# ارزیابی قابلیت دسترسی آب خاک با استفاده از مفهوم انرژی جمعی

فاطمه مسکینی ویشکایی[۱]، محمد حسین محمدی[۲]، محمد رضا نیشابوری[۳]، فرید شکاری[۴]
[۱] استادیار پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران، [۲] دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران،[۳] استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران،[۴] دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

## چکیده

قابلیت دسترسی آب خاک برای گیاهان، یک زمینه مطالعاتی مهم در روابط آب، خاک و گیاه است. در این مطالعه از مفهوم انرژی جمعی برای شرح مقدار انرژی مورد نیاز گیاه برای خارج کردن یک واحد آب از خاک استفاده شد. انرژی جمعی به صورت یک انتگرال معین از نقطه پژمردگی دائم تا ظرفیت مزرعه‌ای برای منحنی مشخصه آب خاک محاسبه شد. نتایج نشان داد که در هر دو خاک لوم شنی و لوم رسی، در محدوده رطوبت‌های نزدیک رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، تغییرات انرژی جمعی کم است و قابلیت دسترسی آب خاک برای گیاه در این محدوده تقریبا ثابت است. علاوه بر این، برای جذب تمام آب قابل دسترس از خاک لوم رسی نسبت به لوم شنی، به صرف انرژی بیشتری نیاز است. می‌توان بیان نمود که انرژی جمعی، اطلاعات مفیدی در مورد مقدار انرژی و در نتیجه قابلیت دسترسی آب خاک برای گیاه فراهم می‌نماید.

واژه های کلیدی: آب قابل دسترس خاک، منحنی مشخصه آب خاک، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای

## مقدمه

قابلیت دسترسی آب خاک برای گیاهان، یک زمینه مطالعاتی مهم در روابط آب، خاک و گیاه است. ویمیر و هندریکسون (۱۹۲۷) شاخص ظرفیت آب قابل دسترس (AWC) را رطوبت نگه‌داری‌شده بین رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) تعریف نمودند. این مفهوم ساده تاکنون برای بسیاری از اهداف آبیاری و کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است (Sampson and Allen, 1999; Lawes et al., 2009). تلاش‌های بعدی منجر به تقسیم شدن این محدوده به رطوبت به آسانی قابل دسترس و رطوبت به سختی قابل دسترس گردید. سپس یک نقطه بحرانی جهت جداسازی این دو رطوبت پیشنهاد گردید. به صورتیکه رطوبت خاک از ظرفیت مزرعه‌ای تا رطوبت بحرانی مورد نظر به طور یکسانی در دسترس گیاه بوده اما پس از آن قابلیت دسترسی رطوبت از نقطه بحرانی تا نقطه پژمردگی دائم دچار کاهش می‌گردد (Hillel, 1982).

ریچاردز (۱۹۲۸) بیان کرد که مفهوم قابلیت دسترسی آب خاک برای گیاه بیش از حد ساده شده است. وی اصطلاح قابلیت دسترسی را شامل دو مفهوم متمایز می‌داند: ۱) توانایی ریشه گیاه برای جذب آب در تماس با آن (ویژگی‌های ریشه) و ۲) سهولت یا سرعتی که آب خاک حرکت می‌کند تا جایگزین آب جذب شده از اطراف ریشه شود. مفهوم اول نشان‌دهنده مقدار کار موردنیاز توسط ریشه گیاه برای خارج‌کردن آب از خاک و مفهوم دوم نشان‌دهنده نقش هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک در رساندن آب به سطح ریشه می‌باشد. مقدار انرژی مورد نیاز برای جذب واحد حجم آب از خاک ممکن است شاخص مفیدی از ظرفیت آب قابل دسترس باشد. میناسنی و مک براتنی (۲۰۰۳) بیان داشتند که با وجود اینکه ظرفیت آب قابل دسترس اکثرا برای کمی کردن مقدار آب به راحتی قابل دسترس گیاه بکار برده می‌شود. ولی این مفهوم به طور مستقیم انرژی مورد نیاز برای جذب آب توسط گیاه را نشان نمی‌دهد. به همین دلیل مفهوم انرژی جمعی ($E_I$) را به عنوان معیاری از قابلیت

دسترسی آب خاک پیشنهاد کردند. انرژی جمعی، بیانگر مقدار انرژی مورد نیاز گیاه برای جذب مقدار واحد آب از خاک در محدوده آب قابل دسترس خاک می‌باشد (Minasny and MC Bratny, 2003). شای و همکاران (۲۰۱۱) کارایی ضریب $E_I$ را در خاک‌های چین بررسی کردند و نشان دادند که $E_I$ به خوبی بیان‌کننده مقدار اختلاف انرژی آب جذب شده به‌وسیله گیاه و آب خاک است. نتایج مطالعات عسگرزاده و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان داد که $E_I$ می‌تواند شاخصی از کیفیت فیزیکی خاک باشد. هدف این مطالعه، استفاده از مفهوم انرژی جمعی برای ارزیابی قابلیت دسترسی آب خاک در دو بافت خاک غالب اراضی کشاورزی استان زنجان می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

دو نمونه خاک با بافت لوم شنی (E ′۲۴ °۴۸ N ′۴۰ °۳۶ و ارتفاع ۱۶۵۱ متر) و لوم رسی (E ′۲۳ °۴۸ N ′۴۱ °۳۶ و ارتفاع ۱۵۷۶ متر) از اراضی دانشگاه زنجان تهیه گردید. در انتخاب خاک‌ها سعی گردید تا دو خاک از نظر بافت و ساختمان متفاوت بوده و در عین حال متمایل به بافت‌های متوسط و نماینده خاک‌های غالب در اراضی کشاورزی منطقه باشند. توزیع اندازه ذرات خاک‌ها، شامل ذرات شن با استفاده از الک، سیلت و رس با استفاده از هیدرومتر (Gee and Or, 2002) اندازه‌گیری شدند. به منظور تعیین منحنی مشخصه آب خاک، از نمونه‌های دست نخورده (استوانه‌های آزمایشی کوچک $cm^3$ ۱۰۰) استفاده شد. نمونه‌ها با محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ نرمال از پائین اشباع و رطوبت آنها با استفاده ازستون آب آویزان (cm ۱۰۰-۱)، دستگاه صفحات فشاری (cm ۵۰۰۰- ۱۰۰) و غشای فشاری (مکش cm ۱۵۰۰۰- ۵۰۰۰) تعیین گردید (Dane and Hopmans, 2002).

انرژی جمعی آب خاک با استفاده از رابطه (۱) به روش میناسنی و مک براتنی (۲۰۰۳) محاسبه گردید:

$$E_I[\theta_i,\theta_f]=\frac{1}{\theta_i-\theta_f}\int_{\theta_f}^{\theta_i}\psi(\theta)d(\theta) \qquad (۱)$$

$\theta_i$ و $\theta_f$ به ترتیب برابر با رطوبت خاک در مکش ماتریک معادل FC و PWP می باشند. برای FC مقدار رطوبت خاک در دو مکش ماتریک خاک معادل cm ۱۰۰ ($FC_{100}$) و cm ۳۳۰ ($FC_{330}$) در نظر گرفته شد. در نتیجه دو مقدار برای مفهوم انرژی جمعی آب خاک شامل $E_{I100}$ و $E_{I330}$ به ترتیب با استفاده از $FC_{100}$ و $FC_{330}$ محاسبه گردید.

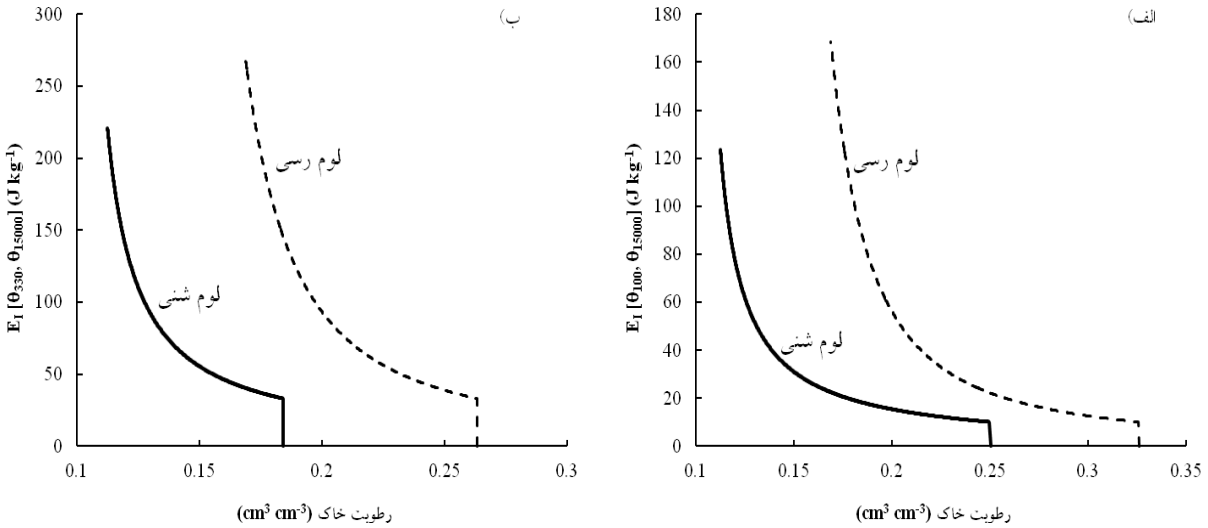
## نتایج و بحث

نتایج نشان می‌دهد که مقدار آب قابل دسترس(AWC)، حاصل تفاضل مقدار رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم) در خاک لوم رسی بیشتر از خاک لوم شنی است. با تغییر مکش معادل رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای از ۱۰۰ به cm ۳۳۰، مقدار AWC محاسبه شده در خاک لوم شنی تقریبا نصف می‌گردد (جدول ۱). در حالیکه در خاک لوم رسی کاهش کمتری در مقدار AWC مشاهده می‌شود (۴۰ درصد نسبی). علت این امر را می‌توان شیب بیشتر منحنی مشخصه آب خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم رسی در محدوده مکش ماتریک cm ۱۰۰ تا cm ۳۳۰ دانست.

جدول ۱- مقدار رطوبت خاک لوم شنی و لوم رسی در مکش‌های معادل رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم به همراه مقادیر آب قابل دسترس (AWC)محاسبه شده به روش‌های مختلف

| بافت خاک | $\theta_{FC100}$ ($cm^3\ cm^{-3}$) | $\theta_{FC330}$ ($cm^3\ cm^{-3}$) | $\theta_{PWP15000}$ ($cm^3\ cm^{-3}$) | $AWC_{100}$ ($cm^3\ cm^{-3}$) | $AWC_{330}$ ($cm^3\ cm^{-3}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| لوم شنی | ۰/۲۵۰ | ۰/۱۸٤ | ۰/۱۱۲ | ۰/۱۳۸ | ۰/۰۷۲ |
| لوم رسی | ۰/۳۲٦ | ۰/۲٦۳ | ۰/۱٦۹ | ۰/۱۵۷ | ۰/۰۹٤ |

شکل ۱ (الف و ب) تغییرات انرژی جمعی آب خاک (برآورد شده با استفاده از فرضیات مختلف) $E_I$ ، (رابطه ۱) در دو خاک لوم شنی و لوم رسی به عنوان تابعی از مکش ماتریک خاک را نشان می‌دهد. در هر دو خاک لوم شنی و لوم رسی، در محدوده رطوبت‌های نزدیک FC، تغییرات انرژی جمعی کم است و قابلیت دسترسی آب خاک برای گیاه در این محدوده تقریبا ثابت است (شکل ۱ الف و ب). در رطوبت‌های نزدیک PWP، انرژی جمعی آب خاک به شدت افزایش و قابلیت دسترسی آب خاک کاهش می‌یابد. در خاک لوم شنی در محدوده رطوبتی ۰/۱۸-۰/۲۵ $cm^3\ cm^{-3}$ و ۰/۱۶۵-۰/۱۸ $cm^3\ cm^{-3}$ به ترتیب در $\theta_{FC100}$ و $\theta_{FC330}$ قابلیت دسترسی آب خاک تقریبا ثابت است و انرژی جمعی برای جذب آب تقریبا ثابت و به ترتیب برابر با ۱۰ $J\ kg^{-1}$ و ۳۵ $J\ kg^{-1}$ می‌باشد. در محدوده‌های رطوبتی ۰/۱۲۵- ۰/۲۰ $cm^3\ cm^{-3}$ ( $\theta_{FC100}$) و ۰/۱۲۵-۰/۱۶۵ $cm^3\ cm^{-3}$ ($\theta_{FC330}$) افزایش تدریجی انرژی جمعی مشاهده می‌شود. در رطوبت‌های کمتر از ۰/۱۲۵ $cm^3\ cm^{-3}$ انرژی جمعی به شدت افزایش یافته و قابلیت دسترسی آب خاک به صورت خطی کاهش می‌یابد (شکل ۱ الف).




شکل ۱- تغییرات انرژی جمعی آب خاک (رابطه ۱) به عنوان تابعی از رطوبت حجمی خاک لوم شنی (خط توپر) و لوم رسی (خط تیره) از مکش ماتریک ۱۰۰ cm تا ۱۵۰۰۰ cm ($E_I[\theta_{100}, \theta_{15000}]$) (الف) و از مکش ۳۳۰ cm تا ۱۵۰۰۰ cm ($E_I[\theta_{330}, \theta_{15000}]$) (ب)

تغییرات انرژی جمعی با تغییر رطوبت خاک در خاک لوم رسی نیز مشابه خاک لوم شنی است (شکل ۱ ب). در خاک لوم رسی در محدوده رطوبتی ۰/۲۸-۰/۳۳ $cm^3\ cm^{-3}$ ($\theta_{FC100}$) و ۰/۲۶ $cm^3\ cm^{-3}$ – ۰/۲۴۵ ($\theta_{FC330}$) مقدار انرژی جمعی تقریبا ثابت و به ترتیب برابر با ۱۰ $J\ kg^{-1}$ و ۳۵ $J\ kg^{-1}$ به دست آمد. سپس در هر دو حالت $\theta_{FC100}$ و $\theta_{FC330}$، تا رطوبت ۰/۱۹ $cm^3\ cm^{-3}$ انرژی جمعی به صورت تدریجی افزایش می‌یابد و در رطوبت‌های کمتر از ۰/۱۹ $cm^3\ cm^{-3}$ ، انرژی جمعی به شدت افزایش می‌یابد. در رطوبت های نزدیک به رطوبت باقیمانده خاک ($\theta_r$)، شیب منحنی رطوبتی به سمت صفر میل کرده و آب خاک به سختی به ذرات خاک متصل می‌شوند. بنابراین برای خروج آب به صرف انرژی بیشتری نیاز است (Minasni and McBratney, 2003).

مقدار کل انرژی جمعی لازم برای خارج کردن آب از خاک (جذب توسط ریشه) با فرض $\theta_{FC100}$ و $\theta_{FC330}$ تا مکش ۱۵۰۰۰ cm در خاک لوم شنی به ترتیب برابر با ۱۲۳/۷ $J\ kg^{-1}$ و ۲۲۱/۱ $J\ kg^{-1}$ و در خاک لوم رسی برابر با ۱۶۸/۴ $J\ kg^{-1}$ و ۲۶۷/۹ $J\ kg^{-1}$ به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که به طور متوسط برای جذب تمام آب قابل دسترس از خاک لوم رسی نسبت به خاک لوم شنی، به صرف انرژی بیشتری نیاز است. این یافته‌ها با نتایج میناسنی و مک براتنی (۲۰۰۳) و شای و همکاران

(۲۰۱۱) مطابقت دارد. میناسنی و مک براتنی (۲۰۰۳) نیز افزایش میزان انرژی جمعی آب خاک را با افزایش درصد رس خاک گزارش نمودند.

برای حالتی که رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در مکش ماتریک ۱۰۰ سانتی‌متری در نظر گرفته شد، در هر دو بافت خاک مورد مطالعه، مقدار رطوبت خاک از مقدار $\theta_{FC100}$ تا رطوبت تقریبا ۷۰ درصد $\theta_{FC100}$ به‌راحتی قابل استفاده است (به دلیل تغییرات اندک انرژی جمعی در این محدوده از رطوبت خاک (شکل ۱ الف)). در حالیکه با فرض مکش ۳۳۰ سانتی‌متر برای رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، مقدار رطوبت به راحتی قابل دسترس در خاک لوم رسی و لوم شنی برابر با تفاضل رطوبت بین $\theta_{FC330}$ و به ترتیب ۸۹ و ۸۶ درصد $\theta_{FC330}$ خواهد بود.

استفاده از مفهوم انرژی جمعی در ارزیابی قابلیت دسترسی آب خاک موجب می شود که تنها با استفاده از منحنی مشخصه آب خاک بتوان تا حدی به چگونگی سهولت دسترسی آب خاک در محدوده‌های رطوبتی متفاوت و در بافت‌های مختلف خاک پی برد. در حالیکه روش متداول برآورد آب قابل دسترس خاک (تفاضل رطوبت ظرفیت مزرعه ای و پژمردگی دائم)، قادر به ارائه چنین اطلاعاتی در مورد قابلیت دسترسی آب خاک نمی‌باشد.

## منابع

Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., Nosrati, A. and Dexter, A.R. 2011. Integral energy of conventional available water, least limiting water range and integral water capacity for better characterization of water availability and soil physical quality. Geoderma, 166: 34-42.

Dane, J.H. and Hopmans, J.W. 2002. Pressure cell. In: Methods of Soil Analysis. Part 4, Physical Methods (ed. Dane, J. H. and Topp, G. C.) Pp. 684–688. SSSA Book Series, Soil Science Society of America, Inc, Madison, WI.

Gee, G.W. and Or, D. 2002. Particle-size analysis. In: Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods (eds. Dane, J.H. and Topp, G.C.) Pp. 255- 293. SSSA Book Series, Madison.

Hillel, D. 1982. Fundamentals of Soil Physics. Academic, New York.

Lawes, R.A., Oliver, Y.M. and Robertson, M.J. 2009. Integrating the effects of climate and plant available soil water holding capacity on wheat yield. Field Crops Research, 113(3): 297-305.

Minasny, B. and McBratney, A.B. 2003. Integral energy as a measure of soil–water availability. Plant Soil, 249: 253–262.

Richards, L.A. 1928. The usefulness of capillary potential to soil moisture and plant investigators. Journal of Agricultural Research, 37: 719–742.

Sampson, D.A. and Allen, H.L. 1999. Regional influences of soil available water-holding capacity and climate, and leaf area index on simulated loblolly pine productivity. Forest Ecological Management, 124(1): 1-12.

Shi, H., Chen, F. and Wang, H. 2011. Using the energy integral of soil water retention curve to evaluate the soil water availability. IEEE, 1632-1635.

Veihmeyer, F.J. and Hendrickson, A.H. 1927. The relation of soil moisture to cultivation and plant growth. Proc 1st International Congress Soil Science, 3: 498–513.

**Evaluating soil water availability using the concept of integral energy**

**Abstract**

Soil water availability for plants is an important field of study in soil water and plant relations. In this study, integral energy was used to describe the energy requirements of the plant to remove a unit amount of water from the soil. Integral energy was calculated as a definite integral from permanent wilting point to field capacity about soil water retention curve. The results showed that integral energy variations in the range of near field capacity moisture for both sandy and clay loam soils is slight, and hence the availability of soil water to plants is approximately constant. Moreover, more energy consumption is required to uptake all available soil water from clay loam soil rather than sandy loam soil. It can be stated that the integral energy provides useful information regarding the amount of energy and availability of water to plants.

**Keywords:** Soil Available water, Soil water retention curve, Field capacity.