

مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۳۵، شماره ۱، سال ۱۳۹۸

ارزیابی امکان تعدیل اثر منفی تنش محدودیت آبی بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی
(*Solanum tuberosum* L.) با تغییر تاریخ کاشت

Assesment of Possibility of Mitigating the Adverse Effect of Water Limitation
Stress on Growth and Yield of Potato (*Solanum tuberosum* L.)
by Changing Planting Date

علیرضا یزدانی^۱، سید عبدالرضا کاظمینی^۲، حسین غدیری^۳، علی اکبر کامکار حقیقی^۳ و
محسن عدالت^۲

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
۲- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
۳- استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۴

چکیده

یزدانی، ع.، کاظمینی، س. ع.، غدیری، ح. و کامکار حقیقی، ع. ۱۳۹۸. ارزیابی امکان تعدیل اثر منفی تنش محدودیت آبی بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) با تغییر تاریخ کاشت. مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۳۵: ۲۳-۱.

به‌منظور مطالعه اثر محدودیت آبی و تاریخ کاشت بر عملکرد و روند رشد سیب‌زمینی رقم سانته در طول فصل، این پژوهش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز اجرا شد. چهار سطح آبیاری شامل ۵۵، ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در کرت‌های اصلی و سه تاریخ کاشت ۲۰ اسفند، ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت در کرت‌های فرعی تصادفی شدند. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر آبیاری بر کلیه صفات، بجز شاخص برداشت، اثر تاریخ کشت و برهمکنش آبیاری × تاریخ کشت نیز بر کلیه صفات معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که تا ۴۸ روز پس از کاشت، ارتفاع بوته و وزن خشک شاخساره افزایش کندی داشت، ولی در فاصله بین ۴۸ تا ۱۰۴ روز پس از کاشت افزایش قابل توجهی در این دو صفت مشاهده شد. در اوایل فصل رشد ارتفاع بوته و وزن خشک شاخساره در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند اندکی کمتر از سایر تاریخ‌های کاشت بود، ولی با گذشت زمان و در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند مقدار این دو صفت به‌طور معنی‌داری بیشتر شد. تنش محدودیت آبی باعث کاهش شاخص سطح برگ، تعداد غده در مترمربع، عملکرد غده، عملکرد بیولوژیک و وزن غده‌های بذری و درشت و افزایش وزن غده‌های ریز گردید. در خصوص بیشتر صفات، سطح آبیاری ۱۰۰ با ۸۵ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشت. در شرایط تنش محدودیت آبی، اهمیت تاریخ کاشت بیشتر بود، چنانچه در شرایط بدون تنش تفاوت معنی‌داری بین تاریخ‌های کاشت وجود نداشت یا حداقل بود. در حالیکه در شرایط تنش آبی رشد و عملکرد بوته‌های سیب‌زمینی در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند بیشتر بود. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که به‌دلیل استفاده بهتر از نزولات جوی، دمای پایین‌تر و تبخیر کمتر در اوایل فصل رشد و دمای مناسب‌تر در زمان غده‌زایی، عملکرد سیب‌زمینی حاصل از تاریخ کاشت ۲۰ اسفند بویژه در شرایط تنش محدودیت آبی افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، آبیاری، نیاز آبی، شاخص برگ، عملکرد غده، غده بذری.

مقدمه

شود. یکی از این راهکارها بالا بردن میزان کارایی مصرف آب می‌باشد، که بدون برنامه‌ریزی صحیح آبیاری مقدور نمی‌باشد.

شرط دستیابی به عملکرد مناسب سیب‌زمینی وضعیت مطلوب رطوبت خاک است (Wang et al., 2007). تحقیقات نشان داده است که گیاه سیب‌زمینی بسیار حساس به تنش خشکی است. زیرا نظام ریشه‌ای این گیاه در لایه کمتر از ۳۰ سانتی‌متر خاک تجمع می‌یابد (Emam and Seghatoleslami, 2011). به‌طور کلی سیب‌زمینی گیاهی حساس به تنش آبی به‌ویژه در مرحله غده‌زایی است. این حساسیت می‌تواند به دلیل ریشه کم عمق سیب‌زمینی با گسترش محدود و ناتوانی آن در جذب آب از اعماق پایین‌تر خاک باشد. کم‌آبیاری یا اعمال تنش خشکی در مراحل پیش از غده‌زایی می‌تواند با کاهش جزئی و قابل قبول در عملکرد سیب‌زمینی باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در آب مصرفی در مناطق با محدودیت منابع رطوبتی همراه باشد (Arya et al., 2017).

افزایش تولید محصول با استفاده از منابع آبی، نیازمند بکارگیری تاریخ مناسب کاشت است. در هر منطقه یک تاریخ کاشت بهینه وجود دارد که توسط شرایط آب و هوایی، فراهمی زمین، آب آبیاری، بذر، رقم مورد نظر و زمان شیوع آفات و بیماری‌ها تعیین می‌شود (Rawson, 2000). هدف از تعیین تاریخ کاشت بهینه، یافتن زمان کاشت رقم یا گروهی از ارقام است، به‌طوری‌که مجموعه عوامل محیطی حاکم در آن دوره برای سبز شدن،

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) پس از برنج، گندم و ذرت به‌عنوان چهارمین محصول غذایی جهان بیشترین تولید جهانی را به خود اختصاص داده است و از نظر تعداد کشورهای تولید کننده در مقام دوم بعد از ذرت قرار دارد (Shock and Feibert, 2002). بیش از نیمی از سیب‌زمینی در کشورهای در حال توسعه تولید می‌شود (Anonymous, 2019).

سیب‌زمینی در ایران نیز گیاه مهمی است و تقریباً در کلیه استانها کشت می‌شود. استان‌های همدان، آذربایجان شرقی، اردبیل، اصفهان، کردستان و فارس از مهمترین تولیدکننده‌های سیب‌زمینی در ایران هستند (Anonymous, 2018). تولید جهانی سیب‌زمینی در سال ۲۰۱۷ برابر با ۳۸۸/۲ میلیون تن از ۱۹/۳ میلیون هکتار (Anonymous, 2019) بود. تولید ایران در سال ۱۳۹۵-۹۶ حدود ۵/۱ میلیون تن از ۱۴۶/۵ هزار هکتار برآورد شد (Anonymous, 2018).

با نگاهی به آینده، سازمان خواربار کشاورزی برآورد کرده است که برای تغذیه جمعیت جهان به ۶۰ درصد غذای بیشتری نیاز است (Shock and Feibert, 2002) و از آنجا که سیب‌زمینی از نظر ارزش غذایی با تولید بالا یکی از محصولات غذایی مهم می‌باشد، بنابراین با برنامه‌ریزی صحیح، تولید آن می‌تواند افزایش یابد. برای افزایش تولید سیب‌زمینی یا سطح زیر کشت باید افزایش یابد یا عملکرد آن بهبود داده شود که برای هر دو مورد باید راهکارهای بنیادی اندیشیده

تنش کم آبیاری در تاریخ‌های مختلف کاشت بر روند رشد و عملکرد سیب‌زمینی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی اثر تاریخ کاشت و محدودیت آبی بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی آزمایش مزرعه‌ای دو ساله در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (عرض جغرافیایی $29^{\circ} 7'$ شرقی و طول جغرافیایی $46^{\circ} 52'$ و ارتفاع 1810 متر از سطح دریای آزاد) در سال‌های $1393-94$ و $1394-95$ اجرا شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه قبل از کاشت در جدول ۱ آمده است. میانگین دما و مقدار بارش ماهانه در طول دوره آزمایش در جدول ۲ و میانگین ساعات آفتابی و رطوبت نسبی ماهیانه در شکل ۱ ارائه شده است.

این پژوهش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی و اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل: چهار سطح آبیاری شامل 55 ، 70 ، 85 و 100 درصد نیاز آبی گیاه در کرت‌های اصلی و سه تاریخ کاشت 20 اسفند، 20 فروردین و 20 اردیبهشت در کرت‌های فرعی بود.

پس از آماده‌سازی زمین در اواخر مهر کرت‌هایی به ابعاد 3×5 متر تهیه و کاشت غده‌های سیب‌زمینی با فاصله بین ردیف 75 سانتی‌متر و فاصله روی ردیف 25 سانتی‌متر و به عمق 10 سانتی‌متر در تاریخ کاشت‌های مربوطه انجام شد. هر کرت شامل شش خط کشت به طول سه متر بود. در این مطالعه رقم سیب‌زمینی بذری سانته استفاده شد. کرت‌های

استقرار و بقای گیاهچه مناسب باشد، و ضمن این که گیاه تا حد ممکن در هر مرحله از رشد با شرایط مطلوب روبرو شود و با شرایط نامساعد محیطی نیز مواجه نشود (Khajepour, 2014).

تاریخ کاشت بهینه سیب‌زمینی برای مناطق مختلف بسیار متفاوت است. محدودیت منابع رطوبتی و احتمال وقوع تنش آبی بر تاریخ کشت بهینه تاثیر مهمی دارد. در تاریخ کاشت دیرتر معمولاً عملکرد غده کاهش می‌یابد، که می‌تواند به دلیل کاهش وزن غده‌های یا مهمتر تعداد غده‌ها باشد. کاهش تعداد غده‌ها در کاشت‌های دیرتر می‌تواند ناشی از همزمانی دمای بالای هوا با مرحله غده‌زایی (Arji et al., 2012). هرچه سیب‌زمینی دیرتر کاشته شود، دوره رشد بوته‌ها مواجه با طول روز بلند و دمای بالا می‌شود که تاثیر منفی بر تولید غده دارد، زیرا افزایش دما بیش از 30 درجه سانتی‌گراد برای تولید غده مناسب نیست (Begum et al., 2015). همچنین، به دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد، غده‌ها فرصت کافی برای رشد را پیدا نمی‌کند، در نتیجه تعداد و وزن غده‌های ریز کمتر می‌شود، که منجر به کاهش عملکرد غده و کاهش ارزش بازارپسندی محصول می‌شود (Tang et al., 2018a).

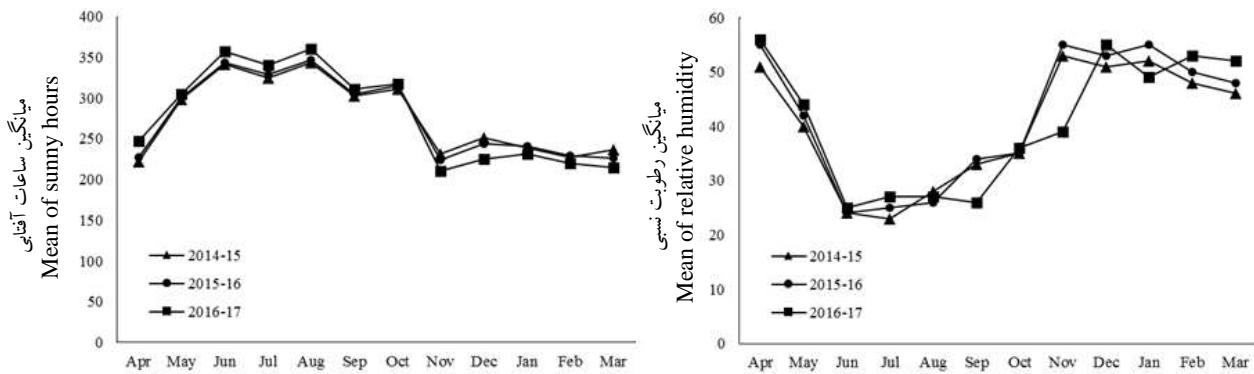
تغییر تاریخ کشت برای استفاده بهینه از بارش‌ها بعنوان منابع رطوبتی خاک و کاهش مصرف آب راهکاری کاربردی برای افزایش بهره‌وری آب است. این موضوع کمتر در پژوهش‌ها مورد توجه قرار گرفته است که نیازمند بررسی‌های بیشتر است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر منفی

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری
Table 1. Physico-chemical properties of the soil of experimental site at 0-30 cm depth

سال Year	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS m ⁻¹)	اسیدیته pH	بافت Texture	ظرفیت مزرعه (%) Field capacity (%)	نقطه پژمردگی دائم (%) Permanent wilting point (%)	ماده آلی (%) Organic matter (%)	نیترژن کل (%) Total nitrogen (%)	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم) Available phosphorous (mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم) Available potassium (mg kg ⁻¹)
2014-15	0.78	7.14	Loamy	24.5	8.1	1.13	0.146	14.33	320.8
2015-16	0.52	7.25	sily	23.8	8.5	1.42	0.163	16.02	304.7

جدول ۲- میانگین دما و مقدار بارش ماهانه در دوره ۱۳۹۳-۱۳۹۶
Table 2. Monthly mean of temperature and precipitations in 2014-2017

سال Year	April	May	June	July	August	September	October	November	December	January	February	March	جمع Sum
Temperature (°C) دما (سانتی گراد)													
2014-15	19.4	24.4	30.3	32.6	30.8	27.3	21.5	11.1	8.8	8.5	9.7	12.6	-
2015-16	20.3	25.1	31.3	31.7	30.7	25.9	21.7	12.3	7.5	7.2	9.6	14.1	-
2016-17	14.6	26.1	29.9	33.2	29.7	27.7	21.1	14.0	11.2	8.9	8.0	12.5	-
Pericipitation (mm) بارش (میلی متر)													
2014-15	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	63.8	0.0	28.0	43.5	55.0	224.9
2015-16	0.0	8.4	0.0	3.8	0.0	4.0	8.0	71.6	62.6	41.8	6.4	18.4	225.0
2016-17	13.2	4.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	7.8	3.6	22.3	134	97.6	282.9



شکل ۱- میانگین رطوبت نسبی ماهانه و ساعات آفتابی برای سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ برای محل آزمایش
Fig. 1. Monthly mean of relative humidity and sunny hours for experimental site in 2014-17

رسیدن به حد تعیین شده برای تیمارها (۱۰۰ به عنوان شاهد، ۷۰، ۸۵ و ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه) محاسبه شد.

برای تعیین تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع از روش پنمن- مانتیث و به منظور تعیین نیاز آبی پتانسیل گیاه سیب‌زمینی (ET_{crop}) از فرمول

$$ET_{crop} = K_c (ET_0)$$

استفاده گردید. در این رابطه K_c : ضریب گیاهی و ET_0 : تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع می‌باشد. برای محاسبه ET_0 از روش پنمن- فائو (فرمول زیر) استفاده شد.

$$ET_0 = 0.408\Delta (R_n - G) + \gamma (900/T + 273) U_2 (e_s - e_a) / \Delta + \gamma (1 + 0.34U_2)$$

ثابت سایکرومتری بود. برای تعیین ضریب گیاهی سیب‌زمینی از مقادیر پیشنهادی فائو استفاده شد که برای مراحل ابتدایی، میانی و نهایی به ترتیب ۰/۵، ۱/۱۵ و ۰/۷۵ است.

حجم آب آبیاری برای تاریخ‌های کاشت ۲۰

آزمایشی بلافاصله پس از کاشت با سامانه آبیاری نواری آبیاری شدند. کود دهی بر اساس آزمون خاک (جدول ۱) انجام شد و شامل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات دی آمونیوم و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بود.

از زمان کاشت تا سبز شدن سیب‌زمینی، آبیاری در حد ظرفیت مزرعه برای همه تیمارها انجام شد و تیمارهای کم آبیاری پس از سبز شدن اعمال گردید. میزان رطوبت خاک توسط مته‌های نمونه برداری از عمق‌های ۳۰-۶۰ و ۳۰-۰ سانتی متر ارزیابی شد که با برآورد میزان رطوبت خاک، حجم آب آبیاری تا

در این رابطه R_n : تابش خالص ورودی به سطح گیاه، G : شار گرمای خاک، T : میانگین روزانه دمای هوا، U_2 : میانگین روزانه سرعت باد، e_s : فشار بخار اشباع، e_a : فشار بخار واقعی، $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار اشباع، Δ : شیب منحنی فشار بخار و γ :

برای ساینبدی غده‌ها، غده‌های کمتر از چهار گرم به عنوان غده ریز (غیربذری)، غده‌های با وزن ۴۰ تا ۶۰ گرم به عنوان غده‌های بذری و غده‌های سنگین‌تر از ۶۰ گرم به عنوان غده‌های درشت (خوراکی و صنعتی) در نظر گرفته شد.

پس از انجام آزمون همگنی واریانس، تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS انجام شد و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد مقایسه شدند. ضرایب همبستگی بین صفات با عملکرد توسط نرم افزار آماری SAS برآورد شد.

نتایج و بحث

روند رشد در طول فصل

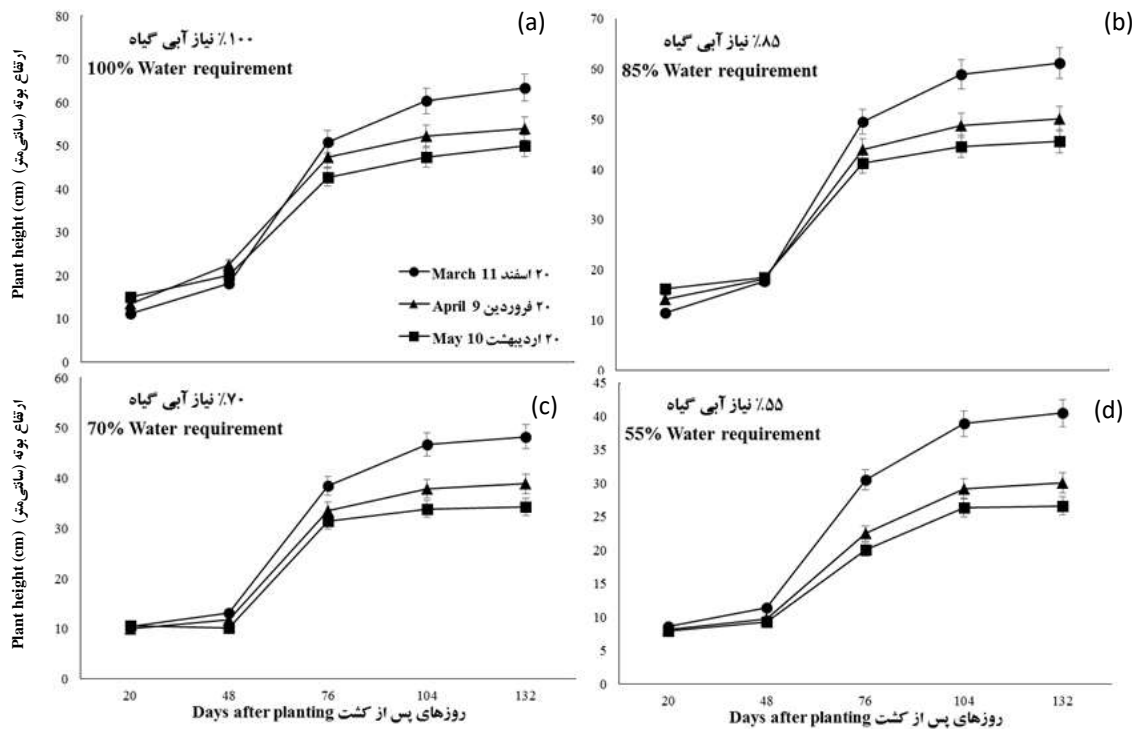
نتایج نشان داد که ارتفاع بوته در کلیه تیمارها از ۲۲ تا ۱۰۴ روز پس از کشت افزایش معنی‌داری داشت، ولی در فاصله بین ۱۰۴ تا ۱۳۲ روز پس از کشت افزایش معنی‌داری در ارتفاع بوته مشاهده نشد (شکل ۲). بیشترین افزایش در فاصله بین ۴۸ تا ۷۶ روز پس از کاشت بود. بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تاریخ کاشت ۲۰ اسفند بود که به‌طور معنی‌داری از سایر تاریخ‌های کشت بیشتر بود. به‌طوری که در ۱۳۲ روز پس از کاشت ارتفاع بوته در تیمارهای ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی در تاریخ کشت ۲۰ اسفند به ترتیب به میزان ۲۶/۷، ۳۴/۲، ۴۰/۸ و ۵۲/۳ درصد بیشتر از تاریخ کشت ۲۰ اردیبهشت بود.

تنش محدودیت آبی نیز ارتفاع بوته را در همه تاریخ‌های کشت کاهش داد (شکل ۲)، که بیشترین کاهش در تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت مشاهده شد.

اسفند، ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز گیاه به ترتیب برابر با ۷۴۱۰، ۸۱۲۵ و ۸۲۲۰ مترمکعب در هکتار، در سطح آبیاری ۸۵ درصد نیاز گیاه به ترتیب برابر با ۶۱۱۰، ۶۶۲۰ و ۶۶۹۰ مترمکعب در هکتار، در سطح آبیاری ۷۰ درصد نیاز گیاه به ترتیب برابر با ۵۱۷۰، ۵۵۷۵ و ۵۶۳۰ مترمکعب در هکتار، و در سطح آبیاری ۵۵ درصد نیاز گیاه به ترتیب برابر با ۳۹۸۵، ۴۲۷۰ و ۴۳۲۵ مترمکعب در هکتار بود. تاریخ کاشت ۲۰ فروردین به عنوان تاریخ کاشت شاهد در نظر گرفته شد.

رشد و عملکرد بوته‌های سیب‌زمینی از طریق روند تغییرات ارتفاع بوته و وزن خشک بوته در طول فصل رشد (از ۲۰ روز پس از کشت تا پایان دوره رشد با فاصله‌ی زمانی ۲۸ روز) و صفات شاخص سطح برگ با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Delta-T Device)، تعداد غده در واحد سطح، عملکرد بیولوژیک، عملکرد غده، شاخص برداشت و وزن غده‌های ریز، غده‌های بذری و غده‌های درشت در انتهای دوره آزمایش ارزیابی شد.

در انتهای فصل رشد یک مترمربع از هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای به صورت کف‌بر برداشت شد. وزن خشک شاخساره با قراردادن نمونه‌ها در آون تهویه‌دار با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت به دست آمد. شاخص برداشت از نسبت عملکرد غده (وزن کل غده‌ها) به عملکرد بیولوژیک (وزن خشک کل بوته در انتهای فصل) به دست آمد.



شکل ۲- تغییرات ارتفاع بوته در طول فصل رشد در تاریخ‌های مختلف کاشت و سطوح نیاز آبی. میانگین‌های با همپوشانی یکسان بر اساس خطای استاندارد ($\pm SE$) تفاوت معنی‌دار ندارند.

Fig. 2. Variation in plant height during growing season at different planting dates and water requirement levels. Means with similar overlap are not significantly different based on $\pm SE$

از سوی (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2013).
دیگر، در شرایط تنش به علت کاهش میزان آب در دسترس، تولید مواد پرورده و انتقال آن کاهش می‌یابد و در نتیجه ارتفاع بوته کوتاه می‌شود (Knezevic *et al.*, 2018).

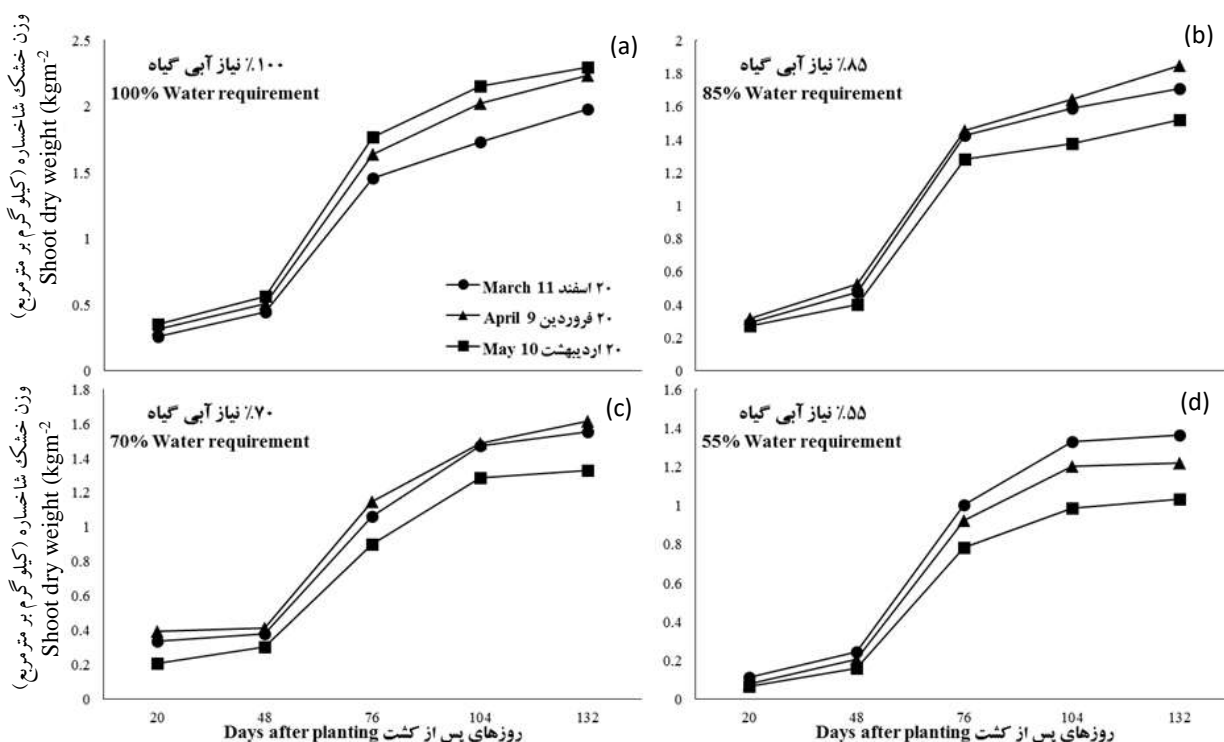
مرتضوی بسک و امین‌پور (Mortazavi Bak and Aminpour, 2001) گزارش کردند که رشد بوته‌های سیب‌زمینی در تاریخ‌های کاشت نیمه دوم بهمن و اسفند بر سایر تاریخ‌های کاشت برتری داشت. در یک پژوهش دیگر (Siadat *et al.*, 1999) نیز نشان داده شد که روند تغییرات رشد سیب‌زمینی در رقم‌های مختلف

به نظر می‌رسد که تاریخ کشت ۲۰ اسفند از نظر پاسخ به تنش آبی وضعیت بهتری داشت، و تاثیر منفی تنش آبی در این تیمار کمتر بود. چنانچه، تاثیر منفی تنش محدودیت آبی ۷۰ درصد نیاز آبی بر ارتفاع بوته در تاریخ‌های کشت ۲۰ اسفند، ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت به ترتیب ۲۸/۱، ۲۳/۹ و ۳۱/۵ درصد بود (شکل ۲).

رشد همه اندام‌های گیاه مانند ساقه در اثر سطوح مختلف تنش محدودیت آبی کاهش می‌یابد. تنش آبی بالاتر از حد آستانه تحمل گیاهان باعث می‌شود که گیاه زودتر به حداکثر رشد طولی خود برسد و در نتیجه ارتفاع بوته کوتاه شود

پس از کاشت افزایش بیشتری در شرایط آبیاری مطلوب نسبت به تیمارهای تنش آبی مشاهده شد. در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین رشد در همه زمان‌های نمونه‌برداری در تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت و پس از آن ۲۰ فروردین مشاهده شد (شکل ۳). در حالی که در شرایط تنش آبی تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت کمترین وزن خشک را داشت. بدین صورت که در سطح آبیاری ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی، بوته‌های سب‌زمینی کاشته شده در ۲۰ فروردین و پس از آن در ۲۰ اسفند وزن خشک شاخساره بیشتری داشتند (شکل ۳).

نسبت به زمان از معادله درجه سوم پیروی کرد. بیشترین مقدار رشد بوته برای رقم‌های دراگا، آئولا و کاسموس حدوداً ۱۲۰ روز بعد از کاشت به‌دست آمد. سرعت رشد از ابتدای دوره رشد تا حدود ۹۰ روز پس از کاشت برای کلیه ارقام مورد مطالعه به‌صورت افزایشی بود و پس از آن تا حدود ۱۲۵ روز پس از کاشت روند سیر نزولی به خود گرفت و مجدداً سیر صعودی آن شروع شد. وزن خشک شاخساره از ۴۸ روز پس از کاشت افزایش چشمگیری داشت (شکل ۳). بیشترین افزایش نیز مربوط به ۴۸ تا ۷۶ روز پس از کاشت بود. با این توضیح که در فاصله بین ۱۰۴ تا ۱۳۲ روز



شکل ۳- تغییرات وزن خشک شاخساره در طول فصل رشد در تاریخ‌های مختلف کشت و سطوح نیاز آبی. میانگین‌های با همپوشانی یکسان بر اساس خطای استاندارد ($\pm SE$) تفاوت معنی‌دار ندارند.

Fig. 3. Variation in shoot dry weight during growing season at different planting dates and water requirement levels. Means with similar overlap are not significantly different based on $\pm SE$

غده‌زایی بر عملکرد و کیفیت غده تأثیر خواهد گذاشت (Begum et al., 2015). تنش کم آبی باعث کاهش تولید ماده خشک کل گیاه و نیز نسبت ماده خشک اختصاص یافته به غده‌ها می‌شود. تنش آبی بسته به رقم و شرایط محیطی اختصاص مواد به اجزای گیاهی را تغییر داد و به‌طور کلی میزان اختصاص مواد به ساقه‌ها و ریشه‌ها و نیز نسبت ریشه به ساقه را افزایش داد (Sobhani and Hamidy, 2014).

عملکرد و اجزای عملکرد غده

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطح آبیاری بر کلیه صفات بجز شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین اثر تاریخ کشت و برهمکنش سطح آبیاری × تاریخ کاشت نیز بر کلیه صفات معنی‌دار بود. با توجه به این که اثر سال و برهمکنش آن با تیمارها معنی‌دار نشد، بنابراین از میانگین دو سال برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که سطح آبیاری کمتر از ۸۵ درصد نیاز آبی، شاخص سطح برگ سیب‌زمینی را با تنش آبی مواجه می‌کند، به‌طوری که تفاوت معنی‌داری بین ۱۰۰ و ۸۵ درصد نیاز آبی وجود نداشت، ولی آبیاری ۷۰ و ۵۵ درصدی نیاز آبی گیاه به‌ترتیب با ۲۷/۰ و ۴۸/۲ درصد کاهش در میانگین شاخص سطح برگ همراه بود (جدول ۴). از سوی دیگر، میانگین شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند بیشتر بود، ولی تفاوت معنی‌داری بین دو تاریخ کاشت ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت مشاهده نشد (جدول ۴). برهمکنش

تاریخ کشت ۲۰ اسفند علاوه بر اینکه در شرایط تنش آبی و به‌ویژه تنش شدید، وزن خشک شاخساره بیشتری را داشت، تأثیر منفی تنش آبی را نیز کاهش داد، به‌طوری که کاهش وزن خشک ناشی از تنش ۷۰ درصد نیاز آبی نسبت به آبیاری مطلوب، در تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند، ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت به‌ترتیب برابر با ۲۱/۶، ۲۷/۹ و ۴۲/۱ درصد بود (شکل ۳). عوامل مختلف مدیریتی، مانند تاریخ کاشت، و محیطی مانند تنش کم آبی بسته به شدت تنش اثر کم تا خیلی زیادی بر روی روند تغییرات وزن خشک اندام‌ها دارد.

سبحانی و حمیدی (Sobhani and Hamidy, 2014) گزارش کردند که حداکثر ماده خشک ساقه در ۱۸۰۰ درجه روز رشد، حداکثر ماده خشک ریشه در ۱۶۰۰ درجه روز رشد و حداکثر ماده خشک برگ در ۱۵۰۰ درجه روز رشد به‌دست آمد. روند تغییرات میزان رشد در ابتدای دوره رشد کند می‌باشد و برای دو تا سه هفته بعد از غده‌زایی به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد و سپس برای چند هفته به‌صورت خطی افزایش یافته و با رسیدن به حد نهایی خود، کاهش می‌یابد (Hou et al., 2010).

روند نزولی تغییرات درصد ماده خشک قسمت‌های هوایی در اواخر دوره رشد به دلیل کاهش رشد رویشی گیاه و غده و تجمع بیشتر مواد غذایی در غده‌ها می‌باشد (Mousapour-Gorji and Hassanabadi, 2012). تنش آبی قبل از تشکیل غده‌ها بر روی رشد رویشی و تجمع ماده خشک اثر می‌گذارد ولی بعد از

جدول ۳- تجزیه واریانس داده‌ها برای عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی در تاریخ‌های مختلف و سطوح نیاز آبی
 Table 3. Analysis of variance for tuber yield and its components of potato in different planting dates and water requirement levels

S.O.V.	منبع تغییر	df.	Mean squares میانگین مربعات							
			شاخص سطح برگ Leaf area index	تعداد غده در مترمربع Tuber number m ⁻²	عملکرد غده Tuber yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن غده‌های ریز Small tubers weight	وزن غده‌های بذری Seed tubers weight	وزن غده‌های درشت Large tubers weight
Year (Y)	سال	1	1.025 ^{ns}	1.250 ^{ns}	114.25 ^{ns}	152.25 ^{ns}	91.22 ^{ns}	0.558 ^{ns}	14.25 ^{ns}	11.23 ^{ns}
Y (R)	سال (بلوک)	4	1.251	2.014	154.69	158.94	102.14	1.069	55.1	16.08
Irrigation (I)	آبیاری	3	5.92 ^{**}	4.02 [*]	893.75 ^{**}	549.67 [*]	80.21 ^{ns}	3.42 [*]	238.22 ^{**}	51.27 [*]
Y × I	سال × آبیاری	3	0.221 ^{ns}	0.667 ^{ns}	25.69 ^{ns}	144.29 ^{ns}	50.07 ^{ns}	0.554 ^{ns}	20.31 ^{ns}	7.21 ^{ns}
Error a	خطای کرت اصلی	12	0.547	0.741	95.65	101.25	70.13	0.667	22.37	9.12
Planting date (PD)	تاریخ کاشت	2	1.261 [*]	1.368 [*]	382.36 ^{**}	278.69 ^{**}	256.90 [*]	2.154 ^{**}	124.83 ^{**}	37.23 [*]
PD × I	تاریخ کاشت × آبیاری	6	1.236 [*]	1.605 [*]	403.69 ^{**}	196.31 [*]	308.60 [*]	2.14 ^{**}	120.87 ^{**}	56.82 ^{**}
PD × Y	تاریخ کاشت × سال	2	0.114 ^{ns}	0.105 ^{ns}	47.58 ^{ns}	15.69 ^{ns}	33.02 ^{ns}	0.075 ^{ns}	3.12 ^{ns}	8.70 ^{ns}
PD × I × Y	تاریخ کاشت × آبیاری × سال	6	0.054 ^{ns}	0.099 ^{ns}	22.14 ^{ns}	1.91 ^{ns}	18.09 ^{ns}	0.020 ^{ns}	11.02 ^{ns}	5.65 ^{ns}
Error	خطا	32	0.256	0.311	45.66	42.55	53.83	0.333	13.67	7.87
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		12.06	11.74	17.9	12.04	10.65	16.74	19.60	18.17

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
 ns: غیر معنی‌دار.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.
 ns: Not- significant.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی نیاز آبی و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد غده سیب زمینی
Table 4. Mean comparison of the main effects of water requirement and planting date on tuber yield and its components of potato

	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار) Biological yield (ton ha ⁻¹)	عملکرد غده (تن در هکتار) Tuber yield (ton ha ⁻¹)	تعداد غده در مترمربع Tuber number m ⁻²	شاخص سطح برگ Leaf area index
نیاز آبی (درصد) Water requirement (%)					
100	69.24a	71.29a	49.52a	6.00a	5.29a
85	71.75a	61.00b	44.07b	5.55ab	4.89ab
70	70.03a	50.50c	35.48c	4.44b	3.86b
55	64.53a	34.01d	21.93d	3.00c	2.74c
تاریخ کاشت Planting date					
March 11	72.06a	61.55a	45.01a	5.42a	5.07a
April 9	67.60b	54.21b	36.89b	4.75ab	3.99b
May 10	66.99b	46.83c	31.36c	4.09b	3.52b

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

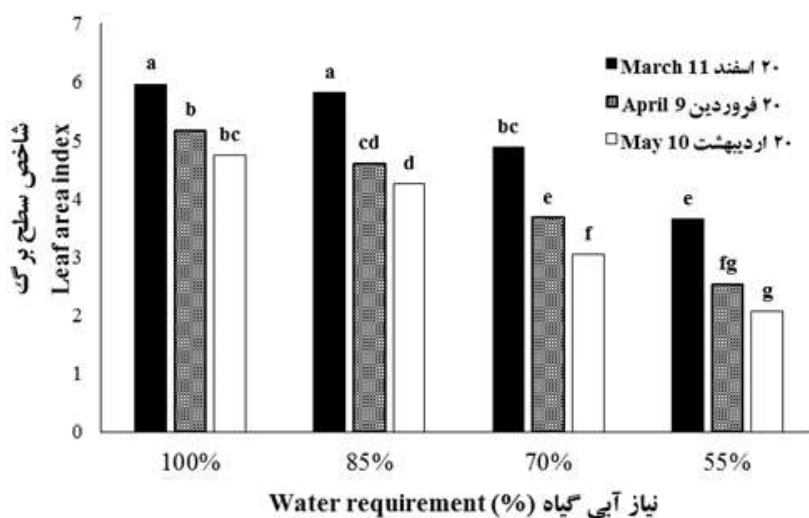
Means, in each column and for each factor, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 1% probability level- using LSD Test.

توجه: تاریخ کاشت ۲۰ فروردین به عنوان تاریخ کاشت شاهد در نظر گرفته شد.

Note: Planting on April 9 was considered as control.

سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۵ درصد نیاز آبی به ترتیب برابر با ۵/۹۶ و ۵/۸۱ به دست آمد (شکل ۴).
سطح برگ نسبت به تنش کم آبی حساس می‌باشد و حتی بیشتر از فتوسنتز و تنفس تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تنش علاوه بر کاهش توسعه برگ از طریق ریزش برگ‌ها و پیری آن‌ها در مراحل رشد بر شاخص سطح برگ اثر می‌گذارد (Arya et al., 2017). گزارش شده است که دوام سطح برگ، تعداد برگ و شاخص سطح برگ با عملکرد همبستگی مثبت دارند (Papadavid et al., 2015). در پژوهش حاضر نیز مشخص شد که شاخص سطح برگ با عملکرد غده همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r = 0.866^{**}$) داشت (جدول ۵).

سطوح آبیاری × تاریخ کاشت نشان داد که در کلیه سطوح آبیاری بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به تاریخ کاشت ۲۰ اسفند بود (شکل ۴). بجز در سطح آبیاری ۷۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری بین تاریخ‌های کشت ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت مشاهده نشد. نتایج نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند سطح آبیاری ۸۵ درصد نیاز آبی اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ نداشت، ولی در سایر تاریخ‌های کشت کاهش حجم آب آبیاری از ۱۰۰ به ۸۵ درصد نیاز آبی با کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ همراه بود که با کاهش آبیاری به ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی این کاهش شاخص سطح برگ تشدید شد. به‌طور کلی، بیشترین شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند در



شکل ۴- اثر سطوح متفاوت آبیاری بر شاخص سطح برگ سیب‌زمینی در سه تاریخ کاشت. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Fig. 4. Effect of different irrigation levels on leaf area index (LAI) of potato in three planting dates. Columns with at least one letter in common are not significantly different at the 1% probability level- using LSD Test.

سیب‌زمینی بیش از شاخص سطح برگ به دوام سطح برگ ارتباط دارد (Kumari *et al.*, 2011). پژوهشگران دیگری نیز ابراز داشتند در مرحله رشد رویشی، رابطه بین میزان رشد محصول سیب‌زمینی و سطح برگ تولید شده تا زمانی که شاخص سطح برگ به نزدیک پنج برسد خطی می‌باشد (Papadavid *et al.*, 2011; Sandmann *et al.*, 2013). در پژوهش حاضر نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد بیولوژیک و شاخص سطح برگ ($r = 0.896^{**}$) نشان داده شد (جدول ۵).

میانگین تعداد غده در در مترمربع گیاه سیب‌زمینی تحت تاثیر سطوح آبیاری ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی نسبت به ۱۰۰ درصد کاهش

با کاهش میزان آب، بسته به رقم، حداکثر دوام سطح برگ، تعداد برگ و شاخص سطح برگ و کل ماده خشک تولیدی سیب‌زمینی کاهش یافت. سبحانی و حمیدی (Sobhani and Hamidy, 2014) گزارش کردند که حداکثر شاخص سطح برگ در تیمار بدون تنش ۴/۸، و در تیمارهای تنش آبی بسیار ملایم، ملایم، شدید و بسیار شدید به ترتیب ۲/۴، ۲/۴، ۱/۳ و ۰/۶ بود. معمولاً همبستگی خوبی بین عملکرد غده سیب‌زمینی و دوام سطح برگ وجود دارد و با توسعه سریع تر سطح برگ و مرگ دیر هنگام آن عملکرد غده افزایش می‌یابد (Mousapour-Gorji and Hassanabadi, 2012). برخی از محققان بر این عقیده‌اند که عملکرد غده

جدول ۵- ضرایب همبستگی میان خصوصیات مختلف سیب زمینی تحت تاثیر سطوح نیاز آبی و تاریخ کاشت های مختلف
Table 5. Correlation coefficient among different characteristics of potato as affected by different water requirement levels and planting dates

Characteristic	خصوصیت	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Plant height (Cm) (1)	ارتفاع بوته (سانتی متر) (۱)	1.000								
Leaf area index (2)	شاخص سطح برگ (۲)	0.893**	1.000							
Tuber number in m ² (3)	تعداد غده در متر مربع (۳)	0.897**	0.879**	1.000						
Tuber yield (tha ⁻¹) (4)	عملکرد غده (تن در هکتار) (۴)	0.866**	0.866**	0.923**	1.000					
Biological yield (tha ⁻¹) (5)	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار) (۵)	0.859**	0.896**	0.904**	0.918**	1.000				
Harvest index (%) (6)	شاخص برداشت (درصد) (۶)	0.643*	0.654**	0.612**	0.702*	0.607*	1.000			
Small tubers weight (tha ⁻¹) (7)	وزن غده های ریز (تن در هکتار) (۷)	-0.566	-0.683	-0.886**	-0.861**	-0.736*	-0.614*	1.000		
Seed tubers weight (tha ⁻¹) (8)	وزن غده های بذری (تن در هکتار) (۸)	0.646	0.676	0.833**	0.907**	0.843**	0.767*	-0.834**	1.000	
Large tubers weight (tha ⁻¹) (9)	وزن غده های درشت (تن در هکتار) (۹)	0.607	0.703	0.928**	0.942**	0.868**	0.518	-0.815**	0.805**	1.000

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: غیر معنی دار.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.
ns: Not- significant.

معنی‌داری داشت (جدول ۴)، ولی در شرایط ۸۰ درصد نیاز آبی بدون تغییر ماند. تعداد غده در مترمربع بوته‌های سیب‌زمینی در شرایط ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی به ترتیب به میزان ۲۵/۹ و ۵۰/۰ درصد نسبت به آبیاری مطلوب کمتر بود. تفاوت معنی‌داری بین تاریخ‌های کاشت از نظر تعداد غده در واحد سطح وجود داشت، به طوری که بیشترین و کمترین تعداد غده به ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند و ۲۰ اردیبهشت به دست آمد (جدول ۴). البته تفاوت معنی‌داری بین تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند و ۲۰ فروردین مشاهده نشد.

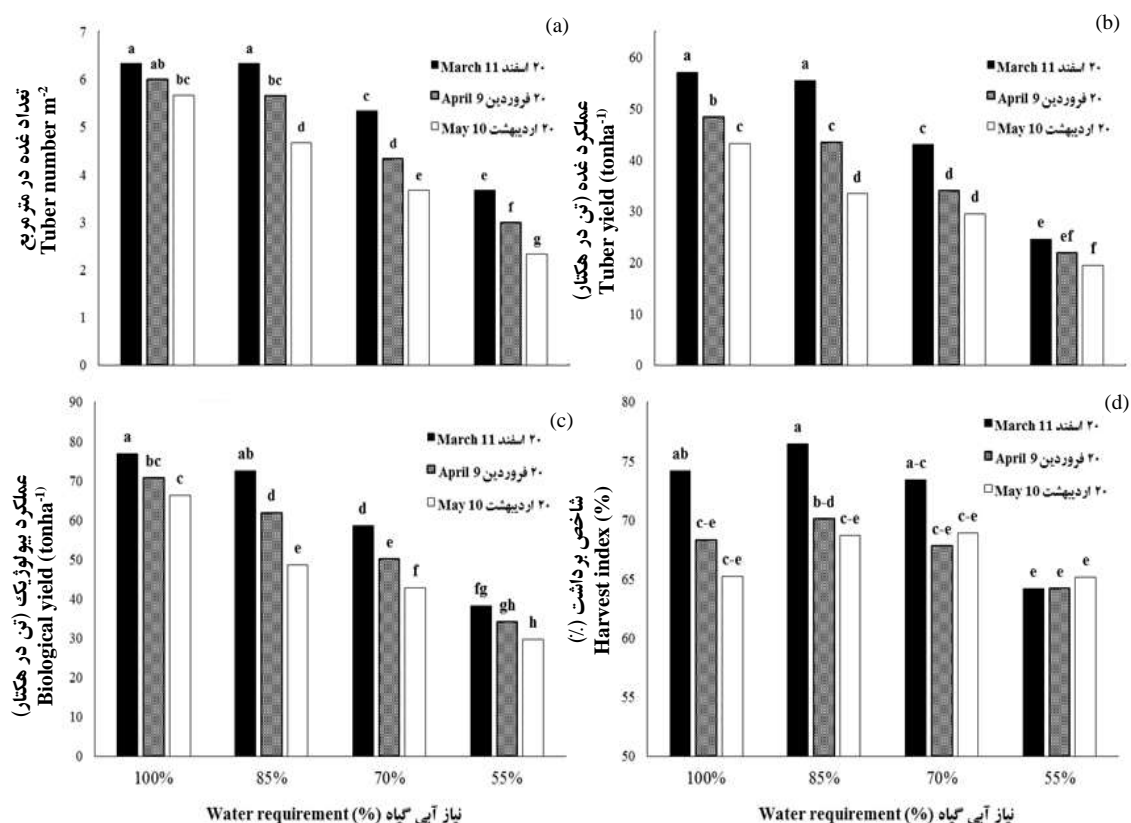
در شرایط بدون تنش و تنش ۸۵ درصد نیاز آبی تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند و ۲۰ فروردین تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۵)، ولی با تشدید تنش آبی تعداد غده در واحد سطح در تاریخ کاشت ۲۰ فروردین کاهش قابل توجهی نشان داد و تفاوت معنی‌داری با تاریخ کاشت ۲۰ اسفند داشت، با این وجود از تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت در کلیه سطوح آبیاری تعداد غده بیشتری داشت. تاریخ‌های مختلف کاشت بر روی درصد کاهش تعداد غده نیز تاثیرگذار بود، به طوری که تعداد غده در مترمربع در شرایط ۵۵ نسبت به ۱۰۰ درصد نیاز آبی در تاریخ‌های ۲۰ اسفند، ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت به ترتیب ۴۲، ۵۰ و ۵۹ درصد کمتر بود.

مطالعات نشان داده است که سیب‌زمینی به کمبود رطوبت خاک بسیار حساس است (Rezaei and Soltani, 2014; King et al., 2003). این مورد به دلیل نظام

ریشه‌ای محدود و کم عمق آن می‌باشد، زیرا تقریباً ۸۵ درصد از طول ریشه این گیاه در لایه ۳۰ سانتی‌متری بالای سطح خاک قرار دارد (Onder et al., 2005). سیب‌زمینی به وجود رطوبت کافی در خاک طی تمام دوره رشد نیازمند می‌باشد، و بالاترین دوره حساسیت به آبی آن زمانی است که غده‌ها در حال رشد سریع هستند (King et al., 2003).

شیرینی جنس اقرد (Shiri Janagard et al., 2007) نشان دادند که از نظر تعداد غده در بوته بین آبیاری کامل و ۸۰ درصد آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و ۶۰ درصد آبیاری کامل کمترین تعداد غده را داشت. در مرحله غده‌زایی، سرعت رشد گیاه با رشد غده‌ها ارتباط پیدا کرده و رابطه آن با شاخص سطح برگ معکوس می‌شود (Sandmann et al., 2013).

کاهش تعداد غده در تاریخ‌های کاشت دیرتر احتمالاً ناشی از افزایش دما در زمان تولید غده می‌باشد (Arji et al., 2012). از طرفی هرچه کاشت با تاخیر صورت گیرد، دوره رشد بوته‌ها مواجه با طول روز بلند و دمای بالا می‌شود که تاثیر منفی در غده‌زایی دارد، زیرا افزایش دما بیش از ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد برای تولید غده سیب‌زمینی مناسب نمی‌باشد (Begum et al., 2015). دم و همکاران (Dam et al., 1996) با بررسی اثر طول روز و دماهای روزانه و شبانه بر تعداد غده در دو رقم



شکل ۵- اثر سطوح متفاوت آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد غده سیب زمینی در سه تاریخ کاشت. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی دار ندارند.

Fig. 5. Effect of different irrigation levels on tuber yield and yield components of potato in three planting dates. Columns with at least one letter in common are not significantly different at the 1% probability level- using LSD Test.

همبستگی مثبت و معنی داری ($r = 0.923^{**}$) داشتند (جدول ۵).

نتایج این پژوهش نشان داد که حتی در شرایط تنش ملایم نیز عملکرد غده کاهش یافت (جدول ۴). عملکرد غده سیب زمینی در سطوح آبیاری ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی نسبت به شرایط بدون تنش (۱۰۰ درصد نیاز آبی) به ترتیب به میزان ۱۱/۰، ۲۸/۴ و ۵۵/۷ درصد کمتر بود. از سوی دیگر تاریخ‌های کاشت نیز از نظر عملکرد غده با

سیب زمینی اسپونتا و دزیره بیان کردند که در اغلب موارد دماهای میانگین پایین (۱۵ تا ۱۹ درجه سانتی گراد) به همراه طول روز کوتاه (۱۲ ساعت) باعث رشد زود هنگام غده‌ها شدند. در چنین شرایطی، آغاز رشد و پرشدن غده‌ها زودتر انجام شده و میزان اختصاص ماده خشک به غده و میزان رشد خالص غده بیشتر می‌گردد. تعداد غده بیشتر منجر به عملکرد غده بیشتر نیز خواهد شد، همچنان که در پژوهش حاضر این دو صفت با یکدیگر

وزن هر غده باشد. بیشتر بودن تعداد غده در بوته نمی‌تواند الزاماً دلیل بالا بودن عملکرد باشد، چون ممکن است تعداد غده بیشتر موجب تشدید رقابت در بین غده‌ها برای دریافت مواد پرورده شد و در نتیجه اندازه غده‌ها کوچک می‌ماند (Shiri Janagard *et al.*, 2007). در آزمایش حاضر مشخص شد که عملکرد غده با کلیه صفات اندازه‌گیری شده بجز وزن غده‌های ریز و دمای سایه‌انداز، همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۵). بیشترین همبستگی بین عملکرد غده و به وزن غده‌های درشت ($r = 0/942^{**}$) بود.

تفاوت عملکرد غده سیب‌زمینی در تاریخ‌های کاشت مختلف می‌تواند ناشی از واکنش به شرایط آب و هوایی باشد. کاهش عملکرد در تاریخ‌های کاشت دیرتر (۲۰ اردیبهشت در پژوهش حاضر) به دلیل کوتاه شدن دوره رشد سیب‌زمینی بود که در نتیجه آن رشد گیاه کامل نشد و میزان عملکرد غده کاهش یافت (Tang *et al.*, 2018b). کاهش رطوبت نسبی هوا و افزایش دما در طی روز در طول فصل رشد منجر به متاثر شدن رشد و تولید غده کمتر و جلوگیری از بزرگ شدن غده در گیاهان می‌شود که در نهایت منجر به کاهش عملکرد در تاریخ‌های کاشت دیرتر می‌گردد (Arji *et al.*, 2012).

در پژوهش حاضر نیز مشخص شد که تاریخ‌های کشت ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت دارای تعداد غده در واحد سطح کمتر، وزن غده‌های ریز بیشتر و وزن غده‌های بذری و درشت کمتر بود. این نتایج با یافته‌های ساجدی و همکاران

یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۴). بیشترین و کمترین عملکرد غده به ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند و ۲۰ فروردین به دست آمد.

بیشترین عملکرد غده در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند به دست آمد (شکل ۵). در شرایط بدون تنش و تنش ملایم (۸۵٪ نیاز آبی) عملکرد غده در تاریخ کاشت ۲۰ فروردین از ۲۰ اردیبهشت بیشتر بود، ولی با تشدید تنش (۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی) کاهش عملکرد غده در تاریخ کاشت ۲۰ فروردین بیشتر شد و در این شرایط تفاوت معنی‌داری بین تاریخ‌های کاشت ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت مشاهده نشد.

تاریخ کاشت بهینه علاوه بر افزایش عملکرد غده، کاهش عملکرد ناشی از تنش آبی را نیز کمتر کرد، به طوری که عملکرد غده در سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی نسبت به آبیاری مطلوب در تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند، ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت به ترتیب ۲۴/۷، ۲۹/۷ و ۳۱/۷ درصد بود. به طور کلی بیشترین عملکرد غده معادل ۵۷/۱ تن در هکتار از تاریخ کاشت ۲۰ اسفند در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد.

تنش کم آبی باعث کاهش عملکرد غده و میانگین وزن غده‌ها می‌شود. سیب‌زمینی به دلیل داشتن ریشه‌های کم پشت، نازک و قدرت جذب کمتر آب از خاک، گیاهی است که عملکرد و اجزای آن نسبت به تنش آبی عکس‌العمل نشان می‌دهد. علت کاهش عملکرد غده در بوته با کاهش آبیاری می‌تواند کاهش تعداد غده و میانگین

رشد و در نتیجه کوتاه‌تر شدن دوره تولید مواد پرورده بود. در تاریخ کاشت دیرتر زمان غده‌زایی گیاه سیب‌زمینی نیز با شرایط نامساعد آب و هوایی بویژه دمای بالاتر، رطوبت نسبی کمتر هوا و رطوبت کمتر خاک مواجه شده و رشد گیاه کمتر می‌شود (Tang et al., 2018b). دارابی (Darabi, 2007a)

اثر تاریخ‌های کاشت ۱۰ اردیبهشت، ۲۵ اردیبهشت و ۹ خرداد بر عملکرد سیب‌زمینی را بررسی و گزارش کرد که بیشترین عملکرد غده در تاریخ کاشت ۲۵ اردیبهشت به‌دست آمد. دارابی (Darabi, 2007b) اعلام کرد که با توجه به احتمال وقوع یخبندان در دوره رشد در اواخر پاییز و اوایل زمستان، کشت زمستانه بر کشت پاییزه برتری داشت.

عملکرد بیولوژیک که شامل وزن کلیه قسمت‌های گیاه می‌باشد، در اثر تنش آبی کاهش یافت که با کاهش ارتفاع بوته، رشد برگ‌ها، تعداد و وزن غده‌ها در ارتباط بود. همبستگی بین عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته ($r = 0/859^{**}$)، شاخص سطح برگ ($r = 0/896^{**}$)، تعداد غده ($r = 0/904^{**}$) و عملکرد غده ($r = 0/918^{**}$) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵). با کاهش آب قابل دسترس گیاهان، عملکرد بیولوژیک همه گیاهان زراعی از جمله سیب‌زمینی کاهش می‌یابد. حداکثر تولید سیب‌زمینی زمانی اتفاق می‌افتد که رطوبت خاک در حد بهینه باشد (Sobhani and Hamidy, 2014).

شاخص برداشت نسبت به سایر صفات اندازه‌گیری شده واکنش کمتری به سطوح آبیاری

(Sajedi et al., 2009) که بیان داشتند که تاریخ کاشت زودتر عملکرد بهتری داشت در یک راستا بود. آنها گزارش کردند که عملکرد غده در تاریخ کاشت ۳۱ اردیبهشت (۱۹/۵ تن در هکتار) نسبت به تاریخ‌های کشت ۱۷ خرداد و ۳۱ خرداد بیشتری بود.

عملکرد بیولوژیک در همه سطوح تنش آبی کاهش معنی‌داری داشت و کاهش آن با تشدید تنش افزایش یافت (جدول ۴). سطوح آبیاری برای ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی به ترتیب با کاهش همراه بودند. تاریخ‌های کاشت نیز عملکرد بیولوژیک متفاوتی داشتند، که تفاوت آن‌ها معنی‌دار بود (جدول ۴). تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند و ۲۰ فروردین به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میانگین عملکرد بیولوژیک بودند.

برهمکنش سطح آبیاری \times تاریخ کاشت نیز نشان داد که در کلیه سطوح آبیاری بیشترین عملکرد بیولوژیک در تاریخ کشت ۲۰ اسفند به دست آمد (شکل ۵). کمترین تفاوت بین تاریخ‌های کاشت در شرایط بدون تنش به‌دست آمد، ولی با ایجاد تنش آبی تاریخ‌های کاشت تفاوت بیشتری از خود نشان دادند. اثر تنش آبی سطح ۷۵ درصد نیاز آبی نسبت به آبیاری مطلوب بر عملکرد بیولوژیک در تاریخ‌های کشت ۲۰ اسفند، ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت به ترتیب برابر با ۲۳/۹، ۲۹/۱ و ۳۵/۳ درصد بود (شکل ۵).

عملکرد بیولوژیک کمتر سیب‌زمینی در تاریخ‌های کاشت دیرتر به دلیل کوتاه‌تر شدن دوره

درشت در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند به‌دست آمد (جدول ۶). اثر تنش آبی در تاریخ کشت ۲۰ اسفند کمتر بود، به‌عنوان مثال سطح آبی ۷۰ درصد نیاز آبی با افزایش ۶۶/۷ درصدی وزن غده‌های ریز در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند همراه بود که در تاریخ‌های کشت ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت به‌ترتیب به ۸۷/۶ و ۸۶/۳ درصد افزایش یافت (جدول ۶).

تغییرات آب و هوایی بر روی سیب‌زمینی و ساینبدی غده‌های آن بیشتر از هر گیاه دیگری تاثیر می‌گذارد (Tang et al., 2018b). روزهای کوتاه و درجه حرارت معتدل بویژه دمای پایین در شب‌ها شروع غده‌زایی را تحریک می‌کند (Onder et al., 2005). اگر درجه حرارت در شب بالاتر از ۲۰ درجه باقی بماند غده‌زایی شروع نخواهد شد، زیرا تنفس را افزایش داده و ذخیره کربوهیدرات‌ها را تخلیه می‌کند و رشد غده آهسته‌تر می‌شود (Knezevic et al., 2018).

در تاریخ‌های کاشت ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت نسبت به ۲۰ اسفند، با افزایش دما، رطوبت نسبی هوا (به‌طور میانگین ۵۵، ۵۱ و ۴۴ به‌ترتیب در اسفند، فروردین و اردیبهشت) کاهش یافت (شکل ۱). کاهش رطوبت نسبی هوا در اثر افزایش دما در این دو تاریخ کاشت منجر به جلوگیری از رشد غده‌ها شده و در نتیجه از بزرگ‌شدن غده‌ها جلوگیری کرد (Arji et al., 2012).

کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد، فرصت مناسب برای رشد کامل غده‌ها را فراهم نمی‌کند و در نتیجه غده‌های بذری و درشت کمتر و غده‌های ریز

و تاریخ کاشت نشان داد (جدول ۴). شاخص برداشت در سطوح مختلف آبیاری تفاوت معنی‌دار نداشت. تاریخ کاشت ۲۰ اسفند دارای بیشترین میانگین شاخص برداشت بود، ولی تفاوت معنی‌داری بین تاریخ‌های کشت ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت مشاهده نشد (جدول ۴).

در شرایط بدون تنش و تنش‌های ملایم و متوسط (۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی) شاخص برداشت در تاریخ کشت ۲۰ اسفند بیشتر بود (شکل ۵)، ولی در تنش شدید (۵۵٪ نیاز آبی) تفاوتی بین هیچکدام از تاریخ‌های کشت مشاهده نشد. در کلیه شرایط آبی شاخص برداشت تاریخ کاشت ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت یکسان بودند. بیشترین شاخص برداشت در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند در شرایط ۸۵ درصد نیاز آبی برابر با ۷۶/۴ درصد به‌دست آمد.

اندازه غده‌های سیب‌زمینی

تنش محدودیت آبی موجب افزایش غده‌های ریز و کاهش غده‌های بذری و درشت گردید (جدول ۶). تیمارهای ۱۰۰ و ۸۵ درصد نیاز آبی بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر دارای بیشترین غده‌های بذری و تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی دارای بیشترین غده‌های درشت بود. تاریخ کاشت ۲۰ اسفند دارای کمترین غده‌های ریز و بیشترین غده‌های بذری و درشت بود که وزن غده‌های درشت در تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند با ۲۰ فروردین تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶).

تقریباً در کلیه سطوح آبیاری کمترین وزن غده‌های ریز و بیشترین وزن غده‌های بذری و

جدول ۶- اثر سطوح آبیاری بر وزن غده‌های سیب‌زمینی در سه تاریخ کاشت مختلف
Table 6. The effect of irrigation levels on tuber weight of potato in different planting dates

نیاز آبی (%) Water requirement (%)	Planting Date	تاریخ کاشت	Tuber weight (tonha ⁻¹) وزن غده		
			غده‌های ریز Small tubers	غده‌های بذری Seed tubers	غده‌های درشت Large tubers
100	March 11	۲۰ اسفند	1.38g	34.81a	20.88c
	April 9	۲۰ فروردین	1.93f	21.18de	25.22a
	May 10	۲۰ اردیبهشت	2.62e	20.82e	19.73cd
85	March 11	۲۰ اسفند	1.34g	31.53b	22.61b
	April 9	۲۰ فروردین	2.40e	23.05cd	17.90de
	May 10	۲۰ اردیبهشت	3.76d	16.79f	12.83f
70	March 11	۲۰ اسفند	2.30ef	24.06c	16.61e
	April 9	۲۰ فروردین	3.62d	17.29f	13.08f
	May 10	۲۰ اردیبهشت	4.88b	13.11g	11.50fg
55	March 11	۲۰ اسفند	4.32c	9.65h	10.54g
	April 9	۲۰ فروردین	6.17a	7.42hi	8.31h
	May 10	۲۰ اردیبهشت	6.65a	6.68i	6.05h

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 1% probability level- using LSD Test.

تاریخ کاشت ۲۰ فروردین به عنوان تاریخ کاشت شاهد در نظر گرفته شد.

Planting on April 9 was considered as control.

آبی اهمیت تاریخ کاشت بیشتر بود، بدین صورت که در شرایط بدون تنش تفاوت بین تاریخ‌های کاشت حداقل بود، ولی در شرایط تنش آبی تفاوت‌ها بیشتر شد. این تفاوت ایجاد شده به دلیل کاهش بیشتر ناشی از تنش آبی در رشد و عملکرد غده سیب‌زمینی در تاریخ‌های کاشت ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت بود که نشان‌دهنده بهبود تحمل به تنش در تاریخ کاشت مناسب (۲۰ اسفند) بود. بنابراین تاریخ مناسب کاشت بین ۲۰ اسفند تا ۲۰ فروردین توصیه می‌شود. اگر در این دوره توصیه شده محدودیت آب آبیاری وجود داشته باشد (۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی) انتظار می‌رود که به‌طور میانگین، به ترتیب حدود ۷، ۲۷ و ۵۶ درصد کاهش

بیشتر می‌شود (Tang *et al.*, 2018a). این عوامل باعث شدند که در تاریخ کاشت ۲۰ فروردین و بویژه ۲۰ اردیبهشت وزن غده‌هایی که رشد کافی نکرده بودند (غده ریز) زیاده‌تر بود، و وزن غده‌ها با رشد مناسب (غده بذری) کمتر شد. مرتضوی بک و امین‌پور (Mortazavi Bak and Aminpour, 2001) نشان دادند که در تاریخ‌های کاشت دیرتر درصد غده‌های تولیدی با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر بیشتر بود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط تنش

عملکرد اتفاق بیفتد.

کاشت باشد.

به‌نظر می‌رسد به‌دلیل استفاده بهتر از بارش‌های زمستانه و اوایل بهار، دمای کمتر در اوایل فصل رشد و در نتیجه تبخیر کمتر و همچنین دمای مناسب‌تر در زمان غده‌زایی و در نتیجه افزایش عملکرد غده‌های سب‌زمینی، تاریخ کشت ۲۰ اسفند بویژه در شرایط تنش آبی برای شرایط مشابه این پژوهش بهترین تاریخ

سپاسگزاری

نگارندگان از مدیریت محترم بخش زراعت و اصلاح نباتات و همچنین کارکنان زحمتکش ایستگاه زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز که ما را در انجام و ارتقاء کیفیت این پژوهش یاری دادند، سپاسگزاری می‌کنند.

References

- Anonymous. 2018.** Statistical Yearbook of Agriculture 2016-17. Field Crops. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Tehran, Iran. 124 pp. (in Persian).
- Anonymous. 2019.** Food and Agriculture Organization. online available at: www.faostat.org.
- Arji, I., Miri, S., and Abdosi, V. 2012.** An investigation into effect of planting date on quantitative and qualitative traits of some potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars in Ghasre Shirin. Journal of Plant Production 35: 43-54.
- Arya, S., Rawal, S., Luthra, S. K., Sharma, N., Gupta, V. K., and Kadian, M. S. 2017.** Participatory evaluation of advanced potato (*Solanum tuberosum*) clones for water stress tolerance. Indian Journal of Agricultural Sciences 87: 143-148.
- Begum, F., Kundu, B. C., and Hossain, M. I. 2015.** Physiological analysis of growth and yield of potato in relation to planting date. Journal of Bangladesh Academy of Sciences 39: 45-51.
- Dam, J. V., Kooman, P. L., and Struik, P. C. 1996.** Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potatoes (*Solanum tuberosum* L.). American Potato Journal 39: 51-62.
- Darabi, A. 2007a.** Effects of planting density and harvesting date on yield and yield components of some potato cultivars in Behbahan. Seed and Plant 23: 233-244 (in Persian).

- Darabi, A. 2007b.** Effects of autumn and winter planting and temperature stress on total yield, marketable yield and yield components of some potato cultivars. *Seed and Plant* 23: 373-385 (in Persian).
- Emam, Y., and Seghatoleslami, M. J. 2011.** Crop yield, physiology and processes. Shiraz University Publication. Shiraz, Iran. 593 pp. (In Persian).
- Hou, X. Y., Wang, F. X., Han, J. J., Kang, S. Z., and Feng, S. Y. 2010.** Duration of plastic mulch for potato growth under drip irrigation in an arid region of Northwest China. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 115-121.
- Khajepour, M. R. 2014.** Principles of agronomy. 3th Edition. Jihad-Daneshgahi of Industrial University of Isfahan. Isfahan, Iran. 685 pp. (in Persian).
- King, B. A., Stark, G. C., and Love, S. 2004.** Potato production with limited water supplies. Agricultural Experiment Station Publications. Idaho, USA. 325 pp.
- Knezevic, M., Zivotic, L., Cerekovic, N., Topalovic, A., Kokovic, N., and Todorovic, M. 2018.** Impact of climate change on water requirements and growth of potato in different climatic zones of Montenegro. *Journal of Water and Climate Change* 9: 657-671.
- Kumari, S. 2011.** Influence of drip irrigation and mulch on leaf area maximization, water use efficiency and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Agricultural Science* 4: 71-80.
- Mortazavi Bak, A., and Aminpour, R. 2001.** Effects of season and planting depth on the yield characteristics of commercial potato cultivars. *Seed and Plant* 17: 95-106. (in Persian)
- Mousapour-Gorji, A., and Hassanabadi, H. 2012.** Analysis of growth and variation in trend of some traits of potato cv. Agria in different planting dates. *Seed and Plant Improvement* 28: 208-287. (in Persian).
- Onder, S., Caliskan, M., Onder, D., and Caliskan, S. 2005.** Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components. *Agriculture Water Management* 73: 73-86.
- Papadavid, G. C., Hadjimitsis, D. G., Toullos, L., and Michaelides, S. 2011.** Mapping potato crop height and leaf area index through vegetation indices using remote sensing in Cyprus. *Journal of Applied Remote Sensing* 5: 526-530.

- Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., and Pessarakli, M. 2013.** Changes in endogenous hormonal status in corn (*Zea mays*) hybrids under drought stress. *Journal of Plant Nutrition* 36: 1695-1707.
- Rawson, H. M. 2000.** Irrigated wheat, managing your crop. FAO. Rome, Italy. 95 pp.
- Rezaei, A., and Soltani, A. 2014.** Potato cultivation. Jihad-Daneshgahi of Mashhad. Mashhad, Iran. 180 pp. (in Persian).
- Sajedi, N., Sheikh Alivand, S., Madani, H., and Safari Kamalvand, H. 2009.** Effect of planting date and nitrogen rates on agronomic traits of potato cv. Markinez Modern Finding in Agriculture 3: 287-301.
- Sandmann, M., Graefe, J., and Feller, C. 2013.** Optical methods for the non-destructive estimation of leaf area index in kohlrabi and lettuce. *Scientia Horticulturae* 156: 113-120.
- Shiri Janagard, M., Tobeh, M., Asghari Zakaria, R., Nour-Ganbalani, G., and Dehdar Masjedlo, B. 2007.** The effects of different levels of drip irrigation and cultivation pattern on yield and yield components of the Agria potato. *Pajouhesh and Sazandegi* 75: 149-157. (in Persian).
- Shock, C. C., and Feibert, E. B. G. 2002.** Deficit irrigation on potato. Pp. 47-55. In: Kirda, C. (ed.) Deficit irrigation practices. FAO. Rome, Italy.
- Siadat, S. A., Dezfoli, S. A., Valizadeh, M., and Sadeghzade Hemayati, S. 1999.** Growth analysis of three potato cultivars in different planting pattern and plant density. *Iranian Agricultural Sciences* 30: 279-386.
- Sobhani, A., and Hamidy, H. 2014.** Evaluating of yield and growth indices of potato as affected by different water deficit levels, *Iranian Journal of Field Crops Research* 12: 283-295. (in Persian).
- Tang, J., Wang, J., Fang, Q., Wang, E., Yin, H., and Pan, X. 2018a.** Optimizing planting date and supplemental irrigation for potato across the agro-pastoral ecotone in North China. *European Journal of Agronomy* 98: 82-94.
- Tang, J., Wang, J., Wang, E., Yu, Q., Yin, H., He, D., and Pan, X. 2018b.** Identifying key meteorological factors to yield variation of potato and the optimal planting date in the agro-pastoral ecotone in North China. *Agricultural and Forest Meteorology* 256: 283-291.

Wang, F., Kang, Y., Liu, S., and Hou, X. 2007. Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. *Agriculture Water Management* 88: 34-42.