

## بررسی اثر پساب شهری بر شاخص‌های پوشش گیاهی، تنوع گونه‌ای و ویژگی‌های خاک سطحی در طرح‌های بیابان‌زدایی (مطالعه موردی: دشت سگزی، اصفهان)

- ۱- طیبیه شاه آبادی، کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان  
 ۲- مصطفی ترکش اصفهانی، استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان  
 ۳- حسین بشری، استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان  
 Hbashari@cc.iut.ac.ir  
 ۴- محمد رضا مصدقی، دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۱۶

پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۸

### چکیده

پیامدهای کاربرد پساب شهری بر پوشش گیاهی، خاک و تنوع گیاهی در ایستگاه بیابان‌زدایی سگزی اصفهان بررسی شد. شش مکان با توجه به نوع گیاه دست کاشت (تاغ و تاغ-قره‌داغ) و نوع آبیاری (بدون آبیاری به عنوان شاهد، غرقابی و شیاری) با حداقل ۴ تا حداکثر ۱۲ تکرار انتخاب شد. تعداد ۴۷ نمونه خاک سطحی برداشت و بافت، ماده آلی، اسیدیته، هدایت الکتریکی، کلسیم و منیزیم محلول، و پایداری ساختمان خاک اندازه‌گیری شد. با استفاده از ۴۷ پلات تو در تو، درصد تاج پوشش گونه‌های گیاهی هر مکان اندازه‌گیری و غنای گونه‌ای (شاخص مارگالف)، تنوع گونه‌ای (شاخص شانون) و یکنواختی سیمپسون محاسبه شد. ارتباط بین پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک با استفاده از تجزیه مؤلفه‌های اصلی و تجزیه واریانس بررسی شد. بر اساس نتایج، پساب شهری باعث افزایش معنی‌دار درصد پوشش تاجی شد (حدود ۲۴/۸۱ تا ۳۱/۳ درصد) شد، ولی بر تنوع گیاهی تأثیر معنی‌داری نداشت. میزان ماده آلی خاک و به در پی آن پایداری خاکدانه‌ها نیز در نتیجه استفاده از پساب افزایش یافته و موجب کاهش رس قابل پراکنش و افزایش پایداری ساختمان خاک شد. بنابراین استفاده از پساب شهری در طرح‌های احیای مراتع می‌تواند راه‌کار مناسبی برای جلوگیری از روند بیابان‌زایی در عرصه‌های طبیعی باشد.

**واژگان کلیدی:** پساب؛ پوشش گیاهی؛ تنوع گیاهی؛ رج‌بندی؛ بیابان‌زدایی؛ پایداری ساختمان خاک.

### مقدمه

طبیعی از آن به بهترین شکل ممکن استفاده کنند. این عمل افزون بر دسترسی به منابع آب جدید حاصل از فاضلاب بازیافتی، باعث در اختیار قرار گرفتن لجن فاضلاب به صورت خشک و مایع می‌شود که سرشار از عناصر غذایی برای گیاهان است و بنابراین در احیای عرصه‌های منابع طبیعی تخریب شده می‌تواند استفاده شود. پساب شهری در موارد مختلفی مانند محصولات کشاورزی، مراتع، جنگل‌ها و مناطق تفریحی نظیر پارک‌ها و زمین‌های گلف و همچنین مناطق تخریب شده مانند مناطق برداشت معادن استفاده می‌شود. برخی از پژوهشگران در بیابان چیاوا در منطقه نیو مکزیکو با بارش سالانه ۲۲۰ میلی‌متر، از ضریب محصول و نرخ تبخیر و

قرار گرفتن ایران در منطقه جنب حاره‌ای و بر روی کمربند خشک جهان باعث شده است که میزان بارندگی کشور کم‌تر از یک سوم میانگین بارش جهانی باشد [۲۶]. با توجه به محدودیت جدی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، فشار بیش از اندازه‌ای به منابع آب وارد می‌شود و هر ساله شاهد افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی در کشور هستیم. رخداد خشکسالی‌های پی در پی نیز بر وضعیت ناگوار بیابان آبی کشور می‌افزاید و حتی این خشکسالی‌ها در مناطق مرطوب نسبت به مناطق خشک کشور شدیدتر است [۱۹].

تحت چنین شرایط کم‌آبی و خشکی، مهار پساب‌ها و فاضلاب‌ها فرصتی است که بایستی دست‌اندرکاران منابع

ترقق در شرایطی که محدودیت رطوبتی برای گونه بوته‌ای مرتعی (*Larrea tridentata*) وجود ندارد، استفاده کرده تا نحوه آبیاری با پساب در این منطقه را برای این‌گونه برنامه‌ریزی و شبیه‌سازی کنند. آبیاری با پساب و فاضلاب، علاوه بر افزودن عناصر غذایی به خاک، مواد آلی موجود در پساب نیز پس از ورود به وسیله میکروارگانیسم‌ها تجزیه شده و باعث افزایش هوموس خاک و بهبود خواص فیزیکی شیمیایی و حاصلخیزی خاک می‌شود [۱۷]. لجن فاضلاب هم‌چنین دارای عناصر و موادی است که جزو مواد آلاینده محیط زیست طبقه‌بندی می‌شوند (مانند عناصر سنگین)، و اگر برای محصولات کشاورزی استفاده شود، ممکن است این آلاینده‌ها به زنجیره غذایی انسان وارد شده و آثار نامناسبی داشته باشند [۳]. برخی از پژوهشگران تأثیر آبیاری با پساب ثانویه<sup>۱</sup> تصفیه‌خانه شاهین‌شهر را بر برخی ویژگی‌های چمن در سه بافت خاک بررسی کردند [۲۱]. در تمام موارد استفاده از پساب باعث افزایش رنگ، ارتفاع و وزن خشک چمن‌ها شد [۱۶]. در این تحقیق اختلاف معنی‌داری بین غلظت عناصر غذایی برگ درختان کاج آبیاری شده با فاضلاب شهری و آب چاه وجود دارد؛ اگرچه غلظت این عناصر در برگ درختان آبیاری شده با فاضلاب شهری بیش‌تر بود، بیش‌تر بودن غلظت عناصر غذایی در فاضلاب شهری نسبت به آب چاه را دلیل افزایش غلظت این عناصر در خاک دانستند. در واقع فاضلاب دارای عناصر غذایی مورد نیاز گیاه هم‌چون ازت، فسفر، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف مانند آهن، روی و منگنز است که در حالت معمولی آلوده‌کننده بالقوه آب‌های جاری محسوب می‌شوند؛ ولی فاضلاب دارای این عناصر را می‌توان به عنوان کود محلول جهت کشاورزی و درخت‌کاری استفاده کرد [۱۶]. پساب با دارا بودن عناصر ازت و فسفر به‌طور مناسبی می‌تواند برای آبیاری فضای سبز استفاده شود [۹]. از طرف دیگر همواره آثار کاربرد پساب و فاضلاب مفید نبوده و پیامدهای منفی آن‌ها نیز گزارش شده است. تعدادی از پژوهشگران استفاده از لجن فاضلاب را موجب کاهش عملکرد گیاهانی چون کاهو و یولاف به دلیل افزایش بیش از حد شوری خاک دانستند [۲۰]. کاربرد

لجن فاضلاب به عنوان یک کود آلی سبب افزایش عملکرد محصولات می‌شود؛ ولی خطر جذب عناصر سمی توسط گیاهان و تجمع آن‌ها در اندام هوایی و ریشه گیاه وجود دارد. برخی از پژوهشگران تأثیر لجن فاضلاب بر عملکرد سورگوم را بررسی و گزارش کردند که افزودن ۱۰ تن در هکتار لجن در اولین سال، باعث افزایش عملکرد می‌شود [۲۲]؛ اما کاربرد سطوح بیش‌تر سبب کاهش محصول می‌شود [۷]. این پژوهشگران بیان کردند که افزایش لجن فاضلاب به خاک در سال اول تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گیاه ندارد که دلیل آن را تشکیل کمپلکس‌های نامحلول فلزی با مواد آلی خاک است [۱۰] و کاربرد لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار عملکرد سه گیاه شاهی، کاهو و اسفناج شده است.

استفاده از پساب فاضلاب شهری در جهان و ایران بیش‌تر در عرصه‌های کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته، ولیدر ارتباط تأثیر آن بر تنوع و تراکم پوشش گیاهی در عرصه‌های منابع طبیعی، بررسی‌های محدودی انجام شده است. در منابع به بحث گیاه پالایی گونه‌های مختلف مرتعی نظیر وتیور (*Chrysopogon zizanioides*) و نی (*Phragmites australis*) و سایر گونه‌ها زیاد پرداخته شده است [۲۴]. در مطالعه‌ای نیز اثر متقابل پساب و سوپر جاذب و بافت خاک بر رشد گونه مرتعی قره‌داغ (*Nitraria scoberi*) نشان داد که استفاده توأم سوپر جاذب و پساب، نیاز به آبیاری با آب معمولی را برطرف کرده و تعداد پایه و طول ساقه گیاه قره‌داغ در اثر استفاده از پساب افزایش یافت [۱۸].

یکی از راه‌های جلوگیری از گسترش عرصه‌های بیابانی و نیز پیش‌گیری از وقوع گرد و غبارهای شدید و ریزگردها، تثبیت بیولوژیکی این عرصه‌ها است. در این بین بهره‌گیری از پساب فاضلاب شهری برای آبیاری در قالب طرح‌های بیابان‌زدایی از مواردی است که جای بررسی و مطالعه دارد. این پژوهش به منظور بررسی پیامدهای کاربرد پساب شهری بر پوشش گیاهی (میزان تاج پوشش گیاهی و تنوع گیاهی) و برخی ویژگی‌های خاک سطحی در ایستگاه بیابان‌زدایی منطقه سگزی واقع در شرق اصفهان انجام شد در این منطقه مدت ۶ سال است از

<sup>۱</sup> پساب ثانویه آب فاضلابی است که عناصر جامد و معلق و برخی عناصر میکروبی طی یک سری عملیات پیش-تصفیه از آن حذف شده است.

پساب فاضلاب شهری برای آبیاری برخی از پوشش‌های گیاهی دست‌کاشت استفاده می‌شود.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی

منطقه مطالعاتی در ایستگاه بیابان‌زدایی سگری بین طول جغرافیایی  $16^{\circ} 49' 51''$  تا  $09^{\circ} 14' 52''$  و عرض جغرافیایی  $21^{\circ} 28' 32''$  تا  $52^{\circ} 43' 32''$  در شرق شهر اصفهان قرار دارد. میانگین بارش سالیانه منطقه ۱۰۶ میلی‌متر است که به طور عمده در ماه‌های سرد سال می‌بارد و بارندگی در فصل تابستان بسیار ناچیز است. میانگین دمای سالیانه  $15/2^{\circ}\text{C}$  و میانگین تبخیر سالیانه  $2201/5$  میلی‌متر است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، اقلیم منطقه از نوع خشک و بر طبق تقسیم‌بندی آمبرژه از نوع خشک و سرد است [۵].

درختچه‌های گز (*Tamarix spp.*)، آتریپلکس (*Atriplex canescens*)، تاغ (*Haloxylon sp.*) و کشت توام تاغ و قره‌داغ (*Nitraria scobereri*) در طرح بیابان‌زدایی دشت سگری به صورت دست‌کاشت جهت جلوگیری از فرسایش بادی در منطقه کاشته شده‌اند. مدت ۶ سال است که از پساب فاضلاب شهری شهرستان برخوار بمنظور آبیاری (به دو صورت غرقابی و شیاری) بخشی از پوشش گیاهی دست‌کاشت منطقه سگری در برخی فصول استفاده می‌شود. به دلیل شرایط نامساعد خاک مانند شوری و قلیایی بودن زیاد، قسمت‌های زیادی از منطقه بدون پوشش گیاهی بوده و گونه‌های گیاهی مقاوم مانند *camelourum*، *Peganumharmala*، *aphylla*، *Anabasis* و *Alhaji* و *Salsola tomentosa* با پوشش تاجی کم در منطقه دیده می‌شوند.

### روش نمونه‌برداری

برای بررسی تأثیر آبیاری با فاضلاب بر ویژگی‌های پوشش گیاهی منطقه، ۶ مکان با توجه به نوع پوشش گیاهی دست‌کاشت (گونه تاغ-تاغ و قره‌داغ) و آبیاری (عدم آبیاری، آبیاری غرقابی و آبیاری شیاری) تعیین و در هر مکان حداقل ۴ تا حداکثر ۱۲ تکرار بسته به وسعت مکان مطالعاتی انتخاب شد (جدول ۱). برای مطالعه

پوشش گیاهی از روش پلات‌های تودرتو<sup>۱</sup> استفاده شد. بدین ترتیب که از پلات‌های  $10 \times 10$  متر (۱۰۰ متر مربعی) برای مطالعه پوشش گونه‌های درختی و درختچه‌ای، از پلات‌های  $4 \times 4$  برای گونه‌های بوته‌ای و از پلات‌های  $1 \times 1$  برای مطالعه گونه‌های علفی استفاده شد. مکان استقرار پلات‌ها به صورت تصادفی طبقه‌بندی شده انتخاب شد. تعداد تکرارها با در نظر گرفتن وسعت مکان‌های مطالعاتی و میزان تغییرات پوشش گیاهی آن‌ها تعیین شد. در مجموع تعداد ۴۷ پلات تودرتو مورد بررسی قرار گرفت که در هر پلات درصد تاج پوشش گونه‌ای، نوع گونه و تعداد پایه‌ها تعیین شد. غنای گونه‌ای با شاخص مارگالف، تنوع گونه‌ای با شاخص شانون و یکنواختی با شاخص سیمپسون در سطح ۱۰۰ متر مربع به کمک روابط ارائه‌شده در جدول ۲ محاسبه شد [۴ و ۱۱].

از چهار گوشه پلات‌ها، نمونه‌های خاک از لایه سطحی ۰-۱۰ سانتیمتری برداشت و یک نمونه خاک ترکیبی از هر پلات تهیه و در مجموع تعداد ۴۷ نمونه خاک برداشت شد. درصد ذرات اولیه (بافت) خاک به روش هیدرومتر، مقدار ماده آلی خاک به روش والکی و بلاک<sup>۲</sup> (اکسیداسیون تر)، اسیدیته خاک با استفاده از دستگاه pH متر، رسانایی الکتریکی توسط دستگاه EC متر، میزان کلسیم و منیزیم محلول در عصاره اشباع خاک به روش کمپلکسومتری<sup>۳</sup> اندازه‌گیری شد. همچنین پایداری ساختمان خاک در تیمارهای انتخابی با اندازه‌گیری رس قابل پراکنش خودبه‌خودی<sup>۴</sup> (SDC) و مکانیکی<sup>۵</sup> (MDC) خاک ارزیابی شد.

### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های خام حاصل از مطالعات صحرایی (شاخص‌های گیاهی بررسی‌شده) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. تفاوت بین مکان‌های انتخاب‌شده از نظر پوشش گیاهی با استفاده از تجزیه واریانس یک-طرفه<sup>۶</sup> بررسی شد.

<sup>1</sup>.Nested Plots

<sup>2</sup>.Walkley and Black

<sup>3</sup>.Flame photometer

<sup>4</sup>.Spontaneously dispersible clay

<sup>5</sup>.Mechanically dispersible clay

<sup>6</sup>.One-way analysis of variance

جدول ۱- مکان‌ها و تیمارهای انتخاب شده برای استقرار پلات‌ها

شماره مکان مطالعاتی	نام علمی گونه (های) دست‌کاشت	نام فارسی گونه (های) دست‌کاشت	روش آبیاری	تعداد تکرار
۱	<i>Haloxylopersicum</i>	تاغ	شیاری	۷
۲	<i>Haloxylopersicum</i>	تاغ	غرقابی	۴
۳	<i>Haloxylopersicum</i>	تاغ	بدون آبیاری	۱۲
۴	<i>Haloxylopersicum- Nitrariaschoberi</i>	تاغ- قره داغ	شیاری	۴
۵	<i>Haloxylopersicum- Nitrariaschoberi</i>	تاغ- قره داغ	غرقابی	۸
۶	<i>Haloxylopersicum- Nitrariaschoberi</i>	تاغ- قره داغ	بدون آبیاری	۱۲

جدول ۲- روابط استفاده شده برای محاسبه شاخص‌های تنوع، غنای گونه‌ای و یکنواختی

نام شاخص	توضیحات	معادله	دامنه تغییرات
شانون	$P_i$ : وفور گونه‌ای	$H = -\sum P_i (\ln P_i)$	۰-۱
سیمپسون	$(1-D)$ : شاخص اصلاح‌شده سیمپسون $S$ : تعداد کل گونه‌ها	$E = (1-D)/S$	۰-۱
مارگالف	$S$ : تعداد کل گونه‌ها $N$ : مجموع تراکم کل گونه‌ها	$d = (S-1)/\ln N$	۰-∞

## نتایج

### ویژگی‌های پوشش گیاهی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس یک‌طرفه (جدول ۳) نشان داد که نوع گیاه و روش آبیاری بر درصد پوشش تاجی در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌داری داشته است. آزمون مقایسه میانگین توکی نشان می‌دهد که بین مکان‌های ۱ (کاشت تاغ، آبیاری شیاری)، ۳ (کاشت تاغ، بدون آبیاری) و ۶ (کاشت تاغ و قره‌داغ، بدون آبیاری) اختلاف معنی‌داری از نظر درصد پوشش وجود ندارد و میانگین درصد تاج پوشش این مکان‌ها به ترتیب ۱/۵، ۲/۶ و ۲/۶ درصد است (جدول ۳). مکان ۴ (کاشت تاغ و قره‌داغ، آبیاری شیاری) یک مکان حد واسط بوده و میزان پوشش ایجادشده در آن نسبت به سه مکان پیشین بیش‌تر (۱۸/۷۵ درصد) است. مکان‌های ۲ (کاشت تاغ، آبیاری غرقابی) و ۵ (کاشت تاغ و قره‌داغ، آبیاری غرقابی) نیز در یک گروه قرار گرفته و میانگین درصد تاج پوشش این مکان‌ها به ترتیب ۲۷/۴۴ و ۳۳/۸۸ درصد است که بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

همچنین با توجه به نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه و آزمون مقایسه میانگین توکی، اختلاف معنی‌داری بین مکان‌های مورد بررسی از نظر شاخص شانون و شاخص یکنواختی سیمپسون دیده نشد (جدول ۳). مقادیر تنوع گونه‌ای شانون نشان داد که منطقه مورد بررسی از تنوع گونه‌ای کمی برخوردار است؛ اما از نظر غنای گونه‌ای

همچنین مقادیر غنای گونه‌ای، یکنواختی و شاخص تنوع شانون نیز برای هر مکان محاسبه و با استفاده از تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین توکی مقایسه شد. پیش‌شرط استفاده از آزمون تجزیه واریانس، نرمال بودن داده‌های هر گروه و واریانس برابر گروه‌ها است. با استفاده از آزمون آندرسون دارلینگ نرمال بودن داده‌ها و با استفاده از آزمون بارتلت همگنی واریانس بین گروه‌ها با استفاده از نرم افزار مینی تب<sup>۱</sup> کنترل شد. همچنین به منظور بررسی بیش‌تر پراکنش گونه‌ها در فضای مکان‌های نمونه‌برداری، از تجزیه داده‌های چندمتغیره استفاده شد. بدین منظور ابتدا داده‌ها با استفاده از آنالیز تطبیقی قوس‌گیری شده (DCA<sup>۲</sup>) بررسی شده و با توجه به طول گرادیان، روش مناسب برای رج‌بندی انتخاب شد. چنانچه طول گرادیان به دست آمده در روش DCA کم‌تر از ۳ باشد از روش‌های خطی، برای مقادیر بیش‌تر از ۴، روش‌های غیر خطی و در حالتی که طول گرادیان بین ۳ و ۴ باشد از هر دو روش خطی و غیرخطی می‌توان برای رج‌بندی استفاده کرد [۱۱]. در این پژوهش با توجه به طول گرادیان (کم‌تر از ۳)، با استفاده از نرم‌افزار Canoco، از روش خطی تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA<sup>۳</sup>) استفاده شد.

<sup>۱</sup>.MINITAB

<sup>۲</sup>.Detrended Correspondence Analysis

<sup>۳</sup>.Principal Component Analysis

ترکیب گونه گیاهی و روش آبیاری) بر رسانایی الکتریکی خاک رویین (۱۰-۰ سانتیمتر) معنی‌دار شد. رسانایی الکتریکی خاک در تیمارهای بدون آبیاری بیش‌تر از تیمارهای با آبیاری بود (جدول ۴). هم‌چنین اختلاف معنی‌داری از نظر اسیدیته بینسایت‌های مورد بررسی‌شده نشد؛ ولی میزان ماده آلی خاک بین تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری (α=۰/۰۱) نشان داد که کم‌ترین مقدار ماده آلی خاک مربوط به تیمار آبیاری شیاری و تحت پوشش کشت مخلوط تاغ و قره‌داغ بود. پساب مورد استفاده تأثیر معنی‌داری بر میزان کلسیم و منیزیم محلول خاک نداشت. اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان رس قابل پراکنش مکانیکی (MDC) و خودبه‌خودی (SDC) خاک معنی‌دار نشد (جدول ۴).

مارگالف در سطح احتمال ۵ درصد بین مکان‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بدین ترتیب که مکان ۴ (کاشت تاغ و قره‌داغ، آبیاری شیاری) نسبت به سایر مکان‌ها از غنای گونه‌ای بیش‌تری برخوردار است. از آن‌جا که در مکان ۴، دو گونه تاغ و قره‌داغ با هم کاشته شده‌اند و در زیر اشکوب این گونه‌ها برخی از گونه‌های علفی استقرار یافته‌اند، این مکان دارای شاخص غنای بیش‌تری نسبت به سایر مکان‌ها است. هم‌چنین به دلیل کم‌بودن شاخص یکنواختی در مکان ۴، با وجود شاخص غنای بیش‌تر، شاخص تنوع شانون بین این مکان و سایر مکان‌ها اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

### ویژگی‌های خاک

نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد که اثر تیمارها

جدول ۳- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین توکی اثر تیمارهای مختلف بر درصد تاج پوشش گیاهی و شاخص‌های تنوع گونه‌ای

نوع آماره مورد ارزیابی	تاغ (آبیاری)	تاغ (آبیاری غرقابی)	تاغ و قره‌داغ (آبیاری شیاری)	تاغ و قره‌داغ (آبیاری غرقابی)	تاغ و قره‌داغ (بدون آبیاری)	تاغ و قره‌داغ (بدون آبیاری)	آماره F
درصد پوشش تاجی	۱/۵ <sup>b</sup>	۲۷/۴۴ <sup>a</sup>	۲/۶۳ <sup>b</sup>	۱۸/۷۵ <sup>ab</sup>	۳۳/۸۸ <sup>a</sup>	۲/۵۸ <sup>b</sup>	۸/۹۴ <sup>**</sup>
شاخص تنوع شانون	۰/۸	۰/۶	۰/۵۳	۱/۰۵	۰/۶۱	۰/۵۲	۱/۴۱ <sup>NS</sup>
شاخص‌های گونه‌ای مارگالف	۰/۹ <sup>b</sup>	۰/۵۳ <sup>b</sup>	۱/۰۵ <sup>b</sup>	۲/۱ <sup>a</sup>	۱ <sup>b</sup>	۱/۳ <sup>b</sup>	۲/۵۸ <sup>*</sup>
شاخص یکنواختی سیمپسون	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۶۶ <sup>NS</sup>

\* بیان‌گر معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ است \*\* بیان‌گر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ است NS: عدم وجود اثر معنی‌دار

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد بررسی و مقایسه میانگین توکی ویژگی‌های خاک در سایت‌های مختلف

تیمار	تاغ (آبیاری)	تاغ (آبیاری غرقابی)	تاغ و قره‌داغ (آبیاری شیاری)	تاغ و قره‌داغ (آبیاری غرقابی)	تاغ و قره‌داغ (بدون آبیاری)	تاغ و قره‌داغ (بدون آبیاری)	آماره F
رسانایی الکتریکی (۱۰-۰ سانتیمتر) (dS m <sup>-1</sup> )	۶۷/۵ <sup>a</sup>	۱۷/۷ <sup>b</sup>	۷۱/۷ <sup>a</sup>	۱۳/۲ <sup>b</sup>	۱۴/۹ <sup>b</sup>	۸۶/۷ <sup>a</sup>	۱۶/۵۸ <sup>**</sup>
اسیدیته (۱۰-۰ سانتیمتر)	۸/۴۶	۸/۱۷	۸/۳۷	۸/۲۳	۸/۳۷	۸/۴۲	۱/۲۴ <sup>NS</sup>
درصد ماده‌آلی (۱۰-۰ سانتیمتر)	۰/۷۰ <sup>a</sup>	۰/۴۰ <sup>b</sup>	۰/۳۲ <sup>b</sup>	۰/۲۱ <sup>c</sup>	۰/۷۵ <sup>a</sup>	۰/۳۳ <sup>b</sup>	۴/۶۱ <sup>**</sup>
کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۰ سانتیمتر) بر حسب (meq l <sup>-1</sup> )	۱۷۶/۰	۹۳/۸	۱۳۱/۰	۱۸۵/۵	۱۱۱/۸	۱۲۰/۲۵	۱/۴۵ <sup>NS</sup>
درصد رس قابل پراکنش مکانیکی (۱۰-۰ سانتیمتر)	۴/۴۸ <sup>a</sup>	۲/۴۹ <sup>b</sup>	۴/۱۲ <sup>a</sup>	۱/۷۷ <sup>b</sup>	۰/۵۴ <sup>c</sup>	۵/۴۶ <sup>a</sup>	۴/۷۹ <sup>**</sup>
درصد رس قابل پراکنش خودبه‌خودی (۱۰-۰ سانتیمتر)	۳/۸۹ <sup>a</sup>	۲/۳۷ <sup>a</sup>	۲/۵۳ <sup>a</sup>	۱/۳۷ <sup>ab</sup>	۰/۳۹ <sup>b</sup>	۳/۲۹ <sup>a</sup>	۳/۲۰ <sup>*</sup>

\*\* بیان‌گر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، \* بیان‌گر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و NS نشان‌دهنده عدم وجود اثر معنی‌دار تیمارهای مورد بررسی می‌باشند.

### ارتباط بین پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک

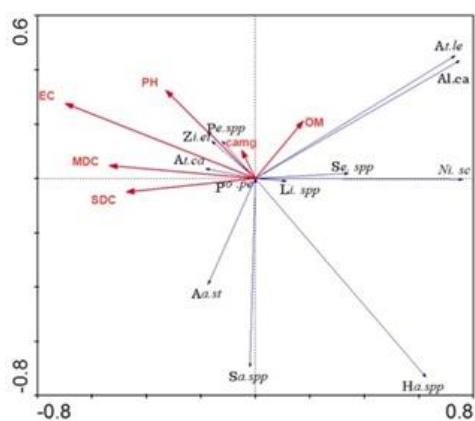
شده است؛ اما به دلیل نوع آبیاری (بدون آبیاری و آبیاری شیاری) درصد تاج پوشش گیاهی این مکان‌ها کم‌تر از ۳ درصد است. در مکان شماره ۲، با وجود کاشت گونه تاغ به تنهایی، به دلیل آبیاری غرقابی وضعیت رطوبت خاک به نسبت بهبود یافته و به همین دلیل میزان تاج پوشش آن

نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) بیان‌گر این است که مکان‌های شماره ۳، ۱ و ۶ از نظر ویژگی‌های پوشش گیاهی به هم نزدیک بوده و دارای کم‌ترین میزان پوشش تاجی و تنوع گونه‌ای هستند (شکل ۱ الف). در مکان‌های ۱ و ۳ تنها گونه تاغ و در مکان ۶ تاغ و قره‌داغ با هم کشت

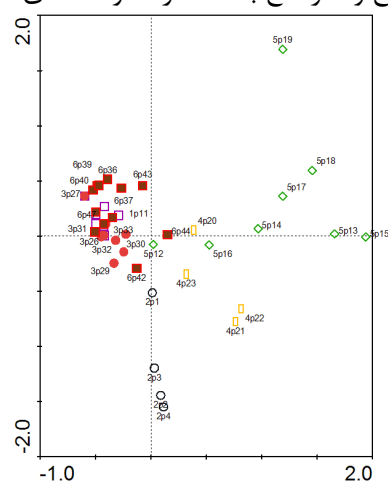
*Limonium sp* و *Alhagi camelorum leucoclada* فراوانی قابل توجهی دارند. در سایت‌های ۱، ۳ و ۶ به علت نوع تیمار آبیاری و کاهش تاج پوشش گیاهی، درصد لاش‌برگ و ماده آلی کم بوده و میزان شوری، اسیدیته، کلسیم و منیزیم محلول در خاک و رس قابل پراکنش افزایش یافته که منجر به کاهش پایداری ساختمان خاک نیز شده است. در این سایت‌ها، گونه‌های همراه تاغ شامل *Atriplex canescens* *Zygophyllum eichwaldii* و *Peganum harmala* هستند.

نتایج تجزیه مولفه‌های اصلی بیان‌گر این است که نوع آبیاری و گونه‌های کشت‌شده تأثیر بسزایی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک داشته‌اند. در شکل ۱ب، بردارها بیان‌گر چگونگی تغییرات ویژگی‌های خاک در سایت‌های مختلف است. با توجه به طول بردار، رسانایی الکتریکی خاکروبین، بیش‌ترین عامل اثرگذار در جداسازی سایت‌های مطالعاتی بوده است. در سایت‌هایی که بدون آبیاری بوده‌اند، بیش‌ترین میزان رسانایی الکتریکی مشاهده شد. این یافته با نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) هماهنگی دارد. همچنین بیش‌ترین میزان مواد آلی خاک رویین، متعلق به تیمار تاغ و قره‌داغ تحت آبیاری غرقابی است.

و سایر ویژگی‌های پوشش گیاهی بیش‌تر شده است (شکل ۱). در مکان‌های ۴ و ۵ دو گونه تاغ و قره‌داغ با هم کشت شده، ولی در مکان ۵ به دلیل آبیاری غرقابی وضعیت تاج پوشش بهتر از سایر مکان‌ها شد. اما غرقابی بودن مکان ۵ سبب تهویه نامناسب خاک شده، برخی گونه‌های همراه از این مکان حذف شده و تنوع گونه‌ای نسبت به مکان ۴ کم‌تر شده است. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای نیز چهار گروه قابل تشخیص است. در گروه اول مکان‌های مطالعاتی ۱، ۳ و ۶ قرار می‌گیرند که از نظر تاج پوشش شرایط یکسانی داشته و مکان‌های ۲، ۴ و ۵ نیز تشکیل سه گروه مجزا را می‌دهند. مکان مطالعاتی ۵ (تاغ و قره‌داغ و آبیاری غرقابی) بیش‌ترین عدم تشابه را با سایر گروه‌ها نشان داد. نتایج حاصل از مولفه‌های اصلی نیز تاییدکننده نتایج تجزیه خوشه‌ای است (شکل ۲). در مکان مطالعاتی شماره ۵ به علت تاج پوشش گیاهی بیش‌تر، درصد بقایای گیاهی نیز قابل توجه بوده و باعث افزایش مواد آلی خاک و در نتیجه افزایش پایداری ساختمان خاک شده است. در این مکان حداقل میزان شوری، اسیدیته، کلسیم و منیزیم محلول در خاک و رس قابل پراکنش مشاهده شده است و این عوامل در کنار هم منجر به پایداری بیش‌تر ساختمان خاک شده است (شکل ۱ب). در این مکان گونه‌های گیاهی تاغ و قره‌داغ به همراه گونه‌های *Atriplex*

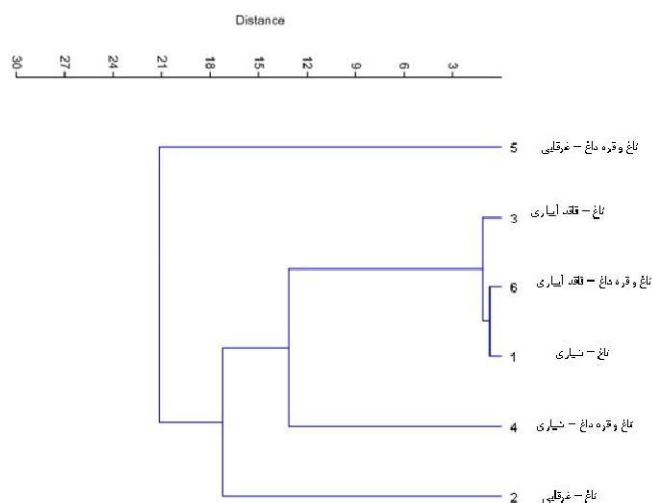


ب



الف

شکل ۱- الف) نتایج روش PCA بر فضای نمونه و ب) نتایج روش PCA برای برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک رویین و گونه‌های گیاهی موجود. اشکال هندسی داخل تصویر پلات‌های مختلف مربوط به مکان‌های مورد مطالعه (سایت‌های مطالعاتی) هستند. لوزی توخالی (مکان ۵)، مستطیل توخالی (مکان ۴)، دایره توخالی (مکان ۲)، دایره توپر (مکان ۳)، مربع توخالی (مکان ۱)، مربع توپر (مکان ۶). فلش‌ها، ویژگی‌های لایه رویین خاک و گونه‌های گیاهی را معرفی می‌کنند. علامت‌های EC رسانایی الکتریکی، pH اسیدیته، OM درصد ماده آلی، Ca+Mg مجموع منیزیم و کلسیم محلول، MDC درصد رس قابل پراکنش مکانیکی و SDC درصد رس قابل پراکنش خودبه‌خودی خاک هستند.



شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای مکان‌های مطالعاتی با معیارهای درصد تاج پوشش و ترکیب گیاهی بر اساس روش فاصله‌ای اقلیدسی و روش اتصالی وارتر

### بحث و نتیجه‌گیری

آبیاری شده با آب چاه است [۳، ۱۳ و ۲۵]. فاضلاب دارای عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است که در حالت معمولی آلوده‌کننده بالقوه آب‌های جاری محسوب می‌شوند ولی این عناصر را می‌توان به عنوان کودمحلول برای کشت و کار و درخت‌کاری به کار برد. چون مقدار عناصر غذایی در فاضلاب شهری، در اغلب موارد بیش‌تر از نیاز گیاهان است، از این‌رو درختان در این شرایط می‌توانند زیتوده بیش‌تری نسبت به درختان آبیاری شده با آب چاه تولید کنند [۱ و ۲].

شاخص‌های غنا و یکنواختی نشان‌دهنده تنوع گیاهی یک منطقه‌اند که در این مطالعه با استفاده از فرمول‌های شانون، مارگالف و سیمپسون برای هر مکان محاسبه شد. ارقام به‌دست آمده بیان‌گر عدم اثرگذاری آبیاری با پساب بر تنوع گونه‌ای بود. در واقع تنوع زمانی تغییر می‌کند که غنا و یکنواختی نیز تغییر کرده باشند (جدول ۳). در منطقه سگری با وجود این‌که محدودیت دسترسی به آب تا حدودی با انجام آبیاری رفع شده است؛ اما محدودیت‌های ادافیکی (خاکی) هم‌چنان به قوت خود باقی بوده و اجازه رشد به هر گونه گیاهی را نداده و تنها گونه‌های خاصی که اغلب جزو گونه‌های مقاوم به شوری و قلیابیت زیاد هستند، توان رشد در این مناطق را دارند. محدودیت‌های ادافیکی از جمله شوری و اسیدیته زیاد خاک (جدول ۴)، محیط را برای جوانه‌زنی بذور نامساعد

نتایج حاصل از بررسی‌های صحرایی و تجزیه آماری داده‌های حاصل (تجزیه واریانس و تجزیه مولفه‌های اصلی) نشان داد که استفاده از پساب شهری برای آبیاری نهال‌های کشت‌شده در منطقه سگری (تاغ و قره‌داغ) منجر به افزایش درصد پوشش تاجی شده است. بیش‌ترین درصد پوشش تاجی در مکانی دیده شد که گیاهان تاغ و قره‌داغ تحت آبیاری غرقابی قرار گرفته‌اند. در مناطق خشک و نیمه‌خشک نخستین و مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و استقرار گیاهان، میزان دسترسی به آب است و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بر میزان آب قابل دسترس برای رشد گیاهان تاثیر دارند. منطقه مورد بررسی (دشت سگری) جزء مناطق بیابانی است و استفاده از پساب برای آبیاری پیش از این‌که به عنوان یک منبع غذایی یا کودی برای گیاهان محسوب شود، منبع مناسبی برای تأمین آب مورد نیاز گیاهان برای رشد و استقرار در منطقه است. از طرفی پساب شهری شامل مقادیر قابل توجهی عناصر غذایی و مواد مورد نیاز برای رشد گیاهان است که در پشت لکه‌های پوشش گیاهی به دام افتاده و محیط را از نظر مواد آلی و عناصر غذایی غنی می‌سازد که خود باعث تقویت پوشش گیاهی می‌شود. نتایج بررسی چندین پژوهشگر بر روی گونه‌های زراعی نشان می‌دهد که قطر و ارتفاع گونه‌ها و همچنین قطر و ارتفاع تاج پوشش گونه‌های آبیاری شده با پساب بیش‌تر از گونه‌های

نتایج تجزیه و تحلیل‌های چندمتغیره نشان داد که رسانایی الکتریکی عاملی بسیار تاثیرگذار در جداسازی مکان‌های مطالعاتی بوده و در سایت‌هایی که بدون آبیاری بوده‌اند، بیش‌ترین رسانایی الکتریکی در لایه رویین خاک دیده شده است (شکل ۱). برخی از گونه‌های گیاهی شورپسند به دلیل این که شوری را از اعماق خاک توسط ریشه‌ها جذب کرده و در برگ‌های خود به صورت بلورهای نمکی ذخیره می‌کنند، پس از ریزش برگ‌ها در سطح خاک باعث افزایش شوری و نامطلوب‌کردن شرایط رشد گونه‌های گیاهی می‌شوند [۱۲]. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از کشت مخلوط گونه‌های تاغ و قره‌داغ برای ایجاد پوشش در منطقه سگری مناسب‌تر بوده است. در کل با توجه به بحران آب در مناطق خشک، می‌توان از پساب شهری به عنوان یک منبع آبی جایگزین برای طرح‌های احیاء و اصلاح مناطق بیابانی استفاده کرد.

### سپاسگزاری

از آقای مهندس مرادی کارشناس محترم اداره منابع طبیعی اصفهان و آقای خبات امامقلی جهت همکاری در اجرای این طرح صمیمانه قدردانی می‌شود.

### References

- [1]. Abedi, M.J., & Najafi, P. (2001). Using treated wastewater in agriculture. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID), 248 p. (in Farsi).
- [2]. AbediKoupai, J., Afyuni, M., Mousavi, S.F., Mostafazadeh, B., & Bagheri, M.R. (2003). The effect of sprinkler and surface irrigation with treated wastewater on soil salinity. *Journal of Water & Wastewater*, 45, 2-12, (in Farsi).
- [3]. Aghabarati, A., Hosseini, S.M., Esmaili, A., & Maralian, H. (2009). The effects of irrigation with municipal effluent on physico-chemical characteristics of soil, accumulation of nutrient and Cd in olive trees (*Olea europaea* L.). *Environmental Sciences*, 6, 1-10, (in Farsi).
- [4]. Azarnivand, H., & Zare-Chahooki, M.A. (2010). Rangeland ecology. Tehran University Press.

ساخته است. نتایج این پژوهش نشان داد در مکان‌هایی که گونه‌های تاغ و قره‌داغ با هم کاشته شده بودند، میزان غنای گونه‌ای بیش‌تر از سایر مکان‌ها بود. دلیل این یافته را می‌توان به فراهم‌نمودن شرایط نسبی برای رشد و استقرار سایر گیاهان به ویژه گونه‌های کم‌زی و یک‌ساله در زیراشکوب آن‌ها نسبت داد. گزارش شده است که کشت گونه تاغ اثر معنی‌داری بر شاخص‌های غنا و یکنواختی و تنوع گونه‌ای نداشته است [۶].

از طرفی استفاده از پساب باعث افزایش ماده آلی خاک نیز شد (جدول ۴). ماده آلی یکی از عوامل مهم خاکدانه‌سازی و پایداری ساختمان خاک است. از آنجایی که رس قابل پراکنش شاخصی از ناپایداری ساختمانی خاک است، بنابراین کاربرد فاضلاب با افزایش ماده آلی سبب افزایش پایداری ساختمان (یا کاهش مقدار رس قابل پراکنش) خاک شده است (جدول ۴). بیش‌تر خاک‌های مناطق خشک دارای ماده آلی کم‌تر از یک درصد هستند که این باعث کاهش کیفیت فیزیکی (به ویژه از نظر پایداری ساختمان) این خاک‌ها شده است. بنابراین با افزایش میزان ماده آلی خاک‌های مناطق خشک بر میزان پایداری ساختمان آن‌ها افزوده می‌شود [۸ و ۱۵].

- [5]. BakhshandehMehr, L., Soltani, S., & Sepehr, A. (2013). Evaluating the current desertification status and modifying Medalus model in Isfahan. *Range and watershed Journal*, 66(1), 27-41, (in Farsi).
- [6]. Bakhshi, J., Birodian, N., & Ghadimi, M. (2007). Evaluating plantation of *Haloxylon persicum* on richness and evenness condition of understory species in Ardestan area. *Journal of Pajohesh & Sazandegi in Natural Resources*, 79, 2-10, (in Farsi).
- [7]. Cunningham, J.D. (1975). Yield and metal composition of corn and rye grown on wastewater sludge-amended soil. *Journal of Environment*. 4, 448-454.
- [8]. Eskandari, Z. (1995). Study of pedologic factors on growth and establishment of Atriplex in Habib Abad-



- E- Esfahan. *PajouheshSazandegi*, 29, 16-21, (in Farsi).
- [9]. Hasanoghli, A., Liaghat, A., & Mirabzadeh, M. (2002). Effect of water reuse on organic matter concentration of soil and its self purification. *Journal of Water and Wastewater*, 42, 2-11, (in Farsi).
- [10]. Hoodaji, M., Tahmourespour, A., & Amini, H. (2010). Assessment of copper, cobalt and zinc contaminations in soils and plants of industrial area in Isfahan city (in Iran). *Environmental Earth Sciences*, 61, 1353-1360.
- [11]. Mesdaghi, M. (2001). Vegetation description and analysis. Mashhad JahadDaneshgahi publication, 287p. (in Farsi)
- [12]. Moghimi, J. (2005). Introducing some important range species. Arvan Press. 669 p. (in Farsi).
- [13]. Monzavi, M.T. (1993). Urban wastewater, Purification of waste water, No 1867, Tehran University Press.
- [14]. Pabot, H. (1967). Pasture development and range improvement through botanical and ecological studies. Report to government of Iran, FAO.
- [15]. Reynolds, W.D., Bowman, B.T., Drury, C.F., Tan, C.S., & Lu, X. (2002). Indicators of soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, 110, 131-146.
- [16]. Salehi, A., & Tabari, M.(2008). Accumulation of Zn, Cu, Ni and Pb in soil and leaf of *Pinus eldarica* Meadow following irrigation with municipal effluent. *Research Journal of Environmental Sciences*, 2, 291-297.
- [17]. Saucedo, D., Sammis, T.W., Picchioni, G.A., & Mexal, J.G. (2006). Wastewater application and water use of *Larrea tridentate*. *Agricultural Water Management*, 82(3), 343-353.
- [18]. Shahriari, A., Noori, S., AbediKoupai, J., & Asaleh, F. (2011). Effect of irrigation with treated municipal wastewater on yield of *Nitrariaschoberi* under greenhouse conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 1, 13-22, (in Farsi).
- [19]. Shiau, J.T., & Modarres, R. (2009). Copula-based drought severity-duration-frequency analysis in Iran. *Meteorological Applications*, 16, 481-489.
- [20]. Simeoni, L.A., Barabari, R.K.A., & Sabey, B.R. (1984). Effect of small-scale composting of Wastewater sludge on heavy metal availability to plants. *Journal of Environment*, 13(2), 264-68.
- [21]. Soroush, F., Mousavi, F., Razmjoo, K.H., & Mostafazadeh-Fard, B. (2008). Effects of treated wastewater on uptake of some elements by Turf grass in different soil textures. *Journal of Water and Soil*, 22, 285-294, (in Farsi).
- [22]. Sweeney, D., & Pierzynski, G.M. (1995). Land application of municipal soil waste compost: Nutrient uptake. *Agronomy Abstracts*, 338p.
- [23]. Tabari, H., & Aghajanloo, M.B. (2013). Temporal pattern of aridity index in Iran with considering precipitation and evapotranspiration trends. *International Journal of Climatology*, 33, 396-409.
- [24]. 24-Truong, P., Ven, T.T., & Pinners, E. (2013). Vetiver, a wonderful plant species. Translated by: Sangooni, H. & Bashari, H., Pelk Press, (in Farsi).
- [25]. YarianKoupai, M. (2000). The effects of wastewater and various irrigation systems on some agricultural products. Msc. Thesis of Irrigation, Isfahan University of Technology.
- [26]. Zolfaghari, H., Hashemi, R., & Fashi, V.M. (2009) Evaluating the ratio of maximum daily precipitation to total annual precipitation. *Geographical Researches*, 24(1), 15571-15594, (in Farsi).

## Study of vegetation and diversity indices and surface soil properties affected by urban wastewater application in combating desertification projects (Case study: Segzi, Isfahan)

1-T. Shahabadi, M.S.c student of Range Management, Department of Range and Watershed Management, Natural Resources Faculty, Isfahan University of Technology

2- M. Tarkesh Isfahani, Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Natural Resources Faculty, Isfahan University of Technology

3- H. Bashari, Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Natural Resources Faculty, Isfahan University of Technology Hbashari@cc.iut.ac.ir

4- M.R. Mossadeghi, Associate Professor, Department of Soil Science, Agriculture Faculty, Isfahan University of Technology

Received: 07 Sep 2014

Accepted: 08 Jun 2015

### Abstract

The effects of using urban wastewater on vegetation and plant diversity indices and surface soil properties were evaluated in combating desertification station of Segzi in east part of Isfahan. Six sites with respect to the planted species (*Haloxylon persicum* and *Nitraria schoberi*) and irrigation types (control or no irrigation, water-logged and furrow irrigation methods) were selected with 4 - 12 replications. Forty seven surface soil samples were collected and soil texture, organic matter content, acidity, electrical conductivity, calcium and magnesium concentrations, and structure stability were measured. Cover percentage of the species was measured in 47 nested plots. The species richness, diversity and evenness in all replications were calculated by Margalef, Shannon and Simpson indices, respectively. Principal Component Analysis (PCA) and one-way ANOVA were used to interpret the relationships between soil and vegetation properties. Results showed that using urban wastewater significantly increased vegetation cover (about 24.81 to 31.3 %) but plant diversity was not statistically affected. Soil organic matter content and as a consequence of aggregate stability, were significantly increased by irrigating the sites with wastewater. Dispersible clay was decreased (i.e. soil structural stability was increased) as a result of irrigating with wastewater. Therefore, urban wastewater might be used as a source of water for range restoration projects to prevent desertification in natural ecosystems.

**Keywords:** Wastewater; Vegetation; Species diversity; Ordination; combating desertification; Soil structural stability.