



Assessing diversity and grouping of rice genotypes based on some root architectural traits

Alireza Tarang¹  & Alireza Haghighi Hasanalideh² 

¹ Associate Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

² Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

 Corresponding author. E-mail: a_tarang@hotmail.com

ABSTRACT

Introduction: Plant roots are important in minimizing the yield gap and underpinning the second green revolution that must meet human food demand. This hidden half of the plant is a conduit for resource uptake from the soil. It is logically a valuable target in breeding to improve crop productivity in nutrient-deficient soils. The continuous breeding of shoots in the past decades has ignored the root's phenotypic, morphological and anatomical diversity despite the available genetic resources. However, the changes in root characteristics according to their genetic background in rice have not been fully characterized. Few cultivars or stands with unknown genetic backgrounds were used in the studies. This research aimed to investigate the phenotypic diversity of some root traits in rice genotypes, evaluating correlations between root traits and grouping varieties based on root morphological traits.

Materials and methods: This research was conducted to evaluate the root characteristics and screen varieties with superior root traits at Rice Research Institute of Iran (Rasht) in 2022. In this research, 40 genotypes, including local varieties and modified Iranian and exotic genotypes, were grown in pots in a completely randomized design (CRD) with three replications. At the end of the rice growth period, root traits including root length, root volume, root area, and root-to-shoot ratio, were measured. Statistical analysis was performed with SAS software (9.4 version).

Results: The analysis of variance showed that the genotype effect was significant at the 1% probability level in root length, root volume, root area, and root-to-shoot ratio. The mean comparison results showed that the Kapa genotype had the largest root length (53.7 cm), the Avangard genotype had the largest volume (92 cm³) and root area (245.9 cm²), and the Dijla genotype had the highest root-to-shoot ratio (0.49). Cluster analysis placed the studied genotypes into three separate groups. The first group had values almost equal to the total average of studied root traits. The second group had root volume and area lower than the total average and the third group had root volume and area greater than the total average. Correlation evaluation between investigated root traits showed that root length positively and significantly correlated with root area. A positive and significant correlation was observed between root volume, root area, and root-to-shoot ratio. The root area also positively and significantly correlated with other studied traits.

Conclusion: The results of this study indicated the existence of diversity in root architectural traits in the evaluated genotypes. Based on cluster analysis, the genotypes of the second group had root volume and area less than the total average, and the genotypes of the third group had root area and volume greater than the total average. Therefore, genotypes of the third group of cluster analysis, such as the Avangard, due to their larger root volume and area, are recommended for use as parents in breeding programs.

Keywords: Root volume, Root area, Root length.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 11 May 2024, Revised: 08 Jun 2024, Accepted: 24 Jul 2024, Published online: 22 Sep 2024

Cite this article: Tarang, A. & Haghighi Hasanalideh, A. (2024). Assessing diversity and grouping of rice genotypes based on some root architectural traits. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 3(3), 396-408. DOI: [10.22126/cbb.2024.11218.1087](https://doi.org/10.22126/cbb.2024.11218.1087)

© The Author(s).

Publisher: Razi University



 [10.22126/cbb.2024.11218.1087](https://doi.org/10.22126/cbb.2024.11218.1087)



ارزیابی تنوع و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های برنج بر مبنای برخی صفات معماری ریشه

علیرضا ترنگ^۱ و علیرضا حقیقی حسنعلیده^۲

^۱ دانشیار، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

^۲ استادیار، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

✉ نویسنده مسئول: رایانامه: a_tarang@hotmail.com

چکیده

مقدمه: ریشه‌های گیاه در به حداقل رساندن خلاء عملکرد و زیربنای دومین انقلاب سبز که باید تقاضای غذای انسان را برآورده کند، اهمیت دارد. این نیمه پنهان گیاه، مجرای برای جذب منابع از خاک است و به طور منطقی یک هدف با ارزش در اصلاح برای بهبود بهره‌وری محصول در خاک‌های دارای کمبود مواد مغذی است. اصلاح مستمر شاخساره در دهه‌های گذشته، تنوع فنوتیپی، مورفولوژیکی و تشریحی ریشه را با وجود منابع ژنتیکی در دسترس، نادیده گرفته است. با این حال، تغییرات در ویژگی‌های ریشه با توجه به زمینه ژنتیکی آن‌ها در برنج به طور کامل مشخص نشده است، زیرا تعداد کمی از ارقام یا توده‌های با زمینه ژنتیکی ناشناخته در مطالعات مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این پژوهش، با هدف بررسی تنوع فنوتیپی برخی صفات ریشه در ارقام برنج، ارزیابی همبستگی‌های بین صفات ریشه و گروه‌بندی ارقام بر اساس صفات مورفولوژی ریشه انجام شد.

