

## تورم تناوبی پلیمرهای ابرجاذب در محیط متخلخل خاک

سهیلا ابراهیمی، مهدی همایی و ابراهیم واشقانی فراهانی\*

\* به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس؛ و دانشیاران دانشگاه تربیت مدرس، نشانی: تهران، ص. پ. ۴۸۳۸-۱۴۱۵۵

تلفن: ۴-۴۴۱۹۴۹۱۱ (۰۲۱)، پیام نگار: s\_ebrahimi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۲/۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۲/۱۵

### چکیده

پلیمرهای ابرجاذب قابلیت جذب مقادیر زیادی آب و مواد غذایی دارند و افزون بر تأمین بهینه آب مصرفی گیاهان هدرروی آب از طریق تبخیر و آبشویی نیز در آنها بسیار کم است. بنابراین، بررسی رفتار این مواد در خاک، به ویژه در چرخه های متناوب خشک و ترشدن ضروری است. هدف از این پژوهش، بررسی رفتار تورم تناوبی دو نمونه پلیمر از خانواده پلی آکریل امید با نام اختصاری "طراوت ۱۰۰-A" و "طراوت ۲۰۰-A" و تعیین توانایی آنها در جذب آب، در چرخه های مکرر خشک و ترشدن در محیط متخلخل خاک است. بدین منظور، رفتار تورمی این دو پلیمر در دو نوع خاک لوم و سنی بررسی شد. تیمارها شامل ۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۰، ۱، ۳، ۵، ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ گرم پلیمر در کیلوگرم خاک با سه تکرار بود. مقدار آب خاک برای هر تیمار در فشارهای ۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ کیلوپاسکال اندازه گیری شد و منحنی های رطوبتی برای هر نمونه آزمایشی به دست آمد. نمونه ها در آن خشک و دوباره مرطوب شدند. این روند ۵ بار تکرار و منحنی های رطوبتی مربوطه برای تمام دوره ها ثبت شد. نتایج نشان داد در هر مکش، با افزایش مقدار پلیمر در خاک، رطوبت حجمی خاک افزایش می یابد. بیشترین دامنه تأثیر پلیمر بر قابلیت نگهداشت آب خاک در مکش های پایین تر (۵۰۰۰- کیلوپاسکال) مشاهده شد. همچنین، در تمام دوره های تر-خشکی و در هر مکش مقدار نگهداشت آب خاک در پلیمر طراوت ۲۰۰-A بیشتر از طراوت ۱۰۰-A بود. در هر دو نوع پلیمر و در همه تیمارهای به کار برده شده، افزایش ناگهانی رطوبت حجمی خاک- پلیمر از دوره اول به دوم، مشاهده شد. از سیکل دوم تا چهارم، رطوبت حجمی خاک- پلیمر در هر دو نوع پلیمر تغییرات همسویی نشان داد. در تناوب پنجم، پلیمر T-A ۱۰۰ افتی جزئی نسبت به دوره قبل نشان داد. بررسی پارامتریک منحنی های رطوبتی هر دو پلیمر نیز نشان داد که با افزایش مقدار پلیمر کاربردی، پارامترهای  $\theta_r$ ،  $n$ ، و  $\theta_s$  در تمام تیمارها افزایش می یابد، اما تغییرات پارامتر  $\theta_r$  چندان قابل توجه نبود. مقدار پارامتر  $\alpha$  برای هر دو پلیمر در خاک سنی کاهش و در خاک لومی افزایش یافت.

### واژه های کلیدی

ابر جاذب، پلیمر، تورم تناوبی، مدل جذب، منحنی رطوبتی خاک

### مقدمه

مکعب آبی که هر ساله استحصال می شود، حدود ۸۳ میلیارد متر مکعب آن (بیش از ۹۰ درصد) در بخش کشاورزی مصرف می شود که متأسفانه ۶۳ میلیارد متر مکعب آن هدر

بخش کشاورزی، عمده ترین مصرف کننده منابع آب کشور است. بر پایه گزارش وزارت کشاورزی، از ۸۸ میلیارد متر



(1994)، بهبود وضعیت تراکم خاک (Cook & Nelson, 1986)، و افزایش فعالیت بیولوژیک ریزجانداران خاک (Nadler & Steinberger, 1993; Steinberger *et al.*, 1994; Gula *et al.*, 1993). ضمن اینکه منابع آب‌های زیرزمینی را از گزند آلودگی دور می‌کند.

توسعه کاربرد هیدروژل‌های ابرجاذب برای کاهش بحران‌هایی همچون فرسایش خاک، خشکسالی‌های پیاپی یا تأمین امنیت غذایی نیازمند شناخت رفتار و عملکرد آنها در محیط متخلخل خاک است.

یکی از روش‌های مهم بررسی رفتار سیستم خاک- پلیمر، تعیین منحنی‌های رطوبتی آنهاست. منحنی رطوبتی خاک یا منحنی نگهداشت رطوبت خاک<sup>1</sup> رابطه بین پتانسیل آب خاک و درصد رطوبت آن است. این منحنی در عملیات آبیاری و زهکشی و تعیین ضرایب رطوبتی خاک، تعیین مقدار آب قابل استفاده گیاه و نمون‌سازی حرکت آب و املاح در خاک‌های غیراشباع مورد نیاز خواهد بود (Gupta & Larson, 1979). طی سالیان متمادی معادلات زیادی برای منحنی رطوبتی خاک پیشنهاد شده است. اکثر معادلات پیشنهادی برای منحنی رطوبتی خاک از معادله زیر مشتق شده‌اند (Leong & Rahardjo, 1997b):

$$a_1 \theta^{b_1} + a_2 \exp(a_3 \theta^{b_1}) = a_4 \psi^{b_2} + a_5 \exp(a_6 \theta^{b_2}) + a_7 \quad (1)$$

که در آن،  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, b_1$  و  $b_2$  = ضرایب معادله؛  $\psi$  = قدر مطلق پتانسیل ماتریک؛ و  $\theta$  = رطوبت حجمی موثر خاک است که از رابطه زیر به دست می‌آید

می‌رود (Anon, 1999). بنابراین، افزایش بازده آبیاری یکی از روش‌های صرفه‌جویی در مصرف آب است و اعمال مدیریت صحیح و به‌کارگیری شیوه‌های کارآمد به منظور نگهداشت آب کافی در خاک برای بهره‌برداری بهینه از منابع محدود آب کشور ضروری است.

بیشترین توجه به کاربرد ابرجاذب‌های پلیمری که امروزه کاربردی فراگیر یافته‌اند در بخش کشاورزی است (Padman, 1994). استفاده از این مواد در بخش کشاورزی، در جهت اهداف متعدد است مانند: افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک (Padman, 1994; Sojka, 1998)، بهبود وضعیت نفوذپذیری خاک (Mitchell, 1986; Levy *et al.*, 1992; Lentz & Sojka, 1994)، طولانی‌شدن دور آبیاری (Hamphil, 1982)، کاهش هزینه‌های آبیاری مکرر و تنش‌های آبی در مواقع حساس رشد گیاه (Johnson, 1984; Wang & Boogher, 1987)، افزایش درصد جوانه‌زنی بذر (Callebaut *et al.*, 1981; Wallace & Wallace, 1986; Rubio *et al.*, 1989; Woodhouse & Johnson, 1991)، کاهش رواناب و احتراز از اتلاف آب (Johnson, 1984; Aly & Letey, 1990; Stern *et al.*, 1991) و موادغذایی (Malik *et al.*, 1991; Bres & Weston, 1993; Abraham & Rajasekharan; Carter *et al.*, 1995) از طریق شسته‌شدن و تبخیر، تسهیل و سرعت رشد گیاه و گذران دوره شیوع آفات (Baasiri *et al.*, 1986; Wallace & Wallace, 1986; Wang & Boogher, 1989; Tripepi *et al.*, 1991)، افزایش پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختار خاک (Sharma, 1988; Nadler & Letey, 1989; Shainberg *et al.*, 1994) آن (Levin *et al.*, 1991; Norton, 1992; Lentz & Sojka,

تورم تناوبی پلیمرهای ابرجاذب در محیط ...

$$\theta_w = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + \left(\frac{\Psi}{a}\right)^b\right]^c} \quad (5)$$

که در آن،  $b$  و  $c$  = توان‌های بی‌بعد معادله‌اند.

ضریب فاکتور شیب  $b(=n)$  شیب منحنی را در اطراف نقطه عطف تغییر می‌دهد؛ ضرایب  $a(=a)$  و  $c(=m)$  شیب منحنی را در زانوی منحنی (نقطه ورود هوا) تغییر می‌دهند.  $a(=a)$  را می‌توان تابعی از مکش ماتریک در نقطه‌ای با رطوبت  $\frac{\theta_s + \theta_r}{2}$  دانست که مکش در این نقطه با  $\Psi_{50}$  نشان داده

می‌شود. با قرار دادن  $\theta_w = \frac{(\theta_s + \theta_r)}{2}$  و  $\Psi = \Psi_{50}$  در

معادله 5،  $a$  به دست می‌آید:

$$a = \frac{\Psi_{50}}{(2^{(1/c)} - 1)^{(1/b)}} \quad (6)$$

از سوی دیگر، ویژگی‌های پایه ابرجاذب‌ها در کشاورزی شامل توانایی زیاد در جذب آب، سرعت زیاد جذب، استحکام ژل، و برگشت‌پذیری یعنی حفظ قدرت تورم و چروکیدگی در دوره‌های متعدد آبیاری است. با توجه به بیلان آبی و اهمیت کاربرد پلیمرهای ابرجاذب در افزایش موجودی آب خاک ( $\Delta w$ ) مطالعات زیادی در مورد وابستگی  $\Delta w$  و درصد هیدروژل‌های اضافه‌شده صورت گرفته است (Johnson, 1984; Kazanskii & Dubrovskii, 1992). در صورتی که تورم آزاد و بدون محدودیت هیدروژل امکان‌پذیر باشد، وابستگی مقدار هیدروژل مصرفی و ظرفیت آب خاک

(Leong & Rahardjo, 1997b):

$$\theta = \frac{\theta_w - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (2)$$

در رابطه 2،  $\theta_w$  = رطوبت حجمی خاک؛  $\theta_r$  = رطوبت باقیمانده<sup>1</sup>؛ و  $\theta_s$  = رطوبت اشباع است. با تعریف و تعیین برخی شرایط و حدود خاص معادلات مختلف منحنی رطوبتی پدید می‌آید. برخی از این معادلات در زیر معرفی می‌شوند.

**معادله بروکس و کوری (Brooks & Corey, 1964):** این

معادله سه پارامتری به صورت زیر است:

$$\theta_w = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left(\frac{a}{\Psi}\right)^b \quad (3)$$

که در آن،  $a$  = پتانسیل در نقطه ورود هوا به خاک است. این معادله در شرایطی که  $\Psi$  بزرگ‌تر یا مساوی  $a$  باشد صادق است و برای پتانسیل‌های کمتر از  $a$  مقدار  $\theta_w$  برابر با  $\theta_s$  فرض می‌شود.

**معادله وان گنوختن (van Genuchten, 1980):** این معادله

از چهار پارامتر تشکیل شده است که می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$\theta_w = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + a\Psi^b)^c} \quad (4)$$

این معادله معمولاً به صورت زیر نیز نوشته می‌شود:

**مواد و روش‌ها**

دو نوع پلیمر از خانواده پلی‌آکریل‌آمید با نام اختصاری طراوت A-100 و طراوت A-200 استفاده شد که در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران تولید شده‌اند. شکل ظاهری این دو پلیمر پودری سفید با رطوبت حجمی<sup>۱</sup> ۵-۷ درصد است. چگالی آن ۱/۴۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب و pH محلول هیدراته ۶-۷ است. این پلیمرها در آب و محلول‌های آبی انحلال‌ناپذیرند. از خاک‌ها به صورت تصادفی از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری و تعدادی نمونه از دو نوع خاک (لومی و شنی) انتخاب شد. چندین کلوخه دست‌نخورده نیز از این عمق برداشته شد. نمونه‌ها پس از شماره‌گذاری و انتقال به آزمایشگاه به نرمی کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری رد شدند. به جز جرم ویژه ظاهری، تمامی اندازه‌گیری‌ها روی نمونه‌های الک‌شده انجام شد. فراوانی نسبی ذرات خاک به روش هیدرومتری تعیین و پس از آن جرم ویژه ظاهری هر نمونه خاک تعیین شد.

پس از بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش، برای بررسی رفتار سیستم خاک-پلیمر در دوره‌های متوالی خشک و ترشدن، نمونه‌های خاک شامل ۵ تیمار پلیمر (۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم پلیمر در کیلوگرم خاک) تهیه شد. انتخاب اندازه ذرات پلیمر براساس الک ۲-۱ میلی‌متر بود تا از ناهمگنی ذرات پلیمر جلوگیری شود، ضریب اطمینان بالاتری در پراکنش یکنواخت پلیمر در خاک ایجاد گردد، ضمن آنکه ضرورت داشت از ذرات درشت‌تر پلیمر در مورد مصارف کشاورزی استفاده شود. پس از آماده‌سازی نمونه‌های خاک-پلیمر، برای سنجش رطوبت موجود در آنها از دستگاه صفحات فشاری استفاده

به‌عنوان رابطه خطی از حجم آزاد حفره‌های خاک به دست می‌آید و افزایش موجودی آب در خاک به این صورت است:

$$\Delta w = W \cdot D \quad (7)$$

که در آن،  $D$  = درصد ژل؛ و  $W$  = درجه تورم در مقیاس وزنی است. در عمل برای هیدروژل در تماس با خاک که تورم آزاد امکان‌پذیر نیست، این رابطه غیر خطی و به صورت زیر است:

$$E_B = F_B \cdot B_B \cdot r \cdot W \cdot D \cdot N \quad (8)$$

که در آن،  $E_B$  = بازده بیولوژیک هیدروژل؛  $N$  = تعداد سیکل جذب و دفع با شرط ثابت ماندن قدرت جذب و دفع؛  $r$  = احتمال تورم هیدروژل در خاک؛  $B_B$  = میزان در دسترس بودن آب؛  $F_B$  = ضریب آب استفاده‌شده برای فتوسنتز؛  $w$  = درجه تورم؛ و  $D$  = درصد ژل است. ضرایب  $B_B$  و  $r$  هر دو کوچک‌تر از یک هستند و  $E_B$  راندمان استفاده از هیدروژل در واحد سطح در تمام طول عمر ابرجاذب است (Kazanskii & Dubrovskii, 1992).

اهداف مهم این پژوهش عبارت‌اند از:

تعیین مقدار رطوبت آب خاک در فشارهای مختلف و در سیکل‌های متناوب تر و خشک‌شدن، ارزیابی تغییرات آنها با و بدون کاربرد پلیمرهای ابرجاذب، و تعیین پارامترهای معادلات منحنی رطوبتی معادله بروکس و کوری و معادله وان‌گنوختن.

وان گنوختن و معادله بروکس و کوری با استفاده از برنامه کامپیوتری RETC به دست آمدند. این برنامه معادله منحنی رطوبتی را به داده‌ها برازش می‌دهد و با استفاده از بهینه‌سازی پارامتر<sup>۱</sup>، به صورت غیرخطی و با حداقل مربعات خطا ضرایب ناشناخته در معادله را برآورد می‌کند.

### نتایج و بحث

با استفاده از روش‌هایی که در بخش پیشین بیان شد، دو نوع خاک مورد آزمون قرار گرفت که نتایج در جدول ۱ آورده شده است.

رطوبت جرمی نمونه‌های خاک با تیمارهای مختلف ۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۱۵ و ۱ گرم پلیمر بر کیلوگرم خاک، با ۳ تکرار در مکش‌های ۰، ۰/۱، ۰/۳، ۱، ۳، ۵ و ۱۵ بار به دست آمد که پس از حذف داده‌های غیر متعارف و میانگین‌گیری، در جرم ویژه ظاهری شرایط متناظر آن ضرب شد و رطوبت حجمی به دست آمد. پس از آن، منحنی رطوبتی برای تیمارهای مختلف پلیمر- خاک ترسیم شد.

با بررسی منحنی‌های رطوبتی خاک در تیمارهای مختلف از تیمار استاندارد صفر گرم پلیمر بر کیلوگرم خاک، تا یک گرم پلیمر بر کیلوگرم خاک در هر دوره تر و خشک‌شدن، مشاهده شد که با افزایش میزان هر دو نوع پلیمر میزان رطوبت حجمی هر دو بافت لومی و شنی افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، در یک مکش رطوبتی معین (PF)، رطوبت حجمی موجود در خاک دارای پلیمر بیشتر، بزرگ‌تر است.

شکل ۱، اثر افزودن مقدار ۱ گرم بر کیلوگرم از دو نوع پلیمر T-A100 و T-A200 به خاک لوم را در یک

شد. سپس داده‌های جرمی منحنی رطوبتی به دست آمد. برای تعیین جرم ویژه ظاهری سیستم خاک- پلیمر، ۳۰ گرم از تیمارهای ۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم پلیمر بر کیلوگرم خاک در حجم ثابت ۲۰ سانتی‌متر مکعب ظروف مدرج قرار داده شد. سپس، با اشباع کردن آنها و خشک کردن در آون، جرم ویژه ظاهری (بدون اعمال بار) به دست آمد. برای تبدیل رطوبت‌های وزنی به دست آمده در فشارهای ۰، ۰/۱، ۰/۳، ۱، ۳، ۵ و ۱۵ بار توسط دستگاه صفحات فشاری به رطوبت حجمی، جرم ویژه ظاهری نمونه‌ها مورد نیاز است اما به دلیل تغییر جرم ویژه ظاهری ترکیب خاک- پلیمر در رطوبت‌ها و فشارهای مختلف، تمام آزمایش‌ها روی تک‌تک نمونه‌های خاک- پلیمر تکرار شد. به این منظور، مجدداً ۳۰ گرم از تیمارهای ۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم پلیمر بر کیلوگرم خاک در حجم ثابت ۲۰ سانتی‌متر مکعب ظروف مدرج قرار داده شد. آنگاه نمونه‌ها که در ظروف استوانه‌ای مدرج فلزی قرار داشتند، در دستگاه صفحات فشاری گذاشته شدند و با اعمال فشارهای مورد نظر، حجم ثانویه و جرم ویژه ظاهری سیستم خاک- پلیمر به دست آمد. در این حالت، ابتدا جرم ویژه ظاهری در هر رطوبت برای هر نمونه خاک جداگانه تعیین و سپس در رطوبت وزنی متناظر ضرب شد.

با توجه به اهمیت پارامتر  $n$  (تعداد دوره‌های تر و خشک‌شدن) و اینکه حفظ قدرت جذب و دفع آب توسط پلیمر پارامتر مهمی از خصوصیات پایه آن به شمار می‌رود، برای سنجش قابلیت تورم‌پذیری پلیمر در دوره‌های مختلف تر و خشک‌شدن، داده‌های منحنی رطوبتی برای ۵ دور متوالی با سه تکرار به دست آمد. سپس پارامترهای معادله

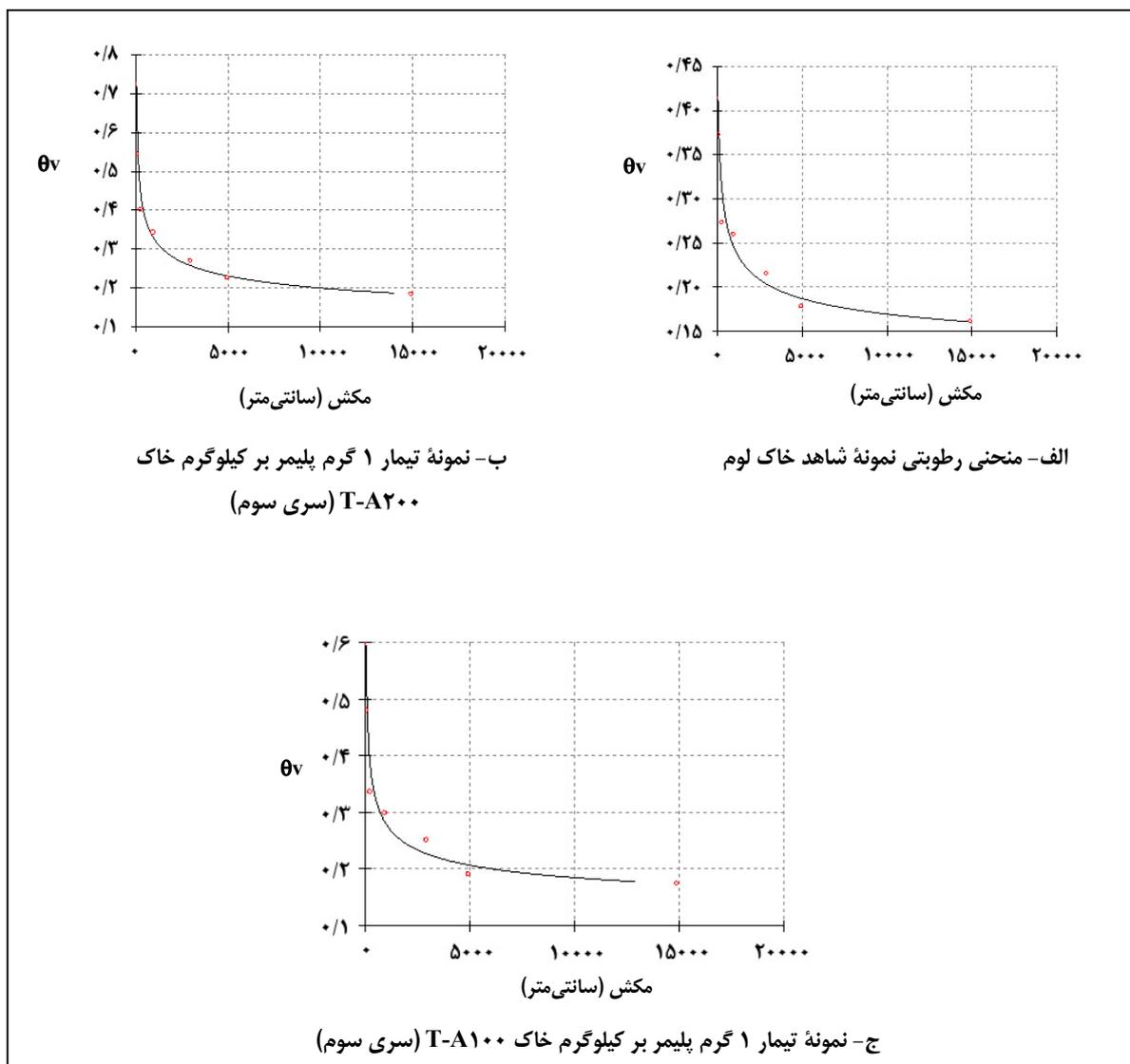
خاک- پلیمر افزایش می‌یابد. با مقایسه شکل‌های ۲ و ۳، تفاوت کارایی پلیمر T-A200 نسبت به پلیمر T-A100 نمایان می‌شود. بررسی منحنی رطوبتی خاک- پلیمر در خاک شنی مورد بررسی نیز مبین روند مشابهی است که در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. افزایش ناگهانی میزان رطوبت حجمی خاک- پلیمر در تیمارهای به کار برده شده، از دوره اول به دوم مشاهده شد. وجود مونومرهای باقیمانده به افزایش فشار اسمزی ناشی از اختلاط کمک می‌کند و باعث افزایش تورم هیدروژل‌ها می‌شود. به طور کلی، پدیده فراجاهش در سینتیک تورم هیدروژل‌ها به حضور مونومرهای واکنش‌نیافته و سایر ناخالصی‌ها در شبکه پلیمری نسبت داده شده است (Barati, 1994).

دوره انتخابی نسبت به هم و نمونه استاندارد، به منظور مقایسه نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار رطوبت حجمی نمونه شاهد، ۴۲ درصد و در سیکل سوم (انتخاب دوره تصادفی و فقط برای مقایسه بوده است) برای پلیمر T-A100، ۴۹ درصد و برای پلیمر T-A200، ۵۷ درصد می‌باشد. با بررسی منحنی‌های رطوبتی دو نوع پلیمر، در تیمارهای مختلف هر دو خاک مشاهده شد که در شرایط مشابه، پلیمر T-A200 محتوای رطوبت حجمی خاک را به میزان بیشتری، نسبت به پلیمر T-A100 افزایش می‌دهد. در شکل ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار پلیمر به کار برده شده در تیمارها، سطح زیر منحنی رطوبتی

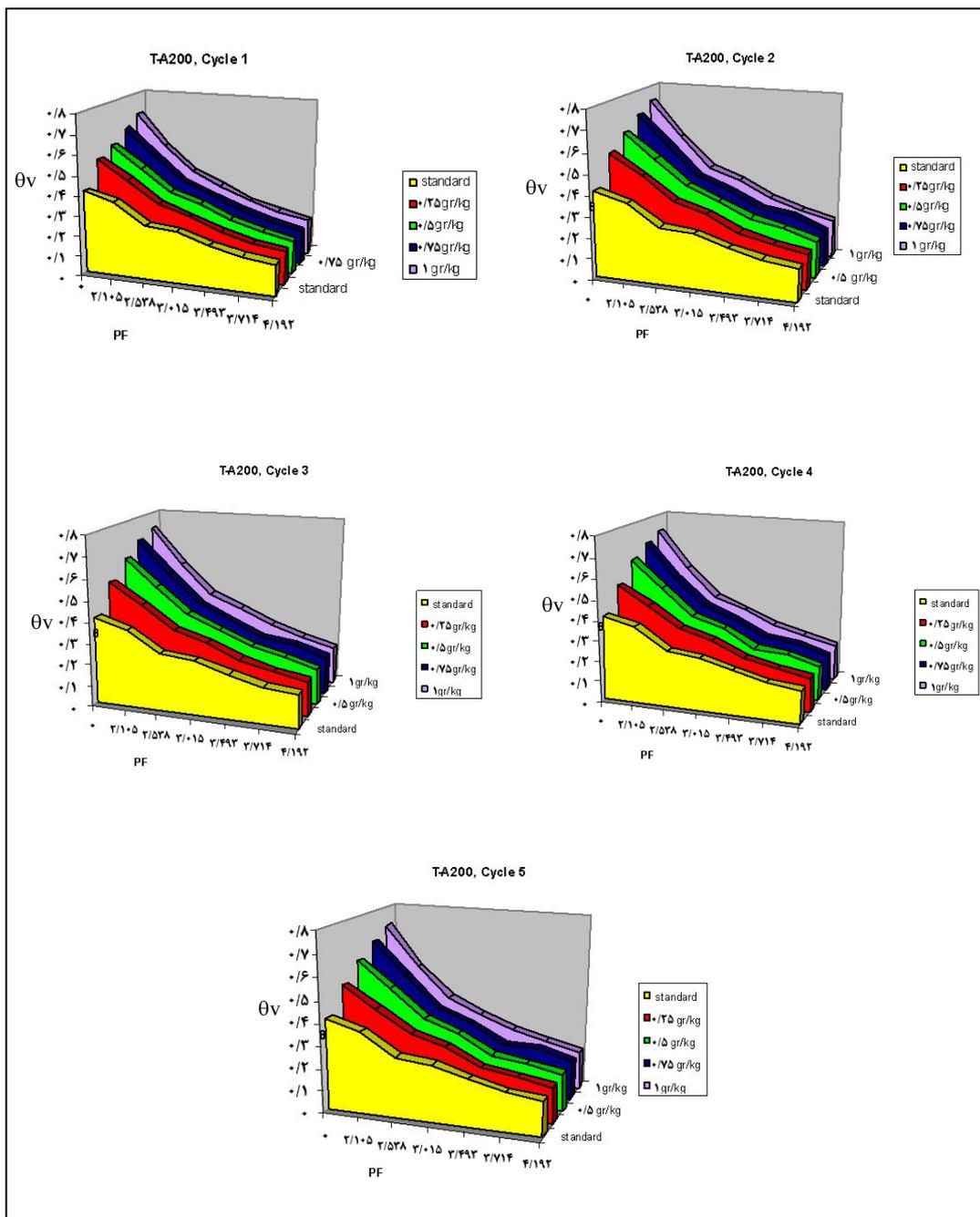
جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک

پتاسیم	منیزیم	گوگرد	آهن	منگنز	روی	مس	بر	Ec	pH	بی‌کربنات میلی‌اکی‌والان در لیتر	شن درصد	سیلت درصد	رس درصد	بافت
K	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	دسی‌زیمنس بر متر						
۶۲	۵۷/۵	۵/۹۲	۴/۷۴	۲/۷۴	۱/۸۲	۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۷۵	۸/۰۰	۰/۳۳	۹۰	۷/۵	۲/۵	شنی
۳۶۳	۲۳۱/۳	۲۴/۳	۴/۶۰	۱۵/۴۰	۱/۴۲	۱/۲۸	۰/۵۲	۱/۰۸	۷/۹۶	۲	۳۷	۳۷	۲۶	لومی

تورم تناوبی پلیمرهای ابرجاذب در محیط ...

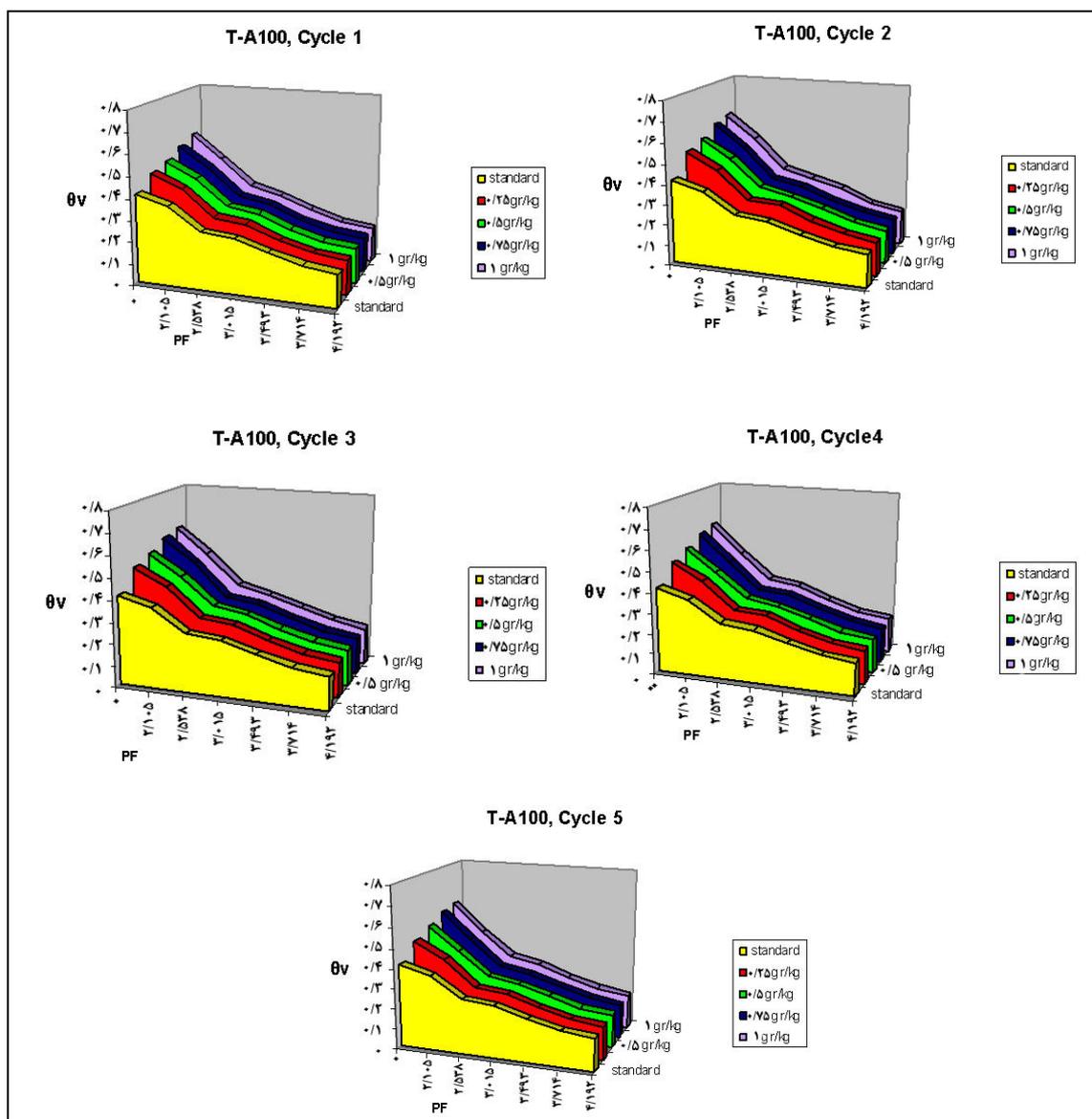


شکل ۱- تاثیر افزایش مقدار ۱ گرم از دو نوع پلیمر T-A200 و T-A100 بر کیلوگرم خاک لوم و نمونه شاهد در سیکل سوم خشک و تر شدن



شکل ۲- منحنی رطوبتی خاک- پلیمر T-A200 در تیمارهای ۰، +۰.۲۵، +۰.۵، +۰.۷۵ و ۱ گرم پلیمر بر کیلوگرم خاک در هر سیکل متوالی در خاک لوم

تورم تناوبی پلیمرهای ابرجاذب در محیط ...

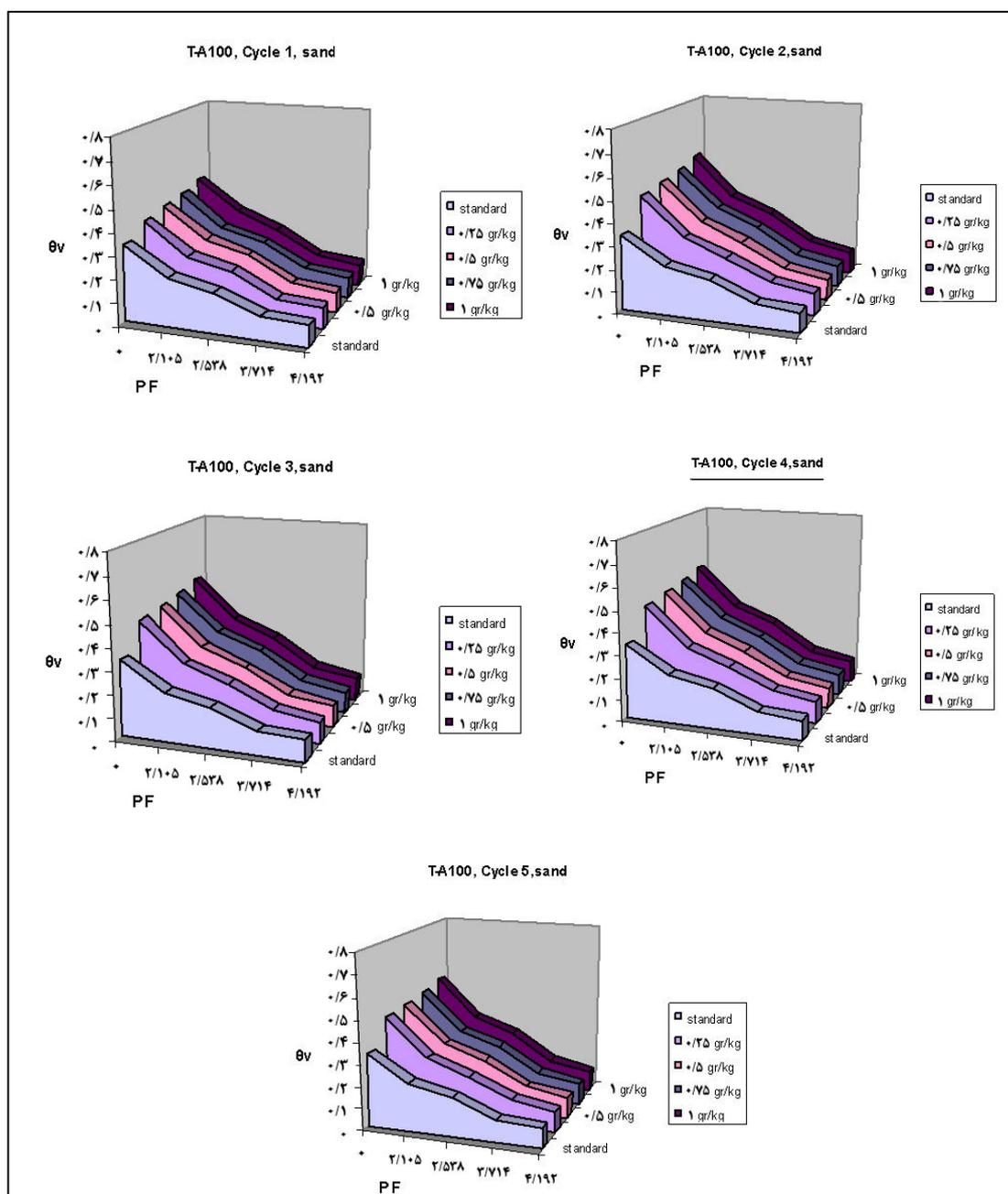


شکل ۳- منحنی رطوبتی خاک- پلیمر T-A100 در تیمارهای

۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم پلیمر بر کیلوگرم خاک لوم در هر سیکل متوالی

کاهش تورم می‌شود. از سیکل دوم تا چهارم، رطوبت حجمی خاک- پلیمر در هر دو نوع پلیمر تغییرات همسویی نشان می‌دهد. در تناوب پنجم، پلیمر T-A100 آفتی جزئی نسبت به دوره قبل نشان می‌دهد.

از سویی دیگر، خنثی شدن بارهای یونی  $\text{COO}^-$  در شبکه پلیمری توسط کاتیون‌های دو ظرفیتی موجود در خاک، باعث کاهش فشار اسمزی ناشی از حضور یون‌های مخالف (Counter Ions) آزاد در شبکه پلیمری و در نتیجه

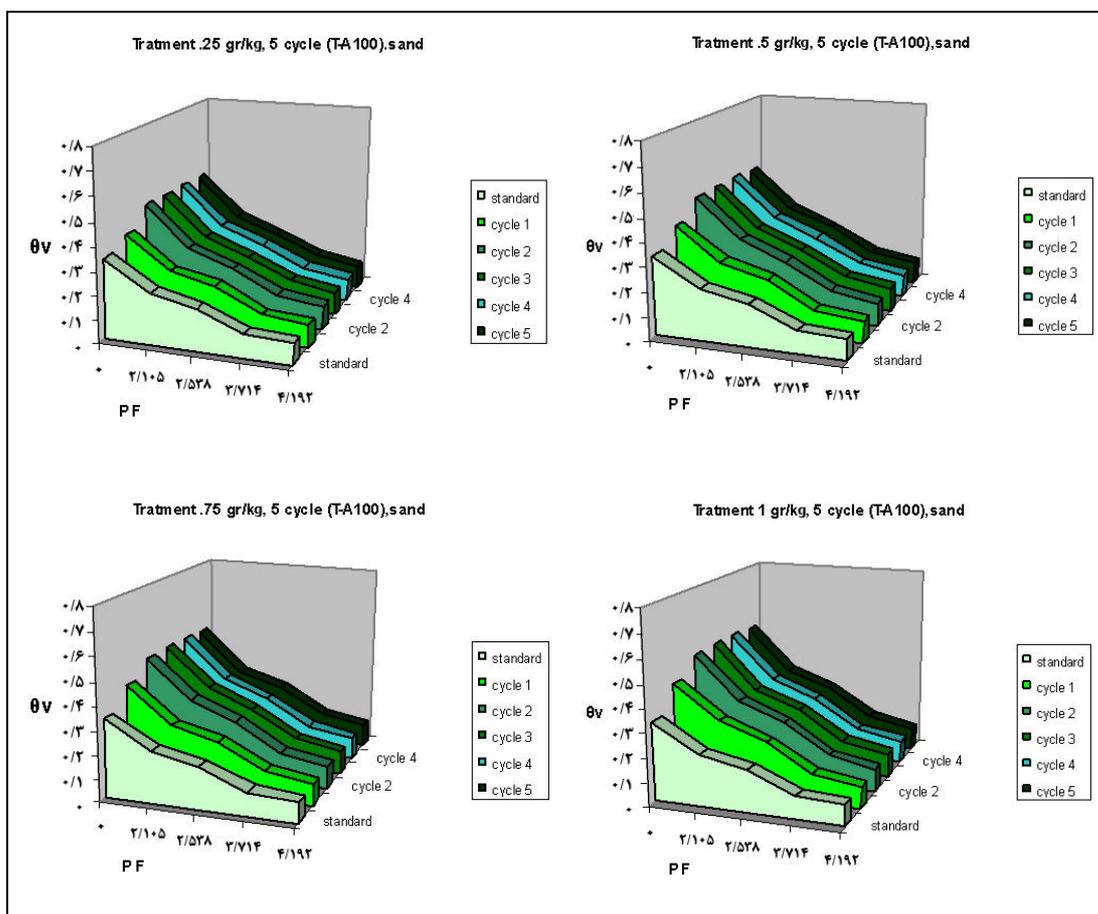


شکل ۴- منحنی رطوبتی خاک- پلیمر T-A200 در تیمارهای ۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم پلیمر بر کیلوگرم خاک شنی در هر سیکل متوالی

تورم تناوبی پلیمرهای ابرجاذب در محیط ...

در مورد پلیمر T-A200، در دوره اول خشک و ترشدن، با افزایش مقدار پلیمر به کار برده شده میزان نگهداشت رطوبت در تمام دامنه منحنی رطوبتی افزایش یافته است. اما این افزایش، در مکش‌های کم زیادترو در مکش‌های بالا کمتر است.

برای بررسی رفتار ترکیب خاک- پلیمر در تیمارهای مختلف ۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۱۵ و ۱ گرم پلیمر بر کیلوگرم خاک، طی ۵ دوره مختلف خشک و ترشدن، رفتار این پلیمر با استفاده از منحنی رطوبتی ارزیابی شد. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود،



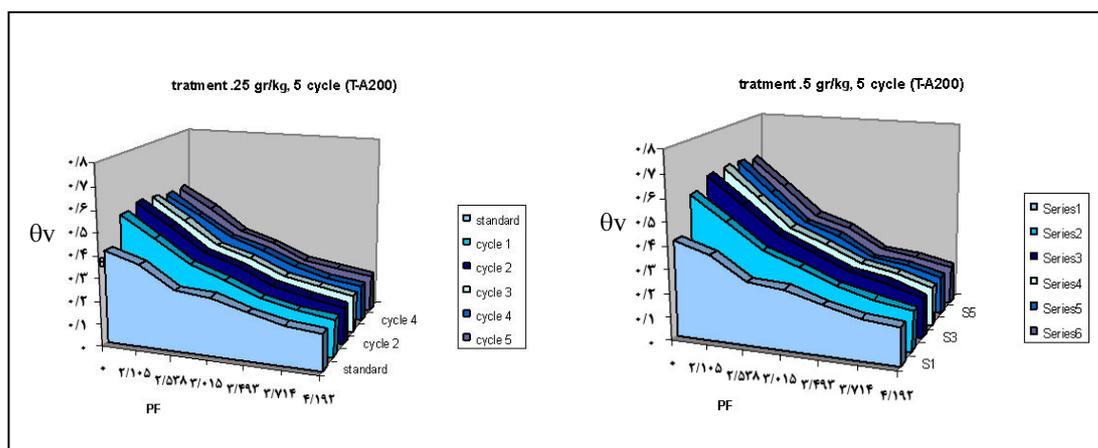
شکل ۵- منحنی رطوبتی خاک- پلیمر T-A100 در تیمارهای

۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۱۵ و ۱ گرم پلیمر بر کیلوگرم خاک شنی در هر سیکل متوالی

کیلوگرم خاک افزایش یافته است. مقایسه این منحنی‌ها با پلیمر T-A200 نشان‌دهنده میزان نگهداشت بیشتر رطوبت در پلیمر T-A200 است. چنین روندی در خاک شنی هم مشاهده شد، اما ناکارایی در هیچ دوره‌ای از ۵ تناوب مورد مطالعه در پلیمرهای T-A100 و T-A200 مشاهده نشد. در تناوب پنجم، افتی جزئی در میزان رطوبت حجمی به خصوص در رطوبت حجمی اشباع ( $\theta_s$ ) در پلیمر T-A100، نسبت به سیکل چهارم، مشاهده می‌شود که بررسی چند و چون آن نیازمند پژوهش‌های بیشتری است.

پس از ترسیم منحنی‌های رطوبتی خاک‌های حاوی دو پلیمر مورد آزمون، پارامترهای معادله وان گنوختن با برنامه کامپیوتری RETC، تعیین شد (van Genuchten *et al.*, 1991). این معادله تابعی پیوسته است که در بسیاری از مدل‌های عددی مانند مدل HYDRUS (Vogel *et al.*, 1996) و مدل SWAP (van Dam *et al.*, 1997) استفاده می‌شود که جریان آب و انتقال املاح را در خاک شبیه‌سازی می‌کنند. به علاوه، این تابع با مدل‌های فیزیکی هدایت آبی غیر اشباع که بر پایه توزیع اندازه منافذ استوارند، قابل ترکیب است.

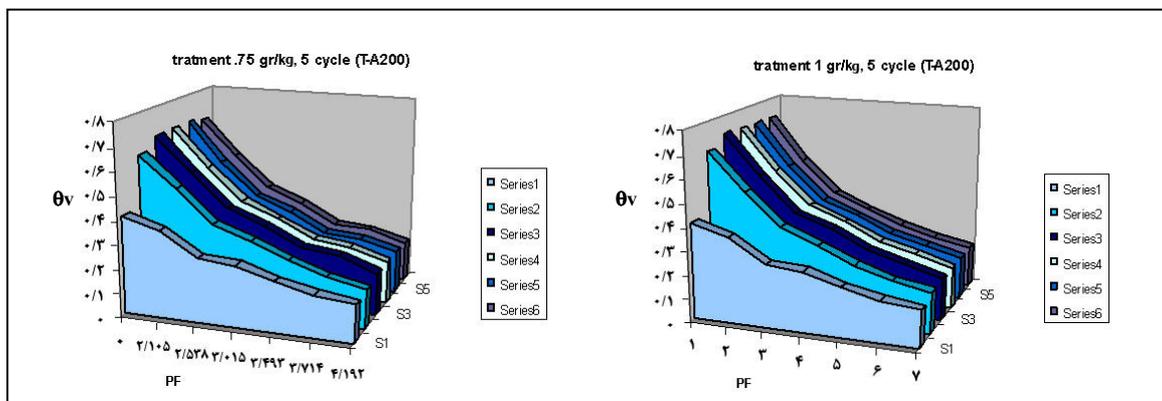
مشخص‌ترین اثر کاربرد پلیمر در رطوبت حجمی اشباع ( $\theta_s$ ) مشهود است که از رطوبت حجمی ۳۷ درصد برای شاهد تا ۶۸ درصد برای تیمار ۱ گرم بر کیلوگرم پلیمر در خاک افزایش یافته است. در تناوب‌های بعدی نیز روند توضیح داده شد شکل ۵ مشاهده شد. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که پلیمر T-A200 تا ۵ دوره خشک و ترشدن کامل، به خوبی قابلیت تورم و انقباض خود را حفظ می‌کند و این موضوع در نواحی خشک و نیمه‌خشک که به کرات آبیاری صورت می‌گیرد حائز اهمیت است. اما اینکه این پلیمر در بیشتر از ۵ دوره خشک و ترشدن کامل می‌تواند ویژگی‌های خود را همچنان حفظ کند یا خیر، نیازمند پژوهش‌های بیشتری است. در بررسی سیستم خاک-پلیمر T-A100 در تیمارهای مختلف طی ۵ دوره مختلف تر و خشک‌شدن با استفاده از منحنی رطوبتی مشاهده شد که در دوره اول با افزایش مقدار پلیمر کاربردی میزان نگهداشت رطوبت در تمام دامنه منحنی رطوبتی افزایش می‌یابد. اما این افزایش در مکش‌های کم زیاده‌تر و در مکش‌های بالا کمتر است. همانند پلیمر T-A200، مشخص‌ترین اثر کاربرد پلیمر، بر رطوبت حجمی اشباع ( $\theta_s$ ) مشهود است که از ۳۶ درصد برای شاهد تا ۵۹ درصد برای تیمار ۱ گرم پلیمر بر



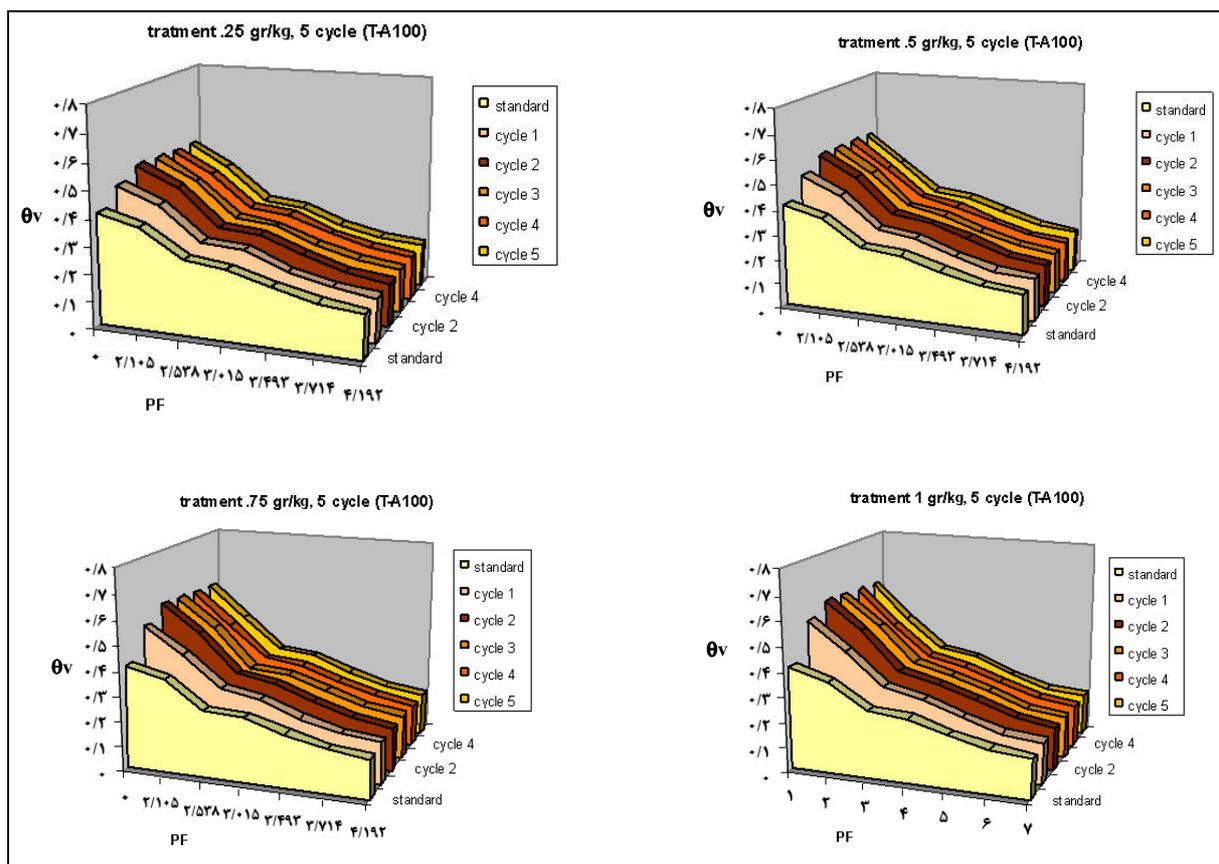
شکل ۶ - منحنی رطوبتی خاک- پلیمر T-A200 در تیمارهای

۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم پلیمر بر کیلوگرم خاک در ۵ سیکل متوالی در خاک لوم

نورم تناوبی پلیمرهای ابرجاذب در محیط ...



ادامه شکل ۶ - منحنی رطوبتی خاک- پلیمر T-A200 در تیمارهای  
 ۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم پلیمر بر کیلوگرم خاک در ۵ سیکل متوالی در خاک لوم



شکل ۷ - منحنی رطوبتی خاک- پلیمر T-A100 در تیمارهای  
 ۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم پلیمر بر کیلوگرم خاک در ۵ سیکل متوالی در خاک لوم

## نتیجه گیری

مقدار پلیمر قابل توجه نبود و عموماً با افزایش مقدار پلیمر افزایش یافت. اما این افزایش، روندی خاص نشان نداد. در هر بافت، با افزایش مقدار پلیمر، پارامتر  $n$  افزایش یافت. تغییرات پارامتر  $\alpha$  وابسته به نوع خاک است. با افزایش مقدار پلیمر کاربردی در بافت شنی، بار فشاری ورود هوا به خاک افزایش و مقدار  $\alpha$  کاهش یافت. اما در بافت لومی با افزایش میزان پلیمر، بار فشاری ورود هوا به خاک کاهش و در نتیجه مقدار  $\alpha$  افزایش یافت. ارزیابی اعتبار مدل‌های به کار برده شده نشان داد که پیش بینی پارامترهای معادله منحنی رطوبتی با استفاده از مدل وان گنوختن نتایج بهتری نسبت به مدل بوردین و بروکس- کوری ارائه می‌دهد.

میزان ذخیره آب به وسیله ابرجاذب‌ها تابع تعداد سیکل‌های تورم- انقباض آنهاست. در این پژوهش، ۵ دوره تورم و خشک‌شدن کامل بررسی شد. پیشنهاد می‌شود برای توصیه استفاده از پلیمرها، آزمایش‌ها به تعداد دوره‌های آبیاری، تکرار شود. در انتخاب نوع پلیمر ابرجاذب برای خاک‌ها، لازم است خصوصیات پایه‌ای اسید یا بازی ژل و خاک در نظر گرفته شود، تا پدیده متعارف یون‌های مخالف و جذب روی سطوح جامد ژل، رخ ندهد.

با بررسی منحنی‌های رطوبتی خاک در تیمارهای مختلف در هر دوره تر و خشک‌شدن، مشاهده شد که با افزایش میزان هر دو نوع پلیمر، میزان رطوبت حجمی هر دو بافت لومی و شنی افزایش می‌یابد. همچنین، بررسی منحنی‌های رطوبتی دو نوع پلیمر در تیمارهای مختلف هر دو خاک نشان داد که در شرایط مشابه، پلیمر T-A200 مقدار رطوبت حجمی خاک را به میزان بیشتری، نسبت به پلیمر T-A100 افزایش می‌دهد. در هر دو نوع پلیمر و در همه تیمارها، افزایش ناگهانی رطوبت حجمی خاک- پلیمر از دوره اول به دوم مشاهده شد. دلیل این امر وجود مونومرهای واکنش نیافته در دوره اول و خنثی‌شدن بارهای یونی  $\text{COO}^-$  در شبکه پلیمری توسط کاتیون‌های دو ظرفیتی موجود در خاک است. از سیکل دوم تا چهارم، رطوبت حجمی خاک- پلیمر در هر دو نوع پلیمر تغییرات همسویی نشان داد. در تناوب پنجم، پلیمر T-A100 افتی جزئی نسبت به دوره قبل نشان داد. در بررسی پارامتریک منحنی رطوبتی خاک- پلیمر برای هر دو بافت، با افزایش مقدار پلیمر رطوبت اشباع  $\theta_s$  افزایش یافت. تغییر در رطوبت باقیمانده  $\theta_r$  با افزایش

## مراجع

- Abraham, J. and Rajasekharan Pillai, V. N. 1995. N, N-methylene bisacrylamide-crosslinked polyacrylamide for controlled release urea fertilizer formulations. *Communication Soil Sci. Plant Analysis*. 26, 3231-41.
- Aly, S. M. and Letey, J. 1991. Physical properties of sodium-treated soil as affected by two polymers. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 501-504.

تورم تناوبی پلیمرهای ابرجاذب در محیط ...

- Anon. 1999. Iran's agriculture in a view. Ministry of Agriculture. Department of Planning and Budget. (in Farsi)**
- Baasiri, M., Ryan, J., Mucelik, M. and Harik, S. N. 1986. Oil application of a hydrophilic conditioner in relation to moisture, irrigation frequency and crop growth. Communication Soil Sci. and Plant Analysis. 17, 573-589.**
- Barati, A. 1994. Optimal conditions for agricultural Hydro-gels. M. Sc. Thesis. Faculty of Chemical Engineering. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran. (in Farsi)**
- Bres, W. and Weston, L. A. 1993. Influence of gel additive on nitrate, ammonium, and water retention and tomato growth in a soilless medium. Hort. Sci. 28, 1005-1007.**
- Brooks, R. H. and Corey, A. T. 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrology Paper. No. 3. Colorado State Unit, Fort Collins, Co.**
- Callebaut, F., Gabriels, D. and Boodt, M. De. 1981. Time responses of sugar beet germination, oxygen diffusion and redox potential to crust formation, polyacrylamide stabilization and peroxide fertilization. Geoderma. 25(3,4): 275-283.**
- Carter, D. L., Westermann, D. T., Sojka, R. E., Mcek, B. D., Wright, J. L., Brown, M. J. and Lehrsch, G. A. 1995. Controlling nitrate leaching and erosion on irrigated land. Clean water, clean environment. Proceeding of 21<sup>st</sup> Century Term Agriculture Working to Protect Water Resources Conference.**
- Cook, D. F. and Nelsons, S. D. 1986. Effect of polyacrylamide on seedling emergence in crust-forming soils. Soil Sci. 141, 328-333.**
- Grola, M. M., Huang, M. L. and Sewell, G. 1994. Interaction of certain polyacrylamides with soil bacteria. Soil Sci. 158, 291-300.**
- Gupta, S. C. and W. E. Larson. 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter content, and bulk density. Water Resour. Res. 15, 1633-35.**
- Hampil, D. D. 1982. Hort. Sci. 17, 256.**
- Johnson, M. S. 1984. Effect of soluble salts on water absorption by gel-forming soil conditioners. J. Sci. Food Agric. 35, 1063-66.**
- Johnson, M. S. 1984. The effects of gel-forming polyacrylamides on moisture storage in sandy soils. J. Sci. Food Agric. 35, 1196-1200.**
- Kazanskii, K. S. and Dubrouski, S. A. 1992. Chemistry and physics of agricultural hydrogels. J. Advance Polymer Sci. 101, 97-133.**

- Lentz, R. D. and Sojka, R. E. 1994. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration. *Soil Sci.* 158, 274-292.
- Leong E. C. and H. Rahardjo. 1997. Review of soil- water characteristic curve equations. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 123, 1160-70.
- Levin, J., Ben Hur, M., Gal, M. and Levy, G. J. 1991. Rain energy and soil amendments effects on infiltration and erosion of three different soil types. *Australian J. Soil Res.* 29, 455-465.
- Levy, G. J., Levin, J., Gal, M., Benttur, M. and Shainberg, I. 1992. Polymers effects on infiltration and soil erosion during consecutive simulated sprinkler irrigation's. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 902-907.
- Malik, M., Amrhein, C. and Letey, J. 1991. Polyacrylamide to improve water flow and salt removal in a high shrink-swell soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 1664-67.
- Mitchell, A. R. 1986. Polyacrylamide application in irrigation water to increase infiltration. *Soil Sci.* 141, 353-358.
- Nadler, A. and Letey, J. 1989. Organic polyanions effect on aggregation of structurally disrupted soil. *Soil Sci.* 148, 346-354.
- Nadler, A. and Steinberger, Y. 1993. Trends in structure, plant growth, and microorganisms interrelations in the soil. *Soil Sci.* 155, 114-122.
- Norton, L. D. 1992. Chemical amendments for erosion control. International Winter Meeting. American Society of Agricultural Engineers. Dec. 15-18. Nashville. Tennessee.
- Padman, D. R. and Porwal, B. L. and Patel, J. C. 1994. Effect of Levels of Irrigation, Nitrogen and Jalashakti on Growth and Yield of Indian Mustard (*Brassica Juncea*). *Indian J. Agronomy.* 39, 599-603.
- Rubio, H. O., Wood, M. K., Cardenas, M. and Buchanan, B. A. 1989. Effect of polyacrylamide on seedling emergence of three grass species. *Soil Sci.* 141, 355-360.
- Shainberg, I., Laflen, J. M., Bradford, J. M. and Norton, L. D. 1994. Hydraulic flow and water quality characteristics in rill erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1007-1012.
- Sharma, P. K. 1988. Interaction of FeSO<sub>4</sub> with polyacrylamide and urea formaldehyde in aggregating light - textured soils. *Soil Sci.* 146, 158-191.
- Sojka, R. E. and Lentz, R. D. 1998. Net infiltration and Soil erosion effects of a few ppm polyacrylamid in farrow irrigation water. Proceeding of the Zed International Symposium on Sealing Crusting and Hardsetting Soils: Prouductivity and Conservation. University of Queensland. Brisbane. Australia.

تورم تناوبی پلیمرهای ابرجاذب در محیط ...

- Steinberger, Y., Sarig, S., Nadler, A. and Barnes, G. 1993. The effect of synthetic soil conditioners on microbial biomass. *J. Arid Soil Res. Rehabil.* 7, 303-306.
- Stern, R., Laker, M. C. and Merwe, A. J. V. D. 1991. Field studies on effect of soil conditioners and mulch on runoff from Kaolinitic and Illitic soils. *Australian J. Soil Res.* 29, 249-261.
- Tripepi, R. R., George, M. W., Dumroese, R. K. and Wenny, D. L. 1991. Birch seedling response to irrigation frequency and a hydrophilic polymer amendment in a container medium. *J. Environ. Hort.* 9, 119-123.
- van Dam J. C., Huygen, J. Wesseling, J. G., Feddes, R. A., Kabat, P., van Walsum, P. E. V., Groenendijk, P. and van Diepen, C. A. 1997. Theory of SWAP Version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the soil- water- plant- atmosphere environment. Techn. Doc 45. Starting Centre. Agric. Res. Dep. Wageningen. The Netherlands.
- van Genuchten, M. Th. 1980. A closed- form equation for predicting the hydraulic conductivity of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 161-180.
- van Genuchten, M. Th., Leij, F. J. and Yates, S. R. 1991. The RETC code for quantifying the hudraulic function of unsaturated soils. EPA/600/2-91/065, US Salinity Laboratory. USDA-ARS. Riverside, CA.
- Vogel, T., Huang, K., Zhang, R. and van Genuchten, M. Th. 1996. The HYDRUS code for simulating water flow, solute transport and heat movement in variably-saturated porous media. Version 5.0. Research Rep. 140. USSL. Riverside, CA.
- Wallace, A. and Wallace, G. A. 1986. Polyacrylamide (PAM) and soils. *Soil Sci.* 141, 334-342.
- Wang, Y. T. and Bogher, C. A. 1987. Effect of medium incorporated hydrogen on plant growth and water use of two foliage species. *J. Environ. Hort.* 5(3): 127-130.
- Wang, Y. T. and Boogher, C. A. 1989. Hydrophilic polyacrylamide and fertilizer affect growth and water relations of chlorophytum comosum and plectranthus Australis during winter production. *Rio-Grande-Val-Hort. Soc.* 42, 51-58.
- Woodhouse, J. M. and Johnson, M. S. 1991. The effects of gel-forming polymers on seed germination and establishment. *J. Arid Environ.* 20, 375-380.



## Cyclic Swelling of Superabsorbent Polymers in Soil Porous Media

S. Ebrahimi\*, M. Homae and E.Vasheghani Farahani

\* Corresponding Author: M.Sc. Graduate, Tarbiat Modares University, P. O. Box: 14155-4838, Tehran, Iran. E-mail: s\_ebrahimi@modares.ac.ir

Both arid and semi-arid regions, which make up the greatest portion of the earth, suffer from a lack of precipitation and unsuitable water distribution. The agricultural sector consumes most of the fresh water resources in comparison with other sectors. Thus, it is important to increase water use efficiency (WUE) and practical ways to maintain soil water. Superabsorbent polymers are water containers that absorb and retain large quantities of water when applied to the soil. These materials release the absorbed water, allowing the plants to consume adequate amounts of water at all growth stages. This study investigated the cyclic swelling behavior of superabsorbent polymers. Two polymers, TA-100 and TA-200, were applied to loamy and sandy soils. The treatment levels consisted of 0, 0.25, 0.5, 0.75 and 1 gr of both polymers per kg of dry-weighted soil in 3 replicates. The water content for each treatment was measured at 0, 100, 300, 500, 1000, 3000, 5000 and 15000 kPa and soil water retention curves (WRC) were obtained for each soil sample. The samples were then oven-dried and re-wetted five times and the WRCs were again obtained. The results indicated that, by applying more polymers to the soil, the water content at any soil water pressure head increased. However, this influence declined for the next four drying-wetting cycles. The most dominant influence of the superabsorbent polymers on water retention for each drying-wetting cycle appeared in the lower soil water pressure heads (0-5000 kPa). A comparison of the TA-100 and TA-200 polymers indicated that the TA-200 has a larger water retention capacity and also appeared to absorb more water than did the TA-100 during the subsequent four cycles. Parametric analysis of the retention curves indicated that  $\theta_s$ ,  $n$  and  $\theta_r$  parameters in all treatments increased when more polymer was applied. However, the variation of magnitude of  $\theta_r$  was small. It was also observed that when any type of superabsorbent was applied, the  $\alpha$  parameter decreased in sandy soil and increased in loamy soil.

**Key Words:** Cyclic Swelling, Polymer, Retention Curve, Superabsorbent, Water Holding Capacity