

بررسی تأثیر پساب شهری بر پارامترهای شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی خاک

(مطالعه موردی: منطقه مرکزی شهر مشهد)

نرجس قهرمانی^۱، ناصر حافظی مقدس*^۲، محمد غفوری^۳، غلامرضا لشکری پور^۴

پذیرش مقاله: ۹۸/۰۲/۰۴

دریافت مقاله: ۹۷/۰۹/۲۲

چکیده

آلودگی با پساب شهری یکی از شایع‌ترین انواع آلودگی خاک در مناطق مسکونی و شهری است که اثر قابل توجهی بر پارامترهای فیزیکی و مقاومتی خاک دارد. در این پژوهش اثر پساب شهری بر خصوصیات شیمیایی و مهندسی نمونه‌های خاک ریزدانه در مرکز شهر مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور خصوصیات نظیر حدود آتربرگ، مقاومت تک محوری و پارامترهای تحکیمی نمونه اولیه و نمونه‌هایی که بصورت مصنوعی با درصدهای مختلفی از پساب آغشته شده است، مقایسه گردیده است. نتایج این پژوهش نشان داد که مقاومت فشاری تک محوری و نشانه فشردگی (Cc) خاک مورد مطالعه با افزایش غلظت پساب ورودی و ایجاد تغییر در سیال میان منفذی افزایش پیدا کرده است در حالی که نشانه خمیری و نشانه تورم (Cs) خاک با افزایش غلظت آلاینده‌ها در خاک کاهش نشان می‌دهند. همچنین غلظت کم پساب در زمان کوتاه تأثیر بیشتری در تغییر خصوصیات خاک داشته است. بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد زمانی که نمونه خاک با پساب اشباع می‌گردد، لایه‌ای از نمک‌ها به دور ذرات خاک تجمع یافته و سبب افزایش اندازه و سطح دانه‌ها و تغییر در ساختار خاک به الگویی مشابه الگوی دانه‌ای می‌گردد. بنابراین دو عامل زمان و غلظت بر پارامترهای فیزیکی و مقاومتی خاک تأثیر گذار است و تأثیر غلظت نسبت به زمان، شاخص‌تر می‌باشد.

کلید واژه‌ها: نشت پساب، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی، ترکیب شیمیایی، آلودگی خاک، منطقه مرکزی شهر.

۱. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، na.ghahremani@um.ac.ir na.ghahremani@gmail.com

۲. عضو هیات علمی گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، nhafezi@um.ac.ir

۳. عضو هیات علمی گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

۴. عضو هیات علمی گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

۱. مقدمه

آغستگی خاک به پساب در مناطق شهری پدیده‌ای شایع و رو به رشد می‌باشد. (بیگی هرچگانی و بنی طالبی، ۱۳۹۲؛ خدادادی و همکاران، ۱۳۹۴؛ خراط صادقی و کرباسی، ۱۳۸۶؛ دلجان و همکاران، ۱۳۸۸؛ Singh; Tamasi and Cini, 2004; Harikumar and Jisha, 2010; et al., 2002). آلودگی خاک در اثر ورود مواد شیمیایی ناشی از فعالیت‌های صنعتی، سموم کشاورزی و دفع زباله‌ها نظیر انواع فاضلاب‌ها، هیدروکربن‌های نفتی و آروماتیک، حلال‌ها، آفت‌کش‌ها و فلزات سنگین به خاک اتفاق می‌افتد (Zhang et al., 2011). اوحدی و همکاران (Ouhadi et al., 2012)، اعلام کردند آلودگی خاک علاوه بر تهدید زیست‌محیطی از منظر ژئوتکنیکی نیز حائز اهمیت است. از آنجایی که خاک به عنوان بستر اصلی ساخت و سازها می‌باشد، تغییر در خصوصیات مقاومتی آن با ورود مواد آلاینده می‌تواند سبب تخریب و نشست زمین گردد.

مطالعاتی که در مورد اثر آلودگی خاک بر خصوصیات مقاومتی خاکها صورت گرفته است، نشان می‌دهد که برخی خصوصیات خاک از جمله نفوذپذیری، زاویه اصطکاک داخلی، حدود آتربرگ و مقاومت خاک آلوده نسبت به خاک طبیعی تغییر می‌نماید (Estabragh et al., 2011; Estabragh et al., 2015). عمده مطالعات در این راستا بر روی اثر آلودگی خاک بر نفوذپذیری خاک بوده است که در کشاورزی حایز اهمیت می‌باشد ملکی و برخوردار (۱۳۹۳)؛ حیدرپور و علیایی (۱۳۹۲)؛ پارسافر و همکاران (۱۳۹۰)؛ (Antony et al., 2016).

ویتنا و همکاران (Vinten et al., 1983)، اثر مواد جامد معلق را بر روی هدایت هیدرولیکی سه خاک شنی، لوم شنی و لوم سیلتی رسی مورد مطالعه قرار دادند، نتایج بدست آمده نشان داد که کاهش هدایت هیدرولیکی بیشتر در خاک سیلتی لوم بوده است که ناشی از تجمع ذرات جامد می‌باشد. همچنین آگلیدس و لندرا (Aggelides and Londra, 2000) اثر مخلوط کردن فاضلاب شهری و لجن فاضلاب را بر روی خصوصیات فیزیکی یک خاک رسی و یک خاک لومی در یونان بررسی کردند و نشان دادند که با افزایش مخلوط لجن فاضلاب و

فاضلاب شهری، ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک افزایش می‌یابد.

خدادادی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی اثر آبیاری با پساب‌های شهری و صنعتی (به مدت هشت سال) و آب رودخانه (بیست سال) بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در زمین‌های کشاورزی منطقه زرین شهر لنجان گزارش کردند که آبیاری با پساب‌های شهری و صنعتی موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری، کاهش نفوذپذیری و دوکوهانه شدن منحنی هدایت هیدرولیکی خاک گردیده است. به طور کلی می‌توان بیان داشت که تغییر در رفتار ژئوتکنیکی خاک آلوده متأثر از تغییر در خصوصیات شیمیایی آن می‌باشد (اسدی الاسوند و حیدری (۱۳۹۵)). از آنجا که خاک‌های ریزدانه دارای درصد زیادی کانی‌های رسی هستند، رفتار ژئوتکنیکی آن‌ها به مشخصات کانی رسی و خصوصیات شیمیایی سیال منفذی بستگی دارد. تأثیر املاح موجود در آب در حد روانی قابل توجه می‌باشد در حالی که اثر آن در حد خمیری که رطوبت خاک کم است ناچیز می‌باشد (اجل‌لوئیان و همکاران (۱۳۹۲)).

در ایران بدلیل عدم توسعه شبکه فاضلاب شهری مشکل ورود پساب به خاک در اکثر شهرها مشاهده می‌گردد (سید حسینی (۱۳۹۳)؛ غفوری و همکاران (۱۳۹۰)؛ کنگی و همکاران (۱۳۹۳)). لذا انتظار می‌رود خصوصیات خاک در بستر شهرها در دراز مدت دستخوش تغییراتی شود که ممکن است برای سازه‌های مهندسی و ابنیه فنی و تاریخی خطرناک باشد فرمانی- فرد و همکاران (۱۳۹۶). در پژوهش حاضر اثر پساب بر خصوصیات خاک ریزدانه مرکز شهر مشهد مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. بالا آمدگی سطح آب

بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در اکثر شهرهای ایران نظیر تهران، مشهد، شیراز، کرمان، بجنورد و غیره گزارش شده است. حسین‌پور و همکاران (۱۳۹۰) اعلام کردند با توجه به آمار موجود، سطح آب زیرزمینی شهر کرمان طی مدت ۲۰ سال گذشته (۱۳۷۵-۱۳۹۵) حداقل به میزان ۱۵ متر در برخی نقاط شهر بالا آمده است. در حال حاضر سطح برخورد به آب

دارای سازه‌های مهمی همچون ایستگاه‌های خط ۱ و ۲ قطار شهری، هتل‌ها و ساختمان‌های تجاری مختلفی می‌باشد. مهمترین سازه مهندسی در محدوده مطالعاتی محدوده حرم امام رضا (ع) است که قدمتی حدود ۱۱ قرن دارد (پایگاه اطلاع-رسانی غدیر) و یکی از اماکن مهم مذهبی شیعیان است که سالیانه پذیرای حدود ۳۰ میلیون نفر زائر می‌باشد.

در شهر مشهد، مناطق مرکزی و بخش شمال شرقی شهر، به دلیل ورود پساب شهری از بخش جنوبی و جنوب غربی سطح آب زیرزمینی بالا آمده‌است، به نحوی که در گودبرداری‌های فعال پروژه‌های شهری، سطح کارگاه دچار آبگرفتگی شده و عملیات عمرانی تا پمپاژ کامل آب متوقف شده‌است (شکل ۱). پساب‌ها عمدتاً فاضلاب شهری و خانگی است که توسط چاه‌های جذبی و به علت شیب عمومی منطقه، به این بخش مهاجرت می‌کنند. همچنین وجود قنوات قدیمی در محدوده شهر که پساب را از بخش‌های غربی شهر به سمت مناطق مرکزی می‌آورند، این امر را تشدید می‌کنند. مرکز شهر مشهد با توجه به همجواری با حرم امام رضا (ع) محدوده با تراکم جمعیتی و ترافیکی بالایی است. با توجه به تمرکز پروژه‌های ساختمانی (هتل، تونل‌های قطار شهری، حرم، پارکینگ‌های طبقاتی و ..) در این منطقه هرگونه تغییر در خصوصیات مقاومتی خاک می‌تواند منجر به خسارت‌های سنگینی گردد.



ب



الف

شکل ۱. نمونه ای از بالا آمدن سطح آب (پساب) در پروژه های مرکز شهر مشهد (فهرمانی و همکاران، ۱۳۹۶).

الف) گودبرداری عمیق محدوده مجاور برج آلتون، ۱۳۹۲-۱۳۹۳) و ب) تونل خط دو قطار شهری - میدان شهدا، ۱۳۹۲)

زیرزمینی، در بعضی نقاط به کمتر از ۴ متر هم رسیده و سبب آب‌گرفتگی زیرزمین بعضی از ساختمان‌ها شده است. در قسمت‌های جنوبی تهران در بعضی مناطق سطح آب به عمق ۵ متری رسیده است فصیحی (۱۳۹۳). همچنین مطالعات صمدی (۱۳۹۶) نشان داد سطح آب زیرزمینی در مناطق با تراکم جمعیتی بالا در شهر کاشان، افزایش یافته است.

بطور کلی بالا آمدن سطح آب در شهرهایی که در انتهای دشت سیلابی یا در بخشی از شهر که در انتهای دشت سیلابی قرار دارند مشاهده می‌شود. در این شرایط خاک عمدتاً ریزدانه است و ورود پساب از بالا دست سبب بالا آمدن سطح آب در انتهای دشت که ظرفیت انتقال پایین دارد می‌گردد.

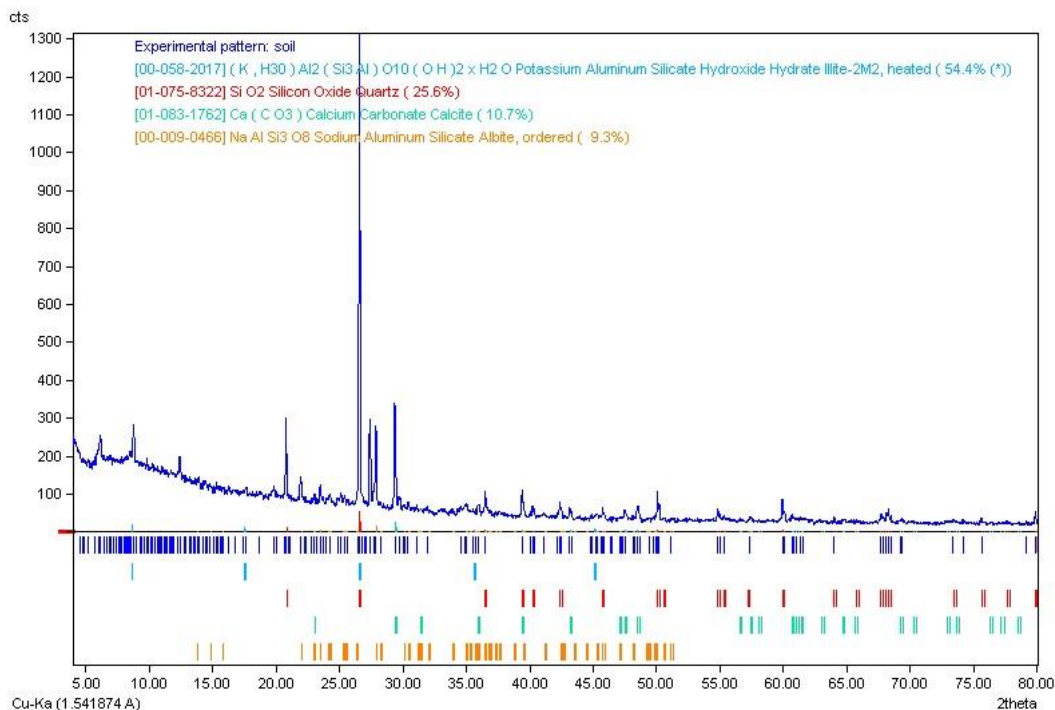
۳. محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، بخش مرکزی کلان شهر مشهد واقع در شمال شرقی ایران می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی شهر مشهد در انتهای شرقی دشت مشهد و در بین دو حوضه رسوبی کپه داغ در شمال و بینالود در جنوب قرار گرفته است. دشت مشهد یک فرونشست تکتونیکی می‌باشد که توسط نهشته‌های رسوبی رودخانه‌های دامنه‌های شمالی و جنوبی و نیز آبراهه‌هایی که از ارتفاعات غربی سرچشمه می‌گیرد پر شده است. بافت خاک در بخش مرکزی خاک ریزدانه سیلتی رسی همراه با میان لایه های ماسه سیلتی می‌باشد. مناطق مرکزی شهر (محدوده میدان شهدا)

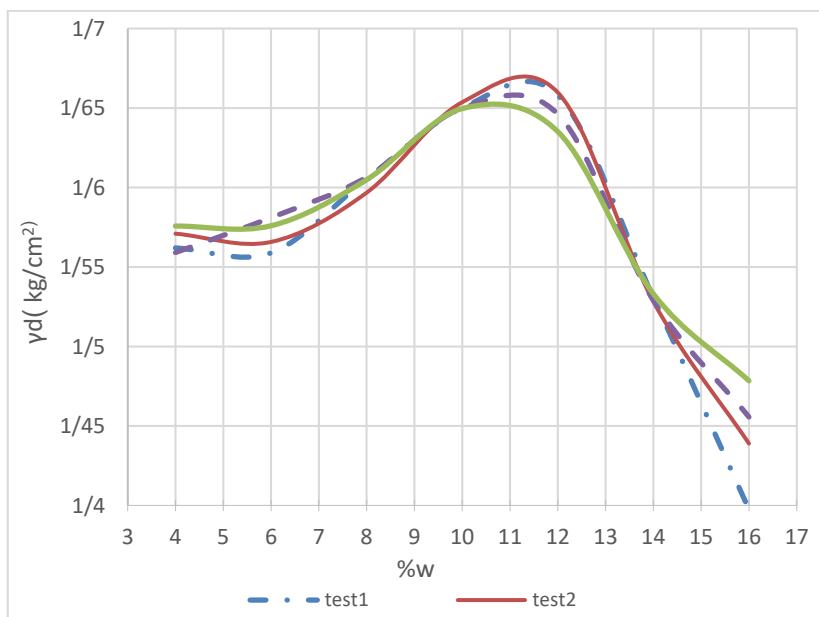
۴. مواد و روش ها:

تهیه نمونه خاک: حجم خاک مورد نیاز بصورت دست‌خورده از عمق ۱۶ متر ترانشه‌ای عمیق در محدوده میدان شهدا واقع در مرکز شهر مشهد برداشت گردید. بافت خاک در این ناحیه خاک ریزدانه می‌باشد که بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید در رده

CL و CL-ML قرار می‌گیرند. همچنین بر اساس مطالعات پرتو X (XRD)، کانی رسی موجود در این خاک عمدتاً از نوع ایلیت و مقادیر اندکی کائولینیت می‌باشد (شکل ۲). خاک‌های مورد مطالعه دارای PI پایین (حداکثر ۵) می‌باشند. بر اساس آزمایش تراکم نمونه مورد بررسی دارای دانسیته خشک ماکزیمم $1/65 \text{ gr/cm}^3$ و رطوبت بهینه ۱۰٪ می‌باشد (شکل ۳).



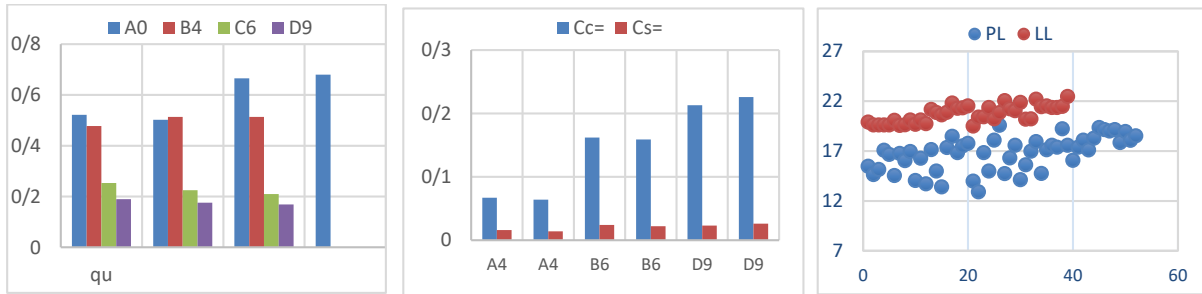
شکل ۲. نمودار شناسایی پرتو X یا (XRD) نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ۳. نمودار آزمون تراکم خاک ریزدانه

نهایی به عنوان مقدار آن پارامتر در زمان و غلظت مشخص اعلام گردیده است. نمودارهای آن در شکل ۴ مشاهده می شود.

لازم به ذکر می باشد در این پژوهش، انجام آزمایش در هر غلظت معین، برای حد روانی حداقل سه بار، حد خمیری حداقل چهار بار، آزمون تحکیم حداقل دوبار و آزمون تک محوری حداقل سه بار آزمون تکرار و سپس میانگین اعداد



شکل ۴. نمودار کل دیتای آزمون حدود آتبرگ، آزمون تحکیم و آزمون مقاومت تک محوری

مخزن قرار گرفتند. سپس هر گروه از خاک برای مدت زمان ۴، ۶ و ۹ ماه تحت تأثیر پساب با غلظت معینی (مخزن A تحت غلظت ۰، مخزن B غلظت ۱۰، مخزن C غلظت ۵۰ و مخزن نوع D غلظت ۱۰۰ درصد پساب) اشباع شدند. پس از آن نمونه ها از داخل پساب خارج و آزمایشات مختلف بر روی آنها انجام گردید. جدول ۱، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پساب تهیه شده و جداول ۲ و ۳ خصوصیات فیزیکی و آنالیز شیمیایی خاک مورد مطالعه را نمایش می دهند.

تهیه نمونه پساب: برای تهیه پساب مقدار ۱۰۰ لیتر آب تراوش یافته از کف یکی از گودها در همین منطقه برداشت گردید و پس از انتقال به آزمایشگاه با درصدهای مشخصی (۰٪، ۱۰٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪) آب شرب شهری مخلوط و در مخازن خاص نگهداری شد.

اشباع نمونه ها با پساب: جهت شبیه سازی محیط آزمایش با شرایط طبیعی زمین، تعداد ۱۵۰ نمونه خاک با دانسیته برجا در لوله های PVC به قطر ۱۱۰ میلیمتر بازسازی گردید. این نمونه ها در چهار گروه اصلی A تا D تقسیم بندی شدند و در چهار

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی پساب و خاک مورد مطالعه

	PH	Con (ms)	TDS (ppt)	SALT (ppt)	T(°c)
پساب	6.53	5.60	2.80	2.9	22.7
نمونه خاک	5.87	991 (µs)	495	<<	22.4

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و خمیری خاک مورد مطالعه قبل از آلودگی

name	ω (%)	Gs (gr/cm3)	γd (gr/cm3)	sand (%)	silt (%)	clay (%)	LL	PL	PI	IL	IC
CL-ML	9-12	2.68	1.65	29	40	28	19.71	15.58	4.13	-1.35	2.35

جدول ۳. خصوصیات شیمیایی خاک مورد مطالعه قبل از آلودگی

Cd. [ppm]	Co. [ppm]	Na. [ppm]	Ca. [ppm]	K. [ppm]	Pb. [ppm]	Ni. [ppm]	Zn. [ppm]	Mg. [ppm]	Fe. [ppm]
0.081	9.160	494.445	69157.4	1016.76	28.707	36.615	47.363	36938.2	22471.0

۵. نتایج آزمایشات و تحلیل ها:

۱-۵- شیمی خاک

غلظت برخی عناصر از قبیل Cd، Na، Mo، S و Zn در طی بیشترین زمان نظر (۹ ماه) افزایش و برخی از قبیل Ca، Mg، Al و K کاهش پیدا کرده‌اند.

مهم‌ترین پارامتری که در طی اشباع خاک با پساب تغییر می‌کند شیمی خاک می‌باشد. نمونه‌های تهیه شده قبل و بعد از اشباع شدگی طی نه ماه، مورد آنالیزها شیمیایی قرار گرفت و نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده‌است. همانطور که مشاهده می‌گردد،

جدول ۴. تغییرات عناصر و فلزات سنگین قبل و بعد از ورود پساب شهری

element	unit	DL	method	A0	B9	C9	D9
Ag	ppm	0/1	ME-02	27.0	29.0	34.0	32.0
Al	ppm	100	ME-02	65853	63210	63424	58877
As	ppm	0/5	ME-02	1.13	8.9	6.9	7.10
Ba	ppm	5	ME-02	452	437	436	426
Be	ppm	1	ME-02	5.1	4.1	4.1	3.1
Ca	ppm	100	ME-02	70131	70624	69575	63403
Cd	ppm	0/1	ME-02	27.0	31.0	38.0	36.0
Ce	ppm	1	ME-02	64	62	61	59
Co	ppm	1	ME-02	14	13	12	11
Cr	ppm	1	ME-02	99	101	105	121
Cu	ppm	1	ME-02	29	27	27	28
Fe	ppm	100	ME-02	32249	30187	30223	28186
K	ppm	100	ME-02	21099	20148	20163	18617
La	ppm	1	ME-02	34	34	34	31
Li	ppm	1	ME-02	43	39	39	36
Mg	ppm	100	ME-02	14516	14059	14018	12524
Mn	ppm	5	ME-02	789	770	697	668
Mo	ppm	0/5	ME-02	1.1	25.1	18.1	17.1
Na	ppm	100	ME-02	10435	13658	13671	11817
Ni	ppm	1	ME-02	61	58	56	52
P	ppm	10	ME-02	600	598	586	536
Pb	ppm	1	ME-02	16	14	13	15
S	ppm	50	ME-02	754	1378	1458	868
Sb	ppm	0/5	ME-02	96.0	08.1	11.1	3.1
Sc	ppm	0/5	ME-02	5.12	4.11	5.11	5.10
Sr	ppm	2	ME-02	232	271	253	222
Th	ppm	0/5	ME-02	5.13	3.12	6.12	2.12

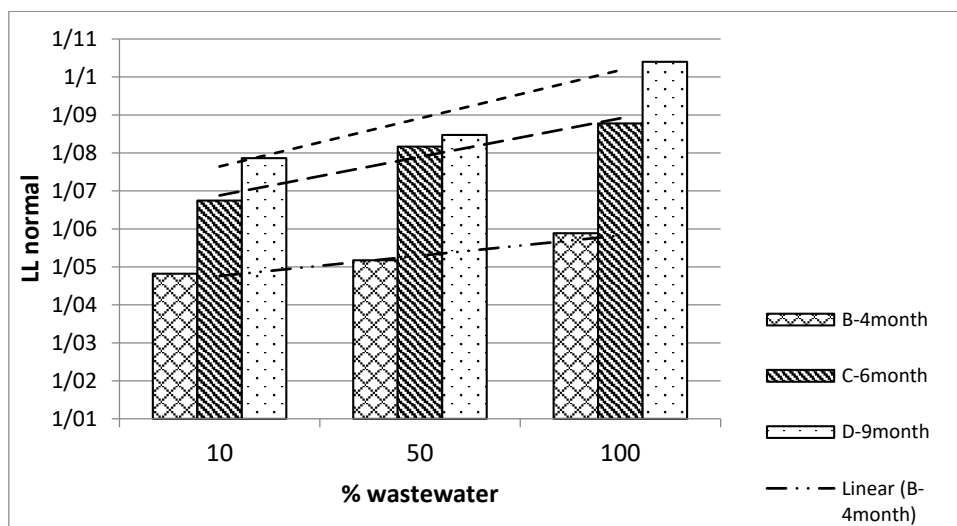
element	unit	DL	method	A0	B9	C9	D9
Ti	ppm	10	ME-02	3947	4013	4004	3748
U	ppm	5	ME-02	1.7	5.8	1.10	<5
V	ppm	1	ME-02	94	86	85	79
Y	ppm	0/5	ME-02	18	18	18	16
Yb	ppm	0/2	ME-02	2	9.1	9.1	7.1
Zn	ppm	1	ME-02	81	90	90	97
Zr	ppm	5	ME-02	91	86	87	77

۲-۵- حدود آتربریگ

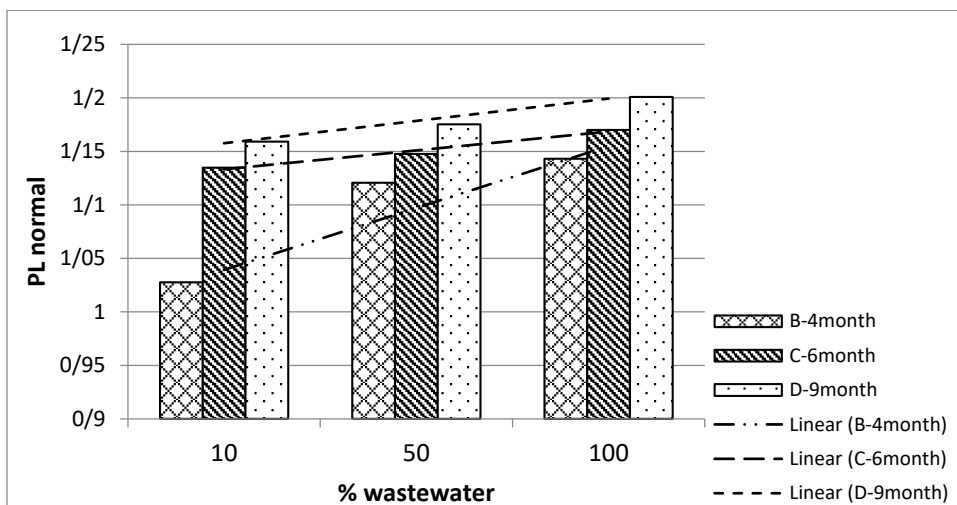
نمونه‌ها ۰/۵/۸۸٪، در پایان ۶ ماهه دوم حدود ۸/۷۷٪ و در ۹ ماهه سوم این پارامتر ۱۰/۴٪ افزایش داشته است. افزایش حد خمیری با افزایش غلظت پساب، علت تغییر در مایع میان‌منفذی بوده که بسته به غلظت پساب متغییر می‌باشد. علت اصلی خاصیت پلاستیسیته احاطه ذرات رس با مولکول دو قطبی آب می‌باشد و اگر ذرات رس با پساب احاطه شوند این خاصیت کمتر خواهد بود (Kermani and Ebadi (2012); Elisha, (2012); Karkush et al., (2014); Akinwumi et al., (2014)). همچنین عبدالله و همکاران (۱۹۹۹) به این نتیجه رسیدند که در حضور ماده آلی کمتر از ۱۵ درصد، ذرات خاک فلکوله می‌شوند ولی افزایش ماده آلی به مقادیر زیادتر باعث مجزا شدن ذرات خاک می‌گردد و سطح ویژه خاک افزایش می‌یابد. این افزایش در سطح ویژه همراه با افزایش در ماده آلی باعث افزایش در حد شکل‌پذیری خاک می‌گردد. در حضور درصد ماده آلی کمتر از ۱۰ درصد، شاخص شکل‌پذیری خاک به تدریج افزایش می‌یابد و با افزایش بیشتر در ماده آلی، در شاخص شکل‌پذیری روند کاهشی مشاهده می‌گردد. مطابق شکل ۵، این محدوده در خاک‌های ما حدود ۱۰ درصد است (بجز نمونه ۴ ماهه ده درصد پساب که میزان این تغییرات زیاد و در حدود ۲۰٪ می‌باشد) و ممکن است در خاک‌های دیگر نیز متفاوت باشد.

آزمون‌های حد روانی و حد پلاستیک به روش استاندارد (ASTM D 4318 -10)، انجام و نتایج آن در زمان‌های ۴، ۶ و ۹ ماه در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. این مقادیر بر حسب مقدار نمونه‌های A (نمونه‌های شاهد، اشباع شده با آب) نرمال گردیده‌اند. مقدار حد روانی نمونه شاهد برابر ۱۹/۷۱ و حد خمیری آن برابر ۱۵/۵۸ می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، تغییرات حدود روانی در بازه چهار ماهه تغییراتی کمتری داشته و با گذشت زمان به شش و نه ماه میزان تغییرات ایجاد شده در نمونه‌ها دارای شیب بیشتری است که نشان‌دهنده اثر مستقیم آغشتگی با پساب بوده، به نحوی که با افزایش غلظت پساب به مرور زمان خاک چسبنده‌تر شده است. افزایش حد روانی در نتیجه کاهش اندازه ذرات خاک می‌باشد که سبب افزایش سطح مخصوص خاک می‌گردد و طبیعتاً برای حد روانی، خاک به درصد آب بیشتری نیاز خواهد داشت (Karkush and Abdul Kareem, 2016). کاهش شاخص پلاستیک در نمونه‌ها به علت وارد شدن ترکیب نمک‌ها به خاک می‌باشد که در عمل مایع بین منفذی را تغییر می‌دهد که مستقیماً روی رفتار رس‌ها تأثیر می‌گذارد (Cyrus et al., 2010).

علاوه بر این مشاهده می‌شود که نتایج حاصل از تغییر غلظت پساب از ۵۰ درصد به ۱۰۰ درصد، به نسبت زمان ۴ ماهه و پساب ۱۰ درصد، بیشتر بوده که می‌تواند موثر بودن اثر غلظت را توضیح دهد، به نحوی که در پایان ۴ ماهه اول حد روانی



شکل ۵. تغییرات حد روانی با غلظت و زمان (حد روانی نمونه‌ها به مقدار اولیه نرمال شده است)

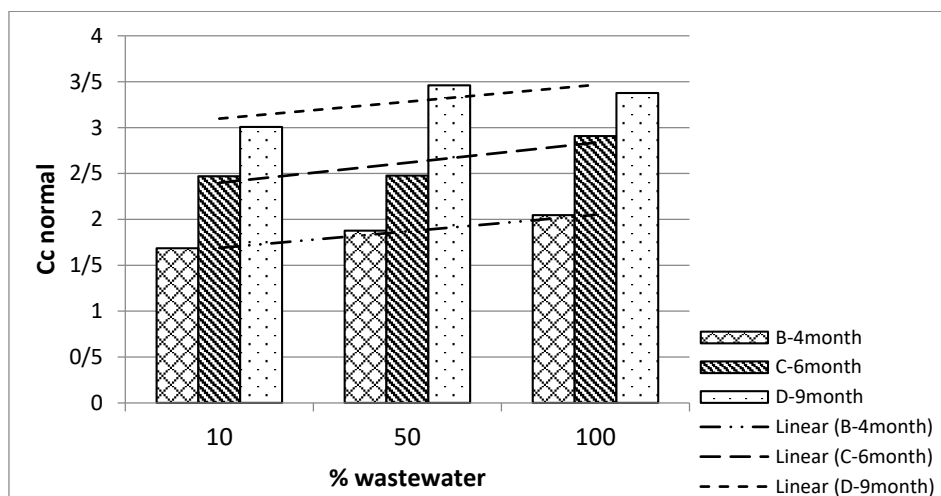


شکل ۶. تغییرات حد پلاستیک با غلظت و زمان (حد پلاستیک نمونه‌ها به مقدار اولیه نرمال شده است)

۳-۵-آزمون تحکیم

۷، بر حسب مقدار نمونه شاهد A (مقادیر نشانه فشردگی نمونه شاهد برابر ۰/۰۶۵ و نشانه تورم برابر ۰/۰۱۶۵ بوده) نرمال گردیده‌اند و سپس در نمودار ترسیم شده‌اند.

مجموع این آزمون‌ها به روش استاندارد (ASTM D 2435 -) انجام گردید و پارامترهای تحکیمی خاک شامل نشانه فشردگی (Cc) و نشانه تورم (Cs) قبل و بعد از آغستگی با پساب مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر مشخص شده در شکل

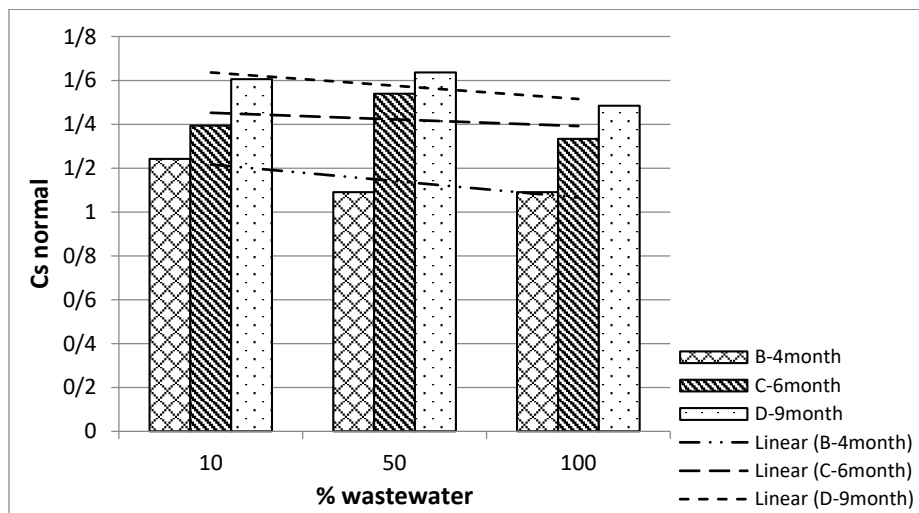


شکل ۷. تغییرات پارامترهای تحکیمی (نشانه فشردگی) با غلظت و زمان (Cc نمونه‌ها به مقدار اولیه نرمال شده است)

بازه‌های زمانی مورد مطالعه کاهش پیدا کرده است. نتایج آزمون شیمیایی که بر روی نمونه‌ها انجام گردیده است نیز نشان‌دهنده این امر می‌باشد که نمونه‌ها قابلیت تورم و واگرایی نداشته‌اند، در نتیجه خاک به ساختاری متراکم‌تری خواهد رسید که می‌توان علت این امر را به ایجاد رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها بر روی سطح خاک مرتبط دانست که منجر به مسدود شدن خاک می‌شود (Antony et al., 2016) و ممکن است در دراز مدت باعث بروز نشست در سازه‌ها خواهد گردید. نتایج حاصل با یافته‌های حاجیان و قانع (۱۳۹۴) تطابق دارد. بیت‌اله‌پور و رئیسی (۱۳۹۴)، بیان داشتند که نشانه فشردگی نمونه‌ها با افزایش غلظت آلاینده و درصد آلاینده‌گی افزایش می‌یابد. همچنین حاجیان و قانع (۱۳۹۴) و عاطفی‌فرد و بهنیا (۱۳۹۳) با مطالعه بر روی خاک ماسه‌ای آلوده به مواد نفتی نشان دادند که پارامترهای تحکیمی نمونه‌ها با افزایش درصد آلودگی، افزایش می‌یابد.

همانطور که مشاهده می‌شود، تغییرات نشانه فشردگی نمونه‌ها به صورت تقریباً یکنواخت با افزایش غلظت پساب و افزایش زمان اشباع سازی، افزایش یافته‌اند و میزان تغییر در بازه ۴ تا ۶ ماه و ۶ تا ۹ ماه، تقریباً مشابه و حدود ۵۰٪ می‌باشد. این امر با توجه به ساختار خاک آلوده با پساب از جهت افزایش فضای خالی نمونه‌ها منطبق بوده و از آن تبعیت می‌کند. کاهش در ضخامت لایه دوگانه منجر به فولوکوله شدن ذرات خاک می‌گردد. ضخامت این لایه متناسب با جدر ثابت دی‌لکتریک است (Sridharan et al., 1981). بنابراین برای مایعات آلی با دی‌لکتریک کمتر از آب، ضخامت دوگانه مضاعف پراکنده در اطراف ذرات رس کاهش می‌یابد و منجر به کاهش فضای بین ذرات می‌گردد. بنابراین، با افزایش غلظت مایع آلی این لایه منقبض شده و منجر به کاهش حجم اولیه ویژه می‌شود. تراکم خاک رس را می‌توان با شاخص تراکم‌پذیری (Cc) بیان کرد بیت‌اله‌پور و رئیسی (۱۳۹۴).

تغییرات نشانه تورم (شکل ۷) نیز نشان می‌دهد که این پارامتر با افزایش غلظت پساب و زمان به صورت نسبتاً یکنواخت در

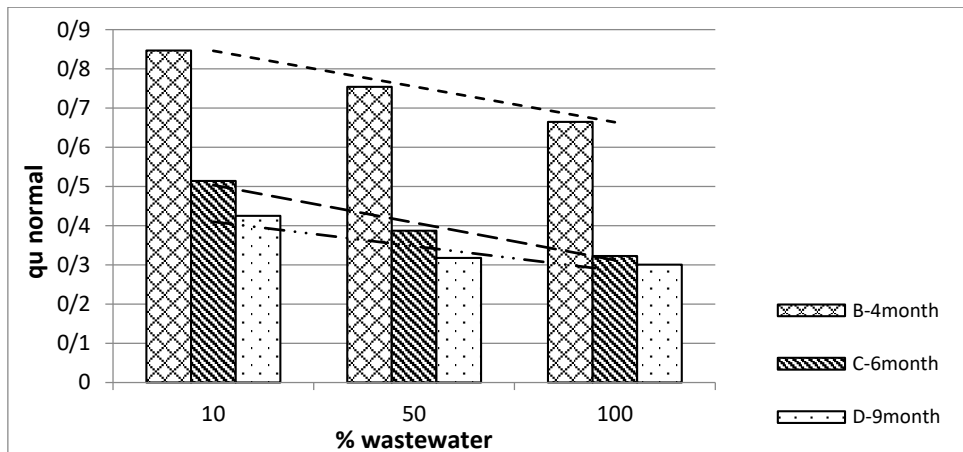


شکل ۸. تغییرات پارامترهای تحکیمی (نشانه تورم) با غلظت و زمان (Cs نمونه ها به مقدار اولیه نرمال شده است)

۴-۵- آزمون مقاومت تک محوری

محل مورد مطالعه نرمال گردید. مقدار مقاومت تک محوری در نمونه شاهد برابر ۰/۵۹ می باشد. شکل ۹، تغییرات این مقادیر با غلظت و زمان را نشان می دهد.

این آزمون ها به روش استاندارد (ASTM D2166 -13)، در مرحله قبل از آغشتگی با پساب و پس از آن در زمان های مورد نظر انجام گردید و نتایج حاصل بر اساس مقاومت خاک طبیعی



شکل ۹. تغییرات مقاومت تک محوری با غلظت و زمان

تصویر SEM نمونه ها قابل مشاهده می باشد. آلاینده فلز سنگین سرب ساختار خاک (ذرات خاک را درهم قفل کرده) و رفتار خاک را به سمت رفتار مصالح دانه ای میل می دهد (Li et al., 2015). همچنین این نمودار نشان دهنده آن است که غلظت کم پساب در زمان کوتاه بیشترین تاثیر را در مقادیر مقاومتی خاک داشته است.

بیشترین میزان تغییرات در چهار ماهه اول آزمایش رخ داده و در زمان های بعدی (شش و نه ماه) از میزان این تغییرات کاسته شده و در پایان نه ماه به کمترین مقدار خود رسیده است. علت این امر را می توان با تغییراتی که در ساختمان خاک ایجاد می گردد مرتبط دانست. به نحوی که ساختار خاک پس از آغشتگی به پساب به سمت الگوی دانه ای متمایل می گردد. این امر در

مرتبط دانست که منجر به مسدود شدن خاک می‌شود و در نتیجه آن خاک به ساختاری متراکم‌تری خواهد رسید که در دراز مدت باعث بروز نشست در سازه‌ها خواهد گردید. مقاومت تک محوری خاک نیز با افزایش غلظت پساب و افزایش مدت زمان اشباع‌شدگی کاهش نشان می‌دهد البته غلظت کم پساب در زمان کوتاه بیشترین تأثیر را در کاهش مقاومت ایجاد نمود. علت این امر را می‌توان با تغییراتی که در ساختمان خاک ایجاد می‌گردد مرتبط دانست. به نحوی که ذرات موجود در ساختار خاک پس از آغشتگی به پساب و عناصر موجود در آن، به سمت الگوی دانه‌ای متمایل می‌گردد. این امر در تصاویر SEM نمونه‌ها نیز قابل مشاهده می‌باشد. بنابراین در طولانی مدت تغییرات شیمیایی ناشی از مجاورت و اختلاط پساب با خاک ریزدانه مورد مطالعه، خواص مکانیکی آن را تغییر داده و می‌تواند باعث کاهش مقاومت و بروز نشست در خاک گردد.

تقدیر و تشکر

این پژوهش با شماره مصوبه ۳۸۳۹۰/۳ در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده‌است. همچنین نویسندگان مقاله از شورای پژوهش شورای اسلامی شهر مشهد که پژوهش را مورد حمایت قرار داده‌اند، کمال تشکر را دارند.

مطالعات باهرلاری و محمدی (۱۳۹۵) نیز نشان داد که افزایش میزان آلاینده‌ها تا درصد مشخصی باعث کاهش مقاومت تک محوری می‌گردد. همچنین مصدقی و زمردیان (۱۳۹۴) نیز با بررسی خصوصیات خاک مونتوریلونیت آلوده به گازوئیل، نشان دادند که مقاومت فشاری و چسبندگی با افزایش آلودگی کاهش یافته است و بیشترین میزان کاهش مربوط به آلودگی ۳ درصد است. همچنین (Imran Khan et al., 2016) نشان دادند که مقاومت تک محوری خاک‌های چسبنده در اثر مجاورت با فاضلاب کاهش پیدا می‌کند.

۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر پساب شهری بر خصوصیات نمونه‌ای خاک ریزدانه در منطقه مرکزی شهر مشهد (میدان شهدا) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد، در نمونه‌های مورد آزمون، در پایان ۴ ماهه اول حد روانی نمونه‌ها ۵/۸۸٪، در پایان ۶ ماهه دوم حدود ۸/۷۷٪ و در ۹ ماهه سوم این پارامتر ۱۰/۴٪ افزایش داشته است. همچنین نشانه فشردگی (Cc) با گذشت زمان همزمان با افزایش غلظت پساب ورودی، افزایش پیدا کرده‌است که می‌تواند نشانه‌ای از وجود فضاهای خالی بیشتر و به عبارتی پوک‌شدگی خاک باشد. همزمان نشانه تورم (Cs) با گذشت زمان و افزایش غلظت پساب، کاهش پیدا کرده است و میزان تغییرات مشاهده شده در غلظت‌های بالا، کمتر می‌باشد. علت این امر را می‌توان به ایجاد رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها بر روی سطح خاک

منابع

- اجل لوثیان، ر.، منصور، ح. صادقی‌پور، ا.، ۱۳۹۲، "بررسی اثر شوری آب بر خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های ریزدانه"، نشریه زمین شناسی مهندسی، جلد ۷، شماره ۲، صفحه ۱۷۶۳-۱۷۸۶.
- اسدی‌الاسوند، پ.، حیدری، ا.، ۱۳۹۵، "تأثیر مواد زائد حاصل از پالایش نفت‌خام بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۰، شماره ۳، صفحه ۸۶۸-۸۷۹.
- باهرلاری، ط.، محمدی گلستان، ح.، ۱۳۹۵، "اثر آلودگی گازوئیل بر ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک رس"، اولین کنفرانس بین‌المللی آب، محیط زیست و توسعه پایدار، ۶ صفحه.
- بیت‌اله‌پور، ا.، رئیسی استبرق، ع.، ۱۳۹۴، "بررسی اثر آلاینده‌های آلی بر روی خصوصیات تحکیمی خاک‌های ریزدانه"، مجله پژوهش نفت، شماره ۸۵، جلد ۱، صفحه ۱۶۹-۱۷۹.
- بیگی هرچگانی، ح.، بنی طالبی، گ.، ۱۳۹۲، "اثر رژیم‌های کاربرد دراز مدت پساب شهری بر شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک (مطالعه موردی، مزارع طالقک شهرکرد)"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۲۷، جلد ۵، صفحه ۱۰۴۶-۱۰۵۶.

- پارسافر، ن.، معروفی، ص.، مصدقی، م.، رحیمی، ق.، فرهنگ، م.، ۱۳۹۰، "تغییرات پارامترهای هیدرولیکی و نفوذ غیراشباع آب به خاک تحت تأثیر کاربرد فاضلاب در کشت سیبزمینی در شرایط لایسیمیتری"، مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۱ شماره ۲، ۱۵ صفحه.
- حاجیان، ع.، قانع، ع.، ۱۳۹۴، "پیش بینی برخی رفتارهای ژئوتکنیکی خاک‌های ماسه ای آلوده به مواد نفتی با استفاده از شبکه عصبی"، سومین کنفرانس بین المللی نفت، گاز و پتروشیمی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۶ صفحه.
- خدادادی، ن.، قربانی دشتکی، ش.، کیانی، ش.، ۱۳۹۴، "تأثیر کیفیت آب آبیاری بر برخی ویژگی های فیزیکی خاک در اراضی تحت کشت برنج"، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، (۳) ۴، ۱۵-۲۸.
- حیدرپور، م.، علیایی، م.، ۱۳۹۲، "انتشار آلودگی‌های نفتی در خاک تحت تأثیر شرایط مختلف خاک و آلاینده"، مجله علمی - پژوهشی عمران مدرس، دوره سیزدهم، ویژه نامه، بهار.
- خرات صادقی، م.، کرباسی، ع.، ۱۳۸۵، "بررسی غلظت و منشا عناصر سنگین در رسوبات بستر رودخانه شیروود"، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هشتم، شماره ۳.
- دلچانی، ف.، کاظمی، غ.، پروین نیا، م.، خاکشور، م.، ۱۳۸۸، "غنی شدگی و توزیع فلزات سنگین در خاک های منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی (عسلویه)"، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران.
- سیدحسینی، ح.، سیدحسینی، ا.، ۱۳۹۳، "آبخیزداری شهری ضامن پایداری معماری شهری در کشورهای اسلامی با تاکید بر ایران در ۵ رویکرد زیربنایی" کانون سراسری مهندسان معمار ایران، کنگره بین المللی پایداری در معماری شهرسازی، شهر مصدر، دوی، ۲۱ صفحه.
- صمدی، ج.، صمدی، ج.، ۱۳۹۶، "مدل سازی مکانی زمانی تغییرات تراز سطح آبهای زیرزمینی مناطق شهری و روستایی آبخوان کاشان با استفاده از تکنیک‌های GIS"، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، شماره یک، صفحه ۶۳-۷۷.
- عاطفی فرد، م.، بهنیا، س.، ۱۳۹۳، "بررسی تغییرات پارامترهای مقاومتی و تراکم پذیری خاکها در اثر آلودگی های نفتی"، اولین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران، تهران - موسسه آموزش عالی مهر اروند.
- غفوری، م.، لشکری پور، غ.، حافظی مقدس، ن.، صالحی متعهد، ف.، ناصح، س.، ۱۳۹۰، "بررسی مشکلات زیست محیطی ناشی از قنوات متروکه شهر مشهد" همایش بین المللی منابع آب، ۸ صفحه.
- فرمانی فرد، م.، فتاحی، ن.، پیرصاحب، م.، قمرنیا، ه.، ۱۳۹۶، "تأثیر آبیاری بلند مدت با فاضلاب تصفیه شده شهری کرمانشاه بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک"، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۱، شماره ۳، صفحه ۴۹۳-۵۰۸.
- کنگی، ع.، قندهاری، ا.، علیمیرزایی، ح.، ۱۳۹۳، "نقش جریان پساب های زیرسطحی در آب گرفتگی پی برج های مرتفع و گودبرداری های عمیق مشهد"، ششمین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران، دبیرخانه دائمی کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران، مشهد، ۶ صفحه.
- مصدقی، ا.، زمردیان، م.، ۱۳۹۴، "مطالعه آزمایشگاهی تأثیر آلاینده گازوئیل بر روی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک رس مونت موریلونیت"، دومین کنفرانس ملی و بین المللی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی، ۶ صفحه.
- محمد قاسمی، ط.، قربانی، ا.، آریانفر، ا.، ۱۳۹۱، "بررسی اثرات پساب کارخانه قلعه زری بر روی آلاینده‌های خاک"، شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه شیراز، ۸ صفحه.
- ملکی، ر.، برخوردار، ک.، ۱۳۹۳، "انتشار آلودگی در خاک و اثر آن بر پارامترهای مقاومتی"، اولین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران، ۱۰ صفحه.
- معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریس جمهوری، ۱۳۸۹، "ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب های برگشتی و پساب ها"، نشریه ۵۳۵.

Abdallah I., Ahmed S., and Osama T.1999. Effects of organic matter on the physical and the physicochemical properties of an illitic soil. *Applied Clay Science*, 14: 257–278.

Aggelides SM and Londra PA, 2000, "Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of loamy soil and a clay soil", *Bio resource Technology* 71:253-259.

- Akinwumi, I.I., Diwa, D., Obianigwe, N., 2014, "Effects of crude oil contamination on the index properties, strength and permeability of lateritic clay", *Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 3(4), pp. 816-824.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), 2012, *ASTM Annual Book of Standards*, Sec. 4, Vol. 04. 08.
- Antony, R., saravanan, S. and manjula, R., 2016, "Effects of Treated Wastewater Irrigation on Soil Properties— A Case Study at NIT Trichy", *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, Volume 09, No. 06, PP: 2041-2047.
- Cyrus, S., Santhosh Kumar, T.G., Abraham, B.M., Sridharan, A. and Jose, B.T., 2010, "Effect of Industrial Wastes on the Physical and Engineering Properties of Soils", *Indian Geotechnical Conference, IGS Mumbai Chapter & IIT Bombay*, PP: 357-360.
- Elisha, A.T., 2012, "Effect of crude oil contamination on the geotechnical properties of soft clay soils of Niger delta region of Nigeria", *Electronic Journal of Geotechnical Engineering, EJGE*, 17(M), pp. 1929-1938.
- Estabragh, A.R., Beytolahpour, I. and Javadi, A.A., 2011, "Effect of Resin on the Strength of Soil-Cement Mixture", *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 23, No. 7, pp 969-976.
- Estabragh, A.R., Khatibi, M. and Javadi, A.A., 2015, "Effect of Cement on Treatment of a Clay Soil Contaminated with Glycerol", *Journal of Materials in Civil Engineering*, Volume 28, Issue 4.
- Ghahremani N., Hafezi moghadass N., Ghafoori M., Lashkaripour G.R., 2018, "The effects of urban wastewater on engineering properties of fine-grained soil in Mashhad", Ph.D. thesis of Ferdowsi university of Mashhad, Geology department (In Persian).
- Harikumar, P.S., Jisha, T.S., 2010, "Distribution pattern of trace metal pollutants in the sediments of an urban wetland in the southwest coast of India", *international journal of engineering science and technology*, Vol. 2(5), 840-850.
- Hosseinpour, A., Haghnia, G.H., Alizadeh, A. and Fotovat, A., 2007, "Effect of irrigation with raw and treated wastewaters on chemical characteristic of soil in different depths under continuously and intermittent flood conditions", *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 2, 73-85.
- Imran Khan, M., Irfan, M., Aziz M., and Hassan Khan, A., 2016, "Geotechnical characteristics of effluent contaminated cohesive soils", *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, Volume 25, Issue 1, PP: 75-82.
- Karkush, M., Abdul Kareem, M., Effects of industrial wastes on geotechnical properties of clayey soil, Karkush, M.O., Resol, D.A., 2015, "Studying the effects of industrial waste water on chemical and physical properties of sandy soil", *Journal of Babylon University/Engineering Sciences*, 23(2).
- Li, J.S., Xue, Q., Wang, P., Li, Z.Z., 2015, "Effect of Lead (II) on The Mechanical behavior And Microstructure Development of a Chinese Clay", *Applied Clay Science*, 105, 192-199.
- Ouhadi, V. R., Amiri, M., Goodarzi, A. R., 2012, "The Special Potential of Nano-Clays for Heavy Metal Contaminant Retention in Geo-Environmental Projects", *Journal of Civil and Surveying Engineering*, Vol. 45, No. (6), PP: 631-642.
- Schacht, K., and Marschner, B., 2015, "Treated wastewater irrigation effects on soil hydraulic conductivity and aggregate stability of loamy soils in Israel", *J. Hydrol, Hydromech*, 63(1), PP: 47– 54. DOI: 10.1515/johh-2015-0010.
- Singh, M., Muller, G., Singh, J.B., 2002, "Heavy metals in freshly deposited stream sediments of rivers associated with urbanization of the Ganga plain", India.
- Sridharan A., Nagaraj T.S. and Sivapullaiah P.V., 1981, "Heaving of soil due to acid contamination," *Proceeding 10th International Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Stockholm Publication Committee 10th ICSMFE, Balkema, Rotterdam, Vol. 2, pp. 383-386.
- Tamasi, G., Cini, R., 2004, "Heavy metals in drinking waters from Mount Amiata (Tuscany, Italy)", Possible risks from arsenic for public health in the province of Siena.
- Vinten, A.J.A., Mingelgrin, U., Yaron, B., 1983, "The effect of suspended solids in wastewater on soil hydraulic conductivity: II. Vertical distribution of suspended solids", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol 47, pp: 408– 412.
- Zhang, S. Y., Wang, Q. F., Wan, R., & Xie, S. G., 2011, "Changes in bacterial community of anthracene bioremediation in municipal solid waste composting soil", *Journal of Zhejiang University*, pp760-768.