

## اثر هیدروژل‌های اصلاح کننده خاک بر ویژگی‌های سیستم ریشه جو دو سر *Avena fatua* در دو بافت متفاوت خاک

مریم رضاشاطری<sup>۱\*</sup>، سید جمال‌الدین خواجه‌الدین<sup>۱</sup>، سید حمید متین‌خواه<sup>۱</sup> و محمد مهدی مجیدی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۲۱)

### چکیده

در پژوهش حاضر، تأثیر سوپرچاذب‌ها بر ویژگی‌های ریشه گونه جو دو سر در دو بافت متفاوت خاک، تحت ۳ رژیم آبیاری مختلف مطالعه گردید. این مطالعه به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای سوپرچاذب شامل سه نوع سوپرچاذب آکوازورب، بلورآب A و استاکوزورب با دو سطح ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم خاک، به اضافه یک سطح شاهد بود. صفات مطالعه شده شامل ارتفاع اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، نسبت ریشه به اندام هوایی، طول ریشه، محیط ریشه و حجم ریشه جو دو سر بود. تجزیه واریانس تأثیر بافت خاک را برای تمامی صفات مورد بررسی ( $P < 0/01$ ) معنی‌دار نشان داد. مقایسه میانگین بیان نمود که در بافت شنی لومی تیمار آکوازورب ۱۰ گرم با آبیاری ۱۰۰ درصد و در بافت لومی تیمار استاکوزورب ۵ گرم با آبیاری ۱۰۰ درصد، مطلوب‌ترین نتایج را داشتند و تفاوت معنی‌داری نسبت به تیمارهای شاهد ایجاد نمودند. نتایج نشان داد که سوپرچاذب‌ها با تحریک توسعه شبکه ریشه‌ای فشرده و تجمع ریشه‌ها، تماس ریشه‌ها را با رطوبت افزایش دادند و با تأمین آب مورد نیاز، سبب افزایش معنی‌دار صفات ریشه مانند طول، محیط و حجم شدند. با توجه به تفاوت بین تیمارهای مطلوب در دو بافت خاک، استنتاج شد که انتخاب نوع و میزان سوپرچاذب، بستگی به بافت خاک دارد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات ریشه، سوپرچاذب، آکوازورب، استاکوزورب

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.rezashateri@na.iut.ac.ir

## مقدمه

گراس اطراف تکه‌های ژل آب را برای مدت طولانی برای ریشه‌ها فراهم کرده و بنابراین به تأمین آب کافی مورد نیاز برای فتوسنتز کمک می‌نماید. این یافته‌ها در توافق با یافته دراجی و همکاران است که مشاهده کردند کاربرد پلیمرهای سوپرچاذب با نسبت ۰/۶٪ در خاک لوم‌شنی و ۰/۲٪ در خاک لوم رسی شنی، منجر به بیشترین تهویه و بیوماس ریشه برای ذرت شده است (۱۷).

از سوی دیگر، برخی مطالعات نشان داده‌اند که طول ریشه بر جذب آب و مواد غذایی تأثیر گذار است. در این میان جذب آب و مواد غذایی در طی دوران خشکسالی می‌تواند معیار مهم‌تری برای اجتناب از خشکی باشد (۲۲). آنچه اهمیت دارد این است که ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه و رشد ریشه‌ها می‌تواند در مقاومت به تنش خشکی تأثیر زیادی داشته باشد (۲). زیرا افزایش رشد، طول و نفوذ ریشه به افزایش جذب آب از اعماق خاک و حفظ فعالیت ریشه منجر می‌شود (۲۳). اما در مورد جنبه‌های مختلف رشد ریشه دانسته‌های موجود محدود است، زیرا ریشه اندامی زیرزمینی بوده و مطالعه آن دشوار و پرهزینه می‌باشد (۲۰). چگونگی توسعه ریشه گیاه یکی از ویژگی‌هایی است که به صورت طبیعی تحت تأثیر مدیریت بهینه آب قرار دارد (۳۰). مواد سوپرچاذب از طریق ذخیره و تأمین آب مورد نیاز گیاه می‌توانند تأثیر مطلوبی بر سیستم ریشه‌ای گیاهان داشته باشند، اما بررسی منابع کمبود مطالعه تأثیر این مواد بر ویژگی‌های ریشه نشان می‌دهند. از اینرو، در پژوهش حاضر اثر مواد فراچاذب بر ویژگی‌های سیستم ریشه جو دو سر مورد مطالعه قرار گرفت. گونه *Avena fatua* L. با نام فارسی جو دو سر از خانواده پوآسه می‌باشد که در خاور دور و برخی مناطق از قبیله اروپا، مدیترانه، ترکمنستان، سوریه و غیره رویش دارد (۲۸). این گیاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان نیز پراکندگی دارد و رویشگاه طبیعی آن، اراضی بایر، چمنزارها، زراعت‌های یک ساله و چند ساله و مراتع مناطق مختلف ناحیه رویشی ایران و توران است. اما در اثر خشکی و کمبود بارندگی کافی از مرتع ناپدید می‌گردد. با توجه به مطالب عنوان

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که زنده‌مانی و رشد گیاهان را در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محدود می‌سازد (۳۳). به‌علاوه، خشکی ممکن است سبب تأخیر یا عدم استقرار گیاه، تضعیف یا از بین رفتن گیاهان استقرار یافته شود (۹)، در حالی که، استقرار پوشش گیاهی مناسب بهترین راه کنترل اراضی تخریب شده و در معرض خطر بیابانی شدن در مناطق خشک می‌باشد (۳). بررسی منابع مختلف حاکی از آن است که در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک که بارندگی کم و غیرقابل پیش‌بینی است، احیای پوشش گیاهی، جوانه‌زنی بذور و استقرار نهال‌های بذری، با استفاده از تکنیک‌های افزایش دهنده رطوبت موجود در خاک، بهبود می‌یابد (۲۹ و ۳۱). تحقیقات نشان می‌دهد که با کاربرد پلیمرهای سوپرچاذب می‌توان آب حاصل از بارندگی‌های پراکنده در مناطق خشک و نیمه‌خشک را حفظ کرده و با بهبود شرایط فیزیکی خاک تنش‌های رطوبتی را کاهش داده (۴ و ۵) و استقرار را بهبود بخشید. مواد سوپرچاذب یا ژل‌های پلیمری آب‌دوست، هیدروژل‌هایی هستند که می‌توانند مقادیر فوق‌العاده زیادی آب را جذب کرده (۸ و ۱۳) و از نفوذ عمقی آن جلوگیری کنند و در شرایط خشک مجدداً آب جذب شده را در اختیار گیاه قرار دهند (۶). پلیمرهای سوپرچاذب می‌توانند آب را در افق‌های بالایی خاک که ریشه‌های نهال‌های بذری قرار دارند ذخیره کنند (۱۱).

اسلام و همکاران با کاربرد نوعی پلیمر سوپرچاذب برای گونه یولاف *Avena sativa* L. گزارش نمودند که استفاده از این مواد، تجمع زی‌توده روی زمین را تا ۳۹/۷٪ افزایش داده است (۲۵). آگابا و همکاران با استفاده از بهبود دهنده‌های هیدروژلی برای گونه *Agrostis stolonifera* اظهار داشتند که کارایی مصرف آب حدود ۸ برابر در مقایسه با شاهد افزایش یافت. در مطالعه آنها توانایی هیدروژل برای نگهداشت و آزاد کردن تدریجی آب دلیلی برای بهبود کارایی آب عنوان شده است (۱۱). به‌علاوه این محققین عنوان نمودند که تجمع ریشه‌های

جدول ۱. حجم آب استفاده شده برای هر تیمار به میلی‌متر مکعب

روز پس از آبیاری	مقدار آب آبیاری (میلی‌متر مکعب)			مقدار تجمعی آب آبیاری (میلی‌متر مکعب)		
	٪۷۵	٪۱۰۰	٪۱۵۰	٪۷۵	٪۱۰۰	٪۱۵۰
اولین روز کاشت	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
روز ۷	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
روز ۱۴	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰
روز ۲۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰
روز ۵۱	۱۷۰	۲۹۰	۵۴۰	۷۷۰	۸۹۰	۱۱۴۰
روز ۸۱	۱۷۰	۳۰۰	۵۴۰	۹۴۰	۱۱۹۰	۱۶۸۰
روز ۱۱۱	۱۷۰	۳۰۰	۵۵۰	۱۱۱۰	۱۴۹۰	۲۲۳۰

گلدان استفاده شد (۲ بافت خاک  $\times$  ۳ سطح آبیاری  $\times$  ۷ تیمار سوپر جاذب  $\times$  ۳ تکرار).

به منظور ایجاد بسترهای آزمایشی مشابه با شرایط طبیعی منطقه، خاک با بافت شنی لومی از دشت و خاک دارای بافت لومی از پای دامنه اراضی دانشگاه صنعتی اصفهان جمع‌آوری گردید. سنگریزه‌های موجود در خاک‌های جمع‌آوری شده از طریق الک حذف گردیدند. سه نوع سوپر جاذب با نام‌های تجاری آکوازورب، بلوراب A و استاکوزورب که به ترتیب محصول فرانسه، ایران و آلمان می‌باشند، در این پژوهش به کار گرفته شدند. گلدان‌های پلاستیکی سیاه رنگ دارای  $17/2$  سانتی‌متر قطر متوسط و  $17/4$  سانتی‌متر ارتفاع با ظرفیت  $4040$  میلی‌متر مکعب بودند. مطابق طرح آزمایشی تعریف شده مقادیر مشخص سوپر جاذب به صورت یکنواخت با  $3/4$  کیلوگرم خاک هر گلدان مخلوط گردید. در هر گلدان ۵ عدد بذر جو دو سر کشت گردید. پس از کشت، هر یک از تیمارها مقدار  $300$  میلی‌متر مکعب آب مقطر دریافت نمودند و سپس در ۳ نوبت آبیاری و با فواصل ۷ روز از یکدیگر در فاز اولیه آبیاری شدند (جدول ۱). اما جهت تطابق با الگوی بارش منطقه در فصل رشد، پس از سه هفته و در فاز ثانویه، ۳ نوبت آبیاری با فواصل ۳۰ روز از یکدیگر مطابق جدول (۱) انجام شد. سه سطح آبیاری اعمال شده برابر با ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ درصد میانگین بارندگی ۶۰ ساله منطقه بود که به ترتیب به‌عنوان تنش بارش

شده، رویکرد پژوهش حاضر مطالعه تأثیر مواد فراجاذب بر ویژگی‌های ریشه گونه *Avena fatua* L. در دو بافت متفاوت خاک، تحت ۳ رژیم آبیاری مختلف و انواع تیمارهای سوپر جاذب بود.

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در گلخانه آموزشی دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شد. ارتفاع این منطقه از سطح دریا  $1626$  متر و متوسط بارندگی و درجه حرارت سالانه آن، به ترتیب  $134$  میلی‌متر و  $17/03$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۱).

تیمارهای آزمایشی شامل (الف) دو بافت خاک: شنی لومی و لومی (ب) سه سطح آبیاری: ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ درصد میانگین بارندگی منطقه طی ماه‌های بهمن تا اردیبهشت. این بازه زمانی دوره آغاز فعالیت بذر تا آخرین باران دریافتی در فصل رشد در رویشگاه طبیعی گونه جو دو سر در منطقه مطالعاتی است و به اختصار Pave نامیده شد و (ج) شش ترکیب سوپر جاذب یا هیدروژل که همراه با شاهد، هفت تیمار سوپر جاذب را تشکیل دادند. به عبارت دیگر، ترکیبات هیدروژلی شامل سه نوع سوپر جاذب با دو سطح ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم خاک و سطح شاهد یا بدون سوپر جاذب بودند. طرح آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. آزمایش با ۳ تکرار انجام گرفت، بنابراین، در این طرح آزمایشی تعداد  $126$

جدول ۲. انواع، سطوح و اختصارات تیمارهای آزمایش

اختصار	تیمار آبیاری	اختصار	سطح سوپر جاذب	اختصار	نوع سوپر جاذب
۰۷۵	۷۵ درصد بارندگی مینا	control	بدون سوپر جاذب	Aq	اکوازورب (Aquasorb)
۱۰۰	۱۰۰ درصد بارندگی مینا	۰۵	۵ گرم سوپر جاذب در کیلوگرم خاک	Bo	بلوراب A (Bolorab A)
۱۵۰	۱۵۰ درصد بارندگی مینا	۱۰	۱۰ گرم سوپر جاذب در کیلوگرم خاک	St	استاکوزورب (Stockosorb)

مثال: Aq-05-100، نشان دهنده بستر مخلوط شده با ۵ گرم اکوازورب و سطح آبیاری ۱۰۰ درصد بارندگی مینا می باشد

ویژگی‌های ریشه‌ها با اسکنر رایانه‌ای و نرم‌افزار GiA Roots محاسبه گردید (۱۹). ویژگی‌های اندازه‌گیری شده ریشه شامل: طول ریشه، محیط ریشه و حجم ریشه بود. وزن خشک ریشه‌ها پس از خشک شدن در آون با دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، به دست آمد (۳۳). نسبت ریشه به اندام هوایی از تقسیم وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی محاسبه گردید. در طول دوره آزمایش ویژگی‌های فوق‌الذکر برای گیاهانی که در دوره انجام آزمایش کاملاً خشک می‌شدند، اندازه‌گیری گردید تا ریشه‌ها با پوسیدن از بین نروند.

#### آنالیزهای آماری

نرمالیتی داده‌های جمع‌آوری شده با تست ویلکاکسون بررسی شد. جهت تعیین معنی‌داری اثرات اصلی و متقابل تیمارهای اعمال شده، آنالیز واریانس داده‌ها در سطح ۵ یا ۱ درصد، با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 (۳۴) صورت پذیرفت. آزمون LSD یا حداقل اختلاف معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) نیز به منظور مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و هیدروژل، در هر بافت خاک به صورت جداگانه انجام شد. در جدول (۲) اختصارات استفاده شده در جدول‌ها و متن ارایه گردیده است.

#### نتایج

جدول (۳) تجزیه واریانس صفات مختلف جو دو سر را نشان می‌دهد. با بررسی این جدول مشخص می‌شود که تأثیر بافت خاک برای تمامی صفات مورد بررسی در سطح ۱ درصد ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار بوده است. تیمارهای آبیاری اعمال شده برای صفات نسبت ریشه به اندام هوایی، طول ریشه، محیط

کم، شرایط نرمال و ترسالی در نظر گرفته شده بودند. میانگین بارندگی ۶۰ ساله منطقه در فصل رشد ۶۵/۵ میلی‌متر است. با محاسبه سطح مقطع گلدان، حجم آبیاری برای تیمارهای مذکور به ترتیب ۱/۱۱، ۱/۴۹ و ۲/۲۳ لیتر به دست آمد. جدول (۱) مقدار آبیاری در هر نوبت و نیز کل حجم آبیاری را نشان می‌دهد. دو هفته پس از کشت، در هر گلدان یک نهال بذری حفظ شد و سایر نهال‌های بذری جوانه زده با قطع کردن از زیر سطح خاک حذف گردیدند.

شایان ذکر است که، انتخاب گونه جو دو سر برای پژوهش به دلیل یک ساله بودن این گیاه بود که مطالعه چرخه زندگی آن را در دوره‌ای کوتاه امکان‌پذیر می‌نمود. به علاوه، از آنجا که مطالعه ریشه گیاهان کشت شده در عرصه طبیعی با دشواری‌های خاص برای نمونه‌برداری تخریبی همراه است، این مطالعه در شرایط گلخانه اجرا شد که این شرایط امکان اعمال تنش کم‌آبی را نیز فراهم نمود.

#### اندازه‌گیری‌ها

دوره رشد و فعالیت گیاهان در گلخانه از بهمن ماه تا خرداد ماه به طول انجامید. در طول این مدت، در یادداشت برداری‌های ۳۰ روزه، تعداد گیاهان زنده مانده و ارتفاع اندام هوایی یادداشت گردید. در پایان آزمایش که کلیه گیاهان خشک شدند، به منظور توزین بایومس اندام هوایی، پایه‌های گیاهی از ۰/۵ سانتی‌متری سطح خاک قطع گردیدند و به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در داخل پاکت‌های کاغذی قرار گرفتند (۳۳). ریشه‌های گیاهان موجود در هر گلدان نیز به آرامی با آب شستشو داده شد و کاملاً عاری از خاک گردیدند.

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات جو دو سر، در دو بافت متفاوت خاک، ۳ سطح آبیاری و ۷ تیمار مختلف سوپر جاذب

میانگین مربعات							
منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع اندام‌هوایی	وزن خشک اندام‌هوایی	وزن خشک ریشه	نسبت ریشه به اندام‌هوایی	طول ریشه	محیط ریشه
بافت	۱	۹۷۲۸۴۲/۱۶**	۹۶۴۱۶۲/۵۷**	۱۴۹۳۹/۵۶**	۰/۰۳**	۱۲۵۸۷۸۴۴/۹۱**	۶۵۴۷۵۴۹۰/۳۴**
آبیاری	۲	۲۷۴۳۰/۹۰**	۹۱۰۲/۰۶**	۱۶۱۸/۲۴**	۰/۰۱*	۱۴۳۳۱۸۰/۱۲*	۶۵۰۶۸۶۷/۱۲*
بافت × آبیاری	۲	۱۴۰۴۰/۰۴**	۱۱۶۱۸/۱۷*	۹۶۳۹**	۰/۰۱*	۱۲۳۹۷۰/۱۴**	۵۹۸۹۴۹/۰۳**
سوپر جاذب	۶	۳۱۹۳۸۹/۸۰**	۲۳۷۳۰۸/۸۴**	۲۹۳۶/۲۴**	۰/۰۳**	۲۲۴۴۸۷۸/۸۳**	۹۹۳۳۰۷۷/۰۱**
بافت × سوپر جاذب	۶	۶۸۲۱۰/۰۵**	۱۱۴۳۹۶/۶۵**	۶۵۳/۰۹**	۰/۰۱*	۱۲۵۹۳۳/۶۵**	۸۵۴۷۹۴/۶۶**
آبیاری × سوپر جاذب	۱۲	۶۴۱۴/۲۹**	۳۴۹۰/۱۳**	۴۰۰/۰۹**	۰/۰۱**	۳۵۲۸۵۱/۲۴**	۱۲۳۹۶۴۲/۹۷**
بافت × آبیاری × سوپر جاذب	۱۲	۱۷۵۲۸/۹۴**	۶۵۲۸۱/۵۵*	۴۷۸/۰۹**	۰/۰۱*	۲۷۹۶۸۷/۱۲**	۱۲۴۸۸۱۶/۰۵**
خطا	۸۴	۱۶۱۴۹/۳۷	۲۸۰۵۹/۷۱	۳۲۲/۷۷	۰/۰۰	۳۲۳۸۸۹/۹۰	۱۵۰۰۷۵۰/۶۰

\*\* و \* به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد، ns: معنی دار نیست

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و تیمارهای سوپر جاذب برای جو دو سر در بافت شنی لومی

تیمارهای آبیاری	تیمارهای سوپر جاذب	ارتفاع اندام‌هوایی (mm)	وزن خشک اندام‌هوایی (mg)	وزن خشک ریشه (mg)	نسبت ریشه به اندام‌هوایی	طول ریشه (mm)	حجم ریشه (mm <sup>3</sup> )
P <sub>ave</sub> /0.75	Aq05	۳۷۷/۳۳ <sup>bc</sup>	۵۶۳/۳۳ <sup>b-d</sup>	۳۷/۳۳ <sup>a-d</sup>	۰/۰۷ <sup>de</sup>	۱۰۰۴/۲۳ <sup>a-e</sup>	۴۳/۰۲ <sup>b-c</sup>
	Aq10	۵۵۸/۶۷ <sup>ab</sup>	۳۹۰/۰۰ <sup>c-e</sup>	۵۴/۶۷ <sup>a-c</sup>	۰/۱۴ <sup>a-d</sup>	۱۰۶۱/۰۷ <sup>a-e</sup>	۴۹/۵۴ <sup>a-e</sup>
	Bo05	۴۳۵/۶۷ <sup>ab</sup>	۳۰۰/۰۰ <sup>d-e</sup>	۲۱/۰۰ <sup>cd</sup>	۰/۱۰ <sup>b-e</sup>	۹۱۹/۲۰ <sup>b-e</sup>	۳۶/۹۲ <sup>c-e</sup>
	Bo10	۴۷۵/۳۳ <sup>ab</sup>	۵۵۵/۰۰ <sup>b-d</sup>	۳۴/۶۷ <sup>a-d</sup>	۰/۰۸ <sup>c-e</sup>	۱۶۴۸/۰۵ <sup>a-d</sup>	۷۸/۶۶ <sup>a-c</sup>
	St05	۶۰۴/۳۳ <sup>ab</sup>	۵۸۵/۰۰ <sup>a-d</sup>	۴۸/۰۰ <sup>a-c</sup>	۰/۰۸ <sup>c-e</sup>	۱۷۲۳/۴۳ <sup>a-d</sup>	۶۹/۵۷ <sup>a-d</sup>
	St10	۱۴۵/۳۳ <sup>cd</sup>	۳۰۰/۰۰ <sup>d-e</sup>	۳۳/۶۷ <sup>a-d</sup>	۰/۱۱ <sup>a-e</sup>	۱۰۹۵/۹۰ <sup>a-e</sup>	۴۷/۴۳ <sup>a-e</sup>
	control	۱۳۱/۳۳ <sup>cd</sup>	۱۶۶/۶۷ <sup>e</sup>	۱۱/۵ <sup>d</sup>	۰/۰۸ <sup>c-e</sup>	۶۸۱/۹۳ <sup>de</sup>	۳۰/۴۶ <sup>de</sup>
P <sub>ave</sub> /0.100	Aq05	۴۹۰/۳۳ <sup>ab</sup>	۳۶۰/۰۰ <sup>c-e</sup>	۵۹/۶۷ <sup>a</sup>	۰/۱۶ <sup>a-c</sup>	۱۳۰۹/۷۰ <sup>a-e</sup>	۵۵/۹۵ <sup>a-e</sup>
	Aq10	۶۵۳/۳۳ <sup>a</sup>	۶۱۵/۰۰ <sup>a-c</sup>	۵۸/۰۰ <sup>a</sup>	۰/۰۹ <sup>b-e</sup>	۲۰۱۲/۲۵ <sup>a</sup>	۹۴/۳۵ <sup>a</sup>
	Bo05	۴۹۴/۳۳ <sup>ab</sup>	۳۶۵/۰۰ <sup>c-e</sup>	۲۱/۳۳ <sup>b-d</sup>	۰/۰۶ <sup>de</sup>	۸۷۷/۶۳ <sup>c-e</sup>	۳۵/۰۰ <sup>c-e</sup>
	Bo10	۵۱۵/۳۳ <sup>ab</sup>	۴۰۰/۰۰ <sup>c-e</sup>	۴۲/۳۳ <sup>a-d</sup>	۰/۱۱ <sup>a-e</sup>	۸۹۰/۴۰ <sup>b-e</sup>	۵۴/۷۹ <sup>a-e</sup>
	St05	۵۲۲/۰۰ <sup>ab</sup>	۴۲۰/۰۰ <sup>c-e</sup>	۴۴/۰۰ <sup>a-d</sup>	۰/۱۰ <sup>b-e</sup>	۱۵۷۵/۰۳ <sup>a-d</sup>	۶۹/۷۵ <sup>a-d</sup>
	St10	۴۸۵/۶۷ <sup>ab</sup>	۳۹۶/۶۷ <sup>c-e</sup>	۵۶/۳۳ <sup>a</sup>	۰/۱۷ <sup>ab</sup>	۱۷۷۹/۶۷ <sup>a-c</sup>	۸۰/۲۶ <sup>a-c</sup>
	control	۹۳/۶۷ <sup>d</sup>	۱۴۵/۶۷ <sup>e</sup>	۱۱/۰۰ <sup>d</sup>	۰/۱۱ <sup>a-e</sup>	۴۹۷/۸۰ <sup>e</sup>	۲۲/۵۶ <sup>e</sup>
P <sub>ave</sub> /0.150	Aq05	۵۴۹/۳۳ <sup>ab</sup>	۸۲۳/۳۳ <sup>ab</sup>	۵۶/۳۳ <sup>a</sup>	۰/۰۷ <sup>de</sup>	۱۴۵۲/۸۳ <sup>a-e</sup>	۵۳/۱۳ <sup>a-c</sup>
	Aq10	۶۷۴/۰۰ <sup>a</sup>	۸۸۳/۳۳ <sup>a</sup>	۶۷/۰۰ <sup>a</sup>	۰/۰۸ <sup>c-e</sup>	۲۰۷۳/۶۰ <sup>a</sup>	۹۳/۰۸ <sup>a</sup>
	Bo05	۵۷۸/۰۰ <sup>ab</sup>	۳۴۵/۰۰ <sup>c-e</sup>	۶۲/۳۳ <sup>a</sup>	۰/۱۶ <sup>a-c</sup>	۱۸۳۹/۰۵ <sup>a-c</sup>	۶۴/۹۹ <sup>a-e</sup>
	Bo10	۴۷۳/۳۳ <sup>ab</sup>	۳۹۶/۶۷ <sup>c-e</sup>	۲۳/۶۷ <sup>a-d</sup>	۰/۱۲ <sup>a-e</sup>	۱۹۶۳/۲۷ <sup>ab</sup>	۸۵/۱۵ <sup>ab</sup>
	St05	۵۰۳/۰۰ <sup>ab</sup>	۵۰۰/۰۰ <sup>cd</sup>	۴۱/۰۰ <sup>a-d</sup>	۰/۰۸ <sup>c-e</sup>	۱۵۷۹/۶۰ <sup>a-d</sup>	۷۵/۶۱ <sup>a-d</sup>
	St10	۳۶۶/۶۷ <sup>bc</sup>	۲۹۰/۰۰ <sup>de</sup>	۵۵/۰۰ <sup>ab</sup>	۰/۱۹ <sup>a</sup>	۱۵۰۹/۰۳ <sup>a-e</sup>	۷۰/۲۶ <sup>a-d</sup>
	control	۱۴۰/۰۰ <sup>cd</sup>	۳۰۰/۰۰ <sup>de</sup>	۱۳/۰۰ <sup>d</sup>	۰/۰۵ <sup>e</sup>	۹۲۴/۲۰ <sup>b-e</sup>	۴۴/۴۷ <sup>b-e</sup>

در هر ستون، تیمارهای که میانگین آنها حداقل در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند

ریشه و حجم ریشه در سطح ۵ درصد ( $P < 0.05$ ) و برای وزن خشک ریشه در سطح ۱ درصد ( $P < 0.01$ ) معنی دار بوده‌اند؛ اما

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و تیمارهای سوپر جاذب برای جو دو سر در بافت لومی

تیمارهای آبیاری	تیمارهای سوپر جاذب	ارتفاع اندام هوایی (mm)	وزن خشک اندام هوایی (mg)	وزن خشک ریشه (mg)	نسبت ریشه به اندام هوایی	طول ریشه (mm)	حجم ریشه (mm <sup>3</sup> )
P <sub>ave</sub> %75	Aq05	۲۲۶/۶۷ <sup>c</sup>	۳۶۰/۰۰ <sup>bc</sup>	۲۸/۳۳ <sup>bc</sup>	۰/۱۰ <sup>c-e</sup>	۷۰۲/۸۳ <sup>a-f</sup>	۲۸/۲۹ <sup>b-g</sup>
	Aq10	۲۲۶/۶۷ <sup>c</sup>	۳۸۶/۶۷ <sup>bc</sup>	۱۹/۰۰ <sup>b-d</sup>	۰/۰۸ <sup>c-f</sup>	۱۱۰۶/۰۰ <sup>a-d</sup>	۴۷/۵۶ <sup>a-e</sup>
	Bo05	۳۱۸/۳۳ <sup>a-c</sup>	۲۴۳/۳۳ <sup>cd</sup>	۱۳/۰۰ <sup>b-d</sup>	۰/۰۵ <sup>d-f</sup>	۷۵۱/۳۷ <sup>a-f</sup>	۳۰/۵۵ <sup>b-g</sup>
	Bo10	۳۱۱/۶۷ <sup>a-c</sup>	۱۹۳/۳۳ <sup>c-e</sup>	۱۰/۶۷ <sup>cd</sup>	۰/۰۷ <sup>c-f</sup>	۲۲۱/۱۰ <sup>ef</sup>	۹/۵۹ <sup>f-g</sup>
	St05	۲۷۵/۰۰ <sup>bc</sup>	۱۸۰/۰۰ <sup>c-e</sup>	۲۳/۳۳ <sup>b-d</sup>	۰/۱۱ <sup>c-e</sup>	۹۵۶/۷۷ <sup>a-e</sup>	۴۳/۹۱ <sup>a-e</sup>
	St10	۴۳۲/۵۰ <sup>a</sup>	۶۵۵/۰۰ <sup>a</sup>	۱۶/۰۰ <sup>b-d</sup>	۰/۰۳ <sup>ef</sup>	۴۷۵/۲۵ <sup>c-f</sup>	۲۳/۱۸ <sup>c-g</sup>
	control	۱۲/۰۰ <sup>d</sup>	۱۰/۰۰ <sup>e</sup>	۰/۱۲ <sup>d</sup>	۰/۰۱ <sup>f</sup>	۸/۳۴ <sup>f</sup>	۱/۷۷ <sup>g</sup>
P <sub>ave</sub> %100	Aq05	۲۲۹/۰۰ <sup>c</sup>	۲۰۶/۶۷ <sup>c-e</sup>	۱۱/۳۳ <sup>b-d</sup>	۰/۰۸ <sup>c-f</sup>	۶۴۰/۷۰ <sup>b-f</sup>	۳۰/۸۹ <sup>b-g</sup>
	Aq10	۲۵۶/۶۷ <sup>bc</sup>	۳۰۳/۳۳ <sup>b-d</sup>	۱۱/۶۷ <sup>b-d</sup>	۰/۰۵ <sup>d-f</sup>	۶۸۱/۹۳ <sup>a-f</sup>	۳۱/۷۵ <sup>b-g</sup>
	Bo05	۳۹۶/۰۰ <sup>ab</sup>	۳۳۰/۰۰ <sup>b-d</sup>	۱۸/۰۰ <sup>b-d</sup>	۰/۰۸ <sup>c-f</sup>	۴۷۹/۷۰ <sup>c-f</sup>	۱۸/۸۹ <sup>c-g</sup>
	Bo10	۲۴۹/۳۳ <sup>bc</sup>	۴۸۳/۳۳ <sup>ab</sup>	۱۸/۰۰ <sup>b-d</sup>	۰/۰۴ <sup>d-f</sup>	۴۱۸/۰۰ <sup>d-f</sup>	۱۹/۶۴ <sup>d-g</sup>
	St05	۳۶۳/۳۳ <sup>a-c</sup>	۳۰۰/۰۰ <sup>b-d</sup>	۳۵/۳۳ <sup>b</sup>	۰/۱۴ <sup>bc</sup>	۱۴۱۷/۹۰ <sup>a</sup>	۵۴/۹۹ <sup>a-c</sup>
	St10	۳۵۰/۰۰ <sup>a-c</sup>	۳۲۰/۰۰ <sup>b-d</sup>	۲۵/۵۰ <sup>bc</sup>	۰/۰۸ <sup>c-f</sup>	۱۲۳۹/۴۵ <sup>a-c</sup>	۵۷/۶۸ <sup>ab</sup>
	control	۱۶/۰۰ <sup>d</sup>	۱۳/۰۰ <sup>e</sup>	۰/۱۷ <sup>d</sup>	۰/۰۱ <sup>f</sup>	۳/۵۵ <sup>f</sup>	۳/۰۹ <sup>g</sup>
P <sub>ave</sub> %150	Aq05	۲۹۷/۳۳ <sup>a-c</sup>	۲۳۳/۳۳ <sup>cd</sup>	۱۵/۳۳ <sup>b-d</sup>	۰/۰۸ <sup>c-f</sup>	۴۷۶/۱۳ <sup>c-f</sup>	۲۳/۱۸ <sup>c-g</sup>
	Aq10	۲۵۰/۶۷ <sup>bc</sup>	۱۱۶/۶۷ <sup>de</sup>	۲۵/۶۷ <sup>bc</sup>	۰/۲۲ <sup>ab</sup>	۱۱۷۳/۷۳ <sup>a-d</sup>	۳۴/۷۳ <sup>a-f</sup>
	Bo05	۳۲۵/۰۰ <sup>a-c</sup>	۲۷۳/۳۳ <sup>b-d</sup>	۱۵/۶۷ <sup>b-d</sup>	۰/۰۷ <sup>c-f</sup>	۸۹۰/۱۰ <sup>a-e</sup>	۳۵/۵۲ <sup>a-f</sup>
	Bo10	۳۲۵/۳۳ <sup>a-c</sup>	۲۰۳/۳۳ <sup>c-e</sup>	۱۵/۰۰ <sup>b-d</sup>	۰/۰۷ <sup>c-f</sup>	۱۱۲۰/۴۳ <sup>a-d</sup>	۵۱/۶۵ <sup>a-d</sup>
	St05	۳۹۱/۶۷ <sup>ab</sup>	۳۳۵/۰۰ <sup>b-d</sup>	۳۲/۶۷ <sup>bc</sup>	۰/۱۲ <sup>cd</sup>	۱۰۳۲/۰۳ <sup>a-d</sup>	۴۹/۴۳ <sup>a-e</sup>
	St10	۳۲۴/۳۳ <sup>a-c</sup>	۳۳۰/۰۰ <sup>b-d</sup>	۸۰/۰۰ <sup>a</sup>	۰/۲۳ <sup>a</sup>	۱۳۵۰/۳۰ <sup>ab</sup>	۶۵/۰۱ <sup>a</sup>
	control	۰/۰۰ <sup>d</sup>	۰/۰۰ <sup>e</sup>	۰/۰۰ <sup>d</sup>	۰/۰۰ <sup>f</sup>	۰/۰۰ <sup>f</sup>	۰/۰۰ <sup>g</sup>

در هر ستون، تیمارهای که میانگین آنها حداقل در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند

مقادیر قابل قبولی را برای ارتفاع اندام هوایی ارائه داده‌اند، به طوری که این مقادیر اختلاف معنی داری با تیمارهای شاهد نشان داده‌اند. این تیمارها به ترتیب اولویت در آبیاری ۷۵٪ شامل St-05، Aq-10، Bo-10 و Bo-05؛ در آبیاری ۱۰۰٪ شامل Aq-10، St-05، Bo-10، Bo-05 و Aq-05؛ و در آبیاری ۱۵۰٪ شامل Bo-05، Aq-10، St-05، Bo-10 و Aq-05 بود (جدول ۴).

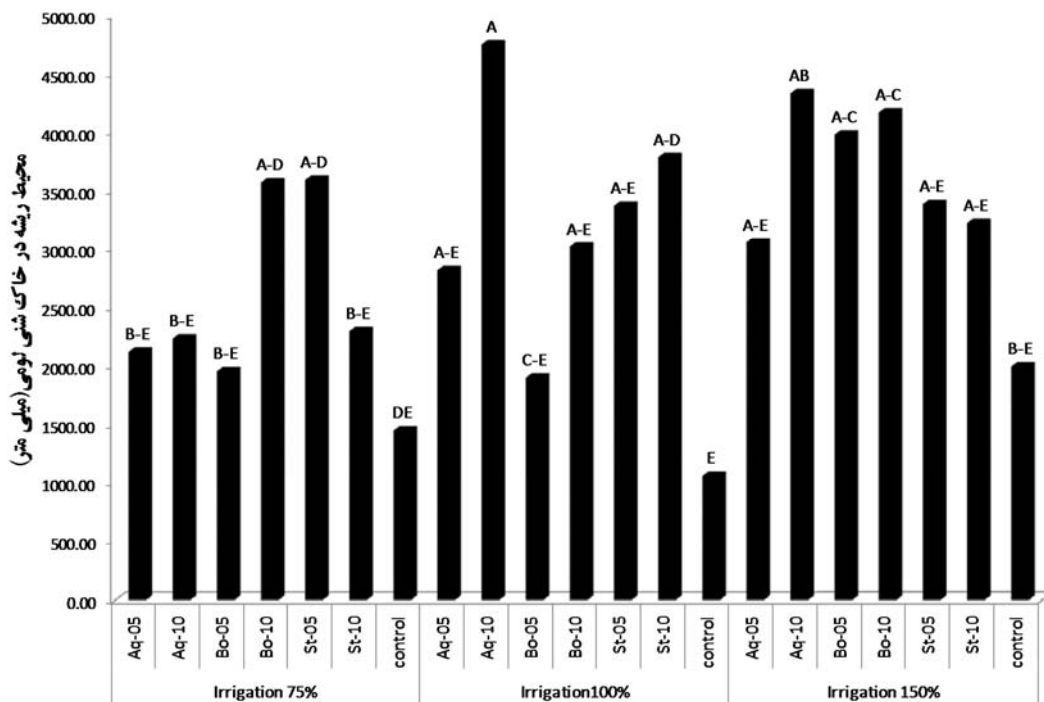
در بافت لومی نیز ۱۸ تیمار باعث افزایش قابل توجهی در ارتفاع اندام هوایی در مقایسه با تیمارهای شاهد شده‌اند. این تیمارها به ترتیب اولویت در آبیاری ۷۵٪ شامل St-10، Bo-05، Bo-10، St-05، Aq-05 و Aq-10؛ در آبیاری ۱۰۰٪ شامل Bo-05، St-10، St-05، Aq-10، Bo-10 و Aq-05؛ و در آبیاری ۱۵۰٪ شامل St-05، Bo-10، Bo-05، St-10، Aq-05 و Aq-10 بود (جدول ۵).

تیمارهای آبیاری در مورد ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی، معنی دار نبوده است. کاربرد سوپر جاذب‌ها نیز باعث ایجاد معنی داری در سطح ۱ درصد ( $P < 0/01$ ) برای تمامی صفات جو دو سر شده است. اثر متقابل بافت خاک، سطوح آبیاری و تیمارهای سوپر جاذب، برای صفات وزن خشک اندام هوایی و نسبت ریشه به اندام هوایی در سطح ۵ درصد ( $P < 0/05$ ) معنی دار گردید، اما برای سایر صفات معنی دار نبوده است (جدول ۳). جدول‌های (۴ و ۵) و شکل‌های (۱ و ۲)، مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و تیمارهای سوپر جاذب را در هر یک از بافت‌های شنی لومی و لومی نشان می‌دهند.

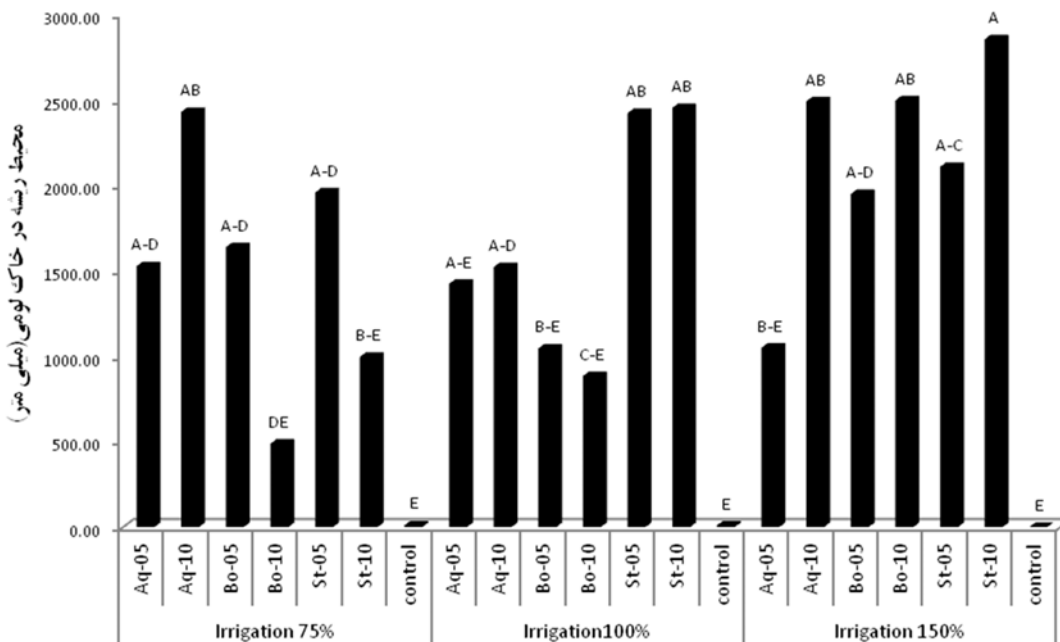
#### نتایج آنالیز صفات جو دو سر

##### ارتفاع اندام هوایی

جدول (۴) نشان می‌دهد که در بافت شنی لومی بسیاری از تیمارها



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و تیمارهای سوپرچاذب برای محیط ریشه جو دو سر در خاک شنی لومی



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و تیمارهای سوپرچاذب برای محیط ریشه جو دو سر در خاک لومی

### وزن خشک اندام هوایی

مقایسه میانگین در بافت شنی لومی (جدول ۴) بیانگر آن است که تیمارهای Aq-10 در آبیاری ۱۰۰٪ و Aq-10 و Aq-05 در آبیاری ۱۵۰٪، تفاوت معنی داری را نسبت به تیمارهای شاهد برای وزن خشک اندام هوایی جو دو سر سبب شده‌اند. اما در بافت لومی، St-10، Aq-10، Aq-05 و Bo-05 در آبیاری ۷۵٪، Bo-10، Bo-05، St-10، Aq-10 و St-05 در آبیاری ۱۰۰٪ و St-05 در آبیاری ۱۰۰٪، بهترین کارایی را برای وزن خشک اندام هوایی نشان داده‌اند به نحوی که تیمارهای یادشده اختلاف قابل توجهی با تیمارهای شاهد داشته‌اند (جدول ۵).

### وزن خشک ریشه

در بافت شنی لومی ۹ تیمار تفاوت معنی داری از لحاظ مقادیر وزن خشک ریشه در مقایسه با تیمارهای شاهد دارا بوده‌اند (جدول ۴). این تیمارها در آبیاری ۷۵٪ شامل Aq-10 و St-05؛ در آبیاری ۱۰۰٪ شامل Aq-05، Aq-10 و St-10 و در آبیاری ۱۵۰٪ شامل Aq-10، Bo-05، Aq-05 و St-10 بودند. در خاک لومی نیز، تیمار Aq-05 در آبیاری ۷۵٪، تیمارهای St-05 و St-10 در آبیاری ۱۰۰٪ و تیمارهای St-10 و St-05 در آبیاری ۱۵۰٪ از لحاظ مقایسه میانگین انجام شده برای صفت مذکور، در موقعیت برتر نسبت به تیمار نشده‌ها قرار گرفته‌اند (جدول ۵).

### نسبت ریشه به اندام هوایی

جدول (۴) گویای آن است که Aq-10 با آبیاری ۷۵٪، St-10 و Aq-05 با آبیاری ۱۰۰٪ و Bo-05، St-10 و Bo-10 با آبیاری ۱۵۰٪ در مقایسه با تیمارهای شاهد اعمال شده در بافت شنی لومی، مقادیر بیشتری را برای صفت نسبت ریشه به اندام هوایی به خود اختصاص داده‌اند، اما تفاوت آنها با تیمارهای شاهد از لحاظ آماری معنی دار نمی‌باشد. در حالی که در خاک لومی، بیشترین مقادیر برای نسبت مذکور مربوط

به تیمارهای St-05 و Aq-05 با آبیاری ۷۵٪، St-05 با آبیاری ۱۰۰٪ و St-10، Aq-10 و St-05 با آبیاری ۱۵۰٪؛ بوده که تفاوت آنها با تیمارهای شاهد نیز معنی دار می‌باشد (جدول ۵).

### طول ریشه

بیشترین مقادیر طول ریشه در خاک شنی لومی در نتیجه کاربرد تیمارهای Aq-10 با آبیاری ۱۵۰٪ و Aq-10 با آبیاری ۱۰۰٪ حاصل شده است به طوری که تیمارهای مذکور اختلاف معنی داری را با تیمارهای شاهد ایجاد نموده‌اند (جدول ۴). در مقابل، در خاک لومی ۹ تیمار ذیل در بین سایرین، مقادیر قابل توجهی برای طول ریشه جو دو سر در مقایسه با شرایط شاهد ایجاد نموده‌اند: Aq-10 و St-05 در آبیاری ۷۵٪؛ St-05 و St-10 در آبیاری ۱۰۰٪؛ Aq-10، St-10، Bo-10، Aq-10 و St-05 در آبیاری ۱۵۰٪ (جدول ۵).

Aq: آکوازورب؛ Bo: بلوراب؛ A: استاکوزورب؛ St: استاکوزورب؛ 05: ۵ گرم هیدروژل در کیلوگرم خاک؛ 10: ۱۰ گرم هیدروژل در کیلوگرم خاک

$P_{ave}$ : میانگین بارندگی اصفهان طی ماه‌های بهمن تا اردیبهشت؛ 075: آبیاری به میزان ۷۵ درصد  $P_{ave}$ ؛ 100: آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد  $P_{ave}$ ؛ 150: آبیاری به میزان ۱۵۰ درصد  $P_{ave}$

### محیط ریشه

شکل (۱) بیانگر آن است که در بافت شنی لومی، محیط ریشه جو دو سر تنها در نتیجه کاربرد تیمار Aq-10 با آبیاری ۱۰۰٪، به نتایج مطلوبی در مقایسه با تیمارهای شاهد رسیده است. اما در بافت لومی تیمارهای Aq-10، St-05، Bo-05 و Aq-05 در آبیاری ۷۵٪؛ St-10، St-05 و Aq-10 در آبیاری ۱۰۰٪ و St-10، Bo-10، Aq-10، St-05 و Bo-05 در آبیاری ۱۵۰٪؛ بیشترین مقادیر را برای طول ریشه ایجاد نموده‌اند و در نهایت منجر به ایجاد تفاوت آماری معنی دار با شاهد ها گشته‌اند (شکل ۲).



## حجم ریشه

حجم ریشه جو دو سر نیز در نتیجه کاربرد برخی از تیمارها پاسخ‌های آماری مثبت و معنی‌داری نسبت به تیمارهای شاهد ایجاد نموده است. این تیمارها شامل Aq-10 با آبیاری ۱۰۰٪ و Aq-10 با آبیاری ۱۵۰٪ می‌باشند (جدول ۴). در بافت لومی نیز کاربرد تیمارهای Aq-10 و St-05 با آبیاری ۷۵٪؛ St-10 و St-05 با آبیاری ۱۰۰٪ و Bo-05، St-05، Bo-10، St-10 و Aq-10 با آبیاری ۱۵۰٪؛ اختلاف معنی‌داری را بین تیمارهای فوق‌الذکر و تیمارهای شاهد برای حجم ریشه در پی داشته است (جدول ۵).

Aq: آکوازورب؛ Bo: بلوراب؛ A: St: استاکوزورب؛ 05: ۵ گرم هیدروزل در کیلوگرم خاک؛ 10: ۱۰ گرم هیدروزل در کیلوگرم خاک

$P_{ave}$ : میانگین بارندگی اصفهان طی ماه‌های بهمن تا اردیبهشت؛ 075: آبیاری به میزان ۷۵ درصد  $P_{ave}$ ؛ 100: آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد  $P_{ave}$ ؛ 150: آبیاری به میزان ۱۵۰ درصد  $P_{ave}$

یافته‌های پژوهش حاضر بیان داشت که کاربرد تیمارهای مختلف برای *Avena fatua*، منجر به نتایج متفاوتی بین دو بافت خاک شده است. به نحوی که، در بافت شنی‌لومی تیمار Aq-10-100 برای صفات ارتفاع اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، طول ریشه، محیط ریشه و حجم ریشه مناسب عمل نموده است. اما Aq-10-150، اثر مثبتی بر ۵ صفت ارتفاع اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، طول ریشه و حجم ریشه داشته است. سایر تیمارها برای تعداد صفت کمتری مناسب بوده‌اند (جدول ۴).

نکته قابل توجه این است که هدف از اعمال تیمارهای مختلف در تحقیق حاضر مشخص نمودن تیماری بوده است که بهترین کارایی را در هر بافت خاک داشته و در عین حال، کمترین هزینه ورودی از نظر سطح سوپرچادز و یا سطح آبیاری را نیاز داشته باشد. به عبارت دیگر تیماری بهترین تلقی می‌شود که ضمن ایجاد نتیجه مطلوب در همه یا اکثر صفات، از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد.

با بررسی تیمارهای فوق مشخص می‌شود که تیمار Aq-10-100 برای ۶ صفت مناسب بوده و تنها در صفت نسبت ریشه به اندام هوایی تفاوت معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان نداده است (جدول ۴ و شکل ۱)؛ عدم معنی‌داری نسبت ریشه به اندام هوایی نشان می‌دهد که روند افزایش رشد ریشه به اندام هوایی به یک نسبت رخ داده یعنی رشد اندام‌های هوایی متناسب و هماهنگ با رشد ریشه صورت می‌گیرد. بنابراین، تیمار Aq-10-100 در بافت شنی‌لومی خاک به‌عنوان مطلوب‌ترین تیمار در نظر گرفته شد.

در بافت لومی St-05-100، St-05-150 و St-10-150 برای تمامی ۷ صفت تعریف شده نتایج مناسبی در پی داشته‌اند و پس از آنها تیمارهای St-10-100 و Aq-10-150 برای ۶ صفت عملکرد مناسبی نشان داده‌اند. سایر تیمارها تعداد صفات کمتری را پوشش داده‌اند (جدول ۵ و شکل ۲). با توجه به نکات یاد-شده برای انتخاب تیمار مناسب؛ تیمار St-05-100 در بافت لومی خاک به عنوان تیمار برتر انتخاب گردید.

مقایسه رشد جو دو سر در تیمارهای شاهد دو نوع خاک در جدول‌های (۴ و ۵) نشان می‌دهد که سازگاری این گونه به خاک شنی لومی بهتر از خاک لومی است. اختلاف صفات رشد این گونه در خاک شنی‌لومی چندین برابر خاک لومی می‌باشد.

## بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که سوپرچادزها به‌عنوان بهبود دهنده‌های خاک، خصوصیات رشد جو دو سر را در هر دو بافت خاک به‌طور قابل توجهی ارتقاء داده‌اند (جدول ۴ و ۵، شکل‌های ۱ و ۲). در میان تمامی تیمارها Aq-10-100 در بافت شنی‌لومی منجر به بالاترین مقدار برای ارتفاع اندام هوایی در انتهای آزمایش شد (جدول ۴). St-05-100 در خاک لومی، گرچه بیشترین مقدار را برای ارتفاع اندام هوایی نشان نداده است، اما تفاوت معنی‌داری با تیمارهای شاهد ایجاد نموده و ارتفاع اندام هوایی را ۲۲/۷ برابر نسبت به Control-100 که بیشترین مقدار را نسبت به دو شاهد دیگر داشته است؛ افزایش داده است

(جدول ۵). این افزایش‌ها می‌تواند در نتیجه وجود آب در دسترس بیشتر برای رشد نهال‌های بذری در بستر گلدان‌ها باشد. کرینو و همکاران نیز گزارش کردند که اصلاح بستر *Quercus suber* با استاکوزورب K-400 با مقادیر وزنی ۰/۷ و ۰/۱۵، منجر به افزایش ارتفاع اندام هوایی در گلخانه شد، آنها این افزایش را در نتیجه بهبود آب قابل دسترس در بستر گیاه عنوان نمودند (۱۵).

کاربرد Aq-10-100 در بافت شنی لومی و St-05-100 در خاک لومی، افزایش قابل توجهی در وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با تیمارهای شاهد ایجاد نمود. این یافته نیز در توافق با مشاهدات ژوبین و همکاران است، آنها بیان داشتند که وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر بهبود دهنده‌های هیدروژلی بستر گیاه قرار گرفت (۲۶).

وزن خشک ریشه نیز به مقدار زیاد تحت تأثیر تیمار Aq-10-100 در بافت شنی لومی و St-05-100 در خاک لومی قرار گرفته است (جدول ۴ و ۵). آگابا و همکاران نیز افزایش قابل توجهی در بیایومس ریشه و اندام هوایی *Agrostis stolonifera* را در بستر شنی بهبود یافته با هیدروژل گزارش نمودند. افزایش در یافته‌های پژوهش حاضر نیز می‌تواند در ارتباط با تأثیر مناسب سوپر جاذب‌ها باشد (۱۱).

از آنجا که، در تیمارهای مطلوب معرفی شده سطح آبیاری ۱۵۰ درصد وجود نداشت، این نکته استنباط شد که تنها با وجود مقدار آب بیشتر، فاکتور عمده برای رشد ایده‌آل فراهم نمی‌گردد. از سوی دیگر، منابع اعلام داشتند که ارتباط مثبت و قابل توجهی بین رشد ریشه و تحمل به خشکی وجود دارد (۱۶ و ۱۸). خشکی‌های طولانی مدت از طریق تأثیر بر برخی فرایندهای فیزیولوژیکی از قبیل فرایند جذب CO<sub>2</sub>، رشد گیاه را محدود می‌کنند؛ در این شرایط بهبود دهنده‌های هیدروژلی، نرخ فتوسنتز و رشد گیاه را ارتقا بخشیده و تأثیرات نامطلوب تنش آبی از قبیل کاهش جذب CO<sub>2</sub> و بازدارندگی هدایت روزنه‌ای را کاهش می‌دهند (۱۲ و ۳۲). بنابراین عنوان می‌شود که هیدروژل‌ها از طریق افزایش رشد ریشه و مقابله با خشکی،

به صورت مجازی مانند یک مکانیسم تحمل به خشکی عمل نموده‌اند. به عبارت دیگر، مواد فراجاذب با ارتقا رشد ریشه، سطح جذب آب از خاک را برای گیاه افزایش داده‌اند ضمن اینکه، با افزایش ریشه‌ها، تعداد ریشه‌های موئین نیز بیشتر می‌گردند. به این ترتیب که هیدروژل از نفوذ سریع آب به اعماق خاک و خروج آن از دسترس گیاه جلوگیری نموده و نگهداشت آب برای مدت طولانی‌تر در ذرات ژل و در خاک اطراف ریشه سبب شده است که آب در بازه زمانی بیشتری در دسترس گیاه قرار بگیرد. این شرایط موجب افزایش رشد ریشه‌های گیاه شده و ریشه‌های موئین گسترده‌تر عمل نموده‌اند. یافته‌های اوریکریزا و همکاران نیز نشان داد که تغییر در کل بیومس گونه گیاهی رشد یافته در خاک‌های اصلاح شده با سوپر جاذب نشانه‌هایی از سازگاری فیزیولوژیکی به کمبود آب است (۳۲).

نسبت ریشه به اندام هوایی نیز در نتیجه کاربرد تیمار St-05-100 در خاک لومی، افزایش قابل توجهی داشت. با توجه به عدد حاصل از این تیمار برای صفت نسبت ریشه به اندام هوایی یعنی ۰/۱۴ (جدول ۵) می‌توان نتیجه گرفت که میزان افزایش وزن خشک ریشه گیاه در مقایسه با افزایش وزن خشک اندام هوایی آن بیشتر بوده است. افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی در طول مدت تنش خشکی، مکانیسمی برای مقابله با خشکی است (۱۴، ۲۱ و ۲۷). بنابراین، کاربرد هیدروژل به عنوان یک مکانیسم غیرمستقیم مقابله با خشکی تلقی می‌گردد، که از یک سو آب مورد نیاز برای گیاه را فراهم نموده و از سوی دیگر از طریق افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی سبب افزایش مقاومت گیاه به خشکی شده است.

با استفاده از تیمار Aq-10-100 در بافت شنی لومی و St-05-100 در خاک لومی، طول ریشه، محیط ریشه و حجم ریشه جو دو سر به طور معنی‌داری افزایش یافته است (جدول‌های ۴ و ۵ و شکل‌های ۱ و ۲). با توجه به تأثیر کل طول ریشه بر جذب آب و مواد غذایی استنتاج گردید که افزایش طول ریشه و به تبع آن افزایش محیط ریشه، منجر به

از سوی دیگر، تیمارهای معرفی شده نشان دادند که سطح مطلوب استفاده از سوپرجاذب بین دو بافت خاک متفاوت است. یعنی حداکثر سطح تعریف شده سوپرجاذب (۱۰ گرم) به همراه سطح متوسط آبیاری در بافت شنی لومی (Aq-10-100) و یا در مقابل، حداقل سطح تعریف شده سوپرجاذب (۵ گرم) همراه با سطح متوسط آبیاری در بافت لومی (St-05-100). با توجه به اینکه بافت لومی نسبت به بافت شنی لومی سنگین‌تر بوده و به تبع آن، نگهداشت آب در آن بیشتر اتفاق می‌افتد، مشاهده شد که سطح حداقل سوپرجاذب؛ نیاز آبی گیاهان رشدیافته در بستر لومی را تأمین نمود و نتیجه مناسب را برای تمامی صفات مورد مطالعه ایجاد کرد، اما بسترهای شنی لومی بهبودیافته با سوپرجاذب، به سطح ۱۰ گرم از این مواد پاسخ دادند و رشد قابل توجه جو دو سر را سبب شدند.

به‌علاوه، نتایج نشان داد که آکوازورب، در بافت شنی لومی و استاکوزورب در بافت لومی، بهترین کارایی را دارند. آنچه که از نتایج حاصل شد این بود که انتخاب نوع سوپرجاذب برای امور احیایی بستگی به بافت خاک دارد. بررسی‌های اوریگیزا و همکاران نشان داد که خاک‌ها عموماً در محتوای رطوبت، درجه حرارت و کانی‌شناسی با یکدیگر متفاوت هستند، بنابراین هر بافت خاکی به تکنولوژی متفاوتی برای حفاظت رطوبت نیاز دارد (۳۲).

### سپاسگزاری

بدین وسیله از راهنمایی‌های ارزنده جناب آقای دکتر جهانگیر عابدی کوپائی استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان در مدت انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

جذب بیشتر آب شده است (۳۲). به‌علاوه، ذرات هیدروژل به مثابه آب انبارهای مینیاتوری عمل کرده و در هنگام نیاز گیاه، آب را به راحتی در اختیار آن قرار می‌دهند به گونه‌ای که حضور ذرات ژل می‌تواند به تأمین آب مورد نیاز برای فتوسنتز در مواقعی که گیاه به آن احتیاج دارد؛ کمک نماید (۷). بنابراین، پلیمرها نقش برجسته‌ای در ارتقا کارایی مصرف آب در خاک‌های بهبود یافته با این مواد ایفا می‌نمایند. سایر مطالعات نیز نشان دادند که هیدروژل‌ها ظرفیت نگهداری آب خاک را افزایش می‌دهند (۲۴). عابدی کوپایی و همکاران دریافتند که اضافه کردن هیدروژل محتوای آب باقی مانده و محتوای آب اشباع شده را افزایش داد و منجر به افزایش ۳/۲ برابری در "آب در دسترس" در خاک‌های شنی لومی شد (۱۰).

افزایش حجم ریشه، ویژگی دیگر هیدروژل‌ها بود که در پژوهش حاضر مشاهده شد. در واقع ریشه‌های فرعی از طریق ایجاد شبکه ریشه‌ای فشرده، باعث افزایش حجم ریشه جو دو سر شده و دسترسی به آب را برای آن تسهیل نموده‌اند. آگابا و همکاران بیان نمودند که سوپرجاذب‌ها با تحریک توسعه شبکه ریشه‌ای فشرده و تجمع ریشه‌ها، تماس ریشه‌ها با رطوبت را افزایش داده و بنابراین کارایی مصرف آب را در خاک‌های بهبود یافته با این ژل‌ها ارتقا دادند (۱۱).

در مطالعه حاضر سه سطح آبیاری ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰٪ بر مبنای بارندگی مبنای اعمال شد. با توجه به تیمارهای مطلوب معرفی شده در هر بافت خاک برای جو دو سر، مشخص شد که سطح آبیاری ۱۰۰ درصد در مقایسه با حداکثر آبیاری یعنی ۱۵۰٪، نتایج مطلوب‌تری را سبب شده است. این امر بیانگر آن است که سوپرجاذب‌ها با فراهم نمودن آب کافی برای گیاهان، کارایی مصرف آب را ارتقاء داده تا جایی که نیازی به افزایش مقدار آب یعنی سطح آبیاری ۱۵۰٪ در این مطالعه، برای حصول بهترین نتایج نمی‌باشد.

## منابع مورد استفاده

۱. اداره کل هواشناسی استان اصفهان، ۲۰۱۰. آمار هواشناسی استان در سال های ۱۹۵۱-۲۰۱۰.
۲. پیرنجم‌الدین، ف.، م. م. مجیدی، م. قیصری و ز. رادان. ۱۳۹۴. گزینش برای تحمل به تنش خشکی براساس سیستم ریشه ای و آنزیم های آنتی اکسیدان در فسیکوی بلند. علوم گیاهان زراعی ایران ۴۶(۱): ۱۶۸-۱۵۷.
۳. جعفری، م.، ع. طویلی. م. شرفا و س. زارع. ۱۳۹۴. گزارش نهایی طرح مطالعاتی تأثیر برخی مواد فراجاذب و اصلاح کننده خاک بر ویژگی های خاک و پوشش گیاهی در مناطق بیابانی (مطالعه موردی: گناباد و سمنان). دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. ریاست جمهوری، صندوق حمایت از پژوهشگران جوان. تهران.
۴. زنگویی نسب، ش.، ح. امامی. ع. ر. آستارایی و ع. ر. یاری. ۱۳۹۱a. اثرات هیدروژل استاکوزورب و آبیاری بر رشد و استقرار نهال های تاغ. اولین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه. موسسه تحقیقات آب و خاک.
۵. زنگویی نسب، ش.، ح. امامی. ع. ر. آستارایی و ع. ر. یاری. ۱۳۹۱b. تاثیر مقادیر مختلف سوپر جاذب و دور آبیاری بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک و شاخص های رشدی گیاه آتریپلکس. مجله پژوهش آب در کشاورزی ۲۶(۲): ۲۱۱-۲۲۳.
۶. زنگویی نسب، ش.، ح. امامی. ع. ر. آستارایی و ع. ر. یاری. ۱۳۹۱c. اثرات هیدروژل استاکوزورب بر برخی خصوصیات هیدرولیکی خاک و رشد و استقرار نهال آتریپلکس. اولین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه. موسسه تحقیقات آب و خاک.
۷. سالار، ن. و م. فرح پور. ۱۳۸۴. بررسی اثر پلیمر آب دوست Terra Cotte بر دور آبیاری در کشت صیفی (خریزه). مجموعه مقالات سومین دوره تخصصی- آموزشی کاربرد کشاورزی و صنعتی هیدروژل های سوپر جاذب، تهران، ایران.
۸. عابدی کوپایی، ج. و م. مسفروش. ۱۳۸۸. ارزیابی کاربرد پلیمر سوپر جاذب بر عملکرد، کارایی مصرف آب و ذخیره عناصر غذایی در خیار گلخانه ای. مجله آبیاری و زهکشی ایران ۲(۳): ۱۱۱-۱۰۰.
۹. میر محمدی میبدی، ع. م. پ. گلکار و م. گل آبادی. ۱۳۹۴. پاسخ های گیاه به تنش خشکی: آثار و ساز و کارهای مقاومت. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، اصفهان.
10. Abedi-Koupai, J., F. Sohrab and G. Swarbrick. 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. J. Plant Nutr. 31: 317-331.
11. Agaba, H., L. J. B. Orikiriza, J. Obua, J. D. Kabasa, M. Worbes and A. Hüttermann. 2011. Hydrogel amendment to sandy soil reduces irrigation frequency and improves the biomass of *Agrostis stolonifera*. Agricultural Sciences 2(4): 544-550. Doi:10.4236/as.2011.24071.
12. Arbona, V., D. J. Iglesias, J. Jacas, E. Primo-Millo and M. Talon. 2005. Hydrogel substrate amendment alleviates drought effects on young citrus plants. Plant Soil 270:73-82. doi:10.1007/s11104-004-1160-0.
13. Barvenik, F. W. 1994. Polyacrylamide characteristics related to soil applications. Soil Sci 158(4): 235-243.
14. Bonos, S. A., D. Rush, K. Hignight and W. A. Meyer. 2004. Selection for deep root production in tall fescue and perennial ryegrass. Crop Sci. 44: 1770-1775.
15. Chirino, E., A. Vilagrosa and V. R. Vallejo. 2011. Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. Plant Soil 344 (1-2): 99-110.
16. Chloupek, O., M. Skacel and J. Ehrenbergerova. 1999. Effect of divergent selection for root size in field-grown alfalfa. Can J. Plant Sci. 79: 93-95.
17. Dorajji, S. S., A. Golchin and S. Ahmadi. 2010. The effects of hydrophilic polymer and soil salinity on corn growth in sandy and loamy soils. Clean-Soil, Air, Water 38: 584-591.
18. Ekanayake, I. J., J. C. O. Toole, D. P. Garrity and T. M. Massajo. 1985. Inheritance of root characteristics and their relation to drought tolerance in rice. Crop Sci. 25: 927-933.
19. Galkovskiy, T., Y. Mileyko, A. Bucksch, B. Moore, O. Symonova, C. A. Price, C. N. Topp, A. S. Iyer-Pascuzzi, P. R. Zurek, S. Fang, J. Harer, P. N. Benfey and J. S. Weitz. 2012. GiA Roots: software for the high throughput analysis of plant root system architecture. BMC plant biology 12(1): 116.
20. Grossnicle, S. C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. New Forest 30: 273-294.

21. Guo, G., S. H. Q. Liu, S. An, X. Ren and R. N. Lin. 2002. Effect of limited water supply on root growth and development of winter wheat and the characters of soil moisture use before planting. *J. Appl. Meteorol.* 13: 621–626.
22. Huang, B., R. R. Duncan and R. N. Carrow. 1997. Drought resistance mechanisms of seven warm season turfgrasses under surface soil drying II, shoot response. *Crop Sci.* 37: 1857-1863.
23. Huang, B. and G. Hongwen. 2000. Root physiological characteristics association with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop Sci.* 40: 196-203.
24. Huttermann, A., M. Zommodi and K. Reise. 1999. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. *Soil Till Res.* 50: 295–304.
25. Islam, M.R., C. Ren, Z. Zeng, P. Jia, E. Eneji and Y. Hu. 2011. Fertilizer use efficiency of drought-stressed oat (*Avena sativa* L.) following soil amendment with a water-saving superabsorbent polymer. *Acta Agric. Scand. B-S* P. 61(8): 721-729.
26. Jobin, P., J. Caron, P. Y. Bernier and B. Dansereau. 2004. Impact of two hydrophilic Acrylic-based polymers on the physical properties of three substrates and the growth of *Petunia*× *hybrida* Brilliant Pink. *JASHS.* 129(3): 449-457.
27. Karcher, D., M. Richardson and J. Landreth. 2007. Drought tolerance of tall fescue and bluegrass cultivars. *Ag Exp Stn Res Ser.* 557: 17-20.
28. Komarov, V. L. 1970. *Flora of the USSR*. English translated. II: 213.
29. Ludwig, J. A. and D. J. Tongway. 1996. Rehabilitation of semiarid landscapes in Australia. II. Restoring vegetation patches. *Restor. Ecol.* 4: 398–406.
30. McElgunn, J. D. and C. M. Harrison. 1969. Formation, elongation and longevity of barely root hairs. *Agron. J.* 61: 79-81.
31. Minnick, T. J. and R. D. Alward. 2012. Soil moisture enhancement techniques aid shrub transplant success in an arid shrubland restoration. *Rangeland Ecol Manage.* 65(3): 232-240. Published By Society for Range Management.
32. Orikiriza, J. L. B., H. Agaba, G. Eilu, J. D. Kabasa, M. Worbes and A. Hutterman. 2013. Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soils before and after water stress. *J of environmental protection.* 4: 713-721. doi.org/10.4236/jep.2013.47082. Published Online July 2013 (<http://www.scirp.org/journal/jep>) Pirnajmedin, F., M.M. Majidi and M. Gheysari. 2015. Root and physiological characteristics associated with drought tolerance in Iranian tall fescue. *Euphytica.* 202: 141–155. doi 10.1007/s10681-014-1239-5.
33. SAS. 2001. User's guide. Release 9.2 SAS Institute, Cary N. C. Nos SAS and SSSA, Madison. W 225–293.

## The Effects of Soil Ameliorating Hydrogels on Root System Characteristics of *Avena fatua* in Two Different Soil Textures

M. Rezashateri<sup>\*1</sup>, S. J. Khajeddin<sup>1</sup>, S. H. Matinkhah<sup>1</sup> and M. M. Majidi<sup>2</sup>

(Received: May 18-2016 ; Accepted: Sept. 11-2016)

### Abstract

This research investigated the effects of super absorbent polymers on root characteristics of *Avena fatua* under two soil textures and three irrigation regimes. The study was arranged according to a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications. Hydrogel compositions included three types of super absorbents (Aquasorb, Bolorab A and Stockosorb) with two levels of 5 and 10 g/kg of soil, plus a control level. The studied traits were shoot height, shoot dry weight, root dry weight, ratio of root/shoot, root length, root perimeter and root volume of *Avena fatua*. ANOVA showed that the effect of soil texture was significant ( $p < 0.01$ ) for all studied traits. Mean comparison stated that 10g/kg of Aquasorb with 100% irrigation in sandy loam texture and 5g/kg of Stockosorb with 100% irrigation in loamy texture had the most significant and best results, compared with the control treatments. The results revealed that production of dense root network and root aggregation stimulated by super absorbent polymers, increased root contacts with moisture and led to significant increment in root traits like length, perimeter and volume by preparing water. In addition, selecting the type and concentration of super absorbent polymers depends on soil texture, considering the difference between the best results in two soil textures.

**Keywords:** *Avena fatua*, Root characteristics, Super absorbent polymers, Aquasorb, Stockosorb.

---

1. Dept. of Range and Watershed Manage., Faculty of Natural Resour., Isf. Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

2. Dept. of Agronomy and Plant Breeding, College of Agric., Isfahan Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: m.rezashateri@na.iut.ac.ir