سال نهم، شماره سی و ششم، زمستان ۱۳۹۴، صفحات ۶۷-۵۷

امکان‌سنجی بازار مجوز انتشار آلودگی در رودخانه

شروین جمشیدی[۱و*]، عماد محجوبی[۱]، مجتبی اردستانی[۲]

۱. دانشجوی دکتری مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۲. دانشیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۱۰

چکیده

هدف از این پژوهش، امکان‌سنجی تشکیل بازار مجوز انتشار بار نیتروژن و تخصیص بهینه پساب منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای واقع در اطراف رودخانه در دو حوضه سفیدرود و قره‌سو می‌باشد. بدین منظور، محدوده مورد مطالعه از نظر کمی و کیفی با مدل Qual2kw شبیه‌سازی شده و مقدار بار مجاز تخلیه آلودگی روزانه (TMDL) تعیین شده است. همچنین به روش آنالیز حساسیت، مقدار ضرائب تاثیر هر منبع آلاینده پس از نرمال‌سازی مشخص شده است. در نهایت بهینه‌سازی با هدف حداقل نمودن هزینه‌های کل تصفیه بار نیتروژن با محاسبه تابع هزینه به ازای مقدار مجاز تخلیه آلودگی صورت گرفته و تخصیص مجوزهای انتشار بار آلودگی انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که علی‌رغم مزایای بازار و امکان مبادله ۱۵۰ واحد مجوز در حوضه سفیدرود، این روش به‌دلیل محدودیت منابع آلاینده نقطه‌ای در تامین مجوزهای مورد نیاز بخش کشاورزی، با محدودیت همراه است و تنها می‌تواند نسبت به شرایط متعارف حفاظت کیفی مبتنی بر TMDL تا ۲٪ صرفه‌جویی هزینه در پی داشته باشد. همچنین مشخص شد که تعاملات بازار نسبت به تغییر قیمت شکننده است و مشارکت فعال تمامی ذی‌نفعان نیازمند آن است تا برخی از منابع آلاینده نقطه‌ای بین ۱۵ تا ۲۵ درصد از قیمت‌های فروش خود کم نمایند. این در حالی است که تشکیل بازار مجوز در حوضه قره‌سو مطمئن‌تر است و سودآوری بیش از ۳۵٪ به همراه خواهد داشت. بنابراین چنین نتیجه گرفته می‌شود که بازار مجوز انتشار آلودگی برای هر منبع رودخانه به‌عنوان یک گزینه پایدار محسوب نمی‌شود و نیازمند مطالعات موردی است.

واژه‌های کلیدی: تجارت کیفیت آب، مجوز انتشار آلودگی، سفیدرود

مقدمه

با گسترش فعالیت‌های شهری، کشاورزی و صنعتی در حاشیه رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، مدیریت و حفاظت کیفی منابع آب سطحی به یک چالش زیست‌محیطی تبدیل شده است. بدین منظور رعایت ضوابط و استانداردهای مربوط به میزان تخلیه مجاز بار آلودگی، راهکاری قانونی برای کنترل این چالش به‌شمار می‌رود. این در حالی است که دو رویکرد کلی برای

* نویسنده مرتبط: sh.jamshidi@ut.ac.ir

کنترل و پایش کیفی منابع آب سطحی وجود دارد. در روش متعارف کنترل دستوری، میزان کاهش بار آلودگی در خروجی تمامی منابع آلاینده (به‌ویژه نقطه‌ای) توسط سازمان قانونگذار (مانند سازمان حفاظت محیط‌زیست) به‌صورت پیش‌فرض در نظر گرفته می‌شود و تخلیه مازاد بر آن مشمول جریمه خواهد شد. در استانداردهای محیط محور، برخلاف روش‌های کنترل دستوری، از آنجا که نظارت و پایش کیفی در یک نقطه مشخص از پیکره آبی صورت می‌گیرد، شرایطی ایجاد می‌شود که در آن میزان مجاز تخلیه بار آلی در منابع آلاینده با توجه به ظرفیت خودپالایی رودخانه و محل استقرار آن‌ها تعیین گردد. بنابراین فرصتی برای تعامل و دسترسی به اقتصادی‌ترین الگوی تخلیه بار آلودگی فراهم می‌شود (Boyd and Greenwood, 2005). بدین منظور معمولاً پیشنهاد می‌شود الگوریتم‌های تصمیم‌گیری برای تخصیص پساب و بار آلودگی در کنار مدل‌های شبیه‌سازی در یک منطقه با هدف کاهش هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری از تاسیسات تصفیه فاضلاب و در عین حال با در نظر گرفتن ضوابط زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرند (Niksokhan et al., 2009).

تجارت کیفیت آب یکی از تعاملات نوین در عرصه مدیریت کیفی منابع آب سطحی به‌شمار می‌رود. این رویکرد مبتنی بر تشکیل یک بازار خرید و فروش مجوز انتشار آلودگی است و مبانی و مزایای استفاده از آن بر پایه تفاوت فنی - اقتصادی موجود بین ذی‌نفعان در کاهش آلودگی نهفته است. به‌طور ساده، این ساختار شامل گروهی از ذی‌نفعان است که برای کاهش مقدار آلاینده‌های تخلیه شده به محیط و حفظ شرایط استاندارد، لازم است هزینه گزافی پرداخت نمایند درحالی‌که گروهی دیگر می‌توانند در شرایط مشابه و با صرف هزینه کمتر موجب کاهش آلودگی در محیط شوند. بدین ترتیب استفاده از ظرفیت‌های گروه دوم برای گروه اول، چشم‌اندازی در تحقق اهداف اقتصادی و حفاظت کیفی منابع آب فراهم می‌کند (USEPA, 2004؛ سارنگ و همکاران، ۱۳۹۳). به عبارت دیگر در این بازار، منابع آلاینده (نقطه‌ای و یا غیرنقطه‌ای) براساس هزینه‌های حاشیه‌ای تخمین زده شده و براساس ضرایب تاثیر بر کیفیت نقطه پایش، تصمیم می‌گیرند که فروشنده و یا خریدار مجوز انتشار آلودگی باشند. پذیرفتن این نقش‌ها در تعاملات بازار نه تنها بین ذی‌نفعان انگیزش اقتصادی برای حضور در برنامه حفاظت کیفی منابع آب ایجاد می‌کند بلکه خود موجب کاهش هزینه‌های کل مرتبط با کنترل انتشار آلودگی در منطقه مورد مطالعه می‌شود (USEPA, 2004). گفتنی است تجارت کیفیت آب با استفاده از موارد قانونی و حقوقی و تعیین میزان حداکثر مجاز تخلیه بار آلودگی و جرایم زیست‌محیطی می‌تواند انعطاف‌پذیری سیستم را حفظ نماید. همچنین واضح است که تعاملات بازار مجوز انتشار آلودگی تنها در ساختار استانداردهای محیط‌محور و پس از تعریف حداکثر بار مجاز تخلیه روزانه[1] (TMDL) میسر خواهد بود (Eheart and Ling Ng, 2004).

تاکنون مطالعات متعددی در خصوص بازارهای تجارت کیفیت آب انجام شده است. در اکثر پژوهش‌های پیشین، مطالعات امکان‌سنجی استفاده از الگوی تجارت کیفیت آب، تعاملات منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به عنوان یکی از مزایا و نقاط قوت بازار مجوز انتشار آلودگی معرفی شده است (Ranga Prabodanie et al., 2010; Ribaudo and Gottlieb, 2011). این بدان علت است که در این چارچوب، انتشار بار آلودگی منابع آلاینده غیرنقطه‌ای برخلاف روش کنترل دستوری ارزیابی شده و در محاسبات مدنظر قرار می‌گیرد. بدین منظور می‌توان با استفاده از قابلیت‌های منابع آلاینده نقطه‌ای در کاهش مازاد بار آلودگی و فروش مجوز، انتشار آلودگی از منابع غیرنقطه‌ای را با صرف هزینه‌های حاشیه‌ای کمتر برای ساخت و بهره‌برداری تاسیسات تصفیه پساب جبران نمود (Collentine, 2005). به همین علت، اکثر مبادلات بر پایه تجارت آلاینده‌هایی نظیر نیتروژن و فسفر متمرکز شده‌اند. به عنوان نمونه، Obropta et al. (2008) با استفاده از سیستم‌های تصمیم‌گیری پشتیبان نحوه تخصیص بار فسفر در الگوی تجارت کیفیت آب را بین ۲۲ منبع آلاینده نقطه‌ای یک حوضه آبریز در ایالت نیوجرسی مورد بررسی قرار داده و میزان TMDL را تعیین کردند. در مطالعه‌ای دیگر در همین منطقه، میزان عدم قطعیت در کیفیت نهایی پیکره آبی پذیرنده با شرایط پیشین کنترل دستوری

1. Total maximum daily loads

مورد مقایسه قرار گرفت (Kardos and Obropta، 2011). نتیجه نشـان می‌دهد که بـازار مجوز انتشـار مواد مغذی میـزان عدم قطعیـت را به میـزان ناچیزی تغییـر داده و تاثیـر بارزی بـر کاهش قطعیت غلظت اکسـیژن محلول و کلروفیل A به عنوان بازخورد در نقاط حساس ندارد. اخیراً Caplan and Sasaki (2014) در محـدوده یوتـا آمریکا، یک الگوریتم برای تعریف سـناریوهای مختلف بهینه‌سازی تخصیص بار آلودگی بین منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای و تحت شـرایط دینامیک ارائه نمودنـد. مطابق تحقیقات Wittmann (2014)، پیشـنهاد شده است پیش از تشکیل سـاختار بازار مجوز انتشار آلودگی، منطقه مورد مطالعه به ناحیه‌ای که بیشـترین آسیب‌پذیری را از نظر کیفی داراست محـدود گردد به‌طوری‌کـه حتـی Doyle et al. (2014) پیشنهاد داده‌اند مقیاس مورد مطالعه با توجه به بازار مجوز بهینه‌سازی گردد. در یک نمونه تجارت مجوز انتشار آلودگی بین زمین‌های زراعی، Corrales et al. (2014) تخصیص بار فسفر خروجی از این منابع را بهینه‌سازی کردند. همچنین O'Grady (2011) یک نمونه موفق اجرا شـده بازار مجوز انتشـار آلاینده فسفر را در منطقه انتاریو کانادا مورد بررسی قـرار داد. در ایـن پژوهـش، وی پیش‌نیازهـای لازم برای عملیاتی شدن موفق بازار را توافق گروهی، حمایت قانونی، شفاف‌سازی مالی، سـهولت در برقراری تعاملات اقتصادی و وجود یک دسـتورالعمل مکتوب برشـمرد. به‌طور مشابه در ایالـت اوهایـو، Newburn and Woodward (2012) بازار مجـوز این منطقه را پس از پیاده‌سـازی مورد ارزیابی مجـدد قرار دادند. این در حالی اسـت کـه Roberts and Craig (2014) به موانع و مشکلات موجود قانون‌گذاری در خصوص تشکیل بازار مجوز انتشار آلودگی در شرایط حضور منابع آلاینده غیرنقطه‌ای اشـاره دارند. نتایج بررسـی‌های Horan and Shortle (2011) نشان می‌دهد که مطالعات بیشـتری لازم اسـت تا تاثیر تعاملات اقتصادی بازار مجوز انتشـار آلودگی و اثـرات متقابل آن بـر ظرفیت اکولوژیکی مشخص گردد. مطابق بررسی‌های انجام شده، موانع متعدد نظیر نوسانات جریان منابع آلاینده غیرنقطه‌ای در طول یک سـال، تعاملات بازار در بلندمدت و احتمال بروز مناقشات می‌تواند بر دستاورد نهایی بازار تاثیر گذاشته و عملکرد آن را از حد انتظار تنزل بخشد.

در ایران نیز در مطالعات پیشین، نحوه تخصیص انتشار بار نیتروژن برای حوضه رودخانه قره‌سـو (واقع در اسـتان کرمانشاه) در شـرایط وجود بازار مجوز انتشار آلودگی مورد بررسـی قرار گرفته اسـت (Jamshidi et al.، 2014b). در همین پژوهش نحـوه تعاملات بهینه بازار مشـترک مجوز انتشار نیتروژن و پساب تصفیه‌شده شهری برای دستیابی به اقتصادی پایدار نیز ارزیابی شـده است. نتایج نشان می‌دهد که در این زیرحوضه، به‌دلیل تاثیر مشابه منابع آلاینده شهری و کشاورزی بر کیفیت نقطه پایش، استفاده مجدد از پساب به‌ویـژه در انتهای دوره طرح (بلندمدت) تاثیر به‌سـزایی بر کاهش هزینه‌های سـاخت و بهره‌برداری تاسیسـات تصفیه فاضلاب خواهد گذاشت. همچنین Mesbah et al. (2010) نیز بهینه‌سـازی تخصیص بار آلودگـی در رودخانه زرجوب گیلان را پس از تعریف توابع غیرخطی فازی ارزیابی نمودند. قابل ذکر اسـت که انتخـاب پارامتر مبادلاتی بسـتگی به مشـخصات منبع آبی مورد مطالعه، تنوع و پراکندگی منابع آلاینده، شـرایط بهره‌برداری و پارامترهـای کیفی غالب در محیـط دارد (Jamshidi and Niksokhan، 2015). بـه عنـوان مثال، منابع آلاینده‌ای که موجب انتشـار ترکیبات آلی فرار و دی‌اکسیدکربن می‌شوند، به دلیل عدم واکنش و ترکیب آن‌ها با سـایر مواد، می‌توانند به‌صورت خطی و تنها بر مبنای هزینه حاشیه‌ای خود در مدل تجارت کیفیت وارد شـوند اما پارامترهایی نظیر اکسـیژن‌خواهی بیوشیمیایی[1] (BOD) و غلظت فلزات سنگین نیازمند شبیه‌سازی کیفی منبع آبـی و تعیین اثرگذاری منابع آلاینـده پیش از اجرای مدل تجارت هستند (Sarang et al.، 2008).

هدف از این بررسی، ضمن شناسایی منابع آلاینده اصلی در انتشـار بار نیتروژن، امکان‌سـنجی و تحلیل بازار مجوز انتشـار آلودگی مبتنی بر پارامتر نیتـروژن کل (TN) در دو حوضه سـفیدرود در اسـتان گیلان و قره‌سـو در کرمانشاه می‌باشد.

1. Biochemical oxidation demand

مواد و روش بررسی

محدوده مورد مطالعه

در ایــن تحقیق، رودخانه ســفیدرود حــد فاصل پایاب سد ســنگر تا مصب دریا در اســتان گیلان به طول تقریبی ۵۵ کیلومتــر به عنوان محدوده مــورد مطالعه برای ارزیابی تاثیر تخصیص پســاب در بازار مجوز انتشــار آلودگی مدنظر قرار می‌گیرد. این منطقه متشکل از منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای متعددی است. منبع آلاینده غیرنقطه‌ای به‌طور مشــخص فعالیت‌های شالی‌کاری و کشــت برنج می‌باشد. منابع آلاینده نقطه‌ای مشرف به رودخانه در این بررسی سه شهرک صنعتی در نزدیکی شهرهای رشت، سیاهکل و آستانه اشرفیه می‌باشند که در برگیرنده صنایعی نظیر فرآوری‌های لبنی، کشتارگاه و مرغداری هستند. همچنین ۷ شهر اصلی مشــرف به منطقه وجود دارد که می‌توان چنین فرض نمود که پســاب آن‌ها پس از تصفیه مقدماتی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و کاهش بار میکروبی و آلی آن‌ها به منبع آب پذیرنده تخلیه خواهد شــد. مشخصات منابع آلاینده شامل فاصله تا نقطه پایش، میزان بار آلی تخلیه شده (Ld)، میزان بار مجاز تخلیه روزانه (TMDL)، دبی متوسط (Q) و هزینه احتمالی کاهش بار آلودگی تا سطح مجاز در جدول ۱ نشان داده شده است (صابری، ۱۳۹۳).

در این پژوهش، کلیه تحلیل‌ها مبتنی بر پارامتر نیتروژن کل می‌باشد و سایر پارامترهای کیفی نظیر اکسیژن محلول، میزان اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، عوامل میکروبی و ذرات معلق موجود در پســاب و آب رودخانه صرفاً در شبیه‌سازی مورد اســتفاده قرار گرفته و نقشــی در تعاملات بازار مجوز انتشار بار نیتروژن ندارد.

جدول ۱. مشخصات منابع آلاینده در محدوده مورد مطالعه و هزینه کاهش بار آلودگی (صابری، ۱۳۹۳)

منبع آلاینده	نوع منبع	میزان بار آلی تولید شده (kg/d)	دبی متوسط (m^3/s)	فاصله تقریبی تا نقطه پایش (km)	ضرائب تاثیر (٪)	حداکثر بار مجاز تخلیه روزانه (kg/d)	هزینه تصفیه بار آلودگی (میلیون ریال در سال)
SI	صنعتی	۱۷۳	۰/۰۰۲	۴۱	۳/۲	۹	۲۲۸
RI	صنعتی	۸۶۴	۰/۰۱	۳۸	۴	۴۳	۱۱۴۱
KF	شهری	۳۱۱	۰/۰۶	۳۲	۶/۳	۹۳	۱۶۱۹
RT	شهری	۳۶۸۱	۰/۷۱	۳۰	۶/۳	۱۱۰۴	۱۲۷۷۴
SK	شهری	۳۶۳	۰/۰۷	۲۷	۸/۱	۱۰۹	۱۸۸۹
LJ	شهری	۱۶۰۷	۰/۳۱	۲۳	۸/۱	۴۸۲	۵۵۷۷
AA	شهری	۸۲۹	۰/۱۶	۲۰	۹/۶	۲۴۹	۲۸۷۹
AI	صنعتی	۴۳۲	۰/۰۰۵	۱۴	۱۰/۸	۲۲	۵۷۱
KB	شهری	۵۷۰	۰/۱۱	۵	۱۶/۴	۱۷۱	۲۹۶۹
KS	شهری	۲۰۷	۰/۰۴	۱	۱۷/۵	۶۲	۱۰۷۹
AG	کشاورزی	۱۲۹۶۰	۱۰	۵	۹/۶	۵۸۳۲	۳۹۶۰۰
مجموع							۷۰۳۲۶

روش‌شناسی تحقیق

به‌منظور تخصیص بهینه پســاب، مشابه مطالعات اخیر انجام شــده در حوضه رودخانه قره‌ســو، این پژوهش در دو مرحله انجام پذیرفته است (Jamshidi et al., 2014b). در گام نخست، پس از برآورد بار آلی و شبیه‌سازی کمی و کیفی توســط مدل Qual2kw (Kannel et al., 2007)، میزان ضرایب تاثیر تخلیه پســاب هر منبع آلاینده بر کیفیت نقطه پایش (مصب رودخانه) تعیین شــده اســت. بدین منظور،

بـرای هر منبع آلاینده (j)، میـزان بار تخلیه به مقدار واحد (یک تن در سـال) به‌طور فرضی افزایش داده شده و میزان تغییر غلظت نیتروژن کل (dN) در نقطه پایش (میلی‌گرم بر لیتر) برآورد می‌گردد. ارزیابی حساسیت نقطه پایش به میزان تغییرات بـار آلودگی مطابق رابطه ۱ نرمال شـده و ضرایب تاثیر (IF) هر منبع آلاینده محاسـبه می‌گردد. در نهایت، با توجه به کیفیت مورد انتظار در نقطه پایش، می‌توان میزان متوسـط حذف بار آلودگی هریک از منابع آلاینده را توسـط مدل تعیین نمود. میزان حذف بار نیتروژن می‌تواند حداکثر بار مجاز تخلیه آلودگی را برای این منطقه مشخص نماید. در گام دوم، با در اختیار داشـتن ضرایب تاثیر و میزان حداکثر بار مجاز تخلیه، می‌توان تخصیص بهینه پسـاب را با توجه به الگوی تجارت مجـوز بار آلودگی و با هدف حداقل کردن هزینه ساخت و بهره‌برداری از واحدهای تصفیه تکمیلی انجام داد. درصدهای حذف بار آلودگی خروجی از این مرحله نشان می‌دهد که کدام آلاینده، فروشنده و کدامیک، خریدار مجوز خواهنـد بود و بدین ترتیب نقش هر منبـع آلاینده در بازار تعیین می‌گردد.

$$IF_j = \frac{dN_j}{\sum_{j=1}^{m} dN_j} \quad (1)$$

در جدول ۱، ضرائب تاثیر هرکدام از منابع آلاینده نشان داده شـده است. این ارقام نشان می‌دهند که منابع آلاینده نقطه‌ای نزدیک به نقطه پایش، اثرگذاری بیشتری نسبت به منابع آلاینده دورتر از نقطه پایش دارند. این می‌تواند به‌علت کاهش آلودگی‌های نیتروژنی آب ناشـی از وجود رسوبات در کف رودخانه باشـد. این خاصیت مکانی بر این نکته تاکید خواهد داشـت که میـزان تصفیه بار آلودگی توسـط منابع آلاینده مسـتقر در انتهای مسـیر جریان از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و بهتر است این منابع به‌عنوان فروشنده مجوز انتشار آلودگی معرفی گردند. پراکندگی زمین‌های کشاورزی وشـالی‌کاری به‌عنوان اصلی‌ترین عامل انتشار بار آلودگی تا نقطه پایش می‌تواند باعث کاهش انعطاف‌پذیری بازار مجوز و محدودیت مبادلات گردد.

به‌منظور برآورد اقتصادی و تعاملات بازار مجوز انتشـار آلودگی، هزینه‌های سـاخت و بهره‌برداری واحدهای تصفیه فاضلاب شـهری و صنعتی به ترتیب بـا روابط ۲ و ۳ برآورد می‌شـود. این توابع از آنالیز مبالغ قـراردادی پیمانکاران و هزینه‌های ساخت بیش از ۵۰ تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و صنعتی صورت گرفته است. این تاسیسات انواع فرآیندهای تصفیه تکمیلی همچون MLE، A_2O، IFAS، SBR، MBR و برکه تثبیت را شامل شده و بین سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ در کشور ساخته شده‌اند. هزینه‌های ساخت واحدهای تصفیه برحسب اینکه از چه نوع واحد فرآیندی استفاده شده است به‌طور متوسـط بر واحد مترمکعـب جریان فاضلاب تعریف شـده اسـت. همچنین در این مرحله فرض شده است که تاسیسات با فناوری پیشرفته‌تر و فرآیندهای بیشتر از قابلیت حذف بالاتر نیتروژن نسبت به روش‌های متعارف نظیر برکه تثبیت و لجن فعال برخوردار اسـت. لازم به توضیح اسـت که برای یک دوره طرح ۳۰ تا ۳۵ سـاله، هزینه بهره‌برداری واحدهای شـهری بزرگ در سه بازه ده ساله هرکدام به‌طور تقریبی با احتساب ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد از هزینه سالانه ساخت در نظر گرفته شـده (صابـری، ۱۳۹۳؛ جعفری و همکاران، ۱۳۸۸) و در نهایت با هزینه ساخت، جمع و نتیجه آن به‌طور سـالانه برحسـب میلیون دلار برآورد شده اسـت (هر دلار معادل ۲۵۰۰۰ ریال فرض شده است).

$$C_{x_i} = -11x^3 + 17x^2 - 1.3x \quad (2)$$

$$C_{x_d} = -2.8x^3 + 4.1x^2 - 0.3x \quad (3)$$

$$C_{x_a} = 0.3x \quad (4)$$

$$TC = \sum_{j=1}^{m}(C_x \times Q)_j \quad (0 \le x \le 1) \quad (5)$$

با توجه به این‌که جوامع روستایی و زمین‌های کشاورزی در سـطح گسترده‌ای پراکنده شـده و هزینه‌های جمع‌آوری پسـاب و زهاب‌ها بسـیار بالا می‌باشـد، معمولاً روش‌های سـاده طبیعی نظیر دفع زیرسـطحی، رقیق‌سازی با جریان آب، سـاخت حوضچه‌های ماند، استفاده از پوشش گیاهی و در بهترین شـرایط ساخت نیزارهای مصنوعی برای کنترل انتشار بار آلودگی این منابع می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (Akbarzadeh et al., 2015; Jamshidi et al., 2014a).

همچنین تخلیه زهاب‌های کشـاورزی به‌صورت مقطعی در

بازه‌های زمانی متفاوتی صورت می‌پذیرد. این در حالی است که مواد آلی کربنی موجـود در جریان ورودی این آلاینده‌ها (BOD) معمولاً پائین بوده و غلظت نیتروژن به‌دلیل مصرف کود شـیمیایی و دامی در زمین‌های کشـاورزی بالاسـت. تمامی این عوامل اسـتفاده از روش‌های متعارف و پیشرفته تصفیه برای زهاب‌های کشاورزی را با مشکل مواجه ساخته و محدود می‌کند. در این پژوهش، از آنجا که سطح کشت برنج گسترده بوده و در حوضه وسیعی از محدوده استان پراکنده اسـت، دبی خروجی زهاب بالاسـت و آب کافـی رودخانه برای رقیق‌سـازی زهاب‌های کشـاورزی وجود دارد می‌توان چنین فرض کرد که ساخت حوضچه‌های ماند و رقیق‌سازی می‌تواند تنها روش کاهش بار آلودگی به‌شمار آید و هزینه‌های مربوط به آن (C_a) به‌دلیل ارتباط با هزینه ساخت حوضچه‌ها و خریـد آب به‌صورت خطی خواهد بـود (رابطه ۴). لازم به توضیح است این فرض صرفاً برای انجام محاسبات اقتصادی بازار مجوز انتشـار آلودگی بوده و روش پیشنهادی محققین نیست.

به‌منظـور محاسـبه هزینه سـاخت و بهره‌بـرداری کل می‌توان مطابق رابطه ۵، میزان جریان فاضلاب در تابع هزینه ضرب شـده و مجمـوع آن برای این پژوهـش حداقل گردد (Jamshidi et al., 2014b). در روابـط فـوق، x میـزان کاهش بار آلودگی توسـط منابع آلاینده، C(x) توابع هزینه برای منابع آلاینده صنعتی (i) و شهری (d) بوده و Q میزان متوسـط جریان سـالانه پسـاب خروجی از هریک از منابع آلاینـده (j) خواهـد بود که در اینجا به تعـداد (m) برابر ۱۱ می‌باشد.

برای تخصیص مجوز انتشـار و درصـد اقتصادی بهینه کاهـش بار آلودگی نیتـروژن، رابطه ۶ برای کنترل شـرط مرحله بهینه‌سازی تک هدفه مورد استفاده قرار گرفته است (Jamshidi et al., 2015b). میزان مجوز قابل مبادله (L_j) بـا توجه به این رابطه تعیین می‌شـود. اگر مقدار Lj منفی باشـد به این معناست که تصفیه‌خانه j بیشتر از مقدار مورد نیاز بار نیتروژن را کاهش داده است (x) و می‌توان این مقدار را به‌عنوان مجوز در بازار به فروش رسـاند. در شـرایطی که این مقدار، مطابق رابطه ۶ مثبت باشـد به این معناست که منبـع آلاینده همچنان نیاز به کاهش بار آلی داشـته و باید مجوز خریداری نماید. مشـخصاً در مدل بهینه‌سـازی تابع هزینه، شـرط تامین مجوزهای مورد نیاز برای خرید توسط فروشندگان مطابق دستورالعمل آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا رعایت شده است (سارنگ و همکاران، ۱۳۹۳).

$$L_j = (L_d - x \times L_d - TMDL)_j \times IF_j \quad (۶)$$

در نهایت، برای تعیین بازه قیمت‌گذاری پساب و مجوز و شناسایی ظرفیت بازار پیشنهادی در آزادسازی قیمت‌ها، لازم است رابطه ۵ برای هرکدام از منابع آلاینده (j) مطابق رابطه ۷ بسط داده شود. در این رابطه، هزینه‌های کل (TC) حوضه سفیدرود با توجه به میزان تخصیص پساب برابر با هزینه کل محاسبه شده توسط رابطه ۵ خواهد بود اما هزینه‌های مربوط بـه هر کدام از منابع آلاینـده می‌تواند با توجه به هزینه‌های مبادلاتی مجوز (رابطه ۸) و پساب (رابطه ۹) متغیر باشد. در این دو رابطه، مقادیر تعرفه پایه مجوز (Pr) با توجه به حداقل سـودآوری ممکن منبع آلاینده غیرنقطـه‌ای که تنها خریدار مجوز است، تعیین می‌شود. بنابراین، محدوده مناسب این تعرفه می‌تواند از خود بازار پیشنهادی تعیین شود به‌طوری‌که هزینه‌هـای کل هر کدام از منابـع آلاینده نباید از هزینه‌های کل روش متعارف کنترل انتشـار آلودگی که در اینجا مبتنی بر TMDL اسـت (جدول ۱) بیشتر باشد. در رابطه ۷، L_t و L_r به ترتیب بار آلودگی مبادله شـده به‌صورت مجوز و پساب است. مقادیر K_t و K_r نیز دو ضریب سودآوری (و یا تخفیف) اسـت که به ترتیب برای فروش مجوز و پسـاب ممکن است توسط فروشنده مورد اسـتفاده قرار گیرد. حاصل‌ضرب این ضرائب در قیمت پایه مجوز و پساب، تعرفه مبادلاتی هر منبع آلاینده را نشان می‌دهد.

$$TC_j = C_j \times Q_j \pm T_{tj}$$
$$(TC_j < TC_{TMDLj}) \quad (۷)$$

$$T_{tj} = (P_r \times K_t \times L_t)_j \quad (۸)$$

نتایج و بحث

در گام نخسـت، بـا در نظر گرفتن مشـخصات بار آلی تخلیه‌شـده به محیط و ویژگی‌هـای هیدرولیکی رودخانه،

محدوده مورد مطالعه از نظر کمی و کیفی شبیه‌سازی شده و مشخص گردید که غلظت نیتروژن کل و آلی در نقطه پایش در شرایط کنونی به ترتیب ۱۰ و ۶/۶ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. در شرایطی که ضوابط محیط‌محور زیست‌محیطی مبتنی بر حداکثر بار مجاز تخلیه روزانه اجرا گردد، انتظار می‌رود غلظت این ترکیبات به ترتیب در نقطه پایش تا ۴/۵ و ۱/۴ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یابد. این میزان کنترل انتشار آلودگی مطابق جدول ۱ تقریباً نیازمند سالانه ۷۰ میلیارد ریال هزینه در کل حوضه خواهد بود. در این شرایط و با در نظر گرفتن وضعیت کیفی کنونی رودخانه و با فرض احداث و بهره‌برداری صحیح از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و صنعتی با هدف کاهش مناسب BOD می‌توان انتظار داشت شاخص کیفی رودخانه افزایش یابد (جابری، ۱۳۹۳؛ Javid et al., 2014). لازم به توضیح است استفاده از روش‌های نظارت زیست‌محیطی محیط‌محور به‌طور کلی اقتصادی‌تر از روش‌های کنترل دستوری محسوب شده و این امکان را فراهم می‌سازد تا ذی‌نفعان برای کاهش هزینه‌های کنترل بار آلودگی خود در تعامل سازنده اقتصادی با یکدیگر قرار گیرند (Wainger and Shortle, 2013). همچنین تعیین درصد حذف بار آلودگی متعادل بین ذی‌نفعان، خود می‌تواند منجر به کاهش شاخص بی‌عدالتی مطابق نتایج مطالعات Feizi Ashtiani et al. (2015) شود.

در گام دوم، با استفاده از ضرائب تاثیر و میزان حداکثر بار مجاز تخلیه آلودگی (رابطه ۶) و براساس روش پیشنهادی USEPA (2004)، میزان تخصیص بهینه پساب با هدف حداقل نمودن هزینه کل تصفیه برای منابع آلاینده تعیین گردید. در این مرحله، معمولاً منابع آلاینده با هزینه حاشیه‌ای پائین‌تر و یا ضرائب تاثیر بالاتر به‌عنوان فروشنده مجوز و سایر منابع به‌عنوان خریدار تعیین می‌شوند تا بدین شکل برای کاهش یک واحد بار آلودگی در منطقه، هزینه کل کمتری پرداخت گردد (سارنگ و همکاران، ۱۳۹۳). در اینجا بازار مجوز انتشار آلودگی به‌صورت متعارف مبتنی بر آمار برآورد شده تخلیه پساب انواع منابع آلاینده و حدود مجاز تخلیه تعیین می‌شود.

مطابق نتایج مندرج در جدول ۲ می‌توان مشاهده نمود که استفاده از بازار مجوز انتشار آلودگی موجب می‌شود که یک تعامل اقتصادی بین منابع آلاینده نقطه‌ای (شهری) و منبع آلاینده غیرنقطه‌ای (کشاورزی) صورت پذیرد. بدین ترتیب، در حدود ۱۵۰ مجوز توسط بخش کشاورزی مطابق تخصیص بهینه پساب مورد نیاز خواهد بود که توسط سایر منابع آلاینده تامین خواهد شد. تفویض بخشی از وظیفه کاهش بار آلودگی منابع آلاینده غیرنقطه‌ای به نقطه‌ای منجر به کاهش هزینه‌های کل به میزان ۱۳۴۱ میلیون ریال در سال خواهد شد. هرچند این میزان تنها در حدود ۲٪ هزینه‌های مربوط به تصفیه متعارف بار آلودگی است و به‌نظر می‌رسد تعامل ذی‌نفعان سودآوری اقتصادی قابل ملاحظه‌ای به همراه نخواهد داشت. این مشخصاً بدان علت است که نیاز بخش کشاورزی به مجوز انتشار آلودگی به‌دلیل ضریب تاثیر و حجم بار آلی تخلیه شده بالای این منبع آلاینده و هزینه‌های نسبتاً زیاد تصفیه بار نیتروژن در منابع آلاینده نقطه‌ای، کسب سود از بازار را با محدودیت مواجه می‌سازد. همچنین از طرف دیگر، منابع آلاینده نقطه‌ای بایستی با حداکثر ظرفیت خود و با پیشرفته‌ترین روش‌ها، بار نیتروژن را به‌طور کامل از پساب خروجی حذف نمایند. این ظرفیت به‌دلیل حجم کم پساب و هزینه‌های بالای تصفیه نمی‌تواند جوابگوی بازار مجوز باشد. این در حالی است که بازار مشابه بین منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای در رودخانه قره‌سو واقع در استان کرمانشاه حاکی از سودآوری بازار مجوز دارد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد این منطقه می‌تواند در حدود ۳۷٪ به روش بازار مجوز و با خرید و فروش تقریباً ۱۴۰ مجوز، از هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری واحدهای تصفیه درخصوص پارامتر نیتروژن کم نماید. این مسئله احتمالاً بدین خاطر است که بار نیتروژن تخلیه‌شده پساب شهری و کشاورزی در حوضه سفیدرود به ترتیب ۷۵۶۸ و ۱۲۹۶۰ کیلوگرم بر روز است اما این مقادیر برای حوضه قره‌سو ۸۲۰ و ۱۱۵۰ کیلوگرم بر روز می‌باشد. به‌عبارتی نسبت پساب به زهاب در سفیدرود ۰/۵۸ و در قره‌سو ۰/۷۱ است. این خود می‌تواند عامل اصلی ایجاد محدودیت برای تولید مجوز در حوضه سفیدرود نسبت به قره‌سو باشد. به‌طور مشابه Ribaudo and Nickerson (2009) به این موضوع اشاره

داشتند که وجود هزینه‌های جابجایی و جانبی در بازار مجوز انتشـار آلودگـی در مناطقی که منابع آلاینـده غیرنقطه‌ای نسبتاً زیاد است عامل محدودکننده و مخرب روابط تعاملی ذی‌نفعـان بوده و منجر به شکسـت بازار خواهد شـد. این مسـئله و محدودیت تولید مجـوز می‌تواند چنین نتیجه‌ای به همراه داشته باشـد که بازارهای مجوز انتشار آلودگی در شـرایط حضور منابع آلاینده غیرنقطه‌ای گسترده آسیب‌پذیر است. این مورد برای حوضه‌های با منابع آلاینده غیرنقطه‌ای کوچک و شهرهای بزرگ مناسب‌تر به نظر می‌رسد. بنابراین بزرگی و یا کوچکی حوضه مورد مطالعه در بازار الزاماً تعیین کننـده قـدرت تعاملات در آن نیسـت بلکه وجـود عرضه و تقاضـای متعادل و متناسـب مجـوز و قیمت‌گذاری پویا تضمین‌کننده تعامل کارساز بازار خواهد بود.

جدول ۲. تخصیص پساب و هزینه‌های تصفیه انتشار بار نیتروژن در الگوی تجارت کیفیت آب (رودخانه سفیدرود)

منبع آلاینده	درصد حذف بار آلودگی	هزینه تصفیه بار آلودگی (میلیون ریال در سال)	تعداد مجوز (kg/d)	نقش تعاملی در بازار
SI	۹۵	۲۲۸	-	-
RI	۹۵	۱۱۴۱	-	-
KF	۷۰	۱۶۱۹	-	-
RT	۹۵	۱۶۲۰۶	۵۸	فروشنده
SK	۹۵	۲۳۹۷	۷	فروشنده
LJ	۹۵	۷۰۷۶	۳۳	فروشنده
AA	۹۵	۳۶۵۲	۲۰	فروشنده
AI	۹۵	۵۷۱	-	-
KB	۹۵	۳۷۶۶	۲۳	فروشنده
KS	۹۵	۱۳۷۰	۹	فروشنده
AG	۴۳	۳۰۹۶۰	۱۴۹	خریدار
مجموع		۶۸۹۸۵		

در جـدول ۳، مجموع هزینه‌های تصفیـه و مبادلاتی مطابق رابطه ۷ و به تفکیک و ترتیب مراحل محاسبه شده اسـت. پیش از انجام محاسـبات و مطابق شرط مذکور در رابطه ۷، مقدار تعرفه پایه مجوز انتشـار آلودگی به گونه‌ای تعیین شـده است که سـودآوری منبع آلاینده غیرنقطه‌ای (تنهـا خریدار مجـوز) حداقل باشـد تا انگیـزه لازم برای مشـارکت در بازار فراهم آیـد. بدین ترتیب، تعرفه هر واحد کیلوگرم بار تخلیه شـده روزانه (هر مجـوز) ۱۵۰ هزار ریال فرض شـده اسـت. به‌عنوان مثـال، منبع آلاینـده SK و LJ بـه ترتیب با فروش ۷ و ۳۳ واحـد مجوز (بدون لحاظ ضریب سوددهی) می‌توانند سـالانه ۳۸۳ و ۱۸۰۷ میلیون ریال درآمد داشته باشند. کسر این میزان درآمد از مجموع هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری واحدهای تصفیه این منابع آلاینده منجر به کاهش مجموع هزینه مبادلاتی به ترتیب تا ۲۰۱۴ و ۵۲۶۹ میلیون ریال در سال خواهد شد. این میزان در مقایسـه با مجموع هزینه‌های سـاخت و بهره‌برداری در شـرایط TMDL (بدون بازار) برای منبع SK، ۶/۶ درصد ضرر و ۶ درصد سـودآوری بـرای منبع LJ به همراه خواهد داشـت. بنابراین نتایج حاکی از آن است که مشارکت منبع SK در بازار مجوز و بدون در نظر گرفتن ضرائب سوددهی، سودمند نبوده و باعث ترک این ذی‌نفع از بازار خواهد شد. بالطبع خروج منبع آلاینده SK و RT به‌دلیل ضرر احتمالی در بـازار مجموعاً باعث عدم تامیـن ۶۵ واحد مجوز مورد نیاز خواهد شـد. این بدان معناست که به‌دلیل محدودیت

تامین مجوز از سـایر منابع، بخش کشاورزی باید به همین میزان هزینه بیشـتری برای رقیق‌سازی زهاب خود بپردازد و درنتیجه سـودآوری اقتصادی بازار کاهش خواهد یافت و شکست خواهد خورد. در این شـرایط، سایر منابع آلاینده که در حال حاضر سـودآوری مثبـت دارند می‌توانند مجوز خـود را با ۱۵ تا ۲۵٪ تخفیف (K_t) بفروشـند تا این امکان فراهم آید منابع متضرر با افزایش هزینه مبادلاتی مجوز خود تا ۲۰ و ۵۰ درصد به سـودآوری مطلوب و حداقلی برسـند (Jamshidi et al., 2015a).

جدول ۳. قیمت‌گذاری (میلیون ریال در سال) و ارزیابی بازار مجوز انتشار بار نیتروژن در شرایط متعارف

منبع آلاینده	هزینـه کاهـش آلودگی TMDL	هزینه تصفیه (جدول ۲)	L_t (kg/d)	هزینـه مبادلاتی با ضرائب سـوددهی متفاوت (فروش: - و خرید: +)		هزینـه تصفیه و مبادلاتی	میـزان صرفه‌جویی هزینـه نسـبت به TMDL (٪)
				K_t	T_t	TC_j	
SI	۲۲۸	۲۲۸	-	-	-	۲۲۸	-
RI	۱۱۴۱	۱۱۴۱	-	-	-	۱۱۴۱	-
KF	۱۶۱۹	۱۶۱۹	-	-	-	۱۶۱۹	-
RT	۱۲۷۷۴	۱۶۲۰۶	۵۸	۱	-۳۱۷۶	۱۳۰۳۱	-۲
SK	۱۸۸۹	۲۳۹۷	۷	۱	-۳۸۳	۲۰۱۴	-۶/۶
LJ	۵۵۷۷	۷۰۷۶	۳۳	۱	-۱۸۰۷	۵۲۶۹	۶
AA	۲۸۷۹	۳۶۵۲	۲۰	۱	-۱۰۹۵	۲۵۵۹	۱۱
AI	۵۷۱	۵۷۱	-	-	-	۵۷۱	-
KB	۲۹۶۹	۳۷۶۶	۲۳	۱	-۱۲۵۹	۲۵۰۷	۱۶
KS	۱۰۷۹	۱۳۷۰	۹	۱	-۴۹۳	۸۷۷	۱۹
AG	۳۹۶۰۰	۳۰۹۶۰	۱۴۹	۱	+ ۸۲۱۳	۳۹۱۷۳	۱/۱
مجموع	۷۰۳۲۶	۶۸۹۸۵			-	۶۸۹۸۵	٪۲

نتیجه‌گیری

تجـارت کیفیـت آب راه‌کاری اقتصـادی و گزینـه‌ای مبادله‌پذیـر و جایگزیـن بـرای مدیریـت کیفـی منابع آب به‌شـمار می‌رود. در این پژوهش، نشان داده شده است که اسـتفاده از بازارهای مجوز انتشـار آلودگی می‌تواند ضمن کاهش هزینه‌های کل مرتبط با انتشار بار آلودگی، به بهبود کیفیت آب منتهی شـود. در ساختار پیشنهادی، فرصت و گزینه‌ای فراهم می‌شـود تا منابع آلاینده غیرنقطه‌ای، نظیر بخش کشـاورزی، به‌جای سـاخت و راهبری سـامانه‌های زهکشـی و تصفیه‌خانه‌های پیچیـده، از مجوزهای موجود در بـازار برای تامین الزامات زیسـت‌محیطی خود و کاهش هزینه‌های مربوط به آن اسـتفاده نماینـد. با این وجود، در این‌جا به‌دلیل محدودیت در کاهش بار آلودگی توسط منابع آلاینده نقطه‌ای و عدم تعادل مناسب عرضه و تقاضای مجوز، آسیب‌پذیری بازار و احتمال شکست آن افزایش خواهد یافت و نشان داده شد که بازار متعارف مجوز در حوضه سفیدرود و برخلاف رودخانه قره‌سو، نمی‌تواند دستاورد اقتصادی قابل ملاحظه‌ای به همراه داشته باشد.

منابع

- جابری، ه.، ۱۳۹۳. توسـعه مـدل تخصیص بار دو هدفه در سـامانه رودخانه‌ای با رویکرد تجارت مجوز تخلیه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ۸۵ .
- جعفـری، ع.، طاهریون، م.، یـاوری، ا. و باغوند، ا.، ۱۳۸۸. تجـارت آلودگی بـه روش مجوزهای تخلیه قابل مبادله در رودخانه و ارزیابی آن از نظر کارایی هزینه. فصلنامه

محیط‌شناسی، ۵۱، ۱۱۰-۱۰۱.

- سارنگ، ا.، محجوبی، ع.، اردستانی، م. و نیک‌سخن، م.ح.، ۱۳۹۳. راهنمای ارزیابی تجارت کیفیت آب. چاپ اول، انتشارات خانیران، تهران، ۱۷۱.

- صابری، ا.، ۱۳۹۳. تخصیص بار آلودگی با رویکرد حل اختلاف در تصمیم‌گیری چندمعیاره. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران، ۸۰.

- Akbarzadeh, A., Jamshidi, S. and Vakhshouri, M., 2015. Nutrient uptake rate and removal efficiency of Vetiveria zizanioides in contaminated waters, Pollution, 1, 1-8.

- Boyd, B. and Greenwood, R., 2005. Water quality trading: Assessment methods and lessons. Environmental Quality Management, 14, 14, 23-29.

- Caplan, A.J. and Sasaki, Y., 2014. Benchmarking an optimal pattern of pollution trading: The case of Cub River, Utah. Economic Modelling, 36, 502-510.

- Collentine, D., 2005. Including non-point sources in a water quality trading permit program. Water science and technology, 51, 3-4, 47-53.

- Corrales, J., Melodie Naja, G., Bhat, M.G. and Miralles-Wilhelm, F., 2014. Modeling a phosphorous credit trading program in an agricultural watershed. Journal of Environmental Management, 143, 162-172.

- Doyle, M.W., Patterson, L.A., Chen, Y., Schneir, K. and Yates, A.J., 2014. Optimizing the scale of markets for water quality trading. Water Resources Research, 50, 9, 7231-7244.

- Eheart, J.W. and Ling Ng, T., 2004. Role of effluent permit trading in total maximum daily load programs: Overview and uncertainty and reliability implications. Journal of environmental engineering ASCE, 130, 6, 615-621.

- Feizi Ashtiani, E., Niksokhan, M.H. and Jamshidi, S., 2015. Equitable fund allocation, an economical approach for sustainable waste load allocation. Environmental Monitoring and Assessment, 187, 522. DOI 10.1007/s10661-015-4739-4.

- Horan, R.D. and Shortle, J., 2011. Economic and ecological rules for water quality trading. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), 47, 1, 59-69.

- Jamshidi, S., Akbarzadeh, A., Woo, K.S. and Valipour, A., 2014a. Wastewater treatment using integrated anaerobic baffled reactor and Bio-rack wetland planted with Phragmites sp. and Typha sp. Journal of Environmental Health Science & Engineering, 12, 131-142.

- Jamshidi, S., Ardestani, M. and Niksokhan, M.H., 2015a. Seasonal waste load allocation policy within integrated discharge permits and reclaimed water market. Water Policy, in press. DOI:10.2166/wp.2015.301.

- Jamshidi, S., Niksokhan, M.H., Ardestani, M. and Jaberi, H., 2015b. Enhancement of surface water quality using trading discharge permits and artificial aeration. Environmental Earth Sciences, 74, 9, 6613-6623. DOI: 10.1007/s12665-015-4663-5.

- Jamshidi, S. and Niksokhan, M.H., 2015. Multiple pollutant discharge permit markets, a challenge for wastewater treatment plants. Journal of Environmental Planning and Management, in press. DOI: 10.1080/09640568.2015.1077106.

- Jamshidi, S., Niksokhan, M.H. and Ardestani, M., 2014b. Surface water quality management using integrated discharge permit and reclaimed water market. Water Science and Technology, 70, 5, 917-924.

- Javid, A., Yaghmaeian, K., Abbasi, E. and Roudbari, A., 2014. An evaluation of water quality from Mojen River, by NSFWQI index. Journal of Ecological Engineering, 15, 4, 1-6.

- Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.S., Kanel,

S.R. and Pelletier، G.J.، 2007. Application of automated Qualt2kw for water quality modelling and management in the Bagmati River، Nepal. Ecological Modelling، 202، 503-517.

- Kardos، J.S. and Obropta، C.C.، 2011. Water quality model uncertainty analysis of a point-point source phosphorous trading program. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)، 47، 6، 1317-1337.

- Mesbah، S.M.، Kerachian، R. and Torabian، A.، 2010. Trading pollutant discharge permits in rivers using fuzzy nonlinear cost functions. Desalination، 250، 1، 313-317.

- Newburn، D.A. and Woodward، R.T.، 2012. An ex post evaluation of Ohio's Great Miami water quality trading program. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)، 48، 1، 156-169.

- Niksokhan، M.H.، Kerachian، R. and Karamouz، M.، 2009. A game theoretic approach for trading discharge permits in rivers. Water Science and Technology، 60، 3، 793-804.

- Obropta، C.C.، Niazi، M. and Kardos، J.S.، 2008. Application of an environmental decision support system to a water quality trading program affected by surface water diversions. Environmental Management، 42، 946-956.

- O'Grady، D.، 2011. Sociopolitical conditions for successful water quality trading in the south nation river watershed، Ontario، Canada. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)، 47، 1، 39-51.

- Ranga Prabodanie، R.A.، Raffensperger، J.F. and Milke، M.W.، 2010. A pollution offset system for trading non-point source water pollution permits. Environmental and Resource Economics، 45، 499-515.

- Ribaudo، M.O. and Gottlieb، J.، 2011. Point-Nonpoint Trading - Can it Work? Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)، 47، 1، 5-14.

- Ribaudo، M.O. and Nickerson، C.J.، 2009. Agriculture and Water Quality Trading: Exploring the Possibilities. Journal of Soil and Water Conservation، 64، 1، 1-7. DOI: 10.2489/jswc.64.1.1.

- Roberts، A.M. and Craig، R.K.، 2014. Regulatory reform requirements to address diffuse source water quality problems in Australia: learning from US experiences. Australasian Journal of Environmental Management، 21، 1، 102-115.

- Sarang، A.، Lence، B.J. and Shamsai، A.، 2008. Multiple interactive pollutants in water quality trading. Environmental Management، 42، 620-646.

- USEPA، 2004. Water Quality Trading Assessment Handbook. 120 pages.

- Wainger، L.A. and Shortle، J.S.، 2013. Local innovations in water protection: experiments with economic incentives، Choices، 28، 3، 1-6.

- Wittmann، N.، 2014. A note on distortional distributional effect in river basin discharge permits trade. Water Resource Management، 28، 1، 279-285.