چگونگی اعمال اثر شوری بر فراهمی آب خاک برای گیاه با مدنظر قرار دادن خصوصیات گیاهی

علی عطایی[۱]، محمدرضا نیشابوری[۲]، مهدی اکبری[۳]

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز،۳- دانشیار بخش آبیاری و زه‌کشی، موسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی، استان البرز

چکیده

برای مدیریت مناسب رطوبت خاک، آگاهی از عوامل دخیل در قابل استفاده بودن آب برای گیاه ضروری است. مفاهیم جدید آب قابل استفاده گیاه مانند "LLWR[۱]" و "IWC[۲]"، علاوه بر رطوبت خاک، محدودیت‌های تهویه نامناسب، مقاومت مکانیکی خاک و حتی شوری را نیز با استفاده از توابعی مدنظر قرار می‌دهند تا میزان آب قابل استفاده در خاک را به درستی برآورد نمایند. تابع مطرح شده توسط گرانولت و همکاران (۲۰۰۴) برای اعمال اثر شوری، بدون توجه به نوع گیاه، بیشترین کاهش تئوریکی آب قابل استفاده را در نظر می‌گیرد. ازاین‌رو در این مطالعه به‌جای تابع مذکور از تابع تولید محصول نسبی مس هافمن استفاده گردید و مشاهده شد که استفاده از رابطه مس-هافمن در مقایسه با روش گرانولت و همکاران (۲۰۰۴) ضمن توجه به پاسخ گیاهی و تخفیف اثر شوری، نتیجه منطقی‌تری را به دست می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آب قابل استفاده گیاه، شوری خاک، گنجایش انباشت آب

مقدمه

فراهمی آب خاک برای گیاه مهم‌ترین محرک تولیدات گیاهی و عامل محدود کننده در نواحی خشک و نیمه خشک است. پژوهش‌های متعددی در زمینه تعیین آب قابل استفاده گیاه صورت گرفته و تعاریف گوناگونی ارائه شده است. اولین تعریف که امروزه نیز کاربردی‌ترین آن‌هاست آب قابل استفاده گیاه[۳] (PAW) را بین دو رطوبت گنجایش مزرعه‌ای[۴] و نقطه پژمردگی دائم[۵] در نظر می‌گیرد. در ادامه "دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت" به عنوان شاخصی از فراهمی آب خاک توسط داسیلوا و همکاران در سال ۱۹۹۴ معرفی شد که علاوه بر رطوبت خاک، تأثیر مقاومت مکانیکی خاک و فراهمی اکسیژن را در جذب آب و رشد گیاه نشان می‌دهد (محمدی و همکاران،۲۰۱۰؛ نیشابوری و همکاران، ۲۰۱۴). در تعریف جدید برای حد بالائی آب قابل استفاده، هر دو عامل زهکشی سریع و تهویه کافی برای ریشه گیاه به عنوان عوامل محدودکننده مد نظر قرار گرفت. برای حد پائینی نه تنها رطوبت نقطه پژمردگی بلکه مقاومت مکانیکی خاک را هم در فراهمی آب دخیل دانستند. علاوه بر عدم قطعیت در حدود بالایی و پائینی LLWR، محدودیت دیگر این روش این است که مانند PAW سهولت فراهمی آب در بین حدود بحرانی بالائی و پائینی یکسان فرض می‌شود. در حالی که خود داسیلوا و همکاران (۱۹۹۴) نیز تأیید می‌کنند که جذب آب توسط گیاهان با تغییر مکش ماتریک، مقاومت مکانیکی؛ و تهویه به صورت تدریجی تغییر می‌یابد (بتز و همکاران، ۱۹۹۸؛ گرانولت و همکاران،۲۰۰۱). این محدودیت‌ها باعث شد که گرانولت و همکاران (۲۰۰۱) مفهوم جدیدی از آب قابل استفاده را به نام گنجایش انباشته آب، ارائه نمایند که در آن پیدایش محدودیت‌های برای جذب آب توسط ریشه بین دو حد بالایی و پایینی به صورت تدریجی است. بر این اساس با افزایش مکش ماتریک خاک از رطوبت اشباع تا بی‌نهایت، فراهمی آب خاک برای گیاه به‌طور تدریجی در پاسخ به محدودیت‌های مختلف فیزیکی خاک تغییر می‌یابد. این تغییرات تدریجی برای گیاهان مختلف و در

[1] Least limiting water range
[2] Integral water capacity
[3] Plant available water
[4] Field moisture capacity
[5] Permanent wilting point

شرایط محیطی مختلف در یک خاک معین متفاوت خواهد بود. آن‌ها در این روش کل دامنه منحنی مشخصه رطوبتی از اشباع تا بی‌نهایت (که در آن عوامل مختلف بر جذب آب تأثیر می‌گذارد) را به اجزاء کوچکتر (گنجایش آب دیفرانسیلی C(h)) تقسیم کرده، سپس هر جزء را در شدت عامل محدودکننده‌ی متناظرش به صورت تابع وزنی گنجایش آب مؤثر ($\omega_i(h)$) ضرب کرده و سپس مجموع آن‌ها را در نظر گرفتند:

$$IWC = \int_0^{\infty} (\prod_{i=1}^{n} \omega_i) C(h)\, dh \qquad (۱)$$

بر اساس مفهوم فراهمی، در دامنه رطوبتی کم، جذب آب به دلیل مقاومت مکانیکی خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی و در دامنه مرطوب، به دلیل کمبود تهویه به صورت تدریجی می‌باشد. در حالی که در روش‌های LLWR و PAW توابع وزنی به صورت پله‌ای از ۰ به ۱ در قسمت مرطوب و از ۱ به ۰ در قسمت خشک است.

گرانولت و همکاران (۲۰۰۱) و همچنین عگسرزاده و همکاران (۲۰۱۰) نتیجه گرفتند که در مجموع مقدار آب قابل استفاده تعیین شده به روشIWC بیشتر از LLWR است و علت آن تغییر تدریجی جذب آب توسط ریشه با افزایش عامل محدودکننده است. اعتقاد بر این است که IWC ارتباط بهتری با پدیده‌های طبیعی دارد؛ اما دانش ما از عوامل محدودکننده آن هنوز کامل نیست و محدوده‌های توابع وزنی در IWC تا اندازه‌ای به طور دلخواه انتخاب شده‌اند. ازاین‌رو پژوهش‌های تکمیلی برای تعیین مرزها و توابع وزنی در حضور گیاه مورد نیاز می‌باشد.

حرکت آب به سمت ریشه‌های گیاه پاسخی به شیب پتانسیل اسمزی ایجاد شده در سلول‌های ریشه می‌باشد. وقتی‌که شوری خاک بالا باشد، املاح موجود در ناحیه ریشه باعث کاهش پتانسیل اسمزی خاک و کاهش شیب پتانسیل آب بین محلول خاک و سلول‌های ریشه گیاهی می‌شود. بنابراین در خاک شور، گیاه علاوه بر غلبه بر پتانسیل ماتریک باید بر پتانسیل اسمزی ناشی از املاح خاک نیز غلبه نماید و این مستلزم مصرف انرژی بیشتری توسط گیاه جهت جذب آب است . از نظر گرانولت و همکاران (۲۰۰۴) آنچه که از منظر گیاه در جذب آب مهم می‌باشد مجموع پتانسیل ماتریک و اسمزی آب خاک است، در نتیجه با کاهش پتانسیل اسمزی (شورتر شدن محلول خاک) گیاه در پتانسیل ماتریک بالاتری پژمرده می‌شود. در ضمن با کاهش رطوبت، اثر شوری بر قابلیت جذب آب توسط گیاه کاهش می‌یابد و این به دلیل افزایش نقش پتانسیل ماتریک نسبت به پتانسیل اسمزی در رطوبت‌های پایین می‌باشد. با این استناد، آن‌ها تابع وزنی اسمزی را در محاسبه IWC در خاک-های شور معرفی کردند:

$$\omega = \frac{dh_m}{dh_{om}} = \left(1 - \frac{C(h) h_{os} \theta_s}{\theta(h)^2}\right)^{-1} \qquad (۲)$$

در این رابطه $\theta(h)$ رطوبت به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک (مدل ونگنوختن یا هر مدل دیگری از منحنی رطوبتی می‌تواند باشد)، h_m، h_{os} و h_{om} به ترتیب مکش ماتریک، مکش اسمزی در رطوبت اشباع (θ_s) و مجموع مکش ماتریک و اسمزی، و C(h) مشتق رطوبت نسبت به مکش یا همان گنجایش رطوبت نقطه‌ای، است:

$$C(h) = -\frac{d\theta}{dh} \qquad (۳)$$

نانگ (۲۰۱۲) به منظور بررسی اثر شوری (هدایت الکتریکی حدود ۷ دسی‌زیمنس بر متر) بر فراهمی آب خاک، ضمن برآورد مقادیر PAW و IWC، میزان آب جذب شده توسط گیاه را از طریق بیلان آبی در شرایط مزرعه به دست آورد. مقایسه نتایج نشان داد که PAW نزدیک‌ترین برآورد را نسبت به آب جذب شده توسط چمن رادز[6] در خاک شور دارد. نانگ بیان کرد از آنجایی که این گیاه در برابر شوری مقاوم می‌باشد و شوری بیشترین ضریب اثرگذار در محاسبه IWC را دارد، این معنی را می‌دهد که اعمال اثر ضریب شوری در محاسبه IWC بایستی نادیده گرفته شود و با حذف ضریب شوری IWC به PAW میل یافت. میلانی (۱۳۹۴) شاخص‌های PAW، LLWR، IWC در تعیین فراهمی آب خاک برای درخت بادام در شوری‌های مختلف بر اساس پاسخ گیاه ارزیابی کرد. استفاده از پاسخ گیاهی بادام برای تعیین تابع وزنی محدودیت‌های جذب آب، نشان داد که گیاه عملاً آب بیشتری را نسبت به آنچه که شاخص‌های فراهمی آب برآورد می‌کنند، جذب می‌کند.

[6] Rhodes grass (*Chloris gayana* cv. Pioneer)

تابع وزنی فرضی ارائه شده در معادله ۲ ، بدون توجه به نوع گیاه، تأثیر شوری روی فراهمی آب (IWC) را اغراق‌آمیز و غیرواقعی برآورد می‌کند؛ اما با توجه به اینکه گونه‌های مختلف گیاهی توانایی متفاوتی نسبت به تحمل شوری دارند، توابع وزنی واقعی به دست آمده از عکس‌العمل گیاه می‌تواند در محاسبه کاهش گنجایش آب دیفرانسیلی به واسطه شوری و تأثیرش در فراهمی آب برای گیاه بسیار کمک کننده باشد (میلانی، ۱۳۹۴).

چیلدز و هنکس (۱۹۷۵) نتایج چندین مطالعه در ارتباط با شوری را جمع بندی کرده و نشان دادند که بین تعرق و تولید ماده خشک رابطه خطی وجود دارد. آن‌ها فرض کردند که اثر شوری بر رشد گیاهی از طریق کاهش پتانسیل اسمزی خاک، کاهش شیب پتانسیل بین ریشه گیاه و خاک و درنتیجه کاهش تعرق (و محصول) است. بنابراین اگر شوری فقط اثر اسموتیکی (کاهش فراهمی آب خاک) بر رشد گیاهی داشته باشد (اثر سمیت عناصر و بهم زدن تعادل عناصر غذائی ناچیز باشد) می‌توان تأثیر را از طریق کاهش افت محصول برآورد کرد. طبق رابطه مس و هافمن (۱۹۷۷) برای خاک‌هایی که شوری آن‌ها از حد آستانه یک گیاه مشخص بیشتر می‌شود، محصول نسبی، از رابطه زیر برآورد می‌گردد:

$$Y_r = 100 - b(EC_e - EC_T) \quad (۴)$$

در این رابطه Y_r محصول نسبی، EC_e هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (dS/m)، EC_T هدایت الکتریکی حد آستانه شوری (dS/m) و b شیب خط که بیان کننده درصد کاهش محصول به ازای واحد هدایت الکتریکی می‌باشد. مس و هافمن (۱۹۷۷) مقادیر b و EC_T را برای بسیاری از گیاهان آورده‌اند که در سایت اینترنتی فائو[۷] در دسترس عموم قرار دارد.

