

## بسم الله الرحمن الرحيم

فصلنامه «علوم و تکنولوژی محیط زیست» نشریه علمی دانشکده محیط زیست واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی و انجمن متخصصان محیط زیست ایران است. هدف از انتشار این فصلنامه آشنا کردن متخصصان، کارشناسان و دانشجویان محیط زیست با تحقیقات جدید در زمینه های مختلف مرتبط با محیط زیست است.

### راهنمای نویسندگان

جدول هایی که اطلاعات آن در متن به طور کامل آمده است، خودداری شود.

**بحث و نتیجه گیری** - یافته های مهم تحقیق براساس اهداف ویژه آن به اختصار و با رعایت ترتیب منطقی ذکر و پیرامون آن با استناد به موارد همسان و دگر سان در متون مرتبط بحث شود. اگر فرضیاتی در مطالعه مطرح شده، تایید و یا رد آن مورد بحث قرار گیرد. نتیجه گیری به صورت روشن و در حد یافته های تحقیق و با توجه به محدودیت های مطالعه بیان شود.

**تشکر و قدردانی** - در این بخش از موسسه تامین کننده بودجه، افراد و سازمان هایی که به طور مستقیم و غیر مستقیم در انجام مطالعه و یا نگارش همکاری نموده اند و نامشان به عنوان نویسنده در مقاله نیامده است، تشکر و قدردانی شود.

مقالات به زبان فارسی روان و با رعایت قواعد دستوری نگاشته شود و از آوردن اصطلاحات خارجی که معادل های دقیق و رسایی در زبان فارسی دارند، خود داری گردد و در موارد ضروری، معادل لاتین داخل پرانتز جلو کلمه گذاشته شود.

مقالات مروری از نویسندگانی پذیرفته می شود که دارای خبرگی و تالیفات قابل قبول در زمینه مربوط باشند.

از پژوهشگران ارجمندی که مایل هستند مقاله شان در مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست چاپ شود، خواهشمند است نکات ذیل را به هنگام تدوین و ارسال مقاله رعایت فرمایند:

۱- مقاله باید در نرم افزار Word با قلم

نازنین و سایز ۱۱ برای متن فارسی و با

قلم Times new Roman برای متن

انگلیسی تایپ و به صورت Online از طریق

مجله آماده دریافت و بررسی مقالات پژوهشی و مروری می باشد.

مقالات پژوهشی باید ویژگی های زیر را داشته باشد:

- دارای عنوان صریح، دقیق و مختصر باشد.

- چکیده (به زبان فارسی و انگلیسی، حداکثر تا ۲۵۰

کلمه) شامل: زمینه و هدف، روش بررسی، یافته ها، بحث و نتیجه گیری و واژه های کلیدی بین ۳ تا ۵ واژه باشد. همچنین چکیده انگلیسی دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

متن اصلی مقاله در برگبرنده بخش های زیر باشد:

**زمینه و هدف** - در این بخش دانش موجود درباره موضوع و مبانی نظری آن، ضرورت انجام تحقیق و هدف مطالعه مشخص شود.

**روش بررسی** - در بخش روش بررسی، نوع مطالعه، جامعه پژوهش، نمونه مورد مطالعه، روش نمونه گیری، ابزار گردآوری داده ها، ملاحظات اخلاقی و روش های آماری به دقت بیان شود. در این بخش نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- در صورت استفاده از روش های تحقیق شناخته شده، ذکر منبع کافی است؛ اما در صورت استفاده از روش های تحقیق جدید، باید اطلاعات کافی داده شود، به طوری که محقق دیگر بتواند براساس اطلاعات ارایه شده، آن روش را اجرا کند.

- اگر از ابزار و مواد خاصی استفاده شده است، باید کارخانه سازنده و آدرس آن در پرانتز آورده شود.

**یافته ها** - در این قسمت، از متن، جدول، نمودار و عکس به تناسب برای بیان یافته ها استفاده شود. جداول، نمودارها و ... باید دارای شماره و عنوان کامل و رسا باشد. ضمناً از آوردن

E-mail: [irsen1385@gmail.com](mailto:irsen1385@gmail.com)

ارسال گردد.

۲- منابع براساس ترتیب استفاده در متن شماره گذاری شود (Vancouver System) برای توضیح بیشتر نحوه نگارش انواع منابع با ذکر مثال ذیل آمده است:

**مقاله:** نام خانوادگی و نام نویسنده یا نویسندگان. عنوان کامل مقاله. نام مجله. سال انتشار؛ شماره مجله: شماره صفحات.

#### مثال مقاله فارسی:

- فرانش، محمد و همکاران، «بررسی میزان آلودگی به سرب و برخی از عوامل مرتبط با آن در کودکان ۱۱-۶ ساله شهر سمنان در سال ۱۳۸۰، مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی سمنان، تابستان ۱۳۸۲، جلد ۴، شماره ۳ و ۴.

#### مثال مقاله انگلیسی:

- Pettine, M., Casentini, B., Fazi, S., Giovanardi, F., 2007. A revisitation of TRIX for trophic status assessment in the light of the European Water Framework Directive Application to Italian coastal waters. Marine pollution Bulletin, Vol. 24, pp.1413-1426

**کتاب:** نام خانوادگی و نام نویسنده یا نویسندگان. عنوان کتاب. شماره چاپ. شهر محل چاپ: ناشر؛ سال انتشار. شماره صفحات

#### مثال کتاب فارسی:

ترکیان، ایوب، «مهندسی کنترل آلودگی هوا»، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۰، جلد اول، فصل دوم.

#### مثال کتاب انگلیسی:

- RUB10, B.2000. Geochemistry of major and trace Elements in sediments of the Rio de Janeiro (NW Spring)

**ترجمه کتاب:** نام خانوادگی و نام مترجم. نام کامل کتاب. نام خانوادگی و نام مولف کتاب. شماره چاپ. شهر محل چاپ: ناشر؛ سال انتشار. شماره صفحات.

پرمن، راجر، یوما، جیمز. ری، مک گیل (نویسندگان) ارباب، حمیدرضا (مترجم). «اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی». چاپ اول، تهران: نشر نی ۱۳۸۲.

**مطالب کنفرانس:** نام خانوادگی و نام نویسنده و یا نویسندگان.

عنوان مقاله. اسم کنگره: سال، ماه، روز. نام شهر، کشور.

#### مثال مطالب کنفرانس:

- ثقفی - م، شریفی - م، هلجی اسدی - م، «بررسی پتانسیل باد سیاهپوش در استان قزوین برای احداث نیروگاه برق بادی» - پنجمین همایش ملی انرژی، بهار ۱۳۸۴ - تهران - ایران.

**پایان نامه:** نام خانوادگی و نام نویسنده. عنوان کامل پایان نامه.

مقطع تحصیلی، نام دانشگاه، سال؛ صفحات

- مشکینیان، علی، «بررسی و ارزشیابی محیطی و بیولوژیکی میزان غلظت سرب در کارگران خدمات شهری شاغل در یکی از مناطق پر ترافیک تهران»، پایان نامه کارشناسی ارشد بهداشت حرفه ای، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پزشکی، ۱۳۸۱؛ صفحات ۵۳ تا ۵۷ و ۸۸ تا ۹۴.

**منابع الکترونیک:** نام خانوادگی و نام نویسنده. نام مقاله. نام

ژورنال، سال انتشار ماه: شماره مقاله. نام سایت اینترنتی.

#### مثال منابع الکترونیک:

Sharma, Chhatra Mani, 2003. Effect of Exposure to Aluminum on fish in Acidic waters, see information in: <http://www.geocities.com/chhatra-sharma/ecotoxicology.pdf>.17p

۳- مقاله به همراه نامه ای با امضای نویسنده یا نویسندگان مقاله ارسال و در آن به روشنی بیان شود که مقاله ارسالی در مجلات دیگر پذیرفته نشده و یا به چاپ نرسیده و نیز هم زمان به مجله ای دیگر فرستاده نشده است. در ضمن تعهد گردد که تا گرفتن پاسخ نهایی از مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست مقاله برای نشریه ای دیگر ارسال نخواهد شد.

۴- نام و نام خانوادگی نویسنده (گان)، دانشکده،

دانشگاه و یا موسسه محل فعالیت، مرتبه علمی نویسندگان، نشانی کامل و همچنین شماره تلفن، دور نگار و e-mail نویسنده مسئول در صفحه

جداگانه آورده شود. نویسندگان باید ترتیب درج اسامی خود را مشخص نمایند.

۵- مسئولیت صحت مطالب چاپ شده از دیدگاه علمی، اخلاقی و حقوقی به عهده نویسنده (گان) مقاله می باشد.

۶- مجله حق رد، قبول، اصلاح، ویرایش و خلاصه نمودن را برای خود محفوظ می دارد و مقاله های دریافتی و ملحقات آن بازگشت داده نمی شود.

۷- برای آشنایی بیشتر با نحوه تدوین مقالات، نویسندگان محترم می توانند از آخرین شماره مجله استفاده نمایند.

۸- تصمیم گیری نهایی در مورد مقالات در شورای نویسندگان مجله و پس از ارزیابی توسط حداقل سه نفر داور (که هویتشان مکتوم است) صورت می پذیرد.

نشانی دفتر مجله: تهران - انتهای بزرگراه شهید ستاری - میدان دانشگاه - بلوار شهدای حصارک - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات- بلوک ۲ آموزشی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، طبقه ۷، اتاق ۷۱۵

تلفن: ۴۴۴۸۶۷۲۸

تلفکس: (۲۷۱۰-۲۷۰۹) ۷۱-۴۴۸۶۷۱۷۰

پست الکترونیکی:

[irsen1385@gmail.com](mailto:irsen1385@gmail.com)

آدرس اینترنتی:

[www.irsen.org](http://www.irsen.org)

[www.iisen.org](http://www.iisen.org)

[www.jest.srbiau.ac.ir](http://www.jest.srbiau.ac.ir)

## فهرست

- ۱ بررسی تأثیر آموزش‌های محیط زیستی بر دانش آموزان متوسطه دوم دختر در جهت حفاظت از تالاب‌ها (مطالعه موردی: تالاب شور، شیرین و میناب)  
مهناز جدیدی، احمد نوحه گر
- ۱۱ سنجش زیبایی‌شناختی گونه‌های درختی در فضای سبز شهری مطالعه موردی: پارک جنگلی آبیدر  
جاهده تکیه خواه، سید محسن حسینی، صلاح الدین قسیمی
- ۲۷ کاربرد جاذب نانوکامپوزیت منیزیم اکسید / کیتوسان برای حذف یون نیکل (II) از محلول‌های آبی: مطالعه ترموسینتیکی  
نبیه فرهامی، محمدعلی افضلی، بیژن قنواتی
- ۳۷ بررسی میزان تجمع فلزات سنگین در برگ گونه‌های درختی و درختچه‌ای غالب ( *Eucalyptus camaldulensis* , *Conocarpus erectus* ) در محدوده اطراف مجتمع فولاد خوزستان  
فروغ پورمختاری، مریم محمدی روز بهانی
- ۴۷ بررسی پدیده لایه بندی حرارتی و تغذیه گرایی در مرحله ساخت مخزن سد ابوالفارس استان خوزستان  
نازلی مقدم یکتا، سید علی جوزی
- ۵۹ ارزیابی کیفیت هوا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: شهر تهران)  
نرگس عرب، سید حامد میرکریمی، عبدالرسول سلمان ماهینی
- ۶۹ تنوع زیستی جوامع قارچ‌های رسوب گرد و غبار و رابطه آن با میزان رسوب سطح برگ درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس  
نیلوفر حق دوست، مسلم اکبری نیا، ناصر صفایی، حامد یوسفزاده، میکوش بالینت
- ۷۹ سنتز نانوزئولیت اصلاح شده با سورفکتانت به عنوان نانوجاذب در حذف موثر نیترات از آب آشامیدنی  
زهرا حسین آبادی، نیما ذوالفقاری، زهرا بیگم مختاری حسینی، مجتبی هادوی فر
- ۹۳ پویایی مکانی و زمانی موزایک‌های مراحل تحولی در جنگل مدیریت شده راش شرقی  
سید باقر میراحمدی، اسداله متاجی، ساسان بابایی کفاکی، رضا اخوان
- ۱۰۷ مکان یابی احداث ایستگاه بازیافت پسماند جامد صنعتی در شهرک صنعتی نصیرآباد  
علیرضا دربان آستانه، محمدرضا رضوانی، امیدجامی برنجه

## بررسی تأثیر آموزش‌های محیط زیستی بر دانش آموزان متوسطه دوم دختر در جهت حفاظت از تالاب‌ها (مطالعه موردی: تالاب شور، شیرین و میناب)

مهناز جدیدی<sup>۱</sup>

احمد نوحه گر<sup>۲\*</sup>

[nohegar@ut.ac.ir](mailto:nohegar@ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۶

### چکیده

**زمینه و هدف:** گسترش توسعه در کشورهای جهان، مشکلات محیط زیستی متعددی را برای اکوسیستم‌های مختلف از جمله تالاب‌ها ایجاد نموده است. تالاب بین‌المللی شور، شیرین و میناب در استان هرمزگان در شهرستان میناب، دارای ارزش‌های اکولوژیکی و اقتصادی بسیاری است ولی به دلیل عوامل مختلفی دچار آسیب گردیده و برای جلوگیری از روند تخریب آن باید اقداماتی انجام داد. به دلیل اینکه مؤثرترین و با صرفه‌ترین روش جلوگیری از تخریب محیط زیست، آموزش و مشارکت افراد جامعه می‌باشد و دانش‌آموزان مهمترین گروه‌های اجتماعی هر جامعه‌ای هستند، دانش‌آموزان به عنوان گروه هدف انتخاب شدند. هدف این پژوهش بررسی تأثیر آموزش‌های محیط زیستی بر دانش‌آموزان متوسطه دوم دختر در جهت حفاظت از تالاب‌ها بوده است.

**روش تحقیق:** دانش‌آموزان پایه یازدهم روستای تیاب که در مجموع ۲۷ نفر بودند به عنوان نمونه در نظر گرفته شدند و آموزش در سه زمینه اهمیت و کارکرد، عوامل تخریب و نحوه مشارکت جوامع محلی جهت حفاظت از تالاب مورد نظر، به آنها ارائه گردید. روش نمونه‌گیری در این تحقیق، غیر تصادفی و از نوع هدفمند بوده و روش تحقیق توصیفی و از نوع پیمایشی - مقطعی می‌باشد. روش گردآوری اطلاعات پرسشنامه بوده و روایی آن نیز توسط متخصصان تأیید شده است.

**یافته‌ها:** پایایی پرسشنامه نیز با نرم‌افزار SPSS22 سنجیده شد و آلفای کرونباخ ۰/۸ به دست آمد. نتایج نشان می‌دهند که آموزش‌های ارائه شده برای مقطع متوسطه دوم اثربخشی بسیار مطلوبی دارد به طوریکه نمره کل پیش‌آزمون آنها از ۲۵/۴۶ به ۳۳/۴۱ در پس‌آزمون ارتقا یافت.

**بحث و نتیجه‌گیری:** آموزش‌ها تأثیر مثبت بر فراگیران داشته و بیشترین تأثیر بین مؤلفه‌های پرسشنامه، در بخش زمینه‌های تخریب و تهدید تالاب مورد مطالعه بوده است که نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون آن بیشترین تفاوت را با هم داشتند. بنابراین می‌توان از طریق برگزاری دوره‌های آموزشی، فرهنگ محیط زیستی افراد جامعه را بهبود بخشید.

**واژه‌های کلیدی:** آموزش محیط زیست، تالاب‌های دریایی، تالاب شور، شیرین و میناب، استان هرمزگان.

<sup>۱</sup> دانشکده محیط زیست، پردیس فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استاد دانشکده محیط زیست، پردیس فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران\* (مسئول مکاتبات)

## **Evaluating the Impact of environmental education on girl high school students in the coservation of wetlands (case study: Shour, shirin and minab wetland)**

**Mahnaz Jadidi<sup>1</sup>**  
**Ahmad Nohegar<sup>2\*</sup>**  
[nohegar@ut.ac.ir](mailto:nohegar@ut.ac.ir)

Accepted Date: December 17, 2019

Date Received: May 6, 2019

### **Abstract**

**Introduction:** The expansion of development in the countries of the world has created numerous environmental problems for various ecosystems, including wetlands. The shour shirin and minab international wetland in Hormozgan province in Minab city, has many ecological and economic values, but it has been damaged due to various factors, and some measures have to be taken to prevent its destruction process. Because the most effective and most cost-effective method of preventing environmental degradation, is education and community participation, and students are the most important social groups in each community, students were selected as target groups. The purpose of this study was to investigate the effect of environmental education on high school students in order to protect the wetlands.

**Material and methods:** Eleventh-grade students of Tiab village, which were 27 in total, were considered as samples and environmental education was presented to them in three context: the importance and function of the destructive factors and how local communities participate in protecting the wetland. The sampling method in this research is non-random and purposeful and research method is descriptive and cross-sectional survey. The data collection method was a questionnaire and its validity was confirmed by experts.

**Result:** Reliability of the questionnaire was measured by SPSS-22 software and Cronbach's alpha was 0.8. The results show that providing high school education has a very good effect, so that their pretest scores improved from 25.46 to 33.41 in the post test.

**Discussion:** The training had a positive effect on the learners, and the greatest impact among the questionnaire components was in the section on areas of destruction and threats to the studied wetland, where the pre-test and post-test scores had the greatest difference. Therefore, it is possible to improve the community's cultural environment by organizing training courses.

**Keywords:** Environmental Education, marine wetlands, shour, shirin and minab wetland, Hormozgan province.

---

<sup>1</sup> Faculty of Environment, Technical Campus, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Professor , Faculty of Environment, Technical Campus, University of Tehran, Tehran, Iran

\* (Corresponding Author)

## مقدمه

محیط زیست مجموعه‌ای از عوامل زنده و غیر زنده است که این عوامل با یکدیگر در ارتباط‌اند. محیطی که انسان در آن زیست می‌نماید یک ساختار اجتماعی دارد و باید به عنوان تعادل‌های شناخته شده میان محیط فیزیکی اطراف ما و نیروهای اجتماعی، سیاسی و اقتصادی که ما را در این محیط سر و سامان می‌دهند، شناخته شود [۱]. روند رو به گسترش کشورهای در حال توسعه و افزایش جمعیت شهری، سبب مشکلات محیط زیستی متعددی شده است. بحران محیط زیست در ایران به عنوان یکی از شدیدترین بحران‌های محیط زیست در جهان شناخته شده که حل آن نیازمند یک عزم ملی می‌باشد [۲]. اکوسیستم تالاب‌ها تنها ۶ درصد از کل کره زمین را تشکیل می‌دهند اما شرایطی مناسب برای بقا و حیات بسیاری از موجودات را فراهم نموده‌اند و طیف وسیعی از خدمات اکوسیستمی که منجر به رفاه انسانی می‌شوند را با خود به همراه دارند. بر اساس تعریف کنوانسیون رامسر، «مناطق مردابی، آب مانده اراضی سیاه باتلاقی، برکه‌ها، که به صورت طبیعی، مصنوعی، دائم یا موقت با آب ساکن یا جاری، شیرین، لب شور یا شور، همچنین آن دسته از آب‌های دریایی که عمق آب هنگام جزر از ۶ متر تجاوز نکند را تالاب می‌گویند» [۳]. حفظ تنوع زیستی، کنترل فرسایش خاک، ترسیب کربن، تعدیل آب و هوا، حمل و نقل‌های دریایی و تأمین شغل جوامع محلی از جمله خدماتی هستند که تالاب‌ها برای انسان در پی دارند. ایران دارای ۲۴ تالاب بین‌المللی ثبت شده در کنوانسیون رامسر است که ۴ تالاب بین‌المللی آن در استان هرمزگان قرار دارد. تالاب شور، شیرین و میناب در استان هرمزگان در شهرستان میناب، یک تالاب ساحلی/دریایی می‌باشد که دارای ارزش‌های اکولوژیکی و اقتصادی بسیار زیادی است. تالاب‌های ساحلی، نواحی کم عمقی هستند که تماماً یا بخشی از آن به وسیله زبانه‌ها یا سدهای ماسه‌ای از دریا جدا می‌شود که این سدها و زبانه‌های ماسه‌ای توسط امواج و در بالاترین سطح جزر و مد تشکیل می‌شوند [۴]. این تالاب به دلیل دارا بودن جنگل‌های مانگرو از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. عدم وجود آمایش سرزمین، توسعه آبی‌پروری و صید بی رویه، سرشاخه زنی غیراصولی حرا و ورود شتر به منطقه، خشکسالی، پساب‌های فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و آلودگی نفتی ناشی از تخلیه سوخت قاچاق به آب و فقر اجتماعی مهمترین عوامل تهدید و تخریب تالاب مورد مطالعه می‌باشند [۵]. پس از بررسی‌های انجام گرفته در منطقه میناب و تیاب مشخص گردید که اهالی روستاهای حاشیه تالاب شور، شیرین و میناب به دلیل تخریب تالاب در سال‌های اخیر دچار مشکلات

متعددی شده‌اند. به طور مثال بسیاری از آنها که در گذشته به کار صیادی و تولید صنایع دستی مشغول بوده‌اند، به دلیل کاهش آبیان و گیاهان تالابی شغل خود را از دست داده و به کارهای دیگر روی آورده بودند. همچنین کشاورزی و باغداری ساکنین اطراف تالاب نیز با مشکلات جدی شده بود. با توجه به افزایش جمعیت و متعاقباً افزایش نیاز به بهره‌برداری از منابع طبیعی، روند تخریب تالاب رو به گسترش بوده و برای حفظ اکوسیستم ارزشمند آن باید اقداماتی صورت داد. بررسی‌های گوناگون حاکی از آن است که در بین راه‌های مختلف مقابله با معضلات زیست محیطی، بنیادی‌ترین، مؤثرترین و با صرفه ترین روش جلوگیری از تخریب محیط زیست، آموزش و فرهنگ‌سازی عمومی و مشارکت افراد جامعه می‌باشد [۶]. آموزش محیط زیست آموزشی است که تفکر انتقادی، توانایی حل مسئله و مهارت‌های تصمیم‌گیری مؤثر را در افراد تقویت می‌کند و آنها را قادر می‌سازد تا قبل از تصمیم‌گیری در مورد یک مشکل محیط زیستی، جنبه‌های متفاوت آن را ببینند [۷]. تبدیل کردن امر حفاظت محیط زیست به یک باور ذهنی و عادت، بهترین راهی است که در نهایت به حفظ محیط زیست می‌انجامد و مناسب‌ترین زمان برای ایجاد چنین باوری، در سنین کودکی و نوجوانی می‌باشد؛ زیرا افراد در این سن می‌توانند قبل از ورود به جامعه، مهارت لازم در این زمینه را کسب کنند. تغییرات ایجاد شده در نگرش و رفتار دانش‌آموزان در گروه‌های مختلف تحصیلی، پایداری درازمدتی خواهد داشت و آنها می‌توانند به عنوان پدران و مادران آینده در تربیت نسل بعد بسیار مؤثر باشند. در این پژوهش به دلیل آموزش پذیر بودن نوجوانان، گروه هدف را دانش‌آموزان متوسطه دوم قرار دادیم تا بتوان با افزایش دانش آنها نسبت به تالاب مورد بررسی، سبب تغییر نگرش و عملکرد آنها شد و رفتارهای حفاظت از محیط زیست را در آنها نهادینه نمود. در زمینه آموزش محیط زیست به دانش‌آموزان در سال‌های گذشته مطالعاتی در داخل کشور انجام گرفته که می‌توان به پژوهش لاریجانی و همکاران در سال ۱۳۹۷ اشاره نمود، نتیجه تحقیق آنها نشان داد که آموزش‌های محیط زیستی توانسته بر نگرش دانش‌آموزان تأثیر بگذارد و منجر به رفتارهای مثبت زیست محیطی در آنها و اطرافیان‌شان بشود [۸]. همچنین شرفی و همکاران در سال ۱۳۹۳ نشان دادند که آموزش نقش بسزایی در افزایش آگاهی و نگرش دانش‌آموزان دارد، لذا ضروری است که ارگان‌های مسؤول از قبیل مرکز بهداشت، آموزش و پرورش و غیره نسبت به آموزش‌های دوره‌ای دانش‌آموزان و نهادینه کردن مباحث محیط زیستی اقدام لازم را به عمل آورند [۹]. کی منش نیز در سال ۱۳۹۱ در مطالعه‌ای که بر روی

بخشیده و از تخریب تالاب بین‌المللی شور، شیرین و میناب و همچنین دیگر تالاب‌های ارزشمند کشورمان جلوگیری کرده و در جهت حفظ آنها گام مؤثری برداشته شود.

### روش تحقیق

#### • محدوده مطالعاتی

خور تیاب در محدوده شهرستان میناب در مجاورت بندر صیادی تیاب قرار دارد که انتهای آن مشرف به روستا و بندر تیاب است [۱۴]. تالاب بین‌المللی شور، شیرین و میناب با مساحت ۷۸۰۹۹ هکتار در فاصله ۷۰ کیلومتری شرق بندرعباس در ساحل شمالی تنگه هرمز در خلیج فارس، روبروی جزیره هرمز و هم تراز با سطح دریا در موقعیت جغرافیایی ۵۶ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و ۲۷ درجه و ۵ دقیقه شمالی در دهانه رودهای شور و شیرین واقع شده است که به صورت خور وارد روستای تیاب شده و آب مزارع پرورش میگو که بسیاری از جوامع محلی در آن مشغول به کار هستند را تأمین می‌نماید. شکل (۱) روستای مورد نظر و کانال خور تیاب در نزدیکی مزارع پرورش میگو تیاب شمالی را نشان می‌دهد.



شکل (۱): نمایی از روستا و کانال خور تیاب در نزدیکی مزارع پرورش میگو [۱۶].

**Figure (1): A view of the village and Tiab channel near the shrimp farms [16].**

این تالاب ساحلی با طول تقریبی ۷۳ کیلومتر در امتداد سواحل، شامل اراضی شور، نمکزارهای ساحلی، جنگل‌های مانگرو، شنزارهای ماسه‌ای و پهنه‌های گلی جزر و مدی می‌باشد که

دانش‌آموزان پسر و دختر سال سوم و چهارم دبیرستان‌های استان گیلان انجام داد دریافت که به نظر دانش‌آموزان مهمترین راهکارهای افزایش نقش آنان در نظام آموزش و پرورش مربوط به فعالیت‌های پرورشی است. دانش‌آموزان معتقد بودند که ایجاد فضای سبز مدارس به کمک آنان و گردش علمی و بازدید از مناطق آلوده مهمترین راهکارهای افزایش نقش دانش‌آموزان در حفظ محیط زیست می‌باشد. همچنین از نظر آنان افزایش آگاهی معلمان در زمینه مسائل محیط زیستی و تشویق معلمان فعال در زمینه موضوعات محیط زیستی از دیگر عوامل مهم در افزایش نقش آنان جهت حفظ محیط زیست است [۱۰]. در خارج از کشور نیز مطالعاتی در این خصوص صورت پذیرفته که می‌توان از پژوهش کالیکستو فلورز<sup>۱</sup> در سال ۲۰۱۸ یاد نمود، وی در این پژوهش نشان داد که کسب مهارت و تجربه در بحث آموزش محیط زیست منجر به درک مشکلات محیط زیستی می‌شود و در نتیجه افراد به راه حل‌های موثر دست می‌یابند. هنگامی که آنها از پیامدهای محیط زیستی، اجتماعی و فرهنگی تخریب محیط آگاه می‌شوند، ارزش‌های محیط زیستی را به رسمیت می‌شناسند و آموزش‌های محیط زیستی علاوه بر ترویج این ارزش‌ها باعث رشد فرهنگ محیط زیستی نیز می‌شوند [۱۱]. همچنین نتایج تحقیق گریمت<sup>۲</sup> در سال ۲۰۱۴ نشان داد که اثرات مثبت قابل توجهی در سه زمینه مرتبط با برنامه آموزشی Camp وجود دارد: تأثیر انسان بر چرخه آب، اهمیت حیوانات برای انسان، صرف وقت برای حل مشکلات در طبیعت. نتایج به دست آمده از این مطالعه می‌تواند در ارائه یک چارچوب برای برنامه‌های آینده EE (آموزش محیط زیستی) و ادغام طبیعت بر پایه ساختار آموزشی نسبت به کلاس درس مفید باشد [۱۲]. همچنین نتایج تحقیق آیودجی<sup>۳</sup> در سال ۲۰۱۰ نشان می‌دهد که آگاهی و شناخت مسائل محیط زیستی، متغیر مؤثری بر رفتارهای محیط زیستی می‌باشد و افزایش آگاهی عمومی محیط زیستی می‌تواند در نهایت منجر به رفتارهای مسئولانه شود [۱۳].

هدف این پژوهش بررسی تأثیر آموزش‌های محیط زیستی بر دانش‌آموزان متوسطه دوم دختر در یکی از روستاهای حاشیه تالاب شور، شیرین و میناب در جهت حفاظت از آن می‌باشد تا دریابیم که آموزش‌های زیست محیطی پیرامون تالاب‌ها در این سن چه میزان تأثیر گذارند. امید است با انجام این تحقیق بتوان فرهنگ محیط زیستی را در قشر تأثیرگذار جامعه ارتقا

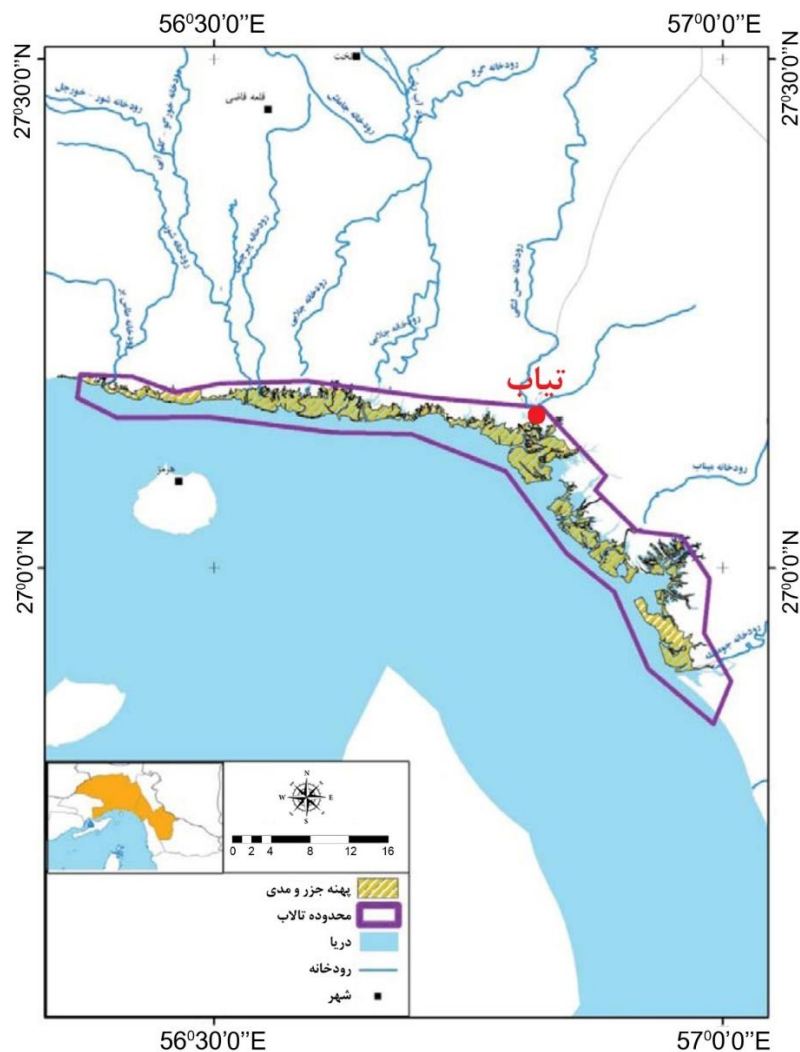
<sup>1</sup> Calixto Flores, 2018.

<sup>2</sup> Grimmette, 2014.

<sup>3</sup> Ayodeji, 2010.

مطالعه، ناحیه زمستان گذرانی مهمی برای پرندگان آبی و کنار آبی از جمله پلیکان پا خاکستری، گیلانشاه بزرگ، و لک لک سیاهدر می‌باشد و زیستگاه جوجه‌آوری گونه‌هایی از تیره حواصیل‌هاست [۱۷]. درختان حرای منطقه نیز زیستگاه مناسبی برای تخم‌ریزی و پرورش نوزادان ماهیان تجاری، سخت پوستان، میگوها، صدف‌ها، دو کفه‌ای‌ها و سایر آبزیان بوده و از نظر شیلاتی دارای اهمیت بسزایی هستند [۱۸]. پستانداران منطقه نیز شامل خدنگ کوچک، شغال و انواع جوندگان می‌شوند [۱۹].

دهانه رودخانه‌هایی همچون رودخانه شور، خورجل، جلابی، حسن لنگی و میناب در آن واقع شده است. در شکل (۲) محدوده تالاب مورد مطالعه و گسترش پهنه‌های جزر و مدی به خوبی نشان داده شده است. اقلیم منطقه تالاب حاره تا نیمه حاره‌ای است و درجه حرارت در تابستان به ۴۵ درجه سانتی گراد می‌رسد. بارش سالانه نیز بین ماه‌های آبان تا فروردین به ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر می‌رسد [۲۰]. گیاهان غالب در این منطقه حرا و گونه‌های علفی شورپسند، درختان آکاسیا، گز، کنار و خرما می‌باشد [۱۶]. تالاب مورد



شکل (۲): محدوده تالاب شور، شیرین و میناب و گسترش پهنه‌های جزر و مدی [۱۰].

Figure (2): Range of Shour shirin and minab wetland and the development of tidal zones [10]

تالاب زندگی می‌کنند. در سال تحصیلی ۹۸-۱۳۹۷ در مقطع متوسطه دو، از بین سه پایه دهم، یازدهم و دوازدهم، پایه وسط یعنی دانش‌آموزان پایه یازدهم که تعداد قابل قبولی برای انجام محاسبات آماری داشتند و همچنین کتاب انسان و محیط

#### • روش انجام تحقیق

روش تحقیق پژوهش حاضر توصیفی و از نوع پیمایشی-مقطعی می‌باشد. جامعه آماری نیز دانش‌آموزان دختر متوسطه دوم روستای تیاب در شهرستان میناب بوده‌اند که در حاشیه

۳۵ سؤال و بر مبنای طیف لیکرت طراحی گردید. شکل شماره (۳) تصویری از دانش‌آموزان را در حال پر کردن پرسشنامه نشان می‌دهد. روایی پرسشنامه طبق نظر متخصصان و اساتید دانشکده محیط زیست تهران تأیید گردید و پایایی پرسشنامه نیز توسط نرم‌افزار SPSS22 بررسی شد. ضریب آلفای کرونباخ توسط این نرم‌افزار ۰/۸ بود که نشان‌دهنده قابل قبول بودن پایایی است.

زیست برای آنها تدریس می‌شود به عنوان نمونه انتخاب شدند که در مجموع ۲۷ نفر بودند؛ بنابراین روش نمونه‌گیری در این تحقیق، غیرتصادفی و از نوع هدفمند بوده است. ابزار گردآوری اطلاعات پرسشنامه پاسخ بسته و محقق ساخته بوده است که شامل ۳ مؤلفه ارزیابی سطح دانش عمومی دانش‌آموزان درباره تالاب شور، شیرین و میناب، ارزیابی سطح آگاهی دانش‌آموزان در زمینه‌های تخریب و تهدید تالاب و نحوه مشارکت جامعه محلی در حفاظت از تالاب مورد بررسی می‌باشد که در قالب



شکل (۳). دانش‌آموزان مقطع یازدهم روستای تیاب در حال پاسخگویی به سؤالات پرسشنامه

Figure (3). The students of the eleventh section of the village of Tiab respond to the questions of the questionnaire

گردید. شروع رسمی آموزش در مورد تالاب از جلسه دوم آغاز گشت. در این جلسه در مورد موضوعات کلی محیط زیست و تنوع زیستی، طبیعت و زنجیره غذایی، کنوانسیون رامسر، تالاب‌های ایران و اهمیت آنها و نهایتاً تالاب بین‌المللی شور، شیرین و میناب، آموزش‌هایی ارائه شد و مطالب با در بین فراگیران به بحث گذاشته شدند. سومین جلسه در مورد عوامل انسانی و طبیعی تخریب و تهدید و اثرات ناشی از تخریب آن بر طبیعت و بشر بود. جلسه چهارم در مورد نحوه مشارکت جامعه محلی جهت حفظ تالاب مورد نظر و فرهنگ‌سازی محیط زیستی و هر یک از روش‌های مشارکت توضیحاتی داده شد. در انتهای این جلسه برای دانش‌آموزان علاقه‌مند متناسب با سؤالاتی که مطرح نموده بودند تکالیفی از جانب نگارنده تعیین گردید و از طریق شبکه‌های مجازی نتایج را با یکدیگر به اشتراک گذاشتند. جلسه آخر پرسشنامه‌های پس‌آزمون بین دانش‌آزمون توزیع گردید و در پایان کلاس برگه‌هایی به پاسخ‌دهندگان داده شد تا بتوانند نظرات خود را در مورد دوره آموزشی برگزار شده بنویسند.

اهداف آموزش کارگاه محیط زیست و وسایل مورد نیاز جهت آموزش‌های مورد نظر مانند ماژیک، تخته، ویدئو پروژکتور و پاورپوینت در قالب یک طرح درس تهیه گردید و زمان‌بندی جلسات تعیین گشت. در مرحله بعد تعدادی سؤال در مورد آگاهی دانش‌آموزان نسبت به مطالبی که پیش‌نیاز آموزش بودند طراحی شد؛ زیرا برای ارائه آموزش مناسب به دانش‌آموزان ابتدا باید وضعیت آگاهی فعلی آنان سنجیده شود تا بر اساس آن مباحث آموزشی آغاز شوند. سپس چندین روش تدریس از جمله پرسش و پاسخ و بحث گروهی (که منجر به شکل‌گیری تفکر انتقادی می‌شود)، سخنرانی و روش آموزش انفرادی انتخاب و از آنجا که بهترین الگوی آموزش، تلفیقی از روش‌هاست، متناسب با موقعیت و شرایط سنی دانش‌آموزان تلفیقی از این روش‌ها در تدریس استفاده شد. در آخر ارزشیابی پایانی در قالب پس‌آزمون جای گرفت. دوره‌های آموزشی در ۱۵ روز برگزار شد که شامل ۵ جلسه آموزشی به شرح ذیل می‌باشد:

جلسه اول پس از معرفی مدرس و فراگیران به یکدیگر، اهداف کار برای افراد تبیین و بعد از آن پرسشنامه پیش‌آزمون توزیع

## نتایج

در این پژوهش جهت بررسی داده‌های پرسشنامه از روش‌های آماری و همچنین نرم‌افزار SPSS22 استفاده شده است. تجزیه و تحلیل اطلاعات جمعیت‌شناختی نمونه‌ها به شرح زیر می‌باشد:

بر اساس جدول شماره (۱) مشخص می‌شود که شغل پدر بیشتر افراد پاسخ دهنده (۴۰/۷۴٪) در زمینه سایر موارد و کمترین آنها (۲۹/۶۳٪) در زمینه خدمات و صیادی است. در این میان با توجه به گفتگوهای میان مدرس و دانش‌آموزان مشخص شد که بیشتر خانواده‌ها دارای باغ و یا زمین کشاورزی

نیز هستند اما به شغل دیگری می‌پردازند؛ چراکه کم‌آبی آنها را با مشکلات جدی روبه‌رو نموده است. همچنین برخی از آنها اظهار داشتند که در سال‌های گذشته پدران‌شان به صیادی مشغول بوده‌اند اما با کاهش ماهیان و صدف‌ها مجبور به تغییر شغل خود شده‌اند.

جدول شماره (۲) نیز گویای این است که در کلاس یازدهم، شغل مادر اکثر افراد پاسخ دهنده (۸۵/۱۹٪) خانه‌داری و کمترین آنها (۳/۷۰٪) در زمینه صیادی است. آمار توصیفی متغیرهای پژوهش در قالب جدول‌های ۳ و ۴ بررسی شده‌اند.

جدول شماره (۱). شغل پدران دانش‌آموزان دختر پایه یازدهم متوسطه دوم روستای تیاب

Table (1). High School Student Father,s Job Tib Village

| نام متغیر |                   | کلاس یازدهم |              |
|-----------|-------------------|-------------|--------------|
|           |                   | فراوانی     | درصد فراوانی |
| شغل پدر   | کشاورزی و باغداری | ۰           | —            |
|           | خدمات             | ۸           | ۲۹/۶۳        |
|           | صیادی             | ۸           | ۲۹/۶۳        |
|           | سایر موارد        | ۱۱          | ۴۰/۷۴        |
|           | جمع کل            | ۲۷          | ۱۰۰          |

جدول شماره (۲). شغل مادران دانش‌آموزان دختر پایه یازدهم متوسطه دوم روستای تیاب

Table (2). High School Student Mather,s Job Tiab Village

| نام متغیر |            | کلاس یازدهم |              |
|-----------|------------|-------------|--------------|
|           |            | فراوانی     | درصد فراوانی |
| شغل مادر  | خانه‌داری  | ۲۳          | ۸۵/۱۹        |
|           | خدمات      | ۳           | ۱۱/۱۱        |
|           | صنایع دستی | ۰           | —            |
|           | صیادی      | ۱           | ۳/۷          |
|           | جمع کل     | ۲۷          | ۱۰۰          |

جدول شماره (۳). مقادیر آمار توصیفی متغیرهای پژوهش شامل انحراف معیار  $\pm$  میانگین

Table (3). The descriptive statistics of the variables including mean  $\pm$  standard deviation

| متغیر                                  |  | کلاس یازدهم       |                   |
|----------------------------------------|--|-------------------|-------------------|
|                                        |  | پیش‌آزمون         | پس‌آزمون          |
| آگاهی در مورد اهمیت و کارکرد تالاب     |  | $15/62 \pm 2/937$ | $21/44 \pm 3/640$ |
| آگاهی در زمینه‌های تخریب و تهدید       |  | $33/03 \pm 5/906$ | $42/62 \pm 5/039$ |
| مشارکت اجتماعی و فرهنگ سازی زیست محیطی |  | $27/74 \pm 4/091$ | $36/18 \pm 4/085$ |

با توجه به جدول شماره (۳) در پیش‌آزمون پایه یازدهم، بیشترین امتیاز متعلق به متغیر «آگاهی در زمینه‌های تخریب و تهدید» با میانگین ۳۳/۰۳ و کمترین امتیاز متعلق به متغیر «میزان آگاهی در مورد اهمیت و کارکرد تالاب» با میانگین ۱۵/۶۲ می‌باشد. در پس‌آزمون آنها نیز، بیشترین امتیاز متعلق

به متغیر «آگاهی در زمینه‌های تخریب و تهدید» با میانگین ۴۲/۶۲ و کمترین امتیاز متعلق به متغیر «میزان آگاهی در مورد اهمیت و کارکرد تالاب» با میانگین ۲۱/۴۴ می‌باشد. همانطور که در جدول بالا ملاحظه می‌شود، نمره پس‌آزمون دانش‌آموزان در هر سه مولفه بیشتر از نمرات پس‌آزمون آنهاست؛ به طوریکه

از مقایسه نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون به تفکیک مؤلفه‌های پرسشنامه این چنین مشخص می‌شود که در مؤلفه اول به مقدار ۵/۸۲، در مؤلفه دوم ۹/۵۹ و در مؤلفه سوم به میزان ۸/۴۴ پیشرفت نمره داشته‌ایم. برای بررسی معناداری میزان تغییرات بدست آمده و تعیین اندازه اثرات آموزش محیط

زیست، از طریق آزمون تحلیل کوواریانس چند متغیره، میانگین‌های پس‌آزمون، بعد از تعدیل نمودن نمرات پیش‌آزمون، مورد مقایسه قرار می‌گیرند تا اندازه تأثیر کل اصلاح شده گزارش شود. در این قسمت همبستگی بین متغیرها برای بررسی وجود هم خطی چندگانه آورده شده است.

جدول (۴). جدول همبستگی پیرسون بین متغیرهای پژوهش

Table (4). Pearson correlation between research variables

| ردیف | شاخص‌ها                                  | ۱ | ۲     | ۳     |
|------|------------------------------------------|---|-------|-------|
| ۱    | میزان آگاهی در مورد اهمیت و کارکرد تالاب | ۱ | ۰/۴۶۸ | ۰/۴۹۰ |
| ۲    | آگاهی در زمینه‌های تخریب و تهدید         |   | ۱     | ۰/۵۱۲ |
| ۳    | مشارکت اجتماعی و فرهنگ سازی زیست محیطی   |   |       | ۱     |

همانطور که از ضرایب همبستگی داده‌های جدول شماره (۴) مشخص است، هیچ یک از زوج همبستگی بین متغیرهای وابسته بزرگتر از ۰/۸ نیست. بنابراین فرض عدم وجود هم خطی چندگانه رعایت شده است. همچنین اعداد ضریب همبستگی که بین ۰/۳ تا ۰/۶۹ می‌باشند، نشان دهنده همبستگی متوسط بین متغیرهای پژوهش هستند. جهت اجرای روش‌های آماری و محاسبه آماره آزمون مناسب و نتیجه‌گیری منطقی در مورد فرضیه‌های پژوهش، باید روش آماری مناسب انتخاب گردد. برای بررسی فرض نرمال بودن داده‌های این پژوهش از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده گردیده است که بر اساس آن

اگر سطح معنی داری برای همه متغیرها بزرگتر از (۰/۰۵) باشد، توزیع داده‌ها نرمال می‌باشد. در این پژوهش نیز سطح معناداری آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای تمامی متغیرهای پژوهش بزرگتر از ۰/۰۵ به دست آمد. همچنین برای مشاهده معناداری میزان تغییرات بدست آمده و تعیین اندازه اثرات آموزش محیط زیست، از آزمون تحلیل کوواریانس چند متغیره، میانگین‌های پس‌آزمون بعد از تعدیل نمودن نمرات پیش‌آزمون، مورد مقایسه قرار می‌گیرند تا اندازه تأثیر کل اصلاح شده گزارش شود. نتایج بررسی پیش فرض همگنی شیب رگرسیون برای متغیرهای پژوهش حاضر نیز در جدول شماره (۵) ارائه شده است.

جدول شماره (۵). نتایج بررسی فرض همگنی شیب رگرسیون مؤلفه‌های تحقیق

Table (5). The results of the hypothesis of homogeneity of the regression of the components of the research

| اثر تعاملی                                     | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | مقدار آماره F | سطح معناداری |
|------------------------------------------------|--------------|------------|----------------|---------------|--------------|
| آموزش × آگاهی در مورد اهمیت و کارکرد تالاب     | ۳۷/۷۳۱       | ۲          | ۱۸/۸۶۵         | ۱/۲۴۸         | ۰/۲۹۴        |
| آموزش × آگاهی در زمینه‌های تخریب و تهدید       | ۲۲۵/۵۸۳      | ۲          | ۱۱۲/۹۷۱        | ۲/۲۰۸         | ۰/۱۱۸        |
| آموزش × مشارکت اجتماعی و فرهنگ سازی زیست محیطی | ۲۸۶/۰۹۲      | ۲          | ۱۴۳/۰۴۶        | ۲/۰۳۸         | ۰/۰۹۷        |

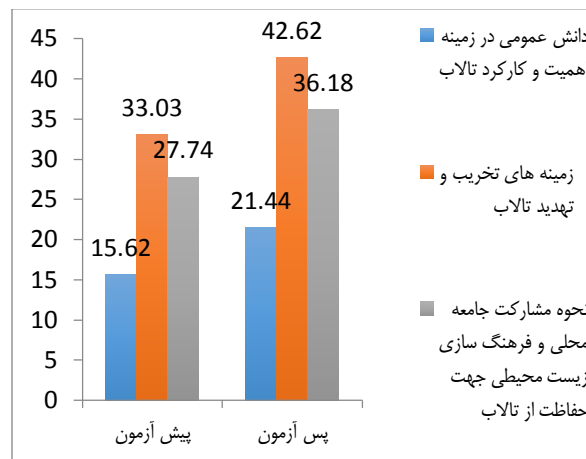
با توجه به جدول شماره (۵)، سطح معناداری اثرات تعاملی آموزش محیط زیست، بزرگتر از مقدار ۰/۰۵ است. بنابراین این چنین نتیجه گرفته می‌شود که پیش فرضی همگنی شیب‌های رگرسیونی رعایت شده است. خروجی نتایج آزمون تحلیل کوواریانس تک متغیره در جدول شماره (۶) داده شده است. پیش فرض همگنی ماتریس کوواریانس متغیرهای وابسته توسط آزمون باکس مورد بررسی قرار گرفته که نتایج مربوط به این آزمون در جدول زیر مشاهده می‌گردد.

با توجه به داده‌های جدول شماره (۶) سطح معناداری آزمون باکس برابر با ۰/۲۰۳ و بزرگتر از مقدار ۰/۰۵ است. بنابراین در سطح اطمینان ۹۵٪ فرض تجانس ماتریس کوواریانس متغیرهای وابسته پذیرفته می‌شود. برای درک و مقایسه بهتر و جامع‌تر نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون، می‌توان نموداری از نمرات را در قالب نمودار شماره (۱) در نظر گرفت که به شکل زیر می‌باشد.

جدول شماره (۶). نتایج آزمون باکس برای بررسی فرض همگنی ماتریس کوواریانس

Table (6). Box test results to check Assumption homogeneity of the covariance matrix

| سطح معناداری | df2       | df1 | مقدار آماره F | مقدار باکس |
|--------------|-----------|-----|---------------|------------|
| ۰/۲۰۳        | ۱۹۷۴۲/۵۹۲ | ۱۲  | ۲/۵۱۱         | ۳۲/۲۱۴     |



نمودار (۱). نمرات مؤلفه‌های پرسشنامه (فرضیه‌های تحقیق) در ارتباط با حفاظت از تالاب شور، شیرین و میناب در پیش‌آزمون و پس‌آزمون به تفکیک هر سه مؤلفه

graph 1). The scores of the components of the questionnaire (research hypotheses) regarding conservation of Shour shirin and minub wetland in the pre-test and post-test by the three components

هم دارند. همچنین در بین مؤلفه‌های پرسشنامه، کمترین نمره مربوط به دانش عمومی در مورد تالاب‌هاست که این موضوع نشان دهنده عدم آگاهی دانش‌آموزان در مورد اطلاعات عمومی از قبیل اهمیت و کارکرد اکوسیستم‌های تالابی کشور است. این پژوهش نشان داد که مطالب ارائه شده در مورد تالاب‌ها برای دانش‌آموزان این مقطع کاملاً قابل درک بوده و حتی موضوعاتی فراتر از کلاس آموزشی مانند نحوه انتخاب جفت در پرندگان تالابی، ژئومورفولوژی منطقه و چگونگی تکثیر گونه‌های گیاهی حرا و چنل را نیز مطرح می‌نموده‌اند.

از برآیند اطلاعات موجود و تحلیل آنها می‌توان این چنین نتیجه گرفت که آموزش‌های غیررسمی محیط زیستی در زمینه تالاب‌ها در دوره متوسطه دوم اثربخشی بسیار مطلوبی دارد و دانش‌آموزان در این دوره به دلیل تکامل رشد فکری، بسیار آموزش‌پذیرند و می‌توان از طریق برگزاری دوره‌های آموزشی برنامه‌ریزی شده، فرهنگ محیط زیستی افراد جامعه را ارتقا بخشید و گامی مثبت در جهت جلوگیری از تخریب و حفظ تالاب‌ها برداشت. با تدوین دوره‌های آموزش غیررسمی محیط زیستی برای دانش‌آموزان متوسطه دوم همه روستاهای حاشیه تالاب شور، شیرین و میناب از سوی ارگان‌های دولتی مانند آموزش و پرورش و ارگان‌های غیردولتی مانند NGO ها، پدران

### بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس تحلیل اطلاعات جمعیت شناختی پرسشنامه، مشخص گردید که در حال حاضر شغل اکثر پدران دانش‌آموزان دختر در پایه یازدهم روستای تیاب در زمینه سایر موارد و کمترین آنها مربوط به صیادی و خدمات است؛ بنابراین این نتایج با نتایج کار پژوهشی خیرالهی و همکاران که در سال ۱۳۹۲ بر روی تالاب شادگان انجام داده‌اند مغایرت دارد، چراکه در مطالعه آنها بیشترین شغل حاشیه نشینان تالاب شادگان مربوط به صیادی و دامداری بوده است [۲۰]. طبق نمودار شماره (۱) که در قسمت بالا آورده شده است، مقایسه نتایج پیش‌آزمون و پس‌آزمون دانش‌آموزان نشان می‌دهد که، نمره پس‌آزمون در هر سه مؤلفه پرسشنامه، پیشرفت قابل توجهی داشته؛ به طوریکه در مجموع به نمره پس‌آزمون آنها به میزان ۷/۹۵ افزوده شده و از عدد ۲۵/۴۶ به ۳۳/۴۱ رسیده است. بنابراین از پژوهش حاضر این چنین مشخص می‌شود که آموزش‌های محیط زیستی تأثیر مثبتی بر دانش‌آموزان این مقطع گذاشته است که این نتیجه هم سو با پژوهش‌های شرفی و همکاران در سال ۱۳۹۳، کی‌منش در سال ۱۳۹۱ و گریمیت در سال ۲۰۱۴ می‌باشد.

همچنین، بیشترین تأثیر آموزش‌های محیط زیستی از بین سه مؤلفه پرسشنامه، در بخش زمینه‌های تخریب و تهدید بوده است و نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون آن بیشترین تفاوت را با

the role of education in changing knowledge and attitudes related to environmental issues in rural students of the first grade secondary school of Mahidash suburb of Kermanshah in 2014. Quarterly Journal of Nasim Sanjordi, 2 (4), 52-59. [Persian]

- [13]. Ghanbarnezhad A, Rezaei H, Ghasemi S (2017). Analysis of the spatial structure of the shour shirin and minab international wetland for the abundance of aquatic and aquatic birds. Quarterly journal of animal ecology. 9 (3), 127-134. [Persian]
- [14]. Geological Report of Hormozgan Province Coastal Plans. Studies of Hormozgan province. Governorate of Hormozgan Province. 2011. [Persian]
- [15]. Directorate General of Environmental Protection, Hormozgan Province, 2008. [Persian]
- [16]. Gandomkar A, Shabani N (2013). Investigation of Temperature Changes in Minab River Basin and Its Impact on the Shouhr, Shirin and minab International Wetland. The first conference on the protection of Iranian wetlands and ecosystems, Hamedan, the environmental think tank of tomorrow. [Persian]
- [17]. Behrooz Rad B, Kiabi H (2008). Seasonal Identification and Comparison of Variety and Concentration of Aquatic Birds in International Wetlands of Tiab and Kolahi in the Four Seasons of the Year from Autumn 2001 to Summer 2002. Environmental Sciences Journal. (5) 3: 113-126. [Persian]
- [18]. Ayodeji, I (2010). Exploring secondary school student's understanding and practices of waste management in Ogun State Nigeria. International Journal of Environmental & Science Education, 5 (2), 201-215.1. Di chiro, G (1987). environmental education and the question of gender: A feminist critique, in robotom, I. Geelong, Victoria: Deakin university press.
- [19]. Calixto Flores R (2018). An Experience in Environmental Education with University Students. The journal of Sustainability Education, 1-14.
- [20]. Grimmette, Katherine A (2014). The Impacts of Environmental Education on Youth and their Environmental Awareness. Environmental Studies Program. University of Nebraska – Lincoln. 1-15
- و مادرانی ذهن آگاه نسبت به محیط خود خواهیم داشت که در تربیت نسل آتی مؤثر خواهند بود.

#### منابع

- [1]. Larijani M, Moghaddam T & Ahmadi A (2018). The Role of Environmental Education on the Environmental Competence of Environmental Students in Birjand. International Conference on Society and the Environment, 1-15. [Persian]
- [2]. Ravanshadrnia M, (2013). Safety management in construction projects. Tehran: Simaye danesh. [Persian]
- [3]. Keymanesh M (2012). Strategies for Increasing the Role of Students in Environmental Protection. Second Conference on Environmental Planning and Management, Tehran university, 1-12. [Persian]
- [4]. Palmer Joi E (2003). Environmental education in the 21st century. Tehran: Organization for the Study and Compilation of Human Sciences Books (samt), 18-50. [Persian]
- [5]. Qasami F, Shabiri M, Larijani M, Farahmand Rad Sh (2017). Provide a fuzzy multi-branch decision-making model to choose the method of environmental education in vocational schools. Environmental education and sustainable development. (3) 5: 59-78. [Persian]
- [6]. Ramsar Convention, (1971).
- [7]. Mbalisi, F.O (2009). Methods and materials for environmental adult education. Unpublished manuscript. University of Port Harcourt.
- [8]. Nohegar A (2009). Hydrogeomorphology of the coastal zone of the northern Strait of Hormuz with emphasis on ecological processes and sustainable coastal ecology (protected area of Tib and Minab), Hormozgan. [Persian]
- [9]. Kheirollahi M, Ghanian M, Farokhian F (2013). Design and implementation of management and management mechanism according to participatory pattern in Shadegan wetland from the point of view of local utilization. Journal of Environmental Science, 11 (1), 53-62. [Persian]
- [10]. Directorate General of Environmental Protection, Hormozgan Province, 2001. [Persian]
- [11]. Hormozgan regional water company. Geological studies report. Sazadeh Pardazi Iran Consulting Engineers. 2017. [Persian]
- [12]. Sharafi K, Rahimi Sh, Dargahi A, Razeiee M, Moradi M & Moradi Sh (2014). Investigating

## سنجش زیبایی شناختی گونه های درختی در فضای سبز شهری مطالعه موردی: پارک جنگلی آیدر

جاهده تکیه خواه<sup>۱\*</sup>

[jahede2007@yahoo.com](mailto:jahede2007@yahoo.com)

سید محسن حسینی<sup>۲</sup>

صلاح الدین قسیمی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** بررسی گونه های موجود در فضای سبز شهرها و انتخاب مناسب ترین گونه از نظر زیبایی شناسی موضوعی است که با توجه به افزایش جمعیت و نیاز انسان به تفریح و تفرج از اهمیت ویژه ای در توسعه فضای سبز پایدار شهری برخوردار می باشد لذا با توجه به مشکلات فراوان در مقوله فضای سبز و عدم ارزیابی درختان به لحاظ اصول زیبایی شناسی و بصری در این تحقیق بر آن شدیم که به بررسی نقش پوشش گیاهی به عنوان راهکاری جهت زیباسازی شهری پرداخته شود؛ لذا نقش فضای سبز و تیپ های مختلف درختی از جمله چنار، ااقیا، زبان گنجشک، کاج تهران و سرو نقره ای به عنوان راهکاری جهت زیباسازی شهری بررسی گردید.

**روش تحقیق:** جامعه آماری این پژوهش کلیه گردشگران مراجعه کننده به پارک جنگلی آیدر در شهرستان سنندج در سال ۱۳۹۶ است که با استفاده از فرمول کوکران تعداد ۱۲۰ نفر از آن ها به عنوان نمونه تعیین شدند و به روش تصادفی ساده مورد پرسشگری مستقیم قرار گرفتند که از این، تعداد ۱۰۵ پرسشنامه قابل استناد بود. در این پرسشنامه به بررسی نقش پوشش گیاهی در جذب گردشگر و سپس به بررسی زیبایی شناسی درختان پرداخته شد. در بخش زیبایی شناسی که به صورت متنی تصویری بود از محرک های عکاسی استفاده شد به طوری که از هر گونه در چهار فصل در یک جایگاه مشابه عکس برداری شد و با استفاده از روش طبقه بندی کیفی بصری برای هر گونه، معیارها امتیازدهی شد سپس با استفاده از روش نظریه بازی ها در بین گونه ها اولویت بندی و امتیازدهی انجام گرفت.

**نتایج:** نتایج حاصل از نظرسنجی در ارتباط با پوشش گیاهی نشان داد که ۵۹ درصد افراد گونه های پهن برگ را به عنوان پوشش گیاهی منتخب در نظر گرفتند. به طوری که به ترتیب اولویت، توده های چنار با ۲۷ درصد، ااقیا با ۲۰ درصد و سرو نقره ای با ۱۱ درصد بیشترین ارجحیت جهت جذب گردشگر را دارا بودند. نتایج حاصل از نظریه بازی ها در ارتباط با ویژگی های زیباشناسی درختان نشان که گونه های ااقیا با ۴۰ امتیاز و گونه کاج با ۱۲ امتیاز به ترتیب جذاب ترین و کم جذاب ترین گونه درختی از نظر افراد در منطقه مورد مطالعه بود؛ لذا استفاده از درختانی با ویژگی های زیبایی و کارکرد اجتماعی بالا از قبیل چنار و ااقیا برای توسعه پایدار مناظر شهری و زیباسازی شهری توصیه می گردد.

**واژه های کلیدی:** زیبایی شناسی، گونه های درختی، فضای سبز شهری، پارک جنگلی آیدر.

<sup>۱</sup> استادیار گروه پژوهشی سنجش از دور در کشاورزی، جهاد دانشگاهی دانشگاه کردستان، سنندج، ایران \* (مسوول مکاتبات)

<sup>۲</sup> استاد، گروه جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

## **Aesthetic assessment of tree species in urban green spaces: Case study: Abidar Forest Park**

**Jahedeh Tekiekhah<sup>1\*</sup>**

[jahede2007@yahoo.com](mailto:jahede2007@yahoo.com)

**Seyed Mohsen Hosseini<sup>2</sup>**

**Salaheddin Ghasemi<sup>3</sup>**

Accepted Date: April 26, 2025

Date Received: September 2, 2024

### **Abstract**

**Introduction:** Investigating the species in urban green spaces and selecting the most suitable species in terms of aesthetics is a topic that is of particular importance in the development of sustainable urban green spaces due to the increasing population and human need for recreation and leisure. Therefore, considering the many problems in the green space category and the lack of evaluation of trees in terms of aesthetic and visual principles, in this study we decided to investigate the role of vegetation as a solution for urban beautification; therefore, the role of green spaces and various types of trees, including plane trees, acacias, linden trees, Tehran pines, and silver cypresses, was investigated as a solution for urban beautification.

