

امکان‌سنجی کاربرد شناورسازی با هوای محلول برای پیش تصفیه آب رودخانه کارون

نعیم بنی سعید^۱ نعمت‌الله جعفرزاده^۲ فرامرز ترکیان^۳ غازی عیدان^۴

(دریافت ۸۵/۸/۲۱ پذیرش ۸۶/۴/۹)

چکیده

در این تحقیق کارایی یک دستگاه نیمه صنعتی شناورسازی با هوای محلول در حذف مواد آلی و معلق در تصفیه‌خانه‌های آبی که از رودخانه کارون تغذیه می‌شوند، سنجیده شده است. اهداف اصلی این تحقیق شامل بررسی راندمان حذف کدورت و ترکیبات مواد آلی در سیستم شناورسازی با هوای محلول از آب رودخانه کارون می‌باشد. بررسی کیفیت آب رودخانه کارون در دوره تحقیق (از ۱۳۸۴/۱۲/۹ تا ۱۳۸۵/۳/۶) نشان می‌دهد که این رودخانه از نظر ترکیبات آلی کربنی به دلیل شرایط خودپالایی در وضعیت مطلوب به سر می‌برد، به طوری که میزان TOC از ۲/۸۹ میلی‌گرم در لیتر تجاوز نکرد. میزان کدورت این رودخانه دارای نوسان زیاد بین ۴۲ تا ۱۰۰۰ NTU بوده که انحراف معیاری برابر با ۱۳۸/۴ داشته که این ناشی از ماهیت رودخانه می‌باشد. آب این رودخانه از نظر رنگ حقیقی نیز زیر حد مجاز قرار دارد. نتایج تحقیق بیانگر این است که با توجه به کدورت بالا در رودخانه کارون استفاده از سیستم شناورسازی بدون استفاده از سیستم‌های پیش‌ته‌نشینی عملاً کارایی لازم در حذف مواد معلق را ندارد زیرا میزان مواد معلق خروجی ارتباط مستقیم با میزان مواد معلق ورودی داشته و با افزایش آن عملاً سیستم شناورسازی کارایی لازم را از دست می‌دهد، لذا استفاده از این روش در تصفیه‌خانه‌هایی که از رودخانه کارون تغذیه می‌شوند، بدون ته‌نشینی مقدماتی توصیه نمی‌گردد. از طرفی با توجه به راندمان حذف کل کربن آلی تا ۸۰ درصد در پایلوت شناورسازی با هوای محلول و این که قسمتی از مواد آلی شامل مواد آلی فرار بوده و عمدتاً منشاء تولید بو و طعم نامناسب در آب می‌باشند، استفاده از این سیستم جهت تولید آب با کیفیت بهتر در تصفیه آب رودخانه کارون به عنوان فرآیند تکمیلی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: شناورسازی با هوای محلول، پیش تصفیه، مواد معلق، مواد آلی، رودخانه کارون.

Evaluation of Dissolved Air Flotation (DAF) for Pretreatment of the Karoon River Water

Naeim Banisaeid¹ Nematollah Jafarzadeh² Faramarz Tarkian³ Ghazi Eidan⁴

(Received Nov. 12, 2006 Accepted June 30, 2007)

Abstract

The efficiency of a pilot dissolved air flotation (DAF) unit is evaluated. It is the objective of the present study to determine the removal efficiency of DAF in removing turbidity and organic matter from the Karoon River feeding a water treatment plant. Water quality investigations over the study period revealed that, thanks to the self-purification process in the river, the Karoon water quality is acceptable with respect to total organic carbon (TOC) (never exceeding 2.89 mg/l) but its turbidity has great fluctuations (from as low as 42 to 1,000 NTU) due to the nature of the river. Its true color is in desirable conditions. Suspended solids removal efficiency of the pilot DAF unit varied from 38% to 95%, with an average level of 72%. The results from this study indicate that DAF removal efficiency is inversely related to the volume of inflow of solids into the system so that increasing TSS decreases removal efficiency. The high turbidity level in the absence of a primary sedimentation unit causes the flotation system to lose its desired efficiency. FAD cannot be, therefore, recommended for water treatment plants fed by the Karoon water unless a pretreatment unit is used. Furthermore, as FAD's TOC removal efficiency varies by up to 82%, and since part of the organic content includes volatile organic matter causing odors and undesirable taste, FAD is recommended as a complementary process in the treatment of high quality water.

Keywords: Dissolved Air Flotation, Pretreatment, Suspended Solids, Organic Matter, The Karoon River.

1. MSc in Environmental Engineering, DEZAB Consulting Engineering Co., n_banisaeid@yahoo.com
2. Assistant Prof. of Environmental Health, Ahwaz University of Jondishapoor
3. PhD in Environmental Engineering, Environmental Research Institute, Iran National Oil Company
4. MSc in Environmental Engineering, Former (Retired) Head, Environmental Research Institute, Iran National Oil Company

۱- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، آب و فاضلاب، کارشناس شرکت مهندسی مشاور در آب، n_banisaeid@yahoo.com
۲- استادیار دانشکده بهداشت، دانشگاه جندی شاپور اهواز
۳- دکترای مهندسی محیط زیست، مدیر پروژه پژوهشکده محیط زیست پژوهشگاه صنعت نفت
۴- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، رئیس سابق (بازنشسته) پژوهشکده محیط زیست پژوهشگاه صنعت نفت

روش شناور سازی با هوای محلول در حذف مواد آلی و معلق از آب رودخانه کارون می‌باشد.

تحقیقات انجام گرفته قبلی شامل کاربرد شناور سازی در تصفیه آب آشامیدنی، تصفیه فاضلاب شهری و تصفیه فاضلاب صنعتی-کشاورزی می‌باشد که در اینجا تنها به کاربرد آن در تصفیه آب شرب اشاره می‌شود.

در تحقیقی که توسط آماتو^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۱ انجام شد، میزان زمان ماند و لخته‌سازی با شناور سازی و همچنین بار فیلتر تعبیه شده بعد از این واحد مورد بررسی قرار گرفت که در آن زمان ماند لخته‌سازی به ۵ دقیقه کاهش یافت و میزان بار شناور سازی به بالای ۴۰ متر در ساعت رسید [۵]. در تحقیقی دیگر در یک دوره ده ساله توسط کمپنیز^۳ و همکاران در سال ۱۹۹۵ روی یک تصفیه‌خانه، که با دو عملیات ته‌نشینی و شناور سازی در شهر آنت‌ورپ^۴ (بلژیک) در حال بهره‌برداری است، مشکلات وجود جلبک در آب خام مورد بررسی قرار گرفت. این تصفیه‌خانه‌ها از سه نظر شامل ظرفیت فیلتراسیون، حذف جلبک و حذف کدورت مورد بررسی قرار گرفتند. از نظر ظرفیت فیلتراسیون در عملیات شناور سازی با هوای محلول فیلترها ظرفیتی به مراتب بیشتر از عملیات ته‌نشینی داشتند و همچنین رشد جلبکها در آنها در حدود نصف کاهش یافت. همچنین از نظر حذف جلبکها عملیات شناور سازی با هوای محلول راندمانی بهتر داشت که این راندمان براساس سنجش کلروفیل a انجام گرفت. میزان کلروفیل a در آب خروجی عملیات شناور سازی بسیار کم بوده و این خود باعث افزایش راندمان فیلترهای دولایه و عدم رشد سریع جلبکها در آن شده است. از نظر حذف کدورت راندمان فیلترهای دولایه حدود ۹۰ درصد بوده است و کدورت خروجی از ۳ NTU افزایش پیدا نکرد. ولی در زمستان با کاهش دما میزان کدورت به ۵ NTU افزایش پیدا کرد. راندمان فیلترها در دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد حدود ۷۰ درصد بوده ولی در دمای صفر تا ۵ درجه راندمانی حدود ۵۶ درصد داشته است [۶]. تحقیق دیگر در زمینه استفاده از شناور سازی با هوای محلول در تصفیه آب توسط رالی^۵ و مارچتو^۶ در سال ۲۰۰۱ در کشور برزیل انجام گردید. در این تحقیق آب خام دارای کدورت پایین و رنگ بالا بود. نتایج حاصله نشان می‌دهد که راندمان حذف بیش از ۹۰ درصد برای حذف رنگ،

شناور سازی واحدی عملیاتی است که برای جداسازی ذرات جامد یا مایع از یک فاز مایع به کار می‌رود. جداسازی در این عملیات از طریق وارد کردن حبابهای ریز گاز (معمولاً هوا) به داخل فاز مایع صورت می‌پذیرد که در نتیجه آن حبابهای هوا به ذرات جامد چسبیده و نیروی شناوری مجموعه ذره و حبابهای گاز به قدری افزایش می‌یابد که سبب صعود ذره به سطح می‌شود، بدین ترتیب می‌توان ذراتی را که چگالی آنها از مایع بیشتر است را به صعود به سطح واداشت و صعود ذرات با چگالی کمتر از مایع (مانند روغن محلول در آب) را نیز می‌توان تسهیل کرد [۱ و ۲]. اصولاً در تصفیه فاضلاب، از شناور سازی برای جدا کردن مواد معلق و تغلیظ لجنهای بیولوژیکی استفاده می‌شود. اما در تصفیه آب که اخیراً مورد توجه قرار گرفته هدف از شناور سازی تنها جداسازی مواد معلق بوده که به دلیل استفاده از هوا تا حدودی در کنترل طعم و بو نیز مؤثر بوده است [۳]. مزیت اصلی شناور سازی بر ته‌نشینی این است که با این روش، می‌توان ذراتی را که بسیار کوچک و یا سبک هستند و به آرامی ته‌نشین می‌شوند را به طور کامل تر و در زمان کوتاه‌تر حذف کرد [۴].

آلودگی روزافزون آب رودخانه کارون مشکلات جدیدی را در تصفیه آب آشامیدنی ایجاد نموده است. از جمله این مشکلات وجود مواد معلق ناشی از جلبکها و زوائد گیاهی و جانوری است که جداسازی آنها از آب به سختی انجام می‌گیرد. در سالهای اخیر سیستم شناور سازی با استفاده از هوای محلول در تصفیه آبهای سطحی و خصوصاً آبهای حاوی جلبکها و ترکیبات آلی کاربرد پیدا کرده است. از مزایای این سیستم یک پارچه بودن، پربار بودن و قابلیت کیفی بالا است. با توجه به افزایش آلودگی رودخانه کارون و این حقیقت که در سیستم DAF^۱ به کمک هوای محلول تحت فشار، فلوک‌های ایجاد شده شناور می‌گردند، لذا انتظار می‌رود بخش قابل توجهی از ترکیبات آلی با این روش حذف گردند.

این تحقیق با استفاده از یک پایلوت در تصفیه‌خانه کوت امیر اهواز انجام شد. این تصفیه‌خانه در جنوب شرقی اهواز و در منطقه کوت امیر با هدف تهیه و تولید آب و انتقال آن به تصفیه‌خانه‌های مرغزار و سربندر احداث گردید. استانداردهای پیش‌بینی شده جهت آب خروجی برای مقدار غلظت مواد جامد معلق کمتر از ۲۵ میلی‌گرم در لیتر و pH بیشتر از ۷ بوده است. در تصفیه‌خانه کوت امیر تنها از فرآیند انعقاد و ته‌نشینی (بدون انجام عمل فیلتراسیون) استفاده می‌شود. هدف اصلی این تحقیق بررسی ویژگیهای استفاده از

² Amato

³ Kempeneers

⁴ Antwerp

⁵ Reali

⁶ Marchetto

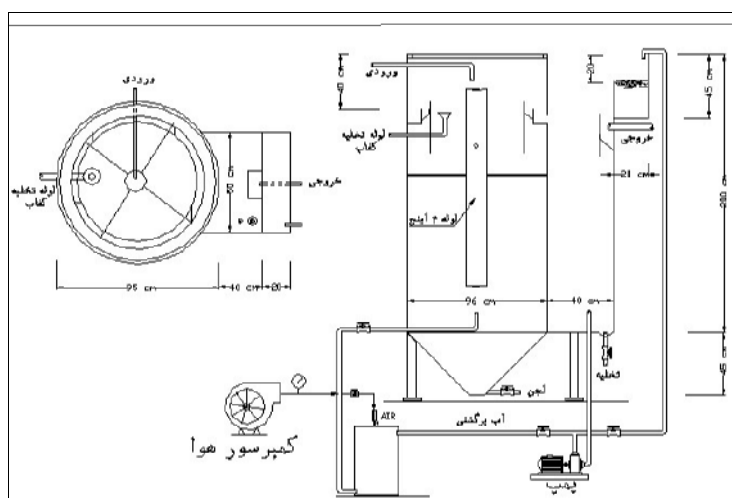
¹ Dissolved Air Flotation

۲- مواد و روشها

پس از ساخت و راه اندازی پایلوت، ابتدا تحت شرایط عملیاتی مختلف از قبیل دماهای مختلف، درصد برگشت جریان سیستم و شدت جریان ورودی یا به عبارتی دیگر بارگذاری متفاوت با هم مقایسه و شرایط بهینه مشخص گردید. پس از شروع بهره‌برداری از پایلوت از آب خام ورودی و آب خروجی نمونه برداری شد و پارامترهای کیفی pH، کل جامدات معلق، کدورت، رنگ و کربن آلی کل (TOC) سنجیده و میزان تأثیر پایلوت بر کاهش یا تنظیم این پارامترها بررسی گردید. مواد مورد استفاده شامل آب خام ورودی از رودخانه کارون که در دوره تحقیق (از ۱۳۸۴/۱۲/۹ تا ۱۳۸۵/۳/۶) دارای کدورتی به طور متوسط حدود ۲۰۳ NTU، جامدات معلق ۴۱۶ میلی‌گرم در لیتر، pH برابر ۷/۹، دما ۲۱/۱ درجه سانتی‌گراد، رنگ TCU صفر و کل کربن آلی ۱/۳۴ میلی‌گرم در لیتر بوده است. همچنین مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق شامل مواد منعقد کننده (سولفات آلومینیم و کلروفریک) و مواد کمک منعقد کننده (پریستول و مگنافلوک) بوده که در جدول ۱ نشان داده شده است. شکل ۱ پلان و مقطع و در جدول ۲ مشخصات پایلوت شناورسازی با هوای محلول ارائه شده است.

۸۸ درصد برای حذف کدورت و ۹۴ درصد برای حذف TSS بوده است. مطالعات نشان می‌دهد که سرعت افقی بالای ۷۶ سانتی‌متر در دقیقه بهترین راندمان را داشته است [۷]. تحقیق دیگر در مورد استفاده از شناورسازی با هوای محلول در تصفیه آب، شست و شوی معکوس فیلترها توسط ادس^۱ و همکاران انجام شده است. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که عملیات DAF در تصفیه آب شست و شوی معکوس می‌تواند نتایج رضایتبخشی را به دست بدهد، به طوری که میزان کدورت آب تولیدی وقتی که میزان کدورت در آب خام بیش از ۵۰ NTU بوده است، به کمتر از ۱ NTU رسید. میزان مواد شیمیایی به کار برده شده بسیار کم و آن هم شامل مواد پلیمری بود [۸]. کرد مصطفی پور در پایان نامه دکتری خود در رشته مهندسی بهداشت محیط میزان حذف آرسنیک و آلومینیم را در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از فرآیند شناورسازی مورد بررسی قرار داد که نتایج حاصله نشان داد که تغییر فشار اشباع‌سازی می‌تواند موجب تغییرات حذف آلومینیم و آرسنیک در فشارهای متفاوت اشباع‌سازی شود [۹].

^۱ Eades



شکل ۱- پلان و مقطع پایلوت شناورسازی با هوای محلول

جدول ۱- میزان تزریق مواد منعقد کننده و کمک منعقد کننده در طول دوره تحقیق (ppm)

پارامتر	ماده منعقد کننده (سولفات آلومینیم و کلروفریک)	ماده کمک منعقد کننده (پریستول و مگنافلوک)
حداکثر	۴/۵	۰/۱۲۵
میانگین	۳/۳	۰/۰۸۳
حداقل	۲/۵	۰/۰۶۳
انحراف معیار	۰/۵	۰/۰۳۶
دامنه تغییرات	۲	۰/۰۳۶

جدول ۲- مشخصات پایلوت DAF

نام اجزا	تعداد	مشخصات
مخزن اصلی	۱	شکل هندسی
		دایره‌ای
		جنس
		فلزی
		حجم
		۱/۱۶ متر مکعب
		سطح
کمپرسور	۱	قطر
		۰/۹۶ متر
		ارتفاع مفید
		۱/۶ متر
		ارتفاع هاپر
		۰/۴۵ متر
		ارتفاع آزاد
۰/۴۰ متر		
پمپ برگشتی	۱	ظرفیت
		۱۵۰ لیتر
		توان
		۰/۵ کیلووات
پمپ تغذیه	۱	نوع
		گریز از مرکز مدل مووی ۳۲/۹
		ظرفیت
		۲ متر مکعب در ساعت
پمپ تغذیه	۱	توان
		۲/۲ کیلووات
		فشار
		۵/۵ بار
مخزن تحت فشار	۱	نوع
		مستغرق
		ظرفیت
		۴ متر مکعب در ساعت
فشار عملیاتی	۱	توان
		۰/۷۵ کیلووات
		ارتفاع
		۱۵ متر
مخزن تحت فشار	۱	جنس
		فولادی
		حجم
		۰/۱۹۸ متر مکعب
فشار عملیاتی	۱	قطر
		۰/۳۰۴۸ متر
		ارتفاع
		۰/۶۵ متر
فشار عملیاتی	۱	فشار
		۱۲ اتمسفر
فشار عملیاتی	۱	۵ اتمسفر

در طول دوره تحقیق گستره تغییرات کل جامدات معلق بین ۴۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده است. در این مدت کل جامدات معلق میانگینی حدود ۴۱۶ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیاری برابر ۳۵۲/۲ داشته است. شکل ۴ روند تغییرات این پارامتر در طول دوره تحقیق را نمایش می‌دهد. در این شکل نیز می‌توان مشاهده نمود که به علت قرار گرفتن زمان نمونه‌برداری در دوره خشک سال که تلاطم و انتقال رسوب کم می‌شود، میزان جامدات معلق نیز کم شده و آب شفاف‌تر می‌گردد.

در طول دوره تحقیق گستره تغییرات پارامتر TOC بین حداقل ۰/۶۳ تا حداکثر ۲/۸۹ میانگینی برابر ۱/۳۴ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیار آن ۰/۵۸ بوده است. شکل ۵ روند تغییرات پارامتر کیفی TOC را در طول دوره تحقیق نمایش می‌دهد. حداکثر مجاز این پارامتر در کشورهای اروپایی ۵ میلی‌گرم در لیتر و حد مطلوب آن ۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد، همچنین در منبع دیگری حداکثر را ۳ میلی‌گرم در لیتر ذکر کرده که در هیچ یک از نمونه‌ها در دوره

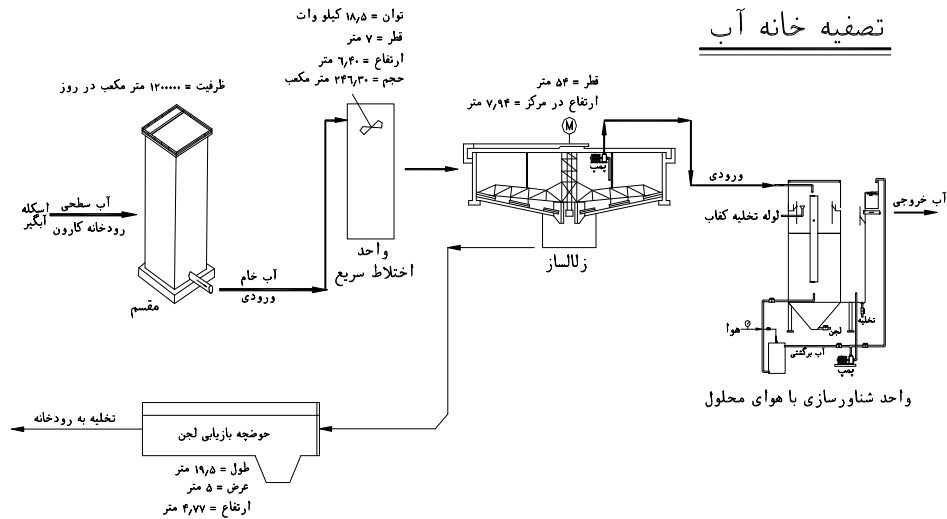
همچنین شکل ۲ نحوه تغذیه پایلوت از آب واحد لخته‌سازی را نشان می‌دهد.

۳- نتایج و بحث

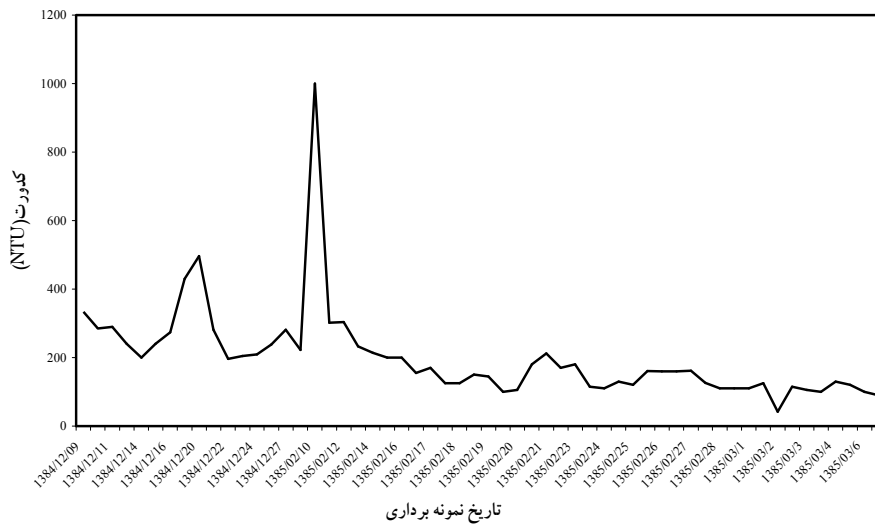
۱-۳- کیفیت آب رودخانه کارون بر اساس داده‌های دوره تحقیق براساس پارامترهای کیفی مورد توجه در این تحقیق، کیفیت آب خام ورودی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در ادامه ارائه می‌گردد. در جدول ۳ کیفیت آب خام ورودی براساس پارامترهای دما، کدورت، کل جامدات معلق، رنگ و کل کربن آلی ارائه شده است.

کدورت در دوره تحقیق در گستره ۴۲ تا ۱۰۰۰ NTU، انحراف معیاری برابر ۱۳۸/۴ و میانگینی برابر با ۲۰۳ NTU داشته است. در شکل ۳ روند تغییرات کدورت آب خام ورودی در طول دوره تحقیق نشان داده شده است. چنانچه ملاحظه می‌گردد میزان کدورت به تدریج کم شده و این نشان دهنده تغییر فصل و کاهش جریانهای سیلابی بوده است.

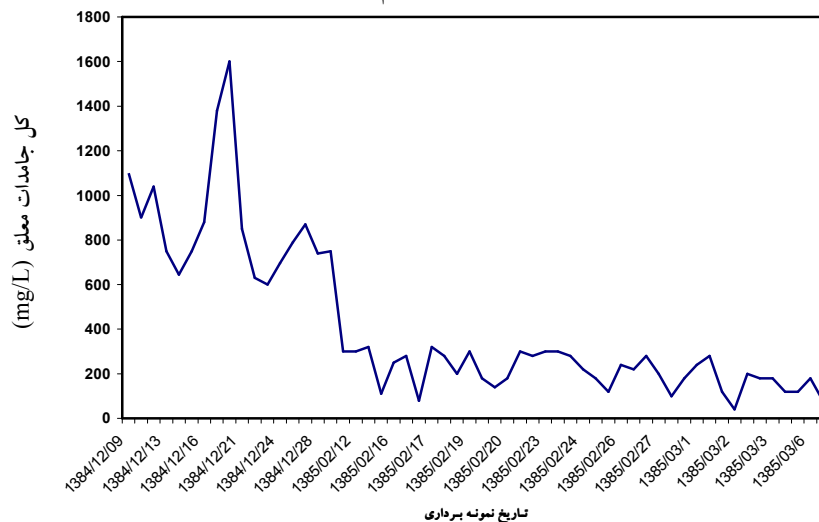
تصفیه خانه آب



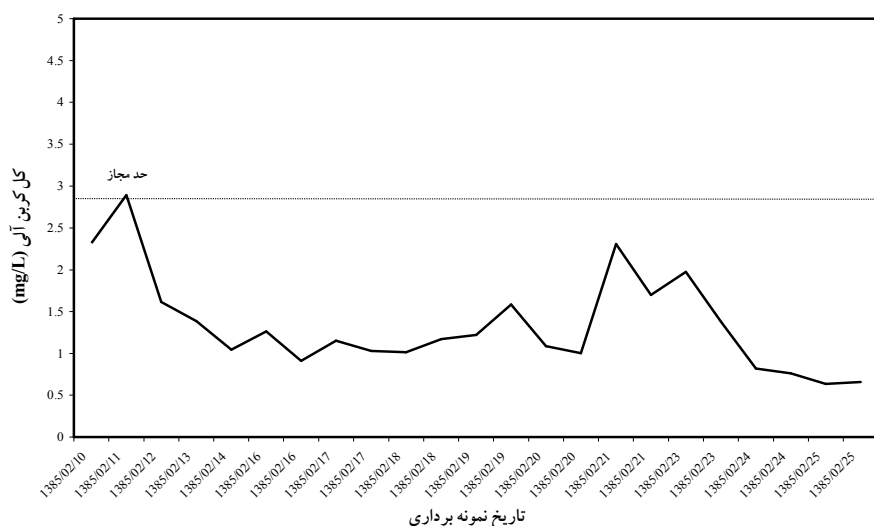
شکل ۲- دیگرام جریان فرآیند (PFD) پایلوت شناورسازی با هوای محلول



شکل ۳- روند تغییرات کدورت آب خام ورودی در طول دوره تحقیق



شکل ۴- روند تغییرات کل جامدات معلق در طول دوره تحقیق



شکل ۵- روند تغییرات غلظت کل کربن آبی در طول دوره تحقیق

با توجه به غیر خطی بودن ارتباط بین این دو پارامتر در نمونه برداری دوره تحقیق، نمی توان رفتارهای این متغیرها را نسبت به سایر پارامترها به صورت خطی انتظار داشت.

۳-۳- محاسبه نسبت هوا به جامدات (A/S)

در این تحقیق ابتدا میزان حلالیت هوا در آب محاسبه و سپس با توجه به میزان کل جامدات معلق ورودی به سیستم، مقدار نسبت هوا به جامدات به دست آمد و ارتباط آن با پارامترهای مختلف بررسی شد. در جدول ۴ روند تغییرات نسبت A/S ارائه شده است.

۳-۴- تعیین راندمان حذف کل جامدات معلق در پایلوت DAF

میزان TSS ورودی در طول دوره تحقیق در گستره ای بین ۴۰ تا ۱۶۰۰ میلی گرم در لیتر و با میانگین برابر ۴۱۶ میلی گرم در لیتر بوده است. در این مدت غلظت جامدات معلق خروجی از پایلوت بین حداقل ۳۰ تا حداکثر ۵۰۰ میلی گرم در لیتر و میانگین ۱۱۴ میلی گرم در لیتر قرار داشته است. میزان راندمان حذف مواد معلق در پایلوت بین ۳۸ تا ۹۵ درصد و میانگین ۷۲ درصد بوده است. در شکل ۶ روند تغییرات جامدات معلق ورودی و خروجی از پایلوت DAF در طول دوره تحقیق نشان داده شده است.

۳-۵- روند تغییرات TSS نسبت به A/S

در شکل ۷ روند تغییرات جامدات معلق خروجی نسبت به تغییرات A/S نشان داده شده است. چنانچه ملاحظه می گردد با افزایش A/S میزان غلظت جامدات معلق نیز کاهش می یابد. رابطه بین این دو پارامتر معکوس بوده به طوری که با افزایش یا کاهش A/S میزان

تحقیق TOC از این مقدار فراتر نرفته است [۳ و ۱۰]. لذا می توان چنین نتیجه گرفت که آب رودخانه کارون در طول دوره تحقیق از بابت این پارامتر مشکلی نداشته است. مقدار پارامتر رنگ در طول دوره تحقیق صفر TCU بر حسب پلاتین کبالت بوده است. حد مطلوب این پارامتر جهت مصارف شرب مساوی یا کمتر از TCU ۱ و حد مجاز آن ۲۰ TCU بر حسب پلاتین کبالت می باشد. لذا از نظر این پارامتر کیفی آب رودخانه کارون در دوره تحقیق شرایطی کاملاً مطلوب داشته است [۱۱].

۳-۲- بررسی ارتباط بین کدورت و کل جامدات معلق

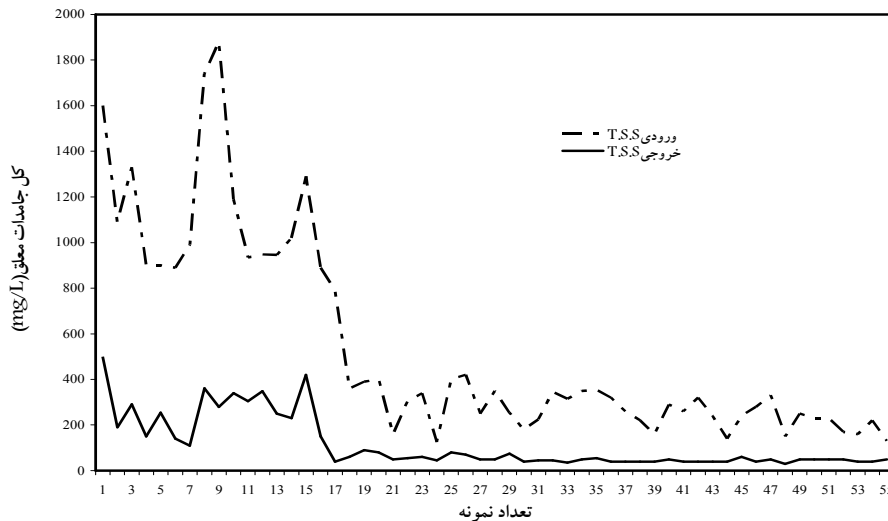
با توجه به اینکه تعیین رفتار و راندمان حذف مواد معلق در پایلوت DAF از اهداف اصلی این طرح است و از طرفی کدورت با این پارامتر معمولاً ارتباط معنی دار دارد، لذا ارتباط بین این دو پارامتر نیز بررسی گردید. ضریب همبستگی ارتباط بین کدورت به عنوان متغیر مستقل و TSS به عنوان متغیر وابسته نشان می دهد که بهترین نوع رابطه بین کدورت و TSS از نوع غیر خطی و ضریب ارتباط بین آنها در سطح $R^2 = 0/8011$ می باشد. آزمون همبستگی خطی انجام شده نیز نشان می دهد که ارتباط خطی بین این دو متغیر $R^2 = 0/5417$ بوده است. آزمون همبستگی نشان می دهد که میزان ارتباط بین این دو متغیر در آب خام ورودی به سیستم از نظر خطی نسبتاً ضعیف بوده به طوری که بهترین ارتباط بین آنها غیر خطی و معادله ای از درجه ششم است. از دلایل این موضوع می توان به تغییر ماهیت مواد معلق عامل کدورت، با توجه به فصل دوره تحقیقاتی اشاره نمود. در منابع معتبر ارتباط بین این دو پارامتر را به صورت زیر بیان می دارند [۱۲ و ۱۳]:

$$TSS=1.1 -1.3 \text{ Turbidity} \quad (۱)$$

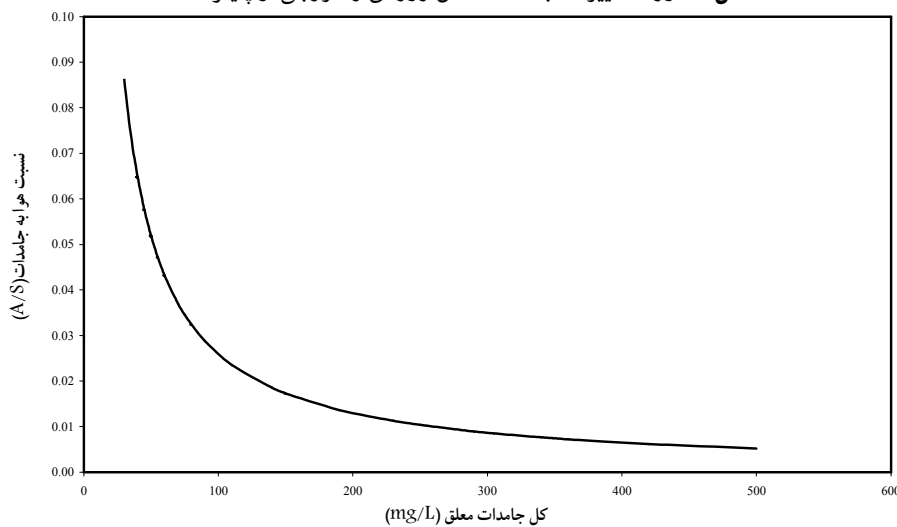
$$TSS=1.3 -1.6 \text{ Turbidity} \quad (۲)$$

جدول ۴- مقادیر کل جامدات معلق آب خام به همراه میزان A/S محاسباتی در طول دوره تحقیق

پارامتر	کل جامدات معلق (mg/L)	نسبت A/S
حداکثر	۱۶۰۰	۰/۰۸۶
میانگین	۴۱۶	۰/۰۴۲
حداقل	۴۰	۰/۰۰۵



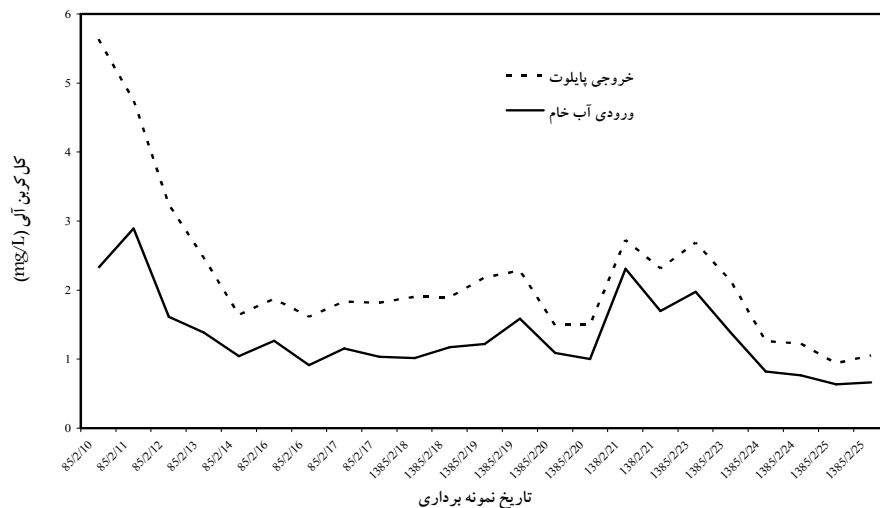
شکل ۶- روند تغییرات جامدات معلق ورودی و خروجی از پایلوت DAF



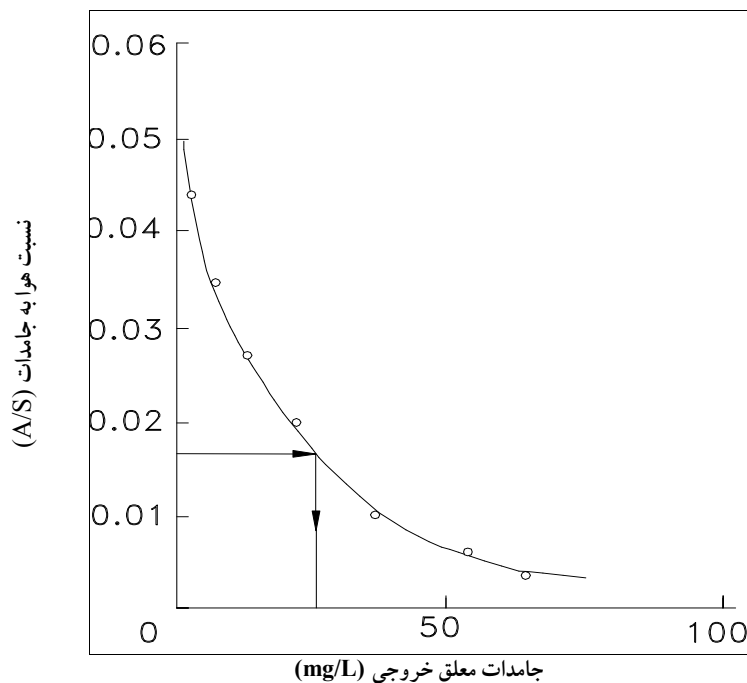
شکل ۷- روند تغییرات جامدات معلق خروجی نسبت به تغییرات A/S

رامالهو در سال ۱۹۸۳ ملاحظه نمود که در شکل ۹ نمایش داده شده است [۱۴]. رابطه همبستگی بین TSS به عنوان متغیر مستقل و خروجی از پایلوت به عنوان متغیر وابسته نشان می‌دهد که بین این دو داده رابطه همبستگی معنی‌داری از نوع نمایی وجود دارد و ضریب همبستگی آن $R^2=0/7214$ بوده که بیانگر وابستگی راندمان پایلوت به میزان غلظت ورودی به سیستم است. همچنین مابین دو پارامتر دما به عنوان متغیر مستقل و TSS به عنوان متغیر

TSS خروجی کاهش و یا افزایش پیدا می‌کند. روند تغییرات TSS خروجی از پایلوت DAF با پارامتر A/S، نسبت معکوس دارد چنانچه میزان A/S افزایش یابد میزان غلظت جامدات معلق خروجی نیز کاهش می‌یابد. بهترین رابطه موجود بین این دو پارامتر از نوع نمایی با $R^2=1$ می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود با مطالعه روند موجود در TSS خروجی از پایلوت DAF در دوره تحقیق می‌توان انطباق روند را با نمودار ارائه شده توسط



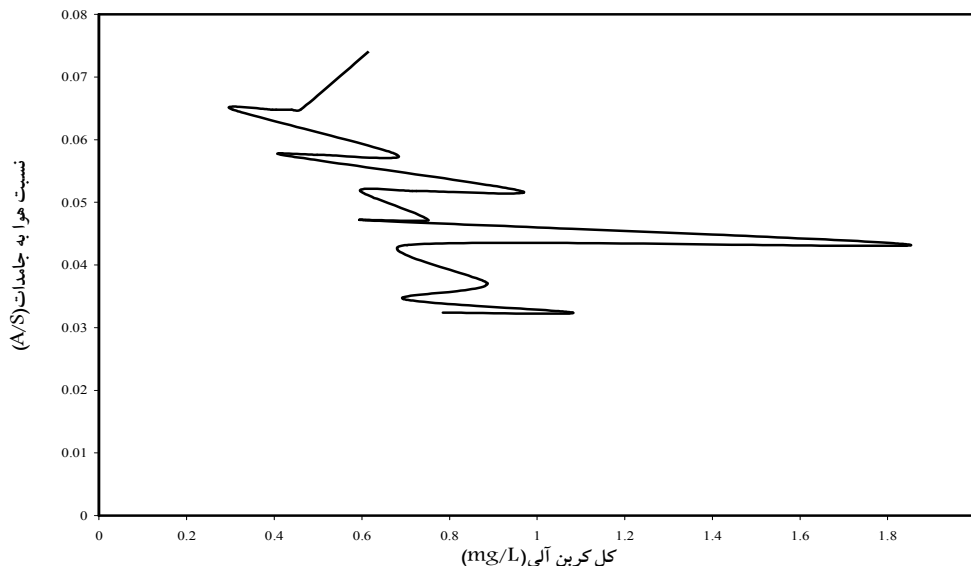
شکل ۸- روند تغییرات TOC ورودی و خروجی از پایلوت DAF



شکل ۹- روند تغییرات جامدات معلق خروجی نسبت به تغییرات A/S که توسط رامالو ارائه شده است [۱۴].

۳-۶- تعیین راندمان حذف TOC در پایلوت DAF
میزان TOC ورودی در طول دوره تحقیق در گستره‌ای بین ۰/۶۳ تا ۲/۸۹ میلی‌گرم در لیتر و میانگین برابر ۱/۳۴ میلی‌گرم در لیتر داشته است. در این مدت غلظت خروجی این پارامتر از پایلوت DAF بین حداقل ۰/۳۱ تا ۱/۸۵ میلی‌گرم در لیتر و میانگین آن ۰/۶۹ میلی‌گرم در لیتر قرار داشته است. میزان راندمان حذف TOC در پایلوت DAF بین ۱۳ تا ۸۲ درصد و میانگین آن ۴۴ درصد بوده است. شکل ۸ روند تغییرات TOC ورودی و خروجی از پایلوت DAF در طول دوره تحقیق را نمایش می‌دهد.

وابسته آزمون همبستگی برقرار گردید که نشان می‌دهد بین این دو متغیر رابطه معنی‌داری از نوع نمایی وجود دارد و ضریب همبستگی بین آنها $R^2=0/8406$ بوده است. با توجه به این که میزان دما در حلالیت هوا در آب کاملاً تأثیرگذار است و از طرفی بین نسبت حلالیت هوا در آب و میزان جامدات A/S و میزان TSS خروجی رابطه معنی‌داری برقرار بوده، پیش‌بینی می‌گردید که بین این دو متغیر رابطه معنی‌داری برقرار شود و از این موضوع می‌توان به ارتباط بین راندمان حذف مواد معلق در سیستم DAF و دما نیز پی برد.



شکل ۱۰- روند تغییرات TOC خروجی نسبت به تغییرات A/S

۴- نتیجه گیری

آزمون آماری انجام شده مابین میانگین TSS خروجی از زلال‌سازهای موجود با میانگین TSS خروجی از پایلوت DAF نشان می‌دهد که بین این دو پارامتر تفاوت معنی‌داری وجود دارد که بیانگر عدم تطابق آنها است. این مسئله می‌تواند بیانگر آن باشد که در غلظت‌های بالا از کل جامدات معلق، ته‌نشینی‌های ثقلی و راندمانی به مراتب بیشتر از سیستم DAF دارند که تحقیقات مالی و همکاران و کیسی این موضوع را تأیید می‌نماید [۴ و ۱۵].

بررسی میزان تأثیر دما بر عملکرد سیستم نشان می‌دهد که دما بر میزان جامدات معلق خروجی از پایلوت تأثیر گذار بوده است. چنانچه در مطالعات شوفیلد، بانکر و مالی و همکاران به آن اشاره شده است [۱، ۱۶ و ۱۷].

همچنین آزمون آماری انجام گرفته مابین میانگین TOC خروجی از زلال‌سازی‌های موجود و میانگین TOC خروجی از پایلوت DAF نشان می‌دهد که هیچ ارتباط معنی‌داری بین این دو پارامتر وجود ندارد. لذا می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود زمانی که TOC آب خام فراتر از حد مجاز نباشد تأثیر پایلوت به روی حذف TOC نسبت به زلال‌سازهای متداول ثقلی قابل ملاحظه نیست.

از طرفی دامنه تغییرات راندمان حذف کل جامدات معلق در پایلوت DAF بین ۳۸ تا ۹۵ درصد با میانگین ۷۲ درصد بوده است. نتایج بیان می‌دارد که راندمان حذف رابطه معکوس با میزان جامدات ورودی به سیستم دارد به طوری که با افزایش TSS، راندمان کاهش می‌یافت و لذا می‌توان چنین استنتاج نمود که هر چه TSS ورودی بیشتر شود، افزایش TSS خروجی را به همراه خواهد

۳-۷- روند تغییرات TOC خروجی نسبت به A/S
روند تغییرات TOC خروجی نسبت به A/S در شکل ۱۰ نشان داده شده است. چنانچه ملاحظه می‌گردد این روند، روندی غیرخطی بوده ولی روند کلی را نیز تا حدودی می‌توان بر روند پارامترهای قبلی منطبق دانست. روند تغییرات TOC خروجی از پایلوت DAF، با پارامتر A/S، روند غیر خطی بوده و مانند TSS روندی منظم ندارد. بهترین رابطه موجود بین این دو پارامتر از نوع معادله درجه ششم با ضریب $R^2 = 0/6376$ می‌باشد. با این آزمون مشخص گردید که بین نسبت A/S و TOC خروجی رابطه معنی‌داری وجود ندارد چنانچه در هیچ یک از تحقیقات انجام گرفته به این موضوع اشاره نشده است. بین TOC ورودی به عنوان متغیر مستقل و TOC خروجی از پایلوت به عنوان متغیر وابسته، آزمون همبستگی برقرار گردید که نتایج آن نشان می‌دهد بین این دو پارامتر رابطه غیرخطی از نوع معادله درجه ششم با ضریب همبستگی $R^2 = 0/8204$ برقرار است که بیانگر وجود رابطه معنی‌دار می‌باشد.

در این مطالعه بین دما به عنوان متغیر مستقل و TOC خروجی به عنوان متغیر وابسته آزمون همبستگی برقرار گردید که نشان می‌دهد بین این دو متغیر رابطه معنی‌دار برقرار نبوده است.

۳-۸- آزمون آماری بین خروجی TSS و TOC از پایلوت و زلال‌سازهای موجود

در این سنجش از آزمون t استفاده گردیده است. نتایج حاصله در این آزمون بیانگر نابرابر بودن میانگین‌های TSS و TOC در خروجی از زلال‌سازها و پایلوت DAF بوده است.

داشت. این موضوع دلیلی بر تأیید تحقیقات مالی و همکاران می‌باشد [۱۵]. همچنین این مسئله بیانگر این واقعیت است که در غلظت‌های بالا از مواد معلق سیستم DAF دارای بازدهی کافی نیست. لذا با توجه به کدورت بالا در رودخانه کارون استفاده از سیستم شناورسازی بدون استفاده از سیستم‌های پیش‌ته‌نشینی عملاً کارآیی لازم را در حذف مواد معلق ندارد و برای استفاده در تصفیه‌خانه‌هایی که از این رودخانه تغذیه می‌شوند، بدون ته‌نشینی مقدماتی توصیه نمی‌گردد.

همچنین راندمان حذف کل کربن آلی در پایلوت DAF بین ۱۳ تا ۸۲ درصد با میانگین ۴۴ درصد بوده و چنانچه ملاحظه می‌گردد بازدهی حذف TOC نیز رابطه مستقیمی با میزان غلظت TOC ورودی به سیستم دارد که این موضوع با تحقیقات انجام گرفته توسط آماتو و همکاران و اودگارد همخوانی دارد [۵ و ۱۸].

از طرف دیگر از رابطه همبستگی بین دما و TOC می‌توان چنین استنتاج نمود که دما به طور مستقل و تنها با در نظر گرفتن میزان اشباع هوا در آب نمی‌تواند پارامتر تأثیرگذار اصلی در حذف TOC باشد لذا می‌بایست این موضوع با برآیند دیگر نیروها که وابستگی زیادی به دما دارند و از طرفی در عملکرد شناورسازی نیز تأثیرگذار هستند، همچون نیروهای شناوری و اصطکاک، بررسی شود. با توجه به فراتر از حد مجاز نبودن پارامتر TOC در طول

دوره تحقیق، می‌توان راندمان حذف آن را قابل قبول قلمداد کرد. لذا با توجه به راندمان تا بالای ۸۰ درصد حذف مواد آلی در این سیستم و این که قسمتی از مواد آلی شامل مواد آلی فرآر بوده و عمدتاً منشاء تولید بو و طعم نامناسب در آب می‌باشند، استفاده از این سیستم جهت تولید آب با کیفیت بهتر در تصفیه آب رودخانه کارون به عنوان فرآیند تکمیلی توصیه می‌گردد.

از محدودیتهای این مطالعه عدم کنترل بر میزان تزریق مواد منعقدکننده بود و در طول مدت تحقیق این عمل توسط بهره برداران تصفیه‌خانه انجام می‌شد. بدین دلیل تجزیه و تحلیل در این مورد میسر نگردید، لذا برای ادامه مطالعات بررسی نحوه تأثیر مواد منعقدکننده بر روی عملکرد سیستم DAF پیشنهاد گردید.

۵- تشکر و قدردانی

از واحد تحقیقات و استاندارد مهندسی آب سازمان آب و برق خوزستان که هزینه این تحقیق را به طور کامل متقبل شده‌اند، علی‌الخصوص جناب آقای مهندس خواجه ساهوتی مدیر محترم و سرکار خانم مهندس مرعشی کارشناس محترم این واحد و همچنین مدیریت و کارکنان محترم شرکت بهره‌برداری تولید و انتقال آب جنوب شرق و تصفیه‌خانه آب کوت امیر صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

۶- مراجع

- 1- Montgomery, J. M. (2005). *Water treatment ,principles and design*, 2nd Ed., MWH, John wiley & Sons, USA.
- 2- Casey, T. J. (1997). *Unit treatment processes in water and wastewater engineering*, John Willey and Sons, England.
- 3- Degremont, J. (1991). *Water treatment handbook*, 6th Ed.,volumes 1&2, Lavoisier Publishing, France.
- 4- Casey, T. J., and Naoum, I. E. (1986). *Water supply*, John Willey & Sons, England, 69-82.
- 5- Amato, T., Edzwald, J. K. K., Tobiason, J. E., Dahiquist, J., and Hedberg, T. (2001). "An integrated approach to dissolved air flotation." *Water Science and Technology*, 43 (8), 19-25.
- 6- Kempeneers, S.F., VanMenxel, and Gille, L. (2001). "A decado of large scale experiece in dissolved air flotation." *Wat. Sci. Tech.*, 43 (8), 27-34.
- 7- Reali, M. A. P., and Marchetto, M. (2001). "High-rate dissolved air flotation for water treatment, water treatment." *Wat. Sci. Tech.*, 43 (8), 43-49.
- 8- Eades, A., Bates, B. J., and Macphee, M. J. (2001). "Treatment of spent filter backwash water using dissolved air flotation." *Wat. Sci. Tech.*, 43 (8), 59-66.
- ۹- کرد مصطفی پور، ف. (۱۳۸۴). "حذف آرسنیک و آلومینیم از منابع آب آشامیدنی با استفاده از فرآیند DAF." پایان نامه

دکترای مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان.

10- Bennett, A. (2006). "Potable water : Sustainable separation treatment." *Filteration and Separation Journal*, 43 (4), 32-35.

۱۱- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. (۱۳۷۶). ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی، تجدید نظر چهارم، چاپ پنجم، استاندارد شماره ۱۰۵۳.

12- Qasim, S. R., Motley, E. M., and Zhu, G. (2000). *Waterworks engineering, planning, design and operation*, Prentice-Hall Inc., USA.

13- Tchobanoglous, G. (2003). *Wastewater engineering*, Metcalf & Eddy, McGraw Hill.

14- Ramalho, R. S. (1983). *Introduction to wastewater treatment processes*, 2nd Ed., Academic Press Inc., London.

15- Malley, J. P., and Edzwald, J. K. (1991). Laboratory comparison of DAF with conventional treatment, AWWA , 56 - 61.

16- Bunker, D. Q., Edzwald, J. K., Dahlquist, J., and Gillbery, L. (1995). "Pretreatment consideration for dissolved air flotation , water type , coagulants and flocculation." *Wat. Sci. Tech.*, 63-71.

17- Schofield, T. (2001). "Dissolved air flotation in drinking water production." *Wat. Sci. Tech.*, 43 (8), 9-18.

18- Odegaard, H. (2001). "The use of dissolved air flotation in municipal wastewater treatment." *Wat. Sci. Tech.*, 43 (8), 75-81.