



بررسی اثرات محیطزیستی صنایع پتروشیمی منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

الهه جعفریان مقدم^۱، سعید ملامسی^{۲*}، سید مسعود منوری^۳، سید علی جوئی^۴

۱- کارشناس ارشد رشته مدیریت محیطزیست، دانشکده محیطزیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

۲- استادیار گروه محیطزیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

۳- استادیار گروه محیطزیست، دانشکده محیطزیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

۴- استادیار گروه محیطزیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

Survey of the Environmental Impact of the Petrochemical Industry of Mahshahr Economic Special Zone Using the Analytic Hierarchy Process Method

Elaheh Jafarian Moghadam,¹ Saeed Malmasi,^{2*} Seyyed Masood Monavari³ and Seyyed Ali Jozi⁴

1-MSc. in Environmental Management, Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University (Science and Research Campus)

2-Assistant Professor, Department of Environment, Technical and Engineering Faculty, Islamic Azad University (Northern Branch of Tehran Campus)

3-Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University (Science and Research Campus)

4-Assistant Professor, Department of Environmental, Technical and Engineering Faculty, Islamic Azad University (Northern Branch of Tehran Campus)

Abstract

Petrochemical Industries are potentially capable of having impacts on environment due to the nature of these activities and the production of waste water, pollutant gaseous emissions and hazardous wastes. This case study has considered the adverse environmental impacts of petrochemical industries on existing habitats in Mahshahr Special Economic Zone with respect to the regionally significant biological diversity and ecologically valuable species. When results from regional estuary biological and physio-chemical quality sampling as well as of impacts from petrochemical industry pollutants has been analyzed and studied, the affected ecosystems have been ranked using the Analytic Hierarchy Process method, Expert Choice software and the Eigenvector technique. The study's outcomes show that, with respect to the essence of petrochemical industry pollutants in the region, specifically waste waters including heavy metals, oil and grease, COD, TSS, along with principal standards, criteria defined in the AHP method (such as ecological value, protecting value and exposure), estuaries represent the most affected ecosystems in the region. On the other hand, different types of fish and benthic, such as Decapods, Gastropods and Tanaida have been highly affected by the consequences of the petrochemical industry's activities. It is concluded that deposits of heavy metals, oil and grease into the environment are the most important sources of pollution for the regional estuaries and these should be controlled.

Keywords: Environmental impact, Petrochemical industry, Pollutants, Analytic Hierarchy Process, Affected ecosystems, Estuaries.

چکیده

صنایع پتروشیمی با توجه به ماهیت فعالیت‌ها و فرایندهای انجام گرفته و به واسطه تولید پساب، انتشار گازهای آلاینده، پسماندهای خطرناک دارای پتانسیل ایجاد آثار سوء بر محیطزیست می‌باشند. در این مطالعه اثرات ناسازگار صنایع پتروشیمی منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر بر زیستگاه‌های موجود در منطقه بررسی گردیده است. عمده صنایع پتروشیمی موجود در این منطقه در مجاورت خورها هستند و آلودگی‌های آن‌ها، خورهای اطراف را بعنوان مهم‌ترین اکوسیستم‌های دارای تنوع زیستی تحت تاثیر قرار می‌دهد. پس از بررسی آلاینده‌های صنایع پتروشیمی و نتایج نمونه برداری از کیفیت فیزیکی و بیولوژیکی آب، جهت تجزیه و تحلیل اثرات از روش "تحلیل سلسله مراتبی" و جهت محاسبه وزن معیارها از تکنیک "بردار ویژه" استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد با عنایت به شاخص‌های اصلی تعریف شده در ساختار سلسله مراتبی نظیر ارزش اکولوژیک، ارزش حفاظتی، در معرض بودن، خورهای منطقه بیشترین تاثیر را در بین اکوسیستم‌های موجود در منطقه دریافت نموده اند و در این میان انواع گونه‌های ماهیان و جوامع کفزی بیشترین اثر از فعالیت‌های صنایع پتروشیمی متحمل شده اند. هم‌چنین فلزات سنگین و ترکیبات نفتی، مهم‌ترین آلاینده‌های اثر گذار بر خورهای منطقه ناشی از صنایع پتروشیمی شناسایی شده و می‌بایست کنترل گردد.

کلید واژه‌ها: اثر زیست‌محیطی، صنایع پتروشیمی، آلاینده‌ها، روش تحلیل سلسله مراتبی، اکوسیستم‌های تحت اثر، خورها.

* Corresponding author. E-mail Address: s.malmasi50@gmail.com

مقدمه

صنعت پتروشیمی به صناعی اطلاق می‌شود که در آن‌ها هیدروکربن‌های موجود در نفت خام و یا گاز طبیعی به محصولات شیمیایی تبدیل می‌شوند. در واقع پتروشیمی از دو کلمه نفت و شیمی تشکیل شده و معنای تحت اللفظی آن مواد شیمیایی حاصل از نفت است (Monavari, 2001)

پتروشیمی صنعتی است که از مواد نفتی، مواد شیمیایی گوناگون مورد نیاز زندگی امروز را فراهم می‌آورد. در این صنعت از هیدروکربورهای نفتی پس از اعمال یک سری فعل و انفعالات شیمیایی، فرآورده‌های نهایی با ارزش افزوده‌ای نزدیک به ده تا پانزده برابر ارزش مواد اولیه آن از نفت خام و گاز تولید می‌شود. دیگر امتیاز این صنعت مادر، امکانات نامحدود برای تولید هزاران فرآورده است که اکثر آن‌ها به عنوان ماده اولیه در سایر بخش‌های صنایع و یا در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Jafarzadeh, 2008). اولین بار صنعت پتروشیمی در آمریکا پا به عرصه وجود گذاشت و آمریکایی‌ها اصطلاح "Petrochemicals" را برای مواد خام حاصله از نفت معمول نمودند و سپس در اروپا و ممالک دیگر استفاده از مواد نفتی به عنوان مواد خام اولیه آغاز گردید.

در ایران نیز برای اولین بار در سال ۱۳۴۳ شمسی شرکت ملی صنایع پتروشیمی وابسته به شرکت ملی نفت ایران تشکیل شد و فعالیت‌های خود را در این زمینه از صنعت آغاز نمود. صنایع پتروشیمی در ایران قدمتی در حدود نیم قرن دارد (Mostajabi, 2008). اولین سازمان نسبتاً متشکل برای این منظور بنگاه شیمیایی وابسته به وزارت اقتصاد بود. عمده‌ترین فعالیت این بنگاه ایجاد کارخانه کود شیمیایی مرودشت فارس در سال ۱۳۳۸ بود تا اینکه در سال ۱۳۴۳ طبق قانون، کلیه فعالیت‌هایی که به

عنوان ایجاد و توسعه صنایع پتروشیمی توسط واحدهای تابعه وزارت خانه‌ها و سازمان‌های مختلف دولتی انجام می‌شد، در شرکت ملی نفت ایران متمرکز گردید و شرکت مزبور برای تامین این منظور شرکتی فرعی به نام شرکت ملی صنایع پتروشیمی را تاسیس کرد. هدف اصلی این شرکت تولید فرآورده‌های پتروشیمی و شیمیایی و فرآورده‌های فرعی از نفت و مشتقات نفتی و گاز طبیعی و سایر مواد خام اعم از آلی و معدنی است. بدین ترتیب که با استفاده از هیدروکربورهای نفتی که به حد وفور در ایران موجود است و یا از استخراج نفت حاصل می‌شود و سالیان متمادی به صورت مواد زائد و بلا مصرف سوزانده می‌شد طبق اصول و موازین علمی-صنعتی بهره برداری نموده و از اتلاف آن‌ها جلوگیری به عمل آورد (Rafeenejad, 2007).

از طرف دیگر بطور بالقوه، صنایع پتروشیمی به عنوان یکی از بزرگترین منابع آلاینده محیط‌زیست محسوب می‌شوند. امروزه کنترل و کاهش اثرات آلودگی ناشی از صنایع پتروشیمی جهت حفاظت از محیط‌زیست به عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل و دغدغه‌های ملل جهان قرار گرفته است. مشکلات زیست‌محیطی عمده این صنایع بویژه در شرایط عدم رعایت ضوابط و استانداردهای زیست‌محیطی، پیامدهای مخاطره آمیز را به همراه داشته و طبیعت‌زیستی جوامع انسانی و نیز حیات وحش را دچار اختلال می‌نماید (Rooney, 2005). این صنایع با توجه به ماهیت فعالیت‌ها و فرایندهای انجام گرفته و نیز بواسطه تولید پساب، انتشار گازهای آلاینده و پسماندهای خطرناک از پتانسیل ایجاد آثار سوء بر محیط‌زیست برخوردار می‌باشند (Xiao-ping, 2004). هم‌چنین تخلیه پساب‌های صنایع پتروشیمی با توجه به ماهیت ترکیبات آن‌ها به منابع آبی پذیرنده، قابلیت تخریب بخش قابل توجهی از عناصر زیستی را دارا می‌باشند. به طوری که

و گاز، مواد اولیه و خوراکی واحدهای صنعتی را بیش از پیش تسهیل می‌نماید (۶). مهم‌ترین اکوسیستم‌های آبی واقع در این منطقه خورها می‌باشند. وجود مواد مغذی و شرایط مساعد دمایی در خورهای منطقه باعث فراوانی انواع گونه‌های کفزی نظیر پرتاران، تانائیدها، کم تاران و ماهیان شده است. هم‌چنین انواع پرندگان آبزی و کنار آبی که بسیاری از آنها بومی منطقه می‌باشند و یا هر ساله جهت زمستان‌گذرانی از مناطق سردسیر به این منطقه مهاجرت می‌کنند، حاکی از اهمیت اکولوژیکی خورهای اطراف منطقه مورد مطالعه می‌باشد (Nabavi, 1999). آلودگی‌های آب بوجود آمده در این خورها عمدتاً ناشی از تخلیه حجم بسیار زیاد فاضلاب می‌باشد. وجود جزر و مد بالا در این مناطق دامنه گسترش آلاینده‌ها را بسیار افزایش داده و باعث شده است کل منطقه خور موسی و انشعابات آن تحت تاثیر آلاینده‌های ایجاد شده در خور قرار گیرند (Mazaheri, 2001). لذا با توجه به اهمیت خورها بعنوان یکی از پر تولیدترین اکوسیستم‌های دنیا و فعالیت صنایع پتروشیمی متعدد در این منطقه، شناسایی عوامل تخریب و تعیین نوع آلاینده‌های شاخص این صنایع جهت ارائه راهکارهای تقلیل و یا حذف آثار سوء وارده ضروری می‌باشد.

در این مطالعه، اثرات زیانبار ناشی از فعالیت صنایع پتروشیمی واقع در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر با تاکید بر مجتمع پتروشیمی تندگویان با استفاده از روش فوق تجزیه و تحلیل شده است. این مجتمع به‌عنوان تنها تولید کننده مواد اولیه بطری‌های PET (پلی اتیلن ترفتالات) دارای سیستم تصفیه فاضلاب مستقل از سایر صنایع پتروشیمی می‌باشد. هدف و علت تاسیس واحد تصفیه فاضلاب و ارسال نمودن پساب این مجتمع به پتروشیمی فجر (همانند سایر صنایع پتروشیمی موجود در منطقه ویژه)، وجود فلزات سنگین در پساب (مانند منگنز و

بصورت مستقیم و غیر مستقیم زمینه حذف تدریجی گونه‌های آبزی اعم از جانوری و گیاهی را فراهم می‌سازد و بدین ترتیب با کاهش تعداد و تنوع گونه‌ها موجب ساده‌تر شدن شبکه غذایی گردیده و منبع آبی را بخصوص در سواحل به یک منبع آبی مرده تبدیل می‌نماید (Rajesh, 2006). تبعات این آلودگی به‌ویژه فلزات سنگین محدود به اجزای حیاتی اکوسیستم نبوده بلکه در مسیر بهره برداری انسان از منابع آبی به جوامع انسانی نیز راه یافته و سلامتی انسان‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد (EsmaeliSari, 2002). بر اساس اصول توسعه پایدار و مدیریت نوین، نادیده گرفتن محیط‌زیست و به خطر انداختن اجزای حیاتی آن به منزله نادیده گرفتن سلامت انسان‌ها است که پیامدها و تبعات خاص خود (بهداشتی، اجتماعی و اقتصادی) را به همراه خواهد داشت (Asian development bank, 1997). در این رابطه، تخلیه فاضلاب صنایع متعدد پتروشیمی به آب‌های خلیج فارس، هم‌زندگی طبیعی جانداران این دریا را به مخاطره انداخته و هم سلامت انسان‌ها را به تبع تغذیه از منابع غذایی آبی مورد تهدید قرار داده است. خلیج فارس دریای نیمه بسته‌ای با ۴۰ هزار کیلومتر مربع وسعت که دارای تنوع زیست‌محیطی کم نظیر است و بین ۴۰۰ تا ۴۵۰ گونه ماهی در آن زندگی می‌کنند. خلیج فارس در منطقه‌ای گرمسیری و خشک واقع شده که به دلیل وضعیت سایکولوژیکی و محیطی ویژه، از دامنه تحمل آبیان موجود در آن نسبت به تغییرات محیطی کاسته شده است و ورود آلاینده‌ها نیز آسیب بیشتری به این موجودات می‌زند (Samadyar, 2005).

منطقه مورد مطالعه در ساحل خلیج فارس در شهرستان ماهشهر واقع شده و به دلیل استقرار واحدهای صنعتی پتروشیمی همانند یک گلوگاه استراتژیک در مناطق نفت و گاز ایران عمل کرده، دستیابی به منابع نفت

جامعه ارتباطات تحقیق در ژاپن نیز یک شماره اختصاصی در مورد فرایند تحلیل سلسله مراتبی به چاپ رسانده است. نزدیک بیست عنوان کتاب در این زمینه تاکنون چاپ شده است که عمدتاً به زبان انگلیسی بوده و هم چنین کنفرانس‌های مختلف در اقصی نقاط دنیا در این زمینه برگزار شده است. در زمینه‌های کاربردی نیز می‌توان گفت که فرایند سلسله مراتبی در مسائل مختلف تصمیم‌گیری بکار برده شده است که برخی از آن‌ها نیز جایزه‌های بین‌المللی دریافت نموده‌اند (Saaty, 1994)

هم چنین مقالات متعددی در مورد نحوه استفاده از این روش در طرح‌ها و پروژه‌های زیست‌محیطی تدوین شده است. در مقاله‌ای با عنوان ارزش‌گذاری زیست‌محیطی نیروگاه‌ها بر اساس مواد منتشره غیر رادیواکتیو، اثرات ناسازگار زیست‌محیطی ناشی از انتشار آلاینده‌های ۱۰ نوع نیروگاه با استفاده از این روش ارزش‌گذاری شده است. در نهایت نیروگاه‌های هسته‌ای، آبی، ژئوترمال و بادی بعنوان گزینه‌های دارای اثرات سوء زیست‌محیطی کمتر انتخاب گردیده‌اند (Athanasios, 2007). هم چنین ارزیابی اثرات اقتصادی-اجتماعی ناشی از احداث یک کارخانه بازیافت در کشور هند توسط Ramanathan, R با استفاده از این روش انجام گردیده است. بدین ترتیب که محاسبه وزن معیارها بر اساس نظرسنجی از مردم روستاها و شهرهای همجوار انجام شده و نتایج نشان می‌دهد که تامین آب به‌عنوان مهم‌ترین مشکل برای افراد شهری و روستایی می‌باشد (Ramanathan, 2001). در مقاله‌ای که توسط Julius, S به چاپ رسیده، شاخص‌گذاری کیفیت زیست‌محیطی توسعه سه صنعت بر اساس مسائل اقتصادی-اجتماعی شامل احداث یک کارخانه آلومینیوم، پالایشگاه نفت و توسعه صنایع منطقه‌ای موجود با استفاده از روش فوق‌الذکر انجام شده است. در نهایت توسعه صنایع

کبالت)، COD بالا و حجم زیاد پساب این مجتمع می‌باشد (Shil Amayesh Consulting Engineers, 2006).

امروزه یکی از ارکان اقدامات حفاظتی از منابع طبیعی در مقابل اثرات ریانبار ناشی از پساب‌های صنایع پتروشیمی، تجزیه و تحلیل اثرات آلودگی‌ها بر جوامع زیستی بویژه عناصری که از بیشترین حساسیت و آسیب‌پذیری نسبت به آلودگی‌های صنایع برخوردارند، می‌باشند. تجزیه و تحلیل اثرات می‌بایست همراه با انجام نمونه‌برداری‌های لازم از منبع آبی تحت اثر به گونه‌ای انجام پذیرد که متضمن حفاظت از عناصر زیستی تحت اثر باشد (Jafarian, 2008). بنابراین انجام مدیریت زیست‌محیطی جهت حفاظت این گونه منابع تحت اثر مستلزم شناسایی و تجزیه و تحلیل اثرات می‌باشد. با وجود آنکه رعایت برخی ملاحظات زیست‌محیطی جهت حذف و یا تقلیل مهم‌ترین اثرات ناسازگار زیست‌محیطی هزینه بر است، اما آینده روشنی را در دنبال کردن مسائل زیست‌محیطی و خصوصاً پیوستن به پروتکل کیوتو برای کشورها به دنبال خواهد داشت (Mostajabi, 2008). در این مقاله جهت تجزیه و تحلیل اثرات زیست‌محیطی صنعت پتروشیمی مورد مطالعه و اولویت بندی آلودگی‌ها از روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP) استفاده گردیده است. در زمینه تئوری فرایند تحلیل سلسله مراتبی، مقالات زیادی از بدو پیدایش آن تاکنون به چاپ رسیده است. به طوری که برخی از مجلات علاوه بر مقالات فراوانی که در شماره‌های عادی خود در این زمینه چاپ کرده‌اند، شماره‌های اختصاصی نیز برای این موضوع داشته‌اند. به طور مثال مجله European Journal of Operational research یک شماره و مجله Socio-Economic planning دو شماره و مجله Mathematical Modeling نیز دو شماره را به فرایند تحلیل سلسله مراتبی و تصمیم‌گیری‌های چند معیاره اختصاص داده است.

منطقه‌ای با کم‌ترین اثرات زیست‌محیطی جهت احداث انتخاب گردیده است. (Solnes, 2003)

مواد و روش‌ها

جهت شناسایی و تجزیه و تحلیل اثرات ناسازگار محیط‌زیستی ناشی از صنایع پتروشیمی مورد مطالعه از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. بدین منظور نخست وضعیت موجود محیط‌زیست منطقه مورد بررسی قرار گرفت. جمع‌آوری اطلاعات از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، عملیات میدانی شامل بازدید از منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر و خورهای اطراف صورت گرفت. در ادامه به بررسی آلودگی‌های ناشی از کلیه صنایع پتروشیمی مورد مطالعه پرداخته شد. جهت بررسی میزان آلودگی آب در بخش‌های محصور و آزاد خورها و تعیین میزان تنوع‌زیستی گونه‌های آبزی، نتایج آزمایشات انجام شده از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی آب خورها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به منظور بررسی اثرات ناشی از فعالیت صنایع پتروشیمی مورد مطالعه، ویژگی‌های زیستی منطقه و زیستگاه‌های عمده موجود در منطقه مطالعاتی شناسایی گردید. در این راستا با تشکیل ساختار سلسله مراتبی و تعیین معیارها و زیرمعیارها، نخست مهم‌ترین زیستگاه‌های منطقه که تحت تاثیر فعالیت‌های صنایع پتروشیمی قرار دارند، تعیین گردید.

در مرحله بعد به بررسی آلودگی‌های ناشی از واحدهای مختلف فرایندی در صنایع پتروشیمی مورد مطالعه و شناسایی نقاط با پتانسیل آلودگی محیط‌زیستی بالا پرداخته شد. جهت بررسی میزان آلودگی آب در بخش‌های محصور و آزاد خورها و تعیین میزان تنوع زیستی گونه‌های آبزی، نتایج آزمایشات انجام شده از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی آب خورهای

اطراف در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در نهایت با توجه به نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده و میزان تاثیر پذیری محیط پذیرنده نسبت به آلاینده‌های شناسایی شده، ۵ نوع آلاینده آب شامل فلزات سنگین، مواد روغنی و چربی، COD، TSS، H₂S بعنوان آلاینده‌های عمده در صنایع پتروشیمی مورد مطالعه، انتخاب و ارزش‌گذاری گردیدند.

سپس به منظور اولویت‌بندی آلاینده‌های شاخص محیط‌زیستی آب و بررسی آثار سوء ناشی از آنها روش تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از نرم افزار Expert Choice بکار برده شد. در این روش وزن نسبی معیارها و زیر معیارهای در نظر گرفته شده، نسبت به یکدیگر و سطوح بلافاصله بالاتر با تکنیک بردار ویژه^۲ تعیین گردید. در نهایت وزن نهایی گزینه‌ها محاسبه گردیده و آلاینده‌های مورد بررسی بر اساس معیارهای تعیین شده اولویت‌بندی شدند. برای اولویت‌بندی بین معیارهای مختلف در ارزشیابی گزینه‌ها، به معیارها وزنی اختصاص داده می‌شود. به همین منظور در این تحقیق به هر یک از معیارهای انتخابی و زیرمعیارها وزنی داده شد تا بدین ترتیب اولویت‌بندی و یا اهمیت بیشتری به هر گزینه (آلاینده‌های محیط‌زیستی) تعلق گیرد. وزن‌دهی در این بخش نسبی است و برای اولویت‌دهی به معیارها می‌باشد. وزن دهی معیارها و گزینه‌ها به روش مقایسه زوجی^۳ صورت گرفت. در روش مقایسه زوجی برای هر جفت از معیارها مشخص می‌کنیم کدام یک مهم‌تر است و در واژه‌های کیفی باید مشخص کنیم کدام معیار یا عامل مهم‌تر از دیگری است. روش مقایسه زوجی، مقایسات کیفی را به وزن‌های کمی برای تمامی عوامل تبدیل می‌کند (Athanasios, 2007) (جدول ۱).

جدول ۱- مقادیر ترجیح برای روش مقایسه زوجی

(Ghodsipour, 2001)

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهمتر
۷	ترجیح یا اهمیت خیلی قوی
۵	ترجیح یا اهمیت قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مهمتر
۱	ترجیح یا اهمیت یکسان
۸، ۶، ۴، ۲	ترجیحات بین فواصل فوق

کسب نماید، دارای اثرات ناسازگار محیط‌زیستی بیشتری بوده و بکارگیری روش‌های کنترلی در جهت کاهش یا رفع آن دارای اهمیت بیشتری می‌باشد. پس از تعیین مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیستی، راهکارهای تقلیل اثرات سوء ناشی از آن‌ها ارائه گردید.

نتایج

در گام اول ساختار سلسله مراتبی با هدف تعیین مهم‌ترین اکوسیستم‌های تحت اثر صنایع پتروشیمی تشکیل گردید. در این ساختار ارزش اکولوژیکی، ارزش حفاظتی و در معرض بودن اکوسیستم‌های موجود در منطقه مطالعاتی هم‌چنین تاثیر پذیری هر یک نسبت به آلودگی‌های صنایع پتروشیمی اعم از آلودگی آب، هوا، صدا و مواد زائد جامد بعنوان معیارهای اصلی در سطح دوم ساختار سلسله مراتبی انتخاب گردید. در سطح آخر نیز زیستگاه‌های تحت اثر صنایع پتروشیمی در منطقه مورد مطالعه بعنوان گزینه‌های مورد مقایسه زوجی در نظر گرفته شد (نمودار ۱).

در گام دوم، ساختار فرایند سلسله مراتبی با هدف اولویت‌بندی اثرات محیط‌زیستی بر مهم‌ترین اکوسیستم شناسایی شده در گام اول تشکیل گردید. در این ساختار معیار اصلی تخریب محیط‌زیستی مورد سنجش قرار گرفت. سه عامل ارزش اکولوژیکی، آسیب‌پذیری و میزان آلودگی عوامل آلاینده بعنوان معیارهای اصلی تعیین اثرات محیط‌زیستی انتخاب شد. سپس زیستگاه‌های آبی تحت اثر بعنوان زیرمعیارهای ساختار سلسله مراتبی به ۴ منطقه شامل بخش محصور خور زنگی، بخش آزاد خور زنگی، خور موسی و خور جعفری طبقه‌بندی گردیده و نسبت به معیارهای اصلی با یکدیگر مقایسه زوجی شدند. در هر یک از زیستگاه‌های تعیین شده، اثر بر کلیه پارامترهای زنده شامل اثر بر تراکم و تنوع گیاهان

در این روش، وزن معیارها (w_i) به گونه‌ای تعیین می‌شوند که روابط زیر صادق باشند:

$$a_{11} w_1 + a_{12} w_2 + \dots + a_{1n} w_n = \lambda \cdot w_1$$

$$a_{21} w_1 + a_{22} w_2 + \dots + a_{2n} w_n = \lambda \cdot w_2$$

$$a_{n1} w_1 + a_{n2} w_2 + \dots + a_{nn} w_n = \lambda \cdot w_n$$

در معادله زیر، a_{ij} ترجیح عنصر i ام بر j ام است و w_i نیز وزن عنصر i ام و λ یک عدد ثابت می‌باشد. در این روش وزن عنصر i ام (یعنی w_i) طبق تعریف بالا برابر است با:

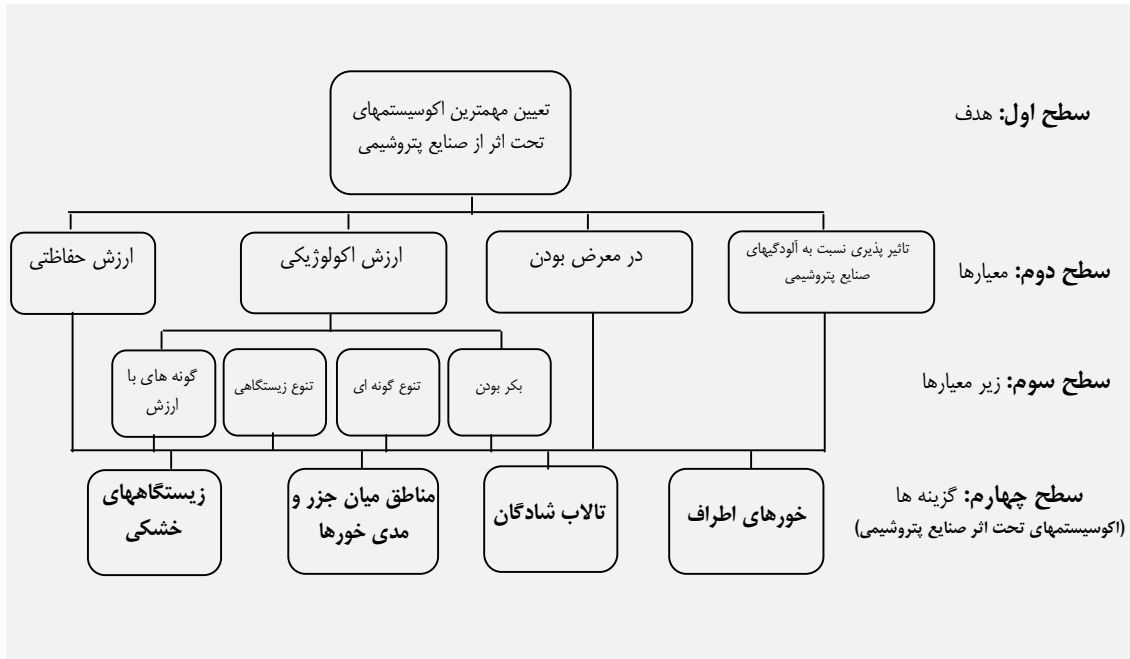
$$w_i = 1/\lambda_n \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad i = 1, 2, \dots, n$$

دستگاه معادلات فوق بصورت $A \cdot W = \lambda \cdot W$ می‌باشد که همان ماتریس مقایسه زوجی $\{A = [a_{ij}]\}$ و W بردار وزن و λ یک اسکالر (عدد) است (Roberts, 2001 ; Villa, 2006).

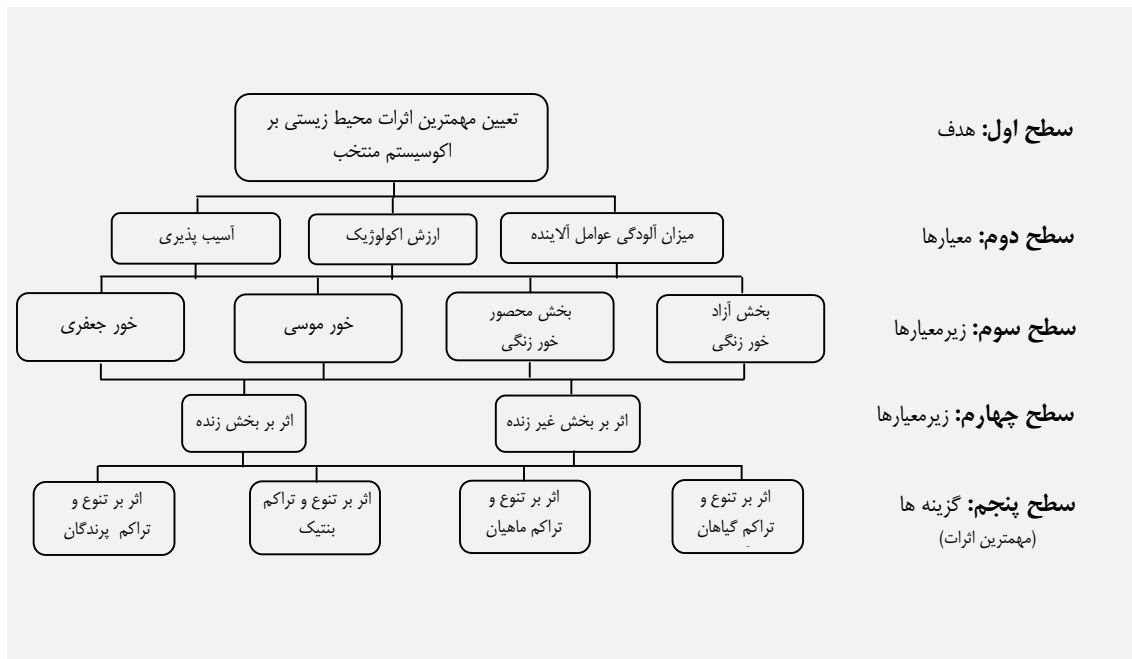
برای هر ماتریس A ، دترمینان ماتریس $(A - \lambda \cdot I)$ را محاسبه کرده و آنرا مساوی صفر قرار داده و مقادیر λ محاسبه شد بزرگترین λ را در رابطه $(A - \lambda_{\max} I) = 0$ قرار داده و مقادیر وزن نسبی (w_i) برای هر یک از معیارها و وزن نهایی گزینه‌ها محاسبه می‌گردد (Ramanathan, 2003; Solnes, 2001). هر گزینه‌ای که مقدار بیشتری

میزان شوری، مواد جامد معلق، دما و pH آب سنجش و وزن دهی گردید (نمودار ۲).

آبزی، ماهیان، جوامع کفزی، پرندگان آبچر، کنار آبچر و اثر بر پارامترهای غیر زنده (فیزیکوشیمیایی) شامل



شکل ۱- ساختار فرایند تحلیل سلسله مراتبی تعیین مهمترین اکوسیستمهای تحت اثر



شکل ۲- ساختار فرایند تحلیل سلسله مراتبی تعیین مهم ترین اثرات زیست محیطی بر اکوسیستم منتخب

حفاظتی نمی‌باشند. به این ترتیب در ماتریس مقایسه زوجی، اکوسیستم خشکی نسبت به سایر اکوسیستم‌های تحت اثر از لحاظ کلیه معیارهای در نظر گرفته شده در ساختار سلسله مراتبی، در اولویت آخر نمره‌دهی شده و کم‌ترین وزن نسبی به آن داده شد. جدول (۲) وزن اکوسیستم‌های تحت اثر صنایع پتروشیمی ساختار تحلیل سلسله مراتبی و نرم افزار Expert Choice را نشان می‌دهد.

جدول ۲- وزن اکوسیستم‌های تحت اثر صنایع پتروشیمی در ساختار سلسله مراتبی

اولویت	وزن نهایی	اکوسیستم‌های موجود در منطقه	ردیف
۲	۰/۳۰۳	خورها	۱
۳	۰/۲۸۶	تالاب شادگان	۲
۴	۰/۰۵۹	زیستگاههای خشکی	۳
۱	۰/۳۵۲	پهنه های جزر و مدی	۴

در ساختار سلسله مراتبی تعیین مهم‌ترین اثرات محیط‌زیستی بر اکوسیستم منتخب، از بین سه معیار اصلی در نظر گرفته شده در سطح دوم، دو معیار اصلی ارزش اکولوژیک و آسیب پذیری با وزن نسبی یکسان در اولویت و اهمیت اول قرار گرفتند. پس‌اب تولید شده در سایر صنایع پتروشیمی موجود در منطقه ماهشهر نیز جهت تصفیه به مجتمع یوتیلیتی فجر ارسال می‌شود. نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده نشان می‌دهد که تنها در مواردی خروجی سیستم‌های تصفیه فاضلاب این مجتمع به خورهای اطراف دارای مقادیر بالاتر از حد استاندارد تخلیه به آب‌های سطحی می‌باشد. بنابراین معیار میزان آلودگی عوامل آلاینده ناشی از صنایع پتروشیمی مورد مطالعه کم‌ترین سهم را در تخریب محیط‌زیست منطقه ایفا می‌کنند و در ماتریس مقایسه زوجی مربوطه کم‌ترین وزن به آن داده شد.

پس از شناسایی و بررسی مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیستی، مقایسه زوجی هر یک از اکوسیستم‌های تحت تاثیر صنایع پتروشیمی بر اساس معیارها و زیرمعیارهای تعیین شده انجام گردید. با محاسبه وزن‌نهایی گزینه‌ها در سیستم AHP هر گزینه‌ای که وزن بیشتری کسب نماید، دارای اهمیت بیشتر می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام شده، در مقایسه زوجی اکوسیستم‌های تحت اثر از نظر ارزش اکولوژیک و ارزش حفاظتی، مناطق میان جزر و مدی و تالاب شادگان که منطقه حفاظت‌شده و تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط‌زیست می‌باشد، رتبه بالاتری را کسب نمودند.

در ماتریس مقایسه زوجی اکوسیستم‌ها از نظر معیارهای در معرض بودن و تاثیرپذیری نسبت به آلاینده‌های صنایع پتروشیمی لازم به توضیح است که خورها و مناطق میان جزر و مدی آن‌ها در فاصله کمی از صنایع پتروشیمی قرار دارند و رواناب‌های سطحی سایت مجتمعهای پتروشیمی، Blow Down خنک‌کننده‌ها بطور مستقیم و یا از طریق کانال جمع‌آوری منطقه ویژه به خورها تخلیه می‌شود. هم‌چنین پساب کلیه صنایع پتروشیمی موجود در منطقه مورد مطالعه پس از تصفیه به این اکوسیستم‌های آبی تخلیه می‌شود. بنابراین این مناطق بیشتر تحت تاثیر آلودگی‌های ناشی از صنایع پتروشیمی قرار گرفته و در ماتریس مربوطه وزن بالاتری نسبت به سایر اکوسیستم‌های تحت تاثیر داده شد.

اکوسیستم خشکی منطقه مورد مطالعه محدود به زیستگاه‌های دشتی بوده و بواسطه استقرار صنایع پتروشیمی کیفیت زیستی خود را از دست داده است و از نظر تنوع و تراکم گونه‌های جانوری و گیاهی دارای ارزش چندانی نمی‌باشد. هم‌چنین خاک منطقه شور و قلیایی بوده و دارای کیفیت مناسب جهت رویش گونه‌های گیاهی نیست. این زیستگاه‌ها دارای ارزش

کمترین امتیاز از لحاظ ارزش اکولوژیکی داده شد. در مقایسه زوجی خورها بر اساس آسیب پذیری، بخش‌های محصور خور زنگی و خور جعفری بعنوان نزدیک‌ترین اکوسیستم‌های آبی به صنایع پتروشیمی موجود در منطقه، دارای بیشترین آسیب‌پذیری نسبت به آلاینده‌های مجتمع پتروشیمی مورد مطالعه می‌باشد. شاخه اصلی خور موسی نسبت به سایر زیستگاه‌های آبی، کمتر در معرض آلاینده‌های ناشی از فعالیت صنایع پتروشیمی قرار گرفته و دارای کمترین درجه آسیب پذیری می‌باشد. نتایج اندازه‌گیری از کیفیت آب بخش‌های آزاد و محصور خور زنگی و جعفری نشان می‌دهد میزان آلودگی خور جعفری بیش از سایر خورهای موجود در منطقه است. بخش‌های محصور این دو خور نسبت به بخش‌های آزاد دارای آلودگی بیشتر می‌باشند. هم‌چنین نتایج نمونه برداری‌های انجام شده از کیفیت آب خورها نشان می‌دهد میزان COD، pH در مناطق محصور بالاتر از سایر مناطق آزاد بوده است. لذا در ماتریس مقایسه خورها بر اساس میزان آلودگی، بیشترین وزن به ترتیب به بخش‌های محصور خور جعفری و خور زنگی و کمترین وزن به خور موسی اختصاص داده شد.

در ماتریس مقایسه زوجی اثر بر تراکم و تنوع موجودات آبری نسبت به بخش زنده خورها با توجه به نتایج اندازه‌گیری از کیفیت زیستی خورهای موجود در منطقه عمده تأثیرات منفی ناشی از آلاینده‌های آب بر ماهی‌ها و جوامع کفزی بوده و اثر بر تنوع و تراکم آن‌ها در اولویت اول نمره‌دهی گردید. اثر بر تنوع و تراکم گیاهان آبری و پرندگان نیز به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.

در مرحله آخر، میانگین غلظت آلاینده‌های آب با استانداردهای سازمان محیط‌زیست مقایسه گردیده و

مقایسه خورها بر اساس معیارهای ارزش اکولوژیکی، آسیب‌پذیری و میزان عوامل آلاینده نشان می‌دهد خور موسی دارای بالاترین ارزش اکولوژیکی و تنوع و تراکم گونه‌ای می‌باشد. در بررسی‌های مشابه در خوریات موسی، در سال ۱۳۷۸، جمعا ۱۲ گروه ماکروبتوز شناسائی و جداسازی شدند که بیشترین درصد فراوانی به ترتیب مربوط به ناجورپایان (۰/۴۳/۱)، پرتاران (۰/۴۱/۶)، کوبه پودا (۰/۳/۵) و تانائیدها (۰/۳/۱) نسبت به کل جمعیت ماکروبتوزها بوده و بیشترین فراوانی ماکروبتوزها در فروردین ماه، ۱۷۷۰۷ و کمترین فراوانی در مهر ماه 2407 n/m^2 بود. در این بررسی ۲۸ خانواده از پرتاران شناسایی شدند (Nabavi, 1999).

به دلیل عدم ارتباط بخش‌های محصور خور زنگی و جعفری با آب‌های اطراف، جریان طبیعی گردش آب و جزر و مد در آن تا حدی مختل شده است. هم‌چنین بر اساس نتایج نمونه برداری‌های انجام شده از رسوب و بستر این خورها، تخلیه آلاینده‌های ناشی از صنایع پتروشیمی باعث گردیده که گونه‌های آبری در آن محدود به جوامع فقیر کفزی به تعداد بسیار اندک گردد. تراکم و تنوع ماکروبتوزها در مناطق محصور خور زنگی به شدت تحت تاثیر ورود آلاینده‌ها قرار گرفته اند بطوری که عدد شاخص تنوع به ۱ بسیار نزدیک بوده و تراکم ماکروبتوزها در این نواحی نیز میانگین ۲۵۲ عدد در متر مربع بدست آمده است که بیشتر شامل لارو حشرات آب شیرین بوده و این تعداد کم نیز در حاشیه خورها بدست آمده و تقریبا بستر خورهای محصور خالی از هر نوع موجود زنده می‌باشد. هم‌چنین نتایج تحقیقات نشان داد با افزایش فاصله از مناطق محصور به سمت بخش آزاد خور زنگی بر تراکم و تنوع ماکروبتوزها افزوده می‌شود (Manuchehri, 2008). لذا در ماتریس‌های نمره‌دهی مربوطه، به بخش محصور خورها

اولویت‌بندی نهایی برای آن‌ها صورت گرفت. نتایج بدست آمده از ارزیابی اوزان اکوسیستم‌های موجود در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد خورهای موجود در منطقه مورد مطالعه بویژه مناطق میان جزر و مدی آن‌ها، مهم‌ترین اکوسیستم‌های تاثیر پذیر از فعالیت‌های صنایع پتروشیمی مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۳- وزن اکوسیستم‌های تحت اثر صنایع پتروشیمی در ساختار سلسله مراتبی

اولویت	وزن نهایی	آلاینده‌های زیست محیطی	ردیف
۳	۰/۲۱۶	COD	۱
۲	۰/۳۰۱	فلزات سنگین	۲
۱	۰/۳۳۳	مواد نفتی و روغنی	۳
۴	۰/۱۵۳	TSS	۴

در بررسی و اولویت‌بندی اثرات ناشی از آلاینده‌های محیط‌زیستی بر پارامترهای فیزیکی و بیولوژیکی خورهای اطراف به‌عنوان اکوسیستم منتخب در ساختار سلسله مراتبی، اثر بر تنوع و تراکم گونه‌های مختلف ماهی‌ها و جوامع کفزی در اولویت اول اهمیت شناخته شد. هم‌چنین بررسی شاخص‌های آلاینده آب نشان می‌دهد فلزات سنگین و مواد روغنی و چربی، مهم‌ترین آلاینده‌های آب ناشی از صنایع پتروشیمی بوده و دارای بیشترین پتانسیل اثرگذاری بر شرایط زیستی خورها می‌باشند. هم‌چنین COD و TSS بترتیب در اولویت سوم و چهارم اهمیت به لحاظ اثرگذاری بر عوامل محیط‌زیستی قرار گرفتند.

جهت حذف و یا تقلیل اثرات زیانبار ناشی از انتشار آلاینده‌های صنایع پتروشیمی بر خورها، راهکارهای زیر پیشنهاد می‌گردند:

- رفع نقص و اصلاح سیستم‌های تصفیه فاضلاب

فاکتورهای فیزیکوشیمیایی بالاتر از حد استاندارد جهت اولویت‌بندی و تعیین مهم‌ترین عامل تخریب و کاهش کیفیت زیستی خورها انتخاب گردید. اثرات ناشی از تخلیه پساب آلوده به فلزات سنگین و ترکیبات نفتی در آب خورها موجب ایجاد تغییرات رفتاری، تغییر در زاد و ولد، رشد، زیستگاه و منابع غذایی و افزایش حساسیت نسبت به عوامل بیماری‌زا در جانوران آبزی (جوامع بنتیک و ماهیان) و کنار آبی (پرندگان) می‌گردد. هم‌چنین انتشار این آلاینده‌ها در سطح آب مانع رسیدن نور به گیاهان آبزی شده و از تداوم عمل فتوسنتز جلوگیری می‌کند (Dakhteh, 2004). در ماتریس‌های اثر آلاینده‌های آب بر آبزیان موجود در خورها، دو آلاینده فوق‌الذکر در اولویت‌های اول تا دوم نمره‌دهی شده‌اند. افزایش COD بطور غیر مستقیم با ایجاد کاهش در میزان اکسیژن محلول در آب باعث تنزل کیفیت زیستی آبزیان می‌شود. در ماتریس‌های مربوطه، اثرات ناشی از افزایش COD بر فون و فلور آبزی در اولویت سوم نمره‌دهی شد. میزان غلظت بالای TSS نیز موجب مسدود شدن آبشش ماهیان و اختلال در سیستم تنفسی آن‌ها، تغییر در شکل بستر و زیستگاه جوامع بنتیک می‌شود. هم‌چنین مانع رسیدن نور به گیاهان آبزی و محدود نمودن تبادلات گازی در آن‌ها می‌گردد. اثر این آلاینده بر عوامل زنده خورها در اولویت آخر شناخته شد. جدول (۳) وزن اکوسیستم‌های تحت اثر صنایع پتروشیمی ساختار تحلیل سلسله مراتبی و نرم افزار Expert Choice را نشان می‌دهد.

بحث

بر اساس نمره‌دهی ماتریس‌ها و مقایسه زوجی معیارهای مربوط به هر سطح نسبت به معیارهای هم سطح و سطوح بالایی، وزن‌دهی گزینه‌ها نسبت به هدف انجام شده و

- hierarchy process ,University of western Macedonia, Department of engineering and management of energy resources, Greece, 1-11
- Dakhteh, K. (2004). Heavy metals impacts on aquatics, Ms. Dissertation, Islamic Azad University of Iran.
- Esmaeli Sari, A. (2002). Pollutants, Health and Standard in environment. Tehran: Tarbiat Modares University press.
- Ghodsipur, S.H. (2006). Analytic Hierarchy Process. Amirkabir University press.
- Ghodsipur, S.H. (2006). Multiple objective decision making (MODM). Tehran: Amirkabir University press.
- Jafarzadeh, E. (2008). Petrochemical industries environmental portrait. National Petrochemical Company press.
- Jafarian, E. (2008). Survey on environmental impacts of PET- PTA petrochemical industries (Case Study: Mahshahr Economic Special Zone), Ms. Dissertation, Islamic Azad University of Iran.
- Mahshahr economic special zone (2001). Study of economic special zone estuary improvement. Mahshahr economic special zone press.
- Monavari, S.M. (2001). Environmental impact assessment guidelines for petrochemical plants. Iran: DOE press.
- Manuchehri, H. (2008). Mahshahr petrochemical activities ecological impact assessment on
- اجرای برنامه‌های کنترل و پایش ادواری در فواصل زمانی کوتاه مدت
- در نظر گرفتن سیستم‌های پیش تصفیه در مجتمع‌های پتروشیمی که دارای پساب با بار آلودگی بالا می‌باشند.
- عدم تخلیه رواناب‌های سطحی و Blow Down خنک کننده ها به خورهای اطراف و هدایت آن‌ها به سیستم‌های تصفیه فاضلاب
- وکیوم نمودن خروجی رواناب‌های سطحی آلوده به مواد روغنی و چربی
- ممانعت از قطع و یا محدود کردن ارتباطات بخش محصور خورهای زنگی و جعفری با آب‌های اطراف
- تشکر و قدردانی**
- از زحمات بی دریغ استادان گرانقدر جناب آقای دکتر مسعود منوری و جناب آقای دکتر لیاقتی تشکر می‌گردد.
- پی‌نوشت‌ها**
۱. فرایند تحلیل سلسله مراتبی Analytical hierarchy processes (AHP):
۲. تکنیک بردار ویژه Eigen vector
۳. مقایسه زوجی Pair wise comparison
- منابع**
- Asian development bank (1997). Environmental impact assessment for developing countries in Asia, Asian development bank publications.
- Asgharpur, M.J. (2006). Multi-criteria decision-making. Tehran: Tehran University press.
- Athanasios, I. (2007). Objective and subjective evaluation of power plants and their non-radioactive emissions using the analytic

- Rooney, P. (2009). Factors that influence the petrochemical industry in the Middle East, <http://www.mees.com>.
- Solnes J. (2003). Environmental quality of large industries development alternatives using AHP, University of Iceland, Reykjavik, Iceland.
- Samadyar, S. (2005). Initiation of pollutants transmission model of petrochemical plants in Persian Gulf, Ms. Dissertation, Islamic Azad University of Iran.
- Shil Amayesh consulting engineers (Eds) (2006). Environmental comprehensive plan, potential polluting areas, Mahshahr economic special zone press.
- Villa, F. and M. Helena (2006). Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision- Making: Guidelines and Applications, Institute for Ecological Economics, University of Maryland, USA.
- Xiao-ping, J., H. Fang-yu and T. Xin-shun (2004). Integrated environmental performance assessment of chemical processes, *Journal of computers and chemical engineer*, 29: 243-247.
- micro benthos density and diversity on Zangi estuary from Mousa estuary tributaries located in Persian Gulf, PhD. Dissertation, Islamic Azad University of Iran.
- Mostajabi, A. (2008). Analysis of environmental impact of petrochemical industries, <http://www.npc-rt.ir>.
- Mazaheri, M. (2001). Correlation and focal study of heavy metals in Mousa estuary deposits and effective absorbing and repelling factors, Ms. Dissertation, Islamic Azad University of Iran.
- Nabavi, S.B. (2009). Study of Mahshahr estuary's micro-benthos focusing on their role in terms of fishery aquatic nutrition, Ms. Dissertation, Islamic Azad University of Iran.
- Rafeenejad, E. (2007). Carelessness of petrochemical industries about mercury discharge to Persian Gulf, <http://www.farsnews.com>.
- Rajesh, S. and K.L. Edwin (2006). Toxic impact assessment of a manufacturing process: illustrative application to the automotive paint process, *International Journal of Environmental Studies*, 453- 461
- Ramanathan, R. (2001). A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact, *Journal of Environmental Management*, 28- 34
- Roberts, L. (2001). Applying Environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the analytic hierarchy process, *European journal of operational Research*, 71- 81

