دانشگاه شیراز

واحد بین الملل

بررسی کارایی حذف سختی به روش حوضچه تماس با جریان رو به بالا همراه با پتوی لجن در آب چاه‌های آبرفتی شیراز

بوسیله:

سید غلامحسین سادات رفیعی

استاد راهنما:

دکتر ایوب کریمی جشنی

رشته مهندسی عمران (مهندسی محیط‌زیست)

شهریور ۹۱

اظهارنامه

اینجانب سید غلامحسین سادات رفیعی دانشجوی رشته عمران گرایش مهندسی محیط‌زیست دانشکده‌ی مهندسی اظهار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان‌نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

سید غلامحسین سادات رفیعی

۹۱/۱۲/۱۵

به نام خدا

بررسی کارایی حذف سختی به روش حوضچه تماس با جریان رو به بالا همراه با پتوی لجن آب چاه‌های آبرفتی شیراز

به کوشش:

سید غلامحسین سادات رفیعی

پایان‌نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:
مهندسی عمران – مهندسی محیط‌زیست

از دانشگاه شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان‌نامه با درجه: عالی

دکتر ایوب کریمی جشنی، استادیار بخش مهندسی راه، ساختمان ومحیط زیست (رئیس کمیته) .....

دکتر ناصر طالب بیدختی، استاد بخش مهندسی راه، ساختمان و محیط زیست .....

دکتر مسعود نوشادی، دانشیار بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی .....

اردیبهشت ۹۲

سپاسگزاری

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را، رفیق راه من ساخت، تا این پژوهش را به پایان برسانم . از استاد فاضل و دلسوز جناب آقای دکتر ایوب کریمی جشنی که همواره راهنمایی های خود مرا در این تحقیق هدایت نمود کمال تشکر و قدردانی دارم.

از مدیر عامل محترم شرکت آب و فاضلاب شیراز جناب آقای مهندس نظر پور و معاون محترم برنامه ریزی آقای مهندس احدی که با همکاری و مساعدت خود موجب انجام این طرح شده اند سپاس گزارم.

از دوستان و اساتید گرامی بخش راه و ساختمان و محیط زیست جناب آقای دکتر ناصر طالب بیدختی و مهندسی آب جناب آقای دکتر مسعود نوشادی که با ارشاد های خود مرا در پیشبرد این طرح یاری داده اند از صمیم قلب سپاس گزارم و برایشان بهترین آرزوها را دارم و همواره کامیاب و سعادت مند باشند.

خدایا توفیق خدمتی سرشار از شور و نشاط و همراه و همسو با علم و دانش جهت رشد شکوفایی ایران اسلامی عزیز عنایت بفرما.

تقدیم به روح پر فتوح پدرم که همواره شاهد کوشش های من است

تقدیم به مادر مهربانم که حمایت های او در طول زندگی ام مرا توان حرکت می داد

تقدیم به همسر عزیزم که صبر و استقامت او قوت قلبم بود

تقدیم به پسرانم که امیدوارم در راه علم آموزی کوشا باشند

چکیده

بررسی کارایی حذف سختی به روش حوضچه تماس با جریان رو به بالا همراه با پتوی لجن آب چاه‌های آبرفتی شیراز

به کوشش:
سید غلامحسین سادات رفیعی

با تقاضای رو به رشد آب در شهر شیراز، از طرفی بیلان منفی سفره آب زیرزمینی دشت شیراز و افزایش باران‌های اسیدی منجر به افزایش سختی آب چاه‌های موجود و کاهش کیفیت آب این چاه ها شده و در نهایت برخی از چاه‌ها از مدار بهره‌برداری خارج شده‌اند.

بنابراین بایستی با تمهیداتی خاص کیفیت منابع آب موجود بهبود یابند. با توجه به اینکه چاه‌های آب به صورت پراکنده در سطح شهر حفر شده‌اند، می‌بایست از سیستم‌های سختی‌گیری محلی برای بهبود کیفیت آب این چاه‌ها استفاده شود. در این تحقیق روش حذف سختی به کمک آهک و سودا در حوضچه‌های تماس با جریان رو به بالا (USBF) مورد بررسی قرار گرفته است و آنالیز اقتصادی بر روی روشهای مختلف سختی انجام شده است. برای این منظور یک پایلوت نیمه صنعتی شامل سه استوانه تو در تو به عنوان واحدهای انعقاد، لخته‌سازی و ته‌نشینی و با ظرفیت ۰/۵ m^3/hr (معادل ۸/۳ L/min) طراحی و ساخته شد. به منظور ارزیابی عملکرد پایلوت در دبی‌های مختلف، پایلوت در دبی‌های ۸، ۱۶، ۲۴ و ۳۲ لیتر در دقیقه مورد بهره‌برداری قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دبی راندمان حذف کاهش می‌یابد و در دبی ۸ لیتر در دقیقه بیشترین راندمان حذف سختی کل، معادل ٪۹۰/۵ را خواهیم داشت. نتایج حاصله از بررسی اقتصادی نیز نشان می‌دهد که استفاده از روشهای حذف سختی به کمک آهک و سودا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر بوده و در این میان حوضچه تماس با جریان رو به بالا کمترین هزینه را به ازای هر متر مکعب آب ایجاد می‌کند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و اهداف ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- ضرورت‌ها و کاربردها ۲

۱-۲-۱- ضرورت حذف سختی ۳

۱-۲-۲- ضرورت کنترل سختی آب در شرکت آب و فاضلاب شیراز ۵

۱-۳- اهداف تحقیق ۵

۱-۴- نوآوری پایان‌نامه ۶

۱-۵- ساختار پایان نامه ۷

فصل دوم: مبانی نظری تحقیق ۸

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- سختی آب ۹

۲-۳- استاندارد سختی آب شرب در ایران ۱۱

۲-۴- استاندارد جهانی سختی آب شرب ۱۱

۲-۵- روشهای متداول حذف سختی آب ۱۲

۲-۵-۱- روش تبادل یونی ۱۲

۲-۵-۲- استفاده از غشاء نیمه تراوا ۱۵

۲-۵-۳- ترسیب شیمیایی به کمک آهک و سودا ۱۶

۲-۶- روش سنتی حذف سختی در تصفیه‌خانه‌های متمرکز ۱۹

۲-۶-۱- حوضچه اختلاط سریع (Rapid mixing) ۱۹

۲-۶-۲- حوضچه اختلاط آرام ۲۰

۲-۶-۳- حوضچه ته‌نشینی ۲۰

۲-۶-۴- مزایا و معایب روش متداول حذف سختی در تصفیه‌خانه‌ها ۲۱

۲-۷- مشخصات حوضچه تماس با جریان رو به بالا (USBF) ۲۲

۲-۷-۱- مزایای حذف سختی با کمک حوضچه تماس با جریان رو به بالا ۲۳

۲-۷-۲- دلایل گسترش استفاده ازحوضچه تماس با جریان رو به بالا نسبت به روش متداول ۲۴

۲-۸- ارزیابی اقتصادی سیستم‌های سختی‌گیر آب ۲۵

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۲-۸-۱- انتخاب سیستم‌های حذف سختی ۲۶
۲-۸-۲- برآورد هزینه‌های کاهش سختی آب ۲۷
۲-۸-۳- ارزیابی اقتصادی سختی‌زدایی آب به روش غشایی ۲۹
۲-۸-۴- ارزیابی اقتصادی سختی‌زدایی آب به روش تبادل یونی ۳۱
۲-۸-۴- ارزیابی اقتصادی سیستم سختی‌زدایی آب به کمک آهک و سودا، روش متداول ۳۳
۲-۸-۴- ارزیابی اقتصادی سختی‌زدایی آب به کمک آهک و سودا، روش USBF ۳۵

فصل سوم: مروری بر تحقیقات انجام شده ۳۷

۳-۱- مقدمه ۳۷
۳-۲- بهینه‌سازی فرآیند حذف سختی و کدورت با کمک پتوی آهک و کربنات سدیم جهت تصفیه‌خانه آب شهر LUBBOCK ۳۷
۳-۳- استفاده از آهک و سودا و پتوی آهک جهت حذف سختی در شهر Rockford ۳۸
۳-۴- ارزیابی اثر بخشی و امکان سنجی سازه جریان رو به بالا همراه با پتوی لجن با هدف کاهش کدورت و سختی ۳۹
۳-۵- بهینه‌سازی مقدار مواد شیمیایی مصرفی برای بهبود سختی‌زدایی آب با هدف حذف تری هالومتان‌ها در تصفیه آب ۳۹
۳-۶- روشهای مناسب جهت افزایش عمر غشاء اسمز معکوس مورد استفاده در حذف یون سیلیکات ۴۰
۳-۷- تعیین پارامترهای طراحی حوضچه‌های تماس جریان رو به بالا برای سختی‌گیری ۴۰
۳-۸- برآورد هزینه‌های احداث و بهره‌برداری و نگهداری فرایندهای مختلف تصفیه آب ۴۱

فصل چهارم: روش انجام کار و مراحل طراحی پایلوت ۴۳

۴-۱- مقدمه ۴۳
۴-۲- استانداردهای طراحی حوضچه تماس با جریان رو به بالا (USBF) ۴۳
۴-۲-۱- ضوابط طراحی حوضچه تماس با جریان رو به بالا بر اساس کتاب آقای کاوامورا ۴۴
۴-۲-۲- ضوابط آقای قسیم جهت طراحی واحد USBF ۴۵
۴-۲-۳- ضوابط انجمن مهندسین محیط‌زیست ایالات متحده جهت طراحی واحد USBF ۴۵

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۴-۲-۴- ضوابط انجمن مهندسین آب ایالات متحده جهت طراحی واحد USBF ۴۶
۴-۲-۵- ضوابط انجمن مهندسین محیط‌زیست ایالات متحده جهت طراحی واحد USBF ۴۶
۴-۳- مشخصات آب مورد استفاده در پایلوت (چاه شماره ۱۰۶ ملاصدرا) ۴۷
۴-۴- طراحی پایلوت نیمه صنعتی ۴۸
۴-۴-۱- طراحی حوضچه تماس مستقیم ۴۸
۴-۴-۲- طراحی پروانه‌های میکسر ۵۱
۴-۴-۳- طراحی سرریز خروجی از حوضچه تماس با جریان رو به بالا ۵۲
۴-۴-۴- طراحی قسمت ورودی به حوضچه تماس با جریان رو به بالا ۵۳
۴-۵-۱- لوله ورودی آب خام (Raw Water Inlet) ۵۴
۴-۵-۲- کانال‌های جمع‌آوری آب زلال شده (Clarified Water Outlet) ۵۴
۴-۵-۳- سیستم محرکه، بهم‌زن آرام (Djastabeller Drive) ۵۵
۴-۵-۴- پروانه بهم‌زن دور آرام (Rotor Impeller) ۵۵
۴-۵-۵- منطقه اختلاط و فعل و انفعال اولیه (Primary Mixing & Reaction Zone) ۵۶
۴-۵-۶- منطقه اختلاط و فعل و انفعال ثانویه (Secondary Mixing & Reaction Zone) ۵۶
۴-۵-۷- منطقه ته‌نشینی و آب زلال شده (Clarified Water Zone) ۵۷
۴-۵-۸- مسیر برگشت لجن (Sludge Return Way) ۵۷
۴-۵-۹- خطوط تخلیه لجن مازاد (Excess Sludge Discharge) ۵۷
۴-۵-۱۰- قسمت خنثی‌سازی آب تصفیه ۵۸
۴-۵-۱۱- قسمت نمونه‌برداری ۵۸
۴-۶- تجهیزات بکار گرفته شده در پایلوت ۵۸
۴-۷- شرایط متعارف بهره‌برداری از حوضچه‌های تماس با جریان رو به بالا ۵۹

فصل پنجم: نتایج حاصله از عملکرد پایلوت در زمان بهره‌برداری و برآورد هزینه‌ها ۶۱

۵-۱- مقدمه ۶۱
۵-۲- آزمایش جار و بهینه‌سازی مقدار غلظت آهک و کربنات سدیم ۶۱
۵-۳- مرحله آماده‌سازی و ایجاد پتوی آهک ۶۳
۵-۴- نتایج بدست آماده از عملکرد پایلوت در دبی ۸ لیتر در دقیقه ۶۳

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۵-۵- نتایج بدست آماده از عملکرد پایلوت در دبی ۱۶ لیتر در دقیقه ۷۴

۵-۶- نتایج بدست آماده از عملکرد پایلوت در دبی ۲۴ لیتر در دقیقه..... ۸۴

۵-۷- نتایج بدست آماده از عملکرد پایلوت در دبی ۳۲ لیتر در دقیقه ۹۴

۵-۸- مقایسه هزینه تمام شده کاهش سختی در روش‌های مختلف..... ۱۰۴

۵-۸-۱- هزینه اقتصادی کاهش سختی به روش غشایی ۱۰۴

۵-۸-۲- هزینه اقتصادی کاهش سختی به روش تبادل یونی ۱۰۶

۵-۸-۳- هزینه اقتصادی کاهش سختی به کمک آهک و سودا، روش متداول..... ۱۰۷

۵-۸-۴- هزینه اقتصادی کاهش سختی به کمک آهک و سودا، روش UASB..... ۱۰۸

فصل ششم: تجزیه و تحلیل نتایج..... ۱۱۱

۶-۱- مقدمه..... ۱۱۱

۶-۲- تحلیل نتایج حاصل از کاهش سختی کل توسط پایلوت ۱۱۱

۶-۳- تحلیل نتایج حاصل از کاهش کدورت توسط پایلوت ۱۱۴

۶-۴- تحلیل نتایج حاصل از کاهش آهن محلول توسط پایلوت..... ۱۱۶

۶-۵- تحلیل نتایج حاصل از کاهش هدایت الکتریکی توسط پایلوت ۱۱۹

۶-۶- ارزیابی ارتباط بین کاهش سختی کل با زمان تماس آب با پتوی آهک..... ۱۲۲

۶-۷- ارتباط کاهش سختی کل با غلظت کل مواد جامد در پتوی آهک ۱۲۴

۶-۸- سرعت ته‌نشینی مواد جامد پتوی آهک مازاد ۱۲۶

۶-۹- مقایسه نتایج کسب شده با نتایج سایر محققین..... ۱۲۹

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۱۳۱

۷-۱- نتیجه گیری..... ۱۳۱

۷-۲- پیشنهادات ۱۳۲

منابع و مراجع ۱۳۴

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- ترکیبات شیمیایی که باعث ایجاد سختی در آب می‌شوند ۱۰

جدول ۲-۲- هزینه‌های ساخت سیستم حذف سختی به روش غشایی ۳۰

جدول ۲-۳- هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سیستم حذف سختی به روش غشایی[..... ۳۱

جدول ۲-۴- هزینه‌های ساخت سیستم حذف سختی به روش تبادل یونی..... ۳۲

جدول ۲-۵- هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری حذف سختی به روش تبادل یونی..... ۳۳

جدول ۲-۶- هزینه‌های ساخت سیستم حذف سختی به کمک آهک و سودا، روش متداول ۳۳

جدول ۲-۷- هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سیستم حذف سختی به کمک آهک و سودا، روش متداول..... ۳۴

جدول ۲-۸- هزینه ساخت سیستم حذف سختی به کمک آهک و سودا، روش USBF..... ۳۵

جدول ۲-۹- هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری سیستم حذف سختی به کمک آهک و سودا، روش USBF..... ۳۶

جدول ۳-۱- هزینه سختی‌زدایی آب به روشهای مختلف ۴۲

جدول ۴-۱- ضوابط آقای کاوامورا جهت طراحی واحد USBF..... ۴۴

جدول ۴-۲- ضوابط آقای قسیم جهت طراحی واحد USBF..... ۴۵

جدول ۴-۳- ضوابط انجمن مهندسین محیط زیست امریکا جهت طراحی واحد USBF..... ۴۵

جدول ۴-۴- ضوابط انجمن مهندسین آب ایالات متحده جهت طراحی واحد USBF ۴۶

جدول ۴-۵- ضوابط فدراسیون کنترل آلودگی آب ایالات متحده جهت طراحی واحد USBF..... ۴۷

جدول ۴-۶- مشخصات کمی و کیفی آب چاه ۱۰۶ ملاصدرا..... ۴۷

جدول ۴-۷- مشخصات واحد انعقاد در پایلوت تحقیق ۴۹

جدول ۴-۸- مشخصات واحد لخته‌سازی در پایلوت تحقیق..... ۴۹

جدول ۴-۹- مشخصات واحد ته‌نشینی در پایلوت تحقیق..... ۵۰

جدول ۴-۱۰- مشخصات هیدرولیکی پایلوت در دبی‌های مختلف..... ۵۰

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱۱- مشخصات واحد لخته‌سازی در پایلوت تحقیق ۵۱

جدول ۴-۱۲- مشخصات سرریز خروجی از حوضچه تماس با جریان رو به بالا..... ۵۳

جدول ۴-۱۳- مشخصات قسمت ورودی به حوضچه تماس با جریان رو به بالا..... ۵۳

جدول ۵-۱- نتایج آزمایش جار ۶۲

جدول ۵-۲- مشخصات هیدرولیکی پایلوت تحقیق در زمان بهره‌برداری با دبی L/min ۸..... ۶۴

جدول ۵-۳- نتایج آنالیز شیمیایی آب ورودی به پایلوت با دبی ۸ لیتر در دقیقه..... ۶۵

جدول ۵-۴- نتایج آنالیز شیمیایی آب خروجی از پایلوت با دبی ۸ لیتر در دقیقه..... ۶۶

جدول ۵-۵- میزان کاهش پارامترهای شیمیایی در پایلوت در دبی ۸ لیتر در دقیقه ۶۷

جدول ۵-۶- درصد کاهش پارامترهای شیمیایی در پایلوت در دبی ۸ لیتر در دقیقه..... ۶۸

جدول ۵-۷- تغییرات سختی و کدورت در طول ستون پایلوت در دبی ۸ لیتر در دقیقه..... ۶۹

جدول ۵-۸- مشخصات روزانه پتوی آهک در دبی ۸ لیتر در دقیقه ۷۱

جدول ۵-۹- مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی پتوی آهک در زمان بهره‌برداری از پایلوت با دبی ۸ لیتر در دقیقه..... ۷۱

جدول ۵-۱۰- تغییرات غلظت مواد جامد نسبت به زمان، در حال ته نشینی..... ۷۲

جدول ۵-۱۱- مشخصات هیدرولیکی پایلوت تحقیق در زمان بهره‌برداری با دبی L/min ۱۶ ..... ۷۴

جدول ۵-۱۲- نتایج آنالیز شیمیایی آب ورودی به پایلوت با دبی ۱۶ لیتر در دقیقه ۷۵

جدول ۵-۱۳- نتایج آنالیز شیمیایی آب خروجی از پایلوت با دبی ۱۶ لیتر در دقیقه..... ۷۶

جدول ۵-۱۴- میزان کاهش پارامترهای شیمیایی در پایلوت در دبی ۱۶ لیتر در دقیقه..... ۷۷

جدول ۵-۱۵- درصد کاهش پارامترهای شیمیایی در پایلوت در دبی ۱۶ لیتر در دقیقه ۷۸

جدول ۵-۱۶- تغییرات سختی و کدورت در طول ستون پایلوت در دبی ۱۶ لیتر در دقیقه ۷۹

جدول ۵-۱۷- مشخصات روزانه پتوی آهک در دبی ۱۶ لیتر در دقیقه ۸۱

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۵-۱۸- مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی پتوی آهک در زمان بهره‌برداری از پایلوت با دبی ۱۶ لیتر در دقیقه ۸۱

جدول ۵-۱۹- تغییرات غلظت مواد جامد نسبت به زمان، در حال ته نشینی ۸۲

جدول ۵-۲۰- مشخصات هیدرولیکی پایلوت تحقیق در زمان بهره‌برداری با دبی L/min ۲۴ ..... ۸۴

جدول ۵-۲۱- نتایج آنالیز شیمیایی آب ورودی به پایلوت با دبی ۲۴ لیتر در دقیقه ۸۵

جدول ۵-۲۲- نتایج آنالیز شیمیایی آب خروجی از پایلوت با دبی ۲۴ لیتر در دقیقه ۸۶

جدول ۵-۲۳- میزان کاهش پارامترهای شیمیایی در پایلوت در دبی ۲۴ لیتر در دقیقه ۸۷

جدول ۵-۲۴- درصد کاهش پارامترهای شیمیایی در پایلوت در دبی ۲۴ لیتر در دقیقه ۸۸

جدول ۵-۲۵- تغییرات سختی و کدورت در طول ستون پایلوت در دبی ۲۴ لیتر در دقیقه ۸۹

جدول ۵-۲۶- مشخصات روزانه پتوی آهک در دبی ۲۴ لیتر در دقیقه ۹۱

جدول ۵-۲۷- مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی پتوی آهک در زمان بهره‌برداری از پایلوت با دبی ۲۴ لیتر در دقیقه ۹۱

جدول ۵-۲۸- تغییرات غلظت مواد جامد نسبت به زمان، در حال ته نشینی ۹۲

جدول ۵-۲۹- مشخصات هیدرولیکی پایلوت تحقیق در زمان بهره‌برداری با دبی L/min ۳۲ ..... ۹۴

جدول ۵-۳۰- نتایج آنالیز شیمیایی آب ورودی به پایلوت با دبی ۳۲ لیتر در دقیقه ۹۵

جدول ۵-۳۱- نتایج آنالیز شیمیایی آب خروجی از پایلوت با دبی ۳۲ لیتر در دقیقه ۹۶

جدول ۵-۳۲- میزان کاهش پارامترهای شیمیایی در پایلوت در دبی ۳۲ لیتر در دقیقه ۹۷

جدول ۵-۳۳- درصد کاهش پارامترهای شیمیایی در پایلوت در دبی ۳۲ لیتر در دقیقه ۹۸

جدول ۵-۳۴- تغییرات سختی و کدورت در طول ستون پایلوت در دبی ۳۲ لیتر در دقیقه ۹۹

جدول ۵-۳۵- مشخصات روزانه پتوی آهک در دبی ۳۲ لیتر در دقیقه ۱۰۱

جدول ۵-۳۶- مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی پتوی آهک در زمان بهره‌برداری از پایلوت با دبی ۳۲ لیتر در دقیقه ۱۰۱

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۵-۳۷- تغییرات غلظت مواد جامد نسبت به زمان، در حال ته نشینی..... ۱۰۲

جدول ۵-۳۸- سهم هر یک از تجهیزات واحد سختی‌گیری به روش غشایی..... ۱۰۴

جدول ۵-۳۹- هزینه تعمیرات و نگهداری سیستم حذف سختی به روش غشایی ۱۰۵

جدول ۵-۴۰- کل هزینه‌های بهره‌برداری و استهلاک سختی‌گیری به روش غشایی..... ۱۰۵

جدول ۵-۴۱- سهم هر یک از تجهیزات واحد سختی‌گیری به روش تبادل یونی..... ۱۰۶

جدول ۵-۴۲- هزینه تعمیرات و نگهداری سیستم حذف سختی به روش تبادل یونی..... ۱۰۶

جدول ۵-۴۳- کل هزینه‌های بهره‌برداری و استهلاک سختی‌گیری به روش تبادل یونی ۱۰۷

جدول ۵-۴۴- سهم هر یک از تجهیزات واحد سختی‌گیری به کمک آهک و سودا، روش متداول ۱۰۷

جدول ۵-۴۵- هزینه تعمیرات و نگهداری سیستم حذف سختی به کمک آهک و سودا، روش متداول ۱۰۸

جدول ۵-۴۶- کل هزینه‌های بهره‌برداری و استهلاک سختی‌گیری به کمک آهک و سودا، روش متداول ۱۰۸

جدول ۵-۴۷- سهم هر یک از تجهیزات واحد سختی‌گیری به کمک آهک و سودا، روش حوضچه تماس با جریان رو به بالا..... ۱۰۹

۵-۴۸- هزینه تعمیرات و نگهداری سیستم حذف سختی به کمک آهک و سودا، روش حوضچه تماس با جریان رو به بالا ۱۰۹

جدول ۵-۴۹- کل هزینه‌های بهره‌برداری و استهلاک سختی‌گیری به کمک آهک و سودا، روش حوضچه تماس با جریان رو به بالا..... ۱۱۰

جدول ۵-۵۰- مقایسه هزینه کاهش سختی یک متر مکعب آب به روشهای مختلف..... ۱۱۰

جدول ۶-۱- تغییرات سختی کل خروجی و درصد حذف آن نسبت به دبی..... ۱۱۲

جدول ۶-۲- تغییرات کدورت خروجی و درصد حذف آن نسبت به دبی ۱۱۵

جدول ۶-۳- تغییرات آهن محلول خروجی و درصد حذف آن نسبت به دبی ۱۱۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۶-۴- تغییرات سختی کل خروجی و درصد حذف آن نسبت به دبی..... ۱۲۰

جدول ۶-۵- تغییرات سختی کل نسبت به زمان تماس با پتوی آهک..... ۱۲۳

جدول ۶-۶- تغییرات سختی کل نسبت به غلظت جامدات کل در پتوی آهک..... ۱۲۵

جدول ۶-۷- غلظت جامدات کل در دبی‌های مختلف و درصد کاهش آنها نسبت به زمان ۱۲۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- حذف سختی به روش تبادل یونی ۱۴

شکل ۲-۲- نمایی از یک حوض تماس با جریان رو به بالا ۲۴

شکل ۴-۱- شکل شماتیک حوضچه تماس و واحدهای آن ۴۸

شکل ۵-۱- میزان سختی کل در ظروف مختلف در آزمایش جار ۶۲

شکل ۵-۲- درصد کاهش پارامترهای شیمیایی در پایلوت در دبی ۸ لیتر در دقیقه ۶۹

شکل ۵-۳- تغییرات سختی کل در طول ستون پایلوت در دبی ۸ لیتر در دقیقه ۷۰

شکل ۵-۴- تغییرات کدورت در طول ستون پایلوت در دبی ۸ لیتر در دقیقه ۷۰

شکل ۵-۵- تغییرات غلظت مواد جامد کل نسبت به زمان، در حال سکون مربوط به پایلوت با دبی ۸ لیتر در دقیقه ۷۳

شکل ۵-۶- درصد حذف جامدات کل نسبت به زمان در حالت سکون مربوط به پایلوت با دبی ۸ لیتر در دقیقه ۷۳

شکل ۵-۷- درصد کاهش پارامترهای شیمیایی در پایلوت در دبی ۱۶ لیتر در دقیقه ۷۹

شکل ۵-۸- تغییرات سختی کل در طول ستون پایلوت در دبی ۱۶ لیتر در دقیقه ۸۰

شکل ۵-۹- تغییرات کدورت در طول ستون پایلوت در دبی ۱۶ لیتر در دقیقه ۸۰

شکل ۵-۱۰- تغییرات غلظت مواد جامد کل نسبت به زمان، در حال سکون مربوط به پایلوت با دبی ۱۶ لیتر در دقیقه ۸۳

شکل ۵-۱۱- درصد حذف جامدات کل نسبت به زمان در حالت سکون مربوط به پایلوت با دبی ۱۶ لیتر در دقیقه ۸۳

شکل ۵-۱۲- درصد کاهش پارامترهای شیمیایی در پایلوت در دبی ۱۶ لیتر در دقیقه ۸۹

شکل ۵-۱۳- تغییرات سختی کل در طول ستون پایلوت در دبی ۲۴ لیتر در دقیقه ۹۰

شکل ۵-۱۴- تغییرات کدورت در طول ستون پایلوت در دبی ۲۴ لیتر در دقیقه ۹۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۵-۱۵- تغییرات غلظت مواد جامد کل نسبت به زمان، در حال سکون مربوط به پایلوت با دبی ۲۴ لیتر در دقیقه ۹۳

شکل ۵-۱۶- درصد حذف جامدات کل نسبت به زمان در حالت سکون مربوط به پایلوت با دبی ۲۴ لیتر در دقیقه..... ۹۳

شکل ۵-۱۷- درصد کاهش پارامترهای شیمیایی در پایلوت در دبی ۳۲ لیتر در دقیقه..... ۹۹

شکل ۵-۱۸- تغییرات سختی کل در طول ستون پایلوت در دبی ۳۲ لیتر در دقیقه ۱۰۰

شکل ۵-۱۹- تغییرات کدورت در طول ستون پایلوت در دبی ۳۲ لیتر در دقیقه..... ۱۰۰

شکل ۵-۲۰- تغییرات غلظت مواد جامد کل نسبت به زمان، در حال سکون مربوط به پایلوت با دبی ۳۲ لیتر در دقیقه..... ۱۰۳

شکل ۵-۲۱- درصد حذف جامدات کل نسبت به زمان در حالت سکون مربوط به پایلوت با دبی ۳۲ لیتر در دقیقه ۱۰۳

شکل ۵-۲۲- مقایسه هزینه کاهش سختی یک متر مکعب آب به روشهای مختلف..... ۱۱۰

شکل ۶-۱- تغییرات سختی کل خروجی نسبت به ورودی در مقایسه با دبی..... ۱۱۳

شکل ۶-۲- درصد کاهش سختی کل در مقایسه با دبی..... ۱۱۳

شکل ۶-۳- تغییرات کدورت خروجی نسبت به ورودی در مقایسه با دبی ۱۱۴

شکل ۶-۴- درصد کاهش کدورت در مقایسه با دبی..... ۱۱۶

شکل ۶-۵- تغییرات آهن محلول خروجی نسبت به ورودی در مقایسه با دبی..... ۱۱۸

شکل ۶-۶- درصد کاهش آهن محلول در مقایسه با دبی ۱۱۸

شکل ۶-۷- تغییرات هدایت الکتریکی خروجی نسبت به ورودی در مقایسه با دبی..... ۱۱۹

شکل ۶-۸- درصد کاهش آهن محلول در مقایسه با دبی..... ۱۲۱

شکل ۶-۹- ارتباط بین حذف سختی کل و هدایت الکتریکی در مقایسه با دبی..... ۱۲۲

شکل ۶-۱۰- ارتباط بین درصد کاهش سختی کل و زمان تماس با پتوی آهک..... ۱۲۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۶-۱۱- ارتباط بین درصد کاهش سختی کل و غلظت جامدات کل در پتوی آهک ۱۲۶

شکل ۶-۱۲- غلظت جامدات کل نسبت به زمان در دبی‌های مختلف..... ۱۲۸

شکل ۶-۱۳- درصد حذف جامدات کل نسبت به زمان در دبی‌های مختلف ۱۲۸