نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال دهم. شماره سی و نهم. بهار۱۳۹۹

بررسی اثر غلظت پلی اکریل آمید روی هدایت هیدرولیکی اشباع سه بافت مختلف خاک

وحید شهابی زاد [۱] مهدی بهرامی*[۲]

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۰۵/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰

مقاله بر گرفته از تحقیق مستقل

چکیده

امروزه ا ستفاده از پلیمرها و مواد ا صلاح‌کننده خاک و آب، اهمیت قابل‌توجهی در بخش ک شاورزی دارد. یکی از مهم‌ترین پلیمرها که باعث کاهش فر سایش خاک و افزایش نفوذ آب در خاک می شود پلی اکریل آمید بانام تجاری PAM ا ست. تحقیقات انجام شده در مورد اثر ا ستفاده از PAM بر خ صو صیات فیزیکی خاک (مانند هدایت هیدرولیکی ا شباع) نتایج یک سانی ندا شته ا ست. در این تحقیق اثر شش غلظت ۰، ۵،۱۰، ۱۵، ۲۰ ، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر که به صورت محلول PAM که به خاک اضافه شد، روی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های لوم شنی، لوم و لوم رس سیلتی به روش بار ثابت در آزمای شگاه با پنج تکرار برر سی شد. نتایج ن شان داد که با افزایش غلظت هر میلی‌گرم بر لیتر محلول PAM، لزجت محلول ۱/۹ در صد افزایش یافت. در خاک لوم شنی با افزایش غلظت PAM، هدایت هیدرولیکی ا شباع خاک به صورت خطی و معنی‌داری کاهش یافت. با افزایش هر ۵ میلی‌گرم بر لیتر محلول PAM هدایت هیدرولیکی ا شباع خاک لوم شنی ۲/۶ سانتی‌متر بر ساعت کاهش یافت. در خاک سبک لوم شنی اثر افزایش لزجت محلول PAM عبوری از محیط متخلخل مشهودتر از اثر پیوند بین ذرات رس و PAM بود.در خاک‌های لوم و لوم رس سیلتی روند تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ن سبت به غلظت PAM به صورت سهمی درجه ۳ بود. در خاک لوم تا غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر PAM و در خاک لوم رس سیلتی تا غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر PAM هدایت هیدرولیکی ا شباع خاک افزایش و در غلظت‌های بزرگ‌تر از این مقادیر، هدایت هیدرولیکی ا شباع کاهش یافت.برای خاک‌های لوم و لوم رس سیلتی با افزایش غلظت محلول PAM تا مقدار بهینه مصرف اثر پیوند بین ذرات رس و PAM و بعدازآن اثر لزجت محلول PAM مشهود بود.

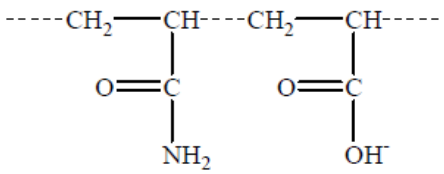
واژه‌های کلیدی: لزجت محلول پلی اکریل آمید، نفوذپذیری خاک، مواد اصلاح کننده خاک.

[۱] دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. ۰۹۱۷۱۰۷۲۸۷۲، v.shahabizad@yahoo.com
[۲] استادیار، گروه مهندسی آب ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران. ۰۹۱۷۶۰۹۶۵۶۱ ، (مسئول مکاتبه) bahrami@fasau.ac.ir

مقدمه

با توجه به رشد روزافزون جمعیت جامعه بشری و کمبود منابع آب و خاک افزایش بهره‌وری از منابع آب و خاک موجود، باید در دستور کار مسئولین قرار گیرد. با پیشرفت علم و فنّاوری، مواد اصلاح‌کننده منابع خاک و آب برای مقاصد کشاورزی ساخته شده است که می‌توان از ژئولیت و پلی اکریل آمید آنیونی نام برد. پلی اکریل آمید بانام تجاری PAM یک پلیمر شناخته شده با وزن مولکولی بالا جهت مقابله با رواناب و فرسایش می‌باشد

که از سال ۱۹۹۰ به صورت تجاری در مزارع آمریکا مورد استفاده قرار گرفت (Barvenik.,1994). شکل (۱) فرمول شیمیایی پلی اکریل آمید (PAM) را نشان می‌دهد (Green and stott.,2001) که به دو صورت تجاری مایع و جامد تولید می‌شود.



