



دانشگاه شهید چمران اهواز
دانشکده علوم زمین

پایان نامه دکتری زمین‌شناسی
گرایش آب‌شناسی (هیدروژئولوژی)

عنوان:

بررسی اثرات کمی و کیفی فاضلاب شهر قم بر آبخوان‌های مبدأ و مقصد

نگارنده:

محمد حسین رحیمی

استاد راهنما:

دکتر نصرالله کلانتری

استاد مشاور:

دکتر علیرضا زراسوندی

شهریور ۱۳۹۸



Shahid Chamran University of Ahvaz
Faculty of Earth Science
Department of Geology

Assessment of quantitative and qualitative impacts of Qom city sewage on the origin and destination aquifers

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the PhD degree

By
Mohammad Hosein Rahimi

Supervisor:
Dr. Nasrolah Kalantari

Advisor:
Dr. Alireza Zarasvandi

Sep 2019

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بسمه تعالی

این پروژه تحقیقاتی با حمایت مالی کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای قم تحت قرارداد شماره ۵۸۸۱/۱۰۱/۲۳۴۹ مورخ ۱۳۹۱/۰۶/۰۷ با کد **QOW90009** به انجام رسیده است.

فهرست عناوین

فصل اول: کلیات.....

- ۱- پیش گفتار..... ۱
- ۱-۱- بررسی منابع مصارف پسابها و آبهای برگشتی..... ۲
- ۱-۱-۱- بررسی قابلیت استفاده در کشاورزی..... ۳
- ۱-۱-۲- بررسی قابلیت استفاده برای تغذیه آبهای زیرزمینی..... ۳
- ۱-۱-۳- بررسی قابلیت استفاده در آبیاری فضای سبز..... ۴
- ۱-۲- سابقه تدوین استانداردهای پسابها و آبهای برگشتی در مصارف مختلف..... ۴
- ۱-۳- مخاطرات بهداشتی استفاده از پسابها..... ۱۰
- ۱-۴- پایش..... ۱۶
- ۱-۴-۱- پایش منابع آب سطحی..... ۱۶
- ۱-۴-۲- پایش منابع آب زیر زمینی..... ۱۷
- ۱-۵- آلودگی آب..... ۱۷
- ۱-۵-۱- منابع آلاینده..... ۱۸
- ۱-۵-۲- استانداردها و رهنمودها..... ۱۹
- ۱-۶- انواع آلایندهها..... ۲۰
- ۱-۶-۱- آلایندههای فیزیکی..... ۲۱
- ۱-۶-۱-۱- کدورت (Turbidity)..... ۲۱
- ۱-۶-۱-۲- اکسیژن محلول (DO)..... ۲۱
- ۱-۶-۱-۳- اکسیژن خواهی بیوشیمیائی (BOD)..... ۲۱
- ۱-۶-۱-۴- اکسیژن خواهی شیمیائی (COD)..... ۲۲
- ۱-۶-۲- آلایندههای شیمیائی..... ۲۲
- ۱-۶-۲-۱- کل جامدات محلول (TDS)..... ۲۲
- ۱-۶-۲-۲- یونهای اصلی..... ۲۲
- ۱-۶-۲-۲-۱- کلسیم (Ca)..... ۲۲
- ۱-۶-۲-۲-۲- منیزیم (Mg)..... ۲۳
- ۱-۶-۲-۲-۳- سدیم (Na)..... ۲۳
- ۱-۶-۲-۲-۴- پتاسیم (K)..... ۲۳
- ۱-۶-۲-۲-۵- کربنات و بیکربنات (HCO_3 & CO_3)..... ۲۳
- ۱-۶-۲-۲-۶- سولفات (SO_4)..... ۲۳
- ۱-۶-۲-۲-۷- کلراید (Cl)..... ۲۴
- ۱-۶-۲-۳- یونهای فرعی..... ۲۴
- ۱-۶-۲-۳-۱- منابع آلاینده مواد نیتروژن دار..... ۲۴
- ۱-۶-۲-۳-۱-۱- نیترات (NO_3)..... ۲۵
- ۱-۶-۲-۳-۱-۲- نیتريت (NO_2)..... ۲۶

۲۶.....	۱-۶-۲-۳-۱-۳-آمونیم (NH4).....
۲۷.....	۱-۶-۲-۳-۲-فسفات (PO4).....
۲۷.....	۱-۶-۲-۳-۳-فلوئور (F).....
۲۷.....	۱-۶-۲-۴-فلزات سنگین و عناصر کمیاب.....
۲۸.....	۱-۶-۲-۴-۱-عناصر معدنی غیر سمی.....
۲۸.....	۱-۶-۲-۴-۱-۱-آهن (Fe).....
۲۸.....	۱-۶-۲-۴-۲-۱-مس (Cu).....
۲۹.....	۱-۶-۲-۴-۳-۱-روی (Zn).....
۲۹.....	۱-۶-۲-۴-۴-۱-منگنز (Mn).....
۳۰.....	۱-۶-۲-۴-۲-عناصر معدنی سمی.....
۳۰.....	۱-۶-۲-۴-۱-آرسنیک (As).....
۳۰.....	۱-۶-۲-۴-۲-۱-بر (B).....
۳۰.....	۱-۶-۲-۴-۳-۱-باریم (Ba).....
۳۱.....	۱-۶-۲-۴-۴-۱-کادمیوم (Cd).....
۳۱.....	۱-۶-۲-۴-۵-۱-جیوه (Hg).....
۳۱.....	۱-۶-۲-۴-۶-۱-نیکل (Ni).....
۳۲.....	۱-۶-۲-۴-۷-۱-سرب (Pb).....
۳۲.....	۱-۶-۲-۴-۸-۱-سیانید (CN).....
۳۲.....	۱-۶-۳-آلودگی میکروبی.....
۳۵.....	۱-۶-۱-۱-شاخص های مدفوعی آلودگی آب.....
۳۵.....	۱-۶-۱-۱-کل کلی فرم ها (TC) Total Coliform.....
۳۵.....	۱-۶-۱-۲-کل کلی فرم های مدفوعی (FC) Faecal Coliform.....
۳۵.....	۱-۶-۱-۳-استرپتوکوک های مدفوعی (FS) Faecal Stroptococci.....
۳۶.....	۱-۷-۷-پیشینه موضوع و مروری بر منابع.....
۳۶.....	۱-۷-۱-مطالعات خارجی.....
۳۹.....	۱-۷-۲-مطالعات داخلی.....
۴۲.....	۱-۸-۸-محدوده مورد مطالعه.....
۴۲.....	۱-۸-۸-فرضیات (سئوالات) تحقیق.....
۴۳.....	۱-۹-۹-اهداف تحقیق.....
فصل دوم: هواشناسی و اقلیم.....	
۴۴.....	۲-۱-موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....
۴۴.....	۲-۲-ایستگاه های موجود در منطقه.....
۴۶.....	۲-۳-بارش.....
۴۶.....	۲-۳-۱-نوسانات سالانه، فصلی و ماهانه.....
۴۸.....	۲-۳-۲-گرادین بارش.....

۴۹	۳-۳-۲- پیشینه بارش ۲۴ ساعته
۵۰	۳-۳-۲-۴- دوره‌های ترسالی و خشکسالی
۵۲	۲-۴-۲- دما
۵۵	۲-۴-۱- رژیم حرارتی
۵۷	۲-۵-۲- رطوبت هوا
۵۸	۲-۶-۲- گلباد
۵۹	۲-۷-۲- تبخیر
۶۱	۲-۸-۲- اقلیم
	فصل سوم: زمین شناسی
۶۲	۳-۱-۱- زمین شناسی
۶۲	۳-۱-۱-۱- زمین شناسی ناحیه ای
۶۲	۳-۲-۳- زمین شناسی تاریخی
۶۵	۳-۳-۳- چینه شناسی
۶۹	۳-۳-۱- ائوسن پسین
۷۱	۳-۳-۲- الیگوسن:
۷۱	۳-۳-۲-۱- واحد (سازند قرمز زیرین)
۷۲	۳-۳-۳- الیگومیوسن
۷۲	۳-۳-۳-۱- واحد (سازند قم)
۷۵	۳-۳-۴- میوسن
۷۵	۳-۳-۴-۱- سازند قرمز بالایی
۷۷	۳-۳-۵- پلیوسن
۷۷	۳-۳-۵-۱- کنگلومرای هزاردره واحد
۷۹	۳-۳-۶- کواترنری
۷۹	۳-۳-۶-۱- رسوبات آبرفتی
۸۱	۳-۳-۶-۲- ته نشست‌های حوضه‌های تبخیری جوان
۸۳	۳-۴-۴- تکتونیک و زمین شناسی ساختمانی
۸۳	۳-۴-۱- چین‌ها
۸۳	۳-۴-۱-۱- تاقدیس البرز
۸۵	۳-۴-۲- گسل‌ها
۸۵	۳-۴-۲-۱- گسل قم- زفره
۸۵	۳-۴-۲-۲- گسل البرز
۸۵	۳-۴-۲-۳- گسل کوشک- نصرت
۸۶	۳-۴-۲-۴- گسل قمرود
۸۸	۳-۵- زمین ریخت‌شناختی
۹۲	۳-۶- نفوذپذیری سازندها و اثر آنها بر منابع آب

- ۳-۶-۱- گروه سنگهای توفی- ولکانیکی و توده‌های نفوذی ۹۲
- ۳-۶-۲- گروه سنگهای رسوبی تبخیری ۹۲
- ۳-۶-۳- گروه کنگلومرای هزار دره و رسوبات عهد حاضر ۹۳
- ۳-۶-۴- گروه کفه‌های رسی و پهنه‌های تبخیری ۹۳

فصل چهارم: آبدهی رودخانه‌ها

- ۴-۱-۱- آبدهی رودخانه‌ها ۹۴
- ۴-۱-۱-۱- رودخانه قمرود ۹۹
- ۴-۱-۲- رودخانه قره‌چای ۱۰۲

فصل پنجم: نمونه برداری و آنالیزهای کیفیت

- ۵-۱- جمع آوری داده‌ها و اطلاعات کیفیت منابع آب و نمونه برداری ۱۰۵
- ۵-۲- نمونه برداری از آبخوان‌ها (منابع انتخابی)- شرکت سهامی آب منطقه ای قم ۱۰۵
- ۵-۳- نمونه برداری کیفی در آماربرداری در سال ۱۳۸۸ - شرکت سهامی آب منطقه ای قم ۱۰۷
- ۵-۴- نمونه برداری از چاه‌های آب شرب شهر قم در سال‌های ۹۲-۱۳۸۵ - شرکت آب و فاضلاب استان قم ۱۰۷
- ۵-۵- شناسائی چاه‌های مناسب برای شرب در سال ۱۳۸۸- شرکت آب و فاضلاب استان قم ۱۰۷
- ۵-۶- نمونه برداری از منابع آب در طرح مطالعات کیفی و آلودگی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی قم در سال ۱۱۱۳۸۵ ۱۱۱
- ۵-۷- نمونه برداری از پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب اداره کل حفاظت محیط زیست استان قم در سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۹۲ ۱۱۳
- ۵-۸- نمونه برداری از فاضلاب ورودی و پساب خروجی از تصفیه خانه‌ها شرکت آب و فاضلاب استان قم در سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۹۲ ۱۱۵
- ۵-۹- نمونه برداری از فاضلاب، پساب، منابع آب و خاک در طرح مطالعات ساماندهی پساب در سال ۱۳۹۲ ۱۱۸
- ۵-۱۰- نمونه برداری از منابع آب در مطالعات نیمه تفصیلی آب‌زیرزمینی دشت شریف‌آباد در سال ۱۳۹۲ ۱۲۰
- ۵-۱۱- نمونه برداری از منابع آب مطالعات طرح تحقیقاتی بررسی اثر احداث و اجرای شبکه فاضلاب شهر قم بر آبخوان‌های مبداء و مقصد (قم، شریف‌آباد و مسیله) ۱۲۰

فصل ششم: کیفیت پساب

- ۶-۱- بررسی کیفیت پساب ۱۲۴
- ۶-۲- آلاینده‌ها ۱۲۶
- ۶-۲-۱- دما ۱۲۶
- ۶-۲-۲- کدورت ۱۲۶
- ۶-۲-۳- مجموع مواد جامد معلق ۱۲۶
- ۶-۲-۴- قابلیت ته نشینی ۱۲۷
- ۶-۲-۵- PH ۱۲۷
- ۶-۲-۶- هدایت الکتریکی ۱۲۷
- ۶-۲-۷- اکسیژن محلول ۱۲۷
- ۶-۲-۸- اکسیژن خواهی بیوشیمیایی ۱۲۸
- ۶-۲-۹- اکسیژن خواهی شیمیایی ۱۲۸
- ۶-۲-۱۰- یون منیزیم ۱۳۲

۱۳۲	۱۱-۲-۶- یون سدیم
۱۳۲	۱۲-۲-۶- یون سولفات
۱۳۳	۱۳-۲-۶- یون کلرید
۱۳۳	۱۴-۲-۶- یون آمونیوم
۱۳۳	۱۵-۲-۶- یون نیتريت
۱۳۴	۱۶-۲-۶- یون نترات
۱۳۴	۱۷-۲-۶- یون فسفات
۱۳۵	۱۸-۲-۶- مواد پاک کننده
۱۳۹	۱۹-۲-۶- چربی و روغن (FOG)
۱۳۹	۲۰-۲-۶- کلرآزاد (HCLO)
۱۳۹	۲۱-۲-۶- یون سولفید (S)
۱۴۰	۲۲-۲-۶- یون سولفیت (SO3)
۱۴۰	۲۳-۲-۶- یون سیانید (CN)
۱۴۰	۲۴-۲-۶- کل کلی فرمها (TC)
۱۴۱	۲۵-۲-۶- کلی فرمهای مدفوعی (FC)
۱۴۲	۲۶-۲-۶- تخم انگل (NE)
۱۴۶	۲۷-۲-۶- آهن (FE)
۱۴۶	۲۸-۲-۶- جیوه (HG)
۱۴۷	۲۹-۲-۶- سرب
۱۴۸	۳۰-۲-۶- کروم
۱۴۸	۳۱-۲-۶- کادمیوم
۱۴۸	۳۲-۲-۶- منگنز
۱۴۹	۳۳-۲-۶- مس
۱۴۹	۳۴-۲-۶- نیکل
۱۵۲	۳۵-۲-۶- آرسنیک
۱۵۲	۳۶-۲-۶- روی
۱۵۲	۳۷-۲-۶- آلومینیوم
۱۵۳	۳۸-۲-۶- بر
۱۵۳	۳۹-۲-۶- کبالت

فصل هفتم: کیفیت منابع آب در مبدا

۱۵۶	۱-۷- ارزیابی آلودگی در آبخوان مبدا (آبخوان شهر قم)
۱۵۷	۱-۱-۷- منابع آلاینده شهری و صنعتی
۱۵۸	۲-۱-۷- منابع آلاینده خانگی
۱۵۸	۲-۷- ارزیابی آلودگی در آبخوان قم (مبدا)
۱۶۰	۱-۲-۷- کیفیت منابع آب ناحیه ای

۱۶۲	۷-۲-۲-ارزیابی آلودگی آبخوان در سال ۱۳۸۵
۱۶۹	۷-۲-۳-ارزیابی آلودگی آبخوان در سال ۱۳۸۸
۱۷۷	۷-۲-۴-ارزیابی آلودگی آبخوان در سال ۱۳۹۲

فصل هشتم: کیفیت چاه های آب شرب

۱۸۹	۸-کیفیت فیزیکی و شیمیائی چاه های آب شرب شهر قم
۱۸۹	۸-۱-ویژگی های فیزیکی و شیمیائی
۱۸۹	۸-۱-۱-کل جامدات محلول (TDS)
۱۹۰	۸-۱-۲-pH
۱۹۰	۸-۱-۳-کلسیم
۱۹۰	۸-۱-۴-منیزیم
۱۹۰	۸-۱-۵-سدیم
۱۹۰	۸-۱-۶-کلرید
۱۹۱	۸-۱-۷-سولفات
۱۹۱	۸-۱-۹-نیترات
۱۹۱	۸-۱-۸-نیتريت
۱۹۱	۸-۱-۱۰-آمونیم
۱۹۲	۸-۱-۱۱-آهن (Fe)

فصل نهم: کیفیت منابع آب در مقصد

۲۱۵	۹-۱-ارزیابی آلودگی در آبخوان مقصد (آبخوان شریف آباد)
۲۱۵	۹-۲-منابع آلاینده آبخوان شریف آباد
۲۱۵	۹-۲-۱-آلاینده های ناشی از پساب تصفیه خانه های فاضلاب
۲۱۷	۹-۲-۲-آلاینده های ناشی از فعالیت های کشاورزی
۲۲۱	۹-۲-۳-مواد زائد خانگی و زباله های شهری و روستائی
۲۲۲	۹-۴-ارزیابی آلودگی در آبخوان شریف آباد
۲۲۳	۴-۱-ویژگی های فیزیکی و مواد معدنی غیر سمی
۲۲۳	۴-۱-۱-کل جامدات محلول (TDS)
۲۲۳	۴-۱-۲-منحنی هم ارزش PH
۲۲۳	۴-۱-۳-منحنی هم ارزش کدورت (TURBIDITY)
۲۲۴	۴-۱-۴-منحنی هم ارزش سختی (TOTAL HARDNESS)
۲۲۹	۹-۵-۵-منحنی هم ارزش اکسیژن محلول (DO)
۲۲۹	۹-۵-۶-منحنی هم ارزش اکسیژن خواهی بیوشیمیائی (BOD)
۲۲۹	۹-۵-۷-منحنی هم ارزش اکسیژن خواهی شیمیائی (COD)
۲۳۳	۹-۵-۸-کلسیم
۲۳۳	۹-۵-۹-منیزیم
۲۳۳	۹-۵-۱۰-سدیم

۲۳۷	..... کلرید ۱۱-۵-۹
۲۳۷	..... سولفات ۱۲-۵-۹
۲۴۰	..... آمونیوم ۱۳-۵-۹
۲۴۰	..... نیتريت ۱۴-۵-۹
۲۴۰	..... نترات ۱۵-۵-۹
۲۴۴	..... آهن (FE) ۱۶-۵-۹
۲۴۴	..... روی (ZN) ۱۷-۵-۹
۲۴۷	..... مواد شیمیایی معدنی سمی ۶-۹
۲۴۷	..... ۱- آرسنیک (AS) ۶-۹
۲۴۷	..... ۲- بر (B) ۶-۹
۲۴۷	..... ۳- باریم (BA) ۶-۹
۲۴۸	..... ۴- جیوه (HG) ۶-۹
۲۴۸	..... ۵- نیکل (NI) ۶-۹
۲۴۸	..... ۶- سرب (PB) ۶-۹
۲۴۸	..... ۷- کادمیوم (CD) ۶-۹
۲۵۶	..... پارامترهای زیستی ۷-۹

فصل دهم: وضع موجود و چشم انداز

۲۶۲	..... ۱۰- وضعیت موجود و چشم انداز
۲۶۲	..... ۱-۱۰- استحصال آب شهر
۲۶۲	..... ۱-۱-۱۰- منابع تأمین آب
۲۶۲	..... ۱-۱-۱-۱۰- منابع آب زیرزمینی
۲۶۲	..... ۱-۱-۱-۱-۱۰- چاه‌های داخل شهر
۲۶۳	..... ۱-۱-۱-۱-۱۰- چاه‌های علی آباد
۲۶۳	..... ۱-۱-۱-۱۰- منابع آب سطحی
۲۶۳	..... ۱-۱-۱-۱۰- برداشت آب از سد ۱۵ خرداد
۲۶۳	..... ۱-۱-۱-۱۰- برداشت آب از سرشاخه‌های دز
۲۶۴	..... ۱-۱-۱-۱۰- آب شیرین
۲۶۵	..... ۱-۱-۱۰- استحصال آب سالانه
۲۷۱	..... ۱-۱۰- تصفیه خانه‌های فاضلاب شهر قم
۲۷۶	..... ۱-۱۰-۲- حجم پساب ورودی به دشت شریف آباد از تصفیه خانه‌های فاضلاب
۲۸۲	..... ۱-۱۰-۲- وضع موجود مصارف پساب و فاضلاب خام در منطقه مورد مطالعه
۲۸۵	..... ۱-۱۰-۳- گزینه‌های استفاده از پساب در چشم انداز طرح مدیریت پساب استان قم

فصل یازدهم: کمیت منابع آب در مبدا

۲۸۸	..... ۱-۱۱- کمیت منابع آب در آبخوان مبدا
۲۸۸	..... ۱-۱۱-۲- آبخوان قم

۲۹۰	..... شکل ۱۱-۲- نقشه محدوده مطالعاتی قم
۲۹۱	..... ۱۱-۳- چاه‌های مشاهده‌ای
۲۹۳	..... ۱۱-۳- سطح آب زیرزمینی
۲۹۳	..... ۱۱-۳-۱- سطح ایستابی در منطقه مورد مطالعه
۲۹۴	..... ۱۱-۳-۲- تأثیر عوامل مختلف بر سطح ایستابی
۲۹۵	..... ۱۱-۳-۳- سطح ایستابی کمینه و بیشینه
۲۹۵	..... ۱۱-۳-۴- جهت جریان
۲۹۵	..... ۱۱-۳-۵- مقاطع سطح ایستابی در شهر قم
۲۹۷	..... ۱۱-۳-۶- عمق آب زیرزمینی
۲۹۹	..... ۱۱-۳-۶-۱- آسپذیری آبهای زیرزمینی
۳۰۰	..... ۱۱-۳-۷- نوسان سطح آب زیرزمینی
۳۰۰	..... ۱۱-۳-۷-۱- هیدروگراف سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای
۳۰۲	..... ۱۱-۳-۷-۲- هیدروگراف معرف آبخوان قم
۳۰۸	..... ۱۱-۳-۸- نقشه تغییرات سطح ایستابی
۳۱۱	..... ۱۱-۳-۹- بررسی نوسات سطح ایستابی در محدوده شهر قم
۳۱۴	..... ۱۱-۳-۱۰- تاثیر آب‌های سطحی (رودخانه قمرود) بر هیدروگراف معرف
۳۱۷	..... ۱۱-۳-۱۰- وابستگی به آبهای زیرزمینی
۳۱۷	..... ۱۱-۴-۱- بیلان آب دشت قم
۳۱۷	..... ۱۱-۴-۱- محدوده بیلان
۳۱۷	..... ۱۱-۴-۲- دوره بیلان
۳۱۸	..... ۱۱-۴-۳- بیلان هیدروکلیماتولوژی
۳۱۸	..... ۱۱-۴-۳-۱- بارندگی
۳۱۹	..... ۱۱-۴-۳-۲- تبخیر و تعرق حقیقی
۳۱۹	..... ۱۱-۴-۳-۳- بارندگی مفید (رواناب و نفوذ)
۳۱۹	..... ۱۱-۴-۴- بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی قم در دوره آماری ۸۱-۱۳۸۰ تا ۹۲-۱۳۹۱
۳۲۷	..... ۱۱-۴-۵- بیلان آبخوان آبرفتی در سال آبی ۹۳-۱۳۹۲
۳۲۷	..... ۱۱-۴-۵-۱- نفوذ از بارندگی به آبخوان
۳۲۷	..... ۱۱-۴-۵-۲- ورودی‌ها و خروجی‌های انتقالی طبیعی سطحی و زیر سطحی آبخوان
۳۲۸	..... ۱۱-۴-۵-۳- مصارف آب و نفوذ از آنها به آبخوان
۳۲۸	..... ۱۱-۴-۵-۴- تخلیه و برداشت از آب زیرزمینی
۳۲۹	..... ۱۱-۴-۵-۵- خروجی توسط شبکه جمع آوری فاضلاب
۳۲۹	..... ۱۱-۴-۵-۶- تغییرات حجم ذخیره آبخوان
۳۲۹	..... ۱۱-۵- میرایی آبخوان
۳۳۱	..... ۱۱-۶- انتقال آب بین آبخوان و حوضه‌های مجاور
۳۳۱	..... ۱۱-۶-۱- انتقال آب از خارج حوضه

۳۳۱	۱۱-۶-۱-۱-چاه‌های علی آباد.....
۳۳۱	۱۱-۶-۱-۲-انتقال آب از سد ۱۵ خرداد.....
۳۳۲	۱۱-۶-۱-۳-انتقال آب از سر چشمه‌های دز.....
۳۳۲	۱۱-۶-۱-۴-آورد رودخانه قمرود.....
۳۳۳	۱۱-۶-۲-انتقال آب به خارج از حوضه.....
۳۳۳	۱۱-۶-۲-۱-جمع آوری فاضلاب شهری.....
۳۳۳	۱۱-۷-تأثیر شبکه جمع آوری فاضلاب در آبخوان قم.....
۳۳۶	۱۱-۸-گزینه‌های استفاده از پساب در چشم انداز طرح مدیریت پساب استان قم.....
۳۳۷	۱۱-۷-پیش بینی شرایط آبخوان در اثر اجرای گزینه‌های استفاده از پساب در چشم انداز طرح.....
	فصل دوازدهم: کمیته منابع آب در مقصد.....
۳۴۳	۱۲-۱-کمیته منابع آب در آبخوان مقصد.....
۳۴۳	۱۲-۲-آبخوان شریف‌آباد.....
۳۴۵	۱۲-۳-منابع آب.....
۳۴۷	۱۲-۴-بررسی چاه‌های مشاهده‌ای.....
۳۵۱	۱۲-۵-نقشه‌های سطح آب زیرزمینی.....
۳۵۱	۱۲-۵-۱-سطح ایستابی در منطقه مورد مطالعه.....
۳۵۵	۱۲-۵-۱-۱-تأثیر عوامل مختلف بر سطح ایستابی.....
۳۵۵	۱۲-۵-۱-۲-سطح ایستابی کمینه و بیشینه.....
۳۵۵	۱۲-۵-۱-۳-جهت جریان.....
۳۵۶	۱۲-۵-۱-۴-مقاطع سطح ایستابی.....
۳۶۰	۱۲-۵-۱-۵-شیب هیدرولیکی.....
۳۶۲	۱۲-۵-۲-عمق آب زیرزمینی.....
۳۶۶	۱۲-۳-۱-آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی.....
۳۶۶	۱۲-۳-۵-نوسان سطح آب زیرزمینی.....
۳۶۶	۱۲-۳-۵-۱-هیدروگراف سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای.....
۳۶۷	۱۲-۳-۵-۱-۱-هیدروگراف معرف.....
۳۷۱	۱۲-۳-۵-۲-نقشه تغییرات سطح ایستابی.....
۳۷۴	۱۲-۳-۳-بررسی نوسات سطح ایستابی در محدوده استفاده از پساب در دشت شریف‌آباد.....
۳۸۲	۱۲-۳-۵-۴-تأثیر آب‌های سطحی بر هیدروگراف معرف.....
۳۸۵	۱۲-۶-۱-بیان آب دشت شریف‌آباد.....
۳۸۵	۱۲-۶-۱-محدوده بیان.....
۳۸۵	۱۲-۶-۲-دوره بیان.....
۳۸۵	۱۲-۶-۳-بیان هیدروکلیماتولوژی.....
۳۸۷	۱۲-۶-۳-۱-بارندگی.....
۳۸۷	۱۲-۶-۳-۲-تبخیر و تعرق حقیقی.....

