فصلنامه علوم محیطی، دوره چهاردهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵

۱-۱۲

# پهنه‌بندی عناصر غذایی (نیترات و فسفات)، کربن آلی، هدایت الکتریکی و pH خاک در اراضی جنوب شهر تهران

**جواد بیات[۱]، سید حسین هاشمی[۲]*، کورس خوشبخت[۳] و رضا دیهیم‌فرد[۴]**

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست-آلودگی‌های محیط زیست، گروه آلاینده‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

[۲] استادیار گروه آلاینده‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

[۳] دانشیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

[۴] استادیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۲۸

**چکیده**

در این پژوهش در ۸۳ موقعیت، تعداد ۱۶۶ نمونه خاک به روش سیستماتیک-تصادفی در دو عمق صفر تا ۳۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری گرفته و غلظت نیترات، فسفات، هدایت الکتریکی، کربن آلی و pH آن اندازه‌گیری و از روش وزن‌دهی عکس فاصله برای تهیه نقشه پهنه‌بندی پارامترها استفاده شد. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد که در عمق یک پارامترهای فسفات، هدایت الکتریکی و کربن آلی در شمال و پارامترهای نیترات در جنوب منطقه و در عمق دو پارامتر فسفات در شمال و پارامترهای نیترات و هدایت الکتریکی در جنوب منطقه بیشترین غلظت را دارند و میزان کربن آلی در این عمق در سراسر منطقه یکنواخت به نظر می‌رسد. نتایج حاصل همچنین نشان داد که میزان نیترات و فسفات در زمین‌های کشاورزی به دلیل استفاده از فاضلاب تصفیه‌نشده و کودهای شیمیایی توسط کشاورزان بسیار بالا است و با افزایش عمق، غلظت آنها کاهش می‌یابد. هم‌چنین نتایج مربوط به اندازه‌گیری کربن آلی در خاک نشان داد که اراضی منطقه شرایط مناسبی از لحاظ میزان ماده آلی دارند. pH خاک در کل منطقه در هر دو عمق حالت قلیایی داشت و هدایت الکتریکی نیز با افزایش عمق کاهش یافت. نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن بین پارامترها نشان داد که میزان هدایت الکتریکی خاک در هر دو عمق همبستگی مثبت و معناداری با نیترات و همبستگی معکوسی با میزان فسفات دارد. همچنین میزان فسفات همبستگی مثبت و معناداری با محتوای کربن آلی خاک در لایه سطحی دارد.

**کلمات کلیدی:** عناصر غذایی خاک، پهنه‌بندی، آلودگی خاک، اراضی کشاورزی.

## Interpolation of Soil Nutrients (Nitrate and Phosphate), Organic Carbon, EC and pH in Agricultural Lands to the South of Tehran City

**Javad Bayat[1], Seyed Hossein Hashemi[2]*, Kores Khoshbakht[3], Reza Deihimfard[4]**

[1] *MSc. Graduated of Environmental Pollutants, Department of Environmental Pollutants Research, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran*

[2] *Department of Environmental Pollutants Research, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran*

[3] *Associate Prof., Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran*

[4] *Assistant Prof., Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran*

**Abstract**

In this study, 83 sampling points were chosen in the study area. Sampling was conducted at two soil depths (0-30 cm and 30-60 cm) and the concentrations of nitrate, phosphate, EC, pH and organic carbon were determined. Interpolation maps were created using the IDW method. These showed that in the top soil, soil phosphorus, EC and OC have the maximum concentration in the northern part of the area and nitrate in the southern part of the area; in second depth soil, phosphorus has the maximum concentration in the North of the area and nitrate and EC in the South of the area, while OC has a uniform distribution over the whole area. Analysis of soil chemical properties showed high concentrations of nitrate and phosphate in the upper soil layer in the studied areas, mainly due to the use of untreated urban wastewater and chemical fertilizers by the farmers; in addition, results of organic carbon measurement showed that this area has a good condition in terms of organic matters. Soil pH in the area was alkaline and EC decreased at a lower depth. The results of Spearman correlation analysis showed that EC has a positive correlation with nitrate and a negative correlation with phosphate at both depths. Also, organic carbon has a positive correlation with soil phosphate in the top soil.

**Keywords:** Soil Nutrients, Interpolation, Soil pollution, Agricultural land.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: h_hashemi@sbu.ac.ir

## ۱- مقدمه

با پیشرفت بشر و افزایش جمعیت، نیاز انسان به منابع حیاتی نیز بیشتر شده است. درنتیجه‌ی فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، انسان مقدار زیادی از خاک‌ها را آلوده کرده است [۱]. خاک توده‌ای بی‌جان نیست بلکه علاوه بر بخش غیرزنده (مواد معدنی، هوا، آب و مواد آلی) شامل انواع باکتری‌ها، گیاهان و جانوران است که حیات این بخش به کیفیت بخش غیرزنده بستگی دارد. از طرف دیگر بخش زنده نیز در کیفیت بخش غیرزنده دخالت دارد. بنابراین، این دو بخش در تعامل با یکدیگر هستند و بین آنها یک تعادل اکولوژیکی برقرار است. درصورتی‌که این تعادل از بین برود ساختار خاک نیز تغییر خواهد کرد [۲]. زمین‌های کشاورزی یکی از منابع تجدیدناپذیر حیاتی است که عملکردهایی همچون تولید مواد غذایی و نقش‌های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی دارد [۳]. با آلوده شدن زمین‌های کشاورزی بازده محصولات کاهش یافته و به تدریج زمین‌های آلوده قابلیت کشت نخواهند داشت و به حال خود رها می‌شوند یا اینکه تغییر کاربری صورت می‌گیرد و سطح زیر کشت برای کاشت محصولات کاهش پیدا می‌کند. درنتیجه تولید محصولات کشاورزی به شدت پایین می‌آید و افراد زیادی به همین دلیل شغل خود را از دست می‌دهند.

اراضی منطقه جنوب تهران مهم‌ترین منبع تولید محصولات کشاورزی در شهر تهران بوده که تولید انواع سبزیجات، حبوبات، غلات و سایر محصولات را در بر می‌گیرد. با توجه به استفاده بیش از حد کشاورزان این منطقه از کودهای شیمیایی و حیوانی و حتی فاضلاب تصفیه‌نشده شهر تهران، احتمال بالا بودن میزان برخی از پارامترهای در خاک وجود دارد.

