تقدير التفاعلات الوراثية البيئية وتحليل ثباتية طرز وراثية من القمح الطري باستخدام طريقة GGE Biplot

Assessment of Genotype x Environment Interactions and Stability Analysis of Bread Wheat Genotypes by Using GGE Biplot Method

م. هبة محمد منصور [1] د. بولص اسكندر خوري [2]

Eng. Hiba Mohammad Mansour [1] Dr. Boulos Iskander Khoury [2]

hibamuhammedmansour@gmail.com

Received 07 January 2024; Accepted 12 March 2024

(1) طالبة دكتوراه، قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة اللاذقية، سورية.

(1) Ph.D. Student, Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Latakia University, Syria.

(2) قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة اللاذقية، سورية.

(2) Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Latakia University, Syria.

الملخَّص

أُختبِر 15 طرازًا وراثيًّا من القمح الطري (*Triticum aestivum* L.) في أربعة مواقع بيئية متباينة في سورية خلال موسم 2021-2020؛ بهدف تقدير التفاعلات الوراثية x البيئية، تحديد الطرز الوراثية التي تجمع بين الغلة المرتفعة والتكيف الواسع، بالإضافة إلى تحديد الموقع المثالي، وعلاقات الارتباط بين المواقع المختبَرة. نُفِّذت التجربة في المواقع الأربعة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (R.C.B.D)، وحُلِّلت البيانات إحصائيًّا باستخدام برنامج Genstat. بيَّنت نتائج تحليل التباين التجميعي وجود فروق معنوية بين كلٍ من: الطرز الوراثية المدروسة (G)، المواقع البيئية المختبَرة (E)، والتفاعل بينهما (GxE). أُجري تحليل الثباتية وفق طريقة GGE Biplot باستخدام برنامج GGE Biplot المُعتَمِد على تحليل المكونات الرئيسة (PCA)، حيث فسَّر المكونان الرئيسان الأول والثاني ما يقارب 87% من التباين الكلي، مما يدلُّ على كفاءة هذه الطريقة في تمثيل وتفسير التفاعلات الوراثية x البيئية. أشارت النتائج إلى تفوُّق السلالة المبشِّرة دوما 66981 وتمثيلها للطراز الوراثي المثالي الأعلى غلةً والأكثر ثباتيةً، كما أشارت النتائج إلى أن موقع الغاب هو الأقرب للموقع البيئي المثالي الممثِّل لباقي المواقع والأكثر تصنيفاً للطرز الوراثية المدروسة، وإلى التشابه الكبير بين موقعَي حمين وحريصون. تفيد هذه النتائج بإمكانية تحسين عملية الانتخاب واعتماد الأصناف الجديدة في المراحل الأخيرة من برامج التربية باستخدام نموذج GGE Biplot.

الكلمات المفتاحية: قمح طري، تحليل الثباتية، تفاعل وراثي x بيئي، المكونات الرئيسة، GGE Biplot.

©2025 The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands. **ISSN: 2305-5243/EISSN: 3005-6438. (p: 74-88)**

Abstract

Fifteen genotypes of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) were tested at four diverse locations in Syria during the 2020-2021 season, to estimate genotypes x environments interactions, determine genotypes combine high yield and wide adaptation, in addition, identify the ideal location and the relationships among the tested locations. The experiment was done in the four locations according to the randomized complete block design (R.C.B.D.), and the data were analyzed statistically using GenStat Program. The results of the combined analysis of variance showed that there were significant differences between: the studied genotypes (G), the tested locations (E), and the interaction between them (GxE). Stability analysis was conducted according to the GGE Biplot method using the GGE Biplot Program based on principal components analysis (PCA), where the first and the second principal components explained approximately 87% of the total variances; This indicates the efficiency of this method in representing and interpreting genotype x environment interactions. The results showed that the promising line Douma 66981 was significantly excelled and represented the ideal genotype with highest yield and most stability. The results also indicated: the location of Al-Ghab is the closest to the ideal location due to its ability to represent the tested sites and the discriminating ability among genotypes, the great similarity between two locations: Himmin and Hraison. These results are useful in improving the selection process and releasing new varieties in the final phases of plant breeding programs using the GGE Biplot.

Keywords: Bread Wheat, Stability Analysis, Genotype x Environment Interaction, Principal Components, GGE Biplot.

المقدمة

يُعدُّ القمح المحصول الحبّي الأول في العالم، ويشكِّل الدعامة الأساسية للإمدادات الغذائية لأكثر من 45% من سكان مختلف البلدان، وهو أحد أهم المنتجات الزراعية نظرًا لقيمته الغذائية وتنوع منتجاته، فضلاً عن أهميته في تحقيق الأمن الغذائي والاستقرار السياسي لأي بلد (Omrani *et al.*, 2022).

من المتوقع أن تسبب التغيرات المُناخية خسارة أكثر من 20% من الإنتاج الزراعي بحلول عام 2050، وستكون هناك حاجة ماسَّة لزيادة إنتاج القمح العالمي بنسبة 60% لتأمين الاحتياجات الغذائية المتزايدة باستمرار؛ لذلك فإنَّ ضمان الحصول على إنتاج عالٍ ومستقر من القمح هو أمر بالغ الأهمية، وتربية طرز وراثية ذات مدى واسع من التأقلم مع مختلف الظروف البيئية كان وما يزال أحد أصعب التحديات التي تواجه مربّي النبات (Dehghani *et al.*, 2008).

تهدف معظم برامج التربية إلى انتخاب الطرز الوراثية المتفوقة والمتميزة بثباتية عالية ضمن ظروف بيئية متباينة، وغالبًا ما يكون انتخابها صعبًا بسبب التفاعلات الوراثية x البيئية التي تقلِّل من فعالية وكفاءة الانتخاب وتحقيق التقدم الوراثي المنشود؛ لذلك فإنَّ تقدير وتقييم هذه التفاعلات في غاية الأهمية بالنسبة لتحسين وتطوير الأصناف النباتية، من

خلال تجارب البيئات المتعددة Multi-Environment Trails ولاسيما في الدورات الانتخابية الأخيرة في برنامج التربية، وبالتالي تحديد الطرز الوراثية المتفوقة التي يعتمد نجاحها على مقدار ما تعطي من غلال، وعلى مدى تأقلمها وتكيفها مع طيف واسع من التباينات البيئية (Kaya *et al.*, 2006).

