فن‌آوری جدیدی که کنترل هوادهی پیشرفته را خبر می‌دهد*

ترجمه: علی جمالوندی*

چکیده

یک کنترل‌کننده جدید چند عاملی برای اولین بار در هلند در حال آزمایش است که به مقدار قابل توجهی در انرژی مصرفی در مقایسه با روش کنترل هوادهی متداول صرفه‌جویی نموده است.

کاهش مواد مغذی تخلیه شده به منابع آبهای پذیرنده در دستورالعمل‌های بین‌المللی بیان شده و در هلند در توافقی بین دولت و ادارات آب این کشور مبنی بر کاهش تا ۷۵٪ تخلیه فسفر و نیتروژن به داخل آبهای هر منطقه صورت گرفته است. در مورد تصفیه‌خانه‌های جدید فاضلاب یا تصفیه‌خانه‌هایی که ظرفیت آنها تا ۲۵٪ افزایش یافته، مقررات پساب بر حسب حداکثر غلظت مجاز تنظیم شده است. در اکثر موارد این مقررات به صورت ۱میلی‌گرم در لیتر فسفر کل و ۱۰میلی‌گرم در لیتر نیتروژن کل به عنوان یک متوسط سالانه مقرر شده است.

به دلیل شرایط خاص کشور هلند، به ویژه درجهٔ حرارت پایین در طول زمستان، کنترل هوادهی مهم بوده و با به حداقل رساندن مصرف انرژی همراه با حذف نیتروژن کل، این عمل از اهمیت بیشتری برخوردار شده است.

کنترل

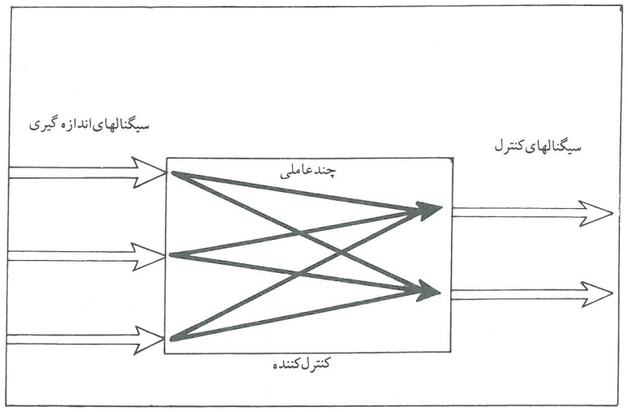
کنترل هوادهی متداول، اغلب بر اساس میزان غلظت اکسیژن در لجن فعال است و این غلظت به خوبی قادر است با تغییرات بارگذاری واکنش نشان دهد، زیرا سیگنال اکسیژن به سرعت قابل دسترس می‌باشد. هر چند تجربیات نشان می‌دهد که کنترل دی نیتریفیکاسیون به ویژه در شرایطی که خصوصیات فاضلاب (COD / N) تغییر می‌کند، و روش رایج کنترل اکسیژن در شرایطی که واحدهای هوادهی بیشتری باید کنترل شوند به اندازه کافی دقیق نیست، کاری مشکل است

امکانات دیگری که اکنون برای رفع این محدودیت‌ها، در دسترس می‌باشند عبارتنداز: استفاده کردن از سیگنال حاصل از آنالیز کننده‌های در مسیر[1] (redox , NO_3 , NH_4) و کاربرد اسپیرومتر با استفاده از پیش‌خوران و کنترل کنندهٔ آبشاری[2]. سیستم‌های کنترل هوادهی که در حال حاضر در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب استفاده می‌شوند تقریباً براساس کنترل‌کننده‌هایی که در اصطلاح PID نامیده می‌شوند، می‌باشند. این کنترل‌کننده‌ها می‌توانند به وسیله استفاده از یک سیگنال منفرد ورودی یعنی غلظت اکسیژن و تعیین یک خروجی منفرد یعنی ظرفیت هوادهی شرح داده شوند.

* دانشجوی کارشناسی بهداشت محیط - دانشکده بهداشت اصفهان

1- On - line analyzers

2- Feed forward and cascade control (master/slave)



شکل ۱ - کنترل‌کننده‌های چند عاملی

نظر به در دسترس بودن سیگنال در مسیر فوق‌الذکر، کاربرد کنترل‌کننده‌های چند عاملی از قبیل فازی[1]، MPC[2] و LQG[3] که چندین سیگنال ورودی را برای تعیین یک یا چند سیگنال خروجی به‌کار می‌برند امکان پذیرگردید (شکل ۱).

کنترل کنندهٔ QUTE

بر اساس تئوری LQG، DHV کنترل کنندهٔ نوع QUTE را ارائه داده است (شکل ۲). در مقایسه با کنترل‌کننده فازی که بر پایه علوم تجربی استوار است، کنترل‌کنندهٔ QUTE از یک مدل کالیبره شدهٔ STP استفاده می‌کند. برای توصیف فرایند لجن فعال، DHV مدل شمارهٔ ۱ IAWQ را انتخاب کرده، زیرا در سطح جهانی به عنوان یک مدل پذیرفته شده مطرح می‌باشد. چون اجرای کامل این مدل خیلی پیچیده است مدل کوچک شده و به صورتی خطی در آمده که قسمتی از فیلتر کالمن می‌باشد. بر اساس سیگنال انتخاب شده ورودی مثل NH_4، NO_3، O_2 و دبی (شکل ۲)، فیلتر کالمن وضعیت فرایند تصفیه‌خانه را تخمین می‌زند (شکل ۲). بسته به آنچه که در اصطلاح تابع هدف[4] گفته می‌شود،

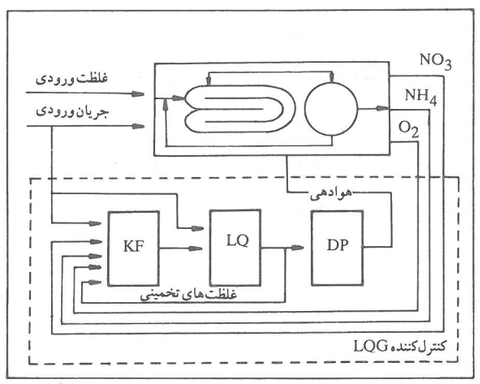
1- Fuzzy

2- Model Predictive Control

3- Linear Quadratic Gaussiam

4- Goal function

5- Weighting function



شکل ۲ - کنترل کننده QUTE

جدول ۱- نتایج شبیه‌سازی

کنترل‌کننده آبشاری		$N_{inorganic}$ (mg/l)	NH_4-N(mg/l)	NO_3-N(mg/l)	انرژی هوادهی[1] (kw)
DWF	۸°	۳۷	۷	۲۹	۲۱۸
	۱۲° C	۱۹	۳	۱۶	۲۱۳
	۱۸° C	۴	۱	۳	۲۶۴
RWF	۱۲° C	۱۷	۵	۱۲	۲۱۴
کنترل‌کننده QUTE					
DWF	۸°	۲۹	۷	۲۲	۱۷۰
	۱۲° C	۱۸	۳	۱۵	۲۰۰
	۱۸° C	۴	۱	۳	۲۶۴
RWF	۱۲° C	۱۷	۴	۱۲	۲۰۱

به عنوان مثال بهینه‌سازی بازده نیتروژن کل همراه با به حداقل رساندن انرژی مصرفی، واحد کنترل یک خروجی بهینه را محاسبه می‌کند. در قسمت LQ کنترل‌کننده، یک تابع وزنی[2] به کار می‌رود تا موارد مختلف تابع هدف را به حالت تعادل برساند. در قسمت توزیع (DP) کنترل‌کننده، مقدار کل هوادهی مورد نیاز که به وسیله تجهیزات هوادهی می‌بایست تأمین گردد محاسبه می‌شود.

نتایج شبیه‌سازی

مزایای کنترل‌کننده QUTE به صورت تئوریک با استفاده از برنامه دینامیک شبیه‌سازی SIMBA (Ifak, Magdeburg)که بر اساس مدل شمارهٔ ۱ IAWQ می‌باشد، بررسی گردید. برای این منظور، کانال اکسایش[3] که به طور وسیع در هلند استفاده می‌شود، مدل‌سازی شد (شکل ۳). برای شرایط نمونه‌وار، فرایند کارایی کنترل‌کننده QUTE با کارایی کنترل‌کننده بسیار پیچیده آبشاری (PID) مقایسه گردید.

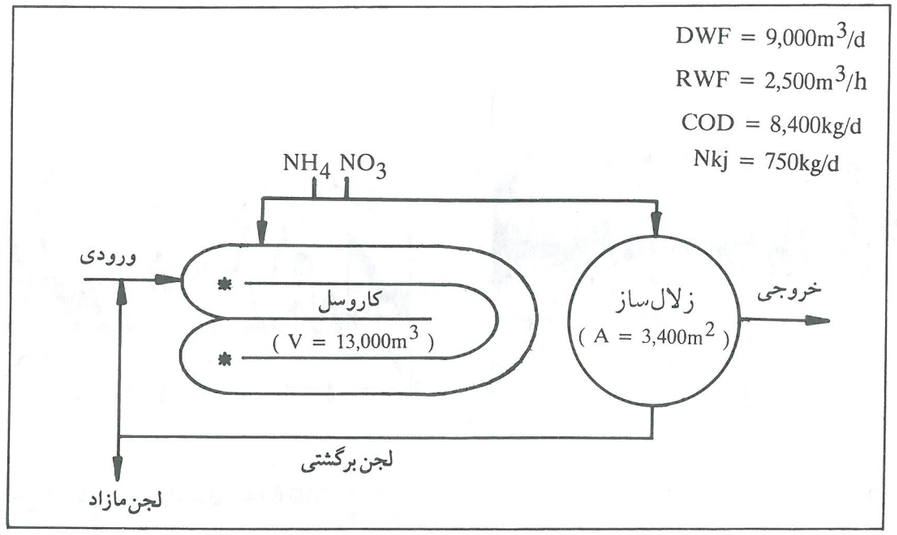
از مقایسه نتایج آن (جدول ۱) می‌توان دریافت که با وجود تفاوتهایی که در شرایط فرایند مشخص است مثل درجه حرارت پایین و شرایط RWF، کنترل‌کننده QUTE یک پساب با کیفیت بهتری در ارتباط با حذف نیتروژن و صرفه‌جویی مقدار قابل ملاحظه‌ای از انرژی در زمانهای مشابه، ارائه داده است.

نتایج عملی

از اولین ماههای سال ۱۹۹۷، کنترل‌کننده QUTE در تصفیه‌خانه زویندرخت[4] هلند در حال آزمایش می‌باشد. بر اساس نتایج موفقیت‌آمیز مدل شبیه‌سازی، آزمایش آن در مقیاس کامل، به وسیله دولت هلند حمایت و تشویق گردید.

تصفیه‌خانه زویندرخت یک سیستم لجن فعال با بار ورودی خیلی پایین و ظرفیت طراحی ۱۳۰۰۰۰ نفر با دبی ۵۲۰۰ m^3/hr می‌باشد. فاضلاب ورودی بعد از عبور از آشغالگیرها و انتخاب‌گر، وارد محفظه‌های کاروسل[5] می‌شود. جداسازی لجن برگشتی و تخلیه پساب در زلال‌سازهای ثانویه انجام می‌شود. حذف فسفر نیز به وسیله یک فرایند رسوب‌گذاری به طور همزمان انجام می‌گیرد. لجن اضافی بر اثر نیروی ثقل و آبگیری به وسیله سانتریفوژ، تغلیظ می‌شود. همانگونه که قبلاً گفته شد طبق مقررات ازت و فسفر پساب معمولاً برابر ۱۰میلی‌گرم در لیتر ازت کل و ۱میلی‌گرم در لیتر فسفر کل تنظیم می‌شود. تصفیه‌خانه معمولاً با ۷۰٪ از ظرفیت طراحی آن بارگذاری شده و به راحتی مقررات وضع شده را برآورده می‌کند (جدول ۲).

1- Aeration Power
2- Weighting function
3- Oxidation ditch
4- Zwijndercht
5- Carrousel



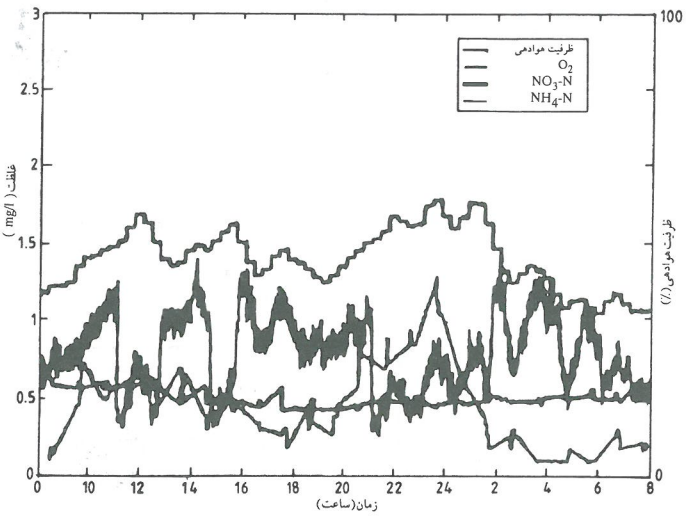
شکل ۳- مدل‌سازی کانال اکسایش

جدول ۲- نتایج فرایندها در تصفیه‌خانه زویندرخت

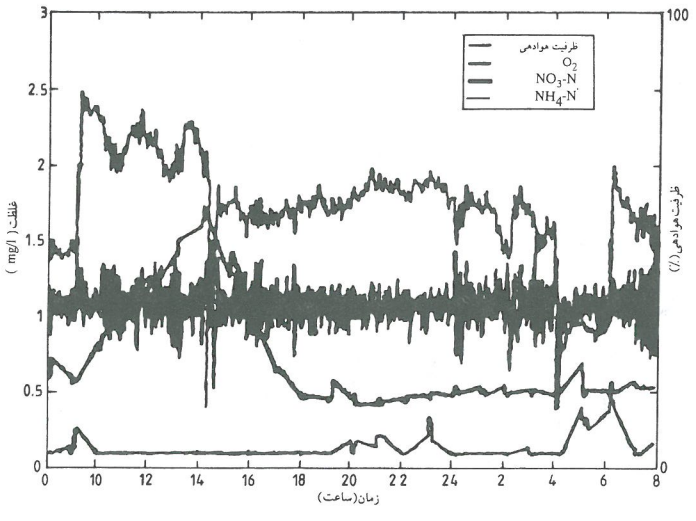
ظرفیت طراحی	۱۳۰۰۰۰ p.e	زلال‌ساز	
بار آلی	۶۵۰۰kg/d	تعداد	۴
بار ازت کجلدال	۱۵۶۰kg/d	قطر	۵۰m
بار فسفر	۲۸۶kg/d	بارسطحی	۰/۶۷$m^3/(m^2.h)$
RWF	۵۲۰۰m^3/h		
		بار (۱۹۹۶)	
کاروسل		ظرفیت	۸۷۱۰۰ p.e
تعداد حوضچه‌ها	۲	بار آلی	۴۲۳۰kg/d
بار لجن	۰/۰۴۵kg BOD/(kg MLSS.d)	بار ازت کجلدال	۱۰۹۰kg/d
غلظت لجن	۴/۷kg/m^3	بار فسفر	۱۷۷kg/d
حجم کل	۴۲۴۰۰m^3		
هواده‌های سطحی	۲×۳	پساب خروجی (۱۹۹۶)	
		راندمان حذف COD	٪۹۴
		راندمان حذف BOD	٪۹۹
		راندمان حذف ازت	٪۹۶
		راندمان حذف ازت کل	٪۹۳
		راندمان حذف فسفر کل	٪۹۲

دلیل اصلی برای انتخاب تصفیه‌خانه زویندرخت به عنوان محل آزمایش، امکان بهره‌برداری مستقل از دو خط فرایند یکسان که هر یک شامل یک کاروسل و دو زلال‌ساز ثانویه هستند، می‌باشد. دلیل دیگر، عملکرد بسیار خوب تصفیه‌خانه است که سبب می‌شود مقایسه‌ها بیشتر مورد تأیید باشند.

کنترل‌کننده QUTE در خط ۱ آزمایش گردید و با کنترل



شکل ۴- شبیه‌سازی با کنترل کننده QUTE



شکل ۵- شبیه‌سازی با کنترل کننده O2

متداول اکسیژن در خط ۲ مقایسه شد. هدف نهایی کاربرد کنترل کننده QUTE بهینه‌سازی غلظت نیتروژن کل پساب به همراه صرفه‌جویی در انرژی هوادهی می‌باشد. کنترل متداول بر پایه میزان اکسیژن است که در غلظت حدود ۱mg/L تنظیم شده است.

شکلهای ۴ و ۵ نتایج نمونه‌ای دو سیستم کنترل هوادهی را نشان می‌دهند و هر شکل شامل غلظت‌های نیترات و آمونیاک پساب به همراه غلظت اکسیژن در کاروسل و ظرفیت انرژی هوادهی ورودی (بر حسب درصد ماکزیمم انرژی ورودی) می‌باشد. هر دو شکل غلظت خیلی پایین نیتروژن کل را در هر دو خط نشان می‌دهند (مقدار نیتروژن معدنی تقریباً ۱mg/L)، که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین این دو خط دیده نمی‌شود.

بر اساس داده‌های عملی اولیه به دست آمده به نظر می‌رسد نتیجه واقع بینانه باشد که حتی در غلظت‌های خیلی پایین نیتروژن، کنترل کننده QUTE قادر است تا حدود ۱۰٪ در انرژی هوادهی صرفه‌جویی کند. البته یک آنالیز آماری در یک دوره طولانی نیاز می‌باشد تا این نتایج را تأیید کند.

نتیجه گیری

بسیاری از تصفیه‌خانه‌های موجود باید با تغییر در فرایندهای خود، مقررات شدید پساب در مورد نیتروژن و فسفر را تأمین نمایند. ادامه روشهای متداول قدیمی اغلب خیلی گران و نیاز به زمین خیلی زیاد دارد. در طی سالهای آینده، کاربرد کنترل هوادهی پیشرفته و ارزش آن برای اصلاح کارایی آن در تصفیه‌خانه‌های موجود که در حال تغییر فرایند می‌باشند، را می‌توان انتظار داشت. این کنترل می‌تواند به وسیله کنترل کننده‌های چند عاملی شبیه کنترل کننده QUTE از طرف DHV ارائه شود. بر اساس نتایج شبیه‌سازی و نیز نتایج اولیه عملی به دست آمده از تحقیق مقایسه‌ای در تصفیه‌خانه با مقیاس کامل، نه تنها به نظر می‌رسد یک پساب با کیفیت بهتر قابل دستیابی است، بلکه همچنین به طور همزمان صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در انرژی به دست می‌آید.

✶ Veersma, A., Meinema, K., Van der Roest, H., and Besten, F. (1997). " Advanced Aeration Control Shows Promise ", WQI May/June, PP. 14-16.