

## تجارت آلودگی به روش مجوزهای تخلیه قابل مبادله در رودخانه و ارزیابی آن از نظر کارآیی هزینه

۱  
۲  
۳

### چکیده

نظریه تجارت آلودگی رویکرد جدیدی در کنترل منابع آلاینده با حفظ سطح استانداردهای کیفی آب و استفاده از راهکارهای کم هزینه است. تجارت آلودگی به روش انتشار مجوزهای تخلیه قابل خرید و فروش مبتنی بر ضریب انتقال آلودگی در رودخانه در پنج مرحله شامل ناحیه‌بندی محدوده مورد مطالعه، تعیین کل بار مجاز خروجی هر ناحیه بر اساس مدل خودپالایی رودخانه، تعیین ضرایب انتقال آلودگی بین منابع آلاینده و بین ناحیه‌ها با استفاده از مدل، تعیین مقادیر مجاز تخلیه قابل مبادله برای هر ناحیه و هر منبع آلاینده اجرا می‌شود. در این تحقیق کاربرد روش تجارت آلودگی برای حوزه آبریز رودخانه دز مورد بررسی قرار گرفته و برای هر منبع آلاینده هزینه‌های کنترل آلودگی به روش تکنولوژیک (احداث تصفیه‌خانه) و غیر تکنولوژیک (روش مبادله) محاسبه شده و نسبت هزینه کنترل تکنولوژیک به کنترل غیر تکنولوژیک به‌عنوان معیار کارایی هزینه روش مبادله آلودگی بررسی شده است. با توجه به این معیار، برای برخی منابع آلاینده که کارایی هزینه برایشان بالاست روش کنترل تکنولوژیک و احداث تصفیه‌خانه فاضلاب به صرفه بوده و دیگر منابع آلاینده که احداث تصفیه‌خانه فاضلاب به دلیل کارایی کم برایشان اقتصادی نیست، مجبور به خرید مجوزهای تخلیه از منابع آلاینده‌ای که آلودگی خود را به کمتر از حد تعیین شده رسانده‌اند، خواهند بود.

### کلید واژه

کنترل تکنولوژیک، تجارت آلودگی، مجوزهای تخلیه، ضریب انتقال، کارایی هزینه

### سرآغاز

اجرای برنامه تجارت آلودگی در مورد منابع آب از سال ۱۹۹۶ با انتشار پیش‌نویس راهنمای اجرایی آن توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA, 1996) در سطح ایالات مختلف آن شروع شد که از آن جمله می‌توان به برنامه تجارت آلودگی ایالت میشیگان (MDEQ, 2002) از سال ۱۹۹۹، برنامه تجارت مواد مغذی آلوده‌کننده آب در خلیج جزایر (CBPNTT, 2001)، برنامه تجارت نیتروژن کل در منطقه لانگ‌آیلند سوند ایالت کانکتیکات (Kieser, and Feng, 2005) و در سطح بین‌المللی نیز می‌توان به اجرای برنامه تجارت آلودگی در حوزه آبخیز رودخانه ناپین در چین (Tao, 2003) و امکان‌سنجی اجرای این برنامه در شیلی (Kraemer, et al. 2003) اشاره کرد. نظریه تجارت آلودگی براساس مفهوم ضرایب انتقال بر دو مبنای هیدرولوژی و اقتصاد بنا نهاده شده است. اساس هیدرولوژیک

برای اجرای هرگونه برنامه اصلاح و کنترل کیفی منابع آب و جلوگیری از آلودگی آن می‌باید از راهکارهای فنی، زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی به تناسب، یا توأم استفاده کرد. یکی از این راهکارها، محلی، یا منطقه‌ای کردن مدیریت منابع آب با رویکرد تخصیص بهینه بار آلودگی در رودخانه‌هاست که با اجرای برنامه تجارت آلودگی، یا سیستم مبادله مجوزهای تخلیه آلودگی بین منابع آلاینده بر مبنای ظرفیت خودپالایی رودخانه و ایجاد انگیزه‌های اقتصادی در کاهش آلاینده‌ها با خرید و فروش مجوزهای اضافی قابل انجام است. مجوزهای قابل مبادله انتشار تخلیه آلودگی، یا به عبارت دیگر تجارت آلودگی برای اولین بار در ایالات متحده در سال ۱۹۷۴ در مورد آلودگی هوا برای کاهش انتشار آلاینده‌های هوا استفاده شد.

در بخش‌های بعدی ابتدا مطالعه موردی معرفی شده و روش‌شناسی انجام تحقیق توضیح داده می‌شود. با توجه به ضرایب انتقال محاسبه شده از مدل کیفی رودخانه نتایج به دست آمده مورد بحث و ارزیابی اقتصادی قرار می‌گیرد.

### مواد و روش‌ها

به طور کلی اجرای برنامه تجارت آلودگی به روش ضریب انتقال در محدوده مورد مطالعه در پنج مرحله انجام می‌شود که این مراحل عبارتند از

- ۱- ناحیه‌بندی محدوده مطالعاتی،
  - ۲- تعیین بار مجاز خروجی هر ناحیه و اختصاص اولیه بین منابع آلاینده،
  - ۳- تعیین ضرایب انتقال بین منابع آلاینده و ناحیه‌های مختلف،
  - ۴- تعیین مقادیر مجاز تخلیه مبادله شونده<sup>۲</sup> (TDP) برای هر ناحیه و
  - ۵- تعیین هزینه کنترل فناوری شده آلودگی منابع آلاینده.
- در ادامه توضیح مفاهیم و فرمول‌بندی هر یک از مراحل پیش‌گفته ارائه می‌شود.

