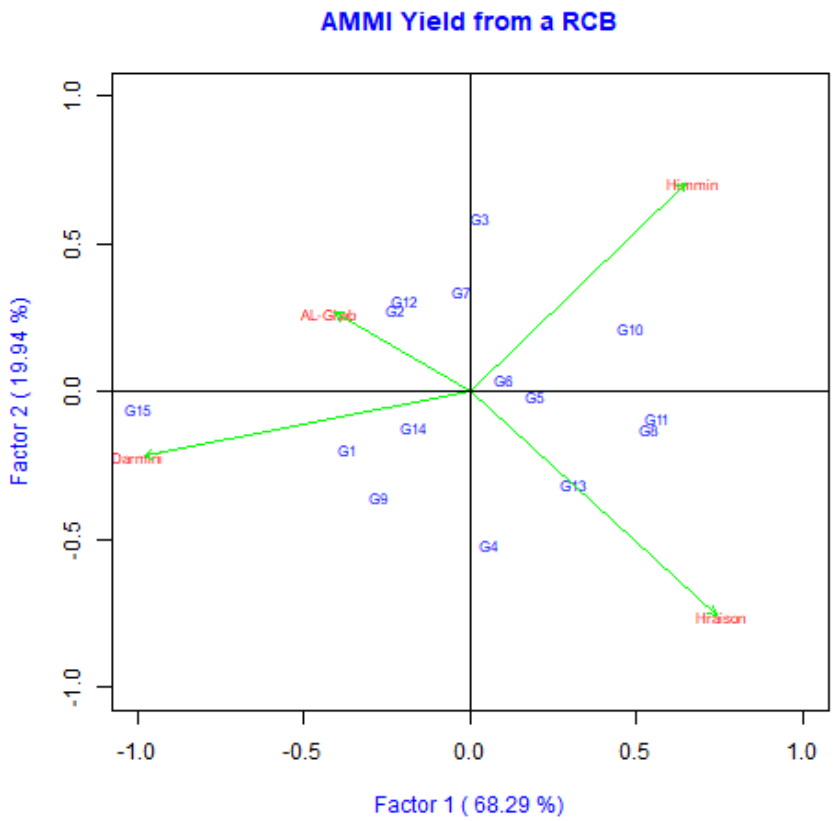
ينتج من مخطط $AMMI_1$ تقسيم استجابات الطرز الوراثية والمواقع البيئية المختبرة إلى 4 أنماط: طرز وراثية عالية الغلة منخفضة الثباتية {G15,G11,G10,G1,G2}، طرز وراثية منخفضة الغلة ومنخفضة الثباتية {G8,G13,G12}، طرز وراثية منخفضة الغلة عالية الثباتية {G6,G7}، وطرز وراثية عالية الغلة وعالية الثباتية {G4,G3,G14,G5}، وهي بذلك أفضل الطرز الوراثية المدروسة لأنها تجمع بين الغلة المتفوقة والثباتية العالية في جميع المواقع البيئية المختبَرة وتمثِّل الطرز ذات التكيف الواسع المرغوبة من قبل مربِّي النبات.

عموماً تتفاعل الطرز الوراثية والمواقع البيئية المختبرة التي تملك نفس الإشارة من قيم PCA_1 ايجاباً، أي تعطي إنتاجية أعلى ضمن هذه المواقع، وهذا ما يلاحظ بالنسبة للطراز الوراثي **G15** الذي يُظهر تفاعلاً ايجابياً عالياً في موقع **درميني**، وكان لديه قدرة عالية على استغلال الظروف البيئية والزراعية فيها وبذلك هو الأنسب لهذا الموقع، والأمر نفسه بالنسبة لـ G1 و G2 في موقع الغاب، G11 وG10 في حمين وحريصون، أما الطرز الوراثية والمواقع البيئية التي تكون من إشارات متعاكسة بالنسبة لقيم PCA_1 تتفاعل سلباً (G1 وG2 في كلٍ من حمين وحريصون، وG15 في حمين وحريصون).



الشكل (1): مخطط $AMMI_1$ لتوزع الطرز الوراثية المدروسة تبعاً لمتوسط الغلة الحبية وقيم المكون الرئيس الأول PCA_1.

