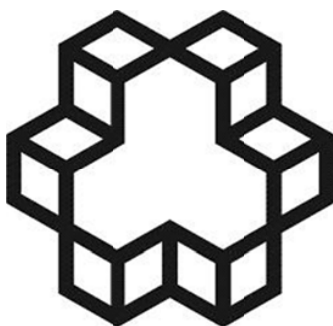


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش خاک و پی

موضوع پایان نامه:

بررسی تأثیر خواص خاک بر حرکت باکتری اشرشیاکلی در خاک

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر قاسم زاده

استاد مشاور:

خانم مهندس بزاززاده

دانشجو:

سام عبدالهیان ۸۸۰۰۹۴۴

۱۲ آذر ماه ۱۳۹۰

این پایان نامه را تقدیم می کنم به خواهر عزیزم

در ابتدا می‌بایست از اساتید ارجمند، جناب آقای دکتر قاسم‌زاده و سرکار خانم مهندس بزاززاده که همواره با صبر و تحمل فراوان یاری‌گر من در پیش‌برد این پایان‌نامه بودند، تشکر و قدردانی کنم. انجام این پایان‌نامه بدون کمک‌های بی‌دریغ پدر و مادر مهربانم که همواره حامی من در تمامی مراحل تحصیل بودند امکان‌پذیر نبود. بر خود لازم می‌دانم که از یاری دوستان خوبم در آزمایشگاه محیط زیست، مهندس کاهانی، مهندس زینلی و مهندس دانش‌آذری که مرا در انجام آزمایش‌ها برادرانه یاری کردند تشکر کنم.

در پایان از اساتید محترم هیأت داوران، جناب آقای دکتر گنجی‌دوست و جناب آقای دکتر میرباقری که با نظرات عالمانه‌ی خود موجبات ارتقاء علمی این پژوهش را فراهم آوردند کمال تشکر را دارم.

سام عبدالهیان

چکیده

فاضلاب‌ها و کودهای حیوانی منشا بسیاری از باکتری‌های بیماری‌زا هستند که در تماس مستقیم با خاک قرار دارند و امکان انتقال این میکروارگانیسم‌ها را در محیط متخلخل خاک فراهم می‌کنند. این امر سلامت آب‌های سطحی و زیرزمینی، که در کشورهای در حال توسعه از منابع اصلی آب آشامیدنی به شمار می‌آیند را به خطر می‌اندازد. باکتری اشرشیاکلی یکی از این عوامل است که بعضی از سویه‌های آن بیماری‌زا می‌باشند. این باکتری از دسته‌ی باکتری‌های گرم منفی بوده و شاخص آلودگی مدفوعی آب‌های آشامیدنی به شمار می‌آید. بررسی چگونگی حرکت این باکتری در محیط متخلخل خاک می‌تواند نقش بسزایی در تعیین حریم چاه‌های جذبی ایفا کند. در بخش اول این پژوهش با بهره‌گیری از آزمایش‌های ستونی، چگونگی تاثیر پارامترهای خاک (اندازه‌ی متوسط دانه‌ها و ضریب یکنواختی) بر حرکت و بقای باکتری در محیط خاک مورد بررسی قرار گرفته است. غلظت باکتری در جریان ورودی (C_0) و غلظت باکتری در جریان خروجی (C) در گام‌های زمانی مختلف اندازه‌گیری شده و با استفاده از غلظت‌های نسبی (C/C_0) منحنی‌های نفوذ برای هر نمونه‌ی خاک رسم گردیده‌است. بدین ترتیب با استفاده از منحنی‌های نفوذ، ضریب فیلتراسیون (β) برای هر نمونه بدست آمده و با مقادیر نظری آن مقایسه شده‌است. نتایج نشان می‌دهند با کاهش اندازه‌ی دانه‌های خاک، ضریب فیلتراسیون (β) افزایش می‌یابد، دیگر نتیجه‌ی حاصل از این بخش کاهش ضریب فیلتراسیون در اثر افزایش ضریب یکنواختی نمونه‌ی خاک بود. در بخش دوم این پایان‌نامه با اضافه کردن موادی چون کربن فعال، کربنات کلسیم، کائولینیت و اکسید آهن به ستون‌های خاک و فراهم کردن سایت‌های مناسب جهت جذب باکتری، به بررسی تأثیر این افزودنی‌ها بر ضریب تأثیر چسبندگی (α) خاک پرداخته شد. نتیجه‌ی حاصل از این بخش، افزایش غیر خطی ضریب تأثیر چسبندگی بر اثر افزایش درصد افزودنی‌ها بود، لازم به ذکر است که بیشترین جذب در نمونه‌های حاوی کربن فعال رخ داده‌است.

فهرست مطالب

۱.....	مقدمه.....
۲.....	اهداف انجام پژوهش.....
۲.....	روش تحقیق.....
۳.....	ساختار تحقیق.....
۵.....	۱ مبانی و کلیات.....
۵.....	۱-۱ پیشگفتار.....
۶.....	۲-۱ مبانی فاضلاب.....
۷.....	۱-۲-۱ اجزا تشکیل دهنده ی فاضلاب.....
۸.....	۳-۱ منابع آلاینده ی آب های زیرزمینی.....
۹.....	۱-۳-۱ انواع آلودگی های فاضلاب های خانگی.....
۱۰.....	۲-۳-۱ انواع میکروارگانیسم های موجود در فاضلاب.....
۱۱.....	۴-۱ میکروارگانیسم های آلاینده.....
۱۲.....	۱-۴-۱ محاسبه ی چاه های جذب کننده ی فاضلاب.....
۱۳.....	۵-۱ آلودگی آب های زیرزمینی در اثر نفوذ فاضلاب.....
۱۵.....	۱-۶ تئوری فیلتراسیون کلوئیدی (CFT).....
۲۱.....	۲ مروری بر پیشینه ی تحقیق.....
۲۱.....	۱-۲ مقدمه.....
۲۱.....	۲-۲ میکروارگانیسم های شاخص.....
۲۳.....	۳-۲ ویژگی های مرفولوژیک و سلولی باکتری <i>E. coli</i>
۲۳.....	۱-۳-۲ رده بندی.....
۲۴.....	۲-۳-۲ <i>E. coli</i> در آب.....
۲۵.....	۳-۳-۲ خاصیت آبریزی دیواره ی سلول.....
۲۶.....	۴-۲ مدل عمومی حرکت باکتری در خاک.....

۳۰	تبادل جذب	۱-۴-۲
۳۲	ضریب نرخ چسبندگی	۲-۴-۲
۳۳	ضریب بی بعد برخورد (η_0)	۳-۴-۲
۳۵	ضریب نرخ گیرافتادگی (استرینینگ)	۲-۵
۳۷	اهمیت مکانیزم‌های مختلف انتقال باکتری	۶-۲
۳۸	ضریب فیلتراسیون (β)	۷-۲
۳۹	عوامل موثر بر راندمان‌های اتصال ذرات باکتری و دانه‌های خاک	۸-۲
۳۹	تأثیر سرعت	۱-۸-۲
۴۱	تأثیر اندازه‌ی دانه‌ها	۲-۸-۲
۴۲	عوامل موثر بر ضریب تأثیر چسبندگی (α)	۹-۲
۴۲	تأثیر پتانسیل زتا و خواص شیمیایی محلول	۲-۹-۱
۴۴	تأثیر مقاومت یونی	۲-۹-۲
۴۶	تأثیر لیپوپلی ساکارید واقع بر دیواره‌ی سلولی	۳-۹-۲
۴۷	تأثیر ناهمگونی ژئوشیمیایی محیط متخلخل	۴-۹-۲
۴۸	تأثیر زبری سطح دانه‌ها	۵-۹-۲
۴۹	ضرایب فیلتراسیون و راندمان‌های اتصال حاصل از آزمایش‌های در محل و آزمایشگاهی	۱۰-۲
۵۱	عوامل موثر بر غیر فعال شدن و مرگ‌ومیر <i>E. coli</i>	۱۱-۲
۵۲	تأثیر درجه حرارت	۱-۱۱-۲
۵۳	تأثیر پروتوزئرها و رقیب‌های <i>E. coli</i>	۲-۱۱-۲
۵۳	تأثیر عوامل دیگر	۳-۱۱-۲
۵۶	۳ مواد و روش‌ها	
۵۶	جداسازی باکتری از محیط و آماده‌سازی سوسپانسیون تزریقی	۱-۳
۶۱	اسپکتروفتومتر	۲-۳
۶۳	خاک استفاده شده در آزمایش‌ها	۳-۳

۱-۳-۳	افزودنی‌ها.....	۶۶
۴-۳	ستون‌های خاک (طراحی و ساخت پایلوت مورد نظر).....	۶۷
۵-۳	شرایط تزریق.....	۶۹
۶-۳	اندازه‌گیری pH	۶۹
۷-۳	اندازه‌گیری هدایت الکتریکی.....	۷۰
۴	ارائه‌ی نتایج، بحث و نتیجه‌گیری.....	۷۲
۱-۴	آزمایش‌های ماسه‌ی خالص.....	۷۳
۱-۱-۴	تأثیر اندازه‌ی دانه‌ها.....	۷۳
۲-۱-۴	تأثیر یکنواختی نمونه‌های خاک (C_u).....	۷۵
۳-۱-۴	مقایسه‌ی ضرایب فیلتراسیون آزمایشگاهی و محاسبه شده (در آزمایش‌های ۱ تا ۷).....	۷۶
۴-۱-۴	تغییرات ضریب فیلتراسیون با تغییر در ضریب یکنواختی خاک (آزمایش‌های ۸ تا ۱۰).....	۷۸
۲-۴	آزمایش‌های مربوط به بررسی تأثیر ناهمگونی ژئوشیمیایی خاک.....	۷۹
۱-۲-۴	تأثیر درصدهای اضافه شده‌ی لیمونیت بر حرکت باکتری در خاک ماسه‌ای.....	۸۱
۲-۲-۴	تأثیر درصدهای اضافه شده‌ی کربنات کلسیم بر حرکت باکتری در خاک ماسه‌ای.....	۸۲
۳-۲-۴	تأثیر درصدهای اضافه شده‌ی کربن فعال بر حرکت باکتری در خاک ماسه‌ای.....	۸۳
۴-۲-۴	تأثیر درصدهای اضافه شده‌ی کائولینیت بر حرکت باکتری در خاک ماسه‌ای.....	۸۴
۵-۲-۴	افزایش ضریب تأثیر چسبندگی (α).....	۸۵
۳-۴	مقایسه‌ی نتایج حاصل با برخی تحقیقات آزمایشگاهی مشابه.....	۸۷
۱-۳-۴	آزمایش‌های برادفورد و همکاران (۲۰۰۲).....	۸۷
۲-۳-۴	آزمایش‌های ون و همکاران (۲۰۰۷).....	۸۹
۴-۴	مقایسه‌ی نتایج حاصل از آزمایش‌ها با نتایج حاصل از مدل‌سازی (HYDRUS-1D).....	۹۰
۵-۴	بحث و نتیجه‌گیری.....	۹۴
۹۷	فهرست منابع.....	

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ منابع آلاینده‌ی آب‌های زیرزمینی (Fetter, 1993) ۹
- شکل ۲-۱ تئوری فیلتراسیون کلوئیدی در نتیجه‌ی تزریق پیوسته به ستون عاری از آلاینده (Foppen et al., 2005) ۱۷
- شکل ۳-۱ جذب ذرات کلوئیدی در خاک توسط مکانیزم‌های مختلف (Foppen et al., 2005) ۱۸
- شکل ۴-۱ ارتباط بین تئوری فیلتراسیون کلوئیدی و مکانیزم‌های جذب (Nascimento et al., 2006) ۲۰
- شکل ۱-۲ تغییرات مکانیزم‌های دخیل در انتقال باکتری ($a_c = 1mm$) (Foppen and Schijven, 2006) ۳۷
- شکل ۲-۲ تغییرات مکانیزم‌های دخیل در انتقال باکتری ($a_c = 0.02mm$) (Foppen and Schijven, 2006) ۳۸
- شکل ۳-۲ تأثیر سرعت حرکت سیال بر ضریب فیلتراسیون (Foppen and Schijven, 2006) ۴۰
- شکل ۴-۲ مقایسه‌ی مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده‌ی β و تأثیر اندازه‌ی متوسط دانه‌های خاک (Foppen and Schijven, 2006) ۴۱
- شکل ۵-۲ منحنی‌های نفوذ برای *E. coli* در محلول‌هایی با پتانسیل‌های زتای مختلف (Powelson and Mills, 2001) ۴۴
- شکل ۶-۲ تأثیر تغییرات مقاومت یونی بر راندمان برخورد (Foppen and Schijven, 2006) ۴۵
- شکل ۷-۲ مقایسه‌ی راندمان برخورد برای سه سویه از *E. coli* با ملکول‌های LPS متفاوت (Walker et al., 2004) ۴۷
- شکل ۸-۲ مقایسه‌ی ضرایب فیلتراسیون بدست آمده در آزمایشگاه و در محل (Foppen and Schijven, 2006) ۵۰
- شکل ۹-۲ تأثیر درجه حرارت بر نرخ مرگ‌ومیر *E. coli* (Foppen and Schijven, 2006) ۵۲
- شکل ۱۰-۲ تأثیر استریل کردن محیط بر نرخ مرگ‌ومیر *E. coli* (Foppen and Schijven, 2006) ۵۴
- شکل ۱-۳ محیط کشت‌های جامد (پلیت‌ها) و مایع (لوله‌های آزمایش) در حال گرمادهی در انکیباتور (Pars azma 551) ۵۷
- شکل ۲-۳ کدر شدگی لاکتوزبات (نشانه‌گر رشد *E. coli*) ۵۷
- شکل ۳-۳ کشت خطی روی محیط EMB آگار ۵۸
- شکل ۴-۳ پلیت اندو آگار پس از کشت باکتری ۶۱
- شکل ۵-۳ پلیت اندو قبل از کشت باکتری ۶۰
- شکل ۶-۳ منحنی رشد باکتری *E. coli* ۶۱
- شکل ۷-۳ نحوه‌ی عملکرد اسپکتروفتومتر جهت تعیین غلظت مواد جامد در نمونه ۶۲

- شکل ۳-۸ اسپکتروفتومتر استفاده شده در آزمایش‌ها (Lovibond PC Spectro) ۶۳
- شکل ۳-۹ منحنی دانه‌بندی ماسه‌ی استفاده شده در آزمایش‌ها ۶۴
- شکل ۳-۱۰ ستون‌های پلاکسی گلاس ۶۷
- شکل ۳-۱۱ سرپیچ ستون و لایه‌ی شن در ابتدای ستون ۶۸
- شکل ۳-۱۲ شمای کلی نحوه‌ی انجام آزمایش‌ها ۶۸
- شکل ۳-۱۳ دستگاه pH متر موجود در آزمایشگاه (inolab pH-730) ۷۰
- شکل ۳-۱۴ دستگاه EC متر موجود در آزمایشگاه (Cyberscan con-510) ۷۰
- شکل ۴-۱ منحنی‌های نفوذ باکتری برای ستون‌های خاک با متوسط قطر دانه‌های متفاوت ۷۴
- شکل ۴-۲ منحنی‌های نفوذ باکتری برای ستون‌های خاک با ضرایب یکنواختی متفاوت ۷۵
- شکل ۴-۳ مقایسه‌ی β های محاسبه شده و اندازه‌گیری شده برای اندازه‌های متوسط متفاوت دانه‌های خاک ۷۶
- شکل ۴-۴ تغییرات ضرایب فیلتراسیون اندازه‌گیری شده و محاسبه شده بر اثر تغییر در ضریب یکنواختی خاک (Cu) ۷۸
- شکل ۴-۵ منحنی‌های نفوذ *E. coli* در ماسه با درصدهای مختلف لیمونیت ۸۱
- شکل ۴-۶ منحنی‌های نفوذ *E. coli* در ماسه با درصدهای مختلف کلسیت ۸۲
- شکل ۴-۷ منحنی‌های نفوذ *E. coli* در ماسه با درصدهای مختلف کربن فعال ۸۳
- شکل ۴-۸ منحنی‌های نفوذ *E. coli* در ماسه با درصدهای مختلف کائولینیت ۸۴
- شکل ۴-۹ مقایسه‌ی منحنی‌های نفوذ باکتری برای لیمونیت، کلسیت و کربن فعال ۲۰٪ ۸۵
- شکل ۴-۱۰ تغییرات ضریب تأثیر چسبندگی بر حسب تغییرات پارامتر بی بعد ناهمگونی ژئوشیمیایی ۸۶
- شکل ۴-۱۱ منحنی‌های نفوذ ذرات کلونیدی در خاک‌هایی با اندازه‌ی دانه‌ی متفاوت (Bradford et al., 2002) ۸۸
- شکل ۴-۱۲ مقایسه‌ی منحنی‌های نفوذ *E. coli* در ماسه‌ی خام، استریل شده و پخته شده (Won et al., 2007) ۸۹
- شکل ۴-۱۳ منحنی نفوذ مربوط به آزمایش شماره‌ی ۴ ۹۰
- شکل ۴-۱۴ منحنی نفوذ (*R. rhodochrous*) در ستون‌های حاوی ماسه (Simunek et al., 2008) ۹۳

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱	اجزای تشکیل‌دهنده‌ی فاضلاب (حسینی، ۱۳۸۷).....	۷
جدول ۲-۱	تعیین سطح لازم در چاه حذف‌کننده فاضلاب (احمدی، ۱۳۸۱).....	۱۲
جدول ۱-۲	ضرایب تأخیر اشرفی‌اکلی بدست آمده از آزمایش‌های در محل و آزمایشگاهی (Foppen and Schijven, 2006).....	۳۱
جدول ۱-۳	اطلاعات مربوط به دانه‌بندی خاک ماسه‌ای.....	۶۵
جدول ۲-۳	فهرست وسایل استفاده شده در آزمایشگاه محیط زیست.....	۷۱
جدول ۱-۴	مشخصات آزمایش‌های انجام شده (θ تخلخل و Cu ضریب یکنواختی خاک می‌باشد).....	۷۳
جدول ۲-۴	پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه‌ی SCCE.....	۷۷
جدول ۳-۴	مشخصات آزمایش‌های انجام‌شده در بخش دوم (EC_{eff} هدایت الکتریکی و pH_{eff} ، pH محلول خروجی می‌باشند).....	۸۰
جدول ۴-۴	پارامترهای استفاده شده در معادله‌ی ۱-۴.....	۸۷
جدول ۵-۴	مشخصات دانه‌بندی خاک‌های استفاده شده در آزمایش‌های بردفورد (Bradford et al., 2002).....	۸۸

مقدمه

منابع آب زیرزمینی ممکن است در اثر نفوذ فاضلاب در خاک از طریق نشت سیستم‌های فاضلاب، انتشار کودهای حیوانی، نشت و گسترش مدفوع حیوانات و یا نشت از سایت‌های دفع زباله آلوده شوند. اگر فاصله‌ی منبع آب مورد نظر از منشاء آلودگی کافی نباشد احتمال آلوده شدن آب به میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا بالا می‌رود. برای پیش‌بینی حضور میکروب‌های بیماری‌زا در آب معمولاً از گروهی از میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌شود که به آن‌ها شاخص آلودگی مدفوعی گفته می‌شود که اشرشیاکلی از این دسته باکتری‌های می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش بررسی چگونگی انتقال این باکتری در خاک و تأثیر خصوصیات فیزیکی و ناهمگونی ژئوشیمیایی خاک بر حرکت آن می‌باشد که به این منظور باکتری از خاک باغچه جدا شده و به ستون‌های خاک تزریق شده‌است.

اهداف انجام پژوهش

هرچند تحقیقات زیادی در خصوص حضور اشرشیاکلی و کلیفرم‌های مقاوم گرما به عنوان شاخص‌های آلودگی مدفوعی آب‌های زیرزمینی انجام پذیرفته‌است اما تحقیقات انجام شده مرتبط با چگونگی انتقال این آلاینده‌ها و تأثیر خواص محیط متخلخل بر این انتقال به مراتب محدود می‌باشند.

اهداف این پایان‌نامه شامل دو دسته‌ی کلی می‌شوند که در فصل مربوط به آزمایش‌ها به تفصیل توضیح داده خواهند شد، اما به طور مختصر به شرح زیر است:

- دسته‌ی اول، آزمایش‌های مربوط به بررسی تأثیر خواص فیزیکی از قبیل اندازه‌ی دانه‌ها، دانه‌بندی و ضریب یکنواختی خاک بر چگونگی انتقال *E. coli* و بررسی تغییرات ضریب فیلتراسیون خاک (β) می‌باشند.
- دسته‌ی دوم، آزمایش‌های مربوط به بررسی اثر ناهمگونی ژئوشیمیایی خاک و تأثیر افزودن درصدهایی از اکسید آهن، کربنات کلسیم و کربن فعال به نمونه‌ی مورد نظر بر انتقال باکتری و بررسی تغییرات مقادیر بدست آمده برای محاسبه‌ی ضریب تأثیر چسبندگی بین ذرات باکتری و دانه‌های خاک (α) می‌باشد.

روش تحقیق

تحقیقات انجام‌شده در این پایان‌نامه بر مبنای آزمایشات تجربی با استفاده از ستون‌های خاک جهت بررسی انتقال یک‌بعدی آلاینده در محیط خاک می‌باشد. پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای و جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در خصوص چگونگی انجام آزمایش‌ها با توجه به آخرین تحقیقات انجام شده‌ی مشابه، اقدام به آماده‌سازی ستون‌ها گردید. جهت تهیه‌ی محلول حاوی آلاینده، باکتری موردنظر طی چند مرحله از خاک جداسازی و کشت داده‌شد.

تمامی آزمایش‌ها در محیط آزمایشگاه و تحت شرایط کنترل شده صورت پذیرفت، به گونه‌ای که عوامل ایجادکننده‌ی خطا به حداقل خود برسند. همچنین جهت جلوگیری از انتشار باکتری به محیط و پیشگیری از آلوده شدن افراد و محیط آزمایشگاه، تدابیر مناسب بهداشتی اندیشیده شد. جزئیات ستون‌های خاک، نحوه‌ی آزمایش‌ها و چگونگی جداسازی باکتری از خاک و کشت آن به صورت انبوه به طور کامل در فصل سه پایان‌نامه آورده شده است.

ساختار تحقیق

این پایان‌نامه در چهار فصل تنظیم شده و محتویات آن به قرار زیر است:

در فصل اول این پایان‌نامه به معرفی اجزاء تشکیل‌دهنده‌ی فاضلاب و میکروارگانیسم‌های آلاینده‌ی آب‌های زیرزمینی پرداخته شده و در انتها توضیحاتی در خصوص تئوری فیلتراسیون کلوئیدی داده شده است.

فصل دوم، ابتدا به معرفی میکروارگانیسم‌های شاخص و ویژگی‌های آن‌ها پرداخته است. سپس *E. coli* به عنوان شاخص آلودگی مدفوعی آب‌های زیرزمینی معرفی و ویژگی‌های آن از قبیل خصوصیات دیواره و خاصیت آگریزی و تأثیر آن‌ها بر حرکت باکتری در محیط خاک با توجه به تحقیقات انجام‌شده‌ی معتبر بررسی شده است. در ادامه، به نتایج حاصل از مطالعات انجام شده در خصوص تأثیر ویژگی‌های فیزیکی (از قبیل اندازه‌ی دانه‌ها و سرعت حرکت آلاینده) و ویژگی‌های شیمیایی (از قبیل مقاومت یونی، pH و ناهمگونی ژئوشیمیایی محیط خاک) بر ضریب فیلتراسیون (β) و ضریب تأثیر چسبندگی (α) بیان شده است. در پایان نیز مطالعات انجام شده در ایران و نتایج آن‌ها به اختصار آورده شده است.

در فصل سوم تشریح روش‌های آزمایش، ابزار، دستگاه‌ها و مواد شیمیایی استفاده شده در پژوهش همچنین مراحل جداسازی باکتری از خاک و آماده‌سازی ستون‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها آورده شده است.

و در نهایت فصل چهارم به ارائه‌ی نتایج حاصل از آزمایش‌ها در قالب منحنی‌های نفوذ باکتری در خاک، مقایسه‌ی نتایج حاصل با دیگر تحقیقات انجام‌شده و بحث و نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادات جهت تحقیقات آتی اختصاص دارد.

۱ مبانی و کلیات

۱-۱ پیشگفتار

از گذشته‌های دور جمع‌آوری فاضلاب در شهرها یک مشکل جدی بوده و ضرورت تصفیه به لحاظ رعایت بهداشت عمومی و مسائل زیست‌محیطی مربوط به آن حائز اهمیت بوده است. فاضلاب تصفیه نشده حاوی ناخالصی‌ها و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زای فراوانی است که در صورت ورود آن‌ها به محیط زیست و منابع آب بدون انجام تصفیه‌ی کافی بر روی آن باعث مشکلات عدیده‌ای خواهد شد. از طرفی با افزایش مصرف آب به دلیل افزایش جمعیت در سال‌های اخیر و کمبود منابع آبی و ضرورت حفظ آن‌ها، بازیابی و استفاده مجدد فاضلاب دارای اولویت حیاتی است. به همین دلیل در سال‌های اخیر قوانین سخت‌گیرانه‌تری در خصوص تصفیه‌ی فاضلاب و گسترش اهداف تصفیه فاضلاب وضع گردیده است. در این راستا در کشور ما نیز به خاطر اهمیت موضوع و کمبود منابع آبی همچنین حفظ محیط زیست و سلامت بهداشتی جامعه تصفیه‌ی فاضلاب‌های شهری به صورت پیشرفته با هدف کاهش تراکم میکروارگانیسم‌های بیمارگر^۱ و کنترل انتشار آلودگی‌ها به عنوان

^۱ Pathogen

یک ضرورت مطرح شده است. از این رو در کنار اهمیت فرایند تصفیه‌ی فاضلاب و بازیافت آن که سبب ورود دوباره‌ی آب به چرخه‌ی مصرف می‌گردد، بررسی فرایند طبیعی نفوذ میکروارگانیسم‌ها و به‌طور شاخص باکتری‌های دگرپرور^۱ بیهوازی اختیاری که از ساکنین دائم این محیط‌ها هستند، در محیط‌های متخلخل نظیر خاک از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است.

۲-۱ مبانی فاضلاب

به عبارت ساده می‌توان گفت که فاضلاب چیزی جز آب استفاده‌شده یا مایع مازادی که در نتیجه‌ی فعالیت‌های گوناگون جامعه تولید می‌شود نیست و حاوی ناخالصی‌های بیش از حد مجاز قانونی است. اما به لحاظ فنی فاضلاب می‌تواند به عنوان هر آب یا مایعی تعریف شود که حاوی غلظتی از ناخالصی‌ها یا آلاینده‌های جامد، مایع، گازی و یا ترکیبی از آن‌ها است که اگر به محیط زیست دفع شود زیان‌بار خواهد بود.

- ناخالصی‌ها در فاضلاب عمدتاً ناشی از جامدات موجود در آب است. جامدات ممکن است ذاتاً آلی یا غیر آلی باشند و ممکن است به شکل معلق، کلوئیدی، محلول و یا ترکیبی از این حالات وجود داشته باشند.

- حد معین یا میزان قابل قبولی از غلظت ناخالصی‌ها یا آلاینده‌ها توسط مراجع محلی همچون شرکت آب و فاضلاب یا سازمان حفاظت محیط زیست توصیه می‌شود.

- در نهایت فاضلاب معمولاً به آب‌ها یا به زمین تخلیه خواهد شد. آب‌های دریافت‌کننده ممکن است نهرها، دریاچه‌ها، استخرها، کانال‌ها، رودخانه‌ها، دریاها، خورها و غیره باشند.

فاضلابی که در زمین دفع می‌گردد سرانجام از طریق تراوش و نفوذ به سفره‌ی آب زیر سطحی می‌رسد.

بنابراین، دفع نهایی فاضلاب به استثناء تبخیر آلاینده‌های خاص همه در آب سطحی و زیرسطحی خواهد بود.

^۱ Heterotroph

در مجموع اهداف تصفیه‌ی فاضلاب عبارتند از (حسنی، ۱۳۸۷):

۱. حفاظت بهداشت عمومی جامعه و جلوگیری از بیماری‌های واگیردار
۲. استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده
۳. برطرف شدن مشکل حاد دفع فاضلاب ساکنین شهرها و روستاها در مناطقی که دارای زمین‌های سنگی و غیرقابل نفوذ بوده و یا این‌که دارای سطح آب‌های زیرزمینی بالا می‌باشند.

۱-۲-۱ اجزا تشکیل‌دهنده‌ی فاضلاب

فاضلاب‌ها بسته به منبع تولید عمدتاً به دو دسته‌ی فاضلاب خانگی و فاضلاب صنعتی تقسیم می‌گردند. همان‌طور که در جدول ۱-۱ نشان داده شده‌است اجزا تشکیل‌دهنده‌ی فاضلاب به گروه‌های اصلی مختلفی تقسیم می‌شود. ترکیب فاضلاب شهری و خانگی به طور قابل توجهی به مکان و زمان بستگی دارد (حسنی، ۱۳۸۷).

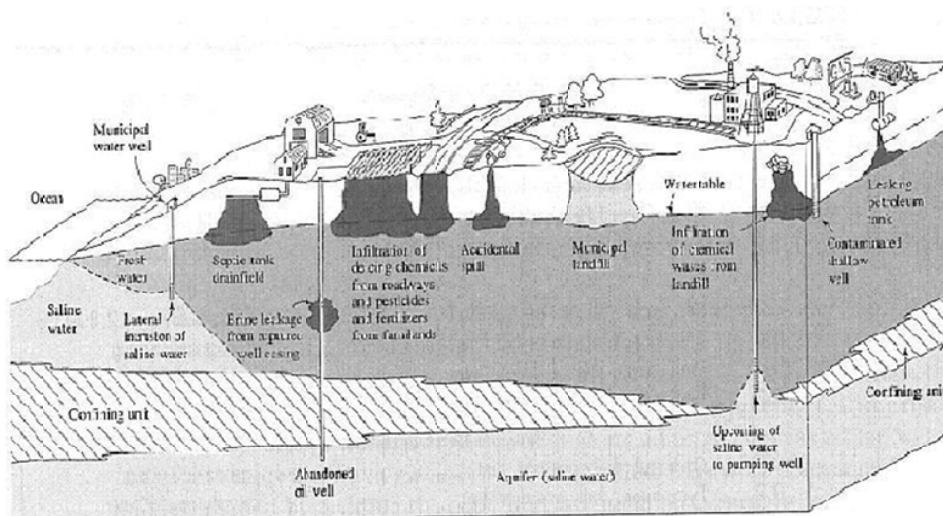
جدول ۱-۱ اجزای تشکیل‌دهنده‌ی فاضلاب (حسنی، ۱۳۸۷)

اجزای تشکیل‌دهنده‌ی فاضلاب	نوع و اهمیت ویژه آن	اثر زیست محیطی
میکروارگانیسم‌ها	باکتری و ویروس‌های بیمارگر و تخم کرم‌ها	مخاطره‌آمیز هنگام خوردن و آشامیدن
مواد آلی قابل تجزیه‌ی بیولوژیکی	کاهش اکسیژن در آب‌های پذیرنده	ایجاد تغییر در حیات آبزیان (کاهش تنوع)
دیگر مواد آلی	دترژنت‌ها: حشره‌کش‌ها، چربی، روغن، گریس، رنگ، حلال‌ها، فنل	اثرات سمی، جنبه‌های زیبایی شناختی، قابلیت تجمع زیستی
مواد مغذی	نیتروژن، فسفر، آمونیاک	اوتروفیکاسیون، کاهش اکسیژن، اثرات سمی
فلزات	جیوه، سرب، کادمیم، کرم، مس، نیکل	اثرات سمی، قابلیت تجمع زیستی
دیگر مواد غیر آلی	اسیدها، برای مثال سولفید هیدروژن، بازها	خورندگی، اثرات سمی
اثرات حرارتی	آب داغ	تغییر شرایط میکروارگانیسم‌ها
بو و طعم	سولفید هیدروژن	جنبه‌ی زیبایی شناختی، قابلیت تجمع زیستی
رادیو اکتیویته		اثرات سمی، قابلیت تجمع

۳-۱ منابع آلاینده‌ی آب‌های زیرزمینی

در یک دسته بندی کلی می‌توان منابع آلوده‌کننده‌ی آب‌های زیرزمینی را به هفت دسته تقسیم کرد که عبارتند از (Fetter, 1993):

- ۱- فاضلاب‌های خانگی: حجم سالانه فاضلاب‌های خانگی در ایران ۳ میلیارد متر مکعب تخمین زده‌شده، که در صورت عدم تصفیه‌ی صحیح علاوه بر هدر رفتن آب، به علت وجود چاه‌های جذبی و کم بودن جذب توسط زمین و بالا بودن سطح آب زیرزمینی خطر شیوع بیماری‌ها را نیز در پی دارد.
- ۲- فاضلاب‌های صنعتی: حجم آب مصرفی واحدهای صنعتی در ایران سالانه یک میلیارد متر مکعب است. میزان آلوده کنندگی این نوع فاضلاب بالا بوده و مقدار کمی از آن می‌تواند باعث آلوده شدن مقدار زیادی از آب سالم شود.
- ۳- سموم دفع آفات و کودهای شیمیایی: سموم و کودهای شیمیایی با هدف افزایش راندمان و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی استفاده می‌شوند اما اگر در استفاده از آن‌ها جوانب زیست محیطی در نظر گرفته نشود موجب پخش آلودگی خواهند شد.
- ۴- مواد زاید جامد: که در مراحل اولیه‌ی تصفیه جداسازی می‌شوند و معمولاً باعث آلودگی‌های میکروبی نمی‌شوند.
- ۵- فراورده‌های نفتی: نشت لوله‌های انتقال فراورده‌های نفتی و یا حوادث روزمره از دلایل اصلی این آلودگی به شمار می‌آیند.
- ۶- آلودگی رادیواکتیویته: عملیات اکتشاف و استخراج از معادن رادیواکتیو و همچنین زباله‌های هسته‌ای نیروگاه‌ها مهمترین منابع انتشار آلودگی‌های از این دست هستند.
- ۷- آلودگی ناشی از پیشروی آب شور: که در مناطق ساحلی رخ می‌دهد.



شکل ۱-۱ منابع آلاینده‌ی آب‌های زیرزمینی (Fetter, 1993)

۱-۳-۱ انواع آلودگی‌های فاضلاب‌های خانگی

- آلودگی‌های فیزیکی: درجه حرارت، مواد معلق که از نوع معدنی یا آلی می‌باشند و در آب به صورت نامحلول‌اند.
- آلودگی‌های شیمیایی: به صورت معدنی از قبیل اسیدها، بازها و نمک‌ها که مشکلات چندانی در فاضلاب شهری ایجاد نمی‌کنند و نقش مخرب آن‌ها بیشتر در فاضلاب‌های صنعتی به چشم می‌خورد، یا به صورت آلی که اثرات منفی آن‌ها بیشتر است زیرا باعث رشد میکروارگانیسم‌ها و کاهش غلظت اکسیژن محلول در آب می‌شوند. (احمدی، ۱۳۸۱)
- آلودگی‌های بیولوژیکی: شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها، جلبک‌ها، پرتوزنها و حتی کرم‌ها که در مورد این آلودگی‌ها توضیحات بیشتری در ادامه داده شده‌است.

۱-۳-۲ انواع میکروارگانیسم‌های موجود در فاضلاب

باکتری‌ها: میکروارگانیسم‌هایی هستند که به اشکال و انواع مختلف در فاضلاب وجود دارند، باسیل‌ها که باکتری‌های لوله‌ای شکل هستند فراوانی بیشتری دارند، باکتری‌های بیماری‌زا مثل پاراتیفوئید عامل اسهال خونی، وبا و شبه وبا، باکتری‌های گروه کلی فرم از قبیل اشرشیاکلی^۱ که یکی از شاخص‌های آلودگی آب است (زیرا شناسایی آن آسان بوده و وجود آن در آب احتمال وجود میکروارگانیسم‌ها را به ما نشان می‌دهد) از جمله این میکروارگانیسم‌ها هستند که در مورد این باکتری توضیحات بیشتری در ادامه داده خواهد شد (احمدی، ۱۳۸۱).

جلبک‌ها: جلبک‌ها موجودات زنده‌ی تک‌سلولی و بعضاً چند سلولی هستند که قادر به عمل فتوسنتز می‌باشند. رشد جلبک‌ها به میزان فسفر و نیتروژن محلول بستگی دارد. رشد و بقا جلبک‌ها در سطح محیط‌های آبی سبب جذب برخی از فاکتورهای غذایی محلول شده و با افزایش کدورت سبب کاهش نفوذ نور اکسیژن در آب می‌گردند.

پروتوزوئرها: میکروارگانیسم‌های تک‌سلولی یوکاریوت هستند که برخی فتوسنتزکننده و برخی دگرپرور بوده و از لحاظ ریختی به سه گروه آمیب‌ها، مژه‌داران (سیلیاتا) و تاژک‌داران (فلاژلات) تقسیم می‌شوند.

ویروس‌ها: از نظر بالینی می‌توان آن‌ها را مشابه باکتری‌ها و قارچ‌ها در نظر گرفت که موجوداتی زنده هستند و بیماری ایجاد می‌کنند و بر طبق برخی از نظریه‌ها ویروس عبارت است از توده‌ی پیچیده‌ای از مواد بی‌جان که جهت بقا و تکثیر به یک میزبان زنده نیاز داشته و از این نظر از سایر موجودات زنده و نیز بیماری‌زاهای دیگر مثل باکتری‌ها و قارچ‌ها متمایز می‌گردد. ویروس‌ها از نظر میزبان اختصاصی به گروه‌هایی

^۱ Escherichia coli

تقسیم می‌شوند و هر گروه از ویروس‌ها فقط درون گونه‌های خاصی تکثیر می‌یابند، ویروس‌های حیوانی، ویروس‌های باکتریایی و ویروس‌های گیاهی سه گروه شناخته‌شده از ویروس‌ها هستند.

ویروس‌ها از نظر اندازه از باکتری‌ها بسیار کوچکتر بوده، بار منفی دارند و از لحاظ شکل و ترکیبات شیمیایی متنوع اند. جدا کردن و کشت ویروس از باکتری دشوارتر است زیرا برای کشت آن علاوه بر محیط کشت موجود زنده یا همان میزبان نیز مورد نیاز است. ویروس در مقایسه با *E. coli* در برابر کلر مقاوم تر است و مدت زمان بیشتری در محیط کلر زده زنده می‌ماند به همین دلیل با وجود سختی شمارش و کشت نمی‌توان از آن چشم‌پوشی کرد (احمدی، ۱۳۸۱).

۴-۱ میکروارگانیسم‌های آلاینده

همان‌طور که اشاره شد، فاضلاب منبع عظیمی از میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا بوده که در تماس مستقیم با خاک بوده و قابلیت انتقال در این محیط متخلخل و آلوده کردن آب‌های زیرزمینی را دارا هستند. میکروب‌ها و ویروس‌های فاضلاب در تماس با خاک فاکتور مهمی در دفع فاضلاب می‌باشند. چگونگی حرکت آن‌ها در آب زیرزمینی، خاک و رواناب‌های سطحی به بقای میکروارگانیسم‌ها در خاک و درجه نگهداری توسط خاک بستگی دارد و تنها با فهم مکانیسم‌های حذف این سلول‌های میکروبی در خاک می‌توان به شرایطی رسید که خطر سلامتی انسان و محیط زیست در رابطه با دفع فاضلاب‌های خانگی و صنعتی به زمین به حداقل برسد. بررسی حرکت این آلاینده‌ها در خاک جهت تعیین حریم چاه‌های جذبی لازم به نظر می‌رسد.

همچنین وجود باکتری‌ها و ویروس‌های بیماری‌زا در کودهای کشاورزی و احتمال انتقال آن‌ها به منابع آب زیرزمینی از طریق خاک بر حساسیت این مطالعات می‌افزاید که در این تحقیق به بررسی چگونگی حرکت وانتشار سلول‌های میکروبی و به‌طور شاخص باکتری میله‌ای گرم منفی از خانواده‌ی انتروباکتریاسه اشرشیاکلی در خاک پرداخته شده‌است.

۱-۴-۱ محاسبه‌ی چاه‌های جذب کننده‌ی فاضلاب

هدف از محاسبه‌ی چاه فاضلاب تعیین سطح لازم چاه در لایه‌ی نفوذپذیر برای فاضلاب به ازای هر نفر می‌باشد. این سطح تابعی است از درجه نفوذپذیری زمین که باید به کمک آزمایش در محل تعیین گردد. تعیین نفوذپذیری به صورت زیر صورت می‌گیرد:

۱- در لایه‌ی نفوذپذیر مورد نظر چاله‌ای به قطر ۱۰۰ میلی‌متر و عمق ۶۰۰ میلی‌متر کنده و در آن به مدت ۲۴ ساعت آب می‌ریزند.

۲- پس از ۲۴ ساعت حداقل تا ۲۲۵ میلی‌متر در آن آب می‌ریزند و زمان خالی شدن آن را حساب می‌کنند.

۳- میانگین مدت زمان لازم جهت تخلیه‌ی ۲۵ میلی‌متر از ۲۲۵ میلی‌متر را تعیین می‌کنند.

۴- با استفاده از جدول سطح لازم جهت چاه تعیین می‌گردد.

جدول ۱-۲ تعیین سطح لازم در چاه حذف کننده فاضلاب (احمدی، ۱۳۸۱)

سطح مؤثر لازم در قسمت نفوذ پذیر زمین برای هر نفر (متر مربع)		زمان لازم برای افت ۲۵ میلیمتر از سطح آب در چاله آزمایشی
ساکنین غیر دائمی (مدرسه یا اداره)	ساکنین دائمی (خانه)	
۰/۵	۱/۸	۲ دقیقه و کمتر از آن
۰/۶	۲/۲	۲ تا ۳ دقیقه
۰/۷	۲/۴	۳ تا ۴ دقیقه
۰/۸	۲/۸	۴ تا ۵ دقیقه
۰/۹	۳/۷	۵ تا ۱۰ دقیقه
۱/۲	۴/۶	۱۰ تا ۱۵ دقیقه
۱/۷	۶/۳	۱۵ تا ۳۰ دقیقه
۲/۲	۸/۴	۳۰ تا ۶۰ دقیقه

چنانکه در جدول فوق دیده می‌شود برای فاضلاب خانه‌ها بسته به نفوذپذیری زمین بین ۱/۸ تا ۸/۴ متر مربع برای هر یک از ساکنین خانه سطح مؤثر جذب در لایه نفوذپذیر لازم است. این مقدار برای ساختمان‌های آموزشی و اداری بین ۰/۵ تا ۲/۲ متر مربع برای هر دانش‌آموز یا کارمند می‌باشد.

با توجه به مواد جامد دیگری که همراه فاضلاب به چاه وارد می‌گردد و به عنوان دستور کلی در محاسبه، حداکثر گنجایش لازم برای چاه را معمولاً ۹۰ لیتر برای هر نفر در سال در نظر می‌گیرند و چاه را باید حداقل برای یک دوران ۱۰ تا ۱۵ ساله طراحی نمود. البته تمام اعداد نامبرده مربوط به حالتی است که زمین از نفوذپذیری کافی برخوردار و فاضلاب، تنها فاضلاب خانگی و بهداشتی باشد (احمدی، ۱۳۸۱).

۵-۱ آلودگی آب‌های زیرزمینی در اثر نفوذ فاضلاب

کیفیت پایین آب‌های زیرزمینی همواره تهدیدی برای سلامت انسان‌ها بوده‌است، از این دسته می‌توان به آلودگی‌های مدفوعی اشاره کرد که بیشترین خطر را بر سلامت و بهداشت کودکان تحمیل می‌کنند. تب، اسهال، وبا و حصبه از جمله بیماری‌هایی هستند که منبع اصلی‌شان آب‌های آلوده می‌باشد. حدود ۲۰۰ میلیون نفر در جهان مبتلا به شistosomiasis^۱ (تب حلزون، نوعی بیماری با منشأ آب آلوده) هستند که ۲۰ میلیون تن از آن‌ها دچار عواقب شدید می‌باشند. اسهال و تب ناشی از فقدان آب سالم و خدمات بهداشتی مناسب در ۱۰ سال اخیر منجر به تلفاتی در کودکان شده که از تعداد کل کشته‌شدگان در جنگ جهانی دوم در اثر درگیری‌های مسلحانه بیشتر است (WEHAB^۲).

به طور کلی در جاری و حرکت بودن آبخوان سبب کاهش غلظت و تراکم میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا می‌شود و موفقیت‌های قابل توجهی در زمینه‌ی حذف این آلاینده‌ها در مواردی که از روش‌هایی چون روند شارژ مصنوعی و یا فیلتراسیون در حاشیه‌ی رودخانه استفاده شده گزارش شده که در بعضی موارد منجر به حذف

^۱ Schistosomiasis

^۲ Water, Energy, Health, Agriculture and Biodiversity

کامل آلاینده گردیده است. با این وجود مطالعاتی که در ایالات متحده آمریکا انجام شده نشان می‌دهد در بالغ بر نیمی از چاه‌های آب مورد آزمایش در این کشور شواهدی از آلاینده‌های مدفوعی به دست آمده که دلیل اصلی ۷۵۰ هزار تا ۵/۹ میلیون مورد بیماری و در حدود ۹ هزار مورد منجر به فوت در یک سال می‌باشد (Macler and Merkle, 2000).

اطلاعات و آمار دقیق مربوط به تلفات در اثر استفاده از آب‌های آلوده در کشورهای در حال توسعه در دست نمی‌باشد با این حال در آفریقا حدود ۸۰ درصد و در آسیا حدود ۵۵ درصد جمعیت شهرهای بزرگ از امکاناتی از قبیل مخازن فاضلاب، توالتهای صحرایی و یا چاله‌های ساده برای تخلیه‌ی فاضلاب استفاده می‌کنند (WHO^۱ ۲۰۰۴-۲۰۰۰) و این در شرایطی است که منبع اصلی آب آشامیدنی در حدود ۱۳۰۰ میلیون نفر که در این مناطق ساکن هستند آب‌های زیر زمینی می‌باشد که به شدت در خطر آلودگی قرار دارند. آب‌های زیرزمینی ممکن است در اثر نفوذ فاضلاب در خاک از طریق نشت سیستم‌های فاضلاب، انتشار کودهای حیوانی، نشت و گسترش مدفوع حیوانات و یا نشت از سایت‌های دفع زباله آلوده شوند. اگر فاصله‌ی منبع آب مورد نظر از منشأ آلودگی کافی نباشد احتمال آلوده شدن آب به میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا بالا می‌رود. برای پیش‌بینی حضور میکروب‌های بیماری‌زا در آب معمولاً از گروهی از میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌شود که به آن‌ها شاخص آلودگی مدفوعی گفته می‌شود (Medema et al., 2003)، که اشرشیاکلی یا *E. coli* و کلیفرم‌های مقاوم گرما^۲ دو عضو مهم این گروه به‌شمار می‌آیند. *E. coli* به طور گسترده به عنوان شاخص آلودگی مدفوعی^۳ آب مورد استفاده قرار می‌گیرد و بر دیگر شاخص‌ها ترجیح داده می‌شود (WHO, 2003) زیرا روش‌های آزمایشگاهی کشت و شناسایی آن نسبتاً ساده، سریع و ارزان بوده و نتایج بدست آمده قابل اعتماد است همچنین در نمونه‌های آب سراسر دنیا اندازه‌گیری می‌شود.

^۱ World Health Organization

^۲ Thermotolerant
^۳ Fecal contamination