**Material and Methode:** The statistical population of this study is all tourists visiting Abidar Forest Park in Sanandaj County in 2017. Using the Cochran formula, 120 of them were selected as samples and were directly questioned using a simple random method, of which 105 questionnaires were citationable. In this questionnaire, the role of vegetation in attracting tourists was investigated and then the aesthetics of trees were investigated. In the aesthetic section, which was in the form of a visual text, photographic stimuli were used so that each species was photographed in a similar location in four seasons and the criteria were scored using the visual qualitative classification method for each species. Then, the game theory method was used to prioritize and score the species.

**Results:** The results of the survey regarding vegetation showed that 59% of people considered broadleaf species as the selected vegetation. So that, in order of priority, sycamore stands with 27%, acacia with 20%, and silver cypress with 11% had the highest preference for attracting tourists. The results of game theory regarding the aesthetic characteristics of trees showed that acacia species with 40 points and pine species with 12 points were the most attractive and least attractive tree species in the study area, respectively; Therefore, the use of trees with high aesthetic and social function characteristics, such as plane trees and acacias, is recommended for the sustainable development of urban landscapes and urban beautification.

**Keywords:** Aesthetics, Tree Species, Urban Green Space, Abidar Forest Park.

---

<sup>1</sup> Assistant Professor, Remote Sensing in Agriculture Research Group, Academic Jihad, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran \* (*Corresponding Author*)

<sup>2</sup> Professor, Ph.D. in Ecology, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran

## مقدمه

طبق برآوردهای صورت گرفته بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند (۱). گسترش شهر و تخریب زیستگاه‌های طبیعی، نیاز به فضاهای سبز برای ایجاد تعادل اکولوژیک، روز به روز افزایش می‌یابد (۲).

از این رو اهمیت فضاهای سبز شهری در ایجاد آسایش زندگی و افزایش رفاه اجتماعی روز به روز نمایان‌تر می‌گردد. مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با نقش فضای سبز شهری در ایجاد آرامش روانی و رضایت بازدید کنندگان صورت پذیرفته است. (۳-۵) که عمدتاً اشاره به نقش کلیدی عناصر طبیعی در ایجاد رضایتمندی و درک زیبایی از منظر دارند (۶). درختان و فضای سبز از عناصر اصلی چشم‌اندازها در منظر شهری به شمار می‌روند و می‌تواند نقشی کلیدی داشته باشد (۷). در شکل‌دهی یک فضای سبز با استفاده از درختان باید دقت کافی به عمل آید تا انتخاب صحیح و مناسب باشد و درختان با توجه به کاربرد آن‌ها در طراحی انتخاب شوند (۸). مزایای زیست‌محیطی درختان از جمله مقابله با اثر جزیره گرمایی شهری کاهش و حذف آلودگی هوا (۹-۱۱) کمک به حفظ و بهبود کیفیت محیط زیست شهر و راه‌حلی طبیعی برای مشکلات فنی در شهرها از جمله کنترل با کاهش رواناب، کاهش آلودگی صوتی (۱۲، ۱۳) تعدیل آب‌وهوا، بازسازی طبیعت در سطوح وسیع شهری و حتی در ریز اقلیم‌ها نیز می‌شود (۱۴) و ... می‌باشد در نتیجه، با توجه به محدوده خدمات اجتماعی و محیطی که آن‌ها در اختیاردارند. برخی مطالعات تأیید می‌کنند که ویژگی‌های خاص گونه‌ها مانند ساختار و تراکم درخت و درختچه‌ها اندازه، شکل، رنگ برگ‌ها، سن درخت و عادت رشد، می‌تواند بر عملکرد تابش خورشیدی که توسط سایبان، دمای هوا و رطوبت هوا کاهش می‌یابد، تأثیر بگذارد (۱۵). درختان شهری نقش مهمی را در زیباسازی ظاهری محیط‌های شهری ایفا می‌کند (۱۶). به همین دلیل همواره اصول زیباشناسی در فضای سبز مطرح است چرا که گیاهان صرف‌نظر از زیبایی ذاتی، شکل، رنگ، ابعاد و اندازه، زمان گلدهی و میوه و بذریه زیادی دارند که تلفیق مجموعه‌های گیاهی باعث می‌شود که درختان در بهبود کیفی مناظر شهری نقش بسزایی داشته باشند چرا که زیبایی یک شهر به نوع طراحی فضای آن و وفور درختان در آن وابسته می‌باشد. با افزایش سرانه فضای سبز و کاشت درختان در همسایگی مناطق مسکونی و ... می‌توان ارزش زیباشناسی یک شهر را بالا برد. امروزه تحقیقات بسیاری به اهمیت انواع پوشش‌های شهری از جمله درختان کنار خیابان، باغ‌های شخصی و عمومی، پارک‌ها و جنگل‌های شهری اشاره و از نتایج

آن در طراحی و مدیریت شهری استفاده نمودند (۱۷). طراحی فضای سبز پارک‌ها و خیابانی که درک و ترجیح مردم را در بر می‌گیرد رضایت را در مناطق شهری افزایش می‌دهد و اثرات فیزیکی و روحی فضای سبز را تقویت می‌کند، از این رو، معماران منظر باید زیبایی‌شناسی را از نظر عموم مردم مورد توجه قرار دهند. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که قضاوت‌های ترجیحی بر اساس تصاویر با پاسخ‌های بر اساس تجربه مستقیم مکان‌های نمایی بسیار مرتبط است و در مقایسه گیاهان با یکدیگر، درختان جزء غالب جامعه گیاهی هستند و کلید جذب یک مکان هستند و در ترجیح می‌توانند تأثیرگذار باشند. (۱۸، ۱۹). روابط متقابل انسان با طبیعت و فضای سبز، انواع متفاوتی از مزایای روحی، فیزیکی و اجتماعی به همراه کاهش استرس و بهبود سریع‌تر بیماری‌ها را به جوامع بشری عرضه داشته و فرصتی جهت بهبود کیفیت زندگی شهری در اختیار انسان قرار می‌دهد. در واقع محققان نشان دادند که ارتباط با طبیعت، در محیط بیرون از خانه، محیط کار و هر مکان دیگر بر روحیه تأثیر گذارده و احساس خوبی را در مردم ایجاد می‌کند (۲۰).

در برنامه‌های توسعه فضای شهری یکی از بخش‌های مهم، انتخاب و پیشنهاد گونه‌های گیاهی مناسب برای منطقه مورد بررسی می‌باشد. یکی از مهم‌ترین مراحل طراحی و برنامه‌ریزی در مورد فضاهای سبز شهری و حساس‌ترین بخش آن پس از مکان‌یابی، انتخاب گونه می‌باشد (۱۷). در بسیاری از مناطق دنیا فهرستی از گیاهان مناسب برای کشت در فضای سبز هر شهر ارائه شده است. اغلب انتخاب‌ها بر مبنای تجربیات محلی صورت گرفته و اطلاعات کمتری در مورد نحوه انتخاب آن‌ها وجود دارد. انتخاب گیاهان مناسب، به هنگام طراحی فضای سبز مسئله‌ای مهمی است که در واقع اساس کار برنامه‌ریزان طراحی فضای سبز است. انتخاب گونه‌های گیاهی در بیشتر موارد، به‌ویژه در ایران در دهه‌های اخیر غیر علمی بوده است، بدین ترتیب که یا به شکل تصادفی انتخاب می‌شوند یا اینکه گیاهان فضای سبز را با نگرش‌های اکولوژیکی انتخاب می‌کردند و کمتر به مسایل زیبایی‌شناسی و بصری پرداخته‌اند.

با توجه به مشکلات اثبات‌شده به نظر می‌رسد که ارائه‌ی روشی مناسب و منطقی در انتخاب گیاهان با تأکید بر اصول زیباشناسی درختان می‌تواند بخش عمده‌ای از مشکلات را تحت پوشش قرار داده و از شدت آن‌ها بکاهد به‌طوری که با به‌کارگیری این روش بتوان گیاه مناسب برای هر مکان را انتخاب نمود. انتخاب گونه‌های سازگار موجب می‌شود تا علاوه بر پایداری و حصول نتیجه مطلوب، برخی هزینه‌های نگهداری کاهش یابد و خسارت کمتری به محیط‌زیست وارد شود؛ لذا در این مقاله انتظار می‌رود که با انتخاب مناسب گونه‌های درختی

با توجه به مباحث مطرح شده در مورد اهمیت زیبایی فضای سبز شهری و انتخاب گونه‌های مناسب در همین راستا در این مطالعه سعی بر آن می‌شود تا با به‌کارگیری روشی نوین از دیدگاه زیبایی شناسی جهت انتخاب گونه‌های مناسب ملاک عمل قرار بگیرد.

**هدف اصلی:** شناخت گیاهان به لحاظ اصول زیباشناسی و بصری و انتخاب مناسب‌ترین گونه

#### اهداف فرعی:

- شناسایی معیارهای زیبایی‌شناسی درختان و اولویت‌بندی بین معیارها از نظر متخصصین
- بررسی کیفیت پوشش گیاهی، رضایتمندی افراد و نقش درختان در جذب گردشگر از منظر پاسخگویان
- بررسی معیارهای زیباشناسی درختان و انتخاب زیباترین گونه در منطقه مورد مطالعه از منظر بازدیدکنندگان با استفاده از نظریه بازی‌ها

در سطح جهانی و داخلی تاکنون مطالعات شایان توجهی در خصوص بررسی تأثیر فضای سبز بر کیفیت بصری و زیباشناسی صورت گرفته است؛ اما در ارتباط با امکان کاربرد درختان و نوع آن‌ها در فضای سبز و ارزیابی بعد زیبایی شناسی آن‌ها تحقیقات چندانی صورت نگرفته است این امر ضرورت توجه به غنای بالای گونه‌ها و لزوم استفاده از توانمندی بالای این گونه‌ها برای کاربرد در فضای سبز شهری را آشکار می‌سازد.

علیمردانی و محمودی (۱۳۹۵) به بررسی جایگاه درخت نخل در ارتقای کیفیت‌های بصری پیاده راه‌های ساحلی شهر بوشهر پرداختند. جامعه آماری این پژوهش کلیه شهروندان بندر بوشهر بوده که در سال ۱۳۹۴ با استفاده از فرمول کوکران تعداد ۲۴۸ نمونه تعیین گردیده و به روش تصادفی ساده مورد پرسشگری مستقیم قرار گرفته‌اند. پس از جمع‌آوری اطلاعات میدانی و پرسشنامه، روابط بین متغیر پژوهش از طریق آماره‌های توصیفی و آماره‌های استنباطی مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس تحلیل انجام‌شده بین نقش و جایگاه درختان نخل و ارتقای کیفیات بصری - زیباشناختی پیاده راه‌های ساحلی شهر بوشهر ارتباط مثبت و معناداری وجود دارد؛ به‌طوری‌که ۷/۷۶ درصد شهروندان تأثیرگذاری درختان نخل بر ارتقای کیفیات بصری - زیباشناختی پیاده راه‌های ساحلی شهر بوشهر را خوب تا عالی ارزیابی نموده‌اند. مطالعات در مورد درختان نخل نشان داد که فضاهای سبز و سایه‌گستر همراه با زیبایی‌های بصری آن باعث افزایش ارتقای کیفیت

از بعد زیباشناسانه منظر بتوان کمک شایانی به افزایش زیبایی در فضای سبز شهری جهت ترویج کاشت بیشتر و کاهش هزینه‌های نگهداری در سطح شهر سنجند بنماید.

#### مبانی نظری

##### توسعه پایدار شهری

توسعه شهری به عنوان یک مفهوم فضایی، به معنی تغییرات در کاربری زمین و سطوح تراکم جهت رفع نیازهای ساکنان شهری در زمینه مسکن حمل‌ونقل، اوقات فراغت و غذا و غیره تعریف کرد یا توسعه‌ای است که تمام جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و ... را در شهر با هم پیش می‌برد و نگهداری منابع برای حال و آینده از طریق استفاده بهینه از زمین و وارد کردن کمترین ضایعات به منابع تجدید پذیر مطرح است؛ و همچنین موضوع‌های جلوگیری از آلودگی‌های محیط شهری و ناحیه‌ای، کاهش ظرفیت‌های تولید محیط محلی ناحیه‌ای و ملی، حمایت بازیافت، عدم حمایت از توسعه‌های زیان‌آور و از بین بردن شکاف میان فقیر و غنی را مطرح می‌کند.

##### فضاهای سبز شهری:

شامل طراحی و مدیریت کلیه گیاهان موجود در شهر به‌منظور ایجاد و ارتقاء رفاه جوامع محلی می‌باشد (۴). امروزه مفهوم شهرها بدون وجود فضای سبز مؤثر در اشکال گوناگون آن دیگر قابل تصور نیست. پیامدهای توسعه شهری و پیچیدگی‌های معضلات زیست‌محیطی آن‌ها موجودیت فضای سبز و گسترش آن‌ها را برای همیشه اجتناب‌ناپذیر کرده‌اند.

##### تعریف نظریه بازی‌ها

نظریه بازی‌ها حوزه‌ای از ریاضیات کاربردی است که در بستر علم اقتصاد توسعه یافته است و به مطالعه رفتار راهبردی میان عوامل عقلانی می‌پردازد. رفتار راهبردی زمانی پیدا می‌شود که مطلوبیت هر عامل نه فقط به راه برد انتخاب شده توسط خود، بلکه به راهبرد انتخاب شده توسط بازیگران دیگر هم بستگی داشته باشد.

##### کاربرد نظریه بازی‌ها در اولویت‌بندی گونه‌های گیاهی

در این مرحله برای معرفی بهترین گونه و اولویت‌بندی آن از الگوریتم ریاضی Game Theory، روش Condorcet استفاده می‌شود در این روش گونه‌ها دوبره دو مقایسه می‌شوند. گونه مناسب گونه‌ای است که در این مسابقات دو نفره (و در کل) بقیه گونه‌ها را شکست دهد استفاده می‌شود.

Abbasi و همکاران (۲۰۱۸)، به پژوهشی پیرامون استفاده از درختان بومی هیرکانی در راستای بهبود کیفیت منظر شهری پرداختند و فاکتورهای مثبت استفاده از درختان بومی مانند ایجاد تنوع در فضای سبز، ایجاد فضای سبز کم نیاز به آب، ایجاد فضای سبز کم نیاز به نگهداری و انجام عملیات باغبانی، حفظ تنوع زیستی و ذخایر ژنتیکی، حفظ جوامع گیاهی و جانوری بومی منطقه با کشت گیاهان بومی، حفظ اکوسیستم و... را در طول این پژوهش بررسی کردند (۲۵).

### مواد و روش‌ها

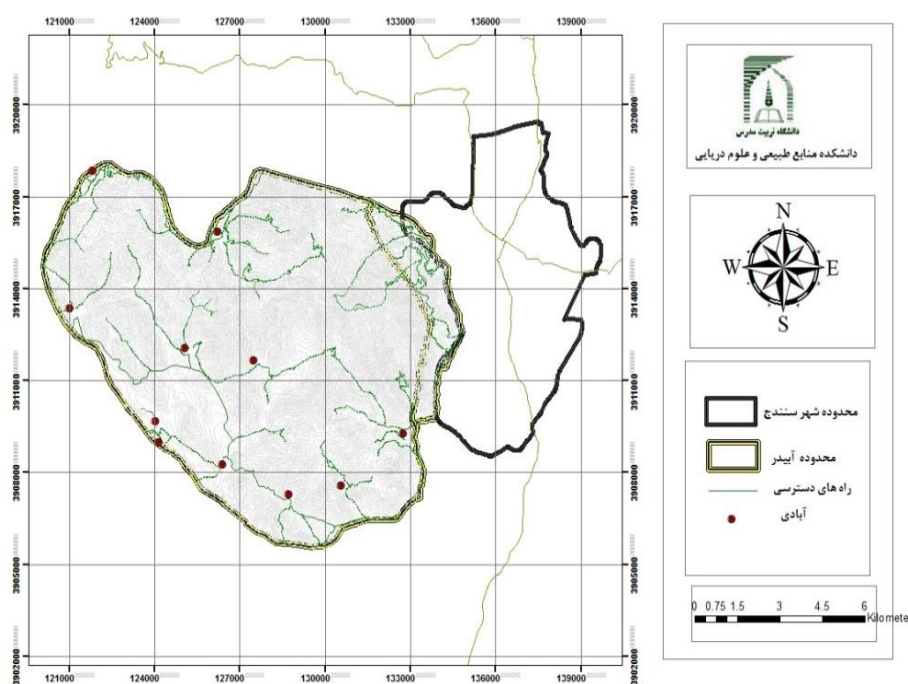
#### معرفی منطقه مورد مطالعه:

محدوده مورد مطالعه جهت انتخاب گونه مناسب با هدف تعدیل دما، پارک جنگلی آبیدر است که با وسعت تقریبی ۱۵۵۵ هکتار که در جنوب غربی شهرستان سنندج بین طول‌های جغرافیایی ۲۴'، ۵۵'، ۴۶" تا ۱۲'، ۵۹'، ۴۶" طول شرقی و ۱۵'، ۳۵' و ۲۴'، ۱۹'، ۳۵" عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط منطقه ۲۰۷۳ متر از سطح دریا است. مرتفع‌ترین نقطه منطقه به نام قله آبیدر با ارتفاع ۲۵۴۶ متر از سطح دریا و پایین‌ترین نقطه آن ۱۶۰۰ متر منتهی به جاده کمربندی آبیدر واقع شده است اختلاف ارتفاع بالاترین نقطه با پست‌ترین نقطه ۹۴۶ متر می‌باشد. (شکل ۱)

بصری و زیبایی‌شناختی پیاده راه‌های ساحلی شده و در نتیجه افزایش رضایت شهروندان را در پی خواهد داشت (۲۱). Kathleen (۲۰۰۳)، به بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر ترجیحات بصری رانندگان پرداختند. نتایج در رابطه با ۴۰۴ راننده آمریکایی مشخص گردید که جاده‌هایی با منظر از انواع پوشش گیاهی و در مجاورت زمین‌هایی با کاربری تجاری ارجحیت بصری بالاتری برای این رانندگان دارند. به‌طورکلی، ترجیحات بصری با افزایش میزان پوشش گیاهی و همچنین افزایش ارتفاع و تراکم درختان افزایش می‌یابد (۲۲).

Akay و Polat (۲۰۱۵)، به بررسی کیفیت پوشش گیاهی در مناطق شهری از نظر ترجیحات بازدید کنندگان پرداختند. مصاحبه‌ها تک به تک و با استفاده از پرسشنامه‌های عکس دار در بین ۴۰۹ بازدیدکننده توزیع گردید. نتایج نشان داد که ترکیب رنگ گیاهان و تنوع گونه‌های درختی مهم‌ترین پارامترهایی بودند که به طور مثبتی بر کیفیت تصویری یک منطقه تأثیر بسزایی داشتند. (۲۳)

Lindal و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی نقش انواع پوشش گیاهی در زیباسازی منظر شهری پرداختند. ۸۹ پرسشنامه عکس دار در بین افراد توزیع گردید. نتایج نشان داد که درختان عامل اصلی در زیبانشناسی با بیشترین تأثیر در اولویت هستند. به طوریکه نه تنها به کیفیت زیبایی شهری کمک می‌کردند، بلکه تأثیر مثبتی بر سلامت روانی نیز داشتند (۲۴).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Geographic position of study area

## روش تحقیق

همان‌طور که گفته شد توسعه فضای سبز شهری، همواره به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راهکارهای کنترل و کاهش بحران‌های زیست‌محیطی شناخته شده است. رمز موفقیت در ایجاد یک فضای سبز پایدار انتخاب گونه‌های مناسب و سازگار با محیط شهری است؛ لذا با توجه به بیان مسئله و اثبات وجود مشکلات در انتخاب گیاهان مناسب برای فضای سبز در ایران، احتیاج به بررسی میدانی و استفاده از آمار و ارقام مربوط به دست‌اندرکاران دخیل در انتخاب گیاهان فضای سبز از نظر زیبایی‌شناسی می‌باشد. با توجه به اینکه هر گونه نسبت به گونه‌های دیگر ممکن است از نظر زیبایی با هم متفاوت باشند این مطالعه به ما کمک می‌کند تا در مرحله نهایی از راه جمع امتیازات، زیباترین گونه‌ها را انتخاب و جهت کشت و توسعه فضای سبز توسط آن‌ها اقدام کنیم.

گونه‌های کاج تهران، سرو نقره‌ای، افاقیا، چنار و زبان‌گنجشک که به‌صورت غالب و مشترک در سطح پارک جنگلی آبیدر وجود داشتند، به‌عنوان گونه‌های درختی جهت مطالعه انتخاب شدند.

## گردآوری داده‌ها:

به دو روش کتابخانه و میدانی صورت گرفته که در روش کتابخانه‌ای، مطالب با استفاده از سایت‌های اینترنتی مقاله‌های علمی- پژوهشی، منابع مختلف، نقشه‌ها (در مقیاس‌های مختلف)، ترجمه مقالات خارجی و ... گردآوری شده است و در روش میدانی، گردآوری اطلاعات از طریق مشاهده، بازدید میدانی، مصاحبه (به‌طور منظم) و استفاده از پرسشنامه متنی- تصویری انجام شد. عکاسی از گونه‌های مورد مطالعه، پرسش از افراد یکی از تکنیک‌ها و ابزارهای مهم کاربردی برای سنجش زیبایی‌شناسی و کیفیت بصری محسوب می‌شود.

## روش آماری تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تحلیل داده‌ها از روش طبقه‌بندی طیف لیکرت و جهت تدوین شاخص‌ها و معیارهای زیبایی‌شناسی از روش دل‌قی و فوکوس‌گروپ استفاده شد.

## نمونه و روش نمونه‌گیری

در روش نمونه‌گیری به خاطر اینکه تعداد نمونه‌های موردنیاز در بین کل جامعه آماری مورد مطالعه توزیع شود و بتوان با قابلیت اطمینان بالا نتیجه را به کل جامعه آماری تعمیم داد از نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شده است.

## شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای زیبایی‌شناسی

در این بخش از پژوهش، ابتدا تلاش شد فهرستی از معیارها با مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی منابع، جهت شناسایی معیارهای مؤثر در زیبایی‌شناسی درختان از طریق پرسشنامه و نظرسنجی افراد تنظیم شود. روش پرسشنامه‌ای معمولاً اطلاعات را بر اساس احساسات، اعمال و تجارب افراد جستجو می‌کند (گوهرریزی و همکاران، ۱۳۹۳). در این بین بدیهی است معیارهایی باید برای پرسش و تحقیق انتخاب گردند که علمی، جامع و کاربردی بوده و مورد تأیید کارشناسان و جامعه مصرف‌کننده باشند. برای سنجش زیبایی‌شناسی گونه‌های گیاهی مورد مطالعه استفاده از معیارهایی ضروری است که زوایای مختلف و شرایط موجود را در برگیرد. سپس پرسشنامه‌ای به‌صورت نیمه بسته با رویکرد دل‌قی طراحی گردید و این امکان را برای متخصصان فراهم آورد که سایر عوامل مؤثر بر زیبایی درختان که به آن اشاره نشده بود را بیان نمایند. در نهایت ۱۳ معیار برای اولویت‌بندی معیارهای ارزیابی کیفیت بصری درختان در اختیار ۱۲ کارشناس قرار گرفت و اولویت معیارها با استفاده از این رویکرد غربال و برای جمع‌بندی نظرات کارشناسان، دو مؤلفه آماری درصد اهمیت و درجه اهمیت هر معیار محاسبه گردید تا بر این اساس معیارهای برتر شناسایی گردد. معیارهای مورد بررسی در زیبایی‌شناسی درختان شامل موارد زیر بود: زیبایی تنه، زیبایی برگ، زیبایی گل و میوه، زیبایی الگوی شاخه بندی برگ، سایه‌اندازی، زیبایی منظر بهاره، زیبایی منظر تابستانه، زیبایی منظر پاییزه، زیبایی منظر زمستانه، شکل و فرم تاج درختان، بافت درختان، تمیزی درختان و خاردار بودن درختان.

## تنظیم و توزیع پرسش‌نامه در بین بازدیدکنندگان

جامعه آماری این پژوهش کلیه گردشگران مراجعه کننده به پارک جنگلی آبیدر بوده که در سال ۱۳۹۶ با استفاده از فرمول کوکران و در سطح اطمینان ۹۵٪ با ضریب خطا مجاز ۰/۰۵، تعداد ۱۲۰ نمونه تعیین گردیده و به روش تصادفی ساده مورد پرسشگری مستقیم قرار گرفته‌اند که ۱۰۵ پرسش‌نامه قابل استناد بود و برای تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین پایایی پرسشنامه در این پژوهش از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد. در این روش اگر ضریب آلفا بیش‌تر از ۰/۷۰ باشد آزمون از پایایی قابل قبولی برخوردار است. ضریب آلفا برای حجم نمونه در این پژوهش ۰/۸۵ به دست آمد که نشان از پایایی همبستگی درونی آزمون دارد. سؤالات پرسش‌نامه در سه بخش زیر از نظر افراد تنظیم گردید و سعی شد سؤالات کاملاً گویا و قابل‌فهم و کوتاه باشد تا ابهامی برای پرسش‌شونده به

فصل‌های مختلف دارند، از هر درخت در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب با یک دوربین عکاسی و با قرار گرفتن در یک محل خاص، عکس‌برداری شد. عکس به‌گونه‌ای گرفته شد که کل درخت در کادر وجود داشت. در تمامی عکس‌ها با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ از بک‌گراندی یکسان استفاده شد. عکس‌ها به جای مناظر واقعی به نحوی است که به طور گسترده‌ای در مطالعات قبلی مورد استفاده قرار گرفته است (۲۹-۳۲).

فرآیند ارزیابی تصاویر به این گونه بود که برای هر گونه درختی مورد مطالعه در چهار فصل عکس گرفته شد. در کل ۲۰ عکس گرفته شد. پرسشنامه در بین مردم به‌صورت تصادفی و در پارک جنگلی آبیدر توزیع گردید تا این عکس‌ها را با توجه به اولویت‌های زیبایی‌شناسی (زیبایی برگ، میوه و ...) آن‌ها ارزیابی کنند.

در این بخش نظر شهروندان و استفاده‌کنندگان با هدف اولویت‌بندی گونه‌های درختی با توجه به معیارهای مؤثر بر زیبایی‌شناسی با استفاده از پرسش‌نامه تنظیم‌شده مورد سنجش قرار گرفت تا با امتیازدهی افراد، گونه‌های درختی اولویت‌بندی شوند و از افراد خواسته شد تا بر اساس اولویت زیبایی از دید آن‌ها، به هر عکس امتیازی بین پنج ارزش عددی (۱) نشان‌دهنده کم جذاب‌ترین و ۵ نشان‌دهنده جذاب‌ترین عکس) بدهند. ترجیحات استفاده‌کنندگان در این پژوهش، با استفاده از روش طبقه‌بندی کیفیت بصری (۳۳) انجام شد؛ که از طریق آن می‌توان حداکثر استفاده از نظر پرسش‌شوندگان را نمود. در این روش نظر افراد در مورد هر عکس به‌طور مجزا مورد بررسی قرار گرفت.

وجود نیاورد و در نهایت به‌صورت تصادفی، در ساعات مختلف روزهای تعطیل در بین اقشار مختلف منطقه توزیع شد. الف) سؤالات عمومی (سن، جنس، تحصیلات و شغل افراد): این بخش در انتهای پرسش‌نامه پیوست شد تا شهروندان بدون دغدغه و استرس ثبت اطلاعات شخصی، پژوهشگر را همراهی نمایند.

ب) نظرسنجی در ارتباط با پوشش گیاهی منطقه (کیفیت پوشش گیاهی در منطقه، نقش پوشش گیاهی در جذب گردشگر، نوع پوشش گیاهی منتخب و شاخص رضایتمندی از پوشش گیاهی)

### بررسی زیبایی‌شناسی درختان

در این قسمت پرسشنامه، معیارها و عوامل مؤثر بر زیبایی‌شناختی درختان به‌صورت متنی تصویری و با استفاده از روش طبقه‌بندی کیفیت بصری تنظیم گردید. عکاسی و پرسش از افراد به‌صورت متنی تصویری یکی از تکنیک‌ها و ابزارهای مهم و کاربردی برای سنجش کیفیت بصری محسوب می‌شود (۲۷). از این رو در بخشی از این تحقیق، این تکنیک به کار برده شد شامل تهیه عکس از گونه‌های درختی مورد مطالعه و همچنین انجام مصاحبه و بررسی معیارهای زیبایی هر عکس از دیدگاه ناظران بود (۲۷). به منظور کنترل تأثیر نور بر کیفیت عکس، این عکس‌ها در روزهای آفتابی و یا با کمترین ابر بین ساعت ۱۰ صبح تا ۴ بعدازظهر و در سطح چشم (۱۶۲ سانتی متر بالاتر از سطح زمین) با استفاده از یک دوربین دیجیتال کانون با فاصله کانونی ۳۵ میلی‌متر گرفته شد (۲۸). از آنجا که درخت‌ها به‌ویژه درخت‌های پهن‌برگ، ظواهر مختلفی در



شکل ۲: تصاویر نمونه یک درخت در چهار فصل  
Figure 2: Sample images of a tree in four seasons

حالت‌های بهینه بین بازیکن‌های مختلف و گزینه‌های متنوع مسئله را حل می‌نماید. بازیکن‌ها می‌توانند افراد مختلف تصمیم‌گیرنده و گزینه‌ها، معیارهای مدنظر تصمیم‌سازان باشند. هدف

کاربرد نظریه بازی‌ها در اولویت‌بندی گونه‌های درختی  
تئوری بازی یک روش ریاضی برای حل مسائل تخصیص منابع مشترک و تقابل اهداف متضاد است. این روش با شناسایی

**نتایج:****شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای زیبایی‌شناسی با به‌کارگیری رویکرد دلفی**

از مجموع منابع مورد بررسی و نظرات کارشناسان در رویکرد دلفی، ۱۳ معیار شناسایی و توصیف شد. درصد اهمیت در این روش، مؤلفه‌ای برای اولویت‌بندی و سنجش میزان اهمیت معیارهاست. نتایج حاصل از روش دلفی و ارسال پرسشنامه و نظرسنجی کارشناسان و اجماع نظر آن‌ها نشان داد که معیار سایه‌اندازی با ۳۴,۱ درصد اهمیت، اولویت اول و بافت درختان با ۱۱,۲ درصد اهمیت اولویت آخر را به خود اختصاص داد. شکل ۳، فراوانی معیارها با توجه به درصد اهمیت آن‌ها نسبت به حداکثر امتیاز قابل حصول را نمایش می‌دهد. این شکل بیش‌ترین و کم‌ترین درصد و درجه اهمیت معیارها را در فرایند تصمیم‌گیری به روشنی نمایش می‌دهد.

**نتایج حاصل از توزیع پرسشنامه در بین بازدیدکنندگان از سطح پارک****نتایج حاصل از روایی پرسشنامه**

در تحقیق حاضر، برای تحلیل روایی و پایایی پرسشنامه‌ها، از روش آلفای کرونباخ از روش‌های پایداری درونی و نرم افزار spss ۱۹ استفاده گردید. بدین‌صورت که میانگین تمامی پاسخ‌ها به نرم‌افزار وارد و آلفای کرونباخ محاسبه گردید. جدول ۲ مقدار آلفای کرونباخ به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد.

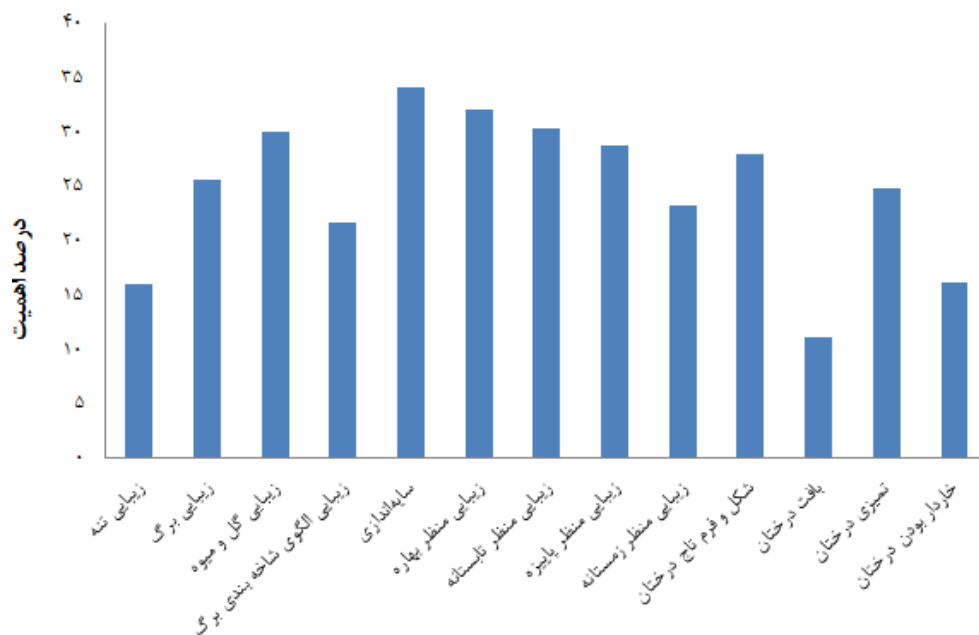
این روش رسیدن به فضایی است که در آن حداکثر خواسته هر بازیکن به شرط تأمین شدن حداکثر نیاز سایر بازیکنان، برآورده شود (۳۴). فضای مذکور در علم مدیریت، فضای بهینه Pareto نامیده می‌شود (۳۵). الگوریتم‌های متنوعی از تئوری بازی برای حل مسائل مختلف مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است که هر کدام با شیوه خاصی سعی در کم کردن اختلاف بین اهداف و رسیدن به تصمیم نهایی داشته‌اند. در این تحقیق از روش Condorcet برای امتیاز دهی استفاده گردید. بالا بودن میانگین امتیاز هر عکس نشان‌دهنده مطلوبیت و بالا بودن ارزش زیبایی گونه درختی مورد مطالعه است.

**الگوریتم بوردا در تنوری بازی**

در روش امتیازدهی بوردا هر یک از پارامترها به‌عنوان یک نماینده تلقی شده و به صورت خطی امتیازدهی می‌شوند. پس به ازای ۱ نماینده،  $n$  رتبه وجود خواهد داشت. رتبه‌بندی گونه‌ها با توجه به جمع امتیاز متغیرهای تأثیرگذار محاسبه خواهد شد. بر این اساس امتیاز  $n-1$  به نماینده‌ای که در رتبه نخست قرار دارد تعلق می‌گیرد و  $n-2$  به نماینده با اولویت دوم و به همین ترتیب رتبه‌بندی ادامه می‌یابد. نماینده آخر با کمترین اولویت امتیاز  $n-n$  یا همان صفر را به خود اختصاص می‌دهد. هر نماینده با بیشترین امتیاز به‌عنوان نماینده نخست اولویت (اول) انتخاب می‌شود.

**جدول ۱- درصد اهمیت و درجه اهمیت معیارهای زیبایی‌شناسی****Table 1- The importance and importance of aesthetic criteria**

| ردیف | نام معیار                  | درصد اهمیت | درجه اهمیت | اولویت |
|------|----------------------------|------------|------------|--------|
| ۱    | زیبایی تنه                 | ۱۶         | ۴          | ۱۲     |
| ۲    | زیبایی برگ                 | ۲۵,۶       | ۶/۴        | ۷      |
| ۳    | زیبایی گل و میوه           | ۳۰         | ۷/۵        | ۴      |
| ۴    | زیبایی الگوی شاخه بندی برگ | ۲۱,۶       | ۵/۴        | ۱۰     |
| ۵    | سایه‌اندازی                | ۳۴,۱       | ۸/۳        | ۱      |
| ۶    | زیبایی منظر بهاره          | ۳۲         | ۸          | ۲      |
| ۷    | زیبایی منظر تابستانه       | ۳۰,۴       | ۷/۶        | ۳      |
| ۸    | زیبایی منظر پاییزه         | ۲۸,۸       | ۷/۲        | ۵      |
| ۹    | زیبایی منظر زمستانه        | ۲۳,۲       | ۵/۸        | ۹      |
| ۱۰   | شکل و فرم تاج درختان       | ۲۸         | ۷          | ۶      |
| ۱۱   | بافت درختان                | ۱۱,۲       | ۲/۸        | ۱۳     |
| ۱۲   | تمیزی درختان               | ۲۴,۸       | ۶/۲        | ۸      |
| ۱۳   | خاردار بودن درختان         | ۱۶,۲       | ۴/۸        | ۱۱     |



شکل ۳- فراوانی معیارها با توجه به درصد اهمیت

Figure 3. Abundance of criteria according to importance percentage

جدول ۲: نتیجه روایی و پایایی پرسشنامه‌ها

Table 2: The validity and reliability of questionnaires

| آلفای کرونباخ | آلفای کرونباخ بر اساس داده‌های استاندارد شده | تعداد داده‌ها |
|---------------|----------------------------------------------|---------------|
| ۰/۹۴۷         | ۰/۹۴۲                                        | ۱۰۵           |

|    |                        |            |
|----|------------------------|------------|
| ۳۴ | آزاد                   | وضعیت شغلی |
| ۱۷ | بازنشسته               |            |
| ۱۴ | شغل دولتی              |            |
| ۱۱ | در حال تحصیل           |            |
| ۲۴ | بیکار                  |            |
| ۴  | بی سواد                | تحصیلات    |
| ۲۵ | دیپلم و پایین تر       |            |
| ۳۱ | فوق دیپلم              |            |
| ۲۹ | کارشناسی               |            |
| ۱۱ | کارشناسی ارشد و بالاتر |            |

همان‌طور که از جدول فوق استنباط می‌شود، مقدار آلفای کرونباخ ۰/۹۴۷ به دست آمده است. هر چه آلفای کرونباخ به یک نزدیک‌تر باشد روایی مقیاس بیشتر خواهد بود؛ لذا می‌توان نتیجه گرفت نتایج پرسشنامه‌های تکمیلی طی تحقیق حاضر، از روایی لازم برخوردار بودند.

### نتایج حاصل از مشخصات عمومی پاسخگویان

خلاصه یافته‌های توصیفی داده‌های جمعیت شناختی مربوط به نمونه آماری در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: توصیف ویژگی‌های جمعیت شناختی پاسخگویان

Table 3: Describing the demographic characteristics of respondents

| عنوان متغیر | فراوانی             |
|-------------|---------------------|
| جنس         | مرد ۸۱              |
|             | زن ۲۴               |
| سن          | ۱۵-۲۵ سال ۱۰        |
|             | بین ۲۵ تا ۳۵ سال ۵۱ |
|             | بین ۳۵ تا ۵۰ سال ۳۰ |
|             | بالاتر از ۵۰ سال ۹  |

نتایج حاصل از نظرسنجی افراد در ارتباط با پوشش گیاهی

الف- نظر پاسخگویان در ارتباط با تأثیر نوع پوشش درختی بر جذب گردشگر

نتایج به دست آمده از توزیع پرسشنامه‌ها نشان داد بیش از ۷۰ درصد از افراد معتقدند که انواع مختلف درختان در مناطق تفرجی و پارک‌های جنگلی می‌تواند موجب افزایش جذب گردشگران در این مناطق شود.

جدول ۷: پوشش جنگلی منتخب مراجعه کنندگان

Table 7: Selected forest cover for visitors

| درصد کل | درصد | فراوانی | محل استقرار                   |
|---------|------|---------|-------------------------------|
|         | ۲۷   | ۲۸      | پهن برگ- چنار                 |
| ۵۹      | ۲۰   | ۲۱      | پهن برگ- افاقیا               |
|         | ۹    | ۱۰      | پهن برگ-<br>زبان گنجشک        |
|         | ۴    | ۴       | سوزنی برگ- کاج                |
| ۱۵      | ۱۱   | ۱۲      | سوزنی برگ- سرو<br>نقره ای     |
|         | ۲۲   | ۲۲      | مخلوط پهن برگان و سوزنی برگان |
|         | ۸    | ۸       | فرقی نمی کند                  |
|         | ۱۰۵  | ۱۰۵     | جمع                           |

شاخص رضایتمندی از پوشش گیاهی پارک جنگلی آبیذر  
شاخص رضایتمندی از پوشش گیاهی بر اساس سؤالات  
پرسشنامه و به کمک بسته آماری spss ساخته شده است.  
اطلاعات جدول شماره ۸ نشان می دهد که از پاسخگویان ۳۷٪  
میزان رضایتمندی خود را بالا، ۳۱،۵٪ متوسط و ۳۶،۴٪ پایین  
گزارش نموده اند.

جدول ۸: توزیع درصد فراوانی گویه های شاخص رضایتمندی از پوشش گیاهی پارک جنگلی آبیذر

Table 8: Distribution of Abandon Forest Park vegetation satisfaction index varieties

| خیلی زیاد | زیاد  | متوسط | کم   | خیلی کم | گویه ها                                                                                                |
|-----------|-------|-------|------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۹        | ۳۶    | ۳۲    | ۱۵   | ۳       | دسترسی به پوشش گیاهی و فضای سبز موجود در پارک جنگلی آبیذر برایم به سادگی امکان پذیر است                |
| ۱۲        | ۱۰    | ۲۴    | ۳۷   | ۲۲      | مقدار فضای سبز و گونه های درختی کاشته شده موجود در پارک آبیذر کافی می باشد                             |
| ۱۳        | ۲۲    | ۴۱    | ۱۹   | ۱۰      | در برخورد با فضای سبز موجود و پوشش گیاهی احساس امنیت و آرامش می کنم                                    |
| ۱۸        | ۲۰    | ۳۱    | ۲۴   | ۱۲      | در ساعات مختلف شبانه روز می توانم در فضای سبز حضور یابم                                                |
| ۲۳        | ۳۶    | ۲۸    | ۱۰   | ۸       | گروه های مختلف بازدید کنندگان (فردی، دوستانه، خانوادگی و ...) می توانند به فضای سبز مراجعه کنند        |
| ۸         | ۱۵    | ۲۸    | ۳۷   | ۱۷      | از وضعیت امکانات و خدمات تفریحی در فضای سبز رضایت کافی را دارم                                         |
| ۸         | ۱۶    | ۳۰    | ۳۱   | ۲۰      | از وضعیت کیفیت پوشش گیاهی و نوع درختان کاشته شده رضایت کافی را دارم                                    |
| ۳         | ۱۰    | ۴۴    | ۳۰   | ۱۸      | به نظرم پوشش گیاهی و گونه های درختی به صورت کامل، استاندارد و منطقی در سطح پارک کشت و جانمایی شده اند. |
| ۲۴        | ۴۰    | ۲۶    | ۱۱   | ۴       | نسبت به رشد و افزایش سرانه فضای سبز با استفاده از گونه های پهن برگ و سایه انداز چه نظری دارید؟         |
| ۱۴،۲۲     | ۲۲،۷۷ | ۳۱،۵  | ۲۳،۷ | ۱۲،۶۷   | میانگین.                                                                                               |
|           | ۳۷    | ۳۱،۵  | ۳۶،۴ |         | جمع.                                                                                                   |

جدول ۴ - فراوانی و درصد پاسخگویان در ارتباط با نوع

پوشش جنگلی بر جذب گردشگر

Table 4 - Frequency and percentage of respondents regarding the type of forest cover on stress reduction

| نوع پوشش جنگلی بر جذب گردشگر | فراوانی | درصد |
|------------------------------|---------|------|
| بسیار کم                     | ۳       | ۳    |
| کم                           | ۱۱      | ۱۱   |
| متوسط                        | ۱۸      | ۱۹   |
| زیاد                         | ۳۴      | ۳۶   |
| خیلی زیاد                    | ۳۴      | ۳۶   |
| جمع                          | ۱۰۵     | ۱۰۰  |

ب- نظر پاسخگویان در ارتباط با پوشش جنگلی منتخب

## گردشگران

۵۹ درصد مراجعه کنندگان علاقه مند به وجود درختان پهن برگ و سایه انداز و ۸ درصد بدون تفاوت، ۱۵ درصد سوزنی برگان و ۲۲ درصد افراد مایل اند مخلوط پهن برگان و سوزنی برگان در عرصه کشت گردد. همچنین در مقایسه گونه پهن برگان ۲۷ درصد افراد تمایل داشتند که گونه چنار در منطقه کشت گردد (جدول ۷). در عملیات توسعه جنگل کاری و درختکاری در منطقه می بایست به این الگوی منتخب گردشگران توجه ویژه داشت.

بین گردشگران، ارتباط میان متغیرهای دموگرافیک با شاخص رضایتمندی شناسایی گردید. جدول شماره ۹ وجود رابطه‌ی معیارها با شاخص رضایتمندی را نشان می‌دهد.

رابطه بین متغیرهای دموگرافیک (جنس، سن، تحصیلات و شغل) با میزان شاخص رضایتمندی بر اساس یافته‌های مستخرج از پرسشنامه‌های توزیع شده در

جدول ۹: رابطه بین متغیرهای دموگرافیک (جنس، سن، تحصیلات و شغل) با میزان شاخص رضایتمندی

Table 9: Relationship between demographic variables (gender, age, education and occupation) with satisfaction index

| شغل                |           | جنس          |           | سن           |           |
|--------------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| شاخص سطح رضایتمندی | I اسپیرمن | سطح معناداری | I اسپیرمن | سطح معناداری | I اسپیرمن |
|                    | ۰/۸۹۷     | ۰            | ۰/۵۰۲     | ۰            | ۰/۶۹۴     |
| تحصیلات            |           |              |           |              |           |
|                    | I اسپیرمن | سطح معناداری |           |              |           |
|                    | ۰/۶۰۲     | ۰            |           |              |           |

فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی انسان در این محیط، دلیلی است برای آن که فضای سبز شهری به منزله مکانی در نظر گرفته شود که یک شهروند اوقات فراغت و استراحت خود را در آن سپری کند و همچنین به عنوان تأثیرگذارترین و با ارزش‌ترین مکانی که بیشتر خاطرات، تجربه‌ها، احساسات او در این فضا شکل می‌گیرد، محسوب گردد. از این رو لزوم توجه به زیباسازی فضای سبز شهری را برای طراحان و برنامه ریزان شهری ناگزیر ساخته است که برای دستیابی به این هدف، سنجش زیبایی درختان مورد نیاز است. از این رو شهر سنج با توجه به مرکزیت یک استان مهم در صنعت گردشگری و جذب گردشگر، باید از نظر طراحی منظر، زیباسازی، ایجاد حس آرامش و خاطره‌انگیزی در افراد مورد توجه طراحان قرار گیرند؛ لذا سنجش و ارزیابی کیفیت بصری درختان و زیبایی‌شناختی درختان در این قسمت از تحقیق مورد بررسی و بحث قرار گرفت.

#### اولویت‌بندی معیارهای زیبایی‌شناختی از دیدگاه کارشناسان و متخصصان

شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مناسب و لازم نقش مهمی در ایجاد محیطی زیبایی درختان در فضای سبز شهری برای ساکنان و استفاده‌کنندگان ایفا می‌نماید. از این رو شناسایی و اولویت‌بندی هر یک از معیارهای مؤثر در زیبایی از منظر کارشناسان و متخصصان نقش مهمی در ارتقا زیبایی فضای سبز شهری دارد. در این مطالعه ۱۳ معیار مؤثر بر زیبایی درختان معرفی و تعیین گردید. سپس درجه اهمیت و درصد اهمیت معیارها محاسبه گردید. نتایج تحقیق نشان داد ارجح‌ترین معیارها در بین کارشناسان و متخصصان معیارهای سایه‌اندازی، زیبایی منظر بهاره، زیبایی منظر تابستانه، زیبایی

بررسی نتایج ضریب همبستگی اسپیرمن<sup>۱</sup> در جدول ذکرشده، نشان می‌دهد که از دیدگاه افراد بین هر کدام از معیارهای دموگرافیک با سطح رضایتمندی، ضریب همبستگی مثبت معنی‌داری مشاهده می‌شود.

#### نتایج حاصل از ارزیابی و تحلیل مربوط به ویژگی‌های زیبایی‌شناسی درخت

در قسمت سوم از پرسشنامه ۱۳ پارامتر بر اساس معیارهای قابلیت اندازه‌گیری مشخص و مورد ارزیابی قرار گرفت. امتیاز هر پارامتر برای هر گونه درختی، مقدار میانگینی است که تمامی شرکت‌کنندگانی که ارزیابی معتبری داشته‌اند به آن پارامتر داده‌اند. ویژگی‌های زیبایی‌شناسی گونه‌های درختی برای تمامی فاکتورهای مؤثر بر پدیده زیبایی‌شناسی از جمله زیبایی تنه و ... که به آن اشاره شد به صورت ترکیبی بر اساس امتیازدهی که برای هر یک از آن‌ها صورت گرفته بود مورد بررسی قرار گرفت. (جدول ۱۰)

#### نتایج حاصل از نظریه بازی‌ها

نتایج نظریه بازی نشان داد که گونه افاقا با ۴۰ امتیاز از نظر پرسش‌شوندگان از نظر زیبایی بالاترین امتیاز و گونه کاج با ۱۲ امتیاز کمترین امتیاز را از نظر ویژگی‌های زیبایی‌شناسی کسب نمود. (جدول ۱۱)

#### بحث و نتیجه‌گیری

افزایش بی‌رویه رشد شهرنشینی در چند دهه اخیر و انجام اکثر

<sup>۱</sup> معنی‌داری ضریب همبستگی، میزان اعتبار حاصل از نتایج نمونه و تعمیم آن را به جامعه ارزیابی می‌کند.

گل و میوه و زیبایی منظر پاییزه با درصد اهمیت ۳۲، ۳۴/۱، کسب نمودند.  
 ۳۰/۴، ۳۰ و ۲۸/۸ به ترتیب بیشترین درصد اهمیت و امتیاز را

جدول ۱۰: ترجیحات مردم نسبت به ویژگی‌های زیباشناسی درختان

Table 10: The preferences of people about the aesthetic properties of the trees

| ویژگی‌های بصری             | زبان گنجشک | انحراف از میانگین | انحراف از میانگین | اقاقیا | چنار  | کاج  | سرو نقره‌ای | انحراف از میانگین |
|----------------------------|------------|-------------------|-------------------|--------|-------|------|-------------|-------------------|
| زیبایی تنه                 | ۳/۵۶       | ۱/۱۴              | ۴/۹۵              | ۰/۴    | ۴/۱۲  | ۰/۸۸ | ۳/۱۹        | ۱/۰۸              |
| زیبایی الگوی شاخه بندی     | ۴/۰۱       | ۰/۹۱              | ۴/۹۲              | ۰/۱۸   | ۲/۹۶  | ۲/۰۴ | ۲/۵         | ۳/۳۹              |
| زیبایی برگ                 | ۲/۹۵       | ۱/۰۵              | ۳/۹۱              | ۱/۰۹   | ۴/۸۸  | ۰/۱۲ | ۲/۲۳        | ۳/۱۹              |
| زیبایی گل و میوه           | ۱/۱۹       | ۰/۸۱              | ۴/۹۵              | ۰/۹۵   | ۲/۹۷  | ۱/۰۳ | ۳/۱۲        | ۲/۲۲              |
| زیبایی منظر در فصل بهار    | ۲/۱۵       | ۱/۲۵              | ۴/۹۲              | ۰/۴    | ۳/۸۱  | ۱/۱۹ | ۲/۹۵        | ۳/۵۴              |
| زیبایی منظر در فصل تابستان | ۳/۲۲       | ۱/۱۸              | ۴/۳۱              | ۰/۹۹   | ۴/۷۱  | ۰/۹۹ | ۳/۱         | ۳/۱۱              |
| زیبایی منظر در فصل پاییز   | ۳/۵۳       | ۱/۴۷              | ۳/۱۲              | ۱/۰۸   | ۴/۹۱  | ۰/۴۴ | ۳/۳۴        | ۳/۵               |
| زیبایی منظر در فصل زمستان  | ۱۰/۵       | ۰/۹۵              | ۱/۱۱              | ۳/۸۹   | ۱/۰۳  | ۱/۲۷ | ۳/۱۲        | ۴/۹۴              |
| سایه‌اندازی                | ۳/۲        | ۱/۵               | ۴/۶۵              | ۰/۸۷   | ۴/۹۴  | ۰/۴۴ | ۲/۰۲        | ۴/۲۹              |
| فرم تاج                    | ۲/۱۹       | ۱/۳۱              | ۴/۶۵              | ۰/۷    | ۴/۰۲  | ۰/۹۸ | ۱/۹۴        | ۳/۵۱              |
| بافت درختان                | ۲/۲۱       | ۱/۲۹              | ۳/۹۸              | ۱/۰۲   | ۳/۱۱  | ۱/۳۹ | ۱/۱۷        | ۱/۱۹              |
| خاردار بودن                | ۳/۵        | ۱/۵               | ۱/۵               | ۱/۰۱   | ۴/۲۳  | ۱/۲۷ | ۱/۹۸        | ۳/۴۳              |
| تمیزی درخت                 | ۲/۱۷       | ۱/۲۳              | ۳/۵۷              | ۱/۱۸   | ۳/۱۸  | ۱/۲۲ | ۱/۰۳        | ۳/۱۴              |
| جمع                        | ۳۳/۹۳      | ۵۰/۵۴             | ۴۸/۸۷             | ۳۱/۶۹  | ۴۲/۵۷ | ۳    | ۵           | ۲                 |
| اولویت                     | ۴          | ۱                 | ۲                 | ۵      | ۳     | ۳    | ۳           | ۳                 |

جدول ۱۱: نتایج امتیازدهی با استفاده از روش نظریه بازی‌ها

Table 11: Scoring results using game theory method

| ویژگی‌های بصری             | سرو نقره‌ای | کاج | زبان | چنار | اقاقیا |
|----------------------------|-------------|-----|------|------|--------|
| زیبایی تنه                 | ۰           | ۱   | ۲    | ۳    | ۴      |
| زیبایی الگوی شاخه بندی     | ۲           | ۰   | ۳    | ۱    | ۴      |
| زیبایی برگ                 | ۲           | ۰   | ۱    | ۴    | ۳      |
| زیبایی گل و میوه           | ۱           | ۳   | ۰    | ۲    | ۴      |
| زیبایی منظر در فصل بهار    | ۲           | ۲   | ۰    | ۳    | ۴      |
| زیبایی منظر در فصل تابستان | ۱           | ۰   | ۲    | ۴    | ۳      |
| زیبایی منظر در فصل پاییز   | ۳           | ۲   | ۰    | ۴    | ۱      |
| زیبایی منظر در فصل زمستان  | ۴           | ۳   | ۰    | ۱    | ۲      |
| سایه‌اندازی                | ۲           | ۰   | ۱    | ۴    | ۳      |
| فرم تاج                    | ۲           | ۰   | ۱    | ۳    | ۴      |
| بافت درختان                | ۱           | ۰   | ۲    | ۳    | ۴      |
| خاردار بودن                | ۳           | ۱   | ۲    | ۴    | ۰      |
| تمیزی درخت                 | ۲           | ۰   | ۱    | ۳    | ۴      |
| جمع                        | ۲۵          | ۱۲  | ۱۵   | ۳۹   | ۴۰     |

گیاهی طبق نظر بازدیدکنندگان تا حدودی خوب عمل کرده به خصوص با رسیدگی بیشتر. اکثر افراد اذعان داشتند که باید با کشت و جانیابی درست گونه‌های درختی مناسب و مدیریت صحیح، کاستی‌ها و کمبودهای پارک جنگلی هر چه زودتر برطرف گردد. بررسی نتایج نشان داد که از دیدگاه افراد بین هر کدام از معیارهای دموگرافیک با سطح رضایتمندی افراد، ضریب همبستگی مثبت معنی‌داری مشاهده می‌شود به صورتی که هر کدام از معیارها در رابطه‌ی مستقیم با سطح رضایتمندی هستند.

### نتایج حاصل از اولویت‌بندی گونه‌های درختی با استفاده

#### از روش نظریه بازی‌ها

انتخاب گونه درختی مناسب جهت کشت و توسعه فضای سبز کارشناسانه است و هر کس مجاز به انتخاب گیاه نیست. توجه به اصول زیباشناختی در فضای سبز، مشروط به بررسی گیاهان از دیدگاه روابط بصری است. در ایران اصل فوق کمتر مورد توجه بوده و بیشتر ویژگی‌های اکولوژیکی درختان در نظر گرفته شده است.

ارائه‌ی روش‌ها و مدل‌های انتخاب گیاه، کارشناسان را در امر انتخاب کمک خواهد کرد. به کارگیری تئوری بازی‌ها در انتخاب گونه درختی مناسب از نظر زیبایی‌شناسی، در نهایت به تهیه‌ی جدول کلید انتخاب درختان منجر می‌شود که برای سادگی و کامل بودن انتخاب، می‌توان آن را جداگانه برای هر پروژه تهیه کرد.

با اجرای روش امتیازدهی بوردا نتایج نشان داد که درخت افاقیا از نظر جذابیت و گیرایی و تنوع در رنگ گل دارای زیبایی‌های ویژه‌ای در فصل بهار و تابستان است که این زیبایی را به واسطه‌ی اندام‌های خاص خود دارا می‌باشند چون این درختان در این فصول تولید برگ و گل می‌کند؛ بنابراین زیبایی منظر بهاره و تابستانه زیبایی ایجاد کرده و می‌توان از آن‌ها برای منظوره‌ای خاص در طراحی بهره جست؛ و به دلیل موارد ذکرشده بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ لذا در مواردی که هدف خلق زیبایی در فضای سبز و پارک‌های جنگلی باشد می‌تواند در سطح پارک‌های جنگلی مورد استفاده قرار گیرد. نتایج نظریه بازی‌ها از شاخص زیباشناسی نشان داد که درخت افاقیا با ۴۰ امتیاز، بالاترین امتیاز و ارجحیت را نسبت به سایر گونه‌های مورد مطالعه را دارا می‌باشد.

در کنار این گونه درختی، درخت چنار با کسب ۳۹ امتیاز اولویت دوم را کسب نمود. درخت چنار علاوه بر سرسبزی و جذابیت در طی فصول رویش از زیبایی منظر پاییزه نیز برخوردار است و در پاییز برگ‌های رنگارنگی پیدا می‌کنند. به طوری که زیبایی قابل

### توزیع پرسشنامه در بین بازدیدکنندگان از سطح پارک

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که مطابق این بررسی از مجموع مراجعه‌کنندگان به پارک آبیدر مورد مطالعه ۷۷٪ را مرد و ۲۳٪ را زنان تشکیل داده‌اند که نشان می‌دهد که اغلب بازدیدکنندگان را مردان تشکیل می‌دهند. علت کمتر بودن تعداد زن را باید در موقعیت اجتماعی آنان جستجو کرد زیرا اصولاً زنان به تنهایی و بدون خانواده خود برای استراحت و تفریح به پارک‌ها و فضای سبز نمی‌روند (۳۶). همچنین در سطح پارک اغلب بازدیدکنندگان در گروه سنی ۲۵-۳۵ سال قرار دارند؛ لذا لزوم برنامه‌ریزی تفریحی برای بازدیدکنندگان با سنین مختلف در مکان‌های مختلف پارک، ضروری به نظر می‌رسد (۳۷).

افراد استفاده‌کننده از پارک آبیدر غالباً دارای شغل آزاداند. یعنی دارای اوقات فراغت و زمان بیشتری جهت تفریح و تفرج هستند. این نتایج با نتایج منصوری و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد. آن‌ها نیز در مطالعه خود در پارک جنگلی مورینه در شهرستان نورآباد به همین نتیجه دست یافتند. (۳۸)

اغلب مردم خواهان احیاء پوشش گیاهی و همچنین جنگل‌کاری در عرصه‌های خالی از درخت می‌باشند. نتایج تحقیق نشان داد که بیش از ۶۰ درصد افراد معتقدند که مناطقی که از نظر پوشش گیاهی متراکم و مناسب‌تر هستند بیشترین قابلیت را در جذب بازدیدکننده دارند. پس می‌توان چنین نتیجه گرفت که یکی از عوامل مهم در جذب گردشگر نوع و تراکم پوشش گیاهی می‌باشد همانطوریکه Harris و همکاران (۲۰۱۸)، ارتباط تراکم پوشش گیاهی در پارک‌های شهری با تفرج عمومی بازدیدکنندگان را مورد مطالعه قرار دادند. (۳۹). پوشش گیاهی منتخب توسط بازدیدکنندگان شامل گونه‌های پهن‌برگ و سایه‌دار می‌باشد نتایج نشان داد که به ترتیب اولویت توده‌های چنار، افاقیا و سرو نقره‌ای بیشترین ارجحیت جهت جذب گردشگر و بازدید از سطح پارک را دارا می‌باشد.

. نتایج مطالعات Hofmann و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که وجود فضای سبز از لحاظ روانی و فیزیولوژیکی می‌تواند تأثیرات مثبتی بر روی ساکنین این فضاها داشته باشد. پوشش گیاهی و انواع مختلف گونه‌های درختی در شهرها افزون بر جذب گردشگر در شهرها موجب آرامش روان، بازده کاری بیشتر و کیفیت زندگی برتر می‌شود که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (۴۱).