يتم إنشاء مخطط $AMMI_2$ (الشكل 2) باستخدام قيم المكون الرئيس الأول PCA_1 للطرز الوراثية والمواقع البيئية المختبرة على محور–X، مقابل قيم المكون الرئيس الثاني PCA_2 للطرز الوراثية والمواقع البيئية على محور– Y، وذلك لأن المكون الرئيس الثاني أيضاً يساهم في تفسير جزء من التفاعلات الوراثية x البيئية (Vargas and Crossa,2000)، يستخدم هذا المخطط لشرح وتفسير التفاعلات الوراثية x البيئية وتأثيراتها بصرياً، أوضح Purchase (1997) أن الطرز الوراثية والمواقع البيئية الواقعة في منتصف المخطط وأقرب للمركز (0,0) تكون أقل حساسيةً وتأثُّراً بالتغيرات البيئية، بناءً على ذلك فإن الطرز الوراثية المدروسة الأكثر ثباتية هي: {G6,G5,G14,G2,G12,G7}، وأقلها ثباتيةً الطرز G15,G11,G8. أما بالنسبة للمواقع البيئية المختبَرة فإن طول الشعاع الواصل بين مركز المخطط وموقع البيئة على المخطط يعكس مساهمة البيئة بالتفاعلات الوراثية x البيئية، وبذلك المواقع البيئية ذات الأشعة الأقصر لا تمارس قوى تفاعلية شديدة على الطرز الوراثية المزروعة فيها والعكس صحيح (Gauch,2013)؛ أي أن التفاعلات الوراثية x البيئية الأقل كانت في موقع الغاب (الشعاع الأقصر والأقرب للمركز) وكان أداء جميع الطرز الوراثية فيه جيداً؛ وهو بذلك أفضل المواقع البيئية المختبَرة في هذا البحث، بينما كانت التفاعلات الوراثية x البيئية عالية في موقع درميني (الشعاع الأطول)، وانعكس ذلك على تباين أداء الطرز الوراثية فيما بينها في هذا الموقع، وكذلك الحال في كلٍ من موقعَي حمين وحريصون، وهي بذلك الأكثر مساهمةً في التفاعلات الوراثية x البيئية.



الشكل (2): مخطط $AMMI_2$ قيم المكون الرئيس الأول PCA_1 للطرز الوراثية والمواقع البيئية المختبَرة مقابل قيم PCA_2.

قيمة ثباتية AMMI (A.S.V):

تمثِّل قيمة ثباتية AMMI (AMMI Stability Value) المسافة بين مركز مخطط $AMMI_2$ (قيم PCA_1 مقابل قيم PCA_2) وموقع الطراز الوراثي على المخطط، تبعاً لِـ Purshase *et al.* (2000) تشير قيم A.S.V المرتفعة سواءً الموجبة أو

السالبة إلى تكيف خاص مع موقع بيئي محدد، وتدلُّ القيم المنخفضة منها على ثباتية عالية وتكيف مع مدى واسع من التغيرات البيئية.

يبيّن الجدول (3) قيم A.S.V للطرز الوراثية المدروسة ومتوسط الغلة الحبية لكل طراز وراثي عبر المواقع البيئية المختبَرة، يلاحَظ من الجدول أن قيم A.S.V الأدنى كانت لدى الطراز الوراثي G6 يليه G7 وG4 على التوالي، بينما امتلكت الطرز الوراثية G15 و G11 و G8 القيم الأعلى وهي بذلك الأقل ثباتيةً.

الجدول (3): متوسط الغلة الحبية للطرز الوراثية المدروسة عبر المواقع البيئية الأربعة، وقيم ثباتية AMMI (A.S.V) لكل طراز وراثي.

الرمز	الطراز الوراثي	متوسط الغلة الحبية (طن/هـ)	الترتيب	A.S.V	الترتيب
G1	**السلالة دوما 66233**	4.382^{abc}	5	1.028	11
G2	**السلالة دوما 68010**	4.419^{ab}	3	0.654	8
G3	**السلالة دوما 66241**	4.426^{ab}	2	0.477	5
G4	**السلالة دوما 66981**	4.528^{a}	1	0.438	3
G5	**السلالة دوما 68467**	4.242^{cde}	7	0.526	6
G6	**السلالة دوما 68498**	3.725^{g}	14	0.277	1
G7	**السلالة أكساد 1300**	3.935^{f}	11	0.283	2
G8	**السلالة أكساد 1302**	3.897^{f}	13	1.469	13
G9	**السلالة أكساد 1304**	4.111^{e}	10	0.806	9
G10	**السلالة أكساد 1115**	4.171^{de}	9	1.331	12
G11	**السلالة أكساد 1147**	4.387^{abc}	4	1.538	14
G12	**الصنف بحوث 6**	3.630^{g}	15	0.594	7
G13	**الصنف دوما 4**	3.930^{f}	12	0.880	10
G14	**الصنف دوما 6**	4.297^{bcd}	6	0.470	4
G15	**الصنف جولان2**	4.199^{de}	8	2.736	15
-------	**المتوسط العام**	$\bar{X} = 4.152$	-----	**0.147**	**L.S.D $_{Geno}$ 5%**

