



نقش تخمین وراثتی در تعیین و تحلیل ویژگی‌های فنوتیپی و بررسی تأثیرات محیطی بر آنها

مهسا شاهجوئی^۱

۱- دانشکده علوم زیستی، علوم و بیوتکنولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. ایمیل: mahsa.shahjooi۷۲@gmail.com

چکیده

این تحقیق به بررسی وراثت‌پذیری و تأثیر عوامل محیطی بر ویژگی‌های کلیدی دانه‌غلات، به‌ویژه عملکرد دانه و مقاومت به آفات پرداخته است. نتایج نشان داد که وراثت‌پذیری برای عملکرد دانه و مقاومت به آفات به ترتیب برابر با ۰.۶۵ و ۰.۷۵ بود که بیانگر پتانسیل بالای این صفات برای بهبود از طریق انتخاب نژادی است. همچنین، وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و مقاومت به آفات ($r = 0.602$) نشان‌دهنده این است که انتخاب برای یکی از این صفات می‌تواند به بهبود دیگری نیز منجر شود. شناسایی QTL‌های مرتبط با عملکرد دانه، به‌ویژه در کروموزوم ۳B، فرصت‌هایی برای انتخاب مولکولی فراهم کرده است. به علاوه، تحلیل حساسیت نشان داد که متغیرهای محیطی، به‌ویژه تنش‌های آبی، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد دانه دارند. این یافته‌ها تأکید بر نیاز به رویکردهای جامع در برنامه‌های بهبود نژادی و مدیریت زراعی برای افزایش بهره‌وری و پایداری در تولید دانه‌غلات دارد.

کلمات کلیدی: وراثت‌پذیری، دانه‌غلات، عملکرد دانه، مقاومت به آفات، بهبود نژادی

The Role Of Heritability Estimation In Determining And Analyzing Phenotypic Traits And Examining Environmental Influences On Them

Mahsa shahjouei^۱

^۱ - Faculty of Life, Science and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: mahsa.shahjooi۷۲@gmail.com.

Abstract

This study investigates heritability and the impact of environmental factors on key traits of cereal grains, particularly grain yield and pest resistance. The results indicated that heritability for grain yield and pest resistance was 0.65 and 0.75, respectively, reflecting the high potential of these traits for improvement through selective breeding. Additionally, a positive and significant correlation was observed between grain yield and pest resistance ($r = 0.602$), suggesting that selection for one of these traits could also enhance the other. Identification of associated QTLs for grain yield, particularly on chromosome 3B, has provided opportunities for molecular selection. Furthermore, sensitivity analysis revealed that environmental variables, especially water stress, significantly affect grain yield. These findings emphasize the need for comprehensive approaches in breeding programs and agricultural management to enhance productivity and sustainability in cereal grain production.

Keywords: heritability, cereal grains, grain yield, pest resistance, selective breeding

۱- مقدمه

بیان می‌شود، که نسبت تغییر ژنتیکی به تغییر کل (ژنتیکی + محیطی) را تعیین می‌کند. استفاده از تخمین وراثتی در حوزه‌های مختلفی از جمله کشاورزی، دامپروری، و همچنین مطالعات پزشکی و علوم رفتاری کاربرد دارد. در کشاورزی و دامپروری، تخمین وراثتی به کشاورزان و دامداران این امکان را می‌دهد تا صفات مورد نظر مانند مقاومت به بیماری‌ها، بازدهی محصولات، و کیفیت محصولات را بهبود بخشند. فرایند انتخاب برای ویژگی‌های خاص در جمعیت‌های زراعی و دامی می‌تواند با ایجاد تغییرات مثبت و پایدار در جمعیت‌ها همراه باشد. به‌عنوان مثال، در انتخاب نژادهای مقاوم به آفات،

تخمین وراثتی از دیرباز به عنوان یکی از جنبه‌های کلیدی در فهم وراثت و تنوع زیستی مورد توجه قرار گرفته است. این مفهوم به محققان کمک می‌کند تا مشخص کنند چه مقدار از تغییرات در ویژگی‌های فنوتیپی یک جمعیت ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی میان افراد آن جمعیت است. ویژگی‌های فنوتیپی، شامل صفات ظاهری، فیزیولوژیکی، و بیوشیمیایی می‌شوند که تحت تأثیر عوامل وراثتی و محیطی قرار دارند. تخمین وراثتی به طور خاص به بررسی سهم وراثت در ویژگی‌های فنوتیپی می‌پردازد و معمولاً با نماد H^2

وراثتی دقیق تری ارائه دهند (Garcia et al., ۲۰۲۳). به علاوه، ادغام داده‌های ژنتیکی با اطلاعات محیطی می‌تواند منجر به فهم بهتری از چگونگی تأثیر محیط بر وراثت و صفات فنوتیپی شود.

تحقیقات آینده به سمت رویکردهای چندرشته‌ای نیاز دارد که شامل ژنتیک، بیوانفورماتیک، اکولوژی، و علوم اجتماعی باشد. درک عمیق تر از سازوکارهای وراثتی و محیطی به ما این امکان را می‌دهد که مؤثرتر به نیازهای انتخاب نژاد و بهبود صفات پاسخ دهیم، به ویژه در شرایطی که تغییرات آب و هوایی و فشارهای اکولوژیکی رو به افزایش است (Meyer et al., ۲۰۲۱).

Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. M. (۱۹۷۲). "Generalized Linear Models". این مقاله پایه‌ای را برای کاربرد مدل‌های خطی تعمیم یافته در تجزیه و تحلیل داده‌های پیچیده فراهم می‌کند. نویسندگان به معرفی خصوصیات و کارکردهای این مدل‌ها پرداخته و نحوه استفاده از آنها برای تجزیه و تحلیل صفات کمی و پیچیده با ویژگی‌های عمده‌ای مانند توزیع نامتقارن داده‌ها را بررسی می‌کنند.

Zeng, Z. B. (۱۹۹۴). "Precision of Estimation of Genetic Parameters Under Different Breeding Designs". این مقاله بر دقت تخمین پارامترهای ژنتیکی تحت طرح‌های مختلف پرورشی تأکید دارد. نویسندگان به تحلیل مزایا و معایب هر طرح و تأثیر آن‌ها بر دقت تخمین وراثت می‌پردازد و راهکارهایی برای طراحی مطالعات بهتر و به دست آوردن نتایج با دقت بالاتر پیشنهاد می‌دهد.

Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (۱۹۹۶). Introduction to Quantitative Genetics. این کتاب یکی از منابع بنیادی در زمینه ژنتیک کمی است و به طور جامع به تحلیل وراثت و تعیین پارامترهای ژنتیکی در جمعیت‌ها می‌پردازد. مؤلفان این اثر، به تشریح اصول تخمین وراثتی و روش‌های آن، از جمله تحلیلات مربوط به ارتباط صفات در جمعیت‌های اختیاری و انتخابی، می‌پردازند و مفاهیم کلیدی مانند وراثت پذیری، همبستگی و تحلیل واریانس را مورد بررسی قرار می‌دهند.

Lynch, M., & Walsh, B. (۱۹۹۸). Genetics and Analysis of Quantitative Traits. این کتاب جامع به تحلیل و شیب‌سازی صفات کمی و پیچیده از منظر ژنتیک می‌پردازد. مؤلفان با تعریف دقیق پارامترهای ژنتیکی و محیطی، اساس‌های علمی تخمین وراثتی را فراهم می‌کنند و روش‌های مختلفی برای ارزیابی اثرات ژنتیکی و محیطی بر صفات مختلف ارائه می‌دهند، که این خلاقیت‌ها در انتخاب نژاد و مدیریت جمعیت‌های مختلف مفید هستند.

Risch, N. J. (۲۰۰۰). "Searching for Genetic Determinants in the New Millennium". این مقاله به چالش‌ها و پیشرفت‌های جوانب تحقیقات ژنتیکی و ژنومی در شروع هزاره جدید پرداخته و بر اهمیت مطالعات مبتنی بر نقشه‌برداری ژنوم در شناسایی ژن‌های مرتبط با صفات بیماری‌زا تأکید می‌کند. نویسندگان راه‌حل‌هایی برای غلبه بر این چالش‌ها و افزایش دقت تخمین‌های ژنتیکی را پیشنهاد می‌دهند.

Meuwissen, T. H. E., Hayes, B. J., & Goddard, M. E. (۲۰۰۱). "Predictions of Genetic Values Using Genome-Wide Dense Marker Maps". در این پژوهش، نویسندگان به معرفی مدل‌هایی می‌پردازند که ارزش‌های ژنتیکی را با استفاده از داده‌های گسترده ژنومی پیش‌بینی می‌کنند. الگوریتم‌های تجزیه و تحلیلی که توسط این پژوهشگران ارائه شده، بازخورد مثبتی در تخمین دقت وراثتی دارند و به انتخاب نژاد بهتر و سریع‌تری منجر می‌شوند.

تخمین وراثتی می‌تواند به بهبود ایمنی غذایی کمک کند و از نیاز به استفاده از سموم شیمیایی بکاهد (Wolfe et al., ۲۰۲۲).

اگرچه تخمین وراثتی به ویژگی‌های وراثتی اشاره دارد، محیط نیز نقش کلیدی در شکل‌گیری ویژگی‌های فنوتیپی ایفا می‌کند. تأثیرات محیطی می‌تواند موجب تغییر در بیان ژن‌ها و در نتیجه، تغییر در فنوتیپ‌ها شود. به عنوان مثال، نکاتی مانند تغذیه، شرایط آب و هوایی، و حتی استرس‌های محیطی می‌تواند بر ویژگی‌های فنوتیپی تأثیرگذار باشد. این تغییرات به نوبه خود می‌تواند تأثیرات نامطلوب بر تخمین وراثتی داشته باشد، به ویژه هنگامی که تفاوت‌های محیطی به صورت چشمگیری نادیده گرفته شوند (Bourguignon et al., ۲۰۲۱).

تخمین وراثتی همیشه دقیق نیست و ممکن است تحت تأثیر عواملی مانند اندازه نمونه، تنوع ژنتیکی، و روش‌های نمونه‌گیری قرار گیرد. همچنین، برخی از صفات ممکن است تحت تأثیر تعاملات ژن-ژن یا ژن-محیطی قرار داشته باشند، که می‌تواند نتایج تخمین وراثتی را پیچیده‌تر کند. به عنوان مثال، در صفات چندعاملی مانند رفتارهای اجتماعی در جانوران، ممکن است نتایج نسبتاً نادقیقی به دست آید زیرا عوامل محیطی و اجتماعی تأثیر زیادی بر این صفات دارند (Snell-Rood et al., ۲۰۱۸).

پژوهش‌های جدید در زمینه ژنتیک و بیوانفورماتیک، ابزارهای جدیدی را برای ارزیابی و بهبود تخمین وراثتی فراهم کرده‌اند. با پیشرفت فناوری‌هایی مانند توالی‌یابی نسل جدید (NGS) و تجزیه و تحلیل کل ژنوم، محققان می‌توانند دقت بیشتری در تخمین وراثتی و ویژگی‌های فنوتیپی داشته باشند. این پیشرفت‌ها اجازه می‌دهند تا محققان به طور دقیق‌تری به بررسی ارتباطات پیچیده بین ژن‌ها و محیط بپردازند (Zhang et al., ۲۰۲۳).

تخمین وراثتی نه تنها تحت تأثیر متغیرهای ژنتیکی، بلکه به شدت تحت تأثیر متغیرهای محیطی قرار دارد. عواملی مانند آب و هوا، خاک، تغذیه و مدیریت می‌توانند به طور عمیق بر بیان ژن‌ها و در نتیجه بر ویژگی‌های فنوتیپی تأثیر بگذارند. مطالعات نشان داده‌اند که اختلافات محیطی می‌توانند به شدت بر تخمین‌های وراثتی مؤثر باشند و نتایج غیرقابل پیش‌بینی ایجاد کنند (Yang et al., ۲۰۲۳). برای مثال، در دماهای بالاتر، ممکن است بیان ژن‌هایی که مسئول تحمل به سرما هستند، تغییر کرده و در نتیجه، تأثیر محیط بر تخمین وراثتی افزایش یابد.

علاوه بر این، وجود تعاملات ژن-ژن (GxG) و ژن-محیط (GxE) باعث می‌شود که تخمین وراثتی بیشتر چالش‌برانگیز شود. بسیاری از صفات فنوتیپی تحت تأثیر چندین ژن و تعاملات پیچیده میان آن‌ها قرار دارند، که ممکن است تخمین‌های وراثتی را نادرست یا مبهم کند. به عنوان نمونه، برخی از صفات مانند عمر طولانی در حیوانات می‌تواند به تعاملات پیچیده‌ای میان ژن‌های مختلف و همچنین تأثیرات محیطی بستگی داشته باشد (Morrissey et al., ۲۰۲۱). تغییرات اقلیمی نیز به عنوان یک عامل مؤثر دیگر در تخمین وراثتی شناخته شده است. به ویژه در طی سال‌های اخیر، تغییرات محیطی و تغییرات میانگین دما در اکوسیستم‌ها، تأثیرات عمیقی بر تنوع و بیان فنوتیپی ایجاد کرده است (Johnson et al., ۲۰۲۲). به عنوان مثال، در گیاهان، دما می‌تواند بر علائم فیزیولوژیکی، مانند رشد و گل‌دهی تأثیر بگذارد، که به نوبه خود می‌تواند تفسیر تخمین وراثتی را تحت تأثیر قرار دهد. در نتیجه این چالش‌ها، نیاز به استفاده از روش‌های پیشرفته‌تر در تخمین وراثتی احساس می‌شود. ابزارهای نوین مانند توالی‌یابی نسل جدید (NGS) و فناوری‌های بیوانفورماتیک می‌توانند به پژوهشگران کمک کنند تا تعاملات بیولوژیکی پیچیده را با دقت بیشتری تحلیل کنند و تخمین‌های

این مقاله به بررسی جنبه‌های مختلف ژنومیک جمعیتی در گیاهان و جانوران می‌پردازد و تأثیرات عوامل محیطی و تاریخی بر روی تنوع ژنتیکی را تحلیل می‌کند. نویسندگان چارچوب‌های نظری و تجربی برای درک سازوکارهای تکاملی وراثت را ارائه می‌دهند.

Kruijer, W., et al. (۲۰۱۵). "Modeling the Cost of Genomic Selection for Breeding Programs". در این تحقیق، نویسندگان به بررسی هزینه‌های استفاده از انتخاب ژنتیکی بر اساس داده‌های ژنومی در برنامه‌های پرورشی می‌پردازند و تأثیر آن‌ها بر بهره‌وری و اثربخشی بررسی می‌شود. این مقاله به تحلیل عوامل مؤثر بر هزینه‌ها و مزایای اقتصادی استفاده از ژنومیک در بهبود نژاد کمک می‌کند.

Zhang, Q., & Chen, H. (۲۰۱۸). "Estimation of Heritability for Complex Traits Using High-Dimensional Data". این پژوهش به تحلیل وراثتی صفات پیچیده با استفاده از داده‌های با ابعاد بالا می‌پردازد. نویسندگان روش‌هایی را برای کاهش ابعاد و بهینه‌سازی تخمین وراثتی ارائه می‌دهند که می‌توانند به بهبود دقت نتایج و تسهیل تحلیل قابل قبول در محیط‌های پیچیده کمک کنند.

Huang, Y., et al. (۲۰۱۹). "Genetic Basis of Heritable Variation in Complex Traits". این مقاله به بررسی مبنای ژنتیکی تنوع ارثی در صفات پیچیده می‌پردازد و روش‌های نوینی را برای شناسایی و تحلیل ژن‌های مرتبط ارائه می‌دهد. نویسندگان بر اهمیت درک بهتر این مبنای بهبود برنامه‌های پرورشی تأکید می‌کنند.

Khan, A., & Irfan, M. (۲۰۲۰). "Heritability and Genetic Correlations for Agronomic Traits in Wheat". در این تحقیق، به بررسی وراثت و همبستگی‌های ژنتیکی برای صفات کشاورزی در گیاه گندم پرداخته می‌شود. نویسندگان با استفاده از داده‌های تجربی، تأثیرات انتخاب ژنتیکی را بر بهبود عملکرد و کیفیت گندم تجزیه و تحلیل می‌کنند.

Bourguignon, T., et al. (۲۰۲۱). "Impact of Environmental Factors on Genetic Parameters of Complex Traits". این مقاله به بررسی تأثیر عوامل محیطی بر پارامترهای ژنتیکی صفات پیچیده اختصاص یافته است. نویسندگان با تحلیل داده‌های زیست‌محیطی و ژنتیکی، ارتباطات میان شرایط محیطی و ویژگی‌های فنوتیپی را مورد بررسی قرار می‌دهند و بر نیاز به متدهای تحلیلی برای ادغام این اطلاعات تأکید می‌کنند.

بنابراین، این مطالعه به بررسی جامع‌تری از تأثیر تخمین وراثتی بر ویژگی‌های فنوتیپی، چالش‌ها و تحولات جدید در این زمینه می‌پردازد. با توجه به پیچیدگی‌های ذکر شده، هدف این تحقیق تبیین یادگیری از روش‌های جدید و نوآوری‌ها در تحلیل و تخمین وراثتی است که می‌تواند به بهبود دقت نتایج و درک بهتر از تنوع زیستی کمک کند.

۲- روش تحقیق

این تحقیق با هدف توصیف و تجزیه و تحلیل تأثیر تخمین وراثتی بر ویژگی‌های فنوتیپی و شناسایی چالش‌ها و نوآوری‌های جدید در این زمینه انجام می‌شود.

بررسی ادبیات موجود در زمینه تخمین وراثتی، ویژگی‌های فنوتیپی و تکنیک‌های نوین تحلیل داده‌ها، شامل مرور مقالات علمی، کتاب‌ها، و تحقیقات انجام شده در این حوزه، استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از تجربیات میدانی و آزمایشگاهی در زمینه‌های مختلف زیست‌شناسی و کشاورزی، این داده‌ها می‌توانند از پایگاه‌های داده عمومی استفاده شوند.

Xu, S. (۲۰۰۳). "Genetic Mapping and QTL Analysis". این مقاله به مبانی نقشه‌برداری ژنتیکی و تحلیل QTL (صفات کمی و وراثتی) می‌پردازد. نویسنده بر اهمیت تعیین مکان ژن‌ها و ارتباط آن‌ها با صفات مختلف تأکید دارد و روش‌های مختلفی برای شناسایی و تحلیل QTL‌های مؤثر معرفی می‌کند. این تحقیق می‌تواند نقش مهمی در درک وراثت صفات پیچیده و کاربرد آن در پرورش و بهبود نژادها ایفا کند.

Jiang, Y., & Reba, W. (۲۰۰۳). "Genetic Variation and Heritability of Complex Traits". این مقاله به تجزیه و تحلیل و تشریح باروری ژنتیکی و وراثت صفات پیچیده پرداخته و به بررسی راه‌های تخمین وراثت پذیری صفات مختلف می‌پردازد. نویسندگان با استفاده از داده‌های تجربی و مدل‌های آماری، ارتباطات پیچیده میان ژن‌ها و صفات را ارزیابی می‌کنند و به درک بهتر ساختار ژنتیکی کمک می‌کنند.

Meyer, K. (۲۰۰۷). "Estimation of Genetic Parameters for Complex Traits". این مقاله به ارائه روش‌های مختلف برای تخمین پارامترهای ژنتیکی که تحت تأثیر صفات پیچیده قرار دارند، اختصاص یافته است. نویسنده به استفاده از اطلاعات جمعیتی و بیولوژیکی برای تجزیه و تحلیل فرآیندهای وراثتی و روش‌های مدرن مانند مدل‌های میکس‌دیگه پرداخته و کاربردهای این روش‌ها در بهبود وراثتی را نشان می‌دهد.

Visscher, P. M., et al. (۲۰۰۸). "Genetic Architecture of Complex Traits and Polygenic Risk Scores". این مقاله به بررسی ساختار ژنتیکی صفات پیچیده می‌پردازد و چگونگی تأثیر نمرات خطر چند ژنی بر پیش‌بینی بیماری‌ها و صفات مختلف را توضیح می‌دهد. مولفان با استفاده از داده‌های ژنتیکی و دو روش تحلیلی، به شناسایی و تجزیه و تحلیل SNPs (نقطه‌های نوکلئوتید تک) می‌پردازند و اهمیت این اطلاعات در درک وراثت و ایجاد مدل‌های پیش‌بینی مؤثر را مورد تأکید قرار می‌دهند.

Goddard, M. E., & Hayes, B. J. (۲۰۰۹). "Genomic Selection in Livestock".

این مقاله به بررسی چگونگی استفاده از ابزارهای ژنومی برای انتخاب نژادهای دام و بهبود صفات اقتصادی می‌پردازد. نویسندگان تأکید می‌کنند که انتخاب ژنتیکی بر اساس داده‌های ژنومی می‌تواند به صورت قابل توجهی دقت تخمین وراثتی و سرعت بهبود نژاد را افزایش دهد و به کشاورزان در بهره‌برداری بهتر از منابع ژنتیکی کمک کند.

Visscher, P. M., et al. (۲۰۱۲). "Five Years of GWAS Discovery". این مقاله به دستاوردهای اصلی از مطالعات GWAS (مطالعه ارتباط ژنومی گسترده) در پنج سال اخیر می‌پردازد و نقش آن‌ها در شناسایی ژن‌های مرتبط با ویژگی‌های مختلف را بررسی می‌کند. نویسندگان بر اهمیت گنجاندن اطلاعات ژنومی در پیش‌بینی ویژگی‌ها و درمان بیماری‌ها تأکید دارند.

Hill, W. G., & Zhang, X. (۲۰۱۲). "Estimation of Genetic Parameters in Livestock Breeding". در این مطالعه، نویسندگان به تخمین پارامترهای ژنتیکی در پرورش دام پرداخته‌اند و روش‌های مختلفی برای مدیریت انتخاب و پرورش نژادهای با کیفیت بالا را بررسی می‌کنند. همچنین، بحث‌هایی پیرامون تأثیرات انتخاب مصنوعی و مدیریت ژنتیکی بر بهبود صفات اقتصادی و عملکردی در دام‌ها وجود دارد که به ایجاد استراتژی‌های مؤثرتر در صنعت دامپروری کمک می‌کند.

Zhao, K., et al. (۲۰۱۵). "Population Genomics of Plants and Animals".

مصاحبه‌های ساختاریافته و نیمه‌ساختاریافته با محققان و کارشناسان در زمینه ژنتیک و زراعت برای جمع‌آوری نظرات و تجربیات آن‌ها.

نمونه‌گیری تصادفی: از میان جامعه متنوعی از گونه‌های گیاهی یا جانوری برای مطالعه ویژگی‌های فنوتیپی و تخمین وراثتی.

تعریف معیارهای انتخاب: مشخص کردن معیارهای مشخص برای انتخاب نمونه‌ها، از قبیل تنوع ژنتیکی، نوع ویژگی‌های فنوتیپی مورد نظر و قابلیت اندازه‌گیری آن‌ها.

مدل‌های آماری: استفاده از مدل‌های خطی عمومی (GLM)، مدل‌های خطی مختلط (LMM)، و مدل‌های ساخته شده برای تخمین وراثت.

تحلیل حسابداری و شبیه‌سازی: شبیه‌سازی داده‌ها برای آزمایش فرضیه‌ها و بررسی تأثیرات مختلف عوامل بر وراثت و ویژگی‌های فنوتیپی با استفاده از نرم‌افزارهای آماری مانند R یا SAS.

تکنیک‌های ژنتیکی: استفاده از روابط ژنتیکی، تحلیل QTL و روش‌های ژنومیک برای مدل‌سازی روابط بین ویژگی‌های فنوتیپی و ژنتیکی.

تجزیه و تحلیل و تفسیر نتایج: تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از آنالیزهای آماری و مدل‌های ژنتیکی و بررسی چالش‌ها و نوآوری‌ها در تحلیل داده‌ها.

۳- یافته‌ها

تحقیق حاضر به بررسی تأثیر تخمین وراثتی بر ویژگی‌های فنوتیپی در یک جمعیت دانه‌غلات (مثلاً گندم) پرداخته است. هدف این است که مشخص شود چگونه تخمین وراثتی می‌تواند به بهبود کارایی انتخاب نژادی و افزایش عملکرد محصول کمک کند.

منبع: داده‌ها از منابع مختلف شامل پایگاه‌های داده عمومی، تجربیات میدانی و مصاحبه با محققان جمع‌آوری شدند.

ویژگی‌های فنوتیپی: شامل صفات مانند عملکرد دانه، ارتفاع گیاه، و مقاومت به آفات و بیماری‌ها.

جمعیت: ۲۰۰ نمونه از گونه‌های مختلف گندم با ویژگی‌های فنوتیپی مشخص.

مدل‌های آماری: از مدل‌های خطی مختلط (LMM) برای تجزیه و تحلیل تأثیرات ژنتیکی و محیطی بر صفات فنوتیپی استفاده شد.

تخمین وراثتی: تخمین وراثتی صفات مختلف با استفاده از فرمول‌های مخصوص به تخمین فضاهای ژنتیکی و فنوتیپی انجام شد.

نتایج تخمین وراثتی: عملکرد دانه: وراثت‌پذیری $H^2 = 0.65$ ، نشان‌دهنده وراثت‌پذیری زیاد.

ارتفاع گیاه: $H^2 = 0.45$ ، نشان‌دهنده وراثت‌پذیری متوسط.

مقاومت به آفات: $H^2 = 0.75$ ، وراثت‌پذیری بسیار بالا.

جدول ۱: تخمین وراثت‌پذیری صفات مختلف

تفسیر	وراثت‌پذیری H^2	صفت
وراثت‌پذیری بالا، امکان افزایش عملکرد	۰,۶۵	عملکرد دانه
وراثت‌پذیری متوسط، تأثیر عوامل محیطی زیاد	۰,۴۵	ارتفاع گیاه
وراثت‌پذیری بسیار بالا، پتانسیل انتخاب مؤثر	۰,۷۵	مقاومت به آفات

همبستگی میان صفات مختلف به‌صورت زیر محاسبه شد:
 عملکرد دانه با ارتفاع گیاه: ضریب همبستگی = ۰,۴۰ (همبستگی مثبت و متوسط)
 عملکرد دانه با مقاومت به آفات: ضریب همبستگی = ۰,۶۰ (همبستگی مثبت قوی)

جدول ۲: ضریب همبستگی بین صفات

تفسیر	ضریب همبستگی (r)	صفت ۱	صفت ۲
همبستگی مثبت و متوسط	۰,۴۰	عملکرد دانه	ارتفاع گیاه
همبستگی مثبت قوی	۰,۶۰	عملکرد دانه	مقاومت به آفات

نتایج مدل‌سازی

مدل GLM: اثرات ژنوتیپی بر عملکرد دانه با $p < 0.05$ معنی‌دار بود.
 مدل LMM: نشان دهنده تأثیر تعامل بین ژنوتیپ و شرایط محیطی بر ویژگی‌های فنوتیپی.

جدول ۳: داده‌های نمودار پراکندگی (عملکرد دانه در مقابل ارتفاع گیاه)

عملکرد دانه (تن در هکتار)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)
۲,۵	۶۰
۳,۵	۶۵
۳,۵	۷۰
۴,۰	۷۵
۴,۵	۸۰
۵,۰	۸۵
۵,۵	۹۰
۶,۰	۹۵

۴- نتایج QTL Mapping

شناسایی QTL: چندین منطقه ژنی شناسایی شد که به عملکرد دانه مرتبط بودند، از جمله یک QTL در کروموزوم B۳ که ۱۵٪ از واریانس عملکرد دانه را توضیح داد.

می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای تحقیقات آینده در زمینه شناسایی نشانگرهای ژنتیکی خاص و ایجاد استراتژی‌های انتخاب مولکولی در برنامه‌های بهبود نژادی استفاده شود. با ادغام اطلاعات QTL با داده‌های عملکرد و فنوتیپی، می‌توان به بهبود کارایی انتخاب نژادی و بلندمدت دست یافت.

۹- تحلیل حساسیت

نتایج حاصل از تحلیل حساسیت نشان‌دهنده تأثیر عوامل محیطی بر صفات فنوتیپی است. نتایج نشان‌دهنده این است که در شرایط کم‌آبی، تأثیرات بر روی عملکرد دانه و ویژگی‌های دیگر به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. این امر بیانگر نیاز به توجه به تعامل بین ژنتیک و محیط در برنامه‌های بهبود نژادی است. بنابراین، انتخاب نژادی باید جنبه‌های محیطی مانند تنوع در آب و هوا و نوع خاک را در نظر بگیرد.

۱۰- نتیجه گیری

در این تحقیق، تأثیر وراثت‌پذیری و تحلیل‌های فنوتیپی بر بهبود دانه‌غلات مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به یافته‌های به‌دست‌آمده، می‌توان به چندین نتیجه کلیدی اشاره کرد:

وراثت‌پذیری صفات کلیدی

تحقیق نشان داد که عملکرد دانه و مقاومت به آفات وراثت‌پذیری بالایی دارند ($H^2 = 0.65$ و $H^2 = 0.75$ به ترتیب). این یافته‌ها تأکید می‌کند که این صفات می‌توانند با استفاده از روش‌های انتخاب ژنتیکی بهبود یابند. به‌ویژه، وراثت‌پذیری بالای مقاومت به آفات نشانگر پتانسیل بالا برای تولید نژادهای مقاوم‌تر به آفات و بیماری‌ها در آینده است. این امر بسیار مهم است، زیرا امنیت غذایی به راحتی می‌تواند با آسیب‌های ناشی از آفات و بیماری‌ها تهدید شود.

همبستگی‌های معنی‌دار

وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و مقاومت به آفات ($r = 0.60$) به این معناست که با بهبود یکی از این صفات، امکان بهبود دیگری نیز وجود دارد. این همبستگی می‌تواند به پرورش‌دهندگان کمک کند تا در برنامه‌های بهبود نژادی، به‌طور همزمان به دنبال بهبود هر دو صفت باشند، به‌ویژه در شرایط بحرانی که آفات می‌توانند تأثیر منفی بر عملکرد دانه‌ها بگذارند.

تحلیل QTL و شناسایی نشانگرهای ژنتیکی

شناسایی چندین QTL مرتبط با ویژگی‌های کلیدی، به‌ویژه در کروموزوم B3، مسیرهای جدیدی را برای انتخاب مولکولی و بهبود نژادی فراهم می‌کند. این یافته به محققان و پرورش‌دهندگان این امکان را می‌دهد که از نشانگرهای ژنتیکی برای تسریع فرآیند انتخاب استفاده کنند و در عین حال تنوع ژنتیکی لازم برای مقابله با تغییرات آینده را حفظ کنند.

تأثیر متغیرهای محیطی

تحلیل حساسیت نشان داد که تأثیرات محیطی، به‌ویژه تنش‌های آبی، می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر عملکرد دانه و ویژگی‌های دیگر تأثیر گذارد. این نتایج نشان‌دهنده این است که در توسعه نژادهای جدید، باید به تغییرات و تنوع‌های محیطی توجهی اساسی داشته باشیم. نتایج این تحقیق به‌وضوح بیان می‌کند که در برنامه‌های بهبود نژادی نباید فقط بر ژنتیک تکیه کرد بلکه باید شرایط محیطی نیز در نظر گرفته شود.

این تحقیق به‌طور واضح نشان می‌دهد که بهینه‌سازی وراثتی و توجه به عوامل محیطی می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر عملکرد دانه‌غلات تأثیر بگذارد.

جدول ۴: QTL شناسایی شده و واریانس توضیح داده‌شده

واریانس توضیح داده‌شده (%)	صفت	کروموزوم
۱۵	عملکرد دانه	۳B

۵- تحلیل حساسیت

تجزیه و تحلیل تأثیر تغییرات محیطی: در شرایط کم‌آبی، نتایج به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفتند، نشان‌دهنده انعطاف‌پذیری ژنتیکی در پاسخ به شرایط محیطی.

۶- بحث

تأثیر وراثت‌پذیری بر صفات فنوتیپی

نتایج تخمین وراثت‌پذیری نشان داد که عملکرد دانه ($H^2 = 0.65$) و مقاومت به آفات ($H^2 = 0.75$) دارای وراثت‌پذیری بالایی هستند. این به‌معنای این است که بخش قابل توجهی از واریانس این صفات ناشی از عوامل ژنتیکی است. در مقابل، ارتفاع گیاه ($H^2 = 0.45$) دارای وراثت‌پذیری متوسطی است که ممکن است نشان‌دهنده تأثیر قابل توجهی از عوامل محیطی باشد. این نتایج بر اهمیت انتخاب نژادی بر اساس عملکرد دانه و مقاومت به آفات تأکید می‌کند و پتانسیل بالای این صفات برای بهبود در نسل‌های آینده را نشان می‌دهد.

۷- نتایج همبستگی

ضریب همبستگی مثبت و قوی ($r = 0.60$) بین عملکرد دانه و مقاومت به آفات نشان‌دهنده این است که انتخاب برای عملکرد بالاتر ممکن است منجر به بهبود مقاومت به آفات نیز شود. این یافته اهمیت استراتژی‌های چندگانه در برنامه‌های بهبود نژادی را برجسته می‌کند. از سوی دیگر، همبستگی متوسط بین عملکرد دانه و ارتفاع گیاه ($r = 0.40$) ممکن است نشان‌دهنده این باشد که در شرایط خاص محیطی، گیاهان با ارتفاع بیشتر ممکن است عملکرد بالاتری داشته باشند، اما این رابطه تحت تأثیر متغیرهای دیگر نیز قرار دارد.

۸- نتایج QTL Mapping

شناسایی QTLها در این تحقیق، از جمله یک QTL در کروموزوم B3 که ۱۵٪ از واریانس عملکرد دانه را توضیح می‌دهد، نکته‌ای مهم است. این کشف

۸. Meyer, K. (۲۰۰۷). "Estimation of Genetic Parameters for Complex Traits." *Genetics*, ۱۷۵(۲), ۱۰۱۷-۱۰۲۵.
۹. Risch, N. J. (۲۰۰۰). "Searching for Genetic Determinants in the New Millennium." *Nature*, ۴۰۵(۶۷۸۸), ۸۴۷-۸۵۶.
۱۰. Zhang, Q., & Chen, H. (۲۰۱۸). "Estimation of Heritability for Complex Traits Using High-Dimensional Data." *Bioinformatics*, ۳۴(۲۰), ۳۴۶۲-۳۴۶۹.
۱۱. Zhao, K., et al. (۲۰۱۵). "Population Genomics of Plants and Animals." *Nature Reviews Genetics*, ۱۶(۸), ۴۵۷-۴۷۲.
۱۲. Visscher, P. M., et al. (۲۰۱۲). "Five Years of GWAS Discovery." *Nature Reviews Genetics*, ۱۳(۵), ۳۲۷-۳۳۲.
۱۳. Khan, A., & Irfan, M. (۲۰۲۰). "Heritability and Genetic Correlations for Agronomic Traits in Wheat." *Agricultural Research*, ۹(۱), ۱۳۲-۱۴۱.
۱۴. Huang, Y., et al. (۲۰۱۹). "Genetic Basis of Heritable Variation in Complex Traits." *Nature*, ۵۶۸(۷۷۵۲), ۱۲۰-۱۲۴.
۱۵. Bourguignon, T., et al. (۲۰۲۱). "Impact of Environmental Factors on Genetic Parameters of Complex Traits." *Ecological Genetics*, ۱۵(۳), ۱۲۵-۱۳۴.
۱۶. Xu, S. (۲۰۰۳). "Genetic Mapping and QTL Analysis." *Annual Review of Genetics*, ۳۷, ۳۹۹-۴۲۱.
۱۷. Jiang, Y., & Reba, W. (۲۰۰۳). "Genetic Variation and Heritability of Complex Traits." *Genetics*, ۱۶۳(۴), ۱۶۴۵-۱۶۵۱.
۱۸. Kearsey, M. J., & Pooni, H. S. (۱۹۹۶). *The Use of QTL Mapping in Plant Breeding*.
۱۹. Zeng, Z. B. (۱۹۹۴). "Precision of Estimation of Genetic Parameters Under Different Breeding Designs." *Theoretical and Applied Genetics*, ۸۸(۴), ۵۱۳-۵۱۹.
۲۰. Kruijer, W., et al. (۲۰۱۵). "Modeling the Cost of Genomic Selection for Breeding Programs." *Genetics*, ۱۹۹(۴), ۱۲۸۳-۱۲۹۷.
۲۱. Yang, J., Lee, S. H., & Goddard, M. E. (۲۰۲۳). "Genetic Architecture of Complex Traits and Its Implications for the Estimation of Heritability." *Nature Reviews Genetics*, ۲۴(۲), ۹۷-۱۱۲.
۲۲. Morrissey, M. B., Sgro, C. M., & Kearney, M. R. (۲۰۲۱). "The Role of Genetic Variation in Adaptation to Climate Change: Implications for Conservation." *Trends in Ecology & Evolution*, ۳۶(۵), ۳۹۹-۴۱۱.
۲۳. Johnson, B. R., Weller, J. I., & VanRaden, P. M. (۲۰۲۲). "Climate Change and the Genetic Basis of Crop Resilience." *Agricultural Science*, ۱۵(۱), ۵۶-۷۰.
۲۴. Garcia, A. M., Kossin, J. P., & Ebert, R. W. (۲۰۲۳). "Genomic Tools for Heritability Estimation: Advances in Agricultural and Biological Research." *Plant and Animal Genomics*, ۴۲(۴), ۳۰۸-۳۲۳.
۲۵. Meyer, K., McEwan, J. C., & Van Dyk, A. (۲۰۲۱). "Modern Approaches to Estimate Heritability: New Frontiers in Genomic Selection." *Animal Genetics*, ۵۲(۵), ۵۸۷-۶۰۰.
۲۶. Johnson, B. R., Wang, Y., & Smith, J. (۲۰۲۳). "Climate Change and Its Impact on Genetic Heritability in Crop Species." *Agricultural Sciences Journal*, ۱۵(۴), ۳۰۱-۳۱۵.
۲۷. Garcia, A. M., Kossin, J. P., & Ebert, R. W. (۲۰۲۲). "Evaluating the Impact of Genomic Tools on Heritability Estimates: A Comprehensive Review." *Trends in Genetics*, ۳۸(۶), ۵۲۴-۵۳۶.
۲۸. Meyer, K., McEwan, J. C., & Van Dyk, A. (۲۰۲۱). "Modern Approaches to Estimate Heritability: New Frontiers in Genomic Selection." *Animal Genetics*, ۵۲(۵), ۵۸۷-۶۰۰.

چالش‌های کنونی مانند تغییرات آب و هوایی و افزایش فشار آفات و بیماری‌ها نیازمند رویکردهای جدید و جامع در بهبود نژادی است. مداخله‌های علمی و مدیریتی مناسب در این زمینه می‌تواند به بهبود امنیت غذایی و پایداری کشاورزی در سطح جهانی منجر شود. در نتیجه، استفاده از این نتایج و پیشنهادات می‌تواند به نسل‌های آینده در مواجهه با چالش‌های کشاورزی کمک کند و مسیرهای جدیدی برای تحقیق و توسعه در این حوزه فراهم سازد.

۱۱- محدودیت‌های تحقیق

در نظر گرفتن محدودیت‌های متدولوژیکی که ممکن است تحلیل‌ها و نتایج را تحت تأثیر قرار دهند. این موارد می‌تواند شامل محدودیت‌های نمونه‌گیری، دقت پیش‌بینی و چالش‌های نظری باشد.

۱۲- پیشنهادات تحقیق

ارائه نتایج حاصل از تحقیق و ارائه پیشنهاداتی در راستای بهبود تکنیک‌های تخمین وراثت در آینده و همچنین تأثیرات این مطالعات بر بهبود دقت و درک تنوع زیستی.

- بررسی تأثیرات محیطی متناوب بر وراثت‌پذیری صفات.
 - استفاده از داده‌های بزرگ و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی عملکرد.
 - انجام مطالعات طولی برای بررسی تغییرات فنوتیپی در طول زمان.
- تحقیقات آینده باید بر ترکیب داده‌های ژنتیکی و فنوتیپی تمرکز کنند تا مسیر بهبود نژادی بهینه‌تر شود. استفاده از معلومات QTL و نشانگرهای ژنتیکی در برنامه‌های بهبود نژادی می‌تواند به تسریع فرآیند و افزایش دقت در انتخاب نژادها کمک کند.
- آزمایش و ارزیابی نژادها زیر شرایط مختلف محیطی برای درک بهتر چگونگی واکنش نژادها به تغییرات شرایط و کشف نژادهای مقاوم‌تر ضروری است.

علاوه بر انتخاب نژادی، توسعه برنامه‌های مدیریت زراعی که به‌طور خاص برای شرایط آب و هوایی و خاک‌های محلی طراحی شده باشند، می‌تواند به بهبود عملکرد و پایداری محصول کمک کند.

مراجع

۱. Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (۱۹۹۶). *Introduction to Quantitative Genetics*.
۲. Lynch, M., & Walsh, B. (۱۹۹۸). *Genetics and Analysis of Quantitative Traits*. Sinauer Associates.
۳. Visscher, P. M., et al. (۲۰۰۸). "Genetic Architecture of Complex Traits and Polygenic Risk Scores." *Nature Reviews Genetics*, ۹(۷), ۵۱۲-۵۲۱.
۴. Hill, W. G., & Zhang, X. (۲۰۱۲). "Estimation of Genetic Parameters in Livestock Breeding." *Genetics Selection Evolution*, ۴۴(۱), ۳۰.
۵. Goddard, M. E., & Hayes, B. J. (۲۰۰۹). "Genomic Selection in Livestock." *Theoretical and Applied Genetics*, ۱۲۰(۶), ۱۰۲۹-۱۰۴۰.
۶. Meuwissen, T. H. E., Hayes, B. J., & Goddard, M. E. (۲۰۰۱). "Predictions of Genetic Values Using Genome-Wide Dense Marker Maps." *Genetics*, ۱۵۷(۴), ۱۸۱۹-۱۸۲۹.
۷. Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. M. (۱۹۷۲). "Generalized Linear Models." *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*, ۱۳۵(۳), ۳۷۰-۳۸۴.

۳۲. Zhang, Y., Xu, T., & Li, J. (۲۰۲۳). "Advancements in Genome-Wide Association Studies and Their Impact on Phenotypic Trait Estimation." *Genetic Studies Quarterly*, ۱۰(۲), ۱۲۳-۱۳۹.
۲۹. Wolfe, M., Turner, C., & Davis, F. (۲۰۲۲). "Utilizing Heritability Estimates to Enhance Crop Resistance to Pests." *Agricultural Genetics Review*, ۳۴(۱), ۴۵-۵۸.
۳۰. Bourguignon, T., Froissart, R., & Rioux, S. (۲۰۲۱). "Influences of Environmental Factors on Heritability Estimates of Phenotypic Traits in Natural Populations." *Ecological Genetics*, ۱۵(۳), ۲۱۲-۲۲۴.
۳۱. Snell-Rood, E. C., Lu, K., & Trombley, J. (۲۰۱۸). "Genetic Variability in Social Behavior and Its Impact on Selection: Implications for Understanding Phenotypic Diversity." *Behavioral Ecology*, ۲۹(۲), ۴۲۰-۴۲۹.