

# استفاده از پساب در کشاورزی و

## مزارع آبزیان

مؤلفین :

دکتر علی الماسی

استاد دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

دکتر عبدالله درگاهی

استادیار مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت دانشگاه علوم پزشکی اردبیل

## فهرست مطالب

فصل اول

بخش اول: خصوصیات فاضلاب

بخش دوم: روش تصفیه فاضلاب

فصل دوم

بخش اول: استفاده از پساب

بخش دوم: استفاده از لجن

بخش سوم: تجربه های موردی

فصل ۳: استفاده از پساب در پرورش ماهی

فصل ۴ : استفاده از پساب در مصارف دیگر

فصل ۵ : ذخیره آب بازیافتی

فصل ۶ : استفاده مجدد از فاضلاب

واژه نامه

منابع

## بنام آفریننده قلم

### پیشگفتار

کتاب پیشرو حاصل سال ها فعالیت آموزشی و پژوهشی در حوزه منابع آب با تاکید بر توسعه پایدار و بازچرخش آب جهت استفاده در فعالیت های مختلف از جمله صنعت و زراعت می باشد. فن آوری های امروزی موجب افزایش مصرف آب و تولید فاضلاب در جوامع شده است. با توجه به اینکه منابع آب در دسترس محدود است، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده باعث حفاظت از منابع آب شده و می توان گفت بخشی از کمبود آب نیز جبران می گردد. مدیریت صحیح پساب برای کنترل آلودگی های زیست محیطی اثر مثبتی بر خاک و رشد گیاهان دارد. استفاده هدفمند مبتنی بر فن آوری های رایج در راستای ارتقاء دانش فنی مدیران و کاربران امور صنایع زراعی و کشاورزی فرصت هایی فراهم می کند تا با آمادگی و مهارت برگرفته از اصول علمی، آب ضایع شده را از جنبه های مختلف زیست محیطی، اقتصادی، بهداشتی و اجتماعی مورد توجه قرار داد. مؤلفین با احساس نیاز به برنامه ریزی همه جانبه و مدیریت صحیح در راستای بهره وری بهتر از آب کتاب "استفاده از پساب تصفیه شده در فعالیت های کشاورزی و پرورش آبزیان" را تألیف و در اختیار علاقمندان، کارشناسان، کشاورزان و پرورش دهندگان آبزیان قرار دهند. مؤلف بر این باور است تفکر جمعی از کمال و مزایای بیشتری برخوردار است. انتظار می رود اساتید، کارشناسان، فن آوران، کشاورزان و مدیران بخش شیلات و دیگر آبزیان، مؤلفین را در جهت ارتقاء هر چه بهتر از این کتاب یاری نمایند.

دکتر علی الماسی

استاد مهندسی بهداشت دانشگاه علوم پزشکی

کرمانشاه

دکتر عبدالله درگاهی

استادیار مهندسی بهداشت دانشگاه علوم

پزشکی اردبیل

# فصل اول

## بخش اول: خصوصیات فاضلاب

خصوصیات فاضلاب و کیفیت پارامترهای موجود در آن:

مقدمه

در کشورهای خشک و نیمه خشک آبهایی که مناسب است به ندرت به منابع قابل استفاده مجدد برمی گردد. همین امر طراحان را واداشته است که در اندیشه فراهم کردن منابع آب جدید باشند. منابعی که هم اقتصادی و هم در توسعه کشاورزی مؤثر باشد. افزایش جمعیت نیاز به افزایش محصولات غذایی بالا می برد. تاثیر بالقوه آبیاری در محصولات کشاورزی و ایجاد زندگی استاندارد در روستاهای فقیر در دراز مدت معلوم می شود. آبیاری کشاورزی تقریباً در ۱۷٪ کل زمینهای کشاورزی جهان انجام می شود اما تولیدات این زمینها ۳۴٪ کل زمینهای جهان است. این فعالیت بالقوه بیشتر در مناطق خشک انجام می شود مثل مناطق خاورمیانه که فقط ۳۰٪ زمینهای زیرکشت آبیاری می شود اما حدود ۷۵٪ کل تولیدات محصولات کشاورزی را دارا می باشند. در بعضی مناطق بیشتر از ۵۰٪ مواد غذایی مهم تولید می شود اما میزان تقاضا بیشتر از عرضه محصولات کشاورزی است (۱، ۲).

در جایی که منابع آب با کیفیت بالا، کم است، می بایستی به آبهای با کیفیت پایین برای استفاده در کشاورزی به خوبی توجه شود. اگرچه یک تعریف جهانی برای آب با کیفیت مرزی (پایین) وجود ندارد و بسته به مورد استفاده آن، با توجه به ویژگی های مشخص مورد مصرف، تعاریف آن متفاوت است. برای مثال آبهای شور برای استفاده در کشاورزی به عنوان آب (با کیفیت پایین) مرزی محسوب می شود و فاضلاب شهری نیز یک آب با

کیفیت مرزی است چون تهدیدی برای سلامتی محسوب می‌گردد. از نقطه نظر آبیاری هنگامی که از آب با کیفیت مرزی به جای آب با کیفیت بالا استفاده می‌کنیم نیازمند مدیریت پیچیده تر و کنترل دقیقتری می‌باشیم. استفاده از فاضلاب در کشاورزی به هنگام کاربرد در زمین های خشک و نیمه خشک نیازمند توجه ویژه ای است. هر چند این نکته قابل توجه است که در بسیاری از کشورها میزان فاضلاب در دسترس تنها سهم کوچکی از آبیاری زمین های کشاورزی را شامل می‌شود. استفاده بهینه از پساب فاضلاب باعث ذخیره آب با کیفیت بالا و استفاده از این آب جهت استفاده برای اهدافی غیر از آبیاری می‌گردد (۳، ۴). در جایی که هزینه جانبی منابع جایگزین آب با کیفیت مناسب در مناطق کم آب بالا باشد، منطقی به نظر می‌رسد که طرح استفاده از منابع آبی و زمین زراعی را یکی کنیم. استفاده مناسب از فاضلاب شهری مسایل مربوط به آلودگی آبهای سطحی را کاهش می‌دهد و نه فقط از منابع آبی محافظت می‌کند بلکه حاوی مواد مغذی جهت رشد محصولات کشاورزی است. دسترسی به پساب‌ها در نزدیکی مراکز جمعیتی تنوع کاشت محصولات را برای کشاورزان افزایش می‌دهد (۵، ۶). نیتروژن و فسفر موجود در فاضلاب شاید نیاز به کودهای تجاری را کم کند. بهتر است بازیافت پساب را همراه با جمع آوری فاضلاب، تصفیه و دفع آن در نظر بگیریم و بدین صورت طراحی سیستم فاضلابرو در زمینه انتقال پساب و روش های تصفیه می‌تواند اقتصادی شود. انتقال پساب از تصفیه خانه های فاضلابی که به طور نامناسبی مستقر شده اند تا زمین های دور کشاورزی هزینه بر است. علاوه بر آن تکنیک های تصفیه فاضلاب برای دفع پساب به آب های سطحی جهت استفاده در کشاورزی ممکن است همیشه مناسب نباشد. بسیاری از کشورها برنامه بازیافت فاضلاب را به عنوان بخشی از برنامه منابع آب در نظر می‌گیرند. در مناطق خشکتر استرالیا و آمریکا از تصفیه فاضلاب برای کشاورزی استفاده می‌شود و آب با کیفیت بالا را برای آشامیدن استفاده می‌کنند (۷-۹).

در بعضی کشورها مثل اردن و عربستان سعودی سیاست ملی آنها در جهت استفاده مجدد از پساب فاضلاب است و به پیشرفت قابل توجهی در این زمینه دست یافته اند. در چین استفاده از فاضلاب در کشاورزی به سرعت پیشرفت کرده است و از سال ۱۹۵۸ تا کنون بیش از ۱.۳۳ میلیون هکتار با پساب فاضلاب آبیاری می شود. به طور معمول پذیرفته شده که استفاده از فاضلاب برای زمین های زراعی قابل توجیه است. مثال زیر فوائد زراعتی و اقتصادی استفاده از پساب فاضلاب در آبیاری را روشن می کند (۱۰، ۱۱).

### مثال ۱ :

شهری با جمعیت ۵۰۰۰۰۰ نفر و مصرف آب ۲۰۰ لیتر در روز برای هر نفر تقریباً ۸۵ هزار متر مکعب در روز و ۳۰ میلیون متر مکعب در سال فاضلاب تولید می کنند. به فرض ۸۵٪ آن وارد فاضلابروهای عمومی شود. اگر آبیاری با راندمان خوب و کنترل شده صورت گیرد، برای کشت محصول با نیاز آبی  $5000 \text{ m}^3/\text{ha}\cdot\text{year}$  می توان مناطقی با ۶۰۰۰ هکتار را به زیر کشت برد. علاوه بر فایده اقتصادی اجرای این طرح، پساب فاضلاب کمک بسیار مؤثری از نظر حفظ حاصلخیزی خاک است زیرا به طور متوسط عناصر غذایی موجود در فاضلاب تصفیه شده می تواند به مقدار قابل توجهی نیاز غذایی گیاه را تامین کند (۱، ۲). در صورتی که:

نیترژن ۵۰ mg/L

فسفات ۱۰ mg/L

پتاسیم ۳۰ mg/L

به فرض نیاز به  $5000 \text{ m}^3/\text{ha}\cdot\text{year}$  در هر هکتار طی یک سال، مقادیر زیر به خاک تحت کشت اضافه می شود:

نیترژن ۲۵۰ kg/ha.year

فسفات ۵۰ kg/ha.year

پتاسیم ۱۵۰ kg/ha.year

بنابراین همه میزان نیتروژن و مقدار زیادی از فسفات و پتاسیم که به طور معمول برای محصولات کشاورزی مورد نیاز است، بدین ترتیب تأمین می شود. به علاوه برخی دیگر از مواد غذایی و آلی موجود در پساب فاضلاب، می تواند برای گیاه و خاک مفید باشد. اما باید توجه داشت که خطرات بهداشتی و اثرات زیست محیطی آن را به حداقل رساند (۹، ۱۲).

هدف از این اسناد فراهم کردن دستور العمل هایی است برای استفاده از فاضلاب جهت کشاورزی که با جنبه های زیست محیطی و بهداشتی مطابقت داشته باشد. فاضلاب شهری به طور عمده متشکل از آب (به میزان ۹۹.۹٪) و غلظت کمی از مواد معلق و جامدات آلی و غیر آلی محلول می باشد. مواد آلی که در فاضلاب وجود دارد عبارت اند از کربوهیدرات، لیگنین، چربی، صابون، دترجنت های مصنوعی، پروتئین و محصولات حاصل از تجزیه آنها و هم چنین مواد شیمیایی مصنوعی و طبیعی مختلف و غیره (۱۳-۱۵). جدول ۱ ترکیبات عمده فاضلاب را در سه سطح قوی، متوسط و ضعیف را نشان می دهد (۱، ۲).

جدول ۱ - ترکیبات عمده فاضلاب خانگی (۱، ۲)

غلظت (mg/L)			ترکیبات
ضعیف	متوسط	قوی	
۳۵۰	۷۰۰	۱۲۰۰	کل جامدات
۲۵۰	۵۰۰	۸۵۰	کل جامدات محلول <sup>(۱)</sup>
۱۰۰	۲۰۰	۳۵۰	جامدات معلق
۲۰	۴۰	۸۵	نیتروژن
۶	۱۰	۲۰	فسفر
۳۰	۵۰	۱۰۰	کلرید
۵۰	۱۰۰	۲۰۰	قلیائیت
۵۰	۱۰۰	۱۵۰	گریس
۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	BOD <sub>5</sub> <sup>(۲)</sup>

۱. مقدار کل کلر و مواد محلول در مواد اصلی آب باید افزایش یابد.
  ۲.  $BOD_5$ : میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در دمای  $20^{\circ}C$  و در ۵ روز برای اکسیداسیون مواد آلی در فاضلاب.
- در کشورهای خشک و نیمه خشک مصرف آب پایین و فاضلاب از نظر غلظت قوی است. به طور مثال برای کشورهای عمان و اردن مصرف سرانه آب ۹۰ لیتر در روز است و غلظت ترکیبات فاضلاب نسبتاً بالا است (۱۶) (جدول ۲).

جدول ۲ - ترکیبات فاضلاب شهری در کشور اردن (۱، ۲، ۱۷)

غلظت (mg/L)	ترکیبات
۱۱۷۰	کل جامدات محلول
۹۰۰	جامدات معلق
۱۵۰	نیتروژن (N)
۲۵	فسفر (P)
۸۵۰	قلیابیت (بر حسب کربنات کلسیم)
۹۰	سولفات ( $SO_4$ )
۷۷۰	$BOD_5$
۱۸۳۰	$COD^1$
۲۲۰	$TOC^2$

فاضلاب شهری همچنین شامل مواد غیرآلی گوناگون از منابع خانگی و صنعتی است (جدول ۳). که شامل تعدادی عناصر بالقوه سمی مثل آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب، جیوه، روی و غیره است. اگر چه غلظت هر یک از این مواد سمی به اندازه ای نیست که بر سلامت انسان تاثیر داشته باشد اما ممکن است در این سطح غلظت برای گیاهان سمی

<sup>۱</sup> اکسیژن مورد نیاز شیمیائی

<sup>۲</sup> کل کربن آلی



باشند، بنابراین برای استفاده در کشاورزی محدودیت دارند. از نقطه نظر بهداشتی در استفاده از فاضلاب، آلاینده هایی که بالاترین نگرانی را دارند میکروارگانیسم ها و ماکرو ارگانیسم های بیماریزا هستند (۱۶، ۱۸).

کرم ها، تک یاخته ها، باکتری ها و ویروس های بیماری زا ممکن است در مقادیر مختلف در فاضلاب خام شهری وجود داشته باشد (جدول ۴) و ممکن است برای مدت طولانی در محیط زنده بمانند (جدول ۵). باکتری های بیماری زای موجود در فاضلاب به میزان خیلی کمتری نسبت به باکتری های گروه کلی (که خیلی آسان تر شناسایی و شمارش می شوند) کمتر است (۱۹-۲۱).

اشرشیاکلی ها به عنوان شناساگر آلودگی مدفوعی به کار می روند و آنها می توانند به سادگی جداسازی و شناسایی می شوند، معمولاً تعداد آنها بر حسب کلیفرم های مدفوعی در صد میلی لیتر فاضلاب (FC/100 mL) بیان می شود (۲۱، ۲۲).