۳۸۷	.....۱۲-۶-۳-۳- بارندگی مفید (رواناب و نفوذ)
۳۸۸	.....۱۲-۶-۴- بیان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی
۳۸۹	.....۱۲-۶-۴- ۱- جریان زیرزمینی ورودی و خروجی
۳۹۲	.....۱۲-۶-۴- ۲- نفوذ از بارندگی به آبخوان
۳۹۲	.....۱۲-۶-۴- ۳- تبادل آب رودخانه‌ها و آبخوان آبرفتی
۳۹۲	.....۱۲-۶-۴- ۴- مصارف آب و نفوذ از آنها به آبخوان
۳۹۳	.....۱۲-۶-۴- ۵- تخلیه و برداشت از آب زیرزمینی
۳۹۴	.....۱۲-۶-۴- ۶- تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی
۳۹۴	.....۱۲-۶-۴- ۶- تغییرات ذخیره آبخوان
۳۹۵	.....۱۲-۷- میراثی آبخوان
۳۹۵	.....۱۲-۸- تاثیر پساب تصفیه شده ورودی به دشت شریف‌آباد بر روی آبخوان
۳۹۸	.....۱۲-۸- گزینه‌های استفاده از پساب در چشم انداز طرح مدیریت پساب استان قم
۳۹۹	.....۱۲-۹- پیش بینی شرایط آبخوان در اثر اجرای گزینه‌های استفاده از پساب در چشم انداز طرح

فصل سیزدهم: نتایج و پیشنهادات

۴۰۵	.....۱۳-۱- نتایج
۴۰۵	.....۱۳-۱-۱- شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهر قم
۴۰۵	.....۱۳-۲-۲- وضع موجود مصارف پساب و فاضلاب خام در منطقه مورد مطالعه
۴۰۶	.....۱۳-۱-۳- کیفیت در مبدا (پایش اثر)
۴۰۷	.....۱۳-۱-۳- ۱- چاه‌های آب شرب (پایش روند)
۴۰۸	.....۱۳-۱-۲- ارزیابی کیفیت پساب (پایش هماهنگی)
۴۰۹	.....۱۳-۱-۴- کیفیت در مقصد
۴۱۱	.....۱۳-۱-۵- کمیت در مبدا
۴۱۴	.....۱۳-۱-۵- کمیت در مقصد
۴۱۷	.....۱۳-۲- تلفیق و تعیین تخصیص استفاده از پساب در آبخوان‌های مبدا و مقصد
۴۲۵	.....۱۳-۳- پیشنهادات



Abstract: According to equitable water distribution law, swage and return water considered as a water resource. Concerning the considerable volume of urban and industrial swage and return water, for optimum use of these resources as an alternative to compensate a part of water scarcity and reduction of pollution, planning is required. It is worth noting that in any planning and environmental impact analysis, we have to consider the swage and return water, because concerning constitutional rule NO 50, any activity which is harmful to the environment is prohibited. Previously, a large part of Qom city drinking water and sanitation have been discharged into Qom aquifer through absorbing wells (drain absorbing). From 2001, the sanitary sewer network in Qom city getting into orbit and gradually in 2013, the capacity of the wastewater treatment plants (WWTPs) increased to about 22 MCM annually. In the past decade, the treated wastewater (TWW) has been used for irrigation in the destination plain (Sharifabad aquifer). It is expected with complete project implementation the annual capacity of WWTPs approaches 108 MCM by 2036. This investigation aimed to assess the effect of Qom city sewage collection execution on quantity and quality of origin (Qom aquifer) and destination aquifers, quality of the TWW assessment and evaluation of the effect of different effluent allocation scenarios in origin and destination aquifers. In order to evaluate quality operation of the WWTPs, the obtained effluent was sampled at the entrance to Sharif Abad plain monthly in a one-year period (2013), to determine concentration of T, TU, TDS, TSS, pH, EC, DO, BOD, COD, Mn, Na, SO₄, Cl, NH₄, NO₃, NO₂, PO₄, S, SO₃, CN, Fe, Hg, Ne, Pb, Cr, Cd, Mn, Cu, Ni, As, Zn, Al, B, Co, FOG, TC, FC and FS. For evaluation of TWW are used WHO, EPA, and FAO standards for agriculture use and internal standards (Issue NO. 535, Department of Environment). For assessment of pollution condition in the origin aquifer, chemical analyses results of contaminated parameters in the year 2006 (45 samples) and 2009 (27 samples) and analysis results of the drinking wells from 2006 to 2013 comprising over 600 samples were used. In addition, for assessment of the chemical characteristics of the origin aquifer 34 samples in two periods from deep well were collected in 2013 in Qom City to measure T, TU, TSS, pH, EC, TDS, DO, BOD₅, COD, CO₃, HCO₃, Ca, Mg, SO₄, Cl, Na, K, NH₄, NO₂, NO₃, PO₄, Br, I, TC, FC, FS, HPC, Fe, Hg, Pb, Co, Cd, Ni, As, Zn, B, Cu, Mn, Sn, Sr and Ba. In order to assess the contamination in the destination aquifer 50 samples were collected in 2013 from deep agricultural wells to measure parameters such as; TSS, pH, EC, TDS, DO, BOD₅, COD, CO₃, HCO₃, Ca, Mg, SO₄, Cl, Na, K, NH₄, NO₂, NO₃, PO₄, Br, I, Ba, and Sr. Apart to aforementioned parameters, TC, FC, FS, Fe, Hg, Pb, Co, Cd, Ni, As, Zn, B, and Sn were measured for 14 wells. The salinity variations of the destination aquifer were assessed by chemograph; based on the chemical results of the monitoring wells in the past decade. In this study, the drinking water physical, chemical, and microbiological specifications guidelines of Iranian Standards and Industrial Research and the World Health Organization standards were used to evaluate the amount of aquifer pollution. For quantity assessment of the origin aquifers, water table maps (water level alignment, variation, and depth to the water table), groundwater sections, aquifer representative hydrograph, representative hydrograph in the boundary of the sanitary sewer network and effluent irrigation were prepared. The annual water balance of aquifers for years 2001 to 2013 where aquifer was effected by the sewage

network computed. impact of the sewage collection on the origin and effluent irrigation on destination aquifers based on mass balance was also prepared and calculated. For the prediction of various execution impacts scenarios as a result of effluent Allocation options to the origin and destination aquifers in case of full exploitation of WWTPs, water balance from 2014 to 2036 was estimated annually by WEAP model. The chemical analysis results of the TWW in Sharifabad in 2013, indicted that quality of the TWW in some months for parameters such as TU, TSS, DO, BOD₅, COD, FOG and Hg and in most months for FC and TC exceeded the maximum contaminant level (MCL) and not suitable for agriculture and irrigation usage. The high concentration of TC, FC, BOD₅, and NH₄ in TWW limited injection of this water for aquifer recharge. The pollution analysis results from 2006 onwards in the origin aquifer indicated that this aquifer suffers from microbial as well as nitrate and wastewater collection had no positive impact. Because in 2013, about one-fourth of the sewage was refined and furthermore as the drinking water usage is increasing, sewage is leading into absorbing wells resulted in to contaminate the aquifer. Although in the last decades, the Sharifabad aquifer has been subjected to contamination due to pollutant of the adjacent metropolitan Qom City and agricultural activities (Qom city sanitary landfills, irrigation with TWW and agricultural fertilizers), but according to the sampling of 2013 the human-caused contamination was commonly still lower than the MCL, Probably depth to groundwater (42 m) protected the aquifer to be polluted. As the concentration of certain parameters such as NO₃, FC, TC, and B are in the threshold of contamination level, it is expected that in future to be subjected to pollution as a result of the increase in TWW transportation into this aquifer. In total from 2001 to 2013 about 141 MCM municipal wastewater has been collected and treated. As a result of these establishments and replacement of wastewater, changes occurred in both aquifers (Origin and destination). In Sep 2014 water table level of the hydrograph in origin and destination aquifers were 48.9 and 47.6 m respectively. If the project had not been executed, the water table level of the hydrographs in the origin and destination aquifers in Sep 2014 were 43.4 and 58.9 m respectively. In the same period, the reduced volume of the origin aquifer was -421 while in the destination aquifer was -166 MCM. If the project had not been executed, reductions in the origin and destination aquifers were -279 and -307 MCM respectively. Due to proper channel and gravity transfer of TWW to Sharifabad plain The main purpose in allocation effluent was to transport TWW to this plain, while the Qom aquifer recharge has been seriously reduced from absorbing wells and could face serious problem in the near future, because the area of the origin aquifer is twice the destination and the annual storage volume decline in the Qom aquifer is threefold as compare to Sharifabad. For this reason, it is suggested to increase allocation (2/3 of the total TWW) of the Qom aquifer. On the other hand, as water balance of both the aquifers are negative any way to distribute the allocation between aquifers, the total storage volume reduction is predicted to be around 330 MCM in 2036 with respect to 2014. One suggestion of the management approach is to allocate 1.5 times of TWW instead of allocating farmers' wells. In this way, farmers cost are being reduced, and water authorities are able to balance the aquifers. In this case, if the proposed scenario is implemented, in 2036 as compared to 2014, the water table in the Qom aquifer declines 1.5 m and in Sharifabad rises 6 m.

چکیده: بر اساس قانون توزیع عادلانه آب، فاضلاب‌ها و آب‌های برگشتی به‌عنوان یکی از منابع آبی محسوب می‌شود. با توجه به حجم قابل توجه پساب‌های شهری، صنعتی و آب‌های برگشتی، برنامه‌ریزی جهت استفاده از این منابع با لحاظ کردن جنبه‌های زیست‌محیطی به‌عنوان راهکاری مناسب جهت جبران بخشی از این کمبودها و همچنین کاهش آلودگی‌ها مورد توجه است. از طرفی بر اساس اصل پنجاه قانون اساسی فعالیت‌هایی که باعث آلودگی و تخریب محیط‌زیست شود، ممنوع است. اگر تخلیه فاضلاب و پساب‌ها به محیط به‌عنوان یک منبع آلاینده فرض شود، برنامه‌ریزی بهره‌برداری از آن‌ها یکی از موضوعات مرتبط با این قانون به شمار می‌رود. در گذشته بخش قابل توجهی از آب مصرفی جهت شرب و بهداشت شهر قم از طریق چاه‌های جذبی به آبخوان شهر (آبخوان مبدأ: آبخوان قم) تخلیه می‌شده است. شروع بهره‌برداری از شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهر قم از اوایل دهه ۸۰ بوده است و پس‌از آن به تدریج ظرفیت جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب توسط دو تصفیه‌خانه فاضلاب این شهر تا اوایل دهه ۹۰ به ۲۲ میلیون مترمکعب در سال رسیده است. در دهه گذشته از پساب تصفیه‌شده تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در دشت مجاور (آبخوان مقصد: آبخوان شریف‌آباد) برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شده است. انتظار آن می‌رود در صورت تکمیل شبکه جمع‌آوری و اجرای کامل تصفیه‌خانه جامع شهر تا سال ۱۴۱۵ ظرفیت نهایی آن به ۱۰۸ میلیون مترمکعب در سال برسد. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر اجرای شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهر قم بر کمیت و کیفیت آبخوان‌های مبدأ و مقصد، ارزیابی کیفیت پساب تصفیه‌شده و ارزیابی اثر سناریوهای مختلف تخصیص پساب در آبخوان‌های مبدأ و مقصد است. به‌منظور ارزیابی عملکرد کیفی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از نتایج اندازه‌گیری ۱۲ نمونه پساب که از کانال انتقال پساب تصفیه‌شده در محل ورود به دشت شریف‌آباد در طی سال ۱۳۹۲ به‌صورت ماهانه برداشت و پارامترهای T, TU, TDS, TSS, pH, EC, DO, BOD, COD, Mn, Na, SO₄, Cl, NH₄, NO₃, NO₂, PO₄, S, SO₃, CN, Fe, Hg, Pb, Cr, Cd, Mn, Cu, Ni, As, Zn, Al, Ne و B, Co, FOG, TC, FC, FS استفاده گردید. جهت ارزیابی کیفیت پساب جهت مصارف مختلف استانداردهای معتبر خارجی (EPA, FAO & WHO) و داخلی (استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست و نشریه ۵۳۵) استفاده گردید. ارزیابی وضعیت آلودگی آبخوان مبدأ در سال‌های گذشته بر اساس نتایج آنالیز پارامترهای آلاینده در سال ۱۳۸۵ (۴۵ نمونه) و ۱۳۸۸ (۲۷ نمونه) و نتایج آنالیز چاه‌های آب شرب طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ (۶۰۰ نمونه) صورت گرفته است. به‌منظور ارزیابی آلودگی آبخوان مبدأ در سال ۱۳۹۲ در دو نوبت از چاه‌های عمیق داخل شهر ۳۴ نمونه برداشت و پارامترهای T, TU, TSS, pH, EC, TDS, DO, BOD₅, COD, CO₃, HCO₃, Ca, Mg, SO₄, Cl, Na, K, NH₄, NO₂, NO₃, PO₄, Br, I, TC, FC, FS, HPC, Fe, Hg, Pb, Sr و Co, Cd, Ni, As, Zn, B, Cu, Mn, Sn, Ba, اندازه‌گیری شده است. جهت ارزیابی آلودگی آبخوان مقصد در سال ۱۳۹۲ در یک نوبت از چاه‌های عمیق کشاورزی ۵۰ نمونه برداشت و پارامترهای TSS, pH, EC, TDS, DO, BOD₅, COD, CO₃, HCO₃, Ca, Mg, SO₄, Cl, Na, K, NH₄, NO₂, NO₃, PO₄, Br, I, Ba, and Sr اندازه‌گیری شد. پارامترهای تکمیلی TC, FC, FS, Fe, Hg, Pb, Co, Cd, Ni, As, Zn, B, Sn تنها در ۱۴ حلقه از این چاه‌ها نمونه‌برداری شد. بررسی تغییرات شوری آبخوان مقصد در سال‌های گذشته بر اساس نتایج آنالیز چاه‌های معرف در سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۰ و ترسیم کموگراف واحد دشت صورت گرفت. بر اساس استاندارد WHO و نشریه ۱۰۵۳ و ۱۰۱۱ کیفیت آب آبخوان‌های مبدأ و مقصد از لحاظ شرب مورد بررسی قرار گرفت. جهت ارزیابی کمی آبخوان‌های مبدأ نقشه‌های سطح آب (تراز، عمق و تغییرات)، مقاطع آب زیرزمینی، هیدروگراف واحد آبخوان‌ها، و هیدروگراف واحد در محدوده تحت تأثیر شبکه جمع‌آوری فاضلاب و انتقال پساب ترسیم شد. در طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ که آبخوان‌ها تحت تأثیر شبکه جمع‌آوری فاضلاب و انتقال پساب بوده‌اند بیلان آبخوان‌ها به‌طور سالانه محاسبه و اثرات اجرای شبکه جمع‌آوری فاضلاب در آبخوان مبدأ و انتقال پساب در آبخوان مقصد بر روی هیدروگراف واحد بر اساس بیلان جرمی محاسبه و ترسیم شده است. به‌منظور پیش‌بینی اثرات اجرای سناریوهای گزینه‌های تخصیص پساب به آبخوان‌های مبدأ و مقصد در شرایط بهره‌برداری کامل تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قم، بیلان آب‌های زیرزمینی از سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ تا سال آبی ۱۵-۱۴۱۴ بر اساس اصل مقدماتی موازنه آب (شبیه مدل WEAP) در محیط

Excel به صورت سالانه محاسبه شد. مقایسه نتایج آنالیز پساب تصفیه شده در سال ۱۳۹۲ بیانگر آن است که در پساب ورودی به دشت شریف آباد در برخی از ماه‌های نمونه برداری از لحاظ پارامترهای TU , TSS , DO , BOD_5 , COD , FOG , Hg استانداردهای مجاز آب مصرفی کشاورزی رعایت نشده است. غلظت فراتر از حد مجاز نمونه برداری از لحاظ پارامترهای TC & FC ، استانداردهای مجاز آب مصرفی کشاورزی رعایت نشده است. غلظت فراتر از حد مجاز آلاینده‌های NH_4 , TC , FC , BOD_5 در پساب تصفیه شده باعث محدودیت استفاده از آن جهت تغذیه به آبخوان‌ها شده است. بررسی نتایج آنالیز آلاینده‌ها در آبخوان مبدأ بیانگر آن است شاخص‌های آلاینده فاضلاب به خصوص آلودگی میکروبی و نیترات از سال ۱۳۸۵ که اطلاعات در دسترس بوده است در آبخوان وجود داشته است و جمع‌آوری فاضلاب تأثیری در کاهش آلودگی نداشته است. باید در نظر داشت که در سال ۱۳۹۲ حجم فاضلاب جمع‌آوری شده کمتر از یک چهارم حجم فاضلاب تولید شده است و همچنین به دلیل افزایش حجم آب مصرفی شهر، حجم فاضلاب انتقالی به آبخوان از طریق چاه‌های جذبی با وجود جمع‌آوری بخشی از آن توسط شبکه جمع‌آوری فاضلاب افزایش یافته است. بررسی نتایج آنالیز آلاینده‌ها در سال ۱۳۹۲ در آبخوان مقصد نشانگر آن است که هرچند این آبخوان در دهه گذشته به صورت گسترده با مواد آلاینده (جایگاه دفن زباله، استفاده از کودهای شیمیایی و آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده) آغشته شده است، ولی آلودگی‌های انسان‌زاد در آبخوان هنوز کمتر از بیشینه‌های مجاز تعریف شده در استانداردها می‌باشند. با این وجود باید در نظر داشت که غلظت برخی آلاینده‌ها از قبیل TC , FC , NO_3 و B در برخی از چاه‌ها در آستانه آلودگی مشاهده شد. احتمالاً عمق زیاد سطح برخورد به آب زیرزمینی (۴۲ متری از سطح زمین) در این دشت یکی از عوامل جذب آلاینده‌ها توسط خاک بوده است. باید در نظر داشت آلودگی آب‌های زیرزمینی ماهیتی طولانی‌مدت دارد و در سال‌های آتی با توجه به افزایش حجم پساب انتقالی به دشت و آلاینده‌های موجود در آن احتمالاً آلودگی در آبخوان گسترده‌تر و نمایان‌تر می‌شود. در طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ در مجموع ۱۴۱ میلیون مترمکعب فاضلاب شهری جمع‌آوری و تصفیه شده است. در شهریور ۱۳۹۳ عمق سطح ایستابی هیدروگراف معرف آبخوان مبدأ برابر ۴۸/۹ و در آبخوان مقصد ۴۷/۶ متری از سطح زمین بوده است. در صورت عدم اجرای طرح جمع‌آوری شبکه فاضلاب و انتقال پساب عمق سطح ایستابی هیدروگراف معرف در آبخوان مبدأ در شهریور ۱۳۹۳ برابر با ۴۳/۴ و در آبخوان مقصد با ۵۸/۹ متری سطح زمین می‌بود. در طی این مدت کاهش حجم ذخیره در آبخوان مبدأ ۴۲۱- و در آبخوان مقصد ۱۶۶- میلیون مترمکعب بوده است که در صورت عدم اجرای طرح کاهش حجم ذخیره در آبخوان مبدأ ۲۷۹- و در آبخوان مقصد ۳۰۷- می‌بود. به دلیل بستر مناسب انتقال پساب (وجود کانال بتنی و انتقال ثقلی) به دشت شریف آباد (آبخوان مقصد) انتقال پساب تصفیه شده در گذشته تنها به این دشت صورت گرفته و در سناریوهای تخصیص پساب آب منطقه‌ای نیز بیشتر تأکید به انتقال پساب به دشت شریف آباد بوده است در صورتی که وضعیت آبخوان مبدأ در سال‌های آتی وخیم‌تر از آبخوان مقصد خواهد شد (به دلیل کاهش اثر تغذیه چاهک‌های جذبی با توسعه شبکه جمع‌آوری فاضلاب و همچنین شاخص میرایی آبخوان مبدأ نصف آبخوان مقصد است، وسعت آبخوان مبدأ دو برابر آبخوان مقصد است و کاهش حجم ذخیره سالانه آبخوان مبدأ سه برابر آبخوان مقصد است)، به همین دلیل پیشنهاد می‌گردد در صورت امکان سهم تخصیص آبخوان مبدأ بیشتر از آبخوان مقصد لحاظ شود (نسبت پیشنهادی $2/3$). با توجه به بیلان منفی هر دو آبخوان با هر نسبتی که پساب بین آبخوان‌ها تقسیم گردد، کماکان در سال ۱۴۱۵ نسبت به سال ۱۳۹۳ در مجموع حدود ۳۳۰ میلیون مترمکعب کاهش ذخیره در آبخوان‌ها وجود خواهد داشت. یکی از راهکارهای مدیریتی این است که به کشاورزان پیشنهاد شود $1/5$ برابر حجم برداشتی از آب‌های زیرزمینی از پساب تخصیص بگیرند و در عوض مالکیت چاه خود را به آب منطقه‌ای واگذار کنند. مزایای استفاده از این طرح برای کشاورزان توسعه کشاورزی، کاهش هزینه‌های استهلاک چاه‌ها و پمپاژ، کاهش ریسک عدم قطعیت در آبدهی چاه‌ها و کاهش هزینه کود است. شرکت آب منطقه‌ای نیز می‌تواند با کاهش حجم بهره‌برداری آبخوان‌ها به اندازه نصف حجم تخصیص پساب به کشاورزان، آبخوان‌ها را متعادل کند به نحوی که با اجرای گزینه پیشنهادی تخصیص پساب، تا سال ۱۴۱۵ سطح ایستابی نسبت به شهریور ۱۳۹۳ در آبخوان قم حدود $1/5$ متر افت و آبخوان شریف‌آباد حدود ۶ متر خیز می‌نماید.

۱- پیش‌گفتار

آب از ضروری‌ترین عوامل توسعه جوامع انسانی است و ایران از جمله کشورهای است که تامین آب برای مصارف مختلف ازدغدغه‌های مهم دولت مردان در راستای توسعه پایدار محسوب می‌شود. اکنون حجم قابل توجهی از منابع آبی کشور به دلیل کیفیت پایین، مورد استفاده قرار نگرفته و یا در استفاده از آنها ضوابط و معیارهای زیست‌محیطی لحاظ نگردیده است. اما باور این است که بخشی از این منابع که مشکلات کیفی کم‌تری داشته یا مشکلات آنها با اتخاذ روش‌های کاربردی مناسب قابل اغماض می‌باشد، باید با در نظرگیری مسایل زیست‌محیطی در برنامه‌های توسعه و بهره‌وری منابع آب گنجانده شوند. مطابق اصل پنجاهم قانون اساسی، حفاظت محیط زیست که نسل امروز و نسل‌های بعد باید در آن حیات رو به رشدی داشته باشند، وظیفه عمومی تلقی شده و فعالیت‌هایی که با آلودگی و تخریب محیط زیست همراه است، ممنوع می‌باشد بنابراین اگر تخلیه فاضلاب و پساب‌ها به محیط به عنوان یک منبع آلاینده فرض شود، برنامه ریزی بهره‌برداری از آنها یکی از موضوع‌های مرتبط با اصل پنجاهم قانون اساسی به شمار می‌آید. هم‌چنین مطابق با قانون توزیع عادلانه آب، فاضلاب‌ها و آب‌های برگشتی به عنوان یکی از منابع آبی محسوب شده است. با توجه به حجم قابل توجه پساب‌های شهری، صنعتی و آب‌های برگشتی، برنامه‌ریزی جهت استفاده از این منابع با لحاظ کردن جنبه‌های زیست‌محیطی به عنوان راهکاری مناسب جهت جبران بخشی از این کمبودها و هم‌چنین کاهش آلودگی‌ها مورد توجه می‌باشد (نشریه ۵۳۵).

در کشورهای پیشرفته فاضلاب‌های تصفیه شده با رعایت ضوابط زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. محور این قوانین بر حفظ سلامتی انسان، حفاظت از محیط زیست و جلوگیری از آلودگی خاک و آب استوار بوده و در دوره‌های زمانی مشخصی مورد بازنگری قرار می‌گیرد. در حالی که در کشورهای در حال توسعه، علاوه بر فاضلاب‌های تصفیه شده از فاضلاب‌های خام نیز برای تولید محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. این کشورها فاقد استراتژی و برنامه ریزی مناسب و هم‌چنین دستورالعمل مشخص در زمینه استفاده از پساب‌ها و آب‌های برگشتی هستند به همین دلیل استفاده از این منابع در اغلب موارد با پیامدهای بهداشتی، زیست‌محیطی و آلودگی منابع آب و خاک همراه می‌باشد. ایران به عنوان یکی از کشورهای خاورمیانه با کاهش منابع آب تجدید شونده مواجه است و در حال حاضر در سطح کشور، به ویژه در حواشی شهرهای بزرگ و مراکز استان‌ها، مناطق وسیعی با پساب‌ها و آب‌های برگشتی آبیاری می‌شوند. در بیش‌تر مواقع این استفاده غیر اصولی بوده و برای کشت سبزیجات و صیفی‌جات به کار رفته و موجب آلودگی محیط زیست، تجمع آلودگی در خاک و انتقال آن به محصولات تولیدی شده است. با توجه به میزان استقبال و هم‌چنین نیاز به استفاده از پساب‌ها و آب‌های برگشتی در کشاورزی، در حال حاضر بیش‌تر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در سطح کشور با هدف استفاده مجدد از پساب حاصل از کشاورزی، طراحی و اجرا می‌گردند. بررسی و جمع

بندی تجربیات جهانی استفاده از این منابع نشان می‌دهد که با توجه به کمبود آب، استفاده از این منابع به عنوان یک منبع ارزشمند آب مطرح است و با گذشت زمان اهمیت آن بیش‌تر نیز خواهد شد.

