Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

Evaluation of some growth traits of quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) affected by moisture levels and planting date in two regions of South Khorasan

Farzane Golestanifar[1], Sohrab Mahmoodi[*2], Hamid-Reza Fallahi[3], Ali Shahidi[4]

1. Ph.D. Student of Agronomy, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: farzane.golestanifar@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Plant and Environmental Stresses Research Group, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: smahmoodi@birjand.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Plant and Environmental Stresses Research Group, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: hamidreza.fallahi@birjand.ac.ir
4. Associate Prof., Dept. of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: ashahidi@birjand.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 12.21.2023
Revised: 12.30.2023
Accepted: 01.20.2024

Keywords:
Adjusted deficit irrigation,
Inflorescence length,
Leaf greenness index,
Plant height changes trend

ABSTRACT

Background and Objectives: Every year about 12 million hectares of productive land has become dry and barren due to human activities and climate. Quinoa has a very high genetic diversity and can be cultivated in a wide range of soils, climates and latitudes. It also is a plant responds to drought stress through escape, tolerance and avoidance of drought and has an extraordinary capacity for cultivation in dry and low-water soils because of its capabilities such as low inherent need for water, the maintenance of leaf surface and the ability to resume the speed of photosynthesis after drought stress. Growth is a major component of fitness in all organisms an important mediator of competitive interactions in plant communities and a central determinant of yield in crops. This experiment was conducted with the purpose of investigation the changes in height and leaf greenness index, quinoa final height, length of main and sub inflorescences and seed yield.

Materials and Methods: In order to evaluate the trend changes in the height and leaf greenness index of quinoa, four separate experiments were conducted in factorial layout based on randomized complete block design with three replications in two regions (Birjand and Sarbisheh) and two planting dates (March and July) in 2018-2019. The experimental factors included five moisture levels (25, 50, 75, 100 and 125% of crop water requirement) and three quinoa cultivars (Titicaca, Giza1 and Redcarina). Separate analysis of variance was also performed for each sampling time. At the end of the growing season, the plant height, the length of the main and sub inflorescences and seed yield were analyzed as a compound analysis that the effects of time (planting date) and place were considered fixed.

Results: The results of variance analysis in four separate experiments showed that in both regions, in March cultivation, Redcarina and in August cultivation, Giza1 reached the maximum value of leaf greenness index later than other cultivars and decreased with a lower slope and they actually had a higher leaf greenness index. Also, the highest plant height in March and August cultivation was observed in Redcarina cultivars (79.56 and 93.02 cm respectively in Birjand and Sarbisheh) and Giza1 (92.93 and 85.98 cm respectively in Birjand and Sarbisheh) respectively. At the beginning of the

growing season, the highest value of leaf greenness index was observed in the level of 125% of water requirement, which was not significantly different from other moisture levels. With the passage of time, the value of leaf greenness index increased in lower moisture levels so that its value was higher at 25% water requirement level and had a significant difference with other levels. The highest plant height was at the level of 125% water requirement no significant difference was observed between the levels of 125% and 100% plant's water requirement in both places and time studied. Based on the results of composite analysis at the end of the growing season, the highest and lowest plant height was observed in Redcarina and Titicaca cultivars respectively and the cultivar had no significant effect on the length of main and sub inflorescences. Planting date had no significant effect on plant height. however, the maximum main inflorescence length and the lowest sub inflorescence length were obtained from August cultivation. The maximum plant height and main inflorescence length (86.34 and 19.04 cm respectively) were observed in Sarbisheh, and the maximum sub inflorescence length (14.17 cm) was observed in Birjand. By reducing irrigation from the level of 125% to the levels of 100, 75, 50 and 25% of water requirement, the plant height decreased by 6.50, 15.11, 26.88 and 41.13%, respectively, the main inflorescence length decreased by 7.96, 16.52, 20.90 and 32.83%, respectively and the sub inflorescence length decreased by 9.29, 19.38, 40.76 and 47.51% respectively. Seed yield was also higher in August cultivation, Giza1 cultivar and high humidity levels, and there was a positive and significant correlation with growth traits, especially height.

Conclusion: In general, Redcarina at March cultivation date, and Giza1 at July cultivation date, had the best height plant, leave greenness index, length main and sub inflorescences and seed yield compared to other cultivars. Applying moisture stress also caused a significant decrease in these traits and seed yield in all four experiments.

Cite this article: Golestanifar, Farzane, Mahmoodi, Sohrab, Fallahi, Hamid-Reza, Shahidi, Ali. 2024. Evaluation of some growth traits of quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) affected by moisture levels and planting date in two regions of South Khorasan. *Journal of Plant Production Research*, 31 (3), 231-261.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2024.21908.3089
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

بررسی برخی صفات رشدی ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) متأثر از سطوح رطوبتی و تاریخ کاشت در دو منطقه از استان خراسان جنوبی

فرزانه گلستانی‌فر[۱]، سهراب محمودی*[۲]، حمیدرضا فلاحی[۳]، علی شهیدی[٤]

۱. دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: farzane.golestanifar@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: smahmoodi@birjand.ac.ir

۳. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: hamidreza.fallahi@birjand.ac.ir

٤. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: ashahidi@birjand.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۰۹/۳۰
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۲/۱۰/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۱۰/۳۰

واژه‌های کلیدی:
روند تغییرات ارتفاع بوته،
شاخص سبزینگی برگ،
طول گل‌آذین،
کم‌آبیاری تنظیم شده

چکیده

سابقه و هدف: سالیانه حدود ۱۲ میلیون هکتار از اراضی تولیدی به دلیل فعالیت‌های انسانی و تغییر اقلیم، خشک و بی‌حاصل گردیده است. کینوا دارای تنوع ژنتیکی بسیار زیاد بوده و در طیف وسیعی از خاک‌ها، اقلیم‌ها و عرض‌های جغرافیایی قابلیت کشت دارد؛ هم‌چنین ظرفیتی فوق‌العاده جهت کشت در خاک‌های خشک و کم آب را داراست، زیرا دارای قابلیت‌هایی مانند نیاز ذاتی پایین به آب، توانایی از سرگیری سرعت فتوسنتز و هم‌چنین حفظ سطح برگ پس از دوره خشکی می‌باشد؛ هم‌چنین کینوا به تنش خشکی از طریق فرار، تحمل و اجتناب از خشکی پاسخ می‌دهد. رشد، جزء اصلی در توانایی زیستی همه موجودات، واسطه‌ای مهم جهت تعاملات رقابتی در جامعه گیاهی و عامل محوری تعیین‌کننده عملکرد محصولات زراعی می‌باشد. این آزمایش با هدف بررسی روند تغییرات ارتفاع و شاخص سبزینگی برگ، ارتفاع نهایی، طول گل‌آذین‌های اصلی و فرعی و عملکرد دانه کینوا انجام شد.

مواد و روش‌ها: چهار آزمایش مجزا در دو منطقه (بیرجند و سربیشه) و دو تاریخ کاشت (اسفند و مرداد) در سال‌های ۹۹-۱۳۹۸ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج سطح رطوبتی (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) و سه رقم کینوا (تیتیکاکا، گیزاوان و ردکارینا) بود. تجزیه واریانس پس از برش‌دهی فیزیکی داده‌ها، به صورت جداگانه برای هر مرحله از نمونه‌برداری انجام شد. در انتهای فصل رشد نیز ارتفاع بوته و طول گل‌آذین‌های اصلی و فرعی به صورت تجزیه مرکب و با فرض ثابت در نظر گرفتن اثرات تاریخ کاشت و مکان، مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس داده‌های چهار آزمایش مجزا نشان داد که در هر دو منطقه، در کشت اسفندماه، رقم ردکارینا و در کشت مردادماه، رقم گیزاوان، دیرتر از سایر ارقام به حداکثر میزان شاخص سبزینگی برگ رسیده و با شیب کم‌تری نیز کاهش یافتند و درواقع از شاخص سبزینگی بالاتری برخوردار بودند. هم‌چنین بیش‌ترین ارتفاع بوته در کشت اسفند و مرداد به ترتیب در ارقام ردکارینا (۷۹/۵٦ و ۹۳/۰۲ سانتی‌متر به ترتیب در بیرجند و سربیشه) و گیزاوان (۹۲/۹۳ و ۸۵/۹۸ سانتی‌متر به ترتیب در بیرجند و سربیشه) مشاهده شد. در ابتدای فصل رشد، بیش‌ترین میزان شاخص سبزینگی برگ در سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح رطوبتی نداشت. با گذشت زمان، میزان شاخص سبزینگی برگ در سطوح رطوبتی پایین‌تر افزایش یافت به نحوی که میزان آن در سطح ۲۵ درصد نیاز آبی بیش‌تر بوده و اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح داشت. بالاترین ارتفاع بوته در سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی بود و در هردو مکان و تاریخ کاشت مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، مشاهده نشد. براساس نتایج تجزیه مرکب داده‌ها در انتهای فصل رشد، بیش‌ترین ارتفاع بوته در رقم ردکارینا و کم‌ترین آن در رقم تیتیکاکا مشاهده شد و عامل رقم بر طول گل‌آذین‌های اصلی و فرعی تأثیر معنی‌داری نداشت. تاریخ کاشت نیز بر ارتفاع بوته تأثیر معنی‌داری نداشت اما بیش‌ترین طول گل‌آذین اصلی و کم‌ترین طول گل‌آذین فرعی در کشت مردادماه به‌دست آمد. در بررسی اثر مکان کاشت می‌توان بیان نمود که بیش‌ترین ارتفاع بوته و طول گل‌آذین اصلی در سربیشه به ترتیب به میزان ۸٦/۳٤ و ۱۹/۰٤ سانتی‌متر و بیش‌ترین طول گل‌آذین فرعی در بیرجند به میزان ۱٤/۱۷ سانتی‌متر مشاهده شد. با کاهش آبیاری از سطح ۱۲۵ درصد به سطوح ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی، ارتفاع بوته به ترتیب ٦/۵۰، ۱۵/۱۱، ۲٦/۸۸ و ٤۱/۱۳ درصد، طول گل‌آذین اصلی به ترتیب ۷/۹٦، ۱٦/۵۲، ۲۰/۹۰ و ۳۲/۸۳ درصد و طول گل‌آذین فرعی به ترتیب ۹/۲۹، ۱۹/۳۸، ٤۰/۷٦ و ٤۷/۵۱ درصد کاهش یافتند. عملکرد دانه نیز در کشت مردادماه، رقم گیزاوان و سطوح بالای رطوبتی، بیش‌تر بود و همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات رشدی به‌خصوص ارتفاع داشت.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی می‌توان بیان نمود که بالاترین میزان صفات رشدی مانند ارتفاع، شاخص سبزینگی برگ و طول گل‌آذین اصلی و بدنبال آن عملکرد دانه، در کشت اسفندماه در هر دو شهرستان مورد مطالعه، متعلق به رقم ردکارینا و در کشت مردادماه، متعلق به رقم گیزاوان بود. اعمال تنش رطوبتی نیز موجب کاهش معنی‌دار صفات رشدی و عملکرد دانه کینوا در هر چهار آزمایش گردید.

استناد: گلستانی‌فر، فرزانه، محمودی، سهراب، فلاحی، حمیدرضا، شهیدی، علی (۱۴۰۳). بررسی برخی صفات رشدی ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) متأثر از سطوح رطوبتی و تاریخ کاشت در دو منطقه از استان خراسان جنوبی. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۱ (۳)، ۲۶۱-۲۳۱.
DOI: 10.22069/JOPP.2024.21908.3089

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

کینوا گیاهی علفی، یک‌ساله، سه کربنه، دو لپه آلوتتراپلوئید و دارای گل‌های دوجنسی (ناقص و بدون گلبرگ) از خانواده تاج‌خروسیان[1] و زیر خانواده اسفناجیان (۱) و بومی منطقه آند (شامل کلمبیا، پرو، اکوادور، آرژانتین، شیلی و بولیوی) (۲) می‌باشد که معمولاً هدف از کشت آن تولید بذر است (۳). براساس گزارش سازمان فائو، در سال ۲۰۲۱ میلادی، سطح برداشت شده در بولیوی و پرو به ترتیب ۱۲۱۱۱۹ و ٦٨١٦٧ هکتار و عملکرد به ترتیب ۳۲۰/۳ و ١٥٦٦/١ کیلوگرم در هکتار بود (٤).

تاریخ کاشت یکی از عوامل مهم مدیریتی برای بهره‌برداری مناسب گیاه از عوامل محیطی و نهاده‌های مصرفی می‌باشد که نقش مهمی در عملکرد نهایی گیاه ایفا می‌نماید؛ به دلیل شرایط اقلیمی متفاوت هر منطقه، گیاه کینوا در زمان های متفاوتی کشت می‌شود (۵). تاریخ کشت کینوا در هر منطقه باید طوری تنظیم شود که در مرحله گرده‌افشانی میانگین دمای هوا ۲۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد (٦). صمدزاده و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه خود، اثر تاریخ‌های مختلف کاشت کینوا را در بیرجند بررسی نموده و بیان کردند که با به تأخیر افتادن کاشت کینوا از اردیبهشت به تیرماه، ارتفاع بوته‌ها افزایش یافت (۷). نجفی‌نژاد و همکاران (١٤٠١) گزارش کردند که بین تاریخ‌های مختلف کاشت در کرمان، تاریخ کاشت دوم مرداد با ارتفاع ۱۰۳/۳ سانتی‌متر کم‌ترین ارتفاع بوته را در کینوا داشت، ولی بین دو تاریخ کاشت دیگر (۱۷ مرداد و ۱ شهریور) تفاوت معنی‌داری نبود (۸). هیریچ و همکاران (٢٠١٤) نیز در مطالعه خود در جنوب مراکش بیان کردند که بیش‌ترین ارتفاع بوته در ماه نوامبر و دسامبر به دست آمد و پس از آن از ماه ژانویه، کاهش ارتفاع بوته شروع شد و در ماه مارس به حداقل مقدار ممکن رسید (۹).

کینوا در حال حاضر در تمام قاره‌های جهان کشت می‌شود و سازگاری گسترده‌ای با کشت در ارتفاعات صفر تا ٤٠٠٠ متر یعنی مناطق سرد، متعدل و گرم را نشان داده است (۱۰). کینوا دارای تنوع ژنتیکی بسیار زیاد بوده و در طیف وسیعی از خاک‌ها، اقلیم‌ها و عرض‌های جغرافیایی قابلیت کشت دارد (۲). در مطالعه الخمیسی و همکاران (۲۰۲۱) ارتفاع کینوا در سه مکان Rumais، Alkamil و Sohar مورد بررسی قرار گرفت که مقدار ارتفاع بوته در این مناطق به ترتیب ۸۹/٦۰، ۱۰۹/۵۵ و ۱۲۳/۲۷ سانتی‌متر بود. براساس آزمایش‌های آب و خاک در مناطق مورد مطالعه، بیش‌ترین اسیدیته در منطقه Alkamil و بیش‌ترین هدایت الکتریکی در منطقه Sohar مشاهده شد و هم‌چنین منطقه Rumais از بیش‌ترین اختلاف دمایی بین درجه حرارت حداکثر و حداقل برخوردار بود (۱۱). مالیرو و همکاران (۲۰۱۷) طول پانیکول کینوا را در دو منطقه مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که اثر مکان بر این صفت معنی‌دار بود به نحوی که طول پانیکول در بوندا و بمبکه به ترتیب ۳۵/۵۲ و ۲۹/۳۳ سانتی‌متر بود قابل ذکر است که در مناطق بوندا و بمبکه، متوسط بارندگی به ترتیب ۱۰۳۰ و ۱۵۰۰ میلی‌متر در سال و متوسط درجه حرارت به ترتیب ۲۰ و ۱۵درجه‌سانتی‌گراد بود (۱۲). نانلی و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش نمودند که طول پانیکول اصلی در مناطق توکات و آماسیا در ترکیه به ترتیب ۲۲/۱ و ۲۲/۷ سانتی‌متر بود که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند زیرا منطقه آماسیا از بارندگی بالاتر و متوسط درجه حرارت کمتری برخوردار بود (۱۳).