إنَّ تقدير الثباتية المظهرية وتعزيز فهم التفاعلات الوراثية x البيئية المعقَّدة حفَّز الباحثين على استمرار العمل وإيجاد الطرق والمؤشرات الإحصائية التي تخدم هذا الهدف، لا سيما في منطقة حوض البحر المتوسط التي تتميز بتذبذب الهطولات المطرية والتغيرات في درجات الحرارة غير المتوقَّعة والتي ينتج عنها تفاعلات وراثية x بيئية عالية (Mohammadi *et al.*, 2011).

أصبحت الآن العديد من المقاييس والطرق الإحصائية متاحةً لاختبار ثباتية الطرز الوراثية عبر البيئات، وتعدُّ طريقة GGE Biplot أهمَّ هذه الطرق وأكثرها استخدامًا في السنوات العشر الأخيرة، وهي أداة فعَّالة في تحليل بيانات البيئات المتعددة وتفسير التفاعلات الوراثية x البيئية المعقَّدة وتمثيلها بيانياً (Yan and Tinker, 2006).

استخدمت طريقة GGE Biplot لتحليل الثباتية وتوصيف التفاعلات الوراثية x البيئية في تجارب البيئات المتعددة، ولفهم ووصف العلاقات بين الطرز الوراثية والمواقع المدروسة، وقد جرى ذلك من قبل العديد من الباحثين حول العالم (Mohammadi *et al.*, 2023; Singh *et al.*, 2019; Kader *et al.*, 2018; Alam *et al.*, 2017; Jeberson *et al.*, 2017; Rad *et al.*, 2013; Purchase *et al.*, 2000)، الذين أكَّدوا أنَّ تقييم الطرز الوراثية وتوصيف استجابتها مع مدىً واسع من البيئات وتحديد الموقع المثالي للانتخاب يعدُّ ضروريًّا جدًّا في استراتيجيات برامج التربية وعند اعتماد الأصناف المحسَّنة الجديدة.

مع استمرار الأزمة في سورية لعامها الثالث عشر، وصل انعدام الأمن الغذائي إلى مستويات غير مسبوقة، حيث يُقدَّر أن 60% من السوريين يعانون من انعدام الأمن الغذائي تبعًا لبرنامج الغذاء العالمي (WFP, 2023)، لاسيما بعد خروج مساحات واسعة من مناطق إنتاج القمح في سورية عن السيطرة وصعوبة إيصال مستلزمات الإنتاج إليها. في عام 2021 انخفض إنتاج القمح إلى نحو مليون طن بعد أن كان 2.8 مليون طن في العام الذي سبقه، وما يزيد عن 4 مليون طن سنويًّا في أعوام ما قبل الازمة (FAO, 2021)، تزامن ذلك مع التغيُّر المناخي وتزايد موجات الجفاف شدةً وتواترًا، ولم تعد تفي الأصناف المحسَّنة منذ عقود باحتياجات المزارعين الذين يكافحون في ظل ظروف ارتفاع أسعار مدخلات العملية الإنتاجية وانخفاض معدلات الأمطار؛ مما يتطلب ضرورة العمل على تطوير طرز وراثية تتميز بإنتاجية عالية وتكيف مع مدى واسع من التغيرات البيئية، وذلك باستخدام طرق وراثية إحصائية متطوِّرة خاصة بتحليل الثباتية.

هدف البحث إلى:

- تحديد وانتخاب الطرز الوراثية التي تجمع بين الغلة المتفوقة والثباتية العالية المختبَرة في مواقع بيئية متباينة، بالإضافة إلى تحديد الطراز الملائم لكل موقع.
- تحديد الموقع البيئي الأمثل الأكثر قدرةً على تصنيف الطرز الوراثية المدروسة.

مواد البحث وطرائقه

المادة النباتية

اختبر خمسة عشر طرازًا وراثيًّا من القمح الطري (*Triticum aestivum* L.)، منها إحدى عشرة سلالة مبشِّرة وأربعة أصناف معتمدة، جرى 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 شام6	صنف معتمد من ICARDA، اعتمد عام 1991، غلته 3.320 طن/هـ

موقع تنفيذ البحث

نُفِّذَ البحث في أربعة مواقع بيئية متباينة في سورية هي:

- الموقع الأول: قرية حريصون الواقعة بين منطقتي (بانياس - محافظة طرطوس) و(جبلة - محافظة اللاذقية)، إحداثياتها (35° N, 35° E)، معدل الهطول المطري السنوي (934) مم، وترتفع حوالي 10 م فوق سطح البحر.
- الموقع الثاني: في قرية درميني التابعة لمحافظة اللاذقية، تبعد 20 كم عن مدينة جبلة، إحداثياتها (35° N, 36° E)، معدل الهطول المطري السنوي (1115) مم، وترتفع 750 م فوق سطح البحر.
- الموقع الثالث: في قرية حمين التابعة لمحافظة طرطوس، تبعد عنها 25 كم، إحداثياتها (34° N, 36° E)، معدل الهطول المطري السنوي (1018) مم، وترتفع 400 م فوق سطح البحر.
- الموقع الرابع: منطقة الغاب - محافظة حماة، تبعد عن مركز المحافظة 8 كم، إحداثياتها (35° N, 36° E)، معدل الهطول المطري السنوي (697) مم، وترتفع 190 م عن سطح البحر.

طريقة الزراعة

زُرعت التجارب في المواقع الأربعة خلال موسم 2020-2021 في بداية شهر كانون أول، بثلاثة مكررات، فُلحت الأرض عميقًا من أجل التخلص من الأعشاب الضارة وبقايا المحصول السابق. قسِّمت الأرض إلى قطع تجريبية، وكانت مساحة القطعة التجريبية الواحدة (1) م^2، تضمنت كل قطعة 4 أسطر، طول السطر 1 متر، والمسافة بين سطر وآخر 25 سم، وبين نبات وآخر 3 سم، وبين كل قطعة تجريبية وأخرى 50 سم.

التحليل الإحصائي

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 باستخدام برنامج GenStat 12th edition للتأكد من وجود فروق معنوية بين كلٍّ من الطرز الوراثية (G)، المواقع البيئية المختبَرة (L)، والتفاعل بينهما (GxL).

تحليل الثباتية وفق طريقة GGE Biplot: أُقترِحت تقانة Biplot من قبل (Gabriel, 1971) ثم طوَّر العالم (Yan *et al.*, 2000) تقانة "GGE Biplot "Genotype Main Effect (G) plus Genotype by Environment Interaction (GE)، وهي حزمة برمجية إحصائية تفيد في تقدير حجم ونمط التفاعلات الوراثية x البيئية وتمثيلها بيانيًّا بشكل مخططات ثنائية الأبعاد من خلال تحليل التباين متبوعاً بتحليل المكونات الرئيسة PCA (Principal Components Analysis)، حيث تدمج التأثيرات الوراثية (G) مع تأثيرات التفاعلات الوراثية x البيئية (G.E)؛ ومن هنا جاءت التسمية GGE، لكنها تُهمِل الأثر البيئي (E) (Yan *et al.*, 2001, 2007).

استُخدِمَ برنامج GGE Biplot Version 7.1 المصمَّم من قبل العالم (Weikai Yan) لتحليل الثباتية، وفُسِّرَت النتائج تبعًا لشرح العالمين (Yan and Kang, 2003) تبعاً لطريقة GGE Biplot.

النتائج والمناقشة

تحليل التباين التجميعي

أظهرت نتائج تحليل التباين التجميعي لصفة الغلة الحبية (طن/ه) في الجدول (2) وجود فروق معنوية بين كل من الطرز الوراثية المدروسة (G) والمواقع البيئية المختبَرة (E) والتفاعل بينهما (GxE)، وتدلُّ معنوية التفاعل الوراثي x البيئي على عدم ثباتية الغلة وتذبذبها مع تغير الظروف البيئية وبالتالي فاعلية تحليل الثباتية (Eberhart and Russell, 1966)، كما أشارت النتائج إلى أن صفة الغلة الحبية قد تأثُّرت معنويًّا باختلاف الطرز الوراثية المدروسة وبتباين البيئات المختبَرة والتفاعلات الوراثية x البيئية بنسبة 45%، 40%، و15% على التوالي.

الجدول 2. تحليل التباين التجميعي Combined AN.O.VA لصفة الغلة الحبية (طن/ه) عبر المواقع البيئية المختبَرة

S.O.V	DF	SS	MS	F	Prob
الطرز الوراثية (Geno.)	14	12.541	0.896	27.100	0.00001
المواقع البيئية (Env.)	3	2.393	0.798	24.200	0.00001
المكررات(Rep\ Env.)	8	0.337	0.042	1.300	0.2509
التفاعل الوراثي x البيئي (GxE)	42	9.592	0.228	6.900	0.00001
الخطأ التجريبي (Error)	112	3.700	0.033	-	-
الكلي (Total)	179	28.563	-	-	-

تحليل GGE Biplot

بيَّنت نتائج تحليل الـ GGE Biplot في الجدول (3) أن المكونين الأساسيين الأول والثاني (PCA_1، PCA_2) كانا معنويين، وفسَّرا معًا ما يقارب 87% من التباين الكلي، وبالتالي فإنَّ تحليل GGE Biplot كان فعَّالاً في تمثيل وتفسير التباينات الموجودة بكل موثوقية وفعالية (Yang *et al.*, 2009; Yan and Holland, 2010).

يُستخدَم تحليل المكونات الرئيسة Principal Components Analysis (PCA) من قبل الباحثين ومربّي النبات في تفسير وتحليل بيانات التجارب التي يجري 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).

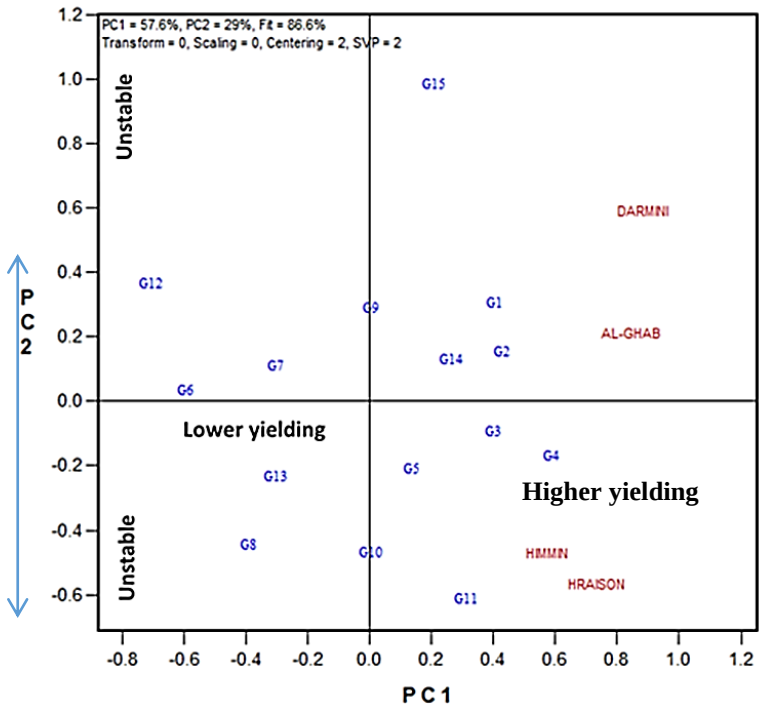
الجدول 3. تحليل GGE Biplot لصفة الغلة الحبية طن/هـ

PCA	Singular Value	% of Total SS	Accumulate of Total SS
1	2.061	57.6	57.6
2	1.462	29	86.6
3	0.787	8.4	95
4	0.608	5	100

GGE Biplot للطرز الوراثية المدروسة والمواقع البيئية المختبَرة

جرى تمثيل بيانات GGE Biplot بيانياً في الشكل (1) لتقييم الطرز الوراثية المدروسة، وتظهر قيم PCA_1 وPCA_2 لكل طراز وراثي مدروس، حيث تُعرَّف الطرز الوراثية التي تمتلك قيم $PCA_1 > 0$ (أكبر من الصفر) بأنها عالية الغلة، والطرز التي تمتلك قيم $PCA_1 < 0$ (أصغر من الصفر) بأنها منخفضة الغلة؛ بينما تشير قيم PCA_2 المنخفضة (بالقيمة المطلقة) إلى ثباتية واستقرار الطراز الوراثي، وبذلك قُسِّمت الطرز الوراثية المدروسة إلى مجموعات اعتماداً على قيم PCA_1 وPCA_2:

المجموعة الأولى: تضم الطرز الوراثية ذات قيم $PCA_1 > 0$ وقيم PCA_2 القريبة من الصفر وهي (G1، G2، G3، G4، G5، G14) وتمثِّل الطرز الوراثية المرغوبة من قبل مربّي النبات كونها تجمع بين الغلة المرتفعة والثباتية العالية، أما المجموعة الثانية ضمت الطرز منخفضة الغلة ($PCA_1 < 0$) ومنخفضة الثباتية ($PCA_2 > 0$) وهي: (G8، G9، G10، G12،G13)، المجموعة الثالثة: الطرز الوراثية عالية الغلة (أعلى من المتوسط العام) لكنها منخفضة الثباتية (G11، G15)، المجموعة الرابعة: الطرز الوراثية منخفضة الغلة عالية الثباتية (G6، G7) كما يظهر في الشكل (1) أن قيم PCA_1 للمواقع البيئية المختبَرة كانت جميعها موجبة ($PCA_1 > 0$)، مما يشير إلى أن المكون الرئيس الأول PCA_1 يمثِّل التباينات الوراثية النسبية للغلة الحبية عبر البيئات، ويدلُّ على أن التفاعل بين هذه المواقع كان من النمط Non-crossover، بمعنى أن الطرز الوراثية الأعلى غلةً تباينت من بيئة إلى أخرى إلى حدٍ ما.



الشكل 1. مخطط GGE Biplot للطرز الوراثية المدروسة والمواقع البيئية المختبَرة

التراكيب المفضَّلة لكل بيئة: "Which Won Where or Which is Best for What"

تعد ميزة "Which Won Where" (الشكل 2) واحدة من أهم مزايا وسمات التمثيل البياني وفق تقانة الـ GGE Biplot التي تعالج وتوضح بيانيًّا الطرز الوراثية الأكثر تكيفًا مع بيئة معينة (التكيف الخاص)، بالإضافة إلى إمكانية تقسيم المنطقة المستهدفة

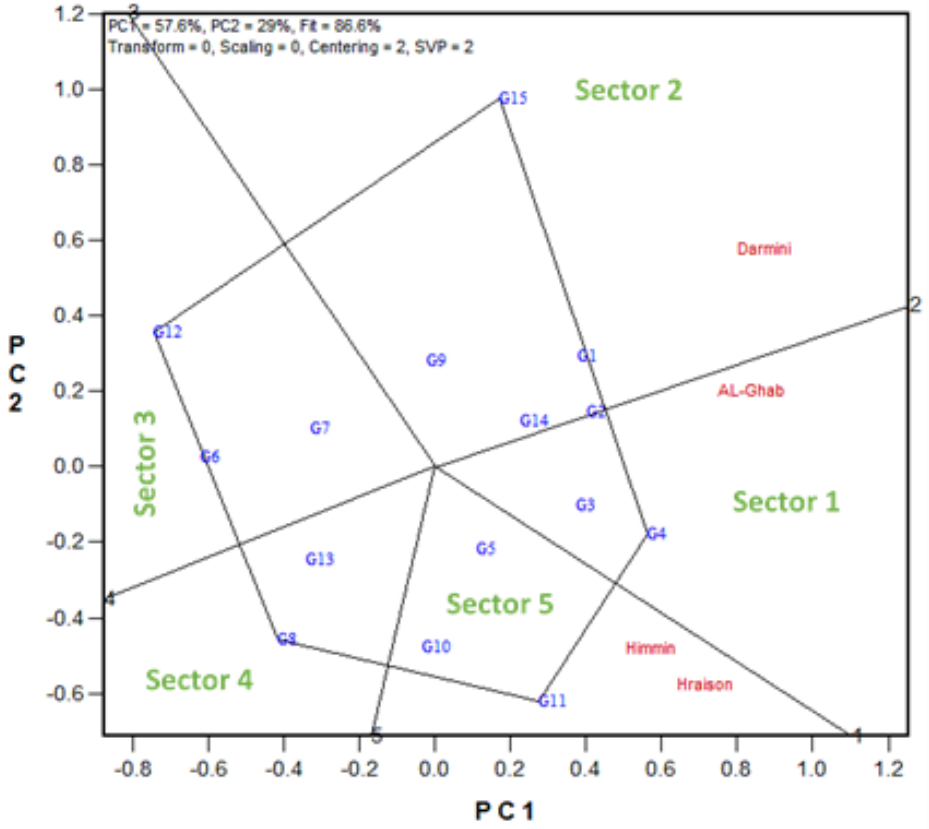
إلى بيئات كبرى. من خلال الوصل بين النقاط الأبعد عن نقطة الأصل في مخطط GGE Biplot (مواقع الطرز الوراثية الأبعد عن مركز الـ Biplot) يجري رسم مضلَّع (Polygon) بحيث تصبح نقاط جميع الطرز الوراثية الأخرى متضمَّنة داخل المضلَّع، والخطوط المارة من نقطة الأصل (مركز المخطط) والعمودية على كل ضلع من أضلاع الـ Polygon تقسمه إلى عدة قطاعات Sectors، وبالتالي هو مخطط مهم جداً للكشف عن احتمال وجود بيئات كبرى مختلفة في منطقة معينة (Yan *et al.*, 2007).

قسَّمت الأشعة المارة من نقطة الأصل والعمودية على أضلاع المخطط Polygon إلى 5 قطاعات Sectors، والمواقع البيئية المختبَرة في هذا البحث وقعت ضمن 3 قطاعات منها فقط كما يظهر في الشكل (2)؛ القطاع الأول (Sector 1) ضمَّ موقع الغاب فقط، القطاع الثاني (Sector 2) ضمَّ موقع درميني، القطاعين الثالث والرابع (Sector 3+4) لم يتضمنا أي موقع، وأخيرًا القطاع الخامس (Sector 5) ضمَّ موقعَي حمين وحريصون (Himmin + Hraison)، وجود المواقع البيئية المختبرة ضمن قطاعات مختلفة يدل ويؤكِّد على تباين واختلاف هذه المواقع بيئيًا، لكنَّ هذا التقسيم يحتاج إلى المزيد من التحقُّق والتمحيص من خلال تجارب متعددة السنوات والمواقع في المنطقة المستهدفة (Kaya *et al.*, 2006).

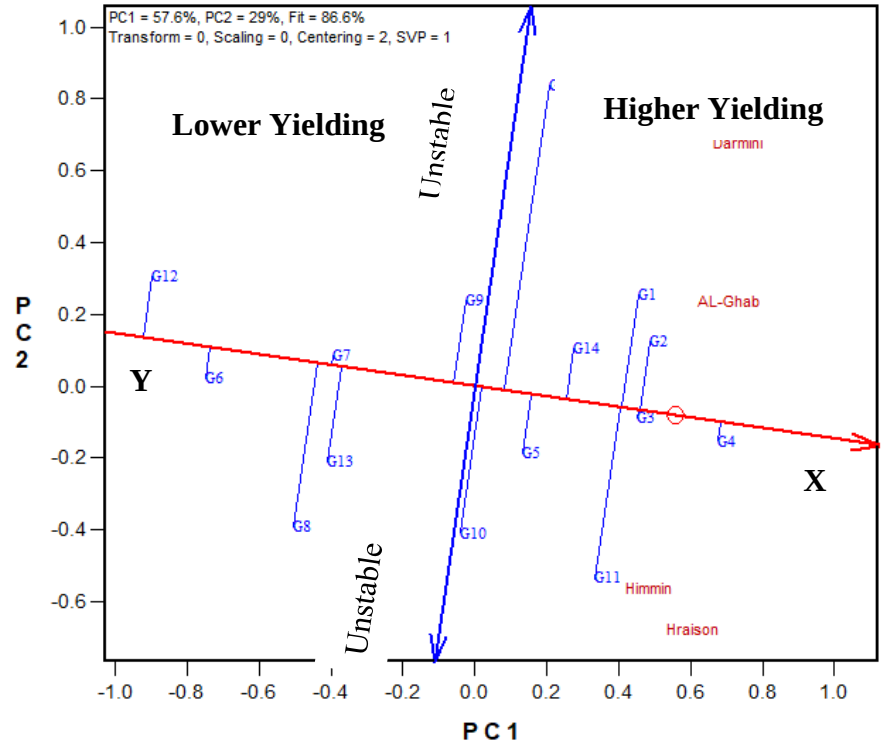
بالإضافة إلى ذلك توجد ميّزة أساسية لهذا المخطط هي أن رؤوس المضلَّع (Polygon Vertex) تمثِّل الطرز الوراثية المتفوقة (الأعلى غلةً) أو الأدنى غلةً في جميع المواقع البيئية الواقعة ضمن هذا القطاع (إما الأفضل على الإطلاق أو الأدنى) (Yan and Kang, 2003; Yan, 2002)، بناءً على ذلك يُلاحَظ من المخطط تفوُّق الطراز الوراثي G15 (الصنف شام 6) في موقع درميني، الطراز G4 (السلالة دوما 66981) في موقع الغاب، وG11 (السلالة أكساد 1147) في كل من حريصون وحمين؛ لوقوع هذه الطرز على قمم أو رؤوس المضلَّع، وهي الطرز الأعلى غلةً بين الطرز الوراثية الواقعة في القطاع نفسه، بينما كانت الطرز الوراثية G12، G6، وG8 غير مُلائمة لأي موقع من المواقع البيئية المختبَرة كونها تقع في منطقة من المخطط خالية من أي بيئة، كما يدل ذلك على أن هذه الطرز هي الأفقر والأدنى غلةً.

ترتيب الطرز الوراثية تبعاً لمتوسط الغلة الحبية والثباتية

رُتِّبت الطرز الوراثية تبعًا لمتوسط غلتها الحبية وثباتية أدائها عبر المواقع البيئية المختبَرة وفق طريقة محور متوسط البيئة (Average Environment Coordination = AEC) حسب (Yan, 2002). وفق هذه الطريقة يعرَّف متوسط البيئة بأنه متوسط قيم PCA_1 وPCA_2 لجميع البيئات المختبَرة، ويُمثَّل في المخطط بدائرة صغيرة (الشكل 3)، والخط الواصل بين نقطة الأصل وهذه الدائرة يسمّى محور متوسط البيئة ويُعتبر ممثِّلاً لمحور X-السينات (AEC abscissa)، أما الخط المار من نقطة الأصل والعمودي على محور السينات (AEC abscissa) يمثِّل المحور الصادي أو محور Y-العينات (AEC ordinate)، وهو على عكس محور السينات له اتجاهان وكل منهما يشير إلى انخفاض الثباتية ومساهمة أكبر للطراز الوراثي في التفاعلات الوراثية x البيئية (بعيدًا عن نقطة الأصل). بالنسبة إلى الطرز الوراثية المدروسة كلما كان مسقط الطراز الوراثي على محور AEC abscissa أطول أي أبعد عن نقطة الأصل باتجاه السهم دلَّ ذلك على متوسط غلة حبية أعلى، وكلما كان مسقط الطراز الوراثي على محور AEC ordinate أقصر (أي أقرب إلى نقطة الأصل) دلَّ ذلك على ثباتية أعلى، وبالتالي فإن أفضل الطرز الوراثية المدروسة هو G4 يليه G3، G2، G1، G11، G14، G5 كما يظهر في الشكل (3)، ويجري استبعاد جميع الطرز الوراثية الواقعة في القسم الأيسر من المخطط كونها منخفضة الغلة الحبية (G13, G7, G8, G6, G12).



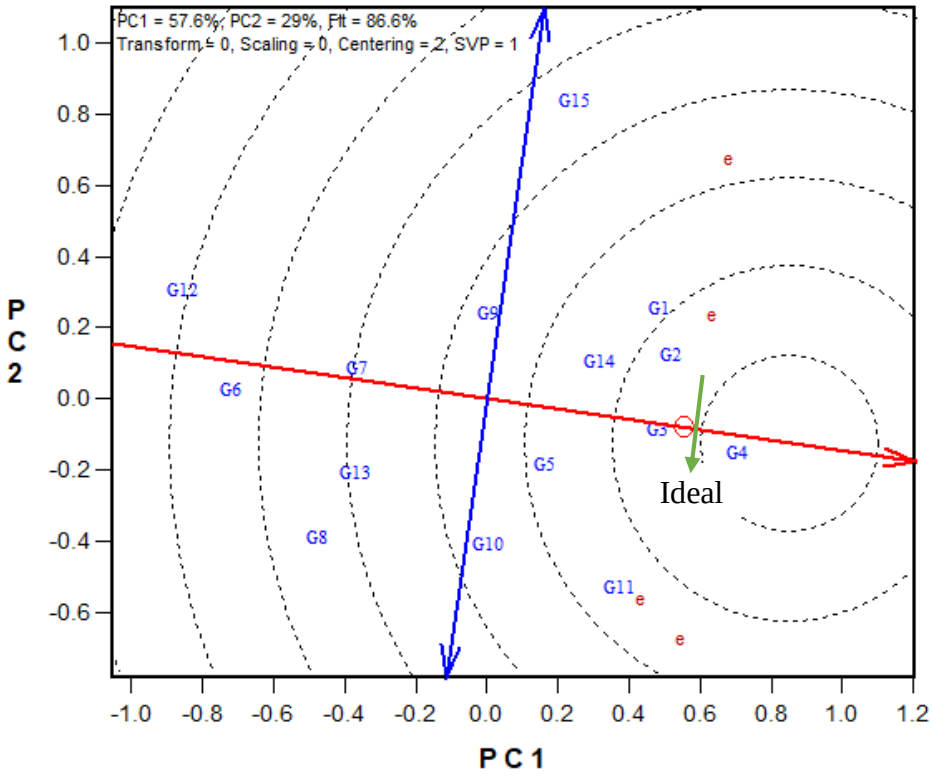
الشكل 2. الطرز الوراثية المفضَّلة لكل موقع بيئي مختبَر



الشكل 3. ترتيب الطرز الوراثية تبعًا لمتوسط غلتها الحبية وثباتية أدائها

ترتيب الطرز الوراثية تبعاً لقربها من موقع الطراز الوراثي المثالي

يوضّح الشكل (4) بُعد الطرز الوراثية المدروسة عن موقع الطراز الوراثي المثالي في مركز الدوائر متحدة المركز، الطراز الوراثي المثالي "ideal entry = ideal genotype" لابدّ أن يكون الأعلى غلةً بين الطرز الوراثية المدروسة وبكل تأكيد الأكثر ثباتيةً واستقرارًا (Yan and Tinker, 2006)، مثل هذا الطراز نادرًا ما يكون موجوداً في الواقع؛ إلا أنه يمكن أن يستخدم كمرجع أو كمعيار (قيمة معيارية افتراضية) لتقييم الطرز الوراثية المدروسة بناءً على بعدها عنه، ويساعد في تمثيل وإظهار المسافات بين الطرز الوراثية المدروسة والطراز المثالي، وبالتالي تحديد الطراز الوراثي المرغوب من قبل مربي النبات وهو الطراز الأكثر قربًا من هذا الموقع، بناءً على فإن الطراز الوراثي G4 هو الطراز المرغوب كونه الأقرب إلى موقع الطراز الوراثي المثالي، بينما يعدُّ الطراز G12 الأبعد عن المثالية.



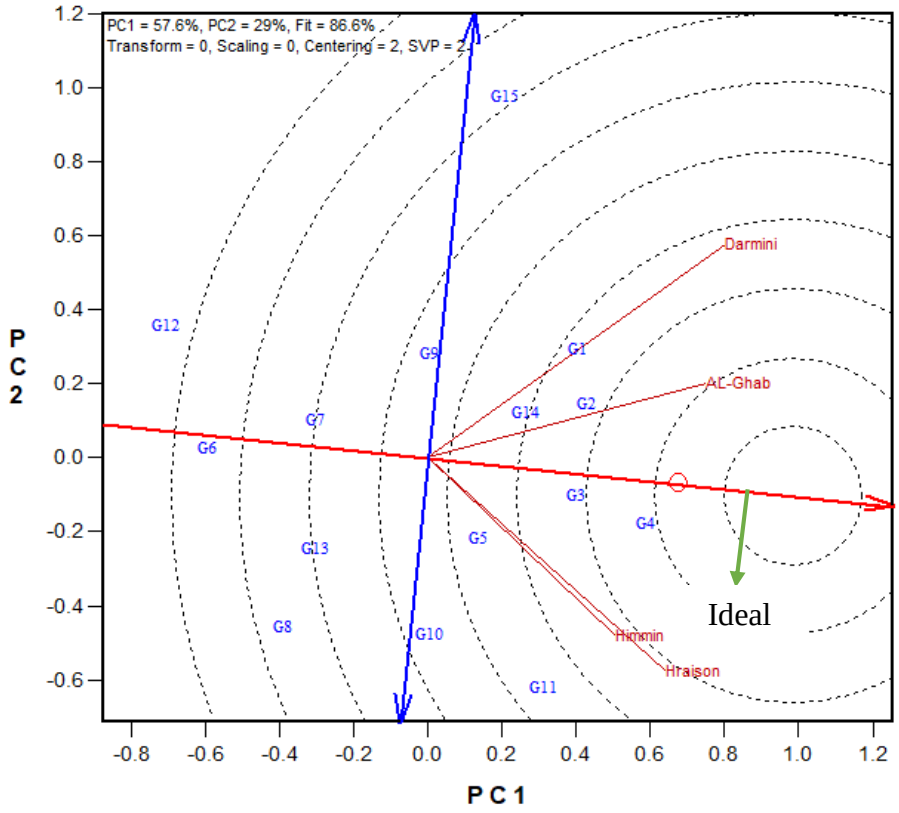
الشكل 4. بُعد الطرز الوراثية المدروسة عن موقع الطراز الوراثي المثالي

تقييم المواقع البيئية المختبرة تبعاً للقدرة التصنيفية والتمثيلية

يمكن من خلال تحليل GGE Biplot تحديد خصائص وميزات المواقع البيئية المختبَرة، حيث يفيد في تحديد البيئة الأكثر تصنيفًا وتمييزًا للطرز الوراثية المدروسة (discriminating ability = informative) وهي البيئة التي يكون شعاعها Environment's Vector (الخط الواصل بين موقع البيئة على المخطط ونقطة الأصل) أطول ما يمكن، أي أن طول شعاع البيئة يعدُّ مقياسًا لقدرة البيئة على تصنيف الطرز الوراثية المدروسة وتزويدنا بمعلومات أكثر عنها والتباينات فيما بينها، وبذلك يعدُّ موقع درميني الأكثر تمييزاً بين المواقع المختبَرة؛ لأن شعاعه هو الأبعد عن مركز المخطط، وموقع حمين أقلُّها كما يظهر في الشكل (5)، مما يدلُّ على أن خصائص موقع درميني (البيئية والمناخية) كانت مفيدة في الكشف عن كامل صفات

وخصائص الطرز المدروسة وغربلتها، ويزُّود بمعلومات كافية ودقيقة عن أداء كل طراز وراثي وبالتالي يساعد في الانتخاب للتكيف الخاص (Yan and Rajcan, 2002).

يفيد تحليل GGE Biplot أيضًا في تحديد البيئة الأكثر تمثيلاً (Representativeness Ability) للمواقع المختبرة، وهي البيئة التي يكون متوسط الغلة الحبية فيها مساويًا تقريبًا للمتوسط العام عبر البيئات، وتحدَّد هذه البيئة من خلال مقدار الزاوية المحصورة بين شعاع البيئة ومحور متوسط البيئة AEC abscissa، كلما صغرت هذه الزاوية زادت قدرة البيئة على تمثيل باقي البيئات المختبرة في المنطقة المستهدفة والعكس صحيح، وبهذا فإن موقع الغاب هو الموقع الأكثر تمثيلاً للمواقع المختبرة (الشكل 5)، أما الموقع البيئي المثالي (Ideal Location = Ideal Tester) يجب أن يكون الأكثر تمييزًا والأكثر تمثيلاً، ويُمثَّل على المخطط بمركز الدوائر المتحدة المركز (Yan and Kang,2003)، والموقع البيئي المختبَر المفضَّل هو الأقرب لهذا المركز؛ لذلك يعدُّ موقع الغاب الموقع الأفضل والأقرب للمثالية بين المواقع المختبَرة في هذا البحث؛ كونه الأقرب لمركز هذه الدوائر كما يظهر في الشكل (5).



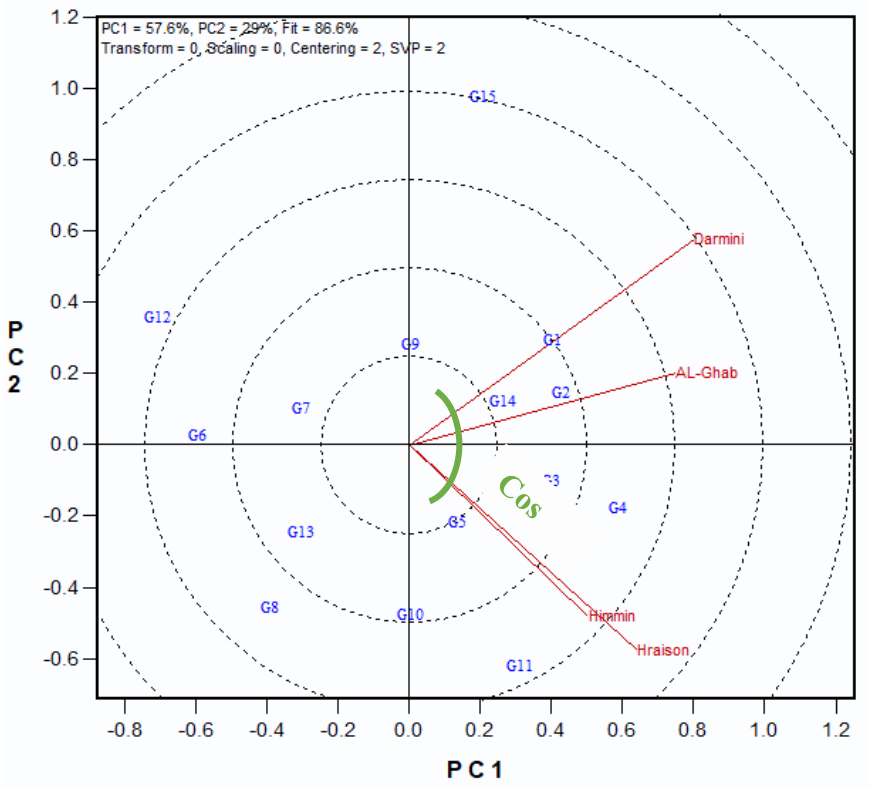
الشكل 5. ترتيب المواقع البيئية المختبَرة

العلاقات بين المواقع البيئية المختبرة

يوضِّح الشكل (6) العلاقات بين المواقع البيئية المختبَرة من خلال قياس Cosine الزاوية المحصورة بين الشعاعَين الممثِّلَين لأي موقعَين، لأن Cosine الزاوية بين شعاعَي أي بيئتين يقابل قيمة الارتباط بينهما (Yan *et al.*, 2000).

إنَّ تحديد العلاقات بين البيئات يفيد في إمكانية الانتخاب غير المباشر؛ أي: الانتخاب على أساس الأداء المظهري للطرز الوراثية في إحدى البيئتين المرتبطتَين وتعميم النتائج على البيئة الأخرى، وبالتالي إمكانية حذف بعض المواقع المختبَرة، لا سيما إذا كان التشابه أو الارتباط بينهما متكررًا خلال السنوات؛ مما يفيد في تقليل النفقات والتكاليف وزيادة كفاءة وجدوى برامج التربية (Kaya *et al.*, 2006).

يُلاحَظ من الشكل (6) أنَّ الزاوية بين شعاعَي درميني وحريصون هي الأكبر (90°)، وبالتالي التشابه بينهما صفر، بينما كان موقعَا حمين وحريصون الأكثر ارتباطًا، والزاوية المحصورة بين شعاعَيهما تكاد تكون معدومة، وبالتالي يمكن الاستغناء عن أحد هذين الموقعين والاكتفاء بالآخر في عمليات تقييم الطرز الوراثية واعتمادها في المراحل الأخيرة من برامج التربية.



الشكل 6. العلاقات بين المواقع البيئية المختبَرة

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

- وجود تفاعلات وراثية x بيئية ذات تأثيرات معنوية على أداء الطرز الوراثية المدروسة واختلاف ترتيبها عبر المواقع البيئية المختبَرة.
- فاعلية تحليل الثباتية وفق طريقة GGE Biplot وأهميتها في تمثيل وتفسير التفاعلات الوراثية x البيئية.
- تفوُّق الطراز الوراثي G4 (السلالة المبشِّرة دوما 66981) على جميع الطرز الوراثية المدروسة، وهو الأقرب للطراز المثالي، الذي يجمع بين الغلة المتفوقة والثباتية العالية عبر جميع المواقع المختبَرة.

- اعتبار موقع الغاب يليه موقع درميني مواقع مثلى للانتخاب لصفة الغلة الحبية والتكيف مع الظروف البيئية المتباينة.
- الارتباط والتشابه الكبير بين موقعَي حريصون وحمين يتيح إمكانية الاستغناء عن أحدهما في تجارب المراحل الأخيرة من برامج تربية واعتماد الأصناف المحسنة الجديدة.

التوصيات

زراعة الطرز الوراثية المدروسة في المواقع البيئية المختبَرة لعدة مواسم؛ للتأكُّد من نمط التفاعلات الوراثية x البيئية وتكراره عبر السنوات، وبالتالي إمكانية تقسيم المنطقة المستهدفة إلى عدة قطاعات بيئية متباينة.

المراجع

- Alam, M. A., M. Farhad., M.A. Hakim., N.C.D. Barma., P.K. Malaker., M.M.A. Reza., M. Hossain. and M. Li. 2017. AMMI and GGE biplot analysis for yield stability of promising bread wheat genotypes in Bangladesh. Pakistan Journal of Botany, 49(3), 1049-1056.
- Dehghani, H., H. Omidi. and N. Sabaghnia. 2008. Graphic analysis of trait relations of rapeseed using the biplot method. Agronomy Journal, 100(5), 1443-1449.
- Eberhart S.A. and W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, 6(n/a), 36-40.
- FAO. 2021. Special report: 2021 FAO Crop and Food Supply Assessment Mission to the Syrian Arab Republic - December 2021. Rome. https://doi.org/10.4060/cb8039en. (Accessed on 26/5/2023).
- Gabriel, K.R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. Biometrika, 58(3), 453-467.
- Jeberson, M. S., L. Kant., N. Kishore., V. Rana., D.P. Walia. and D. Singh. 2017. AMMI and GGE biplot analysis of yield stability and adaptability of elite genotypes of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) for Northern Hill Zone of India. International Journal of Bio-resource and Stress Management, 8(5), 635-641.
- Kadir, M., Y. Musa., A. Nur., R. Efendi. and K. Syahruddin. 2018. GGE-biplot analysis of yield stability in environment trial of tropical wheat (*Triticum aestivum* L.) genotype under dry season in Indonesia. Research on Crops, 19(4), n/a.
- Kaya Y. M., M. Akcurra. and S. Taner. 2006. GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 30(5), 325-337.
- Mohammadi R., D. Sadeghzadeh., M. Armion. and A. Amri. 2011. Evaluation of durum wheat experimental lines under different climate and water regime conditions of Iran. Crop and Pasture Science, 62(2), 137-151.

- Mohammadi, R., J. Jafarzadeh., M. Armion., H. Hatamzadeh. and E. Roohi. 2023. Clustering stability methods towards selecting best performing and stable durum wheat genotypes. Euphytica, 219(10), 109.
- Omrani, A., S. Omrani., M. Khodarahmi., S.H. Shojaei., A. 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.
- 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.
- Rad, M.N., M.A. Kadir., M.Y. Rafii., H.Z. Jaafar., M.R. Naghavi. and F. Ahmadi. 2013. Genotype environment interaction by AMMI and GGE biplot analysis in three consecutive generations of wheat (*Triticum aestivum* L.) under normal and drought stress conditions. Australian Journal of Crop Science, 7(7), 956-961.
- Singh, C., A. Gupta., V. Gupta., P. Kumar., R. Sendhil., B.S. Tyagi., G. Singh., R. Chatrath. and G.P. Singh. 2019. Genotype x environment interaction analysis of multi-environment wheat trials in India using AMMI and GGE biplot models. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 19(30), 309-318.
- Smith, L. I. 2002. A Tutorial on Principal Components Analysis.
- WFP. 2023. WFP Syrian Arab Republic External Situation Report, Report #3, March 2023. Available at: https://www.wfp.org/publications/Syria. (Accessed on 12/12/2023).
- Yan, W. 2002. Singular value partitioning for biplot analysis of multi-environment trial data. Agronomy Journal, 94(5), 990-996.
- Yan, W. and J.B. Holland. 2010. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. Euphytica, 171(3), 355-369.
- Yan, W. and M.S. Kang. 2003. GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press, Boca Raton.
- Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Science, 42(1), 11-20.
- Yan, W. and N.A. Tinker. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principals and applications. Canadian Journal of Plant Science, 86(3), 623-645.
- Yan, W., L.A. Hunt., Q. Sheng. and Z. Szlavnics. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. Crop Science, 40(3), 597-605.

- Yan, W., M.S. Kang., B. Ma., S. Woods. and P.L. Cornelius. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop Science, 47(2), 643-653.
- Yang, R.C., J. Crossa., P.L. Cornelius. and J. Burgueno. 2009. Biplot analysis of genotype 9 environment interaction: proceed with caution. Crop Science, 49(5), 1564-1576.

N° Ref: 1162