استفاده از پسابها (فاضلاب‌های تصفیه شده) در کشاورزی مزایای متعددی را به همراه دارد که در بسیاری از مقالات به آن اشاره شده است و مهمترین آنها عبارتند از: فراهم نمودن یک منبع آب ارزان و دائمی، کاهش هزینه‌های تصفیه، آذارسازی بخشی از منابع آب با کیفیت خوب برای سایر مصارف، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و اثرات زیست محیطی آنها و کاهش اثرات زیست محیطی دفع پساب به منابع آبی (Haruvy Bahri 1999, Asano and Levine 1996, 1998, Fatta and Kythreotou 2005, Shelef 1990)

محدودیت منابع آب در کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه خشک، یکی از مهمترین معضلات موجود در بخش کشاورزی است. از این رو استفاده از منابع آبی غیر متعارف (از جمله پساب تصفیه خانه‌ها) در این کشورها روز به روز از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود. کاربرد پساب به عنوان یک منبع دائمی آب در کشاورزی علاوه بر تأمین بخشی از نیازهای آبی این بخش، باعث صرفه جویی و دوام منابع آبی موجود نیز می‌گردد. علاوه بر این، وجود عناصر غذایی گیاهی در پساب تصفیه خانه‌ها، مصرف کودهای شیمیایی و بالطبع اثرات زیست محیطی استفاده از آنها را کاهش می‌دهد. به کارگیری پساب در کشاورزی اگر چه با فواید زیادی توأم است ولی چنانچه این امر بدون برنامه ریزی دقیق و اعمال مدیریت و نظارت صحیح انجام پذیرد، می‌تواند اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی حاد و متعددی را در پی داشته باشد که از آن جمله می‌توان به: عدم پذیرش از سوی مردم، عدم وجود بازار مناسب برای عرضه محصولات تولیدی، شور و سدیک شدن خاک به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، تجمع عناصر سنگین و سایر عناصر سمی در خاک و گیاهان، آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی و از همه مهمتر شیوع بیماری‌های مختلف، اشاره نمود. جهت استفاده صحیح و پایدار از این منابع بررسی و پایش اثرات اجرای شبکه‌های فاضلاب می‌تواند متضمن اثرات سودمندی هم چون حفاظت کمی و کیفی منابع آب و کاهش آلودگی محیط زیست گردد (دانش و همکاران ۱۳۸۹).

۱-۱- بررسی منابع مصارف پسابها و آب‌های برگشتی

امکان سنجی کاربرد پسابها و آب‌های برگشتی در مصارف مختلف و تعیین محدودیت‌های کیفی مربوط، یکی از ابعاد با اهمیت در برنامه ریزی بهره برداری از این منابع محسوب می‌شود. در این بخش به اختصار قابلیت استفاده مختلف این منابع برای مصارف مورد نظر بیان گردیده و محدودیت‌های مربوط برای هر یک از بخش‌های آب‌های برگشتی و پسابها ارائه شده و تلاش گردیده اولویت بهره برداری‌ها از این منابع در مصارف اصلی در سطح حوضه‌ها ارائه گردد (نشریه ۵۳۵).

۱-۱-۱- بررسی قابلیت استفاده در کشاورزی

مصارف کشاورزی با توجه به حجم زیاد آب مورد نیاز، به عنوان یکی از مصارف اصلی پساب‌ها و آب‌های برگشتی محسوب می‌شود. از بین منابع مختلف پساب‌ها و منابع برگشتی، فاضلاب‌های خانگی به خاطر حجم زیاد و کیفیت مناسب‌تر بعد از طی مراحل تصفیه برای مصارف کشاورزی از اولویت بیشتری برخوردار می‌باشد. در استفاده از پساب‌های خانگی برای مصارف زراعی توجه به خواص بهداشتی از جمله کلی فرم، فکال کلی فرم و تخم انگل‌های نماتودی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و از عوامل محدودیت‌زا در انتخاب الگوی کشت محسوب می‌شوند.

پساب‌های صنعتی به دلیل حجم کم، پراکندگی و کیفیت متنوع و دارا بودن ترکیبات مختلف از جمله فلزات سنگین و ترکیبات شیمیایی، برای مصارف کشاورزی در اولویت آخر می‌باشند. از بین پساب‌های صنعتی، پساب‌های مربوط به صنایع غذایی از ویژگی‌های کیفی مناسب‌تری برای مصارف کشاورزی برخوردار می‌باشند. در صورت استفاده از این پساب‌ها برای مصارف زراعی توجه به غلظت فلزات سنگین، هدایت الکتریکی، ترکیبات شیمیایی آلی و معدنی ضروری است و نیاز به رعایت ملاحظات، زیست‌محیطی شدیدتری می‌باشد. زه‌آب‌های کشاورزی بیش‌ترین حجم آب‌های برگشتی را دارند و با توجه به کیفیت آب مصرفی، خاک‌شناسی منطقه، الگوی کشت و شرایط اقلیمی از کمیت و کیفیت متفاوتی برخوردار می‌باشند. این منابع با توجه به حجم زیاد و کیفیت خوب برای مصارف زراعی مناسب است و مهم‌ترین عامل محدودیت‌زای کیفی آنها میزان هدایت الکتریکی می‌باشد.

۱-۱-۲- بررسی قابلیت استفاده برای تغذیه آب‌های زیرزمینی

تغذیه مصنوعی، به ویژه در فصول غیر زراعی از اهمیت خاصی در بهره‌برداری از پساب‌ها و آب‌های برگشتی برخوردار می‌باشد. در استفاده از این منابع برای تغذیه مصنوعی توجه به کیفیت آب، به ویژه ترکیبات محلول از جمله نیترات و سموم از اهمیت خاصی برخوردار است. این ترکیبات به واسطه حلالیت در آب قادر به نفوذ به آبخوان و تهدید کیفی آن می‌باشند. مواد غیر محلول در لایه‌های خاک فیلتر شده و قادر به نفوذ به آبخوان نمی‌باشند. ذرات معلق و قابل ته‌نشین از شاخص‌های مهم دیگری است که با ته‌نشینی و ایجاد گرفتگی در خلل و فرج خاک باعث کاهش کارایی این روش می‌گردد.

از بین منابع اصلی پساب‌ها و آب‌های برگشتی استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده خانگی برای تغذیه مصنوعی به ویژه در فصول غیر زراعی مقدور بوده و در این زمینه، توجه به غلظت عناصر مغذی و مواد آلی محلول از ملاحظات و محدودیت‌های مهم به شمار می‌رود. در زمینه زه‌آب‌های کشاورزی مهم‌ترین عامل محدودیت‌زا، هدایت الکتریکی بالا، وجود سموم و علف‌کش‌ها و در درجه بعدی عناصر مغذی می‌باشد. به همین دلیل استفاده از این منابع برای تغذیه مصنوعی در اولویت نبوده و در صورت الزام در استفاده،

ملاحظات زیست‌محیطی شدید و پایش کیفی آبخوان از نظر عناصر مغذی، هدایت الکتریکی و سموم ضروری می‌باشد.

فاضلاب‌های صنعتی با توجه به دارا بودن فلزات سنگین، ترکیبات شیمیایی آلی و معدنی، در صورت استفاده در تغذیه مصنوعی باعث عوارض زیست‌محیطی از جمله تجمع فلزات در خاک و آلودگی آبخوان خواهد بود. در این زمینه تنها استفاده از فاضلاب صنایع فاقد آلاینده‌های فلزی، مواد شیمیایی آلی و معدنی محلول و... امکان پذیر است.

۳-۱-۱- بررسی قابلیت استفاده در آبیاری فضای سبز

آبیاری فضای سبز یکی از مصارف مجدد پساب‌ها و آب‌های برگشتی می‌باشد. محدودیت‌های استفاده از این منابع عمدتاً، پراکندگی فضای سبز در سطح شهر و هزینه انتقال پساب از تصفیه‌خانه‌ها به این مناطق می‌باشد که تا حد زیادی استفاده از این منابع را با محدودیت مواجه می‌سازد. از نظر کیفی عامل مهم محدودیت را در استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده برای آبیاری فضای سبز، استاندارد بهداشتی آن می‌باشد که نیاز به کیفیت بالایی از نظر کلی فرم، فکال کلی فرم و تخم انگل نماتود دارد. این مسایل تا حد زیادی در آبیاری فضای سبز و جنگل کاری‌های بیرون شهر کم رنگ تر می‌باشد. با توجه به این که اراضی زراعی در خارج از شهر متمرکز بوده و فاصله نسبتاً زیادی با شهر دارد، استفاده از زه‌آب‌های کشاورزی برای فضای سبز با مشکل مواجه است ولی امکان استفاده از این منابع در جنگل کاری و احداث کمربند سبز حاشیه شهرها وجود دارد. پساب‌های صنعتی با توجه به نقطه ای بودن و پراکندگی صنایع، امکان استفاده در آبیاری فضای سبز شهری را ندارد ولی قابلیت استفاده در فضای سبز کارخانه و مجتمع‌های صنعتی را دارا می‌باشد. این عمل به طور موفقیت آمیزی در بسیاری از صنایع در شهرهای مختلف در حال انجام می‌باشد. در این زمینه توجه به کیفیت پساب به ویژه میزان هدایت الکتریکی، غلظت فلزات سنگین و مواد آلی سخت تجزیه پذیر به دلیل تاثیر گذاری به بافت خاک از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد (نشریه ۵۳۵).

۲-۱- سابقه تدوین استانداردهای پساب‌ها و آب‌های برگشتی در مصارف مختلف

در زمینه استانداردها و رهنمودهای کاربرد مجدد پساب مطالعات گسترده ای در سطح ملی و بین المللی انجام شده است. استانداردها و رهنمودهای کاربرد مجدد پساب در کشاورزی در کشورهای مختلف دنیا بسیار متفاوت است. یکی از مهمترین رهنمودهای رایج در ارتباط با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب‌های آبیاری، رهنمود آیرس و وستکات (1985) می‌باشد که در جدول ۱-۱ خلاصه شده است. از آنجا که رهنمود آیرس و وستکات بر اساس مطالعات و تحقیقات زیاد و با در نظر گرفتن فاکتورهایی مانند درصد آبشویی، تغییرات نفوذپذیری خاک در اثر EC و SAR، ظرفیت قابل تحمل گیاهان در مقابل شوری، سدیم، و

سمیت بر و سایر عناصر کمیاب، تدوین شده است، می‌تواند در ارزیابی کیفیت پساب برای استفاده در کشاورزی نیز مبنای مناسبی باشند.

جدول ۱-۱- رهنمودهای کیفیت آب برای آبیاری (Ayers and Westcot 1985).

میزان محدودیت در استفاده			واحد	مشکلات آبیاری	
محدودیت شدید	محدودیت کم تا متوسط	بدون محدودیت			
شوری (تاثیر بر میزان مهیابی آب برای گیاه)					
>۳	۰/۷-۳	<۰/۷	dS/m	ECw	
				یا	
>۲۰۰۰	۴۵۰-۲۰۰۰	<۴۵۰	mg/l	TDS	
نفوذپذیری (تاثیر بر سرعت نفوذ آب به داخل خاک که با در نظر گرفتن ECw و SAR ارزیابی می‌شود)					
<۰/۲	۰/۷-۰/۲	>۰/۷	=	ECw	SAR = ۰-۳
<۰/۳	۱/۲-۰/۳	>۱/۲	=		SAR = ۳-۶
<۰/۵	۱/۹-۰/۵	>۱/۹	=		SAR = ۶-۱۲
<۱/۳	۲/۹-۱/۳	>۲/۹	=		SAR = ۱۲-۲۰
<۲/۹	۵-۲/۹	>۵	=		SAR = ۲۰-۴۰
سمیت یونهای خاص (گیاهان حساس)					
سدیم					
>۹	۳-۹	<۳	SAR	آبیاری سطحی	
	>۳	<۳	me/l	آبیاری بارانی	
کلور					
>۱۰	۴-۱۰	<۴	me/l	آبیاری سطحی	
	>۳	<۳	me/l	آبیاری بارانی	
>۳	۰/۷-۳	<۰/۷	mg/l	بر	
اثرات دیگر (گیاهان حساس)					
>۳۰	۵-۳۰	<۵	mg/l	نیتروژن	
بیکربنات					
>۸/۵	۱/۵-۸/۵	<۱/۵	me/l	آبیاری بارانی	
محدوده نرمال				pH	

در ارتباط با پارامترهای میکروبیولوژیکی فاضلاب و پساب نیز به دلیل اهمیت آنها در سلامت عموم، رهنمودهایی توسط سازمانهای مختلف مانند WHO (Mara and Carincross, 1989) و EPA آمریکا (2004) جهت کاربرد در کشاورزی ارائه شده است که به ترتیب در جداول ۲ و ۳ آمده است. هدف

WHO از تدوین چنین رهنمودها تعیین شاخص‌های راهنما برای مهندسين طراح جهت انتخاب تکنولوژی‌های مناسب برای تصفیه فاضلاب و برای برنامه ریزها جهت انتخاب گزینه‌های برتر مدیریتی است. مقایسه جداول مذکور نشان می‌دهد که رهنمودهای EPA آمریکا نسبت به رهنمودهای WHO سخت گیرانه‌تر است. براساس EPA برای کاربرد پساب در آبیاری گیاهانی که فرآوری نمی‌شوند (به عنوان مثال گیاهانی که به صورت خام خورده میشوند) نبایستی هیچ گونه کلی فرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه‌های پساب قابل تشخیص باشد. این در حالی است که برای آبیاری اینگونه گیاهان، WHO تعداد کلی فرم‌های مدفوعی را در ۱۰۰ میلی لیتر پساب کمتر یا مساوی ۱۰۰۰ در نظر گرفته است (دانش و عزیزاده ۱۳۸۷).

جدول ۱-۲- رهنمودهای WHO برای کاربرد پساب (فاضلاب تصفیه شده) در کشاورزی^a (Mara and Carincross, 1989)

طبقه بندی	شرایط استفاده مجدد	گروه‌های در معرض	نماتد روده ای ^b میانگین حسابی (تعداد تخم در لیتر) ^c	کلی فرم‌های مدفوعی میانگین هندسی (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر) ^c	روشهای تصفیه ای که انتظار می‌رود رهنمودهای میکروبیولوژیکی را تامین نمود
A	آبیاری گیاهانی که به صورت خام خورده می‌شوند، زمینهای ورزشی و پارکهای عمومی ^d	کارگران، مصرف کنندگان و عموم مردم	≤ ۱	≤ ۱۰۰۰	یک سری از برگه‌های تثبیت که به منظور دستیابی به شاخص میکروبیولوژیکی طراحی شده اند و یا تصفیه معادل آنها.
B	آبیاری غلات، گیاهان صنعتی، گیاهان علوفه ای، مراتع و درختان ^e	کارگران	≤ ۱	استاندارد توصیه نمی‌شود.	نگهداری در برگه‌های تثبیت به مدت ۸ تا ۱۰ روز و یا روشهای معادل برای حذف کرمها و کلی فرمهای مدفوعی
C	آبیاری گیاهان طبقه B به شرط آنکه کارگران و عموم در معرض قرار نگیرند	هیچیک	غیر قابل اعمال	غیر قابل اعمال	پیش تصفیه مورد نیاز بستگی به روش آبیاری دارد. حداقل: ته نشینی اولیه

a: در موارد خاص شرایط اپیدمیولوژیکی، اجتماعی، فرهنگی و فاکتورهای محیطی می‌بایست در نظر گرفته شده و رهنمودها براساس آنها اصلاح گردد.

b: گونه‌های اسکاریس و نریکورس و کرمهای قلابدار

c: در طی دوره آبیاری

d: برای فضاها سبز عمومی مانند هتلها یعنی جائیکه امکان تماس مستقیم عمومی وجود داشته باشد، بایستی رهنمود سخت گیرانه‌تری (کمتر یا مساوی ۲۰۰ کلی فرم در ۱۰۰ میلی لیتر) در نظر گرفته شود.

e: در مورد درختان میوه، آبیاری بایستی دو هفته قبل از چیدن میوه متوقف شده و هیچ میوه ای از روی زمین جمع آوری نگردد. ضمناً آبیاری بارانی نباید استفاده گردد.

جدول ۱-۳- رهنمودهای USEPA برای استفاده مجدد پساب در آبیاری (EPA 2004).

نوع کاربرد	تصفیه مورد نیاز	کیفیت پساب	پایش پیشنهادی	فاصله حائل
آبیاری: - گیاهان غذایی که به طور تجاری فرآوری می‌شوند - باغات میوه و تاکستانها -مراتع مراتع جهت دامهای شیری مراتع جهت دامها	- تصفیه ثانویه - ضد عفونی	pH = ۶-۹ BOD ≤ ۳۰ mg/l SS = ۳۰ mg/l FC ≤ ۲۰۰/۱۰۰ ml Cl ₂ = ۱mg/l باقیمانده	pH - هفتگی BOD - هفتگی کدورت - روزانه FC روزانه کلر باقیمانده - پیوسته	۳۰۰ فوت از منابع تامین آب آشامیدنی و ۱۰۰ فوت از مناطق قابل دسترس عموم
- گیاهان غذایی که به صورت تجاری فرآوری نمی‌شوند	- تصفیه ثانویه - فیلتراسیون - ضد عفونی	pH = ۶-۹ BOD ≤ ۳۰ mg/l کدورت ≤ ۱NTU FC = (صفر) /۱۰۰ ml Cl ₂ = ۱mg/l باقیمانده	pH - هفتگی BOD - هفتگی کدورت - روزانه FC روزانه کلر باقیمانده - پیوسته	۵۰ فوت از چاههای تامین آب آشامیدنی و ۱۰۰ فوت از مناطق قابل دسترس عموم

علاوه بر رهنمودهای فوق، در کشورهای مختلف به منظور تامین سلامت عموم و حفاظت از محیط زیست، در برنامه‌ریزی‌های کاربرد پساب در کشاورزی گام‌های متفاوتی برداشته شده که یک نمونه از آن تدوین استاندارد و رهنمودهای میکروبیولوژیکی است. از نظر تدوین و به کارگیری اینگونه استانداردها و رهنمودها کشورها را می‌توان به چند گروه تقسیم کرد (دانش و علیزاده ۱۳۸۷):

الف) در کشورهای صنعتی و پیشرفته مانند آمریکا و فرانسه استانداردها و رهنمودها با دیدگاهی محافظه کارانه و براساس تکنولوژی پیشرفته و هزینه بالا و نیز با ریسک پذیری کم تدوین شده است (Fatta and Kythreotou, 2005).

ب) در برخی کشورهای دیگر رهنمودهای WHO که براساس تکنولوژی پایین و هزینه کم پایه گذاری شده، مورد قبول بوده و اساس کنترل را تشکیل می‌دهد (Strauss, 2001).

ج) در مقابل کشورهای فوق، گروه سوم از کشورها که بیشتر شامل کشورهای در حال رشد هستند، بدون مطالعه و برنامه ریزی، استانداردهای بسیار سخت گیرانه ای را قبول نموده اند. این چنین استانداردهایی اگرچه مورد قبول مراجع قانونی است و برای داشتن وجهه بین المللی بسیار خوب است ولی عملاً به دلایل اقتصادی و فنی غیر قابل قبول و غیر قابل اجرا است. برای چنین کشورهایی شاید بهترین راه حل تدوین گام به گام استانداردها باشد که در صورت اجرا می‌تواند به نحو مؤثری از مخاطرات بهداشتی جلوگیری نماید (Strauss, 2001).

در ارتباط با کشور ایران، استانداردهای زیست محیطی کاربرد پساب بسیار پیشرفته و مجموعاً بیش از ۵۰ پارامتر فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی (جدول ۱-۴) را شامل می‌گردد (سازمان حفاظت محیط زیست ایران ۱۳۸۴) که چنانچه اجرا گردد بسیار ایده آل است.

جدول ۱-۴- استاندارد خروجی فاضلابها (سازمان حفاظت محیط زیست ایران ۱۳۸۴)

شماره	مواد آلوده کننده	تخلیه به آب‌های سطحی	تخلیه به چاه‌جاذب	مصارف کشاورزی و آبیاری
۱	نقره Ag	۱	۰/۱	۰/۱
۲	آلومینیوم Al	۵	۵	۵
۳	آرسنیک As	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۴	بر B	۲	۱	۱
۵	باریم Br	۵	۱	۱
۶	بریلیوم Be	۰/۱	۱	۰/۵
۷	کلسیم Ca	۷۵	-	-
۸	کادمیوم Cd	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵
۹	کلر آزاد Cl	۱	۱	۰/۲
۱۰	کلرید Cl^-	۶۰۰ (تبصره یک)	۶۰۰ (تبصره یک)	۶۰۰
۱۱	فرمالدئید CH_2O	۱	۱	۱
۱۲	فنل C_6H_5OH	۱	ناچیز	۱
۱۳	سیانور CN	۰/۵	۰/۱	۰/۱
۱۴	کبالت CO	۱	۱	۰/۰۵
۱۵	کروم Cr^{6+}	۰/۵	۱	۱
۱۶	کروم Cr^{3+}	۲	۲	۲
۱۷	مس Cu	۱	۱	۰/۲
۱۸	فلوراید F	۲/۵	۲	۲
۱۹	آهن Fe	۳	۳	۳
۲۰	جیوه Hg	ناچیز	ناچیز	ناچیز
۲۱	لیتیوم Li	۲/۵	۲/۵	۲/۵
۲۲	منیزیوم Mg	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲۳	منگنز Mn	۱	۱	۱
۲۴	مولیبدن Mo	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
۲۵	نیکل Ni	۲	۲	۲
۲۶	آمونیم بر حسب NH_4	۲/۵	۱	-
۲۷	نیتريت بر حسب NO_2	۱۰	۱۰	-
۲۸	نترات بر حسب NO_3	۵۰	۱۰	-

شماره	مواد آلوده کننده	تخلیه به آب‌های سطحی	تخلیه به چاه‌جاذب	مصارف کشاورزی و آبیاری
۲۹	فسفات برحسب فسفر	۶	۶	-
۳۰	سرب Pb	۱	۱	۱
۳۱	سلنیوم Se	۱	۰/۱	۰/۱
۳۲	سولفید SH ₂	۳	۳	۳
۳۳	سولفیت SO ₃ ⁻	۱	۱	۱
۳۴	سولفات SO ₄ ⁻	۴۰۰ (تبصره یک)	۴۰۰ (تبصره دو)	۵۰۰
۳۵	وانادیوم V	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۳۶	روی Zn	۲	۲	۲
۳۷	چربی روغن	۱۰	۱۰	۱۰
۳۸	دترجنت ABS	۱/۵	۰/۵	۰/۵
۳۹	BOD ₅ (تبصره سه)	۳۰ (لحظه ای ۵۰)	۳۰ (لحظه ای ۵۰)	۱۰۰
۴۰	COD (تبصره سه)	۶۰ (لحظه ای ۱۰۰)	۶۰ (لحظه ای ۱۰۰)	۲۰۰
۴۱	اکسیژن محلول (حداقل) DO	۲	-	۲
۴۲	مجموع مواد جامد محلول TDS	(تبصره یک)	(تبصره دو)	-
۴۳	مجموع مواد جامد معلق TSS	۴۰ (لحظه ای ۶۰)	-	۱۰۰
۴۴	مواد قابل ته نشینی SS	۰	-	-
۴۵	پ-هاش (حدود) PH	۶/۵-۸/۵	۵-۹	۶-۸/۵
۴۶	مواد رادیواکتیو	۰	۰	۰
۴۷	کدورت واحد کدورت	۵۰	-	۵۰
۴۸	رنگ (واحد رنگ)	۷۵	۷۵	۷۵
۴۹	درجه حرارت T	تبصره ۴	-	-
۵۰	کلی فرم گوآرشی (تعداد در ۱۰۰ میلی‌لیتر)	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
۵۱	کل کلیفرم‌ها (تعداد در ۱۰۰ میلی‌لیتر) MPN	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۵۲	تخم انگل	-	-	(تبصره ۵)

تبصره یک: تخلیه با غلظت بیش از میزان مشخص شده در جدول در صورتی مجاز خواهد بود که پساب خروجی، غلظت کلرید، سولفات و مواد محلول منیع پذیرنده را در شعاع ۲۰۰ متری بیش از ۱٪ افزایش ندهد.

تبصره دو: تخلیه با غلظت بیش از میزان مشخص شده در این جدول در صورتی مجاز خواهد بود که افزایش کلرید، سولفات و مواد محلول پساب خروجی نسبت به آب مصرفی بیش از ۱۰٪ نباشد.

تبصره سه: صنایع موجود مجاز خواهد بود BOD₅ و COD را حداقل ۹۰٪ کاهش دهند.

*تبصره چهار: درجه حرارت باید به میزانی باشد که بیش از ۳ درجه سانتی‌گراد در شعاع ۲۰۰ متری محل ورود آن، درجه حرارت منیع پذیرنده را افزایش یا کاهش ندهد.

*تبصره پنج: تعداد تخم انگل (نماتد) در فاضلاب تصفیه شده شهری در صورت استفاده از آن جهت آبیاری محصولات که بصورت خام مورد مصرف قرار می‌گیرد نباید بیش از یک عدد در لیتر باشد.

اما با توجه به شرایط اقتصادی و فنی موجود اشکالات عمده ای به شرح ذیل وجود دارد که اجرای استانداردها را عملی نمی‌سازد:

استانداردها براساس شرایط اقتصادی، اجتماعی و اپیدمیولوژیکی کشور تدوین نشده است. برخی از پارامترهای کیفی مهم که از نظر کشاورزی و کیفیت خاک بسیار حائز اهمیت هستند مانند: EC، SAR و TDS، در استانداردهای کنونی لحاظ نشده است.

تأمین کیفیت پارامترهای کیفی پساب جهت تأمین استانداردهای تدوین شده، به لحاظ اقتصادی و فنی امکان پذیر نیست.