بر اساس نتایج آماری حاصل از پرسشنامه‌ها مشخص گردید که میزان رضایتمندی از پوشش گیاهی منطقه به میزان ۳۷ درصد در سطح بالایی می‌باشد. مدیریت پارک از نظر پوشش

آن خود کرد و در زمستان بالاترین امتیاز از آن سرو نقره‌ای بود و کمترین امتیاز در میان چهار فصل را درخت زبان‌گنجشک از آن خود کرد. نتایج نشان‌دهنده‌ی آن است که درختی با شمایل زیبا در بهار، در تابستان و پاییز می‌تواند زیبا فرض شود، اما در زمستان این طور نیست؛ که با نتایج Zhao و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد (۴۲).

#### منابع:

- [1] Nogueira, M. (2020). Preserving the (right kind of) city: The urban politics of the middle classes in Belo Horizonte, Brazil. *Urban Studies*, 57(10), 2163-2180.
- [2] Walters, J. R., Bell, T. L., & Pfautsch, S. (2025). A review of residents' perceptions of urban street trees: addressing ambivalence to promote climate resilience. *Land*, 14(3), 576.
- [3] Higuera-Trujillo, J. L., Llinares, C., & Macagno, E. (2021). The cognitive-emotional design and study of architectural space: A scoping review of neuroarchitecture and its precursor approaches. *Sensors*, 21(6), 2193.
- [4] Vazquez, S. A., Madureira, A. M., Ostermann, F. O., & Pfeffer, K. (2024). Challenges and opportunities of public space management in Mexico. *Cities*, 146, 104743.
- [5] Ijatuyi, E. J., Yessoufou, K., & Patrick, H. O. (2025). Sustainable tourism and green space: exploring how green spaces and natural attractions contribute to local tourism economies and revenue generation in Gauteng province. *Discover Sustainability*, 6(1), 236.
- [6] Wang, H., Liu, Y., Zhang, M. J., & Wang, X. (2025). Measuring restoration quality in urban forest greenways: insights for planning and management. *Frontiers in Psychology*, 16, 1596154.
- [7] Fleming, A., Conway, T. M., Sleightholm, P., & McKay, J. (2025). Aerial Imagery as a Tool for Monitoring Urban Tree Retention: Applications, Strengths, and Challenges for Backyard Tree Planting Programs. *Arboriculture & Urban Forestry*, 51(5).
- [8] Nowak, D. J., Greenfield, E. J., & Ellis, A. (2022). Assessing urban forest threats across the conterminous United States. *Journal of Forestry*, 120(6), 676-692.
- [9] Miri M, Allahabadi A, Ghaffari HR, Fathabadi ZA, Raisi Z, Rezai M, et al. Ecological risk assessment of heavy metal (HM) pollution in the ambient air using a new bio-indicator. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016; 23(14): 14210-20.
- [10] Janhäll S. Review on urban vegetation and particle air pollution-Deposition and

قبولی را در دید ناظر ایجاد می‌کند که در این پژوهش باعث شد که از ارزش زیبایی‌شناسی بالایی در فصل پاییز برخوردار گردد.

گونه سرو نقره‌ای یکی از سوزنی‌برگان سریع رشد و طولیل العمر است و به همین خاطر مورد توجه اکثر مردم قرار گرفته است به‌طوری‌که با کسب ۲۵ امتیاز در اولویت سوم ترجیحات زیبایی‌شناسی درختان قرار گرفت؛ لذا از نمای سبزینه و سد بصری این درخت می‌توان در چهار فصل استفاده نمود. در این‌گونه نگهداری کلیه شاخه‌ها به‌نحوی‌که شاخه‌های پایین از هر طرف به زمین برسند و یا در نزدیکی زمین باشند و در مجموع مخروط باشکوهی را تشکیل دهند بر شکل هرس شده آن‌که شاخه‌های پایین درخت حذف می‌شوند و حالت طبیعی آن از بین می‌رود از نظر بازدیدکنندگان ارجحیت دارد.

نتایج نظریه بازی‌ها از شاخص زیبایی‌شناسی درختان نشان داد که گونه زبان‌گنجشک با کسب ۱۵ امتیاز، اولویت چهارم را از نظر ویژگی‌های زیبایی‌شناسی کسب نمود. زبان‌گنجشک نیز جز درختان خزان‌داری است که دارای یک تاج نامنظم می‌باشد که در جوانی فرم باز و در بلوغ فرم متراکم دارند. در درختان جوان پوست تنه صاف و خاکستری رنگ است و با مسن شدن درخت پوست تنه زیر و دارای شکاف‌های عمیق می‌شود. برگ‌ها در حاشیه دندانه‌دار آن در فصل بهار روی درخت نمایان می‌شود و در فصل پاییز خزان می‌کنند. برگ‌های خزان‌کننده رنگ خاصی ندارند و اغلب به رنگ سبز کم رنگ دیده می‌شوند. میوه این درخت سامار و به‌صورت دسته‌ای بلند آویخته از شاخه در درختان ماده است که از بهار تا زمستان پایا هستند این درخت ساقه و ریشه‌های قوی دارد. درخت زبان‌گنجشک به تدریج به درختی سایه‌گستر تبدیل می‌شود و به همین دلیل در اولویت چهارم ترجیحات بصری افراد قرار گرفت

درخت کاج با کسب ۱۲ امتیاز، اولویت پنجم ترجیحات زیبایی‌شناسی را به خود اختصاص داد. برگ درخت کاج میزان زیادی نور را جذب و میزان کمتری منعکس می‌سازد و به همین علت رنگ آن‌ها از نظر منظرسازی تیره است. رنگ درختان کاج در زمستان تیره‌تر از بهار و تابستان است. رنگ سبز تیره سوزنی‌برگان از نظر احساسی و روانی حالت حزن و تفکر را در بیننده به وجود می‌آورد و به همین علت از نظر پاسخگویان استفاده از درخت کاج در فضای سبز سؤال برانگیز بوده و باید با احتیاط صورت بگیرد ولی از نظر میوه درخت کاج مورد پسند بازدیدکنندگان بود.

طبق نتایج مشخص گردید که از نظر پاسخ‌دهندگان از نظر زیبایی‌شناسی درختان در فصل بهار درخت افاقیا بالاترین نمره را گرفت، در تابستان و پاییز، درخت چنار بالاترین امتیاز را از

- dispersion. *Atmospheric Environment*. 2015; 105: 130-7.
- [11] Salmond JA, Tadaki M, Vardoulakis S, Arbuthnott K, Coutts A, Demuzere M, et al. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health*. 2016; 15(1): S36.
- [12] Margaritis E, Kang J. Relationship between green space-related morphology and noise pollution. *Ecological indicators*. 2017; 72:921-33.
- [13] Han X, Huang X, Liang H, Ma S, Gong J. Analysis of the relationships between environmental noise and urban morphology. *Environmental pollution*. 2018; 233: 755-63.
- [14] Zhu C, Ji P, Li S. Effects of urban green belts on the air temperature, humidity and air quality. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2017; 25(1): 39-55.
- [15] Correa E, Ruiz MA, Canton A, Lesino G. Thermal comfort in forested urban canyons of low building density. An assessment for the city of Mendoza, Argentina. *Building and environment*. 2012; 58: 219-30.
- [16] Todorova A, Asakawa S, Aikoh T. Preferences for and attitudes towards street flowers and trees in Sapporo, Japan. *Landscape and urban planning*. 2004; 69(4): 403-16.
- [17] Huang M, Cui P, He X. Study of the cooling effects of urban green space in Harbin in terms of reducing the heat island effect. *Sustainability*. 2018; 10(4): 1101.
- [18] Asgarzadeh M, Vahdati K, Lotfi M, Arab M, Babaei A, Naderi F, et al. Plant selection method for urban landscapes of semi-arid cities (a case study of Tehran). *Urban forestry & urban greening*. 2014; 13(3): 450-8.
- [19] Hartig T. Green space, psychological restoration, and health inequality. *The Lancet*. 2008; 372 (9650): 1614-5.
- [20] Frumkin H. Urban sprawl and public health. *Public health reports*. 2016.
- [21] Ali Mardani M, Mahmoudi H. Palm palms position in improving the visual quality of coastal walkways. Case example: Coastal walkways of Bushehr. *Sustainable Architecture and Urban Development* 2016; 4 (1): 43-56.
- [22] Wolf K. Freeway roadside management: the urban forest beyond the white line. *Journal of Arboriculture*. 2003; 29 (3): 127-136.
- [23] Polat AT, Akay A. Relationships between the visual preferences of urban recreation area users and various landscape design elements. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2015; 14(3): 573-82.
- [24] Lindal PJ, Hartig T. Effects of urban street vegetation on judgments of restoration likelihood. *Urban forestry & urban greening*. 2015; 14(2): 200-9.
- [25] ABBASI GV, AZADBAKHT M, TAJVAR Y, AKBARZADEH M. AESTHETIC EVALUATION OF AUTUMN LANDSCAPE OF HYRCANIAN NATIVE TREES SPECIES FOR USE IN URBAN LANDSCAPE (A CASE STUDY IN SARI CITY AREA OF IRAN). 2018.
- [26] Bent-Hansen J, Bech P. Validity of the definite and semidefinite questionnaire version of the Hamilton Depression Scale, the Hamilton Subscale and the Melancholia Scale. Part I. *European archives of psychiatry and clinical neuroscience*. 2011; 261(1): 37-46.
- [27] Gerstenberg T, Hofmann M. Perception and preference of trees: A psychological contribution to tree species selection in urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2016; 15: 103-11.
- [28] Wang R, Zhao J. Demographic groups' differences in visual preference for vegetated landscapes in urban green space. *Sustainable cities and society*. 2017; 28: 350-7.
- [29] Arriaza M, Cañas-Ortega JF, Cañas-Madueño JA, Ruiz-Aviles P. Assessing the visual quality of rural landscapes. *Landscape and urban planning*. 2004; 69(1): 115-25.
- [30] Cañas I, Ayuga E, Ayuga F. A contribution to the assessment of scenic quality of landscapes based on preferences expressed by the public. *Land Use Policy*. 2009; 26(4): 1173-81.
- [31] Pflüger Y, Rackham A, Larned S. The aesthetic value of river flows: An assessment of flow preferences for large and small rivers. *Landscape and Urban Planning*. 2010; 95(1-2): 68-78.
- [32] Wang R, Zhao J, Meitner MJ, Hu Y, Xu X. Characteristics of urban green spaces in relation to aesthetic preference and stress recovery. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2019.
- [33] Mok J-H, Landphair HC, Naderi JR. Landscape improvement impacts on roadside safety in Texas. *Landscape and Urban Planning*. 2006; 78(3): 263-74.
- [34] Üçler N, Engin GO, Köçken H, Öncel M. Game theory and fuzzy programming approaches for bi-objective optimization of reservoir watershed management: a case study in Namazgah reservoir. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015; 22(9): 6546-58.
- [35] Skardi MJE, Afshar A, Solis SS. Simulation-optimization model for non-point source pollution management in watersheds:

- Application of cooperative game theory. KSCE Journal of Civil Engineering. 2013; 17(6): 1232-40.
- [36] Mirkrami, Hamed S, Mohammadzadeh, Goldevi. Pattern of recreational needs of forest park visitors (Case study: Deland Forest Park). Quarterly Journal of Environmental Science and Technology. 2016; 18: 103-18. (Persian)
- [37] Eskandari, Qadikilai, Delicious. Investigating the recreational needs and preferences of the Sorkh-e-Hesar forest park visitors and comparing it with the Sysengan Forest Park. Man and the environment. 2017; 15 (1): 45-59. (Persian)
- [38] Mansoori M, Avazi Abu Dallani Z, Bade Jan Jan, Azizi Maj. Evaluation of recreational and recreational demand in Morin County Forest Park of Noorabad. Quarterly Journal of Environmental Science and Technology. 2016; 18: 319-33 (Persian)
- [39] Harris V, Kendal D, Hahs AK, Threlfall CG. Green space context and vegetation complexity shape people's preferences for urban public parks and residential gardens. Landscape research. 2018; 43(1):150-62.
- [40] Patel DM, Block RC, Chapman BP, Korfmacher KS, van Wijngaarden E. Green space and mental health symptoms in a cardiac rehabilitation population. Indoor and Built Environment. 2019: 1420326X19853615.
- [41] Hofmann M, Javed M. Green Spaces and Mental Health: Does Frequency of Use or Proximity affect Subjective Wellbeing and Perceived Stress? PEOPLE: International Journal of Social Sciences. 2019; 4(3.)
- [42] Zhao J, Xu W, Li R. Visual preference of trees: The effects of tree attributes and seasons. Urban Forestry & Urban Greening. 2017; 25: 19-25.

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و هفت، شماره هشت، آبانماه ۱۴۰۴ (۲۷-۳۶)

## کاربرد جاذب نانو کامپوزیت منیزیم اکسید / کیتوسان برای حذف یون نیکل (II) از محلول های آبی: مطالعه ترموسینتیکی

نبیه فرهامی<sup>۱\*</sup>

[nfarhami@iau.ac.ir](mailto:nfarhami@iau.ac.ir)

محمدعلی افضلی<sup>۲</sup>

بیژن قنواتی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** این تحقیق با هدف کارایی جاذب زیستی نانو کامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان در حذف نیکل II انجام گرفته است. **روش بررسی:** پس از شناسایی کیفی جاذب با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و دستگاه FT-IR اثر پارامترهای مختلفی از جمله pH، دما، زمان تماس، غلظت اولیه و وزن جاذب مورد بررسی قرار گرفت. با رسم ایزوترم های لانگمویر، فرنرندلیچ و همچنین بررسی سینتیک جذب و ضرایب آن ها محاسبه شد.

**یافته ها:** که مقدار pH بهینه در این آزمایش ۷ و زمان تماس بهینه ۳۰ دقیقه در دمای ۲۹۸ کلوین به دست آمد. نتایج آزمایشات نشان داد که جذب نیکل (II) از پساب بیشتر از ایزوترم فرنرندلیچ تبعیت می کند. از سوی دیگر نمودارهای سینتیکی دلالت بر این دارد که جذب نیکل از مدل سینتیک شبه درجه دوم است و مقادیر بدست آمده از پارامترهای ترمودینامیکی  $\Delta H^\circ$  و  $\Delta S^\circ$  و  $\Delta G^\circ$  دلالت بر خودبخودی و گرمازا بودن فرایند جذب را نشان می دهد.

**بحث و نتیجه گیری:** جاذب نانو کامپوزیت منیزیم اکسید/ کیتوسان می تواند کارایی موثری در حذف آلاینده یون نیکل از محلول های آبی داشته باشد، بطوری که طبق این تحقیق با افزایش میزان جاذب، میزان حذف آلاینده افزایش یافت و با افزایش دما، میزان حذف آلاینده کاهش یافت که تاییدی بر گرمازا بودن فرایند طبق محاسبات  $\Delta H^\circ$  است و همچنین با افزایش غلظت آلاینده، حذف آن توسط جاذب کاهش یافت.

**واژه های کلیدی:** جذب سطحی، سینتیک جذب، فلز سنگین، جاذب زیستی، نانو کامپوزیت منیزیم اکسید/ کیتوسان.

<sup>۱</sup> استادیار گروه شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران \* (مسئول مکاتبات)

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران

<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران

## **Application of magnesium oxide/chitosan nanocomposite adsorbent for removal of Nickel (II) ion from aqueous solutions: Thermokinetic study**

**Nabieh Farhami**<sup>1\*</sup>

[nfarhami@iaui.ac.ir](mailto:nfarhami@iaui.ac.ir)

**Mohamad Ali Afzali**<sup>2</sup>

**Bijan Ghanavati**<sup>3</sup>

Accepted Date: May 30, 2025

Date Received: March 2, 2025

### **Abstract**

**Background and objective:** This research was conducted with the aim of the effectiveness of magnesium oxide/ chitosan nanocomposite-based bio-adsorbent for nickel II ion removal.

**Material and Methodology:** After characterization of the adsorbent by SEM and FTIR techniques, the effect of parameters such as pH, temperature, contact time, initial amount and weight of the adsorbent was investigated. Langmuir and Freundlich isotherms, as well as the adsorption kinetics were studied and their coefficients were calculated from drawing their plots.

**Findings:** The optima values of pH, contact time and temperature were obtained 7, 30 minutes and 298 K, respectively. The results of the experiments showed that the absorption process of nickel (II) follows the Freundlich isotherm. According to the kinetic plots of nickel adsorption, it follows the pseudo-second order kinetic model and the obtained values of thermodynamic parameters including  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$  and  $\Delta G^\circ$  shows the spontaneity and exothermicity of the adsorption process.

**Discussion and Conclusion:** magnesium oxide/chitosan nano composite adsorbent can be effective in removing nickel ion from aqueous solutions. According to this research, the amount of pollutant removal increased with the increase in the amount of adsorbent, and the amount of pollutant removal decreased with the increase in temperature. Also, with the increase in pollutant concentration, its removal by the adsorbent decreased. Also, with increasing the temperature, the amount of pollutant removal decreased, which confirms that the process is exothermic according to  $\Delta H^\circ$  calculations.

**Keywords:** Surface adsorption, Nickel (II) ion, heavy metal, bio adsorbent, magnesium oxide/chitosan nanocomposite.

---

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Chemistry, Mahs.C., Islamic Azad University, Mahshahr, Iran  
\* (Corresponding Author)

<sup>2</sup> Department of chemical engineering, Mahs.C., Islamic Azad University, Mahshahr, Iran

<sup>3</sup> Assistant professor, Department of Chemical Engineering, Mahs.C., Islamic Azad University, Mahshahr, Iran

### زمینه و هدف

انسان در زمینه های مختلف از نیکل استفاده می کند. یکی از بیشترین کاربردهای نیکل، در صنعت فولاد است. نیکل به عنوان جزء سازنده محصولات فلزی و فولاد استفاده می شود. به طور طبیعی مقداری نیکل در مواد غذایی وجود دارد. شکلات و چربی ها حاوی مقدار بسیار زیادی نیکل هستند. اگر شخصی از سبزیجات حاصل از مناطق آلوده به نیکل تغذیه کند، مقدار زیادی نیکل وارد بدنش می شود. نیکل در بافت گیاهان تجمع می یابد و باعث افزایش مقدار این یون فلزی در سبزیجات می شود. در افراد سیگاری مقدار زیادی نیکل در ششها وجود دارد. همچنین نیکل در شوینده ها نیز مورد استفاده قرار می گیرد. راههای ورود این یون فلزی به بدن انسان از طریق، هوا، غذا، آشامیدن آب و کشیدن سیگار است. همچنین بر اثر تماس پوست با آب یا خاک آلوده به نیکل، مقداری از این یون فلزی وارد بدن انسان می شود. مانند بسیاری فلزات، مقدار اندک نیکل برای انسان ضروری است اما اگر مقدار آن افزایش یابد، سلامت انسان را به خطر می اندازد. عوارض افزایش مقدار نیکل در بدن به شرح زیر است: شانس مبتلا شدن به انواع سرطان مانند ریه، بینی، حنجره و پروستات را افزایش می دهد. پس از اینکه فرد در معرض گاز نیکل قرار گرفت، دچار کسالت و سرگیجه می شود. مشکلات تنفسی، آب آوردن ریه ها، کاهش توانایی تولید مثل، آسم و برونشیت مزمن، حساسیت هایی از قبیل خارش پوست (آماس معروف به خارش نیکل) از عوارض آلودگی نیکل است و معمولاً در افراد با حساسیت پوستی بالا مشاهده می شود. [۱-۳] یکی از بیشترین کاربردهای نیکل، در صنعت فولاد است. عمده ترین خطر مواجهه با نیکل در کارگرانی می باشد که در مشاغل چون استخراج معادن، صنایع ذوب، آبکاری الکترونیک، باتری سازی و جوشکاری مشغول به کارند. به طور طبیعی مقداری نیکل در مواد غذایی وجود دارد. غذاهای غنی از نیکل شامل آجیل، غلات و حبوبات و شکلات می باشد. مقدار مجاز نیکل مصرفی در محصولاتی که با دست انسان تماس دارد مطابق اتحادیه اروپا ۰/۰۵۰ میلی گرم بر سانتی متر مکعب است. [۱-۳]. راه های مختلفی برای حذف فلزات سنگین وجود دارد که فرآیند جذب سطحی آلاینده ها از شناخته شده ترین و پرکاربردترین این فرآیندهاست. در فرآیند جذب سطحی که در دسته بندی روش های جداسازی فیزیکی قرار می گیرد، آلاینده از راه برهمکنش های فیزیکی یا شیمیایی با گروه های عاملی موجود در سطح جاذب، جذب می شوند. عواملی از جمله دما، زمان تماس فاز جاذب با آلاینده، اسیدیته محلول، غلظت و نوع آلاینده، نوع ماده جاذب، اندازه ذرات فاز جاذب بر فرآیند جذب سطحی آلاینده اثر دارد [۴]. به طور کلی جاذب

ایده آل برای حذف یون فلزات سنگین باید دارای ویژگی هایی نظیر سطح ویژه بزرگ، ظرفیت جذب بالا، حجم و اندازه ذرات بالا، ثبات مکانیکی، کم هزینه بودن، سازگاری محیط زیست و انتخاب پذیری بالا، دسترسی آسان، سهولت بازسازی باشد. کیتوسان یکی از جاذب های طبیعی و زیست سازگار با کارایی بالا و موثر برای جذب فلزات سنگین است. این ماده با داشتن گروه آمینو و هیدروکسیل و همچنین سمیت کم، هزینه فرآوری پایین، مناسب به عنوان جاذب است و با عاملدار شدن کیتوسان با نانوذرات اکسید فلزی، ویژگی های فیزیکی با تغییراتی مواجه می شود، از جمله افزایش نسبت سطح به حجم و ورود اندازه ذرات به قلمرو اثرات کوانتومی، باعث غلبه یافتن رفتار اتم های واقع در سطح ذره به رفتار اتم های درونی می شود. [۵]

محمد هلال و همکاران (۲۰۲۳) در یک تحقیق از جاذب نانو ذرات زئولیت محصور شده در آلژینات سدیم برای جذب نیکل از محلول آبی استفاده کردند. پارامترهای اسیدیته، دما، زمان تماس، مقدار جاذب و غلظت اولیه بررسی شد. ترمودینامیک و سینتیک جذب مطالعه شد، جذب خودبخود و گرماده، سینتیک شبه مرتبه دو بود [۶]. در تحقیق دیگری وفا حمد و همکارانش (۲۰۲۳) جذب یون های نیکل (II) را با استفاده از منیزیم اکسید مطالعه کردند. مدل های تعادلی برای محاسبه ایزوترم های لانگمویر و فروندلیچ و سینتیک واکنش استفاده شدند، در حالی که مدل های ایزوترم، داده های تجربی را تأیید می کنند. جذب یون نیکل (II) بر روی اکسید منیزیم به شدت وابسته به زمان تماس، مقدار اولیه نیکل (II)، دما، pH و دوز جاذب بود. پارامترهای ترمودینامیکی  $\Delta G^\circ$  با مقدار منفی و مقدار مثبت  $\Delta S^\circ$  نشان می دهد که جذب یون های نیکل (II) توسط اکسید منیزیم به صورت خودبخودی اتفاق افتاده است. نتیجه مثبت نشان دهنده جذب گرماگیر برای  $\Delta H^\circ$  است. در نهایت، معادله شبه مرتبه دوم، برای سینتیک جذب ارائه شد [۷].

### روش بررسی

#### مواد و وسایل

۱. دستگاه اسپکتروفتومتر مدل PGT 80 ساخت کشور انگلستان جهت تعیین غلظت یون های نیکل (II)
۲. دستگاه pH meter ohm مدل ۸۲۷ ساخت کشور سوئیس جهت اندازه گیری و تنظیم pH محلولها
۳. دستگاه التراسونیک bandelin مدل DK203 H ساخت کشور آلمان جهت دیسپرس کردن نانو ذرات منیزیم در نمونه

۳۰ دقیقه به منظور ته نشین شدن به حال خود رها می‌شود. پس از آن مقادیر مشخصی از محلول را برداشته و پس از مرحله به منظور تعیین مقدار حذف یون نیکل، محلول در دستگاه جذب اتمی قرار می‌گیرد. مقدار نیکل جذب شده با استفاده از غلظت اولیه و نهایی قابل محاسبه است.

### یافته‌ها

#### مدل ایزوترم جذب سطحی لانگمویر

معادله لانگمویر برای جذب سطحی به صورت تک لایه بر روی سطح جاذب به صورت ذیل بیان می‌شود: [8]

$$q_e = \frac{q_{mb}c_e}{1+bc_e} \quad (1)$$

#### مدل ایزوترم جذب سطحی فروندلیچ

معادله فروندلیش، معادله دیگری برای جذب سطحی همدم است که به منظور تعیین کلی سیستم‌های جذب سطحی تعادلی و ناهمگن به کار می‌رود. شکل عمومی رابطه به صورت زیر است. [6] در اینجا  $q_e$  جذب تعادلی و  $C_e$  غلظت تعادلی است.  $n$  و  $k$  ضرایبی هستند که به صورت تجربی بدست می‌آیند.

$$q_e = k_f c_e^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

#### معادله رفتارهای سینتیکی

معادله سینتیک شبه درجه اول به صورت معادله (۳) است: [6] در اینجا  $q_t$  جذب در لحظه و  $k$  ثابت سرعت و  $t$  زمان است

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k}{2.303} t \quad (3)$$

معادله سینتیک شبه درجه دوم به صورت معادله (۴) است: [6]

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2(q_e^2)} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

برای محاسبه میزان حذف یون فلزی از محلول آبی با جاذب و ظرفیت جذب از روابط (۵) استفاده می‌شود  $C_0$ : غلظت اولیه محلول است.  $V$ : حجم محلول نمونه و  $m$ : جرم جاذب است.

$$q = V * \frac{C_0 - C_e}{m} \quad (5)$$

#### ترمودینامیک جذب سطحی

پارامترهای ترمودینامیکی شامل تغییرات انرژی آزاد گیبس  $\Delta G^0$ ، تغییرات آنتالپی استاندارد  $(\Delta H^0)$  و تغییرات آنتروپی استاندارد  $(\Delta S^0)$  را می‌توان با استفاده از روابط زیر محاسبه کرد:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K = -RT \ln \frac{C_e}{C_0} \quad (6)$$

۴. ترازوی چهار رقم اعشار AND جهت توزین مواد شیمیایی  
۵. دستگاه FT-IR PerkinElmer مدل Spectrum RX1

ساخت کشور آمریکا

۶. دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مدل VEGA-TESCAN-LMU واقع در مرکز پژوهش

متالورژی رازی

۷. دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) ساخت شرکت analytical

۸. دستگاه جار تست ساخت شرکت زاگ شیمی

کیتوسان (CAS number: 9012-76-4) از شرکت سیگما آلدریج آمریکا، نانو اکسید منیزیم (CAS number: 1309-) (48-4)

از شرکت سیگما آلدریج آمریکا، محلول اسید استیک ۱٪، محلول سود ۲ مولار و ۰٫۱ مولار شرکت مرک.

#### تهیه نانو ذرات منیزیم اکسید بر پایه کیتوسان

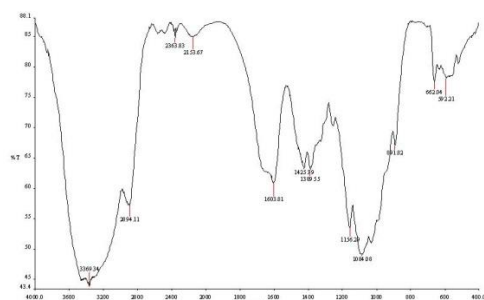
به ۱۰۰ میلی لیتر محلول استیک اسید ۱٪، مقدار ۰٫۷۵ گرم منیزیم اکسید اضافه شد و بر روی همزن مغناطیسی قرار می‌گیرد و به آن چند قطره نیتریک اسید افزوده شد تا حل شود و سپس به آهستگی ۱ گرم کیتوسان به آن اضافه و محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک با دمای ۳۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و سپس، قطره قطره سود ۲ مولار به محلول در حال اختلاط، افزوده شد تا PH محلول به ۱۰ برسد، سپس مخلوط را برای ۳ ساعت در بن ماری 60 سانتیگراد حرارت داده وبعد، آن را صاف کرده و در آن به مدت یک ساعت با دمای 50 سانتیگراد قرار داده تا خشک شود. آزمایش جذب در دمای  $25 \pm 1$  سانتی گراد انجام شد.

#### محلول سازی

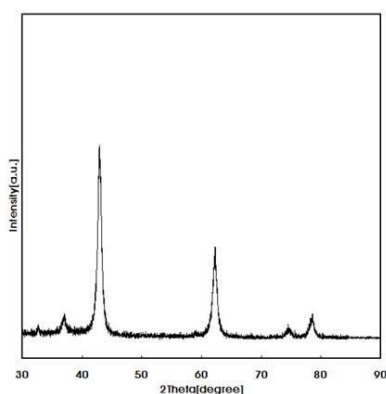
جهت تهیه محلول حاوی نیکل (II) از نمک فلزی  $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  استفاده و برای تنظیم PH محیط از کلریدریک اسید و سدیم هیدروکسید ۰٫۵ مولار استفاده شد. ابتدا یک محلول (1000 ppm) از نمک نیکل نیترات (II) شش آبه بعنوان محلول استاندارد ساخته و با نیتریک اسید ۰٫۵ درصد حجمی به حجم رسانده شد و سپس از این محلول و با استفاده از آب دی یونیزه و با استفاده از رابطه  $N1V1=N2V2$  محلول‌هایی با غلظت ۵ و ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ و ۲۵ ppm تهیه شد. آزمایش‌ها در حالت ناپیوسته انجام شد و برای هر پارامتر پس از تهیه محلول در دستگاه جارتست با سرعت اختلاط ۴۰۰ دور در دقیقه قرار می‌گیرد. پس از طی شدن زمان مورد نظر، محلول

غیرقابل برگشت پذیر بودن آن را نشان می دهد و منفی بودن  $\Delta H$  گرمازا بودن فرایند و امکان فیزیکی بودن جذب سطحی را نشان می دهد که می تواند به راحتی با دادن مقدار گرمایی برابر با مقدار محاسبه شده به جذب سطحی معکوس منجر شود و انتقال فاز جذب شده به محیط از فاز جاذب انجام شود. [11-13]

**ریخت شناسی نانوجندسازه منیزیم اکسید/ کیتوسان**  
ریخت شناسی نانوکامپوزیت منیزیم اکسید/کیتوسان با FTIR میکروسکوپ الکترونی روبشی از نوع گسیل میدانی و XRD الگوی پراش پرتو X که با پراش سنج D5005 زیمنس بررسی شد. الگوی XRD کیتوسان و منیزیم اکسید در گستره  $2\theta = (10^\circ - 70^\circ)$  با سرعت اسکن  $0.2^\circ/\text{s}$  با استفاده از تابش  $\text{CuK}\alpha$  طول موج 0.15406 نانومتر انجام شد. طیف FTIR به وسیله Nicolet iS10 با استفاده از قرص KBr در گستره  $(4000 - 400 \text{ cm}^{-1})$  انجام شد. شکل (۱-۳). در شکل ۵، ریخت شناسی نانوجندسازه و وجود منیزیم اکسید با تصاویر SEM بررسی شده است.



شکل (۲). طیف مادون قرمز ترکیب کیتوسان.  
Fig (2). IR spectrum of chitosan compound.



شکل (۴) الگوی XRD نشان دهنده تولید نانو کامپوزیت منیزیم اکسید/ کیتوسان است.

Fig (4) XRD pattern of the produced magnesium oxide/chitosan nanocomposite.

$$\Delta S^0 = \frac{\Delta H^0 - \Delta G^0}{T} \quad (7)$$

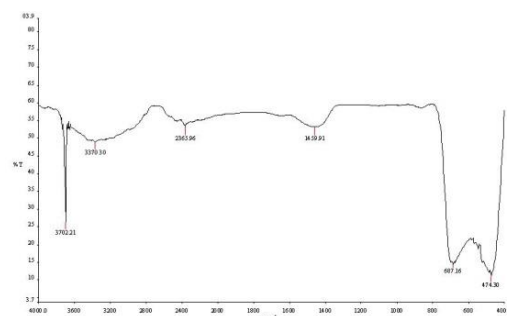
$$\log \frac{c_e}{c_0} = \frac{\Delta H^0}{RT \cdot 2/303} - \frac{\Delta S^0}{R \cdot 2/303} \quad (8)$$

که  $C_0$  و  $C_e$  به ترتیب غلظت تعادلی و غلظت اولیه فاز جذب شونده است. [7-10]

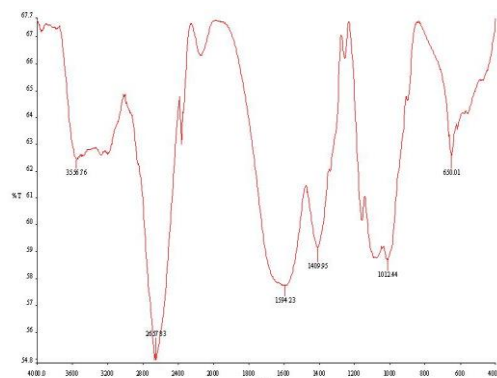
آنچه برای طراحی آزمایش های جذب سطحی (پیوسته یا ناپیوسته) باید به آن توجه شود، سرعت جذب و تغییرات ایجاد شده در طی فرایند جذب است. سرعت واکنش می تواند از داده های سینتیکی محاسبه شود. اما تغییرات در واکنش در طی فرایند جذب با کمیت های ترمودینامیکی (انرژی آزاد گیبس، آنتالپی، آنتروپی) پیش بینی می شوند. آنتالپی جذب سطحی وابسته به ثابت لانگمویر ( $K_L$ ) که با رابطه 9 تعریف می شود:

$$K_L = K_L^* e^{\frac{-\Delta H}{RT}} \quad (9)$$

که در آن  $K_L^*$  ثابت واکنش و  $\Delta H$  آنتالپی و خاصیت وابسته به جسم است، مثبت بودن مقدار  $\Delta H$  گرماگیر بودن فرایند و

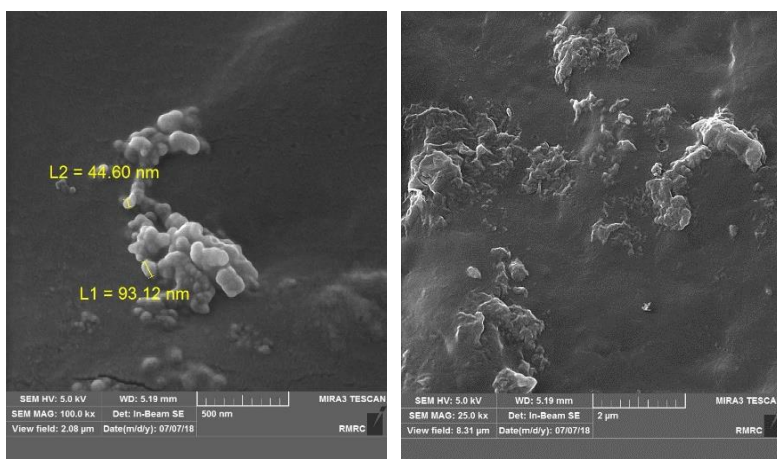


شکل (۱). طیف مادون قرمز ذرات اکسید منیزیم.  
Fig (1). IR spectrum of MgO nanoparticles.



شکل (۳). طیف مادون قرمز نانو چندکامپوزیت اکسید منیزیم/ کیتوسان.

Fig (3). IR spectrum of magnesium oxide/chitosan nanocomposite.

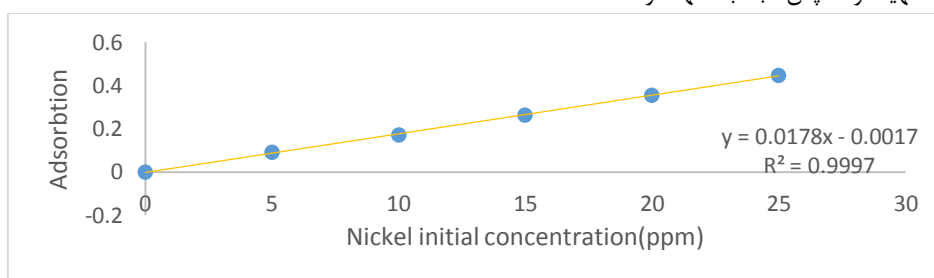


شکل (۵) تصویر SEM مربوط به نانو کامپوزیت منیزیم اکسید/ کیتوسان  
Fig (5) SEM image of magnesium oxide/chitosan nanocomposite

اسپکتروفوتومتر در طول موج 327 nm خوانده و در انتها  
منحنی کالیبراسیون رسم شد. شکل (۶)

#### رسم منحنی کالیبراسیون

برای رسم منحنی کالیبراسیون غلظت‌های متفاوتی از محلول  
استاندارد نیکل (II) با غلظت‌های (ppm) 5, 10, 15, 20, 25  
در دمای محیط تهیه و سپس جذب آنها توسط دستگاه



شکل (۶) منحنی کالیبراسیون جذب بر حسب غلظت‌های اولیه مختلف از نیکل (II)  
Fig (6) absorption calibration curve according to different initial concentrations of nickel (II).

pHهای متفاوت به 0/05 گرم جاذب نانو کامپوزیت اکسید  
منیزیم/کیتوسان افزوده و در دمای محیط و به مدت زمان یک  
ساعت روی همزن مغناطیسی با دور ثابت ۴۰۰ دور بر دقیقه  
قرار داده و سپس محلولها را از کاغذ صافی گذرانده و نهایتاً  
جذب آنها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد.  
نتایج در جدول ۱ آمده است.

#### بحث و نتیجه گیری

بررسی و بهینه کردن پارامترهای موثر بر جذب سطحی  
یون نیکل (II) با استفاده نانو کامپوزیت اکسید  
منیزیم/کیتوسان

#### اثر PH

۵۰ میلی لیتر محلول نیکل (II) با غلظت (20 ppm) را در

جدول (۱) نتایج محاسبات مربوط به جذب یون نیکل (II) در pHهای متفاوت

Table (1) results of calculations related to absorption of nickel (II) ion at different pHs

| pH | جذب محلول تعادلی | غلظت محلول تعادلی (ppm) | درصد حذف |
|----|------------------|-------------------------|----------|
| 3  | 0/236            | 13/35                   | 33/2     |
| 4  | 0/227            | 12/8                    | 36       |
| 5  | 0/206            | 11/6                    | 42       |
| 6  | 0/186            | 10/54                   | 47/3     |
| 7  | 0/157            | 8/91                    | 55/4     |
| 8  | 0/240            | 13/57                   | 32/1     |

در دماهای متفاوت به مدت 30 دقیقه بر روی همزن مغناطیسی با دور ثابت ۴۰۰ دور بر دقیقه قرار داده و سپس محلولها را از کاغذ صافی گذرانده و نهایتا جذب آنها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد. نتایج در جدول ۴ آمده است.

جدول (۴) نتایج محاسبات مربوط به حذف یون نیکل (II) در دماهای مختلف

Table (4) results of calculations related to the removal of nickel (II) ions at different temperatures

| درصد حذف | غلظت محلول تعادلی (ppm) | جذب محلول تعادلی | دما (K) |
|----------|-------------------------|------------------|---------|
| 85/5     | 2/90                    | 0/05             | 298     |
| 80/4     | 3/91                    | 0/068            | 308     |
| 75/4     | 4/92                    | 0/086            | 318     |
| 63/3     | 7/34                    | 0/129            | 328     |
| 52/6     | 9/47                    | 0/168            | 338     |

#### بررسی اثر غلظت اولیه نیکل (II) بر جذب

۵۰ میلی لیتر محلول نیکل(II) با غلظت های متفاوت و pH=7 را به 0/2 گرم جاذب نانوکامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان افزوده و در دمای ۲۹۸ کلوین و به مدت زمان 30 دقیقه بر روی همزن مغناطیسی با دور ثابت ۴۰۰ دور بر دقیقه قرار داده و سپس محلولها را از کاغذ صافی گذرانده و نهایتا جذب آنها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد. نتایج در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول (۵) نتایج مقادیر جذب یون نیکل(II) در غلظت های مختلف از نیکل(II) نیترات

Table (5) results of absorption values of nickel(II) ion in different concentrations of nickel(II) nitrate

| درصد حذف | غلظت محلول تعادلی (ppm) | جذب محلول تعادلی | غلظت اولیه (ppm) |
|----------|-------------------------|------------------|------------------|
| 97       | 0/6                     | 0/009            | 5                |
| 87/8     | 1/22                    | 0/020            | 10               |
| 85/8     | 2/12                    | 0/036            | 15               |
| 85/5     | 2/90                    | 0/050            | 20               |
| 83       | 4/25                    | 0/074            | 25               |

#### بررسی همدمای جذب و تجزیه و تحلیل داده های ایزوترمی

مقادیر نیکل(II) جذب شده بر روی 0/2 گرم جاذب در غلظت های اولیه مختلف از محلول نیکل (II) نیترات مطابق جدول (۶) و در شرایط بهینه سایر متغیرها بررسی و نمودارهای ایزوترمی جذب از قبیل لانگمویر، فرنلیدج بر روی داده ها اعمال

#### بررسی اثر مقدار جاذب

۵۰ میلی لیتر محلول نیکل(II) با غلظت 20 ppm و pH=7 را به مقدارهای متفاوت از جاذب نانو چندسازه اکسید منیزیم/کیتوسان بر حسب گرم افزوده و در دمای محیط و به مدت زمان یک ساعت روی همزن مغناطیسی با دور ثابت ۴۰۰ دور بر دقیقه قرار داده و سپس محلولها را از کاغذ صافی گذرانده و نهایتا جذب آنها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد. نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول (۲) نتایج محاسبات مربوط به جذب نیکل (II) با مقدارهای متفاوت جاذب

Table (2) results of calculations related to absorption of nickel (II) with different amounts of adsorbent

| درصد حذف | غلظت محلول تعادلی (ppm) | جذب محلول تعادلی | مقدار جاذب (g) |
|----------|-------------------------|------------------|----------------|
| 55/4     | 8/91                    | 0/157            | 0/05           |
| 69/5     | 6/10                    | 0/107            | 0/1            |
| 79/3     | 4/14                    | 0/072            | 0/15           |
| 86       | 2/8                     | 0/048            | 0/2            |
| 87/2     | 2/56                    | 0/044            | 0/3            |

#### بررسی اثر زمان

۵۰ میلی لیتر محلول نیکل (II) با غلظت 20 ppm و pH=7 را به 0/2 گرم جاذب نانوکامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان افزوده و در دمای محیط و در زمان های متفاوت بر حسب دقیقه روی همزن مغناطیسی با دور ثابت ۴۰۰ دور بر دقیقه قرار داده و سپس محلولها را از کاغذ صافی گذرانده و نهایتا جذب آنها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد. نتایج در جدول ۳ آمده است.

جدول (۳) نتایج مقادیر جذب یون نیکل (II) در زمانهای مختلف توسط جاذب

Table (3) results of adsorption values of nickel (II) ions by the adsorbent at different times

| درصد حذف | غلظت محلول تعادلی (ppm) | جذب محلول تعادلی | زمان (min) |
|----------|-------------------------|------------------|------------|
| 28/75    | 14/25                   | 0/252            | 5          |
| 36/8     | 12/28                   | 0/217            | 10         |
| 57/4     | 8/52                    | 0/150            | 15         |
| 68/65    | 6/27                    | 0/117            | 20         |
| 78/75    | 4/25                    | 0/074            | 25         |

#### بررسی اثر دما

۵۰ میلی لیتر محلول نیکل (II) با غلظت 20 و pH=7 را به 0/2 گرم جاذب نانوکامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان افزوده و

گردید و نتایج مربوط به این بررسی نشان داد که جذب یون نیکل (II) بر روی جاذب بیشترین ایزوترم جذبی فرندلیچ تبعیت می‌کند.

جدول (۶) اثر غلظت‌های اولیه بر درصد جذب یون نیکل (II) توسط جاذب نانوکامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان برای بررسی ایزوترم‌های جذب در شرایط بهینه

Table (6) The effect of initial concentrations on the adsorption percentage of nickel(II) ion by magnesium oxide/chitosan nanocomposite adsorbent for investigation of the adsorption isotherms in optimal conditions

| $C_0$<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | Adsorption | $C_e$<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | % Removal | $q_e$<br>(mg g <sup>-1</sup> ) | $C_e/q_e$ | Ln $C_e$ | Ln $q_e$ |
|--------------------------------|------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|----------|----------|
| 5                              | 0/009      | 0/6                            | 97        | 1/1                            | 0/54      | -0/52    | 0/095    |
| 10                             | 0/020      | 1/22                           | 87/8      | 2/19                           | 0/56      | 0/198    | 0/784    |
| 15                             | 0/036      | 2/12                           | 85/8      | 3/22                           | 0/67      | 0/751    | 1/170    |
| 20                             | 0/050      | 2/90                           | 85/5      | 4/27                           | 0/68      | 1/06     | 1/425    |
| 25                             | 0/074      | 4/25                           | 83        | 5/19                           | 0/82      | 1/45     | 1/647    |

جذب می‌باشد بیانگر این است که فرایند جذب بصورت فیزیکی و مطلوب رخ داده است.

جدول (۸) ثابت‌های ایزوترم جذب سطحی فرندلیچ

Table (8) Parameters of Freundlich adsorption isotherm

| $n_f$ | $K_f$ (mg g <sup>-1</sup> ) | $R^2$  |
|-------|-----------------------------|--------|
| ۱/۲۵  | 1/748                       | 0/9902 |

بررسی سینتیک جذب نیکل (II) بر روی نانو کامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان

برای بررسی سینتیک جذب نیکل (II) بر روی نانو کامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان یکسری آزمایش در زمانهای مختلف در غلظت ۲۰ میلی گرم بر لیتر از محلول نیکل (II) نیترات و در شرایط بهینه سایر متغیرها انجام گردید. از مدلهای سینتیکی مختلف بر روی داده‌های تجربی در جهت بررسی سرعت فرایند جذب و پتانسیل مرحله ی تعیین کننده سرعت استفاده شد. در این راستا برای بررسی سرعت جذب و محاسبه ثابت‌های مربوطه از مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم استفاده شد. نتایج در شکل ۷ آمده است.

بررسی همدمای جذب سطحی لانگمویر

با استفاده از معادله ایزوترم لانگمویر و رسم منحنی  $C_e/q_e$  بر حسب  $C_e$  و بدست آمدن معادله خط، ثابت‌های ایزوترم لانگمویر محاسبه و نتایج این بررسی در جدول (۷) جمع آوری شد. مقدارهای بدست آمده از پارامتر بدون بعد فاکتور جداسازی ( $R_L$ ) در غلظت‌های اولیه متفاوت بیانگر مطلوب بودن جذب یون نیکل دو ظرفیتی بر روی جاذب نانوکامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان است.

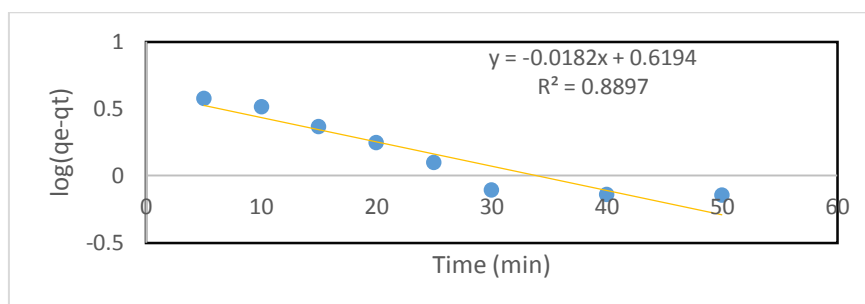
جدول (۷) ثابت‌های ایزوترم جذب سطحی لانگمویر

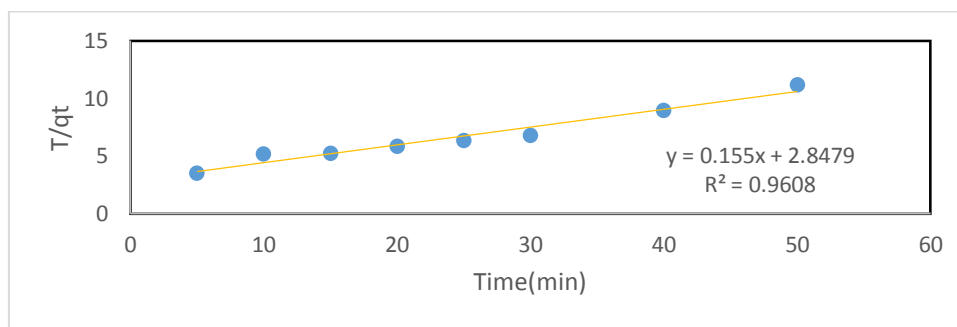
Table (7) parameters of Langmuir adsorption isotherm

| $q_m$ (mg g <sup>-1</sup> ) | $K_L$ (L mg <sup>-1</sup> ) | $R^2$  |
|-----------------------------|-----------------------------|--------|
| 13                          | 0/159                       | 0/9651 |

بررسی همدمای جذب سطحی فرندلیچ

با استفاده از معادله ایزوترم فرندلیچ و رسم منحنی  $\ln q_e$  بر حسب  $\ln C_e$  و بدست آوردن معادله خط، ثابت‌های ایزوترم فرندلیچ محاسبه و نتایج این بررسی در جدول (۸) جمع آوری شد. مقدارهای بدست آمده از پارامتر  $n_f$  که مربوط به شدت





ب

شکل (۷) الف - سینتیک شبه مرتبه اول و ب - شبه مرتبه دوم جذب سطحی نیکل (II) توسط جاذب نانوکامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان.

Fig (8) Kinetic models of a- pseudo-first order and b- pseudo-second order for nickel (II) adsorption onto the magnesium oxide/chitosan nanocomposite adsorbent.

۶. با توجه به نتایج ایزوترم های جذب رسم شده، دیده شد که معادله ایزوترم جذب فرنرلیچ نسبت به سایر معادله های ایزوترم جذب دارای ضریب همبستگی بالاتر و مناسب تری است.

۷. با افزایش زمان تماس تا زمان رسیدن به تعادل میزان جذب افزایش می یابد.

۸. با محاسبه مقادیر  $n_f$  مشاهده شد که جذب بصورت مطلوب و فیزیکی رخ داده است.

#### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد با کد ۱۶۲۶۰۷۰۱۰ و با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر اجرا شده است. نویسندگان بر خود لازم می دانند از دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر، برای در اختیار قرار دادن امکانات آزمایشگاهی برای این پژوهش تشکر نمایند.

#### Reference

- [1] Jamali M, Bayat J, Talakesh S.M.R and Hashem S.H. investigation of heavy metals and petroleum hydrocarbons pollution source in agricultural lands in the south of Tehran. Environmental Sciences.2022; 20(3): 251-264.
- [2] Shah N, Baillie B, Bishop K, Ferraz S, Hogbom L and Nettles J. The effects of forest management on water quality. Forest Ecology and Management, 2022; 522: 120397-120419
- [3] Mobasherpour I, Salehi E, Pazouki M. Removal of Nickel (II) from aqueous solutions by using nanocrystalline calcium hydroxyapatite. J Saudi chem soc. 2011; 15(2): 105-112.
- [4] Haghighi H, Irannajad M. Investigation on adsorption of Ni, Cu and Cd by Nano Zedite. J Env Sci Tech. 2024; 25(10): 17-27.

#### محاسبه توابع ترمودینامیکی

با استفاده معادلات (۶-۸) توابع ترمودینامیکی محاسبه شد که در جدول (۹) آمده است.

جدول (۹) پارامترهای ترمودینامیکی جذب نیکل (II) توسط جاذب نانو چندسازه اکسید منیزیم/کیتوسان

Table (9) Thermodynamic parameters of nickel (II) adsorption process onto the magnesium oxide/chitosan nanocomposite adsorbent

| T(K) | $\Delta G^0(KJ \text{ mole}^{-1})$ | $H^0(KJ \Delta \text{mole}^{-1})$ | $S^0(KJ \Delta \text{mole}^{-1})$ |
|------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 298  | -13/28                             | -۹۸/۹                             | 0/012                             |
| 308  | -13/57                             |                                   |                                   |
| 318  | -13/85                             |                                   |                                   |
| 328  | -13/80                             |                                   |                                   |
| ۳۳۸  | -13/71                             |                                   |                                   |

#### نتیجه گیری

۱. مطالعات سینتیکی نشان می دهد که جذب نیکل (II) بر روی جاذب نانو کامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان از سینتیک شبه مرتبه دوم تبعیت می کند .
۲. با افزایش غلظت محلول حاوی یون نیکل دو ظرفیتی میزان جذب به ازای واحد جرم ماده جاذب کاهش می یابد .
۳. افزایش دما باعث کاهش فرایند جذب شده، از اینرو فرایند جذب را می توان یک فرایند گرمازا دانست .
۴. منفی بودن انرژی آزاد استاندارد گیبس نشان دهنده خودبخودی بودن فرایند جذب است.
۵. منفی بودن تغییرات آنتالپی استاندارد واکنش نشان دهنده گرمازا بودن فرایند در سیستم جذب و همچنین مثبت بودن تغییرات آنتروپی استاندارد سیستم نیز نشان دهنده افزایش بی نظمی در فصل مشترک جامد - محلول است.

- [5] Khoram Abadi V, Habibi D, Ariannezhad M. The effective removal of  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  from aqueous solution by adenine based nano adsorbent. RSC. 2023; 13: 5970-5982.
- [6] Hellal M, Rashad AM, Kadimpati KK, Attia SK, Fawzy ME. Adsorption characteristics of nickel (II) from aqueous solutions by Zeolite Scony Mobile-5 (ZSM-5) incorporated in sodium alginate beads. Sci Rep. 2023; 13: 1960-1970.
- [7] Darweesh MA, Basant Eweida B, Maher Wahba A, Ghoniem Sh, W. A. Hammad WA. Effective adsorptive Removal of  $\text{Ni}^{2+}$  from Aqueous Solutions using MgO Adsorbent: A Study of Kinetics and Adsorption Model. Journal of Engineering Research. 2023; 7(1): 61-66.
- [8] Farhami N, Derakhshandeh M. Investigation of Vanadium adsorption from industrial wastewater using nano composite of Magnesium Oxide/Chitosan adsorbent. Nanomeghyas J. 2021; 8(3): 11-120
- [9] Azzam EMS, Elsofany WL, Abdulaziz F. Ecofriendly Elimination of Ni (II) Using Fabricated Nanocomposite Based on Chitosan/Silver Nanoparticles/Carbon Nanotubes. Polym J. 2023; 15(13): 2759.
- [10] Habeeb SA, Nadhim BA. Removal of nickel (II) ions, low-level pollutants, and total bacterial colony count from wastewater by composite nanofiber film. Sci Iran. 2023; 30(6): 2056-2069.
- [11] Kumar R, Rauwel P, Rauwel E. Nanoadsorbants for the Removal of Heavy Metals from Contaminated Water: Current Scenario and Future Directions. Processes Journal. 2021; 9(3): 1379-1408.
- [12] Vijayaraghavan J, Zunaithur Rahman D and Thivya J. Removal of Ni (II) Ions from Wastewater by Raw and Modified Plant Wastes as Adsorbents: A Review. Iran. J. Chem Chem Eng. 2022; 41(1): 174-206.
- [13] Khadim NS, Saleh HM, AbdulKareem Abdulaali N. Adsorption Capacity of Some Metal Ions Using Polyurethane Modified Magnetic Nanoparticles as Adsorbent. J Nanostructures. 2022; 12(4): 1021-1033.

## بررسی میزان تجمع فلزات سنگین در برگ گونه های درختی و درختچه ای غالب (*Eucalyptus camaldulensis*, *Conocarpus erectus*) در محدوده اطراف مجتمع فولاد خوزستان

فروغ پورمختاری<sup>۱</sup>

مریم محمدی روز بهانی<sup>۲\*</sup>

[Mmohammadiroozbahani@yahoo.com](mailto:Mmohammadiroozbahani@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۱

### چکیده

**زمینه و هدف:** گیاهان به علت استفاده از آب، خاک و هوا، در تغییر شرایط اکولوژیکی مشارکت مهمی دارند. در این مطالعه میزان تجمع فلزات سنگین کروم، کادمیوم و سرب در خاک و پوشش گیاهی غالب اطراف مناطق صنایع تولید فولاد در جنوب شرق شهر اهواز در سال ۱۳۹۴ بررسی گردید.

**روش بررسی:** برای نمونه برداری ۷ ایستگاه در اطراف مجتمع صنایع فولاد با توجه به جهت باد غالب در نظر گرفته شد و از گیاهان و خاک پای آن با ۳ تکرار نمونه برداری صورت گرفت. هضم نمونه های گیاهی به روش جکسون (۱۹۸۵) و برای نمونه های خاک به روش EPA ۳۰۵۰ انجام گرفت و غلظت فلزات سنگین موجود در نمونه ها توسط دستگاه ICP قرائت گردید.

**یافته ها:** میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه های خاک برای فلزات سرب، کروم و کادمیوم به ترتیب مقادیر  $169/3 \pm 0/2$ ،  $706/86 \pm 0/39$  و  $90/88 \pm 0/39$  میلی گرم بر کیلوگرم بدست آمد. حداکثر میزان تجمع فلز سرب، کروم و کادمیوم در پوشش گیاهی کنوکارپوس در برگ شسته شده گیاه به ترتیب  $196/13 \pm 0/3$ ،  $45/99 \pm 0/5$  و  $31/5 \pm 0/39$  و در برگ شسته شده گیاه اکالیپتوس بیشترین مقدار به ترتیب  $123/5 \pm 0/4$ ،  $34/89 \pm 0/4$  و  $21/43 \pm 0/4$  بدست آمد. نتایج حاصل از محاسبه ضریب تجمع زیستی تنها برای فلز کادمیوم در گیاه کنوکارپوس مقادیر بالاتر از ۱ را نشان داد که این نمایان گر توانایی گیاه کنوکارپوس در تجمع فلز کادمیوم در بخش هوایی خود است.

**بحث و نتیجه گیری:** در بین فلزات مورد بررسی میزان تجمع سرب در برگ دو گونه بیشتر از سایر فلزات می باشد. ولی با توجه به ضریب تجمع زیستی کم در این مورد می توان گفت این تجمع احتمالا متأثر از سرب موجود در هوا نیز بوده است. همبستگی مثبت و معنی دار میان فلز کادمیوم در برگ کنوکارپوس با خاک و قدرت تجمع این گیاه برای جذب فلز کادمیوم خاکی از توانایی این گونه به عنوان یک گیاه بیش انباشت کننده است.

**واژه های کلیدی:** فلزات سنگین، *Eucalyptus camaldulensis*، *Conocarpus erectus*، شرکت فولاد خوزستان.

<sup>۱</sup> محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

<sup>۲</sup> استادیار گروه آلودگی محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران \* (مسوول مکاتبات)

## Investigation of heavy metal accumulation in the leaves of tree species (*Eucalyptus camaldulensis*, *Conocarpus erectus*) Around khuzestan steel company

Forough Pourmokhtari<sup>1</sup>  
Maryam Mohammadi Roozbahani<sup>2\*</sup>  
[Mmohammadiroozbahani@yahoo.com](mailto:Mmohammadiroozbahani@yahoo.com)

Accepted Date: November 8, 2016

Date Received: August 1, 2016

### Abstract

**Introduction:** Plants due to the use of water, soil and air, are an important contribution to changing ecological conditions. The objective of this research was to determine the amount of accumulation of heavy metals such as lead, chrome, cadmium among two plant species, eucalyptus and conocarpus, around the territory of Khuzestan Steel Company. The sampling step was done in early summer 2015.

**Methodology:** Samples were collected from among plant leaves of 7 stations around the territory of Steel Company. 4 samples of 4 sides of each tree from each species were chosen and then using 30-50 EPA method for soil and Jackson 1982 method for the plants, the digestion process was done. Then, the concentration of the metals in each special of plants and soil was measured using ICP.

**Results:** The highest lead in soil of conocarpus was in station 6 sample which was  $169.3 \pm 0.2$  and last amount of lead was from station 3 which was  $4.6 \pm 0.3$  in sample of washed eucalyptus leaves. The highest amount of chrome was the soil of eucalyptus plant ( $706.64 \pm 0.4$ ) in station 5, and the least amount  $15/96 \pm 0.30$  in station 1. The highest amount of cadmium was  $89.9 \pm 0.83$  for the soil of eucalyptus plant and the least amount measured in the soil of conocarpus plant which was  $-5.54 \pm 0.4$ .

**Discussion:** In fact, regarding these results, it can be stated that in terms of refining the soil, this theory can be proved only for cadmium. There were positive and negative correlation between the amounts of accumulation 3 metals in soil and each species.

**Keywords:** Heavy Metals, *Eucalyptus camaldulensis*, *Conocarpus erectus*, Kouzestan steel Company.

---

<sup>1</sup> Environmental Science, Ah.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Halotion Environment, Ah.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

\* (Corresponding Author)

## ۱. زمینه و هدف

فلزات سنگین به عنوان فلزاتی با چگالی بالاتر از  $5 \text{ g.cm}^{-3}$  تعریف می‌شوند که منبع عمده آنها فعالیت‌های صنعتی و معدنی، کاری، احتراق سوخت، حمل و نقل اتومبیل‌ها، استفاده از آفت کش‌ها و کودها در کشاورزی می‌باشد (۱). روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی جهت حذف فلزات سنگین از محیط توسعه یافته‌اند که استفاده از برخی از آنها به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد و از طرف دیگر به لحاظ اکولوژیکی اثرات منفی بر روی ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک دارد (۲). استفاده از موجودات زنده نظیر میکرواورگانیسم‌ها و گیاهان به عنوان راهکارهای بیولوژیکی موثر در حذف فلزات سنگین از محیط، از آن جهت که دوستدار محیط زیست بوده، کمترین هزینه را به لحاظ اقتصادی دارد، در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است که به این روش‌ها زیست پالایی گفته می‌شود (۳). سرب همانند آب، خاک و هوا به طور طبیعی در گیاهان نیز وجود دارد. جذب سرب از خاک از طریق ریشه‌ها یک منبع مهم سرب در گیاهان است. مسئله مهم دیگر وجود ذرات سرب در اتمسفر است که با رسوب بر روی برگ‌های گیاه می‌تواند منبع مهم دیگر سرب در گیاهان باشد. مقدار سرب در بافت گیاهانی که در هوایی با  $1/45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  سرب رشد می‌کنند بیشتر از گیاهانی است که در همان نوع خاک ولی در هوای تمیز رشد می‌کنند (۴).