جدول ۳- ترکیبات شیمیایی فاضلاب شهر های اسکندریه و جیزه مصر (۲۳، ۲۴)

Giza		الکساندرا		مواد اصلی
غلظت	واحد	غلظت	واحد	
۱/۷	ds/m	۳/۰	ds/m	EC
۷/۱	-	۷/۸	-	PH
۲.۸	-	۹/۳	-	SAR
۲۰۵	mg/L	۲۴/۶	mg/L	Na <sup>+</sup>
۱۲۸	mg/L	۱/۵۴	mg/L	Ca <sup>++</sup>
۹۶	mg/L	۳/۲	mg/L	Mg
۳۵	mg/L	۱/۸	mg/L	K
۳۵۰	mg/L	۶۲	mg/L	Cl
۱۳۸	mg/L	۳۵	mg/L	SO <sub>4</sub>
-	-	۱/۱	mg/L	CO <sub>3</sub>
-	-	۶/۶	mg/L	HCO <sub>3</sub>

-	-	۲/۵	mg/L	NH <sub>4</sub>
-	-	۱۰/۱	mg/L	NO <sub>3</sub>
-	-	۸/۵	mg/L	P
۰/۷	mg/L	۰/۲	mg/L	Mn
۰/۴	mg/L	۱/۱	mg/L	Cu
۱/۴	mg/L	۰/۸	mg/L	Zn

جدول ۴- عوامل بیماری زا در فاضلاب (۲۵)

غلظت ممکن در لیتر فاضلاب شهری <sup>(۱)</sup>	انواع عوامل بیماری زا	
۵۰۰۰	انتر و ویروس ها <sup>(۲)</sup>	ویروسها:
۷۰۰۰	(۱) بیماری زا <sup>(۳)</sup>	باکتری ها:
-	(۲) سالمونلا spp	
۷۰۰۰	(۱) شیگلا spp	
۷۰۰۰	(۴) ویبریو کلرا	
۴۵۰۰	(۱) انتامبو هیستولیتیکا	پروتوزوئر ها:
۶۰۰	(۲) آسکاریس	
۳۲	کرم قلابدار <sup>(۴)</sup>	کرم ها
۱	(۳) شیستوزوما مانسونی	
۱۰	(۴) تنیا ساژیناتا	
۱۲۰	(۵) تریکوریس تریکوریا	

(۱) پایه ای (اساس) 100 lpcd در فاضلاب شهری ۹۰٪ دفع مواد بیماری زا غیر فعال

(۲) شامل: پلیومیلیت، ایکوو کوکساگی ویروسها

(۳) شامل: آنتر و توکسی ژنیک، آنتر و یس، آنتر و پاتوژنیک، اشریشاکلی

(۴) انگلستومادئودنال، نکاتور امریکن

جدول ۵: ماندگاری پاتوژن های دفعی (۲۵-۲۷)

زمان زنده ماندن بر حسب روز				انواع بیماریزاها	
در محصولات	در خاک	در آب شیرین و فاضلاب	مواجهه با خاک و فاضلاب		
<60(<15)	<100(<20)	<120(<50)	<100(<20)	انتروویروس	ویروس
<30(<15)	<70(<20)	<60(<30)	<90(<50)	(۱) کلیفرم ها	باکتریها
<30(<15)	<70(<20)	<60(<300)	<60(<30)	(۲) سالمونلا spp	
<10(<5)	-	<30(<100)	<30(<10)	(۳) شیگلا spp	
<5(<2)	<20(<10)	<30(<10)	<30(<5)	(۴) ویبریو کلرا	
<5(<2)	<20(<10)	<30(<15)	<30(<15)	کیست آنتامبا	پروتوزو
-	-	-	<30(<15)	هیستولیتیکا	ثرها
<60(<30)	خیلی	خیلی	خیلی	تخم آسکاریس	کرم ها
-	تعدادی	تعدادی	تعدادی	لیمریکودیس	

### ۳-۱ پارامترهای مربوط به اهمیت استفاده فاضلاب در کشاورزی

#### ۱-۳-۱ پارامترهای مهم از نظر بهداشت

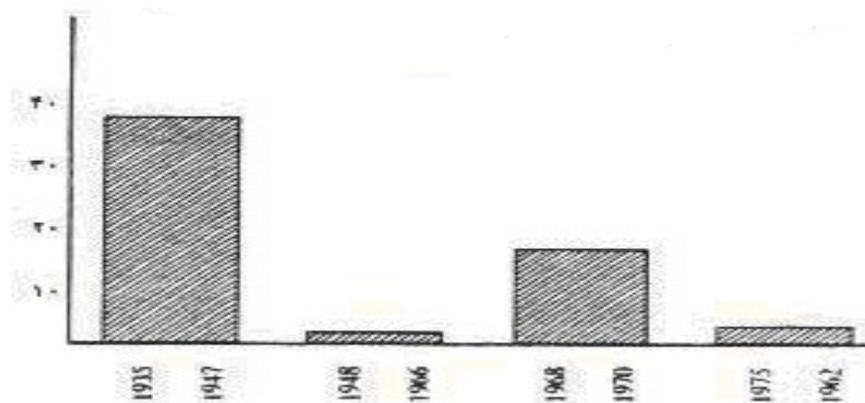
معمولا مواد آلی شیمیایی در غلظت های خیلی پایین در فاضلاب شهری وجود دارند. ورود این مواد در طولانی مدت باعث ایجاد اثرات نامطلوب بر سلامت انسان می شود. این مشکلات احتمالا در اثر استفاده از فاضلاب در کشاورزی یا کشت آبی اتفاق نمی افتد، بلکه در اثر آلوده شدن آب آشامیدنی توسط فاضلاب رخ می دهد و یا در هنگامی که کارگران کشاورزی به خوبی آموزش ندیده باشند مساله ساز می باشد (۲۸). خطرات بهداشتی مهم در ارتباط با ترکیبات شیمیایی فاضلاب مربوط به تجمع این عناصر می باشد که باعث آلودگی محصولات کشاورزی و آبهای زیرزمینی می شوند. هیلمن در سال ۱۹۸۸ نسبت به سموم تجمعی، فلزات سنگین و سرطان زا و به طور عمده مواد آلی شیمیایی توجه ویژه ای داشته است (۲۹).

دستور العمل های WHO در ارتباط با کیفیت آب آشامیدنی برای ترکیبات آلی و سمی (جدول ۶) مقادیر محدودی را در نظر گرفته است که این مقادیر بر اساس میزان جذب روزانه قابل قبول (ADI) می باشد (۳۰). این دستورالعمل ها می تواند به طور مستقیم برای حفاظت آب های زیر زمینی اتخاذ شود. اما باید از نظر تجمع احتمالی عناصر سنگین (برای مثال کادمیوم و سلنیم) در گیاهان و همچنین میزان جذب مواد سمی از طریق خوردن محصولات آبیاری شده با فاضلاب آلوده، به طور دقیق ارزیابی شود (۹، ۳۱).

جدول ۶: غلظت مواد آلی و غیر آلی در آب آشامیدنی قابل قبول از نظر آشامیدنی (۳۰)

مواد غیر آلی	مواد آلی
آرسنیک	آلدترین و دیلدترین
کادمیوم	بنزن
کروم	بنزن آپیرن
سیانید	تترا کلرید کربن
فلوراید	کلردان
سرب	کلروفرم
جیوه	2,4D
نیترات	D.D.T
سلنیم	۱ و ۲ کلرو اتان
	۱ و ۱ دی کلرو اتیلن
	هپتاکلر
	لیندان
	متوکسی کلر
	پنتاکلروفتل
	تتراکلرو اتیلن
	۲ و ۴ و ۶ تری کلرو اتیلن
	تری کلرو فنول

میکروبه‌های بیماریزا مشکلات بهداشتی ناشی از استفاده از فاضلاب در کشاورزی را افزایش می‌دهد که هنوز مطالعات اپیدمیولوژی کمی در ارتباط با گسترش بیماری‌های واگیر و استفاده عملی از فاضلاب در کشاورزی منتشر شده است. شوال و همکارانش در سال ۱۹۸۵ در ارتباط با بازیافت فاضلاب و بروز بیماری‌مدارکی را گزارش کرده‌اند (شکل ۱). ظاهراً در مناطقی از دنیا بیماری‌های کرمی توسط آسکاریس و تریکوریس SPP به صورت محلی وجود دارد. در جاهایی که فاضلاب تصفیه نشده برای آبیاری محصولات کشاورزی استفاده می‌شود و سبزیجات به طور خام مصرف می‌شوند به صورت محلی (آندمیک) ایجاد می‌شود. انتقال این عفونت‌ها در هنگام مصرف چنین محصولاتی ایجاد می‌شود (۳۲، ۳۳). مطالعه‌ای که در آلمان غربی (بوسیله شوال و همکارانش در سال ۱۹۸۶) گزارش شد مدارک بیشتری برای تایید این فرضیه فراهم ساخت و هم‌چنین شواهدی بیشتری توسط آنها در سال (۱۹۸۵ و ۱۹۸۶) در ارتباط با انتقال کلرا از مسیر مشابه بدست آمد (۳۴).



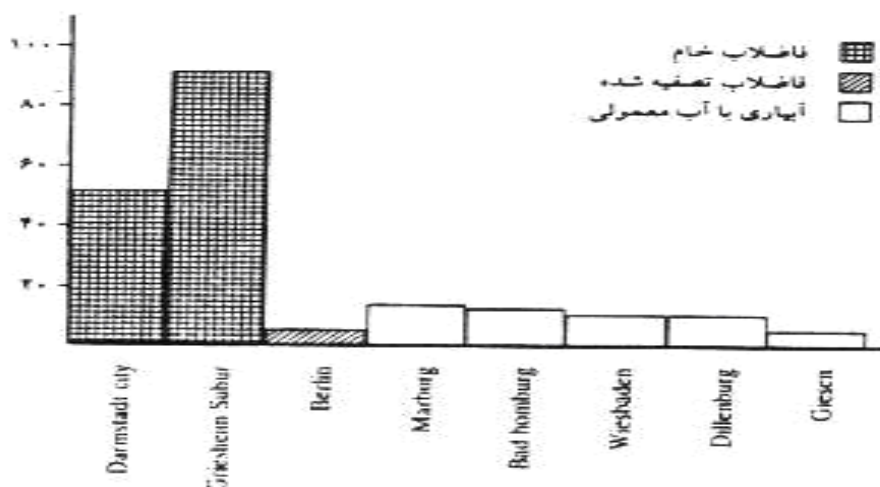
شکل ۱ - درصد آسکاریس موجود در نمونه‌های مدفوع مصرف‌کنندگان سبزیجات و

محصولات سالادی در غرب بیت المقدس (۳۴)

شیوع نمونه‌های مثبت آسکاریس در مناطق غرب بیت المقدس در زمان‌های مختلف با در نظر گرفتن مصرف سبزیجات و محصولات سالادی که برای آبیاری آنها از فاضلاب خام استفاده می‌شود (۳۴). مدارک محدودی وجود دارد مبنی بر اینکه که کرم کدوی گاو (تتیا

سازیناتا) می تواند به جمعیت مصرف کننده (از طریق گوشت گله هایی که در زمین های آبیاری شده با فاضلاب، چریده می شوند یا از محصولات این زمین های آلوده تغذیه می کنند) منتقل شود (۱۹). هر چند مدارک قوی از ملبورن استرالیا و دانمارک (گزارش شده بوسیله شوال و همکارانش در سال ۱۹۸۵) وجود دارد که گله های چریده شده در زمین هایی که با فاضلاب خام آبیاری شده اند و یا از فاضلاب خام نوشیده اند بطور شدیدی آلوده به بیماری (cysticercosis) شده اند (۳۵). مطالعاتی که در هندوستان بوسیله شوال و همکارانش در سال ۱۹۸۶ انجام شد نشان داده است که در جاهایی که کارگران مزارع در معرض فاضلاب خام قرار گرفته است در مقایسه با دیگر کارگران کشاورزی، عفونت انکیلوستوما (کرم قلابدار) و آسکاریس (نماتود) بصورت اندمیک در آمده و این دو پارازیت سطح بالایی از عفونت را نشان داده اند (۳۶).

همچنین مطالعات نشان داد که شدت عفونت آسکاریس (تعداد کرم هایی که در قسمتی از روده افراد وجود دارند) در نمونه کارگران مزارع آبیاری شده با پساب، خیلی بیشتر از نمونه شاهد می باشد. شدت اثر عفونت کرم قلابدار بر سلامت کارگران، به میزان مواجهه و مدت زمان مواجهه آنها با لارو کرم قلابدار بستگی دارد. همچنین کارگران مزارع در صورتی که آبیاری مزارعشان با فاضلاب خامی باشد که از مناطق شهری (که عفونت کلرا به صورت اپیدیمی در آمده است) آمده باشد، مستعد ابتلا به بیماری وبا می باشند (۴ و ۱۲). مطالعات سرولوژیکی و مرگ و میر کارگران تصفیه خانه فاضلاب و یا کارگران مزارع آبیاری شده به وسیله فاضلاب (که بطور مستقیم با فاضلاب یا ائروسل های فاضلاب در ارتباط هستند) بروز بیماری های ویروسی را نشان نداده اند (۳۴, ۳۷).



شکل ۲- درصد آسکاریس موجود در نمونه های مختلف شهر های آلمان بر حسب آبیاری سبزیجات با نوع آب مصرفی (۳۴)

مدارک قوی دال براینکه مردمی که در نزدیکی تصفیه خانه فاضلاب و یا مزارع آبیاری شده با فاضلاب ساکن اند عفونت پاتوزنی بیشتری (از طریق آئروسول های منتشره از فرآیند هوادهی و آبیاری قطره ای) بروز می دهند، وجود ندارد. شوال و همکارانش اظهار داشتند که در جوامعی که سطوح بالایی از ایمنی در برابر ویروس های محلی وجود دارد، مانع انتقال این ویروس ها به وسیله آبیاری با فاضلاب می شود (۳۴). سرانجام شوال و همکارانش (۱۹۸۶) در ارتباط با اثر فاضلاب کشاورزی بر سلامت، عوامل پاتوزنیک را به ترتیب اولویت، دسته بندی کردند (مثال ۲). آنها متذکر شدند که اثرات منفی بر سلامت انسان ناشی از استفاده از فاضلاب خام یا فاضلابی که به خوبی ته نشین سازی نشده است می باشد، در حالی که مدارک موجود نشان می دهد که استفاده از فاضلابی که به طور مناسبی تصفیه شده چنین مشکلاتی را ایجاد نمی کند (۳۵, ۳۸).

مثال ۲: میزان تاثیر عوامل بیماریزا بر بهداشت و سلامت (۳۸)	
خطر بالا (بیشترین عفونت را ایجاد می کند)	کرمها: انکیلوستوما، آسکاریس، تریکوریس، تنیا
خطر متوسط (عفونت کمتری ایجاد می کند)	آنتروباکتریها: ویبریو کلرا، سالمونلا تیفی شیگلا و دیگر عوامل
خطر پایین (عفونت خیلی کم ایجاد می کند)	آنتروویروس ها

### اثرات بهداشتی مربوط به استفاده مجدد فاضلاب به دو دسته تقسیم می شود (۳۹):

۱- اثرات بهداشتی ناشی از انگل ها و پاتوژن های باکتریایی و ویروسی: راههای مواجهه با عوامل عفونت زا عبارتند از: تماس مستقیم با سطوح آلوده، خوردن اتفاقی آب آلوده، مصرف سبزیجات خامی که با آب بازیابی شده آبیاری شده اند و تماس طولانی مدت با آئروسل های بیولوژیکی در نزدیکی محل های آبیاری پخشمان یا برج های خنک کننده. خطر انتقال بیماری عفونی، عمدتاً در رابطه با استفاده از فاضلاب تصفیه نشده و یا پساب های فاضلاب واجد کیفیت بسیار ضعیف می باشد، و در ملل در حال توسعه در مقایسه با کشور های صنعتی بسیار بیشتر است. این خطر بستگی به عوامل متعددی دارد که شامل نوع و دوام عامل عفونی، موجود بودن یک میزبان واسط برای برخی انگل های کرمی، نوع کاربرد مواد زائد جامد و مواجهه انسان با آن، رفتار انسان (مثلاً بهداشت فردی یا بهداشت مواد غذایی)، و ایمنی میزبان می باشد. خطر عفونت هنگام استفاده از پساب واحد های بازیابی فاضلابی که بخوبی بهره برداری شده اند، در حد زیادی کاهش می یابد. بعنوان مثال در یک واحد بازیابی در سنپترزبورگ فلوریدا، میانگین خطر کاربرد پساب برای آبیاری غیر محدود، حدود  $10^{-8}$  -  $10^{-6}$  به ازاء هریک با مواجهه با  $10^6$  میلی لیتر پساب، برآورد شده است. اقدامات تصفیه ای در این واحد شامل تصفیه بیولوژیکی، انعقاد، صافی شنی، گندزدایی (۴ میلی گرم در لیتر به مدت ۴۵ دقیقه تماس) و نگهداری در یک مخزن به مدت ۲۴-۱۶ ساعت بوده است (۲، ۱۹، ۲۶، ۴۰).



۲- مواد شیمیایی: مواد شیمیایی مطرح شامل فلزات سنگین، آفت کشها، ترکیبات کلرینه و گزنوبیوتیک های دیگر می باشد. اثرات نامطلوب این مواد شیمیایی که بسیاری از آنها جهش زا یا سرطان زا می باشند، بویژه وقتی نگران کننده است که فاضلاب بازیابی شده جهت آبیاری محصولات کشاورزی یا تغذیه آبهای زیر زمینی بکار رود (۴۱-۴۳). پارامترهایی که در زیر بیان شده از نقطه نظر بهداشتی و سلامت اهمیت دارند:

### (۱) میکروب های شاخص

الف- کلی فرمها و کلی فرمهای مدفوعی: کلی فرمها گروهی از باکتریها هستند که بطور عمده شامل انواع مهمی از گروه های سیتروباکتریها، انتروباکتر، اشرشیاکلی و کلبسیلا می باشد و از بین گروه کلی فرمهای مدفوعی، اشرشیاکلی بیشترین تعداد را دارا می باشد. تعدادی از کلی فرم ها همچنین قادرند که در خارج از روده به ویژه در آب هوای گرم رشد کنند، بنابراین شمارش آنها به عنوان یک پارامتر برای پایش سیستم بازیافت فاضلاب مناسب نیست. آزمایش کلی فرم مدفوعی همچنین شامل شمارش بعضی میکروبهای غیرمدفوعی می باشد که در درجه حرارت  $44^{\circ}\text{C}$  رشد می کنند می باشد. بنابراین شمارش *E. coli* بهترین شناساگر رضایتبخش در فاضلاب جهت استفاده در کشاورزی است (۴۰، ۴۴-۴۶).

ب- استرپتوکوک مدفوعی: این گروه میکروب ها شامل انواع مهمی که در ارتباط با حیوانات هستند می باشند، مانند (استرپتوکوک بویس، و استرپتوکوک اکوینوس) و گونه های دیگر با شیوع بیشتر مانند استرپتوکوک فکاليس و استرپتوکوکوس فاسیوم که هر دو در انسان و حیوانات وجود دارد و همچنین دو گونه حیاتی<sup>۱</sup> (مانند گونه آبی استرپتوکوک فکاليس و گونه استرپتوکوک فکاليس هیدرو لیز کننده نشاسته) که در همه جا (محیط آلوده و غیرآلوده) یافت می شوند (۴۵، ۴۷).

<sup>۱</sup> biotype

شمارش استرپتوکوک مدفوعی به عنوان یک روش ساده معمولی محسوب می شود اما شامل محدودیت های زیر است (۱, ۲, ۴۵):

- امکان حضور گونه های زیستی غیر مدفوعی، به عنوان بخشی از میکروفلورهای طبیعی در محصولات، ممکن است باعث اختلال در اندازه گیری کیفی باکتری های محصولات آبیاری شده با فاضلاب شود.
- میزان ماندگاری استرپتوکوک های مدفوعی در دمای بالا کمتر از دماهای پایین است. مطالعات بیشتر ثابت کرده اند استفاده از استرپتوکوک های مدفوعی بعنوان اندیکاتور در آب و هوای گرم به کار می روند تا ماندگاری آن ها را در مقایسه با سالمونلا به دست آید.

ج- کلستریدیوم پرفرانژ: این باکتریها انحصاراً مدفوعی، اسپوردار و بی هوازی هستند و به علت ماندگاری بالای اسپور آنها برای شناسایی آلودگی های قبلی و دوره ای آب به کار می روند. اگر چه ماندگاری بالای آن برای اهداف عادی به عنوان یک مشکل به حساب می آید، ولی ثابت شده که در مطالعات مربوط به بازیافت فاضلاب کاربری دارد. این ماندگاری بالای کلستریدیوم پرفرنژنس می تواند در ویروس ها و تخم انگل ها نیز مشاهده شود (۴۸, ۴۹).

## ۲) پاتوزن ها:

پاتوزن ها پارامترهای بیماریزایی هستند که می توانند فقط در آزمایشگاه با تسهیلات مناسب و وجود کارگران حرفه ای تعیین شوند و شامل (۱, ۲, ۵۰, ۵۱):

الف- سالمونلا spp:

گونه های مختلف سالمونلا نظیر سالمونلا تیفی و موارد دیگر ممکن است در فاضلاب خام وجود داشته باشد، که از جوامع شهری کشورهای در حال توسعه نشأت گرفته اند. دوران و همکارانش در سال ۱۹۷۷ برآورد کرده اند که تعداد ۷۰۰۰ سالمونلا و ۷۰۰۰ شیگلا و تعداد ۱۰۰۰ ویبروکلا در یک لیتر از فاضلاب شهری در مناطق استوایی وجود دارد.

شیگلا spp و ویروکلرا در محیط خیلی سریعتر از بین می روند. نابودی سالمونلا نشان دهنده نابودی اکثر باکتریهای بیماریزا می باشد.

ب- آنترروویروس ها:

بیماریهای جدی مثل پولیومیلیت و مننژیت یا بیماریهای ضعیف تری مثل عفونت دستگاه تنفسی را موجب می شوند. اگرچه مدارک اپیدمیولوژی قوی دال بر انتشار این بیماری ها از طریق سیستم آبیاری توسط فاضلاب موجود نیست، هنوز احتمال خطر برای سلامتی انسان وجود دارد. بنابراین لازم است بویژه در مناطق گرمسیر با چگونگی حذف ویروس ها بوسیله فرایندهای موجود در تصفیه و همچنین روش های جدید آشنایی حاصل شود. شمارش ویروس ها تحت شرایط آزمایشی مخصوص انجام می گیرد و نسبت به آلودگی های قارچی و باکتریایی نیاز به روش های کشت سلولی دقیق تر و حساس تری دارد.

ج- روتاویروس ها:

این ویروسهای شناخته شده عامل مشکلات گاستروآنتریتی (معدة ای- روده ای) هستند با وجود اینکه معمولاً به تعداد کمتری نسبت به آنترروویروسها در فاضلاب وجود دارند اما پایداری آنها بیشتر است. بنابراین ضروری است که خصوصیات ماندگاری آنها نسبت به آنترروویروس ها و ارگانسیم های اندیکاتور فاضلاب شناسایی شوند. ادعا شده است که حذف ویروسها در تصفیه فاضلاب به موازات حذف جامدات معلق صورت می گیرد. زیرا بسیاری از ذرات ویروسی به جامدات چسبیده و با آنها در ارتباط هستند. بنابراین اندازه گیری جامدات معلق در پساب خروجی از تصفیه خانه باید به صورت روتین انجام شود.

د- نماتودهای روده ای: آلودگی های نماتودی به ویژه آسکاریس لامبریکوئدس حلقه ای از پساب خروجی منتشر می شود. تخم های آسکاریس لامبریکوئدس تا حدودی بزرگ هستند (  $45-70\mu\text{m} \times 35-50$  ). چندین تکنیک برای شمارش نماتودها وجود دارد

(۳۷، ۵۲).