هدف این مطالعه بکارگیری معادله مس هافمن (۱۹۷۷) در تعیین تابع وزنی(ω) در معادله ۲ برای محاسبه IWC و مقایسه IWC محاسبه شده به روش گرانولت با روش پیشنهادی است.

مواد و روش‌ها

عسگر زاده و همکاران (۲۰۱۰) میزان IWC را با ارائه تمام اطلاعات برای ۱۲ نمونه خاک بدون در نظر گرفتن شوری محاسبه کردند. در این پژوهش ما از اطلاعات مربوط به سه خاک ۱، ۳ و ۵ که به ترتیب دارای بافت‌های رسی، لوم شنی و لوم رسی هستند استفاده می‌کنیم. اطلاعات کلی این سه خاک در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات خاک‌های مورد بررسی

شماره خاک	بافت	θs	θr	α	n	R^2	PAW	LLWR	IWC
۱	رسی	۰/۶۱۰	۰	۰/۲۲۱	۱/۱۱۶	۰/۹۸۷	۰/۱۸۶	۰/۱۸۶	۰/۲۲۳
۳	لوم شنی	۰/۵۰۳	۰	۰/۰۲۱	۱/۴۰۷	۰/۹۸۹	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳	۰/۲۶۴
۵	لوم رسی	۰/۵۶۹	۰/۱۶۶	۰/۰۲۹	۱/۳۰۸	۰/۹۸۹	۰/۲۱۳	۰/۱۹۹	۰/۱۸۹

برای این خاک‌ها ۵ سطح شوری ۰، ۱، ۲، ۴ و ۵ دسی زیمنس بر متر برای سه گیاه بادام (گیاه حساس به شوری)، یونجه (نسبتا مقاوم) و جو (گیاه مقاوم به شوری) فرض شده و میزان IWC با استفاده از روش گرانولت و همکاران (۲۰۰۴) و ضریب مس- هافمن (روش پیشنهادی) محاسبه می‌گردد.

[7] http://www.fao.org/docrep/005/y4263e/y4263e0e.htm

نتایج و بحث

نتایج محاسبه فراهمی آب خاک برای گیاه از نقطه نظر IWC و با اعمال شوری از طریق رابطه گرانولت و همکاران (۲۰۰۴) در جدول ۲ آمده است. همانگونه که قبلا نیز بیان گردید در این روش به نوع گیاه توجهی نمی‌شود و اثر شوری بر فراهمی آب تنها تابعی از خصوصیات خاک می‌باشد. مهم‌ترین خصوصیت مدنظر در کاهش IWC درنتیجه شوری، رطوبت اشباع و توزیع اندازه منافذ (همان منحنی رطوبتی) می‌باشد (رابطه ۲).

جدول ۲- IWC در سه کلاس بافتی با روش گرانولت و همکاران (۲۰۰۴)

شماره خاک	کلاس بافتی		شوری خاک (هدایت الکتریکی؛ dS/m)				
			۰	۱	۲	۴	۵
۱	رسی	IWC	۰/۲۲۴	۰/۱۸۲	۰/۱۶۱۱	۰/۱۳۷	۰/۱۲۸۸
		درصد کاهش	۰	٪۱۸,۷	٪۲۸,۱	٪۳۸,۸	٪۴۲,۴
۳	لوم شنی	IWC	۰/۲۶۸۵	۰/۱۸۱۵	۰/۱۴۴۷	۰/۱۰۷۸	۰/۰۹۶۷
		درصد کاهش	۰	٪۳۲,۴	٪۴۶,۱	٪۵۹,۸	٪۶۴
۵	لوم رسی	IWC	۰/۱۸۹	۰/۱۵۶۴	۰/۱۳۶۹	۰/۱۱۳۱	۰/۱۰۵۰
		درصد کاهش	۰	٪۱۷,۲	٪۲۷,۶	٪۴۰,۲	٪۴۴,۴

نتایج نیز نشان می‌دهد که خاک شنی که رطوبت اشباع پایینی دارد، نسبت به افزایش شوری حساسیت بالایی داشته و در شوری برابر با خاک رسی، مقدار آب بیشتری را از دسترس گیاه خارج می‌سازد. در این روش، روند کاهش فراهمی آب بسیار شدید می‌باشد به طوری که در شوری ۱dS/m پیش بینی می‌گردد که حدود ۱۷ تا بیش از ۳۰٪ از آب قابل استفاده گیاهی به دلیل حضور املاح محدود گردد و در شوری ۵dS/m این میزان حتی به بیش از ۵۰٪ می‌رسد.

کاهش میزان فراهمی آب خاک درنتیجه شوری که در ارتباط مستقیم با میزان کاهش محصول تولید شده است، با استفاده از جداول مس- هافمن برای سه گیاه در سطوح شوری بیان شده محاسبه گردید (جدول ۳). مشاهده می‌شود که در شوری برابر ۱dS/m کاهش فراهمی آب خاک برای هیچ گیاهی مشاهده نمی‌شود. برای گیاه بادام آستانه تحمل شوری برابر با ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و شیب کاهش ۱۹٪ می‌باشد. پس اولین کاهش در میزان IWC بعد از EC=1.5dS/m مشاهده می شود، اما با افزایش شوری فراهمی آب به‌شدت کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که در شوری ۵ تنها ۳۳ درصد از کل آب قابل استفاده در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. ولی درروش گرانولت بسته به خصوصیات خاکی این رقم بین ۳۶ تا ۵۵ درصد در تغییر است. برای گیاه مقاوم‌تر یونجه کاهش فراهمی آب از شوری ۲ دسی زیمنس آغاز شده و با شیب کاهشی ۷/۳٪ تغییر می‌یابد. به همین دلیل در شوری ۵، IWC تنها ۲۲٪ افت می‌یابد. برای گیاه مقاوم جو که آستانه تحمل آن ۸ دسی زیمنس بر متر می-باشد، تا شوری ۵ هیچ کاهشی در میزان آب قابل استفاده خاک رخ نمی‌دهد و یا به عبارت دیگر پتانسیل اسمزی تاثیری در جذب آب توسط گیاه نخواهد داشت.

جدول ۳- نتایج IWC برای دو گیاه بادام و یونجه در سه کلاس بافتی و ۵ سطح شوری

شماره خاک	کلاس بافتی		درخت بادام					گیاه یونجه			
			شوری خاک (dS/m)					شوری خاک (dS/m)			
			۰	۱	۲	۴	۵	۱	۲	۴	۵
۱	رسی	IWC	۰/۲۲۴	۰/۲۲۴	۰/۲۰۳	۰/۱۱۷۸	۰/۰۷۵۲	۰/۲۲۴	۰/۲۲۴	۰/۱۹۱	۰/۱۷۵
		٪ کاهش	۰	۰	٪۹/۵	٪۴۷/۵	٪۶۶/۵	۰	۰	٪۱۴/۶	٪۲۱/۹
۳	لوم شنی	IWC	۰/۲۶۸۵	۰/۲۶۸۵	۰/۲۵۹	۰/۱۵۰	۰/۰۹۶	۰/۲۶۸۵	۰/۲۶۸۵	۰/۲۴۵	۰/۲۲۴
		٪ کاهش	۰	۰	٪۹/۵	٪۴۷/۵	٪۶۶/۵	۰	۰	٪۱۴/۶	٪۲۱/۹
۵	لوم رسی	IWC	۰/۱۸۹	۰/۱۸۹	۰/۱۷۱	۰/۰۹۹	۰/۰۶۳	۰/۱۸۹	۰/۱۸۹	۰/۱۶۱	۰/۱۴۸
		٪ کاهش	۰	۰	٪۹/۵	٪۴۷/۵	٪۶۶/۵	۰	۰	٪۱۴/۶	٪۲۱/۹

با مقایسه نتایج به دست آمده از محاسبات مشاهده می‌شود گرانولت و همکاران (۲۰۰۴) اثر اسمزی را در شدیدترین حالت ممکن و برای حساس‌ترین گیاه به دست آورده‌اند و بنابراین لازم است که برای گیاهان مقاوم به شوری روابط بهتری توسعه یابند. استفاده از روش پیشنهادی ضمن اینکه به صورت منطقی اثر شوری بر فراهمی آب را اعمال می‌نماید، از خصوصیات خود گیاه منشا گرفته است، اما با این حال لازم است که برای بررسی صحت این روش آزمایشات مزرعه‌ای در گیاهان مختلف صورت گیرد.

منابع

میلانی، ا.ع. ۱۳۹۴. ارزیابی شاخص‌های LLWR و IWC در سطوح مختلف شوری خاک با استفاده از سرعت صعود شیره آوندی در درخت بادام. رساله دکتری، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.

Asgarzadeh, H., M.R. Mosaddeghi, A.A. Mahboubi, A. Nosrati and A.R. Dexter. 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.

Betz, C., R. Allmaras, S. Copeland and G. Randall. 1998. Least limiting water range: traffic and long-term tillage influences in a Webster soil. Soil Science Society of America Journal, 62: 1384-1393.

Childs, S., Hanks, R., 1975. Model of soil salinity effects on crop growth. Soil Science Society of America Journal, 39, 617-622.

Da Silva A.P., Kay B.D., and Perfect E. 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. Soil Science Society of America Journal, 58:1775–1781.

Groenevelt, P., C. Grant and R. Murray. 2004. On water availability in saline soils. Soil Research, 42: 833-840.

Groenevelt, P., C. Grant and S. Semetsa. 2001. A new procedure to determine soil water availability. Soil Research, 39: 577-598.

Maas, E.V ,.Hoffman, G.J., 1977. Crop salt tolerance-current assessment. Journal of the irrigation and drainage division, 103, 115-134.

Mohammadi, M.H., F. Asadzadeh and M. Vanclooster. 2010. Refining and unifying the upper limits of the least limiting water range using soil and plant properties. Plant and Soil, 334: 221-234.

Nang, N.D. 2012. Plant availability of water in soils being reclaimed from the saline-sodic state. PhD Thesis. The University of Adelaide. Australia.

Neyshabouri, M.R., Z. Kazemi, S. Oustan and M. Moghaddam. 2014. PTFs for predicting LLWR from various soil attributes including cementing agents. Geoderma, 226-227: 179-187.

Imposing salinity effect on soil water availability with considering plant properties

A. Ataee[1], M. R. Neyshabouri[2], M. Akbaari[3]

1, 2-Soil Sci. Dept., Univ. of Tabriz, Tabriz, 3-Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Karaj.

Abstract

For improving soil water management it is necessary to understand how soil physical properties affect plant available water. The new concepts similar to least limiting water range (LLWR) and integral water capacity (IWC) using some weighting functions, consider any soil physical and chemical properties which restrict water extraction by plants. The weighting function introduced by Groenevelt et al. (2004) that consider soil salinity independent of plant species, developed to account largest possible reduction in soil water availability. In this way some uncertainties have been seen on results. So Suggested to use Maas and Hoffman (1977) equation that introduced for relative yield as function of soil salinity instead of Groenevelt et al. (2004) weighting function. Result shows that sever effect of Groenevelt et al (2004) weighting function, in this method, was decreased and by using plant features to estimate IWC, more logical results have been obtained.

Keywords: plant available water, soil salinity, Integral water capacity