شکل (۱): فرمول شیمیایی پلی اکریل آمید

PAM به سه صورت آنیونی، کاتیونی و خنثی موجود بوده که تنها از PAM آنیونی جهت مقاصد کشاورزی استفاده می شود. همچنین PAM به‌عنوان پایدارکننده باعث چسبندگی بهتر ذرات خاک و بهبود استحکام و مقاومت خاک می شود و بدین منظور در تثبیت خاک، بیابان‌زدایی، کاهش فرسایش و پراکنش خاک در آبیاری کاربرد دارد. از PAM در ساخت ابر جاذب‌های رطوبت نیز استفاده می شود. ابر جاذب‌ها به بالا بردن ضریب جذب آب در خاک و افزایش نگهداری آب در خاک کمک می‌کنند. اکنون در آمریکا PAM به‌طور گسترده‌ای در آبیاری سطحی جویچه‌ای و آبیاری بارانی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Sojka et al.,2007). PAM ماده‌ای غیر سمی است و اثر نامطلوبی روی محیط‌زیست و محیط رشد گیاه ندارد و به‌وا سطه وزن مولکولی بالا جذب گیاه نمی شود و با عث افزایش رطوبت خاک و عملکرد گیاه می شود (Xindong et al.,2011). باید توجه داشت PAM تنها عاملی جهت تحکیم خاک است و باعث اصلاح ساختمان خاک نمی شود (Cook and Nelson.,1986). هدایت هیدرولیکی اشباع خاک مطابق رابطه کوزنی-کارمن (رابطه ۱) تابعی از محیط متخلخل و مشخصات سیال عبوری از خاک است (Correy.,1977):

$$K = \frac{k\rho g}{\eta} \qquad (۱)$$

که در این رابطه η لزجت دینامیکی (پاسکال. ثانیه)، k نفوذپذیری ذاتی خاک (مترمربع) و تابعی از مشخصات محیط متخلخل می‌باشد. ρ چگالی سیال عبوری (کیلوگرم بر مترمکعب)، g شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه) و K هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (متر بر ثانیه) می‌باشد. هدایت هیدرولیکی خاک پارامتر اصلی معادله دارسی برای بررسی و مطالعه حرکت آب در محیط متخلخل می‌باشد.

$$V = -K.\,\mathrm{grad}H \qquad (۲)$$

که در رابطه فوق V سرعت جریان (متر بر ثانیه) و H پتانسیل کل آب خاک یا بار هیدرولیکی (متر) می‌باشد.

محققین نشان دادند به‌کاربردن ۳/۵ تا ۸ کیلوگرم در هکتار PAM محلول در آب آبیاری، به‌طور متوسط ۹۴ درصد فرسایش آبیاری جویچه‌ای را کاهش و حدود ۱۵ تا ۵۰ درصد نفوذ آب در خاک را افزایش داد (Lentz et al.,1994). همچنین محققین از PAM محلول در آب با غلظت ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر برای کنترل فرسایش در آبیاری جویچه‌ای استفاده کردند و دریافتند که غلظت کم PAM به‌طور بارزی از فرسایش جلوگیری می‌کند و باعث افزایش نفوذ و هدایت هیدرولیکی خاک می شود (Sojka et al.,2007). استفاده از PAM در آبیاری بارانی نیز مؤثر

می‌با شد به‌طوری‌که گزارش شده ا ست PAM محلول در آب آبیاری به‌طور معنی‌داری باعث کاهش فر سایش و رواناب می شود و همچنین موجب افزایش سرعت نهایی نفوذ آب در خاک می‌شود و هرچه بافت خاک ریز تر باشد، ا ثر PAM م شهود تر ا ست (Sepaskhah and Shahabizad.,2010). ت صاویر میکرو سکوپ الکترونی از مزرعه‌ای که به صورت جویچه‌ای با محلول PAM آبیاری شده ا ست ن شان داد که ذرات سطحی خاک همانند یک توری به ضخامت ۱ میلی‌متر به هم چسبیده است و باعث می شود ذرات خاک جلبه‌جا ن شود و درنتیجه، کاهش فر سایش دا شته با شد. درواقع PAM از ایجاد سله در سطح خاک جلوگیری می‌کند. هدایت هیدرولیکی خاک به شدت به عوامل محیطی وابسته ا ست، به‌طوری‌که با کو چک‌ترین تغییر عوا مل محیطی، اثر معنی‌داری بر آن می‌گذارد. حل شدن PAM در آب باعث افزایش لزجت آب می شود. مطالعه (Bjorneberg.,1998) ن شان داد محلول PAM با غلظت بیش از ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، سیال غیر نیوتنی ا ست و پمپاژ کردن آن باعث کاهش لزجت محلول PAM می شود، به‌طوری‌که ۵ مرتبه پمپاژ کردن لزجت محلول PAM با غلظت ۲۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را تقریباً نصف کرد. (Hashmet et al., 2014) نشان دادند که لزجت محلول PAM تابعی از غلظت محلول PAM، وزن مولکولی PAM، درجه هیدرولیز پلیمر و شدت تنش است و با استفاده از یک سری روابط رگرسیون غیرخطی، چند تخمین لزجت محلول برای انواع PAM را ارائه کردند. مقدار بهینه کاربرد PAM به در صد رس خاک، ساختمان خاک، مواد آلی خاک، شوری و کیفیت آب آبیاری، نوع و وزن مولکولی و بار منفی PAM و چگونگی م صرف PAM ب ستگی دارد (Sojka et al.,2007). هرچه وزن مولکولی PAM بی شتر با شد، درواقع طول زنجیره پلیمر بی شتر ا ست و به‌وا سطه آن، لزجت محلول PAM افزایش می‌یابد. در صد بار منفی درواقع بیانگر باند OH^- است که جایگزین باند اکریل آمید شده است. درصد بار منفی PAM تجاری موجود در بازار بین ۲ تا ۴۰ در صد ا ست و نقش مهمی در پیوند برقرار کردن PAM با ذرات خاک دارد (Barvenik.,1994). تحقیقات گ سترده‌ای جهت م شخص کردن مقدار بهینه PAM در آبیاری سطحی و بارانی صورت گرفته ا ست ، ولی موارد در خ صوص اثر کاربرد PAM روی م شخ صات فیزیکی خاک (مانند هدایت هیدرولیکی) اندک ا ست. تحقیقات انجام شده در خ صوص اثر غلظت‌های PAM روی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نتایج یکسانی نداشته ا ست. افزایش (Safariet al.,2015) و کاهش (Kang et al.,2015) هدایت هیدرولیکی ا شباع خاک به‌وا سطه استفاده از PAM گزارش‌شده است.

