

## پاسخ ذرت به دامنه رطوبتی با کمترین محدودیت (LLWR) در دو سطح تراکمی در یک خاک لوم رسی

محمد رضا نیشابوری<sup>۱</sup>، داود زارع حقی<sup>۲</sup>، نصرت اله نجفی<sup>۳</sup>، سولماز یزدانی<sup>۴</sup>، محمد ابراهیم صادق زاده ریحان<sup>۵\*</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۶/۲۹

<sup>۱</sup>، <sup>۲</sup> و <sup>۳</sup> به ترتیب استاد، استادیار و دانشیار، گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز

<sup>۴</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی علوم خاک، دانشگاه تبریز

<sup>۵</sup> کارشناس ارشد، محقق، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mebsadeghzadeh@yahoo.com

### چکیده

آب، اکسیژن، دما و مقاومت مکانیکی در خاک فاکتورهای فیزیکی هستند که می‌توانند مستقیماً بر رشد گیاه مؤثر باشند. با دمای مساعد، در دامنه رطوبتی با کمترین محدودیت (LLWR) نه تنها آب کافی برای گیاه فراهم است دو عامل دیگر نیز برای فعالیت ریشه محدودکننده نیست. به منظور تعیین LLWR برای گیاه ذرت (*Zea mays L.*) رقم سینگل کراس ۷۰۴، آزمایش گلخانه‌ای در یک خاک لوم رسی انجام شد. خاک سطحی پس از عبور از الک ۴/۷۶ میلی‌متری داخل استوانه‌های پی‌وی‌سی به قطر ۱۵/۲ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر به تدریج ریخته شد و آن قدر متراکم گردید تا چگالی ظاهری آن‌ها به ۱/۲۵ و ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب برسد. با سه سطح رطوبتی (محدوده LLWR، کمتر از حد پایینی و بیشتر از حد بالایی آن)، دو سطح تراکم خاک و سه تکرار مجموعاً ۱۸ ستون خاک آماده گردید. سه بذر ذرت سینگل کراس ۷۰۴ در هر ستون کشت گردید. پس از سبز کردن و کاهش تعداد بوته به یک عدد تیمارهای رطوبتی از مرحله ۵ برگی به بعد اعمال گردید. صفات گیاهی شامل ارتفاع گیاه، مساحت برگ، مقدار نسبی آب و هدایت روزنه‌ای برگ اندازه‌گیری شد. اختلاف در این صفات بین تمام تیمارهای رطوبتی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. افزایش چگالی ظاهری، LLWR را از ۱۸ درصد حجمی در سطح تراکمی ۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، به ۶ درصد حجمی در سطح تراکمی ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب کاهش داد. مقایسه میانگین صفات گیاهی نشان داد که در هر دو سطح تراکمی بیشترین مقدار این صفات در دامنه رطوبتی تعریف شده با LLWR حاصل گردید. بنابراین حدود رطوبتی بحرانی مربوط به تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد، نقطه پژمردگی دائم و با مقاومت مکانیکی ۲ مگاپاسکال تعریف شده در LLWR بر مبنای شاخص‌های رشد برای ذرت در این خاک مورد تأیید قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: تهویه، دامنه رطوبتی با کمترین محدودیت، چگالی ظاهری، مقاومت مکانیکی، مقدار آب نسبی، هدایت روزنه‌ای

## Corn Response to Least Limiting Water Range (LLWR) at Two Compaction Levels in a Clay Loam Soil

MR Neyshabouri<sup>1</sup>, D Zarehaghghi<sup>2</sup>, N Najafi<sup>3</sup>, S Yazdani<sup>4</sup>, ME Sadeghzadehreihan<sup>5\*</sup>

Received: 4 September 2014 Accepted: 20 September 2014

<sup>1,2,3</sup> Respectively, Prof., Assist. and Assoc. Prof., Dept. of Soil Sci, Univ. of Tabriz, Iran

<sup>4</sup> M.Sc Graduated, Dept. of Soil Sci, Univ. of Tabriz, Iran

<sup>5</sup> Senior expert, Research Center For Agriculture and Natural Resources of East Azerbaijan, Iran

\*. Corresponding Author, Email: mebsadeghzadeh@yahoo.com

### Abstract

Water, oxygen, temperature, and mechanical resistance are the soil physical factors that can directly influence plant growth. Under favorable temperature not only sufficient water is available for the plant at the last limiting water range (LLWR), but also the other two factors are not limiting for the root activity. In order to study the corn single cross (*Zea mays L.*) response to the soil water content with reference to LLWR, a greenhouse experiment was conducted. Topsoil with clay loam texture was passed through 4.76-mm sieve, and transferred into PVC cylinders (diameter 15.2 cm and height 50 cm). The soil columns were compacted to achieve two levels of bulk densities (1.25 and 1.6 g cm<sup>-3</sup>). With three soil moisture levels (the LLWR range, less than its lower limit and greater than its upper limit), two compactions and three replications, 18 soil columns were prepared. Three corn seeds were planted in each column. After seedling emergence and thinning them to one plant per PVC pot, soil water treatments were applied at 5-leaves growth stage. Plant traits including plant height, leaf area, leaf relative water content and stomatal conductance were measured. The difference in these traits between the three soil water levels were significant ( $p < 0.01$ ). Increase in bulk density decreased LLWR (v/v) from 18% at 1.25 g cm<sup>-3</sup> to 6% at 1.6 g cm<sup>-3</sup>. Mean values comparisons of the plant traits at both bulk densities showed that the soil water range defined by LLWR led to the highest values of the traits. Therefore, the thresholds values corresponding to air-filled porosity of 10%, permanent wilting point of 1.5 MPa suction and mechanical resistance of 2 MPa (as defined in the LLWR concept) were verified for the corn growth in the examined soil.

**Keywords:** Aeration, Bulk density, Leaf stomatal conductance, Least limiting water range, Mechanical resistance, Relative water content

### مقدمه

باشند. در دمای مساعد خاک، رشد و گسترش ریشه و گیاه نتیجه اثر متقابل سه عامل دیگر است. ساختمان و

آب، اکسیژن، دما و مقاومت مکانیکی فاکتورهای فیزیکی هستند که می‌توانند مستقیماً بر رشد گیاه مؤثر

درصد و مقدار آب خاک در مقاومت فروروی ۲ مگا- پاسکال به دست می‌آیند. تفاضل بین دو حد رطوبتی بالا و پایین،  $LLWR$  است. حد بالایی آن رطوبت گنجایش مزرع‌ای ( $\theta_{fc}$ ) یا رطوبت در تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد ( $\theta_{aff}$ )، هر کدام که کمتر باشد و حد پایینی آن رطوبت در نقطه پژمردگی دائم ( $\theta_{pwp}$ ) یا رطوبت در مقاومت فروروی ۲ مگا پاسکال ( $\theta_{sr}$ )، هر کدام که بیشتر باشد، است.

رشد اندام هوایی می‌تواند هم‌زمان با مقدار آب خاک و بدون هیچ‌گونه آسیبی به گیاه، اندازه‌گیری شود و پارامتر مناسبی جهت ارزیابی اولیه رابطه بین واکنش گیاه و  $LLWR$  باشد. حساسیت رشد اندام هوایی به‌ویژه گسترش سطح برگ در برابر وضعیت آبی خاک به‌خوبی ثابت‌شده است (داسیلوا و کی ۱۹۹۶). بدیهی است که شاداب ماندن گیاه و رشد مستمر آن به‌طور زیادی وابسته به‌میزان فراهمی آب است (استیلر ۲۰۰۹). در صورت عدم فراهمی مناسب آب برای گیاه، رشد و عملکرد آن به‌شدت کاهش می‌یابد. سیگل-ایسم و همکاران (۲۰۰۵) مشاهده کردند که  $LLWR$  مناسب‌ترین دامنه رطوبت در خاک لوم شنی در شرایط گلخانه‌ای برای رشد نهال‌های یک نوع کاج<sup>۳</sup> نبود. عسگرزاده و همکاران (۲۰۱۰) سه روش  $PAW^4$ ،  $LLWR$  و گنجایش آب انتگرالی ( $IWC^5$ ) را در ۱۲ نوع خاک بدون حضور گیاه مورد مقایسه قرار دادند و دریافتند که ارتباط بین  $IWC$  با  $LLWR$  قوی‌تر از ارتباط بین  $IWC$  با  $PAW$  هست. زارع حقی و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که  $LLWR$  برآورد شده به‌روش داسیلوا و همکاران (۱۹۹۴) دامنه واقعی آب قابل‌استفاده برای نهال پسته نیست. چهار حد رطوبتی ( $\theta_{fc}$ ،  $\theta_{aff}$ ،  $\theta_{pwp}$  و  $\theta_{sr}$ ) که توسط داسیلوا و همکاران (۱۹۹۴) جهت محاسبه  $LLWR$  تعریف‌شده‌اند ممکن است برای تمام گیاهان صادق نباشند زیرا این محدوده رطوبتی برای هر خاکی با چگالی ظاهری معین،

رطوبت خاک عوامل تعیین‌کننده میزان فراهمی اکسیژن و آب، و همچنین مقاومت مکانیکی هستند. این عوامل تحت تأثیر عملیات مدیریت زراعی و خاک می‌باشند (داسیلوا و همکاران ۱۹۹۴). اگرچه استفاده از رطوبت گنجایش مزرع‌ای و نقطه پژمردگی دائم و آب قابل‌دسترس ( $AW$ ) برای برنامه‌ریزی آبیاری لازم است ولی کافی نیست. لتی (۱۹۸۵) با توجه به محدودیت تهویه خاک در رطوبت‌های زیاد (بین گنجایش مزرع‌ای و رطوبت اشباع) از یک‌طرف، و محدودیت مقاومت مکانیکی خاک در برابر گسترش ریشه در رطوبت‌های کم از طرف دیگر، دامنه رطوبتی را که در آن جذب آب مشکلی برای رشد گیاه به‌وجود نمی‌آورد پیشنهاد نمود. وی این دامنه رطوبتی را دامنه رطوبتی بدون محدودیت<sup>۱</sup> ( $NLWR$ ) نامید. این دامنه توسط تهویه یا مقاومت مکانیکی خاک به‌ویژه در خاک‌های با ساختمان ضعیف و چگالی ظاهری زیاد در مقایسه با  $AW$  می‌تواند محدودتر شود. کاهش تهویه در رطوبت‌های زیاد و نداشتن دسترسی به آب کافی و یا افزایش مقاومت خاک در برابر رسوخ ریشه در رطوبت‌های کم، محدوده  $NLWR$  را در مقایسه با  $AW$  باریک‌تر می‌کند (لتی ۱۹۸۵). برای توسعه و کاربرد مفهوم  $NLWR$ ، برای اولین بار داسیلوا و همکاران (۱۹۹۴) آزمایش‌های مزرع‌ای انجام دادند. آنان به‌دلیل اینکه دیگر عوامل محیطی (غیر از تهویه، رطوبت و مقاومت مکانیکی) حتی در محدوده  $NLWR$  ممکن است بازدارندگی‌هایی ولو کم برای رشد گیاه داشته باشند، ترجیح دادند که از واژه دامنه رطوبتی با کمترین محدودیت<sup>۲</sup> ( $LLWR$ ) استفاده نمایند. مطابق پیشنهاد داسیلوا و همکاران (۱۹۹۴) برای یک خاک با مشخصات معین، منحنی مشخصه رطوبتی و منحنی مشخصه مقاومت مکانیکی تعیین و از روی آن دو، مقادیر رطوبت در مکش‌های ماتریک ۰/۱ و ۱/۵ مگاپاسکال، مقدار آب خاک در تخلخل تهویه‌ای ۱۰

3- Loblolly pines

4 - Plant available water

5 - Integral water capacity

1-Non-limiting water range

2 - Least limiting water range

گلخانه قرار داده شدند. در هر ستون ۳ عدد بذر ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) در عمق ۴ سانتی‌متری خاک کاشته شد. خاک همه ستون‌ها تا سبز شدن و استقرار گیاه در حدود گنجایش مزرعه‌ای با مکش ۳۰ کیلو پاسکال نگه‌داشته شد. پس از سبز شدن و استقرار بوته‌ها، یکی از گیاهچه‌ها حفظ و بقیه حذف گردیدند. اعمال تیمارهای رطوبتی از مرحله ۵ برگی به شرح زیر شروع گردید:

#### اعمال سطوح رطوبت در استوانه‌های خاک

سه سطح رطوبت خاک اعمال‌شده عبارت بودند از: ۱- رطوبت کمتر از حد پایینی LLWR تا میزان رطوبتی که تحمل تنش برای گیاه امکان‌پذیر باشد؛ این سطح، تیمار تنش کمبود آب نامیده شد. ۲- نگهداری رطوبت خاک ستون‌ها در محدوده LLWR (تیمار شاهد) و ۳- نگهداری رطوبت درستون‌های خاک در محدوده بین حد بالایی LLWR،  $(\theta_{II})$  تا  $\theta_{II}/2$  (تیمار تنش کمبود اکسیژن). تیمارهای رطوبتی به مدت ۸ هفته اعمال گردید. جهت کنترل رطوبت خاک ستون‌ها یک جفت میله موج برآ TDR مدل تریم به طول ۴۰ سانتی‌متر در داخل هر ستون قرار گرفتند. این میله‌ها تا پایان آزمایش در درون خاک باقی ماندند و هر دو روز یک‌بار میانگین رطوبت حجمی در طول ستون‌ها قرائت گردید. هر موقع که درصد رطوبت حجمی ستون‌ها در دو تیمار شاهد و تنش اکسیژن به حد پایین دامنه‌های رطوبتی مدنظر رسید آب به ستون‌ها اضافه شد تا رطوبت خاک در لایه ۴۰ سانتی‌متری به رطوبت حد بالایی رطوبت تعیین‌شده  $(\theta_{II})$  در تیمار شاهد و  $\theta_{II}/2$  در تیمار کمبود اکسیژن برسد. در تیمار تنش کمبود آب نیز با مشاهده نشانه‌های ظاهری تنش در گیاه، میزان رطوبت موجود قرائت و با افزودن آب لازم رطوبت آن به حد پایینی LLWR رسانده شد.

حجم آب مورد نیاز از رابطه ۱ محاسبه گردید:

برای تمام گیاهان، مقدار ثابتی خواهد داشت. این در حالی است که گیاهان مختلف نیازهای رطوبتی و تهویه-ای متفاوتی دارند. بنابراین، تعیین دامنه رطوبتی که گیاه در آن دچار محدودیت رویشی نگردد اصولاً بر پایه شاخص‌های گیاهی باید تعیین یا پیش‌بینی شود، یا به آن‌ها نیز توجه شود. عدم توجه به نوع گیاه و نیازهای مختص به آن از مهم‌ترین ضعف LLWR است.

روش‌های تعیین زمان آبیاری نیز که اخیراً ایجاد شده‌اند بر اساس تشخیص پاسخ گیاهی به کمبود آب هستند (ارتن و همکاران ۲۰۰۶، رمورینی و ماسای ۲۰۰۳). آگاهی از وضعیت آبی گیاه از طریق شاخص‌های فیزیولوژیکی به دلیل ماهیت دینامیکی و رابطه مستقیمی که با شرایط اقلیمی و خاک دارند حاصل می‌گردد. تئولیت و همکاران (۱۹۹۷) پارامتر مقدار نسبی آب برگ  $(RWC)$  را شاخص بسیار خوب از وضعیت آبی گیاه معرفی نمودند. هدف از این پژوهش یافتن پاسخ به این سؤال است که آیا مناسب‌ترین دامنه رطوبتی برای رشد گیاه ذرت در یک خاک لوم رسی همان دامنه رطوبتی محاسبه‌شده در قالب LLWR است؟

#### مواد و روش‌ها

برای بررسی پاسخ گیاه ذرت در دامنه رطوبتی LLWR، و در رطوبت کمتر از حد پایینی و بیش‌تر از حد بالایی آن در دو سطح تراکم خاک، آزمایش گلخانه‌ای زیر انجام شد. خاک سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) به حالت هوا خشک به مقدار کافی جمع‌آوری و پس از عبور از الک ۴/۷۶ میلی‌متری داخل استوانه‌های پی‌وی‌سی به قطر ۱۵/۲ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر به تدریج ریخته شد و آن‌قدر متراکم گردید تا چگالی ظاهری آن‌ها به ۱/۲۵ و ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب برسد. با توجه به سه سطح رطوبتی، دو سطح تراکمی و سه تکرار، ۱۸ ستون خاک آماده گردید. استوانه‌ها به صورت کاملاً تصادفی روی یک شاسی در

رطوبت ذکرشده و روابط ارائه شده توسط داسیلوا و همکاران (۱۹۹۴) محاسبه گردید.

همزمان با این اندازه گیری ها، بافت خاک به روش هیدرومتر چهار قرائتی (گی و ار ۲۰۰۲)، کربن آلی به روش اکسایش تر (نلسون و سامر ۱۹۹۶)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع با هدایت سنج الکتریکی و  $pH$  خاک در عصاره اشباع توسط دستگاه  $pH$  متر اندازه گیری شدند.

#### اندازه گیری خصوصیات گیاهی

هدایت روزنه ای برگ بالغ سوم، هر سه روز یکبار بین ساعت ۱۱ الی ۱۲ در طول مدت اعمال تیمارهای رطوبتی توسط دستگاه پرومتر انتشاری<sup>۱</sup> اندازه گیری گردید. با پایان یافتن مرحله اعمال تیمارهای رطوبتی (خروج ریشه های گیاه از پایین ستون ها)، ارتفاع گیاه اندازه گیری و نمونه های برگ جهت تعیین مقدار نسبی آب ( $RWC$ ) تهیه شده و مقدار آن بر اساس رابطه ۲ (ودرلی ۱۹۷۰) محاسبه گردید:

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100 \quad [2]$$

$FW$  وزن تازه،  $DW$  وزن خشک و  $TW$  وزن آماس می باشد.

مساحت برگ های هر گیاه بعد از جدا شدن از گیاه، توسط دستگاه اندازه گیری مساحت برگ ها<sup>۲</sup> تعیین گردید.

تجزیه واریانس داده ها در قالب طرح کامل تصادفی برای هر سطح تراکم خاک انجام گردید. مقایسه بین میانگین ها از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد برای هر سطح تراکم خاک به صورت جداگانه صورت پذیرفت. برای انجام تجزیه آماری از نرم افزار  $SPSS$  استفاده شد.

$$V = a D (\theta_{V2} - \theta_{V1}) \quad [1]$$

$V$  حجم آب مورد نیاز بر حسب سانتی متر مکعب  
 $a$  سطح مقطع ستون های خاک که برابر  $182/3$  سانتی متر مربع بود.  
 $D$  عمق خاک در ستون های خاک که برابر  $40$  سانتی متر بود.

$\theta_{V2}$  حد بالای دامنه رطوبتی برای هر تیمار ( $cm^3 cm^{-3}$ ) و  
 $\theta_{V1}$  رطوبت حجمی قرائت شده با  $TDR$  ( $cm^3 cm^{-3}$ )

#### تعیین $LLWR$ به روش داسیلوا و همکاران (۱۹۹۴)

رطوبت گنجایش مزرعه ای ( $\theta_{fc}$ ) و نقطه پژمردگی دایم ( $\theta_{pwp}$ ) به ترتیب در  $0.1$  و  $1/5$  مگاپاسکال توسط محفظه فشاری و رطوبت در مقاومت فروری ۲ مگاپاسکال ( $\theta_{sr}$ ) از مدل رگرسیونی بوسچر (۱۹۹۰) مقاومت فروری خاک در نمونه های خاک دست نخورده در رطوبت های معادل مکش های  $30$ ،  $100$ ،  $500$  و  $1500$  کیلو پاسکال اندازه گیری شد. در رطوبت های معادل  $30$  و  $100$  کیلو پاسکال پس از به تعادل رسیدن و توزین، بلافاصله مقاومت فروری در نمونه های دست نخورده (در استوانه هایی به قطر  $6$  و ارتفاع  $40$  سانتی متر) اندازه گیری شد. ایجاد رطوبت معادل  $500$  و  $1500$  از طریق تبخیر کنترل شده از نمونه های مذکور در فضای آزمایشگاه صورت گرفت. مقاومت فروری خاک با استفاده از دستگاه ریز-فروسنج مخروطی دیجیتالی با زاویه مخروط  $30$  درجه، قطر قاعده مخروط برابر  $6$  میلی متر و با سرعت فروری دو میلی متر در دقیقه و با فواصل یک میلی متر در مرکز استوانه (در عمق  $1$  تا  $3$  سانتی متری استوانه) اندازه گیری شد (داسیلوا و همکاران ۱۹۹۴). رطوبت در تخلخل تهویه ای  $10$  درصد ( $\theta_{app}$ ) از رابطه  $1 - \theta_s = \theta_{app}$  برای هر سطح تراکمی محاسبه گردید. مقدار  $LLWR$  برای هر سطح تراکمی از روی چهار

1 - AP4 Porometer Delta-T Devices, Cambridge UK

2 - Leaf area meter

## نتایج و بحث

حجمی تنزل یافت. بتز و همکاران (۱۹۹۸) نیز گزارش کردند که با افزایش تراکم خاک، دامنه رطوبتی با کمترین محدودیت کاهش می‌یابد. هم‌چنین زو و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که تراکم خاک،  $\theta_{fc}$ ،  $\theta_{pwp}$  و  $\theta_{sr}$  را افزایش  $\theta_{afp}$  را کاهش می‌دهد.

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس تأثیر سه تیمار رطوبتی برای سطوح تراکمی ۱/۲۵ و ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب، را نشان می‌دهند. تأثیر تیمارهای رطوبتی بر تمامی خصوصیات گیاهی اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود.

بر اساس جدول ۱ در سطح تراکم ۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، حدود بالایی و پایینی LLWR، به ترتیب  $\theta_{pwp}$  و  $\theta_{fc}$  است. به عبارتی در این سطح تراکمی مقدار دامنه رطوبتی با کمترین محدودیت برابر با مقدار آب قابل‌دسترس (AW) بود و از تفاضل بین  $\theta_{pwp}$  و  $\theta_{fc}$  محاسبه گردید. در سطح تراکمی ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب، حدود بالایی و پایینی، به ترتیب برابر با  $\theta_{afp}$  و  $\theta_{sr}$  بوده و LLWR تفاضل بین  $\theta_{afp}$  و  $\theta_{sr}$  است. با افزایش چگالی ظاهری از مقدار دامنه رطوبتی با کمترین محدودیت از ۱۸ درصد حجمی به ۶ درصد

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی\* و محدوده‌های رطوبتی در دو سطح تراکم خاک.

چگالی ظاهری ( $g\ cm^{-3}$ )		محدوده‌های رطوبت حجمی
۱/۶	۱/۲۵	
%۲۹	%۴۱	$\theta_{afp}$
%۳۶/۵	%۳۵	$\theta_{fc}$
%۱۷/۵	%۱۷	$\theta_{pwp}$
%۲۳	%۱۵	$\theta_{sr}$
%۶	%۱۸	LLWR

\* شن، سیلت، رس به ترتیب ۲۲/۵، ۳۹/۳۸/۵ (بافت لوم رسی) و کربن آلی ۱/۰۱ درصد  
 $pH_e$ ،  $EC_e$  در عصاره کل اشباع به ترتیب  $2/3\ dS\ m^{-1}$  و  $7/2$ .

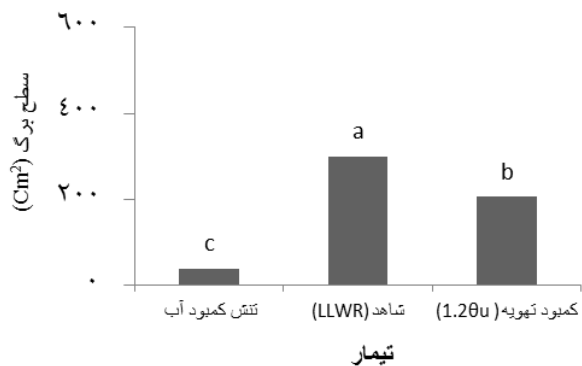
جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر سطوح رطوبتی خاک بر خصوصیات گیاهی در دو سطح تراکم خاک.

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر	تراکم خاک (چگالی ظاهری)
ارتفاع گیاه	مساحت برگ‌ها	مقدار نسبی آب	هدایت روزنه‌ای			
۱۴۰/۰۸**	۶۷۶۵۳/۰۸**	۷۷/۵۲**	۲۲/۰۱**	۲	تیمار رطوبتی	۱/۲۵ ( $g\ cm^{-3}$ )
۳/۱۰	۴۸۹/۱۹	۱/۰۶	۱/۱۶	۱۵	خطای آزمایش	
۹۸۵/۸۹**	۴۲۷۰۹۸/۳۵**	۱۸۳۳/۰۶**	۳۲۵/۲۰**	۲	تیمار رطوبتی	۱/۶ ( $g\ cm^{-3}$ )
۹/۷۱	۲۱۱۲/۶۳	۹۷/۵۴	۲۹/۶۷	۱۵	خطای آزمایش	

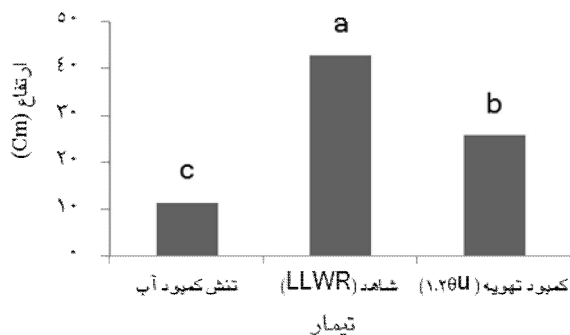
\*\* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

نشان می‌دهند. در هر دو سطح تراکمی تیمار شاهد (LLWR) بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده و پس‌از آن تیمار کمبود اکسیژن ( $\theta_u$ ) و تیمار تنش رطوبتی قرار گرفتند.

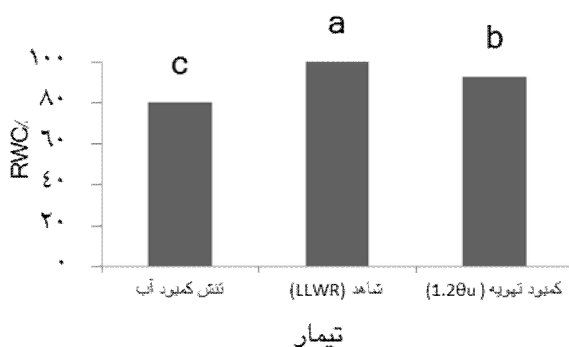
شکل‌های ۱ الی ۸ به ترتیب مقایسه میانگین خصوصیات گیاهی اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع گیاه، مساحت، مقدار نسبی آب و هدایت روزنه‌ای برگ، در دو سطح تراکمی ۱/۲۵ و ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب را



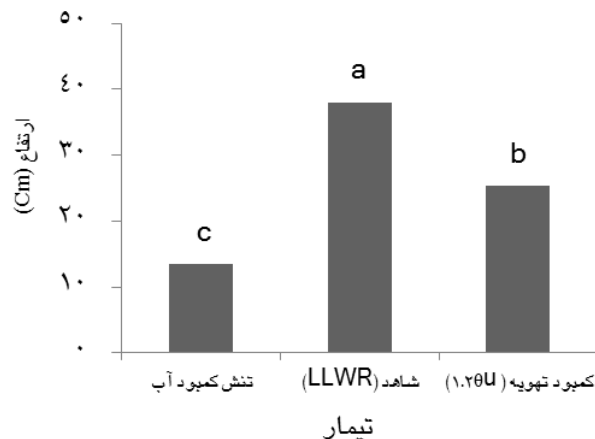
شکل ۴- مقایسه میانگین‌های سطح برگ در تیمارهای رطوبتی، در سطح تراکم ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب.



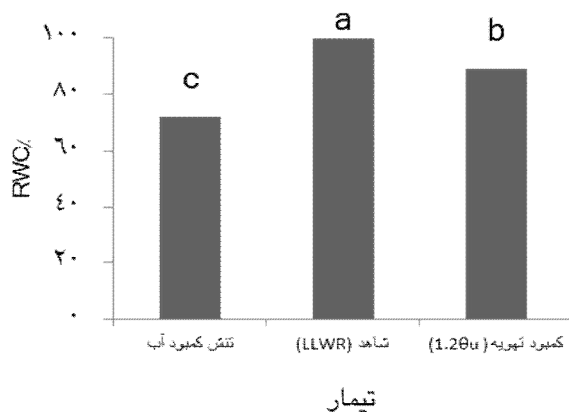
شکل ۱- مقایسه میانگین‌های ارتفاع گیاه در تیمارهای رطوبتی، در سطح تراکم ۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب.



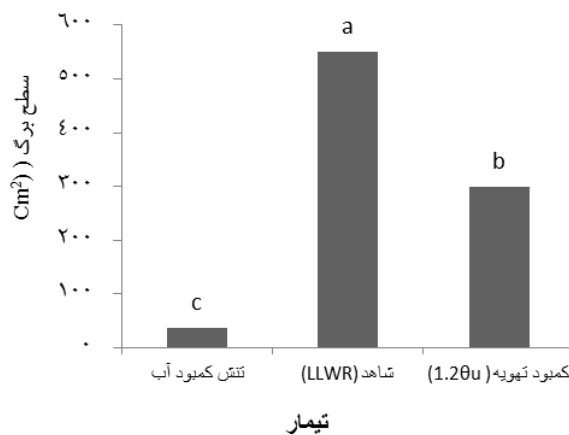
شکل ۵- مقایسه میانگین‌های مقدار نسبی آب برگ در تیمارهای رطوبتی، در سطح تراکم ۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب.



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های ارتفاع گیاه در تیمارهای رطوبتی، در سطح تراکم ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب.



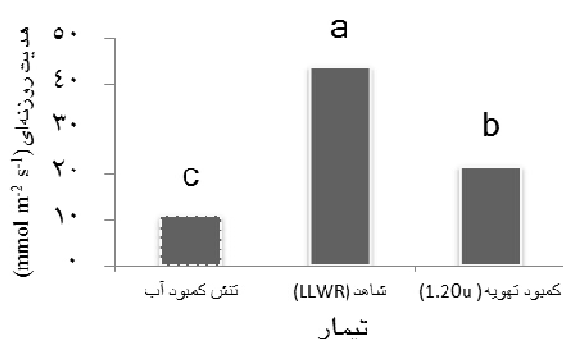
شکل ۶- مقایسه میانگین‌های مقدار نسبی آب برگ در تیمارهای رطوبتی، در سطح تراکم ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب.



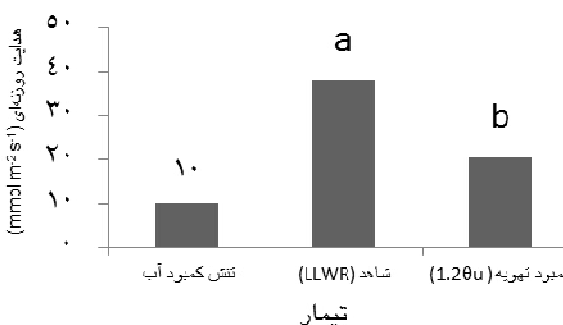
شکل ۳- مقایسه میانگین‌های سطح برگ در تیمارهای رطوبتی، در سطح تراکم ۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب.

توتجا (۲۰۰۵). تنش رطوبتی، باعث القای پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی مختلف در گیاهان شده و به آن‌ها کمک می‌کند تا خود را با شرایط محدودیت سازگار نمایند (آرورا و همکاران ۲۰۰۲). کمبود رطوبت باعث افزایش  $pH$  شیره سلولی شده و تولید بیش-تر  $ABA$  در ریشه و انتقال آن به اندام هوایی را به دنبال دارد.  $ABA$  باعث تحریک خروج یون‌های  $K^+$  از سلول‌های محافظ روزه شده و به دنبال آن کاهش فشار تورمی این سلول‌ها و کاهش هدایت روزه‌ای اتفاق می‌افتد (ویلیکینسون و داویس ۲۰۰۲). مقدار نسبی آب برگ در آشکارسازی تنش‌های رطوبتی در گیاهان مفید هست (جونز ۱۹۹۲). کاهش مقدار نسبی آب برگ تحت شرایط کمبود رطوبت موجب کاهش هدایت روزه‌ای و جذب  $CO_2$  و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌گردد (لاولر ۲۰۰۲). در تیمار تنش رطوبتی میزان جذب آب توسط گیاه به پایین‌تر از میزان موردنیاز جهت تعرق پتانسیل رسید و در نتیجه هدایت روزه‌ای کاهش یافت. یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده سرعت رشد گیاه، توانایی ریشه‌ها در گسترش مستمر در خاک برای دسترسی به عناصر غذایی و آب است. در سطح تراکمی ۱/۲۵ و ۱/۶ گرم بر سانتی-متر مکعب مقاومت فروری خاک به ترتیب در رطوبت‌های ۱۵ و ۲۳ درصد به ۲ مگا پاسکال رسید (جدول ۱) و منجر به افزایش مقاومت فروری خاک و کاهش نفوذ و رشد ریشه و دسترسی آن به عمق‌های پایین‌تر در ستون خاک گردید ولی رشد ریشه متوقف نشد که این با یافته‌های داسیلوا و همکاران (۲۰۰۴) مبنی بر کاهش، ولی عدم توقف رشد ریشه ذرت در زیر مقاومت فروری ۲ مگا پاسکال مطابقت دارد.

رطوبت‌های ۴۲ و ۳۵ درصد حجمی (تیمار  $1/2\theta_u$ )، به ترتیب در دو سطوح تراکمی ۱/۲۵ و ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب باعث کاهش معنی‌دار در پارامترهای گیاهی اندازه‌گیری شده گردید. کاهش میزان مساحت برگ‌ها، هدایت روزه‌ای، مقدار نسبی آب برگ و ارتفاع گیاه در سطح رطوبتی بیشتر از حد بالایی  $LLWR$  (تیمار



شکل ۷- مقایسه میانگین‌های هدایت روزه‌ای در تیمارهای رطوبتی، در سطح تراکم ۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب.



شکل ۸- مقایسه میانگین‌های هدایت روزه‌ای در تیمارهای رطوبتی، در سطح تراکم ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب.

بر اساس  $LLWR$  تعیین شده به روش داسیلوا و همکاران (۱۹۹۴) همان‌گونه که انتظار می‌رفت در سطوح تراکم ۱/۲۵ و ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب در تیمار تنش رطوبتی کاهش رطوبت خاک به ترتیب به زیر ۱۷ و ۲۳ درصد حجمی یعنی رطوبت‌های پایین‌تر از نقطه پژمردگی دائم در سطح تراکمی اول، و رطوبت در مقاومت مکانیکی ۲ مگا پاسکال در سطح تراکمی دوم، باعث کاهش معنی‌دار مساحت برگ‌ها، هدایت روزه‌ای، مقدار نسبی آب برگ و ارتفاع گیاه شد. کاهش سطح برگ را می‌توان به عنوان اولین اقدام دفاعی گیاه در برابر کمبود رطوبت در نظر گرفت. کاهش سطح برگ می‌تواند به دلیل کاهش آماس سلولی (ناگل و همکاران ۱۹۹۴، سرپ و ماتوز ۲۰۰۰)، به تأخیر افتادن ایجاد برگ‌های جدید (بلاگو و همکاران ۱۹۹۶) و افزایش پیری برگ (پیک و همکاران ۲۰۰۲) باشد. بستن روزه‌ها جهت کاهش اتلاف آبی از طریق تعرق دومین پاسخ گیاهان به کمبود آب هست (ماهاجان و



است. در تیمار تنش رطوبتی گیاه در وضعیت نامناسب رویشی قرار داشته و با به کمینه رساندن فعالیت رویشی توانست به حیات خود ادامه دهد.

#### سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری و مساعدت مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی تشکر و قدردانی می‌شود.

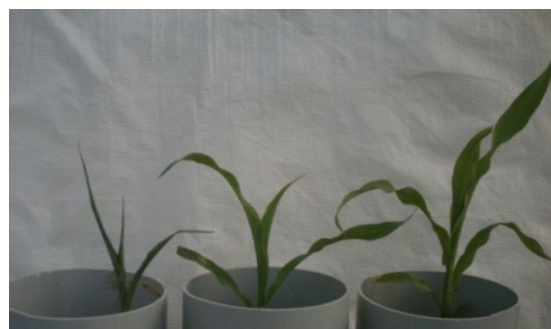


تنش کمبود رطوبتی

 $1.2 \theta_u$ 

LLWR

شکل ۹- تأثیر سطوح رطوبتی مختلف بر رشد بوته‌های ذرت در خاک با چگالی ظاهری ۱/۲۵ گرم بر سانتی مترمکعب.



تنش کمبود رطوبتی

 $1.2 \theta_u$ 

LLWR

شکل ۱۰- تأثیر سطوح رطوبتی مختلف بر رشد بوته‌های ذرت در خاک با چگالی ظاهری ۱/۶ گرم بر سانتی متر مکعب.

در هر دو سطح تراکمی به دلیل کمبود تهویه (کمبود اکسیژن) است. کمبود اکسیژن بیوسنتز اتیلن در ریشه‌ها را افزایش داده و هم‌چنین پیام هورمونی اسیدآبسیک (ABA) به ساقه‌ها می‌فرستد که گیاهان به این هورمون‌ها با پیچیدگی پهنک برگ به طرف پایین، ممانعت از رشد ریشه و ساقه، ریزش برگ، و کاهش هدایت روزنه‌ای پاسخ می‌دهند (گیچکو و گلیک ۲۰۰۱، هی و همکاران ۱۹۹۶).

در تیمار رطوبتی LLWR پارامترهای گیاهی اندازه‌گیری شده بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص دادند. در این تیمار رطوبتی رشد گیاه در ارتباط با تهویه، مقاومت مکانیکی و استفاده از آب خاک، با کم‌ترین محدودیت مواجه شد که این با یافته‌های داسیلوا و همکاران (۱۹۹۴) مطابقت داشت. پس نتیجه این که دامنه رطوبتی با کمترین محدودیت (LLWR) برای رشد ذرت در خاک لوم رسی مناسب است.

نتایج پژوهش با یافته‌های سیگل-ایسم و همکاران (۲۰۰۵) و زارع حقی و همکاران (۱۳۹۲) مبنی بر مناسب نبودن محدوده LLWR برای رشد نهال‌های کاج و پسته مطابقت ندارد. این تفاوت می‌تواند احتمالاً به دلیل متفاوت بودن نوع گیاه و بافت خاک مورد بررسی در این پژوهش با پژوهش‌های مذکور باشد. در هر دو پژوهش صورت گرفته توسط نامبردگان بافت خاک، لوم شنی و نوع گیاه نهال می‌باشند در صورتی که در این پژوهش بافت خاک لوم رسی و نوع گیاه ذرت است. شکل‌های ۹ و ۱۰ وضعیت ظاهری گیاه ذرت در سه تیمار رطوبتی را نشان می‌دهد. به طوری که مشاهده می‌گردد گیاه در وضعیت رطوبتی LLWR در هر دو سطح تراکمی شاداب‌تر و دارای رشد بیشتر از دو تیمار دیگر

#### منابع مورد استفاده

- زارع حقی د، نیشابوری م ر، گرجی م، منیری فرح، شرفاء م، ۱۳۹۱. تعیین دامنه رطوبتی بدون محدودیت برای رشد نهال پسته در دو سطح تراکمی خاک. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۳، صفحه‌های ۵۹ تا ۷۱.
- Arora A, Sairam RK and Srivastava GC, 2002. Oxidative stress and antioxidative systems in plants. Current Science 82: 1227-1238.

- Asgarzadeh H, Mosaddeghi MR, Mahboubi AA, Nosrati A and Dexter AR, 2010. Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. *Plant and Soil* 335: 229–244.
- Belaygue C, Wery J, Cowan AA and Tardieu F, 1996. Contribution of leaf expansion, rate of leaf appearance, and stolon branching to growth of plant leaf area under water deficit in white clover. *Crop Science* 36: 1240–1246.
- Betz CL, Allmaras RR, Copeland SM and Randall GW, 1998. Least limiting water range: traffic and long-term tillage influences in a Webster soil. *Soil Science Society of America Journal* 62: 1384–1393.
- Busscher WJ, 1990. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Transactions of ASAE* 33: 519–524.
- Da Silva AP, Kay BD and Perfect E, 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Science Society of America Journal* 58: 1775–1781.
- Da Silva AP and Kay BD, 1996. The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. *Plant and Soil* 184:323–329.
- Da Silva AP, Imhoff S and Kay BD, 2004. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. *Science Agriculture* 61: 451–456.
- Drew MC, 1990. Sensing soil oxygen. *Plant Cell, and Environment* 13: 681–693.
- Gee GW and Or D, 2002. Particle size analysis. Pp. 255–293. In: Dane JH and Topp GC(eds). *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Grichko VP and Glick BR, 2001. Ethylene and flooding stress in plants. *Plant Physiology* 39: 1–9.
- He CF, Drew MC, Jordan WR and Morgan PW, 1996. Ethylene biosynthesis during aerenchyma formation in roots of maize subjected to mechanical impedance and hypoxia. *Plant Physiology* 112: 1679–1685.
- Jones HG, 1992. A quantitative approach to environmental plant physiology. Pp. 241–252 In: *Plants and Microclimate: 2nd ed.* Cambridge University Press, New York.
- Lawlor DW, 2002. Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: stomata vs metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany* 89: 871–885.
- Lety J, 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances in Soil Science* 1: 277–294.
- Mahajan Sh and Tuteja N, 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444: 58–139.
- Nagel OW, Konings H and Lambers H, 1994. Growth rate, plant development and water relations of ABA-deficient tomato mutant sitiens. *Physiologia Plantarum* 92: 102–108.
- Nelson DW and Sommers LE, 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 961–1010. In: Sparks DL (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. ASA and SSSA. Madison, WI.
- Ortun MF, Garcia-Orellana Y, Conejero W, Ruiz-Sanchez MC, Mounzer O, Alarcon JJ and Torrecillas A, 2006. Relationships between climatic variables and sap flow, stem water potential and maximum daily trunk shrinkage in lemon trees. *Plant and Soil* 279: 229–242.
- Pic EB, Teyssandier de la Serve F, Tardieu and Turc O, 2002. Leaf senescence induced by mild water deficit follows the same sequence of macroscopic, biochemical, and molecular events as monocarpic senescence in pea. *Plant Physiology* 128: 236–246.
- Remorini D and Massai R, 2003. Comparison of water status indicators for young peach trees. *Irrigation Science* 22: 39–46.
- Serpe MD and Mathews MA, 2000. Turgor and cell wall yielding in dicot leaf growth in response to changes in relative humidity. *Australian Journal of Plant Physiology* 27:1131–1140.
- Siegel Issem CM, Burger JA, Powers RF, Ponder F and Patterson SC, 2005. Seedling root growth as a function of soil density and water content. *Soil Science Society of America Journal* 69: 215–226.
- Stiller V, 2009. Soil salinity and drought alter wood density and vulnerability to xylem cavitation of bald cypress (*Taxodium distichum* (L.) Rich.) seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 67: 164–171.
- Teulade B, Monneveux P, Wery J, Borries C, Souyris L, Charrier A and This D, 1997. Relationships between relative water content and growth parameters and water stress in barley. *New Phytologist* 137: 99–107.
- Weatherley PE, 1970. Some aspects of water relations. *Advances in Botanical Research* 3: 171–206.
- Wilkinson S and Davies WJ, 2002. ABA-based chemical signaling: the coordination of responses to stress in plants. *Plant Cell Environment* 25:195–210.
- Zou C, Sands R, Buchan G and Hudson I, 2000. Least limiting water range: A potential indicator of physical quality of forest soils. *Australian Journal of Soil Research* 38: 947–958.