*تشير الأحرف المختلفة في الأعمدة إلى الفروق المعنوية بين الطرز الوراثية المدروسة عند مستوى 5% باستخدام اختبار دانكان.

يوضِّح الجدول (4) ترتيب الطرز الوراثية المدروسة في كل موقع بيئي مختبَر اعتماداً على تحليل AMMI، يبين التحليل أن الطرازين الوراثيين G10 و G11 كانا متفوقَين في موقعَي حريصون وحمين، والطرازين G3 و G15 متفوقان في موقعَي الغاب ودرميني، أما الطراز الوراثي G2 فقد تكرر تفوقه بمتوسط الغلة الحبية في 3 مواقع (حمين، الغاب، درميني).

الجدول (4): أفضل أربعة طرز وراثية في كل موقع مختَبر تبعاً لتحليل AMMI.

الموقع	الطراز الوراثي الأول	الطراز الوراثي الثاني	الطراز الوراثي الثالث	الطراز الوراثي الرابع	متوسط الغلة الحبية في الموقع (طن/هـ)
حريصون	G4	G11	G5	G10	**4.076**
حمين	G3	G11	G10	G2	**4.015**
الغاب	G2	G3	G15	G1	**4.201**
درميني	G15	G1	G4	G2	**4.315**

بناءً على قيم متوسط الغلة الحبية عبر البيئات ونتائج تحليل AMMI وقيم A.S.V فإنَّ أفضل الطرز الوراثية المدروسة هما الطرازان الوراثيان G4 و G3 لتميزهما بمتوسط غلة حبية عبر البيئات أعلى من المتوسط العام، وثباتية أداء عالية عبر المواقع المختبرة ويمثّلان الطراز الوراثي المثالي المرغوب من قبل مربّي النبات.

تتفق هذه النتائج مع (Omrani *et al*., 2022; Bayisa *et al*., 2020; Olivato *et al*., 2019; Kadhem and Baktash, 2016; Bavandpori *et al*., 2015; Ilker *et al*., 2011; Farshadfar *et al*., 2011; Tarakanovas and Ruzgas,2006) الذين أشاروا إلى امكانية تحقيق الانتخاب المتزامن لكل من الغلة المتفوقة والثباتية العالية وتحديد الموقع البيئي المثالي في القمح الطري باستخدام طريقة AMMI Biplot.

الاستنتاجات:

1. أفاد تحليل الثباتية وفق طريقة AMMI في تفسير تأثيرات التفاعلات الوراثية x البيئية بيانياً وتحليل ثباتية الطرز الوراثية المدروسة، وتحديد الطرز الوراثية المتفوقة في الغلة وذات الثباتية العالية.
2. وجود فروق معنوية بين الطرز الوراثية المدروسة، المواقع البيئية المختبَرة، والتفاعل بينهما مما يؤكد ضرورة تحليل ثباتية الطرز الوراثية المدروسة، كما فسَّر المكونان الرئيسان الأول والثاني 88% من التباينات الكلية، مما يدل على فعالية وكفاءة نموذج AMMI في تحليل وتفسير التفاعلات الوراثية x البيئية الحاصلة.
3. وفقاً لتحليل AMMI: كانت السلالتان المبشرتان دوما68498 ودوما68467 الأكثر ثباتية عبر جميع المواقع البيئية المختبَرة، بينما تكيف الصنف جولان2 بشكل خاص مع موقع درميني، وتكيفت السلالتان المبشرتان أكساد1147 و أكساد1115 مع موقعَي حمين وحريصون، وكان موقع الغاب أفضل المواقع البيئية المختبَرة، ووفقاً لقيم ثباتية AMMI (A.S.V) تميزت السلالة دوما68498 تليها السلالة أكساد1300 بثباتية عالية.
4. تفوقت السلالتان المبشرتان دوما**66981** ودوما**66241** على جميع الطرز الوراثية المدروسة في متوسط الغلة الحبية وثباتية الأداء عبر جميع المواقع البيئية المختبَرة.