### ناحیه بندی محدوده مورد مطالعه

ناحیه به عنوان محدوده‌ای که خصوصیات فیزیکی بستر رودخانه، نوع منابع آلاینده و چگونگی پخش آلاینده‌ها به هم شبیه‌اند، تعریف می‌شود. ناحیه‌بندی با هدف کاهش هزینه‌های مبادله در کنترل آلودگی توسط سازمان‌های متولی محیط زیست در دنیا زیاد استفاده شده است (Hung, & Shaw, 2005).

### تعیین کل بار استاندارد خروجی هر ناحیه و اختصاص اولیه بین منابع آلاینده

مقدار استاندارد خروجی هر ناحیه، یا منبع آلاینده با توجه به استانداردهای کیفیت آب در ناحیه مورد نظر به دست می‌آید. در این مطالعه بار آلودگی مجاز منابع آلاینده محدوده مورد مطالعه بر اساس BOD5 تعیین شده است. مشخصه BOD5 علاوه بر مشترک بودن از نظر نوع، یا ماهیت در بین تمام منابع آلاینده، باعث کاهش DO در رودخانه می‌شود. همچنین این مشخصه از نظر زمان تخلیه متناسب با عرضه و تقاضای منابع آلاینده به عنوان فروشنده و خریدار است. (USEPA, 2004). برای تعیین مقدار بار مجاز هر کدام از تخلیه‌کننده‌ها مدل شبیه‌سازی کیفی رودخانه برای مشخصه‌های

آن بر خصوصیت بسیار معمول و طبیعی آب، یعنی جریان یافتن در یک جهت از نقاط بالادست به پایین دست است. استفاده از این خاصیت معمول و مهم آب، درصد بار آلودگی انتقال یافته از نواحی بالادست به منابع پایین دست با استفاده از مدل‌های کیفیت رودخانه با عنوان ضرایب انتقال به دست می‌آیند. اساس اقتصادی نظریه مبادله آلودگی بر مبنای تحلیل هزینه نهایی است. این معنا که هزینه‌های کنترل تکنولوژی منابع آلاینده مختلف فرق می‌کند.

بنابراین به منبع آلوده‌کننده اجازه داده می‌شود تا از ارتقای فناوری خود برای کاهش آلودگی تا رسیدن به حد مجاز تعیین شده اجتناب کند. به شرطی که معادل هزینه این کاهش بار به یک، یا چند منبع آلوده‌کننده دیگر موجود در آن ناحیه مبلغی را به عنوان خرید مجوز تخلیه پرداخت کند.

این روش ابزار اقتصادی مؤثر از نظر کارایی هزینه است که موجب تأمین استانداردهای کیفیت آب با حداقل مجموع هزینه‌های کنترلی<sup>۱</sup> می‌شود. (Hung & Shaw, 2005).

منافع حاصل از اجرای برنامه مبادله برحسب وسعت جغرافیایی، تعداد و نوع منابع آلاینده موجود و طراحی برنامه متفاوت است (USEPA, 1992). به‌طور کلی اجرای این برنامه در یک منطقه علاوه بر فراهم کردن بستری برای انعطاف‌پذیری و نوآوری تخلیه‌کنندگان برای کنترل آلودگی خود به ایجاد مشوق‌هایی برای توسعه سیستم‌های کنترل آلودگی با کارایی هزینه بیشتر و به حداقل رساندن تأخیرهای زمانی در رسیدن به حد مجاز آلودگی کمک شایانی می‌کند.

سیستم مبادله بین منابع آلاینده نقطه‌ای نسبت به منابع غیرنقطه‌ای با توجه به سهولت در کنترل و پایش آلودگی‌های منابع نقطه‌ای اجرایی‌تر است.

مشخص و قابل تعریف بودن محدوده مورد نظر برنامه، وجود منابع آلاینده نقطه‌ای بزرگ و کوچک با تعداد کافی، مشخص بودن حداکثر کل بار آلودگی مجاز هر تخلیه‌کننده و اختلاف زیاد هزینه‌های تصفیه در بین تخلیه‌کنندگان از مهم‌ترین شرایط یک اجرای موفق برنامه مبادله مجوزهای آلودگی است (Tietenberg, 2000). در این مقاله اجرای برنامه مبادله مجوزهای آلودگی در حوزه آبریز رودخانه دز برای مهم‌ترین منابع آلاینده رودخانه مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن از نظر کارایی هزینه‌ها تحلیل شده است.

$$a_{ij} = \frac{L_j}{L_i} \quad (2)$$

که در آن:

$L_i$  = بار آلودگی تخلیه‌کننده (ناحیه)  $i$  ام (بالادست)

$L_j$  = بار آلودگی خروجی تخلیه‌کننده (ناحیه)  $j$  ام (پایین‌دست)

ضرایب انتقال با توجه مدل کیفی رودخانه محاسبه می‌شوند.

### تعیین مقادیر مجاز تخلیه مبادله شونده (TDP) برای هر ناحیه

پس از تعیین مقادیر مجاز تخلیه و ضرایب انتقال، مقادیر مجاز تخلیه قابل مبادله (TDP) به صورت تفاضل مقدار مجاز تخلیه ناحیه‌ای و بار خروجی انتقال یافته از نواحی بالادست، مطابق روابط ۳ تا ۶ محاسبه می‌شود (Hung, & Shaw, 2005).

$$TDP_1 = E_1 \quad (3)$$

$$TDP_2 = E_2 - a_{12}TDP_1 \quad (4)$$

$$TDP_3 = E_3 - a_{13}TDP_1 - a_{23}TDP_2 \quad (5)$$

⋮

و به طور کلی:

$$TDP_j = E_j - \sum_{k=1}^{j-1} a_{kj} \cdot TDP_k, \quad k < j \quad (6)$$

که در آن:

$TDP_j$  = بار مجاز تخلیه قابل مبادله از ناحیه  $j$  (تخلیه‌کننده  $j$ )

$E_j$  = بار مجاز خروجی از ناحیه  $j$  (تخلیه‌کننده  $j$ )

$a_{kj}$  = ضریب انتقال از ناحیه  $k$  واقع در بالادست ناحیه  $j$

### هزینه کنترل آلودگی منابع آلاینده

برای بررسی کارایی هزینه در روش مبادله آلودگی نیاز به برآورد هزینه‌های احداث تصفیه‌خانه (کنترل به روش تکنولوژی) و هزینه‌های اجرای برنامه مبادله (کنترل غیر تکنولوژی) که در ادامه بررسی می‌شود.

### کنترل تکنولوژی (احداث تصفیه‌خانه)

هزینه ایجاد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و صنعتی با توجه به ماهیت و حجم فاضلاب تولیدی، نوع فرایند و درجه تصفیه متفاوت است.

BOD-DO بر مبنای روابط استریتر - فلیس تدوین شده که رابطه کلی آن به شکل زیر است:

$$D = \frac{k_c \cdot L_{c0}}{k_2 - k_c} (e^{-k_c t} - e^{-k_2 t}) + D_0 \cdot e^{-k_2 t} \quad (1)$$

در معادله فوق  $D$  نشان‌دهنده میزان کمبود اکسیژن نسبت به حالت اشباع،  $k_c$  برابر است با نرخ زوال BOD برحسب (1/day) و  $(k_2)$  ضریب هوادهی است و  $t$  زمان رسیدن از مبدأ تا نقطه مورد نظر است. تعیین میزان تخلیه مجاز بار آلودگی منابع آلاینده بر اساس استاندارد کیفی رودخانه برای مشخصه‌های DO و BOD انجام می‌شود.

در این تحقیق استاندارد کیفی رودخانه بر اساس استاندارد اروپا برای کلاس کیفی مناسب، حد مجاز DO حداقل و BOD حداکثر در رودخانه هر کدام برابر ۵ میلی‌گرم در لیتر است (Krenkel, & Novotny, 1980).

### تعیین ضرایب انتقال بین منابع آلاینده و ناحیه‌های مختلف

به‌طور کلی ضریب انتقال به معنای درصد بار آلودگی منتقل شده از بالادست به پایین‌دست پس از طی مسافت مشخص است، با توجه به کاربرد آن در تجارت آلودگی از سه جنبه قابل بررسی است:

□ ۱- بین ایستگاه‌های انتهایی ناحیه‌های تعیین شده؛

□ ۲- بین منابع آلاینده موجود در یک ناحیه یا ناحیه‌های

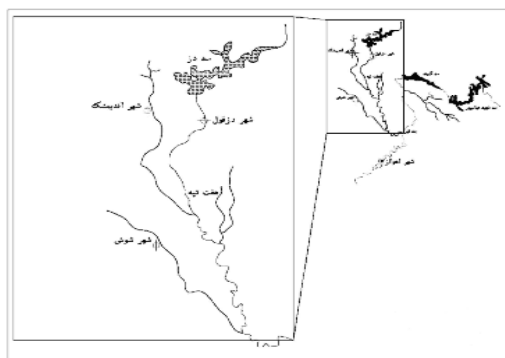
متفاوت؛

□ ۳- از منابع آلاینده به ایستگاه انتهایی ناحیه‌ای که در آن

قرار گرفته‌اند.

اولی برای محاسبه مقدار بار مجاز مبادله شونده در هر ناحیه و تسهیل در پایش و نظارت توسط مسئول محیط زیست، دومی برای تسهیل مبادله مجوزهای تخلیه صادر شده بین منابع آلاینده مختلف و سومی برای محاسبه سهم هر کدام از منابع آلاینده از کل مجوزهای اختصاص یافته به ناحیه‌ای که در آن قرار دارد، کاربرد دارند.

مطابق تعریف ضریب انتقال،  $a_{ij}$  عبارت‌است از سهم تخلیه‌کننده (ناحیه)  $i$  ام در بار آلودگی خروجی تخلیه‌کننده (ناحیه)  $j$  ام است و همواره عددی بین صفر و یک است. رابطه (۲) نشان دهنده این مفهوم است.



شکل شماره (۱): رودخانه دز محدوده مورد مطالعه

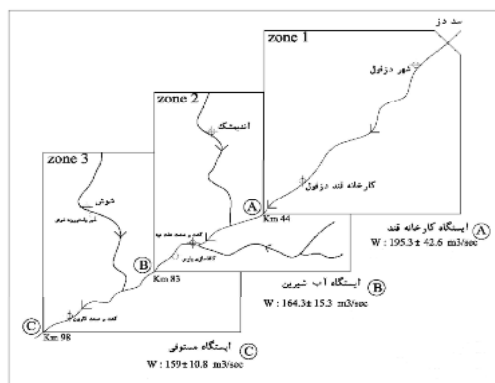
حداکثر آبدهی رودخانه دز در این محدوده مربوط به فروردین و اردیبهشت و حداقل آن مربوط به شهریور و مهر ماه به ترتیب ۶۴۷ و ۱۱۰ مترمکعب در ثانیه در ایستگاه حرمله اندازه‌گیری شده است و میانگین آبدهی این رودخانه ۳۶۸ مترمکعب در ثانیه در طول سال است (اداره محیط‌زیست خوزستان، ۱۳۷۸).

مهم‌ترین منابع آلاینده رودخانه در محدوده مورد مطالعه در بخش صنعت کارخانه کاغذسازی پارس، کارخانه قند دزفول و کارخانه شکر هفت‌تپه، در بخش شهری فاضلاب شهرهای دزفول، شوش و اندیمشک و در بخش کشاورزی زهکش کشت و صنعت‌های مهم کارون و هفت‌تپه هستند.

همه این منابع فاضلاب خود را به صورت تصفیه نشده و از محل مشخص (نقطه‌ای) به رودخانه تخلیه می‌کنند (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۸۱).

### نتایج و بحث

محدوده رودخانه دز در این مطالعه بر اساس وجود منابع آلاینده مهم و ایستگاه‌های پایش موجود به سه ناحیه به شرح زیر تقسیم شده است (شکل شماره ۲).



شکل شماره (۲): شماتیک رودخانه دز و منابع آلاینده در محدوده مورد مطالعه

در این مقاله با بررسی‌های انجام شده در پروژه‌های جاری در سطح کشور و به عنوان فرضیات تحقیق برای احداث تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی به ازای هر مترمکعب تصفیه در روز حدود ۵ میلیون ریال و برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری به ازای هر مترمکعب ۳ میلیون ریال و عمر مفید ۲۵ سال فرض شده است.

برای به‌دست آوردن معیار مقایسه و لحاظ‌کردن هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری، هزینه کنترل آلودگی منابع آلاینده بر اساس هزینه‌های معادل سالانه از رابطه ۷ محاسبه می‌شود (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۵).

$$A = P \left[ \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right] \quad (7)$$

که در آن:

$i$  = نرخ بهره که در این تحقیق ۱۲٪ فرض می‌شود؛

$N$  = تعداد سالهای بهره‌برداری که ۲۵ سال است؛

$A$  = ارزش معادل سالانه؛

$P$  = هزینه سرمایه‌گذاری فعلی.

در این تحقیق هزینه بهره‌برداری معادل ۳ درصد هزینه سالانه برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی و ۲ درصد برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در نظر گرفته می‌شود.

### هزینه‌های اجرای برنامه مبادله

هزینه‌های اجرای برنامه تجارت آلودگی از طریق نسبت‌های مبادله شامل دو بخش عمده اجرا و پایش است. هزینه‌های اجرا و پایش برنامه مبادله متناسب با وسعت و اهمیت محدوده طرح و نوع اقدامات برحسب یک سال تخمین زده می‌شود.

در نهایت متوسط هزینه هر تن کاهش آلودگی برای مسئول محیط‌زیست می‌تواند مبنای تعیین قیمت اولیه مجوزهای تخلیه برای فروش به منابع آلاینده بر حسب نسبت سهم‌شان باشد و با این کار هزینه‌های سالانه اجرا و پایش برنامه برگشت داده خواهد شد.

### مطالعه موردی

محدوده مورد مطالعه بخشی از حوزه آبریز رودخانه دز یکی از سرشاخه‌های مهم رودخانه کارون است که حد فاصل سد دز تا بند قیر به طول ۱۵۳ کیلومتر را شامل می‌شود (شکل شماره ۱).

در جدول شماره (۱) ماتریس ضرایب انتقال نوع اول (انتقال از هر ناحیه به ناحیه پایین دست) و در جدول شماره (۲) ماتریس ضرایب انتقال نوع دوم (انتقال از یک تخلیه کننده به تخلیه کننده، یا تخلیه کنندگان پایین دست) ارائه شده است.

این ضرایب به ترتیب در محاسبه مقدار مجاز تخلیه از یک ناحیه به ناحیه های پایین دست و تعیین نسبت های مبادله مجوزهای تخلیه بین منابع آلاینده در مراحل بعد مورد استفاده قرار گرفته اند. در جداول مذکور، ضریب انتقال از منابع آلاینده پایین دست به بالادست و منابع آلاینده واقع در شاخه های فرعی رودخانه صفر است. همان طور که ملاحظه می شود مقادیر ضریب انتقال با افزایش بعد مسافت کاهش می یابد.

#### جدول شماره (۱): ماتریس ضرایب انتقال بین ناحیه ها و بین منابع آلاینده و ناحیه ها در محدوده مورد مطالعه

ناحیه ها	ناحیه ۱	ناحیه ۲	ناحیه ۳
ناحیه ۱	۱	۰/۶۴	۰/۵۲
ناحیه ۲	۰	۱	۰/۷۷
ناحیه ۳	۰	۰	۱

با توجه به استاندارد کیفیت آب رودخانه که در بخش قبل عنوان شد، مقادیر تخلیه مجاز هر یک از منابع آلاینده از مدل کیفی رودخانه به دست آمده که به همراه مقادیر وضعیت موجود در جدول شماره (۳) نشان داده شده است. در این جدول TDP، ناحیه ای محاسبه شده از رابطه ۶ نیز ارائه شده است.

#### برآورد هزینه ها

برای برآورد هزینه های تکنولوژی، هزینه تصفیه خانه های پساب کشت و صنعت هفت تپه و کارون نیز با توجه به خصوصیات فاضلاب آن مشابه فاضلاب شهری در نظر گرفته شده است. هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری و مجموع معادل سالانه آنها با توجه به فرضیات بخش ۳-۵-۱ و رابطه ۷ محاسبه شده و نتایج آن در جدول شماره (۴) نشان داده شده است.

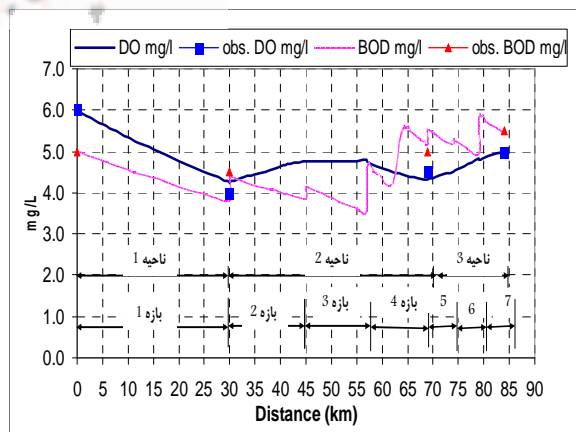
□ ناحیه ۱: از سد دز تا ایستگاه پایین دست کارخانه قند دزفول واقع در ۲۰ کیلومتری جنوب غربی دزفول و ۴۴ کیلومتری سد دز شامل ناحیه یک می شود. مهم ترین منابع آلاینده آن فاضلاب شهر دزفول و کارخانه قند دزفول است.

□ ناحیه ۲: از ایستگاه کارخانه قند دزفول تا ایستگاه آب شیرین واقع در ۸۳ کیلومتری سد دز، محدوده ای به طول ۳۹ کیلومتر ناحیه ۲ را تشکیل می دهد. مهم ترین منابع آلاینده این محدوده فاضلاب کارخانه کاغذسازی پارس و زهکش اراضی کشت و صنعت هفت تپه است. از دیگر منابع آلاینده این ناحیه، فاضلاب شهر اندیمشک است که توسط یک آبراهه فرعی وارد رودخانه دز می شود.

□ ناحیه ۳: از ایستگاه آب شیرین تا ایستگاه مستوفی واقع در ۹۸ کیلومتری سد دز، محدوده ای به طول ۱۵ کیلومتر از رودخانه دز را ناحیه ۳ تشکیل می دهد.

مهم ترین منابع آلاینده این محدوده، زهکش اراضی کشت و صنعت کارون است که در فاصله یک کیلومتری از ایستگاه مذکور وارد رودخانه می شود. همچنین فاضلاب شهر شوش و کارخانه شیر پاستوریزه شوش نیز از طریق یک آبراهه فرعی به این محدوده وارد می شود. برای مدل سازی کیفی رودخانه، شاخه اصلی رودخانه دز بر اساس وجود منابع آلاینده و تغییرات کیفی به ۷ بازه تقسیم شده و با توجه به داده های مشاهداتی و اسنجی شده است.

در شکل شماره (۳) نمودار تغییرات غلظت اکسیژن محلول و BOD در طول مسیر شاخه اصلی دز از محل تخلیه فاضلاب شهر دزفول تا انتهای ناحیه ۳ نشان داده شده است.



شکل شماره (۳): نمودار تغییرات کیفی DO و BOD در مسیر اصلی رودخانه دز در شرایط موجود

جدول شماره (۲): ماتریس ضرایب انتقال بین منابع آلاینده در محدوده مورد مطالعه

ناحیه‌ها و منابع آلاینده		ناحیه ۱		ناحیه ۲		ناحیه ۳		
		شهر دزفول	کارخانه قند	شهر اندیمشک	کشت و صنعت هفت تپه	کاغذ پارس	شهر شوش	شیر پاستوریزه شوش
ناحیه ۱	شهر دزفول	۱	۰/۷۵	۰	۰/۵۷	۰/۵۰	۰	۰/۴۳
	کارخانه قند	۰	۱	۰	۰/۷۵	۰/۶۷	۰	۰/۵۸
ناحیه ۲	شهر اندیمشک	۰	۰	۱	۰/۷۲	۰/۶۴	۰	۰/۵۵
	کشت و صنعت هفت تپه	۰	۰	۰	۱	۰/۸۸	۰	۰/۶۸
	کاغذ پارس	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰/۷۲
ناحیه ۳	شهر شوش	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰/۶۴
	شیر پاستوریزه شوش	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۷۰
	کشت و صنعت کارون	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱

جدول شماره (۳): تعیین TDP ناحیه‌ها بر اساس بار آلودگی مجاز منابع آلاینده هر ناحیه

شماره ناحیه	نام منبع	فاضلاب تولیدی (m <sup>3</sup> /day)	BOD5 (mg/lit)	بار آلودگی (ton/y)	بار مجاز تخلیه آلودگی* (ton/y)	E <sub>j</sub>	TDP ناحیه (ton/y)
۱	شهر دزفول	۶۹۲۶۱	۷۵	۱۸۹۶	۴۷۴	۱۳۵۳	۱۳۵۳
	کارخانه قند دزفول	۳۰۰۰۰	۳۲۱	۳۵۱۵	۸۷۹		
۲	شهر اندیمشک	۳۵۰۹۶	۱۳۹	۱۷۸۰	۴۴۵	۳۶۷۸	۲۸۱۲
	کشت و صنعت هفت تپه	۱۵۶۳۸۴	۱۰۵	۵۹۹۳	۱۴۹۸		
	کاغذسازی پارس	۴۵۰۰۰	۴۲۳	۶۹۴۸	۱۷۳۵		
۳	شهر شوش	۱۶۹۲۰	۱۰۰	۶۱۸	۱۵۴	۴۵۹	۰
	شیر پاستوریزه شوش	۲۵۰	۴۰۰	۳۷	۹		
	کشت و صنعت کارون	۵۲۷۰۴	۶۲	۱۱۸۳	۲۹۶		

\* با توجه به تأمین استاندارد کیفیت آب رودخانه از مدل کیفی رودخانه به دست آمده است

جدول شماره (۴): برآورد هزینه کنترل تکنولوژیک آلودگی سالانه منابع آلاینده در محدوده مورد مطالعه

شماره ناحیه	منبع آلاینده	هزینه احداث تصفیه‌خانه (میلیون ریال)	ارزش سالیانه هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه (میلیون ریال)	هزینه بهره‌برداری سالانه (میلیون ریال)	مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری (میلیون ریال)
۱	شهر دزفول	۲۰۷/۷۸۳	۲۶/۴۹۲	۵۳۰	۲۷/۰۲۲
	کارخانه قند	۱۵۰/۰۰۰	۱۹/۱۲۵	۵۷۴	۱۹/۶۹۹
۲	شهر اندیمشک	۱۰۵/۲۸۸	۱۳/۴۲۴	۲۶۸	۱۳/۶۹۳
	کشت و صنعت هفت تپه	۴۶۹/۱۵۲	۵۹/۸۱۷	۱/۱۹۶	۶۱/۰۱۳
	کاغذ پارس	۲۲۵/۰۰۰	۲۶/۶۸۷	۸۶۱	۲۹/۵۴۸
۳	شهر شوش	۵۰/۷۶۰	۶/۴۷۲	۱۲۹	۶/۶۰۱
	شیر پاستوریزه شوش	۱/۲۵۰	۱۵۹	۵	۱۶۴
	کشت و صنعت کارون	۱۵۸/۱۱۲	۲۰/۱۵۹	۴۰۳	۲۰/۵۶۲

کنترل تکنولوژیک آلودگی و قیمت خرید اولیه مجوزهای تخلیه، نسبت هزینه نهایی کنترل تکنولوژی به کنترل غیرتکنولوژیک به ازای هر تن بار آلودگی در بین منابع آلاینده مختلف محاسبه شده است. کارایی هزینه برنامه مبادله نسبت هزینه کنترل تکنولوژیک به کنترل غیر تکنولوژیک آلودگی (C2/C1) در چهار طبقه شامل کارایی بسیار بالا (۲۵-۰)، بالا (۵۰-۲۵)، متوسط (۷۵-۵۰)، پایین (۱۰۰-۷۵) و بسیار پایین (بیش از ۱۰۰) تعریف می‌شود. کارایی هزینه بالاتر نشان دهنده صرفه اقتصادی بیشتر برای منبع آلاینده خاص در احداث تصفیه‌خانه و فروش مجوز تخلیه در بازار تجارت آلودگی است و بالعکس کارایی هزینه کم تمایل منبع آلاینده برای خرید مجوز به جای احداث تصفیه‌خانه را نشان می‌دهد. مقادیر کارایی هزینه در جدول شماره (۵) نشان می‌دهد برای منابع آلاینده صنعتی (کارخانه قند، کاغذسازی پارس و شیر پاستوریزه) که هزینه کنترل تکنولوژیک آلودگی‌شان با هزینه کنترل غیرتکنولوژیک آنها تفاوت زیادی ندارد (کارایی هزینه بسیار بالا)، احداث تصفیه‌خانه را با توجه به جنبه‌های اقتصادی آن، اولویت دارد. از طرفی هزینه‌های سرمایه‌گذاری از طریق فروش مجوز تخلیه پس از طی دوره مشخص قابل برگشت خواهد بود. از طرف دیگر کنترل تکنولوژیک روشی دائمی است که یک بار برای حداقل ۲۵ سال (عمر مفید تصفیه‌خانه) انجام می‌شود، درحالی‌که روش غیر

برآورد هزینه‌های اجرای برنامه مبادله بر اساس هزینه‌های اجرا و پایش در طرح جامع کاهش آلودگی کارون و دز (سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۸۱) انجام می‌شود. این هزینه‌ها برای برنامه مبادله در محدوده مورد مطالعه متناسب با وسعت و اهمیت محدوده در طرح جامع و نوع اقدامات بر حسب یک سال تخمین زده شده و برای کاهش ۱۳۶۴۴ تن بار آلودگی کل محدوده معادل ۴/۸۵۵/۰۰۰/۰۰۰ ریال هزینه محاسبه شده است. به عبارتی به طور متوسط هزینه هر تن کاهش آلودگی برای مسئول محیط‌زیست، معادل ۳۵۵۸۳۴ ریال است که این می‌تواند مبنای تعیین قیمت اولیه مجوزهای تخلیه برای فروش به منابع آلاینده بر حسب نسبت سهم‌شان باشد و با این کار هزینه‌های سالانه اجرا و پایش برنامه برگشت داده خواهد شد. با توجه به اینکه مبنای نظریه تجارت آلودگی، کارایی هزینه نهایی کاهش آلودگی است (Titenberg, 2000)، لازم است مقایسه‌ای بین هزینه کاهش آلودگی از طریق کنترل تکنولوژیک (احداث تصفیه‌خانه) و کنترل غیرتکنولوژیک (وارد شدن به بازار تجارت آلودگی) برای رسیدن به حد مجاز بار آلودگی تعیین شده در بین منابع آلاینده با میزان بار آلودگی مختلف انجام شود تا کارایی هزینه و ترجیح هر یک از منابع آلاینده در انتخاب یکی از این دو روش مشخص شود. در جدول شماره (۵) بر اساس کاهش بار آلودگی مورد نیاز، هزینه سالانه

خرید مجوزها بپردازند معادل هزینه کنترل تکنولوژیک‌شان خواهند بود. قیمت خرید و فروش مجوزها در نهایت به قدرت چانه‌زنی طرفین در بین این دو حد بستگی دارد.

تکنولوژیک موقت (یک ساله) است. برای سایر منابع آلاینده، نظیر شهر دزفول، شهر شوش و کشت و صنعت کارون، که کارایی هزینه کم است، خرید مجوز تخلیه از منابع آلاینده دیگر به جای احداث تصفیه‌خانه اولویت دارد. حداکثر قیمتی که این منابع حاضرند بابت

**جدول شماره (۵): مقایسه کارایی هزینه کنترل آلودگی برای منابع آلاینده مختلف به روش تکنولوژیک و غیر تکنولوژیک**

ناحیه‌ها	نام منبع آلاینده	کاهش بار لازم (تن درسال)	هزینه کنترل غیر تکنولوژیک سالانه (C1) (میلیون ریال) *	هزینه کنترل تکنولوژیک سالانه (C2) (میلیون ریال) **	C2/C1	کارایی هزینه
ناحیه ۱	شهر دزفول	۱۴۲۲	۵۰۶	۲۷/۰۲۲	۵۳	متوسط
	کارخانه قند	۲۶۳۶	۹۳۸	۱۹/۶۹۹	۲۱	بسیار بالا
ناحیه ۲	شهر اندیمشک	۱۳۳۵	۴۷۵	۱۳/۶۹۳	۲۹	بالا
	کشت و صنعت	۴۴۹۵	۱۵۹۹	۶۱/۰۱۳	۳۸	بالا
	هفت تپه کاغذ پارس	۵۲۰۶	۱۸۵۲	۲۹/۵۴۸	۱۶	بسیار بالا
ناحیه ۳	شهر شوش	۴۶۳	۱۶۵	۶/۶۰۱	۴۰	بالا
	شیر پاستوریزه	۲۷	۱۰	۱۶۴	۱۷	بسیار بالا
	کشت و صنعت کارون	۸۸۷	۳۱۶	۲۰/۵۶۲	۶۵	متوسط

\*به ازای خرید مجوز هر تن تخلیه به قیمت ۳۵۵۸۳۴ ریال و با فرض این‌که تمام تخلیه، یا کاهش بار مورد نیاز از طریق خرید مجوز امکان پذیر باشد.

\*\* ستون آخر جدول ۴

خواهد بود و کمبود مجوزهای لازم برای رسیدن به حد مجاز تخلیه (۴۷۴ تن) را حاضر است حداکثر به این قیمت (به ازای هر واحد) از کارخانه قند بخرد.

۳. ضریب انتقال آلودگی فاضلاب شهر دزفول به کارخانه قند مطابق جدول شماره (۲)، برابر ۰/۷۵ است. یعنی به ازای خرید هر یک واحد مجوز از کارخانه قند مجاز خواهد بود ۱/۳۳ تن آلودگی تخلیه کند، زیرا ۷۵ درصد آلودگی آن تا رسیدن به کارخانه قند به واسطه خودپالایی رودخانه کاهش پیدا خواهد کرد. از طرفی کارخانه قند دزفول در صورت کاهش بار آلودگی خود به کمتر از حد مجاز تعیین شده می‌تواند در نهایت تمام مجوزهای تخلیه خود (۸۷۹ تن) را به شهر دزفول بفروشد. بنابراین شهر دزفول با خرید ۸۷۹ واحد مجوز از کارخانه قند می‌تواند ۱/۳۳ × ۸۷۹ = ۱۱۶۹ تن بار آلودگی مزاد بر مقدار مجاز اولیه تخلیه آلودگی داشته باشد. بنابراین بار آلودگی موجود در انتهای ناحیه ناشی از تخلیه شهر دزفول با خرید مجوزهای

برای نمونه در ناحیه شهر دزفول و کارخانه قند به دلیل کارایی هزینه متوسط برای اولی و بسیار بالا برای دومی وارد مبادله خواهند شد. در این صورت:

۱. کل بار آلودگی اندازه‌گیری شده در ایستگاه انتهای ناحیه‌ای که کارخانه قند و تصفیه‌خانه فاضلاب شهر دزفول در آن قرار دارند نباید از TDP تعیین شده برای آن ناحیه، یعنی  $TDP_I = ۱۳۵۳$  تن (جدول شماره ۳) بیشتر شود.

۲. هزینه کنترل هر تن بار آلودگی برابر نسبت مجموع هزینه‌های کنترل تکنولوژی سالانه و هزینه خرید مجوزهای تخلیه به کاهش بار آلودگی لازم در سال است. برای کارخانه قند دزفول این هزینه برای کنترل تکنولوژی  $۱۹۶۹۹ \div ۲۶۳۶ = ۷/۵$  میلیون ریال در تن بار آلودگی به دست می‌آید و مسلماً حاضر نخواهد بود مجوز هر تن آلودگی‌اش را کمتر از این مبلغ بفروشد. این هزینه برای شهر دزفول در صورتی که بخواهد تصفیه‌خانه احداث کند معادل  $۱۴۲۲ \div ۲۷ \times ۱۹ = ۹۷۰۰۲۲$  میلیون ریال در تن بار آلودگی



بر مبنای مدل استریتر فلیس استفاده شد. در نهایت با محاسبه مقدار بار آلودگی قابل مبادله در هر ناحیه با توجه به ضرایب انتقال به صورت نمونه‌وار، نحوه مبادله بار آلودگی بین دو منبع مهم در ناحیه اول تشریح شد. معیار کارایی هزینه که با توجه به نسبت هزینه‌های کنترل آلودگی با احداث تصفیه‌خانه و روش مبادله آلودگی سنجیده می‌شود برای هر یک از منابع آلاینده نشان‌دهنده میزان توانایی اجرایی برنامه مبادله برای منابع مورد نظر است. نتایج به دست آمده مبین این است که اجرای برنامه تجارت آلودگی از نظر کارایی هزینه برای منابع آلاینده عمدتاً شهری به دلیل پرهزینه بودن احداث تصفیه‌خانه از یک طرف و برای منابع آلاینده صنایع با توجه به برگشت هزینه احداث تصفیه‌خانه از طریق فروش مجوزهای تخلیه از طرف دیگر، روش کارامدی است. همچنین این روش برای مسئول حفاظت محیط‌زیست به دلیل کاهش هزینه‌های نظارت و پایش و کاهش تأخیر در رسیدن به حد مجاز آلودگی منابع آلاینده کارایی بیشتر، هزینه بالایی دارد. میزان کارامدی این روش به تعداد و میزان مبادلات ممکن در هر ناحیه و در کل محدوده مورد مطالعه بستگی دارد. بیشترین مبادلات بین منابع آلاینده بزرگ به عنوان فروشنده و منابع آلاینده کوچک به عنوان خریدار خواهد بود.

#### یادداشت‌ها

- 1- The Least Aggregate Abatement Costs
- 2- Tradable Discharge Permit

تخلیه کارخانه قند و استفاده از سهمیه خود در مجموع برابر مقدار مجاز تخلیه (۴۷۴) + مقدار مجوز خریداری شده (۱۱۶۹) مساوی ۱۶۴۳ تن خواهد بود. البته مجموع مقادیر تخلیه نباید از TDP ناحیه‌ای (مقدار ۱۳۵۳ تن در ناحیه یک) تجاوز کند.

۴. با فرض فروش مجوزها به قیمت توافقی، برابر ۸ میلیون ریال برای هر تن، کارخانه قند می‌تواند هر ساله  $8 \times 879 = 7032$  میلیون ریال از کل هزینه سالانه کنترل تکنولوژیک خود (۱۹۶۹۹ میلیون ریال) را برگشت دهد و به این ترتیب با توجه به نرخ ۱۲٪ بهره از رابطه (۷) تعداد سال برگشت سرمایه اولیه احداث تصفیه‌خانه ۳/۵ سال محاسبه می‌شود و از آن به بعد فروش مجوزهای تخلیه به عنوان سود کارخانه قند دزفول خواهد بود. واضح است هر چه کارخانه قند دزفول بتواند مجوزهای خود را با قیمت بیشتری بفروشد برگشت سرمایه‌اش سریع‌تر خواهد بود و زودتر به سود خواهد رسید. مبادله در سایر ناحیه‌ها و منابع تخلیه‌کننده آلودگی مشابه موارد فوق به ترتیب ذکر شده قابل تکرار و تأیید است.

#### جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

کارایی برنامه مدیریت کیفی رودخانه در ارائه راهکارهای مؤثر کاهش و کنترل آلودگی‌ها با حداقل هزینه است. در این مقاله کاربرد نظریه تجارت آلودگی به عنوان یکی از ابزارهای کارآمد مدیریت کیفی رودخانه برای کنترل و کاهش آلودگی رودخانه دز ارائه شده است. با توجه به مراحل تدوین برنامه تجارت آلودگی، پس از ناحیه‌بندی محدوده مورد مطالعه و خصوصیات منابع آلاینده، برای تعیین مقدار مجاز تخلیه آلاینده‌ها و ضریب انتقال آلودگی از مدل کیفی رودخانه

#### منابع مورد استفاده

اداره کل حفاظت محیط زیست خوزستان. ۱۳۷۸. مدیریت زیست محیطی منابع آبی استان - رودخانه کارون و دز.

اداره کل حفاظت محیط زیست خوزستان. ۱۳۸۱. طرح جامع کاهش آلودگی آب رودخانه کارون (گزارش مدیریتی). دانشگاه آزاد اسلامی مرکز اهواز.

کارآموز، م.، احمدی، آ.، فلاحی، م. ۱۳۸۵. مهندسی سیستم، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۳۵۰ صفحه

مهندسان مشاور دزآب، ۱۳۸۱. طرح ساماندهی منابع آلاینده رودخانه کارون

وزارت نیرو - سازمان مدیریت منابع آب. ۱۳۸۳. راهنمای تفصیلی مطالعات ظرفیت خودپالایی رودخانه‌ها. دانشگاه صنعتی شریف

Hung, M.F., D., Shaw .2005. A Trading-Ratio System for Trading Water Pollution Discharge Permits, Journal of Environment Economics and Management, 49, 83-102

. IHML0 6 ) ) HQJ ( FRQP IF DQG ( QMURP HQMD%HQHIW RI : DMU4 XDDW 7UDGQI ±\$ Q  
Overview of U.S. Trading Program, The Environmental Trading Network and Kieser & Associates, Kalamazoo, MI USA

Kraemer, R.A., E., Kampa, E., Interwies .2003. The Role of Tradable Permits in Water Pollution Control, Technical Seminar on the Feasibility of the Application of Tradable Water Permits for Water Management, 13-14 November 2003, Santiago de Chile.

. UHQHCB \$ DQG9 1 RYRW : DMU4 XDDW/0 DQJ HP HQW \$ FDGP IF 3UHW 1 HZ < RUN 1 <

Michigan Department of Environmental Quality (MDEQ).2002. Part 30: Water Quality Trading (cited in; Kieser M. S. & Fang F. 2005 )

Tao, W.2003. Tradable Discharge Permit System for Water Pollution of the Nanpan River, China, <http://203.116.43.77/publications/reasearch1/ACF64.html>

USEPA.2001. Chesapeake Bay Program Nutrient Trading Fundamental Principals and Guidelines, EPA 903-B-01-001, The Chesapeake Bay Program, US Environmental Protection Agency, Annapolis, Maryland

USEPA.1992. The Benefits and Feasibility of Effluent Trading Between Point Sources: An Analysis in Support of Clean Water Act Reauthorization.

USEPA.2003. Water Quality Trading Policy, US Government Printing Office, Washington DC, 13 January 2003, <http://www.epa.gov/owow/trading/final> Available Online:

USEPA.2004. Water Quality Trading Assessment Handbook, November 2004, EPA 841-B04-001