مجله پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد 26 / شماره 4 / 1391

# بررسی گلدانی الگوی جذب آب ذرت بین رطوبت معادل ظرفیت زراعی تا رطوبت اشباع

**حوریه بزرگان[1]*، محمد حسین محمدی و افشین توکلی**

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان؛
**h.bozorgan@yahoo.com**
استادیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان؛
**mohammadi@znu.ac**
استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان؛
**tavakoli@znu.ic.ir**

## چکیده

**اهمیت آب در مناطق خشک و نیمه خشک منجر شده است تا در مصرف آن برای اهداف کشاورزی دقت زیادی به عمل آید. از این رو مفاهیمی در ارتباط با مدیریت آب از جمله دامنه رطوبتی بدون محدودیت،(NLWR ) ، و با حداقل محدودیت (LLWR) ارائه شده است. مطالعات مختلفی برای اصلاح حدود مربوط به این مفاهیم صورت گرفته است. در مطالعه حاضر یکی از دو حد بالایی مفهوم LLWR در رابطه با تهویه در دو نوع خاک لوم شنی و لوم رسی برای گیاه ذرت با استفاده از پارامترهای تبخیر و تعرق در طول دوره رشد گیاه، عملکرد و WUE در مکشهای مختلف رطوبتی(۱۲۰،۱۰۰،۸۰،۶۰،۴۰،۲۰سانتی‌متر) بررسی شد. مطالعه حاضر در طی دو سال کشت گلخانه ای و در 6 تیمار برای دو نوع خاک لوم شنی و لوم رسی انجام گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که میزان تبخیر و تعرق روزانه در مکش ماتریک های بزرگتر از 60 و 80 سانتی متر به ترتیب برای خاک لوم شنی و لوم رسی به عدد ثابتی می رسد. عملکرد و WUE نیز در همین مکش ها بیشترین مقادیر را دارند. میزان رطوبت متناظر با این دو مکش (60 و 80) به ترتیب برابر0/47و 0/52 و میزان تخلخل تهویه‌ای آنها 0/04 و0/06 به ترتیب برای خاک لوم شنی و لوم رسی بود. که این مکش ها به عنوان بالاترین حد LLWR و بالاترین WUE در گیاه ذرت پیشنهاد گردید. مطالعه حاضر نشان داد که تخلخل تهویه 10 درصد نمی تواند به عنوان آستانه محدودیت تهویه برای ذرت کاملا صحیح باشد.**

**واژه‌های کلیدی:** دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت، کارایی مصرف آب، تهویه، دور آبیاری

## مقدمه

بسیاری از واکنشهای بیولوژیکی خاک در حضور اکسیژن انجام می‌شوند. در خاکهای بدون تهویه رشد گیاه کاهش می‌یابد (اویانگ و بورزما 1992) و کمبود اکسیژن به شدت فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تحت تاثیر قرار

آدرس نویسنده مسؤول: تبریز، کدپستی: 5184665715- صندوق پستی: 5184665715
* دریافت: فروردین، 1391 و پذیرش: بهمن، 1391

Archive of SID
www.SID.ir

می‌دهد (پونامپروما 1972). اولین علایم فیزیولوژی قابل تشخیص ناشی از تنش تهویه ای در گیاهان عبارتند از: کاهش فتوسنتز، هدایت روزنه ای و تعرق گیاهی (شافی و همکاران 1992). به همین دلیل تهویه از عوامل مهم خاکی برای رشد گیاهان عالی محسوب می‌شود. پخشیدگی گازها در خاک بویژه زمانیکه تخلخل تهویه‌ای کمتر از 10% است، متوقف می‌گردد (وسلینگ و ویجک1957) و بنابراین ریشه گیاهان نیاز به حداقل 10% فضای تهویه‌ای دارند تا به بقای خود ادامه دهند (کرکهام 2005). پایرسی و همکاران (1983) تخلخل تهویه‌ای محدود کننده رشد ریشه برای خاک لوم رسی و لوم شنی را به ترتیب 11 و 19 درصد گزارش کرده اند. آب قابل دسترس برای گیاه(AW[1]) که با دو حد بالایی و پائینی FC[2] و PWP[3] تعریف می‌شود، یکی از مفاهیم رطوبتی است که در گذشته در تعیین دامنه رطوبتی بهینه برای رشد گیاه مورد استفاده قرار می‌گرفت. بعدها به دلیل ضعف حدود بالا و پائین آن، مفهوم دامنه رطوبتی بدون محدودیت NLWR[4] (لتی 1985) و دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت LLWR[5] (داسیلوا و همکاران 1994 ) برای بینش جامعی از وضعیت جذب آب توسط گیاه ارائه گردید. در تعریف این دو دامنه، ضریب رطوبتیFC به عنوان حد بالایی رطوبت بهینه رشد گیاهی به تنهائی مورد تردید قرار گرفته و اثر تخلخل تهویه‌ای بحرانی نیز به عنوان دیگر عامل تعیین کننده حد بالایی دامنه رطوبتی بهینه رشد گیاه لحاظ شده است. یکی از حدود بالایی LLWR تخلخل تهویه ای 10% ($\theta up–afp$) در نظر گرفته می‌شود. داسیلوا و همکاران (1994) نشان دادند که LLWR به ویژه در خاکهایی با بافت سنگین به مقادیر حد تخلخل تهویه ای حساس تر است. آنها همچنین نشان دادند که میزان این حساسیت مستقل از جرم مخصوص ظاهری خاک است. سیگل ایسم و همکاران (2005) نشان دادند که برخی گیاهان در محدوده رطوبتی خارج از LLWR و در شرایط تخلخل تهویه ای کمتر از 10% رشد بهتری دارند که این امر نشان می دهد که LLWR شاخص کاملی از وضعیت رطوبت قابل جذب نیست. آوست و همکاران (1998) بیان نمودند که در تعریف حد بالای LLWR بر مبنای تخلخل تهویه ای 10%، تفاوت و تنوع در خصوصیات گیاهی، مانند عمق توسعه ریشه و شدت تنفس و نیز ویژگی های فیزیکی خاک و پیوستگی منافذ جهت انتقال گازها در نظر گرفته نمی شود.

مطابق تعریف، ظرفیت آب خاک در ضریب رطوبتی FC زمانی است که خروج آب ثقلی از پروفیل خاک متوقف می شود (میلر و کلوت 1967، کرکهام 2005،نقبی 1998، تیلور و اشکرافت 1972 ). به دلیل آنکه تعریف آب ثقلی پایه فیزیکی ندارد، تعاریف کاربردی‌تری برای ضریبFC مطرح شده است. نقبی (1998) بیان کرد که رطوبتFC ($\theta_{up\text{-}Nac}$) زمانی حاصل می‌شود که شدت جریان زهکشی به 0/05 میلیمتر در روز برسد، که این تعریف پیش بینی ضریب FC را به تنهایی با منحنی هدایت هیدرولیکی خاک میسر می‌سازد. رطوبت متناظر با پتانسیل ماتریک 33- کیلوپاسکال در خاک در حال زهکشی نیز به عنوان معادل FC شناخته شده است (لینزلی و فرانزینی 1972 و کلمن 1947 ) که با $\theta_{up\text{-}suc}$ نشان داده می‌شود، که به سهولت از منحنی مشخصه آب خاک به دست می‌آید. فرض اینکه جذب آب توسط گیاه تا ضریب FC امکانپذیر نمی باشد، در تضاد با گزارشاتی است که بیان می دارند جذب آب توسط برخی گیاهان در شرایط نزدیک به اشباع نیز اتفاق می افتد (ونگنوختن و هوفمن 1984، ونگنوختن 1987 و هوپت و همکاران 2003).

مطالعاتی که که اثر توام خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک و نیز خصوصیات گیاهی را بر LLWR

[1]. Available Water
[2] Field Capacity
[3] Permanent Wilting Point
[4] Non Limiting Water Range
[5] Least Limiting Water Range

Archive of SID

www.SID.ir

بررسی کرده اند محدود می باشند. محمدی و همکاران (2010) یک حد بالایی برای رطوبت قابل جذب توسط گیاهان پیشنهاد نمودند، به نحوی که تلفیقی از خصوصیات فیزیکی خاک و ویژگی های ریشه گیاه باشد. آنها منحنی رطوبتی را بعنوان تنها ویژگی فیزیکی در دسترس فرض نموده و عمق توسعه و شدت تنفس ریشه را ویژگی های موثر گیاهی در نظر گرفتند. و حساسیت حد پیشنهادی خود را به ویژگی های فوق ارزیابی نموده و گزارش کردند که رطوبت FC نمی تواند حد بالای رطوبت قابل جذب توسط گیاهان باشد. با توجه به اینکه بسیاری از محدوده های رطوبتی پیشنهاد شده جهت جذب آب توسط گیاه، وابستگی شدیدی به حد بالایی رطوبت قابل جذب توسط گیاهدارند و این حد غالبا توسط تهویه کنترل می گردد و نزدیک به رطوبت اشباع خاک است، بنابراین ضروری است که الگوی تغییرات جذب آب توسط گیاهان مختلف از نقطه FC تا رطوبت اشباع خاک مورد مطالعه قرار گیرد تا حد بالا مشخص و وابستگی آن به عوامل مختلف تعیین گردد. لذا هدف از این تحقیق پی بردن به حد بالای رطوبت قابل جذب توسط گیاه ذرت( به عنوان یک گیاه مقاوم به تهویه ) و همچنین تعیین دقیق حد بالای LLWR در دو خاک متفاوت می باشد.

## مواد و روشها

### ویژگی های خاک

در این پژوهش دو نوع خاک لوم رسی و لوم شنی از عمق 0-20 سانتی متری به ترتیب از منطقه چمن سلطانیه و باغ سیب دانشگاه زنجان نمونه برداری و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از کوبیدن و خشک نمودن از الک 8 میلی متری عبور داده شدند و در آزمایشات مورد استفاده قرار گرفتند. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه از جمله بافت خاک به روش هیدرومتر (بایکاس 1962)، مواد آلی (نلسون و سومر 1982)، کربنات کلسیم معادل (گوه و همکاران 1993)، جرم مخصوص حقیقی و ظاهری (کلوت و دیرکسن 1986) تعیین شدند (جدول 1 ).

جدول 1- برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاکهای مورد آزمایش

| بافت خاک | رطوبت حجمی در مکش 33کیلوپاسکال(%) | رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دائم(%) | ماده آلی (%) | جرم مخصوص ظاهری (g/ cm$^3$) | جرم مخصوص حقیقی(g/cm$^3$) | P (ppm) | کربنات کلسیم معادل(%) | K (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sandy loam | 43/6 | 18/9 | 1/34 | 1/29 | 2/6 | 58 | 38/12 | 174/8 |
| Clay loam | 39/5 | 22/1 | 2/85 | 1/11 | 2/6 | 60/59 | 33/87 | 331/8 |

به منظور تعیین منحنی مشخصه آب خاک، از استوانه های آزمایشی کوچک جهت نمونه برداری استفاده شد. نمونه برداری در اعماق 5 و 15 سانتیمتر انجام گرفته و نمونه ها به آزمایشگاه منتقل گردیدند. نمونه ها با محلول 0/001 نرمال کلرید کلسیم از پائین اشباع و رطوبت آنها با استفاده از دستگاه صفحات فشاری در مکشهای ۳۳، ۱۰، 50، 100، 200 کیلو پاسکال،و همچنین با استفاده از غشای فشاری در مکشهای 300، 500، 1000، 1500 کیلو پاسکال تعیین گردید (کلوت 1986). برازش معادله ونگنوختن (1980) بر منحنی های رطوبتی تجربی با استفاده از نرم افزار RETC انجام گرفت (ونگنوختن و همکاران 1991). در این نرم افزار ضرایب θs، θr، n,m و α از طریق رگرسیون غیرخطی و

Archive of SID

www.SID.ir

حداقل کردن مجذور اختلافات، بین رطوبت اندازه گیری شده و پیش بینی شده بدست می آید.

## تانسیومتر

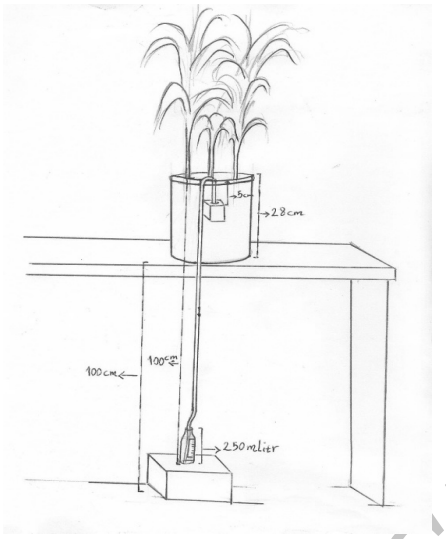
اندازه گیری پتانسیل ماتریک با وسایل ساده ای به نام تانسیومتر انجام می شود. که در آزمایشگاه به دلیل نیاز به تعداد زیادی از این دستگاه، تانسیومترها به صورت دستی ساخته شدند. بدین ترتیب که در ساخت کلاهک آنها از آجرهای 3 سانتی متری استفاده گردید، و آجرها به طول 5 سانتی متر بریده وسپس با مته سوراخ شدند و یک شیلنگ شفاف به طول 1/5 متر به هر کلاهک آجری متصل گردید و برای جلوگیری از ورود هوا عایق بندی کاملی در محل اتصال شیلنگ به کلاهک صورت گرفت. در مرحله بعد کلاهک های آجری ساخته شده در آب به مدت چند ساعت اشباع شدند و سپس مقداری دوغاب سیمان تهیه گردید، آجرها در دوغاب فرو برده شده و با ایجاد مکش هوا توسط کمپرسور از طریق شیلنگ‌های متصل به آجرها، تمامی منافذ درشت آنها مسدود گردید. این عمل جهت عایق بندی کامل منافذ درشت در برابر ورود هوا صورت گرفت. سپس تانسیومترها جهت عبور آب با شدت مناسب و عدم نفوذ هوا تست شدند و آنهایی که مورد تایید قرار گرفتند جهت استفاده و قرار دادن در داخل گلدانها انتخاب شدند. در مرحله بعدی شیلنگ و کلاهک متصل به آن پر از آب جوشیده شده سرد شده گردید. سپس کلاهک تانسیومتر ها در داخل گلدان و در عمق 5 سانتی متری خاک تعبیه شده و سپس سر شیلنگ متصل به آن در فاصله عمودی مورد نظر( از مرکز گلدان) ثابت گردید( شکل 1). بدین ترتیب مکشی معادل فاصله عمودی سر شیلنگ تا کلاهک بر خاک اعمال شد. به نحوی که تانسیومتر ها قادر بودند کلیه آبی که با مکش کمتر از فاصله عمودی سر شیلنگ تا کلاهک، توسط خاک نگهداری می شود، را زهکشی نمایند. از طرف دیگر اتصال سر شیلنگ به ظرف محتوی آب این امکان را فراهم می نمود که در حالتهایی که مکش ماتریک خاک بیش از مکش آب درون تانسیومتر(برابر با فاصله عمودی سر شیلنگ تا کلاهک ) است، آب از ظرف به طرف کلاهک و در نتیجه خاک حرکت نماید. بدین ترتیب این تانسیومتر ها مکش خاک را در یک محدوده مشخص تثبیت می نمودند. با کاهش آب درون گلدان میزان رطوبت مصرفی توسط گیاه نیز با اندازه گیری مقدار آب جذب شده از ظرفهای مدرج متصل به شیلنگ بدست آمد. همچنین روزانه مقداری آب بر روی گلدانها به نحوی اضافه گردید که آب اضافی توسط تانسیومترها خارج گردد. این فرآیند زهکشی در عرض حداکثر یک ساعت به اتمام می رسید و سپس در کل طول روز مکش خاک تثبیت میگردید.

## کشت گیاه ذرت

5 بذر گیاه ذرت، در 2 نوع خاک با بافتهای لوم رسی و لوم شنی در 6 مکش مختلف ( 20، 40، 60، 80، 100، 120 سانتی متر) در سو تکرار (مکش 120 سانتی-متر با 4 تکرار) به صورت گلخانه‌ای در درون گلدان های 20 کیلوگرمی کاشته شدند. برای اعمال مکشهای مورد نظر، گلدانها روی سکویی به ارتفاع یک متر از سطح زمین قرارداده شدند. با تنظیم ارتفاع بطری‌های حاوی آب مقطر متصل به شیلنگ و تانسیومترها نسبت به سطح مرجع، مکشهای مورد نظر اعمال شدند(شکل 1).

Archive of SID

www.SID.ir




شکل 1- نمایی کلی از نحوه کارکرد و جایگزاری تانسیومتر در خاک یک گلدان

آب جذب شده توسط خاک گلدانها به صورت روزانه ثبت و کاهش سطح آب در بطری‌ها با افزودن آب جبران شد. پس از جوانه زنی ذرت با انجام هرس در هر گلدان سه گیاه باقی ماند. جمع آوری داده‌ها تا محصول دهی گیاه ذرت ادامه یافت، سپس بخش هوایی برداشت شده و وزن ماده خشک آن (Y) بدست آمد. پس از جمع آوری داده‌های گلخانه‌ای، اعداد روزانه که نشان دهنده تبخیر و تعرق واقعی روزانه ($ETc_i$) متناظر برای هر مکش خاک بود، ثبت شده و طبق معادله (1) مقدار ارتفاع آب مصرفی در کل دوره (WR) به دست آمد و برای رسم منحنی های تبخیر و تعرق مورد استفاده قرار گرفت.

$$WR = \sum_{i=1}^{n} ETc_i \qquad (1)$$

و سپس با استفاده از معادله زیر کارآیی مصرف آب (WUE[1]) برای هر مکش در هر دو خاک تعیین شد (ویتز 1962).

$$WUE = \frac{Y}{WR.S} \qquad (2)$$

که S سطح مقطع گلدان است. در رابطه (2) مقدار کارآیی مصرف آب بر حسب ماده خشک بخش هوایی به ازاء مقدار آب مصرفی در کل دوره (گرم بر لیتر) بدست آمد. در این تحقیق، کشت گیاه ذرت برای دو سال متوالی تکرار شد.

## نتایج

### خصوصیات هیدرولیکی خاکها

مدل منحنی رطوبتی ونگنوختن (1980) به شکل زیر ارائه شده است:

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[\frac{1}{1+(\alpha h)^n}\right]^m \qquad (3)$$

که در آن $\alpha$ عکس پتانسیل ورود هوا (1/L)، $\theta_s$ رطوبت خاک در حالت اشباع، $\theta_r$ رطوبت باقیمانده خاک و یا رطوبتی که در آن منحنی رطوبتی حالت مجانب دارد، m وn پارامترهای تجربی هستند که از برازش بدست می آیند و شکل منحنی رطوبتی را مشخص می نمایند. h مکش ماتریک خاک و$\theta$ رطوبت نظیر آن می باشد. پارامترهای حاصل از برازش مدل ونگنوختن بر داده‌های منحنی رطوبتی تجربی در دو نوع خاک لوم شنی و لوم رسی در جدول 2 آمده است.

[1]. Water Use Efficiency

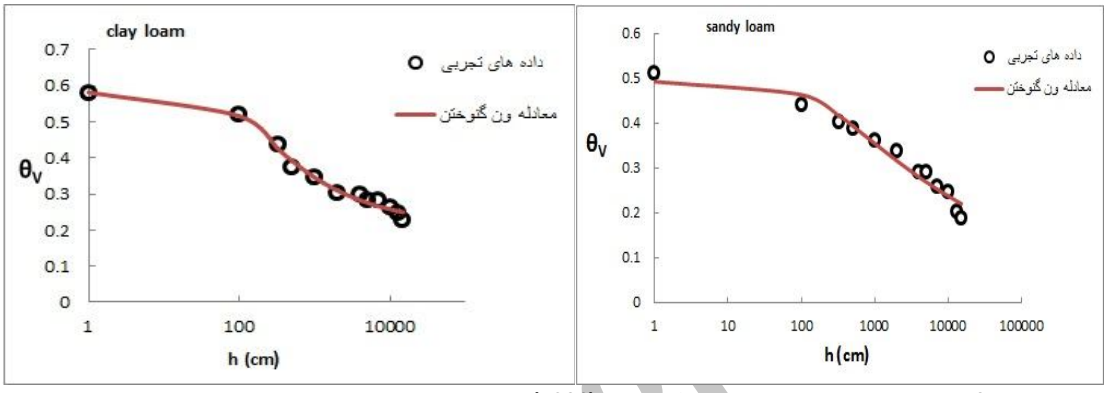
Archive of SID

www.SID.ir

جدول 2- پارامترهای حاصل از برازش مدل ون گنوختن بر داده‌های منحنی رطوبتی تجربی در دو نوع بافت خاک

| نام خاک | پارامترهای معادله ون گنوختن در حالت m= 1-1/n | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Θs ($m^3/m^3$) | n | m | Θr ($m^3/m^3$) | α (1/cm) | $R^2$ |
| Sandy loam | 0/49 | 1/18 | 0/153 | **0** | 0/00554 | 0/98 |
| Clay loam | 0/58 | 1/44 | 0/307 | 0/207 | 0/00913 | 0/99 |

برازش مدل منحنی رطوبتی ونگنوختن(1980) بر داده‌های تجربی خاکهای مورد آزمایش در شکل 2 نشان داده شده است.




شکل 2- برازش مدل منحنی رطوبتی ونگنوختن (1980) بر داده های تجربی در خاک‌های لوم شنی و لوم رسی استفاده شده در این تحقیق

## مصرف آب

میزان مجموع تبخیر و تعرق که برابر با مصرف آب (WR) است و میزان عملکرد خشک بخش هوایی گیاه ذرت(Y) و راندمان مصرف آب(WUE) متناظر با مکش‌های مختلف مورد مطالعه در دو نوع بافت لوم شنی و لوم رسی برای گیاه ذرت در جدول 3 آمده است.

**جدول3- میزان ET، Y و WUEمتناظر با مکش‌های مختلف مورد مطالعه برای گیاه ذرت**

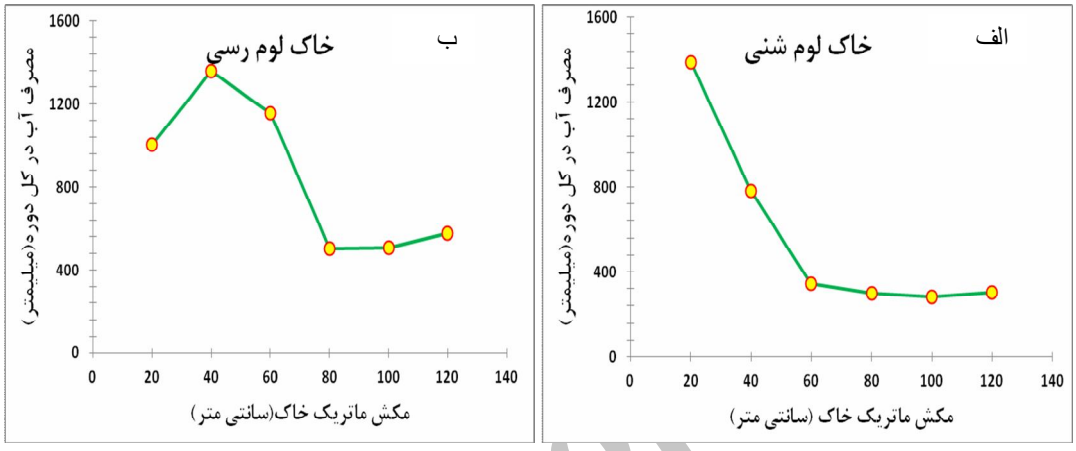
| مکش(cm) | WR(mm) | | Y(g) | | WUE(g/lit) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | لوم شنی | لوم رسی | لوم شنی | لوم رسی | لوم شنی | لوم رسی |
| **20** | 1384 | 1004 | 178/50 | 234/07 | 3/4 | 6/1 |
| **40** | 782 | 1355 | 223/56 | 254/73 | 7/5 | 4/9 |
| **60** | 344 | 1155 | 269/66 | 275/50 | 20/5 | 6/3 |
| **80** | 299 | 502 | 207/56 | 309/21 | 18/2 | 16/1 |
| **100** | 283 | 509 | 192/56 | 236/29 | 17/8 | 12/2 |
| **120** | 304 | 575 | 188/53 | 261/24 | 16/3 | 11/9 |

جدول3 نشان می‌دهد که در هر دو نوع بافت لوم شنی و لوم رسی با افزایش مکش ماتریک (h) از 20 تا 120 سانتی متر میزان مصرف آب کاهش پیدا می‌کند. این کاهش در خاک لوم شنی از مکش ماتریک 20 سانتی متر شروع شده وتا

Archive of SID

www.SID.ir

مکش ماتریک 60 سانتی متر ادامه دارد و از مکش ماتریک 80 تا 120 سانتی متر به حالت تقریبا ثابتی می رسد (شکل3-الف). که این مقدار ثابت را به طورمیانگین می‌توان برابر 300میلی متر در نظر گرفت. به طور مشابه در خاک لوم رسی نیز میزان مصرف آب گیاه ذرت از مکش 20 تا 80 سانتی متر‌کاهش و سپس از مکش 80 تا 120سانتی متر به حالت تقریبا ثابتی می-رسد(شکل3-ب)، که این مقدار ثابت را می‌توان تقریبا 530 میلی‌لیتر بر روز در نظر گرفت. این مقدار بیشتر از مصرف آب گیاه ذرت در خاک لوم شنی در مکش های ماتریک متناظر می-باشد.




شکل 3- تغییرات مجموع تبخیر و تعرق واقعی گیاه ذرت در کل دوره رشد در خاک لوم شنی(الف) و لوم رسی(ب) به عنوان تابعی از مکش ماتریک خاک

مقایسه دو شکل 3-الف و 3-ب نشان می‌دهد که میزان مصرف آب در تمامی مکش‌های ماتریک، به جز مکش 20 سانتی متر در خاک لوم رسی بیشتر از خاک لوم شنی می‌باشد. دلیل این امر ممکن است وجود منافذ، و پیوستگی بیشتر آنها و هدایت هیدرولیکی غیر اشباع بالا در خاک لوم رسی باشد. در خاکهایی با بافت درشت ، مقدار رطوبت کمتری در نیروی مکش معینی موجود است و لذا آب کمتری برای تبخیر در سطح خاک تامین می شود. بنابراین اگر تبخیر در سطح خاک پیوسته باشد، ضریب پخشیدگی رطوبت در خاکهای شنی، با کاهش رطوبت کاهش سریعتری خواهد داشت. در شرایط اشباع و بسیار نزدیک به اشباع، خاکهای درشت بافت نسبت به خاکهای با بافت ریز، دارای ضریب آبگذری بزرگتری هستند (بایبوردی،1379). که در واقع این می‌تواند دلیلی نسبی برای توضیح میزان تبخیر بیشتر ( در نتیجه تبخیر و تعرق بیشتر) در خاک لوم شنی نسبت به لوم رسی در مکش ماتریک 20 سانتی متر باشد. به عبارت دیگر در مکش‌های کم، توانایی تامین آب جهت تبخیر و تعرق در خاک شنی بیشتر از خاک رسی می‌باشد. مکش ماتریک 20 سانتی متر حالتی نزدیک به نقطه اشباع می‌باشد که در این مکش معمولا حالت ماندابی در گلدان های گیاه ذرت مشاهده می‌شد، ولی در خاک لوم شنی به دلیل تبخیر و تعرق بالا در این مکش ماندابی کمتری نسبت به خاک لوم رسی مشاهده شد. عکس مطلب نیز در نیروهای مکشی زیاد صادق است. بنابراین در خاکهای سبک نسبت به خاکهای سنگین، آبی که به سطح خاک اضافه می شود، هنگام مرطوب بودن خاک، سریعتر به اعماق رفته و برعکس کندتر به طرف سطح خاک حرکت می کند. این یافته با نتایج مطالعات بارتیلموس و همکارن (2008) نیز مطابقت دارد که با تعریف اصطلاح F که میزان آب قابل جذب نسبی را برای گیاه به صورت عددی از صفر تا 1 بیان می‌کند، اظهار داشتند که خاک لوم شنی و لوم رسی در

Archive of SID

www.SID.ir

به ترتیب در مکشهایی حدود 60 و 85 سانتی متر بیشترین آب قابل جذب برای ریشه گیاه را دارا می باشند. و نیز تغییرات F در مقابل مکش ماتریک خاک برای خاک لوم شنی بیشتر از خاک لوم رسی بوده و در خاک لوم شنی با افزایش اندکی مکش(نسبت به مکش متناظر تخلخل تهویه‌ای بحرانی) F برابر 1 می شود که این به معنی وجود حداکثر آب قابل جذب برای ریشه در خاک است. یعنی با افزایش اندکی مکش، تخلخل بیشتری نسبت به خاک لوم رسی تخلیه می‌گردد و مشکل تهویه گیاه سریعتر از خاک لوم رسی برطرف می‌گردد..

## عملکرد محصول گیاه ذرت در دو نوع بافت لوم شنی و لوم رسی

شکل 4-الف نشان می‌دهد که عملکرد محصول گیاه ذرت در خاک لوم شنی از مکش ماتریک 20 سانتی متری افزایش یافته واین افزایش تا مکش ماتریک 60 سانتی متر ادامه دارد. بیشترین عملکرد محصول گیاه ذرت در مکش ماتریک 60 سانتی متر و برابر 269/66 گرم ماده خشک بخش هوایی در هر گلدان بوده و بعد از این مکش عملکرد کاهش یافته و به حالت تقریبا ثابتی می رسد. در واقع این نمودار تقریبا بر عکس نمودار مصرف آب برای خاک لوم شنی می‌باشد. شکل 3 نشان می‌دهد که از مکش ماتریک 20 تا 60 سانتی متر ، با کاهش مصرف آب میزان عملکرد افزایش پیدا می‌کند. اگر چه در مکش های پایین تر میزان جذب آب ودر نتیجه میزان تبخیر و تعرق بیشتر می‌باشد ولی اکثرا به دلیل ماندابی و نبودن زهکشی و تخلخل تهویه ای کم و وجود احتمالی تنش تنفسی میزان عملکرد گیاه کم می شود و با افزایش مکش ماتریک عملکرد بیشتر می‌شود.

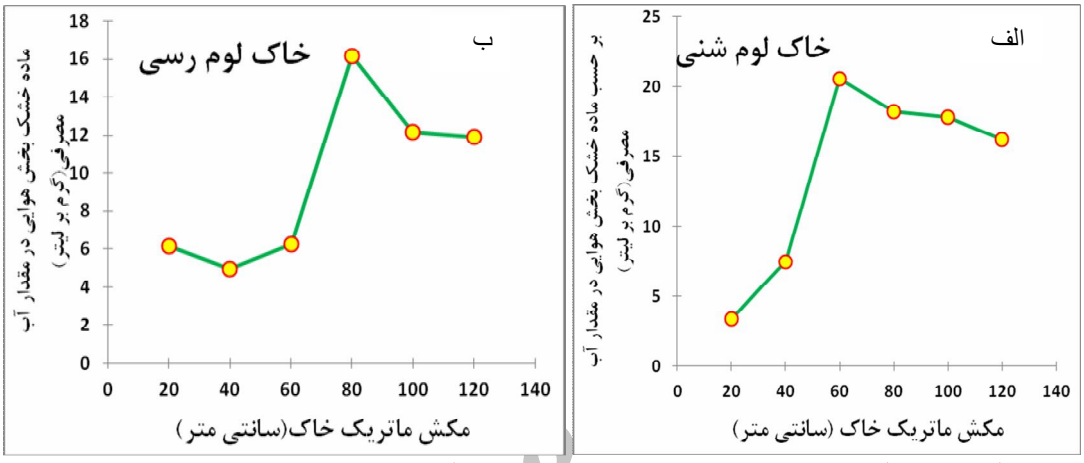
تغییرات عملکرد محصول گیاه ذرت با مکش ماتریک خاک در خاک لوم رسی(شکل 4-ب) مشابه خاک لوم شنی می باشد با این تفاوت که بیشترین عملکرد در خاک لوم رسی در مکش ماتریک 80 سانتی متر بوده و برابر با 309/21 گرم در هر گلدان بدست آمد. در واقع خاکهای درشت بافت نسبت به خاکهای ریز بافت در مکش های بالاتر مقدار آب کمتری را در خود حفظ می کنند در نتیجه بیشترین عملکرد محصول ذرت در خاک لوم شنی در مکش پایین‌تری نسبت به خاک لوم رسی دیده می شود. همچنین به طور کلی در خاک لوم رسی میزان عملکرد گیاه ذرت در تمامی مکش‌های ماتریک یکسان بیشتر از خاک لوم شنی می‌باشد. که بخشی از این امر می‌تواند به دلیل وجود تخلخل کل بیشتر در خاک لوم رسی باشد.

شکل4- عملکرد محصول گیاه ذرت بر حسب گرم ماده خشک بخش هوایی در هر گلدان در خاک لوم شنی(الف) و لوم رسی(ب) به عنوان تابعی از مکش ماتریک خاک

www.SID.ir

## مقایسه کارایی مصرف آب گیاه ذرت در دو نوع بافت لوم شنی و لوم رسی

شکل 5-الف نشان می‌دهد که در خاک لوم شنی بیشترین کارایی مصرف آب (WUE) در مکش ماتریک 60 سانتی متر اتفاق افتاده است که برابر با 20/5گرم ماده خشک در لیتر آب مصرفی می باشد. در واقع از مکش ماتریک 60 سانتی متری به طرف مکش 20 سانتیمتر میزان WUE کاهش پیدا می کند. از مکش 60 تا 40 سانتی متر افت ناگهانی WUE دیده می شود واز مکش 60 به سمت مکش 120 سانتی متر کاهش WUE کمتر شده و تقریبا به یک مقدار ثابت می‌رسد.




شکل 5- کار آیی مصرف آب گیاه ذرت بر حسب ماده خشک بر هر لیتر آب مصرفی روزانه در خاک لوم شنی(الف) و لوم رسی(ب) به عنوان تابعی از مکش ماتریک خاک

شکل 5-ب نشان می‌دهد که در خاک لوم رسی، با افزایش مکش خاک از 20 تا 80 سانتی متر همواره مقدار کارایی مصرف آب (WUE) افزایش می یابد و در مکش 80 سانتی متر به حداکثر مقدار، که برابر با 16/2 گرم ماده خشک در هر لیتر آب مصرفی می‌باشد، می رسد. از مکش 80 به سمت مکش 120 سانتی متر میزان WUE اندکی کاهش یافته و می توان تغییرات آن را تقریبا ثابت در نظر گرفت. با توجه به شکل 5 در خاک لوم شنی مکش ماتریک 60 سانتی متر و در خاک لوم رسی مکش ماتریک 80 سانتی متر را می توان به عنوان حد بالایی LLWR در گیاه ذرت پیشنهاد نمود، چرا که در این نقاط بیشترین عملکرد گیاه ذرت به ازای واحد مصرف آب دیده می‌شود. در دو شکل 5-الف و ب افت ناگهانی WUEدر مکش های ماتریک 40 و 60 سانتی متر می‌تواند به دلیل کمبود تخلخل تهویه ای در مکش های ماتریک پایین و نبود زهکشی مناسب و ماندآبی شدن گیاه باشد. براملی و همکاران(2007) نشان دادند که برای بسیاری از گیاهان، کاهش جذب آب به دلیل کمبود اکسیژن معمولا در 24 ساعت اولیه غرقابی شدن گیاه دیده می‌شود. این کاهش همچنین در مکش های 20سانتی متر در خاک لوم شنی(شکل 5-الف) و مکش های 40 و 20 سانتی متر در خاک لوم رسی (شکل 5-ب)دیده می شود. مکش 20 سانتی متر در شکل 5-ب کاهش کمتری نسبت به مکش 40 سانتی متر نشان می دهد که احتمالا به دلیل تبخیر و تعرق کم و تخلخل تهویه ای بیشتر در مکش 20 سانتی متر در خاک لوم رسی می‌باشد. در بسیاری از گونه‌های گیاهان مقاوم به تهویه نیز کاهش زیست توده در شرایط اشباع رطوبتی خاک دیده شده است (پزشکی1994 ،کلودز

Archive

www.SID.ir

و دلان 1994، کلودز و دلان 1995). رطوبت نظیر مکش های ماتریک 60 و 80 سانتی متر با استفاده از منحنی رطوبتی (شکل2)تعیین شد. رطوبت حجمی ($\theta_V$) مربوط به مکش ماتریک60 سانتی متر برای خاک لوم شنی 0/47 و برای خاک لوم رسی در مکش ماتریک 80 سانتی متر 0/52 به دست آمد. بر اساس نتایج محققین مکش ماتریک متناظر با حد بالایی آب قابل دسترس گیاه (AW) در طول سالیان متمادی از مکش ماتریک 330 سانتیمتر (ویهمیر و هندریکسون 1931) به 100 سانتیمتر (داسیلوا و همکاران 1994) به 50 سانتیمتر (وایت 1997) و حتی به 5 سانتیمتر (ژوری و همکاران 1991) تغییر کرده است. رطوبت حجمی متناظر با مکش ماتریک 330 سانتیمتر که با $\theta_{up\text{-}suc}$ نشان داده می‌شود (لیزلی و فرانزینی 1972) وهمچنین برای مکش ماتریک 100 سانتیمتر و مکش ماتریک 50 سانتیمتر که با $\theta_{up\text{-}Nac}$ نشان داده می شود (نقبی 1998) و5 سانتیمتر در جدول4 برای هر دو نوع خاک لوم شنی و لوم رسی آمده است.

جدول 4–رطوبت حجمی ($\theta_V$) و تخلخل تهویه ای ($\theta_e$) متناظر با آن در دو خاک لوم رسی و لوم شنی به عنوان تابعی از مکش ماتریک خاک. درون یابی اعداد با استفاده از معادله ونگنوختن (رابطه 3) انجام شده است.

| مکش ماتریک خاک (سانتی متر آب) | لوم شنی | | لوم رسی | |
|---|---|---|---|---|
| | $\theta_V$ | $\theta_e$ | $\theta_V$ | $\theta_e$ |
| **0** | 0/51 | 0/00 | 0/58 | 0/00 |
| **5** | 0/49 | 0/02 | 0/58 | 0/00 |
| **20** | 0/48 | 0/03 | 0/57 | 0/01 |
| **40** | 0/48 | 0/03 | 0/55 | 0/03 |
| **50** | 0/47 | 0/04 | 0/55 | 0/03 |
| **60** | 0/47 | 0/04 | 0/54 | 0/04 |
| **80** | 0/46 | 0/05 | 0/52 | 0/06 |
| **100** | 0/46 | 0/05 | 0/51 | 0/07 |
| **120** | 0/45 | 0/06 | 0/50 | 0/08 |
| **330** | 0/41 | 0/10 | 0/42 | 0/16 |
| **15000** | 0/22 | 0/29 | 0/24 | 0/34 |

جدول4 مقادیر رطوبت حجمی و تخلخل تهویه ای متناظر با آن در دو نوع خاک لوم رسی و لوم شنی به عنوان تابعی از مکش های ماتریک مختلف را نشان می-دهد. با توجه به جدول، رطوبت حجمی اشباع برای خاک لوم شنی 0/51 و برای خاک لوم رسی 0/58 می‌باشد. به طور کلی در تمام مکش های ماتریک، خاک لوم رسی $\theta_V$ بیشتری نسبت به خاک لوم شنی دارد، که این با نتایج محمدی و همکاران(2010) که اظهار داشتند که حد بالای آب قابل جذب توسط گیاه ($\theta_{up\text{-}uni}$) خاکهای ریز بافت بزرگتر از خاکهای درشت بافت است و نیز نتایج بارتلموس و همکاران. (2008) مطابقت دارد.

**بحث**

نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین عملکرد محصول گیاه ذرت در خاک لوم شنی و لوم رسی به

Archive of SID

www.SID.ir

ترتیب در مکش‌های 60 و 80 سانتی متر( مقدار رطوبت حجمی 0/47و 0/52 ) تولید شده است و نیز حداکثر تولید محصول به ازائ واحد مقدار آب مصرف شده توسط گیاه در این مکش‌ها صورت گرفته است. مطابق این تحقیق هرچند می توان نتیجه گرفت که شروع جذب آب توسط گیاه از این مکش می‌باشد، ولی باید توجه داشت اغلب به دلیل زهکشی در مزرعه بخشی از این رطوبت از دسترس گیاه خارج می‌شود. تخلخل تهویه‌ای نظیر با مکشی ماتریکی که حداکثر عملکرد را موجب شده است، به ترتیب برابر 0/04 و0/06 برای خاک لوم شنی و لوم رسی بدست آمد. در واقع این مقادیر به عنوان رطوبت بهینه و تخلخل تهویه‌ای بحرانی $\theta_e$ برای گیاه ذرت پیشنهاد شدند. این تخلخل تهویه‌ای بحرانی تقریبا برابر با تخلخلی است که توسط بارتلموس و همکاران( 2008 ) به عنوان حدی که در آن حداکثر جذب صورت می‌گیرد در نظر گرفته شده است. آنها با استفاده از یک سری مدلهای هیدرولیکی و فیزیولوژیکی، برای خاک رسی سبک و لوم شنی تخلخل تهویه‌ای حدود 0/028 و 0/042 به ترتیب برای خاک رسی سبک و لوم شنی برآورد نمودند. این مطالعه تایید تجربی بر تخمین و مدلسازی عددی محققین مذکور می باشد. بر اساس این یافته تخلخل تهویه‌ای بحرانی عبارت است از حداقل مقداری از تخلخل تهویه‌ای که در آن مشکل تهویه‌ای برای گیاه وجود ندارد. در واقع رطوبت تخلخل تهویه ای بحرانی برای تامین آب قابل جذب برای گیاهان به نوع خاک و گیاه بستگی دارد .

رطوبت حجمی خاک لوم شنی در مکش 60 سانتیمتر برابر با 0/47 می‌باشد که این مقدار بزرگتر از محتوای رطوبتی در تخلخل تهویه ای 10%($\theta_{up-afp}$ ) (برابر0/41 ) و مکش 330 سانتیمتر ($\theta_{up-suc}$ )می‌باشد. ولی با رطوبت حجمی مکش 50 سانتیمتر ( $\theta_{up-Nac}$ ) تقریبا برابر می‌باشد، ولی بدلیل اینکه مقدار WUE مربوط به این مکش کمتر ازWUE به دست آمده در مکش 60 سانتیمتر می‌باشد بنابراین می توان نتیجه گرفت که در مکش 50 سانتیمتر نیز هدر رفت آب وجود داشته است. این نتیجه با یافته های محمدی و همکاران(2010) مطابقت دارد که حد بالای آب قابل جذب توسط گیاه را ($\theta_{up-uni}$) در خاک لوم شنی برای حد وسیعی از گیاهان بزرگتر از :$\theta_{up-suc}$ و $\theta_{up-Nac}$ و $\theta_{up-afp}$ به دست آوردند و گزارش نمودند که این سه حد رطوبتی بیانگر مناسبی از حد بالایی LLWR نمی-باشند. در خاک لوم رسی نیز رطوبت حجمی مربوط به مکش 80 سانتیمتر که برابر با 0/52 می‌باشد (جدول 4) بزرگتر از محتوای رطوبتی در تخلخل تهویه‌ای 10%( $\theta_{up-afp}$ ) (مکش 160 سانتیمتر نظیر با رطوبت 0/48 ) می‌باشد. این نتایج مغایر با نتایج به دست آمده توسط ویهمایر و هندریکسون(1931)، داسیلوا و همکاران (1994)، وایت (1997) و ژوری و همکاران(1991) است که حد بالایی آب قابل جذب توسط گیاه را به ترتیب برابر 300 ($\theta_{up-suc}$ )، 100، 50 ($\theta_{up-Nac}$ )و 5 سانتیمتر در نظر گرفتند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اگر $\theta_{up-suc}$ و $\theta_{up-Nac}$ و $\theta_{up-afp}$ به عنوان حد بالایی LLWR در مدل های برنامه ریزی آب خاک و آبیاری استفاده شود ممکن است منجر به برآورد نادرست آب قابل دسترس برای گیاه ذرت شود.با بسط نتایج حاصل به شرایط مزرعه‌ای می‌توان دور آبیاری را به صورت دقیق تر برای گیاه ذرت در خاکهای مشابه محاسبه نمود.

## منابع مورد استفاده

1. Bybordi, M.2000. Princopals of irrigation engineering.1. Soil and water relations. University of Tehran Press. 1672.pp 670.

Archive of SID

www.SID.ir

2. Aust, W M., J. A. Burger, E. A. Carter., D. P. Preston., and S. C. Patterson .1998.Visually determined soil disturbance classes used as indices of forest harvesting disturbance. South . J. Appl For 22:245-250.
3. Bartholomeus, R. P., Witte, P. J. M., van Bodegom, P. M. van Dam J. C. and Rien Aerts. R. 2008. Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: Substituting the Feddes-function by a process-based model. Journal of Hydrology 360:147– 165.
4. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J, 54: 464-465.
5. Bramley, H. Turner, D. W. Tyerman, S. D. and Turner, N. C. 2007. Water flow in the roots of crop species: the influence of root structure, aquaporin activity, and waterlogging. Adv Agron 96:134–196.
6. Colman, E. A. 1947. A laboratory procedure for determining the field capacity of soils. Soil Sci. 63:277. 6.
7. da Silva, A. P., Kay, B. D. and Perfect, E. 1994. Factors influencing theleast limiting water range of soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:1775–1781.
8. Goh, T.B., Arnaud, R.J. and Mermut, A.R. 1993. Aggregate stability to water. In: Carter, M.R. (Ed.), Soil Sampling and Methods of Analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton. 177–180.
9. Hupet F, Lambot S ., Feddes R.A , Van Dam J.C. , Vanclooster M .2003. Estimation of root water uptake parameters by inverse modeling with soil water content data. Water Resour Res 39:1312, doi:10.1029/2003WR002046.
10. Jury, W. A., Gardner, W. R. and Gardner, W. H. 1991. Soil physics. 5th edn(John Wiley and Sons Inc.: New York)
11. Kirkham, M. B. 2005. Principles of soil and plant water relations. Elsevier, Amsterdam.
12. Kludze, H.K. and DeLaune, R.D. 1994. Methane emission and growth of Spartina patens in response to soil redox intensity. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1838–1845.
13. Kludze, H.K. and DeLaune, R.D. 1995. Straw application effects on Methane and oxygen exchange and growth in rice. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 824–830.
14. Klute, A. 1986. Water retention: Laboratory methods. In: Klute, A. (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2 nd Ed. Agron. Monog. 9.ASA/SSSA, Madison, WI. PP. 635-662.
15. Klute, A. and Dirksen, C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. In: Klute, A, (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical SSSA, Madison, WI, PP. 687-732.
16. Letey, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. Adv. Soil Sci. 1:277–294.
17. Linsley, R. K. and Franzini, L. B. 1972. Water recourses engineering. McGraw-Hill, New York.
18. Miller, E. E. and Klute, A. 1967. The dynamics of soil water. I:Mechanical forces. Irrigation of agricultural lands. In Hagan RM et al (ed). Am Soc Agron, Madison, Wisconsin.
19. Mohammadi, H. M., Asadzadeh, F. and Vanclooster, M. 2010. Refining and unifying the upper limits of the least limiting water range using soil and plant properties. Plant and soil. 334:221–234
20. DOI 10.1007/s11104-010-0377-3
21. Nachabe, M. H. 1998. Refining the definition of field capacity in the literature. J.Irrigation Drainage Eng. 124: 230–232.

Archive of SID

www.SID.ir

22. Nelson, D.W. and Sommer, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A. L. (ed.), Methods of Soil Analysis: Chemical and Microbiological Properties. ASA Monograph, 9 (2). American Society of Agronomy., Madison. 539–579.
23. Ouyang, Y. and Boersma, L. 1992. Dynamic oxygen and carbon dioxide exchange between soil and atmosphere: II. Model simulations. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1702-1710.
24. Pezeshki, S. R. 1994a. Plant responses to flooding. In: Wilkinson, R.E. (Ed.), Plant-Environment Interactions. Marcel Dekker, New York, pp. 289–321.
25. Pierce, F. J., Larson, W. E., Dowdy, R. H. and Graham, W. A. P. 1983. Productivity of soils: assessing long-term changes due to erosion. Journal of Soil and Water Conservation. 38:39-44.
26. Ponnamperuma, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron. Vol. 24.
27. Siegel-Issem, C. M., Burger, J. A., Powers, R. F., Ponder, F. and Patterson, S. C. 2005. Seedling Root Growth as a Function of Soil Density and Water Content. Soil Science Society of America Journal. 69: 215-226.
28. Schaffer, B., Andersen, P.C. and Ploetz, R.C. 1992. Responses of fruit crops to fl ooding, p. 257–313. In. J. Janick (ed.). Horticultural reviews. vol. 13. Wiley, New York.
29. Taylor, S. A., and Ashcroft, G. L. 1972. Physical Edaphology: The Physics of Irrigated and Nonirrigated Soils. W.H. Freeman: San Francisco.
30. van Genuchten, M. T. 1980. A closed-from equation for predicting the hydraulic conductivity unsaturated soils. Soil Sci. Am. J. 44: 892-898.
31. van Genuchten M Th .1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone, Research Report No 121, U.S. Salinity Lab, ARS USDA, Riverside, CA.
32. van Genuchten, M. Th., Leij F. J. and Yates S. R..1991.The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. USDA, US Salinity Laboratory, Riverside, CA.
33. van Genuchten M Th , Hoffman G J .1984. Analysis of crop salt tolerance data. In: Soil salinity under irrigation. Ecological. Studies. I. Shainberg and J. Shalhevet .Eds...Springer-Verlag. pp 258-271.
34. Veihmeyer, F. J. and Hendrickson, A. H. 1931. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. Soil Science 32:181 -193.
35. Viets, F. G. 1962. Fertilizers and the efficient use of water. Adv. Agron, 14:223-264
36. Wesseling, J. and van Wijk, W. R. 1957. Soil physical conditions in relation to drain depth. In: Luthin JN (ed) Drainage of agricultural lands. American Society of Agronomy, Madison, isconson.
37. White, R. E. 1997. Principles and practice of soil science. The soil as a natural resource. 3rd Edn(Black well Science: Carlton, Vic.)

Archive of SID

www.SID.ir