آب آلوده به سرب نیز از منابع دیگر آلودگی به سرب است و سرب موجود در گیاهانی که با آب آلوده به سرب آبیاری شده‌اند افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با گیاهان آبیاری شده با آب معمولی دارد. استفاده از کودهای شیمیایی از دیگر منابع آلودگی سرب در گیاهان بوده و مقدار این فلز در کودهای شیمیایی سوپر فسفات به میزان ۹۲ میلی گرم بر کیلوگرم از کود اندازه‌گیری شده است (۵). اگرچه کادمیوم عنصر ضروری برای گیاهان نیست، اما به علت جذب و تجمع آسان، پتانسیل زیادی برای آلودگی دارد، لذا در بین فلزات سنگین اولین فلزی است که از نظر زیست محیطی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در بین ۲۰ عنصر سمی، کادمیوم از نظر اثری که روی فعالیت‌های سیستم‌های آنزیمی می‌گذارد مرتبه هفتم را دارد. هم چنین پنجمین فلز سمی برای مهره داران و چهارمین فلز سمی برای گیاهان آوندی است. کادمیوم باعث کاهش میزان فتوسنتز و تعرق شده و همچنین سبب افزایش میزان تنفس می‌شود غلظت کمی از کادمیوم کافی است تا مخاطراتی را برای گیاهان ایجاد نماید، مانند کوتاهی محور شاخه‌ها و تشدید زرد شدن رنگ برگ‌های پیر. جذب کادمیوم فقط از طریق ریشه

صورت نمی‌گیرد بلکه شاخه‌ها و برگ‌ها نیز قادرند کادمیوم را جذب نمایند. طولانی شدن مدت خزان گیاهان خطر مهم دیگری است که در نتیجه آلودگی به کادمیوم ایجاد می‌شود (۶). جانوران در اثر مسمومیت کادمیوم دچار فقر آهن خون، بیماری‌های کبدی و آسیب‌های مغزی - عصبی می‌شوند. همچنین استنشاق کادمیوم باعث آسیب به کلیه‌ها شده و سیستم دفاعی بدن را در موش‌های خانگی و صحرایی تغییر می‌دهد و با اثراتی بر تولید مثل همراه است. در اکوسیستم‌های آبی، کادمیوم در صدف‌های رودخانه‌ای، میگوها، خرچنگ‌ها و ماهی‌ها تجمع می‌یابد. جاندارانی که این عنصر را می‌خورند یا می‌نوشند دچار فشار خون بالا، بیماری‌هایی کبدی و صدمات مغزی و نخاعی می‌شوند (۷). با احتراق زغال سنگ کروم وارد هوا شده و از طریق زباله‌های صنعتی کروم وارد خاک می‌شود. اکثر کروم هوا ته نشین شده و به آب و خاک وارد می‌گردد. کرومی که در خاک قرار دارد، به شدت به ذرات خاک می‌چسبد و در نتیجه وارد آب‌های زیرزمینی نمی‌شود. کرومی که در آب قرار دارد، جذب رسوبات می‌شود و به صورت غیر متحرک در می‌آید. فقط مقدار اندکی از کروم داخل آب حل می‌شود. محصولات زراعی دارای مقداری کروم هستند تا میزان کروم مورد نیاز بدن انسان از این طریق تامین شود. اگر میزان کروم موجود در خاک افزایش پیدا می‌کند، به تبع آن غلظت کروم در محصولات زراعی نیز افزایش می‌یابد. اسیدی شدن خاک بر میزان مصرف گیاهان زراعی از کروم تاثیر می‌گذارد. اکثر گیاهان کروم ۳ دریافت می‌کنند. کروم ۳ یکی از مهمترین اشکال کروم به حساب می‌آید، اما اگر میزان غلظت کروم ۳ از حد مجاز تجاوز کند، اثرات منفی به دنبال دارد (۸). از مطالعات مشابهی که در این زمینه صورت گرفته می‌توان به بررسی میزان تجمع فلز سنگین سرب در برگ گونه‌های درختی غالب شهرستان دزفول در سال ۱۳۹۲ اشاره کرد که نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که هیچ یک از گیاهان کنار، اکالیپتوس و برهان قابلیت تجمع این فلز را در اندام‌های گیاهی خود نداشتند (۹). بررسی تجمع فلزات سنگین (Cd, Ni, Fe, Co, Zn) در پوشش گیاهی غالب محدوده اطراف شرکت فولاد خوزستان که در سال ۱۳۹۱ انجام پذیرفت نشان داد تمام غلظت‌ها در محدوده طبیعی قرار داشتند و هیچ یک از گیاهان را نمی‌توان به عنوان گیاه بیش تجمع کننده در نظر گرفت (۱۰). بررسی غلظت عناصر سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه گیاه درمنه کوهی که در معدن مس سرچشمه در سال ۱۳۹۰ انجام گرفت نشان داد که میزان تجمع این عناصر در اندام هوایی و ریشه در نقاط مطالعاتی نزدیک به معدن بیش از دیگر نقاط مورد بررسی بود (۱۱)، همچنین بررسی فلزات

جهان داشته است. حال آنکه خطرات آلودگی عناصر سنگین ناشی از این صنعت در پوشش گیاهی در کشورمان تقریباً نادیده گرفته شده است. در خصوص آلوده شدن منابع گیاهی از طریق صنعت فولاد بیشترین خطر آلودگی مربوط به خروج عناصر سنگین به صورت گرد و غبار از واحدهای مختلف تولید و جذب این عناصر مستقیماً توسط گیاه و با ورود این عناصر به منابع خاک منطقه و در نهایت ورود به گیاه می‌باشد. به این ترتیب تجمع فلزات سنگین جذب شده در اندام گیاه در غلظت‌هایی بیش از حد استاندارد منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاه و آلوده شدن زنجیره غذایی و به مخاطره افتادن سلامت جوامع انسانی می‌گردد. غبار کوره صنایع فلزی مانند صنایع تولید فولاد یکی از محصولات فرعی کارخانجات صنایع فولاد است که در افزایش میزان فلزات سنگین در آب، هوا و خاک مناطق اطراف سهم بسزایی دارد. در این مطالعه میزان تجمع فلزات سنگین سرب، کروم و کادمیوم در پوشش گیاهی و خاک منطقه اطراف فعالیت صنایع فولاد سازی واقع در جنوب شرق اهواز به منظور مقایسه پتانسیل تجمع فلز در بخش‌های هوایی جهت شناسایی گونه‌های بیش تجمع دهنده بررسی گردید.

## ۲. روش بررسی

### ۲-۱. شرح منطقه

منطقه مورد بررسی در این مطالعه واقع در جنوب شرقی اهواز و جاده بندر امام-ماهشهر می‌باشد که محل فعالیت چند کارخانه تولید فولاد است. این منطقه به لحاظ جغرافیایی در ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. جهت نمونه برداری از پوشش گیاهی و خاک ۷ ایستگاه در اطراف منطقه استفاده شد. انتخاب ایستگاه‌ها براساس تراکم پوشش گیاهی گونه‌های در نظر گرفته شده در اطراف محدوده مجتمع فولاد صورت گرفت.

### ۲-۲. نمونه برداری از خاک و گیاه

با توجه به اینکه رابطه بین خاک و گیاه مورد نظر بود، هر دو از یک ایستگاه برداشت شد. از گیاهان غالب منطقه اکالیپتوس و کنوکارپوس به‌عنوان گونه درختی و درختچه‌ای با استفاده از قیچی باغبانی مقادیری برگ از شاخه‌های درختان و درختچه‌ها از ارتفاع ۱ تا ۲ متر با ۳ تکرار برداشته شد و پس از انتقال به آزمایشگاه به دو گروه شسته شده و شسته نشده طبقه بندی گردید. نمونه‌های خاک نیز با ۳ تکرار بوسیله بیلچه از پای گیاهان در ایستگاه‌های مختلف تا عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری برداشته و در کیسه‌های نایلونی جداگانه قرار گرفت و به آزمایشگاه منتقل شد.

سنگین Pb, Cu, Mn, Cd, Fe, Zn در گیاه کنوکارپوس بعنوان یک پالاینده زیستی آلودگی هوا و خاک در سال ۱۳۹۰ در شهر اهواز انجام گرفت که تجزیه و تحلیل نمونه‌های خاک نشان داد که غلظت بسیاری از این عناصر پایین تر از حد مجاز است. غلظت فلزات سنگین در برگ‌های شسته شده کمتر از برگ‌های شسته نشده بود (۱۲)، در مقایسه میزان جذب عناصر سرب و کادمیوم در خاک، برگ‌ها و شاخه‌های یک ساله‌ی گونه افاقیا و چنار کاشته شده در سال ۱۳۹۲ در شهر کرج، نتایج حاکی از آن بود که مقادیر جذب کادمیوم و سرب بین سه مقطع ارتفاعی تاج در هر دو اندام برگ و شاخه معنی دار نیست (۱۳). از سوی دیگر مقایسه جذب سرب و کادمیوم هم در برگ و هم در شاخه، در هر مقطع ارتفاعی تفاوت معنی‌داری را با یکدیگر نشان دادند (۱۴)، بررسی اثر گیاه پالایی چند گونه درخت در اطراف مجتمع صنعتی زنجان بر کاهش غلظت فلزات سنگین (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb) در سال ۲۰۱۵ نشان داد که غلظت فلزات سنگین (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb) در ایستگاه‌های نزدیک به مجتمع صنعتی بسیار بیشتر از ایستگاه‌های در نظر گرفته شده در فواصل دورتر از مجتمع بود که بیانگر این است که فلزات سنگین موجود در برگ درختان در منطقه مورد مطالعه تنها مربوط به فعالیت‌های صنعتی سرب و روی ایران (NILZ) و مجتمع صنعتی (ZSIC) می‌باشد. همچنین بهترین گیاه برای ذخیره و پالایش عناصر روی و کادمیوم درخت *Thuja orientalis* می‌باشد (۱۵). بررسی درختان کاج و چنار در سال ۲۰۱۲ به عنوان شاخص زیستی آلودگی فلزات سنگین (Cr, Cu, Fe, Pb) در سه شهر اروپایی Sazburg, Belgrade, Thessaloniki، سنجش میزان غلظت سرب و ایزوتوپ‌های آن در برگ درختان شهری بلغراد نشان داد که تجمع فلزات سنگین در پوست نسبت به برگ بیشتر بوده و پوست درخت کاج تجمع بیشتری از میزان فلزات کمیاب را در مقایسه با پوست درخت چنار نشان می‌داد و همچنین بازدهی بالاتری را به عنوان بیواندیکاتور برای آلودگی هوای شهری داشت (۱۶).

در استان خوزستان به لحاظ وجود منابع سرشار نفت و گاز و توسعه روز افزون صنایع مختلف از جمله صنایع فولاد، موجب بروز مشکلات متنوع در اکثر جنبه‌های زیست محیطی از قبیل افزایش آلودگی هوا و منابع آب و خاک گردیده است. بدون تردید صنعت فولاد و تکنولوژی‌های مربوطه نقش تعیین کننده‌ای در ایجاد بستر صنعتی شدن یک کشور به ویژه در کشورهای در حال توسعه را دارا می‌باشد، در کشور ما نیز تولید فولاد در سال‌های اخیر دارای افزایش قابل ملاحظه‌ای بوده به طوری که بیشترین رشد را در میان ۴۰ کشور تولید کننده

## ۳-۲. آماده سازی نمونه‌های گیاه و خاک

جهت آماده سازی نمونه‌های گیاه ابتدا نیمی از برگ‌های جمع آوری شده در هر ایستگاه با استفاده از آب مقطر دیونیزه مورد شست و شو قرار گرفت. سپس با استفاده از قیچی برگ‌ها را به قطعات کوچک تقسیم نموده و در پاکت‌های کاغذی در آون در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده تا خشک شوند. پس از خشک شدن نمونه‌ها، توسط هاون چینی برگ‌ها را به شکل پودر درآورده و پس از غربال کردن با استفاده از الک ۶۳ میکرون، ۱ گرم از گیاه پودر شده با استفاده از ترازو با دقت ۴ رقم اعشار توزین گردید.

برای آماده سازی نمونه‌های خاک، ابتدا خاک‌ها را در ظروف آلومینیومی مخصوص نمونه‌های خاک ریخته و در دستگاه آون به مدت ۲۴ ساعت با دمای ۶۵ درجه سانتی گراد قرار داده تا کاملاً خشک شوند. پس از خشک شدن نمونه‌ها، در هاون چینی پودر شده و پس از غربال کردن با استفاده از الک ۶۳ میکرون، ۰/۵ گرم از خاک پودر شده با استفاده از ترازو با دقت ۴ رقم اعشار توزین گردید.

## ۴-۲. هضم نمونه‌های گیاه و خاک

در روش جکسون<sup>۱</sup> (۱۹۸۵) برای هضم نمونه‌های گیاهی ابتدا مخلوطی از ۳ اسید به نسبت ۷۵۰ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ، ۱۵۰ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ و ۳۰۰ میلی لیتر پر کلراید غلیظ ۶۰ درصد ترکیب و تهیه گردید. سپس مقدار ۱ گرم از نمونه وزن شده گیاه به بشر ۱۰۰ میلی لیتری منتقل شد و ۵ سی سی اسید نیتریک غلیظ به هر کدام از نمونه‌ها اضافه گردید و پس از گذاشتن شیشه ساعت بر روی بشر روی هیتر با درجه حرارت ۷۵ درجه قرار داده شد. عمل حرارت دادن به ملایمت آغاز شد تا بخاری به رنگ قهوه‌ای از نمونه‌ها متصاعد شد. پس از گذشت ۵ تا ۱۰ دقیقه مقدار ۵ تا ۱۰ سی سی از مخلوط ۳ اسید مذکور به هر کدام از بشرها اضافه گردید سپس عمل حرارت دادن را شدیدتر کرده تا اکسیداسیون مواد گیاهی به اتمام رسید. در این عمل حجم نمونه‌ها به ۲ الی ۳ میلی لیتر کاهش یافته و نمونه‌ها کاملاً بی رنگ شد. پس از این مرحله مقداری آب مقطر به آن اضافه شد تا به حجم ۱۰۰ سی سی رسید. سپس درون ظروف تیره با درب پلاستیکی قرار داده شد و میزان فلزات سنگین موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه ICP خوانده شد.

جهت هضم نمونه‌های خاک، از روش EPA ۳۰۵۰ استفاده گردید. نمونه‌ها پس از خشک شدن در دمای ۶۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت، از الک ۶۳ میکرون عبور داده شده و پودر گردید.

سپس به ۰/۵ گرم از هر نمونه پودر شده به ترتیب ۲ الی ۳ قطره HCL ۱ نرمال، ۰/۵ سی سی تیزاب سلطانی و ۳ سی سی HC1O افزوده شد و بشر را روی حمام شن در دمای ۱۲۵ درجه رساندیم، مایع حاصل را پس از عبور از کاغذ صافی به حجم ۲۵ سی سی رساندیم که در این حالت نمونه جهت خواندن دستگاه ICP آماده شد.

رابطه (۱) فرمول ضریب تجمع زیستی:

$(\mu\text{g/kg})$  غلظت کل فلز در خاک /  $(\mu\text{g/kg})$  غلظت فلز در بافت گیاه: ضریب تجمع زیستی

## ۳. یافته‌ها

پس از آنالیز داده‌ها، نتایج نشان داد که بیشترین مقدار فلز سرب در نمونه برگ شسته نشده گیاه کنوکارپوس با مقدار  $196/13 \pm 0/2 \mu\text{g/kg}$  و کمترین مقدار فلز سرب با مقدار  $4/6 \pm 0/3 \mu\text{g/kg}$  در نمونه‌های شسته شده گیاه اکالیپتوس بود. بیشترین میزان فلز کروم مربوط به برگ شسته نشده گیاه کنوکارپوس به مقدار  $57/89 \pm 0/2 \mu\text{g/kg}$  و کمترین مقدار مربوط به برگ شسته شده اکالیپتوس  $15/96 \pm 0/30 \mu\text{g/kg}$  می‌باشد. در ارتباط با فلز کادمیوم نیز بیشترین مقدار  $31/5 \pm 0/39 \mu\text{g/kg}$  مربوط به برگ شسته نشده گیاه کنوکارپوس و کمترین مقدار اندازه‌گیری شده در برگ شسته شده گیاه اکالیپتوس به میزان  $0/61 \pm 0/1 \mu\text{g/kg}$  مشاهده شد. نتایج بدست آمده از محاسبه میزان تجمع زیستی فلز در گونه‌های گیاهی نشان داد که گیاه کنوکارپوس توانایی جمع آوری فلز کادمیوم را در بخش هوایی خود دارد ولی هیچ کدام از گونه‌ها توانایی تجمع فلزات سرب و کروم را در اندام‌های گیاهی در نظر گرفته شده نداشتند.

در مورد همبستگی مقدار فلز در گیاه و خاک نیز نتایج محاسبه ضریب همبستگی پیرسون برای میزان تجمع سرب در نمونه‌های شسته شده و شسته نشده هر گیاه با خاک آن با توجه به میزان سطح معنی‌داری مشخص شد که بین میزان تجمع سرب در خاک اکالیپتوس و برگ‌های شسته شده و شسته نشده همبستگی معنی‌دار وجود ندارد ( $p > 0/05$ )، همچنین بین خاک کنوکارپوس و برگ‌های شسته نشده آن همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد ( $p > 0/05$ ) این در حالیست که بین خاک و برگ‌های شسته شده کنوکارپوس همبستگی معنی‌دار وجود داشت ( $p < 0/05$ ) و ضریب پیرسون در هر دو مثبت مشاهده شد.

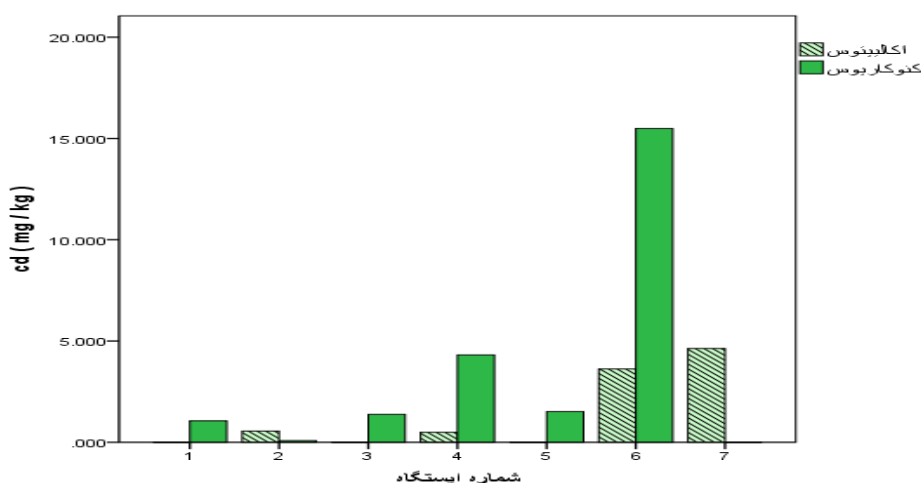
با توجه به میزان سطح معنی‌داری مشخص شد که همبستگی بین میزان تجمع کروم در خاک اکالیپتوس و برگ‌های شسته نشده آن، معنی‌دار بود ( $p < 0/05$ ) ولی با برگ‌های شسته شده

<sup>1</sup> Jackson

در مقایسه برگ‌های شسته شده هر دو گیاه با توجه به نمودارهای ۱، ۲ و ۳ در ایستگاه‌های مختلف نتایج نشان داد که برای فلز کادمیوم در تمام ایستگاه‌ها به جز ایستگاه ۱ و ۲ اختلاف معنی‌دار وجود داشت. در مورد فلز کروم تمام ایستگاه‌ها به جز ۳ و ۴ اختلاف معنی‌دار داشتند و برای فلز سرب بین تمام ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد.

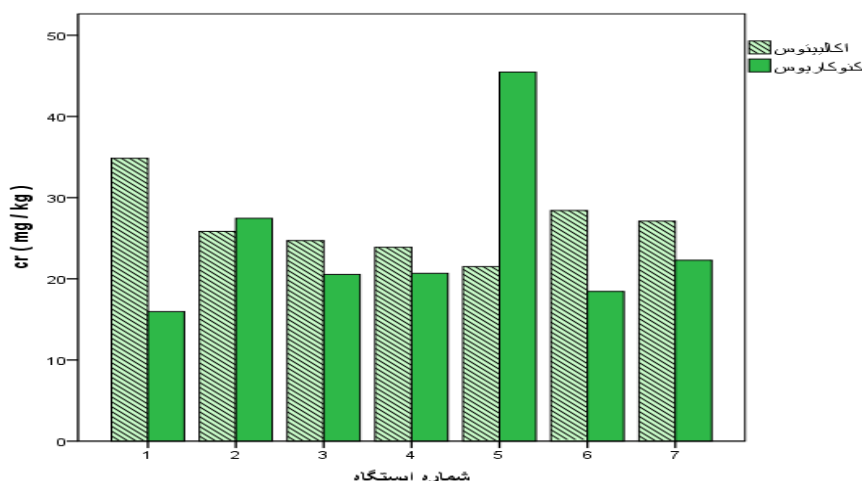
در مقایسه برگ‌های شسته نشده با توجه به نمودارهای ۴، ۵ و ۶ در گیاه اکالیپتوس و کونوکارپوس برای هر سه فلز کادمیوم، کروم و سرب در تمام ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد.

تفاوت معنی‌دار نداشت ( $p > 0.05$ )، همچنین همبستگی معنی‌داری بین خاک کنوکارپوس و برگ‌های شسته شده آن مشاهده نشد ( $p > 0.05$ ) ولی با برگ‌های شسته نشده آن همبستگی معنی‌دار وجود داشت ( $p < 0.05$ ) و ضریب پیرسون در هر دو مثبت مشاهده شد. بین میزان تجمع کادمیوم در خاک اکالیپتوس و برگ‌های شسته نشده آن، همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت ( $p < 0.05$ ) ولی با برگ‌های شسته شده همبستگی معنی‌دار وجود نداشت ( $p > 0.05$ ) همچنین بین خاک کنوکارپوس و برگ‌های شسته شده و شسته نشده آن همبستگی معنی‌دار مشاهده شد ( $p < 0.05$ ).



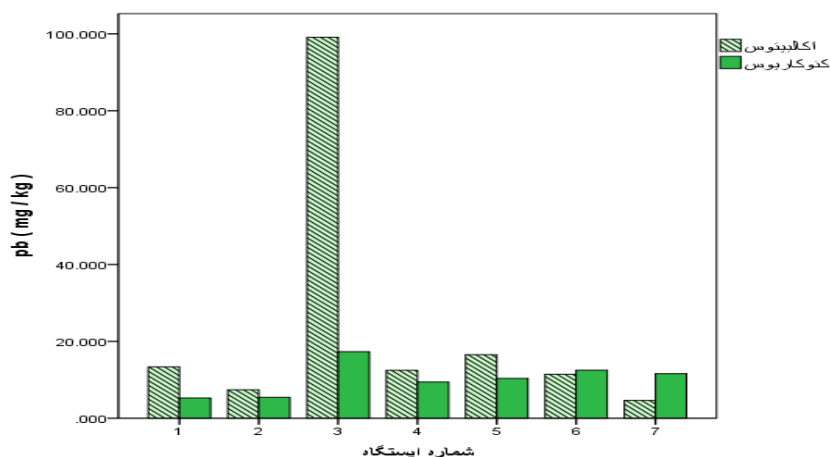
نمودار (۱): مقایسه فلزات موجود در برگ‌های شسته شده گیاه اکالیپتوس و کونوکارپوس در تمام ایستگاه‌ها برای فلز کادمیوم.

Chart (1): Comparison of metals present in washed leaves of Eucalyptus and Conocarpus plants at all stations for cadmium metal.



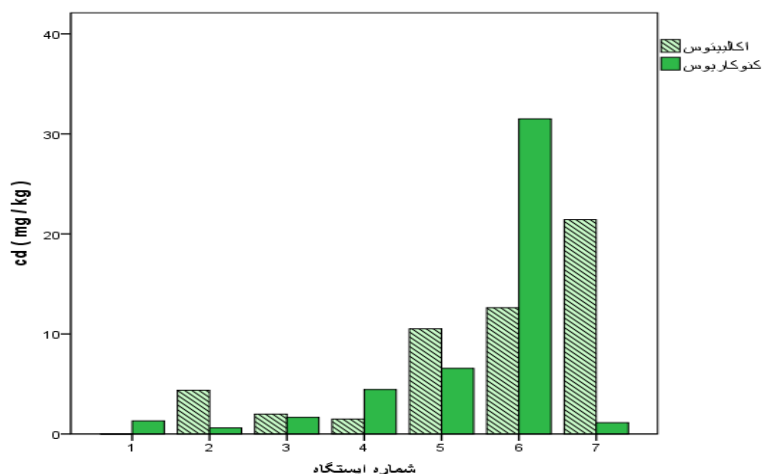
نمودار (۲): مقایسه فلزات موجود در برگ‌های شسته شده گیاه اکالیپتوس و کونوکارپوس در تمام ایستگاه‌ها برای فلز کروم.

Chart (2): Comparison of metals present in washed leaves of Eucalyptus and Conocarpus plants at all stations for chromium metal.



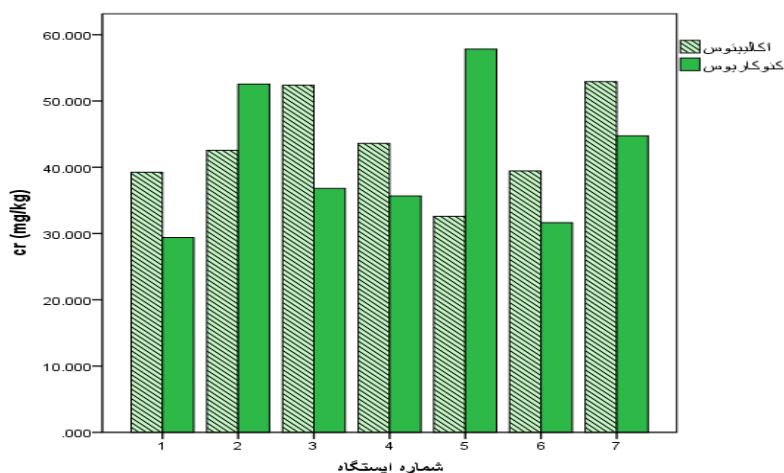
نمودار (۳): مقایسه فلزات موجود در برگ‌های شسته شده گیاه اکالیپتوس و کونوکارپوس در تمام ایستگاه‌ها برای فلز سرب.

Chart (3): Comparison of metals present in washed leaves of Eucalyptus and Conocarpus plants at all stations for lead metal.



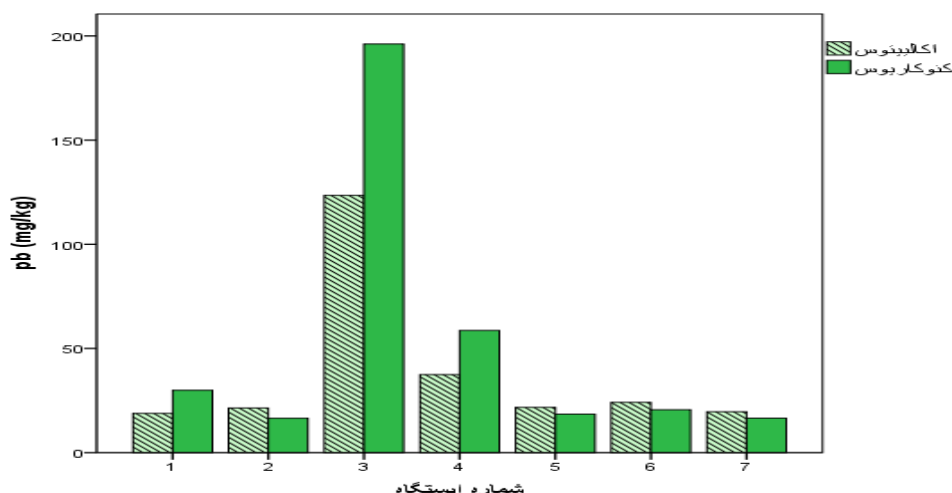
نمودار (۴): مقایسه فلزات موجود در برگ‌های شسته نشده گیاه اکالیپتوس و کونوکارپوس در تمام ایستگاه‌ها برای فلز کادمیوم.

Chart (4): Comparison of metals present in unwashed leaves of Eucalyptus and Conocarpus plants at all stations for cadmium metal



نمودار (۵): مقایسه فلزات موجود در برگ‌های شسته نشده گیاه اکالیپتوس و کونوکارپوس در تمام ایستگاه‌ها برای فلز کروم.

Chart (5): Comparison of metals present in unwashed leaves of Eucalyptus and Conocarpus plants at all stations for chromium metal.



نمودار (۶): مقایسه فلزات موجود در برگ‌های شسته نشده گیاه اکالیپتوس و کنوکارپوس در تمام ایستگاه‌ها برای فلز سرب.  
 Chart (6): Comparison of metals present in unwashed leaves of Eucalyptus and Conocarpus plants at all stations for lead metal.

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج مشخص گردید که بیشترین مقادیر تجمع فلزات در خاک و برگ‌های شسته شده گیاهان کنوکارپوس و اکالیپتوس برای فلزات سرب، کروم و کادمیوم به ترتیب ۱۶۹/۵، ۷۰۶/۸ و ۹۰/۸ میکروگرم بر کیلوگرم ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) در نمونه‌های خاک و ۱۹۶/۳، ۵۷/۹۸ و ۳۱/۹۵ میکروگرم بر کیلوگرم ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) در برگ کنوکارپوس و ۱۲۳/۹۹، ۵۳/۳۶ و ۲۱/۸ میکروگرم بر کیلوگرم ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) در نمونه‌های برگ اکالیپتوس مشاهده شد. همچنین محاسبه ضریب تجمع زیستی در مورد این فلزات نشان داد که تنها گیاه کنوکارپوس قادر به جذب فلز کادمیوم از خاک است و هیچ یک از دو گیاه توانایی چندان برای انتقال دو فلز سرب و کروم از خاک به اندام‌های هوایی خود نشان ندادند. همبستگی معنی داری میان برگ‌های شسته شده و شسته نشده گیاه اکالیپتوس و خاک آن برای فلز سرب مشاهده نشد و در مورد گیاه کنوکارپوس تنها بین خاک و برگ‌های شسته شده این گیاه همبستگی وجود داشت. در مورد فلز کروم بین خاک با برگ‌های شسته شده و شسته نشده اکالیپتوس و کنوکارپوس همبستگی مثبت و معنی داری مشاهده شد. همچنین همبستگی معنی داری بین خاک و برگ شسته نشده اکالیپتوس و خاک و برگ‌های شسته شده و شسته نشده کنوکارپوس وجود داشت.

در مطالعات مشابه نتایج حاصل از بررسی توانایی سه گونه درختی برهان، کنار و اکالیپتوس در تجمع فلز سرب در محدوده شهری شهرستان دزفول نیز هیچ یک از گیاهان قابلیت تجمع این فلز را در اندام‌های گیاهی خود نداشتند (۹) و همچنین غلظت کادمیوم در سه گونه برهان، کهور و

کنوکارپوس در مطالعه‌ای که در اطراف شرکت فولاد خوزستان انجام شد، در محدوده طبیعی قرار داشت و هیچ یک از گیاهان را نمی‌توان به عنوان گیاه بیش تجمع‌کننده در نظر گرفت (۱۰). در حالیکه در مطالعه حاضر با توجه به نتایج بدست آمده گیاه کنوکارپوس توانایی تجمع فلز کادمیوم را در برگ‌های خود نشان داد که نتایج مطالعات با مطالعه حاضر مغایرت داشت. همچنین در بررسی فلزات سنگین Pb, Cu, Mn, Cd, Fe, Zn در گیاه کنوکارپوس بعنوان یک پالاینده زیستی آلودگی هوا و خاک در شهر اهواز، تجزیه و تحلیل نمونه‌های خاک نشان داد که غلظت بسیاری از این عناصر پایین تر از حد مجاز است. غلظت فلزات سنگین در برگ‌های شسته شده کمتر از برگ‌های شسته نشده بود که با نتایج مطالعه حاضر در این زمینه هم خوانی داشت (۱۲). در پژوهشی که در منطقه صنایع تولید فولاد در جنوب شرق اهواز واقع در جاده بندر امام-ماهشهر انجام شد، نتایج نمایانگر آن بود که بیشینه میزان تجمع Fe در پوشش گیاهی در بخش هوایی گیاه علفی Taraxacumkotschy و در تیپ درختی کنوکارپوس مشاهده شد، بیشترین میزان Zn و Mn در بخش هوایی گیاه علفی T.kotschy و بیشترین مقدار Ni در تیپ درختی اکالیپتوس مشاهده شد و مقدار Pb در خاک و پوشش گیاهی قابل تعیین نبود. نتایج حاصل از محاسبه عامل تغلیظ زیستی و عامل انتقال مبین آن است که در بیشتر موارد و برای بیشتر فلزات مطالعه شده این شاخص‌ها بالاتر از یک است. بر اساس این مطالعه، غلظت فلزات در پوشش گیاهی منطقه از حد آستانه تعریف شده برای گیاهان بیش تجمع دهنده کمتر است. با این حال تصور می‌شود که گونه‌های گیاهی انتخاب شده توانایی تجمع و

- 1995 and spring 1996), Master's thesis, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, 1997.
- [6] Esmaeili Sari, Abbas. Pollutants, Health and Standards in the Environment, Tehran: Naghshe Mehr Publications, 2002, Tarbiat Modares University.
- [7] Esmaeili Sari, Abbas. Pollutants, Health and Standards in the Environment, Tehran: Naghshe Mehr Publications, 2002, Tarbiat Modares University.
- [8] Ahmadi, Behzad. Studying the role of heavy metals on human health. Office of Environmental Quality and Water Resources Protection, 2008, Zanjan Regional Water Company.
- [9] Jalili, Farzad and Hosseini, Nasser, Investigation of the effects of chromium on plant physiology and the environment, 2010, Fourth Specialized Conference on Environmental Engineering.
- [10] Binandeh, Ali. Investigation of the accumulation of heavy metal lead in the leaves of dominant tree species in Dezful city, Master's thesis on environmental pollution, Khuzestan University of Science and Research, 2013.
- [11] Alizadeh, Parisa. Investigation of the accumulation of heavy metals (Cd, Ni, Fe, Co, Zn) in the dominant vegetation around the Khuzestan Steel Company., Master's thesis on environmental pollution, Khuzestan University of Science and Research, 2012.
- [12] Mohammad Reza Khani, Mina., Fekri, Majid., Sarcheshmeh Pour, Mehdi. Investigation of the concentration of lead and cadmium elements in the aerial parts and roots of *Artemisia arvensis* in Sarcheshmeh copper mine, 2011., Proceedings of the First National Conference on Phytosanitary Control in Kerman, pp. 44-47.
- [13] Gholami, Ali, Davami, Amirhossein, Panahpour, Ebrahim, Amini, H. Investigation of the plant *Conocarpus erectus* as a biological purifier of air and soil pollution in the city of Ahvaz in 2011, Journal of Environment, Volume 6, 1735-1739.
- [14] Hosseinzadeh Monfared, Sajjad, Shirvani, Anoushirvan, Matinzadeh, Mohammad, Zahedi, Ghavamuddin, Investigation of the bioremediation ability of the acacia tree species (*Robinia pseudoacacia*) to absorb two elements, lead and cadmium, in 22 Bahman Park, Karaj, 2011, First Conference on Environmental Remediation Technologies.
- [15] Saadatkhah, Atefeh. Comparison of the ability of heavy metals to accumulate in vegetation in the area around steel industries on the Bandar Imam-Mahshahr-Ahvaz road, Journal of Plant

انباشت فلزات مطالعه شده را در بخش هوایی خود دارند که با نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر مغایر است (۱۳). در بررسی اثر گیاه پالایی چند گونه درخت در اطراف مجتمع صنعتی زنجان نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین (Cr, Mn, Fe, ) در ایستگاه‌های نزدیک به مجتمع صنعتی بسیار بیشتر ایستگاه‌های دورتر از مجتمع بود که این مسئله بیانگر این است که فلزات سنگین موجود در برگ درختان در منطقه مورد مطالعه تنها مربوط به فعالیت‌های صنعتی سرب و روی ایران (NILZ) و مجتمع صنعتی (ZSIC) است. همچنین بهترین گیاه برای ذخیره و پالایش عناصر روی و کادمیوم درخت *Thuja orientalis* است که با مطالعه حاضر هم خوانی داشت (۱۴). همبستگی مثبت و معنی دار گیاه کونوکارپوس با خاک و قدرت تجمع این گیاه برای جذب فلز کادمیوم حاکی از توانایی این گونه به عنوان یک گیاه بیش انباشت کننده است. ولی در مورد فلزات سرب و کروم هیچ یک از گونه‌های گیاهی اکالیپتوس و کونوکارپوس را نمی‌توان جز گیاهان بیش انباشت کننده قوی دانست و بیشتر برای استفاده جهت کاهش آلودگی هوا مناسب هستند.

در نهایت می‌توان اشاره کرد که غلظت فلزات سرب، کروم و کادمیوم در منطقه تحت تاثیر فرآیندهای تولید در شرکت فولاد خوزستان بوده است. همچنین مقایسه میزان غلظت عناصر در این منطقه نشان داد که گونه درختچه‌ای بهتر از گونه درختی قادر به جذب این عناصر بوده و همچنین نوع فلز و نوع گونه گیاهی هم تاثیر عمده‌ای در میزان جذب این فلزات داشته است.

#### منابع

- [1] Adriano, D. C., 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer-Verlag, New York.
- [2] Boularbah, A., Schwartz, Ch., Bitton, G., 2005. Heavy metal contamination from mining sites in south Morocco: 2. Assessment of metal accumulation and toxicity in plants. Chemosphere 63: 811-817.
- [3] Chaney, R. L. M., Malik, Y. M., Li, S. L. Brown, Y. A., Baker, A. J. M., 1997. Phytoremediation of soil metals. Current Opinion in Biotechnology 8: 279-284.
- [4] Bayat, Fatemeh. Determination of lead content in air, water, plants and soil around a metal smelting complex (recovery of lead from used batteries), Master's thesis, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, 1991.
- [5] Farhang, Mohammad. Detection and measurement of heavy metals (cadmium, lead and zinc) in the Dez and Karun rivers (winter

- Biology, 2013, Year 5, Issue 16, pages 41 to 56.
- [16] Saba, G., Parizanganeh, A. H., Zamani, A., Saba, J., 2015. Phytoremediation of Heavy Metals Contaminated Environments: Screening for Native Accumulator Plants in Zanzan-Iran, Int. J. Environ. Res., 9(1):309-316.
- [17] Tomasevic, M., Anatanasijevic, D., Anicic, M., Delijanin, I., Peric-Grujic, A., Ristic, M., 2012. Lead concentrations and isotope ratios in urban tree leaves, journal of Ecological Indicators, Vol. 24, pp: 504-509.

## بررسی پدیده لایه بندی حرارتی و تغذیه گرایی در مرحله ساخت مخزن سد ابوالفارس استان خوزستان

نازلی مقدم یکتا<sup>۱\*</sup>

[nazlimoghadam@gmail.com](mailto:nazlimoghadam@gmail.com)

سید علی جوی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

### چکیده

**مقدمه:** در این مطالعه، پتانسیل تغذیه گرایی و لایه بندی حرارتی بررسی شده است. برای بررسی شدت تغذیه گرایی، بار آلودگی ورودی به مخزن از حوضه سد و منطقه تأثیر مستقیم آلودگی به طور جداگانه تخمین زده شده و نتایج با هم مقایسه شده اند. شاخص کارلسون و ولنوایدر

**روش:** برای محاسبه پتانسیل تغذیه گرایی از مدل استفاده شده است. با توجه به میزان بالای فسفر ورودی به مخزن از حوضه سد (۸۰۲۵ میکروگرم در لیتر) یا ناحیه تأثیر مستقیم آلودگی (۲۳۸۷ میکروگرم در لیتر)، در صورت تأیید ساخت سد، مخزن در حالت فوق غنی غذایی قرار خواهد گرفت.

**نتایج:** نتایج نشان می دهد که بار آلودگی ورودی به مخزن از ناحیه تأثیر مستقیم آلودگی به دلیل مساحت کمتر، کمتر از حوضه سد است؛ با این حال، شدت بالای غنی غذایی همچنان مورد انتظار است. پتانسیل لایه بندی حرارتی با استفاده از نمودار وتزل، شاخص اورلب و زمان ماند بررسی شده است، با توجه به  $Fr$  محاسبه شده (۰,۰۰۴) و زمان ماند (۳,۴۴)، نتایج، لایه بندی قوی در مخزن را تأیید می کند. علیرغم اقدامات مدیریتی مانند جلوگیری از تخریب مراتع، کنترل فرسایش، پاکسازی زمین قبل از آبیگری و غیره که می تواند برای بهبود کیفیت آب مخزن استفاده شود، با توجه به شرایط محیطی منطقه ای سد، این عوامل به همراه سایر عوامل اکولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی منجر به عدم تأیید پروژه در مطالعه ارزیابی اثرات زیست محیطی (EIA) می شوند.

**واژه های کلیدی:** لایه بندی حرارتی، تغذیه گرایی، حوزه آبریز، شاخص کارلسون، رابطه والن وایدر، مخزن سد ابوالفارس، شهرستان رامهرمز.

<sup>۱</sup> دکتری آلودگی های محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران \* (مسوول مکاتبات)

<sup>۲</sup> استاد گروه محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

## **Study of Eutrophication and Thermal Stratification in Construction phase of Abolfares Dam Reservoir in Khuzestan Province**

**Nazli Moghadamkia**<sup>1\*</sup>  
[nazlimoghadam@gmail.com](mailto:nazlimoghadam@gmail.com)  
**Ali Jozi**<sup>2</sup>

Accepted Date: May 6, 2025

Date Received: November 11, 2025

### **Abstract**

**Introduction:** In this study, potential of eutrophication and thermal stratification has been investigated. To study the eutrophication severity, pollution load entering the reservoir from dam basin and pollution direct impact area has been estimated separately and the results have been compared. Carlson Index and Vollenweider

**Method:** Model have been used to calculate eutrophication potential. Due to the high amount of phosphorus entering the reservoir from the dam basin (8025 µg/l) or pollution direct impact area (2387 µg/l), reservoir will be in a state of hyper eutrophic in case of dam construction confirmed.

**Results:** The results show pollution load entering the reservoir from pollution direct impact area is lower than the dam basin due to a smaller area; however, a high intensity of eutrophication is still expected. Potential of thermal stratification has been investigated by Wetzel Graph, Orlob index and Retention time, regarding to calculated Fr (0.004) and Retention time (3.44), the results confirm the strong stratification in the reservoir. Despite the management measures such as prevention of rangeland degradation, erosion control, land clearance before water taking, etc. can be used to improve reservoir water quality, according to environmental regional condition of the Dam, these factors along with other ecological and socio-economic factors leading to non-approval of the project in environmental impact assessment (EIA) study.

**Keywords:** Thermal stratification, Eutrophication, Basin, Carlson Index, Vollenweider Model, Abolfares dam reservoir, Ramhormoz Province.

---

<sup>1</sup> PhD in Environmental Pollution, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran  
\* (Corresponding Author)

<sup>2</sup> Professor, Department of Environment, Faculty of Technology and Engineering, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

## مقدمه

احداث سد و ذخیره کردن جریان‌های سطحی می‌تواند به سبب افزایش زمان ماند آب باعث تغییر کیفیت آب رودخانه گردد. بنابراین جهت تعیین نقش مخزن در کیفیت آب داخل مخزن و آب رها شده از سد و ارزیابی آن جهت مصارف مختلف و همچنین تأسیسات و فرایندهای مورد نیاز جهت تصفیه و رساندن آن به استانداردهای کیفی مورد نظر برای مصارف شرب و زراعی، نیاز به مطالعه وضعیت لایه‌بندی کیفی و حرارتی مخزن سد می‌باشد. از مهمترین پدیده‌های نامطلوبی که در آب‌های سطحی به خصوص دریاچه‌ها پس از احداث سد رخ خواهد داد می‌توان به لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی مخزن اشاره نمود. پدیده تغذیه گرایی<sup>۱</sup> معمولاً به دلیل رشد بیش از حد جلبک‌ها رخ می‌دهد. معمولاً تخلیه مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر در اثر ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی در محیط‌های آبی منجر به ایجاد چنین مشکلی می‌شود. کیفیت آب در دریاچه‌هایی که دچار تغذیه گرایی شده اند به شدت پایین می‌آید و رشد بیش از حد سیانوباکترها (آبنا، اسیلیاتوریا، نوستوک، میکروسیستیس و ...) منجر به تولید سموم (هپاتوتوکسین، نوروتوکسین و درماتوتوکسین) در آب می‌گردد که می‌تواند موجب مرگ و میر آبزیان و خصوصاً انسان گردد زیرا این سموم توسط روش‌های متداول تصفیه آب قابل حذف نمی‌باشند و مصرف چنین آب‌هایی برای شرب مناسب نمی‌باشد. لایه‌بندی حرارتی<sup>۲</sup> نیز به علت اختلاف چگالی ناشی از دما، شوری و مواد معلق ایجاد می‌شود. در اثر این پدیده، آب گرم تر در رولایه قرار می‌گیرد و رولایه (Epilimnion) را تشکیل می‌دهد که دارای شوری کم و مواد محلول و اکسیژن محلول کافی است. آب سرد در کف مخزن قرار گرفته و زیر لایه (Hypolimnion) را تشکیل می‌دهد که مواد محلول و شوری بیشتری دارد. بین این دو لایه یک لایه واسط به نام میان لایه (Metalimnion) قرار دارد که دارای گرادیان شدید دما می‌باشد. میان لایه (ترموکلاین) همانند سد مانع تبادلات دما، اکسیژن محلول و مواد مغذی در ستون آب شده و در نتیجه کیفیت آب در زیرلایه افت می‌کند. (راهنمای مطالعات کیفیت آب مخازن سدهای بزرگ، ۱۳۹۰)

یکی از مسایل مهم در مدیریت کیفی آب، تعیین مشخصه‌های لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی مخازن سدها می‌باشد. پیشرفت‌های اخیر در زمینه مطالعات کیفی آب مخازن سدها باعث تدوین مدل‌های جامع و پیچیده‌ای شده است که جهت پیش بینی این دو پدیده استفاده می‌شوند. از جمله این مدل‌ها

نرم افزار دو بعدی هیدرودینامیکی CE-Qual-w2 می‌باشد که نیازمند حجم اطلاعات قابل توجه جهت حل عددی معادلات حاکم است. لذا استفاده از معادلات تجربی جهت پیش بینی وضعیت لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی با توجه به زمان، هزینه و حجم اطلاعات مورد نیاز کمتر، مورد توجه می‌باشد و در مراحل اولیه بررسی به عنوان گزینه‌ای مناسب مطرح است. تحقیقات انجام شده قبلی در خصوص بررسی شرایط کیفی آب مخازن سدها بسیار گسترده بوده که بیشتر بروز این دو پدیده با استفاده از مدل‌های شبیه سازی مورد بررسی قرار گرفته است لیکن چهار تحقیق که مشابهت بسیار زیادی به تحقیق حاضر دارند می‌توان به بررسی بروز لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی در مخزن سد بافت (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۱)، بررسی لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی مخزن سد چغراخور (ریاحی پور و توفیق، ۱۳۸۷)، پایش پدیده تغذیه گرایی در دریاچه سد مخزنی اکباتان با بهره گیری از شاخص غنی شدگی کارلسون (نورمرادی و همکاران ۱۳۹۲) و بررسی وضعیت تغذیه گرایی دریاچه زریبار کردستان با استفاده از شاخص کارلسون و با بهره‌گیری از سامانه GIS (ابراهیم پور و همکاران ۱۳۸۹) اشاره نمود. در تحقیقات خارجی مشابه نیز می‌توان به بررسی نشانه‌های تغذیه گرایی در مخزن سد بجماتی لهستان (۶) و ارزیابی شرایط تغذیه گرایی با استفاده از پایش کیفیت آب مخازن (Vidovic. M et al., 2015) اشاره نمود. در این مقاله با استفاده از سه شاخص موقعیت جغرافیایی، فرود و زمان ماند اقدام به پیش بینی لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد شده است. همچنین احتمال تغذیه گرایی نیز با دو شاخص کارلسون و والن وایدر برآورد گردیده است. با توجه به اینکه هدف از ساخت این سد تامین نیازهای کشاورزی می‌باشد و این سد هنوز ساخته نشده است لذا بررسی این دو پدیده می‌تواند در برنامه ریزی‌های مطالعاتی و مدیریتی در آینده جهت ارتقا کیفیت آب خروجی از سد موثر باشد.

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

مطالعات مرحله اول سد ابوالفارس بر رودخانه‌ای با همین نام، در شهرستان رامهرمز از توابع استان خوزستان و در فاصله تقریبی ۴۰ کیلومتری شهر رامهرمز انجام گرفته است. رودخانه ابوالفارس در حدود ۹ کیلومتر پایین‌تر از محل پیشنهادی ساختگاه سد به رودخانه بزرگ مارون می‌ریزد. این سد، خاکی با هسته رسی، با ارتفاع ۵۵/۵ متر از بستر رودخانه، طول تاج سد ۲۴۸ متر، عرض تاج سد ۱۱/۵ متر، حجم مخزن ۲۶/۲ میلیون مترمکعب در تراز نرمال و مساحت مخزن در تراز نرمال و

<sup>1</sup> Eutrophication<sup>2</sup> Thermal Stratification

ماکزیمم به ترتیب حدود ۱۸۰ و ۱۹۱ هکتار می‌باشد. میانگین دبی سالانه رودخانه ابوالفارس ۲/۳۵ مترمکعب در ثانیه و حجم آبدهی متناظر با آن ۹۱/۵ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. حجم رسوب ۵۰ ساله این رودخانه ۲/۷ میلیون مترمکعب می‌باشد. کیفیت آب رودخانه ابوالفارس در فصول پر آبی و شرایط سیلابی مناسب ارزیابی می‌شود، اما در فصول کم آبی بویژه تابستان و پاییز دچار افت کیفی می‌شود. یکی از سرشاخه‌های رودخانه به نام تنگ تلخ که در بالادست مخزن سد از ساحل چپ به رودخانه می‌ریزد دارای آبی با کیفیت بسیار پایین است که کیفیت رودخانه ابوالفارس را تحت تاثیر قرار می‌دهد. طبق استاندارد کیفیت آب آبیاری FAO آب رودخانه ابوالفارس در تابستان برای مصرف آبیاری دارای محدودیت شدید می‌باشد اما مقادیر pH و TSS در نتایج حاصله از اندازه گیری‌های بعمل آمده در حد مناسب سنجش شده است. از لحاظ کاربری اراضی حوزه آبریز این سد را مراتع و مابقی را زمین‌های کشاورزی تشکیل می‌دهد. فعالیت‌های کشاورزی در منطقه عمدتاً به صورت کشت آبی در مجاورت رودخانه‌های ابوالفارس و مارون انجام می‌گیرد. کشت غالب به گندم و جو و بعد از آن به برنج، پیاز، عدس، گوجه فرنگی و خیار تعلق دارد.

هدف اصلی پروژه، تنظیم جریان رودخانه ابوالفارس به منظور تامین آب آبیاری اراضی پایاب در حوالی شهرک فجر می‌باشد که در حال حاضر بخشی از دبی پایه رودخانه به کمک بند انحرافی فجر در پایین دست محل پیشنهادی احداث سد ابوالفارس، استحصال شده و برای آبیاری این اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف ثانویه، تولید انرژی برقابی می‌باشد که ۲ واحد نیروگاه با ظرفیت ۴ مگاوات به عنوان ظرفیت نصب مناسب انتخاب گردیده است. لازم به ذکر است، یک چاه نفت در حال بهره برداری در محدوده مخزن سد ابوالفارس وجود دارد که در صورت اجرا و آگیری سد، مستغرق خواهد شد و طبق محاسبات صورت گرفته این مسئله هزینه‌های قابل توجهی (۳۵۶۰۰ میلیون ریال) به طرح تحمیل خواهد نمود و علاوه بر آن از دیدگاه محیط زیست، اکولوژی و بهداشت و سلامت از ریسک بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. موقعیت سد در شکل (۱) ارائه شده است. (مهندسین مشاور لار، ۱۳۹۴)

### روش انجام کار

روش انجام کار در این مقاله در قالب نمودار (۱) می‌باشد.

ابتدا بار آلودگی ورودی به مخزن برآورد و میزان فسفر ورودی به مخزن سد برآورد گردیده است. جهت تعیین بار آلودگی که

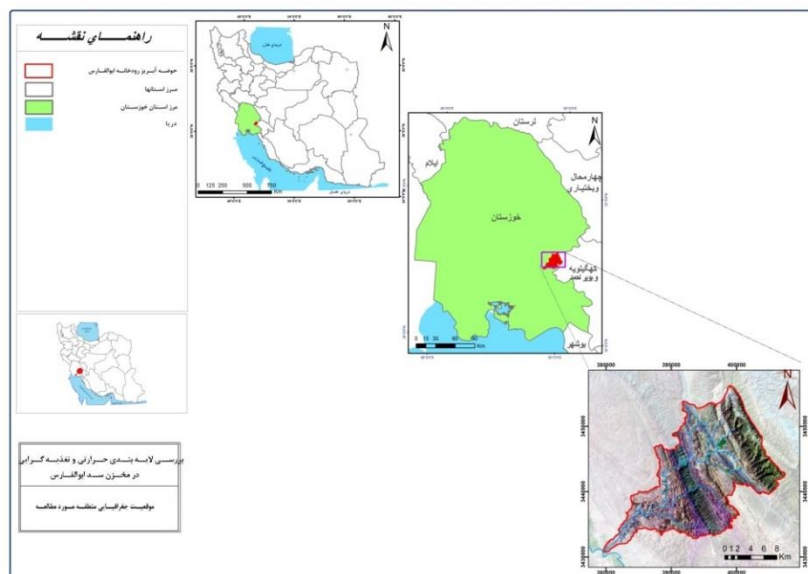
در صورت اجرای سد به مخزن آن وارد خواهد شد، بطور معمول حوزه آبریز بالادست سد به عنوان محدوده مطالعاتی در نظر گرفته می‌شود، اما غالباً کل بار آلودگی برآورد شده در حوزه آبریز به مخزن سد راه پیدا نمی‌کند و یا در طول مسیر رودخانه با توجه به توان رودخانه در خودپالایی بخشی از آن پالایش می‌شود؛ لذا اعداد محاسبه شده از واقعیت دور خواهند بود. به همین دلیل در این مطالعه به منظور افزایش دقت در میزان پیش بینی شده برای بار آلودگی که به مخزن سد ابوالفارس وارد خواهد شد، حوضه اثرگذار مستقیم آلودگی تعیین شده است. این حوضه با توجه به موقعیت قرار گرفتن سرشاخه‌ها و تعداد و جمعیت روستاهای حاشیه رودخانه که به نحوی در کیفیت آب رودخانه‌ها موثر می‌باشند و نیز کاربری اراضی در نظر گرفته شده است. حوزه آبریز بالادست سد شامل حوضه اثرگذار مستقیم نیز می‌باشد، در نتیجه مساحت وسیع‌تری را تحت پوشش قرار می‌دهد. (شکل ۲)

جهت برآورد بار آلودگی میزان بار آلودگی ناشی از نیتروژن و فسفر از فعالیت‌های انسانی (فاضلاب)، بار آلودگی ناشی از کاربری اراضی و همچنین دام‌ها محاسبه گردیده است و با توجه به اینکه در حوزه آبریز رودخانه ابوالفارس واحد صنعتی یا معدنی خاصی مستقر نمی‌باشد لذا بار آلودگی ناشی از آلاینده‌های صنعتی قابل اغماض است. میزان بار آلودگی در حوضه مستقیم اثرگذار آلودگی (Kg/Y) و در حوزه آبریز بالادست سد به ترتیب در جدول‌های (۱ و ۲) ارائه شده است.

محاسبه بار آلودگی در حوضه مستقیم اثرگذار سد نشان می‌دهد، مجموعاً میزان نیتروژن و فسفر کل ورودی از این محدوده به مخزن سد ابوالفارس از مجموع منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به ترتیب حدود ۳۶۱ و ۶۲ تن در سال خواهد بود. همچنین، میزان نیتروژن و فسفر کل ورودی از سطح حوزه آبریز بالادست سد به مخزن سد ابوالفارس از مجموع منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به ترتیب حدود ۱۰۷۵ و ۲۱۰ تن در سال برآورد شده است.

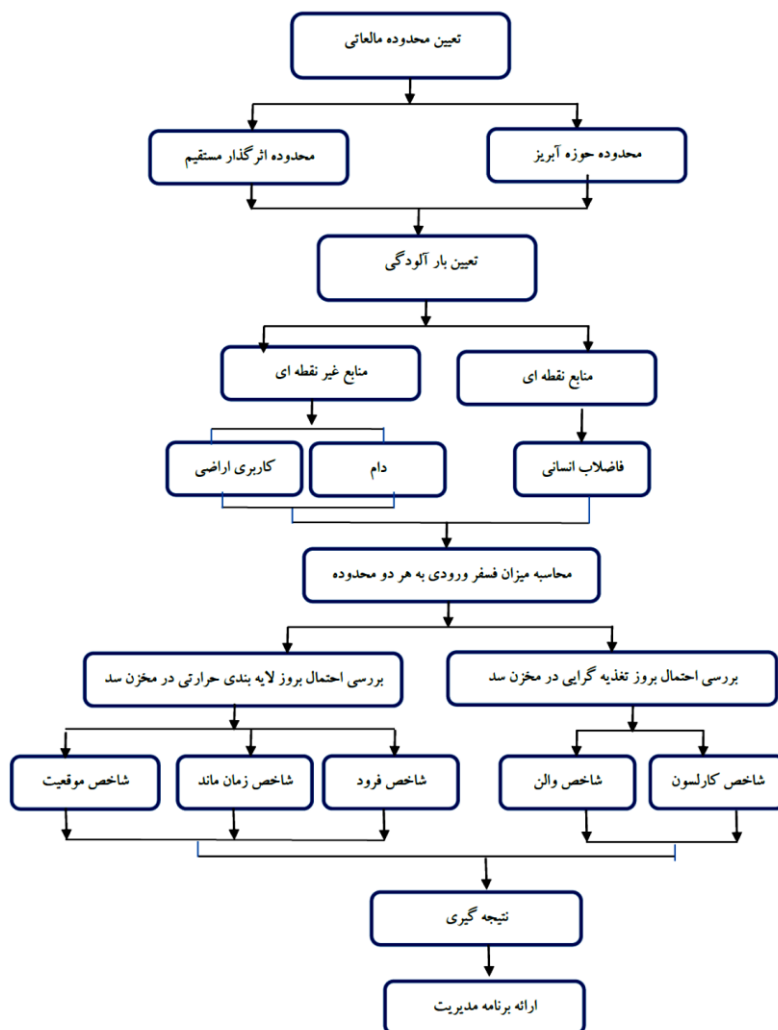
جهت محاسبه احتمال بروز تغذیه گرایی در مخزن سد از شاخص کارلسون و والن وایدر استفاده شده است. با استفاده از فرمول (۱) میزان TSI در شاخص کارلسون، محاسبه و با جدول (۳) مقایسه می‌گردد (Carlson, 1977).

$$TSI = 14.42 \ln \text{Total phosphorus } (\mu\text{g/L}) + 4.15 \quad \text{فرمول (۱)}$$



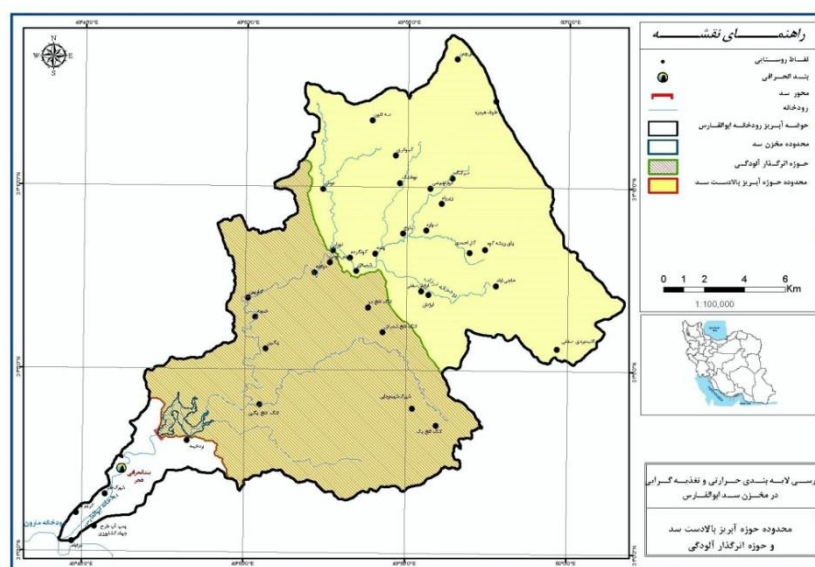
شکل (۱): موقعیت جغرافیایی سد.

Figure (1): Geographical location of the dam.



نمودار (۱): روش انجام کار.

Diagram (1): Method of doing the work.



شکل (۲): محدوده حوزه آبریز بالادست سد و حوزه مستقیم اثرگذار آلودگی.

