

دراسة التباين الوراثي ومعامل التوريث وتحليل المسار بين الصفات الشكلية والإنتاجية في طرز وراثية من الذرة البيضاء (*Sorghum bicolor* L. Moench)

علي الحميدان العبدالله

أ.د. أيمن العرفي

د. أحمد العلي الخلف

طالب دراسات عليا - ماجستير

أستاذ - كلية الهندسة الزراعية - جامعة

باحث - الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية

جامعة الفرات

الفرات

dr.ahmedelkhalif@gmail.com

Alihmeadan2@gmail.com

الملخص

أجري البحث في محافظة الرقة (قرية حمرة غنام)، خلال موسمي 2013 و2014، بهدف تقدير التباينات المظهرية والوراثية ومعامل التوريث لعشرة طرز وراثية من الذرة البيضاء، إضافة إلى دراسة الارتباط والانحدار بين الصفات المدروسة، باستخدام تصميم القطاعات الكاملة العشوائية (RCBD) بثلاثة مكررات. أظهرت النتائج أن الصفات الفينولوجية والشكلية المدروسة كانت أكثر تأثراً بالبيئة، إذ سجل عدد الأيام حتى الإزهار معامل توريث منخفضاً (0.44)، وتقدماً وراثياً ضعيفاً (4.29%)، بينما بلغ معامل التوريث لارتفاع النبات نحو (0.52) مع تقدم وراثي وصل إلى (5.54%). في المقابل، أظهر طول العتكل توريثاً منخفضاً (0.21)، وتقدماً وراثياً ضعيفاً (5.97%)، مما يقلل من جدوى الانتخاب المباشر لهذه الصفة. وقد برزت الصفات الإنتاجية كأكثر استجابة للانتخاب؛ حيث حقق وزن العتاكل الرطب معامل توريث مرتفع (0.75) وتقدماً وراثياً كبيراً (31.52%)، بينما سجل وزن الحبوب في النبات أعلى قيمة للتوريث (0.94)، وتقدماً وراثياً مرتفعاً (37.77%)، تبعه الغلة الحبية بمعامل توريث مرتفع (0.94%)، وتقدم وراثي (37.64%). وأظهر تحليل معامل المسار أن التأثيرات المباشرة الأقوى في الغلة تعود إلى وزن الحبوب (0.68) ووزن العتاكل الرطب (0.56). تؤكد النتائج أن التركيز على هذه الصفات في برامج الانتخاب، مع توسيع التجارب عبر بيئات متعددة ودعمها بتقنيات الانتخاب الجزيئي لتعزيز دقة التحسين الوراثي.

الكلمات المفتاحية: الذرة البيضاء، معامل التوريث، التقدم الوراثي، تحليل المسار، التباين الوراثي.

ورد للنشر بتاريخ 2026 / 1 / 7

قبل للنشر بتاريخ 2026 / 4 / 7

Genetic Variability, Heritability, and Path Analysis of Morphological and Yield Traits in Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench)

Eng. Ali Al-Humaidan Al-Abdullah

D.Aimen ElArfi

D.Ahmad A. Elali Elkhalf

M.Sc. student, Faculty of Agricultural Engineering, AL-Furat University

Professor, Faculty of Agricultural Engineering, AL-Furat University

Researcher, General Commission for Scientific Agricultural Research

Abstract

This study was conducted in Raqqa Governorate (Hamra Ghannam village) during the 2013 and 2014 growing seasons, with the aim of estimating phenotypic and genotypic variances and heritability for ten sorghum genotypes. The research also examined the correlations and regression relationships among the studied traits using a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The results indicated that developmental and morphological traits were more strongly influenced by environmental factors. Days to flowering exhibited low heritability (0.44) and weak genetic advance (4.29%), while plant height showed moderate heritability (0.52) with a genetic advance of 5.54%. Conversely, panicle length displayed low heritability (0.21) and limited genetic advance (5.97%), reducing the effectiveness of direct selection for this trait. In contrast, yield-related traits demonstrated greater responsiveness to selection. Fresh panicle weight recorded high heritability (0.75) and substantial genetic advance (31.52%). Grain weight per plant exhibited the highest heritability value (0.94) and a high genetic advance (37.77%), followed by grain yield with similarly high heritability (0.94) and genetic advance (37.64%). Path coefficient analysis revealed that the strongest direct effects on grain yield were attributed to grain weight (0.68) and fresh panicle weight (0.56). Overall, the findings highlight the importance of focusing on these traits in breeding programs, while emphasizing the need to expand trials across multiple environments and integrate molecular selection techniques to enhance the precision of genetic improvement.

Keywords: Sorghum, heritability, genetic advance, path analysis, genetic variability.

المقدمة والدراسات المرجعية:

تُعد الذرة البيضاء [*Sorghum bicolor* L. Moench] خامس أهم محصول حبي في العالم بعد القمح والأرز والذرة الصفراء والشعير، وهي من المحاصيل الاستراتيجية التي تؤدي دوراً رئيساً في الأمن الغذائي، ولا سيما في المناطق الجافة وشبه الجافة (FAO, 1999, 1-2). وتُستخدم حبوبها بشكل واسع في تغذية الإنسان والحيوان، كما تدخل في صناعات غذائية متعددة مثل إنتاج الخبز عند خلطها مع دقيق القمح، وصناعة النشا والسكر، إضافة إلى استخدامها كعلف أخضر أو جاف للماشية والدواجن (Mejia, 1999, 4-6). وتمتاز الذرة البيضاء بقدرتها العالية على تحمل الجفاف والملوحة والحرارة، مما يجعلها خياراً مثالياً للزراعة في البيئات الهامشية ذات الموارد المحدودة (Ngidi et al., 2024).

إن وجود التباين الوراثي بين الطرز الوراثية للذرة البيضاء يُشكل الأساس الذي يعتمد عليه المربون في تطوير الأصناف الجديدة. فكلما ارتفعت قيمة التباين الوراثي مقارنة بالمظهري، دلّ ذلك على أن الصفات المدروسة أقل تأثراً بالبيئة وأكثر ارتباطاً بالتركيب الوراثي، مما يزيد من فعالية الانتخاب. ويُعتبر معامل التوريث بالمعنى الواسع (h^2_B) مؤشراً على نسبة التباين الوراثي إلى التباين الكلي، بينما يُعبر معامل التوريث بالمعنى الضيق (h^2_N) عن الجزء الإضافي من التباين الوراثي المرتبط بالانتخاب (Falconer and Mackay, 1996, 464). وتزداد قيمة معامل التوريث كلما قلّ تأثير العوامل البيئية، مما يجعل الانتخاب أكثر فاعلية. أما الصفات ذات التوريث المنخفض فتتطلب انتخاب عدد كبير من النباتات لضمان الحصول على تراكيب وراثية مرغوبة، إضافة إلى اختبار نسل النباتات المنتخبة قبل اعتمادها في برامج التربية (Singh and Chtrath, 1992, 46-53). وقد أكدت دراسة (Bhatt et al., 2024, 996-1004) أن الصفات المرتبطة بالإنتاجية مثل وزن الألف حبة وارتفاع النبات غالباً ما تُظهر معامل توريث عالٍ، مما يجعلها أهدافاً مثالية للانتخاب. تُعد دراسة التباين الوراثي والمظهري، ومعامل التوريث، ومعامل التباين الوراثي والمظهري، والتقدم الوراثي للصفات الكمية في الذرة البيضاء خطوة أساسية لتحديد الصفات الأكثر استجابة للانتخاب، وبالتالي وضع برامج تربية فعّالة لتحسين الإنتاجية في سورية. ومع محدودية الإنتاج المحلي خلال السنوات الأخيرة، تبرز الحاجة الملحة إلى تطوير أصناف جديدة عالية الإنتاجية وملائمة للظروف البيئية المحلية، بما يسهم في تقليل الاعتماد على الاستيراد وتعزيز الأمن الغذائي الوطني. وقد أوضح (Rahane et al., 2024, 1086-1088) أن التركيز على الصفات ذات معامل توريث عالٍ وتقدم وراثي عالٍ، مثل وزن الألف حبة والإنتاجية الحبية، يمكن أن يشكل قاعدة صلبة لتطوير أصناف جديدة أكثر ملاءمة للظروف المحلية.

يعد هذا المحصول من المحاصيل المتحملة للجفاف، إلا أن زراعته في العروة التكتيفية يتطلب إجراء عمليات ري وذلك لعدم تزامن هذه العروة مع موسم سقوط الأمطار، ونظراً لتزايد عدد السكان وزيادة الطلب على المواد الغذائية بشكل عام والحبوب بشكل خاص، وتطور أعداد الثروة الحيوانية، أصبح من الضروري زيادة المساحة المزروعة بمحصول الذرة البيضاء مع توفير الإمكانيات اللازمة لذلك، حيث يمتاز المحصول بقلّة احتياجاته المائية، وانخفاض متطلباته السمادية، وقابليته للمكننة، وقصر عمره، وقدرته على النمو والإنتاج ضمن ظل ظروف صعبة لا يستطيع فيها أي محصول آخر أن يعطي إنتاجاً اقتصادياً، ولتحمله للجفاف والملوحة، فقد

بات يكتفى بالمحصول الجمل (Stoskopf, 1985, 149–150). ويمكن تحسين إنتاجية المحصول في وحدة المساحة من خلال زراعة الأصناف المحسنة ذات الإنتاجية العالية، وتطوير حزمة التقانات الزراعية المثلى. يُعد التقدم الوراثي (GA) مؤشراً عملياً على مقدار التحسن المتوقع في الصفات نتيجة الانتخاب، خاصةً عند تطبيق شدة انتخاب محددة (5% غالباً). وقد بينت نتائج التجارب في سورية أن صفة الغلة الحبية حققت قيماً عالية للتقدم الوراثي، مما يشير إلى إمكانية اعتمادها كمؤشر انتخابي لتحسين الإنتاجية في الظروف المحلية. كما أن تقدير معامل التباين الوراثي والمظهري، ومعامل الارتباط الوراثي والمظهري، والتقدم الوراثي كنسبة مئوية من المتوسط يُعدّ خطوة أساسية لتحديد الصفات الأكثر أهمية في برامج التربية (Ngidi et al., 2024). وفقاً لـ (Reddy et al., 2007, 4) فإن تحليل معامل الارتباط والمسار يعد أداة أساسية لتحديد الصفات المؤثرة مباشرة في الغلة وتجنب الصفات غير مرغوبة. ويزوّد معامل الارتباط البسيط المرابي بمعلومات دقيقة خاصة عندما يعتمد الانتخاب على أكثر من صفة في آن واحد، مما يُسهل تحديد الصفات الأكثر أهمية في تحسين الغلة. وقد بينت العديد من الدراسات أن الغلة الحبية، باعتبارها صفة كمية معقدة محكومة بعدد كبير من المورثات وحساسيتها العالية للبيئة، كما أنها محصلة لتفاعل عدد من الصفات الرئيسية والثانوية (Gebrekidan and Kebede, 1996, 7). ومن هنا تأتي أهمية تقدير التباينات الوراثية والمظهرية ومعاملات التوريث والارتباط لهذه الصفات، إذ تُسهل تفسير النتائج وتُساعد في وضع برامج انتخاب أكثر كفاءة (Ebrahim et al., 1987, 649–654). وأشار (Saadalla and Refay, 2000, 207–253) إلى أن ارتفاع النبات يرتبط ارتباطاً وراثياً موجباً وعالي المعنوية مع الغلة الحبية، مما يعزز إمكانية استخدامه كمؤشر انتخابي لتحسين الإنتاجية.

بلغت المساحة المزروعة في سورية 5345 هكتار مع إنتاج 10288 طن والإنتاجية 1925 كغ/هكتار (المجموعة الإحصائية الزراعية، 2023). خلال الأعوام الخمسة الأخيرة بقيت المساحة المزروعة والإنتاجية الكلية محدودة ومتذبذبة ولم تتجاوز المساحة في أفضل حالاتها 4,000 هكتار، ولم يتجاوز الإنتاج 4,500 طن، مع مردود للهكتار يقل كثيراً عن المتوسط العالمي. هذا الواقع يعكس التحديات الكبيرة التي تواجه زراعة الذرة البيضاء محلياً، سواء من حيث الظروف البيئية أو من حيث محدودية الأصناف المتاحة وضعف كفاءتها الإنتاجية. ومن هنا تبرز أهمية البحث العلمي في تقدير التباين الوراثي والمظهري، وحساب معاملات التوريث بالمعنى الواسع والضيق، ومعاملات التباين الوراثي والمظهري، والتقدم الوراثي للصفات الكمية والشكلية في الطرز الوراثية المدروسة. إذ أن هذه المؤشرات تُعدّ أدوات أساسية لتحديد الصفات الأكثر استجابة للانتخاب، وبالتالي وضع برامج تربية فعالة لتطوير أصناف جديدة أكثر ملاءمة للظروف المحلية تساهم في تحسين الإنتاجية وزيادة مردود وحدة المساحة، بما يعزز الأمن الغذائي الوطني ويقلل من الاعتماد على الاستيراد في قطاع الأعلاف والحبوب.

أهداف البحث

-دراسة السلوك الوراثي للصفات الشكلية والإنتاجية.

-تقدير مدى إمكانية تحسين هذه الصفات عبر الانتخاب.

مواد البحث وطرائقه:

مكان تنفيذ البحث: نفذ البحث في محافظة الرقة /قرية حمرة غنام/، والتي تقع شرقي مدينة الرقة بمسافة 12 كم على الضفة الشمالية لنهر الفرات، وعلى ارتفاع 236.6 متراً عن سطح البحر، وخط عرض 35.89979° شمالاً، وخط طول 39.1159° شرقاً وذلك خلال الموسمين الزراعيين 2013 و2014. تتصف تربة الموقع بأنها لومية طينية، فقيرة بالمادة العضوية، جيدة المحتوى من الأزوت المعدني والفوسفور المتاح والبتواسيوم المتاح. وتمثل النتائج متوسط هذين الموسمين.

المادة النباتية: تم تقييم أداء عشرة طرز وراثية محلية من الذرة البيضاء (ري-29، ري-47، ري-63، ري-58، ري-65، ري-31، ري-62، ري-55، أزوع-5، أزوع-7) مأخوذة من البنك الوراثي لقسم بحوث الذرة الصفراء في الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية.

طريقة الزراعة والمعاملات: تمت الزراعة خلال الموسم الزراعي الأول بتاريخ 2013/6/1 وفي الموسم الزراعي الثاني بتاريخ 2014/6/5، حيث تم تجهيز الأرض وتخطيطها لزراعة الطرز الوراثية المدروسة وفق تصميم القطاعات الكاملة العشوائية (Randomized Complete Block Design (RCBD) وبثلاثة مكررات وأربعة خطوط لكل مدخل في كل مكرّر، حيث طول الخط 3 م، والمسافة بين الخط والأخر 70 سم، وزرع من 3-4 بذور في الجورة الواحدة، والمسافة بين الجورة والأخرى ضمن الخط الواحد 25 سم، حيث بلغت مساحة القطعة التجريبية 8.4م²، وتركت مسافة 1 متر بين المكررات. وقدمت كافة العمليات الزراعية من عزيق وتعشيب وتسميد وتغريد وري بناءً على توصيات وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي لمحصول الذرة البيضاء. وتم إضافة 6.5 كغ/ دونم يوريا 46%، بعد عشرة أيام من الزراعة والدفعة الثانية 11 كغ / دونم يوريا 46% بعد 20 يوماً من إضافة الدفعة الأولى، تكبشاً على بعد 5 سم بجانب وأسفل الجورة كما في الدفعة الأولى، وتم إضافة 13 كغ سماد ثلاثي الفوسفات 46% قبل الفلاحة الأخيرة. وجرى تغريد النباتات عندما وصل ارتفاعها الى 8-12 سم، حيث ترك نباتان في الجورة الواحدة. وتم تسجيل البيانات والقراءات الشكلية المطلوبة على عشرة نباتات تم اختيارها عشوائياً. وفي مرحلة النضج التام تم إجراء عملية الحصاد للخطين الوسطيين كل طراز وراثي واستكملت بقية القراءات المتمثلة بالغلة ومكوناتها.

الصفات المدروسة: عدد الأيام حتى الإزهار (عدد الأيام من تاريخ الزراعة حتى إزهار 50% من النباتات في القطعة التجريبية الواحدة، عند تفتح ازهار الثلث العلوي للعتكول)، ارتفاع النبات/سم (تمّ قياس ارتفاع النبات بدءاً من قاعدة النبات عند سطح الأرض وحتى نهاية العتكول. وذلك بعد اكتمال الإزهار)، طول العتكول/سم (تم قياس المسافة من قاعدة العتكول وحتى قمته)، نسبة التصافي (%) وحسبت من المعادلة (وزن الحبوب بعد فرط العتاكيل /وزن العتاكيل قبل الفرط) × 100، الغلة الحبية (طن/هكتار) بعد تسجيل البيانات السابقة واعتماداً على وزن العتاكيل ووزن الحبوب بعد الفرط ونسبة التصافي ومساحة القطعة التجريبية.

قدرت الغلة الحبية كما في المعادلة التالية:

الغلة الحبية (طن/هكتار عند نسبة رطوبة 15%) = وزن العتاكيل عند الحصاد (كغ) × (100 - الرطوبة المقاسة) × 0.028 × نسبة التصافي (%).

$$\text{حيث } 10000 \times (15-100) \times 4.2 / 10000 = 0.028$$

الهكتار = 10000 م²، 4.2 م² مساحة 2 خط، (100-15 نسبة الرطوبة) × 1000 تحويل إلى طن

التحليل الإحصائي: تم جمع البيانات للقراءات المدروسة وتم تبويبها باستخدام برنامج Excel، ومن ثم

حللت لتقدير التباين الوراثي والمظهري للصفات المدروسة حسب المعادلات الآتية (Singh and

Chaudhary, 1977):

$$\sigma^2e = MSe$$

$$\sigma^2p = \sigma^2g + \sigma^2e$$

$$\sigma^2g = (MSv - MSe) / r$$

التقدم الوراثي (GA) Genetic advance: حسب من المعادلة التالية: $GA = k \times h^2_B \times \sqrt{\sigma^2p}$

التقدم الوراثي كنسبة مئوية من المتوسط (GA %): حسب من المعادلة التالية:

$$GA\% = (GA / \bar{X}) \times 100$$

K = معامل انتخاب وقيمه 2.06% عند شدة انتخاب 5%.

\bar{X} = متوسط الصفة المدروسة.

MSv = متوسط مربعات الانحرافات للطرز الوراثية.

MSe = متوسط مربعات الانحرافات للخطأ التجريبي.

أما معامل التوريث بالمعنى الواسع h^2_B فحسبت كالآتي:

$$h^2B = \left(\frac{\sigma^2g}{\sigma^2p} \right) \times 100$$

وتم اعتماد حدود معامل التوريث، أقل من 40% منخفضة، من 40-60% متوسطة، أكثر من 60% عالية.

حيث: σ^2p = التباين المظهري، σ^2e = التباين البيئي، σ^2g = التباين الوراثي (Singh and Chaudhary, 1977).

وتم حساب معامل الارتباط الوراثي والمظهري كالآتي وفق ما ورد في معادلة (Snedecor and Cochran, 1981):

$$rg(1.2) = \sigma g1g2 / \sqrt{\sigma^2g1 \times \sigma^2g2}$$

$$rp(1.2) = \sigma p1p2 / \sqrt{\sigma^2p1 \times \sigma^2p2}$$

r_{ph} : معامل الارتباط.

وتم اختبار معنوية الارتباط الوراثي والمظهري حسب (Gomez and Gomez, 1984, p. 680).

معامل المسار (Path analysis): تمّ تقدير معامل المسار للوقوف على الأهمية النسبية لكلّ صفة من خلال تقدير نسبة مساهمتها في إنتاجية المحصول وذلك وفق معادلة العالمين (Dewey and Lu, 1959, p. 516):

$$1 = P_{y_0}^2 + P_{y_1}^2 + P_{y_3}^2 + (2P_{y_1r_{12}}P_{y_2}) + (2P_{y_1r_{13}}P_{y_3}) + (2P_{y_2r_{23}}P_{y_3})$$

P: معامل المسار الذي يقيس التأثير المباشر.

y: الغلة الحبيّة.

r: الارتباط المظهري.