هدف از این پژوهش، برر سی اثر غلظت‌های مختلف PAM (۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) روی هدایت هیدرولیکی ا شباع سه بافت خاک (لوم شنی، لوم و لوم رس سیلتی) ا ست. غلظت PAM مورد ا ستفاده در این تحقیق، مطابق با مقادیر تو صیه شده در م صارف عملی است (Sojka et al.,2007).

مواد و روش‌ها

این تحقیق در آزمای شگاه آبیاری دان شکده ک شاورزی دان شگاه شیراز صورت گرفت. به همین دلیل، سه بافت مختلف خاک موجود در آزمای شگاه انتخاب شد. ری شه و مواد زائد از خاک جدا شد. جهت اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی به روش بار ثابت در آزمای شگاه مطابق روش کلوت (Klute.,1965) انجام گرفت. برای در نظر گرفتن احتمال خطا برای هر اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی، پنج تکرار نیز صورت گرفت. سیلندر مورد ا ستفاده جهت اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی ا شباع خاک دارای قطر، ارتفاع و ضخامت به ترتیب ۱۵، ۲۰ و ۰/۲ سانتی‌متر بود. رطوبت اولیه خاک‌ها در حد هوا خ شک بود. جهت پر

کردن سیلندر از یک قیف و لوله متصل به آن استفاده شد تا حداکثر یکنواختی دانه‌بندی وجود داشته باشد. در هنگام پر کردن سیلندر، چند مرتبه به‌آرامی فشار وارد شد تا خاک داخل سیلندر متراکم شود. مشخصات خاک‌های مورداستفاده در آزمایش در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱): برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورداستفاده

ردیف	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ماده آلی (%)	pH	شوری عصاره خاک (دسی زیمنس بر متر 1)
۱	۱۷	۴۸	۳۵	لوم رس سیلتی	۱/۵۹	۲/۴	۷/۹	۱/۷۰
۲	۴۱	۴۶	۱۳	لوم	۱/۷۷	۱/۱	۷/۸	۰/۴۲
۳	۷۱	۱۹	۱۰	لوم شنی	۱/۸۶	۰/۸	۷/۸	۰/۳۷

PAM مورداستفاده در این تحقیق از نوع آنیونی و متعارف مصارف کشاورزی، با وزن مولکولی ۱۵-۲۰ مگا گرم بر مول، بار منفی ۲۰ درصد و از جنس ظاهری پودر خشک استفاده شد. PAM در آب به‌سختی حل می‌شود، لذا برای سهولت حل شدن، دمای آب تا ۴۵ درجه افزایش داده شد. در این حالت، PAM در آب حل شد و پس از به تعادل رسیدن دمای محلول تهیه شده با دمای آزمایشگاه، مورداستفاده قرار گرفت. در هنگام آزمایش دمای محلول‌های تهیه شده با کنترل عوامل محیطی بین ۲۰ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد، زیرا دما یک عامل تأثیرگذار روی لزجت محلول و درنتیجه، روی هدایت هیدرولیکی خاک می‌باشد. محلول‌های با غلظت‌های ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر پلی اکریل آمید در مخزن‌های ۱۵ لیتری تهیه شد، زیرا غلظت توصیه‌شده و بهینه برای کاهش رواناب و فرسایش در آبیاری سطحی جویچه‌ای بسیار پایین و عمدتاً در حد ۱۰ تا ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. آب مورداستفاده در این تحقیق، آب متعارف برای آبیاری اراضی زراعی و از آب چاه تهیه شد. شوری آب مورداستفاده ۰/۵ دسی زیمنس بر متر، pH آن ۷/۸ و درصد نسبت جذب سدیم ۰/۴۸ بود. هر نمونه خاک با محلول متناظر جهت اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع شد. برای مثال برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی با غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر، نمونه خاک نیز با محلول ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر اشباع شد. مدت‌زمان هر آزمایش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی به روش بار ثابت از ۱ تا ۱۴ ساعت طول کشید، زیرا درروش اندازه‌گیری بار ثابت، باید پس از زهاب خروجی از نمونه به حالت ماندگار و پایدار برسد. هر چه بافت خاک سنگین‌تر و یا سیال عبوری از محیط متخلخل لزج‌تر باشد، حرکت آب در خاک کند تر بوده و درنتیجه، مدت‌زمان آزمایش طولانی‌تر می شود. در طول زمان آزمایش، دمای محلول تیمارها در بازه های زمانی نیم‌ساعته اندازه‌گیری و کنترل شد، زیرا نوسان دما روی لزجت تیمارها تأثیر می‌گذارد. در این تحقیق برای داشتن تخمینی از لزجت و گرانروی محلول پلی اکریل آمید، از یک روش آزمایشگاهی (روش استوالد) استفاده شد علت انتخاب این روش ساده بودن آن است . به این

