

تعیین دامنه رطوبتی بدون محدودیت برای رشد نهال پسته در دو

سطح تراکمی خاک

داود زارع حقی^{1*}، محمد رضا نیشابوری²، منوچهر گرجی³، حسن منیری فر⁴ و مهدی شرفاء⁵

تاریخ دریافت: 89/10/12 تاریخ پذیرش: 89/12/17

¹- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

²- استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

³ و ⁵- دانشیار، گروه مهندسی علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

⁴- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی

* مسئول مکاتبه: Email: davoodzarehagi@yahoo.com

چکیده

فراهمی مستمر آب خاک، یکی از تعیین کننده‌ترین فاکتورها برای رشد گیاه محسوب می‌گردد. گیاهان در صورت فقدان دسترسی به آب کافی و نیز در شرایط نزدیک به اشباع که تهویه خاک کاهش می‌یابد دچار تنش می‌شوند. به منظور بررسی رفتار نهال پسته (*Pistachio vera L.*) در رطوبت‌های مختلف و تعیین دامنه رطوبتی بدون محدودیت رشد، آزمایش گلخانه‌ای با دو سطح تراکمی و شش سطح رطوبتی با سه تکرار به اجرا درآمد. مجموعاً 36 استوانه خاک آماده و به صورت کاملاً تصادفی روی یک شاسی در گلخانه قرار گرفت. جهت ایجاد دو سطح تراکمی (جرم مخصوص ظاهری 1/35 و 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب)، خاک لوم شنی عبور کرده از الک 4/75 میلی‌متری به داخل استوانه‌های پی وی سی ریخته (به قطر 15/24 و ارتفاع 50 سانتی‌متر) و به دو سطح جرم مخصوص ظاهری مورد نظر رسانده شد. پس از انتقال گیاهچه‌های پسته به استوانه‌ها و استقرار آنها شش دامنه رطوبت حجمی از نقطه اشباع تا نقطه پژمردگی دائم برای هر سطح تراکمی اعمال گردید. اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای برگ بالغ سوم بین ساعت 13 الی 14 طی مدت اعمال تیمارهای رطوبت صورت گرفت. در پایان مدت مذکور ارتفاع بوته‌ها اندازه‌گیری و تعداد برگ‌های هر بوته شمارش و نمونه‌های برگ جهت تعیین محتوای نسبی آب (RWC) و میزان پرولین تهیه گردید. تجزیه واریانس داده‌ها تاثیر معنی دار ($p \leq 0.01$) سطوح رطوبتی بر تمامی پارامترهای گیاهی در هر دو سطح تراکمی را نشان داد. در سطح تراکمی 1/35 گرم بر سانتی‌متر مکعب بوته‌ها در دامنه رطوبتی 7 تا 14 درصد رطوبت حجمی با محدودیت رویشی و فعالیت فیزیولوژیکی مواجه شدند. بنابراین دامنه رطوبتی 14 تا 49 درصد به عنوان دامنه رطوبتی غیر محدود کننده برای گیاهچه پسته در این سطح تراکمی تعیین گردید. در سطح تراکمی 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب بوته‌ها در دامنه 9 تا 22 درصد رطوبت حجمی به دلیل کمی رطوبت و در دامنه 33 تا 38 درصد به دلیل تهویه ضعیف، با محدودیت رویشی و فعالیت فیزیولوژیکی مواجه شدند. بنابراین دامنه رطوبتی غیرمحدودکننده در این سطح تراکمی برای بوته‌های پسته 22 تا 33 درصد حجمی تعیین گردید. این درحالی است که دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت از مدل داسیلوا و همکاران برای دو سطح تراکمی 1/35 و 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب به ترتیب 10 تا 24/5 و 17 تا 28 درصد حجمی برآورد شد. این تفاوت‌ها نیاز به واسنجی مدل‌های برآورد کننده دامنه رطوبتی بدون محدودیت برای هر خاک و گیاه را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، پسته، دامنه رطوبتی غیرمحدود کننده، هدایت روزنه ای

Determination of Non-Limiting Water Range for Seedling Growth of Pistachio at Two Levels of Soil Compaction

D Zarehaghgi^{1*}, M R Neyshabouri², M Gorji³, H Monirifar⁴, M Shorafa⁵

Received: 2 January 2011 Accepted: 8 March 2011

¹-Assist. Prof., Dept. of Soil Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²- Prof., Dept. of Soil Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran

^{3,5}- Assoc. Prof., Dept. of Soil Science Engin., College of Agric. & Natural Resources, Univ. of Tehran, Iran

⁴- Assist. Prof., Agric. and Natural Resources Research Center of East Azarbaijan, Iran

*Corresponding author E-mail: davoodzarehagi@yahoo.com

Abstract

Continuous availability of soil water is an important factor for plant growth. Both lack of adequate access to water in soils and adequate oxygen in saturated soils, may reduce or even stop plant growth. In order to study the behavior of pistachio seedling (*Pistachio vera L.*) at various moisture levels and to determine non limiting water range for its growth, a greenhouse experiment with two levels of compaction at six moisture levels with three replications was conducted. The air dried soil was passed through soil 4.75 mm sieve, and transferred into 36 PVC cylinders (diameter 15.24 and height 50 cm), the soils of cylinders were compacted in order to prepare two levels of soil bulk density (1.35 and 1.65 g cm⁻³). After transferring the pistachio seedlings into soil cylinders and their establishment, six different volumetric water contents, from saturation to permanent wilting point, for each compaction level were applied. Stomatal conductance in the third mature leaf was measured in the course of exerting moisture treatments between 1:0 to 2:0 pm, during the experiment. Number of leaves and height of seedlings were recorded and leaf relative water content (RWC) and proline content were determined. The effect of moisture levels on all growth parameters were significant ($p \leq 0.01$). With bulk density of 1.35 g cm⁻³, the seedlings faced with vegetative and physiological limitations at the range of 7 to 14 percent volumetric water content. Thus non-limiting water range for pistachio seedling at this bulk density level ranged from 14 to 49 percent volumetric moisture. In the compacted treatment (bulk density of 1.65 g cm⁻³) both vegetative growth and physiological activities were considered within the range of 9-22 percent water content due to moisture deficit and at the range of 33-38, because of soil poor aeration led to growth retardation. Also non-limiting water range at this compaction level ranged from 22-33 percent water content. The least limiting water range predicted from Dasilva et al. model at the two D_b of 1.35 and 1.65 g cm⁻³ were 10- 24.5 and 17- 28 percent, respectively. The differences between the predicted range and the range obtained based on the seedling response implies the need for the calibration of the predicting model for each particular soil and plant.

Keywords: Leaf stomatal conductance, Non-limiting water range, Pistachio, Proline

مقدمه

آب خاک در تخلخل تهویه ای 10 درصد و مقدار آب خاک در مقاومت فروری 2 مگا پاسگال به دست می-آیند. تفاضل بین دو حد رطوبتی بالا و پایین، $LLWR$ است. حد بالایی آن رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (θ_{fc}) یا رطوبت درتخلخل تهویه‌ای 10 درصد (θ_{afp})، هر کدام که کمتر باشد و حد پایینی آن رطوبت درنقطه پژمردگی دایم خاک (θ_{pwp}) یا رطوبت در مقاومت فروری 2 مگا پاسگال (θ_{sr})، هر کدام که بیشتر باشد است. رشد اندام هوایی می‌تواند همزمان با مقدار آب خاک و بدون هیچگونه آسیبی به گیاه، اندازه گیری شود و پارامتر مناسبی جهت ارزیابی اولیه رابطه بین واکنش گیاه و $LLWR$ می‌باشد. حساسیت رشد اندام هوایی بویژه طویل شدن برگ (تغییر طول برگ) درمقابل وضعیت آبی خاک ثابت شده است (داسیلوا و کی 1996). سیگل - ایسم و همکاران (2005) به این نتیجه دست یافتند که $LLWR$ مناسب‌ترین محدوده رطوبت در خاک لوم شنی در شرایط گلخانه‌ای برای رشد نهال های یک نوع کاج³ نبود. مقادیری که توسط داسیلوا و همکاران (1994) - جهت برآورد $LLWR$ درنظر گرفته شده‌اند ممکن است برای تمام گیاهان صادق نباشند. زیرا این محدوده رطوبتی برای هر خاکی با جرم مخصوص ظاهری معین، بدون در نظر گرفتن نوع گیاه، مقدار ثابتی را خواهد داشت. این در حالی است که گیاهان مختلف نیازهای رطوبتی و تهویه‌ای متفاوتی دارند. بنابر این تعیین دامنه رطوبتی که گیاه در آن دچار محدودیت رویشی نگردد اصولاً با استفاده از شاخص‌های گیاهی باید تعیین یا پیش‌بینی شود. روش‌های تعیین زمان آبیاری که اخیراً ارائه شده‌اند وابسته به تشخیص پاسخ گیاهی به کمبود آب هستند (آرتنو و همکاران 2006، رمورینی و ماسای 2003). آگاهی از وضعیت آبی گیاه از طریق شاخص‌های فیزیولوژیکی به دلیل ماهیت

فراهمی مستمر آب خاک یکی از تعیین کننده ترین عوامل جهت رشد گیاه محسوب می‌گردد. گیاهان در صورت فقدان دسترسی به آب و تهویه کافی دچار تنش می‌گردند. مقدار آب خاک از یک سو بر روی مقاومت فروری خاک و از سویی بر روی تخلخل تهویه‌ای تاثیر گذار بوده و برهم کنش این سه عامل (رطوبت، تهویه و مقاومت فروری خاک) میزان رشد ریشه و گیاه را تعیین می‌کنند. آب قابل دسترس برای گیاهان زراعی، اختلاف رطوبت در پتانسیل های 0/033 (رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای) و 1/5 مگاپاسگال (نقطه پژمردگی دایم) تعریف شده است. تلاش در جهت گنجاندن سه خصوصیت فیزیکی مذکور موثر در رشد ریشه در قالب یک پارامتر کمی توسط لتی (1985) صورت پذیرفت. نامبرده با توجه به محدودیت بالقوه تهویه خاک در رطوبت‌های بالا از یک طرف و محدودیت مقاومت مکانیکی خاک درمقابل نفوذ ریشه در رطوبت‌های پائینی از طرف دیگر، دامنه رطوبتی را که در آن جذب آب مشکلی برای رشد گیاه بوجود نمی‌آورد پیشنهاد نمود و آن را دامنه رطوبتی بدون محدودیت¹ ($NLWR$) نامید. کاهش تهویه در رطوبت های بالا و نداشتن دسترسی به آب کافی و یا افزایش مقاومت خاک درمقابل نفوذ ریشه در رطوبت‌های پایین، محدوده $NLWR$ را باریکتر می‌کند. برای درک بیشتر مفهوم $NLWR$ ، برای اولین بار داسیلوا و همکاران (1994) آزمایش‌های مزرعه‌ای انجام دادند. آنها به دلیل اینکه تغییرات محیطی درمحدوده $NLWR$ ، بر روی رشد گیاه اثر می‌گذارد، از واژه دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت² ($LLWR$) استفاده نمودند. مطابق پیشنهاد داسیلوا و همکاران (1994) برای یک خاک مشخص با یک ساختمان معین، منحنی رطوبتی و منحنی مقاومت تعیین و از روی آن دو، مقادیر رطوبت در پتانسیل های ماتریک 0/01 و 1/5 مگا پاسگال، مقدار

¹ Non limiting water range (NLWR)

² Least limiting water range (LLWR)

³ Loblolly pines

شده، یک صفحه فلزی متصل به یک میله بر روی سطح خاک در استوانه قرار داده شد. یک وزنه 2/5 کیلوگرمی که در طول میله می توانست سقوط آزاد داشته باشد از ارتفاع 60 سانتی‌متری بر روی صفحه فلزی به تعداد مورد نیاز رها گردید تا خاک ریخته شده به حجم از قبل تعیین شده برسد. این عمل تا پرشدن ارتفاع 35 سانتی-متری استوانه‌ها ادامه یافت. 5 سانتی‌متر خاک الک شده از الک 4/75 میلی‌متری بر روی خاک متراکم شده ریخته شد تا پس از انتقال گیاهچه‌های پسته به استوانه-های خاک آماده شده، گیاهچه‌ها بتوانند به راحتی استقرار یابند. با توجه به اینکه خاک حاوی گیاهچه‌ها نیز 5 سانتی‌متر بود بنابراین پس از انتقال گیاهچه‌ها به درون استوانه‌ها، تنها 5 سانتی‌متر از ارتفاع 50 سانتی‌متری استوانه‌ها خالی باقی ماند که آن هم فضای مورد نیاز جهت افزودن آب به استوانه‌ها در نظر گرفته شد. به سطح خاک هر استوانه یک سانتی‌متر سنگریزه اضافه شد تا هنگام آب دادن به استوانه‌ها بهم ریختگی در سطح خاک ایجاد نگردد. با توجه به شش سطح رطوبتی و سه تکرار، برای هر سطح تراکمی 18 استوانه خاک و مجموعاً 36 استوانه آماده گردید. استوانه‌ها به صورت کاملاً تصادفی روی یک شاسی در گلخانه قرار داده شدند. گیاهچه‌های پسته رشد یافته 25 روزه درون ظروف یکبار مصرف به داخل استوانه‌ها انتقال داده شدند و در طول 1 هفته پس از انتقال، رطوبت خاک در آنها در حد ظرفیت مزرعه‌ای نگه داشته شد تا گیاهچه‌ها کاملاً در محیط جدید استقرار بیابند.

اعمال تیمار رطوبت در استوانه‌های خاک

شش سطح رطوبت خاک از نقطه اشباع تا نقطه پژمردگی دایم و پایین‌تر از آن، برای هر سطح تراکمی به صورتی که در جدول 1 آورده شده است اعمال گردید. رطوبت در ظرفیت مزرعه‌ای (θ_{fc}) و نقطه پژمردگی دایم خاک (θ_{pwp}) به ترتیب در 0/01 و 1/5 مگا پاسکال توسط ستون آویزان و محفظه فشاری، و

دینامیکی و رابطه مستقیمی که با شرایط اقلیمی و خاک دارند حاصل می‌گردد. پسته یکی از محصولات کشاورزی است که با نام ایران در آمیخته و تولید آن در کشورمان سابقه طولانی دارد. درختان پسته تحت شرایط تنش رطوبتی بالا در بیابان‌ها رشد نموده و میوه می‌دهند (اسپایگل - روی و همکاران 1977). علیرغم اهمیت اقتصادی این محصول (لبارون 1973)، اطلاعات خیلی کمی از نیازهای رطوبتی خاک آن، قابل دسترس است. هدف از این تحقیق تعیین $LLWR$ برای دو سطح تراکمی در یک خاک لوم شنی و ارزیابی پاسخ رشد گیاه به محدوده تعیین شده، از طریق اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ، میزان پرولین، ارتفاع نهال، مساحت و تعداد برگها است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی رفتار گیاهچه پسته *Pistachio vera L.* رقم سرخسی در سطوح مختلف رطوبتی، و تعیین دامنه رطوبت غیر محدود کننده رشد آن در دو سطح تراکمی خاک، آزمایش گلخانه‌ای زیر صورت پذیرفت. خاک سطحی (0-20 سانتی‌متری) باغ پسته مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی به مقدار کافی جمع‌آوری و پس از عبور از الک 4/75 میلی‌متری داخل استوانه‌های پی‌وی سی به قطر 15/24 و ارتفاع 50 سانتی‌متر به تدریج ریخته شد و آنقدر متراکم گردید تا جرم مخصوص ظاهری آنها به 1/35 و یا 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب برسد. متراکم کردن خاک به این طریق بود که ابتدا ارتفاع 50 سانتی‌متری استوانه‌ها به ده قسمت 5 سانتی‌متری تقسیم گردید سپس با در دست داشتن حجم هر قسمت 5 سانتی‌متری و جرم مخصوص ظاهری خشک مورد نظر، جرم خاک الک شده‌ای که بایستی در آن قسمت قرار گیرد محاسبه و پس از توزین داخل استوانه که پائین آن توسط صفحه فلزی کاملاً مسدود گردیده بود ریخته شد. برای فشرده کردن خاک ریخته

اندازه‌گیری پارامترهای گیاهی

اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای برگ بالغ سوم، هر سه روز یکبار بین ساعت 13 الی 14 در طول مدت اعمال تیمارهای رطوبتی توسط دستگاه پورومتر² اندازه‌گیری گردید. با پایان یافتن مرحله اعمال تیمارهای رطوبتی تعداد برگ‌های هر گیاهچه شمارش و ارتفاع آنها اندازه‌گیری، و نمونه‌های برگ جهت تعیین محتوای نسبی آب³ و پرولین تهیه شد. مساحت برگها بعد از جدا کردن از گیاهچه‌ها تعیین گردید. محتوای پرولین برگها به روش بتس و همکاران (1973) اندازه‌گیری گردید. جهت تعیین محتوای نسبی آب برگ، یک برگ کامل و بالغ از بخش میانی گیاه جهت کاهش اثر سن، انتخاب گردید و سپس از بخش میانی برگ دو قطعه به قطر 10 میلی‌متر تهیه و بلافاصله وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. قطعات وزن شده به مدت 6 ساعت داخل آب مقطر و دمای 25 درجه سانتی‌گراد در یک محیط تاریک قرار داده شدند. سپس آب سطح آنها بدقت خشک و وزن متورم آنها بدست آمد. وزن خشک قطعات نیز با قرار دادن آنها در دمای 70 درجه سانتی‌گراد بمدت 24 ساعت اندازه‌گیری و در نهایت محتوای نسبی آب برگ بر اساس رابطه ودرلی (1970) محاسبه شد :

$$RWC = \frac{Wf - Wd}{Wt - Wd} \times 100$$

Wf : وزن تر

Wd : وزن خشک و Wt : وزن متورم

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

بافت خاک به روش هیدرومتر چهار قرائتی (گی و ار 2002)، کربن آلی به روش تر سوزانی (نلسون و سامر 1996)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع با هدایت سنج الکتریکی و واکنش خاک در عصاره اشباع توسط

رطوبت در مقاومت فروری 2 مگا پاسکال (θ_{sr}) از مدل رگراسیونی بوسچر (1990) و رطوبت در تخلخل تهویه- ای 10 درصد (θ_{afp}) از رابطه $\theta_{afp} = \theta_s - 0/1$ برای هر سطح تراکمی تعیین گردید. مقدار $LLWR$ برای هر سطح تراکمی از روی چهار رطوبت ذکر شده و روابط ارایه شده توسط داسیلوا و همکاران (1994) محاسبه گردید. جهت کنترل رطوبت خاک یک جفت میله هادی 40 سانتی‌متری دستگاه TDR^1 در داخل هراستوانه قرار گرفتند. این میله‌ها تا پایان آزمایش در درون خاک باقی ماندند و هر دو روز یکبار مقادیر رطوبت حجمی استوانه‌ها قرائت گردید. هر موقع که درصد رطوبت حجمی استوانه‌ها به حد پائین دامنه رطوبتی مورد نظر رسید آب به استوانه‌ها اضافه شد تا رطوبت خاک در لایه 45 سانتی‌متری به حد بالایی رطوبت تعیین شده برسد. حجم آب مورد نیاز از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$V = a D (\theta_{v2} - \theta_{v1})$$

θ_{v2} : حد بالای دامنه رطوبتی مشخص گردیده برای هر استوانه ($cm^3 cm^{-3}$)

θ_{v1} : رطوبت حجمی قرائت شده با TDR ($cm^3 cm^{-3}$)

D : عمق خاک استوانه‌ها که برابر 45 سانتی‌متر برای تمامی استوانه‌های خاک منظور شد.

V : حجم آب مورد نیاز بر حسب سانتی‌متر مکعب

a : سطح مقطع استوانه‌های خاک که برابر $182/3 cm^2$ بود.

اعمال تیمارهای رطوبتی به مدت 10 هفته تا خروج ریشه از زیر استوانه ادامه یافت. در طی این مدت ده سیکل آبیاری برای استوانه‌ها صورت پذیرفت.

² AP4- Porometer, Delta-T Devices

³ Relative water content (RWC)

¹Time domain reflectometry

رطوبتی 1، 2، 5، و 6) مواجه گردد. تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف رطوبت بر روی تمامی پارامترهای گیاهی در سطح احتمال 1 درصد در هر دو سطح تراکمی معنی دار شده است (جدول 3 و 4). مقایسه میانگین پارامترهای گیاهی (شکل 1، 2 و 3) اندازه‌گیری شده در خاک با جرم مخصوص ظاهری $1/35 (D_b)$ گرم بر سانتی‌مترمکعب نشان داد که مساحت، تعداد، محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای برگها و همچنین ارتفاع گیاهچه در چهار سطح رطوبتی یعنی از محدوده رطوبتی 14 تا 49 درصد رطوبت حجمی تفاوت معنی داری ندارند. این در حالی است که بین سطوح رطوبتی 5 و 6 با دیگر سطوح رطوبتی تفاوت معنی داری وجود دارد. به عبارتی محدوده رطوبتی 7 تا 14 درصد رطوبت حجمی برای رشد گیاهچه پسته در این سطح تراکمی ایجاد محدودیت رویشی و فیزیولوژیکی نموده است. بنابراین این محدوده رطوبتی مناسب رشد گیاه در این سطح تراکمی از 14 تا 49 درصد رطوبت حجمی است.

دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد. آنالیز نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS و مقایسه بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

بر اساس جدول 2 در سطح تراکمی $1/35$ گرم بر سانتی متر مکعب مقدار حد بالایی و پایینی LLWR، به ترتیب θ_{pwp} و θ_{fc} است. بنابراین مطابق با جدول 1، سطوح رطوبتی 3، 4، و 5 در داخل محدوده رطوبتی LLWR قرار گرفته‌اند و لذا انتظار می‌رود گیاه در رطوبت زیر 10% و بالای 24/5% (سطوح رطوبتی 1، 2 و 6 خارج از محدوده LLWR) با محدودیت رشد مواجه گردد. در سطح تراکمی $1/65$ گرم بر سانتی‌مترمکعب مقدار حد بالایی و پایینی LLWR، به ترتیب θ_{afp} و θ_{sr} است و مطابق با جدول 1، سطوح رطوبتی 3 و 4 در داخل محدوده رطوبتی LLWR و سطوح رطوبتی 1، 2، 5 و 6 در خارج از آن قرار گرفته‌اند و انتظار می‌رود در این سطح تراکمی نیز گیاه با محدودیت رشد در سطوح رطوبتی خارج از محدوده رطوبتی LLWR (سطوح

جدول 1- شش دامنه رطوبت حجمی اعمال گردیده، در دو سطح تراکمی خاک

سطح تراکم	سطوح رطوبت					
	1	2	3	4	5	6
	(درصد حجمی)					
$1/35 \text{ g cm}^{-3}$	39 - 49	24 - 39	19 - 24	14 - 19	10 - 14	7 - 10
$1/65 \text{ g cm}^{-3}$	33 - 38	28 - 33	22 - 28	17 - 22	12 - 17	9 - 12

جدول 2- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Db=1/65 g cm ⁻³	Db=1/35 g cm ⁻³	محدوده های رطوبت حجمی	مقدار	خصوصیات خاک
%28	% 39	q_{afp}	58	شن %
%29	%24/5	q_{fc}	26	سیلیت %
%10	% 10	q_{pwp}	16	رس %
%17	%7	q_{sr}	0/39	کربن آلی %
%11	%14/5	LLWR	5/5	EC (dS m ⁻¹)
-	-	-	-	7 /6pH

جدول 3: خلاصه تجزیه واریانس تاثیر سطوح رطوبت بر روی پارامترهای گیاهی در خاک با جرم مخصوص ظاهری 1/35 گرم بر سانتی متر مکعب

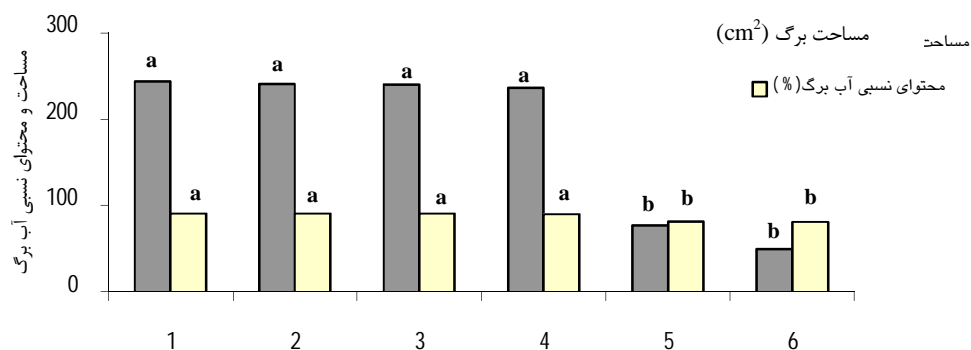
میانگین مربعات				درجه آزادی		منابع تغییر
تعداد برگ	ارتفاع گیاهچه	مساحت برگها	محتوای نسبی آب	پرویلین	هدایت روزنه ای	
187/656**	134 /589**	10709/16**	0/021**	0/617**	0/031**	5 سطوح طوبت
0/556	0/5	21/828	0/001	0/011	0/ 001	12 خطای آزمایش

** : اختلاف معنی دار در سطح احتمال 1 درصد

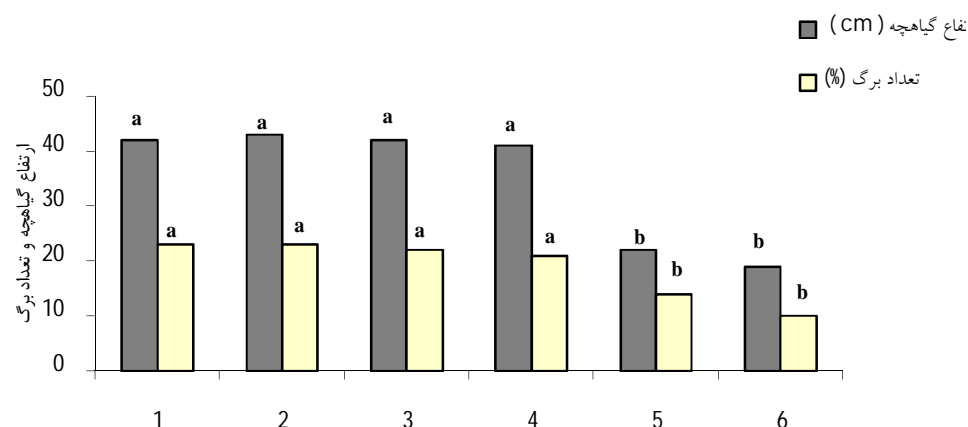
جدول 4: خلاصه تجزیه واریانس تاثیر سطوح رطوبتی بر روی پارامترهای گیاهی در خاک با جرم مخصوص ظاهری 1/65 گرم بر سانتی متر مکعب.

میانگین مربعات				درجه آزادی		منابع تغییر
تعداد برگ	ارتفاع گیاهچه	مساحت برگها	محتوای نسبی آب	پرویلین	هدایت روزنه ای	
83/9**	378/3**	25343/6**	0/006**	0/06**	0/016**	5 سطوح رطوبت
0/722	1/22	344/7	0/0001	0/004	0/ 0001	12 خطای آزمایش

** : اختلاف معنی دار در سطح احتمال 1 درصد



شکل 1- مقایسه میانگین‌های مساحت برگها و محتوای نسبی آب برگ در سطوح رطوبتی مختلف خاک در جرم مخصوص ظاهری 1/35 گرم بر سانتی‌متر مکعب (جدول 1).



شکل 2- مقایسه میانگین‌های تعداد برگ و ارتفاع گیاهچه در سطوح رطوبتی مختلف خاک در جرم مخصوص ظاهری 1/35 گرم بر سانتی‌متر مکعب (جدول 1).

مترمکعب نشان داد که دو سطح رطوبتی 2 و 3 بیشترین مقادیر مساحت، تعداد، محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای برگها و ارتفاع گیاهچه و کمترین مقادیر پرولین را داشتند (شکل 4، 5 و 6). به عبارتی محدوده رطوبتی 22 تا 33 درصد رطوبت حجمی برای گیاهچه پسته در این سطح تراکمی باعث ایجاد محدودیت نگردیده است. در صورتی که دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت برای این سطح تراکمی 17 تا 28 درصد بر آورد شده بود (جدول 2). بنابراین دامنه‌ای از رطوبت که در آن واقعاً رشد گیاه محدود نشده است منطبق بر *LLWR* برآوردی از روش داسیلوا و همکاران (1994)

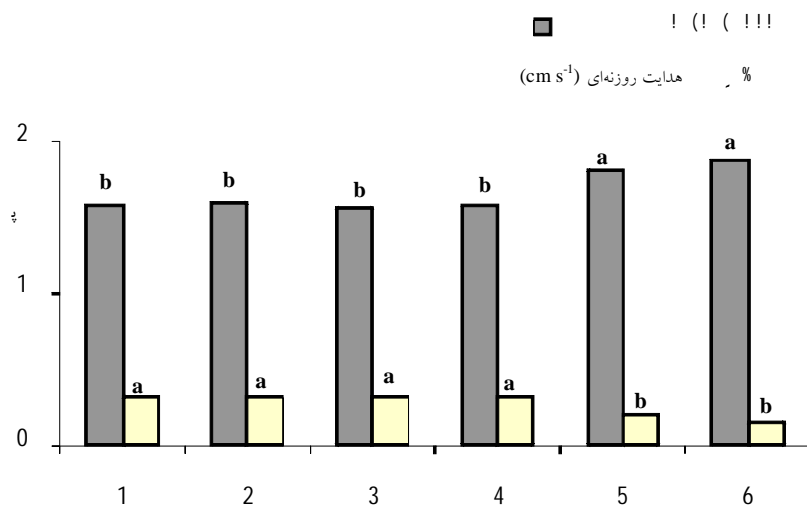
این در حالی است که دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت برای این سطح تراکمی 10 تا 24/5 درصد بر آورد شده است (جدول 2). همچنین مقایسه میانگین مقادیر پرولین در شکل 3 نشان داد که بین سطوح رطوبتی 1 تا 4 تفاوت معنی داری وجود نداشته و کمترین مقادیر مربوط به این سطوح رطوبتی است. در حالی که بین سطوح رطوبتی 5 و 6 با دیگر سطوح رطوبتی تفاوت معنی داری وجود دارد و این سطوح رطوبتی بیشترین مقادیر پرولین را داشتند.

مقایسه میانگین پارامترهای گیاهی اندازه‌گیری شده در خاک با جرم مخصوص ظاهری 1/65 گرم بر سانتی

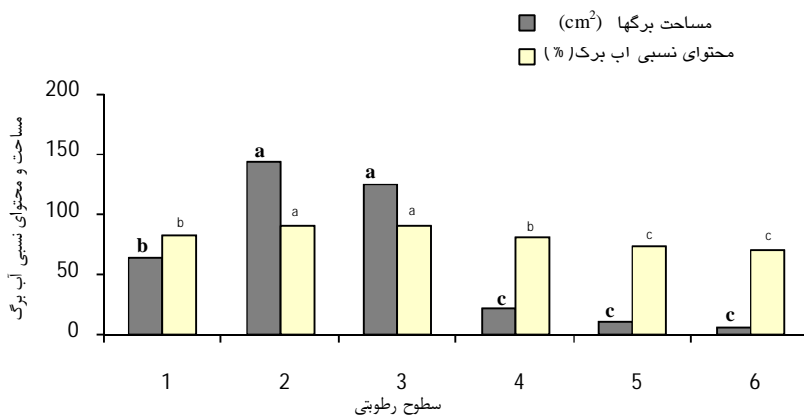
باعث محدودیت در تعداد برگ نیز می‌شود. در سطح تراکمی 1/35 گرم بر سانتی‌متر مکعب کاهش رطوبت خاک به زیر 14 درصد حجمی و در سطح تراکمی 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب رطوبت نزدیک به اشباع یعنی سطح رطوبتی 1 و نیز کاهش رطوبت به زیر 22 درصد سطوح رطوبتی 4، 5 و 6 باعث کاهش معنی‌دار در تعداد و مساحت برگها و ارتفاع گیاهچه‌ها شد.

نیست. این نتایج در توافق با یافته‌های سیگل - ایسم و همکاران (2005) است که بیان نمودند *LLWR* مناسب - رین محدوده رطوبتی برای رشد گیاهچه‌های *Loblolly Pines* نیست.

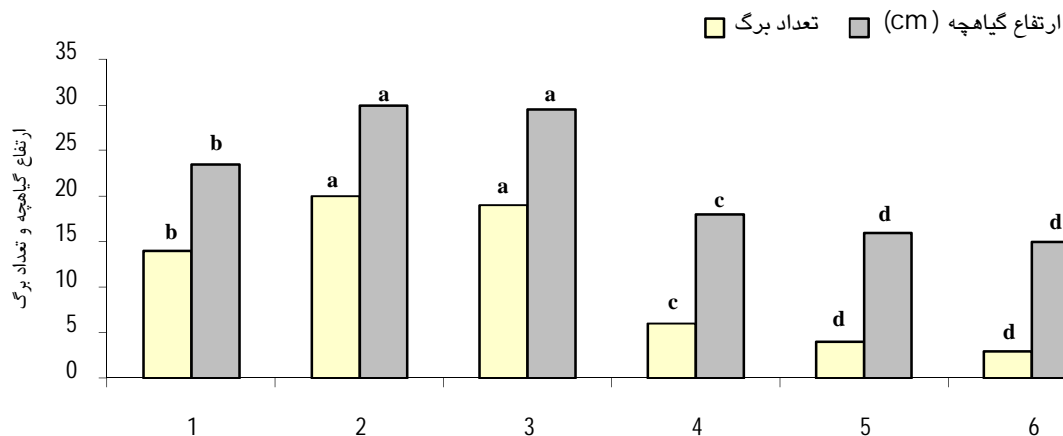
کاهش سطح برگ را می‌توان به عنوان اولین اقدام دفاعی گیاه در برابر کمبود رطوبت در نظر گرفت. کمبود رطوبت نه تنها اندازه برگ را محدود می‌کند بلکه



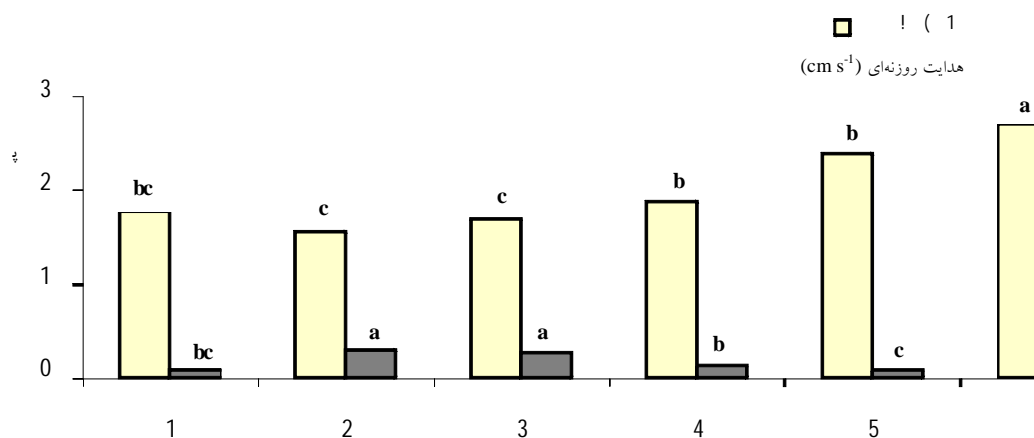
شکل 3- مقایسه میانگین‌های هدایت روزانه‌ای و پرولین در سطوح رطوبتی مختلف خاک در جرم مخصوص ظاهری 1/35 گرم بر سانتی‌متر مکعب (جدول 1).



شکل 4- مقایسه میانگین‌های مساحت برگها و محتوای نسبی آب برگ در سطوح رطوبتی مختلف خاک در جرم مخصوص ظاهری 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب (جدول 1).



شکل 5- مقایسه میانگین‌های تعداد برگ و ارتفاع گیاهچه در سطوح رطوبتی مختلف خاک در جرم مخصوص ظاهری 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب (جدول 1).



شکل 6- مقایسه میانگین‌های هدایت روزانه‌ای و پرولین در سطوح رطوبتی مختلف خاک در جرم مخصوص ظاهری 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب (جدول 1).

شکل‌های 7 و 8 وضعیت ظاهری گیاهچه‌های پسته، بخصوص ریزش برگها در سطوح رطوبتی محدود کننده را در پایان آزمایش در دو سطح تراکمی 1/35 و 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب نشان می‌دهند. کاهش سطح برگ و تعداد برگها در اثر تنش رطوبتی به دلیل کاهش تورژسانس سلولی (ناگل و همکاران 1994، سرپ و ماتوز 2000)، به تاخیر اندازی ایجاد برگهای جدید (بلاگو و همکاران 1996) و افزایش پیری برگ (پیک و همکاران 2002) است. کاهش سطح برگ و تعداد برگها در سطح رطوبتی 1 در خاک با سطح تراکمی 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب به دلیل عدم تهویه (کمبود اکسیژن) در این سطح رطوبتی است در صورتی که سطح رطوبتی 1 در سطح تراکمی 1/35 گرم بر سانتی‌متر مکعب باعث کاهش معنی‌دار در تعداد، مساحت برگها و ارتفاع گیاهچه‌ها نشد. زیرا که در این سطح تراکمی بلافاصله بعد از رساندن رطوبت خاک به رطوبت اشباع، زهکشی سریع صورت گرفت و باعث کمبود اکسیژن در این سطح رطوبتی نگردید.

کمبود اکسیژن بیوسنتز اتیلن در ریشه‌ها را بالا می‌برد و همچنین پیام هورمونی اسید آبسزیک (ABA) به ساقه‌ها می‌فرستد که گیاهان به این هورمون‌ها با پیچیدگی پهنک برگ به طرف پایین، ممانعت از رشد

شکل‌های 7 و 8 وضعیت ظاهری گیاهچه‌های پسته، بخصوص ریزش برگها در سطوح رطوبتی محدود کننده را در پایان آزمایش در دو سطح تراکمی 1/35 و 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب نشان می‌دهند. کاهش سطح برگ و تعداد برگها در اثر تنش رطوبتی به دلیل کاهش تورژسانس سلولی (ناگل و همکاران 1994، سرپ و ماتوز 2000)، به تاخیر اندازی ایجاد برگهای جدید (بلاگو و همکاران 1996) و افزایش پیری برگ (پیک و همکاران 2002) است. کاهش سطح برگ و تعداد برگها در سطح رطوبتی 1 در خاک با سطح تراکمی 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب به دلیل عدم تهویه (کمبود اکسیژن) در این سطح رطوبتی است در صورتی که سطح رطوبتی 1 در سطح تراکمی 1/35 گرم بر سانتی‌متر مکعب باعث کاهش معنی‌دار در تعداد، مساحت برگها و ارتفاع گیاهچه‌ها نشد. زیرا که در این سطح تراکمی بلافاصله بعد از رساندن رطوبت خاک به رطوبت اشباع، زهکشی سریع صورت گرفت و باعث کمبود اکسیژن در این سطح رطوبتی نگردید.

درصد رطوبت حجمی باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ و افزایش پرولین گردید. همچنین سطح رطوبتی 1 (33 تا 38 درصد) باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ و افزایش پرولین گردید.

ریشه و ساقه و ریزش برگی پاسخ می‌دهند (درو 1990 ، گویچکو و گلیک 2001، هی و همکاران 1996). در سطح تراکمی 1/35 گرم بر سانتی‌متر مکعب کاهش رطوبت خاک به زیر 14 درصد و در سطح تراکمی 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب کاهش رطوبت خاک به زیر 22



شکل 7- وضعیت گیاهچه‌های پسته در شش سطح رطوبتی در خاک دارای جرم مخصوص ظاهری 1/35 گرم بر سانتی‌متر مکعب در پایان آزمایش.



شکل 8 - وضعیت گیاهچه‌های پسته در شش سطح رطوبتی در خاک دارای جرم مخصوص ظاهری 1/65 گرم بر سانتی‌متر مکعب در پایان آزمایش.

همکاران 1994). براساس گزارش سیتی و همکاران (2009) مقدار پرولین در نتیجه محدود شدن رشد ریشه و تنش رطوبتی در درختان انبه افزایش قابل توجه یافت و با آبیاری مجدد آنها کاهش در مقدار پرولین حاصل گردید. اولین پاسخ گیاهان به کمبود آب بستن روزنه‌ها جهت کاهش اتلاف آبی از طریق تعرق است (ماهاجان و توتجا 2005). کمبود رطوبت باعث افزایش pH شیره سلولی شده و تولید بیشتر ABA در ریشه و انتقال آن به اندام هوایی را به دنبال دارد. ABA باعث تحریک

واکنش گیاه به کمبود اکسیژن در ناحیه ریشه بستن روزنه‌هاست (درو 1990). تنش رطوبتی باعث القای پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی مختلف در گیاهان شده و به آنها کمک می‌کند تا خود را با شرایط محدود سازگار نمایند (آرورا و همکاران 2002). پرولین نقش مهمی در تنظیم اسمزی دارد و تجمع آن به عنوان یکی از مکانیسم‌های سازگاری در بافت‌های گیاهی تحت شرایط کمبود رطوبت و محدود کنندگی رشد ریشه واقع می‌شود شناخته شده است (اسماعیل و

تعریف شده داسیلوا و همکاران (1994)، برای این سطح تراکمی 10 تا 24/5 درصد است. در سطح تراکمی 1/65 گرم بر سانتی متر مکعب گیاهچه‌ها با محدودیت رویشی و فیزیولوژیکی در سطوح رطوبتی 4، 5 و 6 (دامنه 22 تا 9 درصد رطوبت حجمی) به دلیل کمبود رطوبت و در سطح رطوبتی 1 (دامنه 33 تا 38 درصد رطوبت حجمی) به دلیل تهویه ضعیف، مواجه شدند. در این سطح تراکمی نیز گیاهچه‌ها با کاهش مساحت برگها، هدایت روزنه‌ای، بالا بردن مقادیر پرولین و ریزش برگگی به کمبود رطوبت خاک و تهویه ضعیف پاسخ داده و با به حداقل رساندن فعالیتشان به حیات خود ادامه دادند و هیچ یک از گیاهچه‌ها از بین نرفتند. بنابراین دامنه رطوبتی غیر محدود کننده در این سطح تراکمی برای گیاهچه‌های پسته 22 تا 33 درصد حجمی تعیین گردید. این در حالی است که دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت مطابق حدود تعریف شده داسیلوا و همکاران (1994)، برای این سطح تراکمی 17 الی 28 درصد است. پس *LLWR* برآورد شده به روش داسیلوا و همکاران (1994) محدوده واقعی آب قابل استفاده برای نهال پسته نمی‌باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری و مساعدت گروه مهندسی علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی تشکر و قدردانی می‌شود.

خروج یون‌های K^+ از سلولهای محافظ روزنه شده و بدنبال آن کاهش فشار تورمی آن سلولها و کاهش هدایت روزنه‌ای اتفاق می‌افتد (ویلکینسون و داویس 2002). محتوای نسبی آب برگ در آشکار سازی تنش های رطوبتی در گیاهان مفید می‌باشند (جونز 1992). کاهش محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط کمبود رطوبتی موجب کاهش هدایت روزنه‌ای و جذب CO_2 و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌گردد (لاولر 2002).

نتیجه گیری کلی

در سطح تراکمی 1/35 گرم بر سانتی متر مکعب گیاهچه‌ها با محدودیت رویشی و فیزیولوژیکی در رطوبت‌های پایین یعنی سطوح رطوبتی 5 و 6 مواجه شدند اما گیاهچه‌ها با کاهش مساحت برگها، هدایت روزنه‌ای، بالا بردن مقادیر پرولین و ریزش برگگی به کمبود رطوبت خاک پاسخ داده و با به حداقل رساندن فعالیتشان به حیات خود ادامه دادند و هیچ یک از گیاهچه‌ها از بین نرفتند. در این سطح تراکمی بعد از رساندن رطوبت خاک به حالت اشباع (سطح رطوبتی 1) در استوانه‌های پی وی سی، به علت زهکشی سریع، مشکلی برای تهویه مناسب گیاهچه‌ها ایجاد نگردید. بنابراین دامنه رطوبتی 14 تا 49 درصد رطوبت حجمی، یا به عبارتی دامنه رطوبتی 14 تا 24/5 درصد رطوبت حجمی (به دلیل زهکشی سریع و رسیدن رطوبت استوانه‌های دارای سطوح رطوبتی 1 و 2 به رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای)، دامنه رطوبتی غیر محدود کننده برای گیاهچه پسته در این سطح تراکمی است. این در حالی است که دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت مطابق حدود

منابع مورد استفاده

- Arora A, Sairam RK and Srivastava GC, 2002. Oxidative stress and antioxidative systems in plants. *Curr Sci* 82: 1227- 1238.
- Bates IS, Waldern RP and Teare ID, 1973. Rapid determination of free prolin for water stress studies. *Plant and Soil* 39:205-207.
- 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 Sci* 36: 1240-1246.

- Busscher WJ, 1990. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Trans ASAE* 33: 519–524.
- Da Silva AP, Kay BD and Perfect E, 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Sci Soc Am J* 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.
- 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.
- Ismail MR, Aziz MA and Hashim T, 1994. Growth, water relations and physiological change of young durian (*Durio zibenthinus* Murr) as influenced by water availability. *Ertanika J Trop Agric Sci* 17:149–156.
- Jones HG, 1992. *Plants and Microclimate*. (2nd ed). Cambridge University press, England.
- Lawlor DW, 2002. Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: stomato vs metabolism and the role of ATP *Ann Bot* 89: 871–885.
- LeBaron AD, 1973. Projecting Iranian agricultural supply and demand. *Iranian J Agric Res* 2: 2–11.
- Lety J, 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances in Soil Sci* 1: 277–294.
- Mahajan Sh and Tuteja N, 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Arch of Biochem Biophys* 444: 139–158.
- Nagel OW, Konings H and Lambers H, 1994. Growth rate, plant development and water relations of ABA-deficient tomato mutant sitiens. *Physiol Plant* 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.
- Ortuño 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 Soil* 279: 229–242.
- Pic E, Teyssendier De La Serve B, Tardieu F 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 Physiol* 128:236–246.
- Remorini D and Massai R, 2003. Comparison of water status indicators for young peach trees. *Irrig Sci* 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. *Aust J Plant Physiol* 27:1131–1140.
- Siegel – Issem CM, Burger JA, Powers RF, Ponder Fand Patterson SC, 2005. Seedling root growth as a function of soil density and water content. *Soil Sci Soc Am J* 69: 215–226.
- Siti, SZ and Razi IM, 2009. Growth, stomata aperture, biochemical changes and ranch anatomy in mango (*Mangifera indica*) cv. Chokanan in response to root restriction and water stress. *Scientia Horticulture* 123: 58–67.
- Spiegel-Roy P, Mazigh D and Evenari M, 1977. Response of pistachio to low soil moisture conditions. *J Am Soc for Hort Sci* 102: 470–473.
- Wheatherley PE, 1970. Some aspects of water relations. *Adv Bot Res* 3: 171–206.
- Wilkinson S and Davies WJ, 2002. ABA-based chemical signaling: the coordination of responses to stress in plants. *Plant Cell Environ* 25:195–210.