

ارزیابی اثر کاربرد پلیمرهای ابر جاذب بر ظرفیت نگهداشت و پتانسیل آب بر سه نوع بافت خاک

Evaluating the Application of Superabsorbent Polymers on Soil Water Capacity and Potential on Three Soil Textures

جهانگیر عابدی کوپایی*، فرحناز سهراب

اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، صندوق پستی ۸۴۱۵۶

دریافت: ۸۲/۱۰/۱۴، پذیرش: ۸۳/۲/۱۵

چکیده

امروزه از جمله راهکارهای افزایش بازده آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک استفاده از مواد جاذب رطوبت است. پلیمرهای ابرجاذب می‌توانند آب حاصل از آبیاری و بارندگی را جذب کرده و از فرونشست عمقی آن جلوگیری کنند. در پژوهش حاضر، آثار متفاوت حاصل از عمل آوریهای بکارگرفته شده از دو نوع ابر جاذب سنتزی PR۲۰۰۵A و Super AB A۱۰۰ بر سه نوع بافت خاک (سبک، متوسط و سنگین) در چهار سطح استفاده (۶.۴۲ و ۸ g پلیمر در کیلوگرم خاک) بر پارامترهای منحنی مشخصه رطوبت خاک حاصل از برآزش دو مدل RETC و Rosetta و انواع تخلخل خاک بررسی شده است. نتایج حاصل از دو مدل برآزش مدل‌های برنامه RETC نسبت به مدل Rosetta برآزش بهتری نشان می‌دهند. تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که بین دو پلیمر، با هم، با نمونه شاهد و بین سطوح استفاده اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. مقدار آب در دسترس گیاه نیز در هر بافت نسبت به نمونه شاهد افزایش دارد. بطور کلی کاربرد پلیمر PR۲۰۰۵A در سطوح ۶ و ۸ g در کیلوگرم خاک، مقدار رطوبت قابل استفاده را به ترتیب ۱/۵ تا ۳/۵ برابر افزایش داده است. در افزایش انواع تخلخل اثر کاربرد پلیمرها در بافت شنی به علت درجه تورم بیشتر پلیمرها در این خاکها چشمگیرتر بود و باعث افزایش تخلخل مویین به میزان ۴ برابر نسبت به نمونه شاهد و کاهش تخلخل تهویه‌ای شد.

واژه‌های کلیدی

پلیمرهای ابرجاذب، ظرفیت نگهداشت آب در خاک، مدل منحنی مشخصه رطوبت خاک، بافت خاک، تخلخل

مقدمه

و به راحتی از دسترس خارج شده و حتی گاهی موجب بروز خساراتی نیز می‌شود. اعمال مدیریت صحیح و بکارگیری فنون پیشرفته به منظور حفظ ذخیره رطوبت خاک و افزایش ظرفیت نگهداشت آب در آن از جمله اقدامات مؤثر برای افزایش بازده آبیاری و در نتیجه بهبود

یکی از ویژگیهای اقلیمی مناطق خشک و نیمه خشک افزون بر کمبود بارندگی سالانه، نزول بارشهای با شدت نسبتاً زیاد در مدتی کوتاه است که منجر به وقوع جریانهای سطحی زیاد می‌شود. از آنجا که این جریانها بطور عمده در فصلهای غیرزراعی اتفاق می‌افتد، بدون استفاده

Key Words

superabsorbent polymers, soil water capacity, soil moisture characteristic curve model, porosity, soil texture

آزمایشگاهی بوده است. در سال ۱۳۷۸، گنجی خرم دل اثر پلیمر PR۳۰۰۵A را روی دو نوع بافت خاک، لومی و لوم شنی بررسی کرد و نتیجه گرفت که با ۰/۳ درصد پلیمر افزایش درصد وزنی رطوبت در حد ظرفیت زراعی در خاک لومی به مقدار ۴/۶ درصد و در خاک لوم شنی به مقدار ۷/۲۴ درصد است. همچنین، افزایش مقدار آب قابل استفاده گیاه در خاک لومی با ۰/۳ درصد پلیمر به مقدار ۴/۱۷ درصد و در خاک لوم شنی به مقدار ۵/۴۴ درصد است [۴]. در سال ۱۳۷۹، غیور از آثار متفاوت حاصل از ۵ نوع ماده جاذب رطوبت روی ظرفیت نگهداشت آب در بافتهای مختلف خاک نتیجه گرفت که پلیمرهای ابر جاذب، در هر مکش از منحنی مشخصه رطوبت خاک بسته به مقادیر سطح استفاده از آنها، تا چند برابر درصد حجمی رطوبت خاک را افزایش می دهند. باتوجه به رطوبت قابل دسترس، بهترین نتیجه در مورد بافت لومی و با کاربرد پلیمر PR۳۰۰۵A در سطوح استفاده ۴ و ۸ g در کیلوگرم خاک بدست آمد که مقدار رطوبت در این شرایط به ترتیب ۲ تا ۴ برابر افزایش داشته است [۵]. در سال ۱۳۸۰، خلیل پور از اثر پلیمر BT ۵۳ بر رشد و توسعه گیاه نتیجه گرفت که پلیمر یاد شده با افزایش قدرت نگهداری آب در خاک و ایجاد چسبندگی و کاهش فرسایش سطحی آن، کمک زیادی به حفظ خاک و در صدگیری گیاهان در خاکهای حساس به فرسایش می کند [۶]. در سال ۱۳۸۱ اله دادی نیز اثر پلیمر Super AB A۱۰۰ را روی رشد و کارایی گیاه ذرت علوفه ای بررسی کرد. نتایج نشان دهنده آثار مثبت مقادیر بالاتر ابر جاذب روی خواص مورد بررسی، بویژه ارتفاع بوته و تجمع ماده خشک گیاه بوده است. از طرفی، با افزایش فواصل آبیاری اثر وجود و مقادیر بیشتر پلیمر محسوس تر بنظر می رسد [۲].

در این پژوهش، اثر کاربرد دو نوع ابر جاذب PR۳۰۰۵A و Super AB A۱۰۰، روی پارامترهای منحنی مشخصه خاک حاصل از برآزش دو مدل برنامه RETC (ون گنوختن و بروکس و کوری) و Rosetta و همچنین درصد حجمی رطوبت در هر مکش از منحنی رطوبت خاک، مقدار آب قابل استفاده گیاه و انواع تخلخل خاک (تخلخل کل، تهویه ای و موئین) در سه بافت خاک (سبک، متوسط و سنگین) بررسی شد.

تجربی

مواد و روشها

مواد مصرفی شامل سه نوع بافت خاک برداشت شده از سه منطقه در اطراف اصفهان که ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاکها در جدول ۱ آمده است. پلیمرها شامل PR۳۰۰۵A ساخت شرکت فرانسوی Snf و

بهر برداری از منابع محدود آب کشور است. یکی از راهکارهای استفاده بهینه از منابع آب و حفظ آن، استفاده از مواد جاذب رطوبت سنتزی یا پلیمرهای ابر جاذب است.

پلیمرهای ابر جاذب، ژلهای پلیمری آبدوست یا هیدروژلهایی هستند که می توانند مقدار زیادی آب جذب کنند. پس از عمل جذب و در اثر خشک شدن محیط، آب داخل پلیمر بتدریج تخلیه می شود و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد، مرطوب می ماند. از دیدگاه عملی ماده ای که قابلیت جذب حداقل ۲۰ برابر وزن خود را دارا باشد به عنوان ابر جاذب ارزیابی می شود. مقدار جذب آب در این پلیمرها بسته به فرمولبندی، آب، ناخالصیها و مقدار نمک موجود، از مقادیر بسیار کم حدود ۲۰ برابر وزنی تا بالاتر از ۲۰۰۰ برابر وزنی متغیر است [۱].

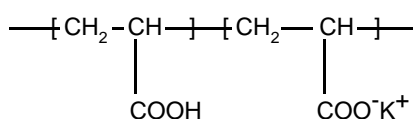
ابر جاذبها، بی بو، بی رنگ و بدون خاصیت آلایندهی در خاک، آبهای سطحی و زیرزمینی و بافتهای گیاهی هستند. این مواد از نظر بار الکتریکی دارای انواع آنیونی، کاتیونی و خنثی بوده، که نوع آنیونی آن در کشاورزی حائز اهمیت است. ابر جاذبهای آنیونی با دارا بودن ظرفیت زیاد تبادل کاتیونی قادرند علاوه بر جذب مقادیر زیاد آب، کاتیونهای مؤثر و مفید رشد گیاه را در خود جذب کرده و در موقع لزوم در اختیار گیاه قرار دهند. ذرات پلیمرهای ابر جاذب دارای چهار اندازه کوچک (۱-۰/۳ mm)، متوسط (۲-۱ mm) و بزرگ (۴-۲ mm) هستند. بجز نوع پودری آن که دارای خاصیت بقا و عمر کوتاه در خاک است، این مواد بسته به شرایط محیط حدود ۵ تا ۱۲ سال در خاک باقی مانده و به علت تغییر حجم مداوم (انقباض به هنگام تورم و انقباض به هنگام از دست دادن آب) مقدار هوا را در خاک افزایش می دهند و در نهایت بسته به نوع آن، به کمک میکروارگانیسمها در خاک تجزیه می شوند [۲، ۳].

مهمترین پلیمرهای غیر یونی مورد مصرف در کشاورزی پلی اتیلن اکسید است و از دسته آنیونی می توان پلیمرهای پایه آکرلیک را نام برد که قابلیت جذب خود را مدیون گروههای کربوکسیل موجود در پلیمر هستند. در سال ۱۳۷۳ عسگری و همکاران گزارش کرده اند، هنگامی که پلیمر در برابر اکسیژن موجود در آب که هر دو بار منفی دارند قرار می گیرد، سبب ایجاد دافعه شدید بین این گروهها می شود و در نتیجه زنجیرها فاصله بیشتری از یکدیگر گرفته و آب بیشتری را در خود جای می دهند. بدین ترتیب، پلیمر از حالت کلافی در آمده و آب محیط اطراف خود را تا چند برابر جذب می کند. وقتی محیط اطراف ماده عاری از آب شد، عکس حالت یاد شده اتفاق می افتد [۱].

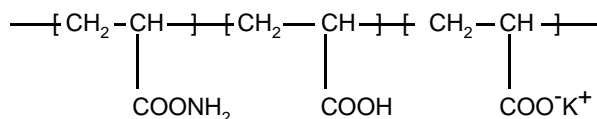
استفاده از پلیمرهای ابر جاذب در خاک، سابقه چندانی در ایران ندارد و پژوهشهای انجام شده به شکل کلاسیک و در محدوده کارهای

جدول ۱- ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاکهای منطقه.

منطقه برداشت	بافت خاک	ρ_b (g/cm ³)	pH	رسانندگی الکتریکی (dS/m)	نسبت جذب سدیم (mmol/L) ^{۱/۵}	ظرفیت تبادل کاتیونی (mol/kg)	مواد آلی (%)	θ_s (cm ³ /cm ³)	θ_r (cm ³ /cm ³)
پخش سیلاب موغار	لوم شنی	۱.۷۷۸	۷.۸	۵.۸۱	۱۰.۵۴	۱۶.۶۴	۰.۰۵۵	۰.۳۱	۰.۰۴۱
عباس آباد پغری	لومی	۱.۷۴۸	۷.۱	۷.۲۸	۱۴.۴۲	۲۴.۷۱	۰.۲۲	۰.۴۳	۰.۱۰
مهباد	رسی	۱.۷۳۶	۷.۷	۲۲.۱۵	۳۷.۷۱	۲۷.۳۶	۰.۱۷	۰.۴۸	۰.۱۹



ساختار ۱



ساختار ۲

برای بدست آوردن پارامترهای منحنی مشخصه رطوبت خاک (α)، θ_r و θ_s در هر عمل آوری، از دو نرم افزار (retention curve) RETC و Rosetta استفاده شد. برنامه ای رایانه ای است که برای تحلیل یا برآورد ویژگیهای هیدرولیکی خاکهای سیر نشده استفاده می شود [۷]. این برنامه اولین بار توسط ون گنوختن در سال ۱۹۹۱ ارائه شد. برنامه RETC را می توان برای برازش چند مدل تحلیلی بر داده های اندازه گیری شده منحنی رطوبت خاک یا داده های رسانندگی هیدرولیکی بکار برد. در این برنامه برای پیش بینی پارامترهای منحنی مشخصه رطوبت خاک (θ_r ، θ_s ، K_s ، α ، ℓ و n) از مدل های بروکس و کوری [۸] و ون گنوختن [۹]، استفاده می شود که به ترتیب با معادلات زیر نشان داده می شود:

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) [1 + (\alpha h)^n]^{-m} \quad (1)$$

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) (\alpha h)^{-\lambda} \quad (2)$$

که در آن θ_r ، θ_s ، α ، n و λ به ترتیب درصد رطوبت حجمی سیر شده، درصد رطوبت حجمی باقی مانده، عکس مکش ورود هوا، شیب کلی منحنی مشخصه رطوبت خاک بین دو نقطه ظرفیت زراعی (field capacity, FC) و پژمردگی دائم (permanent withering point, PWP) و شاخص توزیع اندازه منافذ خاک است [۷، ۱۰]. برنامه Rosetta بر اساس شبکه عصبی عمل کرده و بواسطه توابع انتقالی خاک (درصد توزیع اندازه ذرات

Super AB A100 ساخت شرکت رهاب رزین تحت لیسانس پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران و سطوح استفاده شامل چهار سطح ۴، ۶، ۸ و ۱۰ گ پلیمر در کیلوگرم خاک) بود. پلیمرها در چهار سطح بالا در سه تکرار به سه نمونه بافت خاک (نمونه های ۱۰۰g) اضافه شدند. درصد وزنی رطوبت برای هر عمل آوری در شش مکش یا پتانسیل ماتریک (۰، ۰.۳، ۱، ۳، ۵، ۱۵ bar) به کمک دستگاه صفحه فشاری اندازه گیری شد. آماده کردن نمونه های عمل آوری شده برای قرار دادن در دستگاه صفحات فشاری به ترتیب زیر بود:

استوانه های به قطر ۶/۵ cm و ارتفاع ۳ cm در نظر گرفته شد و در ته هر استوانه قطعه کاغذ خشک کنی (صافی) هم قطر با آن، قرار داده شد. سپس روی آن با تکه پارچه ای به اندازه مناسب، با کش لاستیکی بسته شد (کاغذ برای جلوگیری از خروج ذرات ریز خاک و پارچه برای تحکیم توده خاک درون استوانه بکار گرفته شد). سپس درون استوانه های آماده شده، مقدار ۱۰۰g خاک با مواد جاذب رطوبت، در چهار سطح اشاره شده در بالا مخلوط شد. ضخامت نمونه عمل آوری شده ۲/۵ cm و قطر آن ۶/۵ cm بود. نمونه های آماده شده به مدت ۲۴ h برای سیر شدن درون تشت قرار داده شدند و سپس نمونه های سیر شده توزین و داخل دیگ دستگاه به مدت ۲۴ h تا ۴۸ h تحت مکش با فشار مورد نظر قرار گرفتند. پس از توقف جریان خروجی آب که نشان دهنده به تعادل رسیدن رطوبت در مکش وارد شده بود، نمونه ها از دستگاه خارج شده و بلافاصله توزین شدند. سپس آنها در درون آنون به مدت ۲۴ h در دمای ۱۰۵°C قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند. در مرحله بعد، رطوبت وزنی آنها معین شد. درصد رطوبت حجمی با توجه به چگالی ظاهری هر بافت محاسبه شد. کلیه آزمایشها در داخل آزمایشگاه در دمای ۲۵±۳°C انجام شد.

همان طور که در ساختار شیمیایی دو پلیمر مورد استفاده مشاهده می شود، Super AB A100 کوپلیمر آکرلیک اسید-پتاسیم آکريلات است (ساختار ۱)، در حالی که PR3005A ترپلیمری از آکریل آمید، آکرلیک اسید و پتاسیم آکريلات است (ساختار ۲). مشخصات کلی هر دو پلیمر در جدول ۲ درج شده است.

جدول ۲- مشخصات کلی پلیمرها.

مشخصات	پلیمر ابر جاذب	PR۳۰۰۵A	Super AB A ۱۰۰
حالت ظاهری	دانه های سفید	دانه های سفید	دانه های سفید
رطوبت (%)	شکر مانند	شکر مانند	شکر مانند
چگالی (g/cm ³)	۵-۷	۳-۴	۱/۱
pH محلول آبی	۱/۴-۱/۵	۶-۷	۶-۷
اندازه ذرات (μm)	۵۰-۱۵۰	۵۰-۲۰۰	۳۰۰
ظرفیت جذب آب مقطر (g/g)	۲۰۳	۱۶۰	۹۵
ظرفیت جذب آب شهر (g/g)	۱۸۰	۴۰	۹۵
ظرفیت جذب آب ۰/۹ درصد NaCl (g/g)	۴۰	۹۵	۹۵

نتایج و بحث

انتخاب رزین ابر جاذب با تکیه بر ساختار و خواص

همان طور که پیشتر اشاره شد، رزینهای ابر جاذب مورد استفاده در کشاورزی غالباً هیدروژلهایی از نوع آنیونی اند. این هیدروژلها در مقایسه با انواع غیر یونی (مثل آکریل آمیدی کامل) از قدرت جذب بمراتب بالاتری برخوردارند، اما در مجاورت کاتیونها (شرایط محیط واقعی)، افت جذب بیشتری نسبت به انواع غیر یونی نشان می دهند. بنابراین، دو پایه از رزینها با حساسیت نمکی مختلف برای این کار پژوهشی انتخاب شدند. با توجه به ساختار شیمیایی رزینهای مورد استفاده، رزین Super AB A ۱۰۰ ساختاری عمدتاً آنیونی دارد و فاقد آکریل آمید (مونومر غیر یونی) است. در حالی که رزین PR۳۰۰۵A با داشتن جزء آکریل آمید، از سهم غیر یونی بسیار بیشتری برخوردار است. بنابراین، همان طور که از جدول مشخصات فیزیکی - شیمیایی این دو رزین مشخص است، افت جذب Super AB A ۱۰۰ از ۲۰۳ g/g در آب مقطر به ۱۸۰ g/g در آب شهر و ۴۰ g/g در آب نمک ۰/۹ درصد در مقایسه با مقادیر متناظر برای رزین PR۳۰۰۵A مورد توجه قرار گرفت. حساسیت نمکی به شکل اعداد کمی در جدول ۳ داده شده است. مطابق این داده ها حساسیت PR۳۰۰۵A در مقابل نمک در مقایسه با Super AB A ۱۰۰ کمتر است. بجز عامل تفاوت در رفتار و خواص، قیمت، قابلیت دسترسی و منبع تامین رزینها نیز در گزینش آنها دخالت دارد.

اثر کاربرد پلیمرها بر پارامترهای منحنی مشخصه رطوبت خاک

درصد رطوبت حجمی سیر شده خاک (θ_s)

بطور کلی در هر بافت با افزودن پلیمرها و افزایش سطح استفاده، مقدار

بافت خاک، چگالی ظاهری و درصد حجمی رطوبت در دو نقطه ۳۳ و ۱۵۰۰ kPa پارامترهای θ_s , θ_r , α و n بر اساس معادله ون گنوختن تخمین می زند [۱۱، ۱۲].

توابع انتقالی خاک (pedo-transfer functions, PTFs)، توابعی هستند که ویژگیهای زود یافت خاک (نظیر جرم مخصوص ظاهری خاک، بافت خاک، درصد مواد آلی خاک و در صورت وجود مقدار آب خاک در مکش ۳۳ و ۱۵۰۰ kPa) را به ویژگیهای دیر یافت خاک (نظیر منحنی مشخصه رطوبت خاک $h(\theta)$ و تابع رسانندگی هیدرولیکی $K(\theta)$) ارتباط می دهند [۱۱-۱۷].

انواع تخلخل خاک برای هر عمل آوری با دستگاه ستون آویزان آب اندازه گیری شد [۱۸] و اثر افزودن پلیمرها برای هر بافت خاک بررسی شد. طرح آماری: تحلیل میانگینهای وزنی درصد رطوبت حجمی هر مکش در هر بافت و همچنین مقدار آب قابل استفاده، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از نرم افزار آماری SAS

جدول ۳- عوامل مؤثر در انتخاب پلیمر ابر جاذب مورد استفاده.

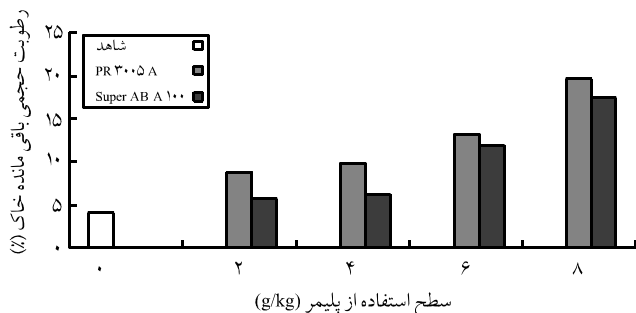
پلیمر ابر جاذب	حساسیت نمکی (الف)		قیمت (کیلوگرم/ریال)	منبع تأمین (ب)
	در آب شهر	در آب ۰/۹ درصد NaCl		
Super AB A ۱۰۰	۰/۱۱۳	۰/۸۰۳	۳۵۰۰۰	ایرانی
PR۳۰۰۵A	۰/۴۶۶	۰/۶۸۳	۶۰۰۰۰	فرانسوی

(الف) محاسبه کمیت بدون بعد حساسیت نمکی (F): (جذب در آب مقطر / جذب در محلول نمکی) - ۱ = F و (ب) قیمت در زمان اجرای طرح.

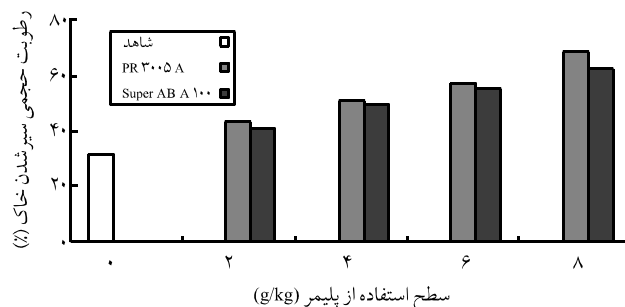
درصد رطوبت حجمی باقی مانده (θ_p)

در شکل ۲ تغییرات θ_p مدل ون گنوختن در هر سه بافت در مقایسه با نمونه شاهد داده شده است. در این حالت هم مقدار θ_p حاصل از برازش مدلها در هر سه بافت با کاربرد پلیمرها و افزایش سطح استفاده زیاد می شود. در بین مدلها، مدل ون گنوختن مقدار بیشتری نشان می دهد. از مدل بروکس و کوری نیز نتایج نزدیک به مدل ون گنوختن حاصل می شود. بیشترین مقدار θ_p با کاربرد پلیمر PR3005A و سطح 8 g

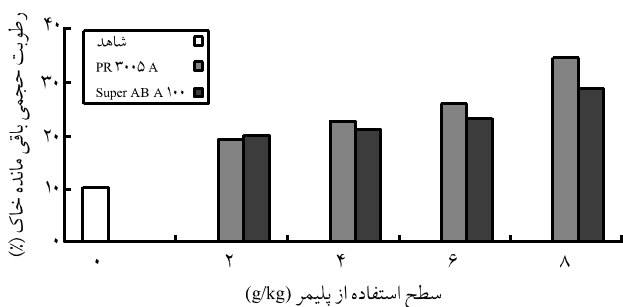
درصد حجمی رطوبت سیر شده خاک افزایش می یابد. در هر عمل آوری مقدار θ_s حاصل از برازش دو مدل RETC برابر بوده و در مقایسه با θ_s مدل Rosetta مقدار بیشتری نشان می دهد. در هر سه بافت، بیشترین مقدار θ_s به ترتیب مربوط به ابرجاذب PR3005A و بعد Super AB A 100 و در بین سطوح استفاده به ترتیب سطوح 8، 6، 4 و 2 گرم در کیلوگرم خاک است. در شکل ۱ نتایج دو پلیمر در مقایسه با نمونه عمل آوری شده شاهد برای سه بافت آورده شده است.



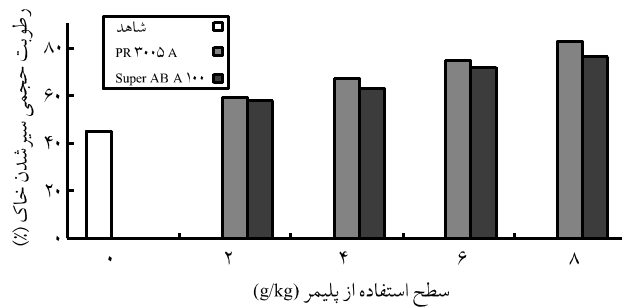
(الف)



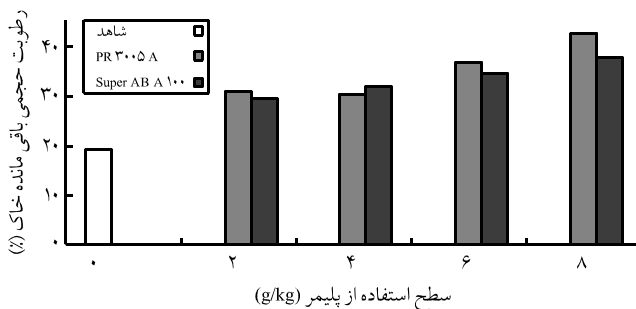
(الف)



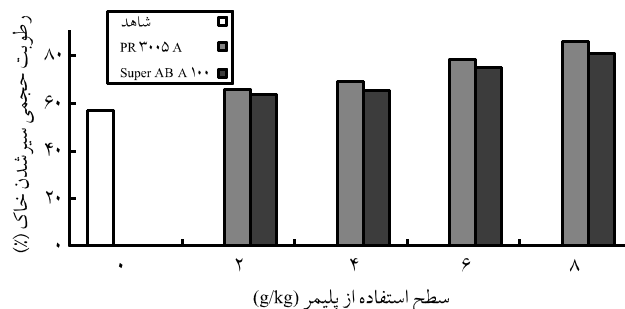
(ب)



(ب)



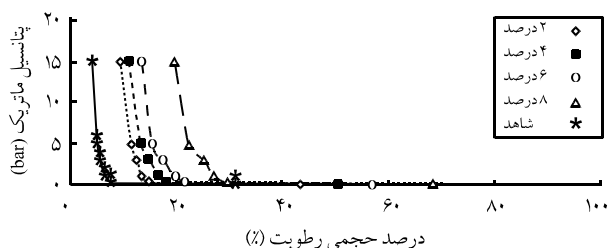
(ج)



(ج)

شکل ۲ - تغییرات درصد رطوبت حجمی باقی مانده خاک (θ_p) در اثر کاربرد دو پلیمر در سطوح مختلف استفاده: (الف) بافت شنی، (ب) بافت لومی و (ج) بافت رسی.

شکل ۱ - تغییرات درصد رطوبت حجمی سیر شدن خاک (θ_s) در اثر کاربرد دو پلیمر در سطوح مختلف استفاده: (الف) بافت شنی، (ب) بافت لومی و (ج) بافت رسی.



شکل ۳- نمودار مشخصه رطوبت در بافت لوم شنی در اثر کاربرد پلیمر PR3005A در سطوح مختلف استفاده.

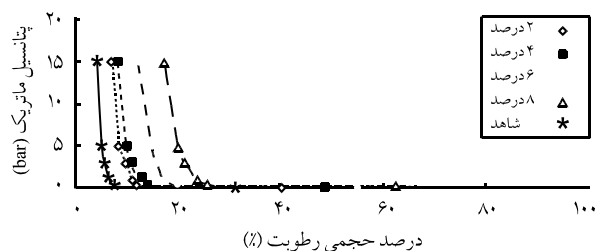
محیطی متخلخل در اثر جذب و دفع آب، باعث کاهش خلل و فرج ریز و سرعت حرکت بیشتر آب شده و برای خروج آب از این نقطه نیاز به فشار کمتری است. به عبارتی مقدار α زیاد می شود و مشکل ماندابی شدن آب در این بافتها تا حدودی برطرف می شود.

نمودارهای مشخصه رطوبت خاک

نمودارهای مشخصه رطوبت خاک هر بافت برای هر پلیمر، بر اساس مقایسه بین سطوح استفاده با هم و با نمونه شاهد است. با توجه به سه نوع بافت و دو نوع پلیمر برای هر بافت ۲ نمودار و در مجموع ۶ نمودار وجود دارد که شامل شکل‌های ۳ تا ۸ است.

از مطالعه کلی نمودارهای رطوبت خاک در محدوده بین مکشهای کم (۰ تا ۳ bar) و مکشهای زیاد (۳ تا ۱۵ bar) چنین نتیجه می شود:

- در مکشهای کم مقدار قابل توجهی از رطوبت جذب شده به کمک ابرجاذبها آزاد می شود. به عنوان مثال در سطح استفاده ۸ g پلیمر PR3005A در کیلوگرم خاک، در بافت شنی (شکل ۳) مقدار درصد حجمی رطوبت از ۶۸/۳۷ به ۲۵ درصد، دریافت لومی (شکل ۵) از ۸۳ به ۳۶ درصد و در بافت رسی (شکل ۷) از ۸۶ به ۴۳ درصد رسیده است. بنابراین، آزادسازی رطوبت در مکشهای کم مزیتی برای پلیمرها ویژه در بافت‌های متوسط تا سنگین محسوب می شود. بطور کلی، بیشترین



شکل ۴- نمودار مشخصه رطوبت در بافت لوم شنی در اثر کاربرد پلیمر Super AB A100 در سطوح مختلف استفاده.

در کیلوگرم خاک بدست آمد. با توجه به شکل ۲ مشخص می شود که افزایش رطوبت حجمی باقی مانده در بافت شنی بیشتر بوده و مقدار آن تا ۵ برابر نسبت به نمونه شاهد بیشتر شده است.

شیب منحنی مشخصه رطوبت خاک (n)

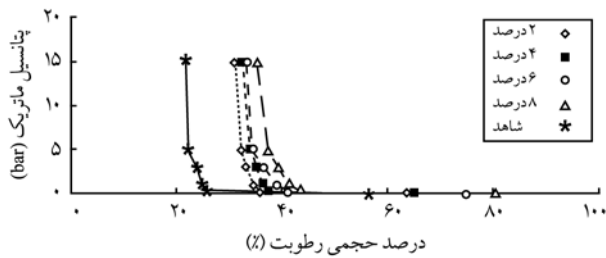
با افزودن پلیمرها و مصرف مقادیر زیاد آن، به علت افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک، مقدار n کم می شود و سرعت از دست دادن آب کاهش می یابد. در هر سه بافت و در هر سطح استفاده برای هر دو پلیمر، کمترین مقدار n حاصل برازش مدل بروکس و کوری است. مدل ون گنوختن در هر حالت مقدار ثابتی برای n نشان می دهد ($n = 1/0.05$). در جدول ۴ مقادیر n مدل بروکس و کوری در مقایسه با نمونه شاهد آورده شده است. نتایج نشان می دهد که با افزایش سطوح استفاده، درصد n به میزان ۲۰ تا ۳۰ برابر کاهش می یابد.

فشار ورود هوا به خاک ($h_p = 1/\alpha$)

در ناحیه ورود هوا به خلل و فرج خاک، پتانسیل ماتریک تغییر می کند. در بافت‌های شنی به علت داشتن خلل و فرج درشت زیاد، با مکش بسیار کم آب از خلل و فرج خارج می شود. یا به عبارتی مقدار α در این نوع خاکها زیاد است. با افزودن پلیمرها و افزایش سطح استفاده، تورم زیاد پلیمرها در این بافت باعث اتصال خلل فرج درشت و در نتیجه افزایش سطح تماس آب با خاک می شود. در این حالت برای خروج آب از این نقطه نیاز به فشار بیشتری است و مقدار α کم می شود [۱۸، ۱۹]. نتایج حاصل از برازش هر سه مدل نشان دهنده کاهش α و افزایش مکش در نقطه ورود هوا به بافت شنی است. در نمونه شاهد در دو بافت متوسط و سنگین به علت داشتن خلل و فرج ریز و سطح ویژه زیاد خاک، مقدار فشار ورود هوا زیاد یا α کم است. افزودن پلیمرها به علت ایجاد

جدول ۴- مقادیر n مدل بروکس و کوری در مقایسه با نمونه شاهد در هر سه بافت در اثر کاربرد پلیمرها.

بافت خاک	پلیمر	سطح استفاده (g/kg)				شاهد
		۸	۶	۴	۲	
لوم شنی	PR3005A	۰/۰۸۵	۰/۰۸۵۷	۰/۳۱۰۱	۰/۲۳۲۲	۱۷۵۹
	Super AB A100	۰/۱۸۰۱	۰/۱۸۹۱	۰/۲۰۵۷	۰/۲۱۰۶	
لومی	PR3005A	۰/۰۹۲	۰/۱۵۵۱	۰/۱۷۵۶	۰/۲۱۶	۱۶۲۴
	Super AB A100	۰/۰۹۹۷	۰/۱۹۶	۰/۲۰۵۷	۰/۲۳۴۲	
رسی	PR3005A	۰/۰۵۴۰	۰/۱۹۶۵	۰/۲۱۰۳	۰/۲۱۴۳	۱۶
	Super AB A100	۰/۰۵۴۳	۰/۰۷۹۵	۰/۱۹۹۶	۰/۲۱۲۵	

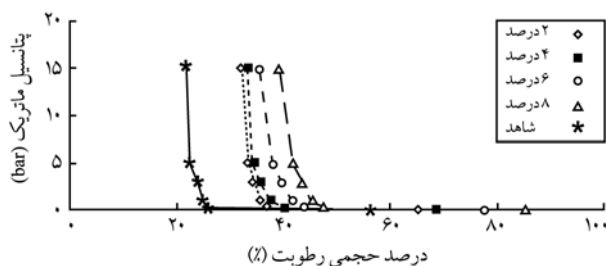


شکل ۷- نمودار مشخصه رطوبت در بافت رسی در اثر پلیمر PR 300A در سطوح مختلف استفاده.

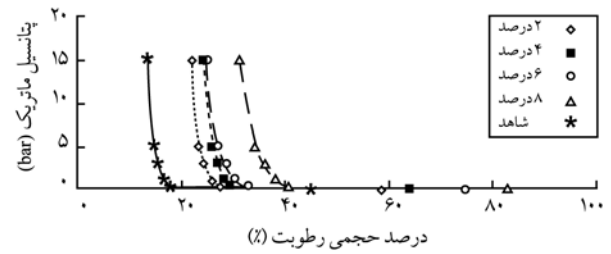
اختلاف معنی دار در سطح یک درصد وجود دارد. در بافت شنی اثر افزودن دو پلیمر در خاک بر افزایش درصد رطوبت حجمی در هر مکش، منحنی مشخصه رطوبت خاک قابل توجه و نتایج نزدیک به هم می دهند. اما با توجه به تجزیه و تحلیل آماری بیشترین افزایش با کاربرد پلیمر PR 300A و سطح استفاده 8 g در کیلوگرم خاک است. مقدار درصد حجمی رطوبت نسبت به نمونه شاهد با توجه به سطوح استفاده، 2 تا 4 برابر می شود. دریافت لومی نیز درصد رطوبت حجمی خاک در هر مکش با توجه به سطوح استفاده، از 1/5 تا 2 برابر تغییر می کند. در این بافت که مشکل نگهداشت آب کمتر است استفاده از سطوح پایین، در حالت نیاز، توصیه می شود. در بافت رسی درصد حجمی رطوبت در هر مکش افزایش می یابد اما نسبت به دو بافت سبک و متوسط مقدار افزایش کمتر است. زیرا، درجه تورم پلیمرها در این بافتها به علت غلظت زیاد املاح محلول در خاک، کمتر است. در این بافتها که به دلیل کم بودن رسانندگی هیدرولیکی آب مشکل ماندابی شدن آن وجود دارد، کاربرد سطوح پایین تر توصیه می شود.

رطوبت قابل استفاده گیاه (0/3 تا 15 bar)

در هر سه نوع بافت بین پلیمرها با هم و با نمونه شاهد و بین سطوح استفاده و اثر متقابل پلیمر با آنها در افزایش رطوبت قابل استفاده گیاه، اختلاف معنی دار در سطح یک درصد وجود دارد.



شکل ۸- نمودار مشخصه رطوبت در بافت رسی در اثر کاربرد پلیمر Super AB 1000 در سطوح مختلف استفاده.



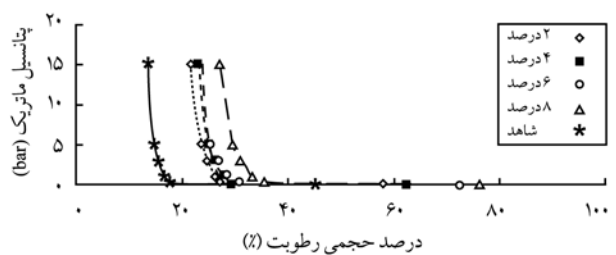
شکل ۵- نمودار مشخصه رطوبت در بافت لومی در اثر کاربرد پلیمر PR 3005A در سطوح مختلف استفاده.

رطوبتی که در این مواد ذخیره می شود با تولید فشار اسمزی و مکش کم به وسیله گیاه قابل استفاده است. - باتوجه به این که مقدار قابل توجهی از رطوبت در مکشهای کم آزاد می شود، ولی مقایسه مقادیر رطوبت باقی مانده در مکشهای زیاد (3 تا 15 bar) با رطوبت این محدوده از مکش با شاهد نشان می دهد که اختلاف رطوبت باقی مانده نسبت به نمونه شاهد با افزودن پلیمرها بویژه در سطوح بالا قابل توجه است. با توجه به سطح استفاده 8g پلیمر PR 3005A در کیلوگرم خاک، در بافت شنی مقدار درصد حجمی رطوبت در این محدوده از مکش بین 4/5 تا 5 برابر نمونه شاهد، در بافت لومی بین 1/5 تا 2/5 برابر نمونه شاهد و در بافت رسی بین 1/5 تا 2 برابر نمونه شاهد است.

تجزیه و تحلیل آماری منحنی مشخصه رطوبت خاک در مکشهای مختلف

مکشهای 0، 0/3، 1، 3، 5 و 15 bar

در هر بافت بطور جداگانه در هر مکش، بین دو پلیمر PR 3005A و Super AB 1000 با هم و با نمونه عمل آوری شده شاهد و همچنین بین سطوح استفاده اختلاف معنی دار در سطح یک درصد وجود دارد. بین اثر متقابل پلیمر و سطح استفاده نیز بر افزایش درصد رطوبت حجمی خاک



شکل ۶- نمودار مشخصه رطوبت در بافت لومی در اثر کاربرد پلیمر Super AB 1000 در سطوح مختلف استفاده.

در جدول ۵، درصد حجمی رطوبت در دو نقطه ظرفیت زراعی (FC) و پژمردگی دائم (PWP) و همچنین رطوبت قابل استفاده گیاه در بافت شنی در مقایسه با نمونه شاهد آورده شده است. با توجه به جدول ۵، درصد حجمی رطوبت در نقاط FC و PWP به مقدار ۱/۵ تا ۵ برابر افزایش دارد. بیشترین افزایش رطوبت قابل استفاده گیاه مربوط به پلیمر

در مقایسه با نمونه شاهد ۳ برابر می شود. دو سطح ۴ و ۶ نیز نتایج نزدیک به هم دارند. البته مقدار آب قابل استفاده با پلیمر Super AB A ۱۰۰ در سطوح ۴ و ۶ نزدیک به نتایج پلیمر PR ۳۰۰۵A است. در جدولهای ۶ و ۷ درصد رطوبت حجمی در دو نقطه FC و PWP و رطوبت در

جدول ۵- درصد حجمی رطوبت در نقاط FC و PWP و رطوبت قابل استفاده گیاه در مقایسه با نمونه شاهد در بافت شنی.

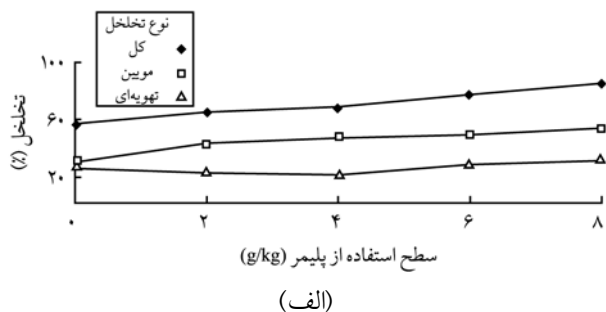
سطح استفاده (g/kg)				شاهد	پلیمر	وضعیت رطوبتی
۸	۶	۴	۲			
۲۹/۶۸	۲۱/۵۶	۱۸/۱۸	۱۴/۷۸	۷/۲۸	PR ۳۰۰۵A Super AB A ۱۰۰	ظرفیت زراعی
۲۵/۶۴	۱۹/۶۷	۱۴/۰۷	۱۱/۷۴			
۱۹/۶۲	۱۳/۴۱	۱۱/۱۷	۹/۴۷	۴/۱۱	PR ۳۰۰۵A Super AB A ۱۰۰	نقطه پژمردگی
۱۷/۳۲	۱۲/۱۸	۸/۱۷	۶/۴۶			
۱۰/۰۶	۸/۱۵	۷/۰۱	۵/۳۱	۳/۱۷	PR ۳۰۰۵A Super AB A ۱۰۰	رطوبت قابل استفاده گیاه
۸/۳۲	۷/۴۹	۵/۹	۵/۲۸			

جدول ۶- درصد حجمی رطوبت در نقاط FC و PWP و رطوبت قابل استفاده گیاه در مقایسه با نمونه شاهد در بافت لومی.

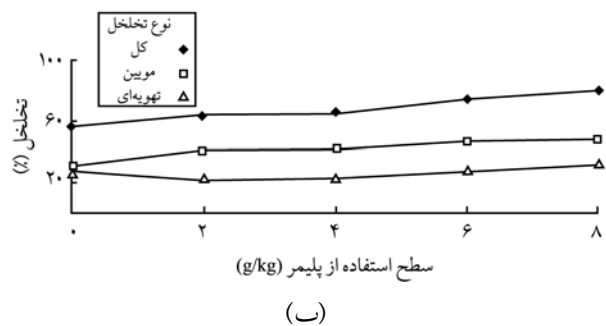
سطح استفاده (g/kg)				شاهد	پلیمر	وضعیت رطوبتی
۸	۶	۴	۲			
۴۰/۷۵	۳۲/۷۶	۲۹/۵۱	۲۷/۴	۱۷/۴۳	PR ۳۰۰۵A Super AB A ۱۰۰	ظرفیت زراعی
۳۵/۶۸	۳۰/۷۱	۲۷/۹۷	۲۷/۰۹			
۳۱/۲	۲۴/۶۵	۲۴/۴۷	۲۲/۰۱	۱۳/۱۶	PR ۳۰۰۵A Super AB A ۱۰۰	نقطه پژمردگی
۲۷/۱۲	۲۳/۵۷	۲۲/۲۶	۲۱/۵۶			
۹/۵۵	۸/۱۱	۵/۰۴	۵/۳۹	۴/۲۷	PR ۳۰۰۵A Super AB A ۱۰۰	رطوبت قابل استفاده گیاه
۸/۵۶	۷/۱۴	۵/۷۱	۵/۵۳			

جدول ۷- درصد حجمی رطوبت در نقاط FC و PWP و رطوبت قابل استفاده گیاه در مقایسه با نمونه شاهد در بافت رسی.

سطح استفاده (g/kg)				شاهد	پلیمر	وضعیت رطوبتی
۸	۶	۴	۲			
۴۷/۴۶	۴۳/۶۵	۳۹/۹۳	۳۷/۷۳	۲۵/۴۱	PR ۳۰۰۵A Super AB A ۱۰۰	ظرفیت زراعی
۴۳/۵۷	۴۷/۰۹	۳۸/۰۸	۳۵/۹۰			
۳۹/۰۷	۳۵/۶	۳۳/۱۶	۳۲/۱۸	۲۰/۷۶	PR ۳۰۰۵A Super AB A ۱۰۰	نقطه پژمردگی
۳۵/۲۸	۳۳/۱۸	۳۲/۸۵	۳۱/۱۲			
۸/۳۹	۸/۰۵	۶/۷۷	۵/۵۵	۴/۶۵	PR ۳۰۰۵A Super AB A ۱۰۰	رطوبت قابل استفاده گیاه
۸/۲۹	۷/۹۱	۵/۲۳	۴/۷۸			



(الف)



(ب)

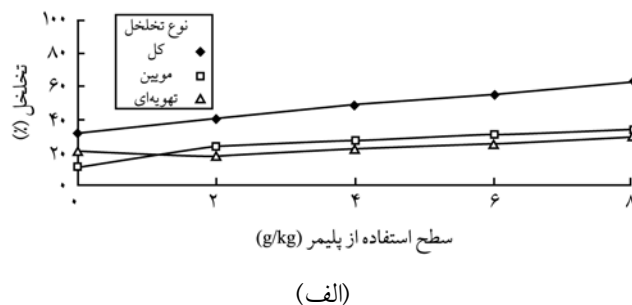
شکل ۱۱ - تغییرات انواع تخلخل خاک در بافت رسی با سطوح مختلف پلیمر: (الف) PR۳۰۰۵A و (ب) Super AB A۱۰۰.

استفاده گیاه با افزایش مقادیر استفاده در نهایت ۲ برابر می شود. در هر سه بافت بین سطوح ۶ و ۸ با سطوح ۲ و ۴ اختلاف معنی داری در سطح یک درصد وجود دارد.

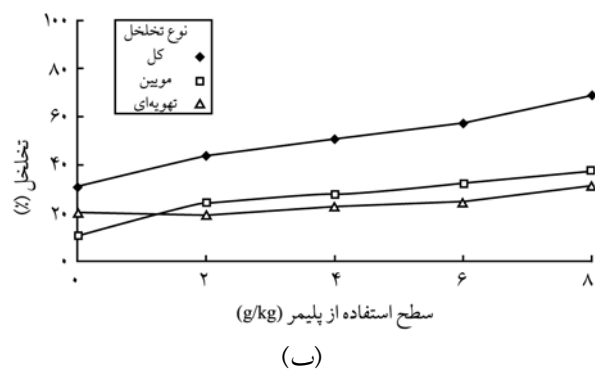
اثر استفاده از پلیمرها بر انواع تخلخل خاک

تخلخل خاک شامل دو بخش مویین و تهویه ای است. تخلخل مویین به بخشی از خلل و فرج گفته می شود که آب را با نیروی مویین نگهداری کرده و قطر آنها در حدود ۰/۶ mm یا کمتر است. تخلخل تهویه ای آن بخش از تخلخل کل است که قطر حفره های آن بیشتر از ۰/۶ mm باشد و در مکش ۵۰cm ارتفاع آب از رطوبت خالی شود [۲۰].

پلیمرهای ابر جاذب باعث افزایش انواع تخلخل خاک می شوند. در بافتهای شنی که از نظر تخلخل تهویه ای و وضعیت زهکشی مشکل عمده ای ندارند، افزودن پلیمرها و همچنین مقادیر زیاد مصرف باعث افزایش تخلخل مویین و کاهش تخلخل تهویه ای می شود. مقدار افزایش تخلخل مویین نسبت به نمونه شاهد با کاربرد پلیمر PR۳۰۰۵A و سطح استفاده ۸ g/kg حدود ۴ برابر می شود. در بافت لومی مقدار افزایش دو تخلخل مویین و تهویه ای به یک نسبت است. در بافت رسی تغییر زیادی در تخلخل تهویه ای نسبت به نمونه شاهد بجز مصرف مقادیر بیشتر پلیمر ایجاد نمی شود. ولی مصرف زیاد پلیمر از طرفی باعث افزایش



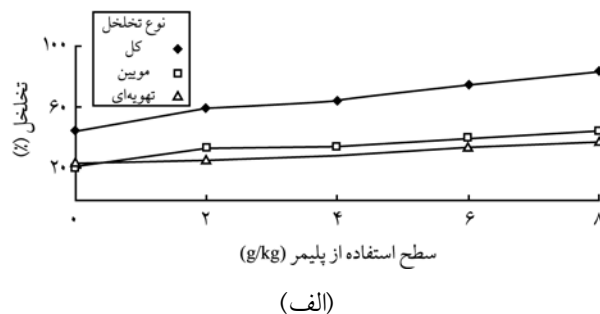
(الف)



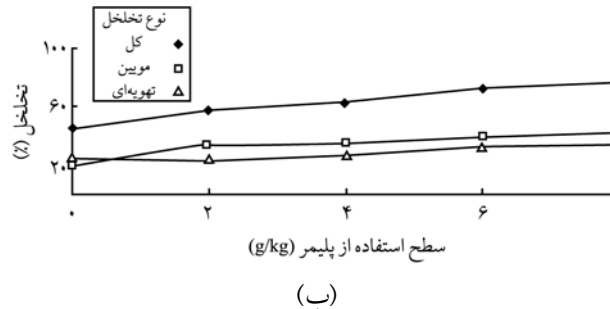
(ب)

شکل ۹ - تغییرات انواع تخلخل خاک در بافت شنی با سطوح مختلف پلیمر: (الف) PR۳۰۰۵A و (ب) Super AB A۱۰۰.

دسترس گیاه در مقایسه با نمونه شاهد به ترتیب برای بافتهای لومی و رسی آورده شده است. با توجه به این جداول مقدار رطوبت قابل



(الف)



(ب)

شکل ۱۰ - تغییرات انواع تخلخل خاک در بافت لومی با سطوح مختلف پلیمر: (الف) PR۳۰۰۵A و (ب) Super AB A۱۰۰.

- ابرجاذبها به دلیل خاصیت جذب و دفع آب مکرر، در بافتهای متوسط رو به سنگین و سنگین باعث کاهش خلل و فرج ریز و کاهش تراکم خاک و افزایش تهویه می شوند.

- مصرف مقادیر زیاد پلیمرها در بافتهای سبک (به دلیل قدرت تورم زیاد) باعث افزایش مقدار آب قابل استفاده گیاه تا حدود ۴ برابر نسبت به نمونه شاهد می شود.

- با توجه به اینکه بافتهای سنگین از مقدار تخلخل موئین و ظرفیت نگهداشت رطوبت زیادی برخوردارند، کاربرد سطوح پایینتر پلیمرها البته با توجه به نیاز طرح توصیه می شود.

آخرین نکته ای که باید در مصرف پلیمرهای ابرجاذب مد نظر داشت صرفه اقتصادی آن است. در حال حاضر بهای هر کیلوگرم پلیمر خارجی (PR3005A)، ۶۰۰۰۰ ریال و پلیمر ساخت داخل کشور (Super AB A100)، ۳۵۰۰۰ ریال است. با توجه به نتایج نزدیک پلیمر داخلی به پلیمر خارجی استفاده از این پلیمر با صرفه تر است. از طرفی، مصرف پلیمر در شرایط فعلی با قیمت بالایی که دارد، به شرطی اقتصادی خواهد بود که تأمین آب در طرح مربوط، قیمت تمام شده بالایی داشته باشد. تنها در این حالت است که مصرف پلیمر می تواند فواید آبیاری را حدود ۲ تا ۳ برابر افزایش دهد و می توان انتظار داشت که در هزینه های آبیاری صرفه جویی گردد و مصرف آن از نظر اقتصادی توجیه پذیر شود.

مراجع

1. Asgari F., Nafisi S., Omidian H. and Hashemi V., Synthesis, Recognition and Modification the Properties of Superabsorbent Polymers, *Proceeding International Seminar of Polymer Science and Technology*, 80-83, 1994.
2. Allahdadi A., Study the Effect of Superabsorbent Hydrogels Application in Reducing the Moisture Stress of Plants, *Proceedings of the 2nd Educational Course for Agricultural and Industrial Application of Superabsorbent Hydrogels*, Tehran, Iran, 33-55, 2002.
3. Ibid, Kabiri K., Application of Acrylic Superabsorbent Hydrogels in Various Industries: An Introduction, 1-32.
4. Ganji Khorramdel N., *Effect of Moisture Absorbent Polymer (PR3995A) on Some Soil Physical Properties*, MSc Thesis, University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran, 165, 1999.
5. Ghaiour F.A., *Effect of Moisture Absorbent Materials on Soil Water Holding and Potential*, Ministry of Jihad Agriculture, Isfahan Research Center of Animal and Natural Resources, Isfahan, Iran, 2000.
6. Khalilpour A., *Study the Application of Superabsorbent Polymer (BT773) on Controlling Soil Erosion and Conservation*, Report of Research Project, Tehran Research Center of Natural Resources, Ministry of Jihad Agriculture, Tehran, Iran, 2001.
7. Van Genuchten M.Th., Leij F.J. and Yates S.R., *The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils*, USEPA Rep. 60012-91/065. USEPA, Environment Research Laboratory, Ada, Ok, 1991.
8. Brooks R.H. and Corey A.T., *Hydraulic Properties of Porous Media, Hydrology Paper*, No. 3, Colorado State University, Colorado, 1964.
9. Van Genuchten M.Th., A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **44**, 892-898, 1980.
10. Sadeghzadeh K. and Abbasi F., Application of the RETC Soft-

نتیجه گیری

تخلخل موئین می شود که این به نوبه خود در این بافت ایجاد مشکل می کند. بنابراین، برای برطرف کردن مشکل تهویه ای این بافت کاربرد سطوح پایین تر توصیه می شود. در شکل های ۹ تا ۱۱ تغییرات انواع تخلخل در اثر افزودن پلیمرها به خاک ارائه شده است.

بطور کلی اثر کاربرد ابرجاذبها روی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک عبارتند از:

- بهبود ساختار خاک به دلیل افزایش چسبندگی خاکدانهها بویژه در بافتهای سبک،
- افزایش قابل ملاحظه درصد حجمی رطوبت سیر شده و رطوبت باقی مانده خاک و درصد رطوبت حجمی در هر مکش از منحنی مشخصه خاک،
- خاصیت آزادسازی رطوبت در مکشهای کم بویژه در بافتهای سنگین،
- افزایش ظرفیت نگهداشت آب در مکشهای زیاد در بافتهای سبک،
- کاهش هدر رفت و تبخیر آب از سطح خاکهای سنگین به دلیل افزایش رسانندگی هیدرولیکی آب و خاصیت موئینگی، که متعاقب آن از شور شدن سطح خاک جلوگیری به عمل می آید.

- ware in Analysis of Soil Water Characteristic Curve and Soil Hydraulic Properties, *Proceedings of Technical Papers in Agricultural Engineering*, Tehran, Iran, 19-34, 1998.
11. Schaap M.G., Leij F.J. and Van Genuchten M.Th., Neural Network Analysis for Hierarchical Prediction of Soil Water Retention and Saturated Hydraulic Conductivity, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **62**, 847-855, 1998.
 12. Schaap M.G. and Bouten W., Modeling Water Retention Curves of Sandy Soils Using Neural Networks, *Water Resour. Res.*, **32**, 3033-3040, 1996.
 13. Williams R.D., Ahuja L.R. and Naney J.W., Comparison of Methods to Estimate Soil Water Characteristics from Limited Texture, Bulk Density, and Limited Data, *J. Soil Sci.*, **153**, 172-184, 1992.
 14. Arya L.M. and Paris J.F., A Physicoempirical Model to Predict the Soil Moisture Characteristic from Particle Size Distribution and Bulk Density Data, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **45**, 1023-1030, 1981.
 15. Rawls W.J., Gish T.J. and Brakensiek D.L., Estimation Soil Water Retention from Soil Physical Properties and Characteristics, *Adv. Soil Sci.*, **16**, 213-234, 1991.
 16. Saxton K.E., Rawls W.J. Romberger J.S. and Papendick R.I., Estimating Generalized Soil-Water Characteristics from Texture, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **50**, 1031-1036, 1986.
 17. Tietje O. and Tapkenhinrichs M., Evaluation of Pedo-transfer Functions, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **57**, 1088-1095, 1993.
 18. Alizadeh A., *Water, Soil and Plant Relationship*, 1st ed., University of Imam Reza, Mashhad, Iran, 353, 1999.
 19. Bybordi M., *Soil Physics*, 6th ed., University of Tehran, Tehran, Iran, 1672, 1992.
 20. Barzegari A.A., *Advanced Soil Physics*, 16th ed., University of Shahid Chamran, Ahwaz, Iran, 235, 2001.