مواد و روش‌ها: این تحقیق با هدف ارزیابی خصوصیات ریشه و غربال ارقام با خصوصیات ریشه برتر در مؤسسه تحقیقات برنج کشور- رشت در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. در این پژوهش، ۴۰ رقم شامل ارقام بومی داخلی، ژنوتیپ‌های اصلاح شده داخلی و خارجی در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) در سه تکرار در گلدان کشت شدند. در پایان دوره رشد برنج، صفات ریشه شامل طول ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی اندازه‌گیری شد. محاسبات آماری با نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) انجام گردید.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ در صفات طول ریشه، حجم و سطح ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ژنوتیپ Kapa، بیش‌ترین طول ریشه (۵۳/۷ سانتی‌متر)، ژنوتیپ Avanqard، بیش‌ترین حجم (۹۲ سانتی‌متر مکعب) و سطح ریشه (۲۴۵/۹ سانتی‌متر مربع) و ژنوتیپ Dijla، بیش‌ترین نسبت ریشه به اندام هوایی (۰/۴۹) را داشت. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد بررسی را در سه گروه مجزا قرار داد. گروه اول از نظر صفات ریشه دارای مقادیری تقریباً برابر با میانگین کل بودند. گروه دوم دارای حجم و سطح ریشه کمتر از میانگین کل و گروه سوم دارای سطح و حجم ریشه بیش‌تر از میانگین کل بودند. ارزیابی همبستگی بین صفات ریشه نشان داد که طول ریشه با سطح ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. بین حجم ریشه با سطح ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد. سطح ریشه نیز، با سایر صفات مورد بررسی همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. **نتیجه‌گیری:** نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از وجود تنوع در صفات معماری ریشه در ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی بود. بر اساس تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های گروه دوم دارای حجم و سطح ریشه کمتر از میانگین کل و ژنوتیپ‌های گروه سوم دارای سطح و حجم ریشه بیش‌تر از میانگین کل بودند. لذا، استفاده از ارقام گروه سوم تجزیه خوشه‌ای با توجه به حجم و سطح ریشه بیش‌تر مانند ژنوتیپ Avanqard جهت استفاده به‌عنوان والد در برنامه‌های اصلاحی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: حجم ریشه، سطح ریشه، طول ریشه.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۲ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۳، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

استناد: ترنگ، ع. و حقیقی حسنعلیده، ع. (۱۴۰۳). ارزیابی تنوع و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های برنج بر مبنای برخی صفات معماری ریشه. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*,

DOI: [10.22126/cbb.2024.11218.1087](https://doi.org/10.22126/cbb.2024.11218.1087) .۴۰۸-۳۹۶، (۲)۳



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

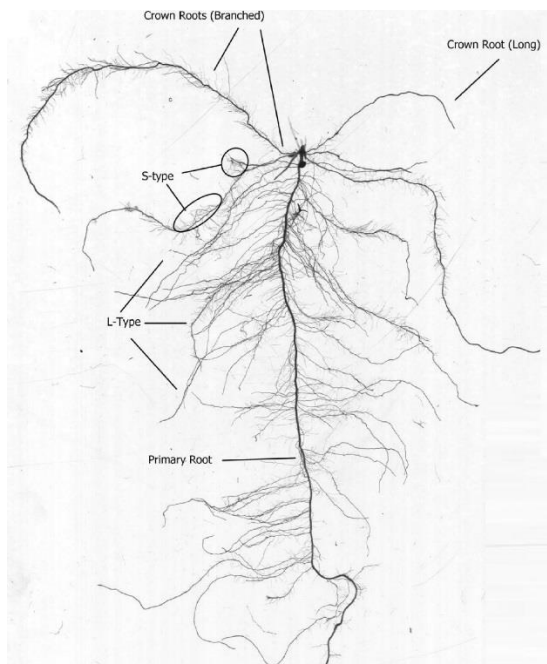
(Shorinola et al., 2019). ریشه‌ها در حال تبدیل

شدن به یک هدف کلیدی برای انقلاب سبز دوم هستند و برای تولید غلاتی مانند گندم و برنج ضروری تلقی می‌شوند. در ریشه‌ها، طیف وسیعی از صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بسیار متغیر بیان می‌شوند که به جذب آب و مواد غذایی کمک می‌کند (Maqbool et al., 2022). اصلاح مستمر شاخساره در دهه‌های گذشته، تنوع فنوتیپی، مورفولوژیکی و تشریحی ریشه را با وجود منابع ژنتیکی در دسترس، نادیده گرفته‌است. کلید درک پتانسیل فنوتیپ‌های ریشه در درک ساختار و عملکرد ریشه نسبت به فرآیندهای رشد آن در مقیاس معماری و تشریحی نهفته است (Lynch, 2015). بررسی معماری سیستم ریشه را می‌توان با مطالعه ترکیبی از صفات، شامل طول ریشه اولیه، طول ریشه، زاویه ریشه، تعداد ریشه، ضخامت ریشه، تراکم طول ریشه، عادت رشد و سطح ریشه انجام داد (Maqbool et al., 2022).

بر خلاف بسیاری از گونه‌های گیاهی، ریشه برنج ساختار پیچیده‌ای دارد که در آن پنج گروه ریشه متفاوت از هم، شامل ریشه اصلی (اولیه)، ریشه‌های تاجی جنینی، ریشه‌های تاجی پس‌جنینی (گره‌ای)، ریشه‌های جانبی بزرگ نوع L و ریشه‌های جانبی کوچک نوع S، متمایز شده‌اند. ریشه‌های نوع S را می‌توان منشعب از همه کلاس‌های دیگر ریشه، از جمله ریشه‌های جانبی نوع L یافت که با توجه به اندازه کوچک (قطر ۰/۰۵ میلی‌متر) به راحتی در مطالعات سیستم‌های ریشه، نادیده گرفته می‌شوند و در نتیجه، با وجود سهم بزرگ در طول کل

