

تأثیر سطوح مختلف سوپر جاذب A300 روی برخی خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک سیلتی لوم

کبری خیری شلمزاری^{۱*} و سعید برومندنسب^۲

* - دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۵

چکیده

ذخیره‌سازی مداوم آب به خاطر افزایش نیاز آبی برای جمعیت در حال رشد در نواحی خشک و نیمه خشک مانند ایران که خشکسالی‌هایی پی در پی در آن رخ می‌دهد مورد نیاز است. یکی از راهکارهای مورد توجه برای بهبود ساختمان خاک در بافت‌های سنگین و نیمه سنگین، استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب در بخش کشاورزی است. در تحقیق حاضر، تأثیر استفاده از سوپر جاذب A300 بر ضریب آبگذری اشباع، میزان رطوبت قابل استفاده، تخلخل کل و منحنی مشخصه رطوبتی خاک در خاک سیلتی لوم مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل آماری پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار سطح (صفر، ۰.۱، ۰.۲ و ۰.۳ گرم در کیلوگرم خاک) سوپر جاذب در سه تکرار در دانشگاه شهید چمران، انجام شد. نتایج حاکی از افزایش ۱/۶۸ برابری ضریب آبگذری اشباع خاک در سطح ۰.۳ درصد وزنی نسبت به تیمار شاهد بود. افزایش تخلخل کل به ترتیب برای تیمارهای ۰.۱، ۰.۲ و ۰.۳ درصد وزنی نسبت به شاهد برابر ۸۰۳، ۹۷۶ و ۲۲۱۱ درصد بود. با بررسی شاخص‌های آماری در مدل‌های کاربردی نرم افزار RETC، مدل ون گنوختن ($m=1-1/n$) بهترین شبیه سازی برای مقادیر رطوبتی آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده توسط مدل را نشان داد.

کلید واژه ها: پلیمر سوپر جاذب، تخلخل، ضریب آبگذری اشباع، میزان رطوبت قابل استفاده، منحنی مشخصه رطوبتی خاک.

The Effect of Different Levels of Superabsorbent A300 in Some Physics and Hydraulic Properties of a Silty Loam Soil

K. Kheiri Shalamzari¹ and S. Broomandnasab²

1- Postgraduate Student of Irrigation and Drainage, Water Sciences and Engineering Faculty, Shahid Chamran University

2- Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran

Received: 26 June 2012

Accepted: 16 Nov 2012

Abstract

The need for water storage is steadily growing because of increasing water demands due to growing population in arid and semiarid areas such as Iran where droughts occur in succession. The use of superabsorbent polymer materials in agriculture is one of the considered approaches to improve the soil structure in semi- heavy and heavy soils. In this study, the use of superabsorbent A300 and its effects on saturated hydraulic conductivity, available water content, porosity and moisture characteristic curve was evaluated in silty loam soil. A completely randomized design with four levels (zero, 1, 2, 3 g/kg soil) and three treatments was used for statistical analysis in research field of Shahid Chamran University. The results show that increase 1.68 saturated hydraulic conductivity soil in 0.3 weight percent to the control. The increase of porosity for treatments 0.1, 0.2 and 0.3 weight percent of controls versus 8.03, 9.76 and 22.11 respectively. Statistical indicators applied in RETC software shows the Van Genuchten model ($m=1-1/n$) has the best simulation accuracy by comparing the observed and predicted soil moisture values.

Keywords: Polymer superabsorbent , Porosity , Saturated hydraulic conductivity , Available water , Soil moisture retention curve.

مقدمه

در کشور ایران اقلیم خشک و نیمه خشک اغلب مناطق را تحت تاثیر قرار داده و خشکسالی‌های اخیر نیز بر مشکل کم‌آبی افزوده است. ایران سرزمین کم آب و خشک است (میانگین بارش سالانه ۲۴۹ میلی‌متر)، میزان کل آب مصرفی سالیانه ایران در بخش شرب، صنعت و کشاورزی، حدود ۸۶/۵ میلیارد متر مکعب است. از این مقدار حدود ۸۰ میلیارد مترمکعب (یعنی بیش از ۹۰ درصد) آن در بخش کشاورزی استفاده می‌شود که ۶۵ درصد این مقدار (یعنی بیش از ۵۰ میلیارد متر مکعب)، به علت شیوه‌های غلط آبیاری هدر می‌رود. از طرفی وقوع بارندگی‌های پراکنده و رگباری که موجب جریان‌های سطحی زیادی می‌شود و هدر رفت زیاد آب را به همراه دارد، توجه به مدیریت صحیح آب و خاک را روشن می‌کند (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۴). یکی از راهکارهای استفاده بهینه از منابع آب و حفظ آن، استفاده از مواد جاذب رطوبت سنتزی یا پلیمرهای ابرجاذب است. پلیمرهای سوپر جاذب، ژل‌های پلیمری آبدوست یا هیدروژل‌هایی هستند که می‌توانند مقدار زیادی آب را جذب کنند. پس از عمل جذب و در اثر خشک شدن محیط، آب داخل پلیمر به تدریج تخلیه می‌شود و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد، مرطوب می‌ماند. از دید عملی، ماده‌ای که قابلیت جذب حداقل ۲۰ برابر وزن خود را دارا باشد به عنوان یک سوپر جاذب ارزیابی می‌شود. میزان جذب آب این پلیمرها بسته به فرمولاسیون، ناخالصی‌ها و میزان نمک موجود، از مقادیر بسیار پایین حدود ۲۰ برابر وزنی تا بالاتر از ۲۰۰۰ برابر وزنی متغیر است (عسگری و همکاران، ۱۳۷۳). سوپر جاذب‌ها در اثر جذب آب، متورم می‌شوند و پس از تبخیر تدریجی آب، به حالت اولیه خود باز می‌گردند. بر خلاف مواد اسفنجی که جذب آب در آن‌ها فیزیکی است، جذب آب در هیدروژل‌ها به صورت شیمیایی صورت می‌گیرد، به همین دلیل، حتی تحت فشار هم آب را به مدت طولانی‌تری حفظ می‌کنند. با مخلوط کردن این مواد با خاک، آب آبیاری به سرعت جذب شده و از هرز آب جلوگیری می‌شود. آب جذب شده به مرور زمان و با سرعتی کاملاً کنترل شده، به محیط خشک اطراف نفوذ می‌کند، در نتیجه خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد مرطوب می‌ماند (ظهوریان مهر، ۱۳۸۵). در تحقیقی سیددراجی و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند کاربرد سوپر جاذب A200 باعث افزایش میزان آب قابل استفاده گیاه در خاک‌شنی با تغییر توزیع اندازه حفرات خاک و کاهش تبخیر فیزیکی گردید، اما در خاک رسی به واسطه ظرفیت تبادل کاتیونی بالای خاک، کاتیون‌های تبدلی با مولکول‌های آب برای برقراری پیوند آزاد در شبکه پلیمر رقابت کرده و منجر به عدم اختلاف معنی‌دار تأثیر پلیمر بر آب قابل استفاده گردید، استفاده از سطوح بالای پلیمر منجر به افزایش انواع تخلخل موئین و تهویه‌ای گردید، اما با افزایش

شوری به دلیل افزایش غلظت املاح، لایه الکترونی دوگانه رس‌ها فشرده، جرم مخصوص ظاهری افزایش و متقابلاً تخلخل کاهش یافت. فلاح قوچان (۱۳۸۸) روند افزایشی تأثیر کاربرد پلیمر سوپر جاذب بر ضریب آبگذری اشباع، ظرفیت نگهداری رطوبت خاک در دو نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم را گزارش کرد، به طوری که نتایج حاکی از بهبود کاربرد سطح ۳، درصد وزنی سوپر جاذب در بافت نیمه سنگین مورد آزمایش بود. دشت بزرگ و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی اثر همزمان استفاده از سطوح سوپر جاذب و کود پوسیده گاوی را بر مقدار آب خاک مورد بررسی قرار دادند و نمودارهای منحنی رطوبتی را ترسیم کردند. نتایج تحلیل داده‌ها، حاکی از مصرف پلیمر سوپر جاذب نسبت به کود در خاک‌هایی با بافت سبک برای افزایش قابل توجهی در ظرفیت نگهداشت آب در خاک بود. بهبهانی و همکاران (۱۳۸۸) نشان دادند که کاربرد پلیمر استاکوسورب^۱ باعث بهبود برخی از خصوصیات فیزیکی خاک شده، به طوری که باعث افزایش مقادیر هدایت هیدرولیکی و رطوبت اشباع خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شد. همچنین کاربرد ۳، درصد وزنی پلیمر در خاک نسبت به سایر تیمارهای مصرف پلیمر، تأثیر چشمگیری در افزایش عمق و عرض خیس‌شدگی داشت. منتظر (۱۳۸۷) افزودن پلیمر ترکیبی به خاک را موجب افزایش زمان پیشروی و نفوذ تجمعی آب در آبیاری جویچه‌ای گزارش کرد، وی همچنین بیان کرد که این پلیمر می‌تواند وضعیت نفوذپذیری خاک را به حد قابل قبولی بهبود بخشد. مجدابو^۲ (۲۰۰۶) استفاده از نوعی پلیمر سوپر جاذب در پلات‌های خاک را بر افزایش نفوذپذیری، کاهش رواناب، کل حجم نفوذپذیری و سرعت نفوذپذیری نهائی مؤثر دانست، نتایج این تحقیق نشان داد که پلیمرهای آنیونی نسبت به پلیمرهای کاتیونی محلول، با وزن مولکولی کم و قابلیت جذب کم تر در کاهش فرسایش پذیری خاک مؤثر بود که می‌توان در مناطق ضعیف از نظر استعداد کشاورزی، از این دسته پلیمرهای یونی به منظور بهبود ساختمان خاک و افزایش تهویه و نگهداشت در خاک استفاده کرد. آماریلیس و همکاران^۳ (۲۰۱۰) با کاربرد کود و پلیمر پلی‌آکریلید برای بالا بردن رشد طبیعی گونه‌های گیاهی در خاک‌های معدنی به منظور افزایش فعالیت‌های آنزیمی، بالاترین بهبود در شرایط خاک همراه با پلیمر و کود را مشاهده کردند، بیشترین توده خشک گیاهی نیز در خاک ترکیبی کود و پلیمر حاصل شد، که این مسئله ناشی از اصلاح کیفیت خاک معدنی به دلیل افزایش کود و پلیمر بوده که رشد گیاهان را افزایش داد.

- 1- Stacosorb
- 2- Majed Abu
- 3- Amarilis et al.

مواد و روش‌ها

در این طرح از خاک مزرعه آزمایشی شماره دو دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز جهت آزمایش استفاده گردید. جهت برداشت نمونه به صورت دستی و از اعماق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک اقدام گردید. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار سطح، صفر، ۱، ۲ و ۳ گرم پلیمر در هر کیلوگرم خاک و در سه تکرار انجام شد. جهت آماده کردن خاک، پس از خشک کردن در هوای آزاد، آن‌ها را از الک دو میلی‌متری عبور داده و پس از توزین در ظرف در داری ریخته و به ازای هر کیلوگرم خاک با توجه به تیمارهای مختلف، سوپرچاد (A300) اضافه شد. ستون‌های مورد استفاده در این پژوهش، لوله‌های پلی اتیلن به قطر داخلی ۱۰/۵ سانتی‌متر و طول ۷۰ سانتی‌متر بودند. در این لوله‌ها تا ارتفاع ۵۵ سانتی‌متری مخلوط تهیه شده ریخته شد. انتهایی استوانه نیز با استفاده از پارچه و مقول سیمی کاملاً مسدود گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است. بعد از پر کردن استوانه‌ها، با در نظر گرفتن شرایط آزمایش برای کشت غالب منطقه (گندم)، ستون‌های خاک به مدت دو ماه با دور آبیاری هفت روز و به عمق پنج سانتی متر آب، آبیاری گردید. با مراجعه به کارهای تحقیقاتی انجام شده در خاک مورد آزمایش، از جمله الباجی (۱۳۸۹) درصد رطوبت در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم، عمق خاک و عمق آب مورد نیاز برای آبیاری خاک مورد آزمایش محاسبه شده است. جدول (۲) موارد فوق در اعماق متفاوت را نشان می‌دهد. بعد از پایان دو ماه آبیاری با عمق مورد نظر، سه روز پس از اتمام آخرین آبیاری ستون‌های خاک که در حالت نسبتاً اشباع قرار داشتند (به دلیل جلوگیری از به هم پاشیدن و ریختن خاک در هنگام برش) به وسیله یک اهر دستی به سه ستون ۱۵ سانتی‌متری برش داده شدند. ابتدا فاصله کف ستون تا ارتفاع پنج سانتی‌متری از کف به دلیل احتمال تخریب در خاک و ایجاد آب ماندگی در خاک به خاطر عدم زهکشی مناسب برش داده شد و حذف گردید. سپس از دو عمق ۲۰ و ۳۵ سانتی‌متری دو برش داده شد که از یک ستون خاک، سه مقطع ۱۵ سانتی‌متری به دست آمد. جمعاً ۳۶ نمونه ستون خاک تهیه گردید.

$$k = \frac{v * l}{t * \Delta H * A} \quad (1)$$

در این رابطه V: حجم آب خروجی از انتهای ستون خاک (cm³)، l: طول ستون نمونه خاک (cm)، t: مدت زمان آزمایش در هر تکرار (hr)، A: سطح مقطع نمونه خاک (cm²) و ΔH : ارتفاع آب روی ستون خاک (cm) است.

به منظور محاسبه میزان آب قابل استفاده، وزن نمونه مرطوب قبل و بعد از اعمال فشار توسط صفحات فشاری به ترتیب در فشار ۳۳، و ۱۵ اتمسفر اندازه‌گیری شد و از رابطه (۲) درصد رطوبت وزنی در دو نقطه ظرفیت مزرعه و پژمردگی دائم محاسبه شد. از کسر رطوبت در دو نقطه رطوبتی، درصد وزنی میزان آب قابل استفاده در تیمار شاهد و سطوح کاربرد سوپرچاد به دست آمد.

$$\theta_m = \left(\frac{w_1 - w_2}{w_2} \right) * 100 \quad (2)$$

در رابطه بالا w_1 ، w_2 و θ_m : به ترتیب وزن خاک مرطوب و وزن خاک خشک بر حسب گرم و رطوبت وزنی بر حسب درصد است.

برای محاسبه تخلخل از سیلندر با حجم ثابت استفاده گردید. از رابطه زیر تخلخل قابل محاسبه می‌باشد:

$$\eta = \left(\frac{V_f}{V_t} \right) = \left(\frac{V_a + V_w}{V_a + V_s + V_w} \right) \quad (3)$$

که در رابطه بالا η ، V_a ، V_w ، V_s و V_t : به ترتیب مقدار تخلخل کل بر حسب درصد، حجم هوای موجود در نمونه، حجم آب موجود در نمونه، حجم ذرات جامد و حجم کل نمونه بر حسب سانتی‌متر مکعب است.

جدول ۱- مشخصات خاک مزرعه شماره دو دانشکده مهندسی علوم آب

جرم مخصوص ظاهری	تخلخل (%)	اسیدینه (%)	هدایت الکتریکی $\frac{ds}{(m)}$	عمق (cm)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک
۱/۵۴	۴۲	۷/۶۵	۱۳/۱۴	۳۰-۰	۴۲	۳۱	۲۷	سیلتی لوم

جدول ۲- عمق آب آبیاری در اعماق مختلف برای خاک مزرعه مورد استفاده

عمق خاک (cm)	رطوبت در نقطه		رطوبت در نقطه پژمردگی	
	ظرفیت زراعی (%)	دائم (%)	عمق آب (cm)	عمق ریشه (cm)
۰-۲۸	۱۷/۸	۸/۲	۵/۲	۵۵
۲۸-۴۹	۱۷/۴	۸/۶	۴/۸	۵۵
۴۹-۸۳	۱۹/۶	۹/۶	۵/۵	۵۵

جدول ۳- مقادیر میانگین ضریب آنگذری اشباع (cm/day) در کل ستون خاک برای درصدهای

مختلف وزنی استفاده از سوپر جاذب A300

تیمار	شاهد	۱/درصد	۲/درصد	۳/درصد
ضریب آنگذری	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
(cm/day)	۱۲/۳۸	۱۲/۸۴	۱۵/۸۸	۲۰/۸۲

در ادامه با تعیین مقادیر رطوبت حجمی برای تیمارهای کاربردی، نمونه‌هایی در مکش‌های صفر، ۳۳٪، ۱، ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ اتمسفر قرار گرفت. مقادیر آزمایشگاهی به عنوان داده‌های ورودی سه مدل نرم‌افزار RETC در نظر گرفته شد. مدل‌های مورد استفاده ون‌گنوختن با m, n متغیر (معلم)، ون‌گنوختن با m و n متغیر (بوردین) و ون‌گنوختن محدود شده ($m=1-1/n$) است که در آن n شیب منحنی رطوبتی خاک و m نقطه عطف است. مدل‌های مثل بروکس و کوری، ون‌گنوختن با (n, m) متغیر و وابسته معلم و بوردین در RETC استفاده می‌شوند که برای پیش‌بینی پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی خاک

پارامتر اندازه‌گیری شده است. حداقل مقدار ME صفر است. مقدار زیاد ME نشانگر کارکرد ضعیف مدل است. آماره R^2 نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد. حداقل مقدار R^2 صفر است.

نتایج و بحث

ضریب آنگذری اشباع خاک

میانگین ضریب آنگذری اشباع خاک سطوح ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد وزنی به ترتیب ۳/۶۶، ۲۸/۱۷، ۶۸/۰۸ و ۶۸/۰۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. جدول (۳)، مقادیر میانگین در ستون خاک برای تیمارها و سطوح مختلف کاربرد سوپر جاذب را نشان می‌دهد. همچنین نتایج تحلیل آماری در سطح پنج درصد برای کل تیمارها در جدول‌های (۴) و (۵) نشان داد که بین سطوح مختلف سوپر جاذب و شاهد تفاوت معنی‌دار وجود داشت. با افزایش سطح سوپر جاذب این تفاوت بیشتر شد. استفاده از آزمون LSD در سطح پنج درصد نشان داد که بین میانگین تیمارهای شاهد و ۱ درصد وزنی اختلاف معنی‌دار وجود ندارد اما بین سایر تیمارها دو به دو تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. پلیمر سوپر جاذب با ایجاد حفره و کانال‌های به هم مرتبط، باعث بهبود ساختمان خاک‌های سنگین و نیمه سنگین و افزایش اندازه خلل و فرج خاک (در حالت اشباع و نتیجتاً باعث افزایش تخلخل پر شده از آب) می‌شود. همچنین پلیمر سوپر جاذب پایه آکریلی که یک پلیمر شدیداً آب دوست است مولکول‌های آب را به جای دفع، جذب می‌کند. این پدیده، نیروی ترمودینامیکی زیادی تولید می‌کند که باعث نفوذ آب می‌شود و در نتیجه باعث افزایش سرعت جذب آب و ضریب آنگذری اشباع خاک می‌شود که با تحقیقات فلاح کوچان (۱۳۸۸)، بهبهانی و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد.

$$ME = \max |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad (۴)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (۵)$$

که در آنها P_i : مقادیر پیش‌بینی شده، O_i : مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده)، n : تعداد نمونه‌های به کار رفته و \bar{O} : مقدار متوسط

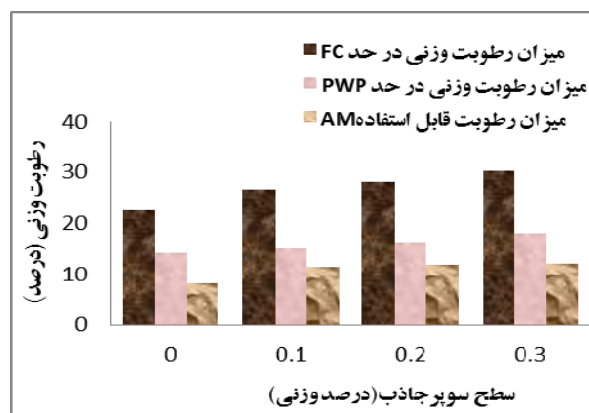
جدول ۴- نتایج تحلیل واریانس ضریب آبگذری (cm/day) اشباع در تیمارها و تکرارهای مختلف

شاخص	مجموع مجزورات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	F	سطح معنی‌داری
بین گروهی	۰/۰۴۱	۳	۰/۰۱۴	۰/۰۲۵	۰/۰۰
				۷۱	
درون گروهی	۰/۰۰۱	۳۲	۰/۰۰		
مجموع	۰/۰۴۲	۳۵			

جدول ۵- نتایج آزمون LSD برای مقایسه دو به دو ضریب آبگذری اشباع (cm/day)

تیمار	تیمار	اختلاف میانگین	سطح معنی‌داری
B_2	B_1	۰/۰۰۲۱۴	۰/۲۸۵ ^{NS}
B_3	B_1	۰/۰۳۰۶	۰/۰۰*
B_4	B_1	۰/۰۵۵	۰/۰۰*
B_3	B_2	۰/۰۲۸	۰/۰۰*
B_4	B_2	۰/۰۵۳	۰/۰۰*
B_4	B_3	۰/۰۲۴	۰/۰۰*

* و NS: به ترتیب تفاوت معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح پنج درصد



شکل ۱- مقادیر میانگین رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی (FC) و پژمردگی دائم (PWP) و رطوبت قابل استفاده (AM) برای سطوح مختلف سوپر جاذب در طول کل ستون خاک

است. افزایش رطوبت قابل استفاده گیاه در تیمارهای حاوی پلیمر نسبت به شاهد را می‌توان به ساختمان پلیمر و خواص آبدوستی آن نسبت داد. پلیمرها را بر دو نوع تقسیم کرده‌اند: گروه اول دارای ساختمان شبکه‌ای بوده و تمایل برای جذب آب در هنگام بارندگی و آبیاری داشته و در موقع خشکی با تخلیه آب، آن را در اختیار گیاه قرار می‌دهند. گروه دوم پلیمرهای غیر آبدوست بوده که تمایلی به جذب آب نداشته و ذرات خاک را به هم می‌چسبانند. در خاک مورد آزمایش ساختمان شبکه‌ای پلیمر A300 منجر به جذب و نگهداری بیشتر آب نسبت به نمونه شاهد گردید. شکل (۱)

میزان رطوبت قابل استفاده

به مقدار رطوبتی که توسط خاک بین حدود ظرفیت مزرعه تا نقطه پژمردگی دائم نگهداری می‌شود، رطوبت قابل استفاده گیاه می‌گویند. تأثیر استفاده از پلیمر در افزایش این پارامتر در جدول (۶) ارائه شده است. نتایج حاصل از تحلیل آماری در سطح پنج درصد در جدول‌های (۷) و (۸) با استفاده از آزمون LSD نشان داد که بین میانگین تیمارهای ۱/ و ۳/ درصد وزنی و تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار وجود دارد. بین میانگین سایر تیمارها، به جز تیمارهای ۱/ و ۲/ درصد وزنی، دو به دو اختلاف معنی‌دار بوده

جدول ۶- مقادیر میانگین میزان رطوبت قابل استفاده در کل ستون خاک برای درصدهای مختلف

وزنی استفاده از سوپر جاذب A300				
تیمار	شاهد	۱/درصد	۲/درصد	۳/درصد
درصد رطوبت وزنی	B_1	B_2	B_3	B_4
	۸/۲۴	۱۱/۳۳	۱۱/۸۵	۱۲/۰۵

جدول ۷- آنالیز تحلیل واریانس رطوبت قابل استفاده در تیمارها و تکرارهای مختلف

شاخص	مجموع	درجه	میانگین	F	سطح
بین گروهی	۰/۰۱۱	۳	۰/۰۰۴	۷۹/۵۵۳	۰/۰۰
درون گروهی	۰/۰۰۱	۳۲	۰/۰۰		
مجموع	۰/۰۱۲	۳۵			

جدول ۸- نتایج آزمون LSD برای مقایسه دو به دو رطوبت قابل استفاده

تیمار	تیمار	اختلاف میانگین	سطح معنی داری
B_2	B_1	۰/۰۳۱۶۷	۰/۰۰*
B_3	B_1	۰/۰۳۲۹	۰/۰۰*
B_4	B_1	۰/۰۴۶	۰/۰۰*
B_3	B_2	۰/۰۰۱۲	۰/۶۹۲ ^{ns}
B_4	B_2	۰/۰۱۵	۰/۰۰*
B_4	B_3	۰/۰۱۳	۰/۰۰*

* و ns: به ترتیب تفاوت معنی دار و غیر معنی دار در سطح پنج درصد

ب) آزمون LSD نشان داد که بین تیمارهای ۲/، ۳/ و تیمار شاهد، در سطح پنج درصد، اختلاف معنی دار وجود دارد. همچنین نتایج حاکی از عدم اختلاف بین تیمارهای ۱/، ۲/، درصد وزنی می باشد. استفاده از پلیمر دارای خصوصیات ممتازی در ایجاد تغییر در تخلخل خاک می باشد به طوری که با افزایش مقدار پلیمر تخلخل خاک نیز افزایش می یابد. تغییر در تخلخل خاک بدین دلیل است که فرآیند تورم پلیمر در حضور آب منجر به افزایش حجم خاک، کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش تخلخل کل می گردد. افزایش حجم منجر به افزایش منافذ ریزی در خاک می شود که با آب پر می شوند، بنابراین سهم هر پلیمر در افزایش تخلخل موید در مقایسه با تخلخل تهویه ای بیشتر است. نتایج به دست آمده با نتایج سید دراجی و همکاران (۱۳۸۹)، ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۴)، رجایی و رئیسی (۱۳۸۹)، مطابقت دارد.

مقادیر رطوبت وزنی در نقاط ظرفیت مزرعه، پژمردگی دائم و میزان رطوبت قابل استفاده را نشان می دهد که به وضوح بیشترین افزایش در سطح ۳/ درصد وزنی سوپر جاذب مشاهده می گردد. این افزایش با نتایج حاصل از تحقیقات پروانک بروجنی (۱۳۸۸)، رجایی و رئیسی (۱۳۸۹)، سیددراجی و همکاران (۱۳۸۹) و مجدابو (۲۰۰۶) مطابقت دارد.

تخلخل

از جدول های (۹)، (۱۰) و (۱۱) در مورد مقادیر میانگین تخلخل و تحلیل واریانس نتایج زیر به دست می آید:
الف) مقادیر میانگین تخلخل در تیمار ۱/، درصد وزنی پلیمر نسبت به شاهد ۸/۰۳، ۲/، درصد وزنی ۹/۷۶ و ۳/، درصد وزنی ۲۲/۱۱ درصد افزایش داشت. روند افزایشی تخلخل کل از مقادیر ۴۷/۲۳ درصد تا ۵۲/۸۴ درصد به ترتیب برای تیمار شاهد و ۳/ درصد وزنی به دست آمد.

جدول ۹- مقادیر میانگین تخلخل کل در کل ستون خاک برای درصد‌های مختلف وزنی استفاده از سوپر جاذب A300

تیمار	شاهد	۱/درصد	۲/درصد	۳/درصد
درصد تخلخل	B_1	B_2	B_3	B_4
	۴۳/۲۷	۴۶/۷۵	۴۷/۵	۵۲/۸۴

جدول ۱۰- آنالیز تحلیل واریانس تخلخل کل در تیمارها و تکرارهای مختلف

شاخص	مجموع	درجه	میانگین	F	سطح معنی
	مجذورات	آزادی	مجذورات		داری
بین گروهی	۰/۲۵	۳	۰/۰۰۸	۱۲/۲۴	۰/۰۰
درون گروهی	۰/۲۲	۳۲	۰/۰۰۱		
مجموع	۰/۴۷	۳۵			

جدول ۱۱- نتایج آزمون LSD برای مقایسه دو به دو تخلخل کل

تیمار	تیمار	اختلاف	سطح معنی
		میانگین	داری
B_1	B_2	۰/۰۳۴	۰/۰۰۹*
B_1	B_3	۰/۰۳۶	۰/۰۰۵*
B_1	B_4	۰/۰۷۴	۰/۰۰*
B_2	B_3	۰/۰۲۶	۰/۸۳ ^{NS}
B_2	B_4	۰/۰۴۰	۰/۰۰۳*
B_3	B_4	۰/۰۳۷	۰/۰۰۴*

• NS: به ترتیب تفاوت معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح پنج درصد

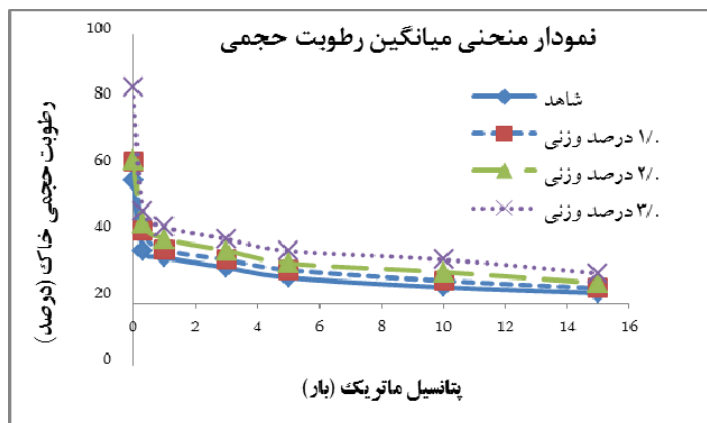
جدول ۱۲- مقادیر ضریب همبستگی و خطای نسبی برای سطوح مختلف کاربرد سوپر جاذب

مدل	تیمار ۰/۱ درصد وزنی	تیمار ۰/۲ درصد وزنی	تیمار ۰/۳ درصد وزنی
	ME	ME	ME
	R^2	R^2	R^2
ون گنوختن با m, n متغیر (معلم)	۲/۷	۱/۸۱	۲/۲۴
ون گنوختن با m, n متغیر، بردین	۱/۵۸	۱/۸۶	۲/۲
$V.G (m=1-1/n) (3)$	۰/۹۹۹۸	۱/۸۲	۲/۲۹

صفر باشد. مقدار ME (حداکثر خطا) در مدل مورد اشاره از سایر مدل‌ها کمتر بود که برآورد نزدیک بین داده‌ها را نشان می‌دهد. R^2 ضریب همبستگی است که با تقریب اعشاری، حداکثر مقدار برابر یک را در سه مدل دار است که نشان دهنده همبستگی قابل قبولی بین داده‌های شبیه سازی شده و اندازه‌گیری شده رطوبت حجمی برای مدل‌های مورد استفاده است. همچنین شکل (۲) نشان می‌دهد با توجه به خصوصیت افزایش جذب آب توسط پلیمر، مقدار رطوبت ح با افزایش سطح سوپر جاذب افزایش می‌یابد.

منحنی مشخصه رطوبتی خاک

نتایج حاصل از شاخص‌های آماری در جدول (۱۲)، حاکی از عملکرد مطلوب مدل ون گنوختن محدود شده $(m=1-1/n)$ برای سطوح مختلف سوپر جاذب بود (n شیب منحنی رطوبتی خاک و m نقطه عطف است). با افزودن مواد جاذب رطوبت در خاک مقدار n کاهش می‌یابد، زیرا در این صورت قدرت نگهداری آب در خاک بیشتر شده و سرعت از دست دادن آب کاهش می‌یابد. مقدار زیاد ME نشانگر کارکرد ضعیف مدل است و حداقل مقدار آن می‌تواند



شکل ۲- منحنی میانگین رطوبت حجمی خاک در اثر کاربرد سطوح مختلف پلیمر سوپر جاذب A300

۳- بررسی اثر پلیمر سوپر جاذب A300 بر ضریب آبگذری اشباع خاک نیمه سنگین حاکی از افزایش ۱٫۶۸ برابری ضریب آبگذری اشباع در سطح ۳٪ درصد وزنی نسبت به تیمار شاهد بود.
۴- با مقایسه شاخص‌های آماری برای مدل‌های نرم افزار RETC می‌توان گفت که با افزایش میزان سوپر جاذب به خاک دقت مدل کاهش داشت.

۵- در بین سه مدل انتخاب شده از برنامه RETC برای بررسی تأثیر افزودن مواد جاذب رطوبت بر تطبیق حداکثری مقادیر رطوبت حجمی پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار و مقادیر اندازه‌گیری شده در شرایط آزمایشگاهی، مدل ون گنوختن محدود شده ($m=1$)، l/n ، منطبق‌ترین مدل بود.

بیشترین افزایش درصد حجمی رطوبت با کاربرد ۳٪ درصد وزنی پلیمر در مکش‌های متفاوت خاک مشاهده شد به طوری که در این سطح استفاده از پلیمر در مکش ۱۵ اتمسفر، رطوبت خاک تا ۲۷ درصد افزایش داشت. این روند افزایشی در تحقیقات سیددراجی و همکاران (۱۳۸۹) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

۱- نتایج حاکی از افزایش تخلخل با افزایش سطح سوپر جاذب بود، به طوری که بیشترین مقدار تخلخل در تیمار ۳٪ درصد وزنی سوپر جاذب برابر ۵۲ درصد است که با نتایج تحقیقات گنجی خرمدل (۱۳۸۱) و فلاح قوچان (۱۳۸۹) همسویی دارد.
۲- میزان افزایش ۱۲٫۵ درصدی آب قابل استفاده برای سطح ۳٪ درصد وزنی سوپر جاذب حاکی از افزایش میزان آب قابل استفاده با افزایش سطح سوپر جاذب بود.

منابع

- ۱- ابراهیمی، س.، همایی، م. و واشقانی فراهانی، ا. ۱۳۸۴. بررسی رفتار تورمی پلیمرهای سوپر جاذب در سیکل‌های متناوب‌تر و خشک‌شدن. نهمین کنگره علوم خاک ایران. صفحه ۶۷
- ۲- الباجی، م. ۱۳۸۹. بررسی اثر روش‌های آبیاری معمولی (CI)، کم‌آبیاری تنظیم شده (RDI) و کم‌آبیاری به صورت خشکی موضعی ریشه بر بهره‌وری آب و کارایی مصرف آب آفتابگردان. پایان‌نامه دکترای آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، فصل پیوست‌ها.
- ۳- بهبهانی، س. م.، ر.، مشهدی، ر.، رحیمی خوب، ع. و م. ه. نظری فر، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر پلیمر سوپر جاذب استاکوسورب بر نیاز رطوبتی آبیاری قطره‌ای و خصوصیات فیزیکی خاک. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۳(۱): ۹۸-۱۰۰.
- ۴- پروانک بروجنی، ک. ۱۳۸۸. تأثیر هیدروژل جاذب رطوبت *super A200* بر تخلخل، توانایی نگهداری آب و هدایت هیدرولیکی خاک در شرایط مزرعه. فصلنامه علمی - پژوهشی گیاه و زیست بوم، ۱۸: ۱۱۸-۱۰۲.
- ۵- دشت‌بزرگ، ع.، صیاد، غ.، کاظمی نژاد، ا. و ق. یزدانی کچونی. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر دو ماده جاذب رطوبت بر ظرفیت نگهداری و پتانسیل آب در یک خاک شنی لومی. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.

- ۶- رجایی، ف. و ف. رئیسی، ۱۳۸۹. نقش سوپرجاذب *super A200* در تعدیل تنش‌های رطوبتی خاک و اثر آن بر پویایی نیتروژن و فعالیت‌های آنزیمی آلکالاین فسفاتاز و اوره‌آز خاک. مجله پژوهش آب ایران، ۴(۷): ۲۴-۱۳.
- ۷- سیددراجی، س.، گلچین، ا. و ش. احمدی، ۱۳۸۹. تأثیر سطوح مختلف یک پلیمر سوپرجاذب (*super A200*) و شوری خاک بر ظرفیت نگهداشت آب در سه بافت شنی، لومی و رسی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۴(۲): ۳۱۶-۳۰۶.
- ۸- ظهوریان‌مهر، م. ۱۳۸۵. سلولز و مشتقات آن. انتشارات انجمن پلیمر ایران، چاپ ۲، صفحات ۴۲-۵۳.
- ۹- عسکری، ف.، نفیسی، س.، امیدیان، ح. و س. ع. هاشمی، ۱۳۷۳. سنتز، شناسایی و اصلاح خواص ابرجاذب‌ها. سمینار بین‌المللی علوم و تکنولوژی پلیمر. صفحه ۱۲۰.
- ۱۰- فلاح قوچان، ز. ۱۳۸۸. اثر سطوح مختلف سوپرجاذب *A200* بر روی برخی خصوصیات فیزیکی خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب. دانشگاه شهید چمران اهواز، صفحه ۸۸.
- ۱۱- گنجی خرمدل، ن. ۱۳۸۱. تأثیر سوپرجاذب بر خصوصیات فیزیکی خاک. دومین دوره تخصصی - آموزشی کاربرد کشاورزی و صنعتی هیدروژل‌های سوپرجاذب. پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران. صفحه ۷۳.
- ۱۲- منتظر، ع. ا. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر پلیمر سوپرجاذب استاکوسورب بر زمان پیشروی و پارامترهای نفوذ خاک در روش آبیاری جویچه‌ای. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲): ۳۴۱-۳۵۶.

11- Amarilis, D. V., Cristian, C, Q. and Q. Guiwei, 2010. Amendment of an acid mine soil with compost and polyacrylate polymers enhances enzyymatic activities but may change the distribution of plant species. *Water, Air and Soil Pollution*, 208: 91-100.

12- Majed Abu. Z. 2006 Control of Rainfall – Induced soil erosion with various types of polyacrylamide. *Journal Soils Sediments*, 6(3):137-144.