

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

11922



دانشگاه زنجان

**دانشکده کشاورزی**  
**گروه خاکشناسی**

پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی

تاثیر پلیمرهای محلول در آب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و  
شیمیایی خاک‌ها و رشد گیاه

نگارش

حمید رضا سمائی

استاد راهنما

دکتر احمد گلچین

اساتید مشاور

دکتر شروین احمدی

دکتر محمد رضا صدقی

پاییز ۱۳۸۵

۱۱/۶/۲۳



دانشگاه زنجان

تاریخ: ۱۳۹۵  
شماره: ۱۷، ۷، ۸۵  
پیوست:

### بسمه تعالی

### صور تجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تاییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای حمید رضا سمائی رشته خاکشناسی گرایش شیمی و حاصلخیزی خاک تحت عنوان تاثیر پلیمرهای محلول در آب بر برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک ها و رشد گیاه که در تاریخ ۸۵/۷/۱۵ با حضور هیات محترم داوران در دانشگاه زنجان برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه عالی..... امتیاز: ۱۹/۱۵)  دفاع مجدد  مردود

- ۱- عالی (۱۸-۲۰) *نورانه و هفت (دوره بهار)*
- ۲- بسیار خوب (۱۶-۱۷/۹۹)
- ۳- خوب (۱۴-۱۵/۹۹)
- ۴- قابل قبول (۱۲-۱۳/۹۹)

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیات داوران
	دانشیار	دکتر احمد گلچین	۱- استاد راهنما
	استادیار	دکتر محمد رضا مصدقی	۲- استاد مشاور
	مربی	مهندس شروین احمدی	۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر غلامرضا ثوابی	۴- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر علیرضا واعظی	۵- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر علیرضا واعظی	۶- نماینده تحصیلات تکمیلی

دکتر احمد گلچین  
مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه

۸۱۶۲۱۱

بسمه تعالی

فراوند متعال را حمد و سپاس که در ظل الطاف بیکرانش مرا مرد نمود تا با کنگاشی در پیرامون خواص یکی از عناصر خلقت، روزه‌ای مقابل پشیمانم، روبروی باغ فراشناسی کشوره شود.

اما در این راستا اگر نبود حمایت‌های دلسوزانه و پشتوانه‌های معنوی عزیزانی که هر یک به نوعی باور شدن را در من تقویت کردند بی شک مامصل کار به موفقیت نمی‌انجامید. لذا بر خود فرض می‌دانم دریای بی‌انتهای سپاس خود را هدیه کنم:

به پدر و مادر عزیزم که طعم حیات را به ذائقه فوهم من پشانند و در تمامی مراحل زندگی بسان فون کرم در رگ‌های سعادت و توفیق من جاری اند.

به همسر مهربان و فداکارم که بال دوم ترقی و تعالی من است و به پدر و مادر بزرگوارش که از دلگرمی آنها در طول این مدت برخوردار بودم.

به استاد فرهیخته جناب آقای دکتر گلچین که تفریبات کوانسنگ و دانش سرشار ایشان پیراغ راه شناخت و ادراک منطقی من در تدوین این پروتیه بود.

به استادان ارجمند جناب آقایان دکتر مصرفی و اهدری که مشاورت ایشان در به ثمر رساندن این طرح پژوهشی بسیار مؤثر و انگکشا بود.

همچنین در بیان لازم می‌دانم از داوران متمرم پروتیه جناب آقایان دکتر ثواقبی و واعظی بواسطه دقت نظر و تامل ایشان در متن پایان نامه، از گروه فاکشناسی دانشکاه زبان و یوعلی سینای همدان و آزمایشگاه فیزیک فاک این دانشکاه در مراحل اجرایی و آزمایشگاهی پروتیه، مساعدت‌های آقای مهندس یعقوبی مدیر متمرم آفیزداری سازمان چهارکشاورزی استان همدان، آقای مهندس اهدریان پژوهشگر مرکز تحقیقات منابع طبیعی استان همدان که اعمال نظر و ملازمت برادرانه ایشان در زمینه نمونه‌برداری فاک‌ها بر پیشبرد پروتیه اثرگذار بود قدردانی نمایم و از راهنمایی‌های استاد عزیز آقای دکتر سیاوش روحانی و کتبه همدره‌ای‌های همراهی که از بردن نامشان در این مجال قصور کردم، کمال تشکر و امتنان خود را نیز از کنم.

عمیدرضا سمائی

بایبذ ۱۳۸۵

## چکیده

ساختمان خاک عامل مهمی است که بر شرایط فیزیکی خاک و رشد و نمو گیاه تاثیر می‌گذارد. مواد آلی و بقایای گیاهی باعث بهبود ساختمان خاک شده و کمبود آن موجبات ناپایداری ساختمان خاک را فراهم می‌آورد. میزان مواد آلی خاک در مناطق خشک و نیمه خشک به علت فقر پوشش گیاهی و بازگشت اندک بقایای گیاهی به خاک ناچیز می‌باشد. به همین دلیل ویژگی‌های فیزیکی خاک در این مناطق مطلوب نبوده و همواره به عنوان عامل بازدارنده رشد گیاه مطرح می‌باشد. در خاک‌های با ماده آلی کم برای بهبود ساختمان خاک می‌توان از پلیمرهای محلول در آب استفاده نمود. در این پژوهش تاثیر سه نوع پلیمر محلول در آب از گروه اکریلیک و همچنین غلظت پلیمر به کار رفته بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پنج نوع خاک مختلف مورد بررسی قرار گرفت. پلیمرهای مورد استفاده عبارت بودند از TC108، R790 و NC218 که هر کدام با سه غلظت (حجم پلیمر به حجم آب) ۱:۱، ۲:۱ و ۱۰:۱ مصرف گردیدند. خاک‌های مورد مطالعه عبارت بودند از سه خاک با بافت مختلف و دو خاک مارنی و سدیمی که از ویژگی‌های فیزیکی نامطلوبی برخوردار بودند. آزمایش به صورت فاکتوریل با شصت تیمار و در سه تکرار و با طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. پس از اعمال تیمارهای آزمایشی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل ضریب آبگذری اشباع، دانسیته توده خاک، پایداری ساختمان خاک شامل میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و میزان رس قابل انتشار، pH، هدایت الکتریکی خاک و میزان آب قابل استفاده مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کاربرد پلیمرهای محلول در آب باعث افزایش آبگذری و کاهش دانسیته توده خاک نسبت به تیمار شاهد گردید. پایداری ساختمان خاک‌های تیمار شده با پلیمر، افزایش یافت و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تمام خاک‌ها و تمام نمونه‌های تیمار شده افزایش یافت. میزان رس قابل انتشار در اثر کاربرد پلیمر در چهار خاک کاهش ولی در خاک مارنی افزایش یافت.

میزان آب قابل استفاده در اثر کاربرد پلیمرهای مختلف در تمامی خاک‌ها اندکی کاهش یافت. میزان شوری خاک‌های تیمار شده با پلیمر نسبت به شاهد اندکی افزایش نشان داد ولی در خاک مارنی این تاثیر معکوس بود و باعث کاهش میزان EC در این خاک گردید. درصد جوانه‌زنی و زیتوده گیاهی در خاک‌های مارنی و سدیمی تیمار شده با پلیمر افزایش یافت ولی در سه خاک دیگر این دو صفت کاهش یافت. اثر پلیمرهای محلول در آب بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با افزایش غلظت پلیمر افزایش یافت.

**واژه‌های کلیدی:** پلیمرهای محلول در آب، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، پایداری ساختمان خاک، رس قابل انتشار، دانسیته توده خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها.

# فهرست مطالب

## فهرست مطالب

۱	فصل اول - مقدمه
۴	فصل دوم - بررسی منابع
۴	۱-۲- ساختمان خاک
۴	۱-۱-۲- انواع خاکدانه‌ها
۵	۲-۱-۲- نحوه تشکیل خاکدانه‌ها
۶	۳-۱-۲- پایداری و تخریب خاکدانه‌ها
۷	۴-۱-۲- ساختمان خاک و برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها
۹	۵-۱-۲- مواد آلی و ساختمان خاک
۱۱	۲-۲- تثبیت کننده‌های خاک
۱۲	۱-۲-۲- پلیمرها
۱۳	۲-۲-۲- تاریخچه استفاده از پلیمرها
۱۵	۳-۲-۲- انواع پلیمرها از نظر نوع کاربرد
۱۶	۴-۲-۲- انواع پلیمر از نظر نقش در خاک
۱۷	۵-۲-۲- انواع پلیمرها از نظر ساختمان
۱۷	۶-۲-۲- انواع پلیمرها از نظر مصارف کشاورزی
۱۹	۳-۲- فرآیند جذب پلیمرها در خاک و عوامل موثر بر آن
۲۲	۴-۲- ویژگی‌های خاک و جذب پلیمرها
۲۶	۵-۲- کاربرد پلیمرها در خاک
۲۷	۱-۵-۲- اصول و مفاهیم اولیه در بکارگیری پلیمرها در خاک
۲۸	۲-۵-۲- چسب‌های پلیمری امولسیون
۲۹	۶-۲- تاثیر پلیمرها بر ویژگی‌های خاک‌ها
۲۹	۱-۶-۲- تاثیر پلیمرها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها
۳۰	۱-۱-۶-۲- تاثیر پلیمرها بر افزایش اندازه خاکدانه‌ها
۳۱	۲-۱-۶-۲- تاثیر پلیمرها بر پایداری خاکدانه‌ها
۳۲	۳-۱-۶-۲- تاثیر پلیمرها بر نفوذپذیری خاک‌ها
۳۳	۴-۱-۶-۲- تاثیر پلیمرها بر گنجایش نگهداری آب در خاک‌ها
۳۵	۵-۱-۶-۲- تاثیر پلیمر به عنوان یک اصلاح‌کننده
۳۶	۶-۱-۶-۲- تاثیر پلیمر بر جلوگیری از پراکنده شدن ذرات رس
۳۷	۷-۱-۶-۲- تاثیر پلیمرها بر جلوگیری از تشکیل سله سطحی
۳۷	۲-۶-۲- تاثیر پلیمرها بر کاهش فرسایش و رسوب
۳۸	۳-۶-۲- تاثیر پلیمرها بر رشد و نمو گیاهان
۳۹	۷-۲- اثرات منفی برخی پلیمرهای شناخته‌شده بر خاک
۴۰	فصل سوم - مواد و روش‌ها
۴۰	۱-۳- خاک‌ها
۴۲	۲-۳- پلیمرها



۴۴	۳-۳ - روش تحقیق
۴۴	۴-۳ - روش‌های آزمایشگاهی
۴۴	۱-۴-۳ - ضریب آبگذری اشباع (KS)
۴۵	۲-۴-۳ - میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)
۴۵	۱-۲-۴-۳ - میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت مرطوب
۴۶	۲-۲-۴-۳ - میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک
۴۶	۳-۴-۳ - میزان رس قابل انتشار
۴۷	۴-۴-۳ - دانسیته
۴۷	۵-۴-۳ - اسیدیته و هدایت الکتریکی
۴۷	۶-۴-۳ - درصد جوانه‌زنی
۴۷	۷-۴-۳ - زیتوده گیاهی
۴۸	۸-۴-۳ - آب فراهم
۴۸	۵-۳ - تجزیه آماری
۴۹	<b>فصل چهارم - نتیجه گیری و بحث</b>
۴۹	۱-۴ - اثر پلیمرها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها
۵۱	۱-۱-۴ - اثر پلیمرها بر ضریب آبگذری اشباع خاک
۵۶	۲-۱-۴ - اثر پلیمرها بر پایداری خاکدانه‌ها در حالت مرطوب
۵۹	۳-۱-۴ - اثر پلیمرها بر پایداری خاکدانه‌ها در حالت خشک
۶۴	۴-۱-۴ - اثر پلیمرها بر رس قابل انتشار
۶۹	۵-۱-۴ - اثر پلیمرها بر دانسیته توده خاک
۷۳	۶-۱-۴ - آب فراهم برای گیاه
۷۷	۲-۴ - تاثیر پلیمرها بر ویژگی‌های شیمیایی
۷۸	۱-۲-۴ - اثر پلیمرها بر فلیابیت
۷۹	۲-۲-۴ - اثر پلیمرها بر شوری خاک‌ها
۸۲	۳-۴ - تاثیر پلیمرها بر رشد گیاه
۸۴	۱-۳-۴ - اثر پلیمرها بر درصد جوانه‌زنی
۸۹	۲-۳-۴ - اثر پلیمرها بر زیتوده گیاهی
۸۹	۱-۲-۳-۴ - اثر پلیمرها بر زیتوده هوایی
۹۱	۲-۲-۳-۴ - اثر پلیمرها بر زیتوده ریشه
۹۲	۳-۲-۳-۴ - اثر پلیمرها بر زیتوده کل
۹۶	۴-۴ - توصیه‌ها و پیشنهادات
۹۸	منابع

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲- اشکال مولکولی پلیمرها ..... ۱۳
- شکل ۲-۲- ساختمان مولکولی پلی اکریل آمید آنیونی ..... ۲۵
- شکل ۳-۲- گنجایش رطوبت خاک در فشار ۰/۱ و ۱/۵ مگاپاسکال در خاک‌های تیمار شده ..... ۳۴
- شکل ۱-۳- فرمول ساختمانی اکریلات ..... ۴۳
- شکل ۱-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر ضریب آبگذری اشباع (Ks) خاک شن لومی ..... ۵۳
- شکل ۲-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر ضریب آبگذری اشباع (Ks) خاک لومی ..... ۵۴
- شکل ۳-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر ضریب آبگذری اشباع (Ks) خاک لوم رسی سیلتی ..... ۵۴
- شکل ۴-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر ضریب آبگذری اشباع (Ks) خاک مازنی ..... ۵۵
- شکل ۵-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر ضریب آبگذری اشباع (Ks) خاک سدیمی ..... ۵۵
- شکل ۶-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر MWDwet تیمارها در خاک لومی ..... ۵۷
- شکل ۷-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر MWDwet تیمارها در خاک لوم رسی سیلتی ..... ۵۸
- شکل ۸-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر MWDwet تیمارها در خاک مازنی ..... ۵۸
- شکل ۹-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر MWDwet در خاک سدیمی ..... ۵۹
- شکل ۱۰-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر MWDdry در خاک شن لومی ..... ۶۱
- شکل ۱۱-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر MWDdry در خاک لومی ..... ۶۲
- شکل ۱۲-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر MWDdry در خاک لوم رسی سیلتی ..... ۶۲
- شکل ۱۳-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر MWDdry در خاک مازنی ..... ۶۳
- شکل ۱۴-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر MWDdry در خاک سدیمی ..... ۶۳
- شکل ۱۵-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر رس قابل انتشار خاک شن لومی ..... ۶۶
- شکل ۱۶-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر رس قابل انتشار خاک لومی ..... ۶۷
- شکل ۱۷-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر رس قابل انتشار خاک لوم رسی سیلتی ..... ۶۷
- شکل ۱۸-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر رس قابل انتشار خاک مازنی ..... ۶۸
- شکل ۱۹-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر رس قابل انتشار خاک سدیمی ..... ۶۸
- شکل ۲۰-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر دانسیته خاک شن لومی ..... ۷۰
- شکل ۲۱-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر دانسیته خاک لومی ..... ۷۱
- شکل ۲۲-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر دانسیته خاک لوم رسی سیلتی ..... ۷۱
- شکل ۲۳-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر دانسیته خاک مازنی ..... ۷۲
- شکل ۲۴-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر دانسیته خاک سدیمی ..... ۷۲
- شکل ۲۵-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر آب فراهم گیاه (Aw) در خاک شن لومی ..... ۷۴
- شکل ۲۶-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر آب فراهم گیاه (Aw) در خاک لومی ..... ۷۵
- شکل ۲۷-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر آب فراهم گیاه (Aw) در خاک لوم رسی سیلتی ..... ۷۵
- شکل ۲۸-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر آب فراهم گیاه (Aw) در خاک مازنی ..... ۷۶
- شکل ۲۹-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر آب فراهم گیاه (Aw) در خاک سدیمی ..... ۷۶
- شکل ۳۰-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر جوانه زنی در خاک شن لومی ..... ۸۷
- شکل ۳۱-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر جوانه زنی در خاک لومی ..... ۸۷

## ادامه فهرست شکل‌ها

- شکل ۴-۳۲- اثر تیمارهای پلیمر بر جوانه زنی در خاک لوم رسی سیلتی ..... ۸۸
- شکل ۴-۳۳- اثر تیمارهای پلیمر بر جوانه زنی در خاک ماری ..... ۸۸
- شکل ۴-۳۴- اثر تیمارهای پلیمر بر جوانه زنی در خاک سدیمی ..... ۸۹

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲- مشخصه‌های برخی پلیمرهای امولسیوني ..... ۱۵
- جدول ۱-۳- موقعیت جغرافیایی محل‌های نمونه‌برداری خاک‌ها ..... ۴۱
- جدول ۲-۳- نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک ..... ۴۱
- جدول ۳-۳- مشخصات پلیمرهای مورد استفاده ..... ۴۳
- جدول ۱-۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک شن لومی ..... ۵۰
- جدول ۲-۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک لومی ..... ۵۰
- جدول ۳-۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک لوم رسی سیلتي ..... ۵۰
- جدول ۴-۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مارنی ..... ۵۱
- جدول ۵-۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک سدیمی ..... ۵۱
- جدول ۶-۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر ویژگی‌های شیمیایی ..... ۷۷
- جدول ۷-۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر ویژگی‌های شیمیایی ..... ۷۷
- جدول ۸-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر pH و EC خاک شن لومی ..... ۸۰
- جدول ۹-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر pH و EC خاک لومی ..... ۸۱
- جدول ۱۰-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر pH و EC خاک لوم رسی سیلتي ..... ۸۱
- جدول ۱۱-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر pH و EC خاک مارنی ..... ۸۱
- جدول ۱۲-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر pH و EC خاک سدیمی ..... ۸۲
- جدول ۱۳-۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر شاخص‌های رشد گیاه در خاک شن لومی ..... ۸۲
- جدول ۱۴-۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر شاخص‌های رشد گیاه در خاک لومی ..... ۸۲
- جدول ۱۵-۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر شاخص‌های رشد گیاه در خاک لوم رسی سیلتي ..... ۸۳
- جدول ۱۶-۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر شاخص‌های رشد گیاه در خاک مارنی ..... ۸۳
- جدول ۱۷-۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر شاخص‌های رشد گیاه در خاک سدیمی ..... ۸۳
- جدول ۱۸-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر زیتوده (گرم) در خاک شن لومی ..... ۹۴
- جدول ۱۹-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر زیتوده (گرم) در خاک لومی ..... ۹۵
- جدول ۲۰-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر زیتوده (گرم) در خاک لوم رسی سیلتي ..... ۹۵
- جدول ۲۱-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر زیتوده (گرم) در خاک مارنی ..... ۹۵
- جدول ۲۲-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر زیتوده (گرم) در خاک سدیمی ..... ۹۶

## فصل اول

### مقدمه

خاک یکی از مهمترین منابع طبیعی و عامل تولید است. روز به روز که بر جمعیت کره زمین افزوده می‌شود، توقعات انسان از این منبع بزرگ طبیعی بیشتر می‌شود. شواهد نشان می‌دهد زمین از موقعی که مورد بهره‌برداری انسان قرار گرفته است، حاصلخیزی آن بر اثر عدم توجه و اقدامات نامناسب کاهش یافته است [۱۵]. انسان می‌تواند از منبع اطراف خود به گونه‌ای استفاده کند که باعث تغییر محیط زیست شود و به جای اینکه خود را با محیط سازگار نماید، سعی کرده است بر گونه‌های دیگر غلبه پیدا کند [۷۰ و ۱۳]. این امر ناپایداری‌های شدیدی را در اکوسیستم‌های کشاورزی به وجود آورده و توانایی زمین برای موازنه با جمعیت را مورد تهدید قرار داده است [۱۳ و ۱۵۰].

اگر استفاده از خاک بر اساس استعداد و قدرت تولیدی آن و مبتنی بر رعایت اصول صحیح علمی باشد، خاک از بین نمی‌رود. بر عکس هر گونه اشتباهی در بهره‌برداری از آن زیان‌های جبران ناپذیری را به خاک وارد می‌کند. در این صورت خاکی که برای تشکیل آن سال‌های زیادی وقت لازم است در مدت بسیار کوتاهی حاصلخیزی خود را از دست می‌دهد [۸].

با توجه به قرار گرفتن ایران در کمربند خشک آب و هوایی جهان و کمبود بارش‌های جوی قسمت وسیعی از کشور در قلمرو آب و هوای خشک و در معرض خشکسالی قرار دارد [۳].

بدیهی است که نتیجه قطعی محدودیت بارش‌های آسمانی چیزی جز خشکی نیست. خشکی، به هر گونه که تعبیر و تفسیر گردد، از ویژگی‌های بارز جغرافیایی کشور ما بوده و باید دریافت که چگونه

با این پدیده طبیعی کنار آمد. بدیهی است که امکان افزایش تولید در مناطق خشک به آسانی مناطق مرطوب نبوده و نیازمند ارائه روش‌های علمی و کاربردی متفاوتی است [۲۱].

در گذشته چنانچه زمین تخریب می‌شد، انسان برای غذا به مناطق دیگر نقل مکان می‌کرد ولی امروزه این مسئله غیر ممکن بوده و توسل به کشاورزی پایدار غیر قابل اجتناب می‌باشد [۱۳]. بالا رفتن جمعیت انسانی و دامی از یک طرف و کم شدن سطح مراتع از طرف دیگر باعث به هم خوردن تعادل بین تولید مراتع با میزان نیاز دام‌های وابسته به آن شده است. به طوری که امروزه تعداد دام‌های وابسته به مراتع کشور حدود ۳ برابر تولید علوفه مراتع بوده و مهمترین عامل خرابی و ویرانی مراتع به حساب می‌آید [۱۴].

اثر چرای مفرط دام‌ها شامل فشردگی بیش از حد خاک سطحی، کاهش نفوذ آب در خاک، ایجاد شرایط نامناسب رشد ریشه گیاهان، کاهش تبادلات گازی ریشه، ایجاد فرسایش بادی آبی و تلفات خاکی و بسیاری عوامل مضر دیگر خواهد بود [۲].

منابع خاک برای آینده کشاورزی به مدیریت و حفاظت نیاز دارد. نظارت صحیح بر منابع طبیعی نسل‌های آینده را قادر خواهد ساخت که بتوانند نیازهای خود و مایحتاج فرزندان خود را تامین نموده و لازمه مدیریت خاک ایجاد تغییر در منابع طبیعی به منظور دستیابی به حد مطلوب بازده به ازای نهاده مصرفی است [۱۳ و ۲۵]. یکی از مباحث کشاورزی پایدار، کشاورزی دقیق است که نه تنها باعث افزایش تولید می‌گردد بلکه امکان استفاده پایدار از خاک را فراهم آورده و در نهایت سبب حفاظت محیط زیست می‌گردد [۲۳].

اهداف اصلی مدیریت خاک شامل افزایش عملکرد، نگهداری و افزایش حاصلخیزی خاک، کاهش خطر گرم شدن جهانی، جلوگیری از آلودگی محیط زیست و ذخایر آبی با عناصر غذایی و سایر عناصر شیمیایی است [۱۳ و ۲۰]. عوامل مدیریت پایدار خاک باید به گونه‌ای باشد که حاصلخیزی خاک به مدت طولانی حفظ شده و عوامل آلاینده خاک به حداقل برسد [۱۳ و ۴۰].

در سال‌های اخیر، در بررسی فواید کشاورزی پایدار توجه زیادی به کیفیت خاک به عنوان یکی از جنبه‌های مهم در سیستم کشاورزی شده است. کیفیت خاک عبارت است از اثرات متقابل شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی. شاخص‌های کیفیت خاک شامل شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی می‌باشند. کربن و ازت آلی خاک، نسبت کربن به ازت، اسیدیته خاک، هدایت الکتریکی عصاره اشباع، ازت، فسفر و پتاسیم قابل جذب، ظرفیت تبادل کاتیونی، شوری و قلیائیت و غیره به عنوان شاخص‌های شیمیایی کیفیت خاک پیشنهاد شده‌اند. شاخص‌های بیولوژیکی کیفیت خاک شامل پتانسیل معدنی شدن ازت، درصد کربن، ازت و فسفر در بیوماس میکروبی، تنفس خاک و تعداد کرم‌های خاکی می‌باشند. شاخص‌های فیزیکی نیز بر پایه توانایی خاک در ذخیره و انتقال آب، محلول‌ها، گازها و گرما می‌باشد [۱۳].

ساختمان از ویژگی‌های مهمی است که علاوه بر شرایط فیزیکی، شرایط بیولوژیکی و حاصلخیزی خاک را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد [۱۱ و ۱۹]. ماده آلی یک منبع مفید و ارزشمند در بهبود ساختمان خاک است [۱۸]. کاربرد مواد آلی مانند بقایای محصول و کود دامی در افزایش پیوندهای ذرات معدنی و تشکیل خاکدانه‌های پایدار در آب که نهایتاً سبب کاهش سله‌بندی می‌شود به خوبی شناخته شده است [۴۶ و ۵۲]. متاسفانه در برخی نواحی مواد آلی طبیعی، کمیاب و غیر قابل دسترس هستند، بنابراین این بهبود ساختمان خاک<sup>۱</sup> ممکن است به وسیله مصرف پلیمرهای مصنوعی حاصل شود [۱۲۴]. کاربرد پلیمر در خاک یک تکنیک برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی آن است [۷۴ و ۱۱۶].

## فصل دوم

### بررسی منابع

#### ۲-۱- ساختمان خاک

ساختمان خاک عبارت از آرایش فضایی و نیز پایداری ذرات اولیه خاک به صورت ذرات مرکب و خاکدانه‌های کوچک و بزرگ است [۱۹]. چون منافذ نیز همچون بخش جامد خاک حائز اهمیت است لذا ساختمان خاک را می‌توان ترتیب قرار گرفتن منافذ ریز، متوسط و درشت در نظام ساختمانی دانست. ساختمان خاک را نمی‌توان از ارکان مستقیم رشد گیاه شمرد بلکه باید از جمله ویژگی‌هایی به حساب آورد که عملاً بر عوامل رشد گیاه موثرند. انتقال آب، تهویه، جذب عناصر غذایی، فعالیت‌های میکروبی، نفوذ ریشه و غیره به ساختمان خاک بستگی دارند [۱۷]. این ویژگی نه تنها شرایط فیزیکی (تهویه، وضعیت آب و حرارت و مقاومت مکانیکی خاک) را تحت تاثیر قرار می‌دهد بلکه بر فعالیت‌های میکروبی، در دسترس بودن عناصر غذایی گیاه و تجزیه مواد آلی خاک نیز اثر می‌گذارد [۱۱ و ۱۹].

بررسی نوع، چگونگی تشکیل و میزان پایداری خاکدانه‌ها در بحث ساختمان خاک حایز اهمیت است که در زیر به آن‌ها پرداخته شده است.

#### ۲-۱-۱- انواع خاکدانه‌ها

در خاک ذرات اولیه ( شن، سیلت و رس ) به هم چسبیده و ذرات درشت‌تری به نام خاکدانه را به وجود می‌آورند. موادی که باعث چسبیدن ذرات اولیه به هم می‌شوند ممکن است منشأ آلی یا معدنی داشته باشند. خاکدانه‌های تشکیل یافته از لحاظ اندازه با هم متفاوت بوده و اندازه آنها از میکرون تا میلی‌متر تغییر می‌کند. در خاکدانه‌هایی که مواد آلی نقش چسباننده را بر عهده دارند، خاکدانه‌های بزرگتر از چسبیدن خاکدانه‌های کوچکتر به هم به وجود می‌آیند. به عبارت دیگر در تشکیل خاکدانه یک سلسله



مراتبی مشاهده می‌گردد [۱۸]. خاکدانه‌ها بر اساس اندازه به خاکدانه‌های ریز و درشت تقسیم می‌شوند. خاکدانه‌های ریز (قطر بین ۵۰۰-۲۵۰ میکرومتر) وقتی حاوی رس باشند، میدان رسی<sup>۱</sup> خوانده می‌شوند. خاکدانه‌های درشت قطری تا ۱۰ میلی‌متر دارند و اگر بزرگتر از ۱۰ میلی‌متر باشند کلوخه<sup>۲</sup> نام می‌گیرند [۱۹].

خاکدانه‌های کوچک در مقایسه با خاکدانه‌های بزرگ از استحکام بیشتری برخوردار بوده و با عملیات خاک‌ورزی از بین نمی‌روند. داخل خاکدانه‌های کوچک بقایای گیاهی نیمه تجزیه محبوس شده‌اند که می‌توان آنها را با شکستن خاکدانه‌ها توسط نیروی آلتراسونیک آزاد نمود [۱۸].

## ۲-۱-۲- نحوه تشکیل خاکدانه‌ها

خاکدانه‌سازی حاصل تاثیر متقابل جامعه میکروبی و ترکیب مواد آلی و معدنی خاک می‌باشد که نشان دهنده مدیریت زراعی است [۱۱۹]. جانداران خاک، ریز جانداران، ریشه‌ها، عوامل اتصال غیر آلی و تغییرات محیطی را می‌توان به عنوان عوامل موثر بر تشکیل خاکدانه‌ها معرفی نمود [۱۳۳]. تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها تاثیر زیادی بر ویژگی‌های مختلف خاک دارد [۱۴۶]. از این ویژگی اغلب به عنوان شاخصی برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده می‌شود. اندازه و پایداری خاکدانه‌ها نشان دهنده تغییرات کیفیت خاک ناشی از تغییر نوع مدیریت اراضی بوده و برای تعیین و ارزیابی کیفیت خاک از پایداری خاکدانه‌ها که حساسیت زیادی به تغییرات درازمدت و کوتاه مدت شرایط خاک دارد، استفاده می‌شود [۱۴۳].

سیستم‌های کشاورزی بر خواص ساختمانی خاکدانه‌های خاک به خصوص خاکدانه‌های پایدار در آب تاثیر دارند [۱۴۴]. مسئله تخریب خاک یکی از مسائل و مشکلات رو به رشد در کشورهای در حال توسعه و به ویژه ایران است. فرسایش، شوری و هدر رفت مواد آلی خاک از مهمترین اشکال تخریب خاک است که منجر به کاهش کیفیت و باروری خاک می‌شود. ماده آلی به عنوان یک منبع ارزشمند غذایی نه تنها

1- clay domain

2-clod

باعث بهبود ساختمان خاک و کاهش فرسایش می‌گردد، بلکه باعث بهبود نفوذپذیری، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و مقاومت گیاهان به خشکی نیز می‌شود [۱۸].

### ۲-۱-۳ - پایداری و تخریب خاکدانه‌ها

پایداری خاکدانه‌ها از مهمترین عوامل موثر بر فرسایش پذیری خاک‌هاست [۸۳]. پایداری ساختمان خاک اغلب در اثر شدت کشت فزاینده کاهش می‌یابد [۵۳]. برای تشکیل و پایداری ساختمان خاک وجود مقدار کافی ماده آلی در خاک لازم است [۱۱۲]. وجود ساختمان مناسب و پایدار برای نفوذ سریع آب به اعماق خاک لازم می‌باشد، در صورتی که ساختمان خاک اجازه نفوذ عمیق آب را ندهد، آب بصورت رواناب هدر رفته و یا در لایه‌های سطحی ذخیره شده و به سرعت تبخیر می‌گردد [۶۴].

مبنای یک ساختمان خوب برای رشد گیاه پایداری خاکدانه‌های آن در آب است [۱]. پایداری خاکدانه‌ها یعنی مقاومت آنها در برابر شکستن، موقعی که در معرض نیروهای تخریب کننده قرار می‌گیرند. آب چه به صورت آبیاری و چه به صورت بارندگی باعث شکستن آن دسته از خاکدانه‌هایی می‌شود که به طور ضعیف به هم اتصال یافته‌اند. این فرایند موجب پراکنده شدن ذرات رس<sup>۱</sup>، کاهش تخلخل، افزایش مقاومت خاک در برابر نفوذ ریشه‌ها، کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع و آب قابل استفاده، کاهش نفوذ آب و هوا در خاک، ایجاد سله، افزایش رواناب و فرسایش خاک می‌شود [۷۸، ۳۳ و ۱۰۴].

شکسته شدن خاکدانه‌ها به عواملی مانند اندازه خاکدانه‌ها، رطوبت اولیه و سرعت مرطوب شدن، کانی‌شناسی رس‌ها و مقدار ماده آلی وابسته است [۹۳].

مواد آلی به طور کلی تاثیر مثبتی بر استحکام خاکدانه‌ها دارند و تحت شرایط مختلف، ترکیبات پیچیده آلی - معدنی، پلی ساکاریدها، میکوریزاها و ریشه‌ها یا هیف‌ها نقش مهمی را در ساختمان خاکدانه‌ها بازی می‌کنند. تناوب زراعی، عملیات مدیریت محصول، حاصلخیزی، زهکشی، آبیاری و کیفیت آب آبیاری

عواملی هستند که بر اندازه و استحکام خاکدانه‌ها تاثیر گذارند. مواد بهساز خاک<sup>۱</sup> به ویژه لجن‌ها و پلیمرهای آلی بر ساختمان خاک تاثیر گذاشته و تغییرات ساختمانی عمده‌ای را در خاک‌ها به وجود می‌آورند [۲۰].

اسیدپته، هدایت الکتریکی، مقدار کربنات‌های کلسیم و منیزیم، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم، مقدار رس و ماده آلی از مهمترین ویژگی‌های موثر بر پایداری خاکدانه‌ها می‌باشند [۶]. نفوذ آب به خاک به جای روان شدن بر روی سطح به وسیله فعل و انفعالات فیزیکی و بیولوژیکی و با یک ساختمان پایدار با منافذ درشت کافی در جهت انتقال سریع آب کنترل می‌شود. خاکی که دائماً با عملیات کشت و کار زیر و رو می‌شود، اغلب دارای ساختمان ضعیفی است و به سمت تشکیل سله سطحی پیش می‌رود، در حالی که مواد آلی یک وسیله برای کاهش فشرده شدن ذرات خاک و بهبود نفوذ می‌باشد [۵۶].

#### ۲-۱-۴- اثر ساختمان بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها

ساختمان خاک در حاصلخیزی آن نقش به‌سزایی دارد زیرا ویژگی‌های هیدرولیکی، حرارتی و تهویه‌ای خاک را شدیداً تحت تاثیر قرار می‌دهد [۱۱]. تخلخل و وجود منافذ درشت باعث تسریع نفوذ آب به داخل خاک می‌شود. زهکشی و تهویه خاک نیز به وجود منافذ درشت بستگی دارد. در اثر فشرده‌گی، خاکدانه‌ها به هم نزدیک و منافذ درشت از بین می‌رود [۱۰].

خاکدانه‌ها باید به اندازه کافی منافذ درشت، برای بقای موجودات هوازی دارا بوده و منافذ کوچک برای نگهداری آب قابل دسترس گیاه نیز داشته باشند. منافذ موجود نیز بایستی اجازه نفوذ سریع به آب یا هوا را بدهند. در اکثر خاک‌های معدنی، استحکام و پایداری ساختمان خاک با کم شدن مقدار مواد آلی کاهش می‌یابد. اگرچه در برخی شرایط ممکن است مواد آلی باعث کاهش نیروی پیوستگی در خاکدانه‌های از هم پاشیده شود، اما به طور کلی کاهش مواد آلی که در نتیجه کشت فشرده به وجود

می‌آید، نه تنها باعث تضعیف ساختمان خاک می‌شود، بلکه باعث کاهش عملکرد گیاه نیز می‌گردد [۲۰]. عواقب در نظر نگرفتن اصول صحیح زراعی به خصوص در کشورهای در حال توسعه و استفاده نامناسب از آب و کشت‌های بی‌رویه به ویژه در زمین‌های دارای زهکشی ضعیف باعث تخریب اراضی گردیده است. اثرات تخریبی مذکور شامل مقاومت در برابر نفوذ آب و ریشه، افزایش غلظت بحرانی املاح در محلول خاک و به طور کلی کاهش رشد ریشه گیاه می‌باشد [۱۲]. خاک ورزی بر سله سطحی<sup>۱</sup> تاثیر می‌گذارد. فشردگی خاک نیز عمدتاً در اثر تردد ماشین‌های کشاورزی ایجاد می‌شود.

دو نوع سله باعث دشواری و نفوذ کند آب می‌شود :

۱- سله سطحی نازکی که بر اثر عمل ضربه‌ای قطره‌های باران و آب روی سطح ایجاد می‌شود. سله یاد شده به علت فروپاشی ساختمان سطحی خاک بر اثر ترشدن تشکیل می‌شود. ذرات خاک تغییر جا داده و پیامد آن کاهش تعداد و اندازه منافذ درشت است که با خشک شدن خاک سله سخت می‌شود. به این سله، سله‌های ساختمانی می‌گویند.

۲- هنگامی که آب گل آلود به درون خاک نفوذ می‌کند ذره‌هایی بر جا می‌گذارد که به تشکیل سله کلفت‌تری می‌انجامد و اصطلاحاً به آن سله ته‌نشستی می‌گویند. عوامل متعددی بر استحکام و یا کاهش پایداری خاکدانه‌ها موثرند :

اسیدپته<sup>۲</sup>، هدایت الکتریکی<sup>۳</sup>، ترکیب یونی خاک، مقدار کربنات‌های کلسیم و منیزیم، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم، مقدار رس و ماده آلی از جمله ویژگی‌هایی هستند که بر پایداری خاکدانه‌ها موثر هستند [۶]. نقش مواد آلی دو طرفه است، از طرفی موجب ثبات خاکدانه‌ها و از طرفی از طریق آنیون‌های آلی و افزایش بار منفی باعث کاهش پایداری خاکدانه‌ها می‌گردد [۱۱۲]. نسبت جذب سدیم<sup>۴</sup> برای برآورد مقدار سدیم قابل تبادل خاک به کار می‌رود. هرچه نسبت جذب سدیم آب آبیاری بیشتر باشد به همان نسبت سدیم قابل تبادل خاک در تعادل با آن نیز زیادتر است. با افزایش سدیم تبدیلی پایداری خاکدانه‌ها کاهش پیدا می‌کند [۴].