برنج غذای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان است. در آسیا نزدیک به ۹۰ درصد برنج جهان تولید و مصرف می‌شود (Rezvi et al., 2023). سالانه حدود ۱۶۵ میلیون هکتار از اراضی جهان تحت کشت برنج قرار می‌گیرد که میانگین عملکرد آن به حدود ۴/۷ تن در هکتار می‌رسد (FAO, 2024). در ایران نیز، در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲، حدود ۷۹۲ هزار هکتار از اراضی کشور تحت کشت برنج قرار گرفت و حدود ۳/۵ میلیون تن شلتوک با میانگین عملکرد ۴/۴ تن در هکتار تولید شد (Anonymous, 2024). ریشه‌های گیاه برای جذب و انتقال آب و مواد مغذی بسیار مهم هستند. به همین دلیل، مطالعه صفات مورفولوژیکی ریشه در برنج اهمیت فراوانی دارد (Uga et al., 2009). سیستم‌های ریشه، علاوه بر جذب آب و مواد غذایی گیاه، نقش مهمی برای حمایت از بخش هوایی گیاه به‌عنوان لنگر دارند. ریشه‌های گیاه در به حداقل رساندن خلاء عملکرد و نیز به عنوان زیربنای دومین انقلاب سبز که باید تقاضای غذای انسان را برآورده کند، اهمیت دارد (Luo et al., 2019). این نیمه پنهان گیاه، مجرای برای جذب منابع از خاک است و یک هدف با ارزش در برنامه‌های اصلاح برای بهبود بهره‌وری محصول در خاک‌های دارای کمبود مواد غذایی است (Meister et al., 2014). علاوه بر لنگر بودن برای گیاه، عملکردهای ذخیره‌سازی، سنتز و تجمع متابولیت‌های ثانویه، سیستم‌های ریشه به‌عنوان رابطی برای روابط میکروبی همزیستی عمل می‌کنند

ریشه سیستم ریشه برنج، اطلاعات کمی در مورد تفاوت‌های ژنوتیپی در توسعه نوع S شناخته شده‌است (Nestler *et al.*, 2016) (شکل ۱).



شکل ۱- ریشه برنج (Gonzalez *et al.*, 2021).

Figure 1- Rice root (Gonzalez *et al.*, 2021)

مطالعات آناتومی ریشه، صفات مرتبط را نشان می‌دهد که مسئول سازگاری و عملکرد، تحت رژیم‌های مختلف آبی هستند. تعداد آنراشیم (حفره‌های هوایی که فضاهای پر از گاز را تشکیل می‌دهند) و اندازه آنراشیم در ریشه تحت تأثیر رژیم آب متنوع است. در شرایط غرقابی (بی‌هوایی) یا هیپوکسی (کم‌اکسیژنی)، آنراشیم به انتقال گازهای ضروری از قسمت‌های بالای زمین به ریشه کمک می‌کند. تأمین اکسیژن از ریشه به شاخساره‌ها و ساقه‌ها به ریشه‌ها با تشکیل آنراشیم تسهیل می‌شود که برای بقای گیاهان در شرایط قطع آب ضروری است (Phule *et al.*, 2019).

ریشه‌های ارقام برنج آپلند ضخیم‌تر هستند و عمیق‌تر از سایر ارقام در خاک نفوذ می‌کنند. توزیع ریشه از نظر کمی، با استفاده از چندین صفت از جمله طول ریشه، حجم و تراکم در خاک در اعماق مختلف مشخص می‌شود و این ویژگی‌ها در بین ارقام متفاوت است (kato *et al.*, 2007). ریشه‌های عمیق یک ویژگی کلیدی برای بهبود مقاومت به خشکی در برنج هستند، زیرا در جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک در طول خشک‌سالی نقش دارند (Araki and Ijima, 2005). اوگا و همکاران (Uga *et al.*, 2009) صفات تشریحی و مورفولوژیکی ریشه را در

مطالعات آناتومی ریشه، صفات مرتبط را نشان می‌دهد که مسئول سازگاری و عملکرد، تحت رژیم‌های مختلف آبی هستند. تعداد آنراشیم (حفره‌های هوایی که فضاهای پر از گاز را تشکیل می‌دهند) و اندازه آنراشیم در ریشه تحت تأثیر رژیم آب متنوع است. در شرایط غرقابی (بی‌هوایی) یا هیپوکسی (کم‌اکسیژنی)، آنراشیم به انتقال گازهای ضروری از قسمت‌های بالای زمین به ریشه کمک می‌کند. تأمین اکسیژن از ریشه به شاخساره‌ها و ساقه‌ها به ریشه‌ها با تشکیل آنراشیم تسهیل می‌شود که برای بقای گیاهان در شرایط قطع آب ضروری است (Phule *et al.*, 2019).

تجزیه و تحلیل ژنتیکی، اطلاع از تفاوت‌های موجود در معماری ریشه در ارقام و گروه‌های مختلف برنج دارای اهمیت می‌باشد (Uga *et al.*, 2009). لذا این پژوهش، با هدف بررسی تنوع فنوتیپی برخی صفات ریشه در ارقام برنج، ارزیابی همبستگی‌های بین صفات ریشه و گروه‌بندی ارقام بر اساس صفات مورفولوژی ریشه انجام شد.

مواد و روش‌ها:

این پژوهش در مؤسسه تحقیقات برنج کشور- رشت در سال ۱۴۰۱ با استفاده از ۴۰ ژنوتیپ برنج شامل ارقام بومی داخلی، ژنوتیپ‌های اصلاح شده داخلی و خارجی (جدول ۱) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلدان، انجام شد. برای این منظور خاک مورد نیاز گلدان‌های آزمایشی از یک قطعه زمین شالیزاری در پایگاه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور- رشت تهیه شد. قبل از تهیه خاک برای هر گلدان، نمونه‌برداری مرکب از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک از کلیه قسمت‌های قطعه زمین مورد نظر انجام و ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، اسیدیته، درصد کربن آلی، فسفر به روش اولسن (Kuo, 1996) و پتاسیم قابل استفاده با استفاده از اسنات آمونیوم یک مولار خنثی (Quemener and Bosc, 1988) اندازه‌گیری شد (جدول

۲).

گروه‌های مختلف برنج را ارزیابی کردند. آن‌ها بیان کردند که دو گروه ایندیکا در مورفولوژی ریشه در مقایسه با گروه ژاپونیکا تنوع بیشتری داشتند. از بین دو گروه ایندیکا، به طور متوسط، توده‌های Indica-I ریشه‌های عمیق‌تر و ضخیم‌تری نسبت به توده‌های Indica-II داشتند. سنگویلائی و همکاران (Saengwilai *et al.*, 2018) صفات ریشه را در یازده رقم برنج تایلندی مقایسه کردند. آن‌ها بیان کردند که تنوع قابل توجهی در صفات ریشه در ارقام مورد ارزیابی وجود داشت. آن‌ها همچنین، ارقام برنج تایلندی را به‌عنوان والد بخشنده در برنامه‌های اصلاحی مبتنی بر ریشه برای افزایش جذب آب و مواد مغذی پیشنهاد کردند. کوجیما و همکاران (Kojima *et al.*, 2005) مجموعه‌ای متشکل از ۶۹ ژنوتیپ برنج را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که ژنوتیپ‌ها به سه گروه (ژاپونیکا و دو گروه ایندیکا که در این مقاله به عنوان Indica-I و Indica-II تعیین شده‌اند) طبقه‌بندی شدند. با این حال، تغییرات در ویژگی‌های ریشه با توجه به زمینه ژنتیکی آن‌ها در برنج به طور کامل مشخص نشده است، زیرا تعداد کمی از ارقام یا توده‌های با زمینه ژنتیکی ناشناخته در مطالعات مورد استفاده قرار گرفتند. درک تنوع صفات ریشه در مجموعه‌های ژرم پلاسما برنج برای بهبود ژنتیکی سیستم ریشه آن‌ها ضروری است. به طور خاص، برای تسهیل انتخاب والدین برای اصلاح رقم یا

جدول ۱- اسامی و منشاء ژنوتیپ‌های مورد بررسی

Table 1- Names and origin of the studied genotypes

منشاء Origin	ژنوتیپ Genotype	ردیف Number	منشاء Origin	ژنوتیپ Genotype	ردیف Number
Iraq	Dijla	21	Iran	Tarom	1
Iraq	Ghadeer	22	Iran	Hashemi	2
Iraq	Sumer	23	Iran	Gilaneh	3
Iraq	BT7	24	Turkey	Osmancik-97	4
Iraq	HT1	25	Turkey	Halilbey	5
Iraq	C10	26	Turkey	Cakmak	6
Iraq	M1	27	Kyrgyzstan	Kapa	7
Iraq	A16	28	Kyrgyzstan	Ak-ypyk	8
Iraq	D3	29	Uzbekistan	Hikkan Hasimi	9
Afghanistan	Shalawangi	30	Uzbekistan	Okean	10
Afghanistan	Atai-1	31	Uzbekistan	Avanqard	11
Afghanistan	Shisham Bagh-2014	32	Uzbekistan	Xazaz Hazar	12
Afghanistan	Sela-Zodras	33	Azerbaijan	Mustakillik	13
Afghanistan	Jalal Abad Indica-2014	34	Azerbaijan	Tarona	14
Kazakhstan	Marjan	35	Azerbaijan	Iskander	15
Kazakhstan	V20-8-2	36	Azerbaijan	Tantana	16
Kazakhstan	QazNIIR-7	37	Azerbaijan	Labypma	17
Kazakhstan	(V20-48 (awn	38	Iraq	Anber33	18
Kazakhstan	Syl Sulu	39	Iraq	Mishkab1	19
Kazakhstan	V20-53-2-2	40	Iraq	Mishkab2	20

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی خاک گلدان‌های مورد مطالعه قبل از کشت

Table 2- Soil chemical properties of the studied pots before cultivation

پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن کل N	کربن آلی OC	هدایت الکتریکی EC	pH
میلی‌گرم بر کیلوگرم (mgkg ⁻¹)		درصد (%)		دسی زیمنس بر متر (dSm ⁻¹)	
209	14.4	0.17	1.96	1.92	7.12

صفات ریشه آسان انجام شود. پس از آن ریشه‌ها از گلدان خارج و با آب و هگزامتافسفات سدیم شستشو شد. وزن تر ریشه با ترازوی دقیق اندازه‌گیری و حجم ریشه از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرار دادن آن در استوانه مدرج ۱۰۰۰ میلی‌لیتری محاسبه شد. طول ریشه (سانتی‌متر) و سطح ریشه (سانتی‌متر مربع) با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد (Alizadeh, 2006):

برای آماده‌سازی بستر مناسب کشت، میزان ۸ کیلوگرم خاک شالیزار به هر گلدان منتقل و پس از انجام عملیات گلخراپی به‌صورت دستی، یک نشای برنج در وسط هر گلدان کشت شد. عملیات داشت شامل آبیاری، وجین، مبارزه با آفات و بیماری‌ها در گلدان‌های آزمایشی به‌طور یکنواخت انجام شد. در پایان دوره رشد برنج، گلدان‌ها برای مدتی از آب پر شدند تا خارج کردن ریشه و اندازه‌گیری

$$(۱) \quad \text{وزن ریشه} \times ۰/۸۹ = \text{طول ریشه}$$

$$(۲) \quad (\text{طول ریشه} \times ۳/۱۴ \times \text{حجم ریشه})^{۱/۵} = ۲ \text{ سطح ریشه}$$

تجزیه خوشه‌ای به روش وارد بر اساس مربع فاصله اقلیدسی و با استفاده از میانگین صفات ریشه، ژنوتیپ‌های مورد بررسی را در سه گروه مجزا قرار داد (شکل ۲). تجزیه تابع تشخیص نیز صحت گروه‌بندی را تأیید نمود (شاخص لامبدای ویلکس برابر ۰/۱ و کای اسکور ۸۱ معنی‌دار بود). گروه اول شامل ۱۶ ژنوتیپ (طارم، گیلانه، Okean, Kapa, Mishkab2, Tantana, Mustakillik, Xaza Hazar Sumer, Ghadeer, BT1, C10, M1, A16, Sela-Zodras و Syl Sulu) بود. بررسی میانگین صفات مورد ارزیابی در گروه اول نشان داد که این گروه از نظر صفات ریشه مورد بررسی دارای مقادیری تقریباً برابر با میانگین کل بودند. بیش‌ترین انحراف از میانگین کل در ژنوتیپ‌های این گروه مربوط به صفت سطح ریشه که کمتر از میانگین کل بود (جدول ۵). در این گروه ژنوتیپ‌های متعلق به کشور عراق بیش‌ترین سهم را داشتند و هیچ‌کدام از ژنوتیپ‌های ترکیه در این گروه قرار نگرفتند (شکل ۳). گروه دوم شامل ده ژنوتیپ (هاشمی، Osmancik-97, Jalal Abad, Shisham Bagh-2014, Halilbey, Indica-2014, Marjan, V20-8-2, QazNIIR-7 و V20-48(awn) بود که دارای حجم و سطح ریشه کم‌تر از میانگین کل بودند (جدول ۵). در این گروه ژنوتیپ‌های متعلق به قزاقستان بیش‌ترین سهم را داشتند و ژنوتیپ‌های آذربایجان، عراق، قرقیزستان و ازبکستان در این گروه دیده نشدند (شکل ۳). گروه سوم

همچنین، از تقسیم وزن ریشه به وزن اندام هوایی، نسبت ریشه به اندام هوایی بدست آمد. محاسبات آماری شامل تجزیه واریانس، تجزیه خوشه‌ای و همبستگی با نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ بر صفات طول ریشه، حجم و سطح ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ژنوتیپ Kapa، بیش‌ترین طول ریشه (۵۳/۷ سانتی‌متر) و ژنوتیپ‌های Sumer و V20-53-2-2 کم‌ترین طول ریشه (۳۸ سانتی‌متر) را داشتند (جدول ۴). کم‌ترین و بیش‌ترین حجم ریشه در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی به ترتیب متعلق به V20-53-2-2 (۸/۴ سانتی‌متر مکعب) و Avancard (۹۲ سانتی‌متر مکعب) بود. ژنوتیپ Avancard همچنین بیش‌ترین سطح ریشه (۲۴۵/۹ سانتی‌متر مربع) را دارا بود و کم‌ترین سطح ریشه در ژنوتیپ Shisham Bagh-2014 (۱۳۷/۳ سانتی‌متر مربع) مشاهده شد. ژنوتیپ Shisham Bagh-2014، کم‌ترین نسبت ریشه به اندام هوایی (۰/۱۴) را دارا بود. بیش‌ترین نسبت ریشه به اندام هوایی نیز در ژنوتیپ Dijla (۰/۴۹) وجود داشت (جدول ۴). وجود تنوع در صفات مورفولوژیک ریشه توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است (Gu et al., 2017).

اندام هوایی، وزن خشک کل و نسبت ریشه به اندام هوایی در برنج افزایش می‌یابد (Fallah *et al.*, 2016). در پژوهش‌های دیگر همبستگی مثبت بین قطر ریشه و چگالی ریشه گزارش شده است (Sancholi *et al.*, 2019) و (Amani Daz *et al.*, 2020).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از وجود تنوع در صفات معماری ریشه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود. مقایسه میانگین نشان داد که ژنوتیپ Kapa، بیشترین طول ریشه (۵۳/۶۶ سانتی‌متر)، ژنوتیپ Avanqard، بیشترین حجم (۹۲ سانتی‌متر مکعب) و سطح ریشه (۲۴۵/۸۸ سانتی‌متر مربع) و ژنوتیپ Dijla، بیشترین نسبت ریشه به اندام هوایی (۰/۴۹) را داشت. بر اساس تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های گروه دوم دارای حجم و سطح ریشه کمتر از میانگین کل و ژنوتیپ‌های گروه سوم دارای سطح و حجم ریشه بیشتر از میانگین کل بودند. لذا، استفاده از ارقام گروه سوم تجزیه خوشه‌ای با توجه به حجم و سطح ریشه بیشتر مانند ژنوتیپ Avanqard جهت استفاده به‌عنوان والد در برنامه‌های اصلاحی پیشنهاد می‌شود.

شامل ۱۴ ژنوتیپ (Ak-ypyk, Cakmak, Hikkan, Labypma, Iskandar, Taron, Avanqard, Hasimi, Anber33, Mishkab1, Dijla, HT1, D3, Shalawangi و Atai-1) بود که دارای سطح و حجم ریشه بیش‌تر از میانگین کل بودند (جدول ۵). در این گروه ارقام کشور عراق بیش‌ترین سهم را داشتند و ژنوتیپ‌های ایران و قزاقستان در این گروه مشاهده نشدند (شکل ۳). گیمارایس و همکاران (Guimaraes *et al.*, 2020) نیز از روش تجزیه خوشه‌ای جهت گروه‌بندی ارقام برنج بر مبنای صفات ریشه استفاده کردند.

نتایج ارزیابی همبستگی بین صفات ریشه مورد بررسی (جدول ۶) نشان داد که حجم ریشه با دو صفت سطح ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی، سطح ریشه با نسبت ریشه به اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد و همچنین، طول ریشه با سطح ریشه در سطح احتمال پنج درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. محققان طی یک بررسی گزارش کردند که وزن خشک ریشه با وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک کل و نسبت ریشه به اندام هوایی دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است. به‌عبارت دیگر، با افزایش وزن خشک ریشه، وزن خشک

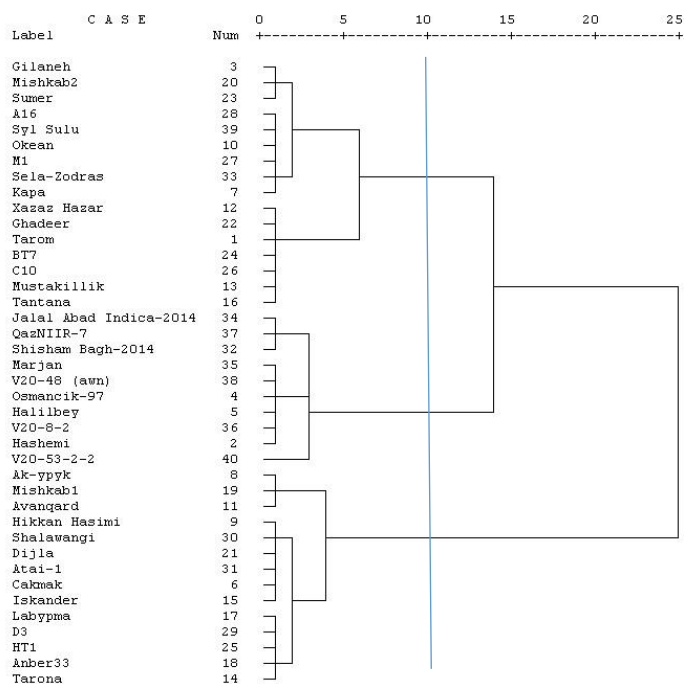
جدول ۳- تجزیه واریانس صفات ریشه مورد بررسی در ژنوتیپ‌های برنج

Table 3- Variance analysis for studied root traits in rice genotypes

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares			
		طول ریشه Root Length	حجم ریشه Root Volume	سطح ریشه Root Area	نسبت ریشه به اندام هوایی Root/Shoot
ژنوتیپ Genotype	39	39.41**	880.16**	2539.81**	0.0158**
خطا Error	80	8.24	223.61	511.98	0.0037
ضریب تغییرات CV		6.15	23.17	11.73	20.36

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

**: Significant at the 1 % probability level.



شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات ریشه مورد بررسی در ژنوتیپ‌های برنج

Figure 2- Cluster analysis based on the studied root traits in rice genotypes

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات ریشه مورد بررسی در ژنوتیپ‌های برنج

ژنوتیپ Genotype	طول ریشه	حجم ریشه	سطح ریشه	نسبت ریشه به اندام هوایی Root/Shoot
	(سانتی‌متر) Root Length (cm)	(سانتی‌متر مکعب) Root Volume (cm ³)	(سانتی‌متر مربع) Root Area (cm ²)	
Tarom	47.00	68.45	199.02	0.26
Hashemi	44.90	49.23	166.36	0.24
Gilaneh	41.33	64.93	182.13	0.40
Osmancik-97	49.16	35.07	155.18	0.18
Halilbey	44.90	44.53	157.25	0.22
Cakmak	50.00	77.33	219.96	0.37
Kapa	53.66	48.00	178.48	0.25
Ak-ypyk	51.33	86.50	235.79	0.34
Hikkan Hasimi	51.33	80.33	227.57	0.34
Okean	49.20	53.97	182.58	0.29
Avanqard	52.33	92.00	245.88	0.47
Xazaz Hazar	48.66	70.17	206.80	0.25
Mustakillik	42.00	73.00	195.63	0.34
Tarona	42.00	88.00	214.94	0.30
Iskander	52.66	76.67	223.84	0.38
Tantana	44.66	67.00	193.74	0.30
Labypma	46.00	81.00	214.37	0.35
Anber33	48.66	74.33	212.76	0.27
Mishkab1	50.66	91.33	239.43	0.33
Mishkab2	41.66	64.33	181.53	0.27
Dijla	48.00	83.67	221.13	0.49
Ghadeer	50.00	68.67	207.40	0.41
Sumer	38.00	67.33	178.95	0.26
BT7	44.66	71.67	199.83	0.34
HT1	45.66	78.33	210.75	0.32
C10	46.66	71.10	203.76	0.32
M1	45.66	57.50	180.96	0.29
A16	49.00	51.57	177.54	0.22
D3	48.00	77.80	215.65	0.28
Shalawangi	49.66	83.13	227.71	0.34
Atai-1	48.33	82.47	221.81	0.36
Shisham Bagh-2014	44.86	33.50	137.30	0.14
Sela-Zodras	50.00	58.67	186.65	0.33
Jalal Abad Indica-2014	45.16	35.97	141.43	0.16
Marjan	49.50	41.97	160.73	0.32
V20-8-2	42.66	45.33	155.64	0.25
QazNIIR-7	45.66	37.23	144.89	0.22
V20-48 (awn)	51.66	38.83	158.48	0.25
Syl Sulu	48.33	53.33	179.65	0.28
V20-53-2-2	38.00	8.33	177.08	0.35
LSD _{1%}	6.25	32.21	48.75	0.10

جدول ۵- میانگین گروه و انحراف از میانگین کل برای صفات ریشه مورد بررسی در ژنوتیپ‌های برنج

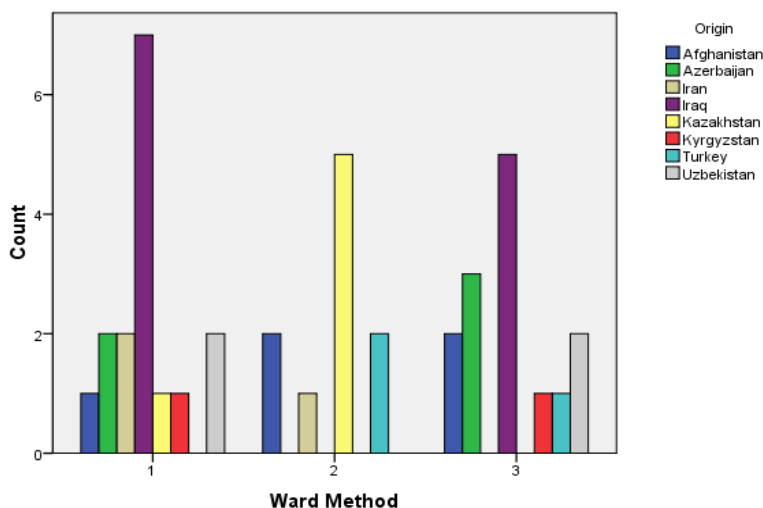
Table 5- Group average and deviation from the total mean for studied root traits in rice genotypes

گروه‌ها Groups	ژنوتیپ‌ها Genotypes	صفات Traits				
		RL	RV	RA	R/S	
Group 1 n= 16	3, 20, 23, 28, 39, 10, 27, 33, 7, 12, 22, 1, 24, 26, 13 and 16	46.28	63.11	189.67	0.30	Group average
		-0.76	-0.21	-3.34	0.00	Deviation from the total mean
Group 2 n= 10	40, 2, 36, 5, 4, 38, 35, 32, 37 and 34	45.65	37.00	155.43	0.23	Group average
		-1.39	-26.32	-37.58	-0.07	Deviation from the total mean
Group 3 n= 14	8, 19, 11, 9, 30, 21, 31, 6, 15, 17, 29, 25, 18 and 14	48.90	82.35	223.68	0.35	Group average
		1.86	19.04	30.67	0.05	Deviation from the total mean

RL, RV, RA و R/S به ترتیب نشان‌دهنده طول ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی می‌باشند.

RL, RV, RA and R/S: Root Length, Root Volume, Root Area and Root/Shoot, respectively.

Bar Chart



شکل ۳- پراکنش ژنوتیپ‌های کشورهای مختلف در روش تجزیه خوشه‌ای

Figure 3- Distribution of different countries' genotypes in the cluster analysis method

جدول ۶- همبستگی بین صفات ریشه مورد بررسی در ژنوتیپ‌های برنج

Table 6- Correlation between studied traits of the root in rice genotypes

	طول ریشه Root Length	حجم ریشه Root Volume	سطح ریشه Root Area	نسبت ریشه به اندام هوایی Root/Shoot
طول ریشه Root Length	1	0.28 ^{ns}	0.37*	0.17 ^{ns}
حجم ریشه Root Volume		1	0.89**	0.60**
سطح ریشه Root Area			1	0.73**
نسبت ریشه به اندام هوایی Root/Shoot				1

^{ns}, * and **: Non-Significant, Significant at the 5 % and 1 % probability level, respectively.

References

- Alizadeh, A. 2006. Crop-water relations. Astan Ghods Razavi Publication, Mashhad. 472 p. [In Persian]
- Amani Daz, P., Hossein Moghaddam, H., Sabouri, H., Gholamalipour Alamdari, E., Hosseini, S. M. & Sanchouli, S. 2020. Mapping of QTLs related to morphophysiological traits in rice seedling (*Oryza sativa* L.) under drought condition. Crop Biotechnology, 9(2), 21-35. [In Persian] <https://doi.org/10.30473/cb.2020.6737>
- Anonymous. 2024. Agricultural statistics of the cropping year 2022-23, Crop and Horticulture Plants: Vol. I: Crop Plants. Information and Communication Technology Center, Department of Economy and Planning Publication, Ministry of Agriculture-jahad. [In Persian]
- Araki, H. & Iijima, M. 2005. Stable isotope analysis of water extraction from subsoil in upland rice (*Oryza sativa* L.) as affected by drought and soil compaction. Plant and Soil, 270, 147-157. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-1304-2>
- Fallah, A., Bagheri, L., Nabipour, A. & Eliasi, H. 2016. Comparison seedling growth characteristics of rice varieties of Tarom Mahali, Hasani and Anbarbo with M₅ mutants. New Finding in Agriculture, 38: 143-153. [In Persian]
- FAO. 2024. Statistics: FAOSTAT agriculture. Retrieved September 24, 2024. From <http://fao.org/crop/statistics>.
- Gonzalez, D., Postma, J. & Wissuwa, M. 2021. Cost-benefit analysis of the upland-rice root architecture in relation to phosphate: 3D simulations highlight the importance of S-type lateral roots for reducing the pay-off time. Frontiers in Plant Science, 12, 641835. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.641835>
- Gu, D., Zhen, F., Hannaway, D. B., Zhu, Y., Liu, L., Cao, W. & Tang, L. 2017. Quantitative classification of rice (*Oryza sativa* L.) root length and diameter using image analysis. Plos one, 12(1), e0169968. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169968>
- Guimaraes, P. H. R., de Lima, I. P., de Castro, A. P., Lanna, A. C., Guimarães Santos Melo, P. & de Raissac, M. 2020. Phenotyping root systems in a set of japonica rice accessions: can structural traits predict the response to drought? Rice, 13, 1-19. <https://doi.org/10.1186/s12284-020-00404-5>
- Kato, Y., Kamoshita, A., Yamagishi, J., Imoto, H. & Abe, J. 2007. Growth of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under upland conditions with different levels of water supply 3. Root system development, soil moisture change and plant water status. Plant Production Science, 10(1), 3-13. <http://dx.doi.org/10.1626/pps.10.3>
- Kojima, Y., Ebana, K., Fukuoka, S., Nagamine, T. & Kawase, M. 2005. Development of an RFLP-based rice diversity research set of germplasm. Breeding science, 55(4), 431-440. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.55.431>
- Kuo, S. 1996. Phosphorus. In: D.L. Sparks, editor, Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI. p. 869-919. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c32>
- Luo, L., Xia, H. & Lu, B. R. 2019. Crop breeding for drought resistance. Frontiers in plant science, 10, 314. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00314>

- Lynch, J. P. 2015. Root phenes that reduce the metabolic costs of soil exploration: opportunities for 21st century agriculture. *Plant, Cell & Environment*, 38(9), 1775-1784. <https://doi.org/10.1111/pce.12451>
- Maqbool, S., Hassan, M. A., Xia, X., York, L. M., Rasheed, A. & He, Z. 2022. Root system architecture in cereals: progress, challenges and perspective. *The Plant Journal*, 110(1), 23-42. <https://doi.org/10.1111/tpj.15669>
- Meister, R., Rajani, M. S., Ruzicka, D. & Schachtman, D. P. 2014. Challenges of modifying root traits in crops for agriculture. *Trends in plant science*, 19(12), 779-788. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.08.005>
- Nestler, J., Keyes, S. D. & Wissuwa, M. 2016. Root hair formation in rice (*Oryza sativa* L.) differs between root types and is altered in artificial growth conditions. *Journal of Experimental Botany*, 67(12), 3699-3708. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw115>
- Phule, A. S., Barbadikar, K. M., Madhav, M. S., Subrahmanyam, D., Senguttavel, P., Babu, M. P. & Kumar, P. A. 2019. Studies on root anatomy, morphology and physiology of rice grown under aerobic and anaerobic conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25, 197-205. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0599-z>
- Quemener, J. & Bosc, M. 1988. Remarques sur la détermination du potassium échangeable. Phosphore ET potassium dans les relations sol/plante. Editions INRA, Paris, France, 109-132.
- Rezvi, H. U. A., Tahjib-Ul-Arif, M., Azim, M. A., Tumpa, T. A., Tipu, M. M. H., Najnine, F. ... & Brestič, M. 2023. Rice and food security: Climate change implications and the future prospects for nutritional security. *Food and Energy Security*, 12(1), e430. <https://doi.org/10.1002/fes3.430>
- Saengwilai, P., Klinsawang, S., Sangachart, M. & Bucksch, A. 2018. Comparing phenotypic variation of root traits in Thai rice (*Oryza sativa* L.) across growing systems. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(2), 1069-1083. https://doi.org/10.15666/aeer/1602_10691083
- Sancholi, S., Ghorbanzadeh Neghab, M., Sabouri, H. & Zareh Merjerdi, M. 2020. Evaluation of salinity tolerance in Iranian rice recycling linseed seedlings. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(3), 177-191. [In Persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20084811.1399.51.3.14.7>
- Shorinola, O., Kaye, R., Golan, G., Peleg, Z., Kepinski, S. & Uauy, C. 2019. Genetic screening for mutants with altered seminal root numbers in hexaploid wheat using a high-throughput root phenotyping platform. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 9(9), 2799-2809. <https://doi.org/10.1534/g3.119.400537>
- Uga, Y., Ebana, K., Abe, J., Morita, S., Okuno, K. & Yano, M. 2009. Variation in root morphology and anatomy among accessions of cultivated rice (*Oryza sativa* L.) with different genetic backgrounds. *Breeding Science*, 59(1), 87-93. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.59.87>