



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



ارزیابی دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (LLWR) و کیفیت فیزیکی خاک در اراضی زراعی

دشت دهلران

- ساهره صفرلکی^۱، آزاده صفادوست^۲، محمود رستمی نیا^۳، سیده بهاره عظیمی^۴، سید روح اله موسوی^۵
^۱ گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. saherehsafarlaki@gmail.com
^۲ گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. safadoust@basu.ac.ir
^۳ گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. m.rostamina@ilam.ac.ir
^۴ گروه پژوهشی ارزیابی و مخاطرات محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران. azimib@rcesd.ac.ir
^۵ دانش آموخته دکتری مدیریت منابع خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. r_mousavi@ut.ac.ir

چکیده:

در این پژوهش، با هدف ارزیابی وضعیت فیزیکی خاک و تحلیل شاخص دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (LLWR)، مطالعه‌ای در اراضی کشاورزی دشت دهلران واقع در جنوب شرقی استان ایلام انجام شد. برای این منظور، نمونه‌برداری از خاک در نقاط مختلف منطقه صورت گرفت و ویژگی‌های رطوبتی نظیر رطوبت در ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم، مقاومت مکانیکی ۲ مگاپاسکال و تخلخل تهویه‌ای اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد LLWR در منطقه مورد مطالعه بین ۰/۱۸ تا ۰/۲۰۱ متغیر بوده و میانگین آن ۰/۱۳ با ضریب تغییرات ۳۵/۵۶ درصد به دست آمد. همچنین، روند تغییرات این شاخص از شمال به جنوب افزایشی بود که با سایر ویژگی‌های فیزیکی خاک نظیر تخلخل و میزان آب در دسترس همبستگی داشت. عواملی مانند شوری بالای منابع آبی، وجود گچ و آهک، و ضعف پوشش گیاهی در بخش‌هایی از منطقه، موجب کاهش کیفیت فیزیکی خاک و افزایش فرسایش شده است. بر اساس یافته‌ها، LLWR می‌تواند به عنوان شاخص مؤثر در ارزیابی مدیریت زراعی و وضعیت ساختاری خاک در مناطق نیمه‌خشک به کار رود و در بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع خاک و آب نقش مهمی ایفا کند.

واژگان کلیدی: دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت، ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم، مقاومت مکانیکی

مقدمه:

در تمامی مناطق با شرایط اقلیمی مناسب برای کشاورزی، دسترسی گیاه به آب خاک از عوامل کلیدی و اساسی در رشد بهینه آن محسوب می‌شود. ظرفیت ذخیره‌سازی آب در خاک یکی از ویژگی‌های مهم عملکردی آن است که ارتباط مستقیمی با بهره‌وری محصول دارد. یکی از شاخص‌های مهم فیزیکی برای ارزیابی کیفیت خاک، دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (LLWR) است (da Silva & Kay, 1996). مفهوم اولیه این شاخص با عنوان دامنه رطوبتی بدون محدودیت (NLWR) نخستین بار توسط Letey (۱۹۸۵) مطرح شد و سه عامل حیاتی در رشد گیاه یعنی تأمین آب، تهویه مناسب و مقاومت مکانیکی خاک را در نظر می‌گرفت.



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



با این حال، نتایج آزمایشگاهی در برخی موارد با شرایط واقعی مزرعه همخوانی نداشت، به همین دلیل *da Silva* و همکاران (۱۹۹۴) این شاخص را برای اولین بار در مزرعه بررسی کرده و اصطلاح LLWR را به کار بردند تا انعطاف پذیری محیط خاک را در برابر محدودیت‌های رشد بهتر توصیف کنند.

LLWR نشان‌دهنده بازه‌ای از رطوبت خاک است که در آن محدودیت‌های مربوط به تهویه، پتانسیل آب و مقاومت مکانیکی به حداقل می‌رسد. برای تعیین این دامنه، منحنی مشخصه رطوبتی و منحنی مقاومت مکانیکی خاک باید اندازه‌گیری شود. مرز بالایی این دامنه، مقدار کمتر از بین ظرفیت زراعی و مقدار رطوبتی معادل ۱۰ درصد تخلخل هوایی است، و مرز پایینی آن نیز بزرگ‌تر از بین نقطه پژمردگی دائم و مقدار رطوبتی متناظر با مقاومت فروری ۲ مگاپاسکال در نظر گرفته می‌شود (*da Silva et al.*, 2006). زمانی که محدودیت تهویه و مقاومت مکانیکی وجود نداشته باشد، LLWR برابر با آب قابل دسترس گیاه خواهد بود. افزایش تراکم خاک، کاهش تخلخل درشت و کاهش تهویه را به دنبال دارد که می‌تواند عملکرد گیاه را کاهش دهد (قلی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین، کاهش جذب آب و مواد غذایی، گسترش ریشه و در نهایت رشد گیاه را محدود می‌کند.

LLWR به‌عنوان شاخصی کاربردی برای ارزیابی تأثیر مدیریت‌های زراعی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مطرح است. چنانچه مدیریت انجام شده باعث حفظ یا افزایش این دامنه شود، نشان‌دهنده مدیریت مطلوب و بهبود کیفیت فیزیکی خاک خواهد بود؛ در حالی که کاهش آن، بیانگر آسیب به ساختار خاک است. (*Zou et al.*, 2000) گستردگی بیشتر LLWR نشان‌دهنده سازگاری بهتر خاک با تنش‌های محیطی و در نتیجه رشد مطلوب‌تر گیاهان است. تحقیقات پیشین نیز این موضوع را تأیید کرده‌اند؛ برای مثال، *Safadoust* و همکاران (۲۰۱۴) در مقایسه دو نوع خاک تحت کشت گندم و یونجه، نشان دادند که LLWR در خاک لوم رسی بیشتر از خاک لوم شنی بوده و مدیریت زراعی مؤثر می‌تواند محدودیت‌های ناشی از بافت خاک را تا حدی اصلاح کند. مطالعات میدانی مانند بررسی *Asgharzadeh* و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان داده‌اند که مقاومت مکانیکی اندازه‌گیری شده در شرایط مزرعه معمولاً کمتر از آزمایشگاه است که این امر به تفاوت در ابعاد مخروط نفوذسنج نسبت داده می‌شود. این گروه همچنین نرم‌افزاری برای محاسبه LLWR و سایر شاخص‌های مرتبط توسعه داده‌اند که بر اساس داده‌های مدل منحنی نگهداشت آب و مقاومت خاک عمل می‌کند.

با وجود اهمیت این شاخص، هنوز اطلاعات جامعی از LLWR در بسیاری از اراضی کشاورزی کشور وجود ندارد. این در حالی است که اراضی وسیعی در دشت دهلران، با مساحتی بیش از ۳۰۰۰ هکتار، سهم قابل توجهی در تولید محصولات استراتژیک نظیر گندم و جو دارند. در سال‌های اخیر، عملیات تسطیح اراضی، وجود سازندهای گچی و شوری بالای منابع آبی، ساختار خاک را تحت تأثیر قرار داده و اعتبار داده‌های پیشین را کاهش داده است. در چنین شرایطی، پژوهش حاضر با هدف بررسی وضعیت LLWR در این اراضی و تحلیل اثر عوامل مختلف بر آن انجام می‌شود تا گامی در جهت بهبود مدیریت فیزیکی خاک و افزایش عملکرد محصولات باشد.

مواد و روش‌ها:

منطقه مورد مطالعه در جنوب غربی ایران و در اراضی کشاورزی شهرستان دهلران واقع شده است که بین عرض‌های جغرافیایی ۳۶۰۵۰۰ تا ۳۶۱۷۰۰۰ شمالی و طول‌های ۷۰۴۰۰ تا ۷۱۲۰۰۰ شرقی قرار دارد. برای تعیین دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



(LLWR)، رطوبت خاک در چهار نقطه کلیدی شامل ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم، رطوبت معادل با مقاومت مکانیکی ۲ مگاپاسکال و رطوبت متناظر با تخلخل هوایی ۱۰ درصد اندازه‌گیری شد. حد بالایی LLWR کمترین مقدار بین ظرفیت زراعی و تخلخل تهویه‌ای و حد پایینی آن بیشترین مقدار بین نقطه پژمردگی دائم و مقاومت مکانیکی در نظر گرفته شد. مقدار LLWR از تفاضل این دو حد به دست آمد. همچنین برای مقایسه، آب قابل دسترس گیاه (AWC) نیز با استفاده از تفاوت بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم محاسبه شد. این اندازه‌گیری‌ها به منظور تحلیل تأثیر ویژگی‌های فیزیکی خاک بر تأمین آب گیاه انجام گرفت.

نتایج و بحث:

نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه نشان داد که مقدار رطوبت خاک در مکش‌های مختلف دارای دامنه تغییرات قابل توجهی است. به عنوان نمونه، در مکش معادل با نقطه پژمردگی دائم (۱۵۰۰۰ هکتوپاسکال)، رطوبت خاک بین ۶/۸ درصد تا ۱۵/۹۶ درصد متغیر بود؛ در حالی که در مکش معادل ظرفیت زراعی، این مقدار بین ۱۷/۳ درصد تا ۲۸/۲ درصد قرار گرفت. از نظر نوسانات آماری، کمترین ضریب تغییرات مربوط به رطوبت در نقطه پژمردگی با مقدار ۱۱/۴۲ درصد بود، و بیشترین آن مربوط به رطوبت در شرایط اشباع، برابر با ۱۴/۸۱ درصد به دست آمد. به طور کلی، ضریب تغییرات رطوبت در مکش‌های مختلف در دامنه متوسط قرار داشت و با افزایش مقدار مکش، ضریب تغییرات نیز افزایش یافت (جدول ۱).

جدول ۱. آمار توصیفی ویژگی‌های رطوبتی در منطقه مورد مطالعه

شاخص	تخلخل	رطوبت ظرفیت زراعی %	رطوبت نقطه پژمردگی %	تخلخل تهویه ای	رطوبت اشباع %	مقدار آب در دسترس %	دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت
میانگین	۳۲/۹۸	۲۳/۸	۱۳/۹۳	۰/۴۸	۳۷/۵	۱۴/۲	۰/۱۳
انحراف معیار	۵/۹۵	۰/۰۲۹	۱/۵۹	۰/۰۵۹	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴۶
ضریب تغییرات	۴۲/۱۱	۱۲/۱۹	۱۱/۴۲	۴۲/۶۷	۱۴/۸۱	۳۳/۰۶	۳۵/۵۶
چولگی	۰/۵۴	-۱/۵۳	-۱/۹۲	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۰۹	-۰/۱۸
کشیدگی	۰/۰۴	۴/۵۵	۵/۶	-۰/۳۷	۰/۱۶	-۰/۶۷	-۰/۷۹
مینیمم	۲۹	۱۷	۹/۲۸	۰/۳۹	۲۶/۹	۱۹/۶	۰/۰۱۸
ماکزیمم	۴۱	۲۸/۲	۱۵/۹۶	۰/۵۸	۵۱/۷	۲۱/۵	۰/۲۰۱

دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت در این پژوهش بین ۰/۰۱۸ تا ۰/۲۰۱ متغیر بود و میانگین آن ۰/۱۳ با ضریب تغییرات ۳۵/۵۶ درصد به دست آمد، که نشان‌دهنده تغییرپذیری متوسط تا زیاد آن در سطح منطقه است. مقایسه نتایج با مطالعات پیشین نیز نشان‌دهنده هم‌راستایی مقادیر به دست آمده با پژوهش‌های مشابه است؛ به طوری که Blainski و همکاران (۲۰۱۲) در خاک‌های



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



اکسیسول قرمز، LLWR را در محدوده صفر تا ۰/۱۱ گزارش کردند. Alaboz و همکاران (۲۰۲۱) نیز این دامنه را بین ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ با میانگین ۰/۱۳ و ضریب تغییرات ۳۰/۶ درصد اعلام نمودند. بنابراین، یافته‌های این پژوهش تأکید می‌کنند که LLWR می‌تواند به‌عنوان شاخص مناسبی برای ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک در اراضی دشت دهلران مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری:

نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص کیفیت فیزیکی خاک (LLWR) در منطقه مورد مطالعه از شمال به جنوب روند افزایشی دارد که با الگوی تغییرات سایر شاخص‌های مؤثر نظیر میزان ماده آلی، تخلخل و رطوبت در نقاط کلیدی همخوانی دارد. با این حال، عوامل محدودکننده‌ای همچون بالا بودن میزان گچ، آهک و شوری نسبی خاک که ناشی از استفاده مکرر از منابع آبی با کیفیت پایین در آبیاری است، سبب شده تا بخشی از اراضی زراعی منطقه رها شده و فعالیت کشاورزی به اراضی مرتعی اطراف منتقل شود. شوری سطحی خاک با کاهش پتانسیل اسمزی، دسترسی گیاه به آب را محدود کرده و بر رشد و عملکرد گیاه اثر منفی گذاشته است. همچنین، ضعف پوشش گیاهی در بخش زیادی از منطقه موجب افزایش تماس مستقیم باد با خاک و در نتیجه تشدید فرسایش بادی شده است. بر این اساس، به‌منظور حفظ یا بهبود کیفیت فیزیکی خاک و بهره‌برداری پایدار از اراضی، اجرای راهکارهای مدیریتی مناسب نظیر استفاده از آب با کیفیت بهتر، اصلاح خاک‌های شور و گچی، و تقویت پوشش گیاهی ضروری به‌نظر می‌رسد.

منابع:

- Alaboz, P., Başkan, O., & Dengiz, O. (2021). Computational intelligence applied to the least limiting water range to estimate soil water content using GIS and geostatistical approaches in alluvial lands. *Irrigation and Drainage*, 70(5), 1129-1144.
- Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M. R., Dexter, A. R., Mahboubi, A. A., & Neyshabouri, M. R. (2014). Determination of soil available water for plants: consistency between laboratory and field measurements. *Geoderma*, 226, 8-20.
- Blainski, E., Tormena, C. A., Guimarães, R. M. L., & Nanni, M. R. (2012). Influence of soil cover on the soil physical quality of an oxisol in no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 79-87.
- da Silva, A. P., & Kay, B. D. (1996). The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. *Plant and Soil*, 184, 323-329.
- da Silva, A. P., Kay, B. D., & Perfect, E. (1994). Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(6), 1775-1781.
- Letey, J. O. H. N. (1985). Relationship between soil physical properties and crop production. *Adv. Soil Sci*, 1, 277-294.
- Safadoust, A., Feizee, P., Mahboubi, A. A., Gharabaghi, B., Mosaddeghi, M. R., & Ahrens, B. (2014). Least limiting water range as affected by soil texture and cropping system. *Agricultural Water Management*, 136, 34-41.
- Zou, C., Sands, R., Buchan, G., & Hudson, I. (2000). Least limiting water range: A potential indicator of physical quality of forest soils. *Soil Research*, 38(5), 947-958.



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



Assessment of Least Limiting Water Range (LLWR) and Soil Physical Quality in Agricultural Lands of Dehloran Plain

Sahereh Safarlaki^{1✉}, Azadeh Safadoust², Mahmood Rostaminia³, Seyedeh Bahareh Azimi⁴, Seyed Roohollah Mousavi⁵

1. Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. E-mail: saherehsafarlaki@gmail.com
2. Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. E-mail: safadoust@basu.ac.ir
3. Soil and Water Department, Agriculture Faculty, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: m.rostaminia@ilam.ac.ir
4. Department of Environment, Research Group of Environmental Assessment and Risk, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Tehran, Iran. E-mail: azimib@rcesd.ac.ir



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



5. Former student of Soil Resource Management, Department of Soil Science and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resource, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: r_mousavi@ut.ac.ir

Abstract:

This study was conducted to evaluate soil physical quality and analyze the "Least Limiting Water Range" (LLWR) in the agricultural lands of the Dehloran Plain, located in the southeast of Ilam Province, southwestern Iran. Soil samples were collected from various points across the region, and key moisture-related properties—including field capacity, permanent wilting point, mechanical resistance at 2 MPa, and air-filled porosity—were measured. The results showed that LLWR in the study area ranged from 0.018 to 0.201, with a mean value of 0.13 and a coefficient of variation of 35.56%. The spatial trend of LLWR increased from north to south, which correlated with other physical properties such as porosity and plant-available water. Factors such as high-water salinity, the presence of gypsum and lime, and poor vegetation cover in parts of the region have led to reduced soil quality and increased wind erosion. Based on the findings, LLWR proves to be an effective indicator for assessing soil structural conditions and agricultural management practices in semi-arid areas and plays a crucial role in optimizing the use of soil and water resources.

Keywords: Least Limiting Water Range, Field capacity, permanent wilting point, Mechanical resistance