النتائج والمناقشة:

التباين الوراثي والمظهري ودرجة التوريث والتقدم الوراثي %

يبين الجدول (1) القيم المقدرة للتباين الوراثي والمظهري ومعاملات التوريث بالمعنى الواسع (h^2_B)، إضافة إلى معامل التباين الوراثي (GCV) والمظهري (PCV) والتقدم الوراثي (GA) والتقدم الوراثي كنسبة مئوية من المتوسط (GA%) للطرز الوراثية المدروسة في مركز بحوث الرقة خلال موسمي 2013 و2014. يتضح من النتائج أن صفة عدد الأيام حتى الإزهار أظهرت تبايناً وراثياً منخفضاً مقارنة بالمظهري، مما انعكس على انخفاض معامل التوريث (0.44) وقيم GCV وPCV متقاربة، وهو ما يشير إلى تأثير بيئي واضح يقلل من جدوى الانتخاب المباشر لهذه الصفة. وقد أشار (Reddy et al., 2013, 151–155) إلى أن الصفات التطورية في الذرة البيضاء غالباً ما تُظهر توريثاً منخفضاً بسبب تأثيرها الكبير بالظروف البيئية. أما ارتفاع النبات فقد سجل أعلى قيمة للتباين الوراثي (48.58) مع معامل توريث متوسط (0.52)، حيث بلغت قيم التقدم الوراثي (GA=11.33، GA%=5.54)، مما يدل على وجود تباين وراثي يمكن استغلاله في برامج الانتخاب وإن كان التحسن المتوقع نسبياً محدوداً. هذه النتيجة تتفق مع ما ذكره (Rahane et al., 2024, 1086–1088) الذين أكدوا أن ارتفاع النبات في الذرة البيضاء يُظهر تبايناً وراثياً متوسطاً إلى مرتفعاً، مما يجعله صفة قابلة للتحسين عبر الانتخاب. في المقابل، أظهر متوسط طول العتكول تبايناً وراثياً ضعيفاً ومعامل توريث منخفضاً (0.21)، مع تقارب قيم GCV وPCV، وهو ما يعكس تأثيراً كبيراً بالبيئة ويجعل الانتخاب لهذه الصفة أقل فاعلية. وقد أوضحت دراسة (et al., 2024, 996) أن الصفات المرتبطة بالعتكول غالباً ما تكون أكثر عرضة للتأثير البيئي، مما يقلل من دقة الانتخاب المباشر.

من ناحية أخرى، برزت صفات الإنتاجية ومكوناتها كأكثر الصفات استجابة للانتخاب، حيث سجل وزن العتاكيل الرطب معامل توريث مرتفعاً (0.75) مع قيم عالية لكل من GCV وPCV (16.10 و18.60) وتقدم وراثي كنسبة مئوية بلغ (31.52%)، مما يشير إلى إمكانية تحقيق تحسن كبير عبر الانتخاب لهذه الصفة. كما أظهر وزن الحبوب بالنبات أعلى قيمة لمعامل التوريث (0.94) مع تقارب كبير بين GCV وPCV (17.21 و17.72) وتقدم وراثي مرتفع (GA%=37.77)، وهو ما يعكس إمكانية كبيرة للتحسين الوراثي لهذه الصفة ويؤكد أهميتها كمكون رئيسي للغلة الحبية. وبالمثل، سجلت الإنتاجية (طن/هـ) معامل توريث مرتفعاً (0.94) وقيماً عالية لكل من GCV وPCV (17.18 و17.72)، إضافة إلى تقدم وراثي عالٍ (GA%=37.64)، مما يدل على أن الانتخاب لهذه الصفة سيكون فعالاً جداً ويُعد مؤشراً رئيسياً لتحسين الغلة في الظروف المحلية. هذه النتائج تتفق مع ما أشار إليه (Ngidi et al., 2024) بأن الصفات الإنتاجية مثل وزن الحبوب والإنتاجية الكلية تُظهر توريثاً مرتفعاً وتقدماً وراثياً كبيراً، مما يجعلها أهدافاً مثالية لبرامج التربية.

تُظهر البيانات أن صفات وزن العتاكيل الرطب ووزن الحبوب بالنبات والغلة الحبية تتقارب في قيم التباين الوراثي والمظهري ومعاملات التوريث والتقدم الوراثي، ويعود ذلك إلى أن هذه الصفات تشترك في أساس وراثي وفسولوجي واحد يجعل استجابتها للانتخاب متشابهة. وتعتمد هذه الصفات على مكونات إنتاجية مترابطة مثل كفاءة التمثيل الضوئي، وعدد الحبوب، ووزن الحبة، وقدرة النبات على تعبئة الحبوب، وهي مكونات تتحكم فيها مجموعة من المورثات ذات التأثير التراكمي. هذا التشابك الوراثي يؤدي إلى ارتباط وراثي وظاهري مرتفع بين الصفات، بحيث تتأثر جميع الطرز الوراثية بالبيئة في الاتجاه نفسه، دون أن يتغير ترتيبها النسبي، مما يفسر بقاء معامل التوريث مرتفعاً رغم شدة التأثير البيئي.

ويشير ارتفاع معامل التوريث في هذه الصفات الإنتاجية إلى أن التباين الوراثي كان كبيراً بما يكفي ليظهر بوضوح فوق التباين البيئي، وأن تأثير البيئة كان متجانساً على جميع الطرز، الأمر الذي حافظ على ثبات الفروق الوراثية بينها. وبذلك، فإن تقارب هذه الصفات يعكس سيطرة المكون الوراثي على التعبير الظاهري، ويؤكد أن الصفات الإنتاجية في الذرة البيضاء تُعد من أكثر الصفات استجابة للانتخاب، خاصة في البيئات الجافة وشبه الجافة التي تتسم بتأثيرات بيئية واسعة ولكن غير تمييزية بين الطرز الوراثية.

وبشكل عام، يمكن القول إن الصفات ذات معامل التوريث المرتفع والتقدم الوراثي الكبير مثل وزن الحبوب بالنبات تُعد مؤشرات انتخابية مثالية، بينما الصفات ذات معامل التوريث المتوسط مثل ارتفاع النبات يمكن أن تُستخدم بدرجة أقل، في حين أن الصفات ذات معامل التوريث المنخفض مثل عدد الأيام حتى الإزهار ومتوسط طول العتقول تُظهر تأثيراً كبيراً بالبيئة مما يقلل من جدوى الانتخاب المباشر لها. هذه النتائج تؤكد أن التركيز على الصفات الإنتاجية ومكوناتها سيكون أكثر فاعلية في برامج التربية، وأن تحسين الغلة في الذرة البيضاء يمكن أن يتحقق من خلال الانتخاب للصفات ذات التباين الوراثي والتقدم الوراثي العالي، وهو ما يتفق مع الاتجاهات الحديثة في تحسين المحاصيل تحت ظروف البيئات الجافة وشبه الجافة (Gebregergs and Mekbib, 2020).

جدول (1) يبين التباين الوراثي والمظهري ودرجة التوريث (h^2) بالمعنى الواسع (h^2_B) ومعامل التباين الوراثي (GCV) والمظهري (PCV) والتقدم الوراثي (GA) والتقدم الوراثي كنسبة مئوية من المتوسط (GA as %) للطرز الوراثية التي قيمت بمركز بحوث الرقة، 2013 و2014.

GA as %	GA	PCV	GCV	h^2_B	التباين الوراثي	التباين المظهري	الصفة المدروسة
4.29	2.61	4.30	2.85	0.44	6.84	3.02	عدد الأيام حتى الإزهار
5.54	11.33	4.73	3.41	0.52	93.85	48.58	ارتفاع النبات
5.97	1.23	12.35	5.71	0.21	6.45	1.38	متوسط طول العتقول
31.52	0.48	18.60	16.10	0.75	0.08	0.06	وزن العتاكيل الرطب

37.77	0.49	17.72	17.21	0.94	0.05	0.05	وزن الحبوب بالنبات
37.64	1.13	17.72	17.18	0.94	0.28	0.27	الغلة الحبية

الارتباط الخطي البسيط:

يبين جدول (2) معامل الارتباط الخطي البسيط بين الصفات الإنتاجية والشكلية في الذرة البيضاء، ويوضح طبيعة العلاقات الإيجابية والسلبية بين الصفات المدروسة. يتضح أن الغلة الحبية ارتبطت ارتباطاً موجباً وعالٍ المعنوية مع وزن الحبوب بالنبات ($r=0.99$) ووزن العتاكيل الرطب ($r=0.83$)، مما يعكس أن هاتين الصفتين تُعدان من أهم المكونات المباشرة للغلة الحبية، وأن تحسينهما يؤدي بالضرورة إلى زيادة الغلة الحبية. هذه النتيجة تتفق مع ما أشار إليه (Ngidi et al., 2024) الذين أكدوا أن وزن الحبوب والكتلة الحيوية من أهم المحددات الوراثية للإنتاجية في الذرة البيضاء تحت ظروف البيئات الجافة وشبه الجافة، وأن الانتخاب لهذه الصفات يحقق استجابة وراثية عالية.

كما أظهر عدد الأيام حتى الإزهار ارتباطاً موجباً مع الغلة الحبية ($r=0.48$)، ووزن الحبوب ($r=0.49$)، لكنه ارتبط سلباً مع نسبة التصافي ($r=-0.37$). هذا يشير إلى أن التأخير في الإزهار قد يمنح النبات فترة أطول لتكوين الحبوب وزيادة وزنها، لكنه في المقابل يقلل من كفاءة التصافي، وهو ما يتفق مع نتائج et al., (1004–996 Bhatt 2024) الذين أوضحوا أن الصفات التطورية مثل موعد الإزهار تؤثر بشكل مزدوج على الإنتاجية والجودة، وأن الانتخاب لها يتطلب موازنة دقيقة بين الكمية والنوعية.

أما ارتفاع النبات فقد سجل ارتباطاً موجباً ومعنوياً مع الغلة الحبية ($r=0.61$) ووزن الحبوب ($r=0.62$) ووزن العتاكيل الرطب ($r=0.70$)، مما يعكس أهمية هذه الصفات كمؤشر غير مباشر لتحسين الغلة عبر زيادة القدرة التمثيلية للنبات ورفع كفاءة استخدام الموارد. وقد أكد (Rahane et al., 2024, 1086–1088) أن ارتفاع النبات يرتبط ارتباطاً وثيقاً بمكونات الغلة، ويُعد من الصفات الشكلية التي يمكن استغلالها في برامج الانتخاب خاصة في البيئات محدودة الموارد.

كذلك أظهر طول العتكول ارتباطاً موجباً مع الغلة ($r=0.53$) ووزن الحبوب ($r=0.54$)، مما يعزز دوره في تحسين الإنتاجية عبر زيادة كفاءة توزيع المواد الغذائية داخل النبات. هذه النتيجة تتفق مع ما ذكره et al., (2024 Ngidi) بأن طول العتكول يُعد من الصفات الشكلية المرتبطة بشكل مباشر بزيادة الغلة، وأن تحسينه يساهم في رفع القدرة الإنتاجية للنبات.

أما نسبة التصافي فقد أظهرت ارتباطاً ضعيفاً وغير معنوي مع الغلة ($r=0.01$)، مما يشير إلى أن هذه الصفة لا تُعد مؤشراً موثقاً لتحسين الإنتاجية في الظروف المحلية، وهو ما يتفق مع نتائج et al., (2024 Bhatt) الذين أوضحوا أن الصفات المرتبطة بجودة الحبوب قد لا تكون دائماً مرتبطة بشكل مباشر بالإنتاجية الكلية، وأن تحسينها يتطلب برامج خاصة تركز على الجودة أكثر من الكمية.

وبشكل عام، تؤكد النتائج أن الصفات الإنتاجية مثل وزن الحبوب بالنبات ووزن العتاكيل الرطب، إضافة إلى الصفات الشكلية مثل ارتفاع النبات وطول العتكل، تُعد من أهم المكونات المرتبطة بالغلة الحبية في الذرة البيضاء، وأن الانتخاب لهذه الصفات سيكون أكثر فاعلية في برامج التربية. أما الصفات التطورية مثل عدد الأيام حتى الإزهار فنُظهر ارتباطات متباينة، مما يجعل الانتخاب لها أكثر تعقيداً ويستلزم دمجها مع صفات أخرى لتحقيق تحسين متوازن. هذه النتائج تتفق مع الاتجاهات الحديثة في تحسين الذرة البيضاء التي تركز على دمج الصفات الإنتاجية والشكلية لتحقيق أعلى مردود ممكن تحت ظروف البيئات الجافة وشبه الجافة (Bhatt *et al.*, 2024, p. 996–1004).

جدول (2) الارتباط الخطي البسيط بين الصفات المدروسة.

GYD	GRWT	LQRT	WCLW	CLHT	PLHT	Traits
0.48**	0.49**	-0.37**	0.62**	0.33**	0.46**	NOF
0.61**	0.62**	-0.29*	0.70**	0.57**		PLHT
0.53**	0.54**	-0.26*	0.59**			CLHT
0.83**	0.83**	-0.52**				WCLW
0.01	0.02					LQRT
0.99**						GRWT

*,** المعنوية عند مستوى 0.05 و 0.01، على الترتيب (N=60). (Traits) الصفات المدروسة: (NOF) عدد الأيام حتى الإزهار، (PLHT) ارتفاع النبات، (CLHT) طول العتكل، (WCLW) وزن العتاكيل الرطب، (LQRT) نسبة التصافي، (GRWT) وزن الحبوب، (GYD) الغلة الحبية.

معامل تحديد المسار:

يُعد تحليل معامل المسار (Path Coefficient Analysis) من الأدوات الإحصائية المهمة في برامج التربية النباتية، إذ يتيح فصل التأثيرات المباشرة وغير المباشرة للصفات على الغلة الحبية بينما يوضح معامل الارتباط قوة العلاقة بين صفتين، فإن معامل المسار يحدد ما إذا كانت هذه العلاقة ناتجة عن تأثير مباشر أو عبر صفات وسيطة. هذا التمييز ضروري للمربين لتحديد الصفات الأكثر جدوى في برامج الانتخاب وتحسين الإنتاجية. أظهرت صفة وزن الحبوب بالنبات أعلى ارتباط وراثي مع الغلة الحبية (0.86) وأعلى تأثير مباشر (0.68). هذه النتيجة تؤكد أن وزن الحبوب بالنبات هو المحدد الأساسي للإنتاجية، وأن الانتخاب المباشر لهذه الصفة سيكون أكثر فاعلية في تحسين الغلة. التأثيرات غير المباشرة عبر الصفات

الأخرى كانت ضعيفة، مما يعزز استقلالية هذه الصفة كمعيار انتخابي رئيسي. وقد سجل وزن العتاكيل الرطب ارتباطاً وراثياً جيداً (0.66*) وتأثيراً مباشراً قوياً (0.56)، إضافة إلى تأثيرات غير مباشرة عبر وزن الحبوب. هذا يشير إلى أن وزن العتاكيل يمثل صفة مساعدة مهمة، وأن تحسين هذه الصفة سينعكس إيجاباً على الغلة. وبالتالي فإن صفتي وزن الحبوب بالنبات ووزن العتاكيل الرطب هما المحددان الرئيسيان للغلة الحبية في الذرة البيضاء.

أظهر ارتفاع النبات وطول العتكل ارتباطات متوسطة (0.53 و 0.39) لكن تأثيراتها المباشرة كانت ضعيفة (0.42 و 0.37). معظم تأثيراتها على الغلة جاءت بشكل غير مباشر عبر وزن الحبوب أو وزن العتاكيل، مما يعني أن هذه الصفات يمكن أن تُستخدم كمعايير مساعدة في الانتخاب، لكنها ليست صفات رئيسية. أظهر عدد الأيام حتى الإزهار ارتباطاً متوسطاً (0.32) وتأثيراً مباشراً ضعيفاً (0.33). تأثيراته غير المباشرة عبر الصفات الأخرى كانت محدودة، مما يقلل من أهميته كمعيار انتخابي مباشر. سجلت نسبة التصافي ارتباطاً ضعيفاً (0.12) وتأثيراً مباشراً شبه معدوم (0.01)، مع بعض التأثيرات غير المباشرة عبر وزن العتاكيل الرطب. هذه النتائج تشير إلى أن هذه الصفة ليست ذات جدوى كبيرة في برامج الانتخاب المباشر للغلة.

تتفق هذه النتائج مع العديد من الدراسات الحديثة التي أكدت أن الصفات المرتبطة مباشرة بمكونات الغلة هي الأكثر جدوى في برامج الانتخاب، فقد اشاروا (Arunah et al., 2015, 225) ان مكونات الغلة مثل عدد الحبوب و وزن الحبوب تعد المحددات الرئيسة للإنتاجية في الذرة البيضاء، بينما يكون تأثير الصفات الشكلية غير مباشر. بينما وجد (Kovačević et al., 2023, 41) أن الانتخاب المباشر للصفات ذات التأثير المباشر القوي مثل وزن الحبوب أكثر فاعلية من الاعتماد على الصفات الشكلية. ووضح (Reddy et al., 2012, 158) أن وزن الالف حبة يساهم بأكثر تأثير مباشر في الغلة الحبية في الذرة البيضاء، مما يجعله احد اهم الأهداف في برامج التربية.

جدول (3) قيم الارتباط الوراثي والتأثيرات المباشرة (القيم القطرية) والتأثيرات الغير مباشرة (طرفي القطر) للصفات المدروسة على الغلة الحبية في الذرة البيضاء، متوسط عامي 2013 و 2014م.

Traits	NOF	PLHT	CLHT	WCLW	LQRT	GRWT	Pij
NOF	-0.12	0.04	-0.03	0.17	-0.08	0.33	0.32
PLHT	-0.06	0.08	-0.05	0.20	-0.06	0.42	0.53
CLHT	-0.04	0.05	-0.09	0.17	-0.05	0.37	0.39
WCLW	-0.07	0.06	-0.05	0.28	-0.11	0.56	0.66*
LQRT	0.04	-0.02	0.02	-0.15	0.21	0.01	0.12
GRWT	-0.06	0.05	-0.05	0.23	0.00	0.68	0.86**

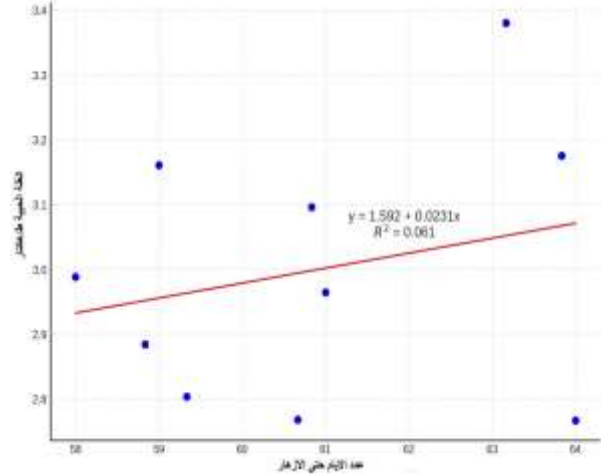
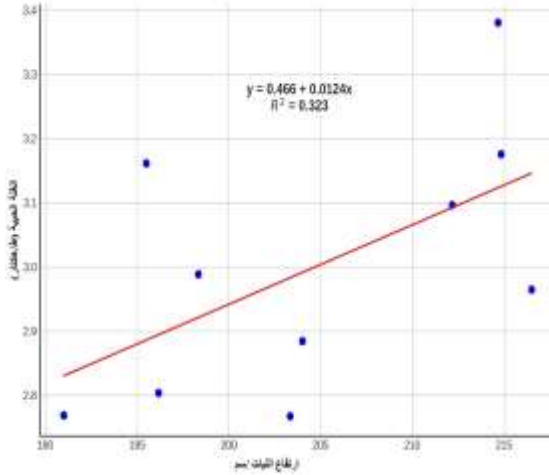
*, ** المعنوية عند مستوى 0.05 و 0.01، على الترتيب (N=10). (Traits) الصفات المدروسة:

(NOF) عدد الأيام حتى الازهار، (PLHT) ارتفاع النبات، (CLHT) طول العتكل، (WCLW) وزن العتاكل الرطب، (LQRT) نسبة التصافي، (GRWT) وزن الحبوب.

معامل الانحدار البسيط:

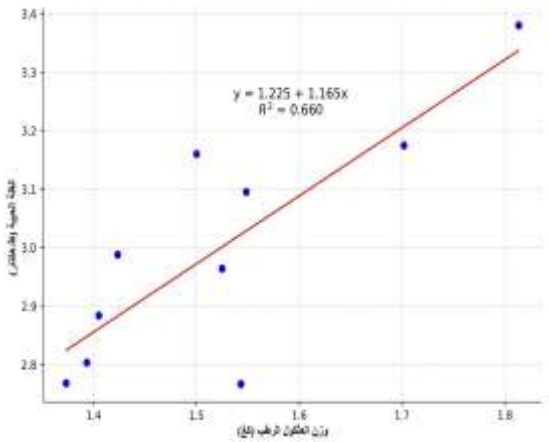
أظهرت نتائج تحليل الانحدار الخطي أن قوة العلاقة بين الصفات المدروسة والغلة الحبيبية تختلف بشكل واضح، حيث كان وزن العتاكل الرطب هو الأكثر تفسيراً للتباين في الغلة ($R^2 = 0.66$)، مع ميل موجب مرتفع يشير إلى أن كل زيادة في وزن العتكل تؤدي إلى زيادة ملموسة في الغلة، مما يعكس أهميته المباشرة في تحديد الإنتاجية عبر زيادة عدد وحجم الحبوب (شكل 4). هذه النتيجة تتفق مع ما أشار إليه et al., 2015, 88) (Pedda et al., 2015, 88) الذين أشاروا إلى أن وزن العتكل كان مرتبطاً ارتباطاً موجباً ومعنوياً بالغلة الحبية، ويعد من أهم الصفات المحددة للإنتاجية، إلى جانب وزن الألف حبة ومعامل الحصاد. أما طول العتكل فقد أظهر ارتباطاً متوسطاً ($R^2 = 0.303$) مع ميل موجب، مما يعني أن زيادة طول العتكل ترتبط بزيادة الغلة (شكل 3)، وهو ما يتماشى مع نتائج (Ezeaku and Mohammed, 2006, 1338) في الذرة التي ربطت طول العتكل بالقدرة التنافسية للنبات أكثر من الغلة النهائية، مما يجعله مؤشراً داعماً وليس محدداً رئيسياً للإنتاجية. وبالنسبة إلى ارتفاع النبات فقد أظهر علاقة موجبة معتدلة ($R^2 = 0.323$) مع ميل موجب (شكل 2)، وهو ما يتفق مع ما أوضحه (Wang et al., 2020, 3208) فإن الطول المعتدل للنبات يعزز الغلة بينما الطول المفرط قد يزيد من مخاطر الرقاد. أما عدد الأيام حتى الإزهار فقد أظهر ارتباطاً ضعيفاً جداً ($R^2 = 0.061$) مع ميل موجب صغير (شكل 1)، مما يشير إلى أن التأخر النسبي في الإزهار قد يسمح للنبات بزيادة النمو الخضري وتكوين مصدر أكبر للتمثيل الضوئي قبل مرحلة ملء الحبوب، لكنه ليس محدداً قوياً للغلة في هذه البيئة، وهو ما يتفق مع دراسة (Reddy et al., 2009, 198) التي بينت أن توقيت الإزهار يؤثر في استقرار الغلة لكنه يتفاعل بقوة مع الظروف المناخية والإدارة الزراعية. وأخيراً، فإن نسبة التصافي أظهرت علاقة شبه معدومة بالغلة ($R^2 = 0.002$) مع ميل سالب ضعيف (شكل 5)،

لنتبقى مؤشراً لجودة الحبوب أكثر من كونها محدداً للإنتاجية. وبذلك يمكن القول إن دمج الصفات البنوية (وزن العتاكيل) ذات الميل المرتفع مع الصفات التطورية (الإزهار والارتفاع) ذات الميل الموجب المعتدل يوفر نموذجاً أكثر دقة للتنبؤ بالغلة، بينما تبقى الصفات الأخرى مؤشرات ثانوية أو مرتبطة بجودة المنتج.

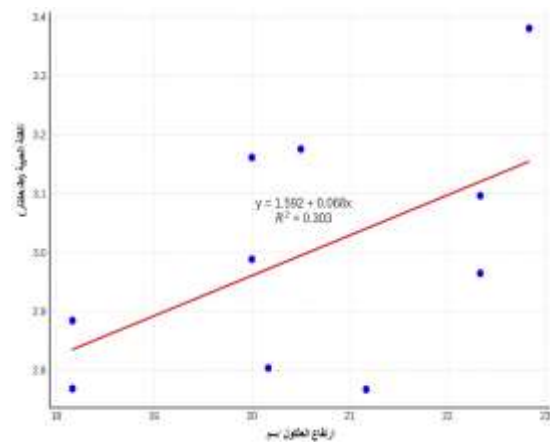


شكل (2). الانحدار الخطي بين ارتفاع النبات (سم) والغلة الحبية (ط/هكتار) في الذرة البيضاء.

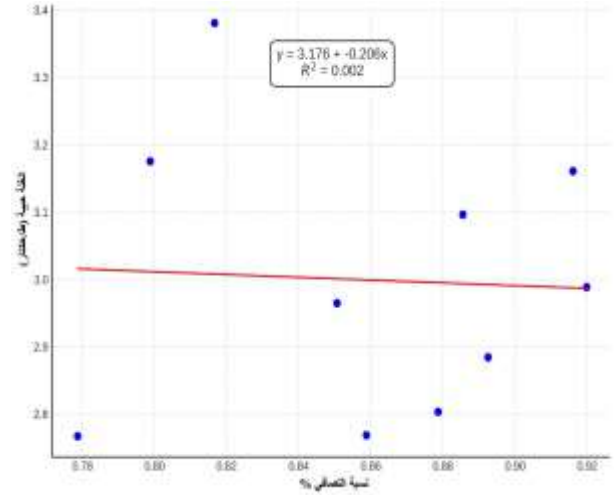
شكل (1). الانحدار الخطي بين عدد الايام حتى الازهار والغلّة الحبية (ط/هكتار) في الذرة البيضاء.



شكل (4). الانحدار الخطي بين وزن العتقول الرطب (كغ) والغلة الحبية (ط/هكتار) في الذرة البيضاء.



شكل (3). الانحدار الخطي بين طول العتقول (سم) والغلة الحبية (ط/هكتار) في الذرة البيضاء.



شكل (5). الانحدار الخطي بين نسبة التصافي (%)
والغلة الحبية (ط/هكتار) في الذرة البيضاء.

الاستنتاجات: تكشف نتائج هذا البحث أن الصفات الإنتاجية والشكلية والتطورية في الذرة البيضاء تتباين في قدرتها على تفسير التباين الوراثي والمظهري للغلة الحبية.

1. برزت الصفات الإنتاجية مثل وزن الحبوب بالنبات ووزن العتاكيل الرطب كأقوى المحددات المباشرة للغلة، حيث سجلنا قيمة مرتفعة لمعامل التوريث والتقدم الوراثي، مما يجعلها مؤشرات انتخابية مثالية لتحسين الإنتاجية في البيئات الجافة وشبه الجافة.

2. أظهرت الصفات الشكلية مثل ارتفاع النبات وطول العتقول ارتباطات موجبة مع الغلة لكنها ذات تأثيرات مباشرة محدودة، مما يعكس دورها غير المباشر عبر تعزيز كفاءة التمثيل الضوئي وتوزيع الموارد داخل النبات.

3. أما الصفات التطورية مثل عدد الأيام حتى الإزهار فقد أظهرت توريثاً منخفضاً وتأثراً كبيراً بالبيئة، مما يقلل من جدوى الانتخاب المباشر لها ويجعلها أكثر ملاءمة كمؤشر مساعد للتوافق الموسمي.

4. أكد تحليل معامل المسار أن التأثيرات المباشرة الأقوى على الغلة تعود لوزن الحبوب بالنبات ووزن العتاكيل، بينما بقية الصفات تؤثر بشكل غير مباشر، وهو ما يعزز أهمية التركيز على الصفات الإنتاجية في برامج التربية الحديثة.

التوصيات

1. التركيز على الصفات الإنتاجية ذات معامل التوريث والتقدم الوراثي المرتفع، وخاصة وزن الحبوب بالنبات ووزن العتاكيل الرطب، باعتبارها الأكثر كفاءة في برامج الانتخاب.

2. استخدام الصفات الشكلية ذات معامل التوريث المنخفض كمؤشرات مساعدة مثل عدد الأيام حتى الإزهار وطول العتقول.
3. دمج الصفات الفينولوجية مثل عدد الأيام حتى الإزهار في برامج الانتخاب بشكل غير مباشر لضمان التوافق مع الظروف المناخية المحلية، خاصة في البيئات الجافة وشبه الجافة.
4. الاستفادة من نتائج تحليل المسار في توجيه برامج الانتخاب نحو الصفات ذات التأثير المباشر الأكبر في الغلة.
5. إجراء دراسات متعددة البيئات لتأكيد ثبات النتائج والتحقق من ملاءمة الصفات عبر ظروف مناخية وزراعية مختلفة.

المراجع REFERENCES

- وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي. (2023). **المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية**. دمشق، سوريا.
- Arunah, U. L., Chiezey, U. F., Aliyu, L., & Ahmed, A. (2015). **Correlation and path analysis between sorghum yield and growth and yield characters**. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(19), 222–229.
- Bhatt, B., Pandey, P. K., Khan, R., Joshi, S., Kumar, A., & Tushadri, S. (2024). **Variability, heritability and genetic advance for yield and shoot fly resistance-associated traits in recombinant inbred lines (RILs) of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench)**. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(7), 996–1004.
- Dewey, D. R., & Lu, K. H. (1959). **A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production**. *Agronomy Journal*, 51(9), 515–518.
- Ebrahim, O., Nyquist, W. E., & Axtell, J. D. (1987). **Quantitative inheritance and correlation of agronomic grain quality of sorghum**. *Crop Science*, 25, 649–654.
- Ezeaku, I. E., & Mohammed, S. G. (2006). **Character association and path analysis in grain sorghum**. *African Journal of Biotechnology*, 5(14), 1337–1340.
- Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996). **Introduction to quantitative genetics (4th ed.)**. Prentice Hall. 464 pp.
- FAO. (1999). **Sorghum: Post-harvest operations**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (pp. 1–2)
- Gebregergs, G., & Mekbib, F. (2020). **Estimation of genetic variability, heritability, and genetic advance in advanced lines for grain yield and yield components of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench)**. *Cogent Food & Agriculture*, 6, 1764181. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1764181>
- Gebrekidan, B., & Kebede, Y. (1996). **Correlation and path-coefficient analysis of yield and yield components in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench)**. *Ethiopian Journal of Agricultural Science*, 15, 1–12.
- Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). **Statistical procedures for agricultural research (2nd ed.)**. Wiley. Wiley, New York, USA. pp:680.
- Kovačević, E. K., Jovan, P., Milan, S., Nenad, D., Dragosav, M., & Tomislav, Ž. (2023). **Direct selection parameter estimates and path coefficient analysis**

- for grain yield and quantitative traits in maize (Zea mays L.).** Romanian Agricultural Research, 41, 1–10.
- Mejia, D. (1999). **Sorghum: Post-harvest operations.** FAO, Natural Resources Institute. (pp. 4–6)
- Ngidi, A., Shimelis, H., Abady, S., Chaplot, V., & Figlan, S. (2024). **Genetic variation and association of yield, yield components, and carbon storage in sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) genotypes.** BMC Genomic Data, 25, 74.
- Pedda Swamy, D., Narendra, B., Jayalakshmi, V., Bharathi, D., & Umamaheswari, P. (2015). **Character association for yield and yield attributes in sorghum (Sorghum bicolor L. Moench).** The Andhra Agricultural Journal, 62(1), 87–89.
- Rahane, P. N., Kalpande, V. V., Dhole, V. A., Bhuyar, A. R., & Nerkar, A. P. (2024). **Genetic variability studies in sorghum (Sorghum bicolor L. Moench).** International Journal of Advanced Biochemistry Research, 8(12), 1086–1088.
- Reddy, B. V. S., Ramesh, S., & Kumar, A. A. (2007). **Characterization of sorghum germplasm for genetic enhancement.** International Sorghum and Millets Newsletter, 48, 1–7.
- Reddy, B. V. S., Ramesh, S., & Kumar, A. A. (2009). **Genetic enhancement for drought tolerance in sorghum.** Plant Breeding Reviews, 31, 189–222.
- Reddy, P. S., Patil, J. V., & Reddy, B. V. S. (2012). **Sorghum: Genetic improvement of grain quality and yield.** In Sorghum genetic enhancement (pp. 145–178). Academic Press.
- Reddy, P. S., Reddy, B. V. S., & Kumar, A. A. (2013). **Genetic variability, heritability and genetic advance in sorghum (Sorghum bicolor L. Moench).** Journal of Crop Science and Biotechnology, 16(2), 151–155.
- Saadalla, M. M., & Refay, Y. A. (2000). **Genotypic response, correlations, and path coefficients in grain sorghum as affected by contrasting water regimes.** Faculty of Agriculture, Cairo University, 51, 207–253.
- Singh, K. N., & Chtrath, R. (1992). **Genetic variability in grain yield and its component characters under salt stress conditions in tissue culture lines of bread wheat (Triticum aestivum L. em Thell).** Wheat Information Service, 75, 46–53.

- Singh, R. K., & Chaudhary, B. D. (1977). **Biometrical methods in quantitative genetic analysis**. Kalyani Publishers.
- Snedecor, G. W., & Cochran, W. G. (1981). **Statistical methods (6th ed.)**. Iowa State University Press.
- Stoskopf, N. C. (1985). **Cereal grain crops**. Reston Publishing Company. (pp. 149–150).
- Wang, X., Mace, E., Tao, Y., Cruickshank, A., Hunt, C., Hammer, G., & Jordan, D. (2020). **Large-scale genome-wide association study reveals that drought-induced lodging in grain sorghum is associated with plant height and traits linked to carbon remobilisation**. *Theoretical and Applied Genetics*, 133, 3201–3215.