کراسیلنیکوف و همکاران در روسیه ساختار مکانی اسیدیته و کربن آلی موجود در خاک ۴ ناحیه مختلف را بررسی کردند. در این پژوهش تعداد ۳۱۸ نمونه خاک (مجموعا از ۴ ناحیه) از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد [۴]. بوخیر و همکاران در سال ۲۰۰۸ کربن آلی خاک در نواحی جنوبی دانمارک را مورد بررسی قرار دادند: ۱۵۴۱ نمونه از خاک در عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری برداشت و آنالیز شد [۵]. شو و همکاران در سال ۲۰۱۰ در چین تأثیر استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده را بر خاک زمین‌های کشاورزی بررسی کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که زمین‌هایی که به مدت ۲۰ سال با فاضلاب آبیاری شده‌اند کمترین pH را داشته و میزان هدایت الکتریکی، کربن آلی و نیتروژن در زمین‌های آبیاری‌شده با فاضلاب بیشتر است [۶]. در پژوهشی دیگر عایشه و همکاران در سال ۲۰۱۰ در مالزی تغییرات مکانی پارامترهای شیمیایی خاک مربوط به مزرعه برنج **را** بررسی کردند. در این تحقیق تعداد ۱۳۸ نمونه خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری بعد از برداشت محصولات جمع‌آوری شد [۷].

با توجه به اینکه پهنه‌بندی پراکنش عناصر غذایی و پارامترهای شیمیایی- فیزیکی خاک در این منطقه می‌تواند بسیاری از مشکلات احتمالی در محیط زیست منطقه را نشان دهد، بنابراین این روش می‌تواند به عنوان روشی کارا در ایران به‌کار گرفته شود و استفاده از آن می‌تواند در انتخاب راهکار مناسب برای کنترل این عناصر، تصمیم‌گیری‌های مناسب در مدیریت کشاورزی و جلوگیری از بروز فجایع زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی مؤثر باشد.

هدف از انجام این پژوهش پهنه‌بندی پراکنش عناصر غذایی (فسفات، نیترات، کربن آلی) و پارامترهای شیمیایی-فیزیکی خاک (هدایت الکتریکی و pH) در زمین‌های کشاورزی محدوده اطراف پالایشگاه نفت شهرری واقع در جنوب تهران است که تاکنون پژوهش مشابهی درباره پهنه‌بندی پارامترهای خاک در این منطقه انجام نشده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد بررسی

منطقه بررسی‌شده در استان تهران و در منطقه شهرستان ری در جنوب‌شرق پالایشگاه نفت تهران واقع شده است. شکل یک موقعیت محدوده بررسی‌شده در ایران و همچنین نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. این محدوده به مساحت حدود ۲ هزار هکتار در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی از نصف‌النهار گرینویچ در دهستان کهریزک و بخش کوچکی از آن در دهستان قلعه‌نو در شهرستان ری واقع شده است. بیشتر گیاهان زراعی که در این محدوده کشت می‌شوند شامل یونجه، ذرت، گندم و جو است. گفتنی است که در شمال منطقه بیشتر کشت صیفی‌جات رایج است.

**شکل ۱**- محدوده مورد بررسی در ایران (راست) و نقاط نمونه‌برداری‌شده (چپ)

**جدول ۱**- روش استاندارد مورد استفاده برای آنالیز نمونه‌های خاک

| ردیف | پارامتر | استاندارد مورد استفاده | کد روش |
|---|---|---|---|
| ۱ | pH | Soil and Plant Analysis Laboratory Manual | ۱-۵ |
| ۲ | EC | Soil and Plant Analysis Laboratory Manual | ۲-۵ |
| ۳ | نیترات | Soil and Plant Analysis Laboratory Manual | ۴-۱-۶ |
| ۴ | فسفات | Soil and Plant Analysis Laboratory Manual | ۲-۶ |
| ۵ | کربن آلی | Soil and Plant Analysis Laboratory Manual | ۴-۵ |

## ۲-۲- نمونه‌برداری

برای پیدا کردن مکان نقطه نمونه‌برداری از دستگاه جی‌پی‌اس استفاده شد و نمونه‌برداری از دو عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری برداشت شد. پس از قرار گرفتن در محل مشخص‌شده آنها روی نقشه، نمونه‌های عمق یک از عمق ۱۵ سانتی‌متری به عنوان نماینده این عمق و نمونه‌های عمق دو از همان نقطه با حفر زمین تا عمق ۴۵ سانتی‌متری به عنوان نماینده عمق دو جمع‌آوری و برداشت شدند. در نهایت تعداد ۸۳ نقطه در دو عمق نمونه‌برداری شد. پس از برداشت، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و در دمای محیط و به دور از نور خورشید خشک و سپس برای انجام آزمایش‌ها الک شدند. در جدول زیر روش‌های مورد استفاده برای آنالیز نمونه‌ها آورده شده است.

## ۲-۳- روش پهنه‌بندی

در این پژوهش برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی از روش وزن‌دهی عکس فاصله[1] در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.3 استفاده شد. اگرچه در بسیاری ازپژوهش‌ها روش کریجینگ به عنوان روشی مناسب معرفی شده است اما در این پژوهش به دلیل عدم تطابق واریوگرام و عدم همبستگی مکانی نقاط نمونه‌برداری و همچنین مناسب نبودن نقشه پهنه‌بندی ایجادشده با این روش، از روش وزن‌دهی عکس فاصله استفاده شد.

## ۲-۴- تحلیل‌های آماری

آزمون‌های آماری به‌کاررفته برای تحلیل داده‌های مربوط به اندازه‌گیری پارامترها در این پژوهش شامل:

میانگین، میانه، خطای استاندارد، آزمون همبستگی با روش اسپیرمن و آزمون t student برای تعیین اختلاف بین پارامترها در دو عمق است. در این پژوهش برای انجام آزمون‌های آماری از نرم‌افزار R استفاده شد. برای انجام آزمون t بین دو عمق ابتدا نرمال بودن داده‌ها چک شد و در صورتی که داده‌های مربوط به یک پارامتر نرمال نبود، با حذف حداکثر چهار داده پرت نرمال شد.

## ۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای خاک (نیترات، فسفات، کربن آلی، pH و هدایت الکتریکی) در دو عمق صفر تا ۳۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری به ترتیب در جدول‌های ۴-۱ و ۴-۲ آورده شده است.

**جدول ۲**- نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

| | کربن آلی(درصد) | فسفات(mg/kg) | نیترات(mg/ kg) | EC(ms/cm) | pH |
|---|---|---|---|---|---|
| میانگین | ۱/۱ | ۱۱۵۷/۹۷ | ۱۳۴/۹۹ | ۲/۵۹ | ۸/۳۲ |
| میانه | ۱/۰۵ | ۱۰۴۲ | ۷۶/۳۳ | ۱/۷۱ | ۸/۳۵ |
| خطای استاندارد | ۰/۰۴ | ۹۵/۴۲ | ۱۵/۲۰ | ۰/۲۵ | ۰/۰۳ |
| حداقل | ۰/۱ | ۴۵/۵ | ۱۳/۰۸ | ۰/۵۵ | ۷/۶۴ |
| حداکثر | ۱/۲۴ | ۳۹۱۴ | ۶۰۱/۶ | ۱۲/۷۸ | ۸/۸ |

**جدول ۳**- نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای خاک در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری

| | کربن آلی(درصد) | فسفات(mg/kg) | نیترات(mg/kg) | EC(ms/cm) | pH |
|---|---|---|---|---|---|
| میانگین | ۰/۷۸ | ۷۶۲/۳۸ | ۱۰۶/۶۸ | ۲/۳۷ | ۸/۲۶ |
| میانه | ۰/۷ | ۶۱۲/۵ | ۶۲/۶۷ | ۱/۵ | ۸/۳۲ |
| خطای استاندارد | ۰/۰۵ | ۱۱/۹۱ | ۱۱/۹۱ | ۰/۲۳۹ | ۰/۰۴ |
| حداقل | ۰/۰۷ | ۳۹/۵ | ۸/۶۶ | ۰/۵۸ | ۶/۹۶ |
| حداکثر | ۲/۱۴ | ۲۸۷۹ | ۴۴۷/۵ | ۱۵/۱۹ | ۹/۰۲ |

**جدول ۴**- نتایج حاصل از آزمون تی در دو عمق صفر تا ۳۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری

| پارامتر | t value | میانگین در عمق اول | میانگین در عمق دوم |
|---|---|---|---|
| pH | ۱۳۵/۱۳** | ۲/۸۸ | ۲/۱۱ |
| EC | ۰/۶۶ns | ۲/۱۵ | ۲/۰۸ |
| نیترات | ۱/۷۰ns | ۴/۴۹ | ۴/۲۶ |
| فسفات | ۳/۲۴** | ۳۱/۴۵ | ۲۵/۳۷ |
| کربن آلی | ۵/۰۳** | ۱/۰۲۹ | ۰/۸۵ |

** معناداری در یک درصد، * معناداری در پنج درصد و ns عدم معنادار شدن است.

**جدول ۵**- نتایج حاصل از آزمون همبستگی اسپیرمن بین پارامترها در دو عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری

| | cm ۳۰-۶۰ | | | | cm ۰-۳۰ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| متغیرها | OC | P | N | EC | OC | P | N | EC |
| pH | *-۰/۱۹ | ns۰/۲۰ | **-۰/۴۱ | **-۰/۴۴ | ns۰/۰۵ | ns۰/۰۹ | **-۰/۳۶ | **-۰/۳۴ |
| EC | ns۰/۰۱ | **-۰/۵۸ | **۰/۴۰ | ۱ | *-۰/۲۶ | **-۰/۴۲ | **۰/۴۷ | ۱ |
| N | ns۰/۱۳ | ns۰/۱۰ | ۱ | | ns۰/۰۹ | ns۰/۱۵ | ۱ | |
| P | ns۰/۱۸ | ۱ | | | **۰/۵۸ | ۱ | | |
| OC | ۱ | | | | ۱ | | | |

** معناداری در یک درصد، * معناداری در پنج درصد و ns عدم معنادار شدن است. EC (هدایت الکتریکی)، N (نیتروژن)، P (فسفر)، OC (کربن آلی)

بر اساس نتایج حاصل از آزمون t در دو عمق، اختلاف معناداری بین دو عمق برای پارامترهای EC و نیتروژن مشاهده نشد، در صورتی که برای پارامترهای pH، فسفر و کربن آلی در دو عمق اختلاف معناداری مشاهده شد. استفاده از فاضلاب خام و تصفیه‌نشده شهری در آبیاری زمین‌های کشاورزی باعث شده است که هدایت الکتریکی خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متری تفاوت چندانی نداشته باشد. همچنین عدم وجود اختلاف معنادار برای نیترات در دو عمق به دلیل حلالیت بالای نیترات در آب است که با عمل آبیاری شسته شده و به لایه‌های زیرین خاک وارد می‌شود. بنابراین، این ماده می‌تواند در لایه‌های مختلف خاک وجود داشته باشد. وجود اختلاف معنادار بین دو عمق برای فسفات به دلیل عدم حلالیت ترکیبات فسفات در آب بوده که باعث شده است این ماده در لایه سطحی میزان بیشتری داشته باشد و کمتر به عمق خاک نفوذ کند. وجود اختلاف معنادار بین دو عمق برای کربن آلی نیز منطقی به نظر می‌رسد که با افزایش عمق میزان کربن آلی خاک نیز کاهش یافته است.

در عمق یک pH خاک همبستگی معکوس و معناداری با هدایت الکتریکی و نیترات دارد ولی با کربن آلی و فسفر رابطه معناداری ندارد. هدایت الکتریکی با pH، فسفات و کربن آلی همبستگی معکوس و معنادار و با نیترات همبستگی مستقیم و معناداری دارد که نشان می‌دهد با افزایش یکی از این دو پارامتر، پارامتر دیگر نیز افزایش می‌یابد. بین نیتروژن با فسفات و کربن آلی خاک رابطه معناداری وجود ندارد ولی بین کربن آلی و میزان فسفات همبستگی مستقیم و معناداری وجود دارد. در عمق دو بین pH، هدایت الکتریکی، نیترات و کربن آلی همبستگی معکوس و معناداری وجود دارد ولی بین pH و فسفات خاک همبستگی معناداری وجود ندارد. هدایت الکتریکی همانند عمق یک همبستگی معناداری با نیترات و فسفات خاک دارد که این همبستگی برای نیترات مستقیم و برای فسفات معکوس است. بین نیترات، فسفات و کربن آلی نیز رابطه معناداری وجود ندارد.

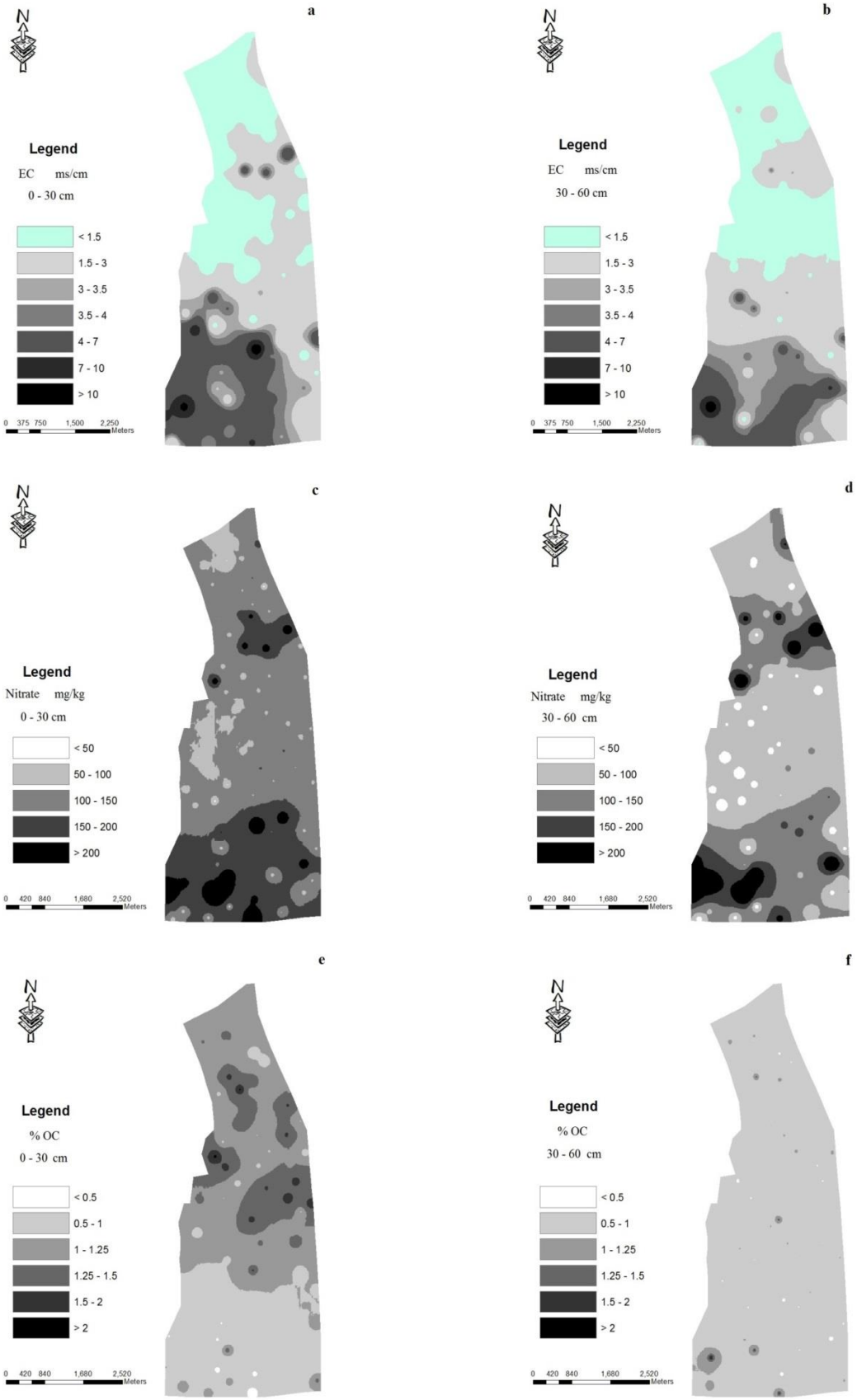
### ۱-۳- نقشه‌های پهنه‌بندی

شکل‌های دو و سه نقشه‌های پهنه‌بندی پراکنش پارامترهای شیمیایی-فیزیکی خاک در دو عمق نمونه‌برداری‌شده در جنوب تهران را نشان می‌دهد.

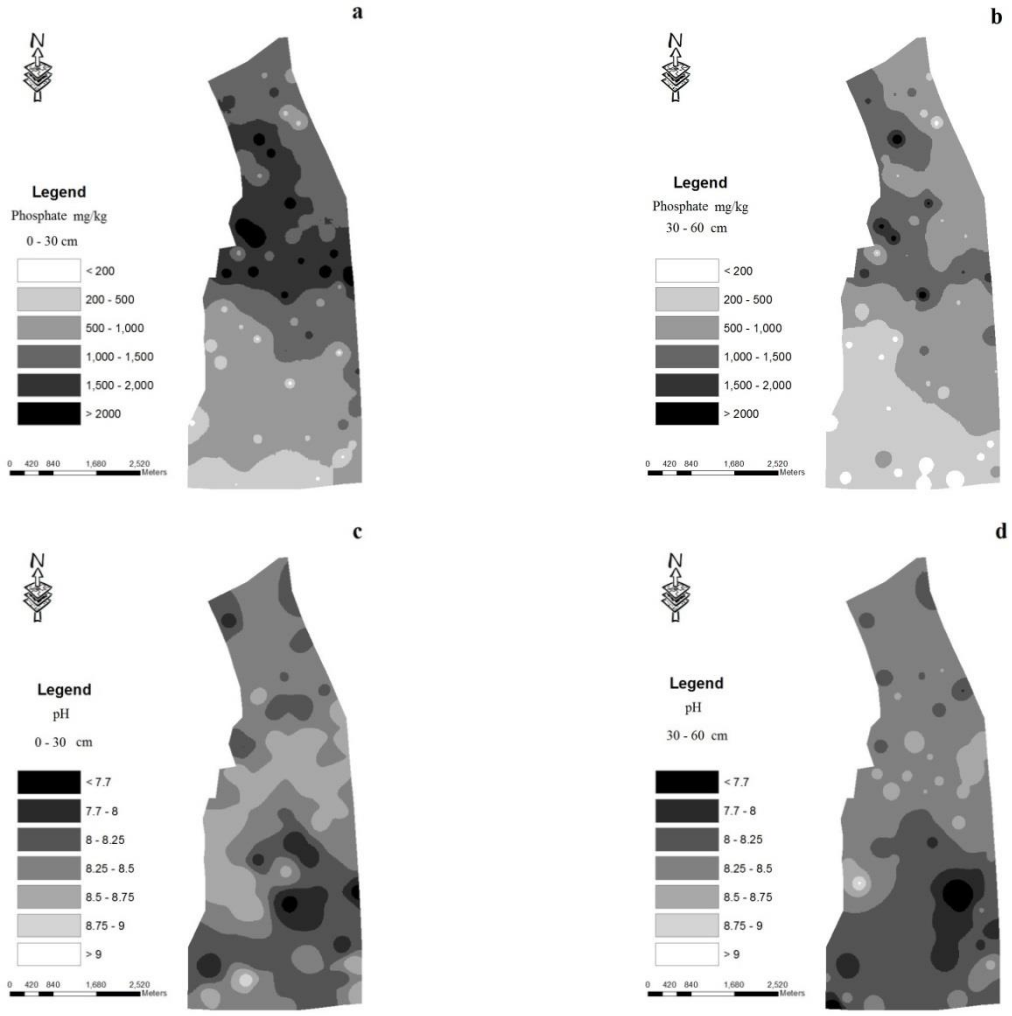
#### ۱-۳-۱- pH خاک

pH خاک مانند بیشتر مناطق ایران قلیایی است و با افزایش عمق میزان pH کاهش یافته است. نقشه‌های پهنه‌بندی pH (شکل ۳ c و d) نشان می‌دهند که در هر دو عمق بیشتر منطقه دارای pH بین ۸ تا ۸/۵ است (۸۰ درصد سطح منطقه در عمق یک و ۹۰ درصد سطح منطقه در عمق دو) و این امر نشان‌دهنده این است که محصولات کشاورزی از نظر مسمومیت به عناصر سنگین خاک مشکل زیادی نخواهند داشت زیرا که بیشتر این فلزات در pHهای بالای خاک رسوب کرده و تحرک کمتری دارند (عرفان‌منش و افیونی، ۱۳۹۰). نتایج حاصل از آزمون تی وجود اختلاف معناداری بین دو عمق نمونه‌برداری‌شده را نشان می‌دهد که با افزایش عمق از میزان pH خاک کاسته شده است.

نقشه پهنه‌بندی pH در منطقه نیز نشان می‌دهد که در هر دو عمق شمال منطقه pH قلیایی‌تری نسبت به جنوب منطقه دارد. محمد روسان و همکاران با بررسی استفاده درازمدت فاضلاب در کشاورزی به این نتیجه رسیدند که استفاده از فاضلاب در آبیاری باعث افزایش pH خاک شده است [۸]. اگرچه خاک منطقه همانند بیشتر مناطق ایران حالت قلیایی دارد اما بالا بودن میزان pH فاضلاب خام شهری (میزان pH فاضلاب بین ۷-۸ اندازه‌گیری شد) نیز یکی از دلایل بالا بودن pH در زمین‌های منطقه است. النکشابندی و همکاران در اردن نتایج مشابهی را گزارش کردند. آنها با بررسی مناطق آبیاری‌شده با فاضلاب تصفیه‌نشده گزارش کردند که استفاده از فاضلاب باعث افزایش pH خاک شده است [۹]. بالا بودن pH خاک در زمین‌های کشاورزی از یک طرف باعث رسوب برخی از فلزات سنگین می‌شود ولی از سوی دیگر pH بهینه را برای بسیاری از گیاهان زراعی مختل می‌کند. برای مثال pH بهینه برای گیاه ذرت از ۵/۸ تا ۷/۸ تغییر می‌کند و برای گیاه یونجه تا هشت نیز می‌رسد. نقشه پهنه‌بندی pH در عمق یک نشان داد که تقریباً ۸۰ درصد سطح منطقه pH بیشتر از هشت دارد، بنابراین تولید محصول توسط گیاهان زراعی می‌تواند تحت تأثیر pH خاک در زمین‌های منطقه قرار گیرد.




**شکل ۲**- نقشه‌های پهنه‌بندی EC، نیترات و کربن آلی خاک در عمق یک و عمق دو




**شکل ۳**- نقشه‌های پهنه‌بندی فسفات و pH خاک در عمق یک و عمق دو

### ۲-۱-۳- هدایت الکتریکی خاک

میزان هدایت الکتریکی خاک با افزایش عمق کمی کاهش یافته است، اما اختلاف معناداری بین دو عمق برای هدایت الکتریکی مشاهده نشد که یکی از دلایل آن استفاده از فاضلاب خام با هدایت الکتریکی بالا در آبیاری زمین‌های کشاورزی است. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی EC (شکل دو a و b) در منطقه، ملاحظه می‌شود که بیشتر سطح منطقه در هر دو عمق نمونه‌برداری‌شده دارای هدایت الکتریکی کمتر از سه و نیم میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر است (۸۵ درصد در عمق یک و ۸۱ درصد از سطح منطقه در عمق دو). همچنین این نقشه‌ها نشان می‌دهند که در عمق یک جنوب منطقه و در عمق دو شمال منطقه کمترین میزان EC را دارد. در عمق یک در قسمت مرکزی و در عمق دو در قسمت جنوبی منطقه نقاطی با هدایت الکتریکی بیشتر از ۱۰ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. بر اساس استانداردهای ارائه‌شده توسط سیس و همکاران در مورد شرایط رشد گیاهان در زمین‌های کشاورزی، برای مثال برای گیاه یونجه، هدایت الکتریکی کمتر از دو میلی‌زیمنس تأثیری بر کاهش محصول ندارد، ولی درصورتی‌که این پارامتر تا ۳/۴ افزایش یابد میزان ۱۰ درصد و در هدایت الکتریکی ۱۶ میلی‌زیمنس میزان کاهش محصول یونجه ۱۰۰ درصد است [۱۰]. درصورتی‌که برای گیاه ذرت EC کمتر از ۱/۷ تأثیری بر میزان محصول نداشته ولی در EC بیشتر از ۲/۵ میلی‌زیمنس ۱۰ درصد و در EC ۱۰ میلی‌زیمنس میزان کاهش محصول ۱۰۰ درصد است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی EC در عمق یک می‌توان نتیجه گرفت که هدایت الکتریکی منطقه می‌تواند بر تولید یونجه و ذرت تأثیر داشته باشد ولی با توجه به مقاومت بیشتر گیاه یونجه تأثیرپذیری آن کمتر است. محمد روسان و همکاران در اردن با بررسی استفاده ذرازمدت فاضلاب در کشاورزی به

این نتیجه رسیدند که فاضلاب به طور معناداری هدایت الکتریکی را در زمین‌های کشاورزی افزایش داده است [۸]. زما و همکاران در ایتالیا با بررسی تأثیر فاضلاب در آبیاری، افزایش هدایت الکتریکی را در خاک گزارش کردند که یکی از دلایل آن بالا بودن هدایت الکتریکی فاضلاب شهری بوده است [۱۱]. درصورتی‌که میزان نمک‌هایی که باعث افزایش هدایت الکتریکی می‌شوند در خاک افزایش یابد فعالیت میکروارگانیسم‌ها و ریشه گیاهان را مختل می‌کند و از این طریق باعث کاهش عملکرد محصولات کشاورزی خواهد شد.

### ۳-۱-۳- کربن آلی خاک

با توجه به بالا بودن میزان کربن آلی در عمق یک (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) به نظر می‌رسد که منطقه از لحاظ ماده آلی شرایط خوبی داشته باشد. یکی از دلایل بالا بودن میزان کربن آلی در عمق یک استفاده از کود حیوانی توسط کشاورزان و همچنین فساد مواد گیاهی باقیمانده در سطح خاک است درصورتی‌که در اعماق خاک (بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر) ترشحات ریشه گیاهان منشأ اصلی کربن آلی است، بنابراین گیاهانی که ریشه عمیق‌تری داشته باشند تأثیر بیشتری بر میزان کربن آلی در اعماق خواهند داشت. نتایج حاصل نشان می‌دهد که با افزایش عمق، میزان کربن آلی نیز کاهش می‌یابد که این امر منطقی به نظر می‌رسد. نتایج حاصل از آزمون t نیز اختلاف معناداری برای کربن آلی بین دو عمق را نشان داد. با مشاهده نقشه پهنه‌بندی کربن آلی (شکل دو e و f) در منطقه، مشاهده می‌شود که در عمق یک بیشتر مساحت منطقه دارای یک تا یک و نیم درصد کربن آلی است (در حدود ۶۸ درصد سطح منطقه) در حالی که در عمق دو بیشتر سطح منطقه نیم تا یک درصد کربن آلی دارد (در حدود ۹۷ درصد سطح منطقه). در کل میزان کربن آلی خاک در قسمت‌های شمالی و مرکزی منطقه بیشتر از جنوب منطقه است. بالا بودن میزان این پارامتر در شمال منطقه را می‌توان با الگوی کشت محصولات متفاوت در قسمت‌های مختلف توجیه کرد به‌طوری‌که در قسمت‌های شمالی بیشتر کشت صیفی‌جات و در قسمت‌های جنوبی بیشتر کشت غلات وجود دارد که کود آلی کمتری به زمین‌ها وارد می‌شود. ژنگ و همکاران در چین با بررسی میزان عناصر غذایی خاک به این نتیجه رسیدند که بعد از استفاده از کودهای آلی در زمین‌های کشاورزی میزان کربن آلی خاک به طور معناداری افزایش می‌یابد [۱۲]. انورماجو و دوریوگبو در نیجریه و کاماچو-تامایو و همکاران در کلمبیا با بررسی میزان کربن آلی در اعماق خاک به این نتیجه رسیدند که با افزایش عمق میزان کربن آلی کاهش می‌یابد [۱۳ و ۱۴]. وی و همکاران با بررسی میزان کربن آلی خاک در دو مزرعه به این نتیجه رسیدند که میزان افزایش کربن آلی در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری نسبت به اعماق دیگر بیشتر است [۱۵].

### ۴-۱-۳- نیترات خاک

با افزایش عمق، میزان نیترات نیز کمی کاهش یافته است. میانگین به‌دست‌آمده برای نیترات در هر دو عمق (۱۳۴/۹۹ در عمق یک و ۱۰۶/۶۸ در عمق دو) نشان‌دهنده میزان بالای نیترات در خاک منطقه تا عمق ۶۰ سانتی‌متری است. استفاده از فاضلاب تصفیه‌نشده و کودهای نیتراته توسط کشاورزان باعث افزایش غلظت نیترات در زمین‌های کشاورزی شده است. فاضلاب می‌تواند میزان نیتروژن را ۱۰ برابر نیاز کودی گیاهان فراهم کند [۸]. نتایج حاصل از آزمون t نیز نشان می‌دهد که بین میزان نیترات خاک در عمق یک و عمق دو اختلاف معناداری وجود ندارد که حلالیت بالای نیترات در آب باعث شده است نیترات در اعماق مختلف خاک غلظت تقریباً یکسانی داشته باشد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی نیترات (شکل یک c و d) در عمق یک، بیشتر منطقه دارای ۲۰۰-۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در عمق دو بیشتر منطقه دارای ۱۵۰-۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات است. در هر دو عمق جنوب منطقه دارای بیشترین غلظت نیترات است، بنابراین با توجه به حلالیت نیترات در آب در صورت آب‌شویی نیترات خطر آلودگی آبهای زیرزمینی در سراسر منطقه به خصوص جنوب منطقه وجود دارد. با توجه به اینکه قسمت جنوبی منطقه بیشتر با فاضلاب خام آبیاری می‌شود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از فاضلاب خام از دلایل اصلی بالا رفتن نیترات خاک است. النکشاباندی و همکاران غلظت ۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات را میزان نسبتاً بالایی گزارش کردند [۹]. بنابراین خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی با نیترات در منطقه وجود دارد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین نیترات و هدایت الکتریکی نشان می‌دهد که با افزایش نیترات میزان هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد و این امر نشان می‌دهد که غلظت نیترات خاک بر هدایت الکتریکی مؤثر است. شی و همکاران نیز همبستگی بالایی را بین نیترات و هدایت الکتریکی گزارش کردند و بیان کردند که هدایت الکتریکی می‌تواند به عنوان شاخصی برای نیترات خاک باشد [۱۶]. روسان و همکاران در اردن با بررسی استفاده درازمدت

فاضلاب در کشاورزی گزارش کردند که غلظت نیترات خاک از ۸/۷ میلی‌گرم به ۹۲/۷ میلی‌گرم طی ۱۰ سال آبیاری رسیده است [۸]. ژنگ و همکاران در چین با بررسی استفاده از فاضلاب در تغییر ویژگی‌های خاک به این نتیجه رسیدند که استفاده از فاضلاب عامل افزایش میزان نیتروژن در خاک بوده است [۱۷]. بالا بودن میزان نیترات در خاک علاوه بر اینکه باعث افزایش رشد گیاه می‌شود، می‌تواند بر میزان تولید و کیفیت محصولات از طریق ذخیره در غده، میوه، برگ و سایر قسمت‌های گیاه تأثیرگذار باشد زیرا گیاه توانایی جذب نیترات اضافی را دارد و می‌تواند نیترات زیادی را در خود ذخیره کند.

### ۵-۱-۳- فسفات خاک

میزان فسفات خاک با افزایش عمق به‌طور معناداری کاهش یافته است. میانگین‌های به‌دست‌آمده برای هر دو عمق (۱۱۵۷/۹۷ برای عمق یک و ۷۶۲/۳۸ برای عمق دو) نشان می‌دهد که میزان فسفات در خاک منطقه بسیار بالا است. استفاده از فاضلاب در آبیاری و همچنین کودهای فسفره توسط کشاورزان از دلایلی است که باعث افزایش غلظت فسفات در خاک منطقه شده است. فاضلاب می‌تواند میزان فسفر را ۴ برابر نیاز کودی گیاهان فراهم کند [۸]. عدم حلالیت برخی از ترکیبات فسفات در آب [۱۸] باعث می‌شود که کمتر آب‌شویی شود و به اعماق خاک منتقل نشود، بنابراین همان‌طورکه نتایج این پژوهش نشان داد، انتظار می‌رود که میزان فسفات در لایه‌های سطحی خاک بیشتر از اعماق خاک باشد. تحرک کم ترکیبات فسفات یکی از دلایل افزایش آن در خاک است. بن‌موسی و همکاران در لیبی با بررسی خاک زمین‌های کشاورزی در اعماق مختلف نتایج مشابهی را گزارش کردند که بیشترین میزان فسفات خاک در لایه سطحی وجود دارد و با افزایش عمق کاهش می‌یابد [۱۹]. وستفال و دیویس با طبقه‌بندی میزان فسفات برای گیاه ذرت، غلظت صفر تا شش میلی‌گرم را کم و غلظت بیشتر از ۲۲ میلی‌گرم فسفات را بسیار زیاد طبقه‌بندی کردند [۲۰]. این درحالی است که غلظت فسفر اندازه‌گیری‌شده در این پژوهش تقریباً در تمام منطقه از ۲۲ میلی‌گرم بیشتر است. بنابراین می‌توان بالا بودن فسفات خاک را در منطقه مشاهده کرد که میزان بالای آن خطر ورود این ماده به آب‌های سطحی بر اثر رواناب‌های کشاورزی در منطقه و به دنبال آن پدیده پرغذایی[۲] را افزایش خواهد داد. پارکر میزان اثرات اقتصادی در سطوح مختلف فسفر را طبقه‌بندی کرده است که بر اساس این طبقه‌بندی کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم فسفر اثر بهینه، ۳۰۰-۲۰۰ میلی‌گرم اثر بالا و بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم فسفر در خاک اثر اقتصادی بسیار بالایی خواهد داشت [۲۱]. بنابراین علاوه بر خطر آلودگی منابع آب، اثرات اقتصادی نیز باید در نظر گرفته شود. نقشه‌های پهنه‌بندی فسفات (شکل ۳ a و b) نشان می‌دهند که سطح منطقه در عمق یک، ۹۸ درصد و در عمق دو، ۹۲ درصد بیشتر از ۲۰۰ میلی‌گرم فسفات دارد. همچنین این نقشه‌ها نشان می‌دهند که در هر دو عمق شمال منطقه نسبت به جنوب منطقه میزان بیشتری فسفات دارد و در قسمت‌هایی از شمال و مرکز منطقه میزان این پارامتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بیشتر است. تابانگ در آفریقا با بررسی خاک در مزرعه ذرت قبل از کاشت و بعد از برداشت به این نتیجه رسید که میزان فسفر خاک بعد از برداشت به علت اضافه کردن کود فسفره به طور معناداری افزایش یافته است [۲۲]. کاماچو-تامایو و همکاران در کلمبیا با بررسی خاک در زمین‌های کشاورزی به این نتیجه رسیدند که پراکنش فسفر در خاک تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی نظیر کوددهی و نوع کشت است و بیشترین میزان فسفر خاک در عمق ۱۰ سانتی‌متری است [۱۴]. بر اساس راهنمای استفاده از کود دامی و فاضلاب در زمین‌های کشاورزی در آلبرتا، مناطقی که دارای کمتر از ۶۲ میلی‌گرم فسفر در لایه سطحی هستند در هر سال باید دو بار از کود دامی استفاده کنند و مناطقی که بیشتر از ۲۰۰ میلی‌گرم فسفر داشته باشند نباید از کود دامی استفاده کنند [۲۳]. با توجه به نقشه پهنه‌بندی فسفات در لایه سطحی خاک، مشاهده می‌شود که بیش از ۹۰ درصد سطح منطقه دارای میزان بیشتر از ۲۰۰ میلی‌گرم فسفر است. آب‌های زیرزمینی به دلیل عدم حلالیت ترکیبات فسفات در آب کمتر تحت تأثیر آلودگی با فسفر هستند، اما آب‌های سطحی و ساکن توسط رواناب‌های کشاورزی که میزان بالایی فسفر را با خود حمل می‌کنند در خطر پدیده پرغذایی قرار می‌گیرند.

در کل می‌توان گفت که پارامترهای شیمیایی-فیزیکی خاک به دلیل استفاده درازمدت از فاضلاب تصفیه‌نشده در آبیاری اراضی و همچنین استفاده کشاورزان از کودهای شیمیایی و آلی به‌شدت افزایش یافته است و خطرات زیادی سلامت کشاورزان و افراد مصرف‌کننده محصولات کشاورزی را تهدید می‌کند. بنابراین طرح‌ریزی یک برنامه مدیریتی کارا به منظور کنترل این پارامترها در زمین‌های کشاورزی ضروری است.

## ۴- نتیجه‌گیری

اگرچه استفاده از فاضلاب برای آبیاری در کشاورزی فرایندی سازگار با محیط زیست[3] است و می‌تواند از هدر رفتن حجم بالایی از آب جلوگیری کند، اما بالا بودن برخی از پارامترها مانند میزان مواد معلق، مواد آلی و غیرآلی و حتی وجود برخی فلزات سنگین و ترکیبات هیدروکربنی در فاضلاب تصفیه‌نشده و تأثیرات مخربی که استفاده از آن در سالیان متمادی می‌تواند روی کیفیت خاک داشته باشد باید مورد توجه قرار گیرد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که استفاده از فاضلاب تصفیه‌نشده در آبیاری زمین‌های کشاورزی در طول سال‌های متمادی می‌تواند غلظت برخی از عناصر غذایی مانند نیترات و فسفات را به شدت بالا ببرد. به‌علاوه وجود میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا در فاضلاب تصفیه‌نشده خود می‌تواند از دلایل اصلی ایجاد بیماری‌هایی مانند انواع بیماری‌های پوستی، کزاز، دیفتری و سایر بیماری‌های مربوط به آب آلوده باشد. در این بین کشاورزانی که در منطقه به‌صورت مستقیم از طریق آبیاری زمین کشاورزی خود با فاضلاب ارتباط دارند بیشترین زیان را می‌بینند. این در حالی است که شاخص بازیافت آب کالیفرنیا [۲۴] برای استفاده‌های غیرآشامیدنی فاضلاب، تصفیه ثانویه، و ضدعفونی کردن فاضلاب شهری را برای آبیاری محصولات کشاورزی خوراکی پیشنهاد کرده است تا از بروز برخی از بیماری‌های عفونی جلوگیری شود. کیفیت آب مورد استفاده در آبیاری یکی از عوامل تعیین‌کننده کیفیت خاک است. بنابراین کیفیت آب باید مناسب باشد تا کیفیت خاک نیز حفظ شود.

## تشکر و قدردانی

این پژوهش بخشی از یک طرح پژوهشی در منطقه جنوب تهران بوده که با حمایت شرکت آب منطقه‌ای تهران انجام شده است. از سرکار خانم مهندس رفاهتی برای کمک‌های فراوان در آنالیز نمونه‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

## پی‌نوشت‌ها

[1] Inverse Distance Weighting
[2] Eutrophication
[3] Environmentally Friendly

## منابع

[1] Telysheva G, Jashina L, Lebedeva G, Dizhbite T, Solodovnik V, Mutere O, Grigiškis S, Baškys E, Aikaite, J. USE OF PLANTS TO REMEDIATE SOIL POLLUTED WITH OIL. Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference; **2011;**Volume 1.

[2] Bibordi M. Soil physic. University of Tehran; **2011. [In Persian]**

[3] Maliszewska-Kordybach B, Smreczak B, Klimkowicz-Pawlas A. Concentrations, sources, and spatial distribution of individual polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in agricultural soils in the Eastern part of the EU: Poland as a case study. [Research Support, Non-U S Gov't]. Sci Total Environ; **2009**; **407(12):** 3746-3753.

[4] Krasilnikov P., Sidorova V. Geostatistical analysis of the spatial structure of acidity and organic carbon in zoned soil of the Russian plain. Soil geography and geostatistics. European commission, EUR 23290, EN-Luxembourg; **2008;** p.55-67.

[5] Bou Kheir R, Greve M H, Bocher P K, Greve MB. Use of Digital Terrain Analysis and Classification Trees for Predictive Mapping of Soil Organic Carbon in Southern Denmark. Hydrol. Earth Syst. Sci.; **2010;14:** 847–857.

[6] Xu J, Wu L, Chang A C, Zhang Y. Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary assessment. Journal of Hazardous Materials; **2010; 183:** 780–786.

[7] Aishah A W, Zauyah S, Anuar A R. Fauziah C I. Spatial Variability of Selected Chemical Characteristics of Paddy Soils in Sawah Sempadan, Selangor, Malaysia. Malaysian Journal of Soil Science; **2010; 14:** 27-39.

[8] Mohammad Rusan M J, Hinnawi S, Rousan L. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination; **2007; 215(1–3):** 143-152.

[9] Al-Nakshabandi G A, Saqqar M M, Shatanawi M R, Fayyad M, Al-Horani H. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. Agricultural Water Management**; 1997; 34(1):** 81–94.

[10] Sys C, Van Ranst E, Debaveye J. Beernaert F. Land evaluation, Part 2, Crop requirement. Agricultural publication, General Administration for Development Cooperation; **1993;** 1050 Brussels– Belgiun.

[11] Zema, D A, Bombino B, Andiloro A, Zimbone S M. Irrigation of energy crops with urban wastewater: Effects on biomass yields, soils and heating values. Agricultural Water Management; **2012; 115:** 55–65.

[12] Zhang J, Yang J C, Wang R Q, Hou H, Du X M, Fan S K, Dai J L. Effects of pollution sources and soil properties on distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons and risk assessment. Science of the Total Environment; **2013; 463–464(0):** 1-10.

[13] Onweremadu E. U. Duruigbo C. I. Assessment of Cd concentration of crude oil polluted arable soils. Int. J. Environ. Sci. Tech; **2007; 4(3):** 409-412.

[14] Camacho-Tamayo J. H, Luengas C A. Leiva F R. EFFECT OF AGRICULTURAL INTERVENTION ON THE SPATIAL VARIABILITY OF SOME SOILS CHEMICAL PROPERTIES IN THE EASTERN PLAINS OF COLOMBIA. CHILEAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH; **2008; 68(1):**42-55.

[15] Wei X, Qiu L, Shao M, Zhang X, Gale W. The Accumulation of Organic Carbon in Mineral Soils by Afforestation of Abandoned Farmland. PLoSONE; **2012; 7(3).**

[16] Shi Y C, Hu Z Y, Haneklaus S, Long W G, Xia X, Zhao Y W, Schnug E. Suitability of soil electrical conductivity as an indicator of soil nitrate status in relation to vegetable cultivation practices in the Yangtze River Delta of China. Agriculture and Forestry Research; **2009; 2(59):** 151-158.

[17] Zhang X, Chen L, Fu B, Li Q, Qi X, Ma Y. Soil organic carbon changes as influenced by agricultural land use and management: a case study in Yanhuai Basin, Beijing, China. Acta Ecologica Sinica; **2006; 26(10):** 3198-3203.

[18] Malakoti M J. Sustainable Agriculture. Karaj, Vaziri; **2000;** p. 460. **[in Persian]**

[19] Ben Mussa S A, Hawaa S E, Faiza A H, Fatma F A. Determination of Available Nitrate, Phosphate and Sulfate in Soil Samples. International Journal of PharmTech Research; **2009; 1(3):** 598-604.

[20] Westfall D G, Davis J G. Fertilizing maize. Colorado State Univ. Coop. Ext., Service in Action; **2009;** no. 0.538.

[21] Parker D. Controlling agricultural nonpoint water pollution: costs of implementing the Maryland Water Quality Improvement Act of 1998. Agricultural Economics; **2000; 24:** 23–31.

[22] Thabang S M. Assessment of infield spatial variability of nutrients in a uniformly managed corn (Zea mays L.) field. FACULTY OF SCIENCE AND AGRICULTURE (School of Agriculture & Environmental Science), UNIVERSITY OF LIMPOPO, South African; **2011.**

[23] Soil Phosphorus Limits Committee and LandWise Inc. Phosphorus standards in Alberta: Potential impacts on the agricultural industry. 57 pp. InAlberta Soil Phosphorus Limits Project. Volume 5: Background information and reviews. Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Lethbridge, Alberta, Canada; **2006.**

[24] Margane A. Steinel A. Proposed National Standard for Treated Domestic Wastewater Reuse for Irrigation, BMZ-No.: 2008.2162.9; **2011;** P: 42.