التوصيات:

لتقليل تأثير التفاعلات الوراثية x البيئية ولتحسين دقة وكفاءة انتخاب الطرز الوراثية المتفوقة لابدَّ من أخذ كلٍ من متوسط الغلة وثباتية الأداء بعين الاعتبار بشكل متزامن عند تقييم واعتماد الأصناف الجديدة في برامج التربية.

المراجع:

Annicchiarico P. (2002). Defining adaptation strategies and yield stability targets in breeding programmes. In M.S. Kang, ed. Quantitative Genetics, Genomics, and Plant Breeding. 365–383. Wallingford, UK, CABI.

Bavandpori, F.; J. Ahmadi; and S.M. Hossaini. (2015). Yield stability analysis of bread wheat lines using AMMI model. Agricultural Communications. 3(1): 8-15.

Bayisa, T.; M. Abera; T. Letta; and B. Mulugeta. (2020). stability analysis of bread wheat genotypes using the AMMI stability model. In Regional Review Workshop on Completed Research Activities. (Vol. 61).

Ebdon, J. S.; and H. G. Gauch. (2002). Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trials. II Cultivar Recommendations. Crop Science 42, 497–506.

Farshadfar, E.; N. Mahmodi; and A. Yaghotipoor. (2011). AMMI stability value and simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Aust. Jour. Crop Sci. (13):1837-1844.

Gabriel, K.R. (1971). The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. Biometrika, **58**(3), 453–467.

Gauch H. G.; H. P. Piepho; and P. Annicchiarico. (2008). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. Crop science, 48(3), 866-889.

Gauch H.G.(2013). A simple protocol for AMMI analysis of yield trials. Crop Science: (in press).

Gauch, H. G. (1996). Genotype-by-environment interaction. New York: CRC Press, p.85-122.

Gauch, H. G. (2006). Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE, Maio 18.

Gauch, H.G. (1988) Model selection and validation for yield trials with interaction. Biometrics, 44, 705-715.

Gauch, H.G; and R. W. Zobel. (1997). Identifying mega-environments and targeting genotypes. Crop Science**.** 37, 311–326.

Gauch, H.G; and R. W. Zobel. (1996). AMMI analysis of yield trials. In Kang, M.S. and H. G. Gauch. (eds): Genotype by Environment Interaction. Boca Raton: CRC Press, pp. 85–122.

Gollob, H.F.(1968). A statistical model which combines feature of factor analytic and analysis of variance techniques. Psychometrika. 33: 73–115.

Ilker, E.; H. Geren; R. Ünsal; I. Sevim; F.A. Tonk; and M. Tosun. (2011). AMMI-biplot analysis of yield performances of bread wheat cultivars grown at different locations. Turkish Journal of Field Crops, 16(1), 64-68.

Kadhem, F.A.; and F. Y. Baktash. (2016). AMMI analysis of adaptability and yield stability of promising lines of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). The Iraqi Journal of Agricultural Sciences, 47(special issue), 35-43.

Kang, M.S. (2020). Genotype–Environment interaction and stability analyses: An update. In Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding; Kansas State University, Manhattan, KS, USA.

Kang, M.S.; V.T. Prabhakaran; and R. B. Mehra. (2004). Genotype-by-environment interaction in crop improvement. In: Jain, H.K., Kharkwal, M.C. (eds) Plant Breeding. Springer, Dordrecht.

Kaya, Y.; C. Palta; and S. Taner. (2002). Additive main effects and multiplicative interactions analysis of yield performances in bread wheat genotypes across environments. Turk J. Agric. For. 26, 275–279.

Malik, W.A; J.F. Hadasch; and H.P. Piepho. (2018). Nonparametric resampling methods for testing multiplicative terms in AMMI and GGE models for multi-environment trials. Crop Science, Vol. 58, March–April.

Mohammed, M. I. (2009). Genotype x Environment interaction in bread wheat in northern Sudan using AMMI analysis. American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sci., 6 (4): 427-433.