1- seal formation

2-pH

3-Electrical Conductivity

4-SAR

تخلخل و منافذ درشت باعث تسریع نفوذ آب به درون خاک می‌شوند، زهکشی و تهویه نیز به این خلل و فرج بستگی دارد [۱۰]. تخریب و شکستن خاکدانه‌ها باعث پراکنده شدن ذرات رس، کاهش تخلخل و کاهش ضریب آبگذری اشباع می‌گردد [۷۸ و ۱۰۴].

کاهش نفوذ آب به خاک اغلب در اثر وضعیت فیزیکی نامناسب خاک سطحی به وجود می‌آید و این وضعیت اساساً در برگیرنده فشردگی و سله بستن است. فشردگی خاک هنگامی روی می‌دهد که ذره‌ها بر اثر نیروهای وارده از محل اصلی خود جابجا شوند و چگالی ظاهری افزایش یابد. افزایش چگالی باعث می‌شود تعداد منافذ کوچک افزایش یابد.

استفاده از ماده‌های بهساز شیمیایی با تقویت مقدار کلسیم، غلظت کل نمک یا رسانایی الکتریکی آب را افزایش می‌دهد ثانیاً نسبت جذب سدیم آب خاک و در نتیجه آن درصد سدیم قابل تبادل خاک را کاهش می‌دهد. هر دو اثر می‌تواند نفوذ آب را افزایش داده و پایداری خاکدانه‌ها را زیاد کند در نتیجه تشکیل سله‌های سخت و فشردگی خاک کاهش می‌یابد [۴].

## ۲-۱-۵ - مواد آلی و ساختمان خاک

کودهای حیوانی و سایر بقایای آلی اثرات مثبتی بر حاصلخیزی، شرایط فیزیکی، جمعیت و فعالیت‌های میکروبی، خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد محصول دارد. با افزایش ماده آلی خاک پایداری خاکدانه‌ها و شرایط سطحی خاک بهبود می‌یابد. کودهای آلی باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله وضعیت پایداری خاکدانه‌ها در آب، هدایت آبی و ظرفیت نگهداشت خاک می‌شود [۹۹]. افزودن ماده آلی به خاک باعث افزایش نگهداری آب در منافذ خاک شده و جرم مخصوص ظاهری خاک را کاهش می‌دهد [۶۵].

مواد آلی به علت اثرات سازنده‌ای که بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک دارند به عنوان یکی از ارکان باروری شناخته می‌شوند [۳۱]. مواد آلی می‌توانند موجب ثبات خاکدانه‌ها شوند [۱۱۲]. در داخل خاک ابتدا خاکدانه‌های کوچک شکل می‌گیرند و سپس تبدیل به خاکدانه‌های بزرگ می‌شوند [۱۴۵ و ۱۳۴]. مواد آلی ویژگی‌های فیزیکی خاک را بهبود بخشیده و زمانی که مواد تازه گیاهی به خاک

اضافه شود، در اثر تجزیه میکروبی مواد آلی کمپلکس مثل اسیدهای آمینه و یا پروتئین‌ها تولید می‌شود [۲۲]. کربن آلی ابتدا در تشکیل خاکدانه‌های بزرگ شرکت می‌کند و سپس هسته خاکدانه‌های کوچک را تشکیل می‌دهد [۱۱۲]. مواد آلی با جذب بر روی سطح رس‌ها و محبوس شدن در خاکدانه‌ها در برابر تجزیه حفاظت می‌شوند [۵۸].

ذخیره کردن کربن در خاک به شکل ماده آلی در مقیاس جهانی نه تنها باعث افزایش تولید محصولات کشاورزی از طریق بهبود حاصلخیزی خاک‌ها می‌گردد بلکه باعث کاهش میزان دی‌اکسید کربن هوا و در نتیجه کاهش اثرات سوء گازهای گلخانه‌ای می‌شود. ماده آلی ممکن است در محیطی قرار گیرد که دسترسی جانداران به آن غیر ممکن شود در این صورت به مدت طولانی باقی می‌ماند. چسبیدن ماده آلی به سطح رس‌ها و محبوس شدن آن داخل خاکدانه‌ها از جمله فرآیندهایی است که باعث حفظ ماده آلی و جلوگیری از تجزیه سریع آن می‌شود [۱۸].

افزایش ماده آلی ممکن است بر نفوذپذیری خاک موثر باشد. به طور مثال مواد آلی می‌تواند گنجایش نگهداری آب خاک، پایداری خاکدانه‌ها و ظرفیت تبادل کاتیونی را افزایش داده و وزن مخصوص ظاهری را کاهش دهد [۷۶]. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کود دامی و خاک‌پوش<sup>۱</sup> همراه با کمپنه خاک‌ورزی اثر خوبی بر میزان آب خاک‌های سله بسته داشته و درجه نفوذ، آب ذخیره شده و زهکشی را افزایش می‌دهد [۵۷].

توده باکتری و قارچ خاکدانه‌های کوچک را تثبیت نموده و کرم‌های خاکی خاکدانه‌های بزرگ را مقاوم می‌سازد. این دو روش پایداری ساختمان خاک، تعیین کننده ثبات اکوسیستم است [۱۶۰]. راهکار پایداری سازی ساختمان خاک با مواد آلی نه تنها به مقدار و طبیعت شیمیایی ماده آلی بستگی دارد بلکه بیش از آن به آرایش و نحوه پیوندهای آن با اجزاء معدنی وابسته است.

در برخی از پژوهش‌ها بر کاهش مقدار خرد شدن و پراکنش خاکدانه‌های خشک در اثر پیوندهای آلی تاکید شده است اما در صورت اعمال تنش خاک‌ورزی در حالت خیس، مواد آلی به سطح ذره رس چسبیده و نیروی دافعه میان ذرات را افزایش داده و حالت کلونیدی را در خاک تشدید می‌کنند [۶].

با توجه به موارد مذکور مواد آلی هم می‌توانند موجب ثبات خاکدانه‌ها شوند و هم با تشکیل آنیون‌های آلی و افزایش بار منفی سبب کاهش پایداری آنها شوند [۱۱۲]. برداشت محصولات کشاورزی و در هم‌ریختگی ساختمان خاک ناشی از فعالیت‌های بشر سبب تخریب بالقوه ساختمان خاک و حرکت رسوب می‌گردد [۱۴۹].

امروزه، به خوبی کاربرد مواد آلی مانند بقایای محصول و کود دامی در افزایش پیوندهای ذرات معدنی و تشکیل خاکدانه‌های پایدار در آب که نهایتاً سبب کاهش سله بندی می‌شود به خوبی شناخته شده است [۴۶ و ۵۲]. مواد آلی می‌توانند سبب چسبندگی مواد معدنی به یکدیگر شوند و یا به صورت توده‌های ریز آلی و رشته‌های قارچی در برخی موارد همانند یک شبکه (زنبیل مانند) عمل کرده و سبب در بر گرفتن ذرات خاک و تشکیل ساختمان دانه‌ای بشوند [۱۴۲].

متأسفانه در برخی نواحی مواد آلی طبیعی، کمیاب و غیر قابل دسترس هستند، بنابر این بهبود ساختمان خاک ممکن است به وسیله مصرف پلیمرهای سنتتیک حاصل شود [۱۲۴].

## ۲-۲- تثبیت کننده‌های خاک

حاصلخیزی خاک یک عنوان عمومی است که به عوامل مختلفی که بر رشد گیاه اثر می‌گذارند، اشاره می‌کند. عوامل پیچیده موثر بر رشد گیاه را در دو بخش عمده زیر تقسیم‌بندی می‌کنند:

### ۱- عامل عناصر غذایی

### ۲- عوامل خاک

عامل عناصر غذایی به حضور و مقدار عناصر گوناگون که برای رشد گیاهان ضروری هستند اشاره می‌کند. به این بخش حاصلخیزی، حاصلخیزی شیمیایی گویند. عامل خاک به شرایط خاک که گیاه را قادر می‌کند فایده کامل از عناصر غذایی موجود برده و رشد بهینه انجام دهد اشاره دارد. این بخش حاصلخیزی، حاصلخیزی فیزیکی نامیده می‌شود. حاصلخیزی فیزیکی، ظرفیت خاک، برای کنترل و محدود کردن آلودگی محیط به وسیله ریزجانداران و به حداقل رساندن زیان‌های ناشی از فرسایش به وسیله جلوگیری و کاهش از هم پاشیدگی ساختمان خاک می‌باشد. پایه و اساس حاصلخیزی فیزیکی، ساختمان خاک است [۱۵۹].

ساختمان خاک شامل اندازه، شکل و ترتیب شکل‌گیری خاکدانه‌ها است؛ هنگامی که ذرات اولیه در کنار هم جمع شده و واحدهای تفکیک شده بزرگتری به نام پد<sup>۱</sup> را تشکیل می‌دهند. پیدایش شکل خاکدانه‌ها شامل اجتماع ذرات رس به شکل شبه کریستالی، کروی<sup>۲</sup> و یا تکتوئید است [۱۵۹].

بهبود دهنده‌های خاک باعث تغییر اساسی در فرسایش پذیری، افزایش منافذ در خاک‌ها، افزایش نفوذپذیری، افزایش خاکدانه‌سازی، کاهش سله بندی خاک، کاهش فرسایش‌پذیری بادی، کاهش جداسازی خاکدانه‌ها توسط انرژی قطرات باران و کاهش فرسایش از طریق تاثیر بر جریان‌های سطحی می‌شوند.

مزایای اصلاح کننده‌های خاک شامل بهبود دادن میزان رطوبت خاک، بهبود بخشیدن ذخیره عناصر غذایی، کم کردن فرسایش پذیری به وسیله باد و باران و ایجاد یک محیط مناسب برای تولید زیتوده<sup>۳</sup> می‌باشد. با وجود پژوهش‌های گسترده در مورد کاربرد اصلاح کننده‌های خاک و اثرات آنها بر محیط رشد گیاه کاربرد وسیع آنها در اراضی زراعی به دلایل اقتصادی محدود شده است. با این حال به دنبال پیشرفت‌های جدید تکنولوژی و شناسایی مواد شیمیایی که کاهش هزینه‌ها را به دنبال داشته است علاقمندی به این مواد مجدداً ایجاد شده است [۱۲۱].

## ۲-۲-۱- پلیمرها<sup>۴</sup>

پلیمرها واحدهای تکرار شونده شناخته شده کوچک (مونومر<sup>۵</sup>) هستند که به یکدیگر در جهت تشکیل زنجیره‌های بزرگ متصل شده‌اند. زنجیره‌های پلیمری قابل انعطاف و چند بخشی بوده و از ویژگی‌های اصلی پلیمرها می‌توان به اندازه بزرگ مولکول‌های آنها و این واقعیت که از واحدهای تکراری (مرها<sup>۶</sup>) در طول زنجیرشان تشکیل شده‌اند اشاره نمود. بنابراین سنتز پلیمرها مستلزم مراحل منفرد زیادی است تا از مولکول‌های مونومر، درشت مولکول‌هایی با واحدهای تکراری بسیار تشکیل شود [۲۷].

1-ped

2- domain

3- biomass

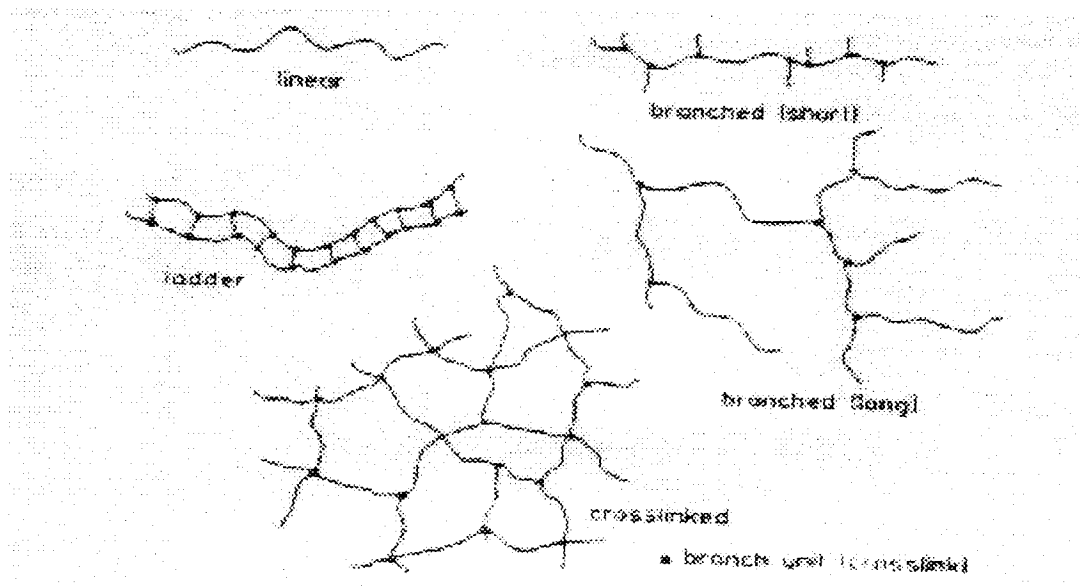
4- polymers

5- monomer

6-mers



پلیمرها بسیار زیادند و با روش‌های گوناگون سنتز می‌شوند. شکل مولکول‌های پلیمر می‌تواند خطی، شاخه دار، نردبان مانند و یا دارای پیوندهای عرضی باشد که در شکل ۱-۲ نشان داده شده‌اند [۲۷].



شکل ۱-۲- اشکال مولکولی پلیمرها

یکی از جنبه‌های مهم حاصلخیزی خاک ظرفیت خاک برای ذخیره رطوبت و مواد مغذی برای گیاهان است. در سالیان اخیر رشد فزاینده‌ای در ایجاد ساختمان مصنوعی به عنوان عاملی موثر در تهیه، گرما و رژیم رطوبتی خاک انجام شده است که این مسئله بر کمیت و کیفیت محصولات مختلف اثر مثبت دارد. پلیمرها موادی قابل توجه برای ایجاد ساختمان مصنوعی در خاک هستند [۱۶۰].

در مورد درشت مولکول‌های خطی ساخته شده از یک نوع ماده تکرار شونده (مرها) که معمولاً هموپلیمر<sup>۱</sup> نامیده می‌شوند، استقرار واحدهای مونومر عموماً سر به دم است. گونه‌های پلیمری که بیش از یک نوع واحد ساختاری دارند را کوپلیمر<sup>۲</sup> می‌نامند [۹].

## ۲-۲-۲- تاریخچه استفاده از پلیمرها

توجه به سودمندی پلیمرهای آلی به عنوان بهبود دهنده‌ها و یا پایدار کننده‌های خاک مربوط به اوایل دهه ۱۹۵۰ میلادی است. هنگامی که شرکت مونسانتو<sup>۳</sup> پلیمری از ترکیب متناوب انواع پلیمرهایی از قبیل وینیل استات، مالیک اسید و پلی کریلونیتریل هیدرولیز را تولید کرد [۴۳].

1- homopolymer

2- copolymer

3- Monsanto

نخستین محصولی که در ابتدا به صورت تجاری رایج شد، کوپلیمری بود که از واحدهای وینیل استات و انیدرید مالئیک<sup>۱</sup> به وجود آمده و تحت نام تجاری کرلیوم<sup>۲</sup> شناخته شد [۷۲].

در آن زمان استقبال از این ترکیبات زیاد بود زیرا نیاز مبرم برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها وجود داشت. اما به دلیل غیر اقتصادی بودن آن در کشت مزرعه‌ای مصرف تجاری آنها در اوایل ۱۹۶۰ میلادی متوقف شد [۲۷]. از مهمترین دلایل توقف مصرف این پلیمرها در آن زمان می‌توان به هزینه زیاد آنها در مقایسه با ارزش محصولات کشاورزی، بیچیدگی کاربرد آنها و توزیع ناچیزشان در خاک اشاره کرد [۷۲].

ولی اخیراً به کارگیری پلیمرهای آلی به عنوان بهبود دهنده‌های خاک به صورت عمومی [۲۷] و مخصوصاً در بهبود پایداری خاکدانه‌ها، کنترل سله سطحی، پیشگیری از رواناب و فرسایش خاک گسترش پیدا کرده است [۶۸، ۱۲۶، ۱۲۹ و ۱۳۷].

مسئله کاربرد پلیمرها و اقتصادی بودن آنها از آنجا ناشی می‌شد که مسدود شدن منافذ خاک صرفاً در لایه سطحی صورت می‌گیرد و از این رو حجم خاکی که باید اصلاح شود اندک بوده و در نتیجه مقدار پلیمرهای مصرفی برای مقاصد کشاورزی هم نتجتاً کمتر خواهد بود و این توجیه اقتصادی خواهد داشت [۲۷].

بیشترین مطالعه بر روی پلیمرها عمدتاً در آزمایشگاه و یا در شرایط گلخانه و بدون در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی آن در مقیاس وسیع کشاورزی انجام شده است [۷۲].

---

1- VAMA

2- Krilium

### ۲-۲-۳- انواع پلیمرها از نظر نوع کاربرد

پلیمرها ممکن است جامد و امولسیون<sup>۱</sup> یا مایع باشند. امولسیون‌های پلیمری ممکن است دامنه وسیعی از ویژگی‌ها را دارا باشند. آنها ممکن است آنیونی، کاتیونی و یا غیر یونی باشند. همچنین این ترکیبات می‌توانند اسیدی، بازی و یا خنثی بوده و اجزاء جامد تشکیل دهنده آنها بسیار متفاوت باشند. یک پلیمر مایع نمونه شامل تقریباً ۴۰ تا ۴۵ درصد پلیمر، ۱ تا ۲ درصد عامل امولسیون کننده و مابقی آب می‌باشد. پلیمرها همچنین ممکن است از نظر شیمیایی، مولکولی، وزنی، درجه شاخه‌ای، اندازه زنجیره ترکیب بسیار متفاوت باشند.

یک پلیمر نمونه برای پایدارسازی خاک باید ویژگی‌های فیزیکی خوبی از قبیل انعطاف و کشش پذیری بالا، روان بودن، توانایی چسبندگی خوب به ذرات خاک، پایداری مطلوب در آب و مواد شیمیایی و مقاومت در برابر نور ماورا بنفش خورشید را دارا باشد. برخی از پلیمرهای تولید شده که عرضه تجاری خوبی یافته و برای پایدارسازی خاک به کار می‌روند عبارتند از: وینیل استات، کوپولیم‌های اکریلیک. مقدار پلیمر ته نشین شده بر سطح ذرات خاک بستگی به غلظت پلیمر اضافه شده و درجه مخلوط شدن آن با خاک دارد. مشخصه‌های برخی پلیمرهای امولسیون در جدول ۲-۱ آورده شده است [۱۰۹].

جدول ۲-۱- مشخصه‌های برخی پلیمرهای امولسیونی

پلیمر امولسیونی	ترکیب شیمیایی	درصد مواد جامد
P1	کوپولیم‌ر اکریلیک وینیل استات	۴۷
P2	کوپولیم‌ری اتیلن وینیل استات	۴۵
P3	کوپولیم‌ر اکریلیک	۴۳
P5	کوپولیم‌ر اکریلیک وینیل استات	۴۲
P6	پلیمر اکریلیک	۴۱

## ۲-۲-۴- انواع پلیمر از نظر نقش در خاک

پلیمرها با توجه به نقشی که در خاک دارند به دو گروه تقسیم می‌شوند:

گروه اول آب را به خود جذب می‌کنند [۴]. استفاده از پلیمرهای فراجاذب<sup>۱</sup> جهت افزایش توان نگهداری آب در خاک توصیه می‌شود [۵]. پلیمرهای فراجاذب می‌توانند مقادیر زیادی آب یا محلول آبی را جذب نموده و متورم شوند. این مخازن ذخیره‌ای کوچک وقتی در داخل خاک قرار می‌گیرند، آب آبیاری و بارندگی را به خود جذب نموده و از فرونشست آن جلوگیری می‌نمایند. پس از عمل فرآیند 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 [۱۶].

استفاده از این مواد در راستای اهداف متعددی مانند افزایش گنجایش نگهداشت آب در خاک [۱۱۷، ۱۳۵ و ۴۷]، بهبود نفوذپذیری خاک [۸۹، ۸۶ و ۱۰۲]، افزایش دور آبیاری، کاهش هزینه‌های آبیاری مکرر و تنش‌های آبی در مواقع حساس رشد گیاه [۷۵ و ۱۵۴]، افزایش درصد جوانه زنی بذور [۱۲۲، ۱۵۲، ۳۹ و ۱۵۸]، کاهش رواناب و جلوگیری از اتلاف آب [۳۰، ۷۵ و ۱۳۹]، افزایش پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک [۱۰۵، ۱۲۷ و ۱۳۸]، جلوگیری از فرسایش و مقابله با آن [۸۶، ۸۸ و ۱۱۰]، کاهش تراکم خاک [۴۴] و افزایش فعالیت بیولوژیک ریزجانداران خاک صورت می‌گیرد [۶۱، ۱۲۵ و ۱۰۸].

گروه دوم ذره‌های خاک را به هم می‌چسبانند [۴]. پلیمرها از طریق دو فرآیند باعث هم‌آوری ذرات می‌شوند: اول جذب سطحی الکتریکی مولکول‌های پلیمر بر روی سطوح ذرات به دلیل خنثی شدن بار سطحی ذرات رس توسط پلیمر، و دوم وصل نمودن ذرات خاک به یکدیگر. پلیمرهای با وزن مولکولی زیاد نمی‌توانند به درون خاکدانه‌ها نفوذ کنند [۳۷ و ۸۵].

## ۲-۲-۵- انواع پلیمرها از نظر بنیان ساختمانی

۱- پلیمر آنیونی<sup>۱</sup>: این نوع پلیمر شدن از طریق مواضع آلی فلزی و یون مخالف فلزی آنها (برای فراهم شدن محیط خنثی الکتریکی) انجام می‌گردد.

۲- پلیمر کاتیونی<sup>۲</sup>: مواضع فعال در این پلیمر شدن یون‌های کربونیوم و یون‌های اکسونیوم در برخی موارد نیز یون‌های آمونیوم به همراه مقدار کافی یون مخالف A می‌باشند [۹].

پلیمرهای کاتیونی بار منفی ذرات رس را خنثی می‌کند و در نتیجه به عنوان رسوب دهنده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرند. پلیمرهای آنیونی به ویژه در حضور کاتیون‌های چند ظرفیتی هماورهای مناسبی هستند. برای این پلیمرها قسمتی از زنجیره‌های پلیمر در جذب دخالت دارند و سایر قسمت‌ها به صورت حلقه و قلاب‌هایی قرار دارند. بنابراین پلیمرهای آنیونی یک قلاب نسبتاً طویل تشکیل می‌دهند که ایجاد پل‌های بین ذرات را تسهیل می‌کنند [۳۷ و ۸۵]. پلیمرهای کاتیونی در همآوری رس‌ها موثر بوده و دارای درجه نفوذ بالایی هستند در صورتی که پلیمرهای آنیونی فقط در محلول‌های با غلظت بالای الکترولیت موثر هستند [۲۷].

## ۲-۲-۶- انواع پلیمرها از نظر مصارف کشاورزی

دو گروه پلیمر تجاری که برای مصارف کشاورزی وجود دارند شامل: پلیمرهای محلول و نامحلول در آب هستند.

- پلیمرهای محلول در آب<sup>۳</sup>: این پلیمرها برای خاکدانه‌سازی، پایدارسازی خاک‌ها، مقابله با فرسایش و بهبود نفوذپذیری خاک به کار می‌روند. نمونه این پلیمرها شامل هوموپلیمرها و کوپلیمرهایی مانند پلی‌اتیلن گلیکول، پلی‌وینیل الکل، پلی‌اکریلات، پلی‌اکریل آمید، پلی‌وینیل استات و انیدرید مالئیک می‌باشند. این پلیمرها دارای ساختمان زنجیره‌ای خطی بوده که در شکل نشان داده شده است.

1- Anionic polymer

2-Cationic polymer

3- Water-soluble Polymers



پلی اتیلن گلیکول

پلی وینیل الکل

پلی اکریلات

پلی اکریل آمید

پلی وینیل استات و انیدرید مالنیک

به جز پلی اتیلن گلیکول، بقیه این پلیمرها به وسیله رادیکال‌های آزاد پلیمر شده سنتز شده‌اند. اخیراً این ترکیبات به روش صنعتی از نفت مشتق شده که به سادگی و با کمترین هزینه در دسترس می‌باشند. از مشخصه‌های این پلیمرها جرم مولکولی زیادشان است. پلی اکریل آمید یکی از گسترده‌ترین بهبوددهنده‌های به کار برده شده در خاک است. اخیراً پلی الکترولیت‌هایی مانند اکریل آمید، اکریلات و کوپلیمرها با کاربرد بسیار موثر برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند.

از مشکلات خاک‌های مناطق گرمسیر حاره با بارندگی بسیار زیاد، کاهش پایداری خاکدانه‌ها و افزایش جرم مخصوص ظاهری است نتیجه این مسئله کاهش ورود آب به خاک و کم شدن ذخیره آن در خاک است. ثابت شده است که پلی اکریل آمید ضمن اصلاح این مشکل در برابر فرسایش خاک نیز موثر است. به وسیله مصرف این بهبود دهنده‌های پایدار کننده در خاک، لایه نفوذ پذیر ایجاد شده و در نتیجه روان آب سطحی کاهش می‌یابد [۷۲].

- پلیمرهای با ساختمان ژلاتینی<sup>۱</sup> (نامحلول در آب): دومین گروه پلیمرها شامل پلیمرهای ژله‌ای یا پلیمرهای نامحلول جاذب آب بوده که برای مصارف کشاورزی، نخستین بار در اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی معرفی شدند. این پلیمرها فاقد ساختار زنجیره‌ای خطی چنانکه قبلاً توضیح داده شد، بوده ولی دارای زنجیره‌هایی به فرم شبکه‌ای<sup>۲</sup> هستند. اتصالات عرضی هنگام پلیمر شدن با حضور مقدار کمی از یک ترکیب دی وینیل رخ می‌دهد. بسته به شرایط سنتز، نوع و چگالی پیوندهای کووالانسی این پلیمرها قادرند تا ۱۰۰۰ برابر وزن خود آب جذب کرده، تشکیل فرم ژل داده، و در شرایط نامساعد مانند خشکی تا ۹۵ درصد آب جذب شده را برای رشد گیاهان آزاد کنند [۷۲].

1- Gel-forming polymers

2- cross-link

پژوهش‌ها نشان می‌دهند که مصرف هیدروژل‌ها مقدار رطوبت در دسترس را در منطقه ریشه افزایش داده و نتیجه آن افزایش دور آبیاری خواهد بود. البته باید توجه کرد که پلیمرها مقدار آب فراهم گیاهان را کاهش ندهند [۵۵ و ۷۵].

عموماً نتیجه پیوند زیاد در پلیمر کاهش ظرفیت نگهداری آب خواهد بود. بنابراین در مناطقی که منبع آب آبیاری محتوی مقدار زیادی نمک محلول باشد و یا در حضور املاح کودی ظرفیت نگهداری آب به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد [۱۵۵]. همچنین ترکیبات شیمیایی و یا یون‌های منیزیم، کلسیم و آهن موجود در آب آبیاری بر مقدار آب نگهداری شده توسط پلیمر اثر منفی می‌گذارند [۷۵]. این کاتیون‌های دوظرفیتی با ایجاد پیوندهای نیرومند با ژل‌های پلیمری قادر به جابجایی مولکول‌های جذب شده آب از داخل پلیمر می‌باشند. هر چند کاتیون‌های یک ظرفیتی سدیم نیز قادر به انجام این کار می‌باشند ولی اثر آن‌ها به خوبی کاتیون‌های دو ظرفیتی مشخص نبوده و از طرفی مراحل آن کاملاً به وسیله مرطوب شدن مکرر با آب برگشت‌پذیر است [۷۱].

به علاوه، مصرف هیدروژل‌ها با جذب آبی که از منطقه ریشه آبشویی خارج می‌شود سبب افزایش بازده آب می‌گردد. در طول روزهای گرم سیستم ریشه‌های موئین گیاهان با خارج کردن بیشتر آب از ناحیه محصور بین سیستم ریشه گیاه باعث ایجاد تنش در گیاه می‌شود. هنگامی که رطوبت زیاد می‌شود هیدروژل با جذب آب به کاهش تنش گیاهان نسبت به آب کمک کرده و نتیجه آن افزایش رشد و عملکرد گیاهان است [۵۱، ۱۱۹ و ۳۲]. میزان کارایی ژل‌ها هنگامی حاصل می‌شود که هیدروژل به صورت لایه‌ای، چند اینچ زیر سطح خاک مصرف شود. همچنین هیدروژل‌ها به منظور کاهش آبشویی کودهای NPK به کار می‌روند [۷۲].

## ۲-۳- فرآیند جذب پلیمرها در خاک و عوامل موثر بر آن

پلیمرها می‌توانند توسط شن، سیلیکا، آلومینا، ذرات رس، لاتکس، سلولز و مواد دیگر جذب شوند [۵۹ و ۱۴۱]. جذب پلیمرهای کاتیونی به وسیله رس‌ها در اثر واکنش‌های الکترواستاتیکی بین گروه‌های

کاتیونی پلیمر و بارهای منفی سطح رس انجام می‌گیرد. کاتیون‌های این پلیمرها (پلی کاتیون‌ها) با کاتیون‌های قابل تبادل و محلول برای مکان‌های تبادلی سطح رس رقابت می‌کنند. جذب پلی کاتیون‌ها توسط رس‌ها با کاهش ظرفیت کاتیون‌های قابل تبادل افزایش یافته و با افزایش غلظت محلول کاهش می‌یابد [۶۲ و ۲۹].

یافته‌های گو و دونر<sup>۱</sup> (۱۹۹۲) نشان داد که افزایش pH محلول، جذب پلی کاتیون‌ها را توسط ایلیت افزایش داد [۶۲].

در پژوهشی جذب پلیمرها بر سطح ذرات خاک با افزایش pH از ۳ به ۸ و ازدیاد بارهای منفی مولکول پلیمر و سطح رس کاهش یافت. در یک قدرت یونی یکسان، کاتیون‌های دوظرفیتی با شدت بیشتری نسبت به کاتیون‌های یک ظرفیتی جذب سطوح باردار رس‌ها می‌شوند. کاتیون‌ها به عنوان عامل اتصال پلیمر به سطح رس عمل می‌نمایند. کمترین جذب پلیمر بر سطح کائولینیت اتفاق افتاد و بیشترین آن مربوط به اسمکتایت‌ها، که بار لایه‌ای آنها اغلب مربوط به مکان‌های تتراهدرال می‌شد، بود. در زمان‌های مختلف، متوسط جذب برای اسمکتایت‌ها بیش از کائولینیت بود [۷۷].

اثر متقابل بارهای پلیمری (آنیونی و کاتیونی) با رس‌ها بسیار پیچیده‌تر از گونه‌های غیر یونی است زیرا بارهای پلیمرها می‌توانند در سطوح باردار در pH و قدرت یونی محلول دستخوش تغییراتی شوند [۴۲]. بارهای منفی پلیمرها آنها را از سطح رس‌ها دفع می‌کنند و کمترین میزان جذب اتفاق می‌افتد. از سویی پلیمرهای آنیونی برخلاف پلیمرهای کاتیونی و غیر یونی نمی‌توانند وارد فضای بین لایه‌ای رس‌های قابل انبساط شوند و از طریق کاتیون‌های چند ظرفیتی که بین گروه‌های آنیونی پلیمر و سطح منفی بار رس‌ها ایجاد پل می‌کنند، جذب می‌شوند [۲۷].

هنگامی که کاتیون محلول آماده کننده پلیمر، سدیم باشد، مقدار پلیمر جذب شده توسط مونت‌موریلونیت فقط کمی بیش از کائولینیت بود ولی در حضور یون کلسیم مقدار پلیمر جذب شده به وسیله مونت‌موریلونیت در غلظت یکسان ۲ تا ۳ برابر کائولینیت بود. کاتیون‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم در غلظت یکسان نسبت به کاتیون‌های یک ظرفیتی سدیم و پتاسیم در بالا بردن جذب پلیمر



توسط خاک‌ها موثرتر هستند [۹۵].

افزایش قدرت یونی، دفع الکترواستاتیکی بین پلی‌انیون‌ها و سطوح رس را کاهش می‌دهد و ممکن است سبب کاهش بار و اندازه پلیمر گردد. شرایط اسیدی، محیط را برای جذب پلی‌انیون‌ها مساعد می‌کند [۲۷]. مقدار پلیمرهای جذب شده به وسیله رس‌ها به نوع بار آنها وابسته است [۱۴۱].

همان‌طور که گفته شد، برخلاف مولکول‌های آلی کوچک یا پلیمرهای غیریونی، پلیمرهای آنیونی نمی‌توانند وارد فضای بین لایه‌ای سیلیکات‌های لایه‌ای قابل انبساط شوند. از این رو عواملی مانند اندازه ذرات، ضخامت و شکل رس در سوسپانسیون بر مقدار جذب پلیمر تاثیر خواهد داشت. در نتیجه مقدار پلیمر جذب شده توسط ذرات ریز بیش از ذرات درشت خواهد بود و در محلول با غلظت یکسان، جذب پلیمر توسط مونت‌موریلونیت بیش از کائولینیت و آن هم بیش از شن ریز خواهد بود. این مسئله به وسیله سطوح ویژه خارجی آنها قابل توجیه است.

در غلظت معین کانی‌های رس پلیمر را چندین برابر بیش از خاک‌ها و ده یا چند صد برابر بیش از شن جذب می‌کنند. ترکیب شیمیایی غیر آلی خاک‌ها اساساً شامل سیلیکات یا آلومینوسیلیکات‌ها بوده که مکان‌های فعال برای جذب پلیمر هستند. در غلظت یکسان، خاک با بافت ریز مانند لوم رسی و رس سیلتی نسبت به بافت‌های درشت مانند شن لومی و شن تمایل بیشتری به جذب پلیمر دارند [۹۵].

در پژوهشی، پلی‌اکریل آمید، با غلظت کم در آب آبیاری به کار رفت. اندازه‌گیری جذب آن در خاک به دلیل غلظت بسیار ناچیز آن در محلول خاک ممکن نبود [۹۴]. در پژوهش‌های به عمل آمده برخی محققان ایزوترم‌های جذب چند نوع پلی‌انیون را بر روی یک خاک لوم شنی با بکار بردن پلیمر نشان‌دار تریتیوم‌دار تعیین کردند. نتایج نشان داد که جذب پلیمر به وسیله خاک اغلب به سطوح خارجی محدود گردیده و به میزان زیادی به کیفیت آب بستگی دارد [۹۶ و ۱۰۶]. پس از جذب پلیمر روی خاک واجدبندی اندکی مشاهده می‌گردد [۲۹ و ۱۰۷].

واکنش‌های طبیعی بین پلیمرهای آنیونی و معدنی‌های خاک سطحی هنوز به خوبی شناخته نشده است [۷۳].

پیوند هیدروژنی و تبادل لیگاندی دو روشی است که اغلب توسط پژوهشگران پیشین ارائه شده است [۸۱ و ۱۰۳ و ۱۴۱].

پیوند هیدروژنی معمولاً بین گروه‌های آمید پلیمر و گروه‌های هیدروکسیل آزاد سطح جاذب ایجاد می‌گردد [۶۰ و ۱۱۸]. در حالی که در روش تبادل لیگاندی، گروه‌های کربوکسیل پلیمر وارد لایه داخلی کوئوردینانسیون کنار آلومینیوم به فرم یک کوئوردینانسیون کمپلکس می‌شوند. هم پلیمر آنیونی و هم سطح معدنی‌های خاک در خاک‌های معمولی و محدوده pH بین ۵ تا ۹، دارای بار منفی بوده و در نتیجه دفع الکترواستاتیک مانع جذب پلیمر آنیونی با مکانیسم‌های یاد شده (پیوند هیدروژنی و تبادل لیگاندی) می‌گردد [۷۳]. در نتیجه مراحل جذب پلیمر کاملاً تحت تاثیر رقابت بین فعل و انفعالات جذب‌کننده پلیمر- خاک و نیروی دافعه الکترواستاتیک است [۸۴].

بنابراین جذب پلیمر هنگامی که دفع الکترواستاتیک به خاطر افزایش کاتیون‌های پوششی کم می‌شود به سرعت افزایش می‌یابد. علاوه بر این کاهش دفع الکترواستاتیکی، جذب و اثر متقابل بین مولکول‌های جذب شده و جذب نشده پلیمر را مساعد می‌کند و در نتیجه به مولکول‌ها اجازه می‌دهد به فضای بین لایه‌ای نزدیک شده و جذب شوند. فرآیند دیگری که ممکن است سبب بالا بردن جذب پلیمر شود به تغییر شکل در ساختمان مولکول پلیمر مربوط می‌شود [۷۳].

هنگامی که در سوسپانسیون آبی هیچ واکنشی بین ذرات رس وجود نداشته باشد و یا واکنش‌ها حداقل باشد، جریان سوسپانسیون بر اساس قانون جریان لزج (نیوتن) است. از سوی دیگر وقتی بین ذرات رس واکنش وجود داشته باشد جریان سوسپانسیون غیر نیوتنی خواهد بود. گرچه رفتار جریان سوسپانسیون‌های مختلف رس به صورت گسترده مطالعه شده است ولی فقط تعداد محدودی از آنها در خصوص اثر پلیمرهای طبیعی و مصنوعی در حضور ذرات رس بوده است [۶۳].

## ۲-۴- ویژگی‌های خاک و جذب پلیمرها

جذب پلیمرها به وسیله خاک اغلب بر روی سطوح خارجی انجام می‌شود و پلیمرها به داخل خاکدانه‌ها نفوذ نمی‌کنند. تراکم بار سطحی پلیمر تعیین کننده جذب آن بر سطوح باردار است. اندازه مولکولی و

ترکیب پلیمر در جذب آن بر سطوح کم بار و بدون بار موثر است. با افزایش اندازه مولکولی و طول شدن زنجیره پلیمر میزان جذب زیاد می‌شود. ویژگی‌های بخش مهم خاک جامد که بر جذب پلیمر اثر می‌گذارند، عبارتست از:

۱- سطحی که پلیمر می‌تواند روی آن جذب شود. در خاک‌ها پلیمر به سختی می‌تواند در داخل خاکدانه‌ها نفوذ کند و معمولاً پلیمر در سطح خارجی آنها حضور دارد که برای مراحل جذب قابل توجه است. در نتیجه، جذب پلیمر بر روی ذرات خاک به میزان قابل توجهی از جذب این ماده بر روی اجزاء هم اندازه رس کمتر است.

۲- تراکم بار سطحی و نوع آن که تعیین‌کننده مقدار نیرویی است که به وسیله آن پلیمر بر سطح جامد جذب یا از آن دفع می‌شود. از سوی دیگر ویژگی‌های پلیمر که در جذب آن توسط سطح موثر است عمدتاً شامل تراکم بار و نوع آن بوده که بر جذب الکترواستاتیکی یا دفع آن توسط سطوح جامد تاثیر گذار است. عامل موثر دیگر وزن مولکولی و ترکیب خصوصاً در پلیمرهای بدون بار است [۲۷]. ویژگی‌های آب و خاک مانند بافت، کانی شناسی رس، مواد آلی و غلظت نمک‌های محلول می‌توانند بر جذب پلیمر اثر بگذارند [۷۴].

بن‌هور و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۸۹) اثر دو پلی ساکارید با تراکم بار کم و زیاد و یک پلی اکریل آمید با تراکم بار کم را بر سرعت نفوذ آب به خاک در آبیاری قطره‌ای مطالعه کردند. نتایج نشان داد نفوذ آب به خاک در پلی ساکارید با بار زیاد بیشتر از پلی ساکارید با بار کم و آن هم بیشتر از پلی اکریل آمید بود. همچنین سرعت نفوذ با مصرف پلی اکریل آمید نسبت به شاهد افزایش یافت. این یافته هماهنگ با ترتیب جذب سطحی پلیمر در سطح ذرات خاک می‌باشد. جذب سطحی پلیمر در خاک توانایی آن را در هماوری و کاهش سله افزایش می‌دهد. تاثیر پلیمر بر سله‌بندی و سرعت نفوذ در حین آبیاری‌های متوالی به توانایی پلیمر در ایجاد خاکدانه‌های پایدار در برابر انرژی قطرات باران بستگی دارد. جذب سطحی پلیمر فاکتور مهمی در پایداری خاکدانه‌ها و لایه سطحی خاک می‌باشد. جذب سطحی زیاد پلیمر سبب می‌شود که پلیمر کمتر به درون خاکدانه‌ها یا به لایه زیرین نفوذ نماید [۳۷].

اصول واکنش بین پلیمرهای آنیونی و سطح ذرات خاک هنوز به خوبی شناخته نشده است. دو مکانیسمی که اغلب به وسیله محققان قدیمی مورد اشاره قرار گرفته است پیوند هیدروژنی و تبادل لیگاندی است. پیوند هیدروژنی بین گروه‌های آنیونی پلیمر و گروه‌های هیدروکسیل آزاد که با هیدروکسیل‌های مجاور فاقد پیوند هستند، رخ می‌دهد.

هنگامی که در تبادل لیگاندی، گروه‌های کربوکسیلیک برای شکل‌گیری کمپلکس کئوردینانسیونی وارد لایه کئوردینانسیون کناره آلومینیوم می‌شوند، هم پلیمر آنیونی و هم سطح مواد خاک در pH نرمال بین ۵ تا ۹، دارای بار منفی خواهند بود. لذا دفع الکترو استاتیکی مانع جذب پلیمر خواهد شد. در نتیجه مراحل جذب کاملاً از رقابت بین واکنش جاذب پلیمر با سطح خاک و نیروهای دفع الکترواستاتیک تبعیت خواهد کرد.

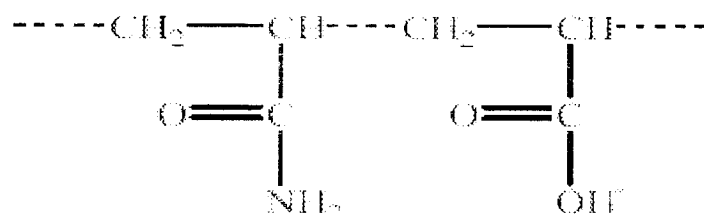
هنگامی که دفع الکترواستاتیک به وسیله افزایش پوشش کاتیونی کاهش یابد جذب پلیمر سریعاً افزایش می‌یابد. علاوه بر این کاهش دفع الکترواستاتیک بر واکنش‌های جذبی بین پلیمرهای جذب شده سطحی و جذب نشده موثر خواهد بود و اجازه بیشتری به مولکول‌ها برای نزدیکتر شدن به فضای بین لایه‌ای و جذب شدن می‌دهد [۹۵].

نتایج پژوهشی پیرامون خصوصیات آب و خاک در جذب سطحی یک پلیمر آنیونی نشان داد که دانستن رفتار جذبی پلیمر به وسیله خاک‌ها جهت پیشگویی میزان کاربرد، عمق تاثیر پلیمر و یویایی آن در خاک‌ها سودمند است. ایزوترم جذب این پلیمر به خوبی توسط معادله لانگمویر قابل توجیه بود. بافت خاک، میزان مواد آلی و نمک‌های محلول بر جذب پلیمر تاثیر دارند. خاک‌های با رس یا سیلت بالا و ماده آلی کم میل ترکیبی بالایی برای جذب این پلیمر آنیونی دارند. در نتیجه در اثر افزایش غلظت مجموع نمک‌های محلول<sup>۱</sup>، میزان پلیمر جذب شده افزایش می‌یابد.

اثر کاتیون‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم در افزایش میزان جذب پلیمر چندین برابر کاتیون‌های یک ظرفیتی سدیم و پتاسیم بود. در خاک‌های مختلف مواد آلی بر جذب پلیمر آنیونی تاثیر منفی دارند، این تاثیر منفی به علت کاهش مکان‌های قابل دستیابی و افزایش دفع الکترو استاتیکی بین پلیمر و خاک

سطحی به وسیله بارهای منفی گروه‌های عامل سطح مواد آلی است [۷۳].  
 اضافه کردن پلیمر به خاک بر پراکندگی و همآوری ذرات و خاکدانه‌سازی تاثیر خواهد داشت [۳۶]. بر خلاف مولکول‌های کوچک آلی و پلیمرهای غیر یونی، پلیمرهای آنیونی وارد فضای بین لایه‌های سیلیکات‌های قابل انبساط نمی‌شوند. پلیمرهای آنیونی با مولکول طویل قابل ارتجاعشان به خاطر دفع بار در زنجیره‌های طویل از چنین عملی ممانعت به عمل می‌آورند و بنابراین جذب آنها به سطوح خارجی ذرات محدود می‌شود [۱۴۱] در نتیجه فاکتورهایی مانند اندازه، ضخامت و شکل که بر دسترسی به سطوح خارجی اثر گذارند بر جذب پلیمر نیز موثر خواهند بود. در نتیجه جذب پلیمر توسط ذرات ریز بیش از ذرات درشت می‌باشد [۹۶].

در محلول‌های با غلظت یکسان پلیمر، جذب آنیونی پلیمر توسط مونت‌موریلونیت بیش از کائولینیت و کائولینیت بیش از شن ریز بود که این امر در ارتباط با سطح ویژه می‌باشد.  
 در غلظت ثابت نمک، رس‌ها چندین برابر بیش از خاک‌ها و خاک‌ها نیز چندین برابر شن نرم قادرند پلیمر جذب کنند. با افزایش غلظت نمک‌های محلول، جذب پلیمرهای آنیونی افزایش می‌یابد. شکل ۲-۲ ساختمان مولکولی پلی اکریل آمید آنیونی را نشان می‌دهد [۷۴].



شکل ۲-۲ - ساختمان مولکولی پلی اکریل آمید آنیونی

بیوپلیمرها نسبت به این پلیمرها از اثر کمتری برخوردارند. آنها شامل نشاسته، سوسپانسیون‌های میکروفیبری، کیتین، پلی ساکاریدها و مشتقات پروتئین می‌باشند. مصرف دوباره و یا غلظت‌های بالای بیوپلیمرها تا حدود ۶۰ درصد پلی اکریل آمید کارایی دارند [۱۳۶].

## ۲-۵- کاربرد پلیمرها در خاک

برای کنترل ساختمان سطحی و افزایش میزان نفوذ آب به خاک اضافه کردن پلیمر به صورت محلول در سطح خاک نسبت به اضافه کردن آن به صورت دانه‌های پودری خشک برتری دارد [۲۷]. سله سطحی در سطح خاک در اثر بارندگی شدید، سبب کاهش نفوذ آب باران در خاک و افزایش رواناب و فرسایش خاک می‌شود [۷۳]. مسدود شدن منافذ خاک نتیجه دو فرایند عمده است [۲۶]:

۱- از هم پاشیدگی خاکدانه‌های سطحی خاک

۲- پراکندگی فیزیکی و شیمیایی رس‌های خاک که با نفوذ آب در خاک جابجا شده و منافذ سطحی

را مسدود نموده و یک لایه با نفوذپذیری پایین تشکیل می‌دهد [۱۰۰].

اولین فرایند، پدیده مکانیکی بوده و به میزان رطوبت خاکدانه‌های سطحی [۹۰]، انرژی قطرات باران [۹۷] و پایداری خاکدانه‌ها [۹۲] بستگی دارد. فرایند دوم به غلظت محلول و میزان درصد سدیم قابل تبادل<sup>۱</sup> خاک‌ها وابسته است [۲۷].

سله سطحی ممکن است در خاک‌های بدون پوشش در اثر بارندگی طبیعی و یا آبیاری بارانی به وجود آید. روش کاربرد پلیمر ممکن است متفاوت باشد. پلیمر باید اغلب با اسپری کردن متمرکز محلول آن (در دامنه ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ گرم در متر مکعب) به سطح خاک پیش از فصل بارندگی، اضافه شود. در آبیاری بارانی می‌توان پلیمر را با توجه به شدت آبیاری به سطح خاک اضافه کرد و یا در آب آبیاری به صورت خیلی رقیق (۱۰ تا ۲۰ گرم در متر مکعب) حل کرده و هنگام نیاز مصرف کرد. پژوهش‌های انجام شده در مورد اثر غلظت‌های رقیق پلیمر در آب آبیاری بر سله سطحی و رواناب نشان داده است که تاثیر پلیمرها بیشتر به نوع پلیمر، تراکم بار آن و کیفیت آب بستگی دارد. از طرف دیگر تاثیر پلیمرها بر کنترل انسداد منافذ به انرژی جنبشی باران نیز وابسته است [۲۷].

## ۲-۵-۱- اصول و مفاهیم اولیه در بکار گیری پلیمرها در خاک

### - چسب خاک<sup>۱</sup>

چسب‌های خاک شامل کاربرد یک تثبیت‌کننده برای خاک بدون پوشش است. این مواد شامل ترکیبات به کار رفته در خاک سطحی جهت کاهش موقتی فرسایش آبی در اراضی فاقد پوشش است. از مزایای این مواد کم کردن موقتی گرد و خاک ناشی از باد و پایدارسازی خاک می باشد (کنترل فرسایش). این مواد عمدتاً برای نواحی نیازمند حفاظت کوتاه مدت و موقتی به کار می‌روند.

با این وجود این مواد دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشند. این محدودیت‌ها شامل ناپایداری این مواد در طبیعت و نیاز به مصرف مجدد آنها، نیازمند به یک دوره زمانی معین و قابل توصیه به وسیله کارخانه سازنده جهت تاثیر کامل در خاک و همچنین فقدان کارایی مناسب در بارندگی‌های شدید می‌باشد. در خاک‌های تیمار شده در بخش‌های فوقانی یک شیب نفوذ رواناب سبب حرکت هرزآب در لایه‌های زیرین تثبیت شده گشته و باعث تخلیه جریان از یک نقطه در پایین شیب می‌گردد. این مواد در خاک‌های سطحی تشکیل شده از سیلت و رس مخصوصاً زمانی که متراکم شده باشند امکان نفوذ نمی‌یابند. این ترکیبات در برخی شرایط مانند رطوبت پایین، شرایط بارندگی و حضور برخی مواد، فاقد کارایی مناسب بوده و در این شرایط ممکن است بی‌ثبات گردند.

جهت کاربرد این ترکیبات به یک سری ویژگی‌ها و استانداردها نیز لازم است توجه شود. مکان‌های مختلف با نوع خاک‌های متفاوت به نوع ترکیب کاربردی خاصی نیاز دارند. یک ترکیب تثبیت‌کننده خاک از نظر محیطی باید بی‌خطر (غیرسمی برای گیاهان و حیات حیوانات) و از نظر کاربرد ساده و اقتصادی باشد. این ترکیبات باید با پوشش گیاهی موجود سازگار باشند. عملکرد این مواد به درجه حرارت، رطوبت و میزان تردد از نواحی تیمار شده بستگی دارد. از اسپری کردن این مواد بر محل‌های عبور، استخرهای منتهی به کانال‌های زهکشی و سطح پوشش گیاهی باید احتراز شود.

پس از انتخاب یک ترکیب مناسب قبل از کاربرد، سطح خاک باید آماده شود. برای دستیابی به یک توزیع یکنواخت سطح خاک باید دارای رطوبت مناسب باشد.

قبل از کاربرد این مواد یک سری مراحل باید مرحله به مرحله اجرا شود. قبل از هر گونه اقدامی با استفاده از دستورالعمل کارخانه تولیدکننده باید از میزان مصرف، رطوبت اولیه سطح و شستشوی تجهیزات پس از مصرف آگاهی یافت. پیش از کاربرد باید دیواره محل زبر گردد. برای انتخاب نوع ماده باید به زمان‌های دوره‌ای خشک توجه شود. این مواد نباید در اراضی یخ زده، نواحی اشباع از آب یا زمانی که دمای هوا زیر ۴ درجه سانتیگراد است مصرف شوند. اغلب برای کارایی بهتر نیاز به بیش از یک تیمار بوده گرچه تیمار دوم ممکن است با غلظت کمتر مصرف شود [۷۹].

پایدارسازی خاک‌ها با به‌کارگیری پلیمرهای امولسیون فرایند ساده‌ای است که در آن محلول به مقدار حجم مناسب رقیق می‌شود. برای کاربردهای مزرعه‌ای پلیمرهای امولسیون بهتر است با اسپری کردن به وسیله ماشین‌آلات مخصوص مصرف گردد. شرایط کار باید در جهت اطمینان از قرارگرفتن مقدار مناسب پایدارکننده در خاک کنترل گردد [۱۰۹].

## ۲-۵-۲- چسب‌های پلیمری امولسیون

الف- کوپلیمرها و پلیمرهای اکریلیک: این مواد شامل پلیمر جامد یا مایع یا کوپولیمیر با یک اکریلیک پایه بوده که شامل حداقل ۵۵ درصد ماده جامد می‌باشند. این مواد در صورت مخلوط شدن با آب باید فاقد خاصیت کف‌کنندگی بوده و یا با یک ماده ضدکف مصرف شوند. ضمناً این مواد باید تازه بوده و تاریخ مصرفشان منقضی نشده باشد. پلیمرهای تثبیت‌کننده خاک باید به آسانی با آب مخلوط شده و فاقد اثر مضر برای بذر و یا حیات جانوران باشند، ضمناً غیر قابل اشتعال بوده و برای انواع مختلف خاک بدون آلوده کردن آب‌های زیرزمینی قابل استفاده باشند و مجدداً به حالت امولسیون درنیاید. این ترکیبات به کار رفته باید حداکثر در ۳۶ تا ۴۸ ساعت پس از مصرف عمل آوری شود.

ب- پلیمرهای محلول متا اکریلات و اکریلات:

این مواد شامل یک استر چسبناک از پلیمر محلول متا اکریلات و اکریلات‌اند. این ترکیب صددرصد مایع از نظر حجمی دارای ۴۰ درصد ماده جامد بوده و فاقد استیرن، استات، وینیل، اتوکسیلات یا سیلیکات می‌باشد. برای کاربردهای تثبیت خاک، این مواد مطابق دستورالعمل کارخانه سازنده با آب رقیق شده و



با یک آفشان به میزان ۹۰ لیتر در هکتار به کار می‌روند. زمان خشک شدن ۱۲ تا ۱۸ ساعت پس از کاربرد است.

ج- کوپلیمرهای سدیم اکریلات و اکریل آمید:

این مواد غیر سمی بوده و به صورت خشک و پودری می‌باشند. این مواد با آب مخلوط شده و در خاک سطحی برای کنترل فرسایش، به کار می‌روند. میزان کاربرد بستگی به شیب زمین دارد.

د- پلی‌اکریل‌آمید و کوپلیمر اکریل‌آمید:

کوپلیمر خطی پلی‌اکریل‌آمید به صورت جامد بسته‌بندی شده است و هنگام مصرف مانند یک پایدار کننده مستقل عمل می‌کند و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در ۱۰۰۰ لیتر آب رقیق شده و به میزان ۵/۶ کیلوگرم در هکتار مصرف می‌شود.

ه- پلیمرهای هیدروکلونید:

این مواد ترکیبات متفاوت پلی‌اکریل‌آمید و کوپلیمرها بوده که با آب مخلوط شده و در خاک سطحی به میزان ۶۰ تا ۷۰ کیلوگرم در هکتار مصرف می‌شوند. زمان خشک شدن آنها صفر تا ۴ ساعت است [۷۹].

## ۲-۶- تاثیر پلیمرها بر ویژگی‌های خاک‌ها

پلیمرها بر ویژگی‌های متعددی از خاک‌ها تاثیر گذارند. این تاثیرات ممکن است بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، رشد گیاهان و غیره باشد که در ادامه برخی از مهمترین این اثرات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۲-۶-۱- تاثیر پلیمرها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها

مواد آلی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها را بهبود می‌بخشند [۲۲]. تاثیر پلیمرها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک تابعی از جذب و دفع آنها در خاک است. تاثیر پلیمر بر ساختمان خاک به وزن مولکولی، تراکم بار سطحی و توزیع اندازه ذرات بستگی دارد [۱۲۶].

خاک از خاکدانه‌هایی تشکیل شده است که دارای منافذ بزرگی هستند. خاکدانه‌ها واحدهایی با جرم مخصوص ظاهری بالا می‌باشند که دارای منافذ کوچکی برای جذب آب و ذخیره عناصر غذایی می‌باشند.

منافذ نسبتاً بزرگ بین خاکدانه‌ها به نفوذ آب در خاک، خروج آب اضافی، تبادل هوا و رشد ریشه کمک می‌کنند. در نتیجه فشردگی خاک، خاکدانه‌ها به یکدیگر نزدیک شده و منافذ درشت از بین می‌روند [۲۰]. پلیمرهای آلی سبب بهبود ساختار خاک می‌گردند [۱۱۰] پس از تیمار کردن خاک با پلیمر آنیونی در ویژگی‌های فیزیکی خاک بهبود معنی‌داری مشاهده می‌شود [۴۲]. کاربرد پلیمر در خاک یک تکنیک برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و کاهش فرسایش‌پذیری آن است [۷۴ و ۱۱۶]. پژوهش‌ها نشان داده است که مخلوط بقایای آلی و پلی‌اکریل‌آمید، سخت شدن ذرات خاک را به حداقل رسانده و ویژگی‌های فیزیکی را اصلاح می‌نمایند [۱۱۱]. پلیمرها در بهبود بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند افزایش گنجایش نگهداری آب، افزایش راندمان آب آبیاری، بالابردن نفوذپذیری خاک، کاهش دفعات آبیاری، کاهش فشردگی خاک، کاهش فرسایش و روان آب سطحی و بهبود استقرار و رشد گیاهان (مخصوصاً در خاک‌های فاقد ساختمان در نواحی خشک) موثر هستند [۷۲].

#### ۲-۶-۱-۱- تاثیر پلیمرها بر افزایش اندازه خاکدانه‌ها

در خاک ابتدا خاکدانه‌های کوچک شکل گرفته و سپس تبدیل به خاکدانه‌های بزرگ می‌شوند. پلیمرها با پیوندهای یونی سبب افزایش اندازه خاکدانه‌ها می‌گردند [۸۰]. پلیمرها سبب ایجاد پل‌هایی بین ذرات خاک و چسبیدن ذرات به هم می‌شوند و در اثر چسبیدن چند خاکدانه کوچک خاکدانه‌های بزرگ حاصل گردیده و رژیم‌های رطوبتی، حرارتی و تهویه‌ای بهبود می‌یابد و در کل سبب تاثیرات مثبت بر میزان محصول می‌گردند [۱۶۰]. پلی‌اکریل‌آمید با واکنش شیمیایی که انجام می‌دهد خاک را در جای خود نگه داشته و با ایجاد پیوندهای یونی با ذرات خاک در جهت افزایش قطر خاکدانه‌ها عمل می‌کند [۸۰]. پلی‌کریلونیتریل هیدرولیز و نوع تغییر یافته وینیل استات نیز چنانچه به مقدار ۰/۰۵ درصد به خاک اضافه شود باعث افزایش اندازه خاکدانه‌ها می‌گردد [۹۸].

## ۲-۶-۱-۲- تاثیر پلیمرها بر پایداری خاکدانه‌ها

پایداری خاکدانه‌ها به معنی مقاومت آنها در برابر نیروهای تخریب‌کننده می‌باشد. آب چه به صورت آبیاری و یا بارندگی سبب شکستن خاکدانه‌هایی می‌شود که دارای پیوند ضعیف هستند و این امر موجب پراکنده شدن ذرات رس، کاهش تخلخل، افزایش مقاومت خاک به نفوذ ریشه‌ها، کاهش ضریب آبگذری اشباع و آب قابل استفاده خاک می‌شود [۱۰۴ و ۷۸]. درصد خاکدانه‌های پایدار معمولاً به کمک روش الک کردن مرطوب<sup>۱</sup> و خشک<sup>۲</sup> تعیین می‌شود.

از نقطه نظر پویایی خاک زراعی، پایداری خاک تحت تاثیر عملیات کشاورزی و خاکورزی قرار دارد. دوره‌های مرطوب و خشک شدن، انجماد و ذوب شدن منجر به تخریب خاکدانه‌های موجود و شکل‌گیری خاکدانه‌های جدید می‌شود. پایداری نسبی خاکدانه‌ها تحت تاثیر زمان و دوره‌های مذکور قرار دارد. خاکدانه‌های کوچکتر در مقایسه با خاکدانه‌های بزرگتر پایدارترند. این مفاهیم در فرسایش آبی مهم هستند زیرا خاکدانه‌های ناپایدار در مقایسه با خاکدانه‌های پایدار به وسیله قطرات باران پراثری آسان‌تر از هم می‌پاشند [۲۵].

کودهای حیوانی و سایر بقایای مواد آلی اثرات مثبتی بر حاصلخیزی دارند. با افزایش ماده آلی، پایداری خاکدانه‌ها و شرایط سطحی خاک بهبود می‌یابد [۱۴۸]. اثر پلیمرها بر پایداری سازی خاک سطحی در حین بارندگی به صورت گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. با افزایش پلیمرهای آنیونی، ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها مانند پایداری خاکدانه‌ها، ضریب آبگذری و نفوذپذیری بهبود می‌یابند.

افزایش مواد هومیکی پلی آنیونی به خاک باعث بهبود پایداری خاکدانه‌ها می‌شود. فرایند اثر پلیمرهای آنیونی بر پایداری خاکدانه‌ها، هنوز به خوبی شناخته نشده است. حضور مواد آلی مانند پلیمرهای مصنوعی به دلیل واکنش‌های پلیمر-رس ممکن است واکنش بین ذرات رس در خاک را تغییر دهد [۶۳].

1-Wet sieving

2-Dry sieving

تاثیر پلیمر بر ساختمان خاک بستگی به وزن مولکولی و تراکم بار و توزیع اندازه منافذ خاک دارد. ماده بهبود دهنده بسته به تراکم بار تاثیر متفاوتی بر خاکدانه‌ها دارد. مواد با تراکم بار کم خیلی بیشتر به درون خاکدانه‌ها نفوذ می‌کنند. در حالی که اگر تراکم بار پلیمر زیاد باشد، این مواد در سطح خاکدانه‌ها باقی می‌مانند. پلیمرها با توجه به وزن مولکولی زیاد، قادر به نفوذ به درون خاکدانه‌ها نبوده، در نتیجه ایجاد یک شبکه در اطراف خاکدانه‌ها نموده و پایداری خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهند [۷ و ۱۲۶]. پژوهشی نشان داد که پلی اوره ۵/۰ درصد در سه سانتیمتری لایه سطحی یک خاک لوم سیلتی با ماده آلی کم پایداری خاکدانه‌ها را افزایش داده و سرعت نفوذ را فزونی بخشیده است [۶۷].

### ۲-۶-۱-۳- تاثیر پلیمرها بر نفوذپذیری خاک‌ها

در یک نظام کشاورزی پایدار، برای اینکه مقدار رواناب به حداقل برسد نفوذ سریع آب به خاک مهم است. نفوذ آب به خاک عمدتاً تحت تاثیر شیب و ویژگی‌های سطح خاک است. البته، ویژگی‌های خاک زیر سطحی که مانع نفوذ آب به لایه‌های عمیق‌تر خاک می‌گردد نیز می‌تواند نهایتاً بر نفوذ موثر باشد [۲۵]. افزایش مواد آلی از راه‌های مختلف ممکن است بر نفوذپذیری موثر باشد. به طور مثال، مواد آلی می‌توانند گنجایش نگهداری آب خاک، پایداری خاکدانه‌ها و گنجایش تبادل کاتیونی را افزایش داده و جرم مخصوص ظاهری خاک را کاهش دهند [۲۵]. نفوذ آب به خاک به جای روان شدن سطحی به وسیله ساختمان پایدار کنترل می‌شود. خاکی که دارای ساختمان ضعیف است به سمت تشکیل سله سطحی پیش می‌رود در حالی که مواد آلی با کاهش فشرده شدن ذرات خاک، سبب بهبود نفوذ آب به خاک می‌شوند [۵۶].

اسمیت و همکاران<sup>۱</sup> با استفاده از باران‌ساز، اثر مفید پلیمر پلی‌اکریل‌آمید بر سرعت نفوذ آب به یک خاک ورتی‌سول را مطالعه کردند [۱۳۷]. کاربرد پلیمر در خاک قلیایی ورتی‌سول ضمن افزایش پایداری خاکدانه‌ها نفوذپذیری و ضریب انگذری خاک را افزایش داد [۴۸].

غلظت کم پلیمرهای مصنوعی یا پلیمرهای طبیعی در آب آبیاری بر ساختمان خاک سطحی و ویژگی‌های نفوذپذیری خاک تاثیر می‌گذارد [۱۳۶]. پلیمرها با پیوندهای شیمیایی با ذرات خاک قطر خاکدانه‌ها را افزایش داده و نفوذ آب از بین ذرات خاک را افزایش می‌دهند [۸۰].

در پژوهش‌های جداگانه، کاربرد مشتقات گوار پلی ساکارید کاتیونی به همراه پلیمر آنیونی هنگامی که به آب آبیاری افزوده شد سرعت نفوذ را در یک خاک لوم شنی در حد مطلوب نگه داشت [۳۷]. همچنین، کاربرد پلی‌اکریل‌آمید به مقدار ۳۴ کیلوگرم در هکتار در آب آبیاری سرعت نفوذ را در طول مدت چهار ساعت اول آبیاری‌های بعدی به اندازه ۵۷ درصد بهبود بخشید اما سرعت نفوذ پایانی یا کل آب نفوذ کرده را افزایش نداد [۱۰۲]. پس از آن که شیارهای یک خاک لوم شنی تا عمق ۱۸ سانتیمتر به هم زده شد، کاربرد یک بار ماده پلی‌اکریل‌آمید در آب آبیاری نیز کاهش سرعت نفوذ را به عقب انداخت و در طول مدت آبیاری‌های بعدی عمق نفوذ آب را افزایش داد [۴۱].

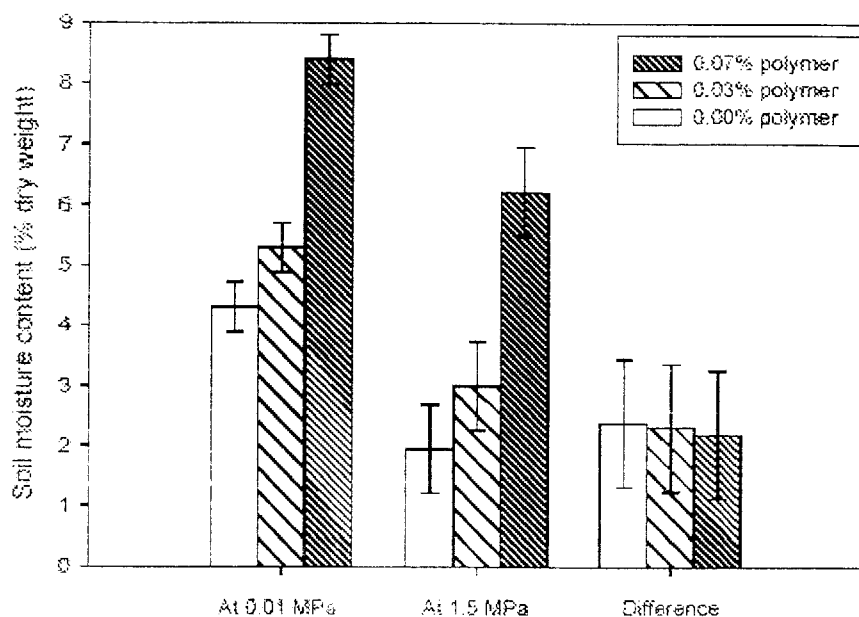
## ۲-۶-۱-۴- تاثیر پلیمرها بر گنجایش نگهداری آب در خاک‌ها

اعمال مدیریت صحیح و به کارگیری تکنیک‌های پیشرفته به منظور حفظ ذخیره رطوبتی خاک از جمله اقدامات موثر برای افزایش راندمان آب آبیاری و در نتیجه بهره‌برداری از منابع محدود آب می‌باشد [۱۶].

روش رایجی که برای افزایش ظرفیت آب در خاک وجود دارد، افزایش حجمی از خاک است که برای ریشه‌دهی مناسب است. روش دومی که برای افزایش ذخیره‌سازی آب در خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد، حجم خاک را افزایش نداده بلکه ظرفیت ذخیره‌سازی آب در واحد حجم خاک را بهبود می‌بخشد. اضافه کردن مواد آلی یا دیگر مواد بهبود دهنده خاک می‌تواند گنجایش نگهداری آب قابل دسترس را افزایش دهد [۲۵]. استفاده از مواد جاذب رطوبت در دیگر کشورهای جهان از جمله آلمان، آمریکا و استرالیا دارای پیشینه زیادی است و سابقه پژوهش آن به سال‌های ۱۹۶۰ باز می‌گردد [۱۶].

حاصلخیزی خاک‌های درشت‌بافت بیشتر به وسیله کاهش گنجایش نگهداری آب محدود می‌گردد. گنجایش نگهداری پایین آب و افزایش عمق نفوذ آب هدررفته، مقدار آب کافی مصرفی به وسیله گیاهان را در این خاک‌ها کاهش می‌دهد. مصرف پلیمرهای آب‌دوست ژله‌ای شکل گنجایش نگهداری آب در

خاک‌های شنی را افزایش می‌دهد [۱۳۱، ۱۳۲ و ۱۴۰]. با افزایش غلظت پلیمرهای ژله‌ای آب‌دوست به خاک گنجایش نگهداری آب خاک افزایش پیدا می‌کند [۲۸]. پلیمرهای فراجاذب می‌توانند مقادیر زیادی آب یا محلول آبی را جذب نموده و متورم شوند. این مخازن ذخیره‌ای کوچک وقتی در داخل خاک قرار می‌گیرند، آب حاصل از آبیاری و بارندگی را به خود جذب نموده و از فرونشست آن جلوگیری نمایند. 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 [۱۶]. آب جذب‌شده توسط پلیمر می‌تواند به وسیله تبخیر



شکل ۲-۳- گنجایش رطوبت خاک در فشار ۰/۰۱ و ۱/۵ مگاپاسکال در خاکهای تیمار شده

هدر رفته و یا توسط ریشه‌های گیاه جذب شود. ذرات پلیمر در هنگام آبدهی به حالت اول خود (قبل از جذب آب) بر می‌گردند و فرایندهای آبدهی و آب‌گیری می‌توانند مرتباً تکرار شوند [۲۴]. پلیمر فراجاذب می‌تواند میزان نگهداری رطوبت در خاک‌های سبک‌بافت را افزایش داده و همچنین مشکل نفوذپذیری خاک‌های سنگین‌بافت را مرتفع نماید و به طور کلی با بهبود شرایط فیزیکی خاک، مانع از تنش‌های رطوبتی شده و نهایتاً باعث موفقیت برنامه‌های آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک گردد [۱۶]. در خاک‌های ریزبافت در دو تیمار پلی‌اکریل‌آمید میزان تبخیر به میزان معنی‌داری کاهش پیدا

کرد و گنجایش نگهداری آب خاک نیز در بافت‌های متفاوت با محدوده‌های مکش‌های ماتریک  $0.05$ ،  $0.1$  و  $1/5$  مگاپاسکال افزایش یافت [۱۲۲].

## ۲-۶-۱-۵- تاثیر پلیمر به عنوان یک اصلاح‌کننده

پلیمرهای محلول در آب می‌توانند به عنوان یک ماده اصلاح‌کننده به کار برده شوند [۳۴]. در خاک‌های کشاورزی کاهش ماده آلی باعث کاهش پایداری خاکدانه‌ها شده و تخریب ویژگی‌های فیزیکی خاک را به دنبال خواهد داشت. سله‌بندی، سفت‌شدن خاک و کاهش نفوذپذیری زمانی اتفاق می‌افتد که خاکدانه‌ها به اندازه کافی پایدار نبوده و نتوانند فشار ناشی از خیس‌شدن سریع را تحمل کنند. وارفتن خاکدانه‌ها در اثر تر و خشک‌شدن خاک، باعث به وجود آمدن بستری می‌شود که فشرده و متراکم بوده و مشکلات زیادی برای جوانه‌زدن، نفوذ ریشه و تهویه ایجاد می‌نماید [۱۸].

در مناطق دارای فاضلاب‌های با سدیم بالا که جهت آبیاری به کار برده می‌شوند، این مسئله سبب کاهش نفوذپذیری و ایجاد سله سطحی می‌گردد. سله خاک ممکن است به علت از هم پاشیدگی خاکدانه‌ها و یا به علت پراکندگی ذرات رس باشد که با حرکت به سوی منافذ خاک و در اثر دوره‌های تر و خشک شدن، سله را تشکیل می‌دهد [۲۶ و ۴۹]. جهت اصلاح این مسئله پلیمر (پلی اکریل آمید) یک جایگزین مناسب به جای گچ می‌باشد [۵۰].

کاربرد این ماده در خاک سدیمی ورتی‌سول<sup>۱</sup> درصد پایداری خاکدانه‌ها در آب، نفوذپذیری و ضریب آبگذری خاک را افزایش داده و این نشان‌دهنده این است که افزودن پلیمر به خاک‌های سدیمی ممکن است یک روش مناسب برای غلبه بر فشردگی ناشی از سدیمی بودن خاک در آزمایشات گلدانی باشد [۴۸].

## ۲-۶-۱-۶- تاثیر پلیمر بر جلوگیری از پراکنده شدن ذرات رس

مواد آلی مانند پلیمرهای مصنوعی واکنش بین ذرات رس را به علت واکنش پلیمر- رس بهبود می‌بخشند. پلیمرهای آنیونی می‌توانند سوسپانسیون‌های رس را به وسیله شکل‌گیری پیوندهای بین ذرات هم‌آوری کنند. هم‌آوری شدن به ویژگی‌های پلیمر مانند تراکم بار بستگی دارد. پلیمرهای با تراکم بار بیشتر احتمال شکل‌گیری پیوندهای بین ذرات را افزایش می‌دهند [۶۳].

اضافه کردن پلیمر در خاک بر پراکندگی ذرات خاک، هم‌آوری ذرات و خاکدانه‌سازی اثر خواهد داشت [۳۶]. نیروهای کولمب و واندروالس سبب جذب پلیمر بر سطح ذرات خاک شده [۱۱۴]، با افزایش چسبندگی ذرات، سبب پایداری ساختمان خاک می‌گردند. مقداری یون کلسیم در لایه دوگانه اطراف ذرات خاک سبب ایجاد پلی بین پلیمر و سطح ذرات شده، نهایتاً باعث هم‌آوری ذرات خاک می‌شود [۱۱۵ و ۱۵۳].

حضور مقادیر کافی کلسیم بین کلوئیدهای آلی و رس‌های دارای بار منفی پیوند ایجاد کرده که این پیوند برای جلوگیری از پراکنش رس‌ها ضروری است [۱۵۷]. مقدار زیاد سدیم هیدراته از تشکیل پل جلوگیری کرده پراکنش ذرات خاک را سبب می‌گردد. میزان کارایی پلیمر هنگامی که نسبت جذب سدیمی<sup>۱</sup> آب آبیاری از ۷ به ۹ افزایش می‌یابد، کاهش می‌یابد [۸۷].

پلیمرها به وسیله شکل‌گیری پیوندهای بین ذرات باعث هم‌آوری سوسپانسیون رس می‌شوند. افزایش پلیمرهای آنیونی مانند پلی ساکاریدها و اسید هومیک به سوسپانسیون مونتموریلونیت سبب افزایش قابلیت پراکندگی رس می‌شود. واضح است که در شرایط معین پلی‌آنیون‌ها سبب هم‌آوری سوسپانسیون رقیق رس می‌شوند. درجه هم‌آوری سوسپانسیون رس، تحت تاثیر عامل پراکنده کننده سطح رس قرار می‌گیرد که تحت تاثیر واکنش‌های بین صفحات رس است. بنابراین فرایند نفوذ پلیمرهای با بار منفی در کلوئیدی رس‌ها بسیار ناشناخته است [۶۳].



## ۲-۶-۱-۷- تاثیر پلیمرها بر جلوگیری از تشکیل سله سطحی

خاکی که دائماً با عملیات خاک‌ورزی به هم می‌خورد، اغلب دارای ساختمان ضعیفی است و به سمت تشکیل سله سطحی پیش می‌رود [۵۶]. پلیمرها به عنوان مواد اصلاح‌کننده باعث کاهش فرسایش و رواناب، جلوگیری از سله‌بندی خاک سطحی، پایدارسازی ساختمان خاک و بالابردن نفوذپذیری می‌شوند [۳۴]. در خاک‌های سله‌دار جوانه‌زنی و رشد گیاهان به تاخیر می‌افتد [۶۹]. در خاک‌های مستعد سله‌بندی برخی نتایج مؤید اثر مفید پلیمرها بر جوانه‌زنی و رشد گیاه است ولی برای گیاهان مرتعی مانند انواع علفی اطلاعات اندکی در این زمینه وجود دارد [۱۲۴].

## ۲-۶-۲- تاثیر پلیمرها بر کاهش فرسایش و رسوب

فرسایش یکی از فرایندهایی است که معمولاً به طور طبیعی روی می‌دهد. پراکنده‌شدن و انتقال ذرات خاک به شکل‌گیری زمین‌ها و تکوین پروفیل‌های خاک کمک کرده است. این گونه فعالیت‌ها، اغلب باعث تشدید فرسایش خاک می‌شوند که نتیجه آن از بین رفتن بخش عمده‌ای از توان تولید خاک است [۲۰]. پلیمرها با ایجاد پل‌هایی بین ذرات خاک سبب چسبیدن آنها به هم می‌شوند [۱۶۰]. از سویی دیگر با ایجاد پیوندها و تقویت و استحکام ذرات خاک از تبدیل خاک به صورت سوسپانسیون و حمل به پایین دست جلوگیری به عمل می‌آورند [۴۷].

برخی پلیمرها مانند پلی‌اکریل‌امید با غلظت بسیار پایین سبب کاهش فرسایش شیاری گردیده و با افزایش نفوذپذیری، کاهش روان آب و حمل رسوب را به دنبال دارد [۱۴۷]. کاربرد پلیمر در خاک یک روش برای اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و کاهش فرسایش پذیری خاک است [۷۴]. کشاورزانی که پلی‌اکریل‌امید را برای مهار فرسایش شیاری استفاده می‌کنند، باید مدیریت آبیاری خود را با نفوذپذیری بالا وفق دهند تا آب کافی و مطلوب را در خاک سطحی نگهداری کنند [۱۴۷].

پلی‌اکریل‌امید و پلی‌اکریل‌امید توام با گچ می‌تواند رواناب را تا ۹۰ درصد و تلفات خاک را ۱۰۰ درصد کاهش دهد. این دو تیمار همچنین می‌توانند به سطح خاک در جهت تقویت پوشش گیاهی کمک کنند [۵۴].

## ۲-۶-۳- تاثیر پلیمرها بر رشد و نمو گیاهان

ساختمان خاک در حاصلخیزی آن نقش به سزایی دارد [۱۱]. ساختمان خاک ویژگی مهمی است زیرا نه تنها شرایط فیزیکی (تهویه، وضعیت آب و دما و مقاومت مکانیکی خاک) را تحت تاثیر قرار می‌دهد بلکه بر فعالیت‌های میکروبی، در دسترس بودن عناصر غذایی گیاه و تجزیه مواد آلی خاکی نیز اثر می‌گذارد [۱۹ و ۱۱].

کاربرد پلیمرهای محلول در سیستم آبیاری قطره‌ای علاوه بر تاثیر بر پایداری خاکدانه‌ها، سبز شدن گیاه را افزایش داد [۱۲۸]. به کاربردن پلیمر ضمن افزایش بذور سبز شده، نیاز به آبیاری برای مدت طولانی را از بین می‌برد که این به دلیل زیاد شدن نفوذپذیری و افزایش آب ذخیره شده در خاک است [۳۸]. برخی پلیمرها با افزایش نفوذ آب و اکسیژن سبب رشد بیشتر گیاه می‌شوند [۱۳۶]. کاربرد پلیمرهای معلق در آب که مواد مصنوعی هستند به خاک این امکان را می‌دهد که کیفیت محصولات کشاورزی را بهبود بخشد [۱۶۰]. درصد جوانه‌زنی و سبز شدن تعدادی از گیاهان مانند گوجه فرنگی، کاهو و ذرت در حضور یک ماده پلیمری به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت [۱۵۱].

در مطالعه دیگر با کاربردن پلیمر، آب مورد نیاز آبیاری کاهش و میزان محصول چغندر قند افزایش یافت. دلیل این مسئله (بهبود رشد گیاهان در اثر اضافه کردن پلیمر) را می‌توان به عواملی مانند تهویه بهتر خاک و در نتیجه بالا بردن فعالیت‌های میکروبی، تاخیر در تجزیه کودها، افزایش جذب سطحی و فراهم آوردن شرایط مناسب برای جذب برخی عناصر توسط گیاهان نسبت داد [۷۲ و ۳۵].

کوک و نلسون<sup>۱</sup> گزارش کردند که ترکیبات پلیمری در بهبود سبز شدن یونجه و ذرت اثر سودمندی دارند [۴۴]. بهبود دهنده‌های مصنوعی در خاک، سبز شدن جوانه‌های گوجه فرنگی، پنبه و کاهو را افزایش داده، سبز شدن گیاهان خانواده گراسها را بهبود می‌بخشند. این ترکیبات با توجه به ترکیب شیمیایی خاک ممکن است سبب افزایش نفوذپذیری [۱۳۰، ۸۲ و ۱۵۱]، کاهش تبخیر [۴۵، ۹۱ و ۱۲۳]، کنترل فرسایش [۱۵۶]، بهبود ذخیره کربن [۴۶] و افزایش تولید برخی محصولات شوند [۱۲۰].

کاربرد لیگنوسولفونات که با متیل اکریلات واکنش داده به مقدار ۱۱۲ کیلوگرم در هکتار به آب در سیستم آبیاری قطره‌ای سبز شدن گیاه و پایداری خاکدانه‌ها را بهبود بخشید [۱۲۸].

## ۲-۷- اثرات منفی برخی پلیمرها در خاک

پلیمرها علاوه بر اثرات مثبت در برخی موارد دارای تاثیرات منفی نیز می‌باشند. در یک پژوهش انجام شده، آمونیوم لارت سولفات که در ایالت آیوا مورد آزمایش قرار گرفت نه تنها عملکرد را افزایش نداد بلکه باعث کاهش سرعت نفوذ به دلیل فشردگی بیشتر بر اثر رفت و آمد زیادتر نیز شد [۶۶]. همچنین ماده‌ای که به نام مایع آلی بهبوددهنده خاک<sup>۱</sup> معروف است، تاثیر کلی بر فعالیت‌های زیستی یا ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های زلاندنو نداشته است [۱۱۳]. ماده دیگری با نام تجارتي سوپر اسلورپر<sup>۲</sup> که در واقع پلی‌ساکاریدی است که زیاد پلیمریزه شده است پایداری سله‌ای را در خاک‌های لوم شنی، شن لومی و لوم رسی کاهش داد و سرعت نفوذ را نیز کمتر نمود [۱۰۱].

---

1- Organic liquid soil conditioner

2- super slurper

## فصل سوم

### مواد و روشها

هدف از انجام این پژوهش بررسی تاثیر پلیمرها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و رشد گیاه است. برای این منظور از سه نوع پلیمر با چهار غلظت متفاوت استفاده شد و این مواد به پنج خاک مختلف برداشت شده از نقاط مختلف استان همدان اضافه گردید.

#### ۳-۱- خاک‌ها

در این پژوهش جهت انتخاب نمونه‌ها از سه نمونه خاک با بافت‌های متفاوت شامل بافت سبک، متوسط و نسبتاً سنگین استفاده شد. همچنین دو نمونه خاک با ویژگی‌های شیمیایی متفاوت شامل خاک مارنی و سدیمی که از نظر ویژگی‌های فیزیکی و همچنین رشد گیاه دارای مشکلاتی بودند در کنار سه نمونه قبلی انتخاب شد. هر پنج نمونه خاک از نقاط مختلف استان همدان در مرداد ماه ۸۴ از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری و به صورت نمونه مرکب دست‌خورده برداشت شد. جدول ۱-۳ موقعیت جغرافیایی محل‌های نمونه برداری خاک‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱- موقعیت جغرافیایی محل های نمونه برداری خاکها

ارتفاع (متر)	موقعیت جغرافیایی		محل نمونه برداری	نوع خاک
	عرض جغرافیایی (شمالی)	طول جغرافیایی (شرقی)		
۲۵۴۰	۳۴ و ۴۳ و ۲۲	۴۸ و ۲۶ و ۲۰	ارتفاعات الوند	سیک بافت
۱۹۰۰	۳۴ و ۴۷ و ۱۵	۴۸ و ۲۸ و ۲۹	عباس آباد	متوسط بافت
۱۷۵۹	۳۴ و ۵۴ و ۰۴	۴۸ و ۳۳ و ۰۷	جورقان	سنگین بافت
۱۸۲۱	۳۵ و ۰۸ و ۱۴	۴۹ و ۲۸، ۲۹	چپقلو	مارن
۱۶۵۰	۳۵ و ۰۵ و ۳۰	۴۸ و ۵۰ و ۳۰	اطراف نیروگاه شهید مفتاح	سدیمی

نمونه های مذکور پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلیمتری عبور داده شد و با استفاده از روش های استاندارد مورد تجزیه آزمایشگاهی قرار گرفت. جدول ۳-۲ نتایج تجزیه آزمایشگاهی نمونه های خاک را نشان می دهد.

جدول ۳-۲- نتایج آزمایشگاهی نمونه های خاک

نوع خاک	اسیدیته	قابلیت هدایت الکتریکی	آهک	کربن آلی	نسبت جذب سدیم	بافت
سیک بافت	۷/۱	۰/۱۹	۲/۳	۰/۱۵	۰/۴۱	شن لومی
متوسط بافت	۷/۱	۰/۳۹	۲/۱	۱/۴۲	۰/۴۹	لوم
سنگین بافت	۷/۹	۰/۳۸	۱۰/۶	۰/۵۱	۰/۶۳	لومرسی سیلتی
مارن	۷/۳	۱/۹۰	۲۴/۶	۰/۳۸	۱/۹	لومرسی سیلتی
سدیمی	۸/۹	۰/۲۷	۱۵/۵	۰/۷۲	۳۱	رس

جهت تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌ها، اسیدیته<sup>۱</sup> در گل اشباع با استفاده از دستگاه pH متر و قابلیت هدایت الکتریکی<sup>۲</sup> در عصاره اشباع با دستگاه EC سنج مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. بافت با استفاده از روش پیپت مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

کربنات کلسیم معادل با استفاده از خنثی کردن به وسیله اسید کلریدریک و تیتراژ عصاره باقی مانده با هیدروکسید سدیم اندازه‌گیری شد [۲۱]. کربن آلی با استفاده از روش والکلی و بلک<sup>۳</sup> تعیین شد که در این روش بیکرومات پتاسیم، کربن آلی را در مجاورت اسید سولفوریک احیا کرده سپس بیکرومات باقی مانده با کمک معرف فنانترولین با سولفات آهن تیتراژ شد [۲۱]. نسبت جذب سدیم<sup>۴</sup> با استفاده از اندازه‌گیری سدیم، کلسیم و منیزیم در عصاره اشباع، بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر و با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

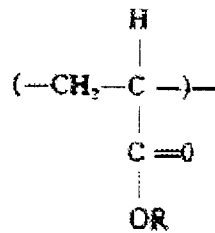
$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2}}$$

در این پایان نامه خاک‌های مورد استفاده جهت سادگی کار به ترتیب شن لومی، لومی، لوم رسی سیلتی، مارنی و سدیمی نامیده شده‌اند.

### ۳-۲- پلیمرها<sup>۵</sup>

پلیمرهای مورد استفاده از گروه پلیمرهای محلول در آب بوده که از پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران تهیه شد. این پلیمرها از نوع پلیمرهای اکریلیک بودند. این ترکیبات به شکل مایع دارای رنگ شیری بوده و به راحتی قابلیت رقیق شدن با آب مقطر را دارند. شکل ۱-۳ فرمول ساختمانی مولکول اکریلات را که پایه پلیمرهای اکریلیک می‌باشد، نشان می‌دهد.

1- pH	4- SAR
2- EC	5- Polymer
3- Walkly and Black	



شکل ۳-۱- فرمول ساختمانی اکریلات

مشخصات پلیمرهای مورد استفاده در جدول ۳-۳ نشان داده شده است.

جدول ۳-۳- مشخصات پلیمرهای مورد استفاده

نام پلیمر	ترکیب شیمیایی	درصد مواد جامد پلیمر	اسیدیته	شکل پلیمر	نوع پلیمر	ویژگی‌های پلیمر	دانسیته
TC 108	وینیل اکریلیک	۵۰	۸-۱۰	غیر شبکه‌ای	آنیونی	بسیار نرم	۱/۰۲۵
R 790	فول اکریلیک	۵۰	۸-۹	غیر شبکه‌ای	آنیونی	سخت	نامشخص
NC 218	استیرن اکریلیک	۵۵	۲-۳	شکله‌ای	عیر یونی	سخت	۱/۰۷۵

واحد دانسیته بر حسب (gr/cm<sup>3</sup>) می‌باشد.

برای سادگی کار در ادامه پلیمرهای وینیل اکریلیک، فول اکریلیک و استیرن اکریلیک به ترتیب با علامت‌های اختصاری T، R و N نشان داده شده‌اند.

برای تیمار کردن خاک‌ها با پلیمر، هر یک از پلیمرهای مذکور با نسبت‌های ۱:۱۰ (یک قسمت پلیمر و ده قسمت آب) با نام غلظت C<sub>۱</sub>، ۱:۲ با نام غلظت C<sub>۲</sub> و ۱:۱ با نام غلظت C<sub>۳</sub>، توسط آب مقطر رقیق و غلظت‌های لازم ساخته شد. به عنوان شاهد نیز از آب مقطر خالص بدون پلیمر استفاده گردید. هر یک از غلظت‌های فوق با حجم ثابت توسط افسانه‌های دستی بر سطح وزن ثابتی از خاک‌های نمونه برداری شده که از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده بود، پاشیده شد.

### ۳-۳- روش تحقیق

جهت تیمار کردن خاک‌ها با پلیمر از طرح آزمایشی فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی و به طور جداگانه برای هر خاک استفاده شد و نقشه طرح بر اساس آن تعیین و سپس پلیمرهای رقیق شده با توجه به آن بر نمونه‌های خاک اضافه شد. جامعه آماری برای هر خاک شامل ۱۲ تیمار بود که در سه تکرار اجرا شد.

$$\text{(تعداد کل نمونه ها برای هر خاک)} = ۳۶ = (\text{تکرار}) \times ۳ \times (\text{غلظت}) \times ۴ \times (\text{نوع پلیمر}) \times ۳$$

۱۲ تیمار

هریک از آزمایش‌ها به طور جداگانه روی خاک‌ها انجام شده است.

### ۳-۴- روش‌های آزمایشگاهی

#### ۳-۴-۱- ضریب آبگذری اشباع ( $K_s$ )

ضریب آبگذری اشباع نمونه‌ها به روش بار ثابت<sup>۱</sup> تعیین شد. در این روش با ایجاد بار ثابت بر روی نمونه‌های خاک پس از پایدار شدن جریان، حجم آب خروجی در زمان معین اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده از قانون داریسی ضریب آبگذری اشباع محاسبه شد [۱۹].

با توجه به اینکه نمونه‌های مورد آزمایش دست خورده بودند، برای اندازه‌گیری ضریب آبگذری اشباع از هر نمونه جداگانه مقدار معینی در استوانه فلزی به قطر ۵/۱ سانتیمتر و ارتفاع ۷/۶ سانتیمتر ریخته شد و جهت تراکم نسبتاً یکسان به انتهای استوانه‌ها به طور ثابت ده ضربه زده شد. سپس بار

ثابت بر آنها ایجاد گردید و  $K_s$  با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$Q/At = -K_s (\psi_2 - \psi_1)/L$$

که در آن:

$Q$  = حجم آب جمع‌آوری شده در زمان  $t$  بر حسب سانتی‌متر مکعب

$A$  = سطح مقطع استوانه بر حسب سانتی‌متر مربع



$\psi_2 - \psi_1 =$  اختلاف پتانسیل هیدرولیکی بر حسب سانتی‌متر بار آبی

$K_s =$  ضریب آبدگزی اشباع بر حسب سانتی‌متر در واحد زمان

$L =$  طول نمونه خاک درون استوانه بر حسب سانتی‌متر

$t =$  زمان

### ۳-۴-۲- میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)

#### ۳-۴-۲-۱- میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت مرطوب

برای تعیین یابداری خاکدانه‌ها، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به روش الک تر اندازه‌گیری شد [۵۳]. برای این منظور ابتدا نمونه‌های خاک از الک‌های ۶ و ۸ میلی‌متری عبور داده شده تا خاکدانه‌هایی با قطر بین ۶ تا ۸ میلی‌متر جدا شود. در خاک شن لومی به دلیل سستی ساختمان خاک امکان جداسازی خاکدانه‌های مذکور میسر نشد. با توجه به نقشه طرح از پلیمرهای رقیق شده بر روی این نمونه‌های جدا شده پاشیده شد.

پس از خشک شدن نمونه‌های تیمار شده میانگین وزنی قطر اندازه‌گیری شد. برای این کار هر نمونه تیمار شده به وزن ۵۰ گرم بر روی یک ردیف الک که اندازه سوراخ‌های آنها به ترتیب از بالا به پایین ۶، ۴، ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۰۵ میلی‌متر بود، قرار گرفت. الک‌ها با توجه به آزمایش اولیه جهت تعیین مدت زمان لازم به مدت ۱۵ دقیقه توسط یک موتور با شدت ۳۰ دور در دقیقه در آب بالا و پایین برده و خاکدانه‌های باقی مانده هر الک پس از خشک شدن وزن شد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با فرمول زیر محاسبه شد:

$$MWD = \sum X_i W_i$$

که در آن

MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها بر حسب میلی‌متر

$X_i$ : میانگین قطر خاکدانه‌های روی هر الک بر حسب میلی‌متر

$W_i$ : نسبت وزنی خاکدانه‌های روی هر الک

### ۳-۴-۲- میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک

روش آزمایش کاملاً شبیه تعیین MWD مرطوب بوده با این تفاوت که به جای الک کردن در آب ستون الک‌ها بر روی دستگاه لرزاننده قرار گرفت و با استفاده از روش الک خشک<sup>۱</sup> پس از زمان معین وزن نمونه‌ها تعیین و با استفاده از فرمول قبلی MWD تعیین شد.

در اینجا به جای خاکدانه‌های ۷ میلی‌متر از خاکدانه‌های ایجاد شده توسط پلیمر استفاده گردید. قطر سوراخ‌های ردیف الک‌های قرار گرفته به ترتیب از بالا به پایین ۳/۳۶، ۲/۳۶، ۲، ۱/۷، ۱ و ۰/۵ میلی‌متر بود.

### ۳-۴-۳- میزان رس قابل انتشار

برای تعیین میزان رس قابل انتشار ابتدا سوسپانسیون ۱:۱۰ خاک به آب تهیه شد و سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت توسط دستگاه شیکر به هم زده شد. آنگاه پس از ۶/۵ ساعت مقدار رس توسط هیدرومتر تعیین و جهت اندازه‌گیری رس قابل انتشار از فرمول زیر استفاده شد [۱۳].

$$100 \times (\text{رس کل} / \text{رس تعیین شده در آزمایش}) = \text{درصد رس قابل انتشار}$$

۳-۴-۴- دانسیته<sup>۱</sup>

برای تعیین دانسیته، نمونه‌های تیمار شده دست‌خورده، در استوانه‌ای به قطر ۵/۱ و ارتفاع ۷/۶ سانتیمتر ریخته شد و جهت ایجاد تراکم نسبتاً یکسان به انتهای استوانه‌ها ده ضربه زده شد. سپس با توجه به حجم ثابت استوانه، هر یک از نمونه‌ها وزن و بر حجم استوانه تقسیم و دانسیته به دست آمد.

۳-۴-۵- اسیدیته<sup>۲</sup> و قابلیت هدایت الکتریکی<sup>۳</sup>

به وسیله دستگاه pH متر و EC سنج تعیین شد.

۳-۴-۶- درصد جوانه‌زنی<sup>۴</sup>

جهت تعیین درصد جوانه‌زنی بذرها در هر نمونه از گیاه جو استفاده شد. برای این منظور در گلدان‌های جداگانه‌ای که از خاک‌های تیمار شده با پلیمرها پر شده بود، تعداد ۲۰ عدد بذر جو کشت شد. رطوبت خاک نمونه‌ها به رطوبت ظرفیت زراعی رسانده شد و در طول زمان رشد، این رطوبت ثابت نگهداشته شد. پس از رشد گیاه تعداد بذرهای سبز شده مورد شمارش قرار گرفت و با توجه به تعداد بذرهای اولیه به صورت درصد بیان شد.

۳-۴-۷- زیتوده گیاهی<sup>۵</sup>

برای اندازه‌گیری زیتوده گیاهی، پس از پایان دوره رشد گیاه جو در آزمایش جوانه‌زنی، این بذور سبز شده از خاک خارج و پس از شستشوی آنها در آون با دمای ۶۰ درجه خشک شد. سپس وزن ساقه به عنوان زیتوده هوایی، وزن ریشه به عنوان زیتوده ریشه و مجموع وزن ساقه و ریشه به عنوان زیتوده کل تعیین شد.

1-Density

3-EC

5- Biomass

2-pH

4-Germination percentage

**۳-۴-۸ - آب فراهم<sup>۱</sup>**

از کم کردن رطوبت نقطه پژمردگی ( در مکش ۱۵ بار ) از رطوبت مزرعه‌ای ( در مکش ۱/۳ بار ) که توسط صفحات تحت فشار به دست آمد، محاسبه گردید.

**۳-۵ - تجزیه آماری**

پس از به دست آمدن نتایج آزمایش‌ها با توجه به نوع طرح آزمایشی ( فاکتوریل ) داده‌ها توسط نرم افزار MSTAT-C مورد تجزیه آماری قرار گرفت و جداول تجزیه واریانس آنها به دست آمد. سپس مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از نرم افزار مذکور به روش دانکن انجام شد.

## فصل چهارم

### نتایج و بحث

بهبود دهنده‌های پلیمری خاک باعث تغییر در فرسایش پذیری، افزایش منافذ در خاک‌ها، افزایش نفوذپذیری، افزایش خاکدانه‌سازی، کاهش سله بندی خاک، کاهش جداسازی خاکدانه‌ها توسط انرژی قطرات باران می‌شوند. مزایای این مواد شامل بهبود دادن میزان رطوبت خاک، بهبود بخشیدن ذخیره عناصر غذایی، کم کردن فرسایش‌پذیری به وسیله باد و باران و ایجاد یک محیط مناسب برای تولید زیتوده<sup>۱</sup> می‌باشد (۱۲۱).

در این فصل ابتدا نتایج اثر پلیمرها بر ویژگی‌های فیزیکی، سپس اثر آنها بر ویژگی‌های شیمیایی و در آخر اثر پلیمرها بر رشد گیاه بررسی شده است. شکل‌های مربوطه و جدول‌ها در انتهای هر مبحث آورده شده‌اند.

#### ۴-۱- اثر پلیمرها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها

نتایج تجزیه واریانس اثر پلیمرها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها شامل ضریب آبگذری ( $K_s$ )، میانگین وزنی قطر در حالت مرطوب ( $MWD_{wet}$ )، میانگین وزنی قطر در حالت خشک ( $MWD_{dry}$ )، میزان رس قابل انتشار (DC)، دانسیته (D) و آب فراهم (AW) در جدول‌های ۴-۱، ۴-۲، ۴-۳، ۴-۴ و ۴-۵ آورده شده است.

جدول ۱-۴ - منابع تغییر و تاثیر آنها بر برخی ویژگی‌های فیزیکی شامل ضریب آبگذری ( $K_s$ )، میانگین وزنی قطر در حالت مرطوب ( $MWD_{wet}$ )، میانگین وزنی قطر در حالت خشک ( $MWD_{dry}$ )، میزان رس قابل انتشار (DC)، دانسیته (D)، و آب فراهم (AW) در خاک شن لومی

F						درجه آزادی	منبع تغییرات
AW	D	DC	MWD <sub>dry</sub>	MWD <sub>wet</sub>	$K_s$		
۴/۹*	۱۰/۲**	۰/۰	۲۶/۵**	-	۳۴۱/۴**	۲	نوع پلیمر
۷۴/۹**	۳۴۶/۰**	۱۲۹/۵**	۸۷/۸**	-	۱۰۷۸**	۳	غلظت پلیمر
۱/۸	۱/۷	۰/۰	۹/۰**	-	۸۴/۷**	۶	اثر متقابل

\*\* و \* به ترتیب نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۲-۴ - منابع تغییر و تاثیر آنها بر برخی ویژگی‌های فیزیکی شامل ضریب آبگذری ( $K_s$ )، میانگین وزنی قطر در حالت مرطوب ( $MWD_{wet}$ )، میانگین وزنی قطر در حالت خشک ( $MWD_{dry}$ )، میزان رس قابل انتشار (DC)، دانسیته (D)، و آب فراهم (AW) در خاک لومی

F						درجه آزادی	منبع تغییرات
AW	D	DC	MWD <sub>dry</sub>	MWD <sub>wet</sub>	$K_s$		
۲۴/۶**	۱/۰	۳۸/۴**	۶/۶**	۰/۰	۱۱/۶**	۲	نوع پلیمر
۱۹۱/۷**	۱/۶	۱۰۶/۳**	۱۰۶/۲**	۲۳/۹**	۱۷۴/۳**	۳	غلظت پلیمر
۴/۸**	۱/۰	۷/۱**	۷/۱**	۰/۴	۵/۳**	۶	اثر متقابل

\*\* و \* به ترتیب نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۳-۴ - منابع تغییر و تاثیر آنها بر برخی ویژگی‌های فیزیکی شامل ضریب آبگذری ( $K_s$ )، میانگین وزنی قطر در حالت مرطوب ( $MWD_{wet}$ )، میانگین وزنی قطر در حالت خشک ( $MWD_{dry}$ )، میزان رس قابل انتشار (DC)، دانسیته (D)، و آب فراهم (AW) در خاک لوم رسی سیلتی

F						درجه آزادی	منبع تغییرات
AW	D	DC	MWD <sub>dry</sub>	MWD <sub>wet</sub>	$K_s$		
۹۰/۰**	۳۳/۱**	۲۴/۱**	۱۳/۵**	۹۲/۴**	۱۹۷/۷**	۲	نوع پلیمر
۲۱۷/۰**	۴۴۸/۶**	۱۲۷/۹**	۲۴۹/۵**	۷۳۴/۷**	۱۱۱/۶**	۳	غلظت پلیمر
۱۲/۲**	۱۳/۰**	۶/۹**	۷/۷**	۲۰/۹**	۲۳/۱**	۶	اثر متقابل

\*\* و \* به ترتیب نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۴ - منابع تغییر و تاثیر آنها بر برخی ویژگی‌های فیزیکی شامل ضریب آبگذری ( $K_s$ )، میانگین وزنی قطر در حالت مرطوب ( $MWD_{wet}$ )، میانگین وزنی قطر در حالت خشک ( $MWD_{dry}$ )، میزان رس قابل انتشار (DC)، دانسیته (D)، و آب فراهم (AW) در خاک مارنی

F						منبع تغییرات	درجه آزادی
AW	D	DC	$MWD_{dry}$	$MWD_{wet}$	$K_s$		
۸/۷**	۱۹/۰**	۳۱۴۷/۷**	۳۱/۷**	۱۷۶/۴**	۲۵۴/۶**	۲	نوع پلیمر
۵۰/۰**	۴۹/۸**	۹۱۶/۸**	۹۰/۹**	۵۸۳/۸**	۲۳۶/۱**	۳	غلظت پلیمر
۱/۲	۶/۹**	۴۰۸/۹**	۸/۸**	۲۴/۰**	۴۹/۹**	۶	اثر متقابل

\*\* و \* به ترتیب نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشد

جدول ۴-۵ - منابع تغییر و تاثیر آنها بر برخی ویژگی‌های فیزیکی شامل ضریب آبگذری ( $K_s$ )، میانگین وزنی قطر در حالت مرطوب ( $MWD_{wet}$ )، میانگین وزنی قطر در حالت خشک ( $MWD_{dry}$ )، میزان رس قابل انتشار (DC)، دانسیته (D)، و آب فراهم (AW) در خاک سدیمی

F						منبع تغییرات	درجه آزادی
AW	D	DC	$MWD_{dry}$	$MWD_{wet}$	$K_s$		
۲۰/۸**	۲۷/۴**	۱۹۱/۱**	۱۸/۳**	۲۹/۹**	۲۵۷/۵**	۲	نوع پلیمر
۱۵/۷**	۱۱۹/۶**	۱۶۰/۸**	۲۳/۷**	۱۲۷۹/۰**	۵۰۹/۷**	۳	غلظت پلیمر
۳/۵*	۷/۸**	۲۴/۵**	۲/۸*	۲۱/۵**	۶۹/۷**	۶	اثر متقابل

\*\* و \* به ترتیب نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشد

#### ۴-۱-۱- اثر پلیمرها بر ضریب آبگذری اشباع خاک<sup>۱</sup>

اثر نوع پلیمر بر ضریب آبگذری اشباع ( $K_s$ ) خاک‌های مورد آزمایش در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. در خاک‌های مختلف تاثیر پلیمرها متفاوت بود. در خاک‌های شن لومی و لوم رسی سیلتی پلیمر R بیشترین افزایش را در  $K_s$  ایجاد کرد. پس از پلیمر R پلیمرهای N و I به ترتیب قرار گرفتند. در خاک لومی اثر پلیمر T بیش از سایر پلیمرها بود و پلیمرهای R و N پس از پلیمر T بیشترین افزایش را در  $K_s$  ایجاد کردند. در خاک‌های مارنی و سدیمی نیز پلیمر R بیشترین افزایش را در  $K_s$  ایجاد کرد و پلیمرهای I و N پس از آن سبب افزایش  $K_s$  شدند.

از مقایسه نتایج به دست آمده نتیجه می‌شود که پلیمر R موثرترین پلیمر در افزایش  $K_s$  در خاک‌های مورد آزمایش بوده و فقط در خاک لومی پلیمر T موثرتر بوده است.

اثر غلظت پلیمر نیز بر  $K_s$  در همه خاک‌های تیمار شده با پلیمرها در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. با افزایش غلظت پلیمرها  $K_s$  زیاد شد. بیشترین افزایش در  $K_s$  با غلظت  $C_3$  و کمترین با غلظت  $C_1$  ایجاد شد.

اثر متقابل پلیمرها و غلظت‌های آنها نیز در همه خاک‌ها در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. در خاک‌های شن لومی و لوم رسی سیلتی بیشترین افزایش در  $K_s$  به وسیله غلظت  $C_3$  پلیمر R ایجاد شد. این افزایش در خاک شن لومی ۲۸ و در خاک لوم رسی سیلتی ۶/۸ برابر نسبت به تیمار شاهد بود. کمترین افزایش نیز در هر دو خاک توسط غلظت  $C_1$  پلیمر T ایجاد شد. همانطور که اشاره شد، اثر پلیمر N با غلظت‌های مختلف کمتر از پلیمر R و بیشتر از پلیمر T بود.

در خاک شن لومی بین غلظت  $C_1$  پلیمرهای T و R اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد و اثر آنها یکسان بود. در خاک لومی بیشترین افزایش در  $K_s$  به وسیله غلظت  $C_3$  پلیمر T ایجاد شد. این غلظت پلیمر T را ۱۳ برابر نسبت به شاهد افزایش داد. اثر غلظت  $C_1$  پلیمرهای R و N در این خاک یکسان بود.

در خاک‌های ماری و سدیمی بیشترین افزایش در  $K_s$  به وسیله غلظت  $C_3$  پلیمر R ایجاد شد. این افزایش در خاک ماری ۸ برابر شاهد و در خاک سدیمی ۰/۳۶ سانتیمتر بر دقیقه بیش از شاهد بود. در خاک ماری اثر غلظت‌های  $C_1$  و  $C_3$  پلیمرهای T و N یکسان بود.

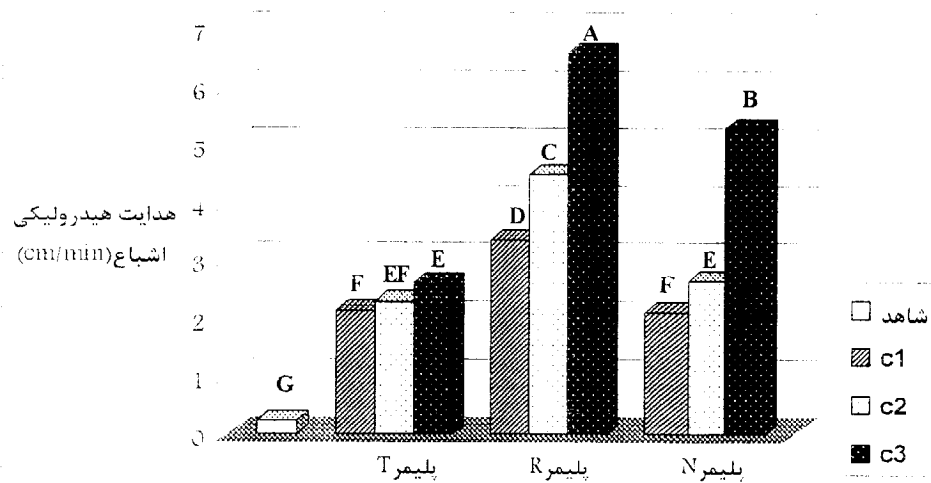
شکل‌های ۱-۴، ۲-۴، ۳-۴، ۴-۴ و ۵-۴ به ترتیب اثر پلیمرها بر  $K_s$  خاک‌های شن لومی، لومی، لوم رسی سیلتی، ماری و سدیمی را نشان می‌دهد.

سوجکا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۳) نیز بهبود نفوذپذیری در اثر اضافه شدن غلظت‌های کم پلیمرهای مصنوعی به خاک‌ها را گزارش کردند (۱۳۶۱).



همچنین جری<sup>۱</sup> عقیده دارد که پلیمرها در بهبود بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی از جمله بالا بردن نفوذپذیری خاک‌های فاقد ساختمان نواحی خشک موثر هستند [۷۲].

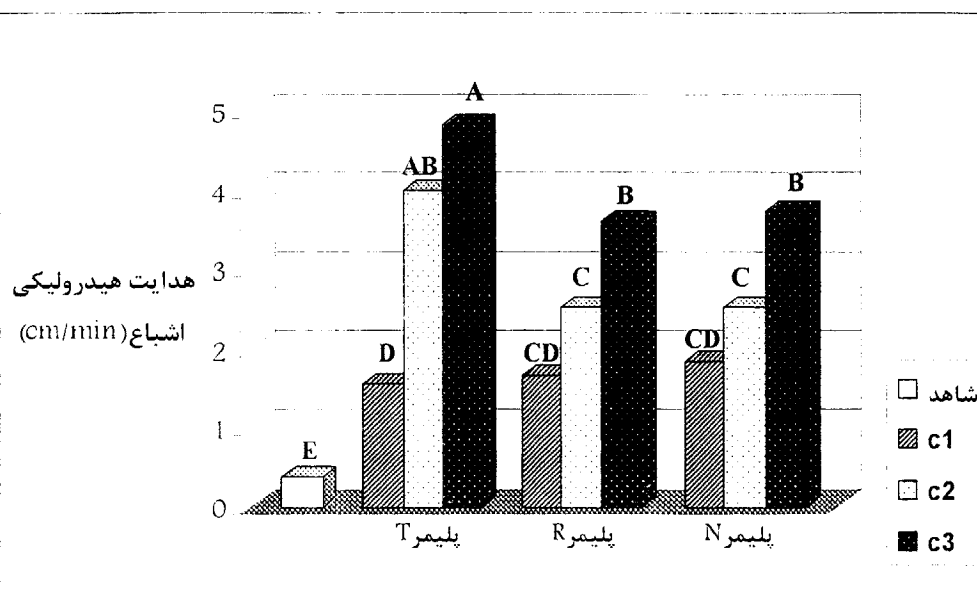
علت افزایش ضریب آبگذری اشباع در این خاک‌ها چسبیده شدن اجزا خاک به یکدیگر و تشکیل خاکدانه‌های درشت‌تر می‌باشد. خاکدانه‌های درشت تشکیل شده دارای منافذ بزرگتری برای انتقال و نفوذ آب می‌باشند. بر اساس نظر کنت و نوانکو<sup>۲</sup> (۲۰۰۱) پلیمرها با ایجاد پیوندهای یونی با ذرات خاک باعث زیاد شدن قطر خاکدانه‌ها و افزایش منافذ خاک می‌شوند و در نهایت نفوذ آب از بین ذرات خاک افزایش خواهد یافت [۸۰].



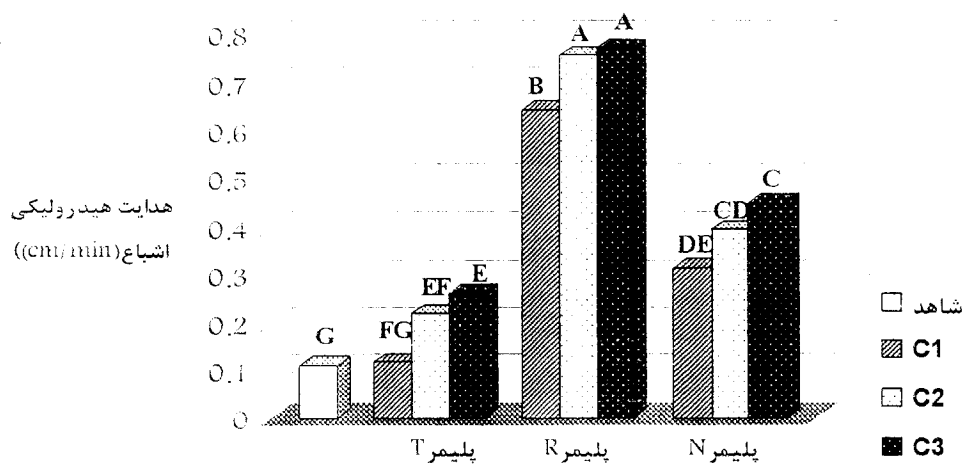
شکل ۴-۱ اثر تیمارهای پلیمر بر ضریب آبگذری اشباع ( $K_s$ ) خاک شن لومی

1-Jhurry

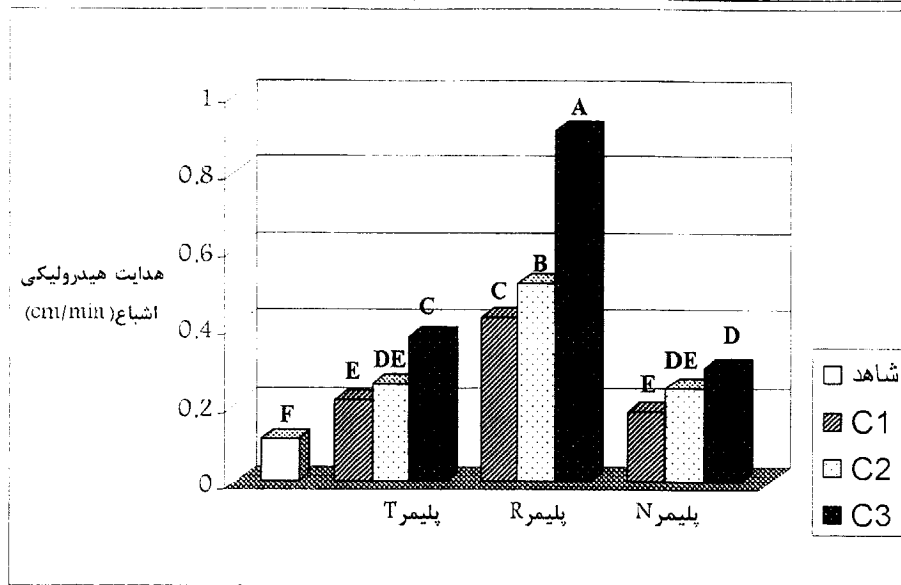
2- Kenneth and Nwankwo



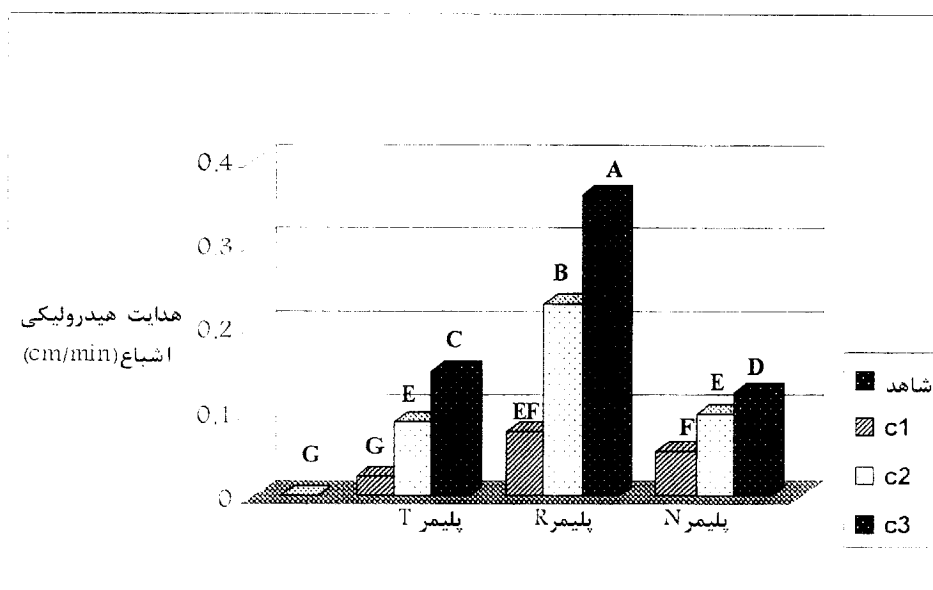
شکل ۴-۲- اثر تیمارهای پلیمر بر ضریب آبگذری اشباع ( $K_s$ ) خاک لومی



شکل ۴-۳- اثر تیمارهای پلیمر بر ضریب آبگذری اشباع ( $K_s$ ) خاک لوم رسی سیلتی



شکل ۴-۴- اثر تیمارهای پلیمر بر ضریب آبگذری اشباع ( $K_s$ ) خاک مازنی



شکل ۴-۵- اثر تیمارهای پلیمر بر ضریب آبگذری اشباع ( $K_s$ ) خاک سدیمی

#### ۴-۱-۲- اثر پلیمرها بر پایداری خاکدانه‌ها<sup>۱</sup> در حالت مرطوب

اثر نوع پلیمرها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های مرطوب<sup>۲</sup> در خاک لومی معنی‌دار نشد. این اثر بر  $MWD_{wet}$  در خاک‌های لوم رسی سیلتی، مارنی و سدیمی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود. در این خاک‌ها پلیمرهای اضافه شده  $MWD_{wet}$  را افزایش دادند. بیشترین افزایش  $MWD_{wet}$  به وسیله پلیمر R ایجاد شد. پلیمرهای T و N به ترتیب از نظر افزایش  $MWD_{wet}$  پس از پلیمر R قرار گرفتند.

اثر غلظت‌های پلیمر بر  $MWD_{wet}$  در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. در خاک لومی این اثر در افزایش  $MWD_{wet}$  نسبت به شاهد معنی‌دار بود و بین غلظت‌های مختلف پلیمرها اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. در خاک‌های لوم رسی سیلتی، مارنی و سدیمی افزایش غلظت پلیمرها سبب افزایش  $MWD_{wet}$  شد. در این خاک‌ها بیشترین افزایش در  $MWD_{wet}$  به وسیله غلظت  $C_3$  پلیمرها و کمترین افزایش به وسیله غلظت  $C_1$  آنها ایجاد شد.

اثر متقابل پلیمرها و غلظت‌های آنها در سطح آماری ۱ درصد در همه نمونه‌های تیمار شده معنی‌دار بود. در خاک لومی افزوده شدن پلیمر سبب افزایش ۱۰ درصدی  $MWD_{wet}$  نسبت به شاهد شد ولی بین غلظت‌های  $C_1$ ،  $C_2$  و  $C_3$  اختلاف معنی‌دار نبود.

در خاک‌های لوم رسی سیلتی و مارنی بیشترین افزایش در  $MWD_{wet}$  نسبت به شاهد به وسیله غلظت  $C_3$  پلیمر R ایجاد شد. این غلظت پلیمر R در خاک لوم رسی سیلتی ۱۷۴ و در خاک مارنی ۱۱۳ برابر  $MWD_{wet}$  را نسبت به شاهد افزایش داد. در خاک لوم رسی سیلتی اثر غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  پلیمر R یکسان و فاقد اختلاف معنی‌دار با غلظت  $C_1$  پلیمر T بود. در خاک مارنی نیز اثر غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  پلیمر R یکسان بود. همچنین در این خاک بین غلظت‌های  $C_1$  و  $C_2$  پلیمر N اختلاف معنی‌دار وجود نداشت.

1- Aggregate Stability

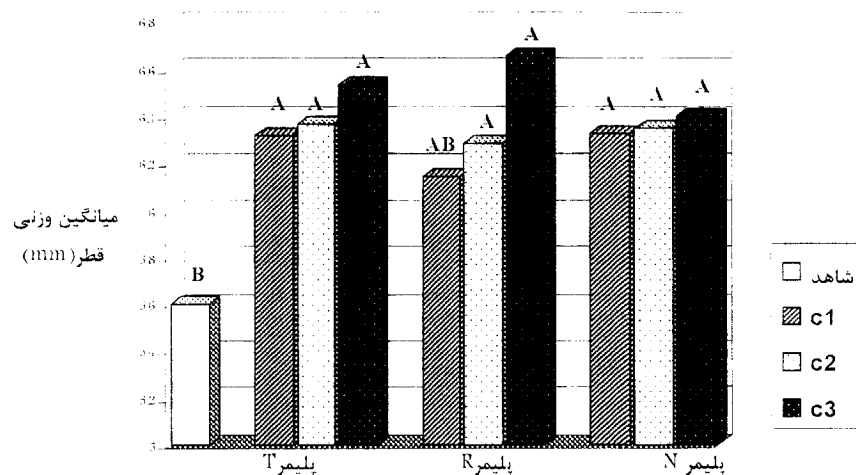
2- Mean weight diameter =  $MWD_{wet}$

در خاک سدیمی بیشترین افزایش  $MWD_{wet}$  با غلظت  $C_3$  پلیمر T ایجاد شد. اثر غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  پلیمر N در این خاک با غلظت  $C_2$  پلیمر R یکسان و فاقد اختلاف معنی‌دار بود.

شکل‌های ۴-۶، ۴-۷، ۴-۸ و ۴-۹ به ترتیب اثر پلیمرها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت مرطوب در خاک‌های لومی، لومرسی‌سیلتی، مارنی و سدیمی را نشان می‌دهد.

شینبرگ و همکاران<sup>۱</sup> و هارتمن و دی بوودت<sup>۲</sup> در پژوهش‌های جداگانه به اثر مفید پلیمرها بر افزایش پایداری خاکدانه‌ها اشاره کردند [۱۲۶ و ۶۷].

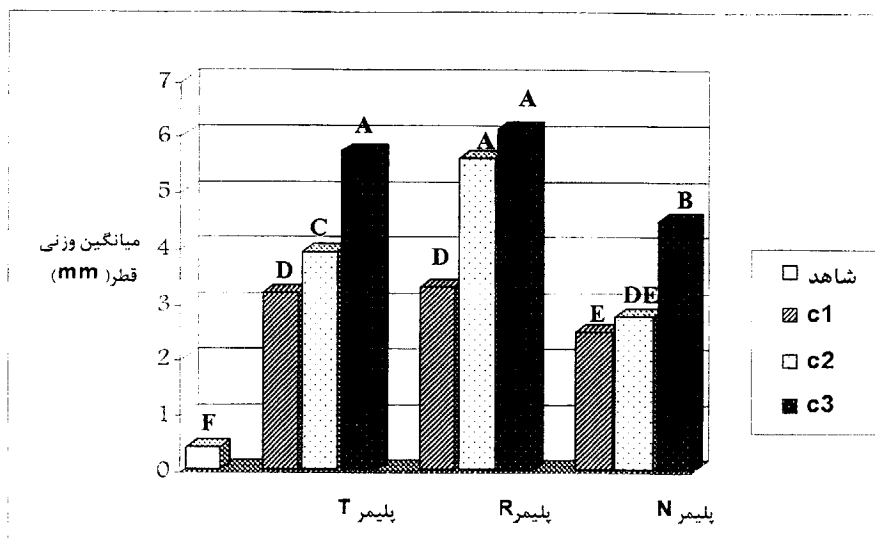
علت افزایش پایداری خاکدانه‌ها در اثر اضافه شدن پلیمر به آنها این است که پلیمرها با تراکم بار زیاد قادر به نفوذ به داخل خاکدانه‌ها نبوده و در سطح خاکدانه‌ها باقی می‌مانند. این مسئله سبب ایجاد شبکه در اطراف خاکدانه‌ها گردیده و پایداری آنها را افزایش می‌دهد [۱۲۶].



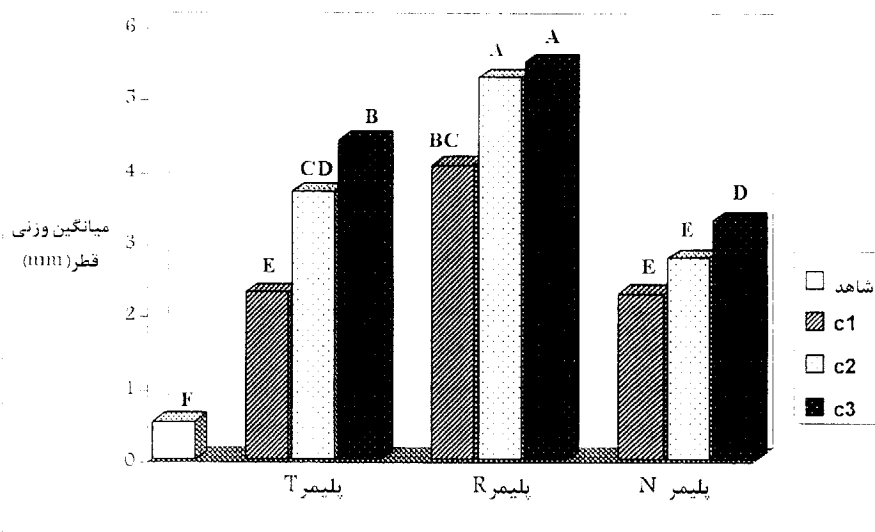
شکل ۴-۶- اثر تیمارهای پلیمر بر  $MWD_{wet}$  تیمارها در خاک لومی

1- Shainberg et al

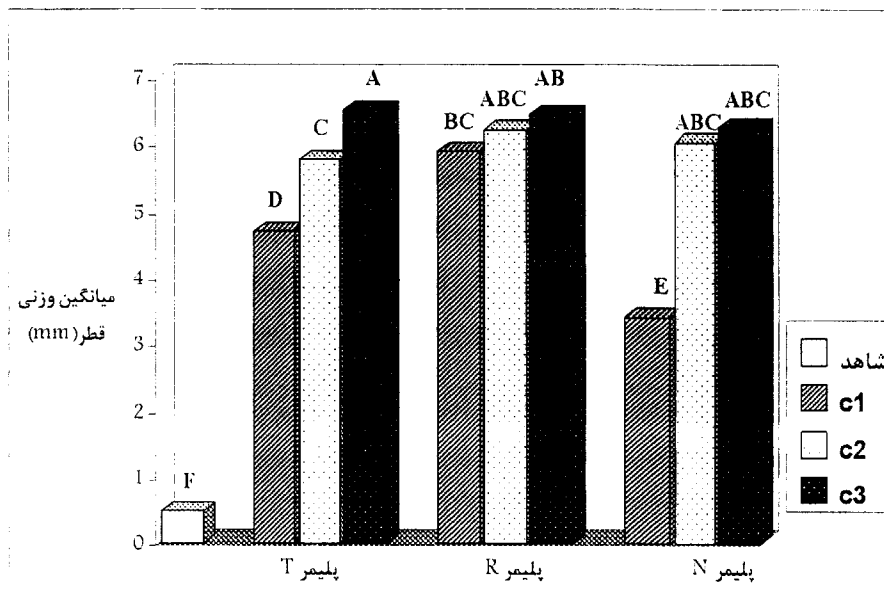
2- Hartman and DE boodt



شکل ۴-۷- اثر تیمارهای پلیمر بر  $MWD_{wet}$  تیمارها در خاک لوم رسی سیلتی



شکل ۴-۸- اثر تیمارهای پلیمر بر  $MWD_{wet}$  تیمارها در خاک مازنی



شکل ۴-۹- اثر تیمارهای پلیمر بر  $MWD_{wet}$  در خاک سدیمی

#### ۴-۱-۳- اثر پلیمرها بر پایداری خاکدانه‌ها در حالت خشک

اثر نوع پلیمرها بر  $MWD_{dry}$  در همه خاک‌های مورد آزمایش در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. پلیمرهای اضافه شده،  $MWD_{dry}$  را در خاک‌ها افزایش دادند.

در خاک‌های شن لومی، لومی، لوم رسی سیلتی و مارنی بیشترین افزایش  $MWD_{dry}$  به وسیله پلیمرهای R و T و کمترین افزایش به وسیله پلیمر N ایجاد شد. در خاک‌های شن لومی، لوم رسی سیلتی و مارنی بین اثر پلیمرهای R و T اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. در خاک سدیمی اثر پلیمر T در افزایش  $MWD_{dry}$  بیش از دو پلیمر دیگر بود و پلیمرهای R و N به ترتیب پس از پلیمر T قرار داشتند.

اثر غلظت‌های پلیمر بر  $MWD_{dry}$  در خاک‌های تیمار شده با پلیمرها در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. در همه تیمارها افزایش غلظت پلیمرها از  $C_1$  به  $C_3$  سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها در

حالت خشک و افزایش  $MWD_{dry}$  گردید.

اثر متقابل پلیمرها و غلظت‌های آنها بر  $MWD_{dry}$  خاک‌های شن لومی، لومی، لوم رسی سیلتی و مازنی در سطح آماری ۱ درصد و در خاک سدیمی در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار شد. در خاک‌های شن لومی، مازنی و سدیمی بیشترین افزایش در  $MWD_{dry}$  توسط غلظت  $C_3$  پلیمر T ایجاد شد. در خاک لومی و لوم رسی سیلتی بیشترین افزایش  $MWD_{dry}$  مربوط به غلظت  $C_3$  پلیمر R بود. میزان افزایش  $MWD_{dry}$  در این خاک‌ها به ترتیب خاک شن لومی ۲/۹، لومی ۲/۵، لوم رسی سیلتی ۲/۲، مازنی ۱/۸ و سدیمی ۱/۶ برابر نسبت به شاهد بود.

در خاک شن لومی اثر غلظت  $C_3$  پلیمر T با غلظت  $C_3$  پلیمر R، اثر غلظت  $C_1$  پلیمر N نیز با  $C_1$  پلیمر T و در خاک لومی اثر غلظت‌های  $C_1$  و  $C_3$  پلیمرهای T و R و اثر غلظت‌های  $C_1$  و  $C_2$  پلیمر N با غلظت  $C_1$  پلیمرهای T و R یکسان و فاقد اختلاف معنی‌دار بود. در خاک لوم رسی سیلتی غلظت  $C_1$  پلیمرهای T، R و N فاقد اختلاف معنی‌دار گردید. در این خاک همچنین غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  پلیمر N فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر و دارای اثر یکسان با غلظت  $C_2$  پلیمر T بود. در خاک مازنی اثر غلظت  $C_2$  پلیمر T با غلظت  $C_2$  پلیمر R یکسان بود و غلظت  $C_2$  پلیمر N با غلظت  $C_3$  پلیمر T فاقد اختلاف معنی‌دار شد. در خاک سدیمی بین غلظت  $C_2$  و  $C_3$  پلیمر T اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. همچنین اثر  $C_3$  این پلیمر با غلظت  $C_3$  پلیمر R یکسان بود. غلظت  $C_1$  پلیمر R نیز فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد بود. در پلیمر N غلظت‌های  $C_1$  و  $C_2$  اثر یکسان داشت و اثر غلظت  $C_3$  این پلیمر نیز با  $C_2$  پلیمر R یکسان بود.

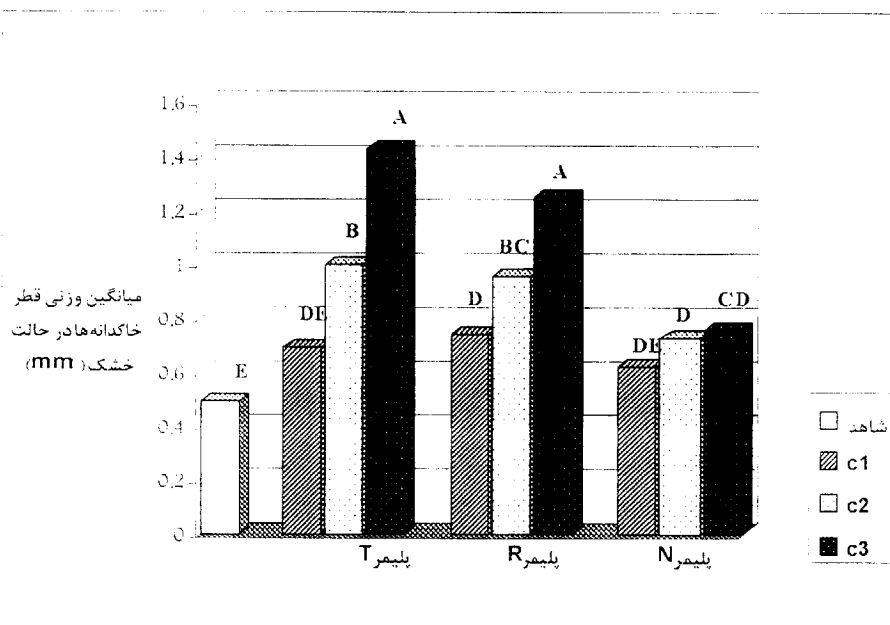
شکل‌های ۴-۱۰، ۴-۱۱، ۴-۱۲، ۴-۱۳ و ۴-۱۴ به ترتیب، اثر پلیمرها بر  $MWD_{dry}$  خاک‌های شن لومی، لومی، لوم رسی سیلتی، مازنی و سدیمی را نشان می‌دهند.

افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک و افزایش پایداری آنها در اثر اضافه شدن پلیمرها، به وسیله پژوهشگران مختلف بررسی شده است. کنت و نوانکو<sup>۱</sup> در پژوهش خود به نقش پلیمرها در ایجاد واکنش شیمیایی و تشکیل پیوندهای یونی با ذرات خاک در جهت افزایش قطر

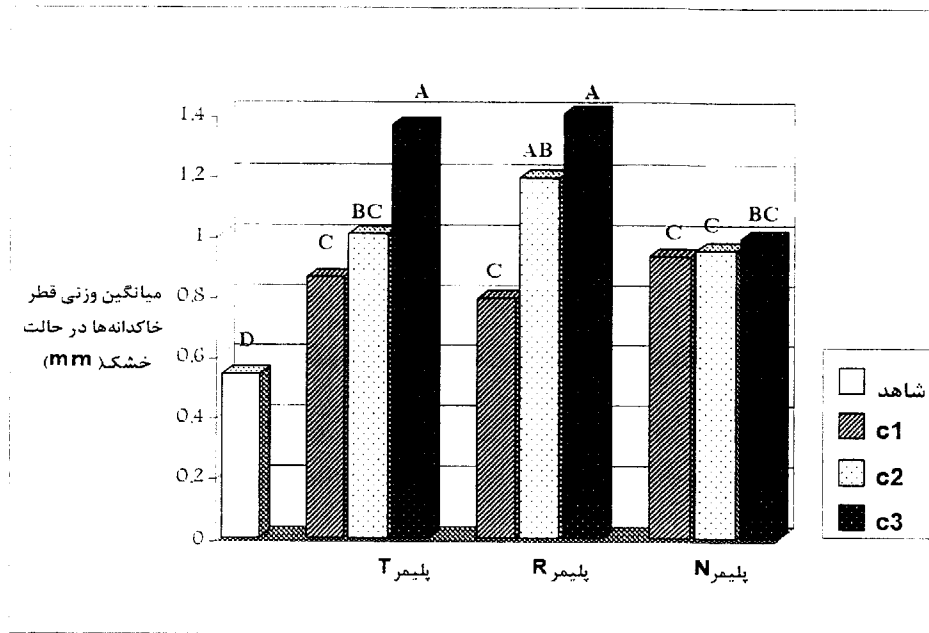


خاکدانه‌ها اشاره کرده‌اند [۸۰]. زلاتکویچ و راسکوویچ<sup>۱</sup> نیز معتقدند مولکول‌های پلیمر با ایجاد پل بین ذرات خاک سبب چسبیده شدن خاکدانه‌های کوچک به هم و تشکیل خاکدانه‌های بزرگتر می‌گردد [۱۶۱].

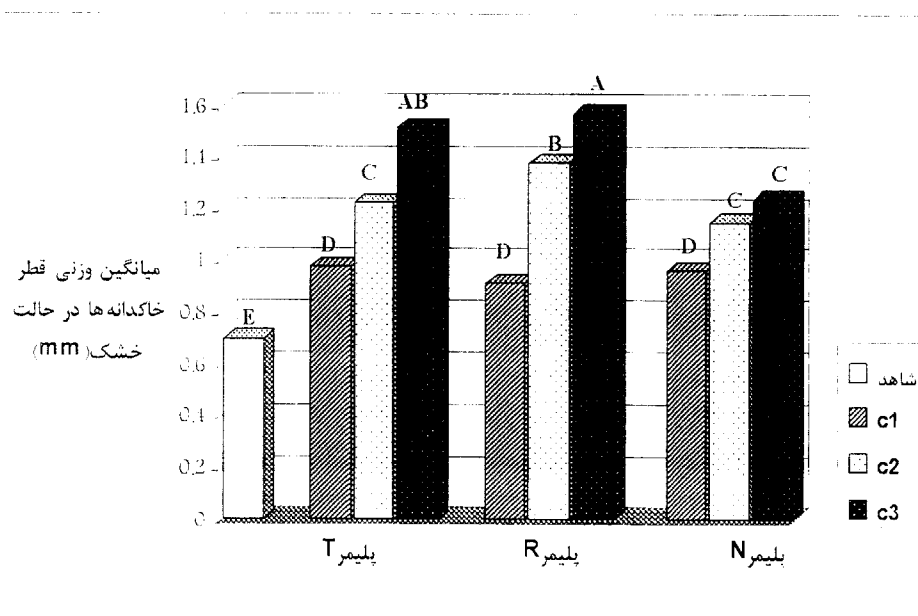
علت افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک در اثر اضافه شدن پلیمرها به خاک این است که با بروز واکنش‌های شیمیایی و ایجاد پیوندهای یونی بین پلیمر و ذرات خاک همانند پلی ذرات کوچک خاکدانه‌ها را به هم می‌چسبانند و آنها را تبدیل به مولکول‌های درشت می‌نمایند. از سویی پلیمرها قادر به نفوذ به داخل خاکدانه‌ها نبوده و با باقی ماندن در سطح خاکدانه‌ها ایجاد شبکه در اطراف آنها نموده و پایداری آنها را افزایش می‌دهند [۸۰، ۱۲۶ و ۱۶۱].



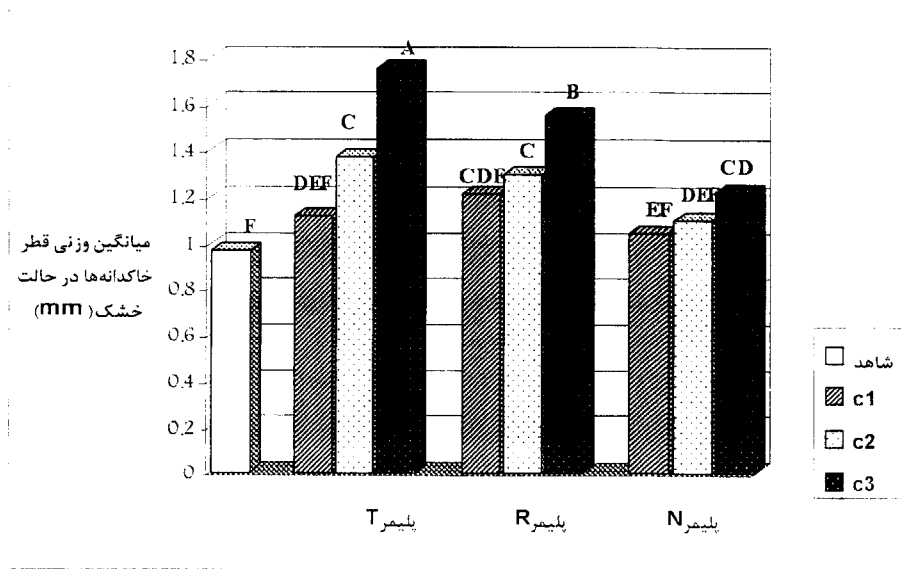
شکل ۴-۱۰- اثر تیمارهای پلیمر بر  $MWD_{0.5}$  در خاک شن لومی



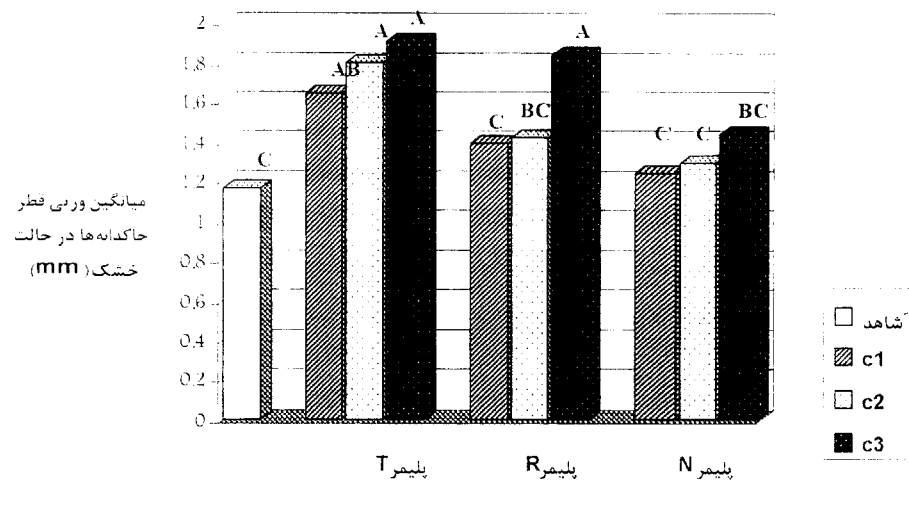
شکل ۴-۱) اثر تیمارهای پلیمر بر  $W_{dry}$  در خاک لومی



شکل ۴-۲) اثر تیمارهای پلیمر بر  $W_{dry}$  در خاک لوم رسی سیلتی



شکل ۴-۱۳- اثر تیمارهای پلیمر بر  $MWD_{dry}$  در خاک ماری



شکل ۴-۱۴- اثر تیمارهای پلیمر بر  $MWD_{dry}$  در خاک سدیمی

#### ۴-۱-۴- اثر پلیمرها بر میزان رس قابل انتشار<sup>۱</sup>

اثر نوع پلیمر بر میزان رس قابل انتشار در خاک شن لومی معنی‌دار نشد. این اثر در سایر خاک‌های مورد آزمایش در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد.

در خاک‌های لومی، لوم رسی سیلتی و سدیمی پلیمرها باعث کاهش DC شدند. در خاک مارنی پلیمرها DC را افزایش دادند.

در خاک لومی اثر پلیمر N در کاهش DC بیش از پلیمر R و پلیمر R بیش از T بود. در خاک لوم‌رسی سیلتی بیشترین اثر در کاهش DC مربوط به پلیمر R بود و پلیمرهای T و N پس از پلیمر R قرار گرفتند. اثر پلیمرهای T و N در این خاک یکسان بود. در خاک سدیمی اثر پلیمر T و R یکسان بود و بیشترین کاهش در میزان رس قابل انتشار به وسیله آنها ایجاد شد و اثر پلیمر N پس از آنها قرار گرفت. در خاک مارنی پلیمر N بیشترین افزایش را در DC ایجاد کرد. پلیمرهای R و T به ترتیب پس از پلیمر N قرار گرفتند.

اثر غلظت پلیمرها بر DC در همه خاک‌ها در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. در خاک شن لومی اثر غلظت نسبت به شاهد معنی‌دار بود ولی بین غلظت‌های مختلف اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. در خاک‌های لومی، لوم رسی سیلتی و سدیمی افزایش غلظت پلیمر سبب کاهش بیشتر DC شد. در خاک لومی غلظت C<sub>۱</sub> پلیمرها فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد بود. در خاک مارنی با افزایش غلظت پلیمرها میزان افزایش DC بیشتر شد.

اثر متقابل پلیمرها و غلظت‌های آنها بر DC در سطح آماری ۱ درصد در خاک‌های لومی، لوم‌رسی سیلتی، مارنی و سدیمی معنی‌دار شد. این اثر در خاک شن لومی فاقد اختلاف معنی‌دار بود.

در خاک لومی بیشترین کاهش در DC به وسیله غلظت C<sub>۱</sub> پلیمرها ایجاد شد. این غلظت DC را به صفر کاهش داد. اثر غلظت‌های C<sub>۱</sub> و C<sub>۲</sub> پلیمر N یکسان و فاقد اختلاف معنی‌دار بود و پس از غلظت C<sub>۳</sub> بیشترین کاهش را در DC این خاک ایجاد کرد.

در خاک لوم رسی سیلتی بیشترین کاهش در DC به وسیله غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  پلیمر R ایجاد شد. این دو غلظت دارای اثر یکسان بر کاهش DC بودند. آنها را ۳۲ درصد نسبت به شاهد کاهش دادند.

در خاک سدیمی بیشترین کاهش DC با غلظت  $C_3$  پلیمر T به وجود آمد. این غلظت DC را ۲۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. غلظت‌های  $C_1$  و  $C_2$  پلیمر N فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد بود. دوان<sup>۱</sup> نیز پلیمرها را در خاک‌های سدیمی جانشینی مناسب برای گچ در جهت اصلاح این خاک‌ها و کاهش پراکندگی رس‌ها می‌داند [۵۰].

در خاک مارنی بیشترین افزایش به وسیله غلظت  $C_3$  پلیمر N و کمترین افزایش با غلظت  $C_1$  پلیمر R ایجاد شد. غلظت‌های مختلف پلیمر T دارای اثری یکسان بر افزایش DC این خاک بودند. پلیمر R در غلظت  $C_1$  فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد بود. غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  آن اثر یکسان داشته و DC را زیاد کردند. بین غلظت‌های مختلف پلیمر N نیز اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد.

شکل‌های ۴-۱۵، ۴-۱۶، ۴-۱۷، ۴-۱۸ و ۴-۱۹ به ترتیب اثر پلیمرها بر میزان رس قابل انتشار در خاک‌های شن لومی، لومی، لومرسی سیلتی، مارنی و سدیمی را نشان می‌دهند.

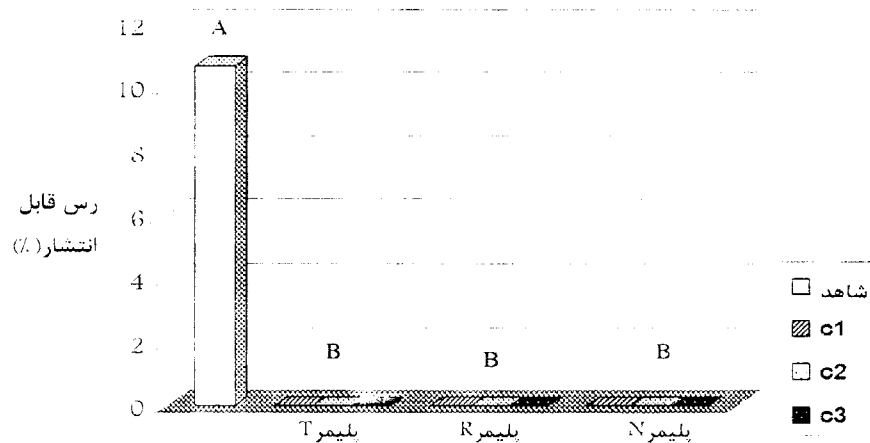
در خاک‌های شن لومی، لومی، لومرسی سیلتی و سدیمی دلیل کاهش DC جذب سطحی الکتریکی پلیمرها بر سطوح رس‌ها در جهت خنثی سازی بار بوده که به دلیل آنیونی بودن پلیمرها این جذب با واسطه پل‌های کاتیونی اتفاق می‌افتد. این مسئله باعث اتصال ذرات به هم و هم‌آوری ذرات می‌گردد و به دنبال آن DC کاهش می‌یابد. از سوی دیگر همانطور که در فصل تاثیر پلیمرها بر ویژگی‌های شیمیایی ذکر شده است، پلیمرهای نیونی به کار رفته نمک هستند و شوری را بالا می‌برند. هرچه غلظت املاح بیشتر باشد لایه دوگانه الکتریکی رس‌ها فشرده‌تر شده و سبب انعقاد آنها می‌شود. بنابراین اضافه شدن پلیمرها از پراکنده شدن رس‌ها جلوگیری می‌کند.

در خاک مارنی که میزان املاح زیاد است پلیمرها ایجاد شبکه در اطراف خاکدانه‌ها کرده و حلالیت

املاح را کاهش می‌دهند در نتیجه کاهش املاح محلول لایه دوگانه الکتریکی بزرگتر شده و رس قابل انتشار افزایش می‌یابد. این اثر در پلیمر N که غیر یونی بوده و نمک نمی‌باشد، شدیدتر بوده، لیکن در پلیمرهای T و R که آنیونی و نمک هستند این افزایش کمتر بوده، زیرا املاح پلیمر بر ضخامت دو لایه الکتریکی تاثیر می‌گذارد.

آگاسی<sup>۱</sup>، جیمز و ریچاردز<sup>۲</sup> و جیان و همکاران<sup>۳</sup> در پژوهش‌های خود با اشاره به شیوه اتصال پلیمرهای آنیونی به سطح رس‌ها از طریق ایجاد پل به وسیله کاتیون‌های چند ظرفیتی، نتیجه این مسئله را همآوری ذرات رس و کاهش میزان رس قابل انتشار می‌دانند [۲۷، ۷۱ و ۷۳].

از سوی دیگر عقیده شارما<sup>۴</sup> این است که پلیمرها با ایجاد شبکه در اطراف خاکدانه‌ها پایداری آنها را افزایش داده و از پراکنده شدن ذرات رس جلوگیری می‌کند [۱۲۷].



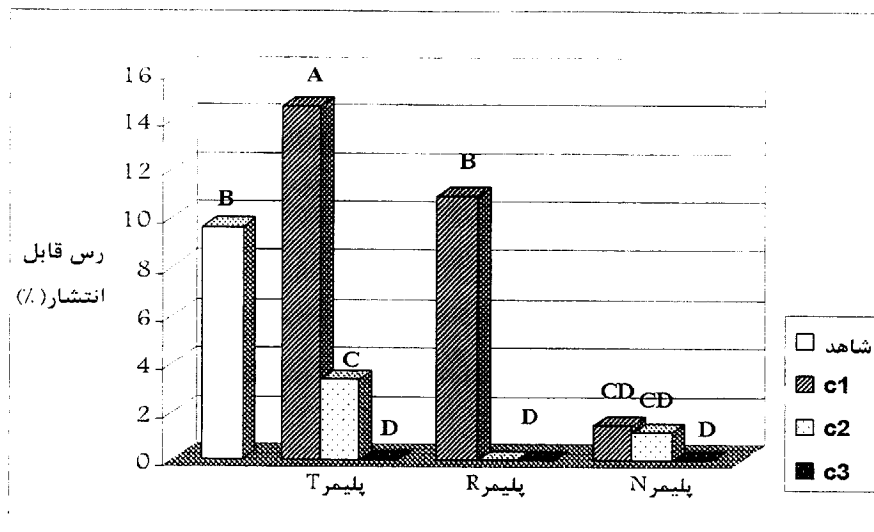
شکل ۴-۱۵- اثر تیمارهای پلیمر بر میزان رس قابل انتشار خاک شن لومی

1-Agassi

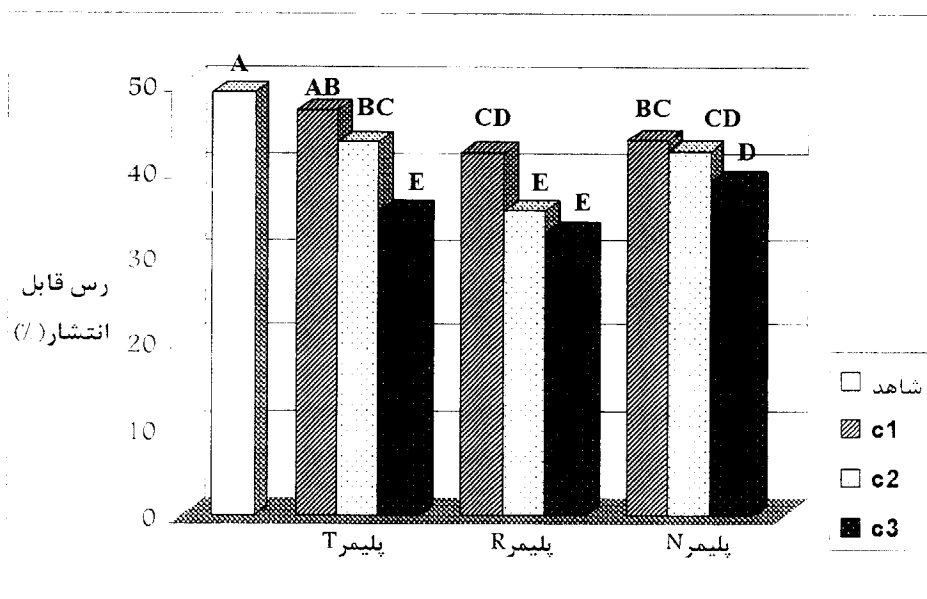
3 -Jian etal

2-James and Richards

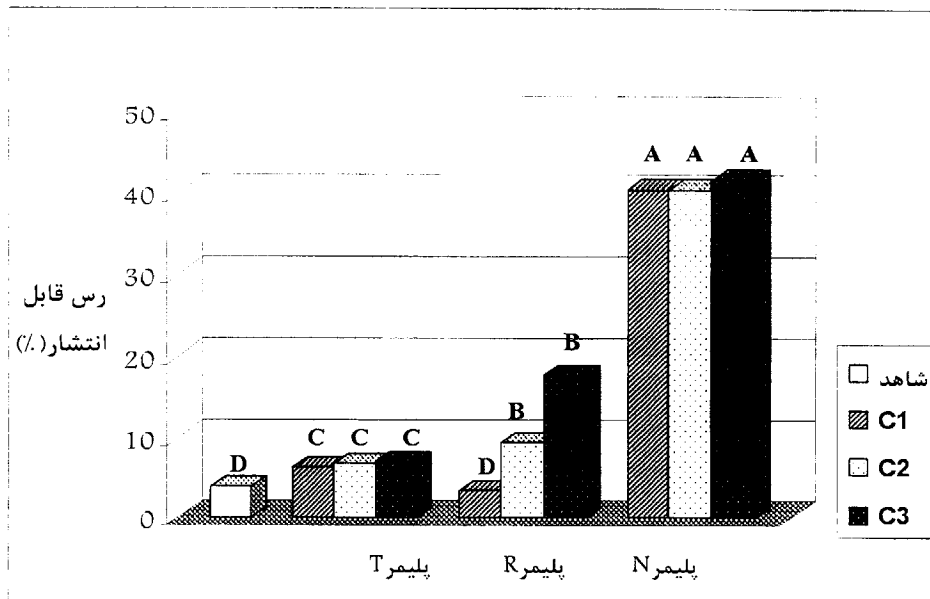
4- Sharma



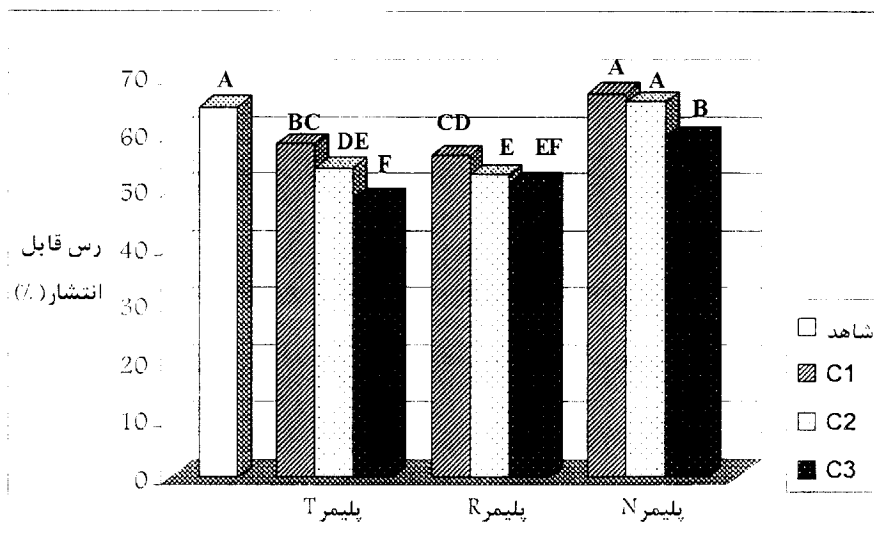
شکل ۴-۱۶- اثر تیمارهای پلیمر بر میزان رس قابل انتشار خاک لومی



شکل ۴-۱۷- اثر تیمارهای پلیمر بر میزان رس قابل انتشار خاک لوم رسی سیلتی



شکل ۴-۱۸- اثر تیمارهای پلیمر بر میزان رس قابل انتشار خاک مارنی



شکل ۴-۱۹- اثر تیمارهای پلیمر بر میزان رس قابل انتشار خاک سدیمی



#### ۴-۱-۵- اثر پلیمرها بر دانسیته<sup>۱</sup> توده خاک

پلیمرها دانسیته خاک‌ها را نسبت به شاهد کاهش دادند. اثر نوع پلیمر بر دانسیته در خاک‌های شن لومی، لوم رسی سیلتی، ماری و سدیمی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. این اثر در خاک لومی فاقد اختلاف معنی‌دار بود.

در خاک شن لومی بیشترین کاهش دانسیته به وسیله پلیمر R ایجاد شد و پلیمرهای N و T پس از آن قرار گرفتند. در خاک‌های لوم رسی سیلتی و ماری بیشترین کاهش دانسیته با پلیمر T و کمترین کاهش با پلیمر N ایجاد شد و تاثیر پلیمر R بین دو پلیمر T و N قرار داشت. در خاک سدیمی پلیمرهای T، N و R به ترتیب بیشترین و کمترین کاهش را در دانسیته ایجاد کردند.

اثر غلظت پلیمرها بر دانسیته نیز در خاک‌های شن لومی، لوم رسی سیلتی، ماری و سدیمی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. این اثر در خاک لومی معنی‌دار نشد. در همه خاک‌هایی که اثر غلظت پلیمرها بر دانسیته در آنها معنی‌دار شد، افزایش غلظت پلیمرها سبب کاهش بیشتر دانسیته گردید. بیشترین کاهش با غلظت C<sub>3</sub> پلیمرها و کمترین کاهش با غلظت C<sub>0</sub> آنها ایجاد شد.

اثر متقابل پلیمرها و غلظت‌های آنها بر دانسیته در خاک‌های شن لومی و لومی فاقد اختلاف معنی‌دار بود. این اثر در خاک‌های لوم رسی سیلتی، ماری و سدیمی معنی‌دار شد.

در خاک لوم رسی سیلتی بیشترین کاهش دانسیته با غلظت C<sub>3</sub> پلیمر T ایجاد شد. میزان این کاهش ۳۲ درصد نسبت به تیمار شاهد بود. در این خاک اثر غلظت‌های C<sub>3</sub> و C<sub>0</sub> پلیمر R در کاهش دانسیته یکسان بود.

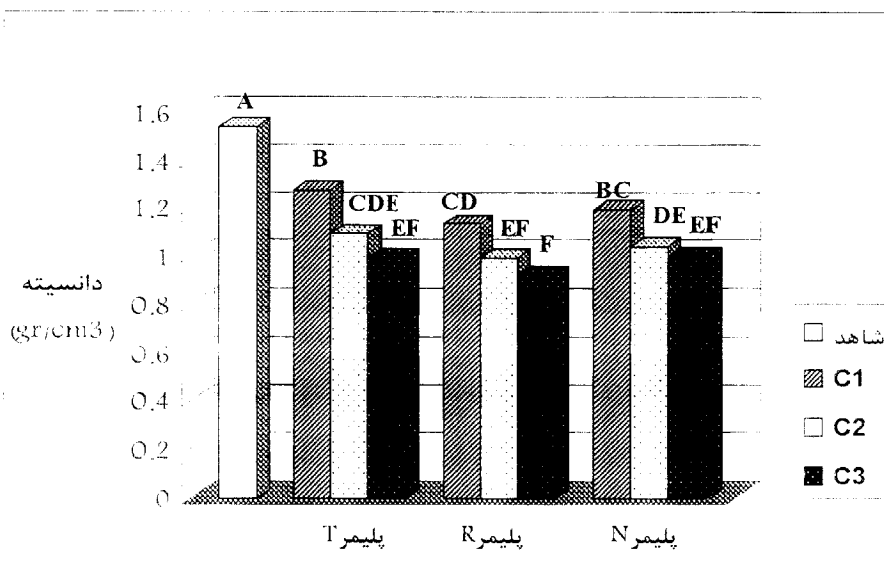
در خاک ماری نیز بیشترین کاهش دانسیته در اثر غلظت C<sub>0</sub> پلیمر A ایجاد شد. این غلظت پلیمر T به میزان ۲۷ درصد دانسیته را نسبت به شاهد کاهش داد. اثر غلظت‌های C<sub>0</sub> و C<sub>3</sub> پلیمر N بر کاهش دانسیته در این خاک یکسان و فاقد اختلاف معنی‌دار بود.

در خاک سدیمی نیز بیشترین کاهش با غلظت  $C_3$  پلیمر T ایجاد شد و دانسیته ۲۷ درصد کاهش یافت. اثر غلظت‌های  $C_1$  پلیمرهای R و N در این خاک یکسان بود.

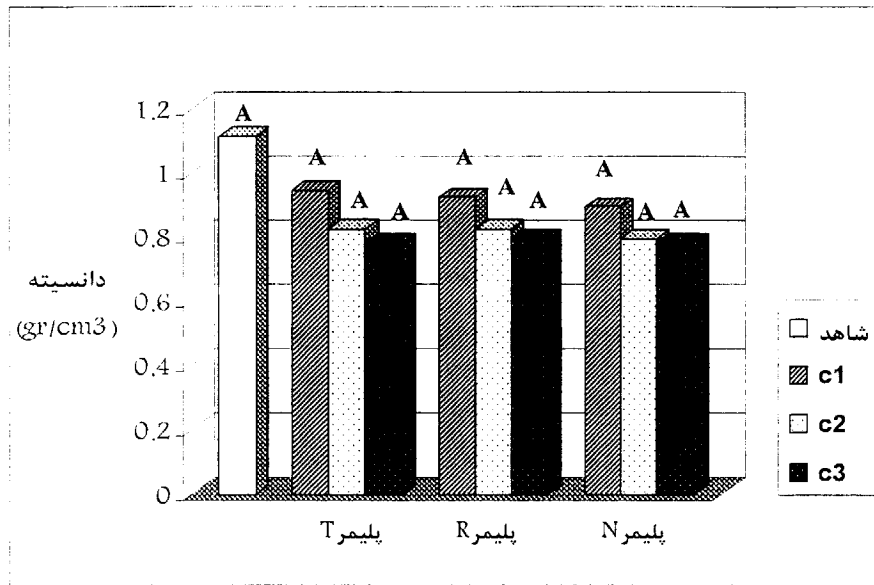
شکل‌های ۴-۲۰، ۴-۲۱، ۴-۲۲، ۴-۲۳ و ۴-۲۴ به ترتیب اثر پلیمرها بر دانسیته خاک‌های شن‌لومی، لومی، لومرسی‌سیلنتی، مارنی و سدیمی را نشان می‌دهد.

علت کاهش دانسیته در اثر افزایش پلیمر به خاک‌ها درشت شدن اندازه خاکدانه‌ها و زیاد شدن منافذ درشت بین ذرات خاک است. منافذ ریز خاک عمدتاً از آب پر بوده و منافذ درشت در اثر نیروی ثقل آب خود را سریعاً از دست داده و معمولاً از هوا پر شده‌اند. هرچه ذرات در خاکی درشت‌تر باشند، کاهش دانسیته آن خاک بیشتر خواهد بود.

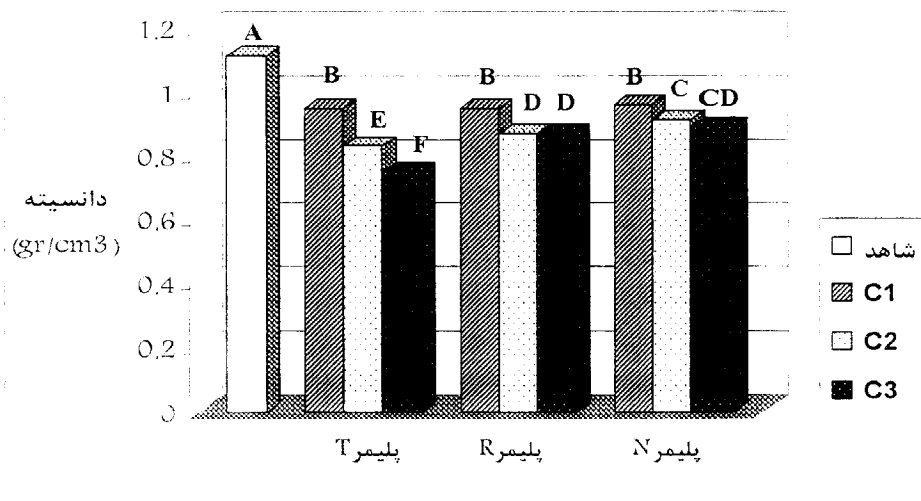
عقیده اوستر و همکاران بر این است که در اثر نیروهای وارده، جابجا شدن ذرات سبب فشردگی خاک شده و این امر سبب کم شدن منافذ درشت و افزایش چگالی می‌گردد [۴]. افزودن مواد آلی ضمن افزایش نگهداری آب در منافذ خاک سبب کاهش دانسیته می‌گردد [۶۵]. جری<sup>۱</sup> در پژوهش خود پلیمرها را دارای نقش اصلاح‌کنندگی در خاک‌های ناپایدار در جهت ایجاد مقاومت به فرسایش و بهبود ویژگی‌های خاک‌ها از جمله کاهش فشردگی و کم شدن جرم مخصوص ظاهری می‌داند [۷۲].



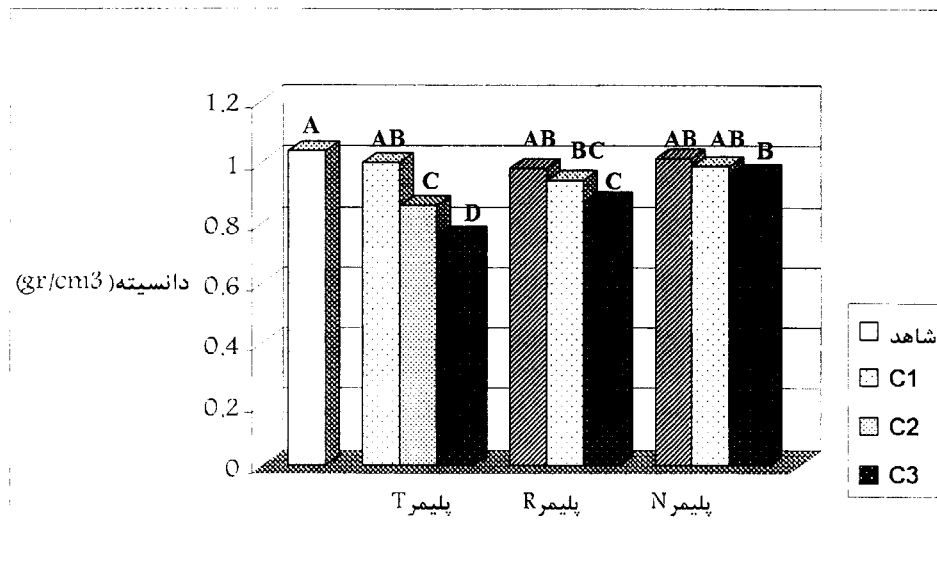
شکل ۴-۲۰- اثر تیمارهای پلیمر بر دانسیته خاک شن‌لومی



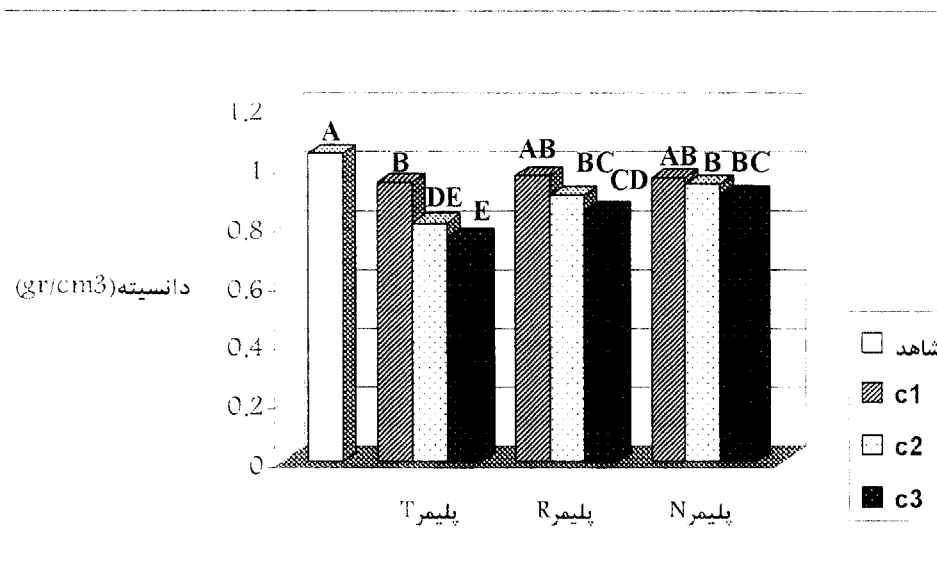
شکل ۴-۲۱- اثر تیمارهای پلیمر بر دانسیته خاک لومی



شکل ۴-۲۲- اثر تیمارهای پلیمر بر دانسیته خاک لومرسی سiltی



شکل ۴-۲۳- اثر تیمارهای پلیمر بر دانسیته خاک مازنی



شکل ۴-۲۴- اثر تیمارهای پلیمر بر دانسیته خاک سدیمی

#### ۴-۱-۶- آب فراهم<sup>۱</sup> برای گیاه

پلیمرها آب فراهم را در همه خاک‌ها کاهش دادند. اثر نوع پلیمر بر AW در خاک شن لومی در سطح آماری ۵ درصد و در خاک‌های لومی، لوم رسی سیلتی، مارنی و سدیمی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد.

در خاک‌های شن لومی و مارنی کمترین کاهش در AW به وسیله پلیمر T ایجاد شد و پلیمر R بیشترین کاهش را در AW ایجاد کرد. در خاک‌های لومی و لوم رسی سیلتی کمترین کاهش مربوط به پلیمر N و بیشترین کاهش به وسیله پلیمر R به وجود آمد. اثر پلیمر T بین دو پلیمر R و N قرار گرفت. در خاک سدیمی نیز کمترین کاهش در AW توسط پلیمر N ایجاد شد. اثر پلیمرهای R و T در این خاک یکسان و میزان کاهش AW توسط آنها بیش از پلیمر N بود.

اثر غلظت پلیمر بر AW در همه خاک‌های مورد آزمایش در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. با افزایش غلظت پلیمر میزان کاهش AW افزایش یافت.

اثر متقابل پلیمرها و غلظت‌های آنها بر AW در خاک‌های شن لومی، مارنی و سدیمی معنی‌دار نشد. این اثر در خاک‌های لومی و لوم رسی سیلتی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود.

در خاک لومی بیشترین کاهش AW توسط غلظت C<sub>3</sub> پلیمر R و کمترین کاهش به وسیله غلظت C<sub>1</sub> پلیمرهای T و N ایجاد شد. اثر غلظت C<sub>1</sub> این دو پلیمر برابر بود. در این خاک اثر غلظت‌های C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> پلیمر R نیز در کاهش AW یکسان بود و اثر آنها با غلظت C<sub>3</sub> پلیمر N فاقد اختلاف معنی‌دار بود. غلظت C<sub>2</sub> پلیمر N با C<sub>3</sub> پلیمر T نیز اثر یکسان داشت.

در خاک لوم رسی سیلتی پلیمر T آب فراهم گیاه را کاهش داد. با افزایش غلظت این پلیمر میزان این کاهش بیشتر شد. اثر غلظت‌های C<sub>1</sub> و C<sub>2</sub> این پلیمر یکسان بود و کمترین تاثیر را در کاهش آب فراهم گیاه بین سایر پلیمرها ایجاد کرد. این غلظت‌ها AW را ۵ درصد نسبت به شاهد کاهش دادند. پلیمر R نیز AW را کاهش داد. با افزایش غلظت این پلیمر میزان این کاهش بیشتر شد.

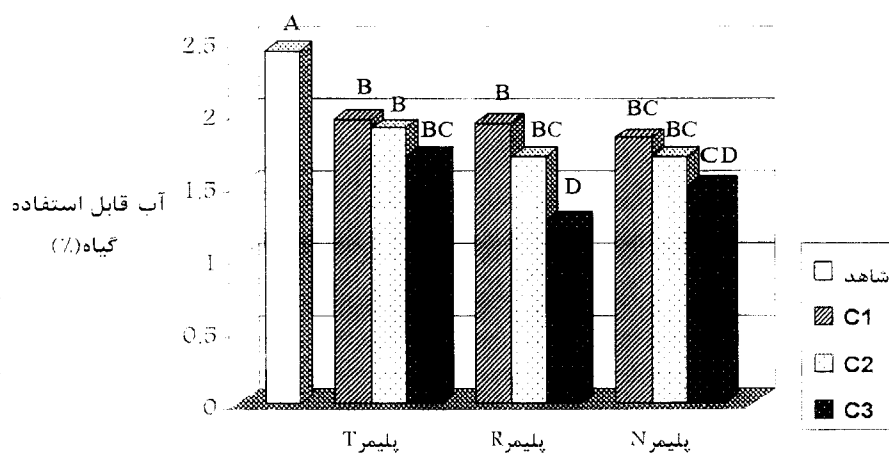
<sup>1</sup>-Available Water =A.W

غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  این پلیمر تاثیر یکسانی داشتند و بیشترین کاهش را در AW در بین سایر تیمارها ایجاد کردند. میزان این کاهش ۲۲ درصد نسبت به شاهد بود. پلیمر N، AW را کاهش داد. با افزایش غلظت میزان این کاهش بیشتر شد. اثر غلظت  $C_2$  پلیمر N با غلظت  $C_3$  پلیمر T و غلظت  $C_3$  پلیمر N با غلظت  $C_1$  پلیمر R یکسان بود.

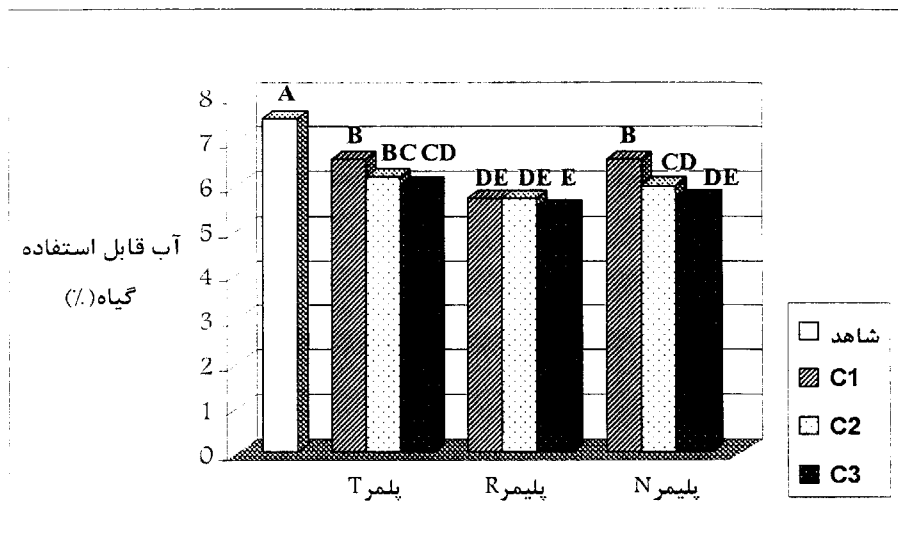
شکل‌های ۴-۲۵، ۴-۲۶، ۴-۲۷، ۴-۲۸ و ۴-۲۹ به ترتیب اثر پلیمرها بر AW در خاک‌های شن‌لومی، لومی، لوم‌رسی‌سیلتی، مازنی و سدیمی را نشان می‌دهند.

علت کاهش AW در این خاک‌ها در اثر تیمار شدن با پلیمر را می‌توان به ساختمان پلیمرها نسبت داد. از آنجا که پلیمرهای R و T غیر شبکه‌ای هستند لذا میزان نگهداری و جذب آب توسط آنها بسیار ناچیز بوده و بیشترین کاهش AW توسط آنها اتفاق افتاده است. در حالی که ساختمان شبکه‌ای پلیمر N باعث نگهداری بیشتر آب در مقایسه با دو پلیمر دیگر می‌گردد و در نتیجه کمترین کاهش در AW توسط پلیمر N ایجاد می‌گردد.

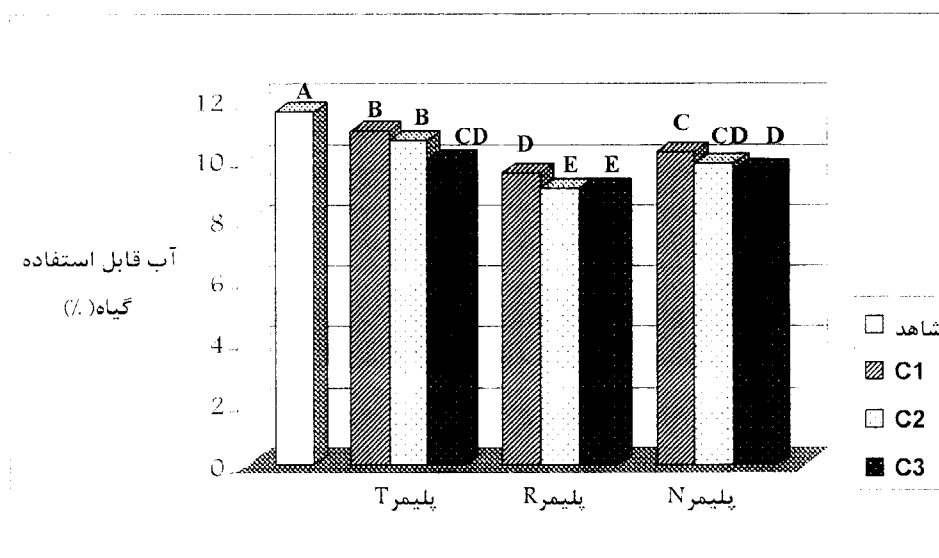
اوسترو و همکاران پلیمرها را بر دو نوع تقسیم نموده‌اند: گروه اول دارای ساختمان شبکه‌ای بوده و تمایل برای جذب آب در هنگام بارندگی و آبیاری داشته و در موقع خشکی با تخلیه آب، آن را در اختیار گیاه قرار می‌دهند. گروه دوم پلیمرهای غیر آبدوست بوده که تمایلی به جذب آب نداشته و ذرات خاک را به هم می‌چسبانند [۴].



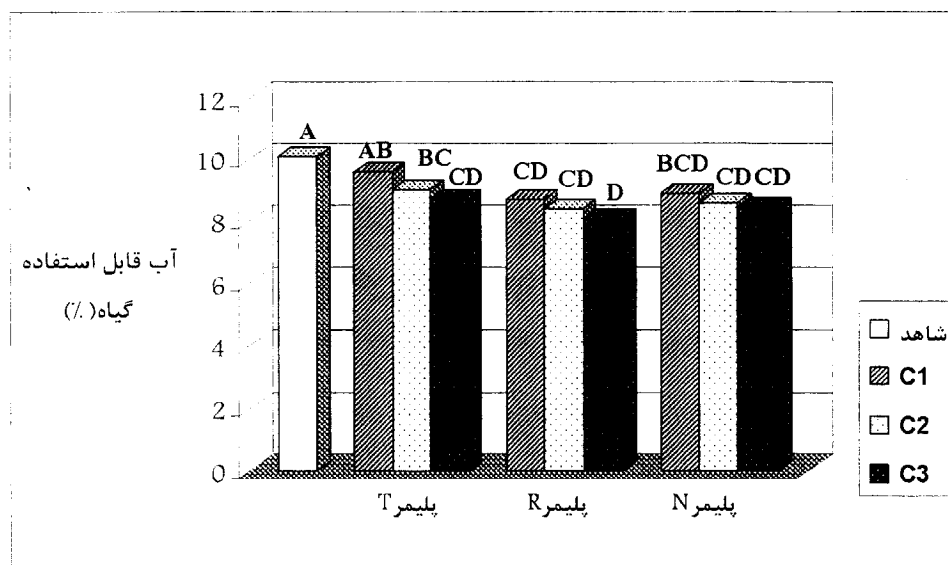
شکل ۴-۲۵- اثر تیمارهای پلیمر بر آب فراهم گیاه (۱۱۳) در خاک تن‌لومی



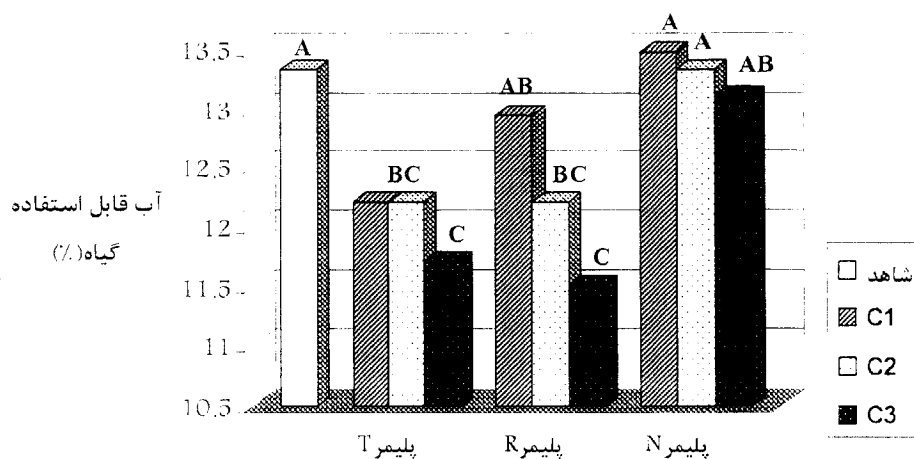
شکل ۴-۲۶- اثر تیمارهای پلیمر بر آب فراهم گیاه (A.v) در خاک لومی



شکل ۴-۲۷- اثر تیمارهای پلیمر بر آب فراهم گیاه (A.v) در خاک لوم رس سیلنی



شکل ۴-۲۸- اثر تیمارهای پلیمر بر آب فراهم گیاه (۱۳۳) در خاک مازنی



شکل ۴-۲۹- اثر تیمارهای پلیمر بر آب فراهم گیاه (۱۳۳) در خاک سدیمی



## ۲-۴- تاثیر پلیمرها بر ویژگی‌های شیمیایی خاک‌ها

تجزیه واریانس اثر پلیمرها بر ویژگی‌های شیمیایی خاک‌ها شامل قلیائیت (pH) و شوری (EC) در جدول‌های ۶-۴ و ۷-۴ آورده شده است.

جدول ۶-۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های لوم شنی، لومی و لوم رسی سیلتی شامل قلیائیت (pH) و شوری (EC)

F						منبع تغییرات	درجه آزادی
خاک لومی		خاک لوم رسی سیلتی		EC	pH		
۶۶۵۴/۱**	۲۰۷/۰**	۶۷۸/۷**	۹/۴**	۲/۴	۲۸/۰**	۲	نوع پلیمر
۱۴۸۶۹/۸**	۳۳۱/۲**	۶۹۵-/۲**	۴۴۵/۹**	۶۵۵/۴**	۱۰۴۸/۷**	۳	غلظت پلیمر
۲۷۹۹/۷**	۶۹/۳**	۵۴۱/۳**	۱۸/۲**	۱۰۰/۲**	۳۳/۶**	۶	اثر متقابل

\*\* و \* به ترتیب نشان دهنده تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشد

جدول ۷-۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های ماری و سدیمی شامل قلیائیت (pH) و شوری (EC)

F				منبع تغییرات	درجه آزادی
خاک ماری		خاک سدیمی			
۷۲۰/۳**	۹۸/۵**	۲۲۸/۸**	۶/۸**	۲	نوع پلیمر
۱۳۳۲۷/۶**	۲۳۷/۲**	۱۲۵۷/۳**	۵۱/۸**	۳	غلظت پلیمر
۲۸۹/۵**	۲۴/۶**	۲۲۹/۰**	۴/۶**	۶	اثر متقابل

\*\* و \* به ترتیب نشان دهنده تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشد

#### ۴-۲-۱- اثر پلیمرها بر قلیائیت

اثر نوع پلیمر بر pH خاک‌های تیمار شده با پلیمرها در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. در خاک‌های شن لومی، مارنی و سدیمی اضافه شدن پلیمرها pH را کاهش داد.

در خاک شن لومی کمترین کاهش pH به وسیله پلیمر T ایجاد شد. اثر پلیمر R و N یکسان بود و میزان کاهش pH به وسیله آنها بیش از پلیمر T بود. در خاک مارنی بیشترین کاهش با پلیمر N و کمترین کاهش با پلیمر R ایجاد شد. در خاک سدیمی پلیمر R بیشترین کاهش pH را ایجاد کرد. پس از پلیمر R پلیمرهای N و T قرار گرفتند. اثر آنها یکسان و فاقد اختلاف معنی‌دار بود.

در خاک‌های لومی و لوم رسی سیلتی تیمار کردن خاک‌ها با پلیمرها سبب افزایش pH گردید. در هر دو خاک مذکور اثر پلیمر T و N یکسان بود و بیشترین افزایش pH به وسیله آنها ایجاد شد. کمترین افزایش با پلیمر R ایجاد شد.

اثر غلظت پلیمرها بر pH خاک‌های مورد آزمایش در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد.

اثر متقابل پلیمرها و غلظت آنها بر pH نیز در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود. در خاک شن لومی بیشترین کاهش pH با غلظت C<sub>3</sub> پلیمر N و کمترین کاهش با غلظت C<sub>1</sub> پلیمر T ایجاد شد. در خاک مارنی بیشترین کاهش pH مربوط به غلظت C<sub>3</sub> پلیمر T بود. در خاک سدیمی غلظت C<sub>1</sub> پلیمر R بیشترین و غلظت C<sub>1</sub> پلیمر T کمترین کاهش pH را باعث شد.

در خاک‌های لومی و لوم رسی سیلتی بیشترین افزایش pH به وسیله غلظت C<sub>1</sub> پلیمر N و کمترین افزایش با غلظت C<sub>3</sub> پلیمر R ایجاد شد.

در جدول‌های ۴-۸، ۴-۹، ۴-۱۰، ۴-۱۱ و ۴-۱۲ به ترتیب مقادیر pH خاک‌های شن لومی، لومی، لوم رسی سیلتی، مارنی و سدیمی نشان داده شده است.

علت تغییر pH در اثر افزایش پلیمر به خاک‌ها به علت ویژگی‌های خود پلیمرها بوده که برخی قلیایی و برخی دیگر اسیدی هستند که در اثر انحلال در آب هیدرولیز شده و pH را به صورت جزئی تغییر می‌دهند. تغییرات مذکور هر چند ناچیز است در برخی موارد اثر آن با رس و آهک موجود در خاک از

بین رفته و یا ناچیز می‌گردد لیکن همانطور که مشاهده می‌شود تغییرات pH بسیار ناچیز و کوچک است و معنی‌دار بودن آن به علت دقت بالای آزمایش بوده است.

جذب پلیمرها بر سطح ذرات و مکانیسم‌های آن به وسیله آغاسی<sup>۱</sup> و لا و همکاران<sup>۲</sup> مورد بررسی قرار گرفته است.

#### ۴-۲-۲- اثر پلیمرها بر شوری خاک‌ها

در خاک مارنی اضافه شدن پلیمر باعث کاهش EC شد. در سایر خاک‌ها پلیمرها EC را افزایش دادند. اثر نوع پلیمر بر EC در خاک شن لومی معنی‌دار نشد. در خاک‌های لومی، لوم رسی سیلتی، مارنی و سدیمی این اثر در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد.

در خاک لومی، پلیمرهای مختلف EC خاک را نسبت به شاهد افزایش دادند. در خاک لوم رسی سیلتی اثر پلیمرهای N و R یکسان بود و بیشترین افزایش EC به وسیله آنها ایجاد شد. در خاک مارنی پلیمر N بیشترین کاهش و پلیمر T کمترین کاهش را در EC ایجاد کرد. در خاک سدیمی پلیمرهای R، T و N به ترتیب بیشترین افزایش را در EC ایجاد کردند.

اثر غلظت پلیمرها بر EC در همه خاک‌های مورد آزمایش در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. در خاک مارنی بیشترین کاهش EC با غلظت C<sub>۱</sub> و کمترین کاهش با غلظت C<sub>۴</sub> ایجاد شد. در سایر خاک‌ها با افزایش غلظت پلیمرها از C<sub>۱</sub> به C<sub>۴</sub> میزان افزایش EC بیشتر شد.

اثر متقابل پلیمرها و غلظت‌های آنها نیز در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد.

در خاک شن لومی بیشترین افزایش EC با غلظت C<sub>۱</sub> پلیمر R و کمترین افزایش با غلظت C<sub>۴</sub> این پلیمر ایجاد شد. در خاک‌های لومی و لوم رسی سلتی غلظت C<sub>۱</sub> پلیمر N بیشترین و غلظت C<sub>۴</sub> پلیمر T کمترین افزایش را در EC باعث شد. در خاک مارنی غلظت C<sub>۱</sub> پلیمر R بیشترین و غلظت C<sub>۴</sub> پلیمر T

1- Agassi

2-Lu et al

کمترین کاهش را ایجاد کرد. در خاک سدیمی نیز غلظت C<sub>3</sub> پلیمر R و غلظت C<sub>1</sub> پلیمر T به ترتیب بیشترین و کمترین افزایش را در EC این خاک ایجاد کردند.

در جدول های ۴-۸، ۴-۹، ۴-۱۰، ۴-۱۱ و ۴-۱۲ به ترتیب مقادیر EC خاک های شن لومی، لومی، لومرسی سیلتی، مارنی و سدیمی نشان داده شده است.

در خاک های شن لومی، لومی، لومرسی سیلتی و سدیمی علت افزایش شوری در اثر اضافه شدن پلیمرها این است که پلیمرهای اضافه شده خود نوعی نمک محلول هستند که با غلظت های مختلف به خاک های مورد آزمایش افزوده شده اند. در خاک مارنی به دلیل شوری بالای این خاک اضافه شدن پلیمرها با ایجاد پوششی بر املاح موجود در خاک از انحلال و انتشار آنها جلوگیری به عمل می آورند و از طرفی پلیمرها با افزایش قطر خاکدانه ها و ایجاد پوشش بر آنها سطح ویژه را کاهش داده و حلالیت نمک های خاک را کم می کنند و در نتیجه EC نسبت به شاهد کاهش زیادی دارد لیکن در خاک های تیمار شده با پلیمر با افزایش غلظت پلیمر، افزایش شوری که به علت نمک های محلول پلیمری است، مشاهده می شود.

جدول ۴-۸- اثر تیمارهای پلیمر بر pH و EC خاک شن لومی

پلیمر	شاهد	T	T	T	R	R	R	N	N	N
غلظت	0	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
pH	۷/۴۱	۷/۴۱	۷/۲۲	۷/۱۴	۷/۵۱	۷/۰۸	۷	۷/۴۴	۷/۱۲	۷
EC	۰/۱۹۵	۰/۲۲۱	۰/۲۶۱	۰/۲۶۲	۰/۲۰۹	۰/۲۳۴	۰/۳۰۴	۰/۲۵۰	۰/۲۵۱	۰/۲۵۸

جدول ۴-۹- اثر تیمارهای پلیمر بر pH و EC خاک لومی

پلیمر	شاهد	T	T	T	R	R	R	N	N	N
غلظت	0	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
pH	۶/۸۹	۷/۳۰	۷/۳۱	۷/۲۸	۷/۴۰	۷/۲۲	۷/۱۱	۷/۴۲	۷/۳۸	۷/۱۳
EC	۰/۲۹۶	۰/۲۸۵	۰/۳۸۰	۰/۳۸۸	۰/۲۸۹	۰/۴۲۲	۰/۴۶۶	۰/۳۰۱	۰/۳۸۲	۰/۵۴۰

جدول ۴-۱۰- اثر تیمارهای پلیمر بر pH و EC خاک لوم رسی سیلتی

پلیمر	شاهد	T	T	T	R	R	R	N	N	N
غلظت	0	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
pH	۷/۷۳	۸/۰۶	۸/۰۰	۸/۰۰	۷/۹۶	۷/۶۸	۷/۶۵	۸/۳۰	۸/۰۴	۷/۷۴
EC	۰/۳۸۶	۰/۳۸۲	۰/۳۸۹	۰/۴۱۰	۰/۴۰۰	۰/۴۵۰	۰/۵۱۹	۰/۴۰۸	۰/۴۲۵	۰/۵۸۱

جدول ۴-۱۱- اثر تیمارهای پلیمر بر pH و EC خاک ماری

پلیمر	شاهد	T	T	T	R	R	R	N	N	N
غلظت	0	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
pH	۷/۳۰	۷/۴۰	۷/۳۱	۷/۲۰	۷/۳۱	۷/۲۸	۷/۲۱	۷/۴۰	۷/۲۹	۷/۲۷
EC	۱/۹۰۳	۱/۵۷۷	۱/۸۰۳	۱/۸۴۰	۱/۱۰	۱/۸۹۳	۱/۹۱۷	۱/۲۹۳	۱/۵۰۴	۱/۴۹۷

جدول ۴-۱۲- اثر تیمارهای پلیمر بر pH و EC خاک سدیمی

پلیمر	شاهد	T	T	T	R	R	R	N	N	N
غلظت	0	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
pH	۸/۹۳	۸/۹۴	۸/۷۹	۸/۷۱	۸/۷۶	۸/۷۰	۸/۴۵	۸/۸۲	۸/۸۰	۸/۷۲
EC	۰/۲۷۸	۰/۷۹۲	۱/۲۶۳	۱/۲۰۳	۱/۲۰۳	۱/۲۹۰	۱/۳۲۰	۰/۸۲۰	۱/۰۲۳	۱/۲۵۰

## ۴-۳- تاثیر پلیمرها بر رشد گیاه

نتایج تجزیه واریانس اثر پلیمرها بر شاخص‌های رشد گیاه شامل درصد جوانه‌زنی (G)، زیتوده هوایی (Stem-B)، زیتوده ریشه (Root-B) و زیتوده کل (Total-B) در جدول‌های ۴-۱۳، ۴-۱۴، ۴-۱۵، ۴-۱۶ و ۴-۱۷ آورده شده است.

جدول ۴-۱۳- منابع تغییر و تاثیر آنها بر شاخص‌های رشد گیاه شامل درصد جوانه‌زنی (G)، زیتوده هوایی (Stem-B)، زیتوده ریشه (Root-B) و زیتوده کل (Total-B) در خاک شن لومی

منبع تغییرات	درجه آزادی	F		
		Total-B	Root-B	Stem-B
نوع پلیمر	۲	۵/۶*	۳/۱	۷/۹**
غلظت پلیمر	۳	۱۰/۵**	۲/۳	۳۸/۹**
اثر متقابل	۶	۱/۵	۱/۲	۲/۰

\*\* و \* به ترتیب نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشد

جدول ۴-۱۴- منابع تغییر و تاثیر آنها بر شاخص‌های رشد گیاه شامل درصد جوانه‌زنی (G)، زیتوده هوایی (Stem-B)، زیتوده ریشه (Root-B) و زیتوده کل (Total-B) در خاک لومی

منبع تغییرات	درجه آزادی	F		
		Total-B	Root-B	Stem-B
نوع پلیمر	۲	۱۲/۹**	۳/۹*	۲۶/۱**
غلظت پلیمر	۳	۳/۹*	۲/۱	۴/۷*
اثر متقابل	۶	۲/۲	۱/۳	۴/۵**

\*\* و \* به ترتیب نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشد

جدول ۴-۱۵- منابع تغییر و تاثیر آنها بر شاخص‌های رشد گیاه شامل درصد جوانه‌زنی (G)، زیتوده هوایی (Stem-B)، زیتوده ریشه (Root-B) و زیتوده کل (Total-B) در خاک لوم رسی سیلتی

F				درجه آزادی	منبع تغییرات
Total-B	Root-B	Stem-B	G		
۴۸/۳**	۴۶/۱**	۲۹/۴**	۱۲/۹**	۲	نوع پلیمر
۵۹/۶**	۵۰/۷**	۴۱/۰**	۱۱۰/۳**	۳	غلظت پلیمر
۳۵/۶**	۲۸/۰**	۲۷/۰**	۴/۸**	۶	اثر متقابل

\*\* و \* به ترتیب نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشد

جدول ۴-۱۶- منابع تغییر و تاثیر آنها بر شاخص‌های رشد گیاه شامل درصد جوانه‌زنی (G)، زیتوده هوایی (Stem-B)، زیتوده ریشه (Root-B) و زیتوده کل (Total-B) در خاک ماری

F				درجه آزادی	منبع تغییرات
Total-B	Root-B	Stem-B	G		
۶/۷**	۰/۶	۴/۵*	۵۰/۳**	۲	نوع پلیمر
۱/۷	۰/۲	۱/۵	۵۵/۰**	۳	غلظت پلیمر
۸/۹**	۸/۳**	۱/۸	۷/۸**	۶	اثر متقابل

\*\* و \* به ترتیب نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشد

جدول ۴-۱۷- منابع تغییر و تاثیر آنها بر شاخص‌های رشد گیاه شامل درصد جوانه‌زنی (G)، زیتوده هوایی (Stem-B)، زیتوده ریشه (Root-B) و زیتوده کل (Total-B) در خاک سدیمی

F				درجه آزادی	منبع تغییرات
Total-B	Root-B	Stem-B	G		
۴۳/۶**	۴۱/۲**	۱۳۹/۱**	۳۴۷/۰**	۲	نوع پلیمر
۴۱/۷**	۴۲/۳**	۱۲۰/۲**	۱۵۱/۵**	۳	غلظت پلیمر
۱۸/۱**	۲۶/۵**	۸۹/۵**	۳۵/۴**	۶	اثر متقابل

\*\* و \* به ترتیب نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشد

#### ۴-۳-۱- اثر پلیمرها بر درصد جوانه‌زنی

پلیمرها درصد جوانه‌زنی گیاه را در خاک‌های شن لومی، لومی و لوم رسی سیلتی کاهش دادند ولی در خاک‌های ماری و سدیمی پلیمرها سبب افزایش درصد جوانه‌زنی گیاه شدند. اثر پلیمرها بر درصد جوانه‌زنی خاک‌های مورد مطالعه در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد.

در خاک شن لومی بیشترین کاهش در جوانه‌زنی به وسیله پلیمر R ایجاد شد. اثر پلیمرهای T و N یکسان بود و پس از پلیمر R قرار گرفت. در خاک لومی پلیمر N درصد جوانه‌زنی را زیاد کرد. دو پلیمر دیگر جوانه‌زنی را کاهش دادند. میزان کاهش پلیمر R بیش از پلیمر T بود. در خاک لوم رسی سیلتی اثر پلیمرهای T و N یکسان بود و بیشترین کاهش در جوانه‌زنی به وسیله آنها ایجاد شد. اثر پلیمر R در کاهش جوانه‌زنی کمتر از آنها بود.

در خاک ماری بیشترین افزایش در جوانه‌زنی توسط پلیمر N ایجاد شد. پلیمرهای R و T پس از پلیمر N قرار گرفتند و اثر آنها یکسان و فاقد اختلاف معنی‌دار بود. در خاک سدیمی پلیمرهای T و N جوانه‌زنی را افزایش دادند و اثر آنها یکسان بود.

اثر غلظت پلیمرها بر درصد جوانه‌زنی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. در خاک شن لومی اختلاف بین تیمارها و شاهد معنی‌دار بود ولی بین غلظت‌های پلیمر اثر یکسان و فاقد اختلاف بود. در خاک لومی افزایش غلظت پلیمرها سبب کاهش بیشتر جوانه‌زنی شد. در خاک لوم رسی سیلتی بیشترین کاهش جوانه‌زنی با غلظت C<sub>۱</sub> ایجاد شد و افزایش غلظت، جوانه‌زنی را نسبت به غلظت C<sub>۱</sub> افزایش داد. در خاک ماری بیشترین افزایش در جوانه‌زنی با غلظت C<sub>۱</sub> پلیمرها ایجاد شد و با افزایش غلظت پلیمرها جوانه‌زنی نسبت به غلظت C<sub>۱</sub> کاهش یافت. در خاک سدیمی افزایش غلظت پلیمر جوانه‌زنی را افزایش داد.

اثر متقابل پلیمرها و غلظت‌های آنها بر درصد جوانه‌زنی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد.



در خاک شن لومی بیشترین کاهش در جوانه‌زنی به وسیله غلظت  $C_3$  پلیمر R به وجود آمد. میزان این کاهش ۳۱ درصد نسبت به شاهد بود. کمترین کاهش نیز با غلظت  $C_2$  پلیمر N ایجاد شد. این مقدار ۵ درصد نسبت به شاهد بود. در این خاک اثر غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  پلیمرها یکسان بود.

در خاک لومی بیشترین کاهش در جوانه‌زنی با غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  پلیمر R ایجاد شد. اثر این دو غلظت یکسان و سبب کاهش ۴۱ درصدی جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد. کمترین کاهش جوانه‌زنی در این خاک نیز مربوط به غلظت‌های  $C_2$  و  $C_1$  پلیمر T بود که فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد گردید. در این خاک اثر غلظت‌های  $C_1$  و  $C_3$  پلیمر N نیز یکسان و فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد بود.

در خاک لوم رسی سیلتی بیشترین کاهش جوانه‌زنی با غلظت  $C_1$  پلیمر N ایجاد گردید. میزان این کاهش ۶۵ درصد کمتر از شاهد بود. کمترین کاهش نیز با غلظت  $C_2$  پلیمر R به میزان ۲۵ درصد ایجاد شد. در این خاک بین غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  پلیمر T اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. همچنین اثر غلظت  $C_2$  پلیمر N با غلظت  $C_1$  پلیمرهای T و R یکسان شد.

در خاک ماری بیشترین افزایش در جوانه‌زنی با غلظت  $C_1$  پلیمر N به میزان ۵۵ درصد نسبت به شاهد ایجاد شد. در این خاک هر چند پلیمر T با غلظت‌های  $C_1$  و  $C_2$  سبب افزایش جوانه‌زنی شد ولی غلظت  $C_3$  آن ۱۵ درصد جوانه‌زنی را کاهش داد. در این خاک اثر غلظت  $C_1$  پلیمرهای T و R یکسان بود. غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  پلیمر R نیز دارای اثر یکسان و فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد بودند.

در خاک سدیمی بیشترین افزایش جوانه‌زنی به میزان ۶۵ درصد با غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  پلیمر N ایجاد شد. در این خاک غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  پلیمر R با شاهد اختلاف نداشتند. اثر غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  پلیمر N نیز با غلظت‌های مشابه شان در پلیمر T یکسان بود.

شکل‌های ۴-۳۰، ۴-۳۱، ۴-۳۲، ۴-۳۳ و ۴-۳۴ به ترتیب تغییرات جوانه‌زنی در اثر افزایش پلیمرها به خاک‌های شن لومی، لومی، لوم‌رسی سیلتی، ماری و سدیمی را نشان می‌دهد.

همانطور که مشاهده شد تاثیر پلیمرها بر خاک‌های مختلف آزمایش شده متفاوت بود. در خاک شن لومی، لومی و لوم رسی سیلتی که از نظر ساختمانی فاقد مشکل خاصی هستند اضافه شدن پلیمرها میزان رشد گیاه را کاهش داد. علت این مسئله را می‌توان در افزایش نفوذپذیری خاک‌ها در اثر اضافه شدن پلیمرها و از طرف دیگر عدم توانایی پلیمرها در نگهداری آب و درکل کاهش آب فراهم گیاه ذکر کرد.

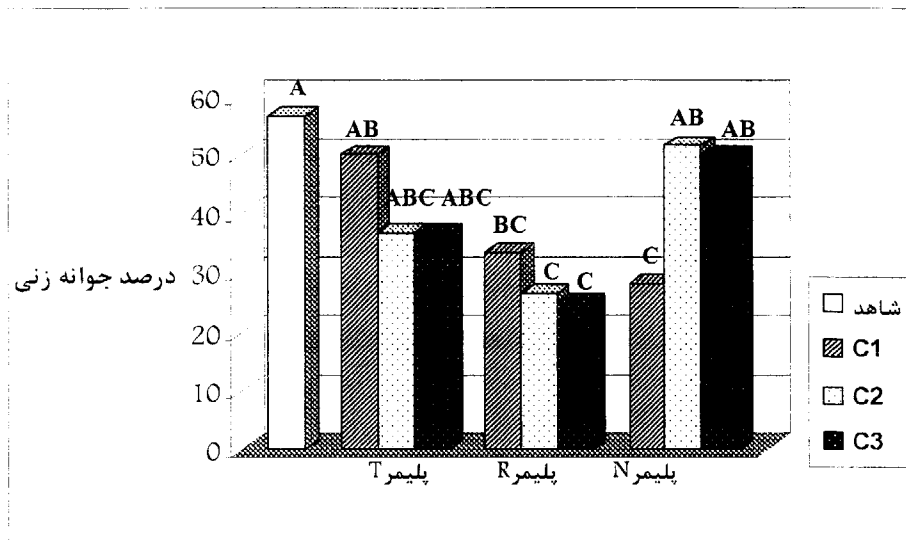
در خاک مارنی با توجه به بالا بودن غلظت املاح، پلیمرها نوعی پوشش بر سطح نمک‌ها ایجاد و حلالیت آنها را کاهش دادند. ضمن این عمل بهبود ویژگی‌های فیزیکی در این خاک میزان رشد گیاه را زیاد کرد. در این خاک اثر غلظت‌های پایین پلیمر موثرتر از غلظت‌های بالا بود. علت این است که غلظت‌های پایین ضمن ایجاد پوشش بر املاح، آب قابل استفاده گیاه را کمتر از غلظت‌های بالا کاهش می‌دهد.

در خاک سدیمی نیز بهبود ویژگی‌های فیزیکی و در نتیجه تهویه بهتر سبب افزایش جوانه‌زنی و رشد گیاه در این خاک شد. اثر پلیمرها بر بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاهان به صورت جداگانه توسط پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است. سوچکا و همکاران<sup>۱</sup> و والاس و والاس<sup>۲</sup> از جمله پژوهشگرانی بودند که دریافته‌اند پلیمرها را عامل نفوذ بهتر آب و اکسیژن و افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن برخی گیاهان زراعی مانند گوجه فرنگی، کاهو و ذرت معرفی کرده‌اند | ۱۳۶ و ۱۵۱|. به عقیده جری<sup>۳</sup> علت افزایش جوانه‌زنی و رشد گیاه تهویه بهتر خاک و در نتیجه بالا بودن فعالیت‌های میکروبی، تاخیر در تجزیه کودها و فراهم آوردن شرایط مناسب برای جذب برخی عناصر توسط گیاهان است | ۷۲|.

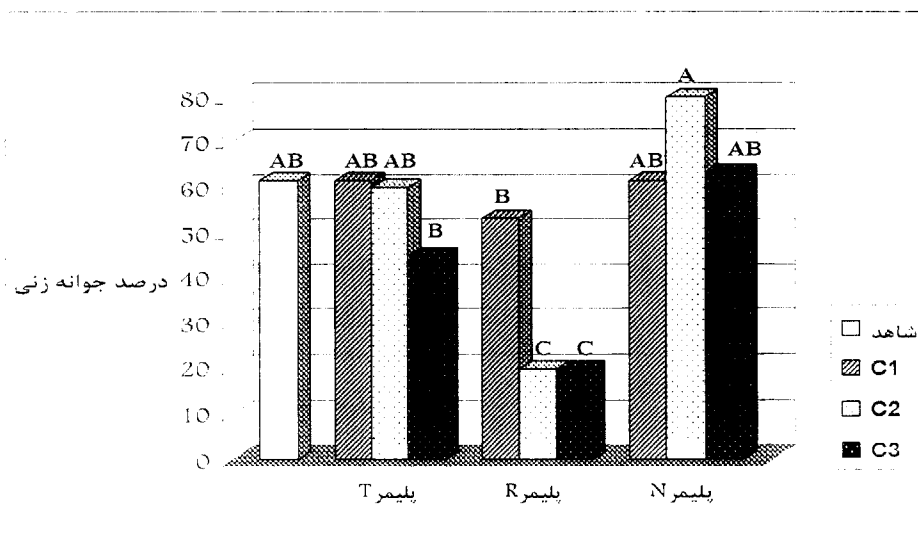
1- Sojka

3- Jhurry

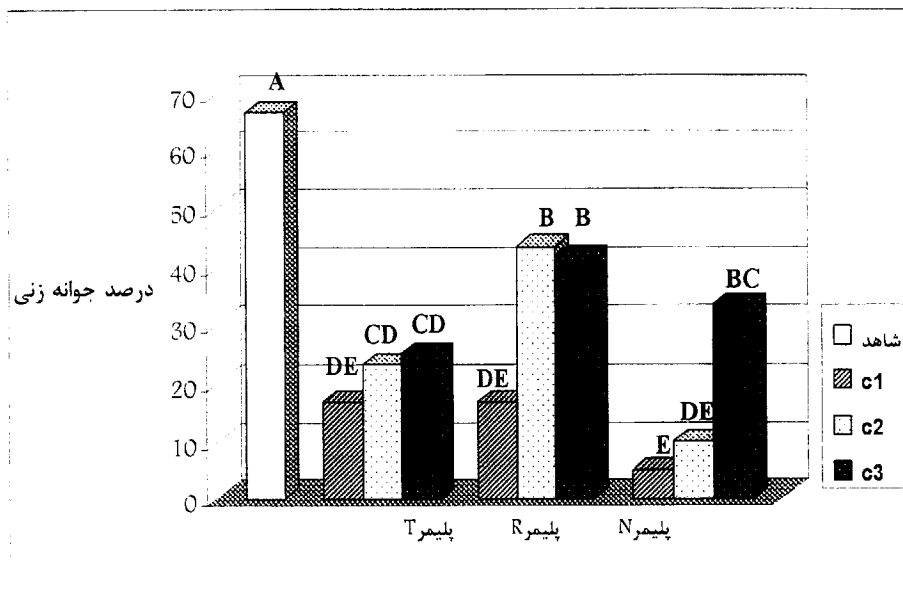
2- Wallace and Wallace



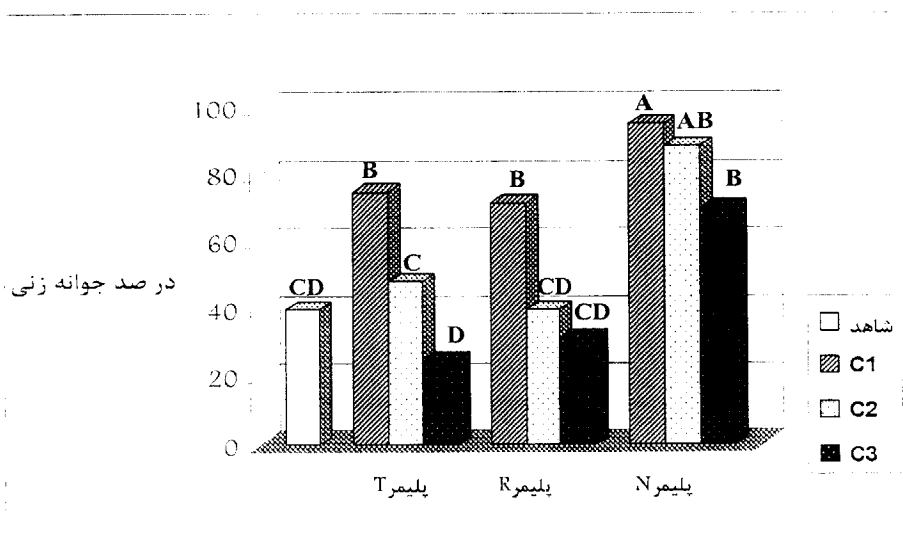
شکل ۴-۳۰- اثر تیمارهای پلیمر بر جوانه‌زنی در خاک شن لومی



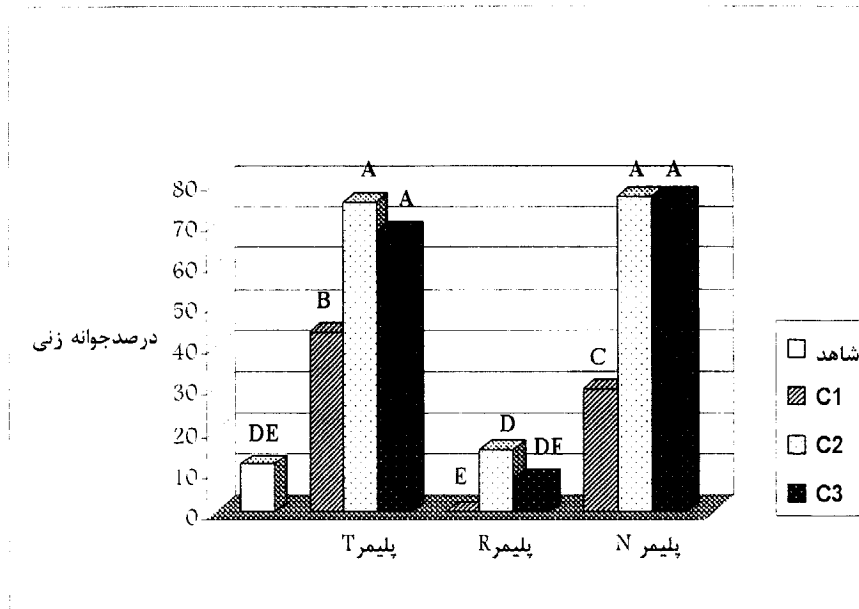
شکل ۴-۳۱- اثر تیمارهای پلیمر بر جوانه‌زنی در خاک لومی



شکل ۴-۳۲- اثر تیمارهای پلیمر بر جوانه‌زنی در خاک لوم رسی سیلتی



شکل ۴-۳۳- اثر تیمارهای پلیمر بر جوانه‌زنی در خاک ماری



شکل ۴-۳۴- اثر تیمارهای پلیمر بر جانانه زنی در خاک سدیمی

#### ۴-۳-۲- اثر پلیمرها بر زیتوده گیاهی

##### ۴-۳-۲-۱- اثر پلیمرها بر زیتوده هوایی

در خاک‌های شن لومی، لومی و لوم رسی سیلتی زیتوده هوایی در خاک‌های تیمار شده با پلیمر کاهش یافت. در خاک‌های ماری و سدیمی اثر پلیمرها بستگی به غلظت آنها داشت. اثر پلیمرها بر زیتوده هوایی در خاک‌های شن لومی، لومی، لوم رسی سیلتی و سدیمی در سطح آماری ۱ درصد و در خاک ماری در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار شد.

در خاک شن لومی و لومی بیشترین کاهش زیتوده هوایی با پلیمر R ایجاد شد و اثر پلیمرهای T و N یکسان بود. در خاک لوم رسی سیلتی بیشترین کاهش در زیتوده هوایی به وسیله پلیمر N ایجاد شد. اثر پلیمرهای T و R یکسان و فاقد اختلاف بود و پس از پلیمر N قرار گرفت. در خاک ماری پلیمر N بیشترین اثر و پلیمر R کمترین اثر را بر زیتوده هوایی ایجاد کرد. اثر پلیمر T بر زیتوده هوایی بین R و N

واقع شد. در خاک سدیمی پلیمر R زیتوده هوایی را کاهش داد. اثر پلیمر T و N بر زیتوده هوایی یکسان بود و اختلاف معنی‌دار نداشت. این دو پلیمر زیتوده هوایی را زیاد کردند.

اثر غلظت پلیمرها بر زیتوده گیاهی در خاک مازنی معنی‌دار نبود. این اثر در خاک‌های شن لومی، لوم رسی سیلتی و سدیمی در سطح آماری ۱ درصد و در خاک لومی در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار شد.

در خاک شن لومی و لومی بین غلظت‌های مختلف پلیمر اختلاف دیده نشد ولی اثرشان نسبت به شاهد معنی‌دار بود. در خاک لوم رسی سیلتی غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  بر زیتوده هوایی تاثیری نداشت و اختلاف آنها با شاهد معنی‌دار نشد. غلظت  $C_1$  زیتوده هوایی را کاهش داد. در خاک سدیمی غلظت  $C_1$  زیتوده هوایی را کاهش داد. غلظت  $C_2$  بیشترین افزایش را در زیتوده هوایی ایجاد کرد. بین غلظت  $C_3$  پلیمرها و شاهد اختلاف معنی‌دار دیده نشد.

اثر متقابل پلیمرها و غلظت آنها بر زیتوده هوایی در خاک‌های شن لومی و مازنی معنی‌دار نبود. این اثر در خاک‌های لومی، لوم رسی سیلتی و سدیمی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد.

در خاک لومی با افزایش غلظت پلیمر A، زیتوده هوایی کاهش یافت. پلیمرهای R و N نیز در غلظت‌های مختلف زیتوده هوایی را کاهش دادند. در خاک لوم رسی سیلتی با افزایش غلظت پلیمرهای T و N زیتوده هوایی کاهش یافت. در اثر افزایش غلظت پلیمر R زیتوده هوایی زیاد شد. در خاک سدیمی اثر پلیمر T با غلظت  $C_1$  فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد شد. غلظت‌های  $C_2$  و  $C_3$  آن زیتوده هوایی را نسبت به شاهد زیاد کردند. غلظت  $C_2$  آن بیشترین افزایش را در بین بقیه تیمارها ایجاد کرد. در تیمار پلیمر R با غلظت  $C_1$  زیتوده هوایی صفر بود. با غلظت  $C_2$  آن زیتوده هوایی زیاد شد. غلظت  $C_3$  آن زیتوده هوایی را کاهش داد. پلیمر N در غلظت‌های مختلف زیتوده هوایی را زیاد کرد.

در جدول‌های ۴-۱۸، ۴-۱۹، ۴-۲۰، ۴-۲۱ و ۴-۲۲ به ترتیب مقادیر زیتوده در خاک‌های تیمار شده شن لومی، لومی، لوم رسی سیلتی، مازنی و سدیمی به وسیله پلیمرها نشان داده شده است.

## ۴-۳-۲- اثر پلیمرها بر زیتوده ریشه

اثر نوع پلیمر بر زیتوده ریشه در خاک‌های شن لومی و مارنی معنی‌دار نشد. این اثر در خاک لومی در سطح آماری ۵ درصد و در خاک‌های لوم رسی سیلتی و سدیمی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. در خاک لومی تیمار شدن خاک‌ها با پلیمرها سبب کاهش زیتوده ریشه شد. بیشترین کاهش در مقدار زیتوده ریشه توسط پلیمر R و کمترین کاهش به وسیله پلیمر N ایجاد شد. اثر پلیمر T بر زیتوده ریشه بین دو پلیمر R و N واقع شد.

در خاک لوم رسی سیلتی پلیمر R زیتوده ریشه را افزایش داد. پلیمر T سبب کاهش زیتوده ریشه شد. کمترین کاهش به وسیله پلیمر N ایجاد شد.

در خاک سدیمی زیتوده ریشه در اثر تیمار خاک‌ها با پلیمر R کم شد. پلیمرهای T و N زیتوده ریشه را زیاد کردند. اثر آنها یکسان و بین میانگین آنها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد.

اثر غلظت پلیمرها بر زیتوده ریشه در خاک‌های لوم رسی سیلتی و سدیمی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. این اثر در خاک‌های شن لومی، لومی و مارنی معنی‌دار نبود.

در خاک لوم رسی سیلتی غلظت‌های مختلف، سبب تغییر در مقدار زیتوده ریشه شدند. غلظت‌های C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد بودند. غلظت C<sub>1</sub> پلیمرها بیوماس ریشه را کاهش داد. در خاک سدیمی غلظت C<sub>1</sub> پلیمرها زیتوده ریشه را کاهش داد. زیتوده ریشه به وسیله غلظت‌های C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> پلیمرها افزایش یافت. اثر این دو غلظت یکسان و فاقد اختلاف معنی‌دار شد.

اثر متقابل پلیمرها و غلظت‌های آنها بر زیتوده ریشه در خاک‌های شن لومی و لومی معنی‌دار نبود. این اثر در خاک‌های لوم رسی سیلتی، مارنی و سدیمی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد.

در خاک لوم رسی سیلتی زیتوده ریشه توسط پلیمر T کاهش یافت. اثر غلظت‌های مختلف این پلیمر یکسان بود. پلیمر R در غلظت C<sub>1</sub> زیتوده ریشه را کاهش داد. ولی غلظت‌های C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> آن زیتوده ریشه را افزایش دادند. میزان اثر افزایش غلظت C<sub>1</sub> بر زیتوده ریشه فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد بود. پلیمر N نیز زیتوده ریشه را کاهش داد.

در خاک ماری پلیمر T زیتوده ریشه را افزایش داد. غلظت C<sub>1</sub> آن فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد بود. غلظت C<sub>2</sub> زیتوده را افزایش داد. اثر پلیمر R در غلظت C<sub>1</sub> با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت. غلظت‌های C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> آن زیتوده ریشه را کاهش داد. اثر این دو غلظت یکسان و فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر شد. همچنین اثر این دو غلظت با غلظت C<sub>3</sub> پلیمر T یکسان بود. اثر پلیمر N در غلظت C<sub>1</sub> فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد شد. غلظت C<sub>3</sub> این پلیمر بیشترین افزایش را در زیتوده ریشه‌ای در بین سایر تیمارها ایجاد کرد.

در خاک سدیمی پلیمر T با غلظت C<sub>1</sub> تغییری در زیتوده ریشه ایجاد نکرد. اثر این غلظت با شاهد فاقد اختلاف معنی‌دار شد. با غلظت‌های C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> آن زیتوده ریشه زیاد شد. پلیمر R تاثیری بر زیتوده ریشه نداشت و اثر غلظت‌های آن فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد شد. پلیمر N با غلظت‌های مختلف زیتوده ریشه را افزایش داد.

در جدول‌های ۴-۱۸، ۴-۱۹، ۴-۲۰، ۴-۲۱ و ۴-۲۲ به ترتیب مقادیر زیتوده در خاک‌های تیمار شده شن‌لومی، لومی، لومرسی‌سیلتی، ماری و سدیمی به وسیله پلیمرها نشان داده شده است.

#### ۴-۳-۲-۳- اثر پلیمرها بر زیتوده کل

اثر نوع پلیمر بر زیتوده کل در خاک شن لومی در سطح آماری ۵ درصد و در سایر خاک‌های مورد آزمایش در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد.

در خاک شن لومی پلیمرها سبب کاهش زیتوده کل نسبت به شاهد شدند.

در خاک لومی پلیمرها سبب کاهش زیتوده کل نسبت به شاهد شدند. بیشترین کاهش توسط پلیمر R ایجاد شد ولی اثر پلیمرهای T و N یکسان و فاقد اختلاف معنی‌دار بود. آنها پس از پلیمر R باعث کاهش زیتوده کل شدند.



در خاک لوم رسی سیلنتی پلیمرها زیتوده کل را در این خاک کاهش دادند. بیشترین کاهش در زیتوده کل به وسیله پلیمر N ایجاد شد و کمترین کاهش توسط پلیمرهای T و R به وجود آمد. اثر این دو پلیمر از نظر آماری یکسان بود.

در خاک مارنی بیشترین افزایش در زیتوده کل به وسیله پلیمر N ایجاد شد. پس از پلیمر N، پلیمر T، زیتوده را افزایش داد. پلیمر R در این خاک سبب کاهش زیتوده نسبت به شاهد شد.

در خاک سدیمی پلیمر R زیتوده کل را در این خاک کاهش داد. پلیمرهای T و N زیتوده کل را افزایش دادند. اثر آنها بر زیتوده کل یکسان و فاقد اختلاف معنی‌دار بود.

اثر غلظت پلیمرها بر زیتوده کل در خاک مارنی معنی‌دار نبود. این اثر در خاک لومی در سطح آماری ۵ درصد و در بقیه خاک‌ها در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد.

در خاک شن لومی این غلظت‌ها نسبت به شاهد زیتوده کل را کاهش دادند. در خاک لومی کمترین کاهش با غلظت C<sub>1</sub> و بیشترین کاهش با غلظت‌های C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> ایجاد شد. این دو غلظت فاقد اختلاف معنی‌دار شدند. در خاک لوم رسی سیلنتی غلظت‌های C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد بود. غلظت C<sub>1</sub> پلیمرها زیتوده کل را کاهش داد. در خاک سدیمی غلظت C<sub>1</sub> زیتوده کل را در این خاک کاهش داد. زیتوده کل در اثر غلظت‌های C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> پلیمرها افزایش یافت.

اثر متقابل پلیمرها و غلظت‌های آنها بر زیتوده کل در خاک‌های شن لومی و لومی معنی‌دار نبود. در سایر خاک‌ها این اثر در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد.

در خاک لوم رسی سیلنتی زیتوده کل توسط پلیمر T کاهش یافت. اثر غلظت‌های مختلف این پلیمر یکسان و بدون اختلاف معنی‌دار بود. پلیمر R در غلظت C<sub>1</sub> زیتوده کل را کاهش داد و اثر آن مانند غلظت‌های پلیمر T بود ولی غلظت‌های C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> آن زیتوده را افزایش دادند. افزایش زیتوده کل در تیمار غلظت C<sub>3</sub> فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد بود. پلیمر N نیز زیتوده کل را کاهش داد. غلظت C<sub>2</sub> آن فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد شد و اثر غلظت C<sub>1</sub> آن با غلظت C<sub>1</sub> پلیمر R و غلظت‌های مختلف پلیمر A یکسان بود.

در خاک مازنی پلیمر T در غلظت C<sub>1</sub> فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد بود. غلظت C<sub>2</sub> زیتوده کل را افزایش داد لیکن غلظت C<sub>3</sub> زیتوده را کم کرد. پلیمر R در غلظت C<sub>1</sub> اختلاف معنی‌دار با شاهد نداشت. با افزایش غلظت این پلیمر زیتوده کل کاهش یافت اثر غلظت‌های C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> آن یکسان و بدون اختلاف و همانند اثر غلظت C<sub>3</sub> پلیمر T بود. پلیمر N با غلظت‌های C<sub>1</sub> و C<sub>3</sub> زیتوده را افزایش دادند ولی اختلاف بین آنها معنی‌دار نبود. غلظت C<sub>2</sub> موجب کاهش زیتوده شد و اثر آن مانند غلظت C<sub>3</sub> پلیمر T و C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> پلیمر R بود.

در خاک سدیمی پلیمر T در غلظت‌های C<sub>1</sub> و C<sub>3</sub> فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد شد. غلظت C<sub>2</sub> آن زیتوده کل را زیاد کرد. در تیمار پلیمر R با غلظت C<sub>1</sub> زیتوده کل صفر بود. غلظت‌های C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> آن فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد شد. پلیمر N، غلظت‌های C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> آن زیتوده کل را نسبت به شاهد زیاد کردند. اثر آنها بر زیتوده کل یکسان بوده و اختلاف معنی‌دار بین آنها دیده نشد.

در جدول‌های ۴-۱۸، ۴-۱۹، ۴-۲۰، ۴-۲۱ و ۴-۲۲ به ترتیب مقادیر زیتوده در خاک‌های تیمار شده شن‌لومی، لومی، لوم‌رسی‌سیلتی، مازنی و سدیمی به وسیله پلیمرها نشان داده شده است. مزایای اصلاح‌کننده‌های خاک شامل بهبود دادن میزان رطوبت خاک، بهبود بخشیدن ذخیره عناصر غذایی، کم کردن فرسایش پذیری به وسیله باد و باران و ایجاد یک محیط مناسب برای تولید زیتوده می‌باشد

جدول ۴-۱۸- اثر تیمارهای پلیمر بر زیتوده (گرم) در خاک شن‌لومی

پلیمر	شاهد	T	T	T	R	R	R	N	N	N
غلظت	0	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
زیتوده هوایی	۱/۲۴۱	۱/۱۴۵	۱/۱۱۶	۱/۰۸۹	۱/۰۳۹	۱/۰۳۹	۱/۰۶۳	۱/۱۱۸	۱/۰۷۸	۱/۱۴۱
زیتوده ریشه	۱/۱۹۷	۱/۱۷۲	۱/۲۴۰	۱/۱۷۲	۱/۱۱۳	۱/۱۱۴	۱/۱۳۷	۱/۱۱۱	۱/۲۰۴	۱/۲۲۶
زیتوده کل	۲/۴۳۸	۲/۳۱۷	۲/۳۵۶	۲/۲۶۱	۲/۱۵۲	۲/۱۵۳	۲/۲۰۰	۲/۲۲۹	۲/۲۸۳	۲/۳۶۷

جدول ۴-۱۹ اثر تیمارهای پلیمر بر زیتوده (گرم) در خاک لومی

پلیمر	شاهد	T	T	T	R	R	R	N	N	N
غلظت	0	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
زیتوده هوایی	۱/۱۸۹	۱/۱۸۵	۱/۱۴۵	۱/۱۱۷	۱/۰۶۱	۱/۰۰۰	۱/۰۲۶	۱/۱۷۴	۱/۲۶۲	۱/۱۸۴
زیتوده ریشه	۱/۲۴۶	۱/۲۱۱	۱/۱۸۰	۱/۱۰۴	۱/۱۴۶	۱/۱۰۰	۱/۰۷۳	۱/۲۲۵	۱/۱۸۶	۱/۲۹۹
زیتوده کل	۲/۴۲۶	۲/۳۹۶	۲/۳۲۵	۲/۲۲۱	۲/۲۰۷	۲/۱۰۰	۲/۰۹۹	۲/۳۹۹	۲/۴۴۸	۲/۴۸۳

جدول ۴-۲۰ - اثر تیمارهای پلیمر بر زیتوده (گرم) در خاک لوم رسی سیلتی

پلیمر	شاهد	T	T	T	R	R	R	N	N	N
غلظت	0	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
زیتوده هوایی	۱/۱۰۳	۱/۰۴۳	۱/۰۳۳	۱/۰۳۲	۱/۰۵۴	۱/۱۳۹	۱/۱۰۷	۰/۵۷۰	۱/۰۹۴	۱/۰۶۱
زیتوده ریشه	۱/۱۰۰	۱/۰۷۰	۱/۰۶۸	۱/۰۶۱	۱/۰۲۰	۱/۱۹۷	۱/۱۱۶	۰/۵۵۳	۱/۰۴۹	۱/۰۶۰
زیتوده کل	۲/۲۰۴	۲/۱۱۳	۲/۱۰۱	۲/۰۹۳	۲/۰۷۴	۲/۳۳۶	۲/۲۲۳	۱/۱۲۴	۲/۱۴۳	۲/۱۲۱

جدول ۴-۲۱ - اثر تیمارهای پلیمر بر زیتوده (گرم) در خاک مازنی

پلیمر	شاهد	T	T	T	R	R	R	N	N	N
غلظت	0	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
زیتوده هوایی	۱/۱۱۲	۱/۱۲۲	۱/۱۵۵	۱/۰۸۳	۱/۰۸۰	۱/۰۳۹	۱/۰۲۵	۱/۲۷۲	۱/۰۶۸	۱/۱۷۸
زیتوده ریشه	۱/۲۰۴	۱/۲۱۶	۱/۳۴۰	۱/۰۸۶	۱/۲۴۴	۱/۱۷۱	۱/۱۵۳	۱/۱۸۵	۱/۱۴۶	۱/۳۴۸
زیتوده کل	۲/۳۱۶	۲/۳۳۸	۲/۴۹۵	۲/۱۶۹	۲/۳۲۴	۲/۲۱۰	۲/۱۷۸	۲/۴۵۷	۲/۲۱۴	۲/۵۲۶

جدول ۴-۲۲ - اثر تیمارهای پلیمر بر زیتوده (گرم) در خاک سدیمی

پلیمر	شاهد	T	T	T	R	R	R	N	N	N
غلظت	۰	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
زیتوده هوایی	۱/۰۳	۱/۰۲۴	۱/۱۸۳	۱/۰۷۴	۰/۰۰۰	۱/۰۵۴	۱/۰۱۴	۱/۰۷۹	۱/۱۷۰	۱/۰۸۶
زیتوده ریشه	۱/۰۱۳	۱/۰۷۱	۱/۶۴۶	۱/۱۸۴	۰/۰۰۰	۱/۰۰۶	۱/۰۱۲	۱/۱۷۷	۱/۱۶۲	۱/۳۶۱
زیتوده کل	۲/۰۴۳	۲/۰۹۵	۲/۷۹۵	۲/۲۵۸	۰/۰۰۰	۲/۰۶۰	۲/۰۲۶	۲/۲۵۶	۲/۳۳۲	۲/۴۴۷

#### ۴-۴- توصیه‌ها و پیشنهادات

۱- با توجه به نتایج به دست آمده، اثر پلیمرهای T و R در بهبود ویژگی‌های فیزیکی بیش از پلیمر N بوده و لذا در مناطقی که بهبود ویژگی‌های فیزیکی مدنظر است توصیه می‌شود از این دو پلیمر پس از انجام آزمایشات اولیه استفاده شود.

۲- اثر پلیمر N بر افزایش رشد گیاه بیش از دو پلیمر دیگر بوده و در مناطقی که افزایش پوشش گیاهی بر اصلاح برتری دارد توصیه می‌شود، از این پلیمر استفاده شود.

۳- در خاک‌های سدیمی که دارای میزان رس قابل انتشار بالایی هستند با توجه به نتایج به دست آمده توصیه می‌شود از پلیمرهای T و R که میزان رس قابل انتشار را بیشتر کاهش داده‌اند، استفاده شود.

۴- برای خاک‌های شنی با توجه به عدم چسبندگی ذرات و وجود فرسایش بادی توصیه می‌شود از پلیمرهای T و R که در افزایش پایداری و اندازه ذرات موثرتر بوده‌اند، استفاده شود.

۵- بهترین راه تثبیت خاک‌های ماری افزایش پوشش گیاهی است لذا در این خاک‌ها برای نیل به این هدف استفاده از پلیمر N بر دو پلیمر دیگر برتری دارد.

۶- با توجه به اینکه پلیمرها روی خاک‌های مختلف اثر متفاوتی دارند، توصیه می‌شود قبل از کاربرد در خاک، آزمایش‌های اولیه برای تعیین بهترین پلیمر صورت گیرد.

- ۷- پیشنهاد می‌شود، به عنوان طرح‌های پژوهشی دینامیک این پلیمرها در خاک اندازه‌گیری شود.
- ۸- با توجه به آزمایشگاهی بودن این پژوهش، پیشنهاد می‌شود، به عنوان طرح پژوهشی اثر نور، دما، اشعه ماورا بنفش و سرعت تجزیه پلیمرها در محیط طبیعی مورد بررسی قرار گیرد.

## منابع

- ۱- اخپانی، ا. ۱۳۷۸. اثر مواد آلی موجود در کودهای حیوانی در اصلاح خاک‌های شور و سدیمی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- ۲- اسکندری، ذ. ۱۳۷۴. مقایسه دو وضعیت فرق و چرا در مراتع فریدن بر خصوصیات فیزیکی خاک‌ها. فصلنامه پژوهش و سازندگی. شماره ۲۶. ص ۶۷-۶۳.
- ۳- اسلامیان، س. و چاوشی بروجنی، س. ۱۳۷۹. بررسی روند خشکسالی در ایران. مجموعه مقالات اولین کارگاه آموزشی و تخصصی بررسی مسائل خشکسالی استان فارس. دانشگاه شیراز. صفحات ۷۴-۴۳.
- ۴- اوستر، ج.د.، سینگر، م.ج.، فولتن، ا.، و پریچارد، ت. ۱۳۷۴. دشواری‌های نفوذ آب در خاک. ترجمه حق‌نیا، غ.ح. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۲۵ صفحه.
- ۵- بانج شفییعی، ش. ۱۳۸۲. تاثیر به کارگیری کود بر راندمان جذب و نگهداری آب توسط پلیمر سوپرجاذب. مقاله هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان.
- ۶- تاجیک، ف. ۱۳۷۸. اثر مواد آلی خاک و تیمارهای مختلف SAR, EC بر پایداری خاکدانه‌ها. ششمین کنگره علوم خاک ایران، مشهد.
- ۷- حسینی، م. ۱۳۷۵. اثر شوری و قلیانیت روی پایداری خاکدانه‌ها. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران
- ۸- رفاهی، ح.ق. ۱۳۷۵. فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران. شماره ۲۲۹۸. تهران. ۵۵۱ صفحه.
- ۹- رمپ، پ. و مریل، ا.و. ۱۳۷۵. سنتز پلیمرها. ترجمه افشار طارمی، ف. و پورمه‌دیان، س. چاپ اول. مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر ۴۱۲ صفحه.
- ۱۰- سالاردینی، ع.ا. ۱۳۷۱. حاصلخیزی خاک. چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه تهران ۴۴۱ صفحه.
- ۱۱- سموات، س. ۱۳۷۱. اثر مواد اصلاح‌کننده فیزیکی خاک بر بعضی خصوصیات خاک و عملکرد گیاه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی. دانشگاه صنعتی اصفهان.

- ۱۲- صیاد، غ.، کاظمی، ح. ۱۳۷۸. بررسی تاثیر مواد آلی در بهسازی خواص فیزیکی و روند انتقال املاح خاک‌های شور و سدیمی با استفاده از مدل رایانه‌ای. مقاله ششمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه فردوسی مشهد
- ۱۳- عسگری، ه. ۱۳۸۴. بررسی تاثیر عملیات کشت و کار بر کیفیت خاک در منطقه گرگان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی. دانشگاه زنجان.
- ۱۴- علیزاده، ع. و مهدوی، ف. ۱۳۸۲. طرح مرتعداری الگوی موفق در مدیریت مراتع کشور. نشریه ترویجی از انتشارات دفتر برنامه‌ریزی رسانه‌های ترویجی، معاونت ترویج و نظام بهره‌برداری.
- ۱۵- کردوانی، پ. ۱۳۷۳. حفاظت خاک. چاپ پنجم. انتشارات دانشگاه تهران. شماره ۱۶۲۵. تهران. ۲۶۲ صفحه.
- ۱۶- کوچک‌زاده، م.، صباغ‌فرشی، ع.ا. و گنجی خرم‌دل، ن. ۱۳۷۹. تاثیر پلیمر فراجاذب آب بر روی برخی خصوصیات فیزیکی خاک. مجله علوم خاک و آب. جلد ۱۴. شماره ۲. صفحات ۱۸۵-۱۷۶.
- ۱۷- کهنک، د. ۱۳۷۰. فیزیک خاک. ترجمه رفیع، م.ج. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ سوم. ۲۹۶ صفحه.
- ۱۸- گلچین، ا. و ملکوتی، م.ج. ۱۳۷۸. نگهداری و پویائی مواد آلی در خاک. مجله علوم خاک و آب. سال ۱۳. شماره ۱. صفحات ۴۰-۵۲.
- ۱۹- گلینزکی، ج. و لیپیک، ج. ۱۳۷۸. فیزیک خاک و ریشه گیاه. ترجمه حاج عباسی، م.ع. چاپ اول. انتشارات غزل ۳۶۲ صفحه.
- ۲۰- لال، ر.ل. و پی‌یرس، ف.ج. ۱۳۷۶. مدیریت پایدار خاک. ترجمه حق‌نیا، غ.ج. و کوچکی، ع. چاپ دوم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۰۴ صفحه.
- ۲۱- ملکوتی، م.ج. و همانی، م. ۱۳۷۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۴۹۴ صفحه.
- ۲۲- ملکوتی، م.ج. ۱۳۷۵. ضرورت افزایش مواد آلی در خاک‌های ایران از طریق مصرف کود سبز. انتشارات نشر آموزش کشاورزی. نشریه فنی شماره ۱۶. کرج.
- ۲۳- مومنی، ع. ۱۳۸۰. مدل‌سازی ساختار مکانی متغیرهای حاصلخیزی و مواد آلی خاک به عنوان مبنای برای اعمال کشاورزی دقیق در دشت مرودشت. مجله علوم خاک و آب. ویژه‌نامه خاکشناسی و ارزیابی اراضی.
- ۲۴- نادری، ف. ۱۳۷۵. بررسی رفتار تورمی هیدروژل‌ها در محیط متخلخل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد شیمی. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳۰ صفحه.
- ۲۵- هاتفیلد، ج.ا. و کارن، د.ا. ۱۳۷۶. نظام‌های کشاورزی پایدار. ترجمه کوچکی، ع.، حسینی، م. و خزاعی، ح.ر. چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۸۸ صفحه.

- 26-Agassi, M., Shainberg, I., and Morin, J. 1981. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:848-851
- 27- Agassi, M. 1995. *Soil erosion, conservation, and rehabilitation*. Marcel Dekker. 424 pages.
- 28-Al-Humaid, A.I. 2005 . Effects of hydrophilic polymer on the survival of bottomwood ( *Conocarpus erectus* ) seedlings grown under drought stress. Available in site: [www.ulmer.de](http://www.ulmer.de)
- 29-Aly, S.M., and Letey, J. 1988. Polymer and water quality effects on flocculation of montmorillonite . *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 53 : 1453-1458
- 30-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.
- 31- Army, T. 1959. Effect of green manure crops on dryland wheat production in the great plains area of montana. *Agron. J.* 51: 196 – 198.
- 32- Baker, SW. 1991. The effect of polyacrylamide copolymer on the performance of lolium perennel turf grown a sand rootzone. *Journal of sports turf research institute* 67 : 66 - 82.
- 33- Barthes. B., Roose. E. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion: validation at several levels. *Catena.* 77:133-149.
- 34- Bavernik, F.W. 1994. Polycrylamide characteristics related to soil applications. *Soil. Sci.* 158:235–243.
- 35- Batyuk, V.P., Malakhova, Z.H.V., and Fenenko, L.M. 1973. Use of polymers to maintain soil fertility: I. p. 75 - 84.
- 36-Ben-Hur, M., Malik, M., Letey, J., and Mingelgrin, U. 1992. Adsorption of polymers on clays as affected by clay charge and structure polymer properties, and water quality. *Soil Sci.* 153:349–356
- 37-Ben-Hur, M., Faris, J., Malik, M., and Letey, J. 1989. Polymers as soil conditioners under consecutive irrigations and rainfall. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 53:1173-1177
- 38-Burton, D., Trenkel, J., and Shock, C. 1995. Effects of polyacrylamide application method on soil erosion and water infiltration. Malheur experiment station. Oregon state university. Available in site: [www.cropinfo.net](http://www.cropinfo.net)
- 39-Callebaut, F., Gabriels, D., and De Boodt, M. 1981. Time responses of sugar beet germination, oxygen diffusion and redox potential to crust formation, polyacrylamide stabilization and peroxide fertilization. *Journal of Geoderma.* 25(3/4): 275-283.
- 40-Cameron, K., Beare, M.H., and McLaren, R.P. 1998. Selecting physical, chemical, and biological indicators of soil quality for degraded or polluted. *Soil proceeding of 16th world Congress of Soil Science.* No.37
- 41- Cass, A., Letey, J., Oster, J.D., and Clark, P. 1991. Polymer stabilization of infiltration during furrow irrigation. *Agron Abs:* 327



- 42-Chan, K.Y., and Sivapragasam, S. 1996. Amelioration of a degraded hardsetting soil using an anionic polymeric conditioner. *Soil Technology*, 9(1-2): pp. 91-100.
- 43-Chepil, W.S. 1954. The effect of synthetic conditioners on some phases of soil structure and erodibility by wind. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 18 :386-390.
- 44-Cook, D.F., and Nelson, S.D. 1986. Effect of polyacrylamide on seedling emergence in crust forming soils. *Soil Sci.* 141:328-333.
- 45- Da&erg, S., and Plaut, Z. 1964. The effect of soil additions of hexadecanol and rohagit on soil evaporation and the transpiration and growth of bean plants. *Isreal j. Agr. Res.* 14:145-151.
- 46- Dahanp&ov, R.D., Popovr, N.S., Akkulove, Z.G., Kricheskiy, L.A., Sokolova, T.M., Marchenko, A., and Ramazanova, A.R. 19M. Soil science and chemical-mineralogical institutes. Academy of sciences of the Kazakh SSR. Study of new polymeric soil conditioners based on the humic acid of coal. *Soviet Soil Sci.* 16:83-89.
- 47- Dean Yonts, C., and Benham, B. 1998. Polyacrylamide – a method to reduce soil erosion. Electronic version issued. G1356. [www.ianrpubs.unl.edu](http://www.ianrpubs.unl.edu)
- 48- Dodd, K., Guppy, C.N., Lockwood, P., and Rochester, I. Comparison of applications of sand and polyacrylamide for separating the impact of the physical and chemical properties of sodic soils on the growth and nutrition of cotton. Available in site: [www.regional.org.au](http://www.regional.org.au)
- 49-Doughlin, K.J., Fox, W.E., and Hughes, J.D. 1973. Aggregation in swelling clay soils. *Aus. J. Soil. Res.* 11:133-141.
- 50-Duane, G. 1996. Effects of polyacrylamide on infiltration of high-sodium water. Texas A&M university-kingsville. Project number: 94R-02
- 51-El-hady, O.A., Tayel, M.Y., and Lofty, A.A. 1981. Super gel as a soil conditioner. II. Its effects on plant growth, enzyme activity, water use efficiency and nutrient uptake. *Acta Horticulturac.* 19 : 257 - 265.
- 52-Elson, J.A. 1940. A comparison of the effect of certain cropping and fertilizer and manuring practices on soil aggregation of dunmore silt loam. *Soil. Sci.* 50:339-355.
- 53-Eynard, A., Schumacher, T.E., Lindstrom, M., and Malo, D.D. 2004. Aggregate sizes and stability in cultivated south Dakota prairie ustolls and usterts. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 68:1360-1365
- 54-Flanagan, D. 2002. Polyacrylamide soil amendment effects on runoff and sediment yield on steep slopes II: Natural rainfall conditions. National soil erosion research lab. Available in site: [www.ars.usda.gov](http://www.ars.usda.gov)
- 55-Flannery, R.L., and Busscher, J. 1982. Use of a synthetic polymer in potting soils to improve water holding capacity. *Communications in soil science and plant analysis.* 13 (2) : 103 -111.

- 56-Franzluebbers, A. 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. Soil and tillage. Research.
- 57-Gichera, P., Gachene, C., Mbuvi, J., and Mare, E. 2003. Effect of soil management practices and tillage systems on surface soil water conservation and crust formation on sandy loam semi-arid Kenya. Soil and tillage Res. 75 :173-184
- 58-Golchin, A., Oads, J.M., Skjemstad, J.O., and Clarke, P. 1994. Study of free and occluded particulate organic matter in soil by solid state  $^{13}C$  CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. Aus. J. Soil. Res. 32 :283-309.
- 59-Greenland, D.J. 1972. Interactions between organic polymers and inorganic soil particles. P. 897-914. In De boodt, M. (ed.) proceedings symposium on the fundamentals of soil conditions. State university of Ghent, faculty of agriculture sciences, Belgium.
- 60-Griot, O., and Kitchener, J.A. 1965. Role of surface silanol groups in the flocculation of silica suspensions by polyacrylamide. Trans. Faraday. Soc. 61:1026-1031.
- 61-Grula, M.M., Huang, M.L., and Sewell, G. 1994. Interaction of certain polyacrylamides with soil bacteria. Soil. Sci. 158: 291-300.
- 62-Gu, B., and Doner, H.E. 1992. The interaction of polysaccharides with Silver Hill illite. Clays clay miner. 40: 151-156
- 63-Hadar, H., and Keren, R. 2002. Anionic polyacrylamide polymers effect on rheological behavior of sodium-montmorillonite suspensions. Soil. Sci. Soc. Am. J. 66:19-25
- 64-Hadas, A. 1975. Drying of layered soil columns under nonisothermal conditions. Soil Sci. 119, 143-8.
- 65-Hamblin, A.P., and Davies, D.B. 1977. Influence of organic matter in the physical properties of some east Anglian soils of high silty content. Soil. Sci. 28: 11-22.
- 66-Hamlet, J.M., Melvin, S.W., and Horton, R. 1988. Traffic and soil amendment effects on soil infiltration and compaction. Am. Soc. Agr. Eng. P. 88-2524.
- 67-Hartmann, R., and De Boodt, M. 1984. Infiltration and subsequent evaporation from surface aggregated layered soil profiles under simulated laboratory conditions. Soil sci. 137:135-140
- 68-Helalia, A.M., and Letey, J. 1988. Cationic polymer effects on infiltration rates with a rainfall simulator. Soil. Sci. Soc. Am. J. 52 :247-259.
- 69-Herb, C.H., Abernathy, G.H., Yarbrough, C.C., and Gardner, D.K. 1973. Rootplowing and seeding arid rangelands in the southwest. J. Range Manage. X193-197.
- 70-Hillel, D.J. 1991. Out of the earth : civilization and the life on the soil. The free press. New york
- 71-James, E.A., and Richards, D. 1986. The influence of iron source on the water holding properties of potting media amended with water-absorbing polymers. Scientia horticultrac. 28 : 201 -208

- 72-Jhurry, D. 1997. Agricultural polymers. University of Mauritius. Food and agricultural research council, reduit, mauritius. AMAS. 1997
- 73-Jian, Y., Lei, T., Shainberg, I., Mamedov, A.I., and Levy, G.J. 2003. Infiltration and erosion in soils treated with dry PAM and gypsum. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 67:630-636
- 74-Jianhang, L., Laosheng, W., Letey, J., and Walter, J. 2002. Picloram and napropamide sorption as affected by polymer addition and salt concentration. *Journal of environmental quality*. 31:1234-1239
- 75-Johnson, M.S. 1984. The effects of gelforming polyacrylamides on moisture storage in sandy soils. *Journal of science food agriculture*. 35: 1196-1200.
- 76-Juo, A.S., and Lal, R. 1979. Nutrient profile in a tropical Alfisol under conventional and no-till systems. *Soil. Sci.* 127(3)168-173.
- 77-Katerina, M., and Bigham, J.M. 2005. Anionic polysaccharide sorption by clay minerals. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 69:1026-1035
- 78- Kemper, W.D., and Roscnau, R.C. 1986. Aggregates stability and size distribution. P.425-447. In a. Klute. *methods of soil analysis Part1*. 2nded. Agron. Monogr. 9. ASA and SSA
- 79-Kempton, W. 2003. Storm water quality handbooks. Construction site best management practices manual. Available from [www.dot.ca.gov](http://www.dot.ca.gov)
- 80-Kenneth, N., Nwankwo, P.E. 2001. Polyacrylamide as a soil stabilizer for erosion control. Wisconsin department of transportation. Report number: WI 06-98
- 81-Kohl, R.A., and Taylor, S.A. 1961. Hydrogen bonding between the carbonyl group and wyoming bentonite. *Soil. Sci.* 91:223-227.
- 82-Lal, R., and Greenland, D.J. 1978. Effect of soil conditioners and initial water potential of a vertisol on infiltration and heat of wetting. In emerson, R.D. bond, and A.R. dexter(Eds). 1978. *Modification of soil structure*. John wiley & Sons, N.Y
- 83-Le bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Europ. J. Soil. Sci.* 425 -237.
- 84-Lecourtier, J., Lee, L.T., and Chauvetcau, G. 1990. Adsorption of polyacrylamides on siliceous minerals. *Colloids Surf* 47:219-231.
- 85-Lentz, R.D., Shainberg, I., Sojka, R.E., and Cater, D.L. 1992. Preventing irrigation furrow erosion with small application of polymers. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 56:1926-1932.
- 86-Lenz, R.D., and Sojka, R.E. 1994. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration. *Soil. Sci.* 158: 274-292
- 87-Lentz, R.D., and Sojka, R.E. 1996. Five-year research summary using PAM in furrow irrigation. p.20-27. In R.E. Sojka and R.D. Lentz (ed.) *managing irrigation-induced erosion and infiltration with polyacrylamide*. Proc. college of southern idaho, twin falls, ID, 6-8 May, 1996. University of Idaho misc. Publ. 101-96

- 88-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. *Aus. J. Soil. Res.* 29: 455-465.
- 89-Levy, G.J., Levin, J., Gal, M., Ben Hur, M., and Shainberg, I. 1992. Polymers effects on infiltration and soil erosion during consecutive simulated sprinkler irrigation. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 56: 902-907
- 90-Levy, G.J., Levin, J., and Shainberg, I. 1997. Prewetting rate and aging effects on seal formation and interrill soil erosion. *Soil Sci.* 162:131-139.
- 91-Lishtvan, L.X., Terent'yev, A.A., Sorokin, A.J., Abramets, A.M., Brezgunov, V.S., and Kushnir, A.M. 1984. Change in the hydrophysical properties of peat-bog soils after application of hydrolized polyacrylonitrile. *Soviet Soil Sci. Pochvovedeniye* 16:116-121.
- 92-Loch, R.J. 1994. Structure break down on wetting. p. 113-132. In H.B. Soetal.(ed.) Sealing crusting and hardsetting soils. *Aus. Soc. Soil. Sci.*, Brisbane, Australia.
- 93-Loch, R.J., and Pocknee, C. 1995. Effect of aggregation on soil erodibility. *Aus. experience. J. Soil water Cons.* Vol : 50, 504 -506.
- 94-Lu, J.H., and Wu, L. 2001. Spectrophotometric determination of polyacrylamide in waters containing dissolved organic matter. *J. Agric. Food Chem.* 49:4177-4182.
- 95-Lu, J.H., Wu, L., and Letey, J. 2002. Effects of soil and water properties on anionic polyacrylamide sorption. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 66:578-584
- 96-Malik, M., and Letey, j. 1991. Adsorption of polyacrylamide and polysaccharide polymers on soil materials. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 55:380-383.
- 97-Mamedov, A.I., Shainberg, I., and Levy, G.J. 2000. Irrigation with effluent water: Effect of rain energy on soil infiltration. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 64:732-737.
- 98-Martin, W.P. Status report on soil conditioning chemicals:I.*Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*17:1-9
- 99-Mbagwu, J., Lal, R., and Scott, T.W. 1983. Physical properties of three soils in southern Nigeria. *Soil Sci.* 136: 48-55.
- 100-McIntyre, D.S. 1958. Permeability measurement of soil crusts formed by rain drop impact. *Soil Sci.* 85:185-189.
- 101-Miller, D.E. 1979. Effect of H-span on water retained by soils after irrigation. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 43: 628-629.
- 102-Mitchell, A R. 1986. Polyacrylamide application in irrigation water to increase infiltration. *Soil Sci* 141:353-358
- 103-Nabzar, L., Pefferkorn, E., and Varoqui, R. 1984. Polyacrylamide-sodium kaolinite interactions: flocculation behavior of polymer clay suspensions. *J. Colloid Interface Sci.* 102:380-388.
- 104- Nadler, A., Perfect, E., and Kay, B.D. 1996. Effect of polyacrylamide application on the stability of dry and wet aggregate. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 60:555-561

- 105-Nadler, A., and Letey, J. 1989. Organic poly anions effect on aggregation of structurally disrupted soil. *Soil. Sci.* 148: 346-354.
- 106-Nadler, A., and Letey, J. 1989. Adsorption isotherms of poly anions on soils using Tritium labeled compounds. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 53:1375-1378.
- 107-Nadler, A., Malik, M., and Letey, J. 1992. Desorption of polyacrylamide and polysaccharide polymers from soil materials. *Soil Technology*, 5:91-95.
- 108-Nadler, A., and Steinberger, Y. 1993. Trends in structure, plant growth, and microorganisms inter relations in the soil. *Soil. Sci.* 155: 114-122.
- 109-Newman, K., Tingle, J. 2004. An independent report on emulsion polymers for soil stabilization. An independent analysis of polymers. Cement.p.3. Romix.
- 110-Norton, L.D. 1992. Chemical amendments for erosion control. Paper presented at the 1992 International winter meeting sponsored by the american society of agricultural engineers. December 15-18, Nashville, Tennessee. 9P.
- 111-Novak, J., Watts, D., and Evans, D. 2005. Influence of added organic matter and polyacrylamide on physical properties of a Norfolk loamy sand. Management impact on soil properties. part of 105. Available in site: crops.confex.com
- 112-Oades, J.M. 1984. Soil organic mater and structural stability: mechanisms and implication for management. *Plant and Soil.* 76:319-337.
- 113-Orchard, V.A., Ross, D.J., Ross, C.W., Rankin, P.C., Reynolds, J., and Hewitt, A.E. 1987. Some biological chemical and physical properties of two sports ground soils after treatment with an enzyme soil conditioner. *New zealand J. Exp. Agr.* 15 :163-176
- 114-Orts, W.J., Sojka, R.E., Glenn, G.M., and Gross, R.A. 2001. Biopolymer additives for the reduction of soil erosion losses during irrigation. Pages 102-116. In: R.A. Gross and carmen scholz (eds.) biopolymers from polysaccharides and agroproteins. ACS Series 786. Am. Chem. Soc. Washington, DC
- 115-Orts, W.J., Sojka, R.E., and Glenn, G.M. 2000. Biopolymer additives to reduce soil erosion-induced soil losses during irrigation. *Industrial Crops & Products.* 11:19-29.
- 116-Oztas, T., Ozbek, A.K., and Aksakal, E.L. 1997. Structural developments in soils treated with polyvinylalcohol . University of Ataturk, faculty of agriculture.
- 117-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 journal of agronomy* , 39: 599-603.
- 118-Pefferkorn, E., Jean-Chronberg, A.C., Chauveteau, G., and Varoqui, R. 1990. Adsorption of hydrolyzed polyacrylamides onto amphoteric surfaces. *J. Colloid Interface Sci.* 137:66-74.
- 119-Pill, W.G., and Jacono, C.C. 1984. Effects of hydrogel incorporation in peat-lite on tomato growth and water relations. *Communications in soil science and plant analysis.* 15 : 799 - 810.
- 120-Polyakova, Y.Y. 1976. Polymer-soil conditioners and nitrogen fertilizers. *Soviet soil*

sci. 8:443-446.

121-Ross, A., Alan. D. 1998. The influence of the soil conditioner "Agri-SC" on splash detachment and aggregate stability. *Soil and tillage research*. 45 :373-387

122-Rowaily, A., and Raja, S.L. 1992. Effects of polyacrylamide on rangeland soils and plants

123-Rubio, H.O., Wood, M.K., Cardenas, M., and Buchanan, B.A. 1990. Seedling emergence and root elongation of four grass species and evaporation from bare soil as affected by polyacrylamide. *J. Arid Environ.* 18:33-41.

124-Rubio, H.O., Wood, M.K., Cardenas, M., and Buchanan, B.A. 1992. The effect of polyacrylamide on grass emergence in south central new Mexico. *J. Range Management*. 45:295-300.

125-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

126-Shainberg, I., Warrington, D.N., and Rengasamy, P. 1990. Water quality and PAM interaction in reducing surface sealing. *Soil. Sci.* 149:301-307

127-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.

128-Shaviv, A., Ravina, I., and Zashavsky, D. 1985. Application of soil conditioners by drip irrigation. In: Vol.2. Proc.3rd Int.Drip /trickle irrig.CONGR., Fresno, CA, november 18-21, Asac.St. Joseph, MI pp 741-748

129-Shaviv, A., Ravina, I., and Zaslavsky, D. 1986. Surface application of anionic surface conditioners to reduce crust formation. In assessment of soil surface sealing and crusting (Proc.Symp.) (F. Callebaut, D. Gabriels and DE Boodyt, M.), Ghent, Belgium, pp .286-293

130-Sherwood, L.V., and Engibous, J.C. 1953. Status report on soil conditioning chemicals II. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 17:9-16.

131-Silberbush, M., Adar, E., and De-Malach, Y. 1993. Effect of Polymer on Soil Water Holding Capacity *Agric. Water Management* 23: 315-327.

132-Sivapalan, L.S. 2001. Effect of polymer on soil water holding capacity and plant water use efficiency in proceedings. 10th Australian agronomy conference, hobart, Tasmania, Australia.

133-Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., and Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.* 79:7-13

134-Six, J., Elliott, E., and Paustian, K. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 63: 1350-1358

135-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 and conservation University of Queensland, hardsetting soils: prouductivity brisbane, Australia.

- 136-Sojka, R.E., Entry, J.A., Orts, W.J., Morishita, D.W., Ross, C.W., and Horne, D.J. 2003. Synthetic and bio-polymer use for runoff water quality management in irrigated agriculture. Diffuse pollution conference Dublin 2003. 3G: Agriculture
- 137-Smith, H.J.C., Levy, G.J., and Shainberg, I. 1990. Water droplet energy and soil amendments: effect on infiltration and erosion. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 54:1084-1087.
- 138-Steinberger, Y., Sarig, S., Nadler, A., and Barnes, G. 1993. The Effect of synthetic soil conditioners on microbial biomass. *Journal of arid soil research of rehabil.* 7: 303-306.
- 139-Stern, R., Laker, M.C., and Merve, A. 1991. Field studies on effect of soil conditioners and mulch on runoff from kaolinitic and illitic soils. *Aus. J. Soil. Res.* 29:249-261.
- 140-Stewart, B.A. 1975. In: *Soil Conditioners.* (SSSA Spec. Publ. No. 7. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA).
- 141-Theng, B.K.G. 1982. Clay-polymer interaction: Summary and perspectives. *Clays Clay Miner.* 30:1-10.
- 142-Tiplittgr, G.B.D. Vandoren., and Schimdt, B.L. 1968. Effect of corn stover mulch on no-tillage corn yield and water infiltration. *Agronomy . J.* 60:236-239
- 143-Tisdall, J.M. 1996. Formation of soil aggregate and accumulation of soil organic matter. Structure and organic storage in agricultural soils, *Adv. Soil Sci., CRC Lewis Publ., Boca Raton.* 57-96
- 144-Tisdall, J.M. and oades, J.M. 1980 The effect of crop rotation on aggregation in red-brown earth. *Aus. J. soil. Res.* 18:33-423
- 145-Tisdall, J.M., Oades, J.M. 1982. Organic matter and water –stable aggregates in soils. *Soil. Sci.* 33: 141-163
- 146-Topp, G.C., and Reynolds, J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregate in soils. *Soil. Sci.* 33.141-163.
- 147-Trout, T.J., Sojka, R.E., and Lentz, R.D. 1994. Polyacrylamide effect on furrow erosion and infiltration. United states department of agriculture. Agricultural research service. USDA-ARS soil and water management.
- 148-Unger, P.W. 1995. Organic matter and water stable aggregate distribution in ridge-tilled surface soil. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 59(4): 1141-1145.
- 149-Vacher, C.A., Loch, R.J., and Raine, S.R. Effect of polyacrylamide additions on infiltration and erosion of disturbed lands. *Aus. J. Soil. Res.* 41(8) 1509 – 1520.
- 150-Vasey, D E 1992. An ecological history of agriculture. 10000 B.C.A.D.10000. Iowa state university press. Am.
- 151-Wallace, A., and Wallace, G.A. 1986b. Effects of very low rates of synthetic soil conditioners on soils. *Soil Sci.* 141 (5) : 324 - 327.
- 152-Wallace, A., and Wallace, G.A. 1986. Polyacrylamide (PAM) and soils. *Soil. Sci.* 141: 334-342.

- 153-Wallace, A., and Wallace, G.A. 1996. Need for solution or exchangeable calcium and/or critical EC level for flocculation of clay by polyacrylamides. P.59-63. In : Sojka, R.E., and Lentz, R.D. Managing irrigation-induced erosion and infiltration with polyacrylamide. Proc. college of southern Idaho. Twin falls, ID 6-8 May, 1996. Univ of Idaho. Misc. Publ. No. 101-96.
- 154-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. Journal of rio-grande-val-horticulture society. 42: 51-58.
- 155-Wang, Y.T., and Gregg, L.L. 1989. Hydrophilic polymers- their response to soil amendments and effect on properties of a soil less potting mix. J. Am. Soc. Hort. Sci. 115 (6) : 943 - 948.
- 156-Weeks, L.L.E., and Colter, W.E. 1952. Effect of synthetic soil conditioners on erosion control. Soil. Sci. 73:473484.
- 157-Willson, T.C., Paul, E.A., and Harwood, P. 2001. Biologically active soil organic matter fractions in sustainable cropping systems. Applied soil ecology. 16 : 63-76
- 158-Woodhouse, J.M., and Johnson, M.S. 1991. The effects of gel-forming polymers on seed germination and establishment. Journal of arid environment. 20: 375-380.
- 159-Yormah, T.B.R., and Egbenda, P.O. 2005. An assessment of the soil-conditioning capacity of gums exuded by some trees in sierra leone :Raindropexperiments. African journal of science and technology(AJST) science and engineering. Vol. 6. No. 1. pp. 90 - 96
- 160-Young, M. The interaction of soil biota and soil structure under global change. Global change biology. 4: p 703
- 161-Zlatkovic, S., and Raskovic, L. 1998. The effects of the polyacrylamide ,polyvinylalcohol and carboxymethylcellulose on the aggrigation of the soil and on the growth of the plants. The scientific journal Facta universities. Vol. 1. No 3. pp. 17 - 23



## Abstract

Organic matter affects physical, chemical and biological properties of soils and plays a major role in structural stability of soils. Due to low organic carbon input into soil, organic matter is low in soils of arid and semi-arid regions. To improve structural stability and physical properties of soils in these regions it may be possible to use synthetic organic polymers as soil amendment. In a study, type and application rate effects of acrylic water soluble polymers were assessed on structural stability and physico-chemical properties of five soils using a factorial experiment. The experiment had a completely randomized design and three replications. The polymers were TC108, R790 and NC218 and each of them used with three different concentrations (1:1, 1:2 and 1:10 V/V polymer: water ratio). Three of five soils had different types of texture and the other two were sodic and marly in nature. Saturated hydraulic conductivity, bulk density, available water content, structural stability of soil aggregates (mean weight diameter and water dispersible clay), electrical conductivity and pH of polymer treated soils were measured and compared with controls. The results obtained from analysis of variance of data, showed that bulk density decreased and mean weight diameter of aggregates increased in all polymers treated soils when compared to control. In four of five soils application of water soluble polymers decreased water dispersible clay significantly. However, in marly soil, application of acrylic polymers increased it significantly. Application of water soluble polymers increased electrical conductivity in four soils, however, saline marly soil showed lower EC after treated with polymers. The effects of water soluble polymers on soil pH did not show any consistent trend. The effect of water soluble polymers on physico- chemical properties of soils enhanced when the concentration of polymers increased.

Keywords: Water soluble polymers, Physical and chemical properties, Soil structural stability, Water dispersible clay, Bulk density, MWD.

11433