



شرکت مهندسی آب، فاضلاب و کوار

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



1178P-NWWCE

کاربرد آب خاکستری در راستای کاهش مصرف آب شرب در منازل مسکونی

سید عبدالعلی فخری^۱، مسعود نصری^۲، علی نصری^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته عمران - مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران

۲- هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان

۳- مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان، دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب دانشگاه

صنعتی اصفهان

ali.nasri.eng66@gmail.com

خلاصه

امروزه در کشورهای خشک و نیمه خشک از منابع نامتعارف آب به عنوان یک منبع پایدار و در دسترس یاد می شود و از آن برای مصارف غیر از شرب نظیر آبیاری، صنعت، پرورش آبزیان، احداث تفرجگاه ها و ... استفاده می شود. آب خاکستری به مجموعه فاضلاب تولیدی انسانی به جز فاضلاب توالت و فضولات انسانی تعریف می شود. در این راستا جداسازی آب بهداشتی از سایر منابع تولید فاضلاب علاوه بر اینکه میزان بار آلی، پاتوژن های بیماری زا و مواد مغذی را کاهش می دهد می تواند به پتانسیل در خصوص استفاده از منابع نامتعارف آب بیان شود. از طرفی تصفیه آب خاکستری نسبت به فاضلاب به مراتب به تصفیه آسان تر و انرژی و هزینه مصرفی کمتر جهت تصفیه و استفاده مجدد نیاز دارد. در این مطالعه سعی بر آن شده که منابع آب خاکستری و مزایای استفاده مجدد از آن با رویکرد صرفه جویی در مصرف آب شرب ارائه گردد، همچنین در مقاله برآورد حجم آب خاکستری برای جمعیت ۱۰۰ نفر و مقدار استحصال پساب تصفیه شده از سیستم های مختلف تصفیه آب خاکستری بیان شد.

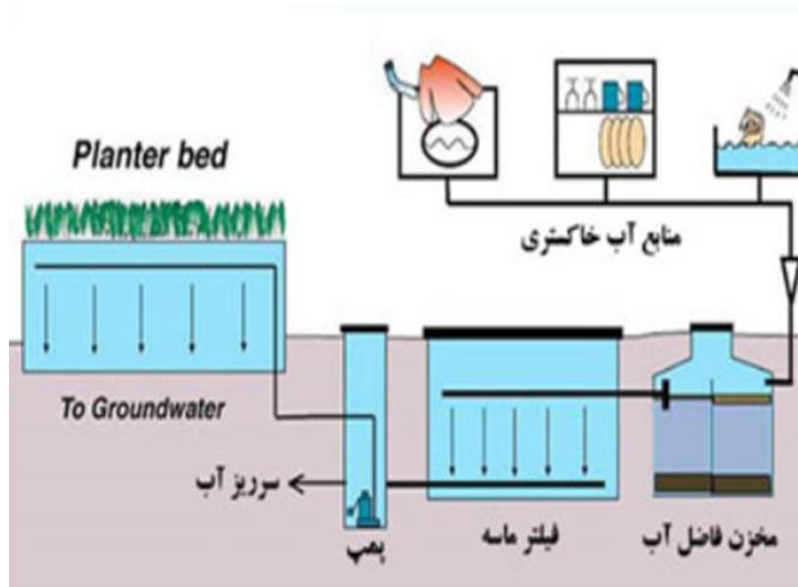
کلمات کلیدی: آب خاکستری، بحران آب، صرفه جوی مصرف آب، منابع آب نامتعارف.

۱. مقدمه

یکی از راهکارهای مهم در خصوص بهره برداری از آب های نامتعارف، بازچرخانی و استفاده مجدد از آب خاکستری می باشد که منجر به کاهش مصرف آب های سطحی و زیرزمینی می گردد. همه فاضلاب تولید شده در خانه شامل فاضلاب تولیدی آشپزخانه، حمام و ماشین لباسشویی (به جز فاضلاب توالت) را آب خاکستری می گویند که تقریباً ۵۰ تا ۸۰٪ فاضلاب شهری را تشکیل می دهد. آب خاکستری پس از تصفیه، می تواند بسته به نوع و میزان تصفیه اعمال شده، برای مصارف غیر شرب، آبیاری سطحی و زیرزمینی، لباسشویی و سرویس بهداشتی، مورد استفاده مجدد قرار گیرد [۱]. طبق آمارهای بدست آمده با اجرای این سیستم در ایران سالیانه ۲۲۵۰۰۰۰۰ مترمکعب در ماشین لباسشویی به مصرف می رسد که اگر کل این مقدار برای آبیاری مورد استفاده قرار بگیرد سالیانه ۲۲۵۰۰۰۰۰ مترمکعب در مصرف آب صرفه جویی می شود که برای کشوری که با بحران جدی آب رو به رو است بسیار ارزشمند است. علاوه بر این حجم آب کمتری وارد تصفیه خانه ها می شود که کاهش هزینه های تصفیه فاضلاب را به همراه دارد. همچنین هزینه آب مصرفی برای هر خانواده کم تر خواهد شد که افزایش درآمد خانواده را به دنبال دارد که هزینه کلی این سیستم را جبران می کند [۲].

سیستم تصفیه آب خاکستری به طور کلی از چند قسمت اصلی تشکیل شده است. ۱- سیستم جمع آوری آب خاکستری: اولین اقدام در خصوص آب خاکستری جداسازی شبکه فاضلاب توالت از سایر مسیرهای فاضلاب است. این مرحله متشکل از شیرها و لوله ها به منظور انتقال آب خاکستری به بیرون از خانه می باشد. ۲- متعادل سازی آب خاکستری و مخزن جمع آوری برای نگهداری موقت حجم قابل توجهی از آب خاکستری. ۳- سیستم ها و واحدهای مربوط به فرآیندهای تصفیه آب خاکستری از جمله آشغال گیر، انواع فیلترها، گندزدایی و ... ۴- پمپ انتقال پساب تصفیه شده آب

خاکستری برای انتقال آب خاکستری تصفیه شده از مخزن جمع آوری به مقاصد مورد استفاده است [۱]. شکل شماره (۱) دیاگرام یک سیستم آب خاکستری را نشان می دهد.



شکل ۱- دیاگرام سیستم تصفیه آب خاکستری

در این قسمت از مقدمه مروری بر ادبیات تحقیق در خصوص بازیابی آب خاکستری بیان می گردد. هشتلی و همکاران در مطالعه ای ضرورت و اهمیت استفاده از آب خاکستری را بیان نمودند. محققین بیان نمودند که تنها با مدیریت صحیح و حفظ استانداردهای زیست محیطی در مورد میزان تصفیه آن، نوع و نحوه مصرف آن میسر خواهد شد و در غیر این صورت می تواند منشا بسیاری از بیماری ها و معضلات زیست محیطی گردد [۳]. حسینی و عظیمی در پژوهشی کاربرد آب خاکستری را در خصوص آبیاری اراضی شهر نمین بررسی نمودند. در این خصوص با برآورد مقدار پتانسیل تولید آب خاکستری و انجام تصفیه مقدماتی، می توان کل ۱۰ هکتار باغ میوه شهر نمین را با فاضلاب خاکستری آبیاری نموده و هزینه انتقال و تصفیه آب شرب شهر را تا حدود زیادی کاهش [۴]. گلاسمن و همکاران در سال ۲۰۰۹ طبق تحقیقاتی که در خصوص استفاده از آب خاکستری داشتند، استاندارد کیفیت آب خاکستری چندین کشور و سازمان را جمع آوری کرده و همچنین ترکیب مواد موجود در فاضلاب های خانگی را برآورد نمودند که در جداول شماره (۱) بترتیب بیان می گردد [۵]. GWA در سال ۲۰۱۳، در خصوص بهره برداری از آب خاکستری بیان نمودند که برای داشتن سیستم های کارآمد باید از سیستم مبتنی بر نیروی ثقل زمین و بدون پمپ بهره گرفت اما در مواردی که باغچه های خانگی بر فراز تپه ای در مقایسه با جایگاه استقرار خانه ها قرار دارند آنگاه نیازمند نصب پمپ در سیستم انتقال فاضلاب خواهید بود [۶]. AISO در سال ۲۰۱۳، سیستم های فاضلاب خانگی به مالکان خانه ها اجازه می دهند تا آب های مصرف شده را تصفیه کنند و برای آبیاری باغ ها، گیاهان باغچه ای و فلاش تانک توالت های جریانی بکار گیرند [۷]. چپرسون شاخص های میکروبی آب خاکستری را بررسی نمود. در جدول ۱ و ۲ خلاصه ای از موارد بررسی شده این محقق ذکر می گردد [۸].

جدول ۱- استاندارد کیفیت آب خاکستری ها در خصوص استفاده مجدد

موارد	کل کلیفرم ها در ۱۰۰ میلی لیتر	کلیفرم های مدفوعی	BOD (mg/l)	تیرگی (NTU)	PH
USA	نایاب	< ۲۴۰	۱۰-۴۵	۲-۹۰	۶-۹
استرالیا	< ۱	< ۴	۲۰	۲	۶-۹
ژاپن	< ۱۰	< ۱۰	۱۰	۵	۶-۹
WHO	۲۰۰-۱۰۰۰	< ۱۰	۱۰	۵	۶-۹
آلمان	۱۰۰	۵۰۰	۲۰	۱-۲	۶-۹

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

جدول ۲- تعداد کلی فرم های مدفوعی در آب خاکستری قبل از فرایند تصفیه

منبع	Rose(1991)	Clif(1990)	Brands(1978)	Kapisak(1992)
حمام	6 x 103 cfu	4 x 105 MPN	< 10 to 2 x 108	6 x 103 cfu
ماشین لباس شویی (ششسو)	126 cfu	2 x 103-107		
ماشین لباس شویی (آبکشی)	25 cfu			
آشپزخانه			9 x 105	2 x 109
ترکیب کلی	6 to 80 cfu		13 x 106	1.73 x 105

۲. مواد و روش ها

در این بررسی با توجه به استانداردها و ملاحظات در خصوص تولید فاضلاب می توان مقدار پتانسیل بهره وری از آب خاکستری را برآورد نمود. استاندارد و معیارهای وزارت نیرو به عنوان یک الگوی مناسب در خصوص برآورد حجم فاضلاب و مقدار آب خاکستری می تواند مرود استفاده قرار گیرد. در جدول شماره (۳) میزان تولید فاضلاب انسانی از بخش های مختلف در شبانه روز ارائه می گردد. می توان با بررسی هایی مقادیر را در دوره های زمانی بدست آورد و مقادیر صرفه جویی در مصرف آب شرب را محاسبه نمود. در این بررسی دبی آب خاکستری یک مجتمع مسکونی با جمعیت تقریبی ۱۰۰ نفر مورد مطالعه قرار می گیرد.

جدول ۳- میزان فاضلاب انسانی حاصل از بخش های مختلف در شبانه روز (وزارت نیرو)

منبع تولید	لیتر در شبانه روز
ماشین لباسشویی*	۳۷,۵
دوش، وان و سینک دستشویی*	۷۵
توالت و سرویس بهداشتی	۲۲,۵
آشپزخانه	۱۵
کل آب مصرفی	۱۵۰
فاضلاب خاکستری*	۱۱۲,۵

۳. نتایج

با توجه به مقدار آب خاکستری قابل بازیابی می توان مقدار عددی صرفه جویی خام را محاسبه نمود. البته لازم به ذکر است که تمامی آب خاکستری قابل بازیابی نیست. زیرا منابع تولید آب خاکستری متنوع بوده و کیفیت آن نیز متفاوت است. بازیابی آب خاکستری بر حسب نوع تصفیه و تجهیزات مورد نیاز هزینه متفاوتی دارد. مقدار آب خاکستری تولیدی بر حسب منبع تولیدی در جدول شماره (۴) مشاهده می شود. با توجه به اینکه در یک سیستم تصفیه خانگی می بایست فرایند مورد انتخاب ساده و کاربر پسند باشد در این خصوص نمی توان کل پتانسیل آب خاکستری را تصفیه نمود، مقدار تصفیه مورد نیاز برای هر کدام از منابع ذکر شده نیز متفاوت بوده و هزینه مرتبط به آن نیز متفاوت خواهد بود. در انتخاب یک سناریوی خاص بایستی هزینه ناشی از تصفیه مقدماتی آب خاکستری و راهبری آن نیز مد نظر قرار گیرد. تاکنون راهبردهای مختلفی توسط کشورهای گوناگون تدوین و آزمایش شده است. از میان این راهبردها در نقطه تولید آب خاکستری می توان به دو راهبرد کلی اشاره نمود:

- راهبرد استفاده حداکثر از آب خاکستری و طراحی سیستم تصفیه نسبتا گران قیمت
 - راهبرد استفاده از آب خاکستری با آلودگی پایین با حداقل تصفیه ممکن
- بار آلودگی آب خاکستری مد نظر و نیازهای جانبی از قبیل پیش تصفیه، نیاز به لوله کشی و ملاحظات ایمنی و بهداشتی بر اتخاذ نقطه مصرف پساب اثر می گذارد. با جمع بندی راهبردهای اصلی و آنالیز هزینه آن بر مبنای یک معیار قابل قبول همچون استاندارد های ملی و رهنمود های تخلیه

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

پساب می توان راهبرد مشخصی را اتخاذ نمود. این راهبرد از شهری به شهر دیگر، از ساختمانی به ساختمان دیگر و حتی از خانه ای به خانه دیگر متفاوت است. زیرا تصمیم گیری نهایی در خصوص بازیابی آب خاکستری با مصرف کننده نهایی آب یعنی ساختمان های مسکونی است. بسته به اینکه ساختمان مسکونی ویلایی، آپارتمانی و مجتمع مسکونی باشد، متفاوت خواهد بود. آنالیزهای اقتصادی نشان می دهد که استفاده از روش های تصفیه پیچیده در خانه های ویلایی و آپارتمان های کوچک مقرون به صرفه نیست [۹]. در جداول (۵) و (۶) بترتیب فرایندهای تصفیه آب خاکستری بترتیب اولویت سادگی فرایند و همچنین مقدار آب خاکستری در ساده ترین فرایند مورد بیان می شود.

جدول ۴- برآورد فاضلاب تولیدی و آب خاکستری برای جمعیت ۱۰۰ نفر

منبع تولید	سرايه مصرف لیتر در شبانه روز	لیتر در شبانه روز	لیتر در ماه	مترمکعب در سال
ماشین لباسشویی*	۳۷,۵	۳۷۵۰	۱۱۲۵۰۰	۱۳۵۰
دوش، وان و سینک دستشویی*	۷۵	۷۵۰۰	۲۲۵۰۰۰	۲۷۰۰
توالت و سرویس بهداشتی	۲۲,۵	۲۲۵۰	۶۷۵۰۰	۸۱۰
آشپزخانه	۱۵	۱۵۰۰	۴۵۰۰۰	۵۴۰
کل آب مصرفی	۱۵۰	۱۵۰۰۰	۴۵۰۰۰۰	۵۴۰۰
فاضلاب خاکستری*	۱۱۲,۵	۱۱۲۵۰	۳۳۷۵۰۰	۴۰۵۰

جدول ۵- فرایندهای تصفیه فاضلاب و آب خاکستری با اولویت سادگی فرایند تصفیه

کیفیت فاضلاب	فرایند تصفیه
دوش، وان و سینک دستشویی	ته نشینی و فیلتراسیون شنی
دوش، وان و سینک دستشویی، ماشین لباسشویی	فرایند الترافیلتراسیون
دوش، وان و سینک دستشویی، ماشین لباسشویی	ازن زنی
دوش، وان و سینک دستشویی، ماشین لباسشویی	فرایند انعقاد و لخته سازی
کل فاضلاب تولیدی	فرایند بیولوژیکی

جدول ۶- برآورد آب خاکستری تولیدی با توجه به فرایند تصفیه

منبع تولید	فرایند تصفیه	استحصال پساب	مترمکعب در سال
دوش، وان و سینک دستشویی	ته نشینی و فیلتراسیون شنی	٪۹۰	۲۴۳۰
دوش، وان و سینک دستشویی، ماشین لباسشویی	فرایند الترافیلتراسیون	٪۸۵-۸۰	۳۲۴۰
دوش، وان و سینک دستشویی، ماشین لباسشویی	ازن زنی	٪۹۰	۳۶۴۵
دوش، وان و سینک دستشویی، ماشین لباسشویی	فرایند انعقاد و لخته سازی	٪۶۰	۲۴۳۰

۴. بحث و نتیجه گیری

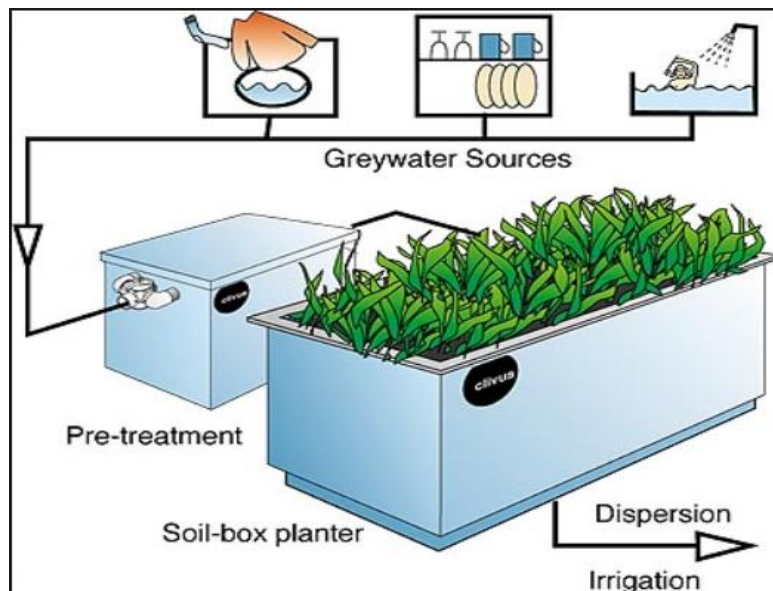
همانطور که قبلا گفته شد آب خاکستری به آب استفاده شده در منزل به غیر از فاضلاب توالت ها اطلاق می شود. بازیابی و استفاده مجدد از آب خاکستری، جهت مصارف غیر شرب سهم عمده ای در کاهش مصرف آب تصفیه شده شهری دارد [۱۰]. این مساله به عنوان یکی از مقاصد اجرایی ساختمانهای سبز و توسعه شهری پایدار بیان شده است. آلودگی فاضلاب ناشی از لباسشویی، حمام و دستشویی کمتر از فاضلاب سیاه ناشی از توالت ها می باشد، لذا با جمع آوری فاضلاب خاکستری در سطح یک یا چند واحد مسکونی و تصفیه آن در محل، می توان از آن به عنوان یک منبع آب مناسب جهت مصارف خانگی غیر مستقیم مانند آبیاری و سیفون توالت استفاده نمود [۱۱]. اما بایستی متذکر شد که آب خاکستری کاملاً بی خطر نیست [۱۲]. ارزیابی آب خاکستری از قسمت های کمتر آلوده به برای نیازهای آبی با استاندارد غیر شرب: در این روش می توان برخی از قسمت های آب خاکستری را برای استفاده های دیگر منزل مسکونی بازیابی نمود. بارزترین نوع بازیابی در این روش استفاده از پساب حمام و دستشویی به منظور فلاش تانک

سرویس بهداشتی است. این روش ضمن سادگی اجرا نیاز کمی به تاسیسات تصفیه دارد و در سیستم جمع آوری فاضلاب نیز اختلال ایجاد نمی کند. زیرا آب مصرفی مجدداً به سیستم جمع آور فاضلاب بر می گردد. در این روش حجم کمی از آب قابل بازیابی است اما به منظور توسعه روش های بازیابی آب خاکستری به خاطر هزینه پایین و سادگی اجرا از گزینه های اولویت دار به شمار می رود .

با توجه به تنوع محل تولید آب خاکستری و تفاوت کیفیت آب خاکستری سناریوهای دیگری نیز متصور است. اما انتخاب یک روش خاص نیاز به مطالعه دارد. زیرا آب خاکستری دارای آلودگی میکروبی و شیمیایی است. و بایستی تا حدود رهنمود های نقطه مصرف تصفیه شود.

تجارب کشورهای دیگر در استفاده از آب خاکستری نشان می دهد که به طور متوسط از ۵۷ درصد فاضلاب خانگی می توان به عنوان آب خاکستری استفاده نمود. در این صورت علاوه بر کاهش هزینه هایی که ناشی از صرفه جویی در مصرف آب است (کاهش ۴۰ درصدی هزینه آب مصرفی) که مقدار صرفه جویی اقتصادی متناظر با قابل توجه است.

بازیابی آب خاکستری به منظور آبیاری فضای سبز: این روش باعث صرفه جویی قابل ملاحظه در اب مورد نیاز در آبیاری فضای سبز ایجاد می کند. اما این روش نیاز به تاسیسات نسبتاً پیچیده دارد تا آب خاکستری تصفیه شده و توسط سیستم های آبیاری زیر سطحی به مصرف مجدد برسد و جنبه های بهداشتی آن نیز باید مورد توجه باشد (شکل ۲).



شکل ۲- شمای بازیابی آب خاکستری به منظور آبیاری فضای سبز

در انتهای این پژوهش می توان برخی مزایای استفاده از آب خاکستری را برشمرد:

افزایش ۵۰ درصد ظرفیت آبیاری بدون صرف هزینه های اضافی.

استفاده از آب خاکستری در جهت مصارف منازل نظیر شستشوی محوطه ها، فلاش تانک ها، مخازن ذخیره آتش نشانی.

استفاده کمتر از آب سالم و صرفه جویی قابل توجه در حجم آب مصرفی و بازیافت آب مصرف شده.

توانایی ساخت یک واحد تصفیه در یک زمین کوچک، ارزان و به صرفه بودن سیستم و اقتصادی بودن طرح.

کاهش فشار به سیستم های تصفیه ی فاضلاب شهری.

محدود کردن و کاهش هزینه های تخلیه به شبکه فاضلاب و یا چاه های جذبی.



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



۵. مراجع

۱. سید زاده، ع.، حمیدان، م. ر.، (۱۳۹۴)، استفاده مجدد از آب خاکستری، روزنامه ایران، شماره ۵۹۶۵ به تاریخ ۹۴/۴/۸، صفحه ۵ (اقتصادی).
۲. شیروی، ن. و صراف زاده، م. ح.، (۱۳۹۳)، امکان استفاده از آب خاکستری حاصل از ماشین لباسشویی برای آبیاری گیاهان، دومین همایش ملی بازیافت آب راهبردی اصولی برای بحران آب، تهران، دفتر طرح کلان ملی دانش و فناوری بازیافت پساب‌های شهری صنعتی و کشاورزی دانشگاه تهران.
۳. رسولی هشتلی، م. م.، عموتیان، ع. و امینی راد، ح.، (۱۳۹۰)، ضرورت استفاده مجدد از آب خاکستری به‌عنوان منبع غیرمتعارف آب، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، رشت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لشت نشا.
۴. حسینی، م. و عظیمی، ع. ا.، (۱۳۹۴)، استفاده از پساب فاضلاب خانگی برای آبیاری درختان میوه وزمینهای زراعی، اولین کنگره سالیانه جهان و بحران انرژی، شیراز، موسسه عالی علوم و فناوری حکیم عرفی شیراز.

5. Glassman , Jonathan & et al ., (2009). Greywater systems – Dept. of Environmental Sciences and Engineering , University of North Carolina , Chapel Hill.
6. GWA., (2013). About greywater reuse – <http://greywateraction.org>.
7. AISO., (2013). Greywater systems; reusing bath, laundry & sink water to conserve fresh water.
8. Jeppersen.B, S.D., (1994). Domestic Greywater Reuse: Overseas Practice and its Applicability to Australia. Urban Research Association of Australia: Brisbane.
9. Friedler.E, H.M., Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings. Desalination, (2006). 2006(190): p. 221-234.
10. Draft Guidelines for the Reuse of Greywater in Western Australia, (2002). D.o.H.E.H. Branch, Editor.
11. Zamani.s, T.A., tabatabaian.M, . (2007). Domestic Grey water characteristic and its Reuse, Ministry of the Environment, ISBN 978-1-4249-8438-1, Ca.
12. Graywater Reuse in Other Countries and its Applicability to Jordan. (2003). Center for the Study of the Built Environment: Amman, Jordan.