در سطح جهانی بیش از ٦٠٠٠ واریته از کینوا توسط کشاورزان کشت می‌گردد و در بولیوی، پرو، آرژانتین، اکوادور و کلمبیا به ترتیب ٦٧٢١، ٦٣٠٢،

1- Amaranthaceae

۴۹۲، ۶۷۳ و ۲۸ شماره دسترسی[1] از کینوا در بانک ژن بذر نگه‌داری و محافظت می‌گردد (۱۴). هینوجوزا و همکاران (۲۰۱۹) در آزمایش مزرعه‌ای، میزان شاخص سبزینگی برگ هشت ژنوتیپ کینوا را به صورت AUSDC[2] اندازه‌گیری نمودند و بیان کردند که ژنوتیپ QQ74 بالاترین و ژنوتیپ سویه ژاپنی کم‌ترین شاخص سبزینگی برگ را در سال‌ها و مناطق مورد مطالعه داشتند (۱۵). در مطالعه دیگر میزان شاخص کلروفیل (عدد SPAD) برای گیاه کینوا رقم Chipaya در شرایط شاهد (شوری ۱/۲۵ دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر) را ۴۷/۴۵ گزارش نمودند (۱۶). ال-هارتی و همکاران (۲۰۲۱) نیز با بررسی ۳۲ ژنوتیپ کینوا بیان نمودند که ارتفاع بوته از ۶۰ سانتی‌متر در سویه ژاپنی تا ۱۸۰ سانتی‌متر در لاین-۰۶۹۲ متغیر بود (۱۷). کلاگ و همکاران (۲۰۲۱) بیان نمودند که ارتفاع نهایی بوته، به صورت معنی‌داری تحت‌تأثیر رقم قرار گرفت و ارتفاع بوته در ژنوتیپ‌های مختلف از ۲۵/۶ تا ۳۹/۸ سانتی‌متر متغیر بود (۱۸). در مطالعه تن و تمل (۲۰۱۸) نیز بیش‌ترین ارتفاع مربوط به رقم آمریکایی Rainbow با ۱۰۹/۶ سانتی‌متر بود و کم‌ترین آن در رقم دانمارکی Q-52 با ۷۸ سانتی‌متر مشاهده شد (۱۹).

اختلالات محیطی که به‌طور معنی‌داری رشد و عملکرد گیاه را مختل می‌نمایند، به عنوان شرایط تنش مطرح شده و سبب اختلال در سامانه‌های زیستی می‌گردند (۲۰). یکی از شرایط محیطی که در نتیجه تغییر اقلیم افزایش می‌یابد، تنش خشکی می‌باشد که تأثیر منفی بر عملکرد محصولات در سراسر جهان دارد و سالیانه حدود ۱۲ میلیون هکتار از اراضی تولیدی به دلیل فعالیت‌های انسانی و تغییر اقلیم، خشک و بی‌حاصل گردیده است (۲۱). کم‌آبیاری از طریق ایجاد تنش خشکی، ممکن است رشد و نمو گیاهان را تحت‌تأثیر قرار دهد (۲۲). نگوین و همکاران (۲۰۲۲) گزارش نمودند که ارتفاع بوته کینوا در شرایط اعمال تنش خشکی کاهش یافت به نحوی که ارتفاع بوته در تیمار شاهد، ۴۲ سانتی‌متر و در تیمار تنش خشکی، ۳۵ سانتی‌متر بود (۲۳). سالک معراجی و همکاران (۱۳۹۹) نیز بیان کردند که ارتفاع بوته کینوا در تیمار آبیاری مطلوب و خشکی به ترتیب ۱۹۳/۸۰ و ۱۶۵/۲۷ سانتی‌متر بود هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین طول خوشه اصلی با ۲۸/۴۷ و ۲۱/۵۹ سانتی‌متر در تیمار آبیاری مطلوب و تنش خشکی مشاهده شد و تنش خشکی سبب کاهش ۲۱/۷ درصدی طول خوشه اصلی گردید. هم‌چنین در شرایط تنش از طول خوشه‌های فرعی نیز کاسته شد (۲۴). در مطالعه دیگر نیز گزارش شد که در سطوح ۹۰، ۷۵، ۵۰ و ۳۵ درصد محتوای آب، طول گل‌آذین کینوا (رقم PI478414) به ترتیب ۲۰/۲، ۱۸/۷، ۱۶/۷ و ۱۲/۳ سانتی‌متر بود اما اختلاف آن‌ها از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (۲۵). براساس گزارش بیرامی و همکاران (۱۳۹۹)، طول پانیکول گیاه در دور آبیاری ۱۷ و ۲۰ روز کم‌ترین مقدار را داشت و در سایر دورهای آبیاری (۳، ۷، ۱۰ و ۱۴ روز) بدون اختلاف معنی‌دار سبب تولید بیش‌ترین طول پانیکول شد. دور آبیاری هفت روز با ۱۵/۸ سانتی‌متر از بالاترین طول پانیکول برخوردار بود (۲۶). کافی و رستمی (۱۳۸۶) گزارش کردند در شرایط تنش خشکی ملایم، افزایش در عدد کلروفیل‌متر مشاهده می‌شود در حالی که با افزایش شدت تنش، از شدت رنگ سبز برگ‌ها کاسته شده و عدد کلروفیل‌متر نیز کاهش می‌یابد (۲۷) که نتایج فوق با نتایج صالحی و همکاران (۱۳۸۲) و منجم و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد (۲۸ و ۲۹).

درنتیجه با توجه به مطالب بیان شده و هم‌چنین قرارگیری شهرستان سربیشه به عنوان سردترین شهرستان در استان خراسان جنوبی، هدف از این

1- Accessions
2- Area Under Soil plant analysis Development (SPAD) value decline Curve

پژوهش بررسی روند تغییرات و مقدار نهایی برخی صفات رشدی ارقام کینوا تحت‌تأثیر تاریخ کاشت و سطوح مختلف رطوبتی در شهرستان‌های بیرجند و سربیشه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در دو مکان شهرستان بیرجند (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ دقیقه و ۱۳ درجه شرقی با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریاهای آزاد) و شهرستان سربیشه (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ دقیقه و ۸۰ درجه شرقی با ارتفاع ۱۸۳۹ متر از سطح دریاهای آزاد) و دو تاریخ کاشت (نیمه اول مردادماه و نیمه دوم اسفندماه) در سال‌های ۹۹-۱۳۹۸ اجرا گردید. خصوصیات آب، خاک و شرایط اقلیمی در هر دو تاریخ کاشت و مکان مورد مطالعه، در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اول شامل پنج سطح مختلف رطوبتی (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ نیاز آبی گیاه) و فاکتور دوم شامل سه رقم کینوا (تیتیکاکا، گیزاوان و ردکارینا) بود که خصوصیات ارقام مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شد.

جدول ۱- آزمایش‌های خاک و آب مناطق مورد مطالعه.

Table 1. The results of soil and water tests in the studied areas.

Water آب					Soil خاک			
Location مناطق					Location مناطق			
Sarbisheh		Birjand			Sarbisheh	Birjand		
27 July مرداد	8 March اسفند	8 August مرداد	5 March اسفند	تاریخ کاشت Planting date	Sandy loam	Sandy loam	بافت خاک Soil pattern	
					12	4	Clay	فراوانی نسبی ذرات خاک (درصد)
					20	28	Silt	Relative abundance of soil particles (%)
					68	68	Sand	
7.5	7.5	8.1	8.1	pH	7.7	8.1		pH
2.78	2.88	3.32	2.64	EC (µS/cm)	10.31	2.08		EC (µS/cm)
9.51	1.97	7.15	1.69	SAR (meq L^{-1})$^{0.5}$	23.86	0.40		SAR (meq L^{-1})$^{0.5}$
19.67	4.44	21.21	4.64	Na (meq/litr)	84.23	1.22		Na (meq/litr)
0.24	0.23	0.19	0.16	Mg (meq/litr)	10	15		Mg (meq/litr)
4.30	4.69	4.46	3.70	Ca (meq/litr)	15	3.75		Ca (meq/litr)
4.33	4.62	12.78	11.90	K (meq/litr)	320	280		K available (mg/kg)
0.00	0.00	0.58	1.14	Co_3^{2-} (meq/litr)	39.4	2.4		P available (mg/kg)
1.59	2.50	3.71	3.93	HCo_3^{2-}(meq/litr)	0.18	0.23		Organic carbon (%)
17.91	19.10	20.53	15.84	Cl^- (meq/litr)	0.32	0.40		Organic matter (%)
					0.012	0.015		Nitrogen (meq/litr)

جدول ۲- برخی از مؤلفه‌های مهم اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی بیرجند و سربیشه.

Table2. Some important climate parameters of Birjand and Sarbisheh meteorological stations.

Rainfall (mm)	Sunshine hours	Wind speed ($m\ s^{-1}$)	Relative humidity (%)	Maximum tem. (ºC)	Minimum tem. (ºC)	Parameters پارامترها	Date تاریخ	Location مناطق		
بارندگی (میلی‌متر)	ساعت آفتابی	سرعت باد (متر بر ثانیه)	رطوبت نسبی (درصد)	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد)	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد)					
0.21	7.80	3.69	30.60	18.63	2.29	اسفند	Mar.	بیرجند Birjand	تاریخ کاشت بهاره Spring planting dates	
3.90	6.60	4.08	58.13	19.36	7.45	فروردین	Apr.			
0.17	9.75	3.80	34.50	27.75	12.31	اردیبهشت	May			
0.00	12.54	3.99	16.11	35.18	15.74	خرداد	Jun.			
0.00	11.88	4.82	16.02	35.83	19.46	تیر	Jul.			
0.00	12.48	4.06	16.25	37.50	19.93	مرداد	Aug.			
0.47	7.08	4.28	31.35	15.34	0.76	اسفند	Mar.	سربیشه Sarbisheh		
2.75	5.48	4.19	57.82	16.43	4.38	فروردین	Apr.			
0.14	9.35	3.99	33.74	24.85	9.17	اردیبهشت	May			
0.03	11.94	4.74	17.65	31.19	14.03	خرداد	Jun.			
0.00	11.25	5.24	19.09	31.64	16.88	تیر	Jul.			
0.00	11.89	5.68	22.09	32.86	17.89	مرداد	Aug.			
0.00	11.93	4.97	16.54	37.48	19.6	مرداد	Aug.	بیرجند Birjand	تاریخ کاشت تابستانه Summer planting dates	
0.54	11.35	3.79	22.47	31.09	12.48	شهریور	Sep.			
0.00	10.04	3.42	18.45	26.27	5.89	مهر	Oct.			
0.08	9.13	2.70	29.20	21.05	2.09	آبان	Nov.			
0.03	6.60	2.79	51.60	13.80	1.13	آذر	Dec.			
0.00	12.15	5.40	20.07	32.08	17.12	مرداد	Aug.	سربیشه Sarbisheh		
0.00	1125	3.58	20.84	29.71	11.21	شهریور	Sep.			
0.00	9.76	2.19	25.09	25.86	5.84	مهر	Oct.			
0.36	8.26	1.95	39.00	17.44	-0.40	آبان	Nov.			

جدول ۳- خصوصیات ارقام مورد مطالعه.

Table 3. Cultivar characteristics in this study

Cultivar/ ارقام	Giza1	Redcarina	Titicaca
Origin/ بومی	مصر/ Egypt (۳۰)	هلند/ Netherlands (۳۱)	دانمارک/ Denmark (۳۱)
Registration/ تاریخ ثبت	-	۳۱ ژانویه ۲۰۰۵/ 31-Jan-2005	۱۴ دسامبر ۲۰۰۹/ 14-Dec-2009
واکنش به طول روز (۳۲)/ Photoperiodism	بی‌تفاوت (روز خنثی) Day-Neutral Plants	بی‌تفاوت (روز خنثی) Day-Neutral Plants	بی‌تفاوت (روز خنثی) Day-Neutral Plants
دوره رشد (۳۲)/ Growth period	زودرس (۸۵ تا ۱۰۰ روز) Precocious plant	متوسطرس (۱۱۰ تا ۱۳۰ روز) Medium maturity plant	زودرس (۸۵ تا ۱۰۰ روز) Precocious plant
وزن هزاردانه (گرم)/ 1000 Seed weight (g)	1.56 ± 0.26	1.59 ± 0.42	1.53 ± 0.29
محل تهیه بذور/ Place of seeds preparation	موسسه اصلاح نهال و بذر کشور Seed and Plant Improvement Institute (SPII)	موسسه اصلاح نهال و بذر کشور Seed and Plant Improvement Institute (SPII)	اداره جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی Agricultural Organization of South Khorasan

عملیات آماده‌سازی زمین در هر دو تاریخ کاشت و دو مکان، حداقل یک‌هفته قبل از کاشت صورت گرفت. ابعاد هر کرت سه در چهار متر بود و یک متر فاصله بین کرت‌ها به عنوان اثر حاشیه‌ای و تعداد ٦٠ بوته در مترمربع به عنوان تراکم مطلوب کاشت کینوا (٧) درنظر گرفته شد. پس از سبز شدن و رشد اولیه گیاهچه‌ها، دو مرحله تنک جهت رسیدن به تراکم موردنظر صورت گرفت. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذور انجام شد. قبل از اعمال سطوح رطوبتی، آبیاری به صورت سنگین و پس از اعمال (مرحله ٦ الی ٨ برگ حقیقی)، براساس نیاز آبی کینوا بود. اعمال تیمار آبیاری بر اساس حجم آب آبیاری (هر هفت روز یک‌بار) انجام و از کنتور حجمی جهت اعمال دقیق سطوح مختلف آبیاری استفاده گردید. به منظور محاسبه نیاز آبی گیاه کینوا، در ابتدا تبخیر و تعرق مرجع (ETo) با استفاده از نرم افزار Cropwat Ver. 8.0 به روش فائو پنمن- مانتیث و براساس آمار هواشناسی در شهرستان‌های بیرجند و سربیشه، در طول بازه یک هفته‌ای برآورد گردید و سپس از ضرب نمودن عدد تبخیر و تعرق مرجع، در ضریب گیاهی (Kc) که براساس مرحله رشدی (ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی) و با استفاده از برآیند مطالعات مختلف به دست آمده بود، میزان تبخیر و تعرق کینوا (ETc) به صورت روزانه و برای سطح ١٠٠ درصد نیاز آبی محاسبه گردید. سپس از طریق ضرب نمودن عدد برآورد شده در ضرایب ١/٢٥، ٠/٧٥، ٠/٥٠ و ٠/٢٥، نیاز آبی گیاه کینوا به ترتیب در سطوح ١٢٥، ٧٥، ٥٠ و ٢٥ درصد نیازآبی به صورت روزانه محاسبه شد که با ضرب این اعداد در طول بازه آبیاری، میزان آب آبیاری به دست آمد. باتوجه به این‌که روش فائو پنمن- مانتیث، روشی تجربی جهت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد، بنابراین سطح ١٢٥ درصد نیازآبی، به منظور ارزیابی دقیق سطح ١٠٠ درصد نیاز آبی کینوا در اقلیم خشک استان خراسان جنوبی در نظر گرفته شد تا خطای ناشی از کم‌برآوردی میزان نیاز آبی کینوا (در سطح ١٠٠ درصد) برطرف گردد. درنتیجه سطح ١٢٥ درصد نیازآبی، معادل بیش‌آبیاری نمی‌باشد.

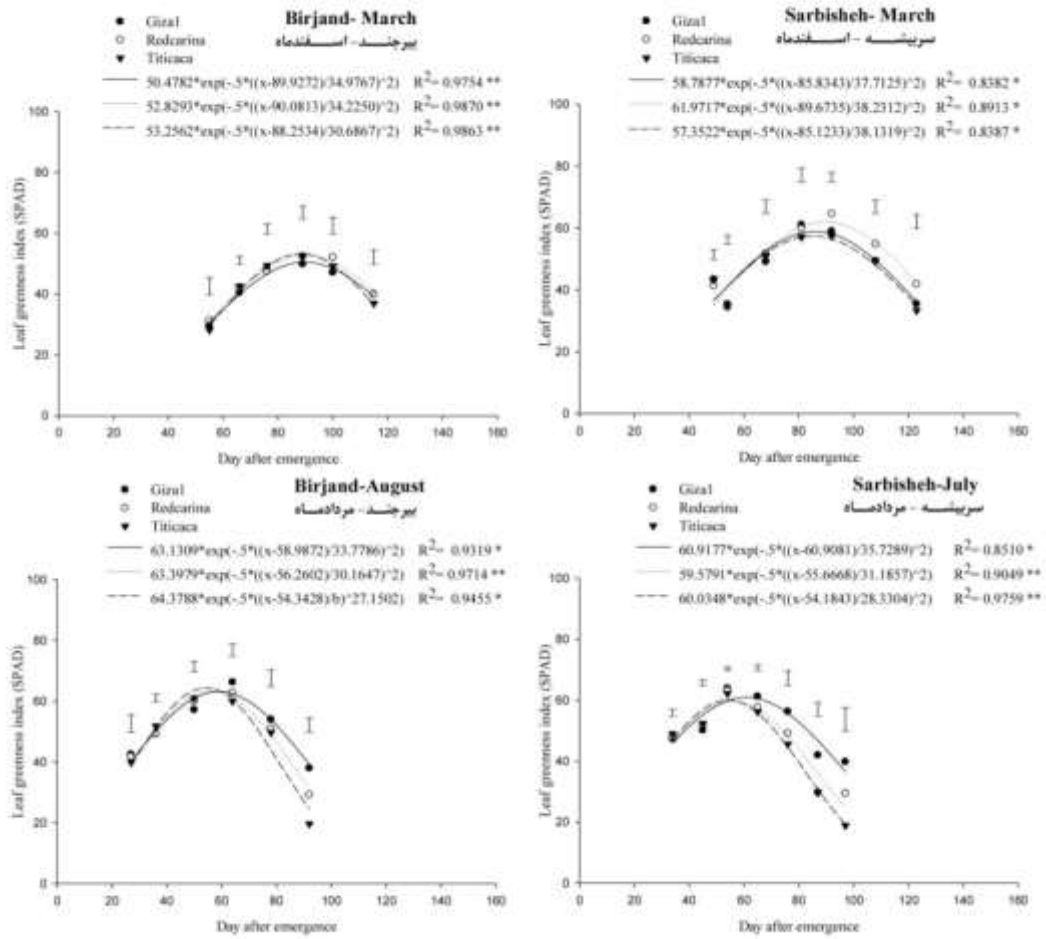
در طول فصل رشد، کنترل‌های مربوط به آفات، بیماری‌ها و مبارزه با علف‌های‌هرز صورت گرفت. تاریخ‌های نمونه‌برداری جهت تعیین روند تغییرات ارتفاع بوته و شاخص سبزینگی برگ، در کشت مردادماه سربیشه در ٣٤، ٤٥، ٥٤، ٦٥، ٧٦، ٨٧ و ٩٧ روز پس از سبزشدن، در کشت اسفندماه سربیشه در ٤٥، ٥٤، ٦٨، ٨١، ٩٢، ١٠٨ و ١٢٣ روز پس از سبزشدن، در کشت مردادماه بیرجند در ٢٧، ٣٦، ٥٠، ٦٤، ٧٨ و ٩٢ روز پس از سبزشدن و در کشت اسفندماه بیرجند در ٥٥، ٦٦، ٧٦، ٨٩، ١٠٠ و ١١٥ روز پس از سبزشدن بود. به منظور سنجش ارتفاع بوته، پنج بوته در هر کرت نشانه‌گذاری و میانگین ارتفاع از بوته‌های ثابت به دست آمد. شاخص سبزینگی برگ نیز از تعداد ٢٠ برگ که در ١٥ سانتی‌متری بالای گیاه قرار داشتند، توسط دستگاه کلروفیل‌متر مدل SPAD-502 از کمپانی Konica MinoLta اندازه‌گیری و میانگین اعداد، به عنوان عدد نهایی برای این صفت، ثبت گردید. در انتهای فصل رشد نیز طول گل‌آذین‌های اصلی و فرعی از ٥ بوته که به صورت تصادفی انتخاب گردیده بود، اندازه‌گیری شد.

در این پژوهش جهت بررسی روند تغییرات ارتفاع و شاخص سبزینگی برگ با توجه به ماهیت برش‌دهی فیزیکی انجام شده بر روی تاریخ کاشت و مکان، آزمایشات تجزیه مرکب انجام نگردید و در واقع در قالب چهار آزمایش مجزا (مرداد و اسفند ماه در بیرجند و سربیشه) مورد بررسی قرار گرفت و تجزیه واریانس جداگانه برای هر مرحله از نمونه‌برداری در تمام شاخص‌های رشدی انجام شد.

جهت ارزیابی ارتفاع نهایی بوته و طول گل‌آذین‌های اصلی و فرعی از تجزیه مرکب استفاده شد که اثرات تاریخ کاشت و مکان به صورت ثابت درنظر گرفته شدند. جهت پردازش داده‌ها و محاسبات آماری از افزونه ماکرو DSAASTAT ver. 1.022 در نرم‌افزار Excel و نرم‌افزار SAS ver. 9.2 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Sigma plot ver. 11.0 استفاده شد و میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار محافظت شده (FLSD) با سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد.

نتایج و بحث

روند تغییرات شاخص سبزینگی برگ (LGI[1]): جهت رسم بهترین نمودار، معادلات ریاضی متعددی مورد بررسی قرار گرفت. در این میان، معادلات گووسین (۳ پارامتره) که از لحاظ آماری معنی‌دار بودند، به عنوان بهترین توجیه‌کننده تغییرات، شناسایی و خطوط رگرسیون رسم گردید (شکل‌های ۱ و ۲).

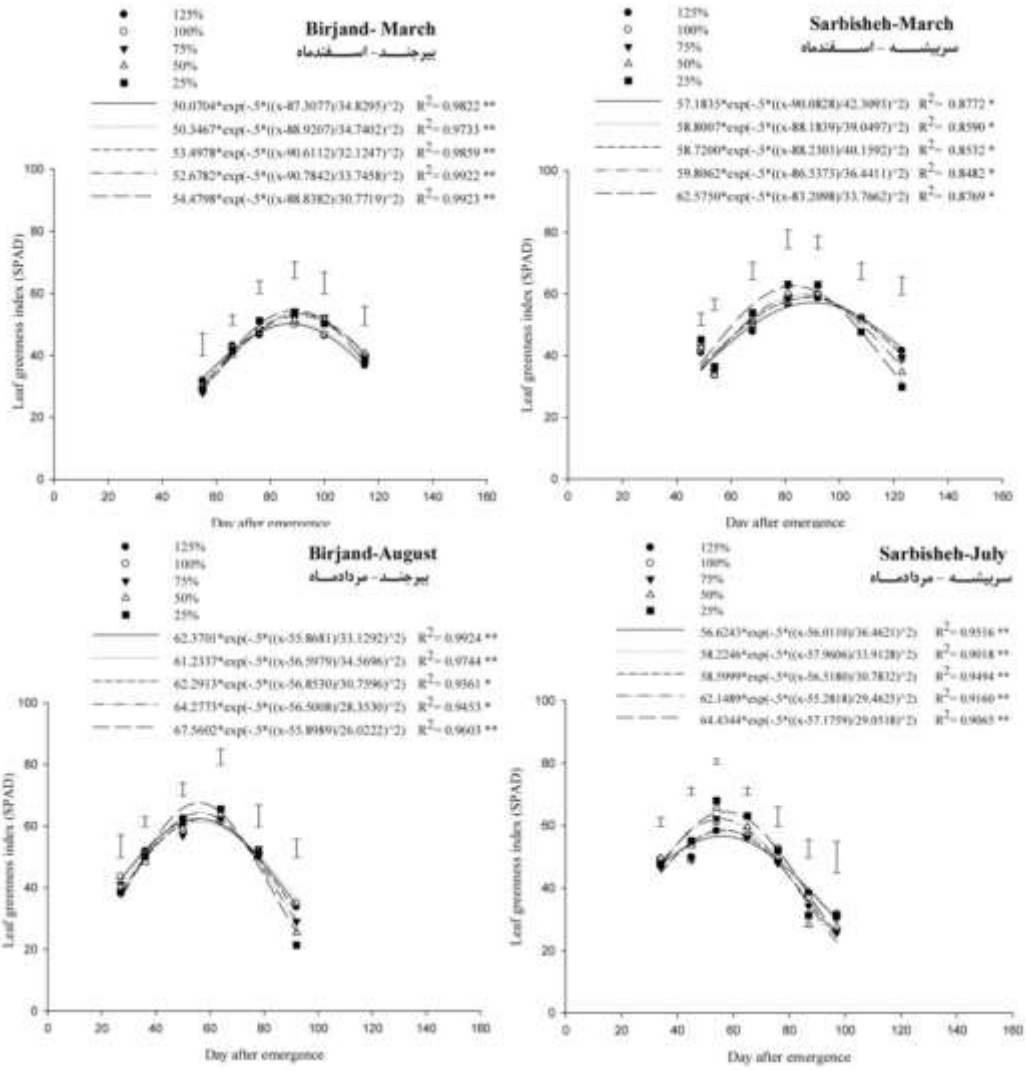


شکل ۱- روند تغییرات شاخص سبزینگی برگ ارقام کینوا در طول فصل رشد در دو مکان و دو تاریخ کاشت.

(خطوط عمودی بالای هر مرحله نمونه‌برداری مقدار FLSD در سطح احتمال ۵ درصد را نشان می‌دهد)

Fig. 1. SPAD value Changes of quinoa cultivars during the growing season in two location and times. (Vertical lines on each sampling represent FLSD value at the 5% level)

1- Leaf greenness index



شکل ۲- روند تغییرات شاخص سبزینگی برگ در سطوح مختلف رطوبتی در طول فصل رشد در دو مکان و دو تاریخ کاشت.

(خطوط عمودی بالای هر مرحله نمونه برداری مقدار FLSD در سطح احتمال ۵ درصد را نشان می‌دهد)

Fig. 2. SPAD changes in different humidity levels during the growing season in two location and times. (Vertical lines on each sampling represent FLSD value at the 5% level)

روند تغییرات شاخص سبزینگی برگ در ارقام کینوا: نتایج نشان داد که در هر دو مکان و تاریخ کاشت مورد مطالعه، قبل از رسیدن به حداکثر شاخص سبزینگی، اختلاف معنی‌دار بین ارقام مشاهده نشد که این نقطه حداکثری در کشت اسفندماه در بیرجند بین روزهای ۸۸-۹۰، سربیشه در بین روزهای ۸۵-۸۹، کشت مردادماه در بیرجند بین روزهای ٥٤-٥٨ و سربیشه در بین روزهای ٥٤-٦٠ قرار داشت. به طور کلی در کشت اسفندماه، رقم ردکارینا و در کشت مردادماه، رقم گیزاوان، دیرتر از سایر ارقام به حداکثر میزان شاخص رسیده و با شیب کم‌تری نیز کاهش یافتند و درواقع از شاخص سبزینگی بالاتری برخوردار بودند. تنها در کشت اسفندماه بیرجند، بین ارقام تا انتهای فصل رشد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱ و جدول ٤). این امر نشان‌دهنده این است که ژنوتیپ‌های گیاهی با توجه به ساختار

ژنتیکی و میزان سازگاری با شرایط محیطی، عکس‌العمل‌های متفاوتی را نشان می‌دهند. الخمیسی و همکاران (۲۰۲۱) محتوای کلروفیل برگ، در مرحله گلدهی (یک ماه قبل از برداشت) را به کمک دستگاه SPAD به صورت غیرتخریبی در ۵ ژنوتیپ کینوا، سه مکان و سه سال مورد ارزیابی قرار دادند و بیان نمودند که ژنوتیپ‌های Amarllia-Sacaca و Blanca-de-junin بیش‌ترین محتوای کلروفیل (عدد ٤٧) و دو ژنوتیپ Kancolla و Salcedo-INIA، کم‌ترین میزان (عدد ٤٣) را به خود اختصاص دادند (۱۱). کلاگ و همکاران (۲۰۲۱) نیز با بررسی میزان سبزینگی برگ ۱۰ ژنوتیپ کینوا بیان نمودند که در هفته ۱۰ و ۱۱، کم‌ترین میزان شاخص سبزینگی در ژنوتیپ QQ101 به ترتیب ۳۳ و ۲۹/۲ و بیش‌ترین آن در ژنوتیپ Kello به ترتیب ٤٠/٥ و ۳۸/۳ مشاهده شد (۱۸). مستروگایتان و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی شاخص کلروفیل برگ ٤ رقم کینوا گزارش نمودند که رقم F16، بالاترین شاخص کلروفیل در طی فصل رشد را داشت و میزان این شاخص تا هفته ١٦ افزایشی و پس از آن روند کاهشی داشت (۳۳). سالک معراجی و همکاران (۱۳۹۹) بیان نمودند که بالاترین میزان شاخص در رقم گیزاوان (٦٧/٦٨) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با رقم ردکارینا (٦١/٧٥) نداشت و میزان این شاخص در دو رقم Q26 و Q29 نیز به ترتیب ٦١/١٠ و ٥٩/٤٦ بود (٢٤).

جدول ٤- تجزیه واریانس شاخص سبزینگی برگ در طول فصل رشد در دو مکان و تاریخ کاشت.

Table 4. Analysis of variance of leave SPAD during the growing season in two location and times.

$SPAD_7$	$SPAD_6$	$SPAD_5$	$SPAD_4$	$SPAD_3$	$SPAD_2$	$SPAD_1$	Df	S.O.V	Planting date	Location
Sampling day (Day after emergence) روز نمونه‌برداری (روز پس از سبزشدن)										
-	92	78	64	50	36	27				
-	88.04^{ns}	122.5^{ns}	0.24^{ns}	17.16^{ns}	21.69^{ns}	5.17^{ns}	2	بلوک Block	8 August مرداد‌ماه	Birjand بیرجند
-	1256.6^{**}	71.71^{ns}	149.7^{*}	58.52^{ns}	33.95^{ns}	27.67^{ns}	2	رقم Cultivar		
-	290.5^{**}	7.92^{ns}	25.73^{ns}	41.19^{ns}	18.56^{ns}	41.86^{ns}	4	سطوح رطوبتی Moisture levels		
-	80.33^{ns}	150.34^{*}	19.67^{ns}	12.14^{ns}	25.73^{*}	50.94^{ns}	8	رقم × سطوح رطوبتی C × M		
-	37.91	53.24	29.57	19.15	10.84	57.46	28	خطا Error		
-	21.30	14.16	8.64	7.37	6.57	18.34		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		
-	115	100	89	76	66	55				
-	54.76^{*}	15.38^{ns}	18.25^{ns}	3.03^{ns}	91.73^{ns}	17.16^{ns}	2	بلوک Block	5 March اسفندماه	
-	44.84^{ns}	92.64^{*}	33.71^{ns}	14.27^{ns}	18.41^{ns}	36.91^{ns}	2	رقم Cultivar		
-	19.03^{ns}	65.54^{ns}	21.94^{ns}	27.00^{ns}	10.72^{ns}	18.43^{ns}	4	سطوح رطوبتی Moisture levels		
-	9.55^{ns}	11.94^{ns}	40.23^{ns}	10.76^{ns}	87.18^{*}	12.91^{ns}	8	رقم × سطوح رطوبتی C × M		
-	16.10	25.89	18.75	13.30	37.35	15.58	28	خطا Error		
-	10.31	10.29	8.39	7.54	14.66	13.30		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		

ادامه جدول ٤-

Continue Table 4.

$SPAD_7$	$SPAD_6$	$SPAD_5$	$SPAD_4$	$SPAD_3$	$SPAD_2$	$SPAD_1$	Df	S.O.V	Planting date	Location
97	87	76	65	54	45	34				
460.54^{*}	136.07^{*}	49.32^{ns}	6.22^{ns}	0.011^{ns}	30.35^{*}	11.50^{ns}	2	بلوک Block		
1634.9^{**}	751.19^{**}	445.4^{**}	99.28^{**}	10.65^{*}	10.59^{ns}	9.63^{ns}	2	رقم Cultivar		
58.64^{ns}	154.06^{**}	38.43^{ns}	79.25^{**}	130.77^{**}	69.98^{**}	12.35^{ns}	4	سطوح رطوبتی Moisture levels	مردادماه 27 July	
151.10^{ns}	49.86^{ns}	39.17^{ns}	10.91^{ns}	2.73^{ns}	9.37^{ns}	9.27^{ns}	8	رقم × سطوح رطوبتی C × M		
109.91	35.38	41.90	5.97	2.48	6.31	8.53	28	خطا Error		
35.72	17.60	12.87	4.19	2.50	4.89	6.07		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		سربیشه Sarbisheh
123	108	92	81	68	54	49				
41.95^{ns}	50.99^{ns}	59.69^{*}	21.40^{ns}	153.76^{*}	57.25^{*}	3.67^{ns}	2	بلوک Block		
293.84^{**}	145.48^{*}	210.3^{**}	60.47^{ns}	25.87^{ns}	3.09^{ns}	21.50^{ns}	2	رقم Cultivar		
194.67^{**}	35.23^{ns}	23.31^{ns}	60.29^{ns}	45.11^{ns}	12.31^{ns}	22.26^{ns}	4	سطوح رطوبتی Moisture levels	اسفندماه 8 March	
45.26^{ns}	11.25^{ns}	26.00^{ns}	6.06^{ns}	8.04^{ns}	14.56^{ns}	6.52^{ns}	8	رقم × سطوح رطوبتی C × M		
35.67	29.99	17.35	37.30	32.23	13.90	17.59	28	خطا Error		
16.22	10.71	6.91	10.31	11.23	10.71	9.84		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ^{ns} represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

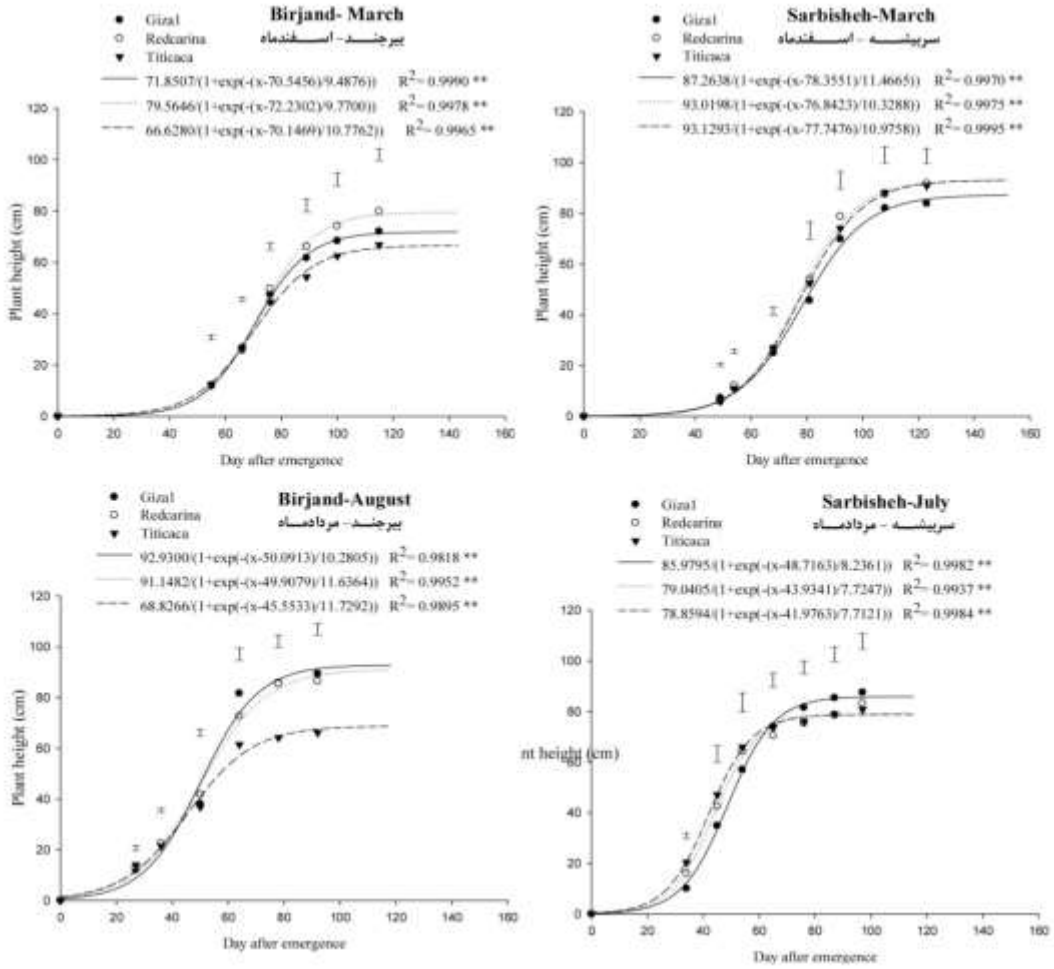
اثر سطوح رطوبتی بر روند تغییرات شاخص سبزینگی برگ: نتایج ارائه شده در شکل ۲ و جدول ٤ نشان می‌دهد که در هر دو تاریخ کاشت و مکان مورد مطالعه، در ابتدای فصل رشد، بیش‌ترین میزان شاخص سبزینگی برگ در سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی مشاهده شد که براساس میزان LSD ارائه شده در بالای هر زمان نمونه‌برداری و جدول ٤، اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح رطوبتی نداشت. با گذشت زمان، میزان شاخص سبزینگی برگ در سطوح رطوبتی پایین‌تر افزایش یافت به نحوی که میزان آن در سطح ۲۵ درصد نیاز آبی بیش‌تر بوده و اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح داشت. در کشت اسفندماه، بازه تغییرات حداکثر شاخص سبزینگی برگ از ۱۲۵ تا ۲۵ درصد نیاز آبی کینوا، در سربیشه، از ۵۷/۱۸ تا ٦۲/۵۷ و در بیرجند از ۵۰/۰۷ تا ٥٤/٤۷، در کشت مردادماه در سربیشه از ٥٦/٦۲ تا ٦٤/٤۳ و در بیرجند از ٦۲/۳۷ تا ٦۷/٤٥ بود. پس از پایان گلدهی، میزان شاخص سبزینگی برگ در سطح ۲۵ درصد نیازآبی، به شدت کاهش یافت ولی شیب کاهش در سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی بسیار کم‌تر بود. در نتیجه در انتهای فصل رشد در سطوح بالای رطوبتی، بیش‌ترین میزان شاخص سبزینگی مشاهده شد (شکل ۲). صالحی و همکاران (۱۳۸۲) نیز بیان کردند که با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل برگ کاهش می‌یابد ولی نسبت

کلروفیل a به b افزایش پیدا می‌کند و افزایش این نسبت موجب تیره شدن برگ‌ها و افزایش عدد کلروفیل‌متر می‌گردد؛ در واقع گیاه با کم‌تر کردن سطح برگ در شرایط تنش، سطح تعرق‌کننده را جهت جلوگیری از اتلاف آب، کم نموده و در نتیجه با وجود کاهش میزان کل کلروفیل در برگ، میزان کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد (۲۸). منجم و همکاران (۱۳۹۰) بیان کردند که میزان شاخص کلروفیل برگ کلزا با اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی، افزایش و با تشدید تنش خشکی در پایان گلدهی، کاهش یافت. آن‌ها هم‌چنین بیان نمودند که افزایش شاخص کلروفیل در اثر تنش ملایم، به‌خاطر افزایش وزن مخصوص برگ و افزایش تعداد سلول در واحد وزن برگ بوده است اما در تنش‌های شدید با وجود افزایش وزن مخصوص برگ، افزایش تخریب کلروفیل منجر به کاهش شاخص کلروفیل شد (۲۹). بهرامی و همکاران (۱٤۰۰) با بررسی سه سطح آبیاری (آبیاری کامل، ۷۵ درصد آبیاری‌کامل و ۵۰ درصد آبیاری کامل) بیان نمودند که تیمارهای آبیاری تأثیر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل کینوا نداشتند (۳٤).

هینوجوزا و همکاران (۲۰۱۹) در آزمایش مزرعه‌ای خود، پس از بررسی میزان شاخص سبزینگی برگ کینوا به صورت AUSDC، بیان کردند که بین تیمارهای آبیاری و بدون آبیاری در بیش‌تر مناطق مورد مطالعه، اختلاف مشاهده نشد. ایشان انتظار داشتند که در زمان عدم آبیاری، میزان شاخص کاهش یابد اما در خشک‌ترین محیط مورد مطالعه (Pullman، ۲۰۱۷) و در زمان عدم آبیاری، میزان این شاخص به بالاترین میزان رسیده بود (۱۵). مستروگایتان و همکاران (۲۰۲۲) نیز با بررسی روند تغییرات شاخص کلروفیل کینوا در شرایط آبیاری مطلوب (نگهداست محتوای آب خاک حدود ۷۰ درصد) و شرایط کمبود آب (نگهداشت محتوای آب خاک حدود ۳۵ درصد) بیان نمودند که در شرایط کمبود آب، شاخص کلروفیل به صورت معنی‌داری نسبت به آبیاری مطلوب، افزایش یافت (۳۳). سالک معراجی و همکاران (۱۳۹۹) بیان نمودند که تنش خشکی سبب کاهش ۲۹ درصدی سبزینگی کینوا گردید و میزان شاخص سبزینگی در آبیاری مطلوب، ۷۳/۰٦ و در خشکی ۵۱/۹٤ بود (۲٤). جمالی و همکاران (۱۳۹۷) نیز گزارش نمودند که در تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیازآبی، میزان شاخص به ترتیب ٤۵/٤۹، ٤۸/۳۰ و ٤۸/۰۸ بود (۳۵).

ارتفاع بوته

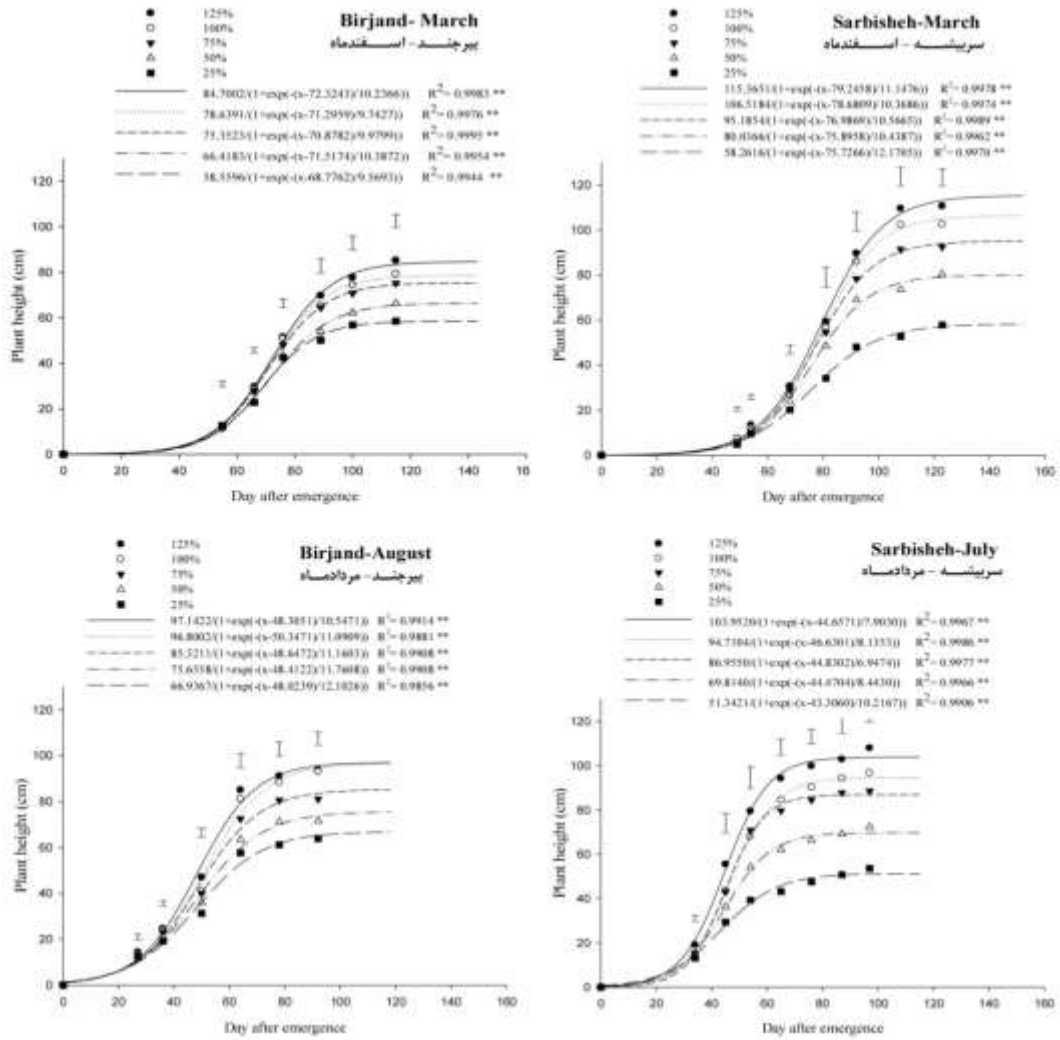
روند تغییرات در طی فصل رشد: برازش معادله و ضرایب رگرسیونی نشان داد که تغییرات ارتفاع بوته از معادلات سیگموئیدی پیروی می‌کند که روند آن برای هر دو تاریخ کاشت و مکان مورد مطالعه یکسان بود. در ابتدا و انتهای منحنی سیگموئیدی رشد گیاه، فاز کند رشد و در وسط، فاز رشد خطی مشاهده می‌شود (شکل‌های ۳ و ٤).



شکل ۳- روند تغییرات ارتفاع بوته ارقام کینوا در طول فصل رشد در دو مکان و دو تاریخ کاشت.

(خطوط عمودی بالای هر مرحله نمونه برداری مقدار FLSD در سطح احتمال ۵ درصد را نشان می‌دهد)

Fig. 3. Plant height Changes of quinoa cultivars during the growing season in two location and times. (Vertical lines on each sampling represent FLSD value at the 5% level)



شکل ٤- روند تغییرات ارتفاع بوته در سطوح مختلف رطوبتی در طول فصل رشد در دو مکان و دو تاریخ کاشت.

(خطوط عمودی بالای هر مرحله نمونه برداری مقدار FLSD در سطح احتمال ۵ درصد را نشان می‌دهد)

Fig. 4. Plant height changes in different humidity levels during the growing season in two location and times. (Vertical lines on each sampling represent FLSD value at the 5% level)

روند تغییرات ارتفاع بوته در ارقام کینوا: نتایج نشان می‌دهد که در هر دو منطقه مورد مطالعه، در کشت اسفندماه حدوداً در بازه ٦٠ تا ١٠٠ روز پس از سبزشدن و در مردادماه، حدوداً در بازه ۳۰ تا ۷۰ روز پس از سبزشدن، فاز خطی رشد مشاهده می‌شود و قبل و بعداز این بازه، رشد گیاه به کندی صورت می‌گیرد. در کشت اسفندماه و در شهرستان بیرجند، بالاترین میزان ارتفاع بوته در رقم ردکارینا (٧٩/٥٦ سانتی‌متر) مشاهده شد که براساس میزان LSD ارائه شده در بالای هر نقطه از نمونه‌برداری، با سایر ارقام اختلاف معنی‌داری داشت اما در شهرستان سربیشه، بین رقم ردکارینا (۹۳/۰۲ سانتی‌متر) و تیتیکاکا (۹۳/۱۳ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و این دو رقم، بالاترین ارتفاع را داشتند. در کشت مردادماه بیرجند، بالاترین ارتفاع در رقم گیزاوان (۹۲/۹۳ سانتی‌متر) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری

با رقم ردکارینا (۹۱/۱٤ سانتی‌متر) نداشت اما در سربیشه در انتهای فصل رشد، رقم گیزاوان (۸۵/۹۸ سانتی‌متر) بالاترین میزان ارتفاع را دارا بود ولی افزایش ارتفاع در این رقم از حدود ٦۵ روز پس از سبزشدن، صرفاً پس از گلدهی و افزایش طول گل‌آذین رخ داد که منجر به بروز اختلاف معنی‌دار با سایر ارقام شد (شکل ۳ و جدول ۵). مستروگایتان و همکاران (۲۰۲۲) نیز روند تغییرات ارتفاع بوته در چهار رقم کینوا (Titicaca، F14، F15 و F16) را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که رقم F16، ارتفاع بلندتری در طول فصل رشد، نسبت به سایر ارقام داشت به نحوی که ارتفاع بوته از هفته ۸ تا ۲۵ از حدود ۳۰ سانتی‌متر به حدود ۱۷۰ سانتی‌متر رسید و کم‌ترین ارتفاع مربوط به رقم F14 بود که از حدود ۲۰ سانتی‌متر به حدود ۱٤۰ سانتی‌متر رسید (۳۳). تایمی و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی روند تغییرات ارتفاع دو رقم کینوا (ICBA-Q5 و Titicaca) در طول فصل رشد و تاریخ‌های مختلف کاشت، گزارش کردند که در هر تاریخ کاشت یکسان، بین دو رقم، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (۳٦).

جدول ۵- تجزیه واریانس ارتفاع بوته در طول فصل رشد در دو مکان و تاریخ کاشت.

Table 5. Analysis of variance of plant height during the growing season in two location and times.

Location	Planting date	S.O.V	Df	$Height_1$	$Height_2$	$Height_3$	$Height_4$	$Height_5$	$Height_6$	$Height_7$
		روز نمونه‌برداری (روز پس از سبزشدن) Sampling day (Day after emergence)								
				27	36	50	64	78	92	-
بیرجند Birjand	مردادماه 8 August	بلوک Block	2	56.35^{**}	4.44^{ns}	8.75^{ns}	8.84^{ns}	29.31^{ns}	70.17^{ns}	-
		رقم Cultivar	2	13.27^{ns}	4.87^{ns}	101.44^{**}	1533.7^{**}	2295.3^{**}	2400.3^{**}	-
		سطوح رطوبتی Moisture levels	4	5.45^{ns}	44.82^{**}	308.02^{**}	1200.3^{**}	1387.5^{**}	1542.7^{**}	-
		رقم × سطوح رطوبتی C × M	8	2.41^{ns}	13.24^{*}	35.37^{*}	115.65^{*}	140.49^{**}	52.57^{ns}	-
		خطا Error	28	6.05	4.52	13.31	42.35	41.73	34.21	-
		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		18.80	9.59	9.36	9.04	8.23	7.25	-
				55	66	76	89	100	115	-
	اسفندماه 5 March	بلوک Block	2	18.55^{ns}	46.64^{ns}	168.25^{*}	13.51^{ns}	201.05^{*}	161.04^{ns}	-
		رقم Cultivar	2	1.25^{ns}	3.50^{ns}	101.81^{ns}	538.67^{**}	511.29^{**}	645.85^{**}	-
		سطوح رطوبتی Moisture levels	4	3.69^{ns}	102.59^{**}	158.15^{*}	616.05^{**}	672.46^{**}	1002.0^{**}	-
		رقم × سطوح رطوبتی C × M	8	11.39^{ns}	14.82^{ns}	37.98^{ns}	8.73^{ns}	36.77^{ns}	41.16^{ns}	-
		خطا Error	28	11.99	14.09	48.86	59.46	52.70	59.73	-
		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		28.65	14.29	14.81	12.70	10.62	10.60	-

ادامه جدول ۵-

Continue Table 5.

Height$_7$	Height$_6$	Height$_5$	Height$_4$	Height$_3$	Height$_2$	Height$_1$	Df	S.O.V	Planting date	Location
97	87	76	65	54	45	34				
49.95^{ns}	121.49^{ns}	93.55^{ns}	52.85^{ns}	78.61^{ns}	8.05^{ns}	47.43**	2	بلوک Block		
174.37^{ns}	215.95 *	171.23*	55.17^{ns}	340.48^{ns}	575.52**	493.73**	2	رقم Cultivar		
4084.5**	3943.5**	3899.4**	3676.1**	2236.5**	848.20**	42.68**	4	سطوح رطوبتی Moisture levels	27 July مردادماه	
19.14^{ns}	46.15^{ns}	74.46^{ns}	49.40^{ns}	22.12^{ns}	211.88*	19.88*	8	رقم × سطوح رطوبتی C × M		
66.29	58.22	48.44	54.78	102.53	80.42	8.09	28	خطا Error		
9.79	9.42	8.96	10.17	16.23	21.60	18.34		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		
123	108	92	81	68	54	49				Sarbisheh سربیشه
6.40^{ns}	57.32^{ns}	14.08^{ns}	480.17**	76.41*	1.93^{ns}	4.28^{ns}	2	بلوک Block		
272.25*	172.74^{ns}	298.96*	291.63*	17.20^{ns}	6.62^{ns}	10.05*	2	رقم Cultivar		
3848.9**	4758.6**	2490.1**	911.66**	153.15**	18.53*	12.89**	4	سطوح رطوبتی Moisture levels	8 March اسفندماه	
60.69^{ns}	79.83^{ns}	50.36^{ns}	97.55^{ns}	26.23^{ns}	3.52^{ns}	1.39^{ns}	8	رقم × سطوح رطوبتی C × M		
58.60	71.03	76.02	82.88	18.88	4.93	1.59	28	خطا Error		
8.62	9.81	11.74	17.97	16.61	19.51	25.34		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ^{ns} represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

اثر سطوح رطوبتی بر روند تغییرات ارتفاع بوته: نتایج نشان داد که بین سطوح مختلف رطوبتی تا قبل از ٦٠ و ٣٠ روز پس از کاشت به ترتیب در اسفندماه و مردادماه، اختلاف معنی‌داری در صفت ارتفاع بوته مشاهده نشد و پس از آن، بالاترین روند ارتفاع متعلق به سطح آبیاری به میزان ۱۲۵ درصد نیاز آبی بود. به طور کلی در هردو مکان و تاریخ کاشت مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با توجه به مقادیر LSD روی نمودار، مشاهده نشد. در هر دو تاریخ کاشت اسفند و مرداد، اختلاف ارتفاع بین سطوح ۱۲۵درصد و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه در سربیشه بسیار بیش‌تر از بیرجند بود هم‌چنین در سطح ۲۵ درصد نیاز آبی، بوته‌های کوتاه‌تری در سربیشه نسبت به بیرجند مشاهده شد (شکل ٤ و جدول ٥).

مستروگایتان و همکاران (۲۰۲۲) بیان نمودند که ارتفاع بوته در شرایط کمبود آب در طول فصل رشد کاهش یافت که این کاهش ارتفاع از هفته چهاردهم مشهود بود (۳۳). لین و چائو (۲۰۲۱) نیز روند تغییرات کینوا را در چهار تیمار خشکی (۹۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد محتوای آب) بررسی نموده و گزارش کردند که در فاصله ۲ تا ۵ هفته پس از کاشت، ارتفاع

بوته کینوا در شرایط ۲۵ درصد محتوای آب از حدود ۲۰ به حدود ٤٠ سانتی‌متر رسید و افزایش ارتفاع در تیمار ۹۰ درصد محتوای آب، از حدود ۲۰ به حدود ٦٠ سانتی‌متر بود، هم‌چنین در هفته پنجم پس از کاشت، تنها در تیمار ۲۵ درصد اختلاف معنی‌دار با سایر سطوح تنش مشاهده شد (۲۵).

ارتفاع نهایی بوته: نتایج تجزیه مرکب نشان داد که مکان، تاریخ کاشت × مکان، رقم، سطوح رطوبتی، مکان× رقم، مکان × سطوح رطوبتی و هم‌چنین تاریخ کاشت × رقم، تأثیر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۱) بر ارتفاع نهایی بوته اثر معنی‌دار داشتند و تأثیر سایر اثرات بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ٦).

جدول ٦- تجزیه مرکب ارتفاع نهایی بوته.

Table 6. Composite analysis of the plant height.

میانگین مربعات MS	درجه آزادی Df	منابع تغییر S.O.V	
94.25^{ns}	1	Planting date	تاریخ کاشت
4099.82**	1	Location	مکان
1812.29**	1	P × L	تاریخ کاشت × مکان
71.89	8	Block (P × L)	بلوک (تاریخ کاشت × مکان)
1382.93**	2	Cultivar	رقم
9586.89**	4	Moisture levels	سطوح رطوبتی
24.24^{ns}	8	C × M	رقم × سطوح رطوبتی
1078.14**	2	L × C	مکان × رقم
813.64**	4	L × M	مکان × سطوح رطوبتی
88.98^{ns}	8	L × C × M	مکان × رقم × سطوح رطوبتی
998.27**	2	P × C	تاریخ کاشت × رقم
38.82^{ns}	4	P × M	تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی
17.84^{ns}	8	P × C × M	تاریخ کاشت × رقم × سطوح رطوبتی
33.47^{ns}	2	P × L × C	تاریخ کاشت × مکان × رقم
38.74^{ns}	4	P × L × M	تاریخ کاشت × مکان × سطوح رطوبتی
42.49^{ns}	8	P × L × C × M	تاریخ کاشت × مکان × رقم × سطوح رطوبتی
54.71	112	Error	خطا
351.93	179	Total	کل
9.068		CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ^{ns} represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

اثر متقابل تاریخ کاشت در مکان: نتایج ارائه شده در جدول ۷ نشان می‌دهد که در بیرجند، ارتفاع بوته در کشت مردادماه ۱۰/۷ درصد بیش‌تر از کشت اسفندماه بود ولی در سربیشه، در کشت مردادماه، کاهش معنی‌دار ۵/۵۱ درصدی در ارتفاع بوته مشاهده شد. در کشت مردادماه و اسفندماه، بالاترین ارتفاع بوته در سربیشه بود که در کشت مرداد این افزایش ارتفاع (۳/۹۷ درصد) معنی‌دار نبود ولی در اسفندماه، ارتفاع بوته به میزان ۲۱/۸ درصد به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت. در مطالعه الخمیسی و همکاران (۲۰۲۱) نیز اثر

متقابل زمان در مکان بر کینوا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (۱۱). دمای پایین‌تر در سربیشه نسبت به بیرجند، موجب تحریک رشد رویشی و در نهایت، افزایش ارتفاع بوته گردید. رستمی و محمدی (۱۳۹۷) نیز بیان کردند که در دمای کم‌تر، ارتفاع بوته سیر افزایش یافت (۳۷). وو و همکاران (۲۰۱۵) نیز بیان کردند که هرچه طول دوره سرما بیش‌تر باشد، ارتفاع بوته به میزان بیش‌تری افزایش خواهد یافت (۳۸). تیام و همکاران (۲۰۲۱) ارتفاع بوته کینوا را در ۵ مکان مختلف بررسی نموده و بیان کردند که ارتفاع بوته در مناطق Rabat، Berrechid، Meknès، Tinejdad و El-Kbab به ترتیب ۱۰۶/۶۲، ۷۹/۳۳، ۹۷/۹۹، ۱۲۷/۳۵ و ۳٤/۸۵ سانتی‌متر بود. ارتفاع از سطح دریا (متر)، میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) و بارندگی (میلی‌متر) در Rabat به ترتیب ۱۳۵، ۱۹/۸ و ۲۲۹ در Berrechid به ترتیب ۳۰۹، ۲۰/۳ و ۳۱۸، در Meknès به ترتیب ۵۹۲، ۱۹/۳ و ۷۰۳، در Tinejdad به ترتیب ۱۰۶۲، ۲۳ و ۲۰۰ و در منطقه El-Kbab به ترتیب ۱۵۰۳، ۱۹/۱ و ۵۵۰ بود (۳۹).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه در ارتفاع نهایی بوته (سانتی‌متر).

Table 7. Mean comparison of double interaction effects on plant height (cm).

تاریخ کاشت × مکان Planting Date × Location

Planting Date / Location	اسفندماه July/August	مردادماه March
Birjand	79.89^{c}	80.69^{b}
Sarbisheh	88.78^{a}	83.89^{b}

تاریخ کاشت × رقم Planting Date × Cultivar

Planting Date / Cultivar	اسفندماه July/August	مردادماه March
Titicaca	78.81^{b}	73.50^{c}
Redcarina	85.75^{a}	84.89^{a}

مکان × سطوح رطوبتی Moisture levels × Location

Moisture levels / Location		Birjand	Sarbisheh
نیاز آبی گیاه Water requirement	125%	89.43^{c}	109.32^{a}
	100%	86.16^{c}	99.67^{b}
	75%	78.15^{d}	90.58^{c}
	50%	68.97^{e}	76.36^{d}
	25%	61.24^{f}	55.72^{g}

مکان × رقم Cultivar × Location

Cultivar / Location	Birjand	Sarbisheh
Titicaca	66.49^{d}	85.82^{ab}
Redcarina	83.18^{bc}	87.46^{a}
Giza1	80.70^{c}	85.73^{ab}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر زیر جدول، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ براساس آزمون FLSD می‌باشد

Means in sub tables followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD

اثرات متقابل مکان در رقم: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته در سربیشه و رقم ردکارینا (۸۷/٤٦ سانتی‌متر) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری با دو رقم گیزاوان و تیتیکاکا در سربیشه (به ترتیب ۸۵/۷۳ و ۸۵/۸۲ سانتی‌متر) نداشت اما در بیرجند، رقم تیتیکاکا (٦٦/٤۹ سانتی‌متر) به صورت معنی‌داری کوتاه‌تر از دو رقم دیگر بود و هم‌چنین اختلاف بین رقم ردکارینا (۸۳/۱۸ سانتی‌متر) و گیزاوان (۸۰/۷۰ سانتی‌متر) معنی‌دار نبود (جدول ۷). تفاوت در ژنوتیپ‌های کینوا می‌تواند ناشی از ساختار ژنتیکی و واکنش‌های مختلف به محیط باشد. مامری و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی اثر ۵ رقم کینوا در دو سایت تحقیقاتی در کشور الجزایر بیان نمودند که ارقام کینوا در هر دو سایت تحقیقاتی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند؛ رقم Q102 بیش‌ترین ارتفاع را با میانگین‌های ۵۵/۷۳ و ۵۰/۹۷ سانتی‌متر به ترتیب در سایت ۱ و ۲ داشت و کم‌ترین ارتفاع در رقم Q104 با میانگین ۲۷/۰۱

سانتی‌متر در سایت ۱ و رقم Santa Maria با میانگین ۲۲/۳۱ سانتی‌متر در سایت ۲ مشاهده شد (٤٠). تن و تمل (۲۰۱۸) در مطالعه خود، ۱۰ رقم کینوا را در دو منطقه مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که بیش‌ترین ارتفاع بوته در رقم Rainbow در منطقه آرزروم (Erzurum) به میزان ۱۰٦/٦ سانتی‌متر و رقم Red Head در منطقه ایغدیر (Iğdır) به میزان ۱۱٦/٤ سانتی‌متر مشاهده شد و کم‌ترین ارتفاع بوته در هر دو منطقه مربوط به رقم Q-52 (به ترتیب ٦٦/٥ و ۸۹/٤ سانتی‌متر در منطقه آرزروم و ایغدیر) بود (۱۹). نانلی و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی ۷ رقم کینوا در دو مکان (توکات و آماسیا) بیان نمودند که میانگین ارتفاع بوته ژنوتیپ‌ها در منطقه توکات ۳۵/٤-۹۳/۱ سانتی‌متر و در محل آماسیا ٤۳/٥-۹۳/٤ سانتی‌متر بود؛ بیش‌ترین ارتفاع بوته در هر دو منطقه در ژنوتیپ Q11 مشاهده شد و ارقام در آماسیا دارای ارتفاع بوته بیش‌تری بودند (۱۳). در مطالعه پالونتو و همکاران (۲۰۱۰) نیز نتایج مشابهی به دست آمد و گزارش شد که در مناطق جغرافیایی متفاوت، ارقام و جمعیت‌های کینوا، واکنش‌های متفاوتی دارند (٤١).

اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم: در کشت اسفندماه، رقم ردکارینا با ارتفاع ۸۵/۷۵ سانتی‌متر، به صورت معنی‌داری بلندتر از سایر ارقام بود و ارتفاع دو رقم گیزاوان و تیتیکاکا (به ترتیب با ارتفاع ۷۷/۹٦ و ۷۸/۸۱ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، اما در کشت مردادماه، بیش‌ترین ارتفاع بوته در رقم گیزاوان (۸۸/٤۷ سانتی‌متر) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با رقم ردکارینا (۸٤/۸۹ سانتی‌متر) نداشت و کم‌ترین ارتفاع در رقم تیتیکاکا (۷۳/٥۰ سانتی‌متر) مشاهده شد. ارتفاع رقم گیزاوان در کشت مردادماه، ۱۳/٤۸ درصد افزایش یافت. ارتفاع رقم ردکارینا در هر دو تاریخ کاشت یکسان بود ولی در رقم تیتیکاکا در کشت مردادماه، کاهش ارتفاع به میزان ٦/۷۳ درصد مشاهده شد (جدول ۷). تایمی و همکاران (۲۰۲۲) بیان نمودند که بیش‌ترین ارتفاع بوته کینوا، برای هر دو رقم مورد مطالعه (Titicaca و ICBA-Q5)، در ماه دسامبر و سپس ژانویه و کم‌ترین آن در زمان کشت کینوا در ماه فوریه، ثبت گردید. در تاریخ‌های کاشت نوامبر و دسامبر، بوته‌های رقم Titicaca بسیار بلندتر از بوته‌های رقم ICBA-Q5 بودند (۳٦).

اثر متقابل مکان در سطوح رطوبتی: براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیش‌ترین ارتفاع بوته در تیمار ۱۲۵درصد نیاز آبی و در سربیشه به میزان ۱۰۹/۳۲ سانتی‌متر و کم‌ترین ارتفاع بوته در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی و در سربیشه به میزان ٥٥/۷۲ سانتی‌متر بود. در سربیشه بین تمام سطوح رطوبتی اختلاف معنی‌دار مشاهده شد اما در بیرجند بین سطوح ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، این اختلاف مشهود نبود. در هر دو مکان مورد مطالعه، با اعمال تیمار کم آبیاری، ارتفاع بوته کاهش یافت اما شیب کاهش ارتفاع در سربیشه حدود ۲ برابر بیش‌تر از بیرجند بود (جدول ۷). احتمالاً در سربیشه به دلیل داشتن سرعت باد بیش‌تر نسبت به بیرجند، تبخیر از سطح خاک افزایش یافته و دسترسی گیاه به منابع آب را محدود می‌نماید. هینوجوزا و همکاران (۲۰۱۹) بیان نمودند که در سال ۲۰۱٦، کوتاه‌ترین ارتفاع بوته کینوا در تیمار عدم آبیاری و در منطقه پولمن و چیماکوم به ترتیب ۱۱۰/٤۳ و ۱۲۰/۸۳ سانتی‌متر بود اما در سال ۲۰۱۷، اختلاف معنی‌داری بین ارتفاع بوته در اثر متقابل منطقه و سطوح آبیاری مشاهده نشد (۱٥). در شرایط تنش خشکی، تقسیم سلولی و حجم سلول‌ها کاهش یافته، بنابراین تعداد گره و طول میان‌گره‌های ساقه کاهش می‌یابد؛ علت این پدیده در نتیجه اثر منفی تنش آب بر فرآیندهای فتوسنتز، تغذیه، روابط هورمونی و آبی گیاه می‌باشد و هم‌چنین کاهش ارتفاع در اثر تنش خشکی به دلیل تحریک رشد زایشی و کوتاه شدن مرحله رشد رویشی است (٤۲). هم‌چنین در اثر کمبود آب، میزان اسید آبسیسیک افزایش می‌یابد و از آن‌جایی‌که این هورمون بازدارنده رشد است، این کاهش ارتفاع ممکن است ناشی از افزایش آن در گیاه

باشد (۴۳). محمدی و همکاران (۲۰۲۱) بیان نمودند که ارتفاع بوته در تیمار شاهد بدون تنش (۶۰ درصد تبخیر از تشت تبخیر کلاس A)، تنش متوسط (۹۰ درصد تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) و تنش شدید (۱۲۰ درصد تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) به ترتیب ۹۴/۸۳، ۷۹/۱۷ و ۶۶/۱۶ سانتی‌متر بود (۴۴). صدیق و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی سه سطح خشکی مانند ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک (۴۵) و الناگار و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی سه سطح تنش خشکی شامل آبیاری در ۹۵، ۶۵ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی (۴۶) نیز بیان نمودند که با افزایش تنش خشکی، ارتفاع کینوا به صورت معنی‌داری کاهش یافت.

میانگین طول گل‌آذین اصلی و فرعی: براساس نتایج تجزیه مرکب، طول گل‌آذین اصلی به صورت معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۱) تحت‌تأثیر تاریخ کاشت، مکان، سطوح رطوبتی، مکان × رقم، تاریخ کاشت × رقم، تاریخ کاشت × مکان × رقم و همچنین تاریخ کاشت × مکان × سطوح رطوبتی قرار گرفتند و اثرات تاریخ کاشت، مکان، تاریخ کاشت × مکان، سطوح رطوبتی، مکان × رقم، مکان × سطوح رطوبتی، تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی، تاریخ کاشت × مکان × رقم و همچنین تاریخ کاشت × مکان × سطوح رطوبتی بر طول گل‌آذین فرعی تأثیر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۱) داشتند و تأثیر سایر اثرات بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۸).

جدول ۸- تجزیه مرکب طول گل‌آذین‌های اصلی و فرعی و عملکرد دانه.

Table 8. Analysis of variance of length of main and sub inflorescence and seed yield.

میانگین مربعات MS			درجه آزادی Df	S.O.V منابع تغییر	
عملکرد دانه Seed yield	طول گل‌آذین فرعی Length of the sub inflorescence	طول گل‌آذین اصلی Length of main inflorescence			
89693250**	4195.122**	298.092**	1	Planting date	تاریخ کاشت
243950.4^{ns}	850.617**	248.252**	1	Location	مکان
21447673**	1165.554**	115.236^{ns}	1	P × L	تاریخ کاشت × مکان
277669.1	32.439	21.960	8	Block (P × L)	بلوک (تاریخ کاشت × مکان)
2111077**	1.643^{ns}	12.809^{ns}	2	Cultivar	رقم
10847158**	363.299**	253.337**	4	Moisture levels	سطوح رطوبتی
145393.6^{ns}	13.519^{ns}	4.303^{ns}	8	C × M	رقم × سطوح رطوبتی
189033.1^{ns}	256.044**	120.263**	2	L × C	مکان × رقم
510777.2**	64.063**	1.428^{ns}	4	L × M	مکان × سطوح رطوبتی
68459.8^{ns}	13.840^{ns}	5.933^{ns}	8	L × C × M	مکان × رقم × سطوح رطوبتی
1951531.7**	40.083^{ns}	153.582**	2	P × C	تاریخ کاشت × رقم
3746276.1**	60.849**	13.797^{ns}	4	P × M	تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی
145986.0^{ns}	17.154^{ns}	10.154^{ns}	8	P × C × M	تاریخ کاشت × رقم × سطوح رطوبتی
313332.8*	288.035**	48.790**	2	P × L × C	تاریخ کاشت × مکان × رقم
134625.0^{ns}	94.927**	29.649**	4	P × L × M	تاریخ کاشت × مکان × سطوح رطوبتی
97080.4^{ns}	13.950^{ns}	8.823^{ns}	8	P × L × C × M	تاریخ کاشت × مکان × رقم × سطوح رطوبتی
85270.1	13.975	7.883	112	Error	خطا
1099983.9	68.077	21.297	179	Total	کل
23.69	31.15	15.66		CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ^{ns} represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در رقم: براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیش‌ترین طول گل‌آذین اصلی در کشت مردادماه سربیشه و رقم گیزاوان (۲۲/۷٤ سانتی‌متر) مشاهده شد اما کم‌ترین میزان طول گل‌آذین نیز در همان مکان و همان رقم اما در کشت اسفندماه (۱۳/۰۵ سانتی‌متر)، به دست آمد. به طور کلی، در تاریخ کاشت و مکان‌های مورد مطالعه، طول گل‌آذین اصلی در رقم ردکارینا دارای ثبات بیش‌تری بود اما رقم گیزاوان با توجه به شرایط محیطی، رفتار متفاوتی نشان داد. رقم تیتیکاکا نیز در هر دو مکان مورد مطالعه، نسبت به زمان کاشت، حساسیت نداشت و اختلاف معنی‌داری در طول گل‌آذین اصلی مشاهده نشد (جدول ۹). بیش‌ترین طول گل‌آذین فرعی در کشت اسفندماه بیرجند و رقم گیزاوان (۲٤/۷۷ سانتی‌متر) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری با رقم ردکارینا در همان زمان و مکان (۲۲/۲۲ سانتی‌متر) نداشت. به طور کلی در کشت مردادماه، بین ارقام در هر دو مکان بیرجند و سربیشه، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در کشت اسفندماه، طول گل‌آذین فرعی در ارقام ردکارینا و گیزاوان به صورت معنی‌داری تحت‌تأثیر مکان کاشت قرار گرفت (جدول ۱۰). به نظر می‌رسد در بیرجند به دلیل برخورد زمان گلدهی و دانه‌بندی کینوا با درجه حرارت بالای محیط، عمل گرده‌افشانی و دانه‌بندی به خوبی صورت نگرفته و در نتیجه موجب کاهش طول گل‌آذین اصلی گردیده است. در مردادماه به دلیل درجه حرارت بالاتر در ابتدای فصل رشد نسبت به اسفندماه، سرعت رشد رویشی گیاه افزایش و به دنبال آن، تعداد گل‌آذین فرعی و طول گل‌آذین فرعی، کاهش یافت و در زمان گلدهی به دلیل کاهش درجه حرارت محیط، تمرکز گیاه بر افزایش طول گل‌آذین اصلی و افزایش اجزای عملکرد، بود. صمدزاده و همکاران (۱۳۹۹) نیز تأثیر معنی‌دار تاریخ کاشت بر طول خوشه کینوا را گزارش نمودند و بیش‌ترین طول خوشه در تمام تراکم‌های مورد بررسی، در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد مشاهده شد (۷). فاضلی و همکاران (۱٤۰۰) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و بیان نمودند که طول پانیکول کینوا در تاریخ‌های کاشت ۱۵ اسفند، ۱ و ۱۵ فروردین به ترتیب ۳٦، ۲۵ و ۱۷ سانتی‌متر بود (٤۷). تیام و همکاران (۲۰۲۱) بیان نمودند که طول پانیکول کینوا در مناطق Rabat، Berrechid، Meknès و El Kbab در مراکش به ترتیب ۳۱/۷۳، ۲٤/۱٤، ۲۷/۹۱ و ۹/۱۵ سانتی‌متر بود (۳۹). نانلی و همکاران (۲۰۱۷) بیان نمودند که بیش‌ترین طول پانیکول اصلی در منطقه آماسیا و رقم C. quinoa Wild A به میزان ۳۵/۵ سانتی‌متر و کم‌ترین آن در منطقه توکات و رقم C. Quinoa (red) به میزان ۱۲ سانتی‌متر مشاهده شد (۱۳). تایمی و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی اثر متقابل پنج تاریخ کاشت (نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس) و دو رقم کینوا بیان نمودند که بیش‌ترین طول پانیکول برای رقم Titicaca در ماه نوامبر (۲۵/۲۱ سانتی‌متر) و برای رقم ICBA-Q5 در ماه دسامبر (۲٦/۲۲ سانتی‌متر) مشاهده شد (۳٦).

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه بر طول گل‌آذین اصلی (سانتی‌متر).

Table 9. Mean comparison of triple interaction effects on length of main inflorescence (cm).

تاریخ کاشت × مکان × رقم Planting date × Location × Cultivar					تاریخ کاشت × مکان × سطوح رطوبتی Planting date × Location × Moisture levels						
Cultivar			Planting date	Location	Moisture levels					Planting date	Location
Titicaca	Redcarina	Giza1			25%	50%	75%	100%	125%		
14.58^{f}	17.78^{cd}	19.18^{bc}	مردادماه March	Birjand	14.24^{klm}	16.75^{ghijk}	17.20^{fghij}	18.71^{defgh}	18.99^{defg}	مردادماه March	Birjand
14.70^{ef}	17.28^{cd}	16.63^{de}	اسفندماه August		12.48^{M}	14.09^{Lm}	15.43^{ijkl}	18.01^{efghi}	21.26^{Bcd}	اسفندماه August	
20.11^{b}	20.53^{b}	22.74^{a}	مردادماه March	Sarbisheh	14.98^{klm}	20.24^{cde}	21.86^{bc}	23.36^{ab}	25.20^{A}	مردادماه March	Sarbisheh
20.16^{b}	17.65^{cd}	13.05^{f}	اسفندماه August		15.20^{jkl}	15.94^{ijkl}	16.23^{hijkl}	17.80^{efghi}	29.49^{Cdef}	اسفندماه August	

میانگین‌های دارای حروف مشابه در زیر جدول‌ها، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ براساس آزمون FLSD می‌باشد

Means in sub tables followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه بر طول گل‌آذین فرعی (سانتی‌متر).

Table 10. Mean comparison of triple interaction effects on length of sub- inflorescence (cm).

تاریخ کاشت × مکان × رقم Planting date × Location × Cultivar					تاریخ کاشت × مکان × سطوح رطوبتی Planting date × Location × Moisture levels						
Cultivar			Planting date	Location	Moisture levels					Planting date	Location
Titicaca	Redcarina	Giza1			25%	50%	75%	100%	125%		
5.97^{e}	6.92^{de}	7.52^{de}	مردادماه March	Birjand	5.09^{lj}	5.20^{lj}	7.19^{ghij}	8.12^{fghi}	8.39^{fghi}	مردادماه March	Birjand
17.64^{b}	22.22^{a}	24.77^{a}	اسفندماه August		12.57^{Cde}	15.00^{C}	24.51^{b}	26.50^{ab}	29.14^{a}	اسفندماه August	
6.64^{de}	7.25^{de}	8.74^{d}	مردادماه March	Sarbisheh	4.30^{l}	6.64^{Hij}	7.36^{ghij}	8.84^{fgh}	10.56^{efg}	مردادماه March	Sarbisheh
17.02^{b}	12.14^{c}	7.17^{de}	اسفندماه August		10.92^{Ef}	10.27^{Efg}	11.44^{def}	12.36^{cde}	14.55^{cd}	اسفندماه August	

میانگین‌های دارای حروف مشابه در زیر جدول‌ها، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ براساس آزمون FLSD می‌باشد

Means in sub tables followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD

اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در سطوح رطوبتی: نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد که بیش‌ترین طول گل‌آذین اصلی در کشت مردادماه سربیشه و در سطوح رطوبتی ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیازآبی گیاه به ترتیب ۲۵/۲۰ و ۲۳/۳٦ سانتی‌متر و طول گل‌آذین فرعی در کشت اسفندماه بیرجند در همان سطوح رطوبتی به ترتیب ۲۹/۱٤ و ۲٦/۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. به طور کلی بین سطوح ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در طول گل‌آذین اصلی و فرعی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیش‌ترین درصد کاهش طول گل‌آذین اصلی ناشی از کاهش آبیاری، در کشت اسفندماه بیرجند مشاهده شد به نحوی که با کاهش آبیاری از سطح ۱۲۵ به ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی گیاه، طول گل‌آذین اصلی به ترتیب ۱۵/۳، ۲۷/٤، ۳۳/۷ و ٤۱/۳ درصد کاهش یافت که احتمالاً به دلیل گرمای بیش‌تر محیط در بیرجند و افزایش اثر سوء آن با شرایط کمبود آب در گیاه، موجب اختلال بیش‌تر در فرایندهای گرده‌افشانی و دانه‌بندی گیاه شده و درنتیجه منجر به کاهش طول گل‌آذین اصلی گردید. بیش‌ترین درصد کاهش طول گل‌آذین فرعی از سطح ۱۲۵ به ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، در کشت مردادماه سربیشه به ترتیب ۱٦/٤، ۳۰/۳، ۳۷/۱ و ۵۹/۳ درصد مشاهده شد. به نظر می‌رسد که، در ابتدای فصل رشد به دلیل بالاتر بودن ضریب تبخیر و تعرق مرجع (ناشی از سرعت باد بالاتر) در سربیشه نسبت به بیرجند، اعمال تنش منجر به کاهش بیش‌تر طول گل‌آذین فرعی در گیاه گردیده و گیاه تمرکز بیش‌تری بر روی طول گل‌آذین اصلی نموده است (جدول‌های ۹ و ۱۰). با توجه به جذب مواد غذایی در گیاه به صورت محلول در آب، محدودیت در منابع آبی منجر به محدودیت در همه منابع غذایی شده و گیاه مجبور به کم شدن رشد رویشی و اتمام زودهنگام مرحله رویشی می‌گردد، و در نتیجه، دوره رشدی و طول گل‌آذین کاهش می‌یابد. از طرف دیگر پخشیدگی عناصر غذایی به سمت ریشه در اثر افزایش خشکی دلیل دیگری بر این کاهش می‌باشد. بنا بر گزارش برنر و همکاران (۲۰۱۲)، کاهش طول خوشه اصلی و فرعی در گیاهان تحت تنش خشکی به‌طور غیرمستقیم با کاهش پیام‌رسانی سیتوکینین و کاهش تقسیم سلولی مرتبط است (٤۸). براساس گزارش مستروگایتان و همکاران (۲۰۲۲)، ارقام کینوا در شرایط آبیاری مطلوب نسبت به شرایط کمبود آب، طول پانیکول بیشتری داشتند (۳۳). الناگار و همکاران (۲۰۱۷) بیان نمودند که طول گل‌آذین بین ارقام مختلف کینوا در سطوح آبیاری مطلوب (۹۵ درصد ظرفیت زراعی)، تنش ملایم (٦۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۳۵ درصد ظرفیت زراعی) به ترتیب در محدوده‌های ۱۹/۹–۱۷، ۱۷/۸–۱۵/۸ و ۱٦–۱۱/۱ سانتی‌متری قرار داشت (٤٦). در مطالعه دیگر طول پانیکول در سه سطح خشکی شامل ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک، به ترتیب ٦/۰٤، ٤/۵۳ و ۳/٤٤ سانتی‌متر بود (٤۵).

عملکرد دانه: نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثرات تاریخ کاشت، تاریخ کاشت × مکان، رقم، سطوح رطوبتی، مکان × سطوح رطوبتی، تاریخ کاشت × رقم، تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی ($P\leq$۰/۰۱) و هم‌چنین تاریخ کاشت × مکان × رقم ($P\leq$۰/۰۵) تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشتند (جدول ۸).

اثرات متقابل دوگانه مکان در سطوح رطوبتی و تاریخ کاشت در سطوح رطوبتی: نتایج نشان داد که کاهش عملکرد دانه در اثر تنش رطوبتی، در سربیشه بیش‌تر از بیرجند بود به نحوی‌که با تغییر سطوح رطوبتی از سطح ۱۲۵ به سطوح ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی، عملکرد دانه در بیرجند به ترتیب

۱۲/٦۷، ۲۲/۱۵، ٤٥/٦۰ و ٦۰/٥۱ درصد و در سربیشه به ترتیب ۱۳/٤۱، ۳٤/٦۷، ٦٦/٥۹ و ۷۹/۷۸ درصد کاهش یافت. در ارتباط با تاریخ کاشت نیز می‌توان بیان نمود که عملکرد دانه در سطوح ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی در مردادماه به ترتیب ۱/۱۸، ۱/٤۱، ۲/۳۹ و ۳/٤۰ برابر و در اسفندماه به ترتیب ۱/۰٤، ۱/۳٦، ۲/۰۲ و ۳/٤٤ برابر نسبت به سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی کاهش یافت (جدول ۱۱). افزایش دمای محیط توأم با تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه‌ها، موجب تسریع در پیری برگ‌ها، کاهش طول دوره پرشدن دانه‌ها، میانگین وزن دانه‌ها و عملکرد می‌شود. قرینه و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی عملکرد دانه در چهار سطح آبیاری و چهار تاریخ کاشت بیان نمودند که بالاترین عملکرد دانه به میزان ٤۸٤۲/۵ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۲۵ آبان و سطح آبیاری کامل و کم‌ترین آن به میزان ۹۲/۵ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۲۵ آذر و شرایط دیم به‌دست آمد (٤۹).

اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در رقم: براساس نتایج تجزیه واریانس، بیش‌ترین عملکرد دانه در رقم گیزاوان کشت شده در مردادماه بیرجند به میزان ۲٦۰۸/۷۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن در رقم تیتیکاکا کشت شده در اسفندماه بیرجند به میزان ۱٤۲/۲۸ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. در کشت مردادماه بیرجند بین تمام ارقام از لحاظ صفت عملکرد دانه، اختلاف معنی‌داری وجود داشت اما در کشت اسفندماه هر دو منطقه، بین ارقام هیچ اختلاف معنی‌داری مشهود نبود. با تغییر تاریخ کاشت از مرداد به اسفند، عملکرد دانه در ارقام گیزاوان، ردکارینا و تیتیکاکا به ترتیب ۹۱/۳۱، ۸۷/۸۳ و ۹۲/۹۱ درصد در بیرجند و به ترتیب ٦۱/٤۲، ۲۸/۸٦ و ۳۹/۸٤ درصد در سربیشه کاهش یافت (جدول ۱۱). در صورت بررسی و شناسایی بهترین زمان کاشت هر ژنوتیپ در هر منطقه و رعایت اصول به‌زراعی، گیاه می‌تواند با بهره‌گیری از زمان لازم جهت رشد و نمو، با بنیه بهتری وارد مرحله زایشی شود و عملکرد بالاتری را از خود نشان دهد (۵۰). هینوجوزا و همکاران (۲۰۱۹) با انجام چهار آزمایش (شامل Pullman و Chimacum در سال ۲۰۱٦ و Pullman و Mount Vernon در سال ۲۰۱۷)، ۸ ژنوتیپ کینوا را مورد ارزیابی قرار دادند. ایشان بیان نمودند که ارقام La Molina و BGQ 35 در هر چهار آزمایش، هیچ بذری تولید نکردند. در سال ۲۰۱٦، ارقام QQ74 و Pison بالاترین عملکرد را داشتند و ژنوتیپ Pison تنها ژنوتیپی بود که در منطقه Mount Vernon بذر تولید نمود و بالاترین عملکرد دانه به میزان ۱٤٤٤ کیلوگرم در هکتار را به خود اختصاص داد (۱۵). الخمیسی و همکاران (۲۰۲۱) بیان نمودند که اثر متقابل رقم در مکان در سال بر عملکرد دانه کینوا تأثیر معنی‌داری داشت و بیش‌ترین عملکرد دانه در ایستگاه تحقیقاتی Rumais در سال ۱۸-۲۰۱۷ و در رقم Amarllia Sacaca به میزان ۸/۸۷ تن در هکتار مشاهده شد (۱۱) اما در مطالعه تن و تمل (۲۰۱۸) اثر متقابل سه‌گانه سال در مکان در ژنوتیپ بر عملکرد دانه کینوا معنی‌دار نشد (۱۹).

جدول ضریب همبستگی صفات رشدی مورد مطالعه و عملکرد دانه در هر چهار آزمایش نشان می‌دهد که هم ارتفاع و هم طول گل‌آذین‌های اصلی و فرعی همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه کینوا داشتند و بیشترین ضریب همبستگی متعلق به ارتفاع بوته بود (جدول ۱۲).

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل بر عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار).

Table 11. Mean comparison of interaction effects on seed yield (kg/ha).

تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی

Planting date × Moisture levels

Planting date	Moisture levels				
	25%	50%	75%	100%	125%
مردادماه March	874.1^{e}	1241.5^{d}	2098.2^{c}	2509.2^{b}	2968.7^{a}
اسفندماه August	219.3^{h}	373.7^{gh}	556.0^{fg}	728.5^{ef}	755.2^{e}

مکان × سطوح رطوبتی

Location × Moisture levels

Location	Moisture levels				
	25%	50%	75%	100%	125%
Birjand	698.0^{h}	961.5^{g}	1376.0^{de}	1543.5^{cd}	1764.4^{ab}
Sarbisheh	395.5^{g}	553.7^{f}	1278.2^{e}	1694.2^{bc}	1956.5^{a}

تاریخ کاشت × مکان × رقم

Planting date × Location × Cultivar

Cultivar			Planting date	Location
Titicaca	Redcarina	Giza1		
2006.0^{c}	2346.3^{b}	2608.8^{a}	مردادماه March	Birjand
142.3^{f}	285.5^{f}	226.7^{f}	اسفندماه August	
1289.1^{d}	1306.0^{d}	2073.9^{c}	مردادماه March	Sarbisheh
775.5^{e}	929.1^{e}	800.1^{e}	اسفندماه August	

میانگین‌های دارای حروف مشابه در زیر جدول‌ها، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ براساس آزمون FLSD می‌باشد

Means in sub tables followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD

جدول ۱۲- همبستگی بین عملکرد دانه و صفات رشدی کینوا در دو تاریخ کاشت و منطقه.

Table 12. Correlation between quinoa seed yield and growth traits in two planting date and location.

Length of sub inf.	Length of main inf.	Height	Seed yield	Traits	صفات	Planting date	Location
			1	Seed yield	عملکرد دانه	March اسفند	بیرجند Birjand
		1	0.699**	Height	ارتفاع نهایی		
	1	0.576**	0.568**	Length of main inf.	طول گل‌آذین اصلی		
1	0.504**	0.623**	0.545**	Length of sub inf.	طول گل‌آذین فرعی		
			1	Seed yield	عملکرد دانه	July/August مرداد	
		1	0.819**	Height	ارتفاع نهایی		
	1	0.659**	0.549**	Length of main inf.	طول گل‌آذین اصلی		
1	0.576**	0.668**	0.659**	Length of sub inf.	طول گل‌آذین فرعی		
			1	Seed yield	عملکرد دانه	March اسفند	سربیشه Sarbisheh
		1	0.843**	Height	ارتفاع نهایی		
	1	0.438**	0.336*	Length of main inf.	طول گل‌آذین اصلی		
1	0.851**	0.352*	0.236^{ns}	Length of sub inf.	طول گل‌آذین فرعی		
			1	Seed yield	عملکرد دانه	July/August مرداد	
		1	0.838**	Height	ارتفاع نهایی		
	1	0.730**	0.690**	Length of main inf.	طول گل‌آذین اصلی		
1	0.669**	0.743**	0.719**	Length of sub inf.	طول گل‌آذین فرعی		

*، ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که بالاترین میزان صفات رشدی مانند ارتفاع، شاخص سبزینگی برگ و طول گل‌آذین اصلی در کشت اسفندماه در هر دو شهرستان مورد مطالعه، متعلق به رقم ردکارینا و در کشت مردادماه، متعلق به رقم گیزاوان بود. اعمال تنش رطوبتی نیز موجب کاهش معنی‌دار این صفات گردید. به نحوی که با کاهش آب آبیاری از سطح ۱۲۵ درصد به سطح ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، ارتفاع بوته، طول گل‌آذین‌های اصلی و فرعی و عملکرد دانه به ترتیب ٤١/١٣، ٣٢/٨٣، ٤٧/٥١ و ٧٠/٦٤ درصد کاهش یافتند. تأثیر سطوح رطوبتی بر شاخص سبزینگی برگ تنها در انتهای فصل رشد معنی‌دار گردید به نحوی که در سطوح بالای رطوبتی، بیش‌ترین میزان شاخص سبزینگی مشاهده شد. با گذشت زمان، میزان شاخص سبزینگی برگ در سطوح رطوبتی پایین‌تر (سطح ۲۵ درصد نیاز آبی)، افزایش و پس از پایان گلدهی، به شدت کاهش یافت. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار صفات رشدی با عملکرد دانه، کاهش در این صفات منجر به کاهش در عملکرد دانه کینوا گردید.

منابع

1. González, J. A., Eisa, S. S., Hussin, S. A. E. S., & Prado, F. E. (2015). Quinoa: An Incan crop to face global changes in agriculture. In: Murphy, K. & Matangiihan, J. Quinoa: Improvement and sustainable production, *John Wiley and Sons*, 1-18. **doi:10.1002/9781118628041.ch1.**
2. Ruiz, K. B., Biondi, S., Oses, R., Acuña-Rodríguez, I. S., Antognoni, F., Martinez-Mosqueira, E. A., Coulibaly, A., Canahua-Murillo, A., Pinto, M., Zurita-Silva, A., Bazile, D., Jacobsen, S. E., & Molina-Montenegro, M. A. (2014). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 34, 349-359. **doi:10.1007/s13593-013-0195.**
3. Jancurova, M., Minarovičova, L., & Dandar A. (2009). Quinoa - a review. *Czech Journal of Food Science*, 27, 71-79.
4. Food and Agriculture Organization. (2023). **https://www.fao.org/faostat/ en/ #data/QCL**. [Online: 22 August 2023].
5. Aguilar, P. C., & Jacobsen, S. E. (2003). Cultivation of quinoa on the Peruvian altiplano. *Food Reviews International*. 19, 31-41. **doi:10.1081/FRI-120018866.**
6. Salehi, M., & Dehghani, F. (2018). Guide to planting, holding and harvesting quinoa in saline conditions. *Agricultural research, education and extension organization*. 96 p. [In Persian]
7. Samadzadeh, A. R., Zamani, G. R., & Fallahi, H. R. (2020). Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. *Applied Field Crops Research*. 33 (1), 82-104. [In Persian]. **doi:10.22092/AJ.2020.125793.1392.**
8. Najafinezhad, H., Koohi, N., & Darvishi, D. (2022). Evaluation of grain yield and quality of quinoa cultivars as affected by planting date and plant density in Jupar region of kerman. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 53 (1), 113-129. [In Persian]. **doi:10.22059/IJFCS.2021.311672.654761.**
9. Hirich, A., Choukr-Allah, R., & Jacobsen, S. E. (2014). Quinoa in Morocco – Effect of sowing dates on development and yield. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 1-7. **doi:10.1111/jac.12071.**
10. Bazile, D., Bertero, D., & Nieto, C. (2014). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. In Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Santiago, Chile, y Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Montpellier, Francia. 728 p.

11. AlKhamisi, S. A., Nadaf, S. K., Al-Jabri, N. M., Al-Hashmi, K. S., Al-Shirawi, A. I., Khan, R. R., Al-Sulaim, H. A., & Al-Azri, M. S. (2021). Productivity of Quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) Genotypes Across Different Agro-Ecological Regions of Oman. *The Open Agriculture Journal*. 15, 98-109. **doi:10.2174/1874331502115010098**.
12. Maliro, M. F., Guwela, V. F., Nyaika, J., & Murphy, K. M. (2017). Preliminary Studies of the Performance of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotypes under Irrigated and Rainfed Conditions of Central Malawi. *Frontiers in Plant Science*, 8, 227(1-9). **doi:10.3389/fpls.2017.00227.**
13. Naneli, I., Tanrikulu, A., & Dokuyucu, T. (2017). Response of the quinoa genotypes to different locations by grain yield and yield components. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 6, 446-451.
14. Rojas, W., Pinto, M., Alanoca, C., Gómez-Pando, L., León-Lobos, P., Alercia, A., Diulgheroff, S., Padulosi, S., & Bazile, D. (2015). Chapter1-5: "Quinoa genetic resources and ex situ conservation"in *State of the Art Report on Quinoa Around the World 2013,* eds Bazile, D., Bertero, D., and Nieto C. (Rome:FAO;CIRAD), 56-82.
15. Hinojosa, L., Kumar, N., Gill, K. S., & Murphy, K. M. (2019). Spectral reflectance indices and physiological parameters in quinoa under contrasting irrigation regimes. *Crop Science*. 59, 1927-1944. **doi:10.2135/cropsci 2018.11.0711.**
16. Algosaibi, A. M., El-Garawany, M. M., Badran, A. E., & Almadini, A. M. (2015). Effect of irrigation water salinity on the growth of quinoa plant seedlings. *Journal of Agricultural Science*. 7 (8), 205-214. **doi:10.5539/jas.v7n8p205.**
17. EL-Harty, E. H., Ghazy, A., Alateeq, T. K., Al-Faifi, S. A., Khan, M. A., Afzal, M., Alghamdi, S. S., & Migdadi, H. M. (2021). Morphological and Molecular Characterization of Quinoa Genotypes. *Agriculture*, 11 (4), 286 (1-16). **doi:10.3390/agriculture11040286.**
18. Kellogg, J. A., Reganold, J. P., Murphy, K. M., & Arpenter-Boggs, L. A. (2021). A Plant-Fungus Bioassay Supports the Classification of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as Inconsistently Mycorrhizal. *Plant Microbe Interactions*. Published online. **doi:10.1007/s00248-021-01710-1.**
19. Tan, M., & Temel, S. (2018). Performance of some quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes grown in different climate conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, 23 (2), 180-186. **doi:10.17557/tjfc. 485617.**
20. Laxa, M., Liebthal, M., Telman, W., Chibani, K., & Dietz, K. J. (2019). The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. *Antioxidants*. 8, 1-31. **doi:10.3390/antiox8040094.**
21. Jaikishun, S., Li, W., Yang, Z., & Song, S. (2019). Quinoa: in perspective of global challenges. *Agronomy*. 9, 1-15. **doi:10.3390/agronomy9040176.**
22. Oneto, C. D., Otegui, M. E., Baroli, I., Beznec, A., Faccio, P., Bossio, E., Blumwald, E., & Lewi, D. (2016). Water deficit stress tolerance in maize conferred by expression of an isopentenyltransferase (IPT) gene driven by a stress- and maturation-induced promoter. *Journal of Biotechnology*. 220, 66-77. **doi:10.1016/j.jbiotec.2016. 01.014.**
23. Nguyen, L. V., Bertero, D., Hoang, D. T., & Long, N. V. (2022). Variation in quinoa roots growth responses to drought stresses. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208 (6), 830-840. **doi:10.1111/jac.12528.**
24. Salek Mearaji, H., Tavakoli, A., & Sepahvand, N. A. (2020). Evaluating the effect of cytokinin foliar application on morphological traits and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under optimal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*. 14 (4), 479-498. [In Persian]. **doi:10.30495/jcep.2021.679976.**
25. Lin, P. H., & Chao, Y. Y. (2021). Different Drought-Tolerant Mechanisms in Quinoa *(Chenopodium quinoa* Willd.)

and Djulis (*Chenopodium formosanum* Koidz.) Based on Physiological Analysis. *Plants*, 10 (11), 2279 (2-15). **doi:10.3390/plants10112279.**

26. Beyrami, H., Rahimian, M. H., Salehi, M., Yazdani Biouki, R., Shiran-Tafti, M., & Nikkhah, M. (2020). Effect of Irrigation Frequency on Yield and Yield Components of Quinoa (chenopodium quinoa) under Saline Condition. *Journal of agricultural science and sustainable production*. 30 (3), 347-357. [In Persian]
27. Kafi, M., & Rostami, M. (2009). Yield characteristics and oil content of three safflower. *Iranian journal of field crops research*. 5 (9), 121-132. **doi:10.22067/ GSC.V5I1.903.**
28. Salehi, M., Koocheki, A., & Nasiri Mahalati, M. (2003). Leaf nitrogen and SPAD reading as indicator for drought stress in wheat. *Iranian journal of field crops research.* 1 (2), 199-204. [In Persian]. **dor:20.1001.1.20081472. 1382.1.2.7.5.**
29. Monajem, S., Ahmadi, A., & Mohammadi, V. (2011). Effect of drought stress on photosynthesis, partitioning of photoassimilates and grain yield in rapeseed cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 13 (3), 533-547. [In Persian]. **dor:20.1001. 1.15625540.1390.13.3.7.5.**
30. Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M. S., Ba, D., Breidy, J., Hassan, L., Mohammed, M. I., Mambetov, O., Otambekova, M., Sepahvand, N. A., Shams, A., Souici, D., Miri, K., & Padulosi, S. (2016). Worldwide Evaluations of Quinoa: Preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in plant science.* 7, 1-18. **doi:10.3389/fpls. 2016.00850.**
31. Jacobsen, S. E. (2017). The scope for adaptation of quinoa in Northern Latitudes of Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 203, 603-613. **doi:10.1111/jac.12228.**
32. Bagheri, M. (2018). *Handbook of quinoa cultivation*. Seed and Plant Improvement Institute Publication. 48 p. [In Persian]
33. Maestro-Gait´an, I., Granado-Rodríguez, S., Orús, M. I., Matías, J., Cruz, V., Bola˜nos, L., & Reguera, M. (2022). Genotype-dependent responses to long-term water stress reveal different water-saving strategies in Chenopodium quinoa Willd. *Environmental and Experimental Botany*, 201, 1-12. **doi:10.1016/j.envexpbot.2022.104976.**
34. Bahrami, M., Talebnejad, R., & Sepaskhaj, A. R. (2021). Investigation of Water and Nitrogen Management on yield and yield components of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Bajgah (*Fars Province*). *Iranian Journal of Soil and Water Research.* 42 (8), 2049-2059. [In Persian]. **doi:10.22059/ ijswr.2021. 320412.668913.**
35. Jamali, S., Shaifan, H., & Sajadi, F. (2019). The effect of different seawater and deficit irrigation regimes on leaf properties of quinoa. *Water and Irrigation Management*. 8 (2), 177-191. [In Persian]. **doi:10.22059/JWIM. 2018.249473.585.**
36. Taaime, N., El Mejahed, K., Moussafir, M., Bouabid, R., Oukarroum, A., Choukr-Allah, R., & El Gharous, M. (2022). Early sowing of quinoa cultivars, benefits from rainy season and enhances quinoa development, growth, and yield under arid condition in Morocco. *Sustainability.* 14, 1-19. **doi:10.3390/su14074010.**
37. Rostami, M., & Mohammadi, H. (2018). Effect of plant density and temperature on yield and morpho-physiological traits of garlic (*Allium sativum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 34 (5), 766-780. [In Persian]. **doi:10.22092/ijmapr.2018.120542.2250.**
38. Wu, C., Wang, M., Dong, Y., Cheng, Z., & Meng, H. (2015). Growth, bolting and yield of garlic (*Allium sativum* L.) in response to clove chilling treatment. *Scientia Horticulturae,* 194, 43-52. **doi:10.1016/j.scienta.2015.07.018.**
39. Thiam, E., Allaoui, A., & Benlhabib, O. (2021). Quinoa productivity and stability evaluation through varietal and environmental interaction. *Plants*, 10 (4), 714 (1-14). **doi:10.3390/plants 10040714.**

40. Maamri, K., Zidane, O. D., Chaabena, A., Fiene, G., & Bazile, D. (2022). Adaptation of some quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.), grown in a saharan climate in Algeria. *Life*, 12 (11), 1854(1-22). **doi:10.3390/ life 12111854.**
41. Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., d'Andria, R., Iafelice, G., & Marconi, E. (2010). Field trial evaluation of two Chenopodium quinoa genotypes grown under rain-fed conditions in a typical Mediterranean environment in South Italy. *Journal of Agronomy and Crop Science.* 196 (6), 407-411. **doi:10.1111/ j.1439-037X.2010.00431x.**
42. Hashemzadeh, F., Roshdi, M., & Yarnia, M. (2011). Evaluation of Grain Yield and Some Agronomic Traits of Tow Corn (*Zea mays*) Varieties as a Second Crop under Drought Stress and Application of Cycocel. *Journal of Crop and Weed Ecophysiology*. 5 (1), 65-78. [In Persian]
43. Sepehri, A., Moddares Sanavi, A. M., Gharahyazi, B., & Yamini, Y. (2002). Effect of water deficit and different nitrogen rates on growth and development stages, yield and yield component of maize (*Zea mays* L.). *Iranian journal of crop sciences*. 4 (3), 184-195. [In Persian]
44. Mohammadi, F., Maleki, A., & Fathi, A. (2021). Effects of Drought Stress and Humic Acid on Plant Growth, Yield Quality and Its Components of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Crop Nutrition Science*, 7 (3), 11-23.
45. Saddiq, M. S., Wang, X., Iqbal, S., Hafeez, M. B., Khan, S., Raza, A., Iqbal, J., Maqbool, M. M., Fiaz, S., Qazi, M. A., & Bakhsh, A. (2021). Effect of water stress on grain yield and physiological characters of quinoa genotypes. *Agronomy*, 11 (10), 1934 (1-16). **doi:10.3390/agronomy11101934.**
46. Al-Naggar, A. M. M., Abd El-Salam, R. M., Badran, A. E. E., & El-Moghazi, M. M. (2017). Drought tolerance of five quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes and its association with other traits under moderate and severe drought stress. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 3, 1-13. **doi:10.9734/AJAAR/2017/37216.**
47. Fazeli, F., Akbari, G. A., Naderi Arefi, A., & Benakashani, F. (2021). Response of different quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes to planting date in terms of morphological traits, yield and yield components in Garmsar region. *Iranian Journal of Field Crop Science.* 52 (2), 41-49. [In Persian]. **doi:10. 22059/IJFCS.2020.303866.654725.**
48. Brenner, W. G., Ramireddy, E., Heyl, A., & Schmülling, T. (2012). Gene regulation by cytokinin in Arabidopsis. *Frontiers in Plant Science.* 3 (8), 1-22. **doi:10.3389/fpls.2012.00008.**
49. Gharineh, M. H., Bakhshandeh, A., Andarzian, B., & Shirali, M. **(**2019). Effects of sowing dates and irrigation levels on morphological traits and yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in Khuzestan. *Iranian Journal of Field Crop Science,* 50 (3), 149-156. [In Persian]. **doi:10.22059/ijfcs.2018. 209566.654135**
50. Kia, M., Bagheri, N., Babaeian Jelodar, N., & Bagheri, M. (2022). Investigation of Morphological and Genotypic Characteristics of Quinoa in Gorgan Region. *Journal of Crop Breeding*. 14 (43), 145-154. [In Persian]. **doi:10. 52547/jcb.14.43.145.**