Figure (2): Area of the dam's upstream catchment area and the direct area affected by pollution

جدول (۱): بار آلودگی در حوزه مستقیم اثرگذار آلودگی (Kg/Y)

Table (1): Pollution load in the direct area of pollution impact (Kg/Y)

| جمع کل    | منابع غیر نقطه ای |              | منابع نقطه ای | منابع آلاینده                |
|-----------|-------------------|--------------|---------------|------------------------------|
|           | دام               | کاربری اراضی | فاضلاب انسانی |                              |
| ۳۶۰۹۵۴/۹۳ | ۲۸۱۰۸۶/۵          | ۷۹۶۵۳/۶      | ۲۱۴/۸۳        | نیتروژن کل (TN) <sup>۱</sup> |
| ۶۲۵۳۵/۳۷  | ۵۹۵۲۹/۶۷          | ۲۹۶۲/۷۴      | ۴۲/۹۶         | فسفر کل (TP) <sup>۲</sup>    |

ماخذ: مهندسین مشاور لار، ۱۳۹۴، مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی سد مخزنی ابوالفارس.

جدول (۲): بار آلودگی در حوزه آبریز سد ابوالفارس (Kg/Y)

Table (2): Pollution load in the Abol Fares Dam catchment area (Kg/Y)

| جمع کل     | منابع غیر نقطه ای |              | منابع نقطه ای | منابع آلاینده |
|------------|-------------------|--------------|---------------|---------------|
|            | دام               | کاربری اراضی | فاضلاب انسانی |               |
| ۱۰۷۵۳۶۶/۴۴ | ۹۴۸۳۷۲/۲          | ۱۲۳۸۸۱/۰۵    | ۳۱۱۳/۱۹       | نیتروژن کل    |
| ۲۱۰۲۴۴/۷۵  | ۲۰۴۸۲۳/۴          | ۴۷۹۸/۷۲      | ۶۲۲/۶۳        | فسفر کل       |

ماخذ: مهندسین مشاور لار، ۱۳۹۴، مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی سد مخزنی ابوالفارس.

جدول (۳): مقادیر شاخص کارلسون برای تغذیه گرایی مخازن سدها

Table (3): Carlson index values for trophicity of dam reservoirs

| وضعیت کیفی آب | شاخص کیفیت آب (TSI) | سطح تغذیه گرایی                 |
|---------------|---------------------|---------------------------------|
| پاک           | ۳۰-۴۰ و کمتر        | اولیگوتروفیک (Oligotrophic)     |
| متوسط         | ۴۰-۵۰               | مزوتروفیک (Mesotrophic)         |
| بد            | ۵۰-۷۰               | یوتروفیک (Eutrophic)            |
| خیلی بد       | ۷۰-۱۰۰+             | هیپر یوتروفیک (Hyper eutrophic) |

ref: Carlson, 1977

<sup>1</sup> Total Nitrogen

<sup>2</sup> Total Phosphorus

$$t_w = \frac{V}{Q} \quad \text{فرمول (۳)}$$

در فرمول (۳):  $t_w$  = زمان ماند آب بر حسب سال،  $V$  = حجم مخزن بر حسب واحد حجم،  $Q$  = جریان سالانه بر حسب واحد جریان

#### یافته‌ها:

در حوزه اثرگذار مستقیم آلودگی، با توجه به حجم مخزن سد ابوالفارس (۲۶/۲ میلیون مترمکعب) و با فرض عدم تغییر در میزان نیتروژن و فسفر ورودی، غلظت نیتروژن در مخزن در دوران بهره برداری معادل ۱۳/۷۸ میلیگرم در لیتر و غلظت فسفر ۲۳۸۷ میکروگرم در لیتر خواهد بود و در حوزه آبریز بالادست سد غلظت نیتروژن در مخزن در دوران بهره برداری معادل ۴۱ میلیگرم در لیتر و غلظت فسفر ۸۰۲۵ میکروگرم در لیتر خواهد بود. بدین ترتیب در رابطه ارائه شده شاخص کارلسون و جایگذاری مقادیر فسفر:

$$TSI = 14/42 \ln 4/15 + 2387$$

$$14/42 \times 7/78 + 4/15 TSI =$$

$$116/34 TSI = (\text{حوزه اثرگذار مستقیم آلودگی})$$

$$TSI = 14/42 \ln 8025 + 4/15$$

$$14/42 \times 8/99 + 4/15 TSI =$$

$$TSI = 133/78 (\text{حوزه آبریز مستقیم سد})$$

بر این اساس، با توجه به جدول شاخص کیفیت آب دریاچه‌ها و میزان فسفر کل تولیدی، سطح تغذیه گرای دریاچه سد ابوالفارس در دو حالت در مرحله هیپریوتروفیک قرار خواهد گرفت که به معنی شرایط کیفی «خیلی بد» می‌باشد. بررسی احتمال بروز پدیده تغذیه گرای در مخزن نیز با رابطه والن وایدر با استفاده از جدول ۵ به تفکیک در حوزه اثر گذار مستقیم آلودگی و حوزه آبریز سد ابوالفارس برآورد و وضعیت آنها در شکل‌های (۳ و ۴) مشاهده می‌شود.

به منظور کنترل مجدد نتیجه استفاده از روش شاخص کارلسون، شرایط تغذیه گرای مخزن براساس شاخص والن وایدر برحسب زمان ماند، عمق متوسط و بار فسفر ورودی به مخزن مورد بررسی قرار می‌گیرد (۲ و ۵).

احتمال بروز پدیده لایه‌بندی حرارتی با استفاده از شاخص فرود، شاخص زمان ماند آب و شاخص موقعیت جغرافیایی بررسی گردیده است. براساس نمودار ارائه شده توسط (Wetzel, 1975)، با توجه به مختصات جغرافیایی سد، امکان پیش بینی لایه‌بندی حرارتی با توجه به موقعیت جغرافیایی وجود دارد.

همچنین با استفاده از شاخص فرود، فرمول (۲) در حالت یک بعدی ارائه شده است (۴).

$$Fr = \frac{320 L \times Q}{d \times v} \quad \text{فرمول (۲)}$$

در فرمول (۲):  $Fr$  = عدد فرود،  $L$  = طول دریاچه سد (متر)،  $Q$  = دبی ورودی به مخزن (مترمکعب در ثانیه)،  $d$  = عمق متوسط مخزن (متر)،  $V$  = حجم مخزن (مترمکعب)

در روش اورلاب براساس عدد حاصله برای  $Fr$  سه حالت یا شدت مختلف برای پدیده لایه‌بندی حرارتی بدست خواهد آمد (جدول ۴)

جدول (۴): حالت‌های مختلف روش اورلاب

Table (4): Different modes of the overlap method

|                |                      |   |
|----------------|----------------------|---|
| لایه‌بندی شدید | $Fr < \frac{1}{\pi}$ | ۱ |
| لایه‌بندی ضعیف | $0.1 < Fr < 1$       | ۲ |
| اختلاط کامل    | $Fr > 1$             | ۳ |

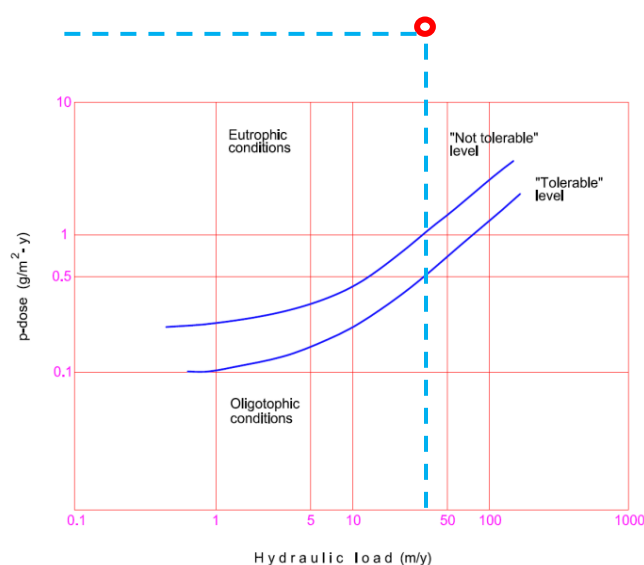
ref: Orlob, G.T., 1983.

در انتها نیز احتمال بروز لایه‌بندی حرارتی با شاخص زمان ماند مورد بررسی قرار گرفته که این شاخص طبق فرمول (۳) محاسبه می‌شود:

جدول (۵): پارامترهای مورد نیاز در استفاده از شاخص والن وایدر

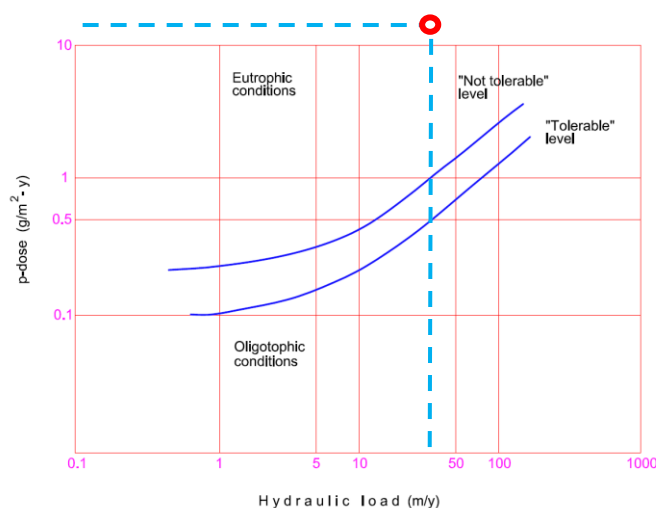
Table (5): Parameters required for using the Wallen-Wider index

| حوزه آبریز سد |                                             | حوزه اثرگذار مستقیم آلودگی |                                             |
|---------------|---------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|
| مقدار         | پارامتر                                     | مقدار                      | پارامتر                                     |
| ۱۳/۳          | عمق متوسط (m)                               | ۱۳/۳                       | عمق متوسط (m)                               |
| ۰/۲۹          | زمان ماند (Year)                            | ۰/۲۹                       | زمان ماند (Year)                            |
| ۴۵/۸۶         | $H/t_w$ (m/yr)                              | ۴۵/۸۶                      | $H/t_w$ (m/yr)                              |
| ۲۱۰۲۴۴/۷۵     | بار فسفر کل (Kg/yr)                         | ۶۲۵۳۵/۳۷                   | بار فسفر کل (Kg/yr)                         |
| ۱/۹۱۳         | مساحت مخزن (Km <sup>2</sup> ) در رقوم نرمال | ۱/۹۱۳                      | مساحت مخزن (Km <sup>2</sup> ) در رقوم نرمال |
| ۱۰۹/۹         | $L_p$ (g/m <sup>2</sup> /yr)                | ۳۲/۶۹                      | $L_p$ (g/m <sup>2</sup> /yr)                |



شکل (۳): وضعیت تغذیه گرایی مخزن سد ابوالفارس براساس شاخص والن وایدنر (حوزه آبریز سد).

Figure (3): Nutrient status of the Abol Fares Dam reservoir based on the Wallenwider index (dam catchment area).

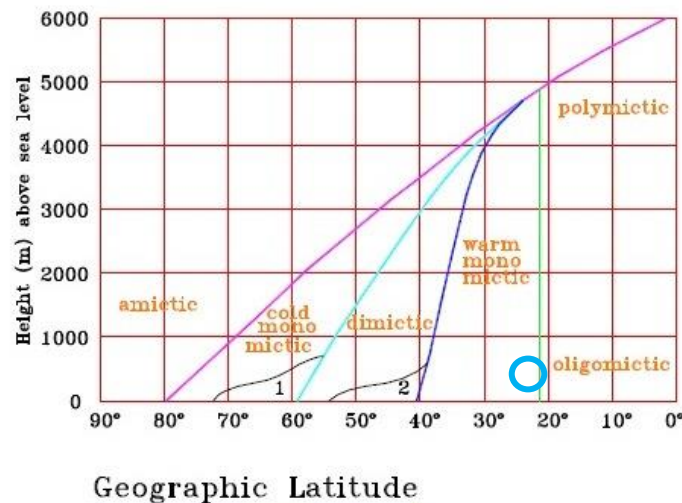


شکل (۴): وضعیت تغذیه گرایی مخزن سد ابوالفارس براساس شاخص والن وایدنر (حوضه اثرگذار مستقیم).

Figure (4): The eutrophication status of the Abol Fares Dam reservoir based on the Wallen-Wider index (directly affected basin).

آلاینده‌های انسانی (فاضلاب)، آلاینده‌های دامی و آلاینده‌های ناشی از کاربری اراضی، نسبت به حجم مخزن پذیرنده (کوچک بودن مخزن سد) بسیار بیشتر بوده و قطعاً با ورود آنها شرایط کیفی مخزن سد مناسب نخواهد بود. لازم به ذکر است محاسبات ارائه شده تجربی می‌باشند و برای مطالعه دقیق‌تر پدیده‌ها و شناخت اثرات آنها پیشنهاد می‌گردد، با استفاده از نتایج دقیق بدست آمده از کیفیت آب رودخانه، مطالعات شبیه سازی مغذی شدن به موازات شبیه سازی لایه‌بندی حرارتی انجام گیرد. احتمال بروز پدیده لایه‌بندی حرارتی مخزن سد براساس نمودار Wetzel، در شکل (۵) ارائه شده است.

چنانچه در نمودارهای فوق مشاهده می‌شود، شرایط کیفی آب مخزن سد ابوالفارس در دوران بهره برداری به سطح هیپریوتروفیک یا غیرقابل تحمل خواهد رسید. نکته قابل توجه آن است که میزان بار فسفر کل ورودی چه از سطح حوزه آبریز سد در نظر گرفته شود و چه از سطح محدوده اثرگذار مستقیم در نتیجه تفاوت چشمگیری حاصل نمی‌شود و در هر دو صورت کیفیت آب مخزن (خیلی بد) خواهد بود. از دلایل عمده ایجاد این شرایط برای مخزن سد ابوالفارس، می‌توان به میزان بالای بار آلودگی تولیدی نسبت به حجم و ابعاد کوچک مخزن سد اشاره نمود. در واقع حجم فسفر تولیدی ناشی از



شکل (۵): الگوی جانمایی حرارتی دریاچه‌ها و مخازن براساس عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا.

Figure (5): Thermal displacement pattern of lakes and reservoirs based on latitude and altitude above sea level.

مخزن سد فقط در ماه‌های سرد سال اتفاق خواهد افتاد، پیش بینی می‌شود لایه‌بندی حرارتی با شدت کمتری رخ دهد. براساس شاخص زمان ماند و جاگذاری در فرمول زمان ماند آب در مخزن سد ابوالفارس، ۰/۲۹ سال (حدود ۳ ماه) خواهد بود که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$tw = \frac{0.29}{91.5} \longrightarrow tw = \frac{26.2}{0.29} = 90.34$$

براساس شاخص عکس زمان ماند، در صورتیکه عکس زمان ماند کمتر از ۱۰ باشد، لایه‌بندی در مخزن ایجاد خواهد شد. این شاخص در سد ابوالفارس براساس فرمول به میزان ۳/۴۴ محاسبه می‌شود؛ لذا احتمال بروز پدیده لایه‌بندی حرارتی وجود خواهد داشت.

#### بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس اعداد و ارقام به دست آمده از روابط و با توجه به معیارهای ارائه شده در مجموع می‌توان به نکات زیر توجه نمود:

- جهت تعیین وضعیت لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی مخازن سدها، در مراحل اولیه مطالعات، علاوه بر استفاده از مدل‌های پیچیده که نیازمند حجم بالای اطلاعات جهت شبیه سازی هستند می‌توان از معادلات تجربی استفاده کرد که به حداقل داده‌های موجود قادر به پیش بینی نسبتاً دقیق وضعیت لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی مخزن سد می‌باشند به این منظور کافی است که با برآورد میزان فسفر ورودی به مخزن بر اساس نمونه برداری‌ها و یا محاسبه

براساس شکل (۵) مخزن در تک گردشی گرم قرار دارد. لذا ذکر این موضوع ضروری است که در مخازن در شرایط monomictic گردش آب یک بار در سال در پاییز و لایه‌بندی در تابستان رخ می‌دهد. مخازن مونومیکتیک دارای ویژگی‌های زیر می‌باشند:

- ۱- دمای آب در این مخازن هیچ گاه به کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد نمی‌رسد.
- ۲- در این رژیم حرارتی تنها یکبار در سال واژگونی رخ می‌دهد که دارای تناوب نسبتاً طولانی است.
- ۳- شروع فصل بهار شروع شکل‌گیری لایه‌بندی حرارتی در این نوع مخازن است به گونه‌ای که در اواسط تابستان تقریباً لایه‌بندی شدیدی در آن‌ها شکل می‌گیرد و تا پایان تابستان نیز ادامه دارد.
- ۴- این دریاچه‌ها بخش عمده‌ای از زمستان و اوایل بهار را در شرایط اختلاط کامل به سر می‌برند.
- ۵- دریاچه‌های واقع در عرض‌های جغرافیایی ۲۰ تا ۴۰ درجه (تقریباً تمام سدهای ایران) دارای چنین ویژگی می‌باشند. با استفاده از شاخص فرود و جاگذاری اعداد در فرمول مربوطه میزان Fr برای مخزن سد ابوالفارس به شرح زیر به میزان ۰/۰۴ محاسبه می‌گردد:

$$Fr = 320 \frac{630 \times 2.9}{13.3 \times 91.5 \times 10^6} = 0.004$$

مقایسه نتیجه حاصله با حالت‌های مختلف روش اورلاب نشان می‌دهد که با فرض پر بودن مخزن سد، انتظار بروز پدیده لایه‌بندی حرارتی شدید وجود دارد. اما از آنجایی که پر بودن

۷- مقایسه نتایج به دست آمده با مطالعات مشابه در سد بافت نشان می‌دهد که در سد بافت بر اساس شاخص اورلاب و نمودار Wetzel احتمال بروز لایه‌بندی حرارتی وجود داشته که همانند سد ابوالفارس می‌باشد لیکن مخزن سد بافت بر طبق رابطه تجربی والن وایدنر و کارلسون در شرایط مغذی قرار می‌گیرد در حالیکه مخزن سد ابوالفارس در شرایط هیپریوتروفیک است. همچنین سد چغارخور نیز بر اساس شاخص اورلاب دارای لایه‌بندی شدید حرارتی می‌باشد که نمودار Wetzel و شاخص زمان ماند نیز این نتیجه را تایید می‌نماید که نتایج مشابه سد ابوالفارس می‌باشد. بررسی پدیده تغذیه گرایی در مخزن سد اکباتان نیز نشان داد که بیش از ۵۰ درصد از سطح ۲۲۰۰ هکتاری دریاچه در وضعیت هیپرتروفیک قرار دارد. سد بجماتی لهستان نیز با توجه به شاخص کارلسون در شرایط مغذی قرار دارد در حالیکه مخزن سد ابوالفارس در شرایط هیپریوتروفیک است. همچنین بررسی پدیده تغذیه گرایی در سد گرلیست که در سال ۱۹۸۹ در صربستان ساخته شده است نشان می‌دهد که مخزن در دو سال اول پس از آگیری در شرایط هیپریوتروفیک، در هشت سال بعدی در شرایط یوتروفیک - هیپریوتروفیک و پس از آن تا کنون در شرایط هیپریوتروفیک قرار می‌گیرد.

۸- بطور کلی با توجه به شرایط محدوده مطالعاتی، روش‌های مدیریتی زیر می‌تواند در کاهش بار آلودگی حوضه نقش داشته باشد:

- با توجه به اینکه بیشترین کاربری اراضی در حوزه آبریز به ترتیب مربوط به مراتع (متراکم، نیمه متراکم و فقیر) می‌باشند، جلوگیری از تخریب بیشتر پوشش گیاهی مهمترین فاکتور کنترل فرسایش خاک و ورود رسوبات حامل آلاینده‌ها به مخزن سد می‌باشد. بنابراین اجرای برنامه‌های احیاء و مدیریت مراتع موثرترین راه حفظ پوشش گیاهی در سطح حوزه محسوب می‌شود.

- انجام مطالعات جامع آبخیزداری و اجرای برنامه‌های حفاظت خاک در سطح حوزه به ویژه در حوزه مشرف به مخزن سد با توجه به فرسایش پذیری زیاد حوزه.

- کنترل مصرف کود و سموم کشاورزی در اراضی کشاورزی واقع در سطح حوزه که البته از مساحت زیادی برخوردار نیستند.

- پاکتراضی محدوده مخزن قبل از آگیری.

- انجام مطالعات مدل‌سازی کیفیت مخزن جهت تعیین وضعیت مخزن از لحاظ احتمال بروز پدیده‌های لایه‌بندی حرارتی و یوتروفیکاسیون که با استناد به نتایج آن می‌توان با طراحی

میزان بار آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی، کشاورزی و دامداری و صنعتی و نیز توجه به مشخصات فیزیکی، هیدرولیکی مخزن، میانگین غلظت فسفر را با استفاده از روابط تجربی تعیین نمود.

۲- با استفاده از شاخص کارلسون مشخص گردید، با توجه به میزان فسفر ورودی به مخزن سد چه از حوضه اثرگذار مستقیم و چه از حوزه آبریز سد، مخزن سد ابوالفارس در مرحله هیپریوتروفیک یا شرایط کیفی خیلی بد قرار می‌گیرد. دلیل عمده‌ای که در هر دو محدوده مورد بررسی، علیرغم شرایط مختلف از لحاظ مساحت، کاربری، تعداد جمعیت و ...، شرایط کیفی مخزن سد ابوالفارس (خیلی بد) پیش بینی می‌شود، کوچک بودن حجم مخزن نسبت به منابع آلاینده ورودی است که آن را بسیار آسیب پذیر می‌نماید.

۳- طبق رابطه تجربی والن وایدنر شرایط کیفی آب مخزن سد ابوالفارس در دوران بهره برداری به سطح هیپریوتروفیک یا غیرقابل تحمل خواهد رسید. نکته قابل توجه آن است که میزان بار فسفر کل ورودی چه از سطح حوزه آبریز سد در نظر گرفته شود و چه از سطح محدوده اثرگذار مستقیم در نتیجه تفاوت چشمگیری حاصل نمی‌شود و در هر دو صورت کیفیت آب مخزن (خیلی بد) خواهد بود. بدین ترتیب، نتیجه استفاده از این روش، نتیجه حاصله از روش شاخص کارلسون را تایید نموده و بر آن صحنه می‌گذارد.

۴- از دلایل عمده ایجاد این شرایط برای مخزن سد ابوالفارس، می‌توان به میزان بالای بار آلودگی تولیدی نسبت به حجم و ابعاد کوچک مخزن سد اشاره نمود. در واقع حجم فسفر تولیدی ناشی از آلاینده‌های انسانی (فاضلاب)، آلاینده‌های دامی و آلاینده‌های ناشی از کاربری اراضی، نسبت به حجم مخزن پذیرنده (کوچک بودن مخزن سد) بسیار بیشتر بوده و قطعاً با ورود آنها شرایط کیفی مخزن سد مناسب نخواهد بود.

۵- با توجه به نمودار Wetzel، مخزن سد جزء مخازن مونومیکتیک (monomictic) گرم می‌باشد که لایه‌بندی در این مخازن تا اواخر تابستان ادامه دارد.

۶- شاخص اورلاب و شاخص زمان ماند نیز احتمال بروز لایه‌بندی شدید در مخزن سد ابوالفارس را تایید می‌نماید و با فرض پر بودن مخزن سد، انتظار بروز پدیده لایه‌بندی حرارتی شدید وجود دارد، اما از آنجایی که پر بودن مخزن سد فقط در ماه‌های سرد سال اتفاق خواهد افتاد، پیش بینی می‌شود لایه‌بندی حرارتی با شدت کمتری رخ دهد.

- [6] Siemieniuk, A., Szykowska, J., Wiater, J., 2015. "Symptoms of Water Eutrophication In The Bachtamy Reservoir", Journal of Ecological Engineering, Volume16, Issue4, P. 89-95
- [7] Vidovic, M.M., Rodic, M.N, Vidovic, M.U, Trajkovic, I.S, Jovanic, S.Z, 2015. "Assessment of the Trophic status by Monitoring of Reservoir's Water Quality", Journal of Water Resources and Protection, 2015, 7, 1-13
- [8] Presidential Planning and Strategic Affairs Office, 2011, Publication No. 550, Guide to Water Quality Studies of Large Dam Reservoirs
- [9] Lar Consulting Engineers, 2015, Environmental Impact Assessment Studies of Abol Fares Reservoir Dam
- [10] Ebrahim et al., 2012, Investigation of the occurrence of thermal stratification and trophicity in the Baft Dam reservoir. National Conference on Water Flow and Pollution, University of Tehran
- [11] Riahipour et al., 2008, Investigation of thermal stratification and trophicity of the Choghar Khor Dam reservoir
- [12] Noormordadi et al., 2014, Monitoring the phenomenon of eutrophication in the Ekbatan reservoir lake using the Carlson enrichment index. Scientific Research Assembly of Ilam University of Medical Sciences.
- [13] Ebrahimpour et al., 2010, Investigating the trophic status of Lake Zaribar, Kurdistan, using the Carlson index and GIS system.

صحیح دریچه‌های خروج آب و آبگیرها در ترازهای ارتفاعی

مناسب اثرات سوء آن را به حداقل کاهش داد.

- تنظیم زمانی برنامه ریزی منابع آب و میزان رهاسازی آب با

نیازهای آبی مختلف با زمان‌های بحرانی از لحاظ لایه‌بندی

حرارتی و کیفی

۹- در انتها با توجه به نتایج حاصل از روابط و نمودارهای

تجربی، مخزن سد ابوالفارس می‌تواند دچار پدیده لایه‌بندی

حرارتی و تغذیه‌گرایی گردد که این عامل در کنار سایر عوامل

اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی منجر به عدم تایید اجرای سد

در مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی گردیده است.

#### منابع:

- [1] Carlson, R. E., A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography, 1977; 22: 361-9
- [2] Vollenweider. R. A., 1976, Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem. ISt.Ital. Idrobiol., 33: 53-83
- [3] WETZEL, R. G., Limnology, 1975.
- [4] Orlob, G. T., 1983. "Mathematical Modeling of Water Quality: Streams, Lakes and Reservoirs", International Institute for Applied Systems Analysis, University of California.
- [5] Vollenweider. R. A. and Kerekes J. J., 1980, Background and summary results of the OECD cooperative program on eutrophication, In: Proceeding of the International Symposium on Inland Waters and Lake Restoration U.S. Environmental Protection Agency. EPA 440/5-81-010, P. 25-36



## ارزیابی کیفیت هوا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)<sup>۱</sup> (مطالعه موردی: شهر تهران)

نرگس عرب<sup>۲</sup>

[Narges.arab87@gmail.com](mailto:Narges.arab87@gmail.com)

سید حامد میر کریمی<sup>۳</sup>

عبدالرسول سلمان ماهینی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۱

### چکیده

**زمینه و هدف:** امروزه آلودگی هوا به عنوان یکی از مشکلات اصلی جوامع بشری مطرح است. گسترش شهرنشینی، افزایش بی‌رویه جمعیت، توسعه فعالیت‌های صنعتی و مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی به شدت میزان آلودگی را افزایش داده است. بنابراین، مدیریت کیفیت هوا برای به حداقل رساندن اثرات مضر آلاینده‌های هوا و کاهش اثرات نامطلوب آن امری ضروری است. امروزه، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزارهای موثر و کارآمدی برای تصمیم‌گیری و مدیریت آلودگی هوا علاوه بر سایر زمینه‌ها به شمار می‌روند.

**روش بررسی:** در این پژوهش ابتدا از طریق روش کریجینگ معمولی برای آلاینده‌های  $NO_2$ ،  $O_3$ ،  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $SO_2$ ،  $NO$ ،  $NO_x$  و  $CO$  نقشه تهیه شده و به روش فازی استانداردسازی شده و سپس هر یک از نقشه‌ها با استفاده از روش AHP وزن‌دهی گردید. پس از استنتاج وزن‌ها، امتیازات به‌دست آمده در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) اعمال و با استفاده از روش روی هم‌گذاری موزون، نقشه آسیب‌پذیری منطقه‌های تهران از نظر آلاینده‌های اصلی تهیه شد.

**یافته‌ها و نتایج:** با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش مشخص گردید مناطق ۳ و ۶ و ۷ شهر تهران دارای بیشترین آلودگی‌ها در مقایسه با دیگر مناطق این شهر هستند. این مناطق در اطراف مناطق مرکزی تهران قرار دارد که دارای تراکم ترافیک بالایی است.

**واژه‌های کلیدی:** کیفیت هوا، آلاینده‌ها، شهر تهران، سامانه اطلاعات جغرافیایی.

<sup>۱</sup> Geographic Information System

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران \* (مسئول مکاتبات)

<sup>۳</sup> استادیار، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

## **Air quality assessment using geographic information system (GIS) (Case study: Tehran City)**

**Narges Arab**<sup>1\*</sup>

[Narges.arab87@gmail.com](mailto:Narges.arab87@gmail.com)

**Seyed Hamed Mirkarimi**<sup>2</sup>

**Abdol Rasol Mahini**<sup>3</sup>

Accepted Date: August 12, 2015

Date Received: April 21, 2015

### **Abstract**

**Backgrounds and Objectives:** Today, air pollution is one of the main problems of human societies. Urbanization, increase of population and industrial activities and indiscriminate use of fossil fuels all increase levels of pollution sharply. Air quality management to minimize the harmful effects of air pollutants and reducing their adverse effects is necessary. Geographic information system (GIS) is an effective tool for decision making and management.

**Materials and Methods:** In this study, using ordinary kriging for pollutants NO<sub>x</sub>, NO, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, 2 NO and CO maps were prepared and fuzzy standardization method was then applied. Next, each map was weighted using the AHP method. Afterwards, these weights were applied in an overlay process in geographical information system (GIS). Hence, a separate vulnerability map was provided from each pollutant.

**Results and Conclusion:** According to the results districts 3, 6, 1 and 7 of Tehran have maximum level of pollution compared to other districts. These districts are those located around central areas of Tehran with high traffic.

**Keywords:** Air quality, pollutants, Tehran City, geographic information system.

---

<sup>1</sup> Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran \* (*Corresponding Author*)

<sup>2</sup> Assistant Professor, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

## ۱- مقدمه

امروزه آلودگی هوا به عنوان یکی از مشکلات جوامع بشری مطرح است (۱)(۲). گسترش شهرنشینی، افزایش بی‌رویه جمعیت، توسعه فعالیت‌های صنعتی و مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی به شدت میزان آلودگی را افزایش داده است. بنابراین مشکل آلودگی هوا به یکی از مباحث مطرح محیط‌زیستی در طی دهه‌های اخیر تبدیل شده است. تأثیرهای نامطلوب آلودگی هوا در شهرهای بزرگ به خصوص در شهرهای صنعتی که تراکم ترافیک در خیابان‌های آن‌ها به حد اشباع یا نزدیک به حد اشباع رسیده است شدیدتر و در بسیاری موارد به حد غیرقابل قبول و خطرناکی رسیده است به نحوی که سلامت و آرامش زندگی ساکنان این شهرها را به خطر انداخته است (۳).

تهران نیز از این امر مستثنا نیست. آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط‌زیستی کلان‌شهر تهران است که علی‌رغم اجرای قوانین و آئین‌نامه‌های اجرایی، برنامه‌ها و طرح‌ها و تمهیدات اتخاذ شده، تاکنون استمرار دارد (۴). بنابراین، مدیریت کیفیت هوا برای به حداقل رساندن اثرات مضر آلاینده‌های هوا و کاهش تأثیرات نامطلوب آن، امری ضروری است (۵). این امر، از طریق فرآیندهایی شامل نظارت کیفیت هوا، کنترل طرح‌های اجرایی و نظارت‌های بلند مدت و پیوسته، امکان پذیر است (۲). برنامه‌های مناسب مدیریت کیفیت هوا، منابع مختلف آلودگی هوا و اثر آن‌ها بر روی کیفیت هوای محیط، را به صورت همزمان مدیریت می‌کنند (۶).

امروزه، شهرنشینی بدون طرح و برنامه‌ریزی باعث کیفیت نامطلوب محیط‌زیست بخصوص در کشورهای در حال توسعه شده است و بنابراین ارزیابی کیفیت هوا و تأثیر آن بر روی سلامت انسان‌ها در مناطق شهری امری ضروری است. در سال‌های اخیر آلودگی هوا به یک نگرانی عمده برای برنامه‌ریزان و مسئولان تبدیل شده است و در پی آن چگونگی انتشار این آلاینده‌ها و توزیع مکانی آن‌ها نیز به عنوان یکی از اصلی‌ترین مباحث محیط‌زیستی مطرح شده است. از این رو ابزارهای زیادی برای ارزیابی آلودگی‌های ناشی از ترافیک بوجود آمده است. سیستم اطلاعات جغرافیایی یک ابزار مناسب برای تعیین پراکندگی آلاینده‌ها است. در عین حال یک پایگاه داده دقیق برای برآورد و تخمین جمعیت‌های انسانی که در معرض آلودگی هوا هستند مورد نیاز است. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، برای این منظور یک ابزار ارزشمند است.

در سال ۱۹۹۶ موراگز<sup>۱</sup> و آلكادی<sup>۲</sup> (۷) برای ارزیابی و تعیین

مناطق که تحت تأثیر آلودگی هوای ترافیک هستند، پژوهشی را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، انجام دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزار بسیار مفیدی برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی به شمار می‌رود. در این مطالعه اطلاعات مربوط به ترافیک به عنوان داده‌های ورودی برای تهیه نقشه آلودگی هوا استفاده شد. در سال ۱۹۹۸ گالتیر<sup>۳</sup> و تارگلا<sup>۴</sup> (۸)، مدلی جامع را برای ارزیابی آلودگی هوای ناشی از ترافیک جاده‌ای در مناطق شهری با توجه به شرایط هندسی و مورفولوژیکی شهر، ارائه دادند. نتایج حاصل توسط نقشه‌هایی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نمایش داده شد. در سال ۱۹۹۹ رب آلبی<sup>۵</sup> و استورم<sup>۶</sup> (۹)، از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، برای برآورد آلودگی هوا استفاده نمودند. نتایج حاصل نشان داد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در ارائه مطالب و اطلاعات به برنامه‌ریزان، توانایی بالایی دارد. در سال ۲۰۰۲ مین درلینگ<sup>۷</sup> و یانگ چانگ‌مین<sup>۸</sup> (۱۰)، در پژوهشی تحت عنوان تجزیه و تحلیل کاربردی کیفیت هوا با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه‌ای اولیه‌ای در مورد ارزیابی شرایط آلودگی هوا مربوط به حمل و نقل شهری را انجام دادند.

در این پژوهش ابتدا از طریق روش کریجینگ معمولی برای آلاینده‌های  $NO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $O_3$  و  $NO$  و نقشه تهیه شده و به روش فازی استانداردسازی شده و سپس هر یک از نقشه‌های تهیه شده با استفاده از روش AHP وزن‌دهی گردید. پس از استنتاج وزن‌ها، امتیازات به‌دست آمده در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) اعمال و با استفاده از روش روی هم‌گذاری موزون، نقشه آسیب‌پذیری منطقه از نظر آلاینده‌های اصلی تهیه شد.

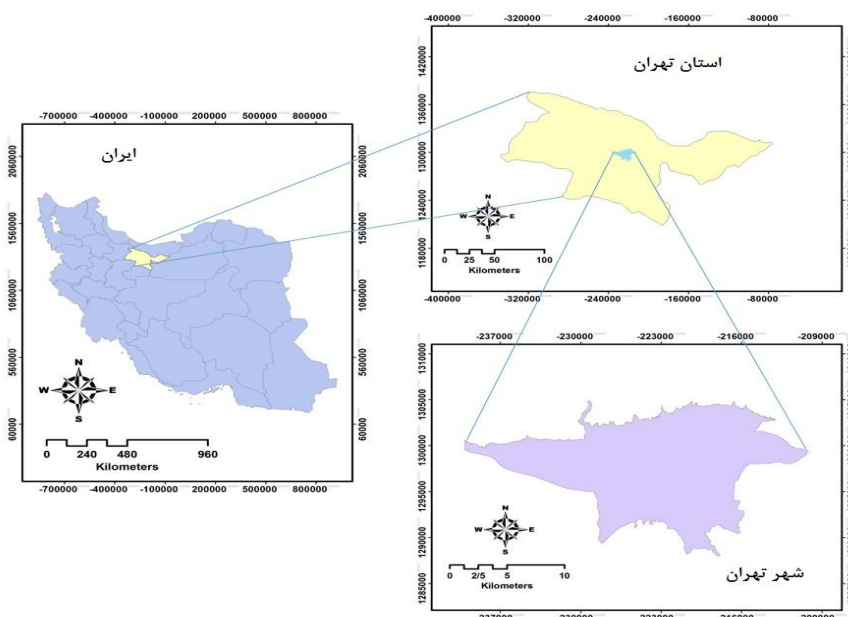
## ۲- منطقه مورد مطالعه

تهران بزرگترین شهر و پایتخت ایران و مرکز استان تهران است. جمعیت ساکن آن ۸,۲۴۴,۵۳۵ نفر است و بیست و پنجمین شهر پرجمعیت جهان است. مساحت این شهر ۱۳۰۱ کیلومتر مربع است. این شهر بیست و هفتمین شهر بزرگ دنیا است. تهران در شمال کشور ایران و جنوب دامنه رشته کوه البرز واقع شده‌است. تهران از نظر جغرافیایی بین ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۵ درجه و

<sup>3</sup> Gualtier<sup>4</sup> Tartaglia<sup>5</sup> Rebolj<sup>6</sup> Sturm<sup>7</sup> Min-Der Ling<sup>8</sup> Yung-Chang Mine<sup>1</sup> Moragse<sup>2</sup> Alcaide

۱۰ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. در

شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شود.



شکل (۱): موقعیت شهر تهران.

Figure (1): Location of Tehran city

### ۳- روش کار

به طور کلی برای انجام این پژوهش، سه مرحله اصلی وجود دارد که شامل مراحل زیر است:

مرحله اول: تهیه نقشه‌های آلاینده‌های اصلی

مرحله دوم: وزن‌دهی آن‌ها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی AHP

مرحله سوم: ادغام نقشه‌ها با استفاده از روش WLC

در این پژوهش ابتدا از طریق روش کریجینگ معمولی برای آلاینده‌های  $NO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $O_3$ ,  $NO_2$  و  $CO$  نقشه تهیه شد و سپس هر یک از نقشه‌های تهیه شده با استفاده از روش AHP وزن‌دهی و از طریق روش WLC نقشه ادغامی نهایی تهیه گردید. این نقشه نشانگر کیفیت هوا از نظر آلاینده‌های مختلف در منطقه است و مناطق آلوده‌تر را نیز تعیین می‌نماید.

### ۳-۱- تهیه نقشه‌های آلاینده‌های اصلی

اولین گام پژوهش، تهیه نقشه‌های مورد نظر برای شروع مراحل بعد است. منطقه مورد مطالعه در زون  $39^{\circ}N$  در سیستم مختصات UTM قرار دارد. از این رو تمامی نقشه‌ها به این سیستم مختصات و به صورت دسته‌ای با اندازه سلول  $30m$  تبدیل شدند.

در ابتدا و برای تهیه داده‌های مورد نیاز برای آلودگی هوا نیاز به ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا است. اندازه‌گیری و پایش هوای شهر تهران توسط ایستگاه‌های فعال سنجش آلودگی هوا انجام می‌گردد. تعداد این ایستگاه‌ها ۲۱ است اما در این پژوهش از اطلاعات ۱۶ ایستگاه سنجش آلودگی هوا استفاده شد. این ایستگاه‌ها شامل: گلبرگ، شادآباد، تهران‌سر، شریف، شهرداری منطقه ۴، شهرداری منطقه ۱۰، شهرداری منطقه ۱۱ و شهرداری منطقه ۱۶، پونک، ستاد بحران، پارک‌رز، مسعودیه، فتح، دروس، ژئوفیزیک، اقدسیه هستند. در این ایستگاه‌ها غلظت آلاینده‌های اصلی هوا شامل: مونواکسید کربن ( $CO$ )، ازن ( $O_3$ )، اکسیدهای ازت ( $NO$ ,  $NO_2$ ,  $NO_x$ ) دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ ) ذرات معلق با قطر کمتر از  $10 \mu m$  ( $PM_{10}$ ) و ذرات معلق با قطر کمتر از  $2.5 \mu m$  ( $PM_{2.5}$ ) اندازه‌گیری می‌شود و سپس از طریق روش کریجینگ معمولی برای آلاینده‌های  $NO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $O_3$  و  $CO$  نقشه تهیه شد.

به منظور قابل مقایسه شدن مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری، می‌بایست از بی‌مقیاس‌سازی (Normalization) استفاده کرد که به وسیله آن، مقادیر شاخص‌های مختلف، بدون بعد شده و جمع‌پذیر می‌شوند و به نحوی کلاسه‌بندی می‌شوند که بتوان آن‌ها را با هم مقایسه کرد (۱۱). بدین منظور از روش فازی

تئوری گراف محاسبه می‌شود. اگر شاخص سازگاری معادل ۰,۱ یا کمتر از آن باشد، وزن‌دهی صحیح است.

### ۳-۳-۳- مرحله سوم: ادغام نقشه‌ها با استفاده از روش WLC

#### ۳-۳-۱- تلفیق معیارها به کمک روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)

یکی از روش‌های مورد استفاده در ترکیب داده‌ها روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) است (۱۵). این روش جزء MADM و جزء مدل‌های جبرانی و زیر گروه مدل‌های نمره‌گذاری و امتیازدهی است (۱۶). در روش ترکیب خطی وزن‌دار، تصمیم‌گیر به‌طور مستقیم وزن‌هایی از اهمیت نسبی را به هر صفت تخصیص می‌دهد، سپس یک امتیاز کلی برای هر گزینه که در آن صفت معلوم است را داده و سپس با جمع نمودن، نتایج نهایی حاصل می‌شود. وقتی امتیازات کلی برای کلیه گزینه‌ها محاسبه شدند، گزینه دارای بیشترین امتیاز کلی انتخاب می‌شود. در این روش برای ارزیابی مقدار آترناتیو یا گزینه یا  $A_i$  از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$A_i = \sum_j W_j X_{ij} \quad \text{رابطه (۳-۸):}$$

$X_{ij}$  معرف نمره گزینه  $i$  ام در ارتباط با صفت  $j$  ام.  $W_j$  وزن استاندارد شده به طوری که مجموع وزن‌ها برابر یک باشد.

$$\sum W_j = 1$$

همان‌طور که اشاره شد، هدف از تحلیل چند معیاری، (انتخاب بهترین آترناتیو) بهترین مکان یا پیکسل بر مبنای رتبه‌بندی آن‌ها از طریق ارزیابی چند معیار اصلی است. روش ترکیب خطی وزن‌دار رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی و تصمیم‌گیری چند معیاره است. روش ترکیبی خطی وزن‌دار (WLC) را می‌توان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و قابلیت‌های همپوشانی این سیستم اجرا کرد. فنون همپوشانی در سیستم اطلاعات جغرافیایی اجازه می‌دهد که برای تولید یک لایه نقشه‌ای ترکیبی، لایه‌های نقشه‌ای معیار با هم ترکیب و تلفیق شوند. استفاده از این روش در هر دو نوع قالب رستری و برداری سامانه اطلاعات مکانی انجام شدنی است. فرآیند همپوشانی GIS جهت ترکیب معیارها از طریق نوعی روش همپوشانی وزن‌دار استفاده می‌نماید. لازم به ذکر است سلول‌های غیر ممکن به لحاظ ارزش‌های تخصیص یافته دارای ارزش پوچ هستند. جهت مشخص نمودن نقشه مناسب از

استفاده گردید و نقشه‌های تهیه شده استاندارد گردیدند. در این پژوهش از توابع خطی و تعریف شده توسط کاربر استفاده شده است. استفاده از این تابع سریع و آسان است و امکان استانداردسازی معیارها را هم در دامنه‌ی اعداد حقیقی صفر تا یک و هم در دامنه صفر تا ۲۵۵ بایستی فراهم می‌کند. پس از استانداردسازی نقشه‌ها، وزن‌دهی به معیارها با استفاده از روش AHP انجام شد.

### ۳-۲- مرحله دوم: وزن‌دهی معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> AHP

#### ۳-۲-۱- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP

روش AHP که از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است (۱۲)، پایه و اساس ساختاری را به منظور کمی‌سازی فاکتورهای تصمیم‌گیری در قالب انجام مقایسات زوجی بین فاکتورها ارائه می‌دهد. این روش به طور عمده از پیچیدگی‌های فرآیند تصمیم‌گیری می‌کاهد و به سادگی آن می‌افزاید. این روش در سال ۱۹۸۰ به وسیله ساعتی تحت عنوان فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ابداع شد و در طی سال‌ها، کاربردهای آن در سیستم اطلاعات جغرافیایی معرفی شد. اساس تعیین وزن در این روش را، مقایسه دو به دوی معیارها تشکیل می‌دهد. در روش مقایسه زوجی اهمیت نسبی معیارها در یک مقایسه پیوسته به نه بخش تقسیم می‌شود. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را دارد و میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره است (۱۳). سهولت استفاده و چند جانبه بودن روش باعث مشارکت گروه‌های مختلف تفکر، استدلال و کارایی می‌شود تا اهمیت نسبی هر عنصر نسبت به عناصر دیگر در رابطه با آن مسئله مشخص شود (۱۴). در این پژوهش از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن نسبی نقشه‌های آلاینده‌ها و برای تعیین نقشه نهایی یعنی کیفیت هوای منطقه استفاده شد.

جهت تعیین وزن می‌بایست مراحل زیر انجام گردد:

- تعریف و سازمان دهی معیارها در یک سلسله مراتب (تشکیل ماتریس معیارها).
- انجام مقایسه دو به دوی از اهمیت نسبی معیارها برای ایجاد وزن‌ها.
- برای تعیین درجه‌ی دقت و صحت وزن‌دهی از شاخص ناسازگاری استفاده می‌شود که بر مبنای رویکرد بردار ویژه

<sup>1</sup> Analytical Hierarchy process

رابطه زیر استفاده می‌گردد:

رابطه (۳-۹):

$$\text{suitability Map} = \sum [\text{factor map ccn}] * \text{weight (wn)} * \text{constraint (bo / 1)}$$

Cn سلول‌های استاندارد شده لایه‌ی رستری.

Wn وزن به دست آمده از طریق مقایسه روش دو به دو.

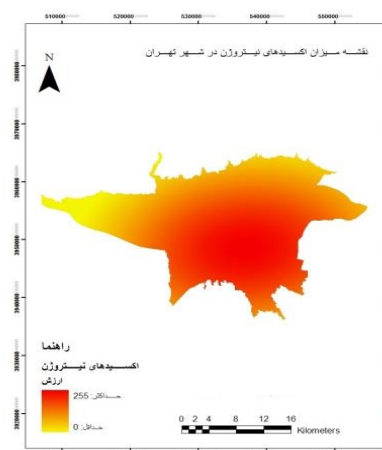
Wn= AHP

تولید لایه‌های نقشه‌ای وزن‌دار استاندارد شده، یعنی ضرب کردن لایه‌های نقشه‌ای استاندارد در وزن‌های متناظر با آن‌ها و تولید نقشه نهایی و تعیین امتیاز کلی هر گزینه با استفاده از عملیات بر همپوشانی در نرم‌افزار GIS انجام گرفت. طبقه‌بندی

#### ۴- نتایج

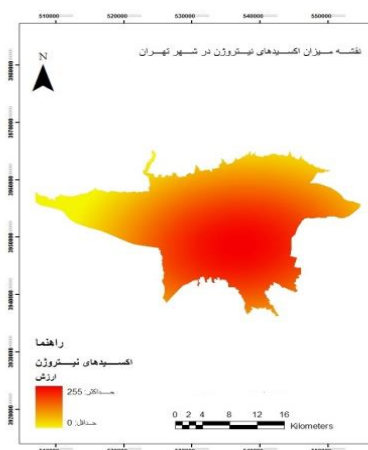
##### ۴-۱- نقشه‌ی کیفیت هوا

با توجه به غلظت آلاینده‌ها که توسط ایستگاه‌های شرکت کنترل کیفیت هوا، ثبت شده‌اند، برای هر یک از آلاینده‌های اصلی از روش پهنه‌بندی کریجینگ استفاده نموده و نقشه‌ی توزیع آلاینده‌های مورد نظر در محدوده‌ی شهر تهران تهیه شدند.



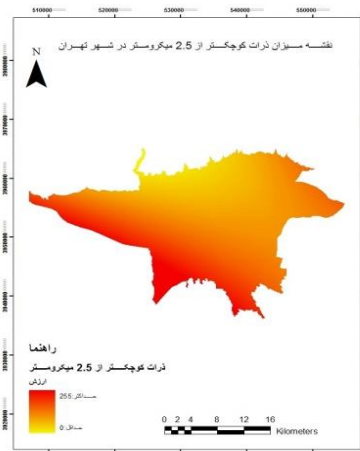
شکل (۴): نقشه‌ی توزیع آلاینده‌ی NO2

Figure (4): NO<sub>2</sub> pollutant distribution map



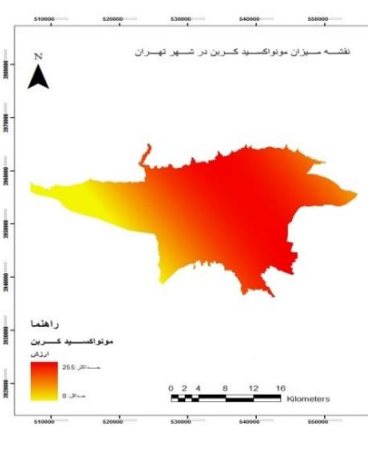
شکل (۲): نقشه‌ی توزیع آلاینده‌ی NOx

Figure (2): NO<sub>x</sub> pollutant distribution map.



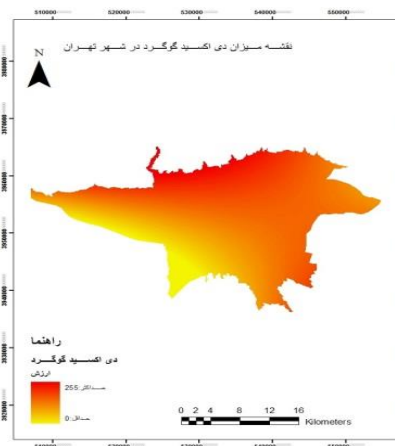
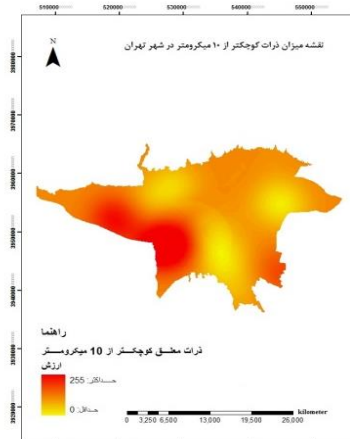
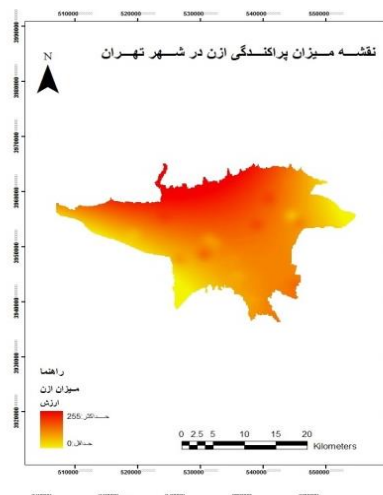
شکل (۶): نقشه‌ی توزیع PM<sub>2.5</sub>

Figure (6): PM<sub>2.5</sub> distribution map



شکل (۵): نقشه‌ی توزیع آلاینده‌ی CO

Figure (5): CO pollutant distribution map .

شکل (۸): نقشه‌ی توزیع آلاینده‌ی SO<sub>2</sub>.Figure (8): SO<sub>2</sub> pollutant distribution map.شکل (۷): نقشه‌ی توزیع PM<sub>10</sub>.Figure (7): PM<sub>10</sub> distribution map.شکل (۹): نقشه‌ی توزیع آلاینده‌ی O<sub>3</sub>.Figure (9): O<sub>3</sub> pollutant distribution map.

| پارامترهای موثر در تعیین کیفیت هوا | وزن AHP |
|------------------------------------|---------|
| CO                                 | 0.105   |

به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی کیفیت هوا با بکارگیری روش ترکیب خطی وزن‌دار، عمل تلفیق نقشه‌های استاندارد شده و وزن‌های متناظر آن‌ها در محیط IDRISI Kilimanjaro انجام شد. شکل (۱۰) نقشه‌ی کیفیت هوای منطقه پس از ترکیب خطی وزنی (WLC) را نشان می‌دهد. نقشه‌ی مذکور پس از بسط دادن ارزش‌ها در محدوده‌ی ۰-۲۵۵ نهایی شد. با افزایش ارزش در نقاط، آسیب‌پذیری منطقه از نظر کیفیت هوا افزایش می‌یابد. تفسیر نتایج حاصل از مدلسازی برای آلاینده‌ها بر اساس اطلاعات آماری استخراج شده از تابع Extract در نرم افزار Idrisi Kilimanjaro انجام گرفت که در جدول (۲) نتایج

جدول (۱): وزن‌های به‌دست آمده از ماتریس مقایسات زوجی

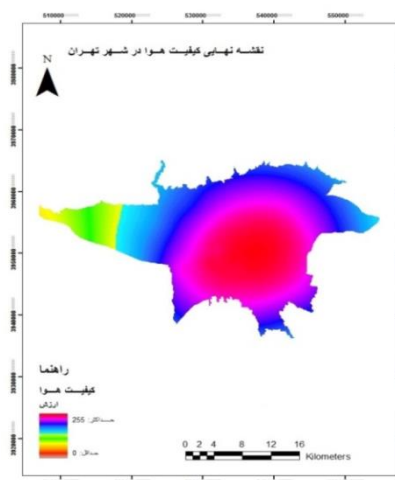
پارامترهای موثر در تعیین کیفیت هوا

Table (1): Weights obtained from the pairwise comparison matrix of effective parameters in determining air quality

| پارامترهای موثر در تعیین کیفیت هوا | وزن AHP |
|------------------------------------|---------|
| NO                                 | ۰,۲۳۹   |
| NO <sub>x</sub>                    | ۰,۱۵۸   |
| NO <sub>2</sub>                    | 0.230   |
| SO <sub>2</sub>                    | ۰,۱۰۳   |
| O <sub>3</sub>                     | ۰,۰۱۱   |
| PM <sub>10</sub>                   | ۰,۰۸۷   |
| PM <sub>2.5</sub>                  | ۰,۰۶۷   |

آسیب پذیری منطقه از نظر آلودگی ها افزایش می یابد.

آماري حاصل مشاهده می شود. نتایج حاصل از این جدول حاکی از آن است که مقدار میانگین هرچه به ۲۵۵ نزدیک تر شود،



شکل (۱۰): نقشه ی کیفیت هوای شهر تهران.

Figure (10): Tehran city air quality map.

جدول (۲): نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل اطلاعات آماری میزان آلاینده ها

Table (2): Results from the analysis of statistical information on the amount of pollutants

| نام منطقه        | مناطق ۲۲ گانه شهر تهران | میانگین آلودگی ها | انحراف معیار | کم ترین میزان آلودگی | بیشترین میزان آلودگی |
|------------------|-------------------------|-------------------|--------------|----------------------|----------------------|
| تهرانسر          | ۲۱                      | ۱۶۷,۶۰۸۹          | ۱۹,۵۶۶۱۹     | ۱۰۲                  | ۲۱۲                  |
| پارک رز          | ۲۲                      | ۱۷۴,۳۷۰۳          | ۲۲,۲۵۹۲۳     | ۱۰۶                  | ۲۳۲                  |
| شادآباد          | ۱۸                      | ۲۰۰,۶۷۷۸          | ۱۲,۶۹۷۴۴     | ۱۵۳                  | ۲۲۵                  |
| فتح              | ۹                       | ۲۰۳,۲۸۴۸          | ۱۱,۲۵۹۲۳     | ۱۷۲                  | ۲۲۸                  |
| شهر ری           | ۲۰                      | ۲۰۳,۲۸۴۸          | ۱۲,۴۷۳۷۴     | ۱۶۸                  | ۲۲۵                  |
| شهرداری منطقه ۴  | ۴                       | ۲۰۵,۸۱۸۴          | ۲۳,۶۵۱۳۳     | ۱۳۳                  | ۲۵۰                  |
| شهرداری منطقه ۱۹ | ۱۹                      | ۲۰۸,۳۴۱۳          | ۱۰,۷۹۸۹۷     | ۱۷۶                  | ۲۲۹                  |
| پونک             | ۵                       | ۲۱۰,۶۸۱۷          | ۱۳,۷۵۸۸۶     | ۱۷۶                  | ۲۵۲                  |
| مسعودیه          | ۱۵                      | ۲۱۱,۰۹۲۳          | ۱۳,۶۳۰۰۶     | ۱۸۰                  | ۲۳۴                  |
| شهرداری منطقه ۱۶ | ۱۶                      | ۲۱۳,۴۵۷۳          | ۱۳,۰۲۰۶۳     | ۱۸۶                  | ۲۳۴                  |
| شهرداری منطقه ۱۷ | ۱۷                      | ۲۱۷,۲۷۴۹          | ۱۱,۴۷۵۶۱     | ۱۸۸                  | ۲۳۲                  |
| پیروزی           | ۱۳                      | ۲۱۹,۹۳۳۱          | ۱۵,۱۱۴۷۴     | ۱۶۰                  | ۲۴۱                  |
| محلاتی           | ۱۴                      | ۲۲۳,۲۲۸۷          | ۱۲,۸۹۷۸۴     | ۱۹۲                  | ۲۴۰                  |
| شهرداری منطقه ۱۰ | ۱۰                      | ۲۲۳,۹۰۳۸          | ۱۰,۲۱۶۰۱     | ۱۹۲                  | ۲۳۷                  |
| گلبرگ            | ۸                       | ۲۲۳,۹۱۹۷          | ۱۴,۷۲۹۸۸     | ۱۷۶                  | ۲۴۴                  |
| شهرداری منطقه ۱۱ | ۱۱                      | ۲۲۶,۹۸۸۳          | ۱۱,۵۲۴۳۴     | ۱۹۶                  | ۲۴۱                  |
| دانشگاه شریف     | ۲                       | ۲۲۶,۹۹۷۵          | ۱۳,۰۲۰۲۱     | ۱۸۶                  | ۲۵۴                  |
| منطقه ۱۲         | ۱۲                      | ۲۳۲,۷۲۱۴          | ۱۰,۰۵۸۶۳     | ۱۹۹                  | ۲۴۴                  |
| ستادبحران        | ۷                       | ۲۳۳,۰۹۸۱          | ۱۱,۳۶۳۴۹     | ۲۰۵                  | ۲۴۶                  |
| اقدسیه           | ۱                       | ۲۳۳,۹۰۳۸          | ۱۴,۰۵۰۷۴     | ۱۹۶                  | ۲۵۵                  |
| تربیت مدرس       | ۶                       | ۲۳۴,۱۷۲۳          | ۱۱,۵۹۲۵۳     | ۲۰۴                  | ۲۴۸                  |
| دروس             | ۳                       | ۲۳۶,۷۲۱۸          | ۱۲,۳۲۰۲۱     | ۲۱۱                  | ۲۵۲                  |

محیط‌زیست شهری استفاده شود. هم‌چنین اطلاعات مفیدی برای برنامه‌ریزان شهری فراهم می‌آورد تا کیفیت هوای شهری را مدیریت کنند. مثلاً با توجه به این که باد غالب در تهران از سمت غرب به شرق می‌وزد و اکثر صنایع در قسمت غرب تهران قرار گرفته‌اند به نظر می‌رسد که در مکان‌گزینی مراکز صنعتی عمده در شهر تهران، کارشناسی لازم صورت نگرفته است بدین ترتیب می‌توان با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی محل‌های مناسبی را برای تاسیس اماکن صنعتی در حال احداث تعیین کرد.

#### منابع:

- [1] Akimoto, H. 2003, Air quality plans. Application to Madrid (Spain), Science of Total Environment. 466-467, 809-819.
- [2] Molina, M. J., Molina, L. T. 2004, Megacities and atmospheric pollution, Air Waste Manage, 54: 644-80.
- [3] Shahi, J. 2007, Traffic Engineering. Tehran: University Publishing Center.
- [4] Fateh Vahdati, S., 2009, Air Pollution and Its Environmental Challenges in the Tehran Metropolis, Moj Sabz, No. 33, pp. 8-10.
- [5] Ozkurt, N, 2011, Spatio-temporal distributions of Nitrogen Dioxide around Can-Bayram icregionin Canakkale: a comparative exposure and model study, Fresenius Environment, 20: 1570-8.
- [6] Bhanarkar, A. D., Goyal, S. K., Sivacoumar, R. 2005, Assessment of contribution of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> from different sources in Jamshedpur region, India. Atmosfer Environment, 39: 7745-60.
- [7] Moragues, A., Alcaide, T. 1996, The use of geographic information system to assess the effect of traffic pollution, The Science of the Total Environment, 189-190. 267-273.
- [8] Gualtieri, G., Tartaglia, M, 1998, Predicting urban traffic air pollution: a GIS framework. Transportation Research part D: Transport and Environment, 3(5): 329-336.
- [9] Rebolj, D., Sturm, P. J. 1999, A GIS based component-oriented integrated system for estimation, visualization and analysis of road traffic air pollution, Environmental Modelling and Software, 14: 531-539.
- [10] Min-Der, L., Yung-Chang, L. 2002, The application of GIS to air quality analysis in Taichung City. Taiwan. Roc, Environmental Modelling & software, 17: 11-19.
- [11] Momeni, M., 2006, "New Topics in Operations Research", Tehran University Press, first edition.
- [12] Yu, C., Lee, J., Munro-Stasiuk, M. J. 2003, Extensions to least-cost path algorithms for

همان‌طور که مشاهده می‌کنید مناطق ۳ و ۶ و ۱ و ۷ دارای بیشترین آلودگی‌ها هستند. این مناطق در اطراف مناطق مرکزی شهر تهران قرار دارد که دارای تراکم ترافیک بالایی است.