منظور مدت‌زمان تخلیه شدن محلول PAM از لوله پیپت با حجم ۱۰ میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. باید توجه داشت که مدت‌زمان تخلیه شدن سیال از مخزن با سرعت کم (جریان آرام) متناسب با لزجت سیال می‌باشد. این اصل درواقع اساس ویسکومتر U شکل یا ویسکومتر استوالد می‌باشد. لزجت آب در دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد برابر 1.003 میلی پاسکال در ثانیه است و با یک تناسب ساده می‌توان لزجت محلول PAM را تخمین زد. استفاده از این روش تنها برای مقایسه لزجت به صورت نسبی و حدس اولیه برای لزجت توصیه می شود. در صورت نیاز برای تخمین دقیق لزجت بایستی از دستگاه‌های کالیبره شده ویسکومتر استوالد که مقدار لزجت سینماتیکی، و دستگاه ویسکومتر مدل بروکفیلد که مقدار لزجت دینامیکی را اندازه‌گیری می‌کند استفاده نمود. به‌منظور بررسی اثر معنی‌دار بودن کاربرد محلول PAM روی هدایت هیدرولیکی اشباع سه بافت خاک، از طرح آماری فاکتوریل استفاده شد. جهت تجزیه‌وتحلیل آماری اثر مقادیر غلظت PAM روی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌ها، از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار MSTASC استفاده شد.

نتایج و بحث

الف- اثر غلظت PAM روی لزجت

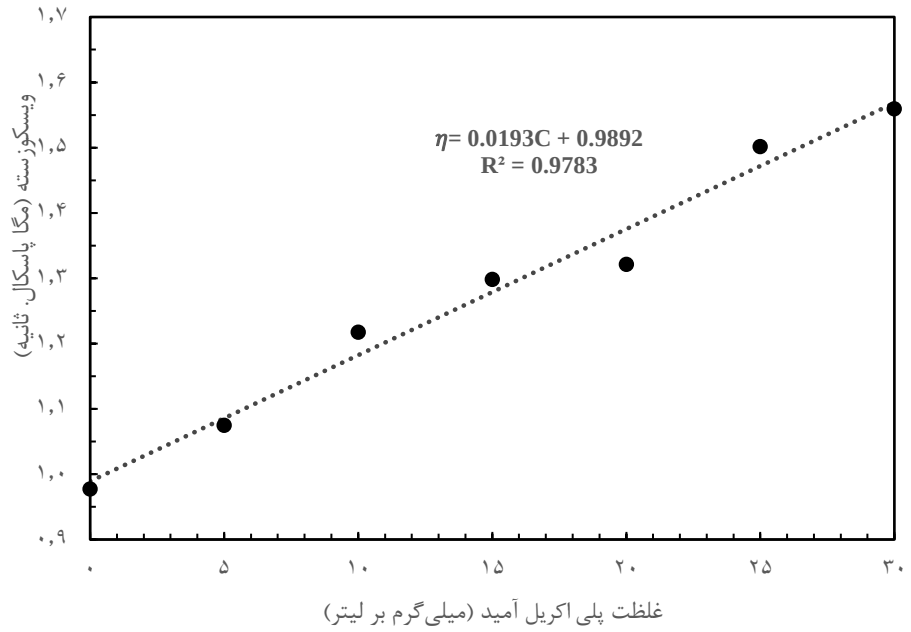
برای بررسی و تخمینی از لزجت یا گرانروی محلول PAM، مدت‌زمان تخلیه شدن محلول PAM از لوله پیپت ۱۰ میلی‌لیتری، اندازه‌گیری شد. لزجت دینامیکی آب خالص در دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد ۰/۹۷۷۵ میلی پاسکال بر ثانیه است. به دلیل استفاده از آب چاه در آزمایش و همچنین جهت بررسی اثر املاح موجود در آب روی لزجت، آزمایش لوله پیپت برای آب چاه و آب مقطر انجام شد که تفاوت قابل‌اندازه‌گیری، مشاهده نشد و از اثر املاح موجود در آب چاه روی لزجت صرف‌نظر شد. هرچه سیال لزج‌تر باشد، مدت‌زمان بیشتری جهت تخلیه از لوله پیپت سپری می شود. رابطه غلظت محلول PAM با لزجت به صورت خطی به دست آمد (شکل ۲). از رابطه رگرسیونی خطی زیر برای دمای ثابت ۲۱ درجه سانتی‌گراد می‌توان جهت تخمین لزجت محلول PAM استفاده نمود:

$$\eta = 0.0193C + 0.9892,\ R^2 = 0.98,\ Temp = 21\ ^\circ c \quad (۳)$$

که در آن η و C به ترتیب لزجت (پاسکال. ثانیه) و غلظت (میلی‌گرم بر لیتر) محلول PAM است.

در این تحقیق به‌طور متوسط با افزایش غلظت هر میلی‌گرم بر لیتر محلول PAM با وزن مولکولی ۱۵-۲۰ مگا گرم بر مول و بار منفی ۲۰ در صد، لزجت ۱/۹ در صد افزایش یافت. نتایج به‌دست‌آمده در خصوص تغییرات لزجت محلول PAM با نتایج دیگر محققین نیز همخوانی کامل دارد (Malik and Letey,1992) با انواع دستگاه‌های سنجش لزجت، مقدار لزجت محلول *PAM* را اندازه‌گیری نمودند و رابطه خطی مستقیمی بین افزایش غلظت PAM و لزجت محلول PAM گزارش کردند و دلیل آن را به وزن مولکولی بالا PAM نسبت دادند. در هر سه نوع PAM مورداستفاده با وزن مولکولی ۱۰ - ۱۵ مگا گرم بر مول و با بار منفی ۲، ۲۱ و ۴۰ در صد، به ازای هر میلی‌گرم بر لیتر افزایش غلظت محلول PAM به ترتیب ۰/۸، ۲/۸ و ۳/۶ در صد افزایش لزجت مشاهده شد (Bjorneberg,1998) در تحقیق مشابه با استفاده از PAM با وزن مولکولی ۱۲- ۱۵ مگا گرم بر مول و بار منفی ۱۰ درصد نشان داد که به ازای افزایش هر میلی‌گرم بر لیتر محلول PAM، غلظت محلول ۰/۵ در صد افزایش یافت (شکل ۲). افزایش لزجت محلول PAM نا شی از وزن مولکولی، ساختار مولکولی، طول زنجیره PAM و در صد خلوص PAM می‌باشد و هر چه وزن مولکولی، طول زنجیره مولکول PAM و در صد بار منفی بیشتر

باشد، لزجت محلول به‌دست‌آمده با شدت بیشتری افزایش خواهد یافت (Green et al.,2000).



شکل (۲): روند تغییرات لزجت محلول PAM نسبت به غلظت PAM

ب - اثر پلی اکریل آمید روی هدایت هیدرولیکی خاک

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت در آزمایشگاه نشان داد که محلول PAM به‌طور معناداری روی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک تأثیرگذار است. نتایج آزمون دانکن در سطح ۵ درصد که در جدول (۲) آورده شده است نشان می‌دهد در خاک لوم شنی با افزایش غلظت PAM، هدایت هیدرولیکی خاک کاهش‌یافته است ولی در خاک‌های لوم و لوم رس سیلتی، مقدار هدایت هیدرولیکی افزایش و سپس روند کاهشی به خود گرفت.

جدول (۲): مقادیر میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (سانتی‌متر بر ساعت) به ازای غلظت‌های مختلف PAM (میلی‌گرم بر لیتر)

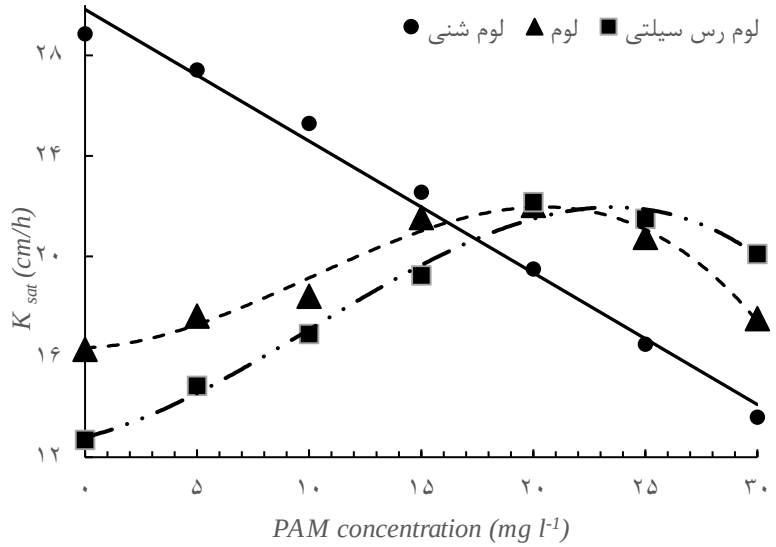
غلظت محلول PAM (میلی‌گرم در لیتر)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰
لوم شنی	۱۳/۶ lm	۱۶/۵ k	۱۹/۵ ghi	۲۲/۵۶ d	۲۵/۳ c	۲۷/۴۲ b	۲۸/۸۶ a*
لوم	۱۷/۵۲ jk	۲۰/۷۶ efg	۲۲/۰۴ de	۲۱/۵۵ def	۱۸/۴۱ ig	۱۷/۶۳ jk	۱۶/۳۰ k
لوم رس سیلتی	۲۰/۱۰ fgh	۲۱/۵۰ def	۲۲/۱۶ de	۱۹/۲۴ hi	۱۶/۹۱ jk	۱۴/۸۵ l	۱۲/۷۰ m

*: حروف غیرمشابه ازلحاظ آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری دارند.

کاهش هدایت هیدرولیکی ا شباع در خاک لوم شنی به‌وا سطه افزایش غلظت محلول PAM را می‌توان به افزایش لزجت محلول PAM ن سبت داد. در این تحقیق روند کاهش هدایت هیدرولیکی ا شباع در خاک لوم شنی به صورت خطی بود (شکل ۳)، که با افزایش هر میلی‌گرم بر لیتر غلظت محلول PAM تا غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر، هدایت هیدرولیکی ا شباع خاک لوم شنی به مقدار ۰/۵۲ سانتی‌متر بر ساعت کاهش می‌یابد. در تحقیق م شابه که تو سط (Ajwa and Trout.,2006) با اندازه‌گیری نفوذ در ستون‌های خاک لوم شنی صورت گر فت با افزایش هر میلی‌گرم بر لیتر غلظت محلول PAM، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم شنی به مقدار ۰/۳۳ سانتی‌متر بر ساعت کاهش یافت.

در این حالت لزجت سیال عبوری، نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. در خاک لومی و لوم رس سیلتی، روند تغییرات هدایت هیدرولیکی ا شباع ن سبت به خاک لوم شنی بسیار متفاوت بود که دلیل عمده آن را می‌توان به بخش ریز دانه (رس و سیلت) این دو بافت خاک و پیوند برقرار شده بین ذرات ریزدانه خاک و ذرات PAM نسبت داد (Sirjacobs et al.,2000). در خاک لوم شنی به ازای هر ۵ میلی‌گرم بر لیتر غلظت ا ضافه شده، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. در خاک لوم با افزایش ۵ میلی‌گرم بر لیتر PAM، افزایش معنی‌دار هدایت هیدرولیکی خاک ن سبت به تیمار خاک لوم م شاهده ن شد. همچنین در تیمارهای ۲۰ و ۲۵ و تیمارهای ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر PAM در خاک لوم، تفاوت معنی‌داری در مقدار هدایت هیدرولیکی ا شباع خاک م شاهده ن شد. در خاک لوم رس سیلتی افزایش PAM تا غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر با عث افزایش معنی‌دار هدایت ا شباع خاک شد، ولی در غلظت‌های ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر PAM کاهش معنی‌داری م شاهده ن شد. اگرچه هدایت هیدرولیکی ا شباع این سه بافت خاک در غلظت صفر PAM (تیمار شاهد) به‌طور معنی‌داری با یکدیگر تفاوت دا شت، ولی اثر غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر PAM در خاک لوم شنی با تیمار صفر و ۵ میلی‌گرم بر لیتر PAM در خاک لوم رس سیلتی، همچنین غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر PAM در خاک لوم شنی با تیمار شاهد و ۵ میلی‌گرم بر لیتر PAM در خاک لوم و تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر PAM در خاک لوم رس سیلتی تفاوت معنی‌داری را ن شان نداد. مطابق با شکل

(۳)، می‌توان از معادلات رگرسیونی ارائه شده (معادلات ۴ تا ۶) جهت تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک استفاده نمود:



شکل (۳): روند تغییرات هیدرولیکی اشباع سه بافت خاک در کاربرد غلظت‌های مختلف PAM

K_{sat-SL}: **هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم شنی**، K_{sat-L}: **هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم**، $K_{sat-SiCL}$: **هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم رس سیلتی**

رابطه ۴ برای خاک لوم شنی که از شکل (۳) به‌دست‌آمده آمد، به‌صورت زیر ارائه‌شده است:

$$K_{sat-SL} = -0.52C + 29.83 \, , R^2 = 0.9 \qquad (۴)$$

رابطه ۵ برای خاک لوم که از شکل (۳) به‌دست آمد، به‌صورت زیر ارائه‌شده است:

$$K_{sat-L} = -0.001C^3 + 0.04C^2 + 0.03C + 16.36 \, , R^2 = 0.965 \qquad (۵)$$

رابطه ۶ برای خاک لوم رس سیلتی که از شکل (۳) به‌دست آمد، به‌صورت زیر ارائه‌شده است:

$$K_{sat-SiCL} = -0.001C^3 + 0.03C^2 + 0.22C + 12.78 \, , R^2 = 0.988 \qquad (۶)$$

در خاک لوم و لوم رس سیلتی روند تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع به صورت چندجمله‌ای درجه ۳ می‌باشد که در محدوده غلظت موردبررسی (۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) دارای یک نقطه ماکزیمم نسبی می‌باشند. برای به دست آوردن غلظت بهینه جهت افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، از معادلات برازش داده شده (روابط ٤، ٥ و ٦) نسبت به غلظت مشتق گرفته شد که به ترتیب برای خاک لوم و لوم رس سیلتی مقدار بهینه غلظت PAM، ۲۱ و ۲۳/۵ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. برای غلظت‌های بزرگ‌تر از مقادیر بهینه، کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به وقوع پیوست. روند تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های لوم و لوم رس سیلتی در این تحقیق، مشابه نتایج به‌دست‌آمده تحقیقات (Kim et al., 2015) می‌باشد. آن‌ها نشان دادند هدایت هیدرولیکی برای خاک با بافت متوسط تا غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر PAM افزایش می‌یابد و برای غلظت ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر PAM، هدایت هیدرولیکی خاک با یک شیب ملایم کاهش می‌یابد.

نکته قابل‌توجه در شکل (۳)، افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک سنگین لوم رس سیلتی در مقایسه با خاک متوسط بافت لوم، به ازای غلظت PAM بزرگ‌تر از ۲۳/۷ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد؛ که آن را می‌توان به درصد بیشتر ذرات ریز خاک و مقدار ماده آلی خاک لوم رس سیلتی نسبت داد (Al-Abed et al.,2003).

باتوجه‌به شکل (۳) در غلظت ۱۶ میلی‌گرم بر لیتر PAM، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های لوم شنی و لوم و در غلظت ۱۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر PAM، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های لوم شنی و لوم رس سیلتی یکسان است و در حد واسط این دو غلظت یعنی ۱۶/۷۵ میلی‌گرم بر لیتر، هدایت هیدرولیکی اشباع سه بافت خاک بسیار به یکدیگر نزدیک می شود. از این خاصیت می‌توان در طرح‌های تحقیقاتی جهت یکسان سازی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های متفاوت استفاده کرد. از خاصیت افزایش لزجت محلول و کاهش نفوذ آب در خاک سبک‌بافت می‌توان در عمل و در فاز پیشروی آبیاری جویچه‌ای، در راستای افزایش راندمان آبیاری استفاده نمود. (Lentz et al.,2003) نیز در عمل و برای آبیاری جویچه‌ای به نتایج مشابهی رسیدند. آن‌ها گزارش نمودند که در آبیاری جویچه‌ای، خاک متوسط‌بافت تا غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر PAM باعث افزایش نفوذ و برای غلظت‌های بزرگ‌تر باعث کاهش نفوذ آب در جویچه می‌شود.

نتیجه‌گیری

PAM یک ماده پلیمری آلی و مناسب جهت کاهش رواناب و فرسایش و اصلاح خصوصیات خاک است. استفاده به‌جا و بهینه از آن مستلزم شناخت و چگونگی اثر این ماده می‌باشد. PAM با پیوند برقرار کردن با ذرات رس خاک، همانند یک توری روی سطح خاک را می‌پوشاند و باعث مقاوم شدن خاکدانه‌ها در مقابل فرسایش خاک و همچنین مانع از انسداد خلل و فرج ریز خاک می شود که نتیجه آن، افزایش نفوذپذیری خاک است. همچنین با افزایش غلظت محلول PAM، لزجت محلول عبوری از محیط متخلخل نیز به صورت خطی افزایش می‌یابد. در خاک لوم شنی اثر مثبت PAM روی ذرات ریز خاک مشخص نیست و درنتیجه با افزایش غلظت محلول PAM و به‌تبع آن با افزایش لزجت محلول PAM، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم شنی کاهش می‌یابد. در خاک‌های لوم و لوم رس سیلتی روند تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع با خاک لوم شنی متفاوت است. در خاک لوم از غلظت صفر تا ۲۱ میلی‌گرم بر لیتر PAM روند افزایشی، از غلظت ۲۱ تا ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر PAM روند کاهشی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک مشاهده شد. در خاک لوم رس سیلتی، این عامل از غلظت صفر تا ۲۳/۵ میلی‌گرم بر لیتر PAM روند افزایشی و از ۲۳/۵ تا ۳۰ میلی‌گرم PAM روند کاهشی داشته است. در این دو بافت خاک، در ابتدا با افزایش تدریجی غلظت PAM به علت اثر مثبت روی ساختمان خاک و نفوذپذیری ذاتی خاک، اثر کاهندگی لزجت مشهود نبود، اما بعد از به‌جا گذاشتن حداکثر اثر مثبت PAM (مقدار بهینه)، اثر افزایش لزجت محسوس بوده و هدایت هیدرولیکی خاک تدریجاً شروع به کاهش نمود؛ بنابراین ضریب نفوذپذیری ذاتی خاک در معادله کوزنی-کارمن مقدار ثابتی نمی‌باشد و وابسته به سیال عبوری از محیط متخلخل و اثرات ناشی از سیال عبوری و محیط متخلخل می‌باشد. جهت کاربرد PAM در مزرعه نیز عوامل متعددی روی اثربخشی PAM تأثیرگذار می‌باشد. توصیه می شود قبل از استفاده از PAM، کاربرد آن در مزرعه مورد آزمایش قرار گیرد تا اثر PAM روی خصوصیات فیزیکی خاک کاملاً مشخص شود.

منابع

Ajwa, H. A. and T. J. Trout. 2006. Polyacrylamide and water quality effects on infiltration in sandy loam soils. Soil Science Society of America Journal. 70(2): 643-650.

Al-Abed, N., J. Amayreh, E. Shudiaft, L. Qaqish and G. El-Mehaisin. 2003. Polyacrylamide (PAM) effect on irrigation induced soil erosion and infiltration. Archives of Agronomy and Soil Science. 49(3):301-308.

Barvenik, F. W. 1994. Polymers as soil conditioners under consecutive irrigations and rainfall. Soil Science. 53: 349-356.

Bjorneberg, D. 1998. Temperature, concentration, and pumping effects on PAM viscosity. Transactions of the ASAE. 41(6): 1651-1655.

Cook, D. F. and S. D. Nelson. 1986. Effect of polyacrylamide on seedling emergence in crust-forming soils. Soil Science. 141(5): 328-333.

Correy, A. T. 1977. Mechanics of heterogeneous fluids in porous media. Water Resources Publications, Ft. Collins, Co.

Green, V. S., D. Stott, L. Norton and J. Graveel. 2000. Polyacrylamide molecular weight and charge effects on infiltration under simulated rainfall. Soil Science Society of America Journal. 64(5): 1786-1791.

Green V.S., Stott D.E. . 2001. Polyacrylamide: A review of the use, effectiveness, and cost of a soil erosion control amendment. In Sustaining the Global Farm – Selected Papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting, ed. Stott D.E., et al., 384-389. West Lafayette, IN: International Soil Conservation Organization in cooperation with the USDA and Purdue University.

Hashmet, M., M. Onur and I. Tan. 2014. Empricial correlation for viscosity of polyacrylamide solutions with the effects of concentration, molecular weight and degree of hydrolysis of polymer. Journal of Applied Sciences. 14(10):1000-1007

Kang, J., R. A. McLaughlin, A. Amoozegar, J. L. Heitman and O. W. Duckworth. 2015. Transport of dissolved polyacrylamide through a clay loam soil. Geoderma. 243:108-114.

Kim, M., I. Song, M., Kim, S. Kim, Y. Kim, Y. Choi and M. Seo. 2015. Effect of polyacrylamide application on water and nutrient movements in soils. Journal of Agricultural Chemistry and Environment. 4(03): 76-81.

Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling. 210-221.

Lentz, R. and R. Sojka. 1994. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration. Soil Science. 158(4): 274-282.

Lentz, R., A. C. Kohen and R. E. Peckenpaugh. 2003. Managing erosion and infiltration on steeply sloping (>4%) irrigation furrows with polyacrylamide. Agron. Abstr. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Malik, M. and J. Letey. 1992. Pore-size-dependent apparent viscosity for organic solutes in saturated porous media. Soil Science Society of America Journal. 56(4): 1032-1035.

Safari, N., N. Aliasgharzad and S. Asghari. 2015. The effects of polyacrylamide on the parameters of physical quality in a clay loam soil selected from semiarid region. Journal of Soil Environment. 1: 10-17.

Sepaskhah, A. and V. Shahabizad. 2010. Effects of water quality and PAM application rate on the control of soil erosion, water infiltration and runoff for different soil textures measured in a rainfall simulator. Biosystems Engineering. 106(4): 513-520.

Sirjacobs, D., I. Shainberg, I. Rapp and G. J. Levy. 2000. Polyacrylamide, sediments, and interrupted flow effects on rill erosion and intake rate. Soil Science Society of America Journal. 64: 643-650.

Sojka, R., D. Bjorneberg, J. Entry, R. Lentz and W. Orts. 2007. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. Advances in Agronomy. 92: 75-162.

Xindong, W., Y. Xuefeng, L. Yumei and W. Youke. 2011. Research on the water-saving and yield-increasing effect of polyacrylamide. Procedia Environmental Sciences. 11: 573-580.

Investigate the effect of polyacrylamide concentration on saturation hydraulic conductivity for three different soil textures

Vahid Shahabizad[1], Mehdi Bahrami[2]

Abstract*:*

Nowadays, the use of polymers and soil and water reclamation agents has a significant bearing on agriculture. Polyacrylamide is one of the most important polymers that reduces soil erosion and increases water penetration in the soil by the PAM brand. Research on the effect of using PAM on soil physical properties (such as saturated hydraulic conductivity) has not had the same results. In this study the effect of six concentrations 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 mg/l dissolved PAM on saturate hydraulic conductivity 3 different soil textures (sandy loam, loam and silty clay loam) were studied in laboratory. Saturation hydraulic conductivity was measured with constant head method. For each treatment five replications were considered. Results showed that PAM viscosity increased about 1.9 % relative to water for each mg/l increase in PAM concentration. In sandy loam soil, with increasing PAM concentration, the hydraulic conductivity of soil saturation decreased linearly and significantly. With increasing of 5 mg / l of PAM solution, the hydraulic conductivity of sandy loam soil 2.6 cm / h decreased. In sandy loam soil, the effect of increasing the viscosity of PAM solution passing through the porous medium was more evident than the effect of the bond between clay and PAM particles. In loamy and silty clay loam soil texture, the trend of saturation hydraulic conductivity changes was compared to the PAM concentration as a parabolic curve. In the loam soils up to 20 mg / l PAM concentration and in the silty clay loam soil up to 25 mg / l PAM, the hydraulic conductivity of soil saturation increased and in concentrations greater than these values, the saturated hydraulic conductivity decreased. For loam soil and silty clay loam with increasing concentration of PAM solution to the optimum amount, the effect of bond between clay and PAM particles and later on the effect of viscosity PAM solution was evident.

Keywords: viscosity dissolved PAM, soil permeability and soil amendment

[1] Phd Student, Department of water engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
[2] Assistant Professor, Department of water engineering, College of Agriculture, Fasa University, Fasa. Iran.