Neisse, A.C.; J.L. Kirch; K. Hongyu. (2018). AMMI and GGE biplot for genotype × environment interaction: a medoid–based hierarchical cluster analysis approach for high–dimensional data. Biometrical Letters.

Olivoto, T.; A.D.C. Lúcio; J.A.G. da Silva; V.S. Marchioro; V.Q. Souza; E. Jost. (2019). Mean performance and stability in multi-environment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. Agronomy Journal. 111, 1–12.

Omrani, A.; S. Omrani; M. Khodarahmi; S.H. Shojaei; Á. Illés; C. Bojtor; S.M.N. Mousavi; and J. Nagy. (2022). Evaluation of grain yield stability in some selected wheat genotypes using AMMI and GGE biplot methods. Agronomy Journal, 12(5), 1130.

Pupin, S.; P.H.M. Silva; F.A. Piotto; A.C. Miranda; D.U.G. Zaruma; A.M. Sebbenn; and M.L.T. Moraes. (2018). Genotype x Environment interaction, stability, and adaptability in progenies of Eucalyptus urophylla S.T. BLAKE using the AMMI model. Genetica. 67, 51 – 56.

Purchase, J. L.; H. Hatting; and C.S. Van Deventer. (2000). Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South African Journal of Plant and Soil, 17(3), 101-107.

Purchase, J.L. (1997). Parametric analysis to describe genotype by environment interaction and stability in winter wheat. PhD Thesis. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of the Orange Free State, Bloemfonten, South Africa.

Singh, M.; S. Grando; and S. Ceccarelli. (2006). Measures of repeatability of genotype by location interactions using data from barley traits in Northern Syria. Expl Agric. Cambridge University Press. 42. 189-198.

Smith, L. I. (2002). A tutorial on principal components analysis. Department of Computer Science, University of Otago. New Zealand.

Tarakanovas P.; and V. Ruzgas. (2006). Additive main effect and multiplicative interaction analysis of grain yield of wheat varieties in Lithuania. Agronomy research 4(1):91-98.

Vargas, M.H.; and J. Crossa. (2000). The AMMI analysis and graphing the biplot. CIMMYT. 39 P.

Yan, W.; M.S. Kang; M. Baoluo; S. Woods; and P.L. Cornelius. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop Science, 47(2), 643–653.

Genotype x environment interactions and yield stability analysis of bread wheat genotypes by using AMMI biplot model

Hiba Mohammad Mansour*(1) **Boulos Iskander Khoury(1)**

(1). Field Crops Department, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria.
(* Corresponding author: Hiba Mansour, email: hibamuhammedmansour@gmail.com)

Received: 25/2/2024 Accepted: 9/5/2024

Abstract

Additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) model was performed to assess genotype x environment interactions and yield stability for 15 bread wheat genotypes in 4 various locations in Syria (AL-Ghab, Hraison, Himmin, and Darmini) during 2020-2021 season, the experiment was designed using randomized complete block design (R.C.B.D) with three replications in the four locations, the data were statistically analysis using GenStat 12th program. AMMI Biplot analysis combines pooled analysis and principal components analysis (PCA). The results of the pooled analysis showed that there were significant differences between genotypes (G), the tested locations (E), and the interaction between them (GxE), this indicates the necessity of evaluating and testing genotypes in many different locations. The results of variation analysis according to the AMMI model showed that the first and second principal components were significant and explained 88% of the total variances; this indicates the efficiency of this model in representing and interpreting the genotype x environment interactions. AMMI Stability Value (A.S.V) was also estimated to rank the studied genotypes according to their stability; depending on this value the promising line Douma68498 followed by the promising line ACSAD1300 had high stability. The results of AMMI Biplot analysis illustrated that the most stable genotypes were the two promising lines Douma68498 and Douma68467, and the variety Gollan2 showed specific adaptation and good suitability to the Darmini site, while the two promising lines ACSAD1147 and ACSAD1115 adapted to Himmin and Hraison sites. The results also showed that the AL-Ghab site was the best location. The best-studied genotypes that combined superior yield and high stability are the promising lines Douma66241 and Douma66981, representing the ideal genotype desired by plant breeders. This study showed that the AMMI model's parameters give similar indicators for determining stable genotypes, and they are useful in improving the selection process and releasing new varieties in plant breeding programs using the AMMI Biplot.

Keywords: AMMI Biplot, Bread Wheat, Yield Stability, Principal Components Analysis, Ideal Genotype, A.S.V Value.