نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال پانزدهم، شماره ۶۰، زمستان ۱۳۹۹ / صفحات: ۳۱-۱۶

بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه استبرق (*Calotropts procera* L.) در مناطق خشک و شور استان گلستان

مصطفی حمیدی، سعید نواب‌پور*، احد یامچی، علی‌اصغر نصراله‌نژاد، ابوالفضل مازندرانی

گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۰۱/۲۷

چکیده

گیاه استبرق (*Calotropts procera* L.) متعلق به خانواده *Asclepiadaceae* و مقاوم به سطوح نسبتاً بالای خشکی و شوری است. اندام های این گیاه برای درمان بیماری‌های مختلف استفاده می‌شود. به‌منظور بررسی پایداری و سازگاری این گیاه در اقلیم‌های خشک و شور استان گلستان در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤، بذرهای گیاه استبرق در سه منطقه گرگان، گنبدکاووس و آق‌قلا با درجه شوری و خشکی متفاوت در سه تاریخ (اول اسفند، اول فروردین و اول اردیبهشت) کشت شد. در طول فصل رشد، ارتفاع گیاه، تعداد، سطح و وزن خشک برگ، مقدار پرولین و کلروفیل اندازه‌گیری شد. بررسی داده‌ها از طریق تجزیه مرکب در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد اثر مکان برای ارتفاع بوته، سطح و وزن خشک برگ و میزان پرولین معنی‌دار و اثر سال، تنها برای ارتفاع بوته و تعداد برگ معنی‌دار شد. اثر تاریخ کاشت و نمونه‌برداری برای تمامی صفات معنی‌دار گردید. طبق نتایج، صفات مهمی همچون میزان پرولین، کلروفیل، وزن خشک، سطح برگ و ارتفاع گیاه به‌عنوان مهم‌ترین صفات برای بررسی سازگاری و تعیین مکان مورد نظر گیاه معرفی گردید و مناسب‌ترین مکان کشت در استان گلستان، منطقه گرگان بود. تغییر تاریخ کاشت منجر به تغییر در میزان سازگاری و پایداری گیاه شد. بدین‌ترتیب، بهترین تاریخ، کاشت در اردیبهشت ماه بود. با توجه به نتایج، گیاه توانایی تحمل شرایط خشک و شور استان را دارا بوده و بر این اساس می‌توان از استبرق به‌عنوان یک گیاه جایگزین در مناطق خشک و شور استان استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: استان گلستان، استبرق، پایداری و سازگاری، تنش خشکی، تنش شوری

مقدمه

گیاه استبرق (*Calotropts procera* L.) به‌عنوان یک گیاه مقاوم به سطوح نسبتا بالای خشکی (Alcazar et al., 2011) و شوری گزارش شده که به طور معمول در محیط‌های شناخته شده با ویژگی‌های خشکسالی شدید، درجه حرارت بالا و تنش شوری رشد می‌کند (Khan et al., 2007). این گیاه، یک درختچه بیابانی مقاوم از گیاهان کائوچویی در برابر خشکسالی است که به‌طور گسترده در مناطق بیابانی، حاره‌ای، نیمه حاره‌ای، نیمه خشک و خشک جنوب غربی آسیا، آفریقا، شبه‌جزایر عربی، جنوب ایران، شرق افغانستان، پاکستان و تمام مناطق بیابانی غرب هند قادر به رشد می‌باشد (Boutraa, 2010; Amritphale and Sharma, 2007). گیاه استبرق، متعلق به خانواده *Asclepiadaceae* می‌باشد که به علت ترکیبات شیمیایی فعال دارویی موجود در تمام قسمت‌های گیاهی، در طب سنتی ضد التهاب و ضد سرماخوردگی بوده و برای درمان بیماری‌های مختلف

*نویسنده مسئول: s.navabpour@gau.ac.ir

مثل زخم معده، جذام، روماتیسم، بواسیر، بیماری‌های طحال، کبد و شکم مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kumar and Arya, 2006; Usmani and Kushwaha, 2010). همچنین از الیاف ساقه استبرق به‌عنوان یک فیبر با دوام برای تهیه لباس و طناب استفاده می‌شود (Tuntawiroon and Samootsakorn, 1984).

میزان در دسترس بودن آب و تنش خشکی، یکی از مهم‌ترین محدودیت‌ها در کشاورزی است که رشد، فتوسنتز و در نتیجه بهره‌وری گیاه در بسیاری از مناطق را تهدید می‌کند (Schmidhuber and Tubiello, 2007). با توجه به اهمیت فوق العاده تنش خشکی، مطالعات بسیاری با هدف درک بهتر از مکانیسم تحمل به تنش خشکی در گیاهان مختلف انجام شده است تا بدین وسیله نوع گیاه مناسب با هر منطقه با توجه به تحمل گیاه به شرایط محیطی آن منطقه از نظر تنش‌های محیطی و به‌ویژه خشکی کشت شود (Ramadan et al., 2014). در تحقیقی نشان داده شد که اعمال تنش با جلوگیری از رشد، باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع، اندازه، تعداد و سطح برگ‌ها شده و وزن خشک و تر را در قسمت‌های مختلف گیاه کاهش می‌دهد (Kaman et al., 2011). بنابراین دلیل اهمیتی که برگ در رشد گیاه بر عهده دارد، این اندام گیاهی از جنبه‌های مختلف از جمله سطح، وزن و میزان کلروفیل و سایر ترکیبات در تحقیقات مورد مطالعه قرار گرفته است. پژوهشگران گزارش کردند که اکثر تنش‌های محیطی، با علائم مشابه از جمله کاهش شاخص سطح برگ، تخریب کلروفیل و افزایش دمای کانوپی همراه است (Baret et al., 2007). همچنین در پژوهشی دیگر مشاهده شد که تنش شوری میزان کلروفیل a را کاهش می‌دهد. اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر میزان تجمع پرولین نیز نشان داد که میزان تجمع پرولین در سلول با افزایش شدت خشکی اعمال شده افزایش یافت (Chaum et al., 2010). یکی دیگر از عوامل مهم محدود کننده‌ی رشد و توسعه گیاه در زمینه تولیدات کشاورزی تنش شوری است (Boutraa and Akhkha, 2010). غلظت بالای نمک، سبب ایجاد خسارت در سطح مولکولی شده و تعداد زیادی از فرایندهای رشد شامل فتوسنتز، سنتز پروتئین و متابولیسم لیپیدها را تحت تاثیر قرار می‌دهد که باعث کاهش رشد گیاه شده و منجر به مرگ گیاه می‌شود (Tijen and Ismail, 2006).

شرایط تنش در مراحل مختلف رشدی گیاه، می‌تواند عملکرد را تا ۵۰ درصد و حتی بیش‌تر کاهش دهد. آمارها نشان می‌دهد که در استان گلستان که از مهم‌ترین مناطق زراعی ایران محسوب می‌شود، سطح زمین‌های شور زیاد است و میزان شوری خاک در این استان از مناطق کوه‌پایه‌ای به سمت مناطق دشت گرگان و سواحل دریاچه خزر به تدریج افزایش می‌یابد. اگرچه حاصلخیزی و زهکشی خاک‌های شور می‌تواند تا حدودی به‌وسیله مدیریت خوب و ترکیب تیمارهای فیزیکی و شیمیایی بهبود یابد، اما استقرار و رویاندن گیاهان در مناطق شور نقش مهمی در مبارزه با بیابان زایی و احیای خاک‌های شور دارد (Imada et al., 2009). بنابراین، یکی از قابل قبول‌ترین روش‌ها و رویکردهای کاهش مشکلات شوری، کاشت گونه‌های نمکی و به عبارتی اهلی کردن هالوفیت‌ها در مناطق شور در جهت اصلاح شوری خاک است (Koyro, 2006). در این روش، سطح نمک ممکن است از طریق کاهش جذب نمک‌ها توسط سیستم‌های ریشه‌ای گونه‌های مقاوم به شوری کاهش یابد (Stirzakerefo et al., 2002).

بیشتر مطالعات در مورد گیاه استبرق، به جنبه‌های دارویی و پزشکی محدود می‌شود و اطلاعات کمی درباره تاثیر تنش‌های محیطی مختلف مثل تنش آب (Boutraa, 2010) و تنش شوری (Al-Sobbi et al.,

2006) بر روی فرایند رشد و فیزیولوژی این گیاه وجود دارد. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان پایداری و سازگاری گیاه استبرق به شرایط مختلف خشک و شور استان گلستان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سه مکان گرگان با سه درجه شوری و خشکی متفاوت (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی طی دو سال متوالی (سال ۹۳ و ۹۴) در سه تاریخ کشت (اول اسفند، اول فروردین، اول اردیبهشت) اجرا شد.

جدول ۱: وضعیت آب و هوایی و شوری مناطق مختلف کشت استبرق در استان گلستان

نام منطقه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	غلظت شوری (دسی زیمنس بر متر)	میانگین بارندگی سالانه (میلی متر)
گرگان	۵۴°۱۹′	۳۶°۴′	۸-۶ (کم)	۵۱۷
گنبد کاووس	۵۵°۱۸′	۳۶°۵۸′	۱۲-۱۰ (متوسط)	۴۵۷
آق قلا	۵۴°۶۹′	۳۷°۱۷′	۱۸-۱۵ (بالا)	۴۱۵

در هر تاریخ کشت سه کرت، با شرایط خاکی تعبیه و سپس بذور استبرق با فاصله خطی ۹۰ سانتی‌متر از هم و فاصله روی هر خط ۴۰ سانتی‌متر از هم روی خطوط، کشت شد. ابعاد کرت‌ها به طول ۳ متر و عرض ۲ متر طراحی و اجرا شدند. در طی فصل رشد به طور مرتب گیاهان تحت بررسی قرارگرفتند و داده های حاصل از نمونه برداری یادداشت شد. خاک نواحی مورد مطالعه از نظر بعضی ترکیبات، مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن به‌صورت کلی در جدول زیر گنجانده شده است (جدول ۲). میانگین بارش در مناطق مختلف گلستان نیز به‌صورت نمودار (شکل۱) ذکر شده است.

جدول ۲: خصوصیات خاک مناطق انتخاب شده‌ی استان گلستان برای آزمایش

نمونه خاک شهر	EC (ds/m)	بافت خاک	ماسه درصد	لای درصد	رس درصد	عمق خاک	درصد ازت کل	فسفر قابل جذب ppm	پتاسیم قابل جذب ppm
گرگان	۸-۶	Si-L	۲۶	۵۶	۱۸	۳۰-۰	۰/۱۸	۷	۳۵۰
گنبد	۱۲-۱۰	Si-L	۱۳	۷۱	۱۶	۳۰-۰	۰/۰۹	۴	۱۴۰
آق‌قلا	۱۸-۱۵	Si-L	۱۱	۷۹	۱۰	۳۰-۰	۰/۱۲	۵,۵	۲۷۰

اندازه‌گیری صفات ظاهری

صفات ظاهری مورد اندازه‌گیری در این مطالعه شامل: ارتفاع بوته (در مرحله گیاهچه‌ای و ابتدایی رشد به صورت اندازه‌گیری از هفته اول رشد به‌صورت هفتگی تا هفته چهارم و هفته ششم)، تعداد برگ (به‌صورت هفتگی تا هفته چهارم)، سطح برگ (با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج DELTA-T و نرم‌افزار DIAS)، وزن خشک برگ (با برداشت سه بوته از هر واحد آزمایشی و قرار دادن در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت) بودند.

صفات بیوشیمیایی: یکی دیگر از روش‌های بررسی گیاه، اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی می‌باشد که از جمله صفات بیوشیمیایی مهم می‌توان به اندازه‌گیری تولید ترکیبات شیمیایی مختلف در گیاه اشاره کرد. در این آزمایش، غلظت پرولین به عنوان یک پاسخ به تنش شوری با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) و میزان کلروفیل با روش porra و همکاران

(۱۹۸۹) اندازه‌گیری شد. بدین‌ترتیب که مقدار ۰/۵ گرم از بافت برگ به همراه ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوسالیسیلیک ۳ درصد در هاون چینی ساییده شده و با ۲ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و اسید استیک گلاسیال مخلوط شدند و پس از قرار گرفتن در حمام آب ۱۰۰ درجه و سپس ظرف یخ (هریک به مدت یک ساعت) با ٤ میلی‌لیتر تولوئن به شدت مخلوط شدند.

معادله (۱): کلروفیل a

$$Chla\ (mgml^{-1}) = 12.25\ A_{663.6} - 2.55\ A_{646.6}$$

معادله (۲): کلروفیل b

$$Chlb\ (mgml^{-1}) = 20.31\ A_{646.6} - 4.91\ A_{663.6}$$

معادله (۳): کلروفیل کل

$$Chl\ (mgml^{-1}) = 16.76\ A_{646.6} - 6.34\ A_{663.6}$$

در نهایت با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر جذب نوری محلول اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل نیز، مقدار ۰/۵گرم از نمونه برگ خرد شده (به‌صورت یخ زده در ۷۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شده) با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد مخلوط شد. پس از سانتریفوژ میزان جذب (A) در طول موج‌های ٦٤٦/٦ و ٦٦٣/٦ و ۷۵۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر ثبت شد.

تحلیل داده‌ها در قالب تجزیه مرکب (با استفاده از قانون کلی F تست) و با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام و نمودارها با استفاده از Excel۲۰۱٦ رسم گردید. در رسم نمودارها، خطای استاندارد برای هر تیمار نشان‌دهنده ۲ برابر خطای معیار می‌باشند. در هنگام تجزیه و تحلیل داده‌ها عامل تاریخ کشت (D) ثابت و عوامل منطقه (P) و سال (Y) تصادفی در نظر گرفته شدند.

نتایج

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه مرکب داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل سال × مکان، تاریخ کاشت × مکان، تاریخ کاشت × مکان × سال، نمونه‌برداری × مکان × سال، تاریخ کاشت × سال، نمونه برداری × سال و اثرات متقابل سه جانبه تاریخ کاشت × نمونه برداری × سال و تاریخ کاشت × نمونه‌برداری × مکان در رابطه با صفت ارتفاع بوته معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده بر روی صفت ارتفاع بوته (جدول ٤) نشان داد که ارتفاع بوته‌های رشد یافته در شهر گرگان (۷/۵۵ سانتی‌متر) در سطح احتمال پنج درصد آزمون دانکن از ارتفاع بوته‌های رشد یافته در گنبد و آق‌قلا (به‌ترتیب ۷/۰۲ و ٦/۸۹ سانتی‌متر) بالاتر بود که با توجه به خشکی و شوری کم‌تر خاک در این منطقه، چنین نتایجی قابل انتظار می‌باشد. اما اختلاف معنی‌داری بین ارتفاع بوته در آق‌قلا و گنبد مشاهده نشد. بررسی اثر سال بر ارتفاع بوته، میانگین بالاتر ارتفاع در سال ۹۳ (۷/۲۷ سانتی‌متر) را نشان داد. در رابطه با اثر تاریخ کاشت بر روی ارتفاع بوته، نتایج اختلاف معنی‌دار بین تاریخ‌های کاشت را نشان داد. به‌طوری‌که با تأخیر در کاشت از اسفند ماه (۵/۹٤ سانتی‌متر) به اردیبهشت ماه (۸/٦۱ سانتی‌متر) ارتفاع بوته‌ها افزایش یافت. مطابق انتظار، بیش‌ترین میانگین ارتفاع بوته (۹/۵۲ سانتی‌متر) در هفته ششم پس از استقرار گیاهچه مشاهده شد که اختلاف آن با ارتفاع بوته در سایر مراحل معنی‌دار گردید.

نتایج اثر متقابل تاریخ کاشت × نمونه‌برداری (شکل ۱) در سطح یک درصد معنی‌دار بود و نشان داد که به‌طور کلی ارتفاع بوته در تمامی مراحل نمونه‌برداری در تاریخ کاشت اول اردیبهشت بیش‌تر از سایر تاریخ‌های کاشت بود و بیش‌ترین میانگین ارتفاع بوته ۹/۵٦ سانتی‌متر بود که در تاریخ کاشت اول اردیبهشت و در هفته ششم بعد از استقرار گیاهچه مشاهده شد. همچنین در این تاریخ کاشت، ارتفاع بوته‌ها در هفته چهارم پس از استقرار گیاهچه از ارتفاع گیاهان در هفته ششم در تاریخ کاشت اول اسفند بیش‌تر بود و اختلاف آن‌ها معنی‌دار بود. کم‌ترین ارتفاع بوته مربوط به هفته دوم بعد

از استقرار گیاهچه و در تاریخ کاشت اول فروردین مشاهده شد که اختلاف آن با سایر تاریخ‌های کاشت در این مرحله معنی‌دار نبود. اثر متقابل نمونه‌برداری × مکان (شکل ۲) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. به‌طور کلی می‌توان گفت بیش‌ترین ارتفاع بوته در تمامی مراحل نمونه‌برداری مربوط به شهر گرگان بود که با توجه به خشکی و شوری کم‌تر خاک در این منطقه قابل انتظار بود. بررسی اثر متقابل تاریخ کاشت × نمونه‌برداری × مکان × سال (شکل ۳) نشان داد بیش‌ترین ارتفاع بوته در اکثر تیمارها مربوط به شهر گرگان در مرحله سوم نمونه‌برداری (شش هفته پس از استقرار گیاهچه) می‌باشد.

جدول ۳: تجزیه مرکب صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک استبرق در مکان، سال‌های کشت و تاریخ کشت و نمونه‌برداری

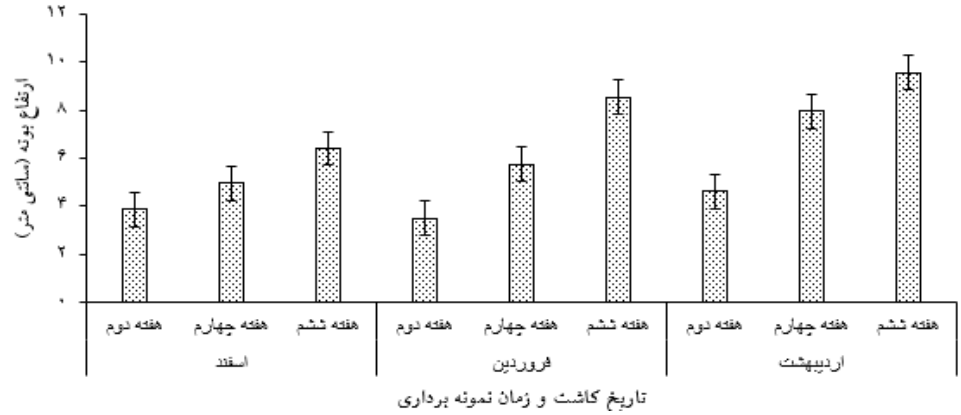
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	وزن خشک برگ (گرم)	کلروفیل (میلی‌گرم بر گرم)	پرولین (میکرومول بر گرم)
مکان	۲	۸/۶۶*	۶۴۲۰*	۰/۰۳۱۴۸۷**	۱۱۵^{ns}	۸۰۱/۶*
سال	۱	۳/۰۳*	۱۶۸۱^{ns}	۰/۰۰۴۶۹۱^{ns}	۱۱۶^{ns}	۱۷۵/۴^{ns}
سال × مکان	۲	۰/۱۴۵^{ns}	۲۹۶/۳**	۰/۰۰۰۳۱۱**	۱۴/۴**	۱۱/۰۹^{ns}
خطای ۱	۱۸	۰/۲۸۰	۱۴/۳۰	۰/۰۰۰۰۱۸	۰/۱۳۲	۳/۵۵۵
تاریخ کاشت	۲	۱۳۲**	۳۷۵۶**	۰/۰۰۵۶۸۰**	۱۸۸**	۱۹۲۰**
نمونه‌برداری	۲	۴۲۳**	۱۶۷۲۸**	۰/۰۱۵۶۶۹**	۴۸۲**	۶۷۰۶**
تاریخ کاشت × نمونه‌برداری	۴	۲۰/۴**	۱۰۶/۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۹۸^{ns}	۴/۸۵^{ns}	۲۴/۹۹^{ns}
تاریخ کاشت × مکان	۴	۱/۱۵^{ns}	۱۴۹/۸^{ns}	۰/۰۰۰۲۸۶*	۱/۲۳^{ns}	۶/۳۴۱^{ns}
تاریخ کاشت × سال	۲	۰/۰۴۶^{ns}	۷۰/۱۳^{ns}	۰/۰۰۰۲۶۶^{ns}	۱/۷۶^{ns}	۵/۵۸۸^{ns}
تاریخ کاشت × مکان × سال	۴	۰/۵۵۶^{ns}	۱۰۵/۶*	۰/۰۰۰۱۴۸^{ns}	۱/۹۵^{ns}	۶/۰۹۴^{ns}
نمونه‌برداری × مکان	۴	۱/۴۴*	۱۲۶/۰^{ns}	۰/۰۰۰۱۵۳^{ns}	۱۰/۱*	۲۱/۳۶*
نمونه‌برداری × سال	۲	۰/۳۲۷^{ns}	۶۸/۷۹^{ns}	۰/۰۰۰۰۴۴^{ns}	۲/۵۰^{ns}	۳/۲۹۲^{ns}
نمونه‌برداری × مکان × سال	۴	۰/۱۶۳^{ns}	۷۷/۵۵**	۰/۰۰۰۰۹۲**	۱/۴۹**	۲/۹۴۶^{ns}
تاریخ کاشت × نمونه‌برداری × مکان	۸	۰/۲۹۸^{ns}	۳۲/۷۹^{ns}	۰/۰۰۰۰۳۹^{ns}	۲/۳۶^{ns}	۲۲/۳۷^{ns}
تاریخ کاشت × نمونه‌برداری × سال	۴	۰/۰۸۶^{ns}	۹/۷۱۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۶۱^{ns}	۰/۵۲۶^{ns}	۶/۹۲۱^{ns}
تاریخ کاشت × نمونه‌برداری × مکان × سال	۸	۰/۴۳۱*	۱۸/۳۳**	۰/۰۰۰۰۹۳**	۱/۱۸**	۶/۳۷۲*
خطای ۲	۱۴۴	۰/۲۰۲	۵/۹۲۹	۰/۰۰۰۰۰۹	۰/۱۸۴	۲/۹۰۲
درصد ضریب تغییرات	–	۶/۲	۳/۷	۳/۴	۱/۸	۳/۱

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد، معنی‌داری هر یک از منابع تغییر با انجام آزمون F و بر اساس مبانی امید ریاضی واریانس (EMS) با توجه به ماهیت عوامل آزمایشی (ثابت یا تصادفی) انجام شده است.

جدول ٤: مقایسه میانگین اثرات ساده صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک استبرق در مکان، سال و تاریخ کشت و نمونه‌برداری

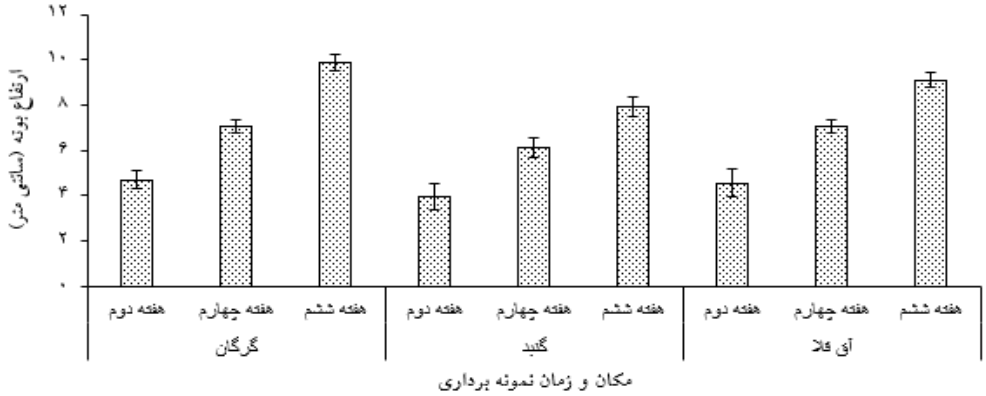
تیمار	صفات	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	وزن خشک برگ (گرم)	کلروفیل (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن‌تر)
مکان	گرگان	۷/۵۵^{a}	۷٤/۷^{a}	۰/۱۱۰^{a}	۲۲/۵^{a}	۵۰/۳^{c}
	گنبد	۷/۰۲^{b}	٦٤/٦^{b}	۰/۰۹۵^{b}	۲۳/۳^{a}	۵۳/۹^{b}
	آق‌قلا	٦/۸۹^{b}	۵۵/۹^{c}	۰/۰٦۹^{c}	۲٤/۵^{a}	۵۷/۰^{a}
سال	۱۳۹۳	۷/۲۷^{a}	٦۷/۹^{a}	۰/۰۹٦^{a}	۲۲/۸^{a}	۵۲/۸^{a}
	۱۳۹٤	۷/۰۳^{b}	٦۲/۳^{a}	۰/۰۸۷^{a}	۲٤/۳^{a}	۵٤/٦^{a}
تاریخ کاشت	اسفند	۵/۹٤^{c}	۵۷/٦^{c}	۰/۰۸۲^{b}	۲۲/۰^{c}	٤۸/۳^{c}
	فروردین	٦/۹۱^{b}	٦۵/۵^{b}	۰/۰۹۳^{a}	۲۳/۵^{b}	۵٤/٤^{b}
	اردیبهشت	۸/٦۱^{a}	۷۲/۱^{a}	۰/۰۹۹^{a}	۲۵/۲^{a}	۵۸/۵^{a}
نمونه‌برداری	هفته دوم	٤/٦۸^{c}	۵۰/۰^{c}	۰/۰۷۷^{c}	۲۱/۰^{c}	٤٤/۰^{c}
	هفته‌چهارم	۷/۲٦^{b}	٦٤/۸^{b}	/۰۹۱^{b}	۲۳/۵^{b}	۵٤/۰^{b}
	هفته ششم	۹/۵۲^{a}	۸۰/۵^{a}	۰/۱۰٦^{a}	۲٦/۲^{a}	٦۳/۲^{a}

در مورد هر تیمار میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



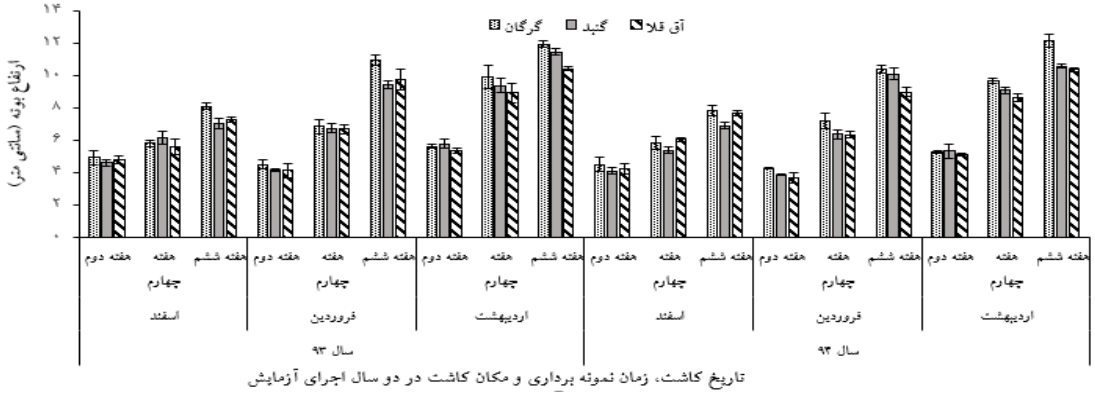
شکل ۱: اثر متقابل تاریخ کاشت × نمونه‌برداری بر روی ارتفاع بوته استبرق

(خطای استاندارد برای هر تیمار نشان‌دهنده ۲ برابر خطای معیار می‌باشند)



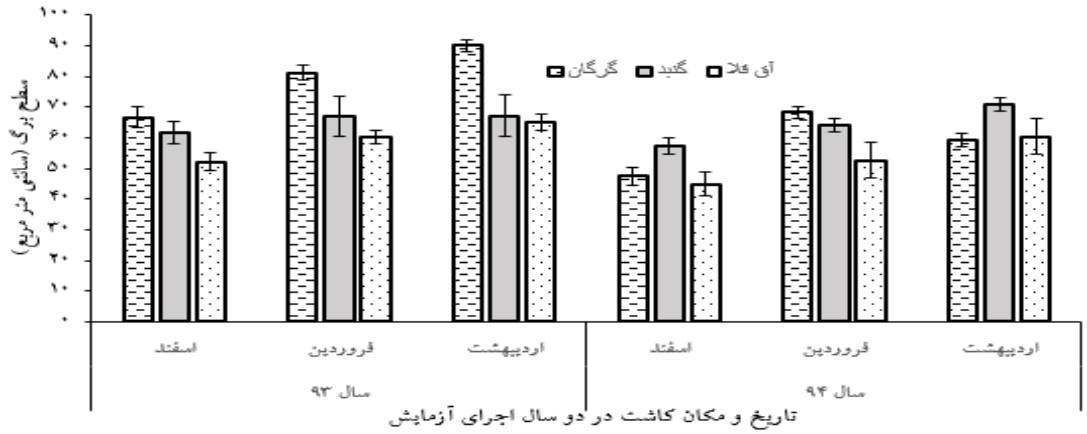
شکل ۲: اثر متقابل مکان × نمونه‌برداری بر روی ارتفاع بوته استبرق

(خطای استاندارد برای هر تیمار نشان‌دهنده ۲ برابر خطای معیار می‌باشند)



شکل ۳: اثر متقابل تاریخ کاشت × نمونه‌برداری × مکان در سال بر روی ارتفاع بوته استبرق

سطح برگ: نتایج تجزیه مرکب داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر متقابل سال × مکان در سطح احتمال یک درصد، اثر متقابل سه جانبه تاریخ کاشت × مکان × سال در سطح پنج درصد، اثر متقابل سه‌جانبه نمونه‌برداری × مکان × سال و اثر متقابل تاریخ کاشت × نمونه برداری × مکان × سال در سطح یک درصد تاثیر معنی‌داری بر سطح برگ داشت. در بررسی سایر اثرات متقابل، تاثیر معناداری روی سطح برگ مشاهده نشد. نتایج بررسی اثرات ساده بر روی سطح برگ (جدول ۳) نشان داد که اثر مکان بر روی سطح برگ معنی‌دار بوده و بالاترین مقدار سطح برگ به میزان ۷٤/۷ سانتی‌متر مربع بود که در شهر گرگان مشاهده شد و اختلاف آن در سطح احتمال پنج درصد با میزان سطح برگ در گنبد و آق‌قلا (به‌ترتیب ٦٤/٦ و ۵۵/۹ سانتی‌مترمربع) معنی‌دار گردید. اختلاف بین تاریخ‌های کاشت و مرحله نمونه‌برداری برای میزان سطح برگ نیز معنی‌دار گردید و بیش‌ترین سطح برگ به‌ترتیب در تاریخ کاشت سوم (اول اردیبهشت) و مرحله سوم نمونه‌برداری (شش هفته پس از استقرار گیاهچه) مشاهده شد که اختلاف آن با سایر تیمارها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. احتمالا این اختلاف را می‌توان با استفاده از دمای مناسب و رشد کافی در اردیبهشت ماه توجیه کرد.



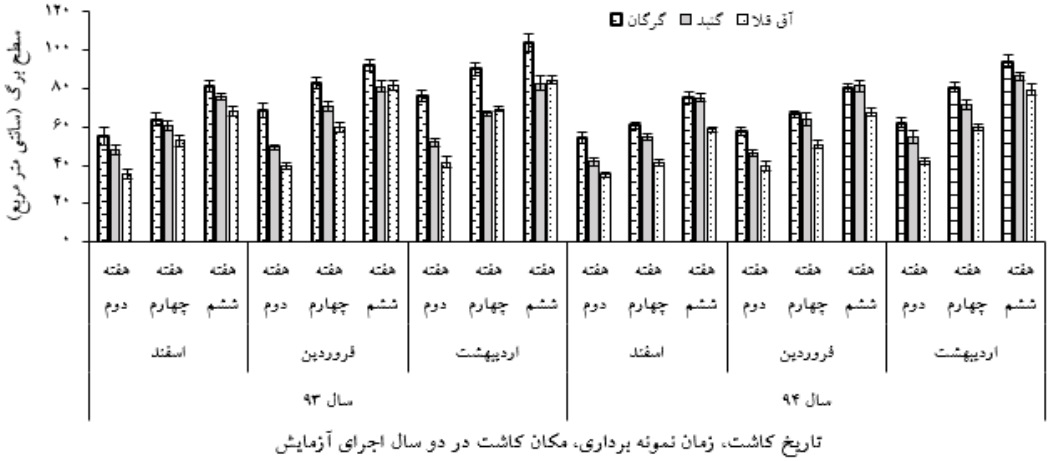
شکل ٤: اثر متقابل تاریخ کاشت × مکان × سال بر روی میزان سطح برگ استبرق

اثر متقابل تاریخ کاشت × مکان × سال (شکل ٤) نشان داد در سال ۱۳۹۳ بیش‌ترین سطح برگ در هر سه تاریخ کاشت مربوط به شهر گرگان بود و در سال ۱۳۹٤ به جز در رابطه با تاریخ کاشت دوم (اول

فروردین)، در دو تاریخ کاشت دیگر بالاترین مقدار سطح برگ در شهر گنبد مشاهده شد. اما به‌طورکلی میزان سطح برگ در سال ۱۳۹٤ در هر سه مکان در هر سه تاریخ کاشت کاهش یافت. همچنین اثر متقابل نمونه‌برداری × مکان × سال (شکل ۵) نشان داد که در تمامی مراحل در هر سه مکان و در هر دو سال، سطح برگ در شهر گرگان بیش‌تر از گنبد و آق‌قلا بود.

شکل ۵: اثر متقابل نمونه‌برداری × مکان × سال بر روی میزان سطح برگ استبرق

نتایج اثر متقابل تاریخ کاشت × نمونه‌برداری × مکان × سال بر روی سطح برگ (شکل ٦) نشان داد مقدار سطح برگ در شهر گرگان که درصد شوری خاک کم‌تر و خشکی کم‌تری نسبت به گنبد و آق‌قلا دارد بیشتر بود. همچنین کم‌ترین مقدار سطح برگ در آق‌قلا در هفته دوم نمونه‌برداری و در سال ۱۳۹٤ در هر سه تاریخ کاشت مشاهده گردید.

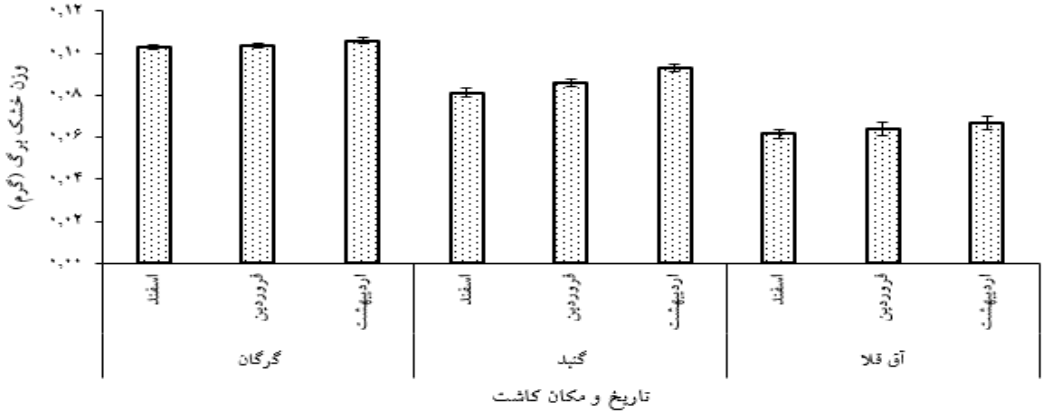


شکل ٦: اثر متقابل تاریخ کاشت × نمونه‌برداری × مکان × سال بر روی میزان سطح برگ استبرق

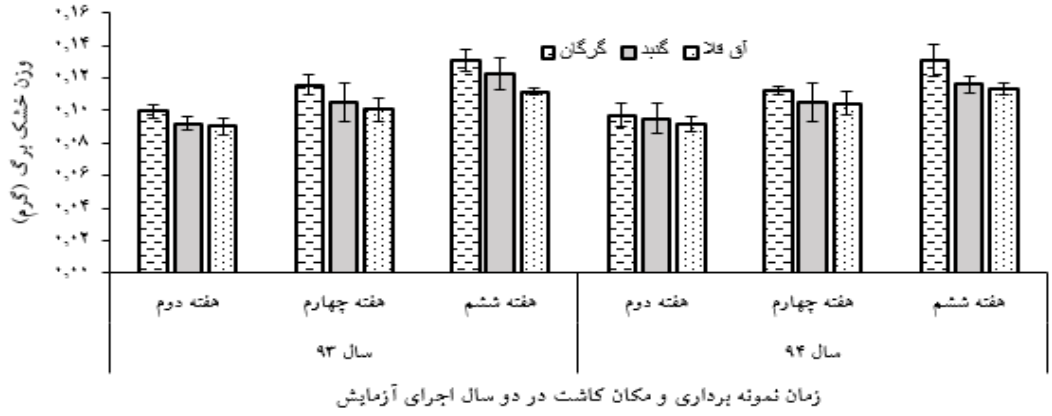
وزن خشک برگ: نتایج تجزیه مرکب داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که وزن خشک برگ تحت تاثیر معنی‌دار اثر متقابل سال × مکان در سطح یک درصد، اثر متقابل تاریخ کاشت × مکان در سطح پنج درصد، اثر متقابل سه‌جانبه نمونه‌برداری × مکان × سال و اثر متقابل تاریخ کاشت × نمونه برداری × مکان × سال در سطح یک درصد قرار دارد. سایر برهمکنش‌ها تاثیر معنادرای بر این صفت نداشتند. مقایسه میانگین اثرات

ساده بر روی وزن خشک برگ (جدول ۳) نشان داد، بیش‌ترین وزن خشک برگ به مقدار ۰/۱۱۰ گرم بود که در گرگان مشاهده شد و کم‌ترین وزن خشک برگ ۰/۰۶۹ گرم بود که در آق‌قلا مشاهده گردید و اختلاف بین مکان‌های نمونه‌برداری از این نظر معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت برای وزن خشک برگ نشان داد اختلاف بین تاریخ‌های کاشت دوم (اول فروردین) و سوم (اول اردیبهشت) معنی‌دار نبود. ولی با تاریخ کاشت اول (اول اسفند) اختلاف معنی‌دار داشتند. بیش‌ترین وزن خشک برگ ۰/۰۹۹ گرم بود که در تاریخ کاشت سوم (اول اردیبهشت) مشاهده شد. همچنین بیش‌ترین مقدار وزن خشک برگ (۰/۱۰۶ گرم) در نمونه‌برداری سوم (شش هفته پس از استقرار گیاهچه) مشاهده شد که در سطح احتمال پنج درصد با سایر زمان‌های نمونه‌برداری اختلاف معنی‌دار داشت.

مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت × مکان بر روی میزان وزن خشک برگ (شکل ۷) نشان داد که در هر سه مکان بیش‌ترین وزن خشک برگ مربوط به تاریخ کاشت سوم (اول اردیبهشت) بود که بیش‌ترین مقدار آن در گرگان مشاهده شد. با این وجود اختلاف بین مقدار وزن خشک در تاریخ‌های کاشت مختلف در گرگان معنی‌دار نبود. به‌طورکلی وزن خشک برگ در منطقه گرگان بیش‌تر از گنبد و آق‌قلا بود و اختلاف معنی‌داری با آن‌ها داشت که این موضوع در رابطه با نسبت وزن خشک برگ در گنبد و آق‌قلا نیز صدق می‌کرد و در گنبد وزن خشک برگ بالاتر از آق‌قلا بود.

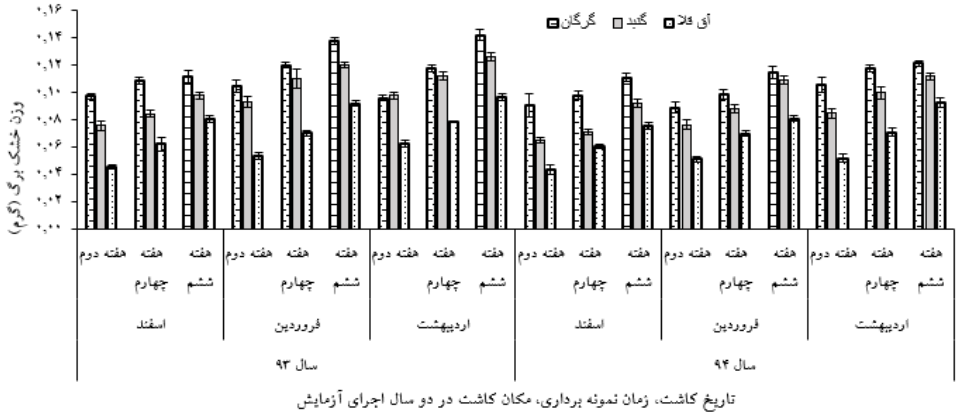


شکل ۷: اثر متقابل تاریخ کاشت × مکان بر روی میزان وزن خشک برگ (گرم) استبرق



شکل ۸: اثر متقابل نمونه‌برداری × مکان × سال بر روی میزان وزن خشک برگ (گرم) استبرق

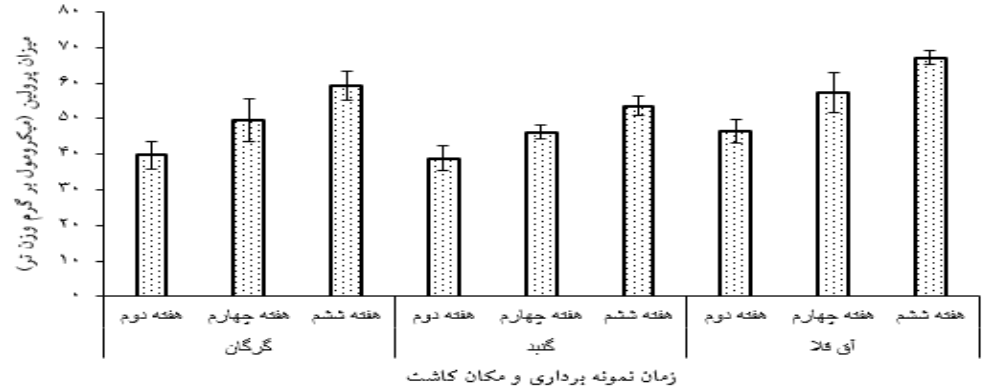
اثر متقابل نمونه‌برداری × مکان × سال بر روی میزان وزن خشک برگ (شکل ۸) اختلاف معنی‌داری بین سال‌ها را نشان نداد و بیش‌ترین مقدار وزن خشک برگ در هر دو سال در مرحله سوم نمونه‌برداری در گرگان مشاهده شد. مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت × نمونه‌برداری × مکان × سال (شکل ۹) نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار وزن خشک برگ در تمامی تاریخ‌های کاشت و در تمامی مراحل نمونه‌برداری مربوط به منطقه گرگان می‌باشد و کم‌ترین مقدار آن در آق‌قلا مشاهده شد که اختلاف بین آن‌ها معنی‌دار بود.



شکل ۹: اثر متقابل تاریخ کاشت × نمونه‌برداری × مکان × سال بر روی میزان وزن خشک برگ (گرم) استبرق

کلروفیل و پرولین: نتایج تجزیه مرکب صفات (جدول ۲) نشان داد اثر متقابل سال × مکان و اثر متقابل سه‌جانبه نمونه‌برداری × مکان × سال در سطح یک درصد برای کلروفیل، اثر متقابل نمونه برداری × مکان در سطح پنج درصد و اثر متقابل تاریخ کاشت × نمونه برداری × مکان × سال برای میزان کلروفیل در سطح یک درصد و برای پرولین در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در بررسی سایر برهمکنش‌ها، تاثیر معنی‌داری بر این دو صفت مشاهده نشد. در بررسی اثرات ساده (جدول ۳)، مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر روی میزان کلروفیل نشان داد اختلاف بین میزان کلروفیل و پرولین در تاریخ‌های کاشت مختلف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و در تاریخ کاشت سوم بیش‌ترین میزان کلروفیل و پرولین (به ترتیب ۲۵/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و ۵۸/۵ میکرومول بر گرموزن تر) مشاهده شد. در رابطه با اثر نمونه‌برداری بر روی میزان کلروفیل نتایج مشابه با اثر تاریخ کاشت بود و بیش‌ترین میزان کلروفیل و پرولین (به ترتیب ۲۶/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و ۶۳/۲ میکرومول بر گرموزن تر) در مرحله سوم نمونه‌برداری مشاهده گردید. همچنین در بررسی مکان برای صفت پرولین، مشاهده شد که نمونه‌های مربوط به آق‌قلا با میانگین پرولین ۵۷/۰ میکرومول بر گرم وزن تر بیش‌ترین مقدار پرولین را داشتند و اختلاف آن با میزان پرولین در گنبد و گرگان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل نمونه‌برداری × مکان نشان داد بیش‌ترین مقدار کلروفیل و پرولین مربوط به مرحله سوم نمونه‌برداری می‌باشد که در آق‌قلا این مقدار بیش‌تر از گنبد و گرگان بود (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). همچنین مقدار کلروفیل و پرولین در آق‌قلا در مرحله دوم نمونه‌برداری بیش‌تر از مقدار کلروفیل در مرحله سوم نمونه‌برداری در گنبد و گرگان بود.

شکل ۱۰: اثر متقابل نمونه‌برداری × مکان بر روی میزان کلروفیل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) استبرق

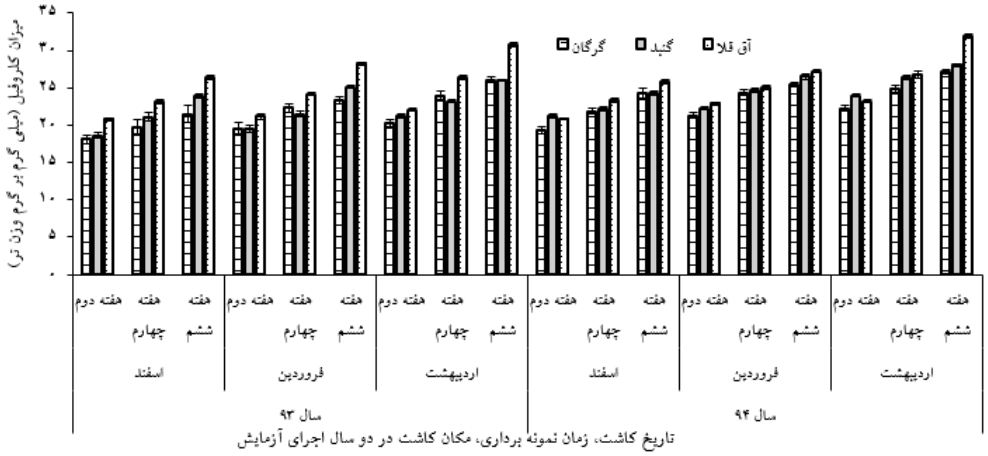


شکل ۱۱: اثر متقابل نمونه‌برداری × مکان بر روی میزان پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر) استبرق

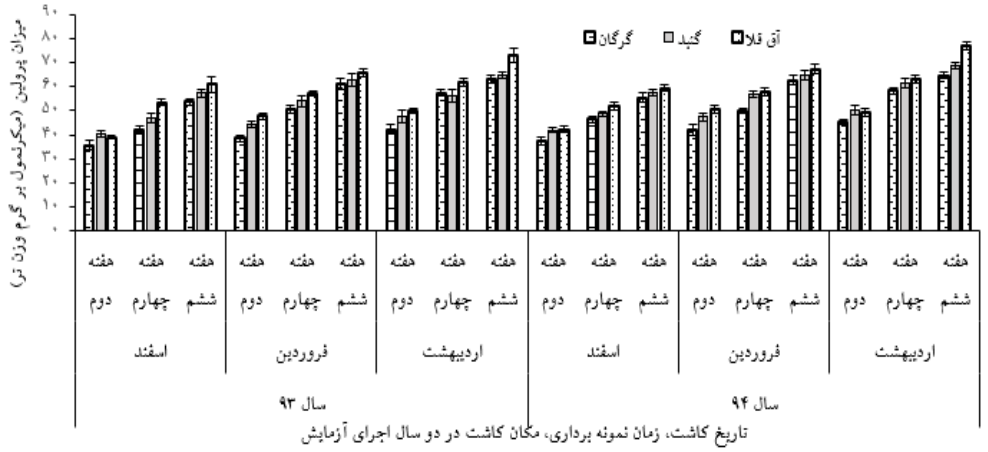
مقایسه میانگین اثر متقابل نمونه‌برداری × مکان × سال بر روی میزان کلروفیل (شکل ۱۲) نشان داد اختلاف بین سال‌ها از نظر مقدار کلروفیل در مراحل مختلف نمونه‌برداری معنی‌دار نبود. ولی در سال ۱۳۹۳ مقدار کلروفیل در هر سه مرحله در منطقه آق‌قلا بیش‌تر بود. در صورتی‌که در سال ۱۳۹٤ این موضوع در مورد گنبد صادق بوده است.

شکل ۱۲: اثر متقابل نمونه‌برداری × مکان × سال بر روی میزان کلروفیل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) استبرق

همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت × نمونه‌برداری × مکان × سال بر روی میزان کلروفیل (شکل ۱۳) نیز حاکی از بالاتر بودن مقدار کلروفیل در سال ۱۳۹۳ در منطقه آق‌قلا بود. نتایج نشان می‌دهد مقدار کلروفیل با افزایش میزان رشد گیاه و تحت شرایط شوری خاک افزایش می‌یابد. در مورد میزان پرولین (شکل ١٤) با افزایش میزان رشد در مرحله سوم نمونه‌برداری و با افزایش مقدار شوری خاک (آق‌قلا) میزان پرولین افزایش یافت.



شکل ۱۳: اثر متقابل تاریخ کاشت × نمونه‌برداری × مکان × سال بر روی میزان کلروفیل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) استبرق



شکل ١٤: اثر متقابل تاریخ کاشت × نمونه‌برداری × مکان × سال بر روی میزان پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر) استبرق

بحث

بر اساس نتایج این مطالعه، از بین صفات مورد مطالعه در این آزمایش، صفات مهمی همچون میزان پرولین، کلروفیل، وزن خشک و ارتفاع گیاه به‌عنوان مهم‌ترین صفات در اندازه‌گیری و بررسی سازگاری گیاه استبرق با مناطق شور و خشک معرفی گردید. در بررسی ارتفاع بوته، با تأخیر در کاشت از اسفند ماه (۵/۹٤ سانتی‌متر) به اردیبهشت ماه (۸/٦١ سانتی‌متر) ارتفاع بوته‌ها افزایش یافت. این موضوع می‌تواند به دلیل وجود سرمای اول فصل و شدت نور کم‌تر در

اسفند و فروردین ماه باشد. همچنین افزایش دما در ماه اردیبهشت سبب بالا رفتن سرعت رشد در مراحل اولیه رشد می‌گردد. همچنین اگرچه این صفت در گرگان بیش‌ترین مقدار را نسبت به مناطق شورتر به خود اختصاص داد، اما اختلاف معنی‌داری بین ارتفاع بوته در آق‌قلا و گنبد مشاهده نشد که این موضوع با توجه به شوری بالاتر خاک در گنبد و آق‌قلا بیانگر تحمل این گیاه و رشد مناسب در شرایط شوری خاک می‌باشد. یافته‌های این پژوهش منطبق بر برخی از مطالعات قبلی در مورد اثرات تنش آبی بر ارتفاع بوته بود که در آن، در اثر اعمال خشکی، ارتفاع گیاهان به‌طور چشمگیری کاهش یافت (Wu et al., 2008; Shahid et al., 2011). همچنین در مورد تنش شوری، کاهش ارتفاع گیاهان در محیط‌های شور پیش از این نیز گزارش شده است (Da Silva et al., 2008). کاهش ارتفاع گیاه ناشی از تنش شوری احتمالا در نتیجه اختلال در روابط آب ایجاد شده به‌وسیله تنش شوری و اثرات اضافی یون‌های خاص نمک (به علت اثرات اسمزی و یونی) می‌باشد به گونه ای که تنش اسمزی در مرحله اول تنش شوری موجب کاهش محتوی آب سلول‌ها گشته و طویل شدن آن‌ها را با مشکل روبرو می‌کند (Munns, 2002). همچنین در این آزمایش مشاهده شد که با افزایش تنش، سطح برگ کاهش یافت. دلیل مهم کاهش سطح برگ در تنش خشکی نیز می تواند کاهش آماس سلولی باشد که موجب کاهش تقسیم سلولی و تمایز زودرس می شود (Shahid et al., 2011). پژوهشگران گزارش کردند که سطح برگ با افزایش غلظت نمک کاهش می‌یابد (Da Silva et al,. 2008). کاهش سطح برگ گیاهان رشد یافته در تنش شوری، به‌وسیله کاهش فشار اسمزی برگ و کاهش فشار تورژسانس سلول‌ها و یا برهم زدن جذب عناصر غذایی و نیز تعادل یونی توجیه می‌شود (Rodriguez et al., 2005). کاهش وزن خشک برگ با تنش خشکی که در این پژوهش مشاهده شد، پیش از این نیز گزارش شده است که تنش خشکی، زیست توده گیاهی را کاهش می‌دهد (Maes et al., 2009). ایشان گزارش کردند در شرایط تنش آبی، گیاه مواد فتوسنتزی کم‌تری را در برگ در مقایسه با سایر اندام‌ها به‌ویژه ریشه‌ها اختصاص می‌دهد و در نتیجه نسبت وزن برگ و شاخساره کاهش می‌یابد. کاهش وزن خشک برگ به دلیل کاهش اندازه برگ‌ها در شرایط شوری خاک در نتایج سایر محققین نیز گزارش شده است (Grewal, 2010). افزایش میزان پرولین با افزایش شوری که در این آزمایش مشاهده شد، مطابق با بررسی و یافته‌های مفاخری و همکاران (Mafakheri et al., 2010) بود. به‌طورکلی در بسیاری از پژوهش‌ها، با افزایش تنش خشکی میزان برخی پروتئین‌ها و بویژه پرولین افزایش یافته است (Yobi et al., 2012). اساسا میزان کلروفیل و پرولین به‌عنوان شاخصی جهت تحمل به شوری عنوان شده و با توجه به شوری خاک در منطقه آق‌قلا نتایج قابل توجیه بود. افزایش محتوای پرولین بسته به سن گیاه، به دلیل تنش خشکی به عنوان نوعی تنظیم اسمزی، پتانسیل سازگاری را که منجر به اجتناب از تنش خشکی در گیاه می‌شود، در گیاهان مقاوم به خشکی اعمال می‌کند (Mafakheri et al., 2010). پژوهشگران بیان کردند که افزایش در میزان سطح شوری و خشکی، باعث افزایش در میزان کلروفیل و پرولین می‌شود (Sai Kachout et al., 2009). مکانیزم‌های مسئول افزایش محتوای کلروفیل در گیاهان تحت تنش شوری، به‌طور کامل درک نشده است. با این نشان داده شده که افزایش در تجمع کلروفیل در گیاهان دو لپه سازگار شده به شوری، ممکن است در نتیجه‌ی شوک اسموتیک (کمبود آب) به جای اثر یونی نمک بر فیزیولوژی سلول‌های کلروفیل آن‌ها باشد (Garcia-Valenzuela et al., 2005). تغییر در سطح کلروفیل ممکن است به‌علت

تاثیر در سنتز کلروفیل باشد. همچنین، مشخص‌ترین تغییر در محتوی متابولیت‌های گیاه در شرایط اعمال تنش خشکی، افزایش محتوی برخی اسیدهای آمینه مثل پرولین گزارش شده است (Witt et al., 2012). دلیل افزایش مشاهده شده در اسیدهای آمینه نیز نامشخص است. یک توضیح احتمالی می‌تواند افزایش تقاضا در نتیجه‌ی افزایش سنتز پروتئین باشد. در حالی‌که دلیل متفاوت دیگر، تخریب (ذخیره‌سازی) پروتئین ها است (Ramadan et al., 2014). بررسی ارقام متحمل تحت تنش خشکی طولانی مدت نشان داد که تنش منجر به تولید بالاتر سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POD)، کاتالاز (CAT) و گلوتاتیون ردوکتاز (GR) شده که باعث تجمع محتوی آب برگ و پرولین آزاد بیش‌تر و در نهایت بهبود رشد و عملکرد در گونه مقاوم شده است (Anjum et al., 2016).

نتیجه‌گیری نهایی

بر اساس یافته‌های این تحقیق، مناسب‌ترین مکان کشت گیاه استبرق در استان گلستان، منطقه گرگان بود. از جمله صفاتی که در تعیین مکان مورد نظر معنی‌دار بودند می‌توان به ارتفاع گیاه، سطح برگ و وزن خشک برگ اشاره کرد. در رابطه با تاریخ کشت مطلوب گیاه، در بین صفات مختلف، تمام صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار شد و این به آن معنا می‌باشد که تغییر تاریخ کاشت منجر به تغییر در میزان سازگاری و پایداری گیاه می‌شود. با توجه به اندازه‌گیری صفات مختلف، بهترین تاریخ کاشت، کاشت در اردیبهشت ماه بود. در بررسی‌های مربوط به سال، اختلاف معنی‌داری بین سال در رشد گیاه به‌وجود نیامد و این نشان دهنده پاسخ یکسان رشدی گیاه طی سال‌های مختلف بود. همچنین با ادامه بررسی گیاه تا انتهای فصل رشد، مشاهده شد که علی‌رغم وجود اختلاف رشدی در مناطق مختلف، گیاه توانایی تحمل شرایط خشک و شور استان را دارا بود و می‌تواند به‌عنوان یک گیاه جایگزین در مناطق خشک و شور استان معرفی شود.

References

Alcazar, R., Bitrian, M., Bartels, D., Koncz, C. and Altabella, T. (2011). Polyamine metabolic canalization in response to drought stress in Arabidopsis and the resurrection plant Craterostigma plantagineum. Plant Signaling and Behavior, 6: 243–250.

Al-Sobhi, O.A., Al-Zahrani, H.S. and Al-Ahmadi, S.B. (2006). Effect of salinity on chlorophyll and carbohydrate contents of calotropis procera seedlings. Scientific Journal of King Faisal University, 7:105-114.

Ameer Khan, S.A., Habib-ur-Rehman, A. Ashraf, M. (2006). Interactive effect of foliarly applied ascorbic asid and salt stress on wheat at the seedling stage. Pakestan Journal. Botany. 38 (5): 1407-1414.

Amritphale, D. and Sharma, S. (2007). Learning foodchain with *Colotropis procera*. Resonance, 12:67-75.

Anjum, SA., Farooq, M., Wang, LC., Xue, LL.,Wang, SG., Wang, L., Zhang, S. and Chen, M. (2011). Gas exchange and chlorophyll synthesis of maize cultivars are enhanced by exogenously-applied glycinebetaine under drought conditions. Plant Soil Environment. 57:326–331.

Baret, F., Houlès, V. and Guèrif, M. (2007). Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. Journal of Experimental Botany, 58: 869–880.

Bates, L.S. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.

Boutraa, T. (2010). Growth performance and biomass partitioning of the desert

shrub *Calotropis procera* under water stress conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 6: 20–26.

Boutraa, T. and Akhkha, A. (2010). Photosynthesis rates and growth responses of the desert shrub *Calotropis procera* to NaCl Salinity. Journal of International Environmental Application and Science, 5(2): 212-222.

Chaum, S., Siringam, K., Juntawong, J. and Kirdmanee, C. (2010). Water relations, pigment stabilization, photosynthetic abilities and growth improvement in salt stressed rice plants treated with exogenous potassium nitrate application. International Journal of Plant Production 4: 187-198.

daSilva, E.C., Nogueira, R.J.M.C., deAratijo, F.P., deMeio, N.F. and deAzevedo Neto, A.D. (2008). Physiological responses to salt stress in young umbu plants. Environmental and Experimental Botatty, 63: 147-157.

Garcia-Valenzuela, X., Garcia-Moya, E., Rascón-Cruz, Q., Herrera-Estrella, L. and Aguado-Santacruz, G.A. (2005). Chlorophyll accumulation is enhanced by osmotic stress in graminaceous chlorophyllic cells. Journal of Plant Physiology, 162:650-661.

Grewal, H.S. (2010). Water uptake, water use efficiency, plant growth and ionic balance of wheat, barley, canola and chickpea plants on a sodic vertosol with variable subsoil NaCl salinity. Agricultural Hater Management, 97:148-156.

Imada, S., Yamanaka, N. and Tamai S. (2009). Effects of salinity on the growth, Na partitioning, and Nadynamics of a salt-tolerant tree, *Poptiltis alba L.* Journal of Arid Environments, 73:245-251.

Kaman, H., Kirda, C. and Sesveren, S. (2011). Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. Agricultural Water Management 98: 801-807.

Khan, R., Shahzad, S., Choudhary, M.I., Khan S.A. and Ahmad, A. (2007). Biodiversity of the endophytic fungi isolated from *Calotropis procera* (Ait.) R. Br. Pakistan Journal of Botany, 39: 2233-2239.

Koyro, H-W. (2006). Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). Environmental and Experimental Botany, 56:136-146.

Kumar, V.L. and Arya, S. (2006). Medicinal uses and pharmacological properties of *Calotropis procera*. In: Recent rogress in Medicinal Plants, Ed., Govil, J.N. Studium Press, Houston, Texas, USA, pp: 373-388.

Maes, W.H., Achten, W.M.J., Reubens, B., Raes, D., Samson, R. and Muys, B. (2009). Plant-water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. Journal of Arid Environments, 73: 877-884.

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P., and Sohrabi, Y. (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. Australian Journal of Crop Science, 4: 580-585.

Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell and Environment, 25: 239-250.

Stirzakere, R.J., Vertessy, R.A. and Sarre, A. (2002). Trees, Water and salt; an australian guide to using trees for healthy catchments and productive farms. Rural Industries Research and Development Corporation; Canberra.

Ramadan, A., Sabir, J.S., Alakilli, S.Y., Shokry, A. M., Gadalla, N.O., Edris, S., Al-Kordy, M.A., Al-Zahrani, H.S., El-Domyati, F.M. and Bahieldin, A. (2014). Metabolomic response of Calotropis procera growing in the desert to changes in water availability. PloS one, 9:e87895.

Rodriguez, P., Torrecillas, A., Morales, M.A., Ortuño, M.F. and Sánchez-Blanco, M.J. (2005). Effects of NaCl salinity and water stress on growth and leaf water relations of Asteriscus maritimus plants. Environmental and Experimental Botany, 53: 113-123.

Sai Kachout, S., Ben Mansoura, A., Jaffel, K., Leerere, J.C., Rejeb, M.N. and Ouerghi, Z. (2009). The effect of salinity on the growth of the halophvte Atriplex hortensis (Chenopodiaceae). Applied Ecology and Environmental Research, 7: 319-332.

Schmidhuber, J. and Tubiello, F.N. (2007). Global food security under climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104: 19703–19708.

Shahid, M.A., Pervez, M.A., Balal, R.M., Ahmad, R., Ayyub, C.M., Abbas, T. and Akhtar, N. (2011). Salt stress effects on some morphological and physiological characteristics of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). Soil and Environment, 30(1).

Stirzaker, R.J., Vertessy, R.A. and Sarre, A. (2002). Trees, Water and Salt; an Australian guide to using trees for healthy catchments and productive farms. Rural Industries Research and Development Corporation; Canberra.

Tijen, D. and Ismail, T. (2006). Exogenous glycinebetaine affects growth and proline accumulation and retards senescence in two rice cultivars under NaCl stress. Environmental and Experimental Botany, 56: 72-79.

Tuntawiroon, N., Samootsakorn, P. and Theeraraj, G. (1984). The environmental implications of the use of Calotropis gigantea as a textile fabric. Agriculture Ecosystems Environment, 11: 203–212.

Usmani, S. and Kushwaha, P. (2010). A study on hepatoprotective activity of Calotropis gigantea leaves extract. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 2: 101–103.

Witt, S., Galicia, L., Lisec, J., Cairns, J. and Tiessen, A. (2012). Metabolic and phenotypic responses of greenhouse-grown maize hybrids to experimentally controlled drought stress. Molecular Plant, 5: 401–417.

Wu, F., Baoa, W., Li F. and Wu, N. (2008). Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. Environmental and Experimental Botany, 63: 248-255.

Yobi, A., Wone, B.W.M., Xu, W., Alexander, D.C. and Guo, L., (2012). Comparative metabolic profiling between desiccation-sensitive and desiccation-tolerant species of Selaginella reveals insights into the resurrection trait. Plant Journal, 72: 983–999.