در حال حاضر پایش کیفی پساب خروجی از تصفیه خانه‌ها صرفاً بر مبنای پارامترهای محدودی مانند COD، TSS، PH، BOD، کل کلی فرم‌ها و کلی فرم‌های مدفوعی صورت می‌گیرد و سایر پارامترهای دارای اهمیت در کشاورزی، اندازه گیری نمی‌شود. به همین جهت این چنین آماری نمی‌تواند مبنای مناسبی برای ارزیابی کیفیت پساب به منظور کاربرد در کشاورزی قرار گیرد.

لازم به یادآوری است که استانداردهای سخت گیرانه و تکنولوژی پیشرفته الزاماً به مفهوم کاهش خطرات زیست محیطی و ریسک‌های توأم با فاضلاب نیست. زیرا در بسیاری از موارد عدم بهره برداری صحیح تصفیه خانه‌های فاضلاب، عدم تأمین بودجه کافی برای راهبری تصفیه خانه‌ها و اعمال سیستم پایش مناسب و یا عدم اجرای قوانین سبب می‌شود که تکنولوژی پیشرفته و استانداردهای تدوین شده مفهوم کاربردی خود را از دست داده و در نتیجه ریسک‌های زیست محیطی افزایش یابند (دانش و همکاران ۱۳۸۹).

۱-۳- مخاطرات بهداشتی استفاده از پساب‌ها

به طور معمول هنگام طراحی سیستم‌های آبیاری باید اطلاعات کافی در مورد خاک، گیاه، آب و اقلیم جمع آوری شود و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

کاربرد فاضلاب در آبیاری به دلیل حضور میکروارگانیسم‌ها و مواد شیمیایی آن می‌تواند با مخاطرات بهداشتی همراه گردد، که معمولاً در سه بخش؛ خطرات بهداشت فردی، خطرات بهداشت محصولات کشاورزی و خطرات بهداشت مصرف کنندگان مطالعه می‌شوند.

مهمترین عامل ایجادکننده مخاطرات بهداشت فردی، میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، انگل‌ها و مواد سمی و شیمیایی فاضلاب هستند. همچنین مشکلات بهداشتی محصولات کشاورزی در نتیجه فعل و انفعالات و واکنش‌های مختلف بین ترکیبات و آلاینده‌های فاضلاب با خاک و گیاه اتفاق می‌افتد.

از میان باکتری‌های موجود در محیط فاضلابی می‌توان به انواع کلی فرم‌های مدفوعی اشاره نمود که مدت زمان ادامه حیات آنها کمتر از ویروس‌ها است.

شیستوزومیا و کرم‌های قلاب دار از مهمترین انواع کرم‌ها و انگل‌های بیماری‌زای موجود در فاضلاب هستند.

مواد شیمیایی سمی عمدتاً مشتمل بر فلزات سنگین (کروم، کادمیوم، مس، سرب و...) و ترکیبات آلی (آفت کش‌ها و ترکیبات حلقوی و...) می‌باشد که ضمن تأثیر منفی بر خاک زراعی، بهداشت فردی کارگران مزارع را نیز تهدید می‌نمایند.

یکی از شاخص‌های اساسی در کاربرد فاضلاب تصفیه شده در آبیاری، غلظت ارگانیک‌های مدفوعی و باکتری‌های کلی فرمی می‌باشد. در نشست متخصصین سازمان جهانی بهداشت در سال ۱۹۷۳ اعلام گردید که تولید پسابی با کیفیت ۱۰۰۰ کلی فرم در ۱۰۰ میلی لیتر، از نظر فنی به راحتی امکان پذیر است و آبیاری بدون محدودیت محصولات با چنین پسابی، احتمالاً مخاطرات بهداشتی بسیار محدودی را موجب می‌شود.

در سال ۱۹۸۵ در پایان اجلاسی که در انگلبرگ، تشکیل شد، رهنمودهایی تحت عنوان «بیانیه آدلبدان» صادر گردید. «رهنمودهای کیفی انگلبرگ» برای آبیاری (کنترل شده)، برای اولین بار استاندارد صریحی را در مورد کرم‌ها ارائه نمود ($1 \leq$ تعداد تخم نماتود زنده در لیتر) و برای آبیاری (کنترل نشده) در مورد کرم‌ها همین رقم و در مورد کلی فرم‌های مدفوعی تعداد ۱۰۰۰ عدد در ۱۰۰ میلی لیتر اعلام گردید که هدف از این ضوابط تأمین سلامت مصرف کنندگان محصولات کشاورزی می‌باشد. خطرات ناشی از عناصر شیمیایی مختلف موجود در پساب‌های مورد استفاده در آبیاری کشاورزی در جدول ۱-۵ آورده شده است (محمدی و همکاران).

جدول ۱-۵- خطرات ناشی از عناصر شیمیایی

منابع تولید فاضلاب	اثر بر روی گیاه در غلظت بالا	اثر بر روی انسان در غلظت بالا	پارامتر
فاضلاب‌های صنعتی - فاضلاب‌های خانگی که برای تصفیه آن از آلومینوم استفاده شده است.	می‌تواند در خاک‌های اسیدی $PH < 5.5$ موجب عدم حاصلخیزی گردد اما بیشتر خاک‌های قلیایی در $PH > 7$ قادرند این یون را رسوب داده و هر گونه سمیت را از بین ببرند	آلومینیم می‌تواند در انسان مسمومیت حاد خفیفی ایجاد کند. ارتباط آلومینیم و دو بیماری عصبی آلزایمر و دمانس در حد فرضیه است	آلومینیم (Al)
فاضلاب‌های صنعتی (بهره‌برداری معدن، حشره‌کش و سموم، عکاسی، فتوکپی، صنایع داروسازی، نفت و زغال‌سنگ)	حد مسمومیت آن برای گیاهان مختلف فرق می‌کند. از 12 mg/l برای علف سودانی تا 0.5 mg/l برای برنج متغیر است.	در سبزیجات و غلات بیشتر است. سمیت آرسنیک معدنی از آلی بیشتر است. مقدار زیاد آرسنیک باعث صدمات حاد دستگاه گوارش و بیماری‌های قلبی می‌شود	آرسنیک (As)
فاضلاب‌های صنعتی	حد مسمومیت آن برای گیاهان مختلف فرق می‌کند. از 5 mg/l برای کلم تا 0.5 mg/l برای نوعی لوبیا متغیر است.	استنشاق بریلیم منجر به ناراحتی ریوی می‌شود.	بریلیم (Be)
فاضلاب‌های صنعتی (بهره‌برداری معدن، تولید رنگ، باتری‌سازی)	در غلظت‌های پایین حدود 0.1 mg/l موجود در محلول‌های غذایی برای لوبیا، چغندر و شلغم مسموم کننده است. به دلیل قابلیت تجمع آن در خاک و گیاه و رسیدن به حدی که برای انسان مضر باشد ارقام محافظه کارانه‌ای از آن در آب آبیاری توصیه شده است.	در دوز ۳ تا 90 mg (از راه خوراکی) به عنوان یک قی آور عمل می‌کند و در دوزهای بالا کشنده است. تماس مداوم و طولانی باعث اختلال در عمل کلیه‌ها می‌گردد. خاصیت سرطان‌زایی هم دارد.	کادمیوم (Cd)
فاضلاب‌های صنعتی	در غلظت 0.1 mg/l در محلول غذایی برای گوجه‌فرنگی مسموم کننده است. توسط خاک‌های قلیایی و خشتی تمایل به غیر فعال شدن پیدا می‌کند.		کبالت (Co)

پارامتر	اثر بر روی انسان در غلظت بالا	اثر بر روی گیاه در غلظت بالا	منابع تولید فاضلاب
کروم (Cr)	کروم در آب با ظرفیت ۳+ و ۶+ است، کروم سه ظرفیتی غیر سمی و دیر جذب است. کروم شش ظرفیتی سمی است و باعث صدمه به کلیه و کبد می‌شود. اختلال تنفسی نیز ایجاد می‌کند.	معمولاً به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاه در نظر گرفته نمی‌شود. به دلیل فقدان اطلاعات در زمینه سمیت آن برای گیاهان مقادیر محافظه کارانه‌ای از آن در آب آبیاری توصیه شده است.	فاضلاب‌های صنعتی (بهره‌برداری معدن، تولید رنگ، عکاسی و فتوکپی، کارخانجات شیمی، نساجی، سلولز و کاغذ سازی)
مس (Cu)	در دوزهای بالا، مس می‌تواند اثرات جانبی از قبیل صدمه به دستگاه گوارش، کلیه، کبد و کم خونی داشته باشد.	در غلظت ۰/۱ تا ۱ mg/l در محلول‌های غذایی برای تعدادی از گیاهان مسموم کننده است.	فاضلاب‌های صنعتی (تولید رنگ، نساجی، صنایع الکترونیک و الکتریکی، عکاسی، شیمیایی)
فلورور (F)	در دوزهای بالا روی دندان‌ها و استخوان اثرات سوء دارد.	توسط خاکهای قلیایی و خنثی غیر فعال می‌شود.	فاضلاب‌های صنعتی
آهن (Fe)		برای گیاهان که در خاک‌های با هوای کافی کاشته می‌شوند مسموم کننده نیست اما می‌تواند به اسیدی شدن خاک و عدم دسترسی گیاه به فسفر و مولیبدن کمک کند. در اثر آبیاری بارانی ممکن است لکه‌های زشتی روی گیاهان، وسایل و ساختمان‌ها بگذارد.	فاضلاب‌های خانگی و صنعتی
لیتیم (Li)		تا سقف ۵ mg/l توسط گیاهان قابل تحمل است و قابلیت حرکت در خاک را دارد. در غلظت‌های پایین برای مرکبات سمی است. کمتر از ۰/۷۵ mg/l این عنصر، شبیه بر عمل می‌کند.	فاضلاب‌های صنعتی

منابع تولید فاضلاب	اثر بر روی گیاه در غلظت بالا	اثر بر روی انسان در غلظت بالا	پارامتر
فاضلاب‌های خانگی و صنعتی	در غلظت‌های کم، حدود چند دهم تا چند میلی‌گرم در لیتر برای تعدادی از گیاهان مسموم‌کننده است اما معمولاً فقط در خاک‌های اسیدی این گونه است.		منگنز (Mn)
فاضلاب‌های صنعتی	در غلظت‌های طبیعی که در آب و خاک موجود است برای گیاهان مسموم‌کننده نیست، برای دام‌هایی که از علوفه‌های کاشته شده در زمین‌هایی که دارای مولیبدن قابل دسترسی زیادی هستند، مصرف می‌کنند، می‌تواند مسموم‌کننده باشد.	اثرات حاد در تماس زیاد با مولیبدن شامل صدمه به کلیه و کبد است. تماس طولانی منجر به کاهش وزن، ناهنجاری‌های استخوانی و عقیمی در مردان می‌گردد.	مولیبدن (Mo)
فاضلاب‌های صنعتی	در غلظت‌های ۰/۵ تا ۱ mg/l برای بعضی از گیاهان مسموم‌کننده است. سمیت آنها در pH قلیایی و خشی کاهش پیدا می‌کند	مقادیر زیاد آن باعث ایجاد اثرات حاد شامل؛ کاهش وزن، تغییر در خون و آنزیم، تغییر در گنجایش آهن بدن می‌شود.	نیکل (Ni)
فاضلاب‌های صنعتی (تولید رنگ، سموم، صنایع الکترونیک، نساجی، عکاسی و فتوکپی، باتری‌سازی، نفت و زغال سنگ) فاضلاب‌های خانگی	در غلظت‌های خیلی زیاد می‌تواند مانع رشد معمولی گیاه بشود.	مقادیر زیاد سرب خون باعث دخالت در ساختن Heme لازم برای تشکیل گلبول‌های قرمز خون، کم‌خونی، صدمات کلیوی، تأخیر رشد عصبی و فیزیکی، بالا رفتن فشار خون می‌شود.	سرب (Pb)
فاضلاب‌های صنعتی (تولید رنگ، صنایع الکترونیک و الکتریکی، عکاسی، فتوکپی)	در غلظت‌های پایین حدود ۰/۲۵mg/l برای گیاهان مسموم‌کننده است. برای دام‌ها اگر علوفه‌های کاشته شده در خاک‌های با میزان سلنیوم بالا را مصرف کنند، مسموم‌کننده است.	درماتیت، ریزش موها، تشکیل ناخن غیرطبیعی و اضطراب‌های روانی، در اثر دریافت طولانی و زیاد سلنیوم حادث می‌گردد.	سلنیوم (Se)

منابع تولید فاضلاب	اثر بر روی گیاه در غلظت بالا	اثر بر روی انسان در غلظت بالا	پارامتر
فاضلاب‌های صنعتی	در غلظت‌های نسبتاً پایین برای بسیاری از گیاهان مسموم‌کننده است.		وانادیوم (V)
فاضلاب‌های صنعتی (لاستیک و پلاستیک، سموم، باتری‌سازی، صنایع داروسازی، بهره‌برداری معدن)	سمیت روی برای گیاهان بسیار متغیر است. سمیت آن در $pH > 6$ در خاک‌های آلی و خاک‌های با بافت ریز کاهش می‌یابد.		روی (Zn)
فاضلاب‌های خانگی و صنعتی	آب آبیاری آلوده به نیتروژن باعث افزایش رشد گیاه برنج قهوه ای می‌گردد و این افزایش رشد باعث از دست رفتن عملکرد برنج می‌شود، چرا که افراط در رشد، پیری زودرس گیاه را تسریع نموده و استعداد پذیرش آفت و بیماری را بیشتر می‌کند.	نیتريت باعث بیماری متهموگلوبینمیا در کودکان می‌شود. در اثر ترکیب نیتريت و نترات با ترکیباتی که قابلیت تبدیل آنها را به نیتروز و نیتروزآمین را دارا می‌باشند، ترکیبات سرطان‌زا تشکیل شود.	نیتروژن (N)
فاضلاب‌های خانگی و صنعتی	سدیم تبادل‌ی تمایل به پراکنش خاک داشته، باعث کاهش سرعت نفوذ آب و هوا در خاک می‌گردد. این پراکنش ذرات باعث تشکیل یک لایه سله بر روی خاک گشته، مانع جوانه‌زنی بذر می‌گردد.		سدیم (Na^+)
فاضلاب‌های خانگی و صنعتی	بالا بودن غلظت این یون‌ها در آب آبیاری باعث سمیت در گیاه می‌شود، این سمیت سبب اختلال در ریشه، کاهش عملکرد، تغییر شکل ظاهری گیاه و حتی مرگ گیاه می‌شود.		یون‌های سمی (B^-, Cl^-, Na^+)
فاضلاب‌های صنعتی		اثر حاد تماس با باریم شامل تحریک دائم قلب، دستگاه گوارش و سیستم عصبی ماهیچه‌ای است.	باریم (Ba)

منابع تولید فاضلاب	اثر بر روی گیاه در غلظت بالا	اثر بر روی انسان در غلظت بالا	پارامتر
فاضلاب‌های صنعتی (تولید رنگ سموم، صنایع الکترونی، نساجی کارخانجات شیمیایی، لاستیک و پلاستیک، باتری سازی، سلولز و کاغذ سازی، صنایع داروسازی)		جیوه معدنی باعث صدمه به کلیه می‌شود و با تشکیل متیل مرکوری موجب صدمه به سیستم اعصاب مرکزی می‌گردد که منجر به مرگ یا وارد آمدن صدمات ذهنی و اختلال در عملکرد این سیستم می‌شود.	جیوه (Hg)
فاضلاب‌های صنعتی		تماس مزمن با نقره منجر به بیماری آرژیریا (Argyria) می‌شود.	نقره (Ag)
فاضلاب‌های صنعتی (تولید رنگ، سموم، صنایع الکترونیک، لاستیک و پلاستیک، باتری سازی، داروسازی)		در ترکیب با سیتوکروم سلول، از انتقال اکسیژن جلوگیری می‌کند.	سیانید (CN ⁻)

۱-۴-۱- پایش

۱-۴-۱-۱- پایش منابع آب سطحی

استفاده غیراصولی از پساب در کشاورزی و یا تغذیه مصنوعی می‌تواند باعث آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی شود. این تأثیر به ویژه در فصول بارانی، به دلیل انتقال توسط روان آب‌های سطحی از شدت بیش تری برخوردار می‌باشد. هم چنین عناصر مغذی موجود در پساب به ویژه نیترات به واسطه حلالیت بالا به راحتی به منابع آب زیرزمینی منتقل شده و باعث آلودگی این منابع می‌شود. در صورت استفاده از این منابع برای تغذیه مصنوعی پایش عناصر مغذی، به ویژه نیترات از اهمیت بیش تری برخوردار می‌باشد. در صورت رهاسازی پساب خروجی به منابع آب سطحی و یا تغذیه مصنوعی به ویژه در فصول غیر زراعی، باید از رعایت استانداردهای ارائه شده از سوی سازمان حفاظت محیط زیست اطمینان حاصل گردد. برنامه پایش منابع آب سطحی محدوده طرح‌های استفاده از پساب در کشاورزی بستگی به شرایط طبیعی و هیدرولوژی منطقه داشته و در مناطقی که امکان راهیابی روان آب‌های سطحی به این منابع وجود داشته باشد، ضروری می‌باشد. در این مناطق امکان ورود آلاینده‌های مختلف به ویژه عوامل بیماری‌زا و عناصر مغذی به منابع مذکور و در نتیجه آلودگی آنها به خصوص در فصول بارانی افزایش می‌یابد. لذا پیشنهاد می‌گردد براساس برنامه ارائه شده در جدول ۶ میزان فسفر، نیتروژن کل، نیترات، TDS، BOD و هم چنین کلی‌فرم‌های

مدفوعی و شاخص تخم انگل نامتود در این منابع بررسی شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد (نشریه ۵۳۵).

۱-۴-۱- پایش منابع آب زیر زمینی

استفاده غیر اصولی از پساب‌ها در آبیاری و تغذیه مصنوعی می‌تواند تاثیر منفی بر کیفیت آب این منابع داشته باشد؛ این تاثیر به ویژه در موارد استفاده برای شرب از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد. در شرایط طبیعی عوامل بیماری‌زا به ویژه باکتری‌ها، پروتوزویرها و تخم انگل‌های نامتودی به راحتی توسط لایه‌های سطحی خاک جذب شده و هم‌چنین ویروس‌ها به علت باردار بودن به راحتی جذب سطح باردار ذرات خاک می‌شوند. اگر سطح آب‌های زیرزمینی بالا نباشد، هیچ آلودگی میکروبی کیفیت این منابع را تهدید نخواهد کرد. ترکیبات معدنی و محلول موجود در پساب به ویژه نیترات با توجه به حلالیت زیاد در آب، بسته به روش‌های آبیاری قادر به عبور از لایه‌های خاک و نفوذ به منابع آب زیرزمینی می‌باشند. لذا پیشنهاد می‌گردد نیترات و TDS آب‌های زیرزمینی و کلی‌فرم‌های مدفوعی و BOD مطابق جدول ۶-۱ بررسی گردد. بررسی کیفیت این آب‌ها از طریق نمونه برداری از چاه‌های در حال بهره برداری و یا از طریق احداث چاهک‌های نمونه برداری در نقاط مورد نظر صورت خواهد گرفت (نشریه ۵۳۵).

جدول ۶-۱- برنامه پایش کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی

فواصل نمونه برداری و بررسی					اجزای سامانه	
سالانه	شش ماه	فصلی	ماهانه	هفتگی	روزانه	مورد بررسی
-	تخم انگل نماتود	فلزات سنگین (کادمیوم- جیوه - سرب)	TSS - COD-DO-BOD آنیون (کربنات-بی‌کربنات- سولفات-کلرور) کاتیون (کلسیم- منیزیم- سدیم- پتاسیم) فکال کلی‌فرم، فسفر کل- ازت کل- نیترات	میزان حجمی جریان pH- TDS-EC	-	منابع آب سطحی آب
	فکال کلی‌فرم (کروم-کادمیوم- جیوه - سرب)	فسفر کل- ازت کل	آنیون (کربنات-بی‌کربنات- سولفات-کلرور)- کاتیون (کلسیم- منیزیم- سدیم- پتاسیم) نیترات	pH- TDS-EC	-	منابع آب زیرزمینی

۱-۵-۱- آلودگی آب

تغییر مواد محلول، معلق، درجه حرارت و دیگر خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب در حدی که آن را برای مصرفی که برای آن مقرر است مضر یا غیر مفید سازد، آلودگی گفته می‌شود. هر نوع مواد یا عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیستی که باعث آلودگی آب گردیده یا به آلودگی آن بیافزاید، آلاینده نامیده می‌شود (هیات وزیران، ۱۳۷۳).

طبق تعریف تاد (Todd, 2005) کیفیت آب زیرزمینی نتیجه کلی فرایندها و واکنش‌هایی است که از زمان تشکیل و تراکم آب در جو تا زمانی که آب در سطح زمین ظاهر می‌شود بر روی آن صورت می‌گیرد. فتر (Fetter, 1990) نیز عقیده دارد کیفیت آب زیرزمینی حاصل شرایط طبیعی فیزیکی و شیمیایی آب و تغییراتی است که در اثر فعالیت بشری بر آن اعمال شده است. به نظر می‌رسد تعریف فتر از واژه کیفیت صحیح‌تر باشد چرا که امروزه دخالت بشر در تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی به طور روز افزون در حال افزایش است (درانی‌نژاد ۱۳۸۷).

کیفیت آب عبارتی است که برای توصیف ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب با توجه به تناسب آب با کاربری‌های سودمند آن استفاده می‌شود. کیفیت، امری نسبی است و نمی‌توان به طور قطع آن را به صورت عددی بیان کرد، هر چند که ابداع شاخص‌های کیفی و استانداردهای مختلف تا حدودی این مشکل را برطرف کرده است.

آب‌های زیرزمینی یگانه منبع تأمین آب برای میلیون‌ها نفر در جهان بوده و آلوده شدن آنها تأثیرات عمده‌ای بر سلامت انسان‌ها، فعالیت صنایع، کشاورزی و محیط زیست دارد (Jousma, et al., 1987). متأسفانه به دلیل غیر قابل رؤیت بودن آب‌های زیرزمینی، بسیاری از مردم در مورد اهمیت آنها و آثار زیان‌بار آلودگی محیط بر آنها آگاهی کافی ندارند (Davis, et al. 1994). بعضی از این آسیب‌ها توسط طبیعت قابل جبران هستند. به عبارتی طبیعت قادر است بعضی از خرابی‌ها را ترمیم و محیط خود را تصفیه نماید. توانایی جبران آلودگی در طبیعت شامل تمام آسیب‌های وارده به آن نمی‌شود و نیز جبران خسارات وارده به زمان زیاد نیاز دارد. بنابراین، انسان باید با شناخت (Characterization)، پیشگیری (Prevention) و یا پاکسازی آلودگی‌ها (Remediation) آن‌ها را در کنترل خود درآورد یکی از مهمترین منابع آبی آسیب پذیر در برابر آلودگی، آبخوان‌ها می‌باشند. این منابع به شکل‌های مختلف در معرض آلودگی قرار دارند که تشخیص و کنترل آلودگی در آن‌ها نسبت به آب‌های سطحی مشکل‌تر و پرهزینه‌تر است. همچنین به، دلیل استمرار آلودگی در این منابع، بهترین روش جلوگیری از آلودگی آن‌ها، شناسایی منابع آلوده کننده و مناطق آسیب پذیر، و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مناسب می‌باشد. بنابراین هرچند که به علت کمبود آب، پساب فاضلاب‌ها برای مصارف اجتناب ناپذیر است، ولی باید توجه داشت که این پساب‌ها حاوی مواد آلاینده نباشد و موجب آلودگی منابع آب زیرزمینی نگردد.

۱-۵-۱- منابع آلاینده

آلاینده‌های آب زیرزمینی از طرق مختلفی پدید آمده و وارد منابع آب می‌شوند. منابع آلودگی را می‌توان به سه دسته کلی زیر تقسیم‌بندی نمود (طباطبائی و همکاران ۱۳۸۸):

منابع صنعتی شامل نفوذ مستقیم و غیرمستقیم مواد جامد و مایع حاصل از نشت مخازن، لوله‌ها، فعالیت‌های معدنی، نواحی نفتی و انتشار گازها؛

منابع کشاورزی شامل جریان آب‌های برگشتی از مصارف آب کشاورزی، کودهای حیوانی و شیمیایی، سموم دفع آفات و حشرات و آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های دامداری؛ منابع شهری و روستایی شامل وارد شدن مستقیم فاضلاب و مواد جامد و مایع پساب‌ها به آب زیرزمینی. در تقسیم بندی دیگر منابع آلاینده به دو گروه طبیعی و انسان ساز تقسیم می‌شوند. منابع آلاینده طبیعی منابعی است که به صورت طبیعی و بدون دخالت انسان در طبیعت وجود داشته و به صورت مستمرمانند (چشمه‌های سولفاته) یا در اثر حوادث (مانند آتشفشان و زلزله و...) موجب آلودگی آب می‌شود.

منابع آلاینده انسان ساز منابعی است که در نتیجه فعالیت‌های مختلف انسانی، به صورت مستقیم یا غیر مستقیم باعث آلودگی آب می‌شوند. فاضلاب‌های انسانی، پساب‌های صنعتی، معدنی، عمرانی و نیروگاهی، زه‌آب‌های کشاورزی و دام پروری، نشت آب ناشی از دفن زباله‌ها، باران‌های اسیدی و... از این دسته اند. منبع آلاینده ای که از یک محل مشخص و قابل شناسایی وارد محیط پذیرنده می‌شود، مانند فاضلاب خروجی صنایع، نیروگاه‌ها یا تصفیه خانه‌های فاضلاب شهری منبع آلاینده نقطه ای هستند. منبع آلاینده ای که محل ورود مشخص و قابل شناسایی به محیط پذیرنده ندارد منبع آلاینده غیرنقطه ای است. به طور معمول این منابع شامل زه آب‌ها و رواناب‌ها می‌باشند که از زمین‌های کشاورزی، معادن، کارگاه‌های ساختمانی، جاده‌ها و مناطق شهری ناشی می‌شوند. آلودگی هوا که بر روی منابع آب فرو می‌نشیند نیز یک منبع آلاینده غیرنقطه ای است. اغلب به دلیل دشواری شناسایی یا تعیین محل ورود این منابع کنترل آنها آسان نمی‌باشد (نشریه ۵۲۲).

۱-۵-۲- استانداردها و رهنمودها

پایش کیفیت منابع آب زیرزمینی می‌تواند کیفیت مناسب منابع آب برای کاربری‌های مختلف را تضمین کند. بدون پایش اطلاع مستمر از کیفیت منبع آب، روند تغییرات آن، برنامه ریزی برای تخصیص بهینه برای کاربری‌های گوناگون، ارزیابی اثر توسعه‌های جدید و طراحی و اجرای برنامه‌های مدیریتی امکان پذیر نمی‌باشد. به طور کلی پایش کیفیت آب، یک سامانه حیاتی پشتیبان برای تصمیم گیری در برنامه مدیریت آب به حساب می‌آید.

دسترسی به آب آشامیدنی سالم برای سلامتی ضروری، از حقوق اولیه بشری و بخشی از سیاست موثر حفاظت از سلامت است. استانداردها و رهنمودها با حمایت از سیاست اجرای مدیریت ریسک، ایمنی منابع آب آشامیدنی از طریق کنترل ترکیبات خطرناک آب تضمین می‌کند. ماهیت و شکل استاندارد آب آشامیدنی ممکن است در میان کشورها و مناطق مختلف متفاوت باشد. یک روشی که مورد قبول همه باشد وجود ندارد. روشی که ممکن است در یک کشور یا منطقه کار می‌کند لزوماً در سایر کشورها و یا مناطق قابل

اجرا نیست. ضروری است که هر کشور در یک چارچوب قانونی با توجه نیازها و ظرفیت خود دستورالعمل و استانداردهای خودش را بهبود ببخشد (WHO 2011).

پیشرفت روش‌های شناسایی، اندازه‌گیری و حذف آلاینده‌ها از یک طرف و شناسایی اثرهای جامع‌تر آن‌ها بر سلامت انسان و به‌کارگیری روش مدیریت و ارزیابی ریسک در تدوین استانداردها سبب شده است که استانداردهای آب آشامیدنی در دنیا به‌طور مداوم بازنگری و مقادیر جدیدی برای مواد معدنی، آلی و غیره تعریف و یا پارامترهای جدیدی معرفی شوند.

از معتبرترین استانداردهای آب آشامیدنی می‌توان به راهنمای کیفیت آب آشامیدنی سازمان بهداشت جهانی^۱ (۲۰۱۱)، استاندارد اتحادیه اروپا^۲ (۱۹۹۸)، استاندارد حفاظت محیط زیست امریکا^۳ (۲۰۰۹) و استاندارد کمیته آب آشامیدنی کانادا^۴ (۲۰۱۴) اشاره کرد. در این مطالعات جهت ارزیابی آلودگی آبخوان از استاندارد ملی ایران، استاندارد آب آشامیدنی - ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، شماره ۱۰۵۳ ویرایش پنجم و استاندارد آب آشامیدنی - ویژگی‌های میکروبیولوژی، شماره ۱۰۱۱ ویرایش ششم، و راهنمای کیفیت آب آشامیدنی سازمان بهداشت جهانی (WHO 2011) استفاده شده است.

۱-۶- انواع آلاینده‌ها

آلاینده‌هایی که کیفیت آب زیرزمینی را بسته به نوع کاربری تحت تأثیر قرار می‌دهند، ساختار متنوعی دارند که در ذیل به مواردی از آنها اشاره شده است (طباطبائی و همکاران ۱۳۸۸):

- آلودگی‌های فیزیکی
- آلودگی‌های شیمیایی
- فلزات سنگین و عناصر کمیاب (آرسنیک، کادمیوم، کبالت، سرب، کرم، مس، نیکل، رادیوم و نقره)
- مواد آلاینده بیولوژیک
- مواد آلی
- مواد پاک‌کننده یا دترجنت‌ها
- مواد کلوئیدی نظیر رنگ‌ها، نفت خام و مشتقات نفتی
- میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا یا آلودگی میکروبی
- مواد رادیواکتیو

1: World Health Organization (WHO)

2: Council of the European Union

3: United States environmental protection agency (USEPA)

4: Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water

۱-۶-۱-آلاینده‌های فیزیکی

۱-۱-۶-۱-کدورت (Turbidity)

کدورت به طور غیر مستقیم نشان دهنده مقدار جامدات معلق موجود در آب می‌باشد. کدورت از شاخص شناسائی آلودگی میکروبی آب آشامیدنی است. از لحاظ استاندارد آب آشامیدنی ایران حد مطلوب برای کدورت کمتر و یا مساوی ۱ NTU و حد مجاز بیشینه ۵ NTU تعریف شده است. به استناد رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی، در صورتی که معیار میانه ی کدورت از یک واحد در مقیاس NTU و در یک نمونه منفرد از ۵ واحد فراتر نرود به احتمال قریب به یقین (۹۹/۹۹ درصد) آب عاری از باکتری و ویروس است، مشروط بر آنکه کلر باقی مانده آب پس از زمان ۳۰ دقیقه حداقل ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر و pH آب کمتر از ۸ واحد باشد.

۱-۲-۱-۶-۱-اکسیژن محلول (DO)

از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر میزان اکسیژن محلول وجود مواد آلی در آب می‌باشد که وجود این مواد میزان اکسیژن خواهی بیوشیمیایی و شیمیایی را افزایش داده و باعث کاهش میزان اکسیژن محلول می‌شود. بیشینه اکسیژنی که در درجه حرارت نرمال (۲۵ درجه سانتی گراد) می‌تواند در آب حل شود ۹ میلی‌گرم در لیتر است و هر چه حرارت اضافه شود اکسیژن محلول تقلیل می‌یابد. در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد اکسیژن محلول به ۷۰ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد و در دمای صفر درجه اکسیژن محلول معادل ۱۴ میلی‌گرم در لیتر است. آب‌های پاکیزه سطحی معمولاً از اکسیژن محلول اشباع هستند ولی این مقدار می‌تواند با مصرف اکسیژن توسط مواد آلی ورودی به آن‌ها به سرعت کاهش یابد. آب‌های اشباع از اکسیژن محلول دارای طعم خوشایندی هستند و کمبود آن آب را بی مزه می‌کند.

۱-۳-۱-۶-۱-اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD)

اکسیژن خواهی بیوشیمیایی یا BOD5 متداول‌ترین پارامتر مورد استفاده در تعیین میزان آلودگی مواد آلی فاضلاب محسوب می‌شود (Tchobanoglous et al, 2004). BOD نرخ مصرف اکسیژن در داخل آب توسط ارگانیزم‌ها است. اگر BOD کم باشد آب پاک و فاقد ارگانیزم است یا آنکه ارگانیزم‌های داخل آب مرده و نیازی به مصرف اکسیژن ندارند. برای نشان دادن درجه آلودگی آب معمولاً بجای اینکه مقدار مواد آلی موجود در آب تعیین شود، مقدار اکسیژن لازم برای اکسیداسیون مواد آلی را اندازه‌گیری می‌کنند. چون در گرمای ۲۰ درجه سانتیگراد قسمت بیشتر اکسیداسیون (حدود ۶۸ درصد) در پنج روز اول رخ می‌دهد و پس از ۲۰ روز تقریباً به پایان می‌رسد، بدین جهت برای نشان دادن درجه آلودگی آب معمولاً BOD5 را تعیین می‌کنند که بنابر تعریف عبارت است از: «مقدار میلی‌گرم اکسیژنی که لازم است تا در پنج روز نخست، باکتری‌های هوازی مواد آلی موجود در یک لیتر آب را در گرمای ۲۰ درجه سانتیگراد اکسیده نماید.

امروزه تعیین پارامتر BOD_5 کاربردی‌ترین روش جهت اندازه‌گیری مقادیر آلاینده‌های آلی موجود در نمونه‌های آب می‌باشد. اگر BOD_5 آب ۱ میلی‌گرم در لیتر باشد تقریباً آب خالص است. آب با BOD_5 تا ۵ میلی‌گرم در لیتر نسبتاً خالص فرض می‌شود و وقتی که BOD_5 به بیشتر از ۵ میلی‌گرم برسد خلوص آب مورد تردید قرار می‌گیرد. اما اگر مقدار BOD_5 از ۲۰ میلی‌گرم تجاوز کند سلامت عمومی مورد خطر واقع می‌شود.

۱-۶-۱-۴- اکسیژن خواهی شیمیائی (COD)

آزمایش COD برای اندازه‌گیری مقدار مواد آلی فاضلاب و آب‌های طبیعی به کار می‌رود. این شاخص هم معرف مواد آلی قابل تجزیه و هم غیر قابل تجزیه توسط باکتری‌ها می‌باشد. میزان اکسیژن معادل مواد آلی قابل اکسید شدن را می‌توان با استفاده از یک ماده اکسید کننده قوی مانند پرمنگنات پتاسیم ($KMnO_4$) و یا دی کرومات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) در یک محیط اسیدی محاسبه کرد. همچنین از آزمایش COD برای تعیین مواد آلی فاضلاب‌های صنعتی و خانگی که دارای ترکیبات سمی برای حیات بیولوژیک هستند نیز استفاده می‌شود. عموماً COD یک آب از BOD آن بیشتر است، زیرا تعداد ترکیباتی که می‌توانند به صورت شیمیایی اکسیده شوند از تعداد ترکیباتی که به صورت بیولوژیکی اکسیده می‌شوند بیشتر است. COD را می‌توان در ظرف سه ساعت، در مقایسه با پنج روز زمان لازم برای آزمایش BOD محاسبه نمود (کاراموز ۱۳۹۱).

۱-۶-۱-۲- آلاینده‌های شیمیائی

۱-۶-۱-۲-۱- کل جامدات محلول (TDS)

کل جامدات محلول، شاخص عمومی کیفیت آب و نشان دهنده مناسب بودن برای کاربری‌های مختلف شرب، کشاورزی و صنعت است. کل جامدات محلول، جرم جامدات باقیمانده پس از تبخیر و خشک کردن نمونه فیلتر شده آب می‌باشد.

۱-۶-۱-۲-۲- یون‌های اصلی

۱-۶-۱-۲-۲-۱- کلسیم (Ca)

کانی‌های آهک، دولومیت، آراگونیت، انیدریت و ژپس در سنگ‌های رسوبی و سیلستات‌های کلسیم دار نظیر پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول از منابع اصلی کلسیم در آب‌های زیرزمینی به شمار می‌روند. ماسه سنگ‌ها، شیل‌ها و سایر سنگ‌های تخریبی عموماً دارای سیمانی از کربنات کلسیم می‌باشند (هادی زاده و همکاران ۱۳۸۸).

۱-۶-۲-۲-۲-منیزیم (Mg)

منبع اصلی منیزیم از کانیهای الیون، اوژیت، هورنبلند، بیوتیت، کلریت، تالک، ترمولیت و سرپانتین می‌باشد که عمدتاً در سنگ‌های آذرین و سنگ‌های دگرگونی یافت می‌شود. در سنگ‌های رسوبی منیزیت و دولومیت کانی اساسی منیزیم دار می‌باشد. بنابراین در اغلب سنگ‌های آهکی همواره مقداری منیزیم وجود دارد.

۱-۶-۲-۲-۳-سدیم (Na)

الکالی فلدسپارهایی چون آلبیت، نفلین و آنورتوکلاز و آلکالی آمفیبول‌های قلیایی نظیر سودالیت، گلوکوفان و آذرین مهم‌ترین کانی‌های اصلی سدیم دار در سنگ‌های آذرین بوده که از هوازدگی آنها سدیم آزاد می‌شود.

۱-۶-۲-۲-۴-پتاسیم (K)

مقدار زمینه پتاسیم در کانی‌های سنگ‌های آذرین (ارتوکلاز، میکروکلین، نفلین، لویسیت و بیوتیت) کمتر از سدیم است. به دلیل مقاومت بالای پتاسیم نسبت به سدیم، میزان تمرکز آن در سنگ‌های رسوبی نسبتاً بالا است. مقاومت بالای کانی‌های پتاسیم دار در مقابل فرسایش و نیز محدودیت غلظت پتاسیم در کانی‌های رسی دو عامل اساسی رقت پتاسیم در آب‌های زیرزمینی می‌باشد. به دلیل حلالیت پایین این یون در آب دامنه تغییرات مقدار پتاسیم ۰/۱ تا ۰/۰۱ مقدار سدیم در آب‌های زیرزمینی است. پتاسیم از ۱ تا ۱۵ میلیگرم در لیتر در آب‌های شرب، تا حداکثر چند هزار میلیگرم در لیتر در برخی از شورآب‌های نمکی متغیر است (هادی زاده و همکاران ۱۳۸۸).

۱-۶-۲-۲-۵-کربنات و بیکربنات (HCO₃ & CO₃)

منبع اولیه کربنات و بیکربنات در آب‌های زیرزمینی، گاز دی اکسیدکربن محلول در آب باران و برف و دی اکسیدکربن تولید شده از ریشه گیاهان در ناحیه خاک است. فساد مواد آلی نیز ممکن است مقداری گاز دی اکسیدکربن تولید نماید. در حین عبور آب حاوی دی اکسید کربن از خلل و فرج سنگها، کانی‌های کربناته به شکل بیکربنات حل می‌شوند. کربنات محلول و رسوب آن همیشه دو فاز ناپایدار بوده که بستگی به فشار نسبی دی اکسیدکربن دارد (Karanth, 1987).

۱-۶-۲-۲-۶-سولفات (SO₄)

میزان یون سولفات در نزولات جوی فقط در حد ۲ میلیگرم در لیتر بوده اما مقدار آن در طول جریان آب‌های زیرزمینی با تغییرات زیادی همراه بوده که ناشی از رسوبگذاری، انحلال و تغلیظ می‌باشد. منابع سولفات در سنگها به طور عمده کانی‌های سولفیدی سنگ‌های آذرین و دگرگونی و سولفاتهای سنگ‌های تبخیری

(انیدرید، ژپیس و سولفات سدیم) می‌باشد. ضمن اینکه سولفات‌ها شدن خاک نیز مقداری سولفات تولید می‌کند.

۱-۶-۲-۲-۷-کلراید (Cl)

اهمیت کانی‌های کلردار نظیر آپاتیت و سودالیت در مقایسه با حجم توده‌های سنگی دربرگیرنده آنها ناچیز است. منشأ اصلی کلر در آب‌های زیرزمینی از سنگ‌های تبخیری، آب فسیل شور، خاک شویی لایه‌های فوقانی خاک در نواحی خشک و آلودگی با آب دریایی است. قابلیت انحلال کلورها در آب بسیار زیاد است. آب‌های زیرزمینی که کلر قابل توجهی دارند ممکن است سدیم بالایی نیز داشته باشند که دلالت بر منشأ دریایی آنها خواهد بود. اما اگر میزان کلر از سدیم تجاوز کند پدیده تبادل یونی صورت گرفته است (Bouwer, 1978)

۱-۶-۲-۳-یون‌های فرعی

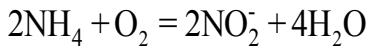
۱-۶-۲-۳-۱-منابع آلاینده مواد نیتروژن دار

از آلاینده‌های آب زیرزمینی اجزای چرخه نیتروژن است، به گونه‌ای که آلودگی منابع آب زیرزمینی به نترات در حال حاضر یکی از مهمترین مسائل زیست محیطی محسوب می‌گردد (طباطبائی و همکاران، ۱۳۸۸).

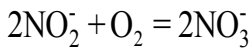
سه منشا مهم آلاینده‌های نیتروژن‌دار آب زیرزمینی شامل منابع انسانی (منابع آلاینده نقطه ای، خطی و گسترده)، تثبیت نیتروژن توسط فرایندهای بیولوژیکی و نزولات جوی است (Kumar and Anderson, 1993).

اغلب نفوذ نترات در آب‌های زیرزمینی به صورت یک آلاینده انتشاری از کشاورزی ناشی می‌شود و غلظت‌های نترات، را می‌توان تا حدودی با میزان استفاده از کودهای نترات در ارتباط دانست (Lerner and Papatolios 1993). چاهک‌های جذبی (چاه‌های فاضلاب) می‌تواند تاثیرات محلی بر آلودگی آب‌های زیرزمینی داشته باشد (Fetter, 2001). از یون نترات می‌توان به منظور بررسی تاثیر چاهک‌های جذبی بر آلودگی آب‌های زیرزمینی استفاده نمود (Lu et al., 2007). به دلیل افزایش فعالیت‌های شهری و تولید بیشتر فاضلاب‌ها، آلودگی نترات منابع آبی رو به افزایش است (Freeze and Cherry, 1979). از منابع آلاینده نقطه‌ای دیگر، می‌توان به وجود قبرستان‌ها اشاره نمود. قبرستان نیز می‌تواند از منابع آلاینده نترات در آب‌های زیرزمینی باشد (EPA, 1993). علاوه بر منابع انسانی، فرایندهای بیوشیمیایی نیز در آلودگی آب‌های زیرزمینی نقش دارند. در محیط آب زیرزمینی نیتروژن در حالت اکسیدی نترات و آمونیوم یافت می‌شود (Lu, et al., 2007). واکنش اجزاء نیتروژن‌دار با محیط در برگیرنده سبب اکسید شدن آن‌ها گردیده که در نهایت آلودگی آبخوان را در پی دارد. اوره و مواد نیتروژن‌دار وارد شده به زون غیر اشباع به آمونیوم تبدیل

می‌گردند. در یک محیط اکسیدان، آمونیم تحت فرایند نیترات زائی (نیتریفیکاسیون) به نیترات تبدیل می‌شود. در مناطق شهری منشاء آمونیم اغلب فاضلاب ناشی از فعالیت‌های خانگی و صنعتی است که در آن‌ها اوره و آمونیم از دیگر ترکیبات نیتروژن‌دار غالب‌تر است (Jacks et al., 1999). اکسیداسیون آمونیم توسط باکتری‌ها نیتروزامینس (Nitrosamines) به صورت ذیل انجام می‌گیرد.



سپس نیتريت توسط باکتری‌های دیگری به نام نیترو باکتر به نیترات اکسید می‌گردد.



تحت شرایط اکسیدی و جمعیت زیاد باکتری‌های نیترو باکتر میزان نیتریفیکاسیون افزایش می‌یابد. همچنین فعالیت هوازی مواد آلی خاک نیز سبب تولید یون نیترات می‌گردد. نیتروژن یک مؤلفه مهم در همه پروتئین‌ها می‌باشد و از اینرو، در همه مواد غذایی و فضولات حیوانی یافت می‌گردد (Alley, 1993). آنیون نیترات در آب‌های زیرزمینی تا زمانی که مقدار اکسیژن محلول کاسته شده و شرایط احیایی به وجود آید، انتقال می‌یابد. در این موقع فرآیند دنیتریفیکاسیون (نیترات زدائی) روی می‌دهد.

یکی دیگر از منابع آلاینده نیترات آب‌های زیرزمینی نزولات جوی است. پس از بارندگی طولانی آلاینده‌های موجود در جو، همراه آب برگشتی ناشی از بارندگی به آبخوان رسیده و در سطح آن پخش می‌گردد. این نوع از آلودگی به دلیل وجود عناصر شیمیایی خاص در صورتی که سطح آب آبخوان نزدیک به سطح زمین باشد آبخوان را سریعاً تحت تاثیر قرار می‌دهد. حل شدن مواد نیتروژن‌دار در آب باران تحت تاثیر صاعقه‌های به وجود آمده در اتمسفر و واکنش گاز نیتروژن می‌تواند به عنوان منبعی دیگر برای مواد نیتروژنی در آب‌های زیرزمینی لحاظ گردد که نسبت به دیگر منابع آلاینده دارای سهم کمتری در آلودگی آن می‌باشد (شاهسوندی، ۱۳۸۷).

اشکال معمول نیتروژن غیرآلی شامل نیترات، نیتريت، گاز نیتروژن، آمونیوم و سیانید می‌باشند که در این بین نیترات بعنوان عمده‌ترین شکل نیتروژن و شایع‌ترین آلاینده آب‌های زیرزمینی لقب گرفته است (Fetter, 1999).

۱-۱-۳-۲-۶-۱- نیترات (NO₃)

نیترات به عنوان آلاینده ای گسترده و متداول آب زیرزمینی از فعالیت‌های انسانی و شهری منشاء می‌گیرد (Goulding, 2000). نیترات در آب محلول می‌باشد و توسط خاک‌های غنی از رس جذب نمی‌گردد. به همین سبب نیترات پس از ورود به آب زیرزمینی به صورت یک هاله (plume) به سمت اعماق بیشتر و در جهت جریان حرکت می‌کند (Keeney, 1986). اما نفوذپذیری آبخوان و دانه ریز بودن مواد متشکله آن می‌تواند در روند پخش آلودگی نقش داشته باشد. به طور معمول غلظت نیترات در بالای سطح ایستابی

بیشتر بوده و با افزایش عمق و حرکت به سمت نواحی پایین دست جریان به دلیل فرآیند انتشار، اختلاط و رقیق شدن با آب‌های کم نیترات مقدار آن کاهش می‌یابد (Pawar and Shaikh, 1995). عدم تاثیر عوامل محدود کننده انحلال بر روی غلظت نیترات و حالت آنیونی آن موجبات تحرک پذیری زیاد نیترات را در آب‌های زیرزمینی فراهم آورده است (Freeze and Cherry, 1979).

بیشینه غلظت مجاز یون نیترات بر اساس استانداردهای کشور ایران، سازمان بهداشت جهانی و اتحادیه اروپا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و براساس استاندارد کمیته آب آشامیدنی کانادا ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. در استاندارد حفاظت محیط زیست امریکا بیشینه غلظت مجاز برای یون نیترات ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر برحسب نیتروژن است.

سطوح بالای غلظت نیترات در آب آشامیدنی میتواند ظرفیت انتقال خونی اکسیژن را کاهش دهد و موجب بیماری سیندرم بچه آبی (Blue baby syndrome) در نوزادان شود. در بزرگسالان، نیترات در بدن به ترکیبی سرطانزا به نام نیتروزآمین تبدیل شده و احتمال بروز سرطان‌های دستگاه گوارش و مثانه را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، مقادیر بیش از حد مجاز نیترات در آب‌های آشامیدنی سبب ایجاد بیماری‌های گواتر، نقص مادر زادی، سرطان معده و متاگلوبین در انسان می‌گردد (Majudar and Gupa, 2000). نیترات سبب تبدیل هموگلوبین خون به متاگلوبین توسط باکتریهای روده‌ای می‌گردد که فرایند این تبدیل هنوز شناخته نشده است (Petakhove and Ivanove, 1970; Maila et al., 2004). غلظت زیاد نیترات برای حیوانات نشخوار کننده مانند گاو و گوسفند نیز سمیت ایجاد می‌کند (خسروی دهکردی و همکاران ۱۳۸۵).

۱-۶-۲-۱-۳-۱-۲-نیتريت (NO₂)

آنیون نیتريت دارای ثبات مختصری (Meta stable) است و به دلیل حضور مواد آلی نیتروژن دار جانوری و گیاهی موجود در خاک به مقدار اندکی در آب‌های طبیعی یافت می‌شود. علاوه بر این، چاهک‌های جذبی نیز در صورت وجود اکسیژن آزاد در محیط پیرامون می‌توانند تامین کننده یون نیتريت آب‌های زیرزمینی باشند. اما کودهای شیمیایی و حاصل خیزکننده‌ها به مقداری زیادتری می‌توانند غلظت یون نیتريت را در آب‌های زیرزمینی افزایش دهند. نیتريت تاثیر منفی زیادتری بر روی سلامتی انسان و حیوانات دارد. بیشینه غلظت مجاز یون نیتريت بر اساس استانداردهای کشور ایران، سازمان بهداشت جهانی، ۳ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. در استاندارد حفاظت محیط زیست امریکا و کمیته آب آشامیدنی کانادا بیشینه غلظت مجاز برای یون نیتريت حدود ۱ میلی‌گرم بر لیتر برحسب نیتروژن و در استاندارد اتحادیه اروپا ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر برحسب نیتروژن است.

۱-۶-۲-۱-۳-۱-۳-آمونیم (NH₄)

به طور معمول یون آمونیوم در آب‌های زیرزمینی وجود ندارد. دلیل این امر، فرآیند دنیتریفیکاسیون می‌باشد. یون آمونیوم می‌توان به عنوان شاخصه ای از آلودگی آب‌های زیرزمینی با فاضلاب‌های شهری در نظر گرفته شود (Paul et al., 2004). افزایش دمای آب‌های زیرزمینی در فصل تابستان شرایط مساعدی را برای دنیتریفیکاسیون یون آمونیوم ناشی از چاهک‌های جذبی خانگی فراهم می‌آورد (Kacaroglu and Gunay, 1977). آمونیوم اصولاً به علت مزه و بوی نامطبوع در آب شرب نامطلوب شناخته می‌شود. قرائن نشان می‌دهند که یون آمونیوم و نیترات ضمن فعل و انفعالاتی در بدن انسان می‌تواند منشاء سرطان گردند. بیشینه غلظت مجاز گاز آمونیاک بر اساس استاندارد کشور ایران، ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر و در استاندارد اتحادیه اروپا ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر برحسب نیتروژن است.

۱-۶-۲-۳-۲- فسفات (PO₄)

یون فسفات نسبت به دیگر آلاینده‌های آب زیرزمینی از قابلیت تحرک کمتری برخوردار بوده و به شدت جذب مواد آبخوان می‌گردد (Schwartz and Zhang, 2002). بنابراین آلودگی وسیع آب‌های زیرزمینی نسبت به فسفات کمتر گزارش شده است. آنیون فسفات در آب‌های زیرزمینی می‌تواند از منشاء‌های فاضلاب‌های شهری و خانگی، مواد شوینده، کودها و حاصل‌خیز کننده‌ها باشد. یون فسفات سبب ایجاد مزه و بو در آب گردیده و تصفیه آن را مشکل می‌سازد. به همین دلیل سعی می‌کنند تا مقدار آن در آب آشامیدنی زیاد نباشد.

۱-۶-۲-۳-۳- فلوئور (F)

در آب‌های طبیعی میزان یون فلوئور کمتر از ۱ میلی‌گرم می‌باشد (Hem, 1989). وقتی که فلوراید در آب شرب در غلظت کمی (۰/۸ تا ۱ میلی‌گرم در لیتر) موجود باشد برای کلسیتی نمودن مینای دندان مفید است. ولی اگر مقادیر غلظت آن بیشتر شود سبب ایجاد لکه‌های متمایل به زرد بر روی دندان‌ها می‌گردد. فلوئور به میزان (۱ تا ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر) در آب‌های آشامیدنی برای سالم نگه داشتن لثه و مینای دندان ضروری است، ولی در طبیعت مقدار فلورید معمولاً کمتر از این مقدار است. به همین جهت در تصفیه خانه‌ها به آب فلورید اضافه می‌شود. اما این کار بایستی با دقت زیادی انجام شود چرا که فلورید با غلظت بالای ۱/۷ میلی‌گرم در لیتر اثر مسموم‌کنندگی دارد (Fawell J et al., 2006).

۱-۶-۲-۴- فلزات سنگین و عناصر کمیاب

از نظر شیمیایی به فلزاتی که جرم مخصوص (دانسیته) آنها بیش از ۵ گرم بر سانتی متر مکعب باشد فلزسنگین گویند. از نظر بیولوژیکی فلز سنگین به عناصری هستند که دارای خاصیت سمی در محیط زیست می‌باشند. ارگانسیم‌های زنده برای ادامه رشد و بقا به مقادیر بسیار کمی از فلزات سنگین نیاز دارند که در اصطلاح به آنها عناصر کمیاب Trace Elements می‌گویند. اگر مقدار این عناصر از حداقل مقدار مورد نیاز و ضروری

افزایش یابند باعث اخلال در رشد می‌گردند. برخی از این عناصر نه تنها برای حیات بیولوژیکی ضروری نیستند بلکه بسیار هم خاصیت سمی دارند که جیوه، سرب و کادمیم از این دسته اند (هادی زاده و همکاران ۱۳۸۸).

عناصر معدنی غیر سمی شامل آهن (Fe)، مس (Cu)، روی (Zn) و منگنز (Mn) و عناصر معدنی سمی شامل آنتیموان (Sb)، آرسنیک (As)، باریم (Ba)، بر (B)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، سرب (Pb)، جیوه (Hg)، سلنیوم (Se)، مولیبدن (Mo)، نیکل (Ni)، سیانور (CN) و وانادیوم (V) است.

عناصر کمیاب و فلزات سنگین در نتیجه فعالیت‌های انسانی و برخی عوامل طبیعی به محیط زیست وارد می‌شوند و افراد نیز از طرق مختلف در معرض آن قرار می‌گیرند (Wilson et al., 2007). دفع و استفاده مجدد از فاضلاب‌ها و پساب‌های شهری و کشاورزی و صنعتی یکی از مهمترین راه‌های ورود این عناصر به محیط محسوب می‌گردد. کاربرد پساب در آبیاری اراضی کشاورزی می‌تواند تجمع عناصر مذکور را در خاک و آب‌های زیرزمینی افزایش داده و غلظت آنها را به مرز غلظت‌های سمی برای گیاهان و یا آلودگی آب برساند. (Mapanda et al., 2005, Farhood et al., 2001).

۱-۶-۲-۱- عناصر معدنی غیر سمی

۱-۶-۲-۱- آهن (Fe)

آهن به عنوان یک عنصر، آلوده کننده اصلی محیط زیست بشمار نمی‌آید. کمبود آن باعث کم خونی می‌شود. در عین حال ورود بیش از اندازه آهن به بدن باعث ایجاد بیماری‌های عدیده ای می‌شود. برای مثال آهن اضافی در بافت‌های انسان تجمع یافته و بیماری هموسیدروسیس را به وجود می‌آورد. این تجمع در اندام‌هایی چون کبد، قلب، تیروئید، لوزالمعده و شش‌ها می‌تواند بسیار خطرناک باشد (Hoo et al., 2004). طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی آهن موجود در آب‌های شرب از نظر بهداشتی مشکل‌زا نیست و فقط در غلظت‌های بالاتر از ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر باعث لکه دار شدن البسه و ظروف بهداشتی می‌شود. براساس استاندارد آب آشامیدنی ایران بیشینه مجاز آهن در آب آشامیدنی ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است.

۱-۶-۲-۱- مس (Cu)

در سال ۱۹۹۶ سازمان بهداشت جهانی در همکاری با آژانس برنامه بین المللی ایمنی شیمیایی به این نتیجه رسید که اثرات کمبود دریافت مس بسیار خطرناک‌تر از ازدیاد دریافت آن است. مس قادر است قارچ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌های تهدیدکننده ی سلامتی شامل ارگانسیم‌های موجود در آب را از بین ببرد.

مسمومیت با مس باعث کم خونی و ریزش مو در خانم‌ها می‌شود. مقدار بالای مس با عنصر روی که برای ساخت آنزیم‌های گوارشی لازم است تداخل می‌کند. مسمومیت با مس در کودکان با بیش فعالی، اختلالات یادگیری مانند اختلال خواندن و نوشتن، اختلال نقص توجه و عفونت گوش در ارتباط است. بیماری ویلسون

بیماری است که موجب تجمع مس در بافت‌ها می‌شود و به دنبال آن آسیب‌های زیادی در بافت‌ها ایجاد می‌گردد. در صورتی که مس بیش از ۱ میلی‌گرم در لیتر در آب وجود داشته باشد باعث لکه دار شدن لباس و ظروف بهداشتی می‌شود و در غلظت‌های بیش از ۵ میلی‌گرم در لیتر ایجاد رنگ و طعم تند نامطلوب می‌کند. براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی و استاندارد آب آشامیدنی ایران بیشینه مجاز این عنصر در آب آشامیدنی ۲ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است.

۱-۶-۲-۴-۱-۳- روی (Zn)

روی فلزی نرم به رنگ سفید مایل به آبی است. این عنصر طعم نامطلوب تلخ و گزنده‌ای به آب می‌دهد. روی یک عنصر اساسی و مهم برای حیات می‌باشد و در ساختمان بسیاری از آنزیم‌ها و هورمون‌ها دخالت دارد با این حال مصرف مقادیر بیش از حد مجاز آن، علائمی چون سر درد، حالت تهوع، از دست دادن آب بدن، درد در ناحیه شکم، استفراغ و سرگیجه را به دنبال خواهد داشت. این فلز بر سیستم تناسلی مردان اثر کرده و موجب عقیمی در مردان می‌شود و در غلظت بالا، در پروستات، استخوان، عضله و کبد پیدا شده است. نیمه عمر روی باقیمانده در بدن انسان، یک سال است. به‌طور کلی بسیاری از املاح روی، سمی هستند و از میان آن‌ها می‌توان به کلرور روی، اکسید روی، سولفات روی و کرومات روی اشاره نمود (Aziz, 2008). براساس استاندارد آب آشامیدنی ایران بیشینه مجاز این عنصر در آب آشامیدنی ۳ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است.

۱-۶-۲-۴-۱-۴- منگنز (Mn)

منگنز به مقدار کم نسبتاً عنصر زیان آور محسوب می‌شود. منگنز، ماده غذایی است که وجود آن به مقدار کم برای تمامی گونه‌های حیات، ضروری می‌باشد. منگنز به میزان بسیار کمی مورد نیاز گیاه است و در صورت زیاد شدن میزان آن در خاک، بر روی گیاه اثر مسموم کننده خواهد داشت. جذب بیش از حد منگنز می‌تواند منجر به تولید اثرات سمی شود. کلسیم، مس، آهن، منیزیم و روی برای جذب در روده کوچک با منگنز رقابت می‌کنند. جذب بیش از حد هر کدام از اینها می‌تواند باعث کاهش جذب بقیه شود. علائم ناشی از آلودگی شامل مشکلات تنفسی و سکسکه، التهاب ریه‌ها، ذات الریه، تنگی نفس، آنفولانزا، احساس خستگی، علائم ناشی از آلودگی به عنصر، فلج شدن اعضا بدن همراه با رعشه، می‌باشد. اگر زمان تماس با منگنز زیاد باشد بیمار دچار مشکلات ذهنی، جسمی و گرفتگی‌های عضلانی شبیه به پارکینسن می‌گردد که از آثار آن می‌توان به مشکل در راه رفتن، بی‌ثباتی موقت، تغییر حالت چهره و رعشه اشاره نمود. همچنین مصرف بیش از حد منگنز می‌تواند باعث کم خونی فقر آهن و تومور لوزالمعده در مردها شود (هادی زاده و همکاران ۱۳۸۸). براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی و استاندارد آب آشامیدنی ایران بیشینه مجاز این عنصر در آب آشامیدنی ۰/۴ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است.

۱-۶-۲-۴-۲- عناصر معدنی سمی**۱-۶-۲-۴-۱- آرسنیک (As)**

آرسنیک به‌طور طبیعی به مقدار کم در زمین وجود دارد. آرسنیک در خاک و کانی‌ها وجود دارد و می‌تواند از طریق گرد و غبار یا رواناب، وارد هوا و آب هم شود. مقدار آن بستگی به زمین‌شناسی محل جریان آب دارد. آرسنیک در محیط به دو صورت ۵ و ۳ ظرفیتی دیده می‌شود که نوع ۳ ظرفیتی آن مسموم کننده خطرناکی است (Ormeland et al., 2003). آرسنیک یک ماده تجمعی در بدن می‌باشد و پس از ورود به بدن به سختی دفع می‌شود، لذا با تجمع در بدن موجودات آبی و مصرف این موجودات توسط انسان خود به خود وارد بدن شده و مسمومیت ایجاد می‌کند (Huntsman et al., 2006). براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی و استاندارد آب آشامیدنی ایران بیشینه مجاز این عنصر در آب آشامیدنی ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است.

۱-۶-۲-۴-۱- بر (B)

ترکیبات بر در تولید شیشه، صابون و مواد شوینده و به عنوان بازدارنده شعله استفاده می‌شود. به طور طبیعی حضور بر در آب‌های زیرزمینی طی فرآیند آبشویی از سنگ و خاک‌های حاوی براتس و بروسیلیکات است (WHO 2011). بر در آب‌های زیرزمینی بطور طبیعی وجود دارد، اما بدلیل تخلیه بیشتر فاضلاب درون رودخانه‌ها مقدار این عنصر در آب‌های سطحی بیشتر است. این عنصر به صورت پربورات در پاک کننده‌های خانگی وجود دارد لذا وارد فاضلاب می‌گردد (رحیمی و همکاران ۱۳۸۸). مسمومیت بر (B) بیشتر از طریق جذب بوسیله آب و غذای آلوده در انسان رخ می‌دهد (Zheng et al., 2007). مقادیر زیاد عنصر بر در انسان اثرات سوء، همانند تأثیر منفی بر دستگاه تناسلی مردان و ایجاد تومورهای بدخیم در آن‌ها ایجاد می‌کند. بر اساس استاندارد آب آشامیدنی ایران مقدار مجاز این عنصر در آب آشامیدنی ۰/۰۷ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است. در سال ۲۰۰۹ مقدار مجاز بر، براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی از ۰/۵ به ۲/۴ میلی‌گرم در لیتر تغییر کرد.

۱-۶-۲-۴-۱- باریم (Ba)

بهداشت جهانی و استاندارد آب آشامیدنی ایران مقدار مجاز این عنصر در آب آشامیدنی ۰/۰۷ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است.

۱-۶-۲-۴-۱-۷- سرب (Pb)

سرب یکی از چهار فلزی است که بیشترین عوارض را بر روی سلامتی انسان دارد. اختلال بیوستتز هموگلوبین و کم‌خونی، افزایش فشار خون، آسیب به کلیه، سقط جنین و نارسایی نوزاد، اختلال سیستم عصبی، آسیب به مغز، ناباروری مردان، کاهش قدرت یادگیری و اختلالات رفتاری در کودکان از عوارض منفی افزایش غلظت سرب در بدن است. مختل شدن عملکرد فیتوپلانکتون‌ها به عنوان یکی از منابع مهم تولید اکسیژن در دریاها و در نتیجه بر هم خوردن تعادل جهانی موجودات آبی از مهم‌ترین عوارض نامطلوب حضور سرب در اکوسیستم‌های آبی است (مر و همکاران، ۱۳۷۵). براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی و استاندارد آب آشامیدنی ایران مقدار مجاز این عنصر در آب آشامیدنی ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است.

۱-۶-۲-۴-۱-۸- سیانید (CN)

سیانید در برخی غذاها یافت می‌شود. در برخی از کشورهای در حال توسعه سیانید گاهی در آب آشامیدنی یافت می‌شود، اما معمولاً فقط در غلظت بسیار کم است. در مواردی که غلظت سیانید در منابع آب شرب به خصوص منابع آب سطحی قابل توجه می‌باشد، و اغلب در ارتباط با رها سازی حجم بالای از سیانید توسط صنعت در این منابع می‌باشد. سیانید به طور طبیعی بسیار سمی است (WHO 2011). سیانور به صورت سیانید هیدروژن و یا اسید سیانیدریک در مقایسه با یون آن به مراتب سمی‌تر است. سیانور و ترکیبات آن فقط در آب‌های صنعتی و معدنی که از آن استفاده می‌کنند وجود دارد که عمدتاً در پسابها و باطله‌های صنعتی و معدنی یافت می‌شود. منابع اصلی انتشار ترکیبات سیانور در محیط به صورت تخلیه پساب و باطله شامل صنایع فرآوری و استحصال طلا و نقره، صنایع تکمیلی فلزات (عملیات حرارتی)، کارخانجات تولید آهن و فولاد، صنایع شیمی آلی و پتروشیمی می‌باشد. ترکیبات سیانور جزء ترکیبات سمی در آب هستند که با نوشیدن آب دارای بیش از حد مجاز سیانید می‌توانند بیماریهای عصبی، روانی و تیروئید در انسان ایجاد کنند (مرات ۱۳۸۸). بر اساس استانداردهای اولیه جهانی آب آشامیدنی و آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA)، حداکثر مجاز میزان سیانید در آب، ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر است.

۱-۶-۳- آلودگی میکروبی

باکتری‌ها، انگل‌ها و ویروس‌ها باعث آلودگی آب می‌شوند (Bilton, 2005).

عوامل مهم باکتریائی عبارتند از:

Acinotobacter, *Aromonas*, *Arcobacter*, *Campylobacter*, *Cynobacteria*, *Escherichia coli*, *Helicobacter Pylori*, *Flavobacterium*, *Kelibsiella*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Staphylococcus*, *Legionella*, *Mycobacterium avium complex*, *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio cholerae*, *Yersinia*.

عوامل مهم انگلی عبارتند از:

Acanthamoeba, spp, *Balantidium coli*, *Cryptosporidium spp*, *Cayetanensi*, *Entamoeba histolytica*, *Giardia duodenalis*, *Naegleria fowleri*, *Toxoplasma gondii*.

عوامل مهم ویروسی عبارتند از :

Adenovirus, *Astrovirus*, *Enterovirus (poliovirus, coxsackievirus, echovirus)*, *Hepatitis A, virus (HAV)*, *Hepatitis E*, *Norovirus and sapovirusrotavirus*.

مبحث اصلی مطالعات کیفیت سنجی میکرو بیولوژیکی آب‌های زیرزمینی، خطرات سلامتی ناشی از آلاینده‌های مدفوعی می‌باشد (EPA, 2000). به طوری که دفع نادرست فاضلاب‌ها و لجن‌های شهری و عدم تصفیه اولیه قبل از دفع آن‌ها به زمین، خطر بالقوه آلودگی میکروبی آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد (Udoyara and Mostaghimi, 1991). متنوع‌ترین و مهمترین مواد میکروبی موجود در آب باکتری‌ها می‌باشند. وجود باکتری‌های کلی‌فرم نشانگر متاثر بودن آب زیرزمینی از آب‌های سطحی یا فعالیت‌های سطحی می‌باشد، زیرا منشأ، کلی‌فرم‌ها در روی سطح زمین می‌باشد (Rees, 1993). معروفترین و سردسته باکتری‌های موجود در مدفوع اشرشیاکلی و کلی‌فرم‌ها می‌باشند که زودتر از باکتری‌های دیگر شناخته می‌شوند. کلی‌فرم‌ها و اشرشیاکلی از نوع باکتری‌های هستند که حضور آن‌ها در آب‌های زیرزمینی می‌تواند دلیلی بر آلودگی آب با فاضلاب‌های انسانی و حیوانی باشد (ICMSF, 1998). وجود کلی‌فرم معیاری برای انجام عملیات گندزدائی آب شناسایی شده است. از آنجائی که طول عمر باکتری‌های اشرشیاکلی در خارج از بدن انسان و بسیاری از جانداران دیگر تنها به مدت ۲۱ روز ادامه می‌یابد، لذا از آن‌ها می‌توان به عنوان شاخص‌ای در تعیین آلودگی‌های تازه ناشی از فاضلاب‌ها استفاده نمود.

کلی‌فرم‌ها به عنوان شاخص میکروبی مناسبی برای نشان دادن آلودگی مدفوعی در نمونه‌های آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله ویژگی‌هایی که باعث شده این گروه از باکتری‌ها به عنوان شاخص میکروبی برای نشان دادن آلودگی مدفوعی آب مورد استفاده قرار گیرند عبارتند از:

- زیستگاه طبیعی آن‌ها در دستگاه گوارشی حیوانات خونگرم است لذا در مدفوع به تعداد زیاد حضور دارند.

- دوام آن‌ها در آب بیش از باکتری‌های بیماریزای روده‌ای است که این باعث می‌شود هر گاه باکتری‌های بیماریزای روده‌ای در آب حضور دارند کلی‌فرم‌ها هم وجود داشته باشند.

- در آب تکثیر قابل توجهی ندارند زیرا زیستگاه طبیعی آن‌ها آب نیست بنابراین تعداد نسبی آن‌ها نسبت آلودگی مدفوعی در نمونه‌ای مختلف آب را نشان خواهد داد.

- کشت، شمارش و جداسازی آن‌ها در آزمایشگاه ساده‌تر از باکتری‌های بیماری‌زای روده ای است. با این وجود با گذشت زمان مشخص شد که همه باکتری‌هایی که در گروه کلی‌فرم‌ها قرار می‌گیرند منشأ مدفوعی ندارند بلکه برخی منشأیی غیر از مدفوع مثلاً از خاک دارند. بنابراین زیرگروهی در گروه کلی‌فرم‌ها تعریف شد که منشأ آن‌ها فقط از مدفوع بود و از زیستگاه‌های دیگر منشأ نداشتند، و آن‌ها را کلی‌فرم‌های مدفوعی (Fecal coliforms) نامیدند. مجموعه کلی‌فرم‌ها (شامل مدفوعی و غیرمدفوعی) نیز کل کلی‌فرم‌ها (Total coliforms) می‌گویند.

از تمام باکتری‌هایی که در آبها یافت می‌شوند تنها تعداد کمی برای سلامتی انسان مضر می‌باشند و از آنجا که شناخت باکتری‌های بیماری‌زا از باکتری‌های بی‌ضرر نیاز به آزمایش‌های دقیق دارد و از سوی دیگر وجود یک باکتری حتی اگر خطرناک نباشد می‌تواند نشانه‌ها دهنده وجود باکتری‌های دیگر و از آن جمله باکتری‌ها و یا میکروب‌های بیماری‌زا باشد لذا در آب مورد استفاده برای آبرسانی باید تعداد موجودات ذره بینی بی‌ضرر نیز از حد معینی بیشتر نگردد. به عبارت دیگر وجود تعداد زیادی باکتری در آب احتمال وجود باکتری‌های بیماری‌زا از قبیل میکروب‌های بیماری‌زایی مانند حصبه و وبا را نیز بالا می‌برد. آب‌های که با مدفوع انسان و یا حیوان آلوده می‌گردند ممکن است دارای باکتری‌هایی باشند که موجب بیماری‌های روده‌ای مانند اسهال خونی و تب روده و نظایر آن شوند. اگر در آب محیط مناسبی برای رشد این باکتری‌ها نباشد در برابر نور خورشید و جریان آب و در نتیجه یک تصفیه طبیعی کم کم از بین می‌روند. تعداد بیشینه محتمل کلی‌فرم (Coliform MPN) شاخص مفیدی برای میزان باکتری‌های نمونه آب می‌باشد. آلودگی میکروبی برحسب تعداد MPN به صورت ذیل تقسیم بندی می‌گردند.

صفر تا ۲: آب پاک

کمتر از ۱۰: آب خوب

کمتر از ۱۰۰: آب مشکوک

کمتر از ۱۰۰۰: آب آلوده

کمتر از ۱۰۰۰۰: آب خیلی آلوده

شایان ذکر است در هر گرم مدفوع حدود ۵۰ میلیون کلی‌فرم و در فاضلاب خانگی تصفیه نشده بیش از ۳ میلیون کلی‌فرم در ۱۰۰ میلی‌گرم وجود دارد.

به منظور بیان وضعیت کلی میکروبی آب از پارامتر کیفی Hetrotrophic Plate Count (HPC) استفاده می‌شود که تخمینی از تعداد کل باکتری‌های موجود در آب است (Aksu and Vural 2004; EPA 2004).

HPC به عنوان شاخص مناسبی به منظور تعیین آلودگی آب زیرزمینی ناشی از تاثیر فاضلاب‌ها شناخته نشده است (Paul et al., 2004). حضور کلی‌فرم‌ها در آب زیرزمینی می‌تواند بیانگر حضور دیگر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا بوده و حاکی از آلودگی آن توسط فاضلاب‌های شهری باشد (Hosetti and Kumar, 2002).

باکتری‌های هتروتروف باکتری‌هایی هستند که منبع کربن آنها منحصراً از کربن آلی تأمین می‌شود. این باکتری‌ها شامل باکتری‌های هوازی و بی‌هوازی اختیاری هستند. در این گروه باکتری‌های غیر بیماری‌زا و بعضاً فرصت طلب (مانند سودوموناس) و بیماری‌زا (*Escherichia coli* و *Aromonas*) وجود دارند و اغلب آنها گرم منفی می‌باشند.

ازسوی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا بیشینه مجاز HPC برای پیشنهاد و اعلام نشده است زیرا نمی‌توان بیشینه مجازی (غیر از صفر) در نظر گرفت که اثرات سو بر سلامت نداشته باشد چون HPC شامل هر دو دسته باکتری‌های بیماری‌زا و بی‌ضرر می‌شود. آب با هر سطح از HPC ممکن است شامل تعداد زیاد، کم و یا عاری از پاتوژن باشد.

۱-۱-۶-۱-۱- شاخص‌های مدفوعی آلودگی آب

۱-۱-۶-۱-۱-۱- کل کلی‌فرم‌ها (TC) Total Coliform

باکتری‌های میله‌ای گرم منفی هستند که هوازی و بی‌هوازی اختیاری بوده، اسپور تولید نمی‌کنند و قادرند قند لاکتوز را در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد در بیشینه ۴۸ ساعت تخمیر کرده و گاز تولید کنند. کلی‌فرم‌ها شامل گونه‌های مختلف: *Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Hafnia*, *Yersinia* & *Serratia* می‌باشد.

۱-۱-۶-۱-۲-۱- کلی‌فرم‌های مدفوعی (FC) Faecal Coliform

کلی‌فرم‌هایی هستند که قادرند قند لاکتوز را در دمای ۴۴/۵ درجه سانتی‌گراد در مدت ۲۴ ساعت تخمیر کنند. از مهم‌ترین کلی‌فرم‌های مدفوعی می‌توان به *Escherichia coli*، *Klebsiella Pneumoniae* اشاره کرد.

۱-۱-۶-۱-۳-۱- استرپتوکوک‌های مدفوعی (FS) Faecal Stroptococci

این باکتری‌ها بی‌حرکت، بدون اسپور و معدودی دارای کپسول هستند. دمای رشد آنها بین ۱۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد بسته به گونه متغیر است. استرپتوکوک‌های مدفوعی به آن دسته از استرپتوکوک‌ها اطلاق می‌شود که عموماً در مدفوع انسان و حیوانات وجود دارند این گروه شامل *E. faecalis*, *S. bovis*، *S. equinus* & *S. avium* هستند. این میکروارگانیسم‌ها عموماً در دستگاه گوارش انسان و حیوانات

زندگی می‌کنند و به ندرت در آب تکثیر یافته و همچنین مقاومتر از اشرشیاکلی و سایر کلی‌فرم‌ها هستند. دسته‌ای از آنها به نام انتروکوک‌ها (*E. faecalis* & *E. faecium*) می‌توانند به عنوان شاخصی برای ردیابی ویروس‌ها در لجن و آب دریا به کار بروند. با داشتن نسبت کلی‌فرم مدفوعی به استرپتوکوک مدفوعی می‌توانیم منشاء آلودگی آب را پیدا کنیم.

اگر $FC/FS > 4$ باشد منشاء آلودگی انسانی است.

اگر $FC/FS < 0.7$ باشد منشاء آلودگی کود حیوانی است.

۱-۷- پیشینه موضوع و مروری بر منابع

کاربرد فاضلاب‌های خام و تصفیه شده در کشورهای مختلف جهان از دیر باز رواج داشته است. از اواسط قرن نوزدهم و آغاز آلودگی‌های باکتریایی در منابع آب سطحی کشورهای صنعتی (به ویژه اروپا و ایالات متحده) که مسایل بهداشتی گسترده ای را به همراه داشت، به تدریج تأسیس تصفیه خانه‌های فاضلاب مختلف در مناطق شهری توسعه یافت. گرچه از قرن ۱۹ استفاده از فاضلاب در کشاورزی رواج داشته است ولی تا اوایل قرن بیستم این کار تابع هیچ مقرراتی نبوده است. از آن زمان به علت مشخص شدن اثرات بیماری زائی فاضلاب، استفاده از آن در کشاورزی طبق دستورالعمل‌های محدودکننده‌ای صورت گرفته است. اولین استاندارد تصفیه و استفاده مجدد از پساب در ایالت کالیفرنیا در سال ۱۹۱۸ وضع شد و طبق آن استفاده از پساب حاصل از تصفیه اولیه جهت آبیاری کشاورزی مجاز شمرده شد. بعداً سازمان بهداشت جهانی^۵ پس از سال‌ها مطالعه و تحقیق گزارشی در این رابطه منتشر کرد و برای مصارف مختلف پساب کمینه تصفیه لازم را تعیین نمود. در سال ۱۹۸۹ استانداردهای بازمینی شده سازمان بهداشت جهانی تحت عنوان "راهنمای بهداشتی کاربرد فاضلاب در کشاورزی و آبیاری پروری" (Mara and Carincross, 1989) منتشر شد. سپس سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)^۶ و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا^۷ و آکادمی ملی علوم آمریکا^۸ و نیز در این مورد مطالعاتی انجام داده و استانداردهایی را برای استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده جهت آبیاری در کشاورزی تدوین و منتشر نموده اند.

۱-۷-۱- مطالعات خارجی

در دنیا مطالعات گسترده ای در زمینه بررسی اثرات اجرای طرح‌های فاضلاب بر منابع آب و خاک صورت گرفته است که در ذیل به برخی از آنها پرداخته شده است:

5 : World Health Organization (WHO)

6 : Food and Agriculture Organization (FAO)

7 : US Environmental Protection Agency (EPA)

8 : National Academy of Science (NAS)

در دلتای لوبرگات بارسلونا ز Cabeza et al 2012، یکصد و شصت و شش ترکیب شامل دارو، محصولات مراقبت شخصی⁹ (PCPs)، دی اکسین‌ها، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه ای¹⁰ (PAHs)، اولویت‌های موجود در دستورالعمل 2008/105/CE و فلزات سنگین (کادمیوم، جیوه، سرب و نیکل) را که در فاضلاب تصفیه شده و آب‌های زیرزمینی در طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ اندازه گیری شده بود، بررسی نمودند. آنالیزها بروی فاضلاب تصفیه شده مرحله سوم و پس از تصفیه‌های تکمیلی اولترافیلتراسیون به روش اسمز معکوس و ضد عفونی UV، و نمونه برداری از آب‌های زیرزمینی آبخوان عمیق تحت فشار انجام شده بود. این آبخوان به روش چاه‌های تزریق با فاضلاب تصفیه شده تغذیه می‌شد. پس از تصفیه‌های پیشرفته، ۳۸ دارو، ۹ PCPs، ۹ آفت کش‌ها و ۷ PAHs اگرچه در غلظت کم در فاضلاب تصفیه شده حضور داشتند ولی این ترکیبات در آبخوان وجود نداشت که احتمالاً پس از تزریق توسط محیط آبخوان جذب شده بودند. تعدادی از مواد شیمیایی، به طور عمده ۱۰ آفت کش‌ها و ۱۰ دارو تنها در نمونه‌های آب زیرزمینی، مشاهده شدند که منشاء مختلفی غیر از فاضلاب تصفیه شده تزریق شده داشتند، احتمالاً داری منشا کشاورزی و یا فاضلاب‌های تصفیه شده ناقص بوده اند.

با مطالعه فاضلاب‌های خروجی در ایرلند Monaghan et al 2012 نشان دادند که در شهرها درصد تصفیه مقدماتی، تصفیه اولیه، تصفیه ثانویه و تصفیه ثانویه پیشرفته (همراه با کاهش مواد مغذی) در سال ۲۰۰۱ به ترتیب ۳۰٪، ۴۱٪، ۲۱٪ و ۸٪ بوده است که در سال ۲۰۰۹ این مقادیر به ۶٪، ۱٪، ۷۸٪ و ۱۵٪ تغییر یافته است. بر اساس استانداردها و دستورالعمل تصفیه فاضلاب شهری غلظت BOD، COD و TSS در فاضلاب تصفیه شده ۵۷٪ (۹۹ شهراز ۱۷۴ شهر) از حوزه بزرگ شهری، تمامی استانداردهای کیفی پساب و الزامات سازمان نظارت در سال ۲۰۰۹ رعایت نموده‌اند. به این ترتیب در سال ۲۰۰۹ در حالی که ۹۳٪ از فاضلاب شهری مورد تصفیه ثانویه (و یا پیشرفته) قرار گرفته است، تنها بیش از نیمی از فاضلاب‌های تصفیه شده به استانداردهای لازم برای کیفیت پساب دست یافته اند.

Paul et al. 2011 موانع و انگیزه‌های استفاده مجدد از فاضلاب در حومه منطقه شهری شیکاگو را بررسی نمودند و بیان نمودند که خطرات مرتبط با استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده شهری را می‌توان به سه گروه خطرات سلامت انسان‌ها، خطرات زیست بوم و خطرات زیرساختی تقسیم نمود و نشان دادند که چگونه این اطلاعات می‌تواند در تغییر سیاست‌های مدیریت آب بکار روند.

Chavez et al 2011 دره تولا که فاضلاب تصفیه نشده مکزیکوسیتی را برای آبیاری کشاورزی دریافت می‌نمود بررسی کردند. نیمی از فاضلاب دریافتی به آبخوانی نفوذ می‌کرد که آب آشامیدنی از آن استخراج می‌شد. نمونه‌هایی از فاضلاب و آب نفوذ یافته از سه منطقه از دره از لحاظ میکروارگانیسم‌ها، میکروآلوده

9: Personal care products

10: Polycyclic aromatic hydrocarbons

کننده آلی و برخی از پارامترهای اساسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به طور کلی غلظت میکروارگانیزم‌ها در آب نفوذ یافته بسیار پایین بود، اما شیوع کلی فرم مدفوعی در ۶۸٪ از نمونه‌ها، باکتریوفازها جسمی در ۳۶٪ از نمونه‌ها، گونه‌های ژیا ردیا در ۱۴٪ از نمونه‌ها و تخم کرمها در ۸٪ از نمونه‌ها بیانگر یک خطر بهداشتی بود.

Aufdenkampe et al. 2006 روش ردیاب مولکولی برای بررسی میزان و منابع آلودگی ۶۰ محل (توزیع شده در سراسر حوضه آبریز) در رودخانه ای که تامین آب آشامیدنی اغلب شهر نیویورک را به عهده داشت مورد استفاده قرار دادند و دوازده هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAH)، ۲ ماده عطری^{۱۱} (FM)، کافئین^{۱۲} (CAF)، و ۷ استروئیدها مدفوع (FS) اندازه گیری کردند. بالاترین غلظت FM، CAF، و FS در ۳ سایت، عدم تصفیه فاضلاب بزرگ مشاهده شد.

Leonard & Gilpin 2006 در بررسی اثرات محل‌های دفع فاضلاب بر روی آبهای زیرزمینی یک استراتژی مهم برای نظارت بر آب‌های زیرزمینی را شناسایی عوامل آسیب پذیری معرفی نموده اند، که سطح آب زیرزمینی بالا، خاک‌های نفوذ پذیر، تراکم زیاد چاه‌های جذبی را شامل می‌شوند. برای سایت‌های با پتانسیل آسیب پذیری بالا پیشنهاد شده است که باکتری E.coli، آمونیاک، نترات و هدایت الکتریکی را به صورت منظم چهار بار در سال اندازه گیری شود. برای نظارت بر سایت‌های با سطح آسیب پذیری کمتر توصیه می‌شود برای شناسایی از آلاینده‌های کلیدی وقتی در بالاترین غلظت خود هستند استفاده شود.

Bixio et al 2006 استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در اروپا را بررسی نمودند. در اروپا علاقه روزافزونی برای تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی با فاضلاب تصفیه شده برای جلوگیری از نفوذ شور در سفره‌های ساحلی وجود دارد. این درحالی است که دفتر WHO منطقه اروپا با توجه به خطرات بهداشتی آن در این گونه طرح‌ها مداخله و چالش‌هایی را ایجاد می‌نماید. از این گونه طرح‌ها دو طرح در مقیاس بزرگ، یکی در منطقه بارسلونا و یکی در شمال لندن، و چند طرح در مقیاس متوسط در اروپا وجود دارند.

Reeves and Patton 2005 استرول‌های فاضلاب را به عنوان شاخص آلودگی بررسی نمودند و بیان نمودند هنگامی که مواد مدفوع به به محیط‌های دریایی تخلیه می‌شوند استرول‌های آن پراکنده و رقیق می‌شوند ولی نشانگرهای زیستی آلودگی مدفوع از سایر استرول‌ها قابل تشخیص تر هستند. از تفاوت‌های استرول انسان و حیوانات می‌توان برای شناسایی منشا آلودگی استفاده کرد. آنها از شاخص Coprostanol/Epicoprostanol برای شناسایی منشاء انسانی و غیر انسانی مدفوع، و از نسبت Coprostanol/Cholesterol به منظور نشان دادن سهم منابع مختلف زیستی در میزان استرول‌های رسوبی استفاده نمودند.

¹¹ : fragrance materials

¹² : caffeine

Whitehead et al., 1999 شهر لیورپول را به عنوان یک منطقه با سابقه طولانی شهرنشینی، جهت شناسایی کیفیت آب آبخوان اصلی (ماسه سنگ شروود) از منظر اینکه آیا نشت فاضلاب به آبهای زیرزمینی آن را آلوده نموده است، بررسی نمودند. از اواخر قرن نوزدهم در لیورپول سیستم فاضلاب وجود داشته است و گسترش آن همراه با رشد شهر شده است. دوازده نمونه از محل‌های مختلف در لیورپول جمع آوری شده و برای تجزیه و تحلیل چندین شاخص آلودگی فاضلاب، از جمله ترکیب ایزوتوپ نیتروژن، شاخص‌های میکروبیولوژیکی، بر و یون‌های مهمی مانند نترات و پتاسیم آنالیز شده است. نتایج نفوذ آب شور و آلودگی گسترده آبخوان را نشان داد و اولین شواهد قطعی برای آلودگی آبهای زیرزمینی ناشی از فاضلاب در لیورپول گزارش گردید.

۱-۷-۲- مطالعات داخلی

در ایران در قرن دهم هجری، فاضلاب در حومه شهر اصفهان برای کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. در قدیم استفاده از فاضلاب عمدتاً با انگیزه حاصلخیز کردن اراضی کاربرد داشته، در صورتی که در حال حاضر کمبود آب انگیزه اصلی محسوب می‌شود. اولین تصفیه خانه شهری به روش لجن فعال و با ظرفیت ۴۸۰ مترمکعب در روز در سال ۱۳۴۰ در منطقه صاحبقرانیه ساخته شد. هم‌اکنون اغلب شهرهای بزرگ کشور دارای سامانه جمع آوری و تصفیه فاضلاب است و یا در مرحله مطالعه و یا اجرای آن می‌باشند. در حال حاضر در سطح کشور، به ویژه در حواشی شهرهای بزرگ و مراکز استان‌ها مناطق وسیعی با پساب‌ها، آب‌های برگشتی و رواناب‌های شهری آبیاری می‌شوند. در بیش‌تر مواقع این استفاده غیراصولی بوده و برای کشت سبزیجات و صیفی‌جات به کار رفته و موجب آلودگی محیط زیست، تجمع آلودگی در خاک و انتقال آن به محصولات تولیدی شده است. در ایران نیز سازمان حفاظت محیط زیست در سال ۱۳۷۳ مجموعه استاندارد خروجی فاضلاب‌ها را براساس سه محیط پذیرنده (آب سطحی، کشاورزی، آب‌های زیرزمینی) ارائه نمود و سپس معاونت نظارت راهبردی دفتر نظام فنی اجرایی و دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا در سال ۱۳۸۹ نشریه ۵۳۵ را تحت عنوان "ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها" ارائه منتشر نمود. با وجود قدمت استفاده از فاضلاب در کشور، تحقیقات در زمینه اثرات مربوط در یکی دو دهه اخیر آغاز شده است و در اغلب این بررسی‌ها به اثرات استفاده از پساب در آلودگی محصولات کشاورزی پرداخته و یا نهایتاً قشر سطحی خاک مورد ارزیابی قرار گرفته است. در کشور ارزیابی آلودگی آبخوان‌ها در اثر استفاده از فاضلاب و یا پساب تصفیه شده به ندرت بررسی شده است.

علیزاده در سال ۱۳۸۳ استفاده از آبهای غیرمتعارف (فاضلاب) در دشت مشهد را بررسی کرد نتایج نشان داد که به طور متوسط سطح آب زیرزمینی هر سال ۵۳ سانتیمتر افت داشته است. البته این افت سطح آب در تمام سطح مدل یکنواخت نبوده است. سطح آب زیرزمینی در نواحی شرق به علت تغذیه توسط چاه‌های

فاضلاب منازل، تقریباً ثابت مانده است و حتی در محدوده پیزومتر قلعه ساختمان سطح آب زیرزمینی ۹۲ سانتیمتر بالا آمده است. اما در نواحی غرب مشهد به علت احداث شبکه جمع آوری فاضلاب منازل و همچنین تخلیه زیاد توسط چاه‌ها، سطح آب زیرزمینی به طور متوسط سالانه بیش از یک متر افت نموده است. با مقایسه افت سطح آب زیرزمینی در شرق و غرب مشهد به این نتیجه می‌رسیم که احداث شبکه جمع آوری و انتقال فاضلاب شهری به تنهایی حلال مشکلات آب شرب شهر مشهد نمی‌باشد. بلکه باید همزمان با احداث شبکه فاضلاب شهری، شبکه انتقال فاضلاب تصفیه شده از تصفیه خانه‌ها به بالا دست شهر مشهد و تغذیه مصنوعی آبخوان شهر مشهد هم مد نظر قرار گیرد تا سطح آب زیرزمینی در منطقه افت نکند.

نیکبخت (۱۳۸۳) تأثیر پساب تصفیه‌خانه‌های آب شماره ۱ و ۲ اهواز بر کیفیت آب رودخانه کارون در محدوده شهر اهواز و قاضی زاده (۱۳۸۴) تأثیر فاضلاب شهر مسجد سلیمان بر کیفیت آب رودخانه تمبی را بررسی کردند.

سیدحسین میرجلیلی (۱۳۸۷) میزان غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، کروم، روی، نیکل، جیوه و سیانور) در پساب صنایع شهرک صنعتی یزد و اثرات آن بر روی آبهای زیرزمینی را بررسی و تعیین کردند. مرات (۱۳۸۸) کیفیت آبهای زیرزمینی دشت یزد-اردکان را از لحاظ مهمترین یونها و املاح محلول (معدنی) ناشی از پسابها و منابع آلودکننده صنایع فولاد بررسی کرد نتایج نشان داد که منابع آب در محدوده فولاد یزد از لحاظ عناصر سنگین فلزی (سمی)، سرب و کروم دارای بیشترین پتانسیل آلودگی و بیش از حد مجاز استانداردهای کیفی منابع آب و محیط زیست می‌باشند. محدوده فولاد آلیاژی با پتانسیل آلودگی کمتر و در آستانه آلودگی است و محدوده فولاد میبد در حال حاضر فاقد آلودگی می‌باشد. در مجموع منابع آب دشت یزد - اردکان در حد فاصل شهر یزد و میبد با این تعداد آنالیز انجام شده و ارزیابی اولیه، حداقل در آستانه آلودگی عناصر سنگین و یا کاتیونهای فلزی آنها هستند.

طباطبائی و همکاران ۱۳۸۸، تأثیر تغذیه آبخوان شهرکرد با فاضلاب و انتشار نیترات با استفاده از مدل MT3D بررسی کرد و به این نتیجه رسیدند که تغذیه مصنوعی را می‌توان یکی از بهترین راهکارهای توسعه منابع آب در دشت شهرکرد در نظر گرفت. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که تغذیه آبخوان با فاضلاب دارای نیترات غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به روش تزریق در چاه تنها موجب افزایش غلظت نیترات در محل تغذیه تا حدود ۴۰ میلی‌گرم در لیتر می‌شود و اثرات آن بعد از یکسال به بیش از شعاع یک کیلومتری نمی‌رسد.

دانش و همکاران (۱۳۸۹) کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌های شهر مشهد به منظور استفاده در کشاورزی بررسی و ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که استفاده از پساب تصفیه خانه‌های اولنگ پرکن‌آباد ۱ و ۲ در کشاورزی از

نقطه نظر پارامترهای رنگ، چربی و روغن، سدیم، بی کربنات تراکم کل کلی فرم ها و کلی فرم های مدفوعی و شاخص RSC با محدودیت شدید مواجه است. علاوه بر این با توجه به مقادیر درجه حرارت، غلظت جامدات معلق و COD پساب این تصفیه خانه‌ها در اکثر دوره‌های نمونه برداری بیشتر از مقادیر توصیه شده در استانداردها و رهنمودهای کاربرد پساب در کشاورزی بوده است.

بلالی مود و موسوی (۱۳۸۹) اثرات فلزات سنگین (آرسنیک، سرب، جیوه، کادمیم، کروم و آلومینیوم)، نیترات و سیانید در چاه‌های آب شرب، آب کشاورزی و پساب حاصل از صنایع و خانگی آب دشت مشهد را ارزیابی کردند نتایج نشان داد که آب زیرزمینی در اطراف تصفیه خانه پرکنندآباد متأثر از تصفیه خانه گردیده و آب زیرزمینی در این ناحیه قابلیت شرب و کشاورزی ندارد. با توجه به غلظت بالای جیوه و آلومینیوم در خروجی تصفیه خانه و کشف رود توصیه شده از آب‌های مذکور برای کشاورزی استفاده نشود. با توجه به مقادیر بدست آمده از ورودی‌ها و خروجی‌های تصفیه خانه پرکنند آباد به نظر می‌رسد این تصفیه خانه در پاکسازی فلزات سنگین، سیانید و نیترات ناموفق می‌باشد.

طباطبائی و همکاران (۱۳۸۹) غلظت فلزات سنگین در آب، رسوبات و گیاهان رودخانه زاینده‌رود و تاثیر صنایع در آلودگی آب رودخانه رامطالعه کردند. بررسی نتایج و استفاده از استانداردهای معتبر نشان داد که غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه زاینده رود در هیچ ایستگاهی بیشتر از حد مجاز نیست.

سبزه‌علیزاده و ناصری (۱۳۹۰) تعیین میزان غلظت فلزات سنگین (Ni, Cu, Cr, Cb, Pb) در رسوبات بستر تالاب رفیع در استان خوزستان را بررسی کردند. بررسی شاخص‌های مختلف استفاده شده در این تحقیق نشان داد که مقادیر فلزات سنگین مورد مطالعه در منطقه نسبت به مقادیر میانگین پوسسته در حد پایین‌تری هستند.

گل‌کاری و بوستانی (۱۳۹۰) تأثیر آلاینده‌های پساب تصفیه خانه فاضلاب شهر یاسوج و کارخانه قند را روی تغییرات کیفیت آب رودخانه بشار بررسی نمودند. در این تحقیق به منظور بررسی اثر این منابع آلاینده روی تغییرات کیفیت آب رودخانه بشار تعداد شش ایستگاه نمونه‌برداری در طول رودخانه تعیین شده است. در ایستگاه چهار به دلیل دریافت فاضلاب‌های شهری و صنعتی شهر یاسوج از آلودگی فلزات سنگین بالایی نسبت به دیگر ایستگاه‌ها برخوردار بوده است. بررسی‌ها نشان داده که در این ایستگاه آلودگی فلزات سنگین سرب، کادمیم و مس به دلیل دریافت پساب‌ها در محدوده شهر یاسوج در مقایسه با دیگر ایستگاه‌ها بیشتر بوده است.

بوستانی (۱۳۹۰) تأثیر آلاینده‌های فاضلاب شهرهای چرام و دهدشت را روی کیفیت آب سد کوثر ارزیابی کردند. بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق مشخص گردید که میزان غلظت کلیه فلزات سنگین (به جز جیوه) شامل آرسنیک، سرب، کادمیم، مس، نیکل در تمامی ایستگاه‌ها از استاندارد تعیین شده برای خروجی فاضلاب‌ها به آب‌های سطحی توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران کمتر بوده است.

یافته‌های تحقیق و بررسی مقادیر پارامترهای کیفی آب به خصوص غلظت اکسیژن محلول، تقاضای اکسیژن بیوشیمیایی، نیتрат و فسفات در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده که در اثر فاضلاب‌های شهر دهدشت، اولین ایستگاه که فاصله کمی از شهرها داشته است بدترین وضعیت آلودگی را داشته و در سایر ایستگاه‌ها با نزدیک شدن به مخزن سد از آلودگی آنها کاسته شده است.

از جمله مطالعاتی که در کشور به بررسی آلودگی‌های ناشی از فاضلاب بر روی منابع آبی، خاک و یا آب پرداخته اند می‌توان به مطالعات آقا رخ ۱۳۸۷، احتشامی و شریفی ۱۳۸۵، اصغری مقدم و محمودی ۱۳۸۷، جوکار نیاسر و عطائی آشتیانی ۱۳۸۵، حاصلی و مسعودی ۱۳۸۳، حسن زاده و همکاران ۱۳۸۹، حسن علی و جوان ۱۳۸۴، شاپسندزاده و همکاران ۱۳۸۳، طبری و صالحی ۱۳۸۸ عرفانی و همکاران ۱۳۸۱، کلانتری و همکاران ۱۳۹۰، مرادمند و بیگی هرچگانی ۱۳۸۸، ناصری و همکاران ۱۳۸۶، نجفی ۱۳۸۶، ندافی و همکاران ۱۳۸۴ و وارسته خانلری و جلالی ۱۳۸۶، اشاره کرد.

۱-۸- محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش منظور آبخوان مبدأ، آبخوان قم است که در آن فاضلاب شهری جمع آوری می‌شود و منظور از آبخوان مقصد آبخوان شریف آباد است که پساب تصفیه شده در آن جهت آبیاری مزارع و درختان استفاده می‌شود^{۱۳}.

۱-۹- فرضیات (سئوالات) تحقیق

به طور کلی فرض بر این است اجرای شبکه فاضلاب در آبخوان مبدأ (محل جمع آوری فاضلاب) باعث کاهش تغذیه از طریق چاه‌های جذبی به آبخوان و کاهش آلودگی آبخوان (به دلیل خروج آلاینده‌ها توسط شبکه جمع آوری فاضلاب) می‌شود این در حالی است که در آبخوان مقصد استفاده از پساب تصفیه شده باعث تغذیه آبخوان، و افزایش احتمال آلودگی آبخوان (به دلیل آلودگی احتمالی پساب مورد استفاده) می‌شود. مهمترین سوالاتی که در این تحقیق مطرح می‌شود عبارتند از:

پس از اجرای طرح جمع آوری شبکه جمع آوری فاضلاب و استفاده از پساب چه تغییراتی از لحاظ کمی و کیفی در آبخوان‌های مبدأ و مقصد صورت گرفته است؟

آیا احداث شبکه جمع آوری فاضلاب در سطح آبخوان مبدأ باعث کاهش آلودگی آبخوان گردیده است؟

آیا احداث شبکه جمع آوری فاضلاب در سطح آبخوان مبدأ باعث کاهش تغذیه آبخوان و یا افت سطح ایستابی آبخوان مبدأ گردیده است؟

عملکرد تصفیه خانه فاضلاب در تصفیه پساب با توجه به استانداردهای موجود چگونه بوده است؟

^{۱۳} برخلاف اهداف اولیه طرح، آبخوان مسیله چون متاثر از پساب نیست از لیست آبخوان‌های مقصد حذف شده است.

آیا استفاده از پساب در آبخوان مقصد باعث افزایش تغذیه آبخوان (، بالا آمدن سطح ایستابی) مقصد گردیده است؟

آیا استفاده از پساب در آبخوان مقصد باعث آلودگی آبخوان (ویا بالا آمدن سطح ایستابی) مقصد گردیده است؟

توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب تا ظرفیت نهایی طرح چه اثراتی را از لحاظ کمی و کیفی در آبخوان مبدأ در پی خواهد داشت؟

توسعه ظرفیت تصفیه خانه فاضلاب تا ظرفیت نهایی و استفاده از پساب آن چه اثراتی را از لحاظ کمی و کیفی در در آبخوان مقصد در پی خواهد داشت؟

۱-۱۰- اهداف تحقیق

این تحقیق با هدف بررسی میزان تأثیر و نقش اجرای شبکه جمع آوری فاضلاب در ارتباط با مباحث فوق و مطالب زیر انجام می‌گیرد:

- بررسی اثرات شبکه جمع آوری بر کاهش تغذیه در آبخوان مبدأ (محل جمع آوری شبکه فاضلاب).
- بررسی اثرات شبکه جمع آوری بر کاهش آلودگی در آبخوان مبدأ (محل جمع آوری شبکه فاضلاب).
- مقایسه کمی و کیفی آبخوان در محدوده‌های دارای شبکه فاضلاب و فاقد شبکه فاضلاب (بررسی ضرورت یا عدم ضرورت ادامه اجرای شبکه جمع آوری فاضلاب در مناطق مختلف شهر)
- ارزیابی عملکرد کیفی تصفیه خانه‌های فاضلاب
- بررسی اثر استفاده از پساب در تغذیه (آب برگشتی کشاورزی و یا تغذیه مصنوعی) آبخوان‌های مقصد.
- ارزیابی احتمال آلودگی آبخوان مقصد (محدوده تحت پوشش استفاده از پساب).
- بررسی اثرات اجرای کامل شبکه فاضلاب بر آبخوان‌های مبدأ و مقصد در چشم انداز طرح.
- ارائه راهکارهای مناسب جهت مدیریت بهتر مصرف پساب فاضلاب.



منابع

- Aksu, H., and Vural, A., 2004, Evaluation of microbiological risk in drinking water, Tesisat, Vol. 98, pp.120-131.
- Alley, W. M., 1993. Regional Ground-Water Quality. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Asano T., Levine A. D. 1996, Wastewater Reclamation, Recycling And Reuse: Past, Present, And Future, Wat. Sci. and Tehcnol., Vol. 33. No. 10-11, pp.1-14..
- ATSDR, Agency for Toxic substances and Disease Registry, 2004. Division of Toxicology. Clifton Road, NE, Atlanta, GA.
- Aufdenkampe A. K., Arscott D. B., Dow C. L., & Standley L. J. 2006 “Molecular tracers of soot and sewage contamination in streams supplying New York City drinking water”, J. N. Am. Benthol. Soc., 2006, 25(4):928–953.
- Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1985, Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 29, FAO, Rome, Italy. 1985.
- Aziz, H.A., Adlan, M.N., Ariffin, K.S. 2008. Heavy metals (cd, pb, Zn, Ni, Cu and Cr (III)) removal from water in Malasia: Post treatment by high quality limestone. Bioresource technology. 99: 1578- 1583.
- Bahri, A. 1999. Agricultural Reuse of Wastewater and Global Water Management, Wat. Sci. and Technol. Vol. 40, No 4-5, pp. 339-346.
- Bilftton, G., 2005. Wastewater microbiology, 3th Eds, John Wiley & Sons Inc, pp 109-151.
- Bixio D., Thoeve C., De Koning J., Joksimovic D., Savic D., Wintgens T. & Melin T. “Wastewater reuse in Europe”, Desalination 187 (2006) 89–101.
- Bouwer, H. 1978. Ground Water Hydrology. New York:McGraw-Hill. 480 pp.
- Cabeza Y., Candela L., Ronen D., Teijon G., 2012, “Monitoring the occurrence of emerging contaminants in treated wastewater and groundwater between 2008 and 2010. The Baix Llobregat (Barcelona, Spain)”, Journal of Hazardous Materials 239– 240 (2012) 32– 39.
- Chávez A., Maya C., Gibson R & Jiménez B., 2011, “The removal of microorganisms and organic micropollutants from wastewater during infiltration to aquifers after irrigation of farmland in the Tula Valley, Mexico”, Environmental Pollution/ 159 (2011) 1354-1362.
- Council of the European Union, 1998. Council Directive 98/83/EC, On the Quality of Water Intended for Human Consumption.
- Davis, S.N., and Dewiest, R.J.M., 1975, Ground water and wells, Fourth Edition, Johnson division Upon INC, USA.
- EPA, United States environmental protection agency, 1993, Wellhead Protection: a Guide for Small Communities, Office of Research and Development Office of Water, Washington, DC (EPA/625/R-93/002).
- EPA, United States environmental protection agency, 2000. RCRA Orientation Manual, U.S EPA, 278 p.
- EPA, United States environmental protection agency, 2009. Water standards and health advisories table.
- EPA. United States environmental protection agency. 2004, Guidelines for Water Reuse. Report No. EPA. 625/R-04-108.

- Farhood, M.R., Amin, S., 2001. Groundwater contamination by heavy metals in agricultural water resources of Shiraz area. International workshop in Wastewater Reuse Management. ICID-CIID. Seoul.
- Fatta, D. and Kythreotou, N. 2005, Wastewater as Valuable Water Resource - Concerns, Constraints and Requirements Related to Reclamation, Recycling and Reuse. IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance, Greece.
- Fawell J et al. 2006. Fluoride in drinking-water. London, IWA publishing, on behalf of the world health organization (WHO drinking-water quality series). http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/fluoride.
- Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water, 2014. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality - Summary Table.
- Fetter, C.W., 1990, Applied Hydrogeology, Second edition, University of Wisconsin.
- Fetter, C.W., 1999, Contaminant Hydrogeology, Edition 2, Prentice Hall Inc.
- Fetter, C.W., 2001, Applied Hydrogeology, 3rd Ed, Macmillan Publ, New York, 714 p.
- Freeze, R. A., and J. A. Cherry, 1979. Ground Water. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Goulding, K., 2000, Nitrate from arable and horticultural land, Soil and Management, Vol. 16, pp. 145-151.
- Haruvy, N. 1998. Wastewater Reuse-regional and Economic Considerations. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 23, pp.57-66.
- Hem, J.D. 1989, Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters, third edition, U.S. geological survey, water- supply paper 2254.
- Hoo, L. S., Samat, A. and Othman, M. R., 2004, 'The level of selected heavy metals (Cd, Cu, Fe, Pb, Mn and Zn) at residential area near by labu river system riverbank, malaysia', res. J. chem. and environ. 8(3), 24-29.
- Hosetti, B.B., and Kumar, A., 2002, A textbook of applied aquatic biology, Delhi: Daya Publishing House.
- Huntsman-Mapila, P., Mapila, T., Letshwenyo, M., 2006. Characterization of arsenic occurrence in the water and sediments of the Okavango delta, NW Botswana. Applied geochemistry, 21(8), 1376-91.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods), 1998, Microorganisms in foods, 6. St Edmundsbury Press, Suffolk, pp. 461-472.
- Jacks, G., Sefer, F., Hammar, M., and Letsamao, P., 1999, Tentative nitrogen budget for pit latrines- eastern Botswana, Environment Geology, Vol. 38, pp. 199-203.
- Josuma, G. et al., 1987, Groundwater contamination: Use of models in decision- making, Kluwer Academic Publisher, 178p.
- Kacaroglu, F., and Gunay, G., 1997, Groundwater nitrate pollution in alluvium aquifer, Eskisehir, Urban area and its vicinity, Turkey, Environment Geology, Vol. 31, pp.178-184.
- Karanth, K. R. 1987. Groundwater Assessment, Development and Management. Tata McGraw-Hill pub. New Dehli. India.
- Keeney, D.R., 1986, Source of nitrate to groundwater, CRC critical reviews in environment control, Vol. 6, pp. 257-304.
- Kumar, S.C., and Anderson, H.W., 1993, Nitrogen isotopes as indicators of nitrate sources in Minnesota sand plane aquifers, Groundwater, Vol. 31, pp. 260-271.
- Leonard M. & Gilpin B., 2006, "Potential impacts of on-site sewage disposal on groundwater", Institute of Environmental Science and Research.
- Lerner, D.N. and Papatolios, K.T., 1993. A simple analytical approach for predicting nitrates concentration in pumped groundwater. Groundwater, 31(3):370-376.

- Lu, Y., Tang, Ch., Chen, J., and Sakura, Y., 2007, Impact of septic tank system on local groundwater and water supply in Pearl River Delta, China: case study, *Hydrological Processes*, Vol. 22, pp. 443-450.
- Maila, Y.N., El-Nahal, I., and Al-Agha, M.R., 2004, Seasonal variation and mechanisms of groundwater nitrate pollution in the Gaza Strip, *Environment Geology*, Vol. 47, pp 84-90.
- Majudar, D., and Gupta, N., 2000, Nitrate pollution of groundwater and associated Human health disorders, *Indian, Journal Environment Health*, Vol. 42, pp. 28-39.
- Mapanda, F., Mangwayana, E.N., Nyamangara, J. and Gillera, K.E., 2005. The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 107,151-165.
- Mara D.D. and Carincross S., 1989, Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture –measures for public health protection. World Health organization, Geneva.
- Morgan K. T., Wheaton T. A., Parsons L. R., Castle W. S., 2008, “Effects of Reclaimed Municipal Waste Water on Horticultural Characteristics, Fruit Quality, and Soil and Leaf Mineral Concentration of Citrus” *HORTSCIENCE VOL. 43(2) APRIL 2008*.
- Ormeland, R.S., Stolz, J.F., 2003, The ecology of arsenic, *Science* 300.9
- Paul R. Anderson P.R. & Meng Y., 2011, “Assessing Opportunities for Municipal Wastewater Reuse in the Metropolitan Chicago Area”, Department of Chemical and Environmental Engineering Illinois Institute of Technology, Chicago.
- Paul, M., Wolf, K., Funda, K., Held, I., winter, J., Eiswirth, M., Gallert, C., and Hotzl, H., 2004. Microbiological Condition of Urban Groundwater in the Vicinity of Leaky Sewer Systems, *Acta hydrochemical hydrobiology*, Vol.32, pp. 351-360.
- Pawar, N.J., and Shaikh, I.J., 1995, Nitrate pollution of groundwater from shallow basaltic aquifers, Deccan Trap Hydrologic Province, India, *Environment Geology*, Vol. 25, pp. 197-204.
- Petakove, N.I., and Ivanove, A.V., 1970, Investigation of certain psycho physiological reaction in children suffering from methemoglobinemia, *Hyg Sanit*, Vol.35, pp. 29-32.
- Rees, T.J., 1993. Biological markers of water pollution with specific reference to glutathione conjugation, *Water Research Center, Henley*, 16 p.
- Reeves A. D., and Patton D., 2005, Faecal sterols as indicators of sewage contamination in estuarine sediments of the Tay Estuary, Scotland: an extended baseline survey”, *Hydrology and Earth System Sciences*, 9, 81–94, 2005.
- Robands, K., Worsfold, P., 2000, Cadmium. *Journal Toxicology and Analysis*, Pergam press. London, UK.
- Schwartz, F.W., and Zhang, H., 2002, *Fundamental of groundwater*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 583 p.
- Shelef, G. 1990. The Role of Wastewater Reuse in Water Resources Management in Israel. *Wat. Sci. Tech*. Vol.23, pp.:2081-2089.
- Strauss, M., 2001, *Reuse of Wastewater in Urban Agriculture*. ETC-RUAF, CTA Pub. Wageningen, Natheriands.
- Todd D.K., Mays L.W., 2005. *Groundwater Hydrology*, 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc, 656 p.
- Tchobanoglons, G., Burton, F.L. and Steasel, H.D., 2004. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. McGraw-Hill.
- Udoyara, S.T., and Mostaghimi, S., 1991. Model for predicting virus movement through soils, *Groundwater*, Vol. 29(2), pp. 251-259.
- Whitehead E., Hiscock k & Dennis P., “Evidence for sewage contamination of the Sherwood Sandstone aquifer beneath Liverpool, UK”, *Impacts of Urban Growth on*

Surface Water and Groundwater Quality (Proceedings of IUGG 99 Symposium HS5, Birmingham, July 1999). IAHS Publ. no. 259, 1999.

WHO (World Health Organization), 2011. Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth edition. 541 p

Wilson, B. and Pyatt, F.B., 2007. Heavy metal dispersion, persistence, and bioaccumulation around an ancient copper mine situated In Anglese, UK. *Ecotoxicology and Environmental safety*. 66, 224-231.

Zheng, B. H., Fu, Q., & Liu, Y. 2007. environmental problems and solutions for public drinking water sources in china. *environmental protection (Chinese)*, 381(19), 59-61.

احتشامی م. شریفی ع.، ۱۳۸۵، "ارزیابی مدل کیفی آبخوان شهرری، علوم و تکنولوژی محیط زیست"، دوره هشتم شماره ۴، زمستان ۱۳۸۵.

احمدی زاده. م.، ۱۳۷۶، سم شناسی صنعتی فلزات سنگین، نشر هزاران.

استاندارد ملی ایران. ۱۳۷۱. آب آشامیدنی - ویژگی‌های میکروبیولوژی، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، شماره ۱۰۱۱، تجدید نظر ششم، ۸ ص.

استاندارد ملی ایران. ۱۳۸۸. آب آشامیدنی - ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، شماره ۱۰۵۳، تجدید نظر پنجم، ۱۸ ص.

استاندارد ملی ایران. ۱۳۹۱. آب آشامیدنی - ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، شماره ۱۰۵۳، تجدید نظر پنجم، اصلاحیه شماره ۱، ۲ ص.

اصغری مقدم ا. و محمودی ن.، ۱۳۸۷، "تاثیر پساب‌های صنعتی شهرک مراغه بر آلودگی‌های آب زیرزمینی دشت مراغه بناب"، *مجله محیط شناسی*، شماره ۴۵، بهار ۱۳۸۷، (۱۵-۲۲).

آقا رخ ۱۳۸۷، "بررسی امکان پرورش گلها و ماهی‌های زینتی به روش اکوآپنیکس با پساب تصفیه خانه بوشهر بصورت پایلوت"، آب و فاضلاب، شماره ۶۵ - سال ۱۳۸۷، (۴۷-۵۳).

بلالی مود م.، و موسوی س. ر.، ۱۳۸۹. اثرات فلزات سنگین (آرسنیک، سرب، جیوه، کادمیم، کروم و آلومینیوم)، نیترات و سیانید در چاه‌های آب شرب، آب کشاورزی و پساب حاصل از صنایع و خانگی آب دشت مشهد، کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی.

بوستانی ف.، ۱۳۹۰، بررسی اثر آلاینده‌های فاضلاب شهرهای چرام و دهدشت روی کیفیت آب سد کوثر، کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای کهگیلویه و بویراحمد.

جوکار نیاسر و. و عطائی آشتیانی ب.، ۱۳۸۵، "مدلسازی و بررسی آلودگی به نیترات در محیط غیر اشباع تهران تلفیق روش پارامتر متمرکز و تعادل جرم"، فصل نامه علمی پژوهشی شریف، شماره سی و سوم، بهار ۱۳۸۵، (۳-۱۱).

حاصلی س. و مسعودی فر ب.، ۱۳۸۳، "تأثیرات شبکه جمع آوری فاضلاب بر آلودگی آب‌های زیر زمینی در مناطق ساحلی"، یازدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، ۱ تا ۴ دیماه، دانشگاه هرمزگان.

حسن زاده ر.، عباس نژاد ا.، حمزه ع. م.، ۱۳۸۹، "ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی محدوده شهر کرمان"، *محیط شناسی*، سال سی و ششم، شماره ۵۶، زمستان ۱۳۸۹، (۱۰۱-۱۱۰).

حسن علی ع.، و جوان م.، ۱۳۸۴، "ارزیابی پساب تصفیه شده شهری و کاربرد آن در آبیاری فضای سبز مطالعه موردی: تصفیه خانه فاضلاب شهر مرودشت"، *مجله محیط شناسی*، شماره ۳۸، زمستان ۱۳۸۴، (۲۳-۳۰).

خسروی دهکردی ا.، افیونی م.، موسوی ف.، ۱۳۸۵، "بررسی تغییرات غلظت نیترات آبهای زیرزمینی حاشیه زاینده رود در استان اصفهان"، *مجله محیط شناسی*، شماره ۳۹، تابستان ۱۳۸۵، (۳۳-۴۴).

دانش ش. و علیزاده ا.، ۱۳۸۷. کاربرد پساب در کشاورزی، فرصت‌ها و چالش‌ها، اولین همایش جایگاه آبهای بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، مشهد، ایران

دانش ش.، علیزاده ا. و قاسمی ع.، ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌ها به منظور استفاده در کشاورزی (مطالعه موردی: پساب تصفیه‌خانه‌های شهر مشهد). کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی.

درانی نژاد، م. ص.، ۱۳۸۷. ارزیابی هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی در منطقه میداود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما چیت‌سازان م.، دانشگاه شهید چمران اهواز. دانشکده علوم زمین

رحیمی ی.، میرزائی ن. و مهدوی م.، ۱۳۸۸. تصفیه فاضلاب در کشورهای در حال توسعه، تالیف دانکن مارا، انتشارات تحفه و شرکت مهندسی مشاور پارس آب تدبیر، ۲۵۷ ص.

سازمان حفاظت محیط زیست.، ۱۳۸۴، ضوابط و استانداردهای زیست محیطی، نشریه تدوین و بازنگری، تهران..

سبزه‌علیزاده س. و ناصری س.، ۱۳۹۰. بررسی و تعیین میزان غلظت فلزات سنگین (Ni, Cu, Cr, Pb) در رسوبات بستر تالاب رفیع در استان خوزستان، شورای تحقیقات شبکه‌های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان.

شاپسندزاده م.، رقیمی م.، و خادمی م.، ۱۳۸۳، "اثرات زیست محیطی توسعه شهری بر آلودگی نترات در آب‌های زیرزمینی گستره شهر گرگان"، علوم زمین، سال دوازدهم، شماره ۵۴، (۵۵-۴۸).

شاهسوندی م.، ۱۳۸۷، تاثیر فاضلاب‌های شهری بر چاه‌های آب شرب شهر قم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استادراهنما ناصری ح.، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دانشکده علوم زمین.

طباطبائی ج.، قاضی فرد ا.، و خداپرست م.، ۱۳۸۹. غلظت فلزات سنگین در آب، رسوبات و گیاهان رودخانه زاینده‌رود و تاثیر صنایع در آلودگی آب رودخانه (از اصفهان تا باغ بهادران)، کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای اصفهان.

طباطبائی س. ح.، خیاط‌خلقی م.، یارعلی ن. و لاله زاری ر.، ۱۳۸۸، بررسی تأثیر تغذیه آبخوان شهرکرد با فاضلاب و انتشار نترات با استفاده از مدل MT3D، کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای چهار محال و بختیاری.

طبری م. و صالحی آ.، ۱۳۸۸، "بررسی تاثیر آبیاری با استفاده از فاضلاب شهری بر تجمع فلزات سنگین در خاک"، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره سیزدهم، شماره چهار، زمستان ۹۰، (۵۹-۴۹)

عرفانی ع.، حق نیاغ.، علیزاده ا.، ۱۳۸۱، "تاثیر آبیاری با فاضلاب بر عملکرد و کیفیت کاهو و برخی ویژگی‌های خاک" مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ششم، شماره اول، بهار ۱۳۸۱.

قاضی زاده ن.، ۱۳۸۴. بررسی تأثیر فاضلاب شهر مسجد سلیمان بر کیفیت آب رودخانه تمبی و رهنمود جهت مدیریت کیفیت، شورای تحقیقات شبکه‌های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان.

کارآموز م. و کراچیان ر. ۱۳۹۱. برنامه ریزی و مدیریت کیفی سیستم‌های منابع آب، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۴۰۴ص.

کلانتری ن.، رحیمی م. ح.، مطوری ف.، ۱۳۹۰، بررسی بررسی کیفیت شیمیایی و میکروبی منابع آب محدوده سیاه‌منصور دزفول، مجله محیط شناسی، دانشگاه تهران سال سی و هفتم، پاییز ۱۳۹۰، شماره ۵۹، ۲۹-۴۲.

گلکاری م.، و بوستانی ف.، ۱۳۹۰. بررسی اثر آلاینده‌های پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یاسوج و کارخانه قند، گلوکز و نشاسته روی تغییرات کیفیت آب رودخانه بشار، کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای کهگیلویه و بویراحمد.

محمدی پ.، و همکاران، ؟؟، مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب‌ها برای آبیاری " گروه کار اثرات زیست محیطی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

مر. ف.، هرمزی. ا.، یعقوب پور. ع.، ۱۳۷۵، منابع معدنی از دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی، مؤسسه انتشاراتی ویژه نشر.

مرات، م.، ۱۳۸۸. بررسی اولیه کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت یزد-اردکان از لحاظ مهمترین یونها و املاح محلول (معدنی) ناشی از پسابها و منابع آلوده کننده صنایع فولاد، مجری شرکت مشاورین علم و صنعت یزد، کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه ای یزد.

مرادمند م. و بیگی هرچگانی ح.، ۱۳۸۸، "اثر آبیاری با پساب تصفیه شده شهری بر توزیع سرب و نیکل در اندام فلغل سبز و خاک"، مجله پژوهش آب ایران، سال سوم، شماره پنجم، پاییز و زمستان، ۱۳۸۸، (۶۳-۷۰).

میرجلیلی س. ح.، ۱۳۸۷. بررسی و تعیین میزان غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم کروم، روی نیکل جیوه و سیانور) در پساب صنایع شهرک صنعتی یزد و اثرات آن بر روی آبهای زیرزمینی، کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه ای یزد.

ناصری، ح. ر.، و ف. علیجانی. ۱۳۸۱. "مطالعه هیدروژئوشیمی و آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت ایذه" واحد تحقیقات و استناداردهای مهندسی آب، سازمان آب و برق خوزستان.

نجفی پ.، ۱۳۸۶، "بررسی اثر آلودگی میکروبی ناشی از آبیاری چمن با فاضلاب شهری"، محیط شناسی، سال سی و سوم، شماره ۴۴، زمستان ۱۳۸۶، ۲۷-۳۲.

ندافی ک.، واعظی ف.، فرزاد کیا م.، کمیائی طلب ع.، ۱۳۸۴، بررسی عملکرد لاگون‌های هوادهی در تصفیه فاضلاب شهر بوعلی همدان، آب و فاضلاب، شماره ۵۴- سال ۱۳۸۴، (۴۷-۵۳).

نشریه ۵۲۲، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، معاونت نظارت راهبردی دفتر نظام فنی اجرایی، دستورالعمل پایش کیفیت آب‌های سطحی، وزارت نیرو دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، ۲۲۲ ص.

نشریه ۵۳۵، ضوابط زیست محیطی استفاده از آبهای برگشتی و پساب، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور معاونت نظارت راهبردی دفتر نظام فنی اجرایی، وزارت نیرو دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، ۲۲۲ ص.

نیکبخت م.، ۱۳۸۳. بررسی تأثیر پساب تصفیه‌خانه‌های آب شماره ۱ و ۲ اهواز بر کیفیت آب رودخانه کارون (در محدوده شهر اهواز)، شورای تحقیقات شبکه‌های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان.

وارسته خانلری ز. و جلالی م.، ۱۳۸۶، "توزیع گونه‌های شیمیایی کادمیوم روی سرب در اثر کاربرد آب فاضلاب در خاک"، مجله علوم آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۱، شماره ۱، ۱۳۸۶.

هادی زاده ح.، بخشی ع.، عامل بشارتی ج.، جعفرزاده ف.، ۱۳۸۸. بررسی هیدروژئوشیمی و ژئوشیمی رسوبات کواترنر غرب مشهد (از بندگستان تا روستای کاهو) با هدف سنجش عناصر سمی موجود در خاک و آب. کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی.

هیات وزیران، ۱۳۷۳، آیین نامه جلوگیری از آلودگی آب، مصوبه شماره ۱۸۲۴۱/ت ۷۱ ه مورخ ۱۳۷۳/۳/۱۶ هیات وزیران.

- ۱-پیش گفتار..... ۱
- ۱-۱- بررسی منابع مصارف پسابها و آب‌های برگشتی..... ۲
- ۱-۱-۱- بررسی قابلیت استفاده در کشاورزی..... ۳
- ۲-۱-۱- بررسی قابلیت استفاده برای تغذیه آب‌های زیرزمینی..... ۳
- ۳-۱-۱- بررسی قابلیت استفاده در آبیاری فضای سبز..... ۴
- ۲-۱- سابقه تدوین استانداردهای پساب‌ها و آب‌های برگشتی در مصارف مختلف..... ۴
- ۳-۱- مخاطرات بهداشتی استفاده از پساب‌ها..... ۱۰
- ۴-۱- پایش..... ۱۶
- ۱-۴-۱- پایش منابع آب سطحی..... ۱۶
- ۱-۴-۱- پایش منابع آب زیر زمینی..... ۱۷
- ۵-۱- آلودگی آب..... ۱۷
- ۱-۵-۱- منابع آلاینده..... ۱۸
- ۲-۵-۱- استانداردها و رهنمودها..... ۱۹
- ۶-۱- انواع آلاینده‌ها..... ۲۰
- ۱-۶-۱- آلاینده‌های فیزیکی..... ۲۱
- ۱-۶-۱-۱- کدورت (TURBIDITY)..... ۲۱
- ۲-۱-۶-۱- اکسیژن محلول (DO)..... ۲۱
- ۳-۱-۶-۱- اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD)..... ۲۱
- ۴-۱-۶-۱- اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)..... ۲۲
- ۲-۶-۱- آلاینده‌های شیمیایی..... ۲۲
- ۱-۲-۶-۱- کل جامدات محلول (TDS)..... ۲۲
- ۲-۲-۶-۱- یون‌های اصلی..... ۲۲
- ۱-۲-۲-۶-۱- کلسیم (CA)..... ۲۲
- ۲-۲-۲-۶-۱- منیزیم (MG)..... ۲۳
- ۳-۲-۲-۶-۱- سدیم (NA)..... ۲۳

۲۳	..... (K) پتاسیم-۴-۲-۲-۶-۱
۲۳	..... (HCO ₃ & CO ₃) کربنات و بیکربنات-۵-۲-۲-۶-۱
۲۳	..... (SO ₄) سولفات-۶-۲-۲-۶-۱
۲۴	..... (CL) کلراید-۷-۲-۲-۶-۱
۲۴	..... یون‌های فرعی-۳-۲-۶-۱
۲۴	..... منابع آلاینده مواد نیتروژن دار-۱-۳-۲-۶-۱
۲۵	..... (NO ₃) نیترات-۱-۱-۳-۲-۶-۱
۲۶	..... (NO ₂) نیتريت-۲-۱-۳-۲-۶-۱
۲۶	..... (NH ₄) آمونیوم-۳-۱-۳-۲-۶-۱
۲۷	..... فسفات (PO ₄)-۲-۳-۲-۶-۱
۲۷	..... فلئور (F)-۳-۳-۲-۶-۱
۲۷	..... فلزات سنگین و عناصر کمیاب-۴-۲-۶-۱
۲۸	..... عناصر معدنی غیر سمی-۱-۴-۲-۶-۱
۲۸	..... آهن (FE)-۱-۱-۴-۲-۶-۱
۲۸	..... مس (CU)-۲-۱-۴-۲-۶-۱
۲۹	..... روی (ZN)-۳-۱-۴-۲-۶-۱
۲۹	..... منگنز (MN)-۴-۱-۴-۲-۶-۱
۳۰	..... عناصر معدنی سمی-۲-۴-۲-۶-۱
۳۰	..... آرسنیک (AS)-۱-۲-۴-۲-۶-۱
۳۰	..... بر (B)-۲-۱-۲-۴-۲-۶-۱
۳۰	..... باریم (BA)-۳-۱-۲-۴-۲-۶-۱
۳۱	..... کادمیوم (CD)-۴-۱-۲-۴-۲-۶-۱
۳۱	..... جیوه (HG)-۵-۱-۲-۴-۲-۶-۱
۳۱	..... نیکل (NI)-۶-۱-۲-۴-۲-۶-۱
۳۲	..... سرب (PB)-۷-۱-۲-۴-۲-۶-۱
۳۲	..... سیانید (CN)-۸-۱-۲-۴-۲-۶-۱

۳۲	۱-۶-۳-آلودگی میکروبی
۳۵	۱-۶-۱-۱-شاخص‌های مدفوعی آلودگی آب
۳۵	۱-۶-۱-۱-۱-کل کلی‌فرمها (TOTAL COLIFORM (TC)
۳۵	۱-۶-۱-۱-۲-کلی‌فرم‌های مدفوعی (FEACAL COLIFORM (FC)
۳۵	۱-۶-۱-۱-۳-استرپتوکوک‌های مدفوعی (FEACAL STROPTOCOCOCCI (FS)
۳۶	۱-۷-۷-پیشینه موضوع و مروری بر منابع
۳۶	۱-۷-۱-مطالعات خارجی
۳۹	۱-۷-۲-مطالعات داخلی
-۸-۱	
۴۲	۱-۹-فرضیات (سئوالات) تحقیق
۴۳	۱-۱۰-اهداف تحقیق
۵	جدول ۱-۱-رهنمودهای کیفیت آب برای آبیاری (AYERS AND WESTCOT 1985).
۶	جدول ۲-۱-رهنمودهای WHO برای کاربرد پساب (فاضلاب تصفیه شده) در کشاورزی (MARA AND CARINCROSS, 1989)
۷	جدول ۳-۱-رهنمودهای USEPA برای استفاده مجدد پساب در آبیاری (EPA 2004).
۸	جدول ۴-۱-استاندارد خروجی فاضلابها (سازمان حفاظت محیط زیست ایران ۱۳۸۴)
۱۲	جدول ۵-۱-خطرات ناشی از عناصر شیمیایی
۱۷	جدول ۶-۱-برنامه پایش کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی