



بررسی تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و عملکرد گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) تحت تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت

سیدحسین حسینی^۱، علی راحمی کاریزکی^{۲*}، عباس بیابانی^۳، علی نخزری مقدم^۲،
فاختک طلایی^۲

^۱دانشجوی دکتری زراعت، گروه امور زراعی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران
^۲استادیار گروه امور زراعی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران
^۳دانشیار گروه امور زراعی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۳

چکیده

سابقه و هدف: کینوا گیاهی یک‌ساله متعلق به خانواده تاج‌خروسیان با قدرت سازگاری بالا در محیط‌های مختلف بوده و تنها غذای گیاهی است که شامل تمام اسیدهای آمینه ضروری، ریزمغذی‌ها و ویتامین‌ها می‌باشد. رعایت تاریخ کاشت مناسب باعث تولید عملکرد اقتصادی بالاتر بدون صرف هزینه‌های اضافی خواهد شد و به گیاه اجازه خواهد داد که پتانسیل کامل رشدی خود را نشان دهد. تجزیه و تحلیل رشد گیاه توسط یک سری پارامترها انجام می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها شاخص سطح برگ (LAI)، تجمع ماده خشک (TDM)، سرعت رشد نسبی (RGR)، سرعت رشد محصول (CGR) و سرعت جذب خالص (NAR) است. افزایش سریع سطح برگ و حصول حداکثر LAI در آغاز حیات گیاه می‌تواند منجر به افزایش دریافت تشعشع، فتوسنتز و نهایتاً افزایش عملکرد گردد. سرعت رشد محصول از اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر تولید محصول و عملکرد است. مطالعات مختلف روی گیاه کینوا نشان داد که شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت فتوسنتز خالص تحت تأثیر تاریخ‌های کاشت مختلف قرار گرفت. هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت بر شاخص‌های رشدی و عملکرد گیاه کینوا بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در مجتمع گلخانه‌ای جهاد کشاورزی شهرستان خلیل‌آباد از توابع استان خراسان رضوی، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۲ تاریخ کاشت مختلف طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ انجام شد. تیمارهای کشت از ۱۵ اسفند و با فاصله هر ۱۵ روز یک‌بار صورت گرفت. طی آزمایش، روند تغییرات پارامترهای رشد شامل: LAI، TDM، RGR، CGR و NAR ارزیابی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تغییرات شاخص سطح برگ، در تاریخ‌های مختلف در ابتدای دوره رشد توسعه برگ‌ها روند کندی داشت که تا کمی قبل از ظهور گل‌آذین ادامه یافت، اما پس از آن شیب افزایش سطح برگ بیشتر شد و تا زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ ادامه داشت. با مسن شدن برگ‌ها، زرد شدن و ریزش برگ‌های پایین بوته، به واسطه سایه‌اندازی و انتقال مجدد مواد از برگ‌ها به دانه‌ها در دوره‌ی پر شدن دانه، این روند کاهش یافت و افت به نسبت سریعی در شاخص سطح برگ مشاهده شد. در مجموع دو سال بالاترین میزان تجمع ماده خشک مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ اسفند بود، ولی به طور کلی میزان

*مسئول مکاتبه: alirahemi@yahoo.com

تجمع ماده خشک در سال دوم کمتر از سال اول بود. سرعت رشد محصول نیز در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند در هر دو سال پژوهش بالاتر از بقیه به دست آمد. سرعت رشد محصول در سال دوم در مجموع کمتر از سال اول بود. که دلیل این امر مربوط تفاوت دما در دو سال آزمایش بود. سرعت رشد نسبی در طول فصل رشد کینوا یک روند نزولی داشت. میزان سرعت فتوسنتز خالص در بین تاریخ‌های کاشت از الگوی مشابهی پیروی نکرد، ولی در مجموع این پارامتر از اول فصل تا انتهای فصل رشد یک روند کاهشی را نشان داد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که بالاترین مقادیر شاخص‌های رشدی کینوا مربوط به تاریخ کاشت‌های اول بود. این امر بیانگر وجود شرایطی محیطی مناسب شامل دما و نور مناسب جهت حصول بهتر شاخص‌های رشدی در تاریخ‌های اول بود. به طور مثال بالاترین شاخص سطح برگ مربوط به تاریخ کاشت ۲۹ اسفند و ۳۰ فروردین طی دو سال آزمایش و یا سایر شاخص‌های رشدی در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند بالاترین مقادیر را دارا بود. بین تاریخ‌های کاشت مختلف از لحاظ میزان شاخص‌های رشدی مورد مطالعه تفاوت وجود داشت. به طور کلی، بهترین تاریخ کاشت برای این گیاه در شرایط آزمایش از ۱۵ اسفند تا ۱۵ فروردین بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، شاخص سطح برگ.

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa Willd*) گیاهی دانه‌ای و یک‌ساله متعلق به خانواده تاج‌خروسیان^۱ و تنها غذای گیاهی می‌باشد که شامل تمام اسیدهای آمینه ضروری، ریزمغذی‌ها و ویتامین‌ها است (۴). این گیاه در شرایط آب و هوایی سخت و خاک‌های فقیر رشد می‌کند و به علت داشتن تنوع ژنتیکی گسترده، سازگاری بالایی برای رشد در محیط‌های مختلف دارد (۳، ۹، ۱۶). این گیاه خودگرده‌افشان است اما دگرگرده‌افشانی در آن به میزان ۱۰ تا ۱۵ درصد نیز وجود دارد. کینوا گیاهی دولپه، با ساقه مستقیم به طول ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و برگ‌های پهن متناوب است. رنگ گل‌آذین، برگ و هم‌چنین بذر در ارقام مختلف آن متنوع است که این تنوع در رنگ، ناشی از حضور ترکیب بتاسیانین است (۲۵، ۳۶).

رعایت تاریخ کاشت مناسب یکی از فعالیت‌های مهم در زراعت کینوا است، زیرا یکنواختی سبز شدن بذر تأثیر به‌سزایی روی تراکم و عملکرد نهایی دانه

دارد (۷). کینوا یک محصول با توانایی بالا است که در برابر ترکیبی از عوامل محیطی نامطلوب مقاوم است (۱۷). یکی از مهم‌ترین اصول زراعت، انتخاب تاریخ کاشت مناسب جهت استفاده بهینه از منابع و تشعشع است (۱۹). هم‌چنین، زمان کاشت به دلیل تغییر در طول روز، دما، و احتمالاً رطوبت نسبی، تأثیر به‌سزایی در رشد و نمو و تولید گیاه طی فصل رشد داشته و یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی موثر در تولید تمامی محصولات است (۲۱، ۲۲).

پارامترهای اقلیمی مختلف شامل دما، بارندگی، رطوبت، سرعت باد، طول روز و میزان تبخیر می‌تواند بر شاخص‌های رشدی گیاه تأثیر متفاوت بگذارد که همه‌ی این عوامل می‌توانند تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گیرند. مهم‌ترین شاخص‌های رشدی که تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار می‌گیرند شامل شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و میزان جذب خالص هستند. در مطالعه اشراقی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۲) روی گیاه ارزن، مشخص شد که کاهش طول دوره رشد رویشی

رشد نسبی گیاه هست (۱۳). رامش و همکاران (۲۰۱۷) در گیاه کینوا گزارش کردند که شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت فتوسنتز خالص تحت تاثیر تاریخ‌های کاشت مختلف قرار گرفت (۳۱).

گیاه کینوا در طی چند سال اخیر وارد کشور ایران شده و تقریباً یک گیاه ناشناخته است و بیشتر مطالعات صورت گرفته، روی عملکرد و اجزای عملکرد این گیاه در شرایط تنش خشکی و شوری بوده است (۱۸، ۲۳، ۲۴، ۳۳)، از سوی دیگر به دلیل عدم وجود یک مطالعه جامع، تغییرات فتوترمال و فتوپریود بر روی رشد و نمو این گیاه در ایران بررسی نشده است، لذا هدف از انجام این پژوهش بررسی تغییرات شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و میزان فتوسنتز خالص گیاه کینوا در دوره‌های دمایی و نوری متنوع با استفاده از اعمال تاریخ‌های کاشت مختلف بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در اراضی مجتمع گلخانه‌ای جهاد کشاورزی شهرستان خلیل‌آباد در خراسان رضوی با طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۲ تاریخ کاشت مختلف طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ انجام شد. تیمار تاریخ‌های کاشت از ۱۵ اسفند و با فاصله هر ۱۵ روز یک‌بار اعمال شدند. رقم کشت شده در این پژوهش رقم Titicaca بود که رقمی با طول دوره رشد کوتاه، متحمل به تنش خشکی و شوری است. قبل از شروع آزمایش یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تهیه و جهت انجام تجزیه خاک به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۱). هم‌زمان با

به علت تأخیر در کاشت، یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر میزان سطح برگ بوده است به طوری که، گیاهانی که در تاریخ کاشت‌های اول کشت شده بودند فرصت بیشتری برای تولید سطح برگ داشتند، چرا که در تاریخ‌های کشت اول حداکثر تشعشع خورشیدی در منطقه وجود داشت (۵). افزایش سریع سطح برگ و حصول حداکثر شاخص سطح برگ در آغاز حیات گیاه می‌تواند منجر به افزایش دریافت تشعشع، فتوسنتز و نهایتاً افزایش عملکرد گردد (۴۱). مواد فتوسنتزی ذخیره شده در دانه‌ها حاصل فتوسنتز اندام‌های فتوسنتزکننده گیاه است. بنابراین، باید در طول تشکیل دانه نیز، میزان و دوام شاخص سطح برگ بالا باشد (۱). به علت نقش شاخص سطح برگ در میزان جذب نور، فتوسنتز و تعرق، تمامی خصوصیات رشد گیاه تحت تأثیر شاخص سطح برگ قرار می‌گیرد (۱۵، ۳۴). پراوین کادام و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای که روی کینوا انجام دادند بیان کردند که شاخص سطح برگ تحت تاثیر شرایط محیطی تغییر می‌کند (۳۰).

سرعت رشد محصول از اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر تولید محصول و عملکرد است (۳۵). توسعه کند سطح برگ موجب توسعه ضعیف پوشش گیاهی و جذب کمتر تشعشع خواهد شد که نهایتاً کاهش سرعت رشد محصول و به دنبال آن کاهش عملکرد خواهد شد (۳۸). سرعت رشد نسبی یکی از شاخص‌های رشدی گیاه است که تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار می‌گیرد. سرعت رشد نسبی، میزان فتوسنتز خالص و نسبت سطح برگ گیاه (سطح کل برگ به وزن کل گیاه) بیانگر اندازه نسبی بخش‌های فتوسنتزکننده گیاه می‌باشد. حداکثر سرعت جذب خالص در بوته‌های کوچکتر با وزن کمتر، روند افزایشی اندازه دستگاه فتوسنتزی و بافت‌های متابولیکی، از جمله دلایل به حداکثر رسیدن سرعت

ماه‌های آذر و بهمن اتفاق می‌افتد. تاریخ کاشت‌های اول و ۳۰ اردیبهشت به دلیل طغیان لاروهای برگ‌خوار، با سم حشره‌کش سایپرترین ۴۰ درصد سمپاشی شدند. به دلیل دمای بالا تاریخ کاشت‌های ۱۵ خرداد، ۳۰ خرداد، ۱۵ تیرماه و ۳۰ خرداد، ۱۵ خرداد، ۳۰ اردیبهشت، ۱۵ خرداد، ۳۰ خرداد، ۱۵ تیر و ۳۰ تیر در سال دوم سبز نشدند و یا با تراکم بسیار کم سبز شدند و از این‌رو، این تیمارها از طرح آزمایش حذف شدند.

آماده‌سازی زمین مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود NPK (کود کامل) به‌عنوان کود پایه به خاک اضافه شد. کرت‌های آزمایش با عرض دو متر شامل چهار ردیف ۵۰ سانتی‌متری و طول هر کرت نیز ۶ متر در نظر گرفته شد. بین هر واحد آزمایشی یک فاصله یک متری و بین هر بلوک یک فاصله ۱/۵ متری در نظر گرفته شد. آبیاری طرح هر ۱۰ روز یک‌بار و به صورت غرقابی انجام گرفت. وضعیت درجه حرارت هوا در سال انجام آزمایش در شکل یک نشان داده شده است. دوره یخبندان در منطقه آزمایش بیشتر در

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مزرعه محل انجام آزمایش.

Table 1- Soil farm properties in the experiment place.

رس (درصد)	لای (درصد)	ماسه (درصد)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	مواد آلی (درصد)	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته (pH)
Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Potassium (mg.kg ⁻¹)	Phosphorus (mg.kg ⁻¹)	Nitrogen (mg.kg ⁻¹)	Organic matter (%)	Ec (dS/m)	
12	46	42	232	3.8	0.021	0.232	1.828	7.81

شد، که در آن ضرایب a، b و c به ترتیب، سرعت تولید سطح برگ، زمان لازم برای رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ و سرعت کاهش سطح برگ می‌باشند (۱۱). برای توصیف روند تجمع ماده خشک در طول زمان از معادله لجستیک دیگری (معادله ۲) استفاده شد (۴۱).

معادله ۱:

$$LAI = \frac{((a * \exp((-a) * (x - b)) * c) / ((1 + \exp((-a) * (x - b)))) * 2$$

معادله ۲:

$$TDM = \frac{DM \max}{(1 + e^{(-a)(dap - b)})}$$

که در این معادله dap، روز پس از کشت، a ضریب معادله، b مدت زمانی که در آن تجمع ماده خشک به ۵۰ درصد حداکثر خود می‌رسد، DM max حداکثر ماده خشک تولید شده (گرم در مترمربع)، t روز پس از کاشت و TDM تجمع ماده خشک می‌باشد. مشتق معادله تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول را نشان می‌دهد.

در این پژوهش صفات مربوط به شاخص‌های رشدی اندازه‌گیری و محاسبه شد. جهت سنجش سطح برگ ابتدا برگ‌ها در روی یک صفحه سفید کنار هم چیده شد و سپس به صورت عمودی از برگ‌ها یک عکس با کیفیت بالا گرفته و تصویر حاصل به نرم‌افزار Image منتقل گردید و سطح برگ محاسبه شد. در هر مرحله، سطح برگ ۳ بوته اندازه‌گیری شد. سپس قسمت‌های مختلف گیاه شامل برگ، ساقه و گل‌آذین از هم جدا شد و به صورت مجزا در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردیدند. در این پژوهش پارامترهای رشد، شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد نسبی (RGR)، سرعت رشد محصول (CGR) و سرعت جذب خالص (NAR) ارزیابی شد. به منظور محاسبه روند تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل روز پس از کاشت از معادله‌ی لجستیک پیک (معادله ۱) استفاده

Excel و رسم شکل‌ها با نرم افزار SAS (ver. 9.4) صورت گرفت.

نتایج و بحث

شرایط آب و هوایی: در شکل شماره یک میزان بارندگی، متوسط درجه حرارت، میزان رطوبت نسبی و حداکثر سرعت باد و ساعات آفتابی در ماه‌های انجام پژوهش آورده شده است.

معادله ۳:

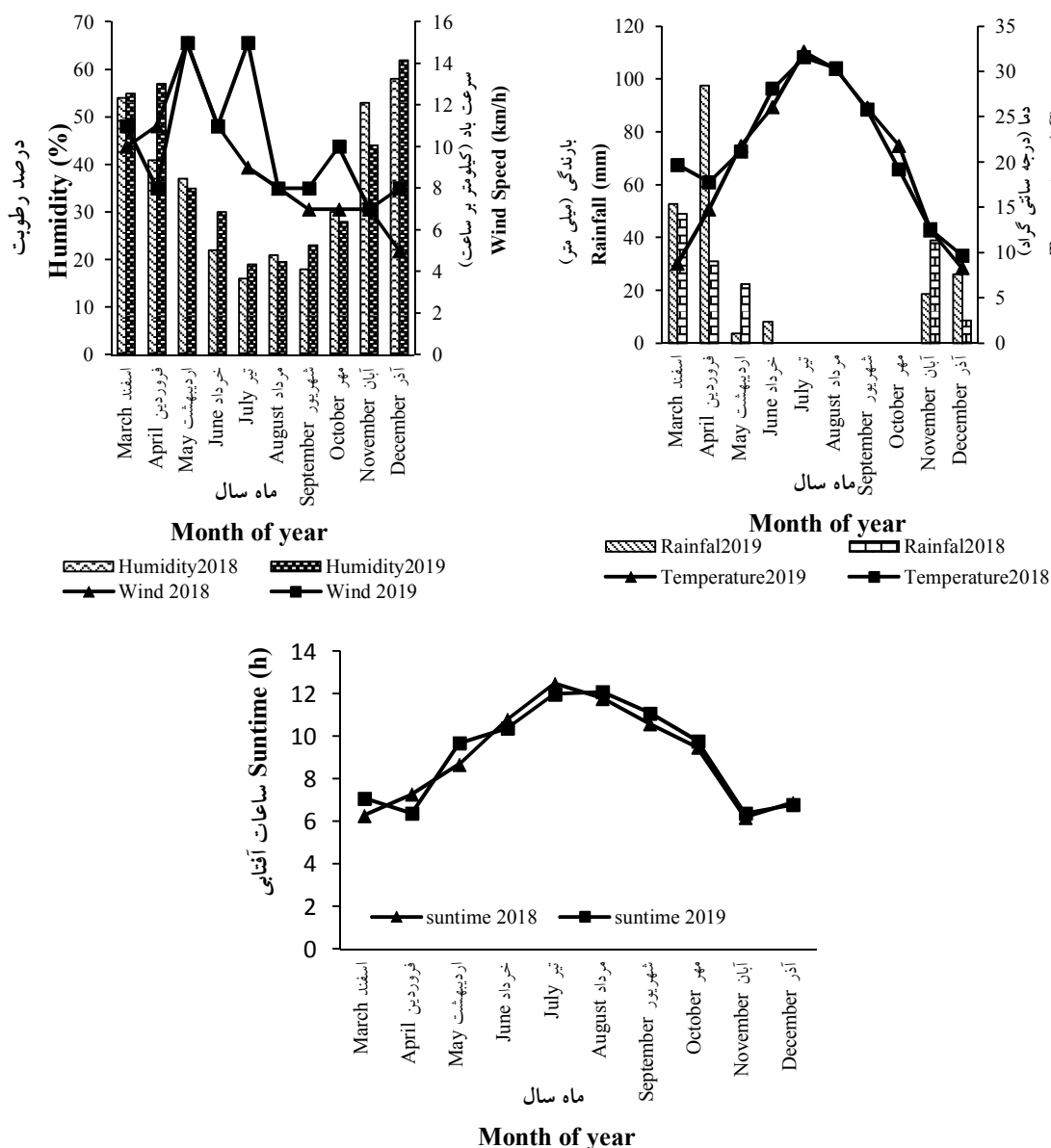
$$CGR = (b * EXP (-b * (t - c)) * a) / (1 + EXP (-b * (t - c)))^2$$

همچنین، برای محاسبه RGR از معادله ۴ و برای محاسبه NAR از معادله ۵ استفاده شد.

معادله ۴: $RGR = CGR / TDM$

معادله ۵: $NAR = CGR / LAI$

همبستگی شاخص‌های رشدی با پارامترهای اقلیمی محاسبه گردید. آنالیزهای مورد نیاز در نرم‌افزار

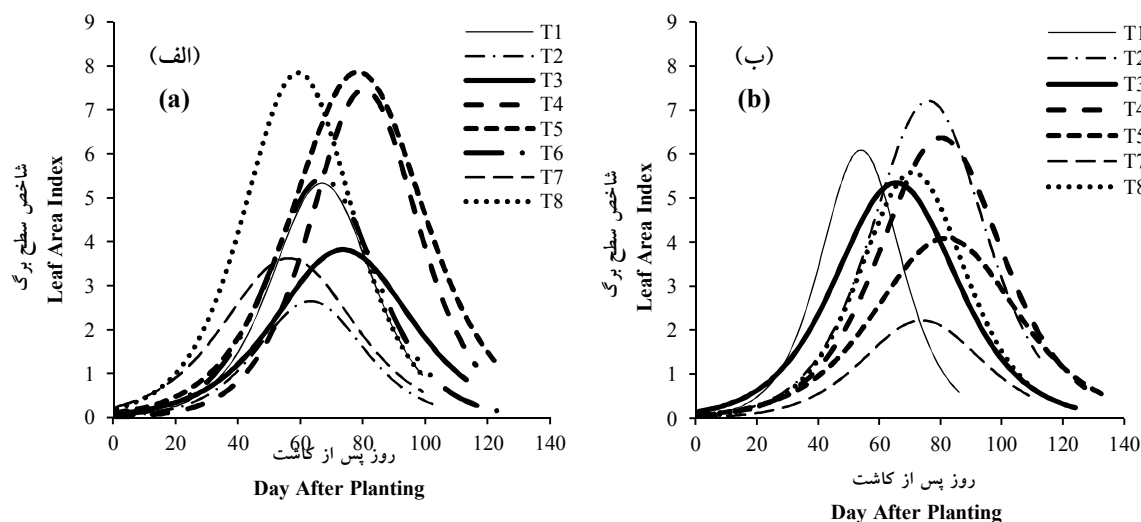


شکل ۱- روند دما، بارندگی، سرعت باد و درصد رطوبت در طول دوره آزمایش. Figure1- Trend of temperature, rainfall, wind speed and humidity during the experiment period.

افزایش سطح برگ بیشتر شد و تا زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ ادامه داشت. با مسن شدن برگ‌ها، زرد شدن و ریزش برگ‌های پایین بوته، به واسطه سایه‌اندازی و انتقال مجدد مواد از برگ‌ها به دانه‌ها در دوره‌ی پرشدن دانه، این روند کاهش یافت و افت نسبتاً سریعی در شاخص سطح برگ مشاهده شد. نتایج نشان داد که تقریباً در تمامی تاریخ‌های کاشت افت سریع شاخص سطح برگ از مرحله تغییر رنگ گل‌آذین به بعد بود. در سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ تاریخ کاشت اول فروردین در تمام مراحل رشد از شاخص سطح برگ کمتری در مقایسه با بقیه تاریخ‌های کاشت برخوردار بود. علاوه بر تاریخ کاشت اول فروردین، تاریخ کاشت‌های ۱۵ فروردین و ۱۵ مرداد نیز جزو پایین‌ترین شاخص برگ‌ها بودند. این در حالی بود که تاریخ کاشت ۳۰ مرداد، اول و نیمه اردیبهشت از شاخص سطح برگ بالاتری نسبت به بقیه برخوردار بود.

میزان بارندگی در سال دوم آزمایش در ماه‌های اسفند و فروردین بیشتر از سال اول بود. علاوه بر آن درجه حرارت‌های این دو ماه در سال زراعی دوم کمتر از سال اول پژوهش بود. میزان رطوبت نسبی در سال دوم پژوهش در اغلب ماه‌های آزمایش بیشتر از سال اول آزمایش بود. میزان حداکثر سرعت باد نیز در سال دوم پژوهش در اغلب ماه‌ها بیشتر از سال اول پژوهش بود.

شاخص سطح برگ: برآزش معادله و ضرایب رگرسیونی نشان داد که تغییرات شاخص سطح برگ از یک تابع لجستیک تبعیت می‌کند که روند آن برای همه تاریخ‌های کاشت در هر دو سال زراعی یکسان بود (جدول ۲). روند تغییرات شاخص سطح برگ، برای هر دو سال زراعی در تاریخ‌های مختلف در شکل دو نشان داده شده است. در تمام تاریخ کاشت‌ها و برای هر دو سال آزمایش در ابتدای دوره رشد توسعه برگ‌ها روند کندی داشت که تا کمی قبل از ظهور گل‌آذین ادامه یافت، اما پس از آن شیب



شکل ۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ در تاریخ‌های کاشت مختلف در سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ (الف) و ۱۳۹۷-۹۸ (ب). ۱۵ اسفند (T1)، ۲۹ اسفند (T2)، ۱۵ فروردین (T3)، ۳۰ فروردین (T4)، ۱۵ اردیبهشت (T5)، ۳۰ اردیبهشت (T6)، ۱۵ مرداد (T7)، ۳۰ مرداد (T8).

Figure 2- Trend of changes of leaf area index in different sowing dates in 2018 (a) and 2019 (b). March 5th (T1), March 20th (T2), April 4th (T3), April 19th (T4), May 5th (T5), May 20th (T6), August 6th (T7), August 21th (T8).

آزمایش، بیشترین میزان شاخص سطح برگ مربوط به تاریخ کاشت ۲۹ اسفند و کمترین مقدار آن مربوط به تاریخ کاشت نیمه مرداد ماه بود (شکل ۲، جدول ۲). شاخص سطح برگ در سال دوم نسبت به سال اول تا حدودی کاهش یافت. احتمالاً دلیل این کاهش را می‌توان به تغییرات دمایی و افزایش میزان باد در سال دوم نسبت به سال اول مرتبط دانست. میزان باد در ماه‌های تابستان در سال دوم بیشتر از سال اول پژوهش بود که این امر از طریق تاثیر بر میزان تبخیر و تعرق باعث کاهش سطح برگ گیاه در این سال گردید (شکل ۱). نتایج این پژوهش با نتایج فروغی و همکاران (۲۰۱۹) در گیاه کلزا مطابقت داشت (۸).

علت افزایش سریع و مناسب‌تر شاخص سطح برگ تاریخ کاشت‌های اول شهریور، اول و نیمه اردیبهشت نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت را می‌توان به وجود دمای مساعدتر برای رشد برگ‌ها و بهره‌برداری بهتر از پتانسیل محیط نسبت داد. عدم تاریخ کاشت مناسب سبب می‌شود گیاه نتواند از پتانسیل محیط به خوبی استفاده نماید و سطح برگ کافی جهت دریافت تشعشع تولید کند. این امر موجب می‌گردد در اثر رعایت نکردن تاریخ کاشت مناسب، گیاه سطح برگ کمتری و به دنبال آن ماده خشک کمتری تولید کند. در مطالعه حاضر نیز همبستگی مثبت بین شاخص سطح برگ با تجمع ماده خشک مشاهده گردید (جدول ۳).

تفاوت در زمان به حداکثر رسیدن شاخص سطح برگ (X max) و نیز حداکثر این شاخص در این زمان، بین تاریخ‌های کاشت مختلف مشاهده گردید. تاریخ‌های کاشت از ۶۰ تا ۸۰ روز بعد از کاشت به حداکثر شاخص سطح برگ خود رسیدند. در تاریخ کاشت نیمه اسفند، شاخص سطح برگ ۶۷ روز پس از زمان کاشت به حداکثر خود رسید، درحالی‌که در تاریخ کاشت‌های ۲۹ اسفند، ۱۵ فروردین، ۳۰ فروردین، ۱۵ اردیبهشت، ۳۰ اردیبهشت، ۱۵ مرداد و ۳۰ مرداد میانگین تعداد روز تا رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ به ترتیب ۶۳، ۷۴، ۸۰، ۷۹، ۶۷، ۶۰ و ۵۹ روز از زمان کاشت بود (جدول ۲).

در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ گیاه در تاریخ کاشت‌هایی که انتهای دوره رشد به فصول سرد سال برخورد کرد خیلی سریع‌تر به حداکثر شاخص سطح برگ خود رسید (۵۹ و ۶۰ روز پس از کاشت) (جدول ۲). تغییرات تاریخ کاشت علاوه بر زمان به حداکثر رسیدن شاخص سطح برگ حداکثر شاخص سطح برگ را نیز تحت تأثیر قرار داد. بیش‌ترین میانگین حداکثر شاخص سطح برگ بر اساس خط منحنی رگرسیونی مربوط به تاریخ کاشت‌های ۱۵ اردیبهشت و ۳۰ مرداد، معادل ۷/۹ واحد بود. این شاخص برای تاریخ کاشت ۲۹ اسفند با مقدار ۲/۷ کمترین مقدار بود. زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ از ۶۵ تا ۸۲ روز بعد از کاشت مشاهده گردید (جدول ۲). در سال دوم

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های رشدی و پارامترهای اقلیمی گیاه کینوا طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸. 3- Correlation coefficients between growth characteristics and climatic parameters of quinoa during two crop years 2018 and 2019.

Mean temperature (°C) (1)	میانگین دما	Rainfall (mm) (2)	بارشگی	Sun time(h) (3)	ساعت آفتابی	Humidity (%) (4)	درصد رطوبت	wind speed (km.h ⁻¹) (5)	سرعت باد	Evaporation (mm) (6)	بخار	Mean LAI (7)	میانگین شاخص سطح برگ	Mean TDM (8)	میانگین تجمع ماده خشک	Mean CGR (9)	میانگین سرعت رشد محصول	Mean RGR (10)	میانگین سرعت رشد نسبی	Mean NAR (11)	میانگین سرعت فتوسنتز جالب	Seed Yield (12)	عملکرد دانه		
1		1																							
-0.488 ^{ns}		1																							
0.871 ^{**}		-0.685 [*]	1																						
-0.855 ^{**}		0.829 ^{**}	-0.880 ^{**}	1																					
0.650 ^{**}		0.209 ^{ns}	0.296 ^{ns}	-0.222 ^{ns}	1																				
0.977 ^{**}		-0.507 [*]	0.911 ^{**}	-0.853 ^{**}	0.568 [*]	1																			
0.086 ^{ns}		0.033 ^{ns}	-0.029 ^{ns}	-0.034 ^{ns}	-0.006 ^{ns}	0.113 ^{ns}	1																		
0.138 ^{ns}		-0.044 ^{ns}	-0.139 ^{ns}	-0.201 ^{ns}	0.111 ^{ns}	0.042 ^{ns}	0.563 [*]	1																	
-0.345 ^{ns}		0.478 [*]	-0.652 ^{**}	0.400 ^{ns}	0.114 ^{ns}	-0.468 ^{ns}	0.320 ^{ns}	0.738 ^{**}	1																
-0.263 ^{ns}		0.538 [*]	-0.343 ^{ns}	0.510 [*]	0.275 ^{ns}	-0.303 ^{ns}	-0.197 ^{ns}	-0.075 ^{ns}	0.284 ^{ns}	1															
-0.038 ^{ns}		0.120 ^{ns}	-0.193 ^{ns}	0.037 ^{ns}	0.211 ^{ns}	-0.143 ^{ns}	0.012 ^{ns}	0.539 [*]	0.639 [*]	0.114 ^{ns}	1														
-0.654 ^{**}		0.738 ^{**}	-0.691 ^{**}	0.833 ^{**}	0.011 ^{ns}	-0.663 ^{**}	-0.284 ^{ns}	-0.350 ^{ns}	0.297 ^{ns}	0.498 [*]	0.137 ^{ns}	1													

جدول ۲- ضرایب (a, b و c) معادله پیش‌بینی تغییرات شاخص سطح برگ در تاریخ‌های کاشت مختلف در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷: تعداد مشاهدات (n)، حداکثر شاخص سطح برگ (LAI max) و ضریب تبیین (R²).

Table 2- Estimated logistic model coefficients (a, b and c) of leaf area index in different sowing dates in 2017-2018 and 2018-2019. Number of Sample (n), LAI max is maximum leaf area, Coefficient of Determination (R²).

سال Year	تاریخ کاشت Planting date	N	a±SE	b±SE	c±SE	LAI max	R ²
۱۳۹۶-۹۷ 2018	March 5th اسفند ۱۵	6	0.093±0.02	66±2.96	229.4±38.3	5.3	0.92
	March 20th اسفند ۲۹	6	0.088±0.01	63.03±2.2	121.1±15.4	2.7	0.96
	April 4th فروردین ۱۵	8	0.07±0.01	73.64±2.9	219.3±26.2	3.8	0.89
	April 19th فروردین ۳۰	8	0.087±0.01	80.2±2.5	343±42.2	7.5	0.92
	May 5th اردیبهشت ۱۵	7	0.071±0.01	78.2±3.2	444.9±58	7.9	0.93
	May 20th اردیبهشت ۳۰	6	0.087±0.01	66.8±0.8	251.5±9.3	5.4	0.99
	August 6th مرداد ۱۵	6	0.072±0.01	56.2±2.97	201.1±26.5	3.6	0.94
August 21th مرداد ۳۰	6	0.086±0.02	59.2±2.4	365.7±47.3	7.9	0.94	
۱۳۹۷-۹۸ 2019	March 5th اسفند ۱۵	7	0.11±0.01	77.9±1.1	214±14	6.1	0.98
	March 20th اسفند ۲۹	7	0.081±0.01	75.88±2.5	357.7±40.2	7.2	0.94
	April 4th فروردین ۱۵	8	0.076±0.01	65.4±2.2	281.9±27.5	5.4	0.94
	April 19th فروردین ۳۰	9	0.076±0.01	80±1.1	340.4±15.9	6.4	0.99
	May 5th اردیبهشت ۱۵	7	0.078±0.01	82.3±2.4	284.4±29.9	4.1	0.94
	August 6th مرداد ۱۵	6	0.078±0.01	73.5±4	118.7±19.2	2.2	0.91
	August 21th مرداد ۳۰	7	0.087±0.01	70.7±1.4	257.4±17.7	5.6	0.97

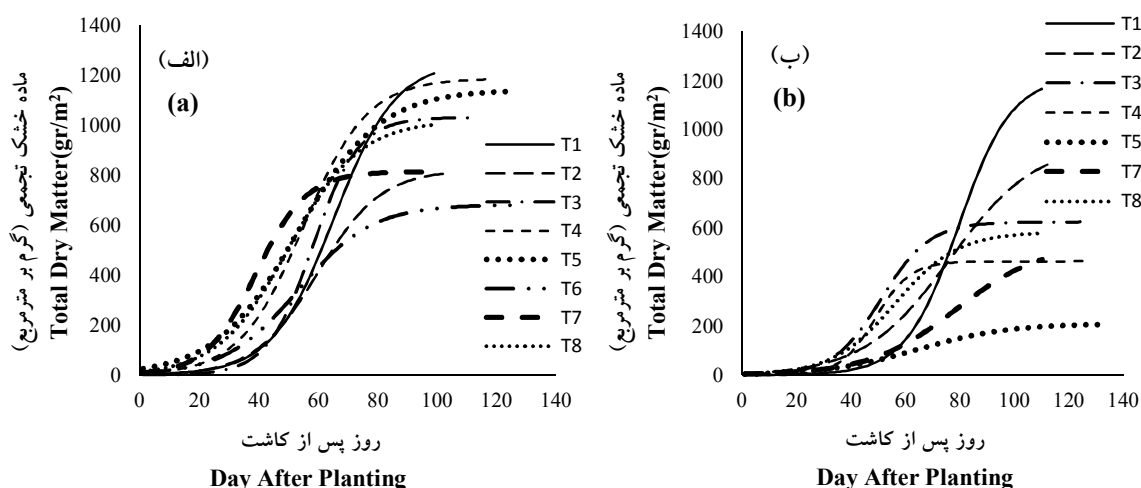
بنابراین اختلاف بین میزان شاخص سطح برگ در تاریخ‌های مختلف کشت را می‌توان به این موضوع نسبت داد. به عبارت دیگر، در تاریخ کاشت‌های نامطلوب قبل از اینکه سطح برگ به طور کامل توسعه یابد، گیاه زودتر وارد مرحله زایشی شده و در نتیجه میزان شاخص سطح برگ در این تیمارها کاهش می‌یابد. همبستگی بین شاخص سطح برگ با تجمع ماده خشک در مجموع دو سال مثبت بود.

ماده خشک کل: نتایج نشان داد که استفاده از معادله لجستیک (معادله ۲) (با هدف محاسبه زمان حصول ۵۰ درصد عملکرد ماده خشک و حداکثر ماده خشک تولیدی استفاده شد)، توصیف خوبی از تجمع ماده خشک را نشان داد، به نحوی که مقادیر ضرایب تبیین همگی بزرگتر از ۰/۹۵ بودند (جدول ۴). روند تغییرات تجمع ماده خشک در تاریخ کاشت‌های

بررسی ارتباط بین میزان شاخص برگ و دما در طی دو سال نشان داد که روند تغییرات شاخص سطح برگ با دما از یک رابطه نمایی پیروی می‌کند به گونه ای که بالاترین میزان شاخص سطح برگ در دماهای بین ۲۵ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید (شکل ۲). به عبارتی شاید بتوان این گونه بیان کرد که دمای مطلوب برای توسعه سطح برگ در گیاه کینوا در شرایط این پژوهش همان محدوده ۲۵ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد است. توسعه ی کند سطح برگ، موجب توسعه ی ضعیف پوشش گیاهی و جذب کمتر تشعشع می‌شود که در نهایت کاهش تولید را به دنبال دارد. یکی از عوامل موثر بر توسعه و گسترش سطح برگ در گیاهان زراعی اختلاف درجه حرارت می‌باشد (۲۶). بنابراین، با توجه به اینکه در تاریخ‌های مختلف کشت گیاهان درجه حرارت‌های مختلفی را برای رسیدن به یک مرحله خاص نمودی دریافت می‌کنند،

کاشت‌ها از نظر حداکثر تجمع ماده خشک و زمان رسیدن به نصف حداکثر تجمع ماده خشک اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۴). در سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ تاریخ کاشت‌های ۳۰ اردیبهشت و ۱۵ مرداد کمترین تجمع ماده خشک را دارا بود. افزایش تجمع ماده خشک در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند را می‌توان به دلیل دما و طول روز مطلوب طی فصل رشد گیاه دانست. بنابراین، گیاهان کشت شده در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند نسبت به تاریخ کاشت‌های ۳۰ اردیبهشت و ۱۵ مرداد فرصت بیشتری برای استفاده از عوامل محیطی و افزایش در تجمع وزن خشک داشتند (شکل ۳).

مختلف طی دو سال آزمایش مشابه بود. گیاه در مراحل اولیه، رشد کندی داشته و افزایش وزن خشک در این دوره نسبت به زمان، ناچیز بود. در این دوره فعالیت گیاه منحصر به تولید برگ و افزایش وزن خشک در برگ‌ها بوده است. سپس، گیاه وارد مرحله رشد خطی می‌شود، در این مرحله گیاه دارای رشد سریع می‌باشد و وزن خشک کل گیاه به سرعت افزایش می‌یابد. این امر ناشی از افزایش تجمع ماده خشک در برگ‌ها و ورود گیاه به مرحله ساقه‌روی و افزایش سریع وزن خشک ساقه‌ها است. مرحله سوم رشد، پس از رشد خطی آغاز می‌شود، در این مرحله به دلیل پیری و کاهش سطح برگ، روند تجمع ماده خشک کند می‌گردد. نتایج نشان داد بین تاریخ



شکل ۳- روند تغییرات تجمع ماده خشک در تاریخ‌های کاشت مختلف در سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ (الف) و ۱۳۹۷-۹۸ (ب). ۱۵ اسفند (T1)، ۲۹ اسفند (T2)، ۱۵ فروردین (T3)، ۳۰ فروردین (T4)، ۱۵ اردیبهشت (T5)، ۳۰ اردیبهشت (T6)، ۱۵ مرداد (T7)، ۳۰ مرداد (T8).

Figure 3- Trend of changes of cumulative dry matter in different sowing dates in 2018 (a) and 2019 (b). March 5th (T1), March 20th (T2), April 4th (T3), April 19th (T4), May 5th (T5), May 20th (T6), August 6th (T7), August 21th (T8).

زمان رسیدن به حداکثر وزن خشک در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند بیشتر از سایر تاریخ‌های کاشت بود (به ترتیب ۶۵ و ۷۹ روز) (جدول ۴). تاریخ کاشت دیر هنگام در قیاس با تاریخ کاشت به موقع باعث کاهش تجمع ماده خشک و بالطبع سبب کاهش محصول می‌گردد. در کشت تأخیری،

در سال دوم میزان تجمع وزن خشک کاهش چشم‌گیر داشت. البته قابل ذکر است که تاریخ کاشت ۱۵ اسفند از این قاعده مستثنی بود. بیشترین تجمع ماده خشک در سال دوم مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ اسفند و کمترین مقدار آن مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت بود (شکل ۴). در هر دو سال آزمایش

افزایش سرعت رشد و تجمع مواد فتوسنتزی بیشتر می‌شود (۲). در مطالعه هینوجوزا و همکاران (۲۰۱۹) دمای بالا سبب بهبود سرعت فتوسنتز گیاه کینوا شد. آن‌ها دریافتند که کینوا در پاسخ به درجه حرارت بالا دارای انعطاف‌پذیری بالایی است (۱۴).

این امر در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند به‌ویژه در سال دوم کاملاً مشهود بود (شکل ۳). در این آزمایش تاریخ کاشت‌های نامناسب به دلیل کاهش طول دوره رشد و مصادف شدن مراحل زایشی با گرمای آخر فصل موجب کاهش تجمع ماده خشک گردید. این امر در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت به شدت قابل مشاهده بود (شکل ۳).

گیاه فرصت کافی جهت استفاده از امکانات محیط را ندارد و قادر نخواهد بود عملکردی در حد مطلوب تولید نماید (۶). ویدن (۲۰۰۰) اظهار داشت که عملکرد ماده خشک مستقیماً با مقدار تشعشع جذب شده به‌وسیله برگ‌های گیاه در مدت زمان کاشت تا برداشت ارتباط دارد و تأخیر در تاریخ کاشت تولید ماده خشک را کاهش می‌دهد (۴۰). دمای مطلوب طی دوره رشد و نمو گیاه منجر به جوانه‌زنی زود، سریع و یکنواخت بذر می‌شود و در نتیجه باعث سبز شدن مطلوب و رشد اولیه سریع در گیاهان می‌گردد و این امر به نوبه خود باعث دریافت بیشتر تشعشع خورشیدی و رشد و توسعه بیشتر برگ‌ها و در نهایت

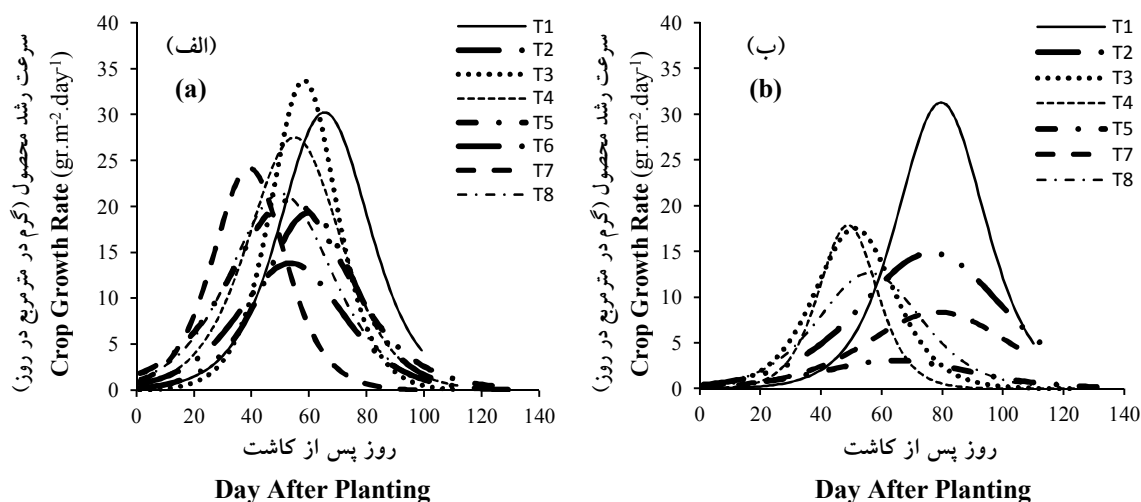
جدول ۳- ضرایب معادله لجستیک جهت پیش‌بینی تجمع ماده خشک در تاریخ‌های کاشت مختلف در سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸: تعداد نمونه‌برداری (N)، ضریب معادله (a)، مدت زمانی که تجمع ماده خشک به ۵۰ درصد حداکثر خود می‌رسد (b) (برحسب روز)، حداکثر ماده خشک تولید شده (DM_{max}) (گرم در مترمربع)، و ضریب تبیین (R^2) نیز آورده شده است.

Table 3- Estimated logistic model coefficients of (equation 2) dry matter in different sowing dates in 2018 and 2019, number of samples (n), a is equation coefficient, b is time requiring to achieve 50% of maximum dry matter, DM_{max} is maximum dry matter ($gr.m^{-2}$), coefficient of determination (R^2).

سال Year	تاریخ کاشت Planting date	N	a±SE	b±SE	DM_{max} ±SE	R^2
۱۳۹۶-۹۷ 2018	March 5th اسفند ۱۵	6	0.096±0.02	65.25±3.2	1256.8±111.4	0.99
	March 20th اسفند ۲۹	6	0.094±0.03	59.77±4.3	824±94	0.97
	April 4th فروردین ۱۵	8	0.131±0.02	58.1±0.9	1034.4±23.8	0.99
	April 19th فرودین ۳۰	8	0.093±0.005	54.86±0.8	1189.4±16.8	0.99
	May 5th اردیبهشت ۱۵	7	0.072±0.01	52.9±3.3	1145.5±66	0.99
	May 20th اردیبهشت ۳۰	6	0.081±0.01	53.3±1.7	684±20.4	0.99
	August 6th مرداد ۱۵	6	0.119±0.005	38.99±0.4	816.5±6.5	0.99
	August 21th مرداد ۳۰	6	0.084±0.03	50.1±5.4	1020.2±118.6	0.96
۱۳۹۷-۹۸ 2019	March 5th اسفند ۱۵	7	0.103±0.05	79.5±5.2	1215.5±194.8	0.95
	March 20th اسفند ۲۹	7	0.063±0.01	76.3±2.7	947.1±54.7	0.99
	April 4th فروردین ۱۵	8	0.113±0.02	51±1.9	624.2±23.7	0.99
	April 19th فرودین ۳۰	9	0.155±0.03	48.77±1.3	463±9.1	0.99
	May 5th اردیبهشت ۱۵	7	0.06±0.01	64.3±3.9	211.1±9.4	0.99
	August 6th مرداد ۱۵	6	0.063±0.02	78.37±7.7	536.9±91.9	0.98
	August 21th مرداد ۳۰	7	0.087±0.03	55.99±4.7	583.2±55.2	0.96

سرعت رشد محصول: سرعت رشد محصول در هماهنگی با شاخص سطح برگ در هر دو سال آزمایش در اوایل دوره رشد پایین بود و به تدریج با گذشت زمان روند صعودی یافت و پس از رسیدن به حداکثر، با پیری و ریزش برگ‌ها و پایین آمدن سطح فتوسنتزکننده کاهش یافت. در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین و ۱۵ اسفند بیشترین سرعت رشد محصول وجود داشت. کمترین سرعت رشد محصول نیز مربوط به تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت بود. زمان رسیدن به حداکثر سرعت رشد در تاریخ‌های کاشت مختلف بین ۳۹ تا ۶۵ روز بعد از کاشت متفاوت بود. تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بعد از ۳۹ روز به حداکثر سرعت رشد محصول و تاریخ کاشت ۱۵ اسفند بعد از ۶۵ روز از کاشت به حداکثر سرعت رشد محصول خود دست پیدا کرد (شکل ۴).

تئور (۱۹۹۹) نیز بیان داشت که تأخیر در کاشت موجب می‌شود گیاه نتواند از پتانسیل محیطی به خوبی استفاده کند و این امر موجب می‌شود تولید ماده خشک کمتری از گیاه حاصل شود (۳۷). همان‌طور که قبلاً بیان گردید تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت جزو تاریخ‌های کاشتی بود که از شاخص سطح برگ کمتری نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت برخوردار بود، این امر سبب کاهش سطح فتوسنتزکننده، کاهش فتوسنتز خالص و در نتیجه کاهش ماده خشک تجمع یافته در این تاریخ کاشت گردید. همبستگی بین تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و سرعت فتوسنتز خالص در این آزمایش نیز موید این مطلب است (جدول ۳).



شکل ۴- روند تغییرات سرعت رشد محصول در تاریخ‌های کاشت مختلف در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ (الف) و ۹۸-۱۳۹۷ (ب). (T1) اسفند ۱۵، (T2) اسفند ۲۹، (T3) فروردین ۱۵، (T4) فروردین ۳۰، (T5) اردیبهشت ۱۵، (T6) اردیبهشت ۳۰، (T7) مرداد ۱۵، (T8) مرداد ۳۰
 Figure 4- Trend of changes of crop growth rate in different sowing dates in 2018 (a) and 2019 (b). March 5th (T1), March 20th (T2), April 4th (T3), April 19th (T4), May 5th (T5), May 20th (T6), August 6th (T7), August 21st (T8).

کمترین سرعت رشد را نشان داد (جدول ۳). سرعت رشد محصول در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ تمامی تاریخ‌های کاشت به استثناء تاریخ کاشت ۱۵ اسفند افت شدیدی نسبت به سال اول آزمایش داشت.

دلیل بالا بودن سرعت رشد در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند را می‌توان بیشتر بودن ماده خشک جمعی در این تاریخ کشت دانست و تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت به علت داشتن ماده خشک جمعی کمتر،

با توجه به شکل چهار مشاهده می‌شود از لحاظ حداکثر سرعت رشد محصول بین تاریخ کاشت‌های مختلف تفاوت معنی‌دار وجود داشت و با کاشت در زمان نامناسب به دلیل کافی نبودن پوشش گیاهی، پایین بودن درصد جذب نور و گرمای زودرس در انتهای فصل از سرعت رشد محصول کاسته شد. به طوری که بیشترین سرعت رشد محصول در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند و کمترین سرعت رشد محصول نیز در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت مشاهده شد. به نظر می‌رسد که شرایط محیطی نامناسب در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت باعث توسعه کند سطح برگ، توسعه ضعیف پوشش گیاهی، جذب کمتر تشعشع و کاهش دوره رشد و نمو شده و در نتیجه باعث کاهش تولید ماده خشک گردیده و در نهایت کاهش سرعت رشد را به دنبال داشته است. سرعت رشد محصول در مراحل اولیه به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و همچنین درصد کم نور خورشید که توسط گیاهان جذب می‌شود کم می‌باشد، اما با نمو گیاهان زراعی افزایش می‌یابد. زیرا سطح برگ افزایش یافته و نور کمتری از میان کانوپی به سطح خاک نفوذ می‌کند. این نتیجه‌گیری با نتایج حاصل از غیاث‌آبادی و همکاران (۲۰۱۴) در گیاه ذرت مطابقت می‌کند (۱۲).

علت اصلی روند نزولی سرعت رشد محصول در طول دوره پایانی رشد مربوط به کاهش مقدار شاخص سطح برگ و نیز کاهش شدت تشعشع در آخر فصل می‌باشد که خود متأثر از افزایش تقاضا و نهایتاً پیری برگ‌ها می‌باشد. بین سرعت رشد محصول و مقدار تابش جذب شده توسط برگ‌های یک گیاه رابطه مستقیم وجود دارد، به طوری که در ابتدا و انتهای فصل رشد به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و کم بودن سطح دریافت‌کننده تابش (برگ‌ها) و در نتیجه درصد کم جذب تابش، مقدار دریافت تابش کم و در نتیجه ماده خشک کمتری تولید شده و مقدار سرعت رشد

محصول هم کم شده است. اما با رشد سریع گیاه و افزایش سطح برگ، جذب تابش و سرعت رشد محصول افزایش یافت که غیاث‌آبادی و همکاران (۲۰۱۴) در گیاه ذرت نیز به نتایج مشابه این آزمایش دست پیدا کردند (۱۲). سعیدی و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه روی گیاه کینوا بیان کردند، با توجه به اینکه تولید و تجمع ماده خشک با عملکرد دانه رابطه نزدیکی دارد، تاریخ کشت مناسب می‌تواند تضمینی برای افزایش عملکرد دانه باشد، به این دلیل که مواد فتوسنتزی بیشتری به دانه‌ها منتقل می‌شود (۳۲). واتال (۱۹۹۱) طی بررسی‌های خود در گیاه ذرت اعلام کرد که سرعت رشد گیاه تا زمانی که شاخص سطح برگ به سه برسد، افزایش خطی داشته ولی به موازات افزایش آن جهت جذب ۹۵ درصد نور، میزان سرعت رشد محصول افزایش بیشتری از خود نشان می‌دهد (۳۹).

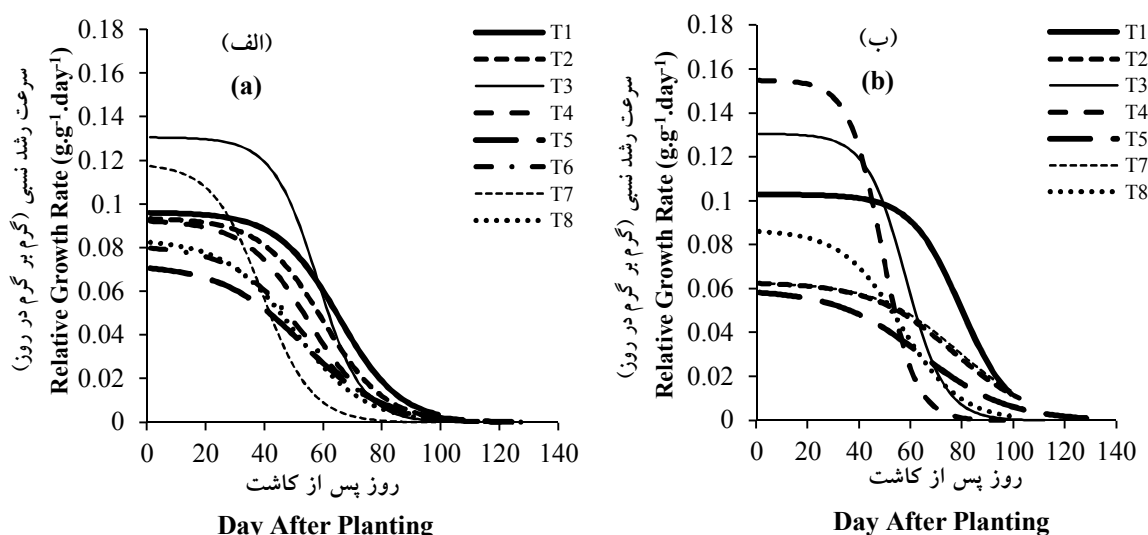
زیاد شدن سرعت رشد محصول در طول فصل رشد را می‌توان به زیاد شدن تعداد برگ‌ها و بزرگ‌تر شدن برگ‌ها و افزایش وزن ساقه‌ها نسبت داد، کاهش سرعت رشد محصول تا صفر را می‌توان به کاهش فتوسنتز خالص نسبت داد (۲۹). از مرحله پرشدن دانه به علت زرد شدن برگ‌ها و ریزش آنها، شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد و در نتیجه سرعت رشد محصول کاهش می‌یابد (۸). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سرعت رشد محصول، تجمع ماده خشک و سرعت فتوسنتز خالص در طی دو سال آزمایش مشاهده گردید (جدول ۳). هم‌چنین، همبستگی مثبت بین سرعت رشد محصول با میزان بارندگی در طی فصل رشد گیاه مشاهده گردید. از سوی دیگر همبستگی منفی و معنی‌داری بین سرعت رشد محصول با ساعات آفتابی مشاهده گردید که این می‌تواند بیانگر این باشد که با افزایش میزان ساعات آفتابی به احتمال زیاد به دنبال آن افزایش دما باعث

درجه حرارت و تشعشع در میزان رشد محصول است. در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ افت سرعت رشد نسبی در تاریخ‌های ۱۵ فروردین و ۱۵ مرداد از شیب بیشتری نسبت به سایرین برخوردار بود (شکل ۵). بالاترین میزان سرعت رشد نسبی در سال دوم آزمایش مربوط به تاریخ کاشت‌های ۱۵، ۲۹ اسفند و ۱۵ فروردین بود (شکل ۵).

سرعت رشد نسبی از ابتدا تا پایان دوره رشد به صورت نمایی کاهش یافت. از آنجا که با افزایش سن گیاه بر بافت‌های ساختمانی گیاه افزوده می‌شود و این بافت‌های ساختمانی سهمی در رشد ندارند، به همین دلیل سرعت رشد نسبی با گذشت زمان و در نتیجه رشد گیاه و افزایش مقدار تنفس در اواخر فصل رشد منفی می‌گردد. نتایج نشان دادند که با نزدیک شدن به آخر فصل رشد، ضمن نزولی شدن روند سرعت رشد نسبی از شدت اختلاف بین تاریخ‌های کاشت کاسته شد و اختلافات کمتر گردید که این مسئله ناشی از کاهش ماده‌سازی و در نهایت توقف آن در همه تاریخ‌های کاشت می‌باشد.

پیری زودتر برگ‌ها در گیاه شد و بالطبع باعث کاهش میزان سرعت رشد محصول در این گیاه گردید (جدول ۳).

سرعت رشد نسبی: در مجموع دو سال آزمایش روند تغییرات سرعت رشد نسبی از ابتدای فصل تا انتها یک روند کاهشی داشت. در سال اول آزمایش حداکثر سرعت رشد نسبی در تاریخ‌های کاشت ۱۵ فروردین، ۱۵ مرداد و ۱۵ اسفند مشاهده گردید. در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ نیز روند تغییرات سرعت رشد نسبی از الگویی شبیه به سال اول آزمایش پیروی کرد. در سال دوم نیز تاریخ‌های کاشت ۳۰ فروردین، ۱۵ خرداد و ۱۵ اسفند نسبت به سایرین از سرعت رشد نسبی بالاتری برخوردار بودند (شکل ۵). دلیل این امر توزیع مناسب بوته‌ها، هم‌پوشانی مناسب برگ‌ها و سایه‌اندازی کمتر آنها است که باعث استفاده بهتر از عوامل محیطی می‌گردد. نکته دیگری که در این خصوص می‌توان بیان داشت که در این تاریخ‌های کاشت گیاهان با تراکم مناسب‌تری نسبت به سایرین سبز شدند. دلیل دیگر آن تأثیر عوامل محیطی از قبیل



شکل ۵- روند تغییرات سرعت رشد نسبی در تاریخ‌های کاشت مختلف در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ (الف) و ۹۸-۱۳۹۷ (ب). ۱۵ اسفند (T1)، ۲۹ اسفند (T2)، ۱۵ فروردین (T3)، ۳۰ فروردین (T4)، ۱۵ اردیبهشت (T5)، ۳۰ اردیبهشت (T6)، ۱۵ مرداد (T7)، ۳۰ مرداد (T8).

Figure 5- Trend of changes of relative growth rate in different sowing dates in 2018 (a) and 2019 (b). March 5th (T1), March 20th (T2), April 4th (T3), April 19th (T4), May 5th (T5), May 20th (T6), August 6th (T7), August 21th (T8).

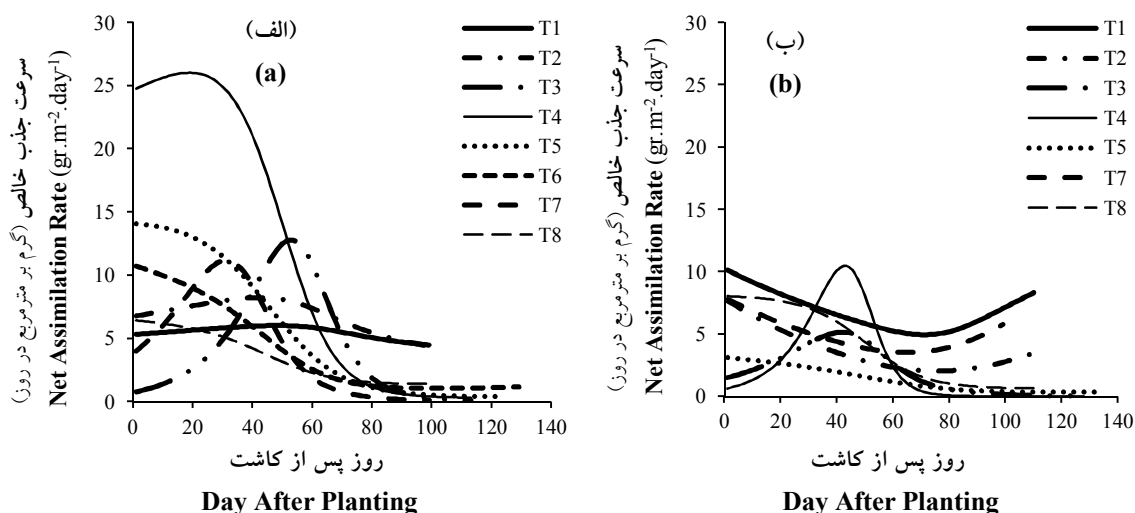
همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سرعت رشد نسبی و عملکرد دانه نیز مشاهده گردید (جدول ۳).
سرعت جذب خالص: نتایج نشان داد که در سال اول آزمایش سرعت جذب خالص در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت برتری داشت. در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ تاریخ کاشت ۱۵ اسفند بالاترین میزان سرعت جذب خالص را دارا بود. در اوایل فصل رشد، به دلیل جوان بودن برگ‌ها، سرعت جذب خالص حداکثر بود. در اغلب تاریخ‌های کاشت تقریباً از ۴۰ روز بعد از کاشت، به دلیل پیر شدن برگ‌ها و همچنین سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی هم‌دیگر سرعت جذب خالص کاهش یافت و سیر نزولی خود را شروع نمود. سرعت جذب خالص در انتهای فصل رشد، همراه با ریزش برگ‌ها و کاهش شاخص سطح برگ مقدار آن به شدت کاهش پیدا کرد. در هر دو سال آزمایش سرعت فتوسنتز خالص در بین تاریخ‌های کاشت مختلف از الگوی خاصی پیروی نکرد (شکل ۶).

نکته مشترک بین روند تغییرات سرعت فتوسنتز خالص در تمام تاریخ‌های کاشت این بود که میزان آن از ابتدای کاشت تا انتهای فصل رشد کاهش پیدا کرد. در سال ۹۷-۱۳۹۶ در تاریخ‌های کاشت ۱۵ فروردین و ۱۵ مرداد به ترتیب تا حدود ۵۳ و ۳۱ روز بعد از کاشت، سرعت فتوسنتز خالص به مقدار جزئی افزایش پیدا کرد که شاید بتوان این امر را به ظهور برگ‌های جدید بعد از تنش‌های محیطی احتمالی مثل گرما و یا به دلیل کم بودن سطح برگ گیاهان و عدم سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی یکدیگر دانست (شکل ۶).
 در سال دوم آزمایش نیز برای تاریخ کاشت ۳۰ فروردین تا حدود ۴۳ روز بعد از کاشت یک افزایش در میزان سرعت جذب خالص مشاهده گردید. نتایج نشان داد که با افزایش میزان شاخص سطح برگ در

به نظر می‌رسد در ابتدای فصل رشد و قبل از ساقه‌رفتن، چون تمام ماده خشک، حاصل تولید برگ می‌باشد، و نیز به علت نفوذ نور بیشتر به داخل جامعه گیاهی و سایه‌اندازی کمتر برگ‌ها بر روی یکدیگر و جذب خالص و در نتیجه تنفس کمتر میزان سرعت رشد نسبی بالاتر بوده و به تدریج به دلیل متراکم شدن کانوپی، میزان سرعت رشد نسبی روندی کاهشی داشته و در آخر فصل رشد به دلیل پیری گیاه، افزایش بافت‌های ساختمانی، کاهش کارایی تولید و متوقف شدن فعالیت‌های گیاه در تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام رویشی و زایشی مقدار آهنگ رشد محصول روند نزولی پیدا کرده و به کمترین مقدار خود طی فصل رشد رسیده است. نتایج گنجعلی و همکاران روی نخود (۲۰۰۰)، اویس و همکاران در گیاه نخود (۲۰۰۴) پناهیان و همکاران روی عدس (۲۰۰۹)، نیز موید این موضوع است (۱۰، ۲۷، ۲۸). محققین دیگر نیز علت کاهش در سرعت رشد نسبی را به افزایش سن برگ‌های پایینی، در سایه قرار گرفتن آن‌ها و همچنین، افزایش بافت‌های ساختمانی که در فتوسنتز نقش ندارند نسبت دادند. زیرا بخش‌هایی که به گیاه افزوده می‌شوند، بافت‌های ساختمانی هستند که از لحاظ متابولیکی فعال نبوده و در فتوسنتز نقشی ندارند. این نتیجه با یافته‌های کریمی و صدیقی (۱۹۹۱)، هم‌خوانی دارد (۱۹). در مطالعه گیلانی و همکاران (۲۰۱۸) در گیاه برنج نیز با افزایش دوره رشد و سن گیاه، به دلیل کاهش سطح فتوسنتز، افزایش وزن گیاه، بافت ساختمانی و تنفس نگهداری، مقدار سرعت رشد نسبی کاهش یافت (۱۳). با بررسی همبستگی بین سرعت رشد نسبی با پارامترهای اقلیمی مشخص گردید که طی دو سال آزمایش همبستگی مثبتی بین این شاخص با میزان بارندگی و به‌دنبال آن میزان رطوبت نسبی محیط است. علاوه بر آن یک

سرعت رشد محصول مشاهده گردید. قانداً افزایش میزان فتوستتز خالص در گیاه باعث افزایش میزان تولید ماده خشک گردید.

گیاه در هر تاریخ کاشت میزان سرعت فتوستتز خالص گیاه به دلیل افزایش میزان سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی یکدیگر کاهش پیدا کرد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین این شاخص رشدی با تجمع ماده خشک و



شکل ۶- روند تغییرات سرعت اسیملاسیون خالص در تاریخ‌های کاشت مختلف در سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ (الف) و ۹۸-۱۳۹۷ (ب). ۱۵ اسفند (T1)، ۲۹ اسفند (T2)، ۱۵ فروردین (T3)، ۳۰ فروردین (T4)، ۱۵ اردیبهشت (T5)، ۳۰ اردیبهشت (T6)، ۱۵ مرداد (T7)، ۳۰ مرداد (T8).

Figure 6- Trend of changes of net assimilation rate in different sowing dates in 2018 (a) and 2019 (b). March 5th (T1), March 20th (T2), April 4th (T3), April 19th (T4), May 5th (T5), May 20th (T6), August 6th (T7), August 21th (T8).

زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند با میانگین ۲۳۸۷ و کم‌ترین آن در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت با میانگین ۷۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۴). در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ بیشترین عملکرد دانه در تاریخ ۱۵ اسفند با میانگین ۲۷۴۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن با میانگین ۱۶۴ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت به دست آمد.

درجه حرارت بالا طی گلدهی و به بذر نشستن می‌تواند به طور معنی‌داری عملکرد را کاهش دهد. هینوجوسا و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که دمای زیاد عملکرد دانه کینوا را کاهش می‌دهد. در مطالعه انجام شده حاضر نیز مشخص گردید برخورد مرحله گلدهی گیاه و همچنین مرحله پر شدن دانه با

در اوایل فصل رشد به علت جذب زیاد تشعشعات خورشیدی سرعت جذب خالص افزایش می‌یابد ولی با افزایش شاخص سطح برگ و سایه‌اندازی برگ‌ها راندمان تولیدی هر برگ کاهش یافته و در نتیجه سرعت جذب خالص در هر یک از تاریخ‌های کاشت کاهش می‌یابد که با نتایج غیاث‌آبادی و همکاران (۲۰۱۴) و گیلانی و همکاران (۲۰۱۸) مبنی بر تأثیر درجه حرارت روی سرعت جذب خالص و رابطه مستقیم آن با فتوستتز کل و نهایتاً عملکرد دانه تحت تأثیر تاریخ کاشت مطابقت دارد (۱۲، ۱۳).

عملکرد دانه: نتایج به دست آمده نشان داد عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت. بیش‌ترین عملکرد دانه در سال

دماهای بالا باعث کاهش شدید عملکرد تک بوته و عملکرد کل گیاه کینوا گردید (۱۴). نتایج همبستگی بین پارامترها نشان داد که ارتباط منفی و معنی‌داری بین عملکرد دانه با دما، ساعات آفتابی، تبخیر و ارتباط مثبت و معنی‌داری بین میزان بارندگی و درصد رطوبت با عملکرد دانه وجود دارد (جدول ۳).

جدول ۴- تاثیر تاریخ‌های مختلف کاشت بر عملکرد دانه گیاه کینوا طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸.

Table 4- The effect of planting dates on seed yield of Quinoa during two crop years 2018 and 2019.

Planting date	تاریخ کاشت	سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ (2018)	سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸ (2019)
March 5th	۱۵ اسفند	2387 a	2743a
March 20th	۲۹ اسفند	1258 b	1623 bc
April 4th	۱۵ فروردین	257 c	808 bc
April 19th	۳۰ فرودین	120 c	324 c
May 5th	۱۵ اردیبهشت	104 c	164 c
May 20th	۳۰ اردیبهشت	75 c	-
August 6th	۱۵ مرداد	137 c	1746 bc
August 21th	۳۰ مرداد	435 c	1410 b

نسبی رشد در طی دو سال مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ اسفند بود. میزان سرعت جذب خالص نیز در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین در طی دو سال آزمایش از بیشترین مقدار برخوردار بود. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان استنباط کرد که وجود دماهای بالاتر از ۳۵ درجه سانتیگراد در طول دوره‌های رشدی به‌خصوص در مراحل رشد زایشی باعث کاهش در شاخص‌های رشدی و عملکرد دانه این گیاه خواهد شد. به طور کلی و بر اساس نتایج این پژوهش، بهترین تاریخ کاشت برای این گیاه در شرایط مورد مطالعه از نیمه اسفند ماه تا اواسط فروردین می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که بالاترین میزان شاخص سطح برگ در سال اول در تاریخ کاشت‌های ۳۰ فروردین، ۱۵ اردیبهشت و ۳۰ مرداد و در سال دوم تاریخ کاشت ۲۹ اسفند بود. در مجموع شاخص سطح برگ در سال دوم کمتر از سال اول آزمایش بود. در هر دو سال آزمایش بالاترین میزان تجمع ماده خشک در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند مشاهده گردید که این امر می‌تواند به وجود دمای مطلوب رشد در این تاریخ کاشت نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت مرتبط دانست. بالاترین سرعت رشد محصول و سرعت

منابع

1. Aparicio, N., Villegas, D.J., Araus, L., Casadesus, J., and Royo, C. 2002. Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in durum wheat. *Crop Sci.* 42: 5. 1547-1555.
2. Chimenti, C.A., and Hall, A.S. 2002. Grain number response to temperature during floret differentiation in sunflower. *Field Crops Res.* 72: 3. 177-184.
3. Danielsen, S., and Ames, T. 2004. Mildew (*Peronospora farinosa*) of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the

- Andean Region. Benson Agriculture and Food Institute Brigham, Young University, Provo, Utah, USA: 29p.
4. De Oliveira Vergara, R., Andrea Bicca Noguez, M., Tiago, P., Aline Klug, R., Gizele Ingrid, G., Francisco Amaral, V., Fernanda da Motta, X., Paulo Eduardo Rocha, E., Jerfferson Araujo, C., and Michele Renata Revers, M. 2019. Plant growth and physiological quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds grown in Southern Rio Grande do

- Sul, Brazil. *Aust. J. Crop Sci.* 13: 5. 678-682.
5. EshraghiNejad, M., Kamkar, M., and Soltani, A. 2012. The effect of sowing date on yield of millet varieties by influencing on phenological periods duration. *J. Crop prod.* 4: 2. 169-188.
 6. Estakhr, A., and Choukan, R. 2006. Effects of planting date and density of female parent B73 on hybrid seed production of KSC704 in Fars province. *Seed and plant impro. j.* 22: 2. 167-183. (in Persian).
 7. FAO, 2011: Quinoa: An ancient crop to contribute to world food security. In: Bojanic, A. ed. *Regional Office for Latin America and the Caribbean*, pp. 63. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
 8. Fouroghi, A., Biabani, A., Rahemi karizaki, A., and Rasam, Gh. 2019. Evaluation of adaptation of different varieties of canola (*Brassica napus* L.) under the climatic conditions of Shirvan. *J. Crop prod.* 12: 2. 33-56.
 9. Fuentes, F.F., Maughan, P.J., and Jellen, E.R. 2009. Diversidad genética y recursos genéticos para el mejoramiento de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Rev. george. Valpo.* 42: 20-33.
 10. Ganjali, A., Malekzadeh, S., and Bagheri, A. 2000. Effect of plant population and planting pattern on trend of growth indices of chickpea in Neishabour region. *J. Agri. Sci. Technology.* 12: 9. 33-41.
 11. Ghadirian, R., Soltani, A., Zainali, A., Kalatearabi, M., and Bakhshande, A. 2011. Evaluation of non-linear regression models for use in wheat growth analysis. *J. Crop prod* 4: 55-77. (In Persian)
 12. Ghasabadi, M., khajeh-hosseini, M., and Mohammad Abadi, A. 2014. The study of transplanting date on growth analyses and forage yield of maize (*Zea mays* L.) under Mashhad conditions. *Iran J. Field Crop Res.* 12: 2. 137-145.
 13. Gilani, A., Siadat, S.A., Jalali, S., and Limouchi, K. 2018. Study of physiological indices and yield of the rice varieties in north regions of Khuzestan. *Quarterly J. plant prod. sci.* 7: 2. 73-86.
 14. Hinojosa, L., Matanguihan, J.B., and Murphy, K.M. 2019. Effect of high temperature on pollen morphology, plant growth and seed yield in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Agro Crop Sci.* 205: 33-45.
 15. Hodges, T., and Kanemasu, E.T. 1977. Modeling daily dry matter production of winter wheat. *Agro. J.* 69: 6. 674-678.
 16. Jacobsen, S.E. 2003. The Worldwide Potential for Quinoa. *Food Reviews International.* 19: 1-2. 167-177.
 17. Jacobsen, S.E., Monteros, C., Corcuera, L.J., Bravo, L.A., Christiansen, J.L., and Mujica, A. 2007. Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Europ. J. Agron.* 26: 4. 471-475.
 18. Jamali, S., sharifan, H., Aboutaleb hezarjaribi, A., and sepahvand, N.A. 2016. The effect of different levels of salinity on germination and growth indices of two cultivars of Quinoa. *J. water and soil Res. conservation.* 6: 1. 87-98. (In Persian)
 19. Karimi, M.M., and Siddique, H.M. 1991. Crop growth and relative growth rates of old modern wheat cultivars. *Aust. J. Agri. Res.* 42: 1. 783-788.
 20. Khatib, F., Torabi, B., and Rahimi, A. 2015. Assessing the effect of planting date on safflower cultivars growth and seed yield in Rafsanjan condition. *Iran J. Field Crops Res.* 13: 2. 316-327.
 21. Khichar, M.L., and Niwas, R. 2006. Microclimatic profiles under different sowing environments in wheat. *J. Agrometeorol.* 8: 201-209.
 22. Lotus Newsletter. 2008. Abstract, Workshop held at Chascomus, 17-19 November. 38: 86-88.
 23. Mamedi, A., Tavakkol Afshar, R., and Sepahvand, N.A. 2017. Quantifying seed germination response of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under temperature and drought stress regimes. *Iran J. Field Crop Sci.* 48: 3. 615-623.
 24. Mamedi, A., Tavakkol Afshari, R., Sepahvand, N.A., and Oweyse, M. 2016. Evaluation of various temperatures on Quinoa plant seeds under salinity stress. *Iran J. Filed Crop Sci.* 46: 4. 583-589.
 25. Mujica, A. 1994. Andean grains and legumes. In: Hernando, B., and Leon, J.L. (Eds.). *Neglected Crops: 1492 from*

- a different prospective. FAO, Rome, Italy. 26: 131-148.
26. OuzuniDouji, A.A., Esfahani, M., SamizadehLahiji, H.A., and Rabiei, M. 2008. Effect of planting pattern and plant density on growth indices and radiation use efficiency of apetalous flowers and petalled flowers rapeseed (*Brassica Bapus* L.) cultivars. Iran J. Crop Sci. 9: 4. 328-400. (In Persion)
 27. Oweis, T., Hachum, A., and Pala, M. 2004. Water use efficiency of winter-sown chickpea under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. Agri. Water Manag. 66: 2. 163-179.
 28. Panahyan, M., and Jamaati, S.H. 2009. Study of variation trend of growth indices in lentil under drought stress. Aust J. Basic and App Sci. 3: 4. 4314-4326.
 29. Power, J.F., Willis, W.O., Grunes, D.L., and Reichman, G.A. 1976. Effect of soil temperature, phosphorus, and plant age growth analysis of barley. Agron. J. 59: 3. 231-234.
 30. Praveen Kadam, V., Suneetha Devi, K.B., Hussain, S.A., and Uma Devi, M. 2018. Growth, Yield Attributes, Yield and Economics of Quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) as Influenced by Variable Irrigation Water Supply through Drip and Surface Methods. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 7: 7. 3428-3438.
 31. Ramesh, K., Suneetha Devi, K.B., Gopinath, K.A., and Uma Devi, M. 2017. Physiological indices, yield and yield attributes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as influenced by dates of sowing and varied crop geometry. Int. J. Curr. Microbiol. 6: 7. 1023-1034.
 32. Saeidi, S.M., Siadat, S.A., Moshatati, A., MoradiTelavat, M.R., and Sepahvand, N.A. 2020. Effect of sowing time and nitrogen fertilizer rates on growth, seed yield and nitrogen use efficiency of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in Ahvaz, Iran Iranian J. Field Crop Res. 21: 4. 354-367. (In Persian)
 33. Salehi, M., Soltani, V., and Dehghani, F. 2019. Effect of sowing date on phenologic stages and yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under saline condition. Environ Stress. Crop Sci. 12: 3. 923-932.
 34. Senthoid, A., Turner, N.C., Botwright, T., and Condon, A.G. 2003. Evaluating the impact of a trait for increased specific leaf area on wheat yields using a crop simulation model. Agron. J. 95: 4. 10-19.
 35. Sun, Y.F., Liang, J.M., Ye, J., and Zhu, W.Y. 1999. Cultivation of super-high yielding rice plants. China Rice. 5: 38-39.
 36. Tapia, M., Alandia, S., Cardozo, A., Gandarillas, H., Mujica, A., Ortiz, R., Otazu, V., Rea, J., and Zanabria, E., 1979. In: Tapia, M. (Eds.), Quinoa y Canihua Cultivos Andinos. Serie libros y materiales educativos 49. IICA, Bogot a, Colombia. p. 227
 37. Theurer, J.C. 1999. Growth pattern in sugar beet production. Sugar Beet Technol. 60: 343-367.
 38. Thomas, H., Ougham, H.J., Wagstaff, C., and Stead, A.D. 2003. Defining senescence and death. J. Exp. Bot. 54: 385. 1127-1132.
 39. vatal, W. 1991. Responses on maize to plant on population density. Agron. J. 11: 930-935.
 40. Weeden, B.R. 2000. Potential of sugar beet on the Atherton tableland. Rural industries research and development corporation. 102 p.
 41. Yin, X., Gouadrian, J., Latinga, E.A., Vos, J., and Spiertz, J.H. 2003. A flexible sigmoid growth functions of determinate growth. Ann. Bot. 91: 3. 361-371.