#### ۵- نتیجه‌گیری

شهر تهران یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان به شمار می‌رود (۱۷). در سال از هر سه روز یک روز توسط یک یا چند تا از آلاینده‌های اصلی آلوده است و علاوه بر آن، دمای هوا در مرکز تهران در طول سال بیشتر از حومه آن است و سبب ایجاد جزیره حرارتی شده است (۱۸)(۱۹). ایجاد جزیره حرارتی سبب شده است که جریان باد از اطراف به طرف شهر وزیده و مواد آلاینده حومه را هم به داخل شهر هدایت کند. جهت باد غالب از مهرآباد غربی و دوشان تپه در شمال شرقی است. بادهای غربی در این ایستگاه در درجه دوم قرار دارند. در مجموع بادهای غربی اقلیم تهران را کنترل می‌کنند. جهت باد در هر دو ایستگاه حاکی از آن است که استقرار هر نوع منبع آلاینده در غرب تهران سبب آلودگی هوا می‌شود. با توجه به این که در شرق تهران هم بادهای شرقی غالب هستند هر دو جریان مواد آلاینده را از هر طرف به مرکز شهر می‌آورند و مرکز شهر پتانسیل آلودگی بالایی دارد. تمرکز آلاینده‌ها در شرق تهران بیشتر بوده و پتانسیل آلودگی آن بالا است (۲۰). با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش مناطق ۱، ۳، ۶ و ۷ دارای بیشترین آلودگی‌ها هستند. این مناطق در اطراف مناطق مرکزی شهر تهران قرار دارد که دارای تراکم ترافیک بالایی است.

امروزه شهرها با مسائل حادی چون افزایش جمعیت و گسترش روز افزون مسائل و مشکلات ناشی از آن همچون افزایش آلودگی مواجه هستند. در شرایط فعلی کشور که تهران به عنوان مرکز مدیریتی کشور جمعیت زیادی در آن زندگی می‌کنند، پاک‌سازی هوای آن و ایجاد محیطی مناسب از ضروریات استراتژی کشور به حساب می‌آید. از طرف دیگر آلودگی هوای تهران فقط به خود تهران منتهی نمی‌شود و آثار هوای آلوده آن حتی در فاصله‌های بسیار دور مانند گرمسار و یا فیروزکوه نیز قابل مشاهده است. بدین جهت آلودگی تهران به یک معضل منطقه‌ای و حتی ملی تبدیل شده است. انجام مطالعات با بهره‌گیری از روش‌ها و تکنیک‌های جدید می‌تواند اطلاعات دقیق و بروزی برای مقابله‌ی آگاهانه با این پدیده‌ها در اختیار برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران و تصمیم‌سازان در مدیریت محیط‌زیست فراهم آورد. نتایج این پژوهش چهارچوب مفهومی را برای درک پویایی محیط‌زیست کیفیت هوای شهری فراهم می‌آورد که می‌تواند به عنوان اطلاعات پایه در مدیریت

- roadway planning, *Geographical Information Science*, 17(4): 361-376.
- [13] Saaty, T. L., 1990, *The Analytical Hierachy Proces*. 2nd edn, RWS Publication, Pittsburgh Sengupta.
- [14] Faraji Sabokbar, H. 2005, Location of commercial service units using geographical research method. *AHP*, No. 51, pages 13.
- [15] Eastman Ronald, Vol. 1, 2009, *Remote Sensing and Applied Geographic Information Systems with Idrisi Software*, translated by Abdolrasoul Salman Mahini and Hamidreza Kamyab, Tehran: Mehr Mahdis Publishing House, 582 pages.
- [16] Asgharpour, M. 2004, "Multi-Criteria Decision Making", Tehran University Press. No. 9320, Third Edition.
- [17] Graedel, T. E., Crutzen, P. 1993, *Atmospheric change an earth system 17 perspective*, W. H. Company New York.
- [18] Saeedi, M. 1996, Study and comparison of temperature in Tehran on holidays and non-holidays, Master's thesis, Islamic Azad University.
- [19] Afshar, M., 1990, Investigation and understanding of Tehran's heat island, Master's thesis, Islamic Azad University.
- [20] Motkan, A., Pourali, S. H., Shakiba, A., Baharloo, A. 2009, Determining spatial and temporal changes in carbon monoxide and particulate matter pollution using GIS techniques in Tehran, *Remote Sensing and GIS Iran*, Issue (1): 57-72.

## تنوع زیستی جوامع قارچ‌های رسوب گرد و غبار و رابطه آن با میزان رسوب سطح برگ درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس

نیلوفر حق دوست<sup>۱</sup>

مسلم اکبری نیا<sup>۲\*</sup>

[akbarim@modares.ac.ir](mailto:akbarim@modares.ac.ir)

ناصر صفایی<sup>۳</sup>

حامد یوسفزاده<sup>۴</sup>

میکلوش بالینت<sup>۵</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۴

### چکیده

**مقدمه:** بسیاری از پیامدهای طوفان‌های گرد و غبار همچنان ناشناخته مانده است. تنوع میکروارگانیسم‌هایی که توسط این طوفان‌ها از طریق رسوب سطحی به اکوسیستم‌ها وارد می‌شوند کمتر مطالعه شده است. چنین میکروارگانیسم‌هایی با عملکردهای متفاوت می‌توانند تاثیر شگرفی بر پایداری و سلامت اکوسیستم‌های جنگلی داشته باشند. تحقیق حاضر با مطالعه تنوع زیستی قارچ‌های قابل کشت که توسط چنین طوفان‌هایی به جنگل‌های بلوط ایرانی استان کرمانشاه وارد شده، رابطه آنرا با میزان رسوب گرد و غبار بر سطح برگ درختان به عنوان پارامتری از شدت گرد و غبار ارزیابی می‌کند.

**روش کار:** بدین منظور پنج رویشگاه بلوط ایرانی در نقاط مختلف استان کرمانشاه انتخاب و نمونه برداری از رسوب گرد و غبار سطح برگ در سه دوره و هر بار پس از یک طوفان گرد و غبار انجام گردید. قارچ‌های قابل کشت نمونه‌های رسوب سطح برگ بر طبق روش‌های استاندارد جداسازی شدند. میزان رسوب سطحی ذرات گرد و غبار و تنوع زیستی شانون و سیمپسون و غنای گونه‌ای قارچی برای هر نمونه محاسبه گردید. رابطه بین میزان رسوب گرد و غبار بر سطح برگ و تنوع زیستی قارچی با استفاده از مدل‌های رگرسیونی (LM و GLM) بررسی شد.

**نتایج:** این پژوهش بیانگر رابطه مثبت معنی‌دار بین میزان رسوب گرد و غبار بر سطح برگ با تنوع زیستی و غنای گونه‌ای قارچ‌های حمل شده بود و با افزایش میزان رسوب تنوع زیستی و غنای گونه‌ای افزایش داشت. همچنین با توجه به نتایج NMDS تفاوت معنی داری ما بین رویشگاه‌های مورد مطالعه و زمان‌های نمونه برداری از نظر تنوع زیستی و ترکیب جوامع قارچی وجود نداشت.

**واژه‌های کلیدی:** تنوع زیستی، جنگل‌های زاگرس، ریزگرد، رسوب سطح برگ، NMDS.

<sup>۱</sup> دانشکده اکولوژی و علوم زمین، دانشگاه تارتو، تارتو، استونیا

<sup>۲</sup> دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران\* (مسئول مکاتبات)

<sup>۳</sup> دانشیار گروه بیماری شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۴</sup> استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۵</sup> موسسه تحقیقات تغییر اقلیم و تنوع زیستی زنکنبرگ، فرانکفورت، آلمان

## **Diversity of deposited dust fungal communities in relation to the amount of deposition on Persian oak leaf surface in Zagros forests**

**Nilofar Haghdoust**<sup>1</sup>

**Moslem Akbarinia**<sup>2\*</sup>

[akbarim@modares.ac.ir](mailto:akbarim@modares.ac.ir)

**Naser Safaei**<sup>3</sup>

**Hamed Yosefzadeh**<sup>4</sup>

**Miklos Balint**<sup>5</sup>

Accepted Date: October 22, 2017

Date Received: May 25, 2016

### **Abstract**

**Introduction:** Many of the consequences caused by dust storms are unknown. The diversity of microorganisms imported to the downwind ecosystems by dust deposition on the surfaces is less investigated. These kinds of microorganisms with different functions can have great impacts on health and stability of forest ecosystems. This study aims to investigate the diversity of cultivable fungi which is carried to the Persian oak forests of Kermanshah by dust storms and study its relation with the amount of dust deposition on leaf surface as an indicator of dust storms intensity.

**Methodes:** For this purpose, five natural stands of Persian oak were chosen in Kermanshah and sampling of deposited dust on the leaf surface was performed three times each time after a major dust storm. Cultivable fungi were isolated according to the standard methods. The amount of dust deposition, Shannon and Simpson diversity indices and richness were calculated for each sample. The relationship between the amount of dust deposition and fungal diversity was investigated using regression models (GLM and LM).

**Results:** showed that there is a significantly positive relationship between the amount of dust deposition on leaf surface and the fungal diversity and richness and with increasing amount of deposition fungal diversity and richness were higher. Also there was no difference between the studied sites and sampling times considering the diversity of fungal communities.

**Keywords:** Diversity, Zagros forests, dust, leaf surface deposition, NMDS.

---

<sup>1</sup> Faculty of Ecology and Earth Sciences, University of Tartu, Tartu, Estonia

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran \* (Corresponding Author)

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>5</sup> Senckenberg Institute for Climate Change and Biodiversity Research, Frankfurt, Germany

## مقدمه

امروزه تغییر اقلیم یکی از مهم ترین چالش‌های بشر در قرن بیست و یکم محسوب می‌گردد. طوفان‌های گرد و غبار یکی از پیامدهای تغییر اقلیم به شمار می‌روند که به دلیل طی مسافت‌های طولانی و حمل و رسوب ذرات معلق تاثیرات چشمگیر جهانی در پی دارند (۱). از تاثیرات جهانی این طوفان‌ها میتوان به تاثیر بر سیستم تابشی زمین (۲، ۳)، تاثیر بر چرخه ژئوشیمیایی (۴)، تاثیر بر فرآیندهای اقلیمی و محیطی (۵-۷) و سلامت انسان (۸) اشاره کرد. طوفان‌های گرد و غبار عموماً در مناطق خشک و نیمه خشک به وقوع می‌پیوندند و غلظت ذرات معلق در هنگام وقوع طوفان‌های گرد و غبار می‌تواند به ۶ گرم بر متر مربع برسد (۹). در سال‌های اخیر طوفان‌های گرد و غبار به مشکل بزرگی در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا مانند خاورمیانه تبدیل شده‌اند (۱۰) و به دلیل روند افزایشی تغییرات کاربری اراضی (۱۱) و تغییرات اقلیمی (۱)، روز به روز در حال گسترش می‌باشند. اگرچه تاثیرات این طوفان‌ها بر سلامت انسان، اقتصاد و تولیدات کشاورزی (۷، ۱۲) به وفور مورد مطالعه قرار گرفته است، اما تاثیرات آنها بر جنگل‌های طبیعی پایین دست از جمله جنگل‌های زاگرس که یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی کشور به شمار می‌روند به درستی مشخص نیست.

بیشتر تاثیرات گرد و غبار بر اکوسیستم‌های زمینی از طریق رسوب ذرات معلق می‌باشد (۱۳). گرد و غبار مقادیر قابل توجهی عناصر ماکرو، فلزات سنگین و عناصر غذایی را با انباشته شدن بر سطوح مختلف به اکوسیستم‌های پایین دست وارد می‌کند (۱۴). اثرات مستقیم گرد و غبار بر گیاهان شامل تاثیر بر تولید اولیه از طریق کاهش فتوسنتز، بستن روزنه‌های برگ، تغییر تنفس و اسیدیته و... می‌باشد (۱۶، ۱۷). طوفان‌های گرد و غبار همچنین میکروارگانیسم‌های بسیاری را با خود حمل کرده و به اکوسیستم وارد می‌کنند (۱۸) اما مشخص نیست که این میکروارگانیسم‌ها چگونه بر جوامع میکروبی محلی تاثیر می‌گذارند. برخی از این میکروارگانیسم‌ها به خصوص بیمارگرها می‌توانند بر تعادل کل اکوسیستم تاثیرگذار باشند (۱۲). گرد و غبار می‌تواند به صورت غیر مستقیم از طریق تاثیر بر میکروارگانیسم‌های مرتبط با گیاهان از جمله میکروارگانیسم‌های بیمارگر و همزیست بر سلامت و پایداری گیاهان موثر باشد. رسوب گرد و غبار می‌تواند با حذف و یا کاهش فراوانی میکروارگانیسم‌های حساس منجر به تغییر ساختار و برهم زدن تعادل جوامع میکروبی مرتبط با گیاهان شود و در نهایت منجر به تغییرات اساسی در روابط متقابل گیاه و میکروارگانیسم‌ها گردد (۱۹، ۲۰). با توجه به انتقال میکروارگانیسم‌ها به خصوص بیمارگرها در مسافت‌های

طولانی توسط طوفان‌های گرد و غبار، اخیراً تحقیقات زیادی به بررسی کمیت و تنوع ارگانیسم‌هایی که توانایی زنده ماندن در چنین شرایطی دارند، پرداخته‌اند. از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعه Gonzalez-Martin و همکاران (۱۲) اشاره کرد که به بررسی گسترش جهانی میکروارگانیسم‌های بیمارگر توسط طوفان‌های گرد و غبار پرداختند. نقل و انتقال بیمارگرها توسط چنین طوفان‌هایی می‌تواند تاثیرات بسزایی نه تنها بر جوامع انسانی بلکه همچنین بر اکوسیستم‌های طبیعی نظیر جنگل‌ها و مراتع داشته باشند لذا مطالعات زیادی در چند دهه اخیر به بررسی تنوع میکروارگانیسم‌های گرد و غبار پرداخته‌اند (۸، ۱۸، ۲۱-۲۳). تحقیق حاضر به منظور بررسی تنوع زیستی قارچ‌های قابل کشت در رسوب گرد و غبار سطح برگ و تغییرات احتمالی زمانی و مکانی جوامع قارچی طوفان‌های گرد و غبار در رویشگاه‌های طبیعی بلوط ایرانی در استان کرمانشاه انجام گرفت. با شناسایی و مطالعه تنوع قارچ‌های ورودی به چنین اکوسیستم‌هایی زمینه مطالعات آتی در خصوص تاثیرات ثانویه این طوفان‌ها از طریق میکروارگانیسم‌ها فراهم خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه و نمونه برداری میدانی

در جهت دستیابی به اهداف تحقیق حاضر، پنج منطقه جنگلی در استان کرمانشاه انتخاب گردید. اساس انتخاب مناطق مورد نظر بر پایه تفاوت‌های احتمالی آنها در میزان گرد و غبار ورودی به جنگل و میزان رسوب گرد و غبار بر سطوح گیاهان بود. به طوریکه با توجه به تفاوت‌های توپولوژیک مناطق انتخاب شده احتمال می‌رفت نرخ رسوب گرد و غبار متفاوتی داشته باشند. به عنوان مثال میزان تپه ماهوری و یا مسطح بودن منطقه در میزان جریان گرد و غبار ورودی به منطقه تاثیر بسزایی دارد. مناطق مورد مطالعه شامل جنگل‌های طبیعی بیستون، حسن آباد، خسروآباد، سرمیل و سرخه دیزه بود که مختصات جغرافیایی آنها در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱- مختصات جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

Table 1- Geographic coordinates of the study areas

| منطقه نمونه برداری | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی |
|--------------------|---------------|---------------|
| بیستون             | N 34° 22' 49" | E 47° 16' 33" |
| حسن آباد           | N 34° 09' 45" | E 46° 39' 01" |
| خسرو آباد          | N 34° 10' 52" | E 46° 22' 05" |
| سرمیل              | N 34° 20' 19" | E 46° 07' 42" |
| سرخه دیزه          | N 34° 23' 28" | E 46° 03' 20" |

به وسیله لوپ جدا و روی پتری دیش استریل محتوی<sup>۱</sup> PDA (قطر ۹۰ میلی‌متری) حاوی کلرامفنیکل (۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در شرایط تاریکی در انکوباتور کشت داده شدند. پس از کشت پتری‌دیش‌ها به صورت روزانه چک شده و کلونی‌های رشد کرده برای خالص سازی به پتری‌دیش‌های جداگانه (قطر ۶۰ میلی‌متری، PDA) منتقل گردید و در شرایط مشابه نگهداری شد. در مرحله بعدی قارچ‌ها بر اساس خصوصیات مورفولوژیک به گروه‌های مورفولوژیک دسته‌بندی شده و از هر گروه چندین نمونه به روش‌های تک اسپور (برای قارچ‌های تولید کننده اسپور) و نوک هیف (برای قارچ‌های بدون اسپور) با استفاده از کشت در محیط کشت WA<sup>۲</sup> خالص سازی گردید.

سپس نمونه‌های منتخب برای استخراج DNA، در محیط کشت PDB<sup>۳</sup> به مدت ده روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در شیکر انکوباتور و شرایط تاریکی کشت داده شدند. میسلیم حاصل با استفاده از پمپ خلا جداسازی و تا زمان استخراج DNA، در دمای منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

#### استخراج DNA و شناسایی واحدهای تاکسونومیک به روش مولکولی

استخراج DNA از میسلیم‌های خالص قارچ با استفاده از روش CTAB اصلاح شده توسط صفایی و همکاران (۲۵) انجام گردید. در نهایت کمیت و کیفیت DNA استخراج شده به ترتیب به روش بارگیری نمونه روی ژل‌های الکتروفورزی آگارز و اسپکتروفتومتری مورد بررسی قرار گرفت. سپس قطعه ITS هر نمونه rDNA با استفاده از پرایمرهای جهانی ITS1F (۲۶) و ITS4 (۲۷) تکثیر گردید. امپلیکون‌ها با استفاده از Big Dye 3.1 chemistry (Applied Biosystems) در موسسه زنکنبرگ آلمان توالی یابی شدند. استخراج توالی‌ها از الکتروفروگرام‌های مستخرج با استفاده از نرم‌افزار Geneious version 9.0.5 (۲۸) انجام گردید.

پس از استخراج توالی‌های هر نمونه قطعات ITS1 و ITS2 با استفاده از پایگاه اطلاعاتی آنالین PlutoF (۲۹) از توالی استخراج شدند. این کار به دلیل جلوگیری از تاثیرات منفی قطعات پایدارتر مانند 5.8S و LSU در نتایج جست و جوی BLAST در بانک ژن انجام گردید (۳۰). سپس هر یک از قطعات ITS1 و ITS2 به صورت جداگانه با نتایج BLAST در پایگاه داده نکلوتید UNITE مقایسه شدند. برای تعیین

در تمامی رویشگاه‌های انتخاب شده درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) گونه غالب پوشش گیاهی منطقه را تشکیل داده و گونه‌های زالزالک (*Crataegus aronia var. minuta*)، پسته وحشی (*Pistacia mutica*)، کیکم (*Acer monspessulanum*)، پده (*Populus euphratica*)، دافنه (*Daphne muconata*) و راناس (*Cerasus microcarpa*) نیز به صورت مخلوط و پراکنده در منطقه مورد نظر دیده می‌شوند. لازم به ذکر است که مناطق انتخاب شده از نظر ارتفاع از سطح دریا مشابه بوده و همچنین طی سال‌های گذشته از شرایط یکسانی از نظر اقلیم و ساختار جنگلی برخوردار بوده و تحت تاثیر مداوم طوفان‌های گرد و غبار قرار داشته‌اند. نمونه برداری در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد سال ۱۳۹۵ و هر بار پس از وقوع یک طوفان گرد و غبار انجام گرفت. در هر زمان نمونه برداری، در هر یک از پنج رویشگاه مذکور تعداد پنج درخت بلوط با ابعاد مشابه انتخاب و از هر درخت سه عدد برگ کاملاً بالغ به صورت تصادفی از لایه بیرونی تاج پوشش برداشت و در پاکت کاغذی و یخدان به آزمایشگاه منتقل گردید.

#### اندازه‌گیری میزان رسوب گردوغبار و جداسازی قارچ‌های قابل کشت

در هر یک از رویشگاه‌های مورد مطالعه نرخ رسوب گرد و غبار بر سطح برگ با استفاده از روش توزین، بر طبق دستورالعمل تغییر یافته Ram و همکاران (۲۴) و بر طبق معادله شماره یک محاسبه گردید. نحوه اندازه‌گیری بدین صورت بود که پس از شست و شوی سطح برگ محلول حاصله در آون خشک شده و رسوب باقیمانده با دقت ۰/۰۰۱ توزین و میزان رسوب گرد و غبار بر حسب گرم بر سانتیمتر مربع محاسبه گردید.

$$DD = (Wd - Wp) / A \quad (۱)$$

که در معادله مذکور DD میزان رسوب گرد و غبار ( $\text{mg cm}^{-2}$ )، Wd وزن خشک پتری دیش حاوی ذرات گرد و غبار، Wp وزن خشک اولیه پتری دیش خالی و A کل سطح برگ ( $\text{cm}^2$ ) می‌باشد.

جداسازی قارچ‌های قابل کشت در بازه زمانی ۴۸ ساعت پس از هر بار نمونه‌برداری انجام شد. ابتدا تک تک نمونه‌های برگ در لوله‌های فالتون جداگانه با آب مقطر استریل شست و شو داده شدند و آب حاصل از شست و شوی سطح برگ برای جداسازی قارچ‌های حمل شده توسط گرد و غبار و اندازه‌گیری میزان رسوب گرد و غبار مورد استفاده قرار گرفت. از نمونه‌های گرد و غبار بدست آمده از شست و شوی سطح برگ تعداد ۴ زیر نمونه

<sup>۱</sup> Potato Dextrose Agar

<sup>۲</sup> Water Agar

<sup>۳</sup> Potato Dextrose Broth

نتایج نشان داد اکثریت قارچ‌های شناسایی شده متعلق به آسکومیست‌ها بودند و تنها سه OTU متعلق به بازیدیومیست‌ها شناسایی گردید. در میان این OTUها، *Cladosporium herbarum*، *Alternaria sp.*، *Microspheariopsis* و *Aureobasidium sp.* به ترتیب فراوان ترین قارچ‌های جدا شده از رسوب گرد و غبار بودند. برای بررسی تنوع عملکردی قارچ‌های شناسایی شده، لیست OTUها در پایگاه آنالین داده FUNGuild با لیست عملکردی قارچ‌های موجود مقایسه گردید. نتایج این بررسی بیانگر این نکته بود که طوفان‌های گرد و غبار تعداد زیادی بیمارگرهای گیاهی (مانند *Seimatosporium sp.*، *Fusarium sp.*، *Sporisorium sp.* و *Alternaria sp.*) با خود حمل می‌کنند. علاوه بر این تعدادی از OTUهای جدا شده دز این پژوهش بیمارگرهای انسانی (*Quambalaria cyanescens*) و تعدادی نیز بیمارگرهای حیوانی (*Beauveria sp.*، *Scytalidium sp.*) بودند.

نتایج آزمون ANOVA در مورد اندازه گیری میزان رسوب گرد و غبار بر سطح برگ درختان بلوط نشان داد که میزان رسوب گرد و غبار در رویشگاه‌های حسن آباد و سرمیل نسبت به سایر رویشگاه‌های مورد مطالعه به طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) پایین تر است. همچنین میزان رسوب گرد و غبار در تیر ماه به صورت معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) بالاتر از دو ماه خرداد و مرداد بود (شکل ۱).

نتایج مدل‌های مورد استفاده حاکی از این بود که تغییرات زمانی و مکانی تاثیر معنی‌داری بر شاخص‌های تنوع و غنای مورد بررسی نداشتند. اما نتایج همچنین بیانگر رابطه مثبت و معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) تنوع زیستی و غنای گونه‌ای قارچ‌های جدا شده از گرد و غبار با میزان رسوب سطحی بود. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد با افزایش میزان رسوب گرد و غبار بر سطح برگ غنا و تنوع قارچ‌های حمل شده توسط این ذرات نیز افزایش یافته بود.

بررسی نمودارهای NMDS (Stress value= 0.18) جوامع قارچ‌های رسوب گرد و غبار نیز نشان داد که تفاوت چندانی بین جوامع رویشگاه‌های مختلف و در زمان‌های مختلف وجود ندارد و بر اساس شاخص بری-کورتیس بکار رفته این جوامع با یکدیگر تشابه بالایی داشتند (شکل ۳).

حدود گونه‌ها و شناسایی واحدهای تاکسونومیک، نتایج BLAST برای هر دو قطعه ITS1 و ITS2 در نرم افزار MEGAN 5 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (۳۱). قطعات ITS1 و ITS2 در آستانه هویت ۹۷ درصد خوشه‌بندی شده و توانایی‌ها به واحدهای تاکسونومیک (OTU) دسته‌بندی شدند. بدین صورت که نزدیک ترین سطح تاکسونومیک مشترک در هر دو قطعه ITS مورد بررسی به عنوان واحد تاکسونومیک آن نمونه انتخاب گردید. این OTUهای بدست آمده برای آنالیزهای تنوع زیستی و اکولوژیک مورد استفاده قرار گرفتند.

### تجزیه و تحلیل آماری و ترکیب جوامع

تغییرات زمانی و مکانی میزان رسوب سطحی گرد و غبار با استفاده از آزمون ANOVA مورد بررسی قرار گرفت. همچنین شاخص‌های تنوع زیستی شامل: شاخص تنوع شانون<sup>۱</sup>، شاخص تنوع سیمپسون<sup>۲</sup> و غنای گونه‌ای<sup>۳</sup> برای هر یک از نمونه‌های رسوب گرد و غبار محاسبه گردید. لازم به ذکر است تمام محاسبات آماری در نرم افزار R v3.2.4 محاسبه گردید (۳۲) با استفاده از بسته VEGAN v2.3.5 (۳۳) انجام گردید. برای بررسی میزان تاثیر رسوب گرد و غبار بر تنوع زیستی قارچ‌های حمل شده توسط گرد و غبار با توجه به نوع توزیع داده‌ها از مدل‌های خطی (Linear Model) و مدل‌های خطی تعمیم یافته (Generalized Linear Models) استفاده گردید. با توجه به اهداف تحقیق ترتیب مدل‌های مورد استفاده به صورت معادله شماره ۲ بود:

$$Y \sim S * DD + T * DD \quad \text{معادله شماره (۲)}$$

که در این معادله Y شاخص‌های تنوع زیستی یا غنای گونه‌ای، DD مقدار رسوب گرد و غبار، S رویشگاه و T زمان نمونه برداری است. برای بررسی میزان تاثیر هر یک از متغیرهای مورد بررسی بر شاخص‌های مورد نظر نیز از آزمون‌های ANOVA استفاده گردید. برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی ترکیب جوامع قارچ‌های رسوب گرد و غبار نیز از NMDS (Non-Metric Multidimensional Scaling) استفاده گردید.

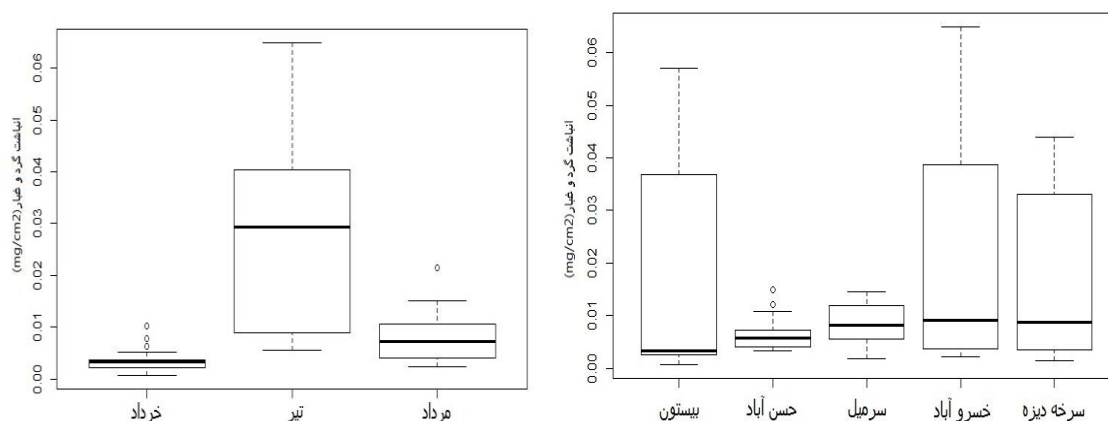
### نتایج

نتایج شناسایی مولکولی قارچ‌های جدا شده از رسوب گرد و غبار منجر به شناسایی ۵۳ واحد تاکسونومیک (OTU) گردید.

<sup>1</sup> Shannon diversity index

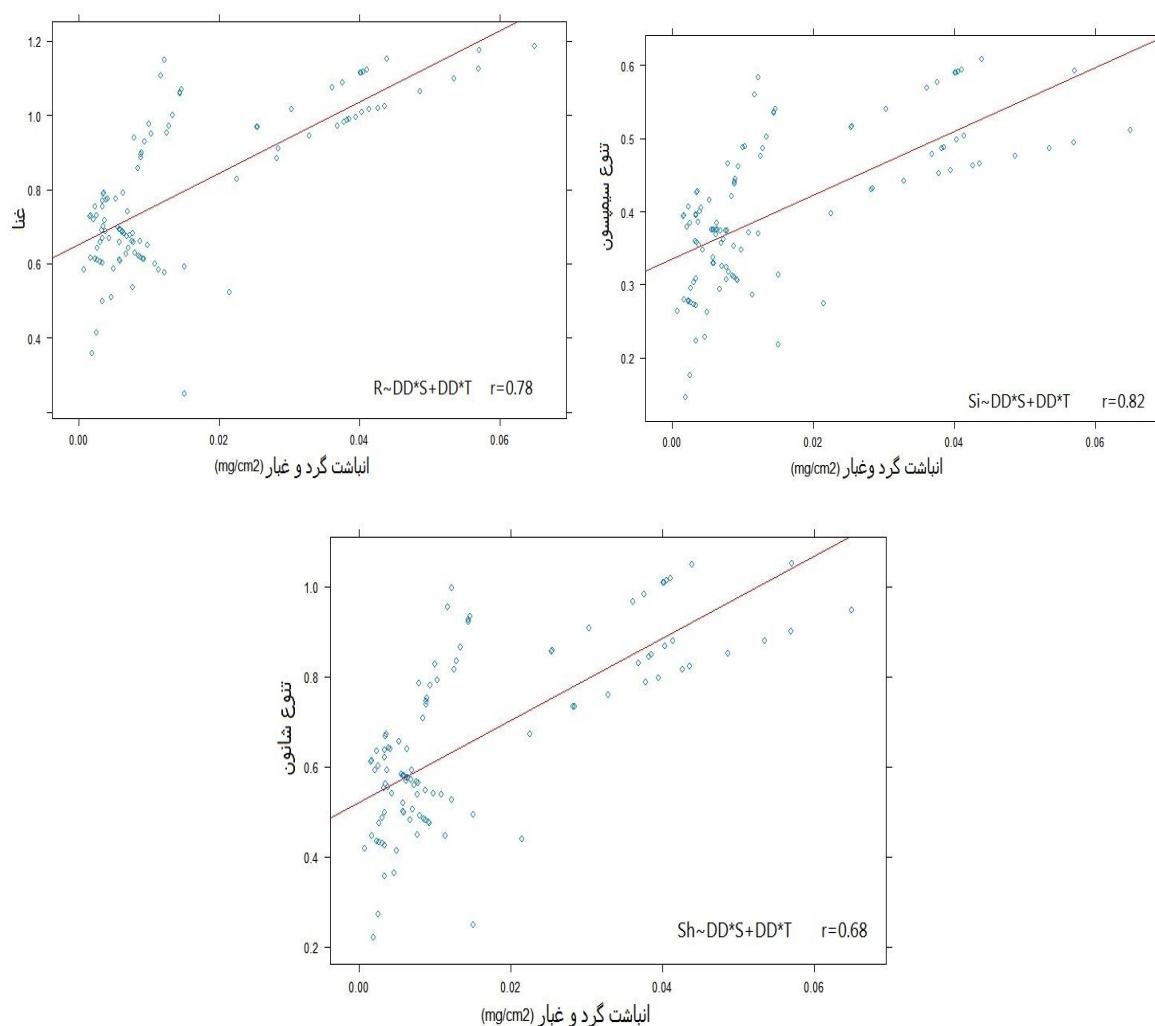
<sup>2</sup> Simpson diversity index

<sup>3</sup> Richness



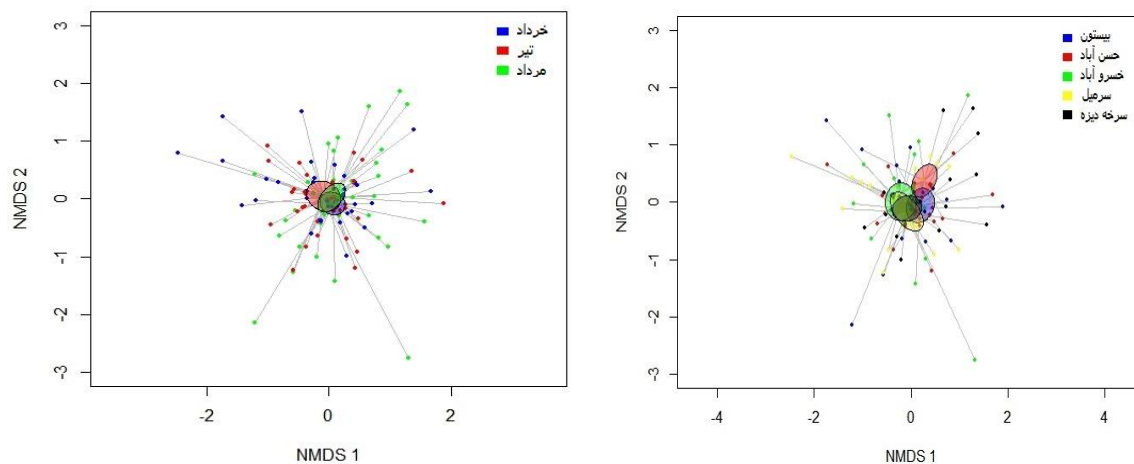
شکل ۱- تغییرات مکانی و زمانی میزان رسوب گرد و غبار بر سطح برگ درختان بلوط ایرانی. در این پلات ها خط تیره تر نمایانگر میانه داده ها، خط بالا نشانگر حد بالا و خط پایین نشانگر حد پایین داده ها می باشد. نقاط خارج از خطوط نیز داده پرت را نشان می دهند.

Figure 1 - Spatial and temporal changes in dust deposition on the leaf surface of Iranian oak trees. In these plots, the darker line represents the median of the data, the upper line represents the upper limit, and the lower line represents the lower limit of the data. Points outside the lines also represent outliers.



شکل ۲- رابطه بین شاخص های تنوع زیستی و غنای گونه ای قارچ های رسوب گرد و غبار با میزان رسوب سطحی.

Figure 2- Relationship between biodiversity indices and species richness of dust sediment fungi with surface sedimentation rate.



شکل ۳- تغییرات زمانی و مکانی ترکیب جوامع قارچی رسوب گرد و غبار.

Figure 3 - Temporal and spatial changes in the composition of dust sediment fungal communities.

از طرفی همانطور که گزارش شد مناطق مختلف نرخ رسوب گرد و غبار متفاوتی داشتند و تغییرات زمانی گرد و غبار نیز از نظر آماری معنی دار بود (شکل ۱). چنین اطلاعاتی با توجه به نتایج این تحقیق در مدیریت آبی سلامت و پایداری رویشگاه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نرخ رسوب ذرات گرد و غبار وابسته به غلظت گرد و غبار اتمسفری، شرایط آب و هوایی و مشخصات سطح رسوب است (۴۰). رویشگاه‌های سرمیل و حسن آباد دارای نرخ رسوب گرد و غبار پایین تری نسبت به سایر رویشگاه‌ها بودند که می‌تواند بیانگر تفاوت‌های رویشگاهی از نظر توپولوژی زمین باشد به طوریکه به عنوان مثال کوه‌های بلندی که این رویشگاه‌ها را احاطه کرده اند مانع از رسیدن میزان بالای گرد و غبار هستند و به همین علت نرخ رسوب کمتری در این مناطق مشاهده می‌شود. علاوه بر این، در حال حاضر انباشت گرد و غبار به عنوان یک کنترل کننده چرخه بیوژئوشیمیایی در بسیار از اکوسیستم‌ها پذیرفته شده است (۱۷، ۴۱). رویشگاه‌های با نرخ رسوب بالاتر گرد و غبار بیشتری را دریافت می‌کنند و به تبع آن میزان میکروارگانیسم‌های ورودی به آنها بالاتر است. لذا این رویشگاه‌ها مستعد تاثیرپذیری بالاتری از جانب میکروارگانیسم‌هایی مانند قارچ‌های بیمارگر حمل شده توسط گرد و غبار خواهند بود. از طرفی محققان اظهار داشتند که رسوب گرد و غبار می‌تواند از طریق مکانیسم‌هایی مانند کاهش فتوسنتز، کاهش تنفس، بستن روزنه‌های برگ، تغییر اسیدیته سطح برگ و تغییرات بیوژئوشیمیایی اندام‌های مختلف (۱۶، ۱۷) بر مقاومت درخت در مقابل بیمارگرها تاثیر منفی بگذارد. از سویی دیگر جوامع قارچ‌های رسوب گرد و غبار در رویشگاه‌های مختلف و در زمان‌های متفاوت انجام این تحقیق از تشابه بالایی برخوردار

### بحث و نتیجه گیری

همانطور که در نتایج ذکر شد جوامع قارچ‌های قابل کشت رسوب گرد و غبار سطح برگ از تنوع زیستی نسبتاً بالایی برخوردار بود. تا کنون محققان زیادی به بررسی تنوع زیستی میکروارگانیسم‌های حمل شده توسط طوفان‌های گرد و غبار پرداخته اند و همگی بر این نکته که گرد و غبار از تنوع قارچی بالایی برخوردار است تاکید ورزیده اند (۳۴-۳۹). به عنوان مثال در پژوهشی که در اهواز انجام گردید و تاثیر طوفان‌های گرد و غبار بر تنوع و تراکم قارچ‌های قابل کشت بررسی شد، فراوان ترین جنس‌های قارچ حمل شده توسط این طوفان‌ها به ترتیب *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium* و *Penicillium* گزارش گردید (۳۵). همچنین در تحقیق دیگر که در سال ۲۰۱۳ در شهر سئول کره جنوبی انجام شد، گزارش گردید که طوفان‌های گرد و غبار آسیایی نه تنها جوامع میکروارگانیسم‌های موجود در هوا را تغییر می‌دهند بلکه بر جوامع قارچ‌های اکوسیستم نیز تاثیر گذار هستند (۳۸). نتایج این تحقیق نشان داد رسوب گرد و غبار می‌تواند به عنوان معیاری برای سنجش شدت طوفان‌های گرد و غبار در بررسی تنوع زیستی میکروارگانیسم‌های مرتبط با این طوفان‌ها مورد استفاده قرار گیرد. با اینکه تمام قارچ‌های حمل شده توسط ذرات گرد و غبار بر سطوح گیاهان رسوب نمی‌کنند اما با مطالعه قارچ‌های موجود در رسوب گرد و غبار، می‌توان گونه‌هایی که پتانسیل تاثیر بیشتری بر اکوسیستم دارند را شناسایی نمود. همانطور که نتایج نشان داد برخی از قارچ‌های ورودی از طریق رسوب گرد و غبار بیمارگرهای گیاهی، حیوانی و بعضاً انسانی بودند که خود تاکید بر اهمیت چنین مطالعاتی در اکوسیستم‌های مختلف تحت این طوفان هاست.

توانایی سازگاری با اکوسیستم جدید را داشته و یا بتوانند به درون بافت‌های گیاهی نفوذ کنند (به طور مثال از طریق روزنه‌های برگ گیاهان) بالاتر می‌رود. لذا افزایش شدت و تعدد طوفان‌های گرد و غبار از این لحاظ می‌تواند صدمات جبران ناپذیری بر سلامت و پایداری اکوسیستم داشته باشد. استرس‌هایی مانند گرد و غبار در شدت‌های بالا منجر به کاهش تولید اولیه و ثانویه و کاهش ظرفیت و توانایی احیا اکوسیستم به حالت اولیه خود می‌گردد. به علاوه، ممکن است باعث افزایش شیوع بیماری‌ها، اختلال در چرخه عناصر غذایی، غلبه گونه‌های مهاجم و فرصت‌طلب گردد (۱۷). لذا مطالعه میزان رسوب گرد و غبار در اکوسیستم‌هایی مانند جنگل‌های زاگرس که به صورت متناوب تحت تاثیر طوفان‌های گرد و غبار هستند و از طرفی در سال‌های اخیر در اثر بیماری‌های قارچی رو به نابودی بوده‌اند، می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای در حفظ پایداری و برنامه‌ریزی‌های آتی برخوردار باشد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر شناسایی عوارض جانبی رسوب گرد و غبار بر سطح برگ می‌تواند بسیار مفید بوده و در پیش‌بینی و مدیریت بحران‌های ناشی از آن بسیار کارساز باشد. شناسایی بیمارگرهای موجود در رسوب گرد و غبار و مطالعات تکمیلی در زمینه مکانیسم اثرگذاری آنها از جمله این تحقیقات است. همچنین مطالعه سایر اثرات رسوب گرد و غبار بر سطوح گیاهی مانند تاثیر بر فتوسنتز و میزان تولید اولیه و ثانویه گیاهان و ارتباط آن با ضعف فیزیولوژیک گیاهان، نه تنها در اکوسیستم‌های جنگلی بلکه در مورد محصولات زراعی مناطق تحت تاثیر طوفان‌های گرد و غبار کاملاً ضروری به نظر می‌رسد.

#### تقدیر و تشکر

بدینوسیله از تمام افرادی که در انجام مراحل مختلف این تحقیق نویسندگان را یاری نمودند قدردانی می‌شود. همچنین لازم می‌دانیم از آقایان ولی الله مهدیزاده، محمد حق دوست، رضا حق دوست، وحید صمدی و فردین مرادی به پاس حمایت هایشان در زمان انجام مراحل مختلف این تحقیق سپاس‌گزاری نماییم.

#### فهرست منابع

- [1] Goudie AS. Dust storms: recent developments. Journal of environmental management. 2009; 90(1): 89-94.
- [2] Mahowald NM, Muhs DR, Levis S, Rasch PJ, Yoshioka M, Zender CS, et al. Change in atmospheric mineral aerosols in response to climate: Last glacial period, preindustrial, modern, and doubled carbon dioxide climates.

بودند (شکل ۳). این نتایج می‌تواند بیانگر این نکته باشد که تمام رویشگاه‌های مورد مطالعه تحت تاثیر طوفان‌هایی با منبع یکسان قرار دارند. همچنین طوفان‌های رخ داده در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد نیز با توجه به همپوشانی جوامع قارچی احتمالاً از یک منبع منشاء گرفته‌اند. منطقه غربی و جنوب غربی کشور به دلیل داشتن ویژگی‌های طبیعی از جمله مرتفع و کوهستانی بودن، داشتن بارندگی سالیانه بیشتر از متوسط کشوری و همچنین وجود پوشش گیاهی جنگلی و مرتعی که در مجموع آن را از مناطق خشک کشور جدا می‌کند، به عنوان یک منطقه منبع گرد و غبار به شمار نمی‌رود (به جز مناطق کوچکی در استان‌های ایلام و خوزستان) و در نتیجه بیشتر گرد و غبارهای فراگیر و گسترده‌ای که در این مناطق مشاهده می‌شود فرامحلی بوده و از نواحی دور و نزدیک دیگر منشأ می‌گیرند (۴۲). با توجه به تحقیقات انجام گرفته شرق سوریه، عراق و بیابان‌های عربستان به عنوان مناطق منبع گرد و غبار در غرب و جنوب غربی ایران شناسایی شده‌اند (۴۳). ذوالفقاری و عابدزاده (۴۲) علاوه بر مناطق فوق صحرای کبیر آفریقا را نیز به عنوان یکی از منابع طوفان‌های گرد و غبار مناطق غربی و جنوب غربی ایران ذکر کرده‌اند. نتایج مطالعه عزیز و همکاران نشان داده است که بیشینه روزهای گرد و غبار در این مناطق در ماه‌های مه، ژوئن و ژوئیه (معدل اواسط اردیبهشت تا اواسط مرداد ماه در تقویم شمسی) و کمینه آن در ماه‌های دسامبر و ژانویه (اواسط آذر تا اواسط بهمن ماه) است که با نتایج تحقیق حاضر مشخص شد بیشینه گرد و غبار در مناطق مورد مطالعه در تیر ماه اتفاق افتاده است.

نتایج بررسی تنوع زیستی قارچ‌های رسوب گرد و غبار در رابطه با میزان رسوب نشان دهنده افزایش معنی‌دار تنوع و غنای گونه‌ای با افزایش میزان رسوب گرد و غبار بود (شکل ۲). به عبارت دیگر با افزایش شدت طوفان‌های گرد و غبار تنوع قارچ‌های ورودی به اکوسیستم نیز افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات سایر محققان نیز بیانگر تنوع زیستی بالای طوفان‌های گرد و غبار است (۸، ۱۸، ۲۲، ۴۴). در تحقیقی که در تایوان انجام گرفت نیز اثبات شد که غلظت اسپور قارچ در هوا در روزهای گرد و غبار به طور معنی‌داری بالاتر است و غلظت *Nigrospora Aspergillus Penicillium Basidiospore* به صورت معنی‌داری با غلظت ذرات معلق در ارتباط بود (۳۷). به عبارتی دیگر با افزایش شدت این طوفان‌ها و افزایش تنوع قارچ‌های ورودی به اکوسیستم، احتمال تاثیرات منفی میکروارگانیسم‌هایی مانند قارچ‌ها به خصوص بر گیاهان افزایش می‌یابد. چرا که با افزایش میزان و تنوع قارچ‌ها به خصوص بیمارگرها به اکوسیستم، احتمال اینکه تعدادی از این بیمارگرها

- Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2006; 111(D10).
- [3] Miller R, Tegen I. Climate response to soil dust aerosols. *Journal of climate*. 1998; 11(12): 3247-67.
- [4] Kellogg CA, Griffin DW. Aerobiology and the global transport of desert dust. *Trends in ecology & evolution*. 2006; 21(11): 638-44.
- [5] Creamean JM, Suski KJ, Rosenfeld D, Cazorla A, DeMott PJ, Sullivan RC, et al. Dust and biological aerosols from the Sahara and Asia influence precipitation in the western US. *science*. 2013; 339 (6127): 1572-8.
- [6] Gallisai R, Peters F, Volpe G, Basart S, Baldasano JM. Saharan dust deposition may affect phytoplankton growth in the Mediterranean Sea at ecological time scales. *PloS one*. 2014; 9(10): e110762.
- [7] Naimabadi A, Ghadiri A, Idani E, Babaei AA, Alavi N, Shirmardi M, et al. Chemical composition of PM10 and its in vitro toxicological impacts on lung cells during the Middle Eastern Dust (MED) storms in Ahvaz, Iran. *Environmental pollution*. 2016; 2113: 16-24.
- [8] Griffin DW. Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health. *Clinical microbiology reviews*. 2007; 20(3): 459-77, table of contents.
- [9] Song Z, Wang J, Wang S. Quantitative classification of northeast Asian dust events. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2007; 112(D4).
- [10] Brocato J, Sun H, Shamy M, Kluz T, Alghamdi MA, Khoder MI, et al. Particulate matter from Saudi Arabia induces genes involved in inflammation, metabolic syndrome and atherosclerosis. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. 2014; 77(13): 751-66.
- [11] Ravi S, D'Odorico P, Breshears DD, Field JP, Goudie AS, Huxman TE, et al. Aeolian processes and the biosphere. *Reviews of Geophysics*. 2011; 49(3).
- [12] Gonzalez-Martin C, Teiggell-Perez N, Valladares B, Griffin DW. The Global Dispersion of Pathogenic Microorganisms by Dust Storms and Its Relevance to Agriculture. 2014; 127: 1-41.
- [13] Lawrence CR, Neff JC. The contemporary physical and chemical flux of aeolian dust: A synthesis of direct measurements of dust deposition. *Chemical Geology*. 2009; 267(1-2): 46-63.
- [14] Borgie M, Ledoux F, Dagher Z, Verdin A, Cazier F, Courcot L, et al. Chemical characteristics of PM2.5-0.3 and PM0.3 and consequence of a dust storm episode at an urban site in Lebanon. *Atmospheric Research*. 2016; 180: 274-86.
- [15] Norouzi S, Khademi H, Faz Cano A, Acosta JA. Using plane tree leaves for biomonitoring of dust borne heavy metals: A case study from Isfahan, Central Iran. *Ecological Indicators*. 2015; 57: 64-73.
- [16] Cape JN. Interactions of forests with secondary air pollutants: some challenges for future research. *Environmental pollution*. 2008; 155(3): 391-7.
- [17] Grantz DA, Garner JHB, Johnson DW. Ecological effects of particulate matter. *Environment international*. 2003; 29(2-3): 213-39.
- [18] Itani GN, Smith CA. Dust Rains Deliver Diverse Assemblages of Microorganisms to the Eastern Mediterranean. *Scientific reports*. 2016; 6: 22657.
- [19] Ruotsalainen A-L, Kozlov M. Fungi and air pollution: is there a general pattern. *New topics in environmental research*. 2006: 57-103.
- [20] Helander M. Responses of pine needle endophytes to air pollution. *The New phytologist*. 1995; 131: 223-9.
- [21] Griffin DW, Kubilay N, Koçak M, Gray MA, Borden TC, Shinn EA. Airborne desert dust and aeromicrobiology over the Turkish Mediterranean coastline. *Atmospheric Environment*. 2007; 41(19): 4050-62.
- [22] Rosselli R, Fiamma M, Deligios M, Pintus G, Pellizzaro G, Canu A, et al. Microbial immigration across the Mediterranean via airborne dust. *Scientific reports*. 2015; 5: 16306.
- [23] Fialkiewicz-Koziel B, Smieja-Krol B, Ostrovnaya TM, Frontasyeva M, Sieminska A, Lamentowicz M. Peatland Microbial Communities as Indicators of the Extreme Atmospheric Dust Deposition. *Water, air, and soil pollution*. 2015; 97(4): 226.
- [24] Ram SS, Majumder S, Chaudhuri P, Chanda S, Santra SC, Maiti PK, et al. Plant canopies: bio-monitor and trap for re-suspended dust particulates contaminated with heavy metals. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2012; 19(5): 499-508.
- [25] Safaei N, Alizadeh A, Saeidi A, Adam G, Rahimian H. Molecular characterization and genetic diversity among Iranian populations of *Fusarium graminearum*, the causal agent of wheat headblight. *Iranian Journal of Plant Pathology*. 2005; 41: 171-89.

- [26] Gardes M, Bruns TD. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes-application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Molecular ecology*. 1993; 2(2): 113-8.
- [27] White TJ, Bruns T, Lee SJWT, Taylor JW. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *PCR protocols: a guide to methods and applications*. 1990; 18(1): 315-22.
- [28] Kears M, Moir R, Wilson A, Stones-Havas S, Cheung M, Sturrock S, et al. Geneious Basic: an integrated and extendable desktop software platform for the organization and analysis of sequence data. *Bioinformatics*. 2012; 28(12): 1647-9.
- [29] Abarenkov K, Tedersoo L, Nilsson RH, Vellak K, Saar I, Veldre V, et al. PlutoF - a Web Based Workbench for Ecological and Taxonomic Research, with an Online Implementation for Fungal ITS Sequences.: *Evolutionary Bioinformatics*; 2010. p. 189-96.
- [30] Nilsson RH, Veldre V, Hartmann M, Unterseher M, Amend A, Bergsten J, et al. An open source software package for automated extraction of ITS1 and ITS2 from fungal ITS sequences for use in high-throughput community assays and molecular ecology. *Fungal Ecology*. 2010; 3(4): 284-7.
- [31] Huson DH, Mitra S, Ruscheweyh H, Weber N, Schuster SC. Integrative analysis of environmental sequences using MEGAN4. *Genome research*. 2011; 21(9): 1552-60.
- [32] R-CoreTeam. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2015. URL <http://www.R-project.org>. 2016.
- [33] Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB, et al. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.3-3. 2016.
- [34] Madsen AM, Schlunssen V, Olsen T, Sigsgaard T, Avci H. Airborne fungal and bacterial components in PM1 dust from biofuel plants. *The Annals of occupational hygiene*. 2009; 53(7): 749-57.
- [35] Soleimani Z, Goudarzi G, Naddafi K, Sadeghinejad B, Latifi SM, Parhizgari N, et al. Determination of culturable indoor airborne fungi during normal and dust event days in Ahvaz, Iran. *Aerobiologia*. 2012; 29(2): 279-90.
- [36] Kellogg CA, Griffin DW, Garrison VH, Peak KK, Royall N, Smith RR, et al. Characterization of aerosolized bacteria and fungi from desert dust events in Mali, West Africa. *Aerobiologia*. 2004; 20(2): 99-110.
- [37] Wu P-C, Tsai J-C, Li F-C, Lung S-C, Su H-J. Increased levels of ambient fungal spores in Taiwan are associated with dust events from China. *Atmospheric Environment*. 2004; 38(29): 4879-86.
- [38] Jeon EM, Kim YP, Jeong K, Kim IS, Eom SW, Choi YZ, et al. Impacts of Asian dust events on atmospheric fungal communities. *Atmospheric Environment*. 2013; 81: 39-50.
- [39] Prospero JM, Blades E, Mathison G, Naidu R. Interhemispheric transport of viable fungi and bacteria from Africa to the Caribbean with soil dust. *Aerobiologia*. 2005; 21(1): 1-19.
- [40] Lequy É, Conil S, Turpault M-P. Impacts of Aeolian dust deposition on European forest sustainability: A review. *Forest Ecology and Management*. 2012; 267: 240-52.
- [41] Derry LA, Chadwick OA. Contributions from Earth's atmosphere to soil. *Elements*. 2007; 3(5): 333-8.
- [42] Zolfaghari H, Abedzadeh H. Synoptic analysis of dust systems in western Iran. *Journal of Geography and Development*. 2005: 173-88.
- [43] Azizi. Q., Pour. Esh, Miri M., Safrad T. Statistical-Synoptic Analysis of Dust Phenomenon in the Western Half of Iran *Environmental*. 2011; 38(3): 123-34.
- [44] Al-Barakah F, Radwan S, Modaihsh A. Seasonal and spatial variation of microbial contents in falling dust in Riyadh city, Saudi Arabia. *Int J Curr Microbiol App Sci*. 2014; 3(10): 647-56.

## سنتز نانوزئولیت اصلاح شده با سورفکتانت به عنوان نانوجاذب در حذف نیترات از آب آشامیدنی

زهرا حسین آبادی<sup>۱</sup>

نیما ذوالفقاری<sup>۲\*</sup>

[ghr\\_zolfaghari@yahoo.com](mailto:ghr_zolfaghari@yahoo.com)

زهرا بیگم مختاری حسینی<sup>۳</sup>

مجتبی هادوی فر<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** در دهه های اخیر، غلظت بالای نیترات در آب آشامیدنی در سراسر جهان تبدیل به یک نگرانی جدی شده است. این مطالعه تجربی با هدف کلی امکان سنجی استفاده از زئولیت طبیعی منطقه سبزوار به صورت اصلاح شده به عنوان یک نانوجاذب در حذف نیترات از منابع آبی انجام شده است.

**روش بررسی:** زئولیت تهیه شده از منطقه سبزوار (clinoptilolite)، ابتدا خرد و چندین بار شستشو داده شد و به وسیله دستگاه بال میل سیاره-ای تبدیل به نانو زئولیت شده و با عامل های کلرید آهن ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) و هگزا دیسیل تری متیل آمونیوم بروماید ( $\text{HDTMA-Br}$ ) اصلاح گردید.

نانومواد سنتز شده Fe-NanoClino و HD-NanoClino نام گذاری شدند. جهت تعیین ترکیب شیمیایی زئولیت اصلاح شده و سایر ذرات از تکنیک های XRD، XRF و TEM استفاده شد. در این مطالعه، پارامترهای pH، غلظت اولیه نیترات، زمان تماس و دوز جاذب در یک راکتور ناپیوسته مورد بررسی قرار گرفت. غلظت نیترات با استفاده از اسپکتروفوتومتر UV/visible اندازه گیری شد.

**یافته ها:** نتایج نشان می دهد که با افزایش غلظت اولیه نیترات، راندمان و ظرفیت جذب، افزایش و با افزایش دوز جاذب، راندمان و ظرفیت جذب، کاهش می یابد. در بررسی اثر pH کارایی حذف نیترات، از pH ۴ تا ۸ روند افزایشی و از pH ۸ به بعد روند کاهشی داشت. زمان بهینه جذب نیترات، ۳۰ دقیقه است و بیشترین ظرفیت جذب ۱۹/۶۰ mg/g بدست آمد. داده های جذب از مدل ایزوترم جذب لانگمیر ( $R^2=0/993$ ) تبعیت می کند.

**بحث و نتیجه گیری:** نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می دهد که نانو زئولیت کلینوپتیولیت اصلاح شده منطقه سبزوار، کارایی بالایی در حذف نیترات از منابع آبی دارد (بیش از ۹۵) و با توجه به استخراج این ماده ارزشمند از معادن کشور می توان از آن به عنوان یک روش کم هزینه در جهت حل مشکلات زیست محیطی استفاده نمود.

**واژه های کلیدی:** نانو زئولیت اصلاح شده، کلرید آهن، هگزا دیسیل تری متیل آمونیوم بروماید، نیترات.

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران\* (مسئول مکاتبات)

<sup>۳</sup> دانشیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی نفت و پتروشیمی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

## **Synthesis of nano-zeolite modified with surfactant as nano-adsorbent in the effective removal of nitrate from drinking water**

**Zahra Hoseinabadi<sup>1</sup>**

**Nima Zolfaghari<sup>2\*</sup>**

[ghr\\_zolfaghari@yahoo.com](mailto:ghr_zolfaghari@yahoo.com)

**Zahra Beigom Mokhtari-Hoseini<sup>3</sup>**

**Mojtaba Hadavifar<sup>2</sup>**

Accepted Date: November 15, 2023

Date Received: March 3, 2023

### **Abstract**

**Background:** Today, contamination of water resources to nitrate is a serious problem in many parts of the world. This experimental study aimed to determine the feasibility of using natural zeolite of Sabzevar (clinoptilolite) to be modified with cationic surfactant as a sorbent for removal of nitrates from water sources.

**Methods:** Zeolite prepared from Sabzevar were first crushed and washed and by planetary ball mill machine converted into nano-zeolites. Iron (III) chloride ( $\text{FeCl}_3$ ) and ammonium cationic surfactant (hexadecyltrimethylammonium bromide, HDTMA-Br) was used for functionalizing of nano-zeolites and nanomaterials synthesised were named Fe-NanoClino and HD-Nano Clino. To determine the physical charectristics of the modified zeolite XRD, XRF and TEM analyses were conducted. In this study, the effect of various parameters including pH, initial nitrate concentration, contact time and adsorbent dose was investigated in a batch reactor. Nitrate concentrations determined in different samples using an UV/visible spectrophotometer.

**Results:** The results showed that by increasing the initial nitrate concentration, efficiency and adsorption capacity increased and with increasing adsorbent dose, efficiency and absorption capacity decreased. Increasing in pH value from 4 to 8 concluded increase of nitrate removal. While, for pH values more than 8 decreasing trend occurred. Therefore, the optimum pH for the removal of nitrate considered as 8. Equilibrium time of 30 minutes and maximum absorption capacity 18.83 mg/g were obtained from experimental data. The isotherm models revealed that nitrate adsorption logically fitted by Langmiur model ( $R^2=0.989$ ).

**Conclusion:** The results of this study showed that modified clinoptilolite nanozeolite Sabzevar has good efficiency (above 95 %) in nitrate removal from water sources and has capability of economically excavation from local mines. It can be used as an effective and low-cost method to solve the environmental problems.

**Keywords:** Modified nanozeolite, Iron (III) chloride, HDTMA-Br, Nitrate.

---

<sup>1</sup> Master of Environmental Engineering, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Khorasan -e- Razavi, Sabzevar, Sabzevar, Iran

<sup>2</sup> Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Khorasan -e- Razavi, Sabzevar, Iran \* (Corresponding Author)

<sup>3</sup> Department of Chemical Engineering, Faculty of Petroleum and Petrochemical Engineering, Hakim Sabzevari University, Khorasan -e- Razavi, Sabzevar, Iran

## ۱- مقدمه

حضور آلاینده ها در محیط زیست مشکلات متعددی را برای اکوسیستم به وجود آورده و سلامت انسان را به مخاطره انداخته است (۱). گسترش سریع شهرها یکی از مهم ترین عوامل مرتبط با آلودگی آب می باشد که نتایج سنجش آلاینده ها این مسئله را در اکوسیستم های آبی ثابت می کند (۵-۲). عواملی مانند کودهای نیترا ته، مهم ترین منبع آلودگی نیترات در آب های سطحی و زیرزمینی می باشد (۶). حضور یون های نیترات در آب از نظر بهداشت عمومی جامعه، می تواند تهدیدی علیه سلامت افراد به حساب آید. این یون به خودی خود برای بدن خطرناک نیست اما به دلیل این که در روده انسان توسط باکتری خاص به نیتريت تبدیل می شود بسیار سمی بوده و باعث ایجاد بیماری متهموگلوبینمیا<sup>۱</sup> (سندرم آبی) در کودکان (۷، ۸، و ۹)، سرطان معده، احتمال سقط جنین و ایجاد مشکلات جسمی متعددی از جمله دردهای شکمی و استفراغ می شود (۱۰). همچنین وجود نیترات در محیط های آبی، باعث ایجاد پدیده یوتروفیکاسیون می گردد (۱۱). بنابراین حذف آلودگی نیترات از آب دارای اهمیت فراوانی می باشد (۱۲). در دهه های اخیر، غلظت بالای نیترات در آب آشامیدنی در سراسر جهان تبدیل به یک نگرانی جدی شده است (۱۳). وجود نیترات در آب های سطحی و زیرزمینی از شاخص های اصلی بروز مشکلات زیست محیطی است. نیترات جزء شایع ترین آلاینده های شیمیایی در آب های زیرزمینی جهان محسوب می شود (۱۴). و آب های زیرزمینی به عنوان منبع مهم آب آشامیدنی، در قسمت های مختلف جهان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه مثل چین (۱۵) و ایران (در حدود ۶۰٪) می باشد (۱۶). در بسیاری از شهرهای ایران مانند تهران، مشهد، رشت، ساری، همدان، اراک و اصفهان، افزایش بیش از حد مجاز نیترات در آب های زیرزمینی مشاهده شده است (۱۷). طی دو قرن اخیر با توجه به رشد صنعتی کشورهای جهان و افزایش جمعیت، میزان تولید و کاربرد نیترات بخصوص در بخش کشاورزی افزایش یافته است. این وضعیت باعث ورود نیترات به پساب های کشاورزی و فاضلاب های شهری و صنعتی شده است و در صورت مدیریت ضعیف این رواناب ها، احتمال ورود نیترات به منابع آبی افزایش می یابد (۱۸ و ۱۹). سازمان بهداشت جهانی (WHO) و اتحادیه اروپا، حد مجاز غلظت نیترات را ۵۰ mg/l بر حسب نیترات اعلام نموده اند (۲۰). با توجه به پایداری و حلالیت زیاد یون نیترات، روش های تصفیه معمول آب، مانند آهک زنی و فیلتراسیون، قادر به حذف نیترات نیست از این رو نیاز به روش های تصفیه پیشرفته مانند تبادل یونی (۲۱) حذف

بیولوژیکی، اسمز معکوس (۲۲) الکترو دیالیز (۷) دنیتریفیکاسیون کاتالیزوری (۲۳) احیای شیمیایی (۲۴) و جذب (۷) می باشد. کاربرد این فرایندها به دلیل عملیات پرهزینه و مشکل دفع آب نمک تولیدی، محدود شده است (۲۵). در این میان، روش جذب سطحی به دلیل سادگی و عملکرد اقتصادی بهتر و همچنین تولید لجن و مشکلات دفع کم تر، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این روش، قیمت جاذب مصرفی از مهم ترین عوامل در اقتصادی بودن فرایند می باشد. با توجه به این که کربن فعال یک جاذب نسبتا گران قیمت برای حذف آلاینده هاست (۲۶) مطالعات فراوانی برای کاربرد و استفاده از جاذب هایی که به سادگی قابل استفاده و کم هزینه باشند صورت گرفته است (۱۳).

امروزه روش های مختلفی برای تصفیه آب وجود دارد که می تواند در این زمینه به کار گرفته شود (۲۷ و ۲۸). در سال های اخیر مطالعاتی در خصوص استفاده از جاذب های کربنی، جاذب های معدنی، جاذب های حاصل از پسماندهای کشاورزی و صنعتی، جاذب های زیستی، و جاذب های مزوپروسلیکاتی (۱۳) در مقیاس میکرو و نانو انجام شده است. در این راستا، ترکیبات نانو متخلخل، یکی از مهم ترین گروه از نانو ساختارها را تشکیل می دهند و زئولیت ها جزء مواد نانو متخلخل معدنی محسوب می شوند و دارای ظرفیت تبادل کاتیونی داخلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خارجی بسیار زیاد و سطح مقطعی وسیع می باشند (۲۹). زئولیت ها عمدتاً از آلومینوسیلیکاتی هیدراته کریستالی تشکیل شده و دارای منافذ و حفره هایی با قدرت جذب کنندگی بالا می باشند که هم به صورت طبیعی و هم سنتزی وجود دارند (۳۰ و ۳۱). این مواد از دهه گذشته به طور گسترده، به عنوان جاذب در جداسازی و خالص سازی فرایندها استفاده می شود. امروزه کاربرد ترکیبات زئولیتی، در حذف آلاینده های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۵). این مواد به دلیل ارزانی، طبیعی، در دسترس بودن و سازگاری با محیط زیست، مورد توجه خاص می باشند (۳۶). زئولیت ها به دلیل تبادل یونی، هدایت الکتریکی، خواص کاتالیزوری، توانایی جذب گازها و بخارها، میزان آگیری زیاد، حجم خالی زیاد، ثبات ساختمان بلوری در هنگام آگیری، کاربردهای فراوانی چون تصفیه و پالایش آب، جذب کانی های سنگین، پالایش زباله های اتمی، پزشکی و داروسازی، جذب ناخالصی های نفت، مصالح ساختمانی، پرورش آبزیان و کشاورزی دارند (۳۷). نتایج تحقیقات بسیاری نشان می دهد که کلینوپتیلولیت جاذب خوبی برای مواد مختلف قطبی و غیر قطبی مانند هیدروکربنهای آلیفاتیک و آروماتیک، الکل ها، و کتون ها می باشد (۱۷ و ۳۸). در حال حاضر، با توجه به

<sup>1</sup> Methemoglobinemia

عامل دار شدن نانوزئولیت با سورفکتانت از روش طیف سنجی مادون قرمز<sup>۴</sup> (FTIR) استفاده شد.

## ۲-۱- سنتز نانو زئولیت کلینوپتیلولیت

زئولیت تهیه شده از منطقه سبزوار (clinoptilolite)، ابتدا خرد و چندین بار شستشو داده شد و به وسیله دستگاه بال میل سیاره ای تبدیل به نانو زئولیت شد. سپس با آب مقطر دیونیزه، چندین بار به خوبی شسته شدند و به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک شدند. در ادامه برای سنتز نانو زئولیت، از رویکرد بالا به پایین فناوری نانو استفاده شد. ذرات نانو زئولیت کلینوپتیلولیت به وسیله دستگاه بال میل تحت شرایط تر، به مدت ۳ ساعت، سرعت ۵۰۰ rpm و نسبت آب به پودر ۱:۱ آماده و در آون خشک شد (۴۰).

## ۲-۲- اصلاح سطح نانو زئولیت کلینوپتیلولیت

**اصلاح سطح نانو زئولیت کلینوپتیلولیت با  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$**   
۰/۸۳۶ گرم پودر  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  با ۸۹/۷ سی سی آب مقطر دیونیزه مخلوط شده و بعد ۵ گرم نانو زئولیت پیش تصفیه شده به محلول اضافه و به مدت ۲۴ ساعت داخل شیکر با سرعت ۱۵۰ rpm قرار داده می شود. پس از طی زمان ۲۴ ساعت، محلول را از شیکر خارج و سانتریفیوژ کرده بعد از سانتریفیوژ محلول رویی را دور ریخته و این عمل تا زمانی که تست نیترات نقره صفر شود ادامه می یابد. در انتها نانو زئولیت های اصلاح شده را داخل پلیت ریخته تا خشک گردد و بعد داخل خشکانه تا زمان استفاده نگهداری می شود. نانوماده سنتز شده  $\text{Fe-NanoClino}$  نام گذاری شد.

## اصلاح سطح نانو زئولیت کلینوپتیلولیت با $\text{HDTMA-Br}$

جهت اصلاح سطح با سورفکتانت، نانو زئولیت کلینوپتیلولیت با محلول  $\text{HDTMA-Br}$  مخلوط و درون دستگاه شیکر انکوباتور با دمای ۳۰ درجه سانتی گراد و سرعت ۱۵۰ rpm به مدت ۲۴ ساعت قرار داده می شود. سپس فاز جامد این محلول را با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ، جداسازی و با استفاده از آب مقطر دوبار یونیزه شده شسته می شود. در نهایت در دمای ۱۰۵ °C به مدت ۲۴ ساعت در آون نمونه خشک می شود زئولیت اصلاح شده برای جلوگیری از جذب رطوبت، در داخل خشکانه نگهداری گردید. نانوماده سنتز شده  $\text{HD-NanoClino}$  نام گذاری شد.

مصارف عمده زئولیت ها در تصفیه و پالایش آب، در آمریکا مقدار آمونیوم موجود در آب های کشاورزی و صنعتی را با استفاده از زئولیت ها کاهش می دهند (۳۹). در مطالعه ای در سال ۲۰۱۰ مشخص شد که زئولیت های طبیعی مختلف در سراسر جهان از لحاظ ظرفیت تبادل متفاوت اند (۳۸). در کشور ایران، مناطقی چون میانه، طبس، جنوب شرقی سمنان، منطقه ورامین و منطقه چاه تلخ سبزوار دارای منابع عظیم زئولیتی می باشند که می توان از آن به عنوان سرمایه عظیم ملی نام برد. با توسعه روز افزون روش های تولید و خالص سازی، متوسط اندازه ذرات زئولیت ها از چند میکرون به حدود ۱۰۰ نانو متر رسیده است و در مقایسه با زئولیت های متداول، نانو زئولیت ها دارای سطح ویژه بیشتر، توزیع اندازه ذرات، سینتیک جذب و دفع بهتری هستند. از کارکرد های مهم نانو زئولیت ها در مقایسه با زئولیت های متداول، کاهش مقدار مورد نیاز زئولیت برای یک فرآیند خاص است. در حال حاضر تلاش های تحقیقاتی فراوانی برای تولید انواع نانو زئولیت ها در حال انجام است و در این پژوهش برای اولین بار از نانوزئولیت منطقه سبزوار برای حذف نیترات استفاده شده است. این مطالعه با هدف کلی بررسی کارایی نانوزئولیت عامل دار شده منطقه سبزوار به عنوان یک نانو جاذب مناسب در حذف نیترات از منابع آب آشامیدنی انجام شده است.

## ۲- مواد و روش ها

هگزا دیسیل تری متیل آمونیم بروماید ( $\text{HDTMABr}$ ) و کلرید آهن ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) از شرکت مرک آلمان و نیترات پتاسیم برای تهیه محلول های آزمایشگاهی از شرکت سیگما آلد ریچ تهیه گردید. زئولیت کلینوپتیلولیت نیز از منطقه چاه تلخ واقع در جنوب سبزوار، تهیه شد. تمامی محلول ها با استفاده از آب مقطر دو بار یونیزه شده، آماده شد. به منظور تولید نانوزئولیت از آسیاب بال میل<sup>۱</sup>، جهت اختلاط نمونه از دستگاه شیکر انکوباتور یخچال دار، دستگاه سانتریفیوژ  $\text{SiGma}$  جهت جداسازی نانوزئولیت از محلول، و برای تنظیم pH از اسید کلریدریک و هیدروکسید سدیم استفاده شد. غلظت باقی مانده نیترات در طول موج ۲۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتری قرائت شد. برای تعیین ترکیب شیمیایی زئولیت از روش فلورسانس پرتو ایکس<sup>۲</sup> (XRF) و جهت تشخیص ساختار کریستالی مواد از تکنیک پراش پرتو ایکس<sup>۳</sup> (XRD) و برای تعیین سایز ذرات از روش میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) و جهت تشخیص

<sup>1</sup> Ball mill

<sup>2</sup> X-Ray Fluorescence

<sup>3</sup> X-Ray Diffraction

<sup>4</sup> Fourier Transform Infra-Red

## ۳-۲- فرآیند حذف نیترات

طبق روش استاندارد متد، برای تهیه محلول استاندارد، ابتدا نیترات پتاسیم را به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار داده، سپس یک لیتر محلول استوک نیترات پتاسیم با حل کردن مقدار مناسبی (۰/۷۲۱ گرم) از  $KNO_3$  در آب مقطر تهیه شد. در ادامه، فرایند حذف نیترات با زئولیت اصلاح شده در ارن ۱۰۰ میلی لیتری بر روی شیکر انکوباتور با سرعت ۱۵۰ rpm دور در دقیقه قرار گرفت. غلظت اولیه ۵۰ ml از محلول استوک نیترات تهیه شد و pH محلول با افزودن هیدروکسید سدیم و اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال تنظیم شد (۳۱). غلظت نیترات در نمونه های استاندارد و مجهول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV/VIS سنجش و منحنی کالیبراسیون در طول موج ۲۲۰ نانومتر رسم شد و برای کاهش تداخل کربنات و قلیائیت قبل از قرائت جذب توسط دستگاه، ۱ میلی لیتر محلول ۱ نرمال اسید کلریدریک به آن افزوده شد.

## ۴-۲- آزمایشات جذب در شرایط ناپیوسته

این مطالعه به صورت تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. پارامترهای مورد مطالعه در طی فرآیند جذب شامل pH، زمان تماس، مقدار جاذب و غلظت اولیه نیترات بود. کلیه آزمایشات بر اساس مدل یک فاکتور در زمان در محیط ناپیوسته و در داخل ارن های با حجم ۱۰۰ ml انجام شد؛ به این صورت که در هر مرحله از آزمایشات با ثابت نگهداشتن ۴ پارامتر، تنها اثر تغییر یک پارامتر بر میزان جذب مورد بررسی

قرار گرفت و در نهایت ایزوترم فرآیند جذب و مقادیر هر یک از پارامترهای مربوط به آن ها محاسبه گردید. در این مطالعه جهت تعیین ظرفیت جذب معادله (۱) و درصد حذف معادله (۲) استفاده شد.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (1)$$

$$E = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

در فرمول فوق  $q_e$  ظرفیت جذب (میلی گرم بر گرم)،  $C_0$  غلظت اولیه نیترات در محلول (میلی گرم بر لیتر)،  $C_e$  غلظت تعادلی نهایی نیترات بعد از برقراری تعادل (میلی گرم بر لیتر)،  $V$  حجم مایع (لیتر) و  $m$  جرم جاذب (گرم) می باشد.

## ۳- بحث و نتایج

## ۳-۱- شناسایی نانو زئولیت

## ۳-۱-۱- بررسی طیف فلورسانس پرتو ایکس (XRF) نانو

## زئولیت سنتز شده از منطقه سبزوار (NanoClino)

آنالیز ساختار زئولیت کلینوپتیلولیت با استفاده از تکنیک XRF در جدول ۱ آمده است. نتایج نشان می دهد که نسبت جرمی  $Al_2O_3$  /  $SiO_2$  در این زئولیت برابر ۶/۵۵ و درصد ترکیب های فرار نمونه ۱۵/۶۲ درصد است و بیشترین ترکیب موجود در ساختار این جاذب، کوارتز با فرمول شیمیایی  $SiO_2$  است که حدود ۶۳ درصد ساختار جاذب مورد استفاده را تشکیل می دهد. در مطالعات انجام شده ترکیب اصلی زئولیت کوارتز گزارش شده است (۱۶ و ۴۱).

جدول ۱- شناسایی ترکیب شیمیایی (XRF) نانو زئولیت سنتز شده از منطقه سبزوار (NanoClino)

Table 1- Chemical composition (X-ray fluorescence) of Sabzevar zeolite (NanoClino)

| LOI*  | SO <sub>3</sub> | Fe O <sub>2 3</sub> | P O <sub>2 5</sub> | CaO  | MnO  | TiO <sub>2</sub> | K O <sub>2</sub> | MgO  | Na O <sub>2</sub> | Al O <sub>2 3</sub> | SiO <sub>2</sub> | ترکیب |
|-------|-----------------|---------------------|--------------------|------|------|------------------|------------------|------|-------------------|---------------------|------------------|-------|
| ۱۵/۶۲ | ۰/۰۰            | ۱/۰۴                | ۰/۰۳               | ۵/۵۱ | ۰/۰۹ | ۰/۱۷             | ۱/۷۶             | ۰/۷۷ | ۲/۴۳              | ۹/۵۷                | ۶۲/۶۸            | درصد  |

\* درصد کلی مواد فرار (Loss of ignition)

## ۳-۱-۲- بررسی طیف پراش اشعه ایکس (XRD) نانو

## زئولیت HD-NanoClino

ناحیه پرتو X در طیف الکترومغناطیس در محدوده بین پرتو  $\gamma$  و پرتو فرابنفش قرار دارد. با استفاده از این ناحیه طیفی می توان اطلاعاتی در خصوص ساختار و جنس ماده بدست آورد. تست XRD انجام گرفته روی زئولیت سبزوار که الگوی آن در شکل ۱ نشان داده شده است بیان می کند که جنس غالب این زئولیت از نوع کلینوپتیلولیت با ۷۶٪ و بقیه آن از جنس کلسیت می باشد و قوی ترین پیک آن در مقدار ۲θ برابر ۲۹/۵ می باشد.

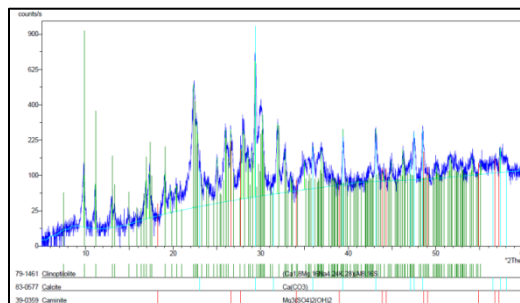
## ۳-۱-۳- نتایج میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)

## نانو زئولیت HD-NanoClino

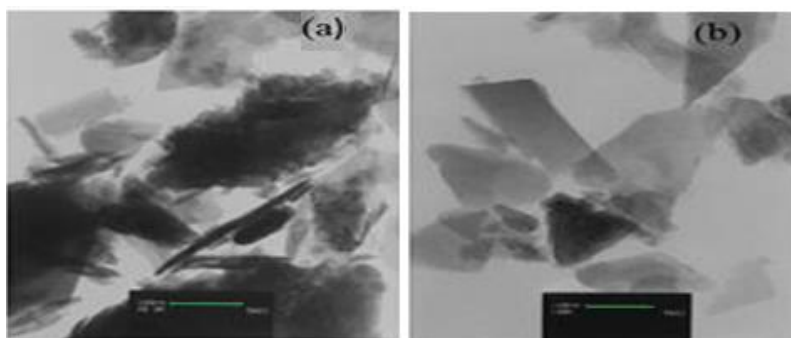
خواص مواد نانوساختاری به شکل و اندازه آن ها بستگی دارد و از این رو مطالعه پیرامون شکل، اندازه و آرایش مواد نانوساختاری از نظر فهم پدیده های موجود و در نهایت استفاده از آن ها در کاربردهای مختلف ضروری است. در پژوهش های مربوط به خواص مواد نانوساختاری میکروسکوپ الکترونی عبوری یکی از مهم ترین و پرکاربردترین دستگاه هایی است که مورد استفاده قرار می گیرد. در اغلب مطالعات انجام شده روی

می دهد. طبق تصویر TEM بدست آمده (شکل ۲)، اندازه ذرات نانو ژئولیت سنتز شده در این مطالعه در محدوده ۴۰۰-۵۰ نانومتر قرار دارد.

خواص مواد نانوساختاری برای تعیین اندازه و شکل آن ها از میکروسکوپ الکترونی عبوری استفاده شده است. این روش اندازه و شکل ذرات را با دقت حدود چند ده نانومتر به دست



شکل ۱- الگوی XRD نانو ژئولیت HD-NanoClino  
Figure 1. XRD pattern of HD-NanoClino

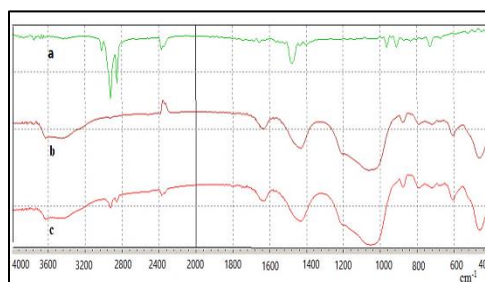


شکل ۲- تصاویر TEM نانو ژئولیت HD-NanoClino: (a) مقیاس ۲۰۰ نانومتر، (b) مقیاس ۱۰۰ نانومتر.  
Figure 2- TEM images HD-NanoClino: (a) the scale of 200 nm, (b) the scale of 100 nm.

می کند، و ۲- پیک مربوط به مولکول های آب ژئولیت در ناحیه  $3700-1500 \text{ cm}^{-1}$  (پیک در ناحیه  $3320 \text{ cm}^{-1}$  که مربوط به حالت ارتعاشی کششی پیوند هیدروژنی آب جذب شده در ژئولیت می باشد). اما در طیف نانوژئولیت کلینوپیتولیت اصلاح شده (شکل ۳) ۲ پیک جدید وجود دارد که نشانگر عامل دار شدن نانوژئولیت می باشد، این دو پیک مربوط به ارتعاشات کششی C-H زنجیره هیدروکربنی هستند ( $2800 \text{ cm}^{-1}$  و  $3000$ ) ( $42$  و  $43$ ).

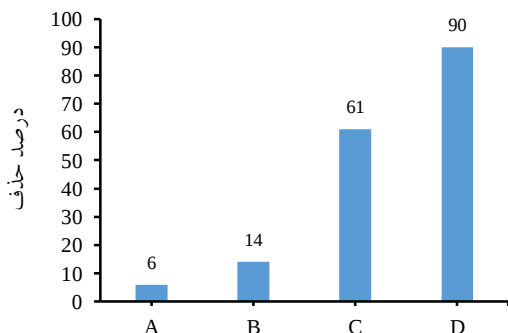
### ۳-۱-۴- بررسی طیف FTIR نانو ژئولیت HD-NanoClino

ژئولیت یک ماده معدنی است که عمدتاً از آلومینوسیلیکات ها تشکیل شده و درصدی از عناصر سدیم، منیزیم، منگنز، آهن، کلسیم و ... را داراست. در طیف FTIR کلینوپیتولیت، ۲ پیک اصلی وجود دارد: ۱- پیک مربوط به Si-O-Si و Si-O-Al در ناحیه  $400-1200 \text{ cm}^{-1}$  (پیک های موجود در در ناحیه  $1070 \text{ cm}^{-1}$  که مربوط به ارتعاش کششی نامتقارن Si-O-Si می باشد که با ارتعاشات کششی Al-O-Si , Al-O هم پوشانی



شکل ۳- طیف FTIR ترکیبات مختلف (a) HDTMA، (b) نانوکلینوپیتولیت، و (c) نانوساختار سنتز شده HD-NanoClino.  
Figure 3- FTIR spectra a) HDTMA, b) Nano clinoptilolite, (c) HD-NanoClino.

مطالعه بیش‌تری انجام نشد و مطالعات روی HD-NanoClino متمرکز شد.



شکل ۴- اثر اصلاح سطح بر راندمان حذف نیترات (A)، نانوزئولیت اصلاح نشده (B) نانو زئولیت اصلاح شده با کلرید آهن، (C) نانوساختار سنتز شده HD-NanoClino (غلظت گروه های عاملی ۲ مول)، و (D) نانو زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت (غلظت گروه های عاملی ۳۰ مول).

Figure 4- The effect of modification on the nitrate removal efficiency. A) unmodified nanozeolite, B) nanozeolite modified by  $\text{FeCl}_3$ , C) nanozeolite modified by HDTMA (2 mol), and D) nanozeolite modified by HDTMA (30 mol)

### ۳-۳-۳- بررسی اثر پارامترهای مختلف بر راندمان حذف

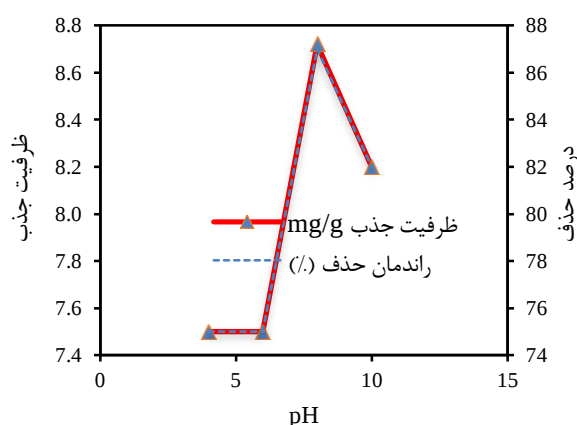
#### ۳-۳-۳-۱- بررسی اثر pH بر راندمان حذف نیترات

پارامتر pH یکی از پارامترهای مهمی است که از طریق تاثیر بر ساختار نیترات و بار سطحی جاذب در فرآیند جذب تاثیر می گذارد. در این تحقیق، تاثیر pH در دامنه ۴ تا ۱۰ روی میزان جذب نیترات با نانو زئولیت HD-NanoClino بررسی شد. جهت بررسی تاثیر این عامل نمونه هایی با pH اولیه ۴، ۶، ۸ و ۱۰ و با غلظت ثابت نیترات (۵۰ میلی گرم در لیتر) و دوز جاذب ۰/۵ گرم در دمای محیط تهیه شد. همان طور که شکل ۵ (چپ) نشان می دهد درصد حذف و ظرفیت جذب نیترات در دامنه pH از ۴ تا ۶ ثابت بوده و از pH برابر ۶ تا ۸، یک روند خطی افزایشی مشاهده شد و از آن پس روند کاهشی داشته است. بنابراین، بیشینه درصد حذف و ظرفیت جذب در pH برابر ۸ می باشد. در pH های قلیایی یون  $\text{OH}^-$  به عنوان یک یون رقیب برای جذب آنیون های نیترات عمل نموده و برخی از جایگاه های نانو زئولیت را اشغال می کند. این پدیده در مورد جاذب مورد استفاده در این مطالعه نیز حاکم می باشد.

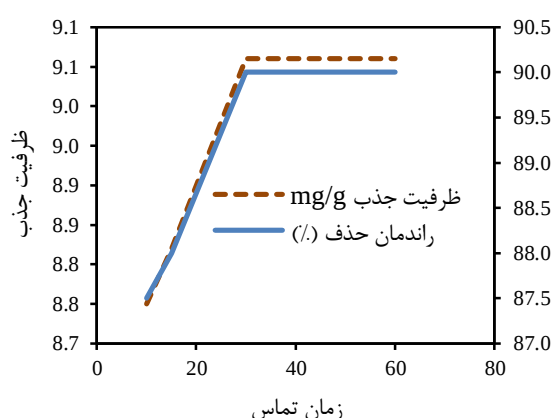
### ۳-۲- بررسی اثر اصلاح سطح با عامل های مختلف بر راندمان حذف

زئولیت طبیعی با داشتن بارهای منفی سطحی، ظرفیت بالایی برای جذب و تبادل کاتیونی دارد ولی قادر به جذب بالای آلاینده های آنیونی نمی باشد. از این رو سطح جاذب بایستی به گونه ای اصلاح شود تا بارهای مثبت در سطح آن ایجاد گردد. ثابت شده که سورفکتانت کاتیونی تمایل زیادی برای تبادلات منفی دارد که از این ویژگی برای اصلاح سطح خارجی زئولیت، برای بالا بردن ظرفیت تبادل یونی منفی استفاده می شود. جذب سورفکتانت های کاتیونی روی سطح خارجی زئولیت بوسیله تبادلات کاتیونی و برهم کنش هیدروفوبیک کنترل می شود (۴۴). اگر از سورفکتانت با غلظت کم تر از حد بحرانی مسیل شدن (CEC) (حد بحرانی مسیل شدن برابر ۰/۱۸ مولار است) استفاده شود، تنها یک لایه از مولکول های سورفکتانت روی سطح زئولیت می نشیند. در صورتی که از غلظت های فوق بحرانی استفاده شود و سورفکتانت به صورت کاملاً دولایه ای روی زئولیت قرار گیرد آن را برای جذب آنیون ها مناسب تر می سازد (۴۲) در میان زئولیت های طبیعی، کلینوپتیلولیت به دلیل خاصیت انتخابی بالاتر، ظرفیت بالای تبادل یونی، مقاومت به شرایط محیطی و فراوان بودن در این تحقیق به عنوان جاذب مورد بررسی قرار گرفته است و برای اصلاح این زئولیت از هگزا دسیل تری متیل آمونیوم بروماید استفاده شد. جذب سورفکتانت روی زئولیت به دو عامل اصلی غلظت سورفکتانت (CMC) و ظرفیت تبادل کاتیونی خارجی (ECEC) زئولیت بستگی دارد. نتایج مطالعات (۴۲ و ۴۵) نشان می دهند که جذب مولکول سورفکتانت روی کلینوپتیلولیت به صورت دو فرآیند مجزا بسته به درجه جذب اتفاق می افتد. در ابتدا سورفکتانت به روش تبادل کاتیونی و بعد توسط نیروهای آب گریز جذب می شود. در این مطالعه با توجه به تاثیر فراوان اصلاح سطح بر فرآیند جذب آنیون ها توسط نانو زئولیت، پیش آزمونی برای این تحقیق، طراحی شد و اثر اصلاح سطح بر نانو زئولیت با استفاده از نانو زئولیت خام، نانو زئولیت اصلاح شده با  $\text{FeCl}_3$ ، نانو زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت برابر غلظت بحرانی و فوق بحرانی بررسی شد. برای این منظور، نمونه هایی با شرایط برابر تهیه شد و در هر کدام، از یک نوع جاذب استفاده شد و نتایج نشان داد که نانو زئولیت اصلاح شده با سورفکتانت با غلظت بحرانی، کارایی بیش تر از ۹۰ درصد دارد (شکل ۴). حداکثر درصد حذف با نانوزئولیت اصلاح شده با آهن ۱۴ درصد به دست آمد به همین علت در مورد این نانوساختار

خالی موجود در سطح جاذب باشد. این نتایج با برخی از مطالعات دیگران مشابهت دارد (۱۸ و ۴۶). افزایش راندمان در زمان های تماس اولیه، ممکن است به دلیل افزایش تعداد سایت های خالی موجود در سطح جاذب باشد که با کاهش سایز جاذب، سطح تماس افزایش و زمان تماس کاهش می یابد (۴۷).



۳-۳-۲- بررسی اثر زمان تماس بر راندمان حذف نیترات  
با توجه به این که جذب در ناحیه سطحی نانو زئولیت اصلاح شده صورت می گیرد، سرعت جذب بالا می باشد. نتایج این تحقیق مطابق شکل ۵ (راست) نشان داد، با افزایش زمان تماس تا ۳۰ دقیقه ظرفیت و درصد جذب افزایش یافته و به حداکثر مقدار خود می رسد و بعد از آن روند ثابتی پیدا می کند. افزایش راندمان در زمان های تماس اولیه، ممکن است به دلیل افزایش تعداد سایت های

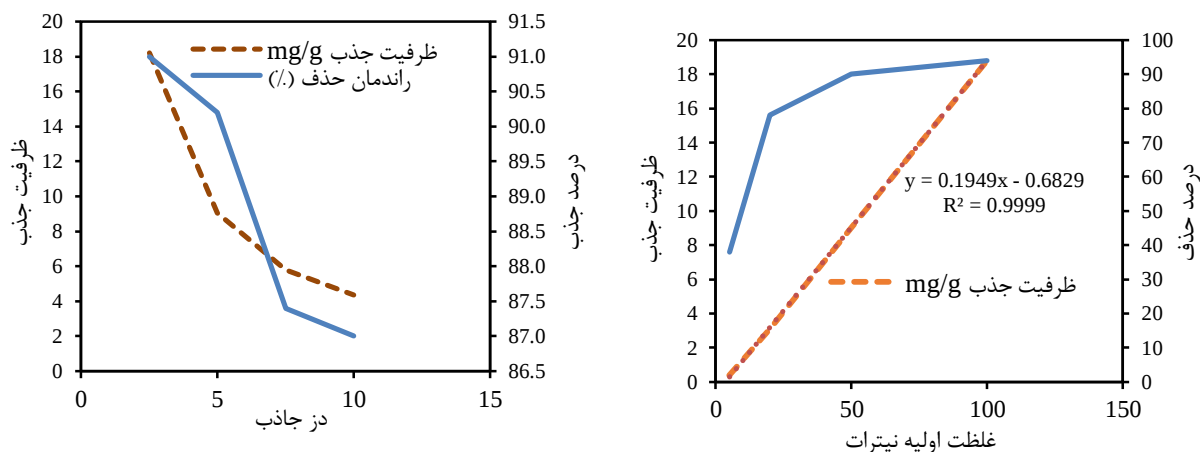


شکل ۵- اثر pH (چپ) و زمان تماس (راست) بر جذب نیترات توسط نانوساختار HD-NanoClino  
Figure 5- The effect of pH (left) and contact time (right) on nitrate adsorption on HD-NanoClino

### ۳-۳-۴- بررسی اثر غلظت اولیه بر راندمان حذف نیترات

نتایج نشان داد که غلظت اولیه نیترات، عامل موثری در راندمان حذف نیترات می باشد. همان طور که در شکل ۶ (راست) نشان داده شده، افزایش غلظت اولیه نیترات منجر به افزایش راندمان حذف و ظرفیت جذب می گردد. نتیجه بدست آمده قابل مقایسه با نتایج تحقیقات پیشین می باشد (۴۹). در این تحقیقات کاهش راندمان حذف در اثر افزایش غلظت اولیه نیترات گزارش شد. دلیل این امر، تبدیل شدن زئولیت به نانو زئولیت و افزایش سطح جاذب در حدود ۱۰ برابر اشاره کرد. با افزایش سطح نانوجاذب، نسبت سطح در دسترس به تعداد مول های نیترات که باید جذب شود بیش تر می شود و باعث افزایش میزان بارگذاری نیترات روی سطح نانوزئولیت اصلاح شده می گردد. تمام آزمایش ها به صورت یک فاکتور در زمان مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۳-۳- بررسی اثر دوز جاذب بر راندمان حذف نیترات  
تعیین دوز بهینه جاذب، به دلیل مسایل اقتصادی پارامتر دیگری است که باید در مطالعات جذب به ویژه برای طراحی سیستم های با مقیاس بزرگ تعیین گردد. همانطور که در شکل ۶ (چپ) نشان داده شده است با افزایش دوز جاذب از ۲/۵ به ۱۰ گرم بر لیتر درصد جذب نیترات از ۹۱٪ تا ۸۷٪ کاهش می یابد. در سال Varghese و همکاران در سال ۲۰۰۴ (۴۸) گزارش کردند که علت عدم افزایش جذب در برابر افزایش دوز جاذب به این دلیل است که در غلظت های بالاتر جاذب به دلیل رقابت بین فنل که به حالت آنیون است، برای دستیابی به نقاط فعال سطحی افزایش می یابد و در نتیجه دانسیته جذب افزایش می یابد. از طرفی، دوز های بالاتر جاذب در واحد حجم آب، منجر به هم پوشانی سطح جاذب و تجمع آن ها می شود. بنابراین برآیند آن ها باعث کاهش سطح کل در دسترس و کاهش میزان جذب آلاینده می شود. زیرا تجمع جاذب ها باعث افزایش مسیر انتشار، در طی مرحله انتشار آلاینده در سطوح قابل جذب جاذب می شود و نتیجه آن کاهش میزان جذب خواهد بود.



شکل ۶- اثر دوز جاذب (چپ) و غلظت اولیه (راست) بر جذب نیترات توسط نانوساختار HD-NanoClino.  
Figure 6- The effect of adsorbent dosage (left) and initial concentration (right) on nitrate adsorption on HD-NanoClino.

شکل ۷ (راست) نشان داده شده است. یکی از پارامترهای مهمی که در معادلات جذب برای پیش بینی مناسب بودن یا نبودن جذب بایستی تعیین گردد، ضریب بدون بعد ( $R_L$ ) می باشد که نشان دهنده شرایط جذب آلاینده در سطح جاذب است.

اگر  $R_L$  بزرگتر از یک باشد جذب خطی، اگر  $R_L$  برابر صفر باشد جذب غیرقابل برگشت و اگر  $R_L$  بین صفر و یک باشد نشان دهنده جذب مناسب می باشد. در این مطالعه براساس غلظت اولیه استفاده شده و مقدار  $K_L$  ایزوترم لانگمیر، مقدار عددی  $R_L$  بین ۰/۱۸ تا ۰/۶۲ تعیین گردید که نشان دهنده جذب مناسب نیترات توسط نانوزئولیت اصلاح شده می باشد. نتایج برازش داده های آزمایشگاهی ایزوترم جذب بر مدل های لانگمیر و فروندلیچ در جدول ۲ ارائه شده است. بررسی پارامتر آماری  $R^2$  نشان داد که هر دو مدل به خوبی قادر به تشریح داده های آزمایشگاهی می باشند و مدل لانگمیر در توصیف داده های آزمایشگاهی از عملکرد بالاتری برخوردار است. عملکرد مناسب مدل لانگمیر در تشریح ایزوترم جذب نیترات روی زئولیت اصلاح سطح شده (SMZ) در تحقیقات Schick و همکاران نیز مشاهده شد (۷).

### ۳-۵- مقایسه مطالعه حاضر با سایر مطالعات

افزایش آلودگی آب های سطحی و زیر زمینی به نیترات، از شاخص های اصلی بروز مشکلات زیست محیطی است. این مساله، انگیزه مهمی را برای یافتن راه های حذف آن با حداقل اثرات زیست محیطی و بهداشتی ایجاد نموده است. به لحاظ اهمیت وجود نیترات در محیط های آبی، مطالعات متعدد در

### ۳-۴- ایزوترم های جذب

ایزوترم مهم ترین پارامتر در طراحی سیستم های جذب و توصیف کننده رابطه بین غلظت ماده جذب شونده و ظرفیت جذب یک جاذب است. ایزوترم جذب چند لایه برای سطوح ناهمگن توسط ایزوترم فروندلیچ بیان می شود. در این مدل از ایزوترم، مناطق موجود روی سطح جاذب، یکنواخت نبوده و قدرت جذب متفاوتی دارند. معادله خطی فروندلیچ به کار برده شده برای جذب تعادلی عبارت است از:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} (\ln C_e) \quad (3)$$

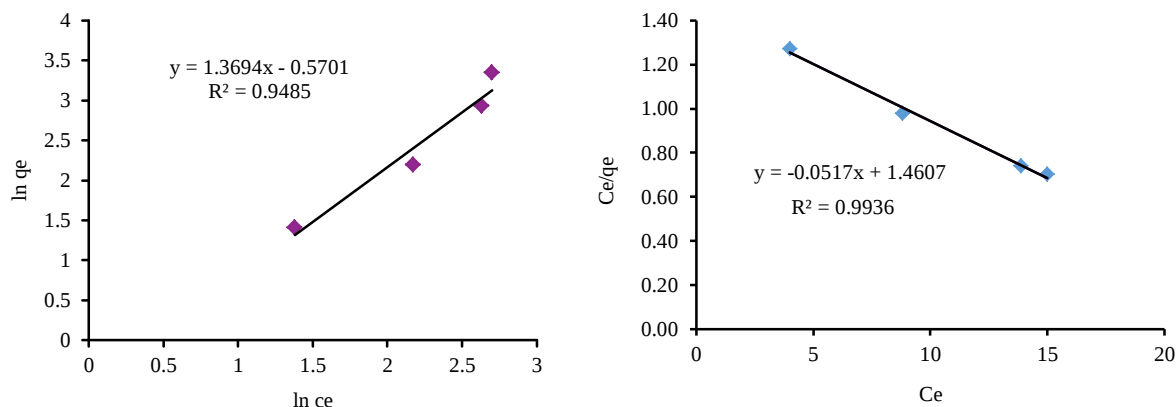
که در معادله (۳)  $q_e$ : میزان ماده جذب شده به ازای واحد وزن جسم جامد (mg/g)،  $C_e$ : غلظت تعادلی ماده در محلول (mg/l) و  $K_f$  و  $1/n$  ثابت های فروندلیچ هستند. رسم  $q_e \ln C_e$  بر حسب  $\ln C_e$  در شکل ۷ (چپ) نشان داده شده است. ایزوترم لانگمیر بر پایه این فرض است که نقاطی از والانس بر سطح جاذب وجود دارد و هر یک از این سایت ها ظرفیت جذب یک مولکول را دارند. بنابراین لایه جذب شده به ضخامت یک مولکول خواهد بود. به علاوه این فرض نیز وجود دارد که همه سایت های جذب، نیروی جاذبه مساوی برای مولکول های جذب شونده دارند و این که وجود مولکول های جذب شونده در یک سایت تاثیری بر جذب سایر مولکول ها در سایت مجاور نمی گذارد. معادله خطی لانگمیر به کار برده شده برای جذب تعادلی عبارت است از:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m b} + \frac{1}{q_m} C_e \quad (4)$$

که در معادله (۴)  $C_e$ : غلظت تعادلی ماده در محلول (mg/l)،  $q_e$ : میزان ماده جذب شده به ازای واحد وزن جسم جامد (mg/g) و  $K_L$  و  $q_m$  ثابت های لانگمیر هستند که بستگی به ظرفیت جذب و انرژی جذب دارند. رسم  $\frac{C_e}{q_e}$  بر حسب  $C_e$  در

مطالعه حاضر مقایسه شده است.

زمینه حذف نیترات از محیط‌های آبی با جاذب‌های گوناگون انجام شده است در جدول ۳ نتایج مطالعات آورده شده و با



شکل ۷- ایزوترم فروندلیچ (چپ) و لانگمیر (راست) برای جذب نیترات توسط نانوساختار HD-NanoClino.

Figure 7- Freundlich (left) and Langmuir (right) isotherms for nitrate adsorption on HD-NanoClino.

جدول ۲- نتایج حاصل از برازش ایزوترم‌های لانگمیر و فروندلیچ برای جذب نیترات روی نانوزئولیت عامل دار شده با HDTMA

Table 2-Langmuir and Freundlich parameters for adsorption of nitrate on HDTMA nano zeolite

| ضریب    | پارامتر        | نوع ایزوترم | نانوساختار   |
|---------|----------------|-------------|--------------|
| ۰/۰۳    | $K_L$ (l/mg)   | لانگمویر    | HD-NanoClino |
| ۱۹/۶۰   | $q_m$ (mg/g)   |             |              |
| ۰/۹۹۳   | $R^2$          |             |              |
| ۰/۱۵۸   | 1/n            | فروندلیچ    |              |
| ۰/۰۰۰۳۱ | $k_f$ (mmol/g) |             |              |
| ۰/۹۴۸   | $R^2$          |             |              |

#### ۴- نتیجه گیری

ظرفیت جذب  $19/60 \text{ mg/g}$  بدست آمد. تبدیل زئولیت به نانوزئولیت باعث شد اندازه ذرات به سایز نانو تبدیل شود که با کوچک شدن اندازه ذرات جاذب، به دلیل افزایش نسبت سطح به حجم و نهایتاً با توجه به افزایش مساحت سطح، تعداد سایت‌های جذب نیز افزایش یافته که منجر به کاهش مصرف دوز جاذب و افزایش کارایی و ظرفیت جذب گردید. با توجه به کارایی بالای این ماده در حذف آلاینده‌های مختلف، وجود معادن زئولیت طبیعی در ایران، قیمت پایین جاذب، سازگاری با محیط زیست، سهولت تهیه آن، امکان تولید اقتصادی نانو ذرات زئولیت در داخل کشور و سادگی اصلاح آن، که منجر به کاهش هزینه فرایند می‌شود، جزء فاکتورهای بسیار مهم در استفاده از این روش در حذف نیترات از منابع آبی است.

بررسی‌های انجام شده در تحقیق حاضر نشان داد نانو زئولیت عامل دار شده با سورفکتانت کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم بروماید (HDTMA-Br) از کارایی بالا (حدود ۹۴٪) برای حذف یون نیترات از منابع آبی برخوردار است و کارایی جذب نیترات در مقایسه با سایر مطالعات صورت گرفته با زئولیت، افزایش چشمگیری داشته است. زئولیت اصلاح شده به دلیل جایگاه‌های مختلف جذب، نسبت به زئولیت اصلاح نشده، کارایی بالاتری در حذف نیترات از محلول‌های آبی دارد و اصلاح سطح با استفاده از محلول HDTMA-Br با غلظت فوق بحرانی  $30 \text{ mmol/l}$ ، بهترین نتیجه را در پیش‌آزمون‌های اولیه اصلاح سطح نشان داد. عمده فرایند حذف یون نیترات در لحظه‌های اولیه رخ داد و زمان تماس بهینه ۳۰ دقیقه می‌باشد. PH بهینه در فرایند جذب نیترات برابر ۸ و بیشترین

جدول ۳- مقایسه مطالعه حاضر و برخی از مطالعات انجام شده برای حذف نیترات توسط نانو جاذب ها

Table 3- Comparison of present study and many other studies for nitrate removing by nanoadsorbents

| منبع        | نتایج                                                                                                                                                                                                                                        | نوع جاذب                                      |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| ۴۷          | - پتانسیل نانوالومینا برای حذف نیترات با غلظت بالا از منابع آبی<br>- ظرفیت جذب نانو آلومینا حدود ۴۰ mg/g در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد است.<br>- جذب نیترات توسط نانوالومینا وابسته به pH است و حداکثر حذف نیترات در pH=۴/۴ اتفاق می افتد.      | نانو آلومینا                                  |
| ۷           | جاذب انعطاف پذیری زیاد و فعالیت بالا برای حذف نیترات از محیط های آبی دارد. حذف نیترات با استفاده از این جاذب شامل سه مرحله است: ۱- جذب نیترات روی سطح زئولیت، ۲- واکنش اکسایش- کاهش بین سطح جاذب و یون نیترات، و ۳- جذب آمونیوم توسط زئولیت  | نانو ذره آهن صفر بر پایه زئولیت کلینوپتیلولیت |
| ۲۵          | نانوجاذب های نی و پوشال نیشکر اصلاح شده قابلیت حذف یون های نیترات را دارا بوده و از بین دو جاذب، نانو جاذب نی توانایی بیش تری در حذف نیترات دارد.                                                                                            | نانوجاذب های نی و پوشال نیشکر                 |
| ۵۰          | درصد حذف نیترات توسط این جاذب برابر ۷۵٪ بود. مقدار جذب برای NH <sub>2</sub> -NH-MCM-41 برابر ۱۵/۷۴ میلی گرم بر گرم بدست آمد.                                                                                                                 | نانو حفره سیلیکایی MCM-41                     |
| ۱۶          | زئولیت اصلاح شده در سایز میلی متر قادر به جذب بیش از ۶۰ mmol/kg و در اندازه نانومتر قادر به جذب بیش از ۸۰ mmol/kg می باشد.                                                                                                                   | زئولیت و نانو زئولیت منطقه سمنان              |
| مطالعه حاضر | PH بهینه در فرآیند جذب نیترات برابر ۸ و بیشترین ظرفیت جذب ۱۹/۶۰ mg/g بدست آمد. نانوجاذب سنتر شده کارایی بالا (حدود ۹۴٪) برای حذف یون نیترات از منابع آبی دارد. ماده اولیه این جاذب از طبیعت تهیه می شود و به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است. | نانو زئولیت عامل دار شده با سورفکتانت         |

#### فهرست منابع

- nitrate concentrations using spatial and non-spatial regression models in a semi-arid environment. *Water Science and Engineering*, 15 (3), 218-227.
- [7] Schick, J., Caullet, P., Paillaud, J.L., Patarin, J., and Mangold-Callarec, C., 2010. Batch-wise nitrate removal from water on a surfactant-modified zeolite. *Microporous and Mesoporous Materials*, 132(3), 395-400.
- [8] Sepehri, S., Heidarpour, M. and Abedi-Koupai, J., 2014. Nitrate removal from aqueous solution using natural zeolite-supported zero-valent iron nanoparticles. *Soil and Water Research*, 9, 224-232.
- [9] Loganathan, P., Vigneswaran, S., and Kandasamy, J., 2013. Enhanced removal of nitrate from water using surface modification of adsorbents—a review. *Journal of environmental management*, 131, 363-374.
- [10] Alikhani, M. and Moghbeli, M.R., 2014. Ion-exchange polyHIPE type membrane for removing nitrate ions: Preparation, characterization, kinetics and adsorption studies. *Chemical Engineering Journal*, 239, 93-104.
- [11] Wu, Y., Wang, Y., Wang, J., Xu, S., Yu, L., Philippe, C., and Wintgens, T., 2016. Nitrate removal from water by new polymeric adsorbent modified with amino and quaternary ammonium groups: Batch and column
- [1] Esmaili Sari, A., Zolfaghari, G., Ghasempouri, S. M., Shayegh, S. S., and Hasani Tabatabaei, M. (2007). Effect of age, gender, years of practice, specialty and number of amalgam restorations on mercury concentration in nails of dentists practicing in Tehran. *Journal of Iranian Dental Association*, 19(1), 97-104 (in Persian).
- [2] Zolfaghari, G., Esmaili Sari, A., Ghasempouri, S. M., Ghorbani, F., Ahmadifard, N., and Shokri, N. (2006). Relationship between age, gender and weight with mercury concentration in different organs of Chalcalburnus chalcalburnus from Anzali wetland. *Iranian Journal of Marine Science and Technology*, 5(3-4), 23-31 (in Persian).
- [3] Zolfaghari, G., Delsooz, M., and Rajaei, S. (2016). Study of mercury pollution in water, sediments, and fish from Hamoon international wetland. *Journal of Water and Wastewater*, 27 (5), 25-37 (in Persian).
- [4] Zolfaghari, G. (2018). Risk assessment of mercury and lead in fish species from Iranian international wetlands. *MethodsX*, 5, 438-447.
- [5] Zolfaghari, G., Akhgari Sang Atash, Z., and Sazgar, A. (2018). Baseline heavy metals in plant species from some industrial and rural areas: Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment. *MethodsX*, 5, 43-60.
- [6] Atabati, A., Adab, H., Zolfaghari, G., and Nasrabadi, M. (2022). Modeling groundwater

- adsorption study. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 66, 191-199.
- [12] Azamat, J., and Khataee, A., 2016. Removal of nitrate ion from water using boron nitride nanotubes: Insights from molecular dynamics simulations. Computational and Theoretical Chemistry, 1098, 56-62.
- [13] Bhatnagar, A., and Sillanpää, M., 2011. A review of emerging adsorbents for nitrate removal from water. Chemical Engineering Journal, 168(2), 493-504.
- [14] Malekian, R., Abedi-Koupai, J., and Eslamian, S.S., 2011. Influences of clinoptilolite and surfactant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. Journal of Hazardous Materials, 185(2), 970-976.
- [15] Huang, W., Zhang, B., Li, M., Chen, N., Feng, C., and Zhang, Z., 2013. An electrochemical process intensified by bipolar iron particles for nitrate removal from synthetic groundwater. Journal of Solid State Electrochemistry, 17(4), 1013-1020.
- [16] Malekian, R. Abedi-Koupai, J. Eslamian, S. S. and Afyuni, M. 2013. Ion-Exchange Process for Nitrate Removal and Release Using Surfactant Modified Zeolite. J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour., Water and Soil Sci., ol. 17, No. 63. (persian)
- [17] Moghadasi, M.S., Moghaddam, M.A., Maknoun, R., and Moghadasi, A.R., 2010. Investigation of nitrate concentration in tap water of Arak city, Iran. Southeast Asian Water Environment, 4, 29-33.
- [18] Esmaeilian, A., Ghaforian, H., Mahdavi mazdeh, D. A., Liaghat, A., 2013. Evaluation of Mineral filters Efficiency and Lemon activated carbon with nano pores in removing nitrate and cadmium from agricultural wastewaters. Iranian Water Researches Journal, 7(1), 53-62. In Persian.
- [19] Della Rocca, C., Belgiorno, V., and Meriç, S., 2007. Overview of in-situ applicable nitrate removal processes. Desalination, 204(1-3), 46-62.
- [20] Mohammadi, A., Bina, B., Ebrahimi, A., Hajizadeh, Y., Amin, M.M., and Pourzamani, H., 2012. Effectiveness of nanozeolite modified by cationic surfactant in the removal of disinfection by-product precursors from water solution. International Journal of Environmental Health Engineering, 1(1), 14-19.
- [21] Hekmatzadeh, A.A., Karimi-Jashani, A., Talebbeydokhti, N., and Kløve, B., 2012. Modeling of nitrate removal for ion exchange resin in batch and fixed bed experiments. Desalination, 284, 22-31.
- [22] Schoeman, J.J., and Steyn, A., 2003. Nitrate removal with reverse osmosis in a rural area in South Africa. Desalination, 155(1), 15-26.
- [23] Pintar, A., Batista, J., and Levec, J., 2001. Catalytic denitrification: direct and indirect removal of nitrates from potable water. Catalysis Today, 66(2), 503-510.
- [24] Cheng, I.F., Muftikian, R., Fernando, Q., and Korte, N., 1997. Reduction of nitrate to ammonia by zero-valent iron. Chemosphere, 35(11), 2689-2695.
- [25] Shrimali, M., and Singh, K.P., 2001. New methods of nitrate removal from water. Environmental pollution, 112(3), 351-359.
- [26] Wingenfelder, U., Furrer, G., and Schulin, R., 2006. Sorption of antimonate by HDTMA-modified zeolite. Microporous and Mesoporous Materials, 95(1), 265-271.
- [27] Zolfaghari, G., Esmaili-Sari, A., and Younesi, H. (2011). Surface modification of ordered nanoporous carbons CMK-3 via a chemical oxidation approach and its application in removal of lead pollution from water. Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, IPCBEE, 6, 174-178.
- [28] Zolfaghari, G., and Kargar, M. (2019). Nanofiltration and microfiltration for the removal of chromium, total dissolved solids, and sulfate from water. MethodsX, 6, 549–557.
- [29] Ghadiri, S.K., Nabizadeh, R., Mahvi, A.H., Nasserri, S., Kazemian, H., Mesdaghinia, A.R., and Nazmara, S., 2010. Methyl tert-butyl ether adsorption on surfactant modified natural zeolites. Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering, 7(3), 241-252.
- [30] Vidal, C.B., Raulino, G.S., Barros, A.L., Lima, A.C., Ribeiro, J.P., Pires, M.J., and Nascimento, R.F., 2012. BTEX removal from aqueous solutions by HDTMA-modified Y zeolite. Journal of environmental management, 112, 178-185.
- [31] Uzunova, E.L., and Mikosch, H., 2016. Adsorption of phosphates and phosphoric acid in zeolite clinoptilolite: Electronic structure study. Microporous and Mesoporous Materials, 232, 119-125.
- [32] Guan, H., Bestland, E., Zhu, C., Zhu, H., Albertsdottir, D., Hutson, J., Simmons, C.T., Ginic-Markovic, M., Tao, X., and Ellis, A.V., 2010. Variation in performance of surfactant loading and resulting nitrate removal among four selected natural zeolites. Journal of hazardous materials, 183(1), 616-621.

- [33] Demiral, H., and Gündüzoğlu, G., 2010. Removal of nitrate from aqueous solutions by activated carbon prepared from sugar beet bagasse. *Bioresource technology*, 101(6), 1675-1680.
- [34] Li, C., Dong, Y., Wu, D., Peng, L., and Kong, H., 2011. Surfactant modified zeolite as adsorbent for removal of humic acid from water. *Applied Clay Science*, 52(4), 353-357.
- [35] Song, W., Shi, T., Yang, D., Ye, J., Zhou, Y., and Feng, Y., 2015. Pretreatment effects on the sorption of Cr (VI) onto surfactant-modified zeolite: Mechanism analysis. *Journal of environmental management*, 162, 96-101.
- [36] Shavandi, M.A., Haddadian, Z., Ismail, M.H.S., Abdullah, N., and Abidin, Z.Z., 2012. Removal of Fe (III), Mn (II) and Zn (II) from palm oil mill effluent (POME) by natural zeolite. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43(5), 750-759.
- [37] Li, J., Li, Y., and Meng, Q., 2010. Removal of nitrate by zero-valent iron and pillared bentonite. *Journal of hazardous materials*, 174(1), 188-193.
- [38] Wang, S., and Peng, Y., 2010. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 11-24.
- [39] Du, G., Li, Z., Liao, L., Hanson, R., Leick, S., Hoepfner, N., and Jiang, W.T., 2012. Cr (VI) retention and transport through Fe (III)-coated natural zeolite. *Journal of hazardous materials*, 221, 118-123.
- [40] Charkhi, A., Kazemian, H., and Kazemeini, M., 2010. Optimized experimental design for natural clinoptilolite zeolite ball milling to produce nano powders. *Powder Technology*, 203(2), 389-396.
- [41] Mansouri, N.A., Asilian, H., Mafreshi, A., and Masoudinezhad, M.R., 2010. Determinations of natural zeolite clinoptilolite adsorption capacity for removing NO<sub>2</sub>. *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences*, 14(3 (47)), 197-205. In Persian.
- [42] Bowman, R.S., Sullivan, E.J., and Li, Z., 2000. Uptake of cations, anions, and nonpolar organic molecules by surfactant-modified clinoptilolite-rich tuff. *Natural zeolites for the third millennium*, 287-297.
- [43] Tayebee, R., Jarrahi, M., Maleki, B., Razi, M.K., Mokhtari, Z.B., and Baghbanian, S.M., 2015. A new method for the preparation of 1, 3, 5-triarylbenzenes catalyzed by nanoclinoptilolite/HDTMA. *RSC Advances*, 5(15), 10869-10877.
- [44] Mohammadi, A., Bina, B., Ebrahimi, A., Hajizadeh, Y., Amin, M.M., and Pourzamani, H., 2012. Effectiveness of nanozeolite modified by cationic surfactant in the removal of disinfection by-product precursors from water solution. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 1(1), 14-18.
- [45] Barczyk, K., Mozgawa, W., and Król, M., 2014. Studies of anions sorption on natural zeolites. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 133, 876-882.
- [46] Azari, A., Mahvi, A.H., Naseri, S., Rezaei, K.R., and Saberi, M., 2014. Nitrate removal from aqueous solution by using modified clinoptilolite zeolite. *Archives of Hygiene Sciences*, 3(1), 21-29.
- [47] Ozturk, N., and Bektas, T.E. 2004. Nitrate removal from aqueous solution by adsorption onto various materials. *Journal of hazardous materials*, 112(1):155-62.
- [48] Varghese, S., Vinod, V.P., and Anirudhan, T.S., 2011. Kinetic and equilibrium characterization of phenols adsorption onto a novel activated carbon in water treatment. *Indian Journal of Chemical Technology*, 11, 825-833.
- [49] He, Y., Lin, H., Luo, M., Liu, J., Dong, Y., and Li, B., 2020. Highly efficient remediation of groundwater co-contaminated with Cr(VI) and nitrate by using nano-Fe/Pd bimetal-loaded zeolite: Process product and interaction mechanism. *Environmental Pollution*, 263, 1-11.
- [50] Gatkash, M.E., Younesi, H., and Shahbazi, A., 2011. Nitrate removal from aqueous solution using nanoporous MCM-41 Silica adsorbent functionalized with diamine group. *Water Wastewater*, 1:69-76.



## پویایی مکانی و زمانی موزاییک‌های مراحل تحولی در جنگل مدیریت شده راش شرقی

سید باقر میراحمدی<sup>۱</sup>

اسداله متاجی<sup>۲\*</sup>

[amataji@srbiau.ac.ir](mailto:amataji@srbiau.ac.ir)

ساسان بابایی کفاکی<sup>۳</sup>

رضا اخوان<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷

### چکیده

**زمینه و هدف:** گستره وسیع و متنوعی از روابط ساختاری و عملکردی جوامع زنده و محیط پیرامون آنها وجود دارد که به دلیل پویایی اکوسیستم‌ها در هریک از بخش‌های سازنده‌ی آن است. به منظور درک صحیح از تغییرات آتی توده جنگلی و اتخاذ برنامه جنگل‌شناسی مناسب، شناخت پویایی جوامع جنگلی دارای نقش کلیدی است. شناسایی تغییرات و پویایی جنگل در مراحل مختلف تحولی به منظور مدیریت بهینه، احیا و اصلاح ساختار جنگل‌ها لازم و ضروری است. تحقیق حاضر با هدف پایش تغییرات و پویایی مکانی و زمانی موزاییک‌های مراحل تحولی در قطعه ۵۱۴، سری پنج طرح جنگل داری صفارود واقع در حوضه آبخیز ۳۰ رامسر انجام شد.

**روش بررسی:** یک محدوده ده هکتاری که در سال ۱۳۸۸ آماربرداری شده بود، مجدداً آماربرداری صد درصد از مشخصه‌های درختان از جمله نوع گونه، قطر برابر سینه، مشخصه‌های کمی روشنه‌ها و خشک‌دارها انجام شد. سپس با استفاده از کلیدهای شناسایی و شاخص‌های ساختاری آنها از جمله تعداد و حجم درختان زنده و خشک، نسبت درختان زنده و خشک در طبقات قطری مختلف، حضور روشنه‌ها و سطح مقطع برابر سینه، موزاییک در توده‌ها شناسایی و براساس انطباق مشخصه‌های مزبور با شاخص‌های ساختاری هر یک از کلیدها، هر یک از موزاییک‌ها به یکی از سه مرحله اولیه، بلوغ و تخریب تقسیم‌بندی شدند.

**یافته‌ها:** با توجه به مشخصه‌های کلید شناسایی، تعداد ۴۲ موزاییک تفکیک شد. از بین موزاییک‌های شناسایی شده، تعداد ۱۱ موزاییک با میانگین سطح ۳۱۳۲ مترمربع در مرحله بلوغ و به ترتیب تعداد ۱۳ و ۱۸ موزاییک با میانگین مساحت ۱۵۱۰ و ۲۵۹۱ مترمربع در مراحل تحولی تخریب و اولیه قرار داشتند. در ضمن کوچکترین و بزرگترین موزاییک شناسایی شده به ترتیب مربوط به مرحله تخریب و بلوغ است. بیشترین و کمترین سطح تحت پوشش مراحل مختلف تحولی به ترتیب، به مرحله اولیه و تخریب تعلق دارد. متوسط تعداد در هکتار درختان در مرحله تحولی اولیه، بلوغ و تخریب به ترتیب ۴۵۵، ۳۲۶ و ۲۳۰ اصله در هکتار محاسبه شد. تعداد ۱۶۴ خشک‌دار در منطقه شناسایی شد که تعداد ۵۲ پایه از آنها خشک‌دار سرپا و ۱۱۲ پایه خشک‌دار افتاده بودند. مرحله تخریب دارای بیشترین تعداد خشک‌دار و مرحله بلوغ دارای کمترین تعداد آن بود. ۷۹ روشنه در منطقه شناسایی شد. ۳/۳ درصد سطح منطقه را روشنه تاجی و ۹/۵ درصد سطح آن را روشنه گسترده تشکیل داد و متوسط مساحت هر روشنه ۱۶۲/۰۵ مترمربع به دست آمد.

**بحث و نتیجه گیری:** در بررسی پویایی مراحل تحولی، مرحله اولیه بیشترین سطح و مرحله بلوغ و تخریب به ترتیب بیشترین جابجایی موزاییکی را نسبت به مطالعه اولیه در سال ۱۳۸۸ به خود اختصاص دادند. بررسی پویایی ساختاری به تفکیک مراحل تحولی مختلف در مدیریت بهینه توده‌های ناهمسال بسیار تاثیرگذار بوده و چرا که نشان داد ساختار توده‌های مورد بررسی در طول یک دهه گذشته دچار تغییرات شده است. امروزه برای پایش تغییرات ساختاری (پویایی ساختاری) با توجه به کند بودن تحولات در اکوسیستم جنگل مدت زمان حدود یک یا دو دهه کوتاه مدت محسوب شده و بنابراین نیاز است در توده‌های جنگلی شمال کشور این کار به زمان‌های بیشتری انجام شود. بنابراین اهمیت نظارت و پایش مستمر برای کسب نتایج هر چه بهتر این توده‌های جنگلی بیش از پیش محسوس و ملموس می باشد.

**واژه‌های کلیدی:** بلوغ، جنگل شناسی، خشک‌دار، روشنه، ساختار.

<sup>۱</sup> دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران\* (مسئول مکاتبات)

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

## Spatio-temporal dynamics of developmental stages mosaics in a managed eastern beech forest (*Fagus orientalis* Lipsky)

Seyed Bagher Mirahmadi<sup>1</sup>

Asdaleh Metaji<sup>2\*</sup>

[amataji@srbiau.ac.ir](mailto:amataji@srbiau.ac.ir)

Sasan Babaei Kafaki<sup>3</sup>

Reza Akhavan<sup>4</sup>

Accepted Date: September 17, 2024

Date Received: May 6, 2024

### Abstract

**Background and Objective:** There is a wide and diverse range of structural and functional relationships between live communities and their surrounding environment, which is due to the dynamics of ecosystems in each of its constituent parts. In order to correctly understand the future changes of the forest stand and adopt a suitable forestry program, understanding the dynamics of forest communities has a key role. Identifying the changes and dynamics of the forest in different developmental stages and for the optimal management, restoration and improvement of forests is necessary. The present research was carried out with the aim of monitoring the spatio-temporal changes and dynamics of the mosaics of developmental stages in plot 514, series five of the Safaroud Forestry Plan located in the watershed basin 30 of Ramsar.

**Material and Methodology:** A 10-hectare area that was surveyed in 2009 was re-surveyed with full calliper method of the characteristics of trees, including type of species, diameter at breast height, and quantitative characteristics of dead wood and gaps. Then, using the identification keys and their structural indicators, including the number and volume of live trees and dead wood, the ratio of live trees and dead wood in different diameter classes, the presence of gaps and the basal area, the number of 42 mosaics in the stand was identified and based on the conformity of the mentioned characteristics with the structural indices of each of the keys, each of the mosaics were divided into one of three stages; initial, optimal, and decay.

**Findings:** According to the characteristics of the identification key, 42 mosaics were distinguished. Among the identified mosaics, 11 mosaics with an average area of 3132 m<sup>2</sup> were in the optimal stage, and 13 and 18 mosaics with an average area of 1510 and 2591 m<sup>2</sup> were in the decay and initial stages, respectively. In addition The smallest and largest detected mosaics correspond to decay and optimal stages, respectively. The highest and lowest areas covered by different developmental stages belong to the initial and decay stages, respectively. The average number of trees per hectare in the initial development stage, optimal and decay were calculated as 455, 326 and 230 trees per hectare respectively. A total of 164 deadwoods were identified in the region, 52 of which were snag and 112 were fallen trees. The decay stage had the highest number of dead wood and the optimal stage had the lowest number of it. 79 gaps were identified in the area. 3.3% of the surface of the area was made up canopy gaps and 9.5% of its surface was expanded gaps.

**Discussion and Conclusion:** In order to investigating the dynamics of development stages, the initial stage had the highest surface and the optimal and decay stages had the highest mosaic shifting respectively. Investigating the structural dynamics by separating different development stages is very effective in the ideal management of uneven stands, and so the importance of continuous monitoring to earn the best results of these forest stands is more necessary.

**Keywords:** Optimal, Silviculture, Dead wood, Gap, Structure.

<sup>1</sup> Faculty of Natural Resources and Environment, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran \* (Corresponding Author)

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Associate Professor of Research, National Forests and Rangelands Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

## مقدمه

تحولات در اکوسیستم‌های طبیعی به‌ویژه جنگل بسیار کند است، به‌طوری‌که در زمان کوتاه قابل‌مشاهده و ارزیابی نیستند (۱). تحول ساختاری توده‌های طبیعی جنگلی در طی زمان و بلندمدت صورت‌گرفته (۲) که متأثر از تغییراتی با منشأ طبیعی و انسانی می‌باشند (۳). درواقع جنگل‌ها، سیستم‌های پویایی هستند که در معرض تغییرات دائمی قرار دارند (۴). کسب اطلاعات و شناسایی تغییرات و پویایی جنگل در مراحل مختلف تحولی به‌منظور مدیریت بهینه، احیا و اصلاح جنگل‌ها لازم و ضروری است. (۵). اکوسیستم جنگل‌های طبیعی شمال ایران نتیجه تحولات پیچیده‌ای هستند که در طول زمان رخ داده است. با بررسی مراحل تحولی و روند پویایی جنگل‌های بکر شمال، این امکان فراهم می‌شود که باتوجه به پتانسیل رویشگاه و با بهره‌مندی از دانش جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت، روش مناسبی را اتخاذ کرد تا اصل استمرار تولید و پایداری جنگل حفظ شود (۶). خط‌مشی جنگل‌شناسی همگام با طبیعت با بهره‌جستن از اصولی چون ساختارها، فرایندها و پویایی جنگل‌های طبیعی به‌عنوان یک منبع اساسی، در جهت مدیریت بهینه و پایدار جنگل متمرکز است (۷). پویایی مراحل و طول مدت سیکل تحولی در جوامع مختلف، متفاوت است. مدیریت جنگل تأثیر آشکار و قوی بر سطوح توده دارد زیرا به شدت بر ساختار و ترکیب جنگل تأثیر می‌گذارد (۸). همچنین بررسی ساختار جنگل به دلیل پیشرفت در فناوری، روش‌شناسی و تئوری به‌طور پیوسته تکامل یافته است. چنین پیشرفت‌هایی ظرفیت ما را برای توصیف عناصر ساختاری کلیدی جنگل افزایش داده و منجر به طیف وسیعی از اطلاعات در مورد ساختار جنگل و روند تکاملی آن شده است (۹).

الگوی چرخه جنگل برای اولین بار توسط Watt در سال ۱۹۴۷ ابداع شد که در آن با آغاز تجدید حیات، دوره جدیدی از تحول رخ می‌دهد (۱۰). این چرخه در تمام مناطق به طور هم‌زمان انجام نمی‌شود، بلکه مناطق مختلف در مکان و زمان جایگزین یکدیگر می‌شوند (۷). مراحل تحولی جنگل شامل مرحله اولیه (Initial stage)، مرحله بلوغ (Optimal stage) و مرحله تخریب (Decay stage) بوده که بیانگر روند طبیعی توده‌های اکولوژیک جنگل‌های طبیعی است که البته تحت‌تأثیر آشفته‌گی‌های متفاوت در مقیاس‌های گوناگون می‌توانند دارای ویژگی‌های مختلفی باشند. چرخه تکاملی در هر بخشی از جنگل اتفاق می‌افتد که نتیجه آن جابه‌جایی موزاییکی (Shifting mosaic) فازهای تحولی است و مساحت کلی هر فاز تقریباً با طول دوره مربوط به آن ارتباط مستقیم دارد (۷). فازهای تحولی به منظور انعکاس فرایندهای برجسته زیست

محیطی شامل، زادآوری، رویش و مرگ و میر که ساختار عمودی و افقی یک جنگل را در طول چرخه زندگی شکل می‌دهند، تعریف شده‌اند (۷). این فازها نماینده‌ای برای چندین صفت ساختاری جنگل هستند که یک چارچوب زمانی مفید به منظور بهبود درک ما از چگونگی شکل‌گیری اختلاف ساختاری فرایندهای طبیعی در طول زمان فراهم می‌آورند.

درک پویایی ساختار جنگل در عملیات مدیریتی جنگل از طریق پیش‌بینی ساختار آینده جنگل و تحول آن، برای دسترسی به اهداف مدیریتی، کاهش هزینه دخالت‌های جنگل‌شناسی و افزایش قابلیت تولیدی اکوسیستم‌های جنگلی کاربردهای زیادی دارد (Milios and Smiris, 2001). پژوهشگران مختلف مطالعات متعددی در ارتباط با پویایی و ساختار توده‌های جنگلی انجام داده‌اند. سفیدی و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی پویایی مرحله نهایی توالی در جنگل‌های راش آمیخته در شمال ایران در جنگل خیرود نوشهر، سه مرحله افزایش حجم، انباشت حجم و دگرگونی حجم را برای تحول توده‌های راش شرقی شناسایی کردند، که هر یک از این سه مرحله تحولی دارای فازهای متعددی بودند. کاکاوند و همکاران (۲۰۲۰)، در مطالعه پویایی مراحل تحولی توده‌های جنگلی و تعیین ساختار قطعات شاهد جنگل‌های هیرکانی در سه استان گیلان، مازندران و گلستان، در طول یک دوره ۱۰ ساله، به این نتیجه رسیدند که توده‌ها در تمام قطعه نمونه‌ها به‌جز مرحله اولیه، از حالت ناهمسال نامنظم دور شده و جابجایی اندکی در مثلث ساختار داشتند. علی‌بابایی و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی مشخصه‌های ساختاری جنگل‌های راش شرقی در مرحله تحولی بلوغ در جنگل خیرود با استفاده از قطعه نمونه‌های با مساحت متغیر گزارش دادند که درختان میان‌قطر و قطور بیشترین فراوانی را در میان طبقات قطری به خود اختصاص دادند. Heiri و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی تحول جنگل پس از مدیریت قطع، بر اساس اطلاعات موجود ۴۰ ساله از شش ذخیره‌گاه جنگلی راش در سوئیس برای ارزیابی درک پویایی طبیعی توده‌های راش استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که پویایی جنگل در ذخیره‌گاه‌ها روند آشکاری را به سوی گسترده‌تر شدن توزیع قطری، افزایش سطح مقطع و خشکه‌دار سرپا، افزایش غالبیت راش، و کاهش تنوع گونه‌های درختی در طول زمان، مطابق با انتظارات را نشان داد. براساس نتایج Ambs و همکاران (۲۰۲۴) در بررسی پویایی زادآوری در جنگل‌های کوهستانی آمیخته نراد، راش و نوئل در منطقه Rhodopes غربی، پتانسیل بالایی برای جایگزینی گونه‌ها در منطقه وجود داشت Dubravac و همکاران (۲۰۲۴) در بررسی پویایی تحولی ساختار و زادآوری طبیعی توده راش

آن بررسی شده است، برای مدیریت بهتر رانشانها انجام شد.

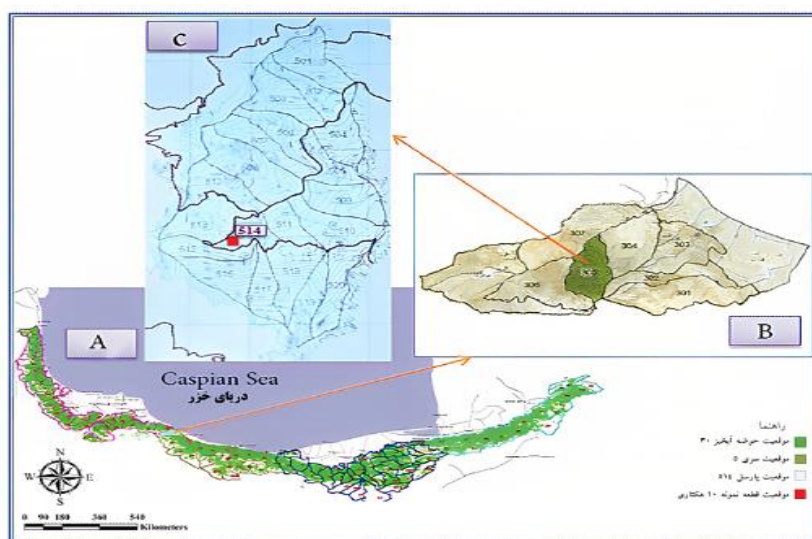
### مواد و روشها

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پارسل شماره ۵۱۴ سری پنج طرح جنگلداری اشکته چال واقع در حوضه آبخیز ۳۰ رامسر واقع شده است. این سری در قسمت جنوبی شهرستان رامسر، در عرض شمالی  $36^{\circ} 49' 25''$  تا  $36^{\circ} 53' 27''$  و طول شرقی  $50^{\circ} 22' 46''$  تا  $50^{\circ} 30' 28''$  قرار دارد. شکل ۱ نشان‌دهنده موقعیت منطقه مورد مطالعه است. میانگین بارندگی سالیانه منطقه ۱۲۱۵ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه آن  $15/8$  درجه سانتی‌گراد است و متوسط ارتفاع از سطح دریا در منطقه مورد مطالعه ۱۲۵۵ متر است. تیپ اصلی منطقه مورد مطالعه راش و راش آمیخته با گونه‌های ممر و توسکا است.

اروپایی (*Fagus sylvatica* L) در پارک ملی دریاچه Plitvice، به این نتیجه رسیدند که محرک‌های اصلی پویایی تحولی در اکوسیستم‌های جنگلی حفاظت‌شده، روشنه‌ها هستند که در توده‌ها به دلیل عملکرد عوامل غیرزیستی و زیستی رخ می‌دهند.

قطعه نمونه‌های دائمی ابزار اصلی برای نظارت بر فرآیندهای بلندمدت در اکوسیستم‌های جنگلی هستند (۲۰). اهمیت نظارت و پایش مستمر برای ارائه داده‌های بلندمدت به طور گسترده تایید شده است (۲۱). لذا با توجه به اینکه بیشتر تحقیقات صورت گرفته در ارتباط با ساختار جنگل‌های راش در شمال کشور به صورت کوتاه مدت و مقطعی انجام گرفته است، تحقیق حاضر با هدف پایش تغییرات و پویایی مکانی و زمانی توده‌های موزاییک‌های مراحل تحولی در یک محدوده ده هکتاری که قبلاً ویژگی‌های ساختاری مراحل تحولی مختلف در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (A- موقعیت حوضه ۳۰ در شمال کشور B- موقعیت سری ۵ اشکته چال C- موقعیت پارسل شماره ۵۱۴)

Figure 1. The geographical location of the studied area (A. the location of watershed 30 B. the location of series 5, Eshkatehchal C. the location of parcel 514)

مشخصه‌های کمی مانند قطر برابر سینه و ارتفاع تمام درختان اندازه‌گیری و ثبت شد. به منظور برداشت روشنه و تعیین سطح آن‌ها، از روش مثلثاتی استفاده شد (۲۳). به طوری که ابتدا با حرکت در پیرامون روشنه تاجی، محل تصویر برآمدگی و فرورفتگی تاج درختان پیرامون روشنه بر روی زمین مشخص و پیکه‌کوبی شد و سپس با استقرار در مرکز تقریبی روشنه، آزیموت، فاصله شیب‌دار و شیب تا هر یک از نقاط مشخص‌شده، اندازه‌گیری و ثبت شد. این عمل برای روشنه گسترده نیز انجام شد با این تفاوت که در روشنه گسترده، کلیه اندازه‌گیری‌ها و

### روش پژوهش

با توجه به مطالعه فاطمی طلب و همکاران در سال ۱۳۹۱ در یک محدوده ده هکتاری در توده‌های مدیریت شده پارسل شماره ۵۱۴ سری ۵ طرح جنگلداری اشکته چال، این پژوهش با هدف پایش مجدد محدوده مورد مطالعه قبلی انجام شد (۲۲). در ابتدا درختان داخل محدوده، شماره‌گذاری شد و مورد آماربرداری صد درصد قرار گرفتند. به این ترتیب که موقعیت مکانی درختان از گوشه جنوب غربی محدوده ده هکتاری از طریق اندازه‌گیری آزیموت، فاصله و تصحیح شیب بین آنها و

آن  $V$ ، حجم خشک‌دار به مترمکعب،  $L$  طول خشک‌دار،  $A_t$ ،  $A_b$  و  $A_m$  به ترتیب سطح مقطع در انتها، میانه و ابتدای تنه افتاده می‌باشد (۲۵).

$$V = \frac{L(A_b + 4A_m + A_t)}{6} \quad (\text{رابطه ۱})$$

باتوجه به نقش خشک‌دارها در دست‌یابی به اطلاعات مربوط به گذشته‌ی توده‌ها، در اندازه‌گیری خشک‌دارها ابتدا نوع گونه خشک‌دار مشخص شد و سپس خشک‌دارها بر حسب میزان پوسیدگی در یکی از کلاسه‌های پوسیدگی، در پنج کلاسه‌ی مختلف (۲۶) مطابق با جدول شماره یک اندازه‌گیری و تقسیم‌بندی شده‌اند (جدول ۱).

قرائت‌ها تا تنه درختان پیرامونی انجام شد. تمامی خشک‌دارها، با قطر برابر سینه حداقل هفت و نیم سانتی‌متر در خشک‌دارهای سرپا و قطر میانه هفت و نیم سانتی‌متر در خشک‌دارهای افتاده به روش آماربرداری صد در صد اندازه‌گیری شدند (۲۴). برای برآورد حجم خشک‌دارهای سرپا، قطر برابر سینه و ارتفاع و در خشک‌دارهای افتاده، سه قطر ابتدایی، میانی و انتهایی با خط‌کش دوبازو تا دقت میلی‌متر و همچنین طول جهت برآورد حجم اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری ارتفاع در خشک‌دارهای سرپا از دستگاه شیب سنج سونتو و متر استفاده شد و برای خشک‌دارهای افتاده، طول خشک‌دار با متر نواری تا دقت سانتی‌متر برداشت شد. برای برآورد حجم خشک‌دارها از فرمول Newton استفاده گردید (رابطه ۱) که در

جدول ۱- تقسیم‌بندی کلاسه‌های پوسیدگی خشک‌دارها بر اساس خصوصیات ظاهری (۲۶).

Table 1- Classification of the decay classes of dead trees based on appearance characteristics

| کلاس پوسیدگی | مشخصات                                                                                                                                                                                                |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱            | درختانی را در برمی‌گیرد که در اثر باد و یا سایر عوامل محیطی ریشه‌کن شده یا از تنه شکسته می‌شوند و یا تازه خشک شده و فاقد برگ می‌باشند اما پوست آن‌ها نسبتاً تازه و فاقد شکاف و یا سوراخ چشم‌گیری است. |
| ۲            | پایه‌هایی را شامل می‌گردد که پوست آن‌ها کاملاً خشک شده و ترک برداشته‌اند، به‌طوری‌که نوک چاقو تا ۱ سانتی‌متر در آن فرو می‌رود. شاخه‌های کوچک هنوز حضور دارند.                                         |
| ۳            | در این درجه از پوسیدگی، ترک‌ها و شکاف‌های پوست توسعه‌یافته و نوک چاقو می‌تواند تا ۲ سانتی‌متر در تنه نفوذ کند و عمده شاخه‌های ریز تنه ریخته و پوسیدگی رو به گسترش است.                                |
| ۴            | در این طبقه، پوسیدگی الیاف چوب گسترش‌یافته و عمیق می‌شود و نوک چاقو به‌راحتی ۴ تا ۵ سانتی‌متر در آن نفوذ می‌کند. وجود قارچ و کپک نیز بر روی برخی موارد مشهود است.                                     |
| ۵            | تنه‌ها کاملاً پوسیده و متلاشی شده و بخشی یا تمام آن به حالت پودر درآمده‌اند. حضور قارچ و کپک نیز نسبت به قبل بیشتر است.                                                                               |

مراحل تحولی اولیه، بلوغ و تخریب، تقسیم‌بندی شدند. در نهایت به منظور مطالعه تغییرات و پویایی توده‌ها در محدوده زمانی ده ساله، نسبت به روی هم‌گذاری نقشه‌های دو مطالعه قبل و حاضر اقدام شد. تجزیه و تحلیل و محاسبات مربوط به موقعیت مکانی و داده‌های آماری در محیط نرم افزار Excel و برای تعیین مساحت روضه‌ها، مساحت موزاییک‌ها، تفکیک و ترسیم موزاییک‌ها و روی هم گذاری نقشه‌های مراحل تحولی دو مطالعه از نرم افزار Auto CAD استفاده شد.

#### یافته‌ها

براساس کلیدهای شناسایی و شاخص‌ها و معیارهایی که برای تعیین مراحل تحولی به آن اشاره شد، تعداد ۴۲ موزاییک مربوط به مرحله تحولی اولیه، بلوغ و تخریب با شکل‌های نامنظم و میانگین مساحت ۲۳۹۶ مترمربع از یکدیگر تفکیک

پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به ساختار، گروه‌های مختلف از نظر شباهت‌ها و تفاوت‌ها در پارامترهای مختلف آماری از جمله متوسط یا مدیان قطر یا تعداد روضه‌ها و حجم بازشدن تاج پوشش، تعداد و حجم درختان سرپا و تعداد و حجم خشک‌دار شناسایی شدند (۶، ۱۳ و ۲۷). سپس با تجزیه و تحلیل صورت گرفته و استفاده از مختصات دکارتی  $(X, Y)$  پایه‌ها، نقشه موقعیت مکانی درختان تولید و با استفاده از کلیدهای شناسایی و انطباق هر یک از مشخصه‌ها با شاخص‌های مربوط به هر یک از کلیدهای شناسایی هر مرحله تحولی، مراحل تحولی در توده مورد بررسی شناسایی شدند و محدوده مورد مطالعه به موزاییک‌هایی تفکیک شد و سپس با توجه به شباهت جنگل‌های هیرکانی با جنگل‌های راش اروپای شرقی، بر اساس کلیدهای شناسایی و طبقه‌بندی Korpel (1995)، بدون در نظر گرفتن اندازه و شکل موزاییک‌ها، هر یک از آنها به

کوچکترین و بزرگترین موزاییک شناسایی شده به ترتیب مربوط به مرحله تخریب و بلوغ است. بیشترین و کمترین سطح تحت پوشش مراحل مختلف تحولی به ترتیب، به مرحله اولیه و تخریب تعلق دارد (جدول ۲).

شدند. از بین موزاییک‌های شناسایی شده، تعداد ۱۱ موزاییک با میانگین سطح ۳۱۳۲ مترمربع در مرحله بلوغ و به ترتیب تعداد ۱۳ و ۱۸ موزاییک با میانگین مساحت ۱۵۱۰ و ۲۵۹۱ مترمربع در مراحل تحولی تخریب و اولیه قرار داشتند. در ضمن

جدول ۲- فراوانی و میانگین سطح پلی‌گون‌های شناسایی شده در هر مرحله تحولی

Table 2- The frequency and average area of polygons identified in each developmental stage

| ر ح ل ه ت ح و ل ی | تعداد | مشخصات پلی‌گون‌های شناسایی شده |                       |                  |
|-------------------|-------|--------------------------------|-----------------------|------------------|
|                   |       | میانگین مساحت (مترمربع)        | دامنه مساحت (مترمربع) | سطح کل (مترمربع) |
| اولیه             | ۱۸    | ۲۵۹۱                           | ۴۵۴۵-۵۴۹              | ۴۶۶۴۵/۵          |
| بلوغ              | ۱۱    | ۳۱۳۲                           | ۵۱۴۵-۱۲۵۳             | ۳۴۳۵۸/۳۲         |
| تخریب             | ۱۳    | ۱۵۱۰                           | ۳۱۰۳-۲۹۲              | ۱۹۶۳۰/۷۲         |
| جمع               | ۴۲    | ۲۳۹۶                           | ۵۱۴۵-۲۹۲              | ۱۰۰۶۳۴/۵۴        |

در مرحله بلوغ و کمترین میزان آن در مرحله اولیه محاسبه شد. میزان سطح مقطع برابر سینه درختان سایر گونه‌ها در مرحله تحولی بلوغ قابل توجه بود. در هر یک از مراحل تحولی به غیر از مرحله اولیه، میزان مشخصه مذکور برای سایر گونه‌ها، کمتر از میزان آن برای گونه راش می‌باشد (جدول ۳).

حجم سرپای درختان در مراحل تحولی مختلف از ۴۰۷/۵ مترمکعب در هکتار در مرحله تحولی اولیه تا ۵۲۸/۲۲ مترمکعب در هکتار در مرحله بلوغ متغیر است. حجم سرپای درختان راش در تمامی مراحل تحولی به غیر از مرحله اولیه، بیشتر از حجم سرپای سایر گونه‌ها بود. در ضمن حداکثر حجم سرپای سایر گونه‌ها، در مرحله اولیه مشاهده شده است (جدول ۳).

بررسی مشخصه‌های کمی درختان در مراحل تحولی مختلف نشان می‌دهد (جدول ۳) که بیشترین تعداد پایه‌های درختی (۴۲۷ اصله در هکتار) مربوط به مرحله اولیه و کمترین میزان آن (۲۱۲ اصله در هکتار) مربوط به مرحله تخریب است. گونه راش نیز دارای بیشترین تعداد (۳۱۰ اصله در هکتار) در موزاییک‌های مرحله تحولی اولیه و کمترین تعداد در موزاییک‌های مرحله تحولی تخریب (۱۴۵ اصله در هکتار) بود. در تمامی مراحل تحولی شناسایی شده، تعداد پایه‌های سایر گونه‌ها کمتر از تعداد پایه‌های راش ثبت شد.

سطح مقطع برابر سینه درختان در هکتار در مراحل تحولی مختلف از ۳۷/۶۳ (مرحله تخریب) تا ۴۲/۲۶ مترمربع (مرحله بلوغ) متغیر بود. بیشترین سطح مقطع برابر سینه درختان راش

جدول ۳- مشخصه‌های کمی توده‌ها در هر مرحله تحولی برحسب گونه‌های درختی

Table 3- Quantitative characteristics of stands in each developmental stage according to tree species

| مشخصه                                     | گونه         | مرحله تحولی |        |       |
|-------------------------------------------|--------------|-------------|--------|-------|
|                                           |              | اولیه       | بلوغ   | تخریب |
| تعداد<br>(اصله در هکتار)                  | راش          | ۳۱۰         | ۲۹۵    | ۱۴۵   |
|                                           | سایر گونه‌ها | ۱۱۷         | ۲۲     | ۶۷    |
|                                           | کل           | ۴۲۷         | ۳۱۷    | ۲۱۲   |
| سطح مقطع برابر سینه<br>(مترمربع در هکتار) | راش          | ۱۲/۹        | ۳۱/۵   | ۲۶/۴۳ |
|                                           | سایر گونه‌ها | ۲۵/۸۵       | ۱۰/۷۶  | ۱۱/۲  |
|                                           | کل           | ۳۸/۷۵       | ۴۲/۲۶  | ۳۷/۶۳ |
| حجم<br>(مترمکعب در هکتار)                 | راش          | ۱۴۴/۵       | ۴۰۷/۲۲ | ۳۳۸   |
|                                           | سایر گونه‌ها | ۲۶۳         | ۱۲۱    | ۱۲۶   |
|                                           | کل           | ۴۰۷/۵       | ۵۲۸/۲۲ | ۴۶۴   |

است. بیشترین حجم خشک‌دار در مرحله تحولی تخریب در کلاس پوسیدگی یک و در مرحله اولیه در کلاس پوسیدگی دو قرار دارند. در مجموع حجم خشک‌دار افتاده در مراحل تحولی تخریب و اولیه بیشتر از خشک‌دار سرپا می‌باشد (جدول ۵).

تعداد ۷۹ روضه در منطقه شناسایی و سطح آن برای روضه تاجی و گسترده اندازه‌گیری و ثبت شد. مساحت کل روضه تاجی و گسترده در این منطقه به ترتیب برابر ۳۲۷۸ و ۹۵۲۴ مترمربع به دست آمد. در مجموع ۳/۳ درصد سطح منطقه را روضه تاجی و ۹/۵ درصد سطح آن را روضه گسترده تشکیل داد. بررسی ویژگی‌های روضه‌ها در موزاییک‌های مراحل مختلف تحولی، نشان داد که تعداد و نسبت روضه تاجی و گسترده در مرحله تخریب بیشتر از میزان مشخصه‌های مذکور در سایر مراحل تحولی است. در ضمن میانگین سطح روضه تاجی و گسترده برای ۴۷ روضه شناسایی شده در مرحله تخریب بیشتر از سایر مراحل تحولی بود (جدول ۶).

#### تغییرات مکانی و زمانی موزاییک‌های مراحل تحولی

به منظور مطالعه تغییرات مکانی و زمانی موزاییک‌های مراحل تحولی، از نقشه موزاییک‌های مراحل تحولی قبلی که در محدوده مطالعه فعلی انجام شده بود، استفاده شد و ابتدا نسبت به روی هم گذاری نقشه‌های دو مطالعه اقدام شد (شکل ۲).

به طور کلی تعداد ۱۶۴ خشک‌دار در منطقه شناسایی شد که تعداد ۵۲ پایه از آنها خشک‌دار سرپا و ۱۱۲ پایه خشک‌دار افتاده می‌باشد. در مجموع ۴۸/۸ درصد خشک‌دارها از گونه راش، ۳۳/۵ درصد از گونه توسکا و ۷/۳ درصد از سایر گونه‌ها بوده‌اند. ضمناً نوع گونه برخی خشک‌دارها (۱۰/۴ درصد) به علت پیشرفت بیش از حد مرحله تخریب، قابل شناسایی نبوده‌اند (جدول ۴).

در بین مراحل مختلف تحولی، مرحله تخریب دارای بیشترین تعداد خشک‌دار (۹۹ پایه) و مرحله بلوغ دارای کمترین تعداد خشک‌دار (۱۴ پایه) بود. فراوانی نسبی خشک‌دارهای راش در تمامی مراحل تحولی (بجز مرحله تخریب) بیشتر از فراوانی نسبی سایر گونه‌ها و توسکا بود. در موزاییک‌های مرحله تخریب، فراوانی نسبی خشک‌دار راش برابر فراوانی نسبی خشک‌دار توسکا و بیشتر از سایر گونه‌ها می‌باشد (جدول ۴).

حجم خشک‌دار در منطقه مدیریت شده ۲۰/۴۶۸ مترمکعب در هکتار می‌باشد که ۱۶/۹ درصد آن به خشک‌دار سرپا و مابقی به خشک‌دار افتاده تعلق دارد. بیشترین و کمترین حجم خشک‌دار در این منطقه به ترتیب به درختانی تعلق دارد که در کلاس پوسیدگی یک و چهار و پنج قرار دارند.

حداکثر و حداقل حجم خشک‌دار در واحد سطح در منطقه مدیریت شده به ترتیب در مرحله تخریب و بلوغ مشاهده شده

جدول ۴- فراوانی نسبی خشک‌دار بر حسب نوع و به تفکیک گونه در هر مرحله تحولی

Table 4- The relative frequency of dead trees by type and by species in each developmental stage

| مرحله تحولی | گونه         | فراوانی نسبی خشک‌دار % |           |          |
|-------------|--------------|------------------------|-----------|----------|
|             |              | سرپا                   | افتاده    | نامشخص   |
| اولیه       | راش          | ۲۵/۶ (۱۱)              | ۳۵/۳ (۱۸) | -        |
|             | توسکا        | ۹/۸ (۵)                | ۹/۸ (۵)   | -        |
|             | سایر گونه‌ها | ۹/۸ (۵)                | -         | -        |
|             | نامشخص       | -                      | ۱۳/۷ (۷)  | -        |
|             | جمع          | ۴۱/۲ (۲۱)              | ۵۸/۸ (۳۰) | ۱۰۰ (۵۱) |
| بلوغ        | راش          | ۵۰/۰ (۷)               | -         | -        |
|             | توسکا        | ۷/۱ (۱)                | -         | -        |
|             | سایر گونه‌ها | ۲۸/۶ (۴)               | -         | -        |
|             | نامشخص       | -                      | ۱۴/۳ (۲)  | -        |
|             | جمع          | ۸۵/۷ (۱۲)              | ۱۴/۳ (۲)  | ۱۰۰ (۱۴) |
| تخریب       | راش          | ۱۴/۱ (۱۴)              | ۳۰/۳ (۳۰) | -        |
|             | توسکا        | ۴/۰ (۴)                | ۴۰/۴ (۴۰) | -        |
|             | سایر گونه‌ها | ۱/۰ (۱)                | ۲/۰ (۲)   | -        |
|             | نامشخص       | -                      | ۸/۲ (۸)   | -        |
|             | جمع          | ۱۹/۱ (۱۹)              | ۸۱/۹ (۸۰) | ۱۰۰ (۹۹) |

اعداد داخل پرانتز تعداد پایه از هر گونه است.

جدول ۵- میانگین حجم خشک‌دارها بر حسب کلاس پوسیدگی و به تفکیک نوع خشک‌دار در هر مرحله تحولی

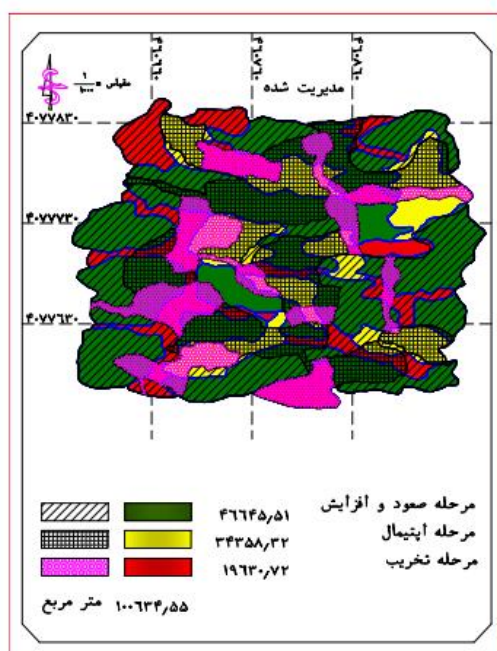
Table 5- The average volume of dead trees according to the decay classes and the separation of the type of dead trees in each developmental stage

| حجم خشک‌دار در کلاس پوسیدگی مختلف (مترمکعب در هکتار) |       |        |        |       |        | نوع خشک‌دار | مرحله تحولی |
|------------------------------------------------------|-------|--------|--------|-------|--------|-------------|-------------|
| مجموع                                                | ۵     | ۴      | ۳      | ۲     | ۱      |             |             |
| ۰/۲۶۸                                                | ۰/۰۲۲ | -      | ۰/۰۰۸  | ۰/۰۰۶ | ۰/۲۳۳  | سرپا        | اولیه       |
| ۵/۰۸۶                                                | ۰/۹۶۰ | -      | ۱/۰۷۱  | ۲/۵۷۰ | ۰/۴۸۴  | افتاده      |             |
| ۵/۳۵۴                                                | ۰/۹۸۲ | -      | ۱/۰۷۹  | ۲/۵۷۶ | ۰/۷۱۷  | جمع         |             |
| ۱/۱۰۲                                                | ۰/۹۰۹ | -      | -      | ۰/۰۵۹ | ۰/۱۳۴  | سرپا        | بلوغ        |
| -                                                    | -     | -      | -      | -     | -      | افتاده      |             |
| ۱/۱۰۲                                                | ۰/۹۰۹ | -      | -      | ۰/۰۵۹ | ۰/۱۳۴  | جمع         |             |
| ۱۵/۱۱۷                                               | ۱/۶۹۵ | ۰/۰۵۲  | ۳/۰۸۱  | ۰/۰۵۷ | ۱۰/۲۳۱ | سرپا        | تخریب       |
| ۷۵/۱۶۰                                               | ۵/۱۰۰ | ۱۱/۸۹۵ | ۱۸/۰۶۰ | ۷/۳۳۳ | ۳۲/۷۷۲ | افتاده      |             |
| ۹۰/۲۷۶                                               | ۶/۷۹۵ | ۱۱/۹۴۷ | ۲۱/۱۴۱ | ۷/۳۸۹ | ۴۳/۰۰۳ | جمع         |             |

جدول ۶- مشخصات روشن تاجی و گسترده در هر مرحله تحولی

Table 6- Characteristics of canopy and expanded gaps in each developmental stage

| مشخصات روشن تاجی      |                       |             |           |             |                  | تعداد | مرحله تحولی |
|-----------------------|-----------------------|-------------|-----------|-------------|------------------|-------|-------------|
| نسبت روشن تاجی (درصد) | میانگین سطح (مترمربع) | روشن گسترده | روشن تاجی | روشن گسترده | سطح کل (مترمربع) |       |             |
| ۳/۷                   | ۱/۲                   | ۸۱          | ۲۷        | ۱۷۰۵        | ۵۶۷              | ۲۱    | اولیه       |
| ۱/۷                   | ۰/۶                   | ۵۴          | ۱۹        | ۵۹۱         | ۲۰۸              | ۱۱    | بلوغ        |
| ۳۶/۸                  | ۱۲/۷                  | ۱۵۴         | ۵۳        | ۷۲۲۸        | ۲۵۰۳             | ۴۷    | تخریب       |
| ۹/۵                   | ۳/۳                   | ۱۲۱         | ۴۱        | ۹۵۲۴        | ۳۲۷۸             | ۷۹    | کل          |



شکل ۲- نقشه انطباقی مراحل تحولی مطالعه اولیه و جدید.

Figure 2- Adaptation map of the developmental stages of the initial and new study.

داشته‌اند و در طول زمان وارد این مرحله شده‌اند (جدول ۷). به ترتیب ۵۱/۵ و ۱۰/۴ درصد از سطح کل موزاییک‌های مرحله بلوغ مطالعه فعلی، مربوط به موزاییک‌هایی است که در گذر زمان از مرحله اولیه و تخریب وارد این مرحله شده‌اند (جدول ۷). موزاییک‌های مرحله تخریب مطالعه فعلی، سطحی حدود ۱/۹۶ هکتار از منطقه مدیریت شده را شامل می‌شوند. به ترتیب ۳۴/۱ و ۲۵/۱ درصد از این سطح، مربوط به موزاییک‌های مرحله اولیه و بلوغ مطالعه قبلی است که در طی زمان وارد مرحله تخریب شده‌اند (جدول ۷).

براساس نقشه انطباقی دو مطالعه در منطقه مدیریت شده می‌توان دریافت، بخش‌هایی از موزاییک‌های شناسایی شده که در مطالعه فعلی در مرحله تحولی اولیه، بلوغ و تخریب قرار دارند، در مطالعه اولیه نیز در همین مرحله قرارداشته‌اند و از سال ۱۳۸۸ فاقد جابجایی از نظر مرحله تحولی بوده‌اند. در حال حاضر سطح موزاییک‌هایی که در مرحله اولیه قرار دارند حدود ۴/۷ هکتار بوده که حدود ۷۲/۵ درصد از سطح موزاییک‌های مربوطه، در مطالعه قبل نیز در همین مرحله تحولی قرار داشته‌اند و مابقی سطح، مربوط به موزاییک‌هایی است که در مطالعه قبل در مرحله بلوغ (۶/۹ درصد) و تخریب (۲۰/۶ درصد) قرار

جدول ۷- جدول توافقی سطح (مترمربع) موزاییک‌های مراحل تحولی در دو مقطع زمانی مختلف

Table 7- Consensus table of the area (m<sup>2</sup>) of the mosaics of developmental stages in two different periods of time

| جمع    | مرحله تحولی در مطالعه فعلی |        |        | مرحله تحولی در مطالعه قبلی |
|--------|----------------------------|--------|--------|----------------------------|
|        | تخریب                      | بلوغ   | اولیه  |                            |
| ۵۸۱۷۸  | ۶۶۹۷                       | ۱۷۶۸۴  | ۳۳۷۹۷  | اولیه                      |
| (۵۷/۸) | (۳۴/۱)                     | (۵۱/۵) | (۷۲/۵) |                            |
| ۲۱۲۴۰  | ۴۹۲۵                       | ۱۳۱۱۷  | ۳۱۹۹   | بلوغ                       |
| (۲۱/۱) | (۲۵/۱)                     | (۳۸/۲) | (۶/۹)  |                            |
| ۲۱۲۱۶  | ۸۰۰۹                       | ۳۵۵۷   | ۹۶۴۹   | تخریب                      |
| (۲۱/۱) | (۴۰/۸)                     | (۱۰/۴) | (۲۰/۶) |                            |
| ۱۰۰۶۳۴ | ۱۹۶۳۱                      | ۳۴۳۵۸  | ۴۶۶۴۵  | جمع                        |
| (۱۰۰)  | (۱۰۰)                      | (۱۰۰)  | (۱۰۰)  |                            |

گزارش نمودند (۲۸). براساس یافته‌های ثاقب طالبی و همکاران (۱۳۹۹) با کاهش تعداد درختان در طی عبور از مرحله تحولی اولیه به سمت تخریب میانگین قطر برابر سینه درختان افزایش یافت. محققان مختلف به منظور تشخیص مراحل تحولی جنگل و همچنین بررسی و مقایسه توده‌های بکر و مدیریت شده، از میانگین قطر برابر سینه درختان استفاده کرده و بیان می‌کنند که با افزایش سن توده و گذر مراحل تحولی، میانگین قطر برابر سینه افزایش می‌یابد (۲۹).

در بررسی خشک‌دارها مشخص شد که تعداد خشک‌دار افتاده تقریباً دو برابر خشک‌دار سرپا است. پوسیدگی در انواع مختلف خشک‌دار متفاوت است، به طوری که نرخ پوسیدگی خشک‌دار سرپا نسبت به خشک‌دار افتاده بسیار کندتر است (۳۰). دلیل این موضوع این است که خشک‌دارهای افتاده در معرض رطوبت بالاتر و گونه‌های چوب‌زی بیشتری قرار دارند (۳۰). مریدی و همکاران (۱۴۰۰) و علی‌بابایی و همکاران (۱۴۰۲) عنوان نمودند که درجه‌های پوسیدگی یک و دو نشان‌دهنده این است که درختان به‌تازگی خشک‌شده و یا افتاده‌اند، در صورتی که در خشک‌دارهای با درجه‌های پوسیدگی سه و چهار مدت زیادی از

### بحث و نتیجه‌گیری

براساس نتایج، تعداد درختان در موزاییک‌های مراحل تحولی مختلف، متفاوت بود. به طوری که مرحله تحولی اولیه با ۴۲۷ اصله درخت زنده دارای بیشترین تعداد درخت و مرحله تحولی تخریب با ۲۱۲ اصله درخت زنده دارای کمترین تعداد درخت زنده هستند و مرحله تحولی بلوغ در بین دو مرحله دیگر قرار داشت که همسو با نتایج بررسی مقایسه شاخص پیچیدگی ساختار (SCI) در مراحل تحولی جنگل‌های آمیخته راش هیرکانی (۲) است. کاکاوند و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی پویایی مراحل تحولی توده‌های جنگلی در قطعه‌های شاهد جنگل‌های هیرکانی پس از یک دوره ده ساله گزارش کردند که در حرکت توده‌ها از مرحله اولیه به سمت تخریب، روند تغییر تراکم درختان در واحد سطح از حالت کم شونده پیروی می‌کند (۵). ثاقب طالبی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی ساختار توده در قطعه‌های دائمی راشتستان‌های دست نخورده جنگل‌های هیرکانی پس از ده سال در چهار منطقه مختلف از جنگل‌های راش شمال کشور، متوسط تعداد در هکتار درختان را در مرحله اولیه، بلوغ و تخریب به ترتیب ۳۶۹، ۳۱۰ و ۲۴۶ اصله در هکتار

می‌گردد که بخش‌های زیادی از توده‌های جنگلی منطقه مورد مطالعه در طی زمان فاقد جابجایی از نظر مرحله تحولی بوده‌اند. تقریباً ۷ درصد از مرحله بلوغ به مرحله اولیه منتقل گردید. در این موزاییک‌ها، بعضاً بخش‌هایی با سطوح متغیر و عمدتاً کوچک از خصوصیات ساختاری مرحله قبلی (اولیه) دیده شد که از دلایل آن می‌توان به تداخل آشیان اکولوژیک ناشی از پیچیدگی اکوسیستم در سطح موزاییک‌های تحولی، آشفته‌گی‌های طبیعی زیادی که در این منطقه حاکم بوده، انتشار بذر در محدوده وسیع و سایر عوامل بوم‌شناسی اشاره کرد که در نهایت سبب جابجایی مرحله بلوغ به مرحله اولیه شده است (۳۹). تقریباً یک‌سوم مرحله تخریب منطقه مورد بررسی وارد مرحله اولیه گردید که این موضوع با توجه به رژیم‌های تخریب متأثر از آشفته‌گی‌های طبیعی در منطقه مزبور و دخالت‌های انسانی سابق در منطقه مدیریت‌شده است. در تحلیل جابجایی مرحله بلوغ به مرحله اولیه در مساحت‌های کوچک و عمدتاً لکه‌ای در سطوح پراکنده، می‌توان بیان نمود که بعضاً روشنیه‌های خیلی کوچک که در جنگل عموماً با افتادن شاخه و برگ‌ها در اثر دیر زیستی و یا باد افتادگی حادث می‌شوند و یا اینکه باقی‌مانده از روشنیه‌های بزرگ دوران قبل بوده که در حال بسته شدن هستند، در اکوسیستم‌های جنگلی نقطه شروعی برای استقرار زادآوری و پویایی توده‌های جنگلی می‌باشند (۴۰). زادآوری مستقر شده در این روشنیه‌ها سبب تداوم و پایداری اکوسیستم در طی فرآیند توالی جنگل شده که برای درک صحیح تحولات آینده توده‌های جنگلی و شناخت نحوه پویایی آن‌ها اهمیت فراوانی دارد (۴۱). در این راستا می‌توان بیان نمود که در تحقیق حاضر در روشنیه‌های مذکور طی فرآیندهای تحولی جنگل، زادآوری در برخی قسمت‌های موزاییک‌های مرحله بلوغ که خصوصاً دارای عناصر شاخص مرحله اولیه هستند وارد شده که به تدریج سبب ایجاد مرحله اولیه به‌صورت لکه‌ای شده‌اند. در واقع کنش و واکنش‌هایی که در این رابطه وجود دارند، سبب اثرات مستقیم بر استقرار زادآوری و در نتیجه گذار مراحل مختلف رویشی و تحولی جنگل خواهند شد (۱). خلیلی و همکاران (۱۴۰۲) در تحلیل پویایی روشنیه‌های تاجی با استفاده از تصاویر هوایی رقومی و پهپاد در استان گلستان به این نتیجه رسیدند که بعد از گذشت ۹ سال از تراکم و تعداد روشنیه‌ها کاسته شده ولیکن مقدار سطح کل روشنیه‌ها افزایش یافته است و بیان کردند که این افزایش سطح کل روشنیه را می‌توان به افزایش گسترش روشنیه‌های اولیه در طول دوره نسبت داد (۴۲)؛ زیرا نرخ گسترش روشنیه‌های اولیه بیشتر از نرخ تشکیل روشنیه، نرخ بسته شدن و کاهش روشنیه‌های اولیه است. در هر دو مقطع

خشک شدن و یا افتادن درختان می‌گذرد (۴ و ۳۱). جوانمیری‌پور و اعتماد (۱۴۰۱) در بررسی تحول میراث ساختاری خشک‌دار در فرآیند پویایی توده‌های خالص راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) در جنگل خیرود نوشهر، بیشترین میانگین حجم خشک‌دارها در درجه‌های پوشیدگی ۱ و ۲ را ۶۹/۳۵ و ۶۰/۰۸ مترمکعب در هکتار، به ترتیب در مراحل تحولی آشفته‌گی و ایجاد میراث، گزارش نمودند (۳۲). Sagheb-Talebi (2014) نیز با بررسی ویژگی‌های مناسب راشستان‌های هیرکانی برای اعمال جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت در سه استان مازندران، گیلان و گلستان گزارش نمودند (۳۳) که تعداد خشک‌دار در مراحل اولیه (۷/۵٪)، مرحله بلوغ (۱۱/۴٪) و مرحله تخریب (۲۹٪) بوده است. فراوانی و حجم خشک‌دار به نوع، میزان آشفته‌گی، مرحله تحولی و ساختار توده بستگی دارد و تعداد آن در بین مراحل تحولی مختلف تغییر می‌کند (۴). Mataji et al., (2014) در پژوهشی در منطقه نوشهر به این نتیجه رسیدند که در جنگل‌های طبیعی راش در شمال ایران، حجم خشک‌دار بین ۴/۹ و ۵۴/۳ مترمکعب در هکتار می‌تواند به‌عنوان یک محدوده منطقی قابل‌ملاحظه باشد (۶). به عبارت بهتر میزان آن در هر مرحله تحولی باید متفاوت باشد که اعداد به‌دست آمده در این تحقیق در حد واسط این دامنه ذکر شده قرار گرفته است. همچنین Sagheb-Talebi (2014) سهم خشک‌دارها در مراحل تحولی مختلف راشستان‌ها را بین ۷ تا ۱۲۴ مترمکعب در هکتار و به‌طور متوسط حدود ۲۳ مترمکعب در هکتار اعلام نمود (۳۳) که در مطالعه حاضر کمتر از این مقدار است.

بیشترین و بزرگ‌ترین روشنیه‌ها به ترتیب در مراحل تخریب و اولیه قرار دارند. نسبت سطح روشنیه‌ها به سطح کل ۹/۵ درصد است که در محدوده گزارش‌شده توسط بسیاری از محققین که آن را ۳ تا ۴۱/۴ درصد اعلام نموده‌اند قرار دارد (۳۴، ۳۵ و ۳۶). ایجاد روشنیه و اندازه آن به عوامل مختلفی از جمله باد، برف، خشکسالی، خصوصیات خاک و مشخصه‌های گونه درختی بستگی دارد (۳۴). بنابراین اختلاف مشاهده‌شده در نسبت سطح روشنیه‌ها به سطح مناطق مورد بررسی دور از انتظار نیست. بسته به نرخ بسته شدن روشنیه و رخدادهایی که منجر به ایجاد روشنیه جدید و یا بزرگ‌تر شدن یک روشنیه می‌گردد، نسبت سطح روشنیه‌ها به سطح کل جنگل می‌تواند حدود ۱۰ درصد متغیر باشد (۳۷). میانگین فراوانی روشنیه‌ها، ۳ تا ۱۰ روشنیه در هکتار مطابق با مقادیر گزارش‌شده توسط سایر پژوهشگران بود (۳۵ و ۳۸). بیشتر روشنیه‌های مطالعه پیش رو سطحی کمتر از دو آر داشتند که با نتایج Sefidi et al., (2011) مطابقت دارد. باتوجه به نتایج موزاییک بندی مراحل تحولی، استنباط

- زمانی، فراوان‌ترین اندازه مربوط به روشنیه‌های کوچک بوده که نشان‌دهنده غلبه روشنیه‌های کوچک در منطقه مورد مطالعه است. روشنیه‌های کوچک بیشتر پویایی روشنیه‌ها را تشکیل می‌دهند و سریع‌تر از روشنیه‌های بزرگ بسته می‌شوند.
- منابع**
- [10] Watt, A.S., 1947. Pattern and process in the plant community. *Journal of ecology*, 35(1), 1-22.
  - [11] LaRue, E.A., Knott, J.A., Domke, G.M., Chen, H.Y., Guo, Q., Hisano, M., Fei, S., 2023. Structural diversity as a reliable and novel predictor for ecosystem productivity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 21(1), 33-39.
  - [12] Potapov, P., Li, X., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Hansen, M.C., Kommareddy, A., Hofton, M., 2021. Mapping global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 253, 112165.
  - [13] Akhavan, R., Sagheb-Talebi, Kh., Hassani, M., Parhizkar, P., 2010. Spatial patterns in untouched beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands over forest development stages in Kelardasht region of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(2), 322-336. (In Persian)
  - [14] Druckenbrod, D.L., Shugart, H.H., Davies, I., 2005. Spatial pattern and process in forest stands within the Virginia piedmont. *Journal of Vegetation science*, 16(1), 37-48.
  - [15] Mollazadeh Ganji, R., Hojjati, S.M., Madanipour, M., 2021. Investigating the Spatial Pattern of Chemical Properties of Forest Soil under Livestock Presence through Geo-Statistics (A Case study: Eastern Bandpey Forest-Babol). *Ecology of Iranian Forest*, 9(17), 10-19. (In Persian)
  - [16] Kazempour Larsary, M., Taheri Abkenar, K., Akhavan, R., Pourbabaei, H., Amanzadeh, B., 2017. Spatial patterns, competition and spatial association of trees from different development stages in mixed beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands. *Forest and Wood Products*, 70(2), 303-314. (In Persian)
  - [17] Amini, R., Rahmani, R., & Parhizkar, P. (2018). Comparison of developmental stages in Beech-Hornbeam stands using non-spatial indices of stand structure. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 26(2), 156-167. (In Persian)
  - [18] Cheng, X., Han, H., Kang, F., Song, Y., Liu, K., 2014. Point pattern analysis of different life stages of *Quercus liaotungensis* in Lingkong Mountain, Shanxi Province, China. *Journal of Plant Interactions*, 9(1), 233-240.
  - [19] Li, Y., He, J., Yu, S., Zhu, D., Wang, H., Ye, S., 2019. Spatial structure of the vertical layers in a subtropical secondary forest 57 years after clear-cutting. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 12(5), 442-450.
  - [20] Seedre, M., Janda, P., Trotsiuk, V., Hedwall, P. O., Morrissey, R. C., Mikoláš, M., Svoboda, M., 2020. Biomass carbon accumulation patterns throughout stand development in
  - [1] Mataji, A., Vahedi, A.A., Khatibnia E., 2020. Spatial patterns analysis for natural disturbances consequences within the Hyrcanian mixed-beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 28(3), 257-268. (In Persian)
  - [2] Sefidi, K., 2023. Comparison of structural complexity index (SCI) in the developmental stages of Hyrcanian mixed beech forests. *Iranian Journal of Forest*, 14(4), 389-405. (In Persian)
  - [3] Donato, D.C., Campbell, J.L., Franklin, J.F., 2012. Multiple successional pathways and precocity in forest development: can some forests be born complex? *Journal of Vegetation Science*, 23(2), 576-584.
  - [4] - Moridi, M., Fallah, A., Pourmajidian, M.R., Sefidi, K., 2021. Quantitative Analysis of Forest Structure at Growing Up Volume Stage in the Evaluation of Natural Beech Stands (Case Study: Kheyroud Forest). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 29(2), 153-163. (In Persian)
  - [5] Kakavand, M., Etemad, V., Talebi, K.S., Mohadjer, M.M., Ammer, C., 2021. Development stages dynamics of the Hyrcanian reserve stands, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 28(3), 231-243. (In Persian)
  - [6] Mattaji, A., Namiranian, M., 2002. Investigation on structure and developmental trend of natural beech stands, Northern Iran. *Iranian Journal of Natural Resources*, 55(14), 531-541 (In Persian).
  - [7] Emborg, J., Christensen M., HeilmannClausen, J., 2000. The Structural dynamic of managed forest. *Journal of Forest ecology and management*, 138: 127-140.
  - [8] Zhang, H., Jiao, X., Zha, T., Lv, X., Ni, Y., Zhang, Q., Ma, L., 2023. Developmental Dynamics and Driving Factors of Understory Vegetation: A Case Study of Three Typical Plantations in the Loess Plateau of China. *Forests*, 14(12), 23-53.
  - [9] Atkins, J.W., Bhatt, P., Carrasco, L., Francis, E., Garabedian, J.E., Hakkenberg, C.R., Krause, K., 2023. Integrating forest structural diversity measurement into ecological research. *Ecosphere*, 14(9), 1-17.

- primary uneven-aged forest driven by mixed-severity natural disturbances. *Forest ecology and management*, 455, 117676.
- [21] Gessler, A., Ferretti, M., Schaub, M., 2022. Forest monitoring to assess forest functioning under air pollution and climate change. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5, 952232.
- [22] Fatemitalab, S., Mataji, A., Babaei, S., 2012. Determination of stand dynamic and its relationship with understory biodiversity in managed and unmanaged stands of Beech forests (Case study: Safarud forest). *Iranian Journal of Forest*, 4(3), 277-287. (In Persian)
- [23] Lima, R.A.F., 2005. Gap size measurement: the proposal of a new field method. *Forest Ecology and Management*, 214(1), 413-419.
- [24] Sagheb-Talebi, Kh., Schuetz, J.Ph., 2002. The structure of natural oriental beech (*Fagus orientalis*) forests in the Caspian region of Iran and potential for application of the group selection system. *Forestry*, 75(4), 465-472.
- [25] Harmon, M.E., Sexton, J., 1996. Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems. US LTER Publication No. 20. U.S. LTER Network Office, University of Washington, College of Forest Resources, Seattle, 73 pp.
- [26] Aakala, T., 2010. Coarse woody debris in late-successional *Picea abies* forests in northern Europe: variability in quantities and models of decay class dynamics. *Forest Ecology and Management*, 260(5), 770-779.
- [27] Korpel, S., 1995. *Die Urwälder der Westkarpaten*. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart, 310p.
- [28] Sagheb-Talebi, K., Parhizkar, P., Hassani, M., Amanzadeh, B., Hemmati, A., Khanjani-Shiraz, B., Marzdashti, A.S., 2020. Preliminary results of survey on stand structure in permanent research plots of Hyrcanian intact beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 28(2), 163-179. (In Persian)
- [29] Spies, T.A., Franklin, J.F., 1991. The structure of natural young, mature, and old-growth Douglas-fir forests in Oregon and Washington. *Wildlife and vegetation of unmanaged Douglas-fir forests*, 1, 91-109.
- [30] Vitková, L., Bače, R., Kjučukov, P., Svoboda, M., 2018. Deadwood management in Central European forests: Key considerations for practical implementation. *Forest ecology and management*, 429, 394-405.
- [31] Alibabaei, Omran, E., Etemad, V., Saghebtalebi, K., Namiranian, M., 2023. Spatial pattern and structural characteristics of *Fagus orientalis* forests in the optimal developmental stage (Case study: Kheyroud forest, Nowshahr). *Iranian Journal of Forest*, 15(3), 155-165. (In Persian)
- [32] Javanmiri Pour, M., Etemad, V., 2022. Development of the dead trees structural legacy in the dynamics process of pure beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands (Case study: Gorazbon district of Kheyroud forest). *Iranian Journal of Forest Ecology*, 10(20), 73-87. (In Persian)
- [33] Sagheb-Talebi, Kh., 2014. Final report of National Research Project: Appropriate characteristics of beech stands for application of close to nature Silviculture (selection system). Research Institute of Forests and Rangelands, 123p (in Persian).
- [34] Nagel, T.A., Svoboda, M., 2008. Gap disturbance regime in an old-growth *Fagus-Abies* forest in the Dinaric Mountains, Bosnia-Herzegovina. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(11), 2728-2737.
- [35] Sefidi K., Marvie-Mohadjer, M.R., Mosandl, R., Copenheaver, C.A., 2011. Canopy gaps and regeneration in old-growth Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands Northern Iran, *Forest Ecology and Management*, 262, 1094-1099.
- [36] Kian, S., Tabari Kouchaksaraei, M., Esmailzadeh, O., Alavi, S.J., 2017. Gap characteristics and disturbance regime in an intact Hyrcanian Oriental beech forest. *Iran. Austrian Journal of Forest Science*, 134(4), 323-346.
- [37] Feldmann, E., Drößler, L., Hauck, M., Kucbel, S., Pichler, V., Leuschner, C., 2018. Canopy gap dynamics and tree understory release in a virgin beech forest. *Slovakian Carpathians. Forest Ecology and Management*, 415(1), 38-46.
- [38] Petritan, A.M., Nuske, R.S., Petritan, I.C., Tudose, N.C., 2013. Gap disturbance patterns in an oldgrowth sessile oak (*Quercus petraea* L.) European beech (*Fagus sylvatica* L.) forest remnant in the Carpathian Mountains, Romania. *Forest Ecology and Management*, 308, 67-75.
- [39] Getzin, S., Wiegand, T., Wiegand, K., He, F., 2008. Heterogeneity influences spatial patterns and demographics in forest stands. *Journal of Ecology*, 96(4), 807-820.
- [40] -Marvie-Mohadjer, M.R., 2005. *Silviculture*. University of Tehran Press, Karaj, Iran. 387 pp.
- [41] Mohammadi, L., Mohadjer, M.M., Etemad, V., Sefidi, K., 2015. Quantitative characteristics of regeneration in natural and tree fall canopy gaps in the mixed beech stands, northern Iran (Case study: Namkhaneh district, Kheyroud forest). *Iranian Journal of Forest*, 6(4), 457-470. (In Persian)

- [42] Khalili, Z., Fallah, A., Shataee, S., 2023. Analysis of dynamics of canopy gap in the coniferous forest stands using UltraCam-D digital aerial camera and Unmanned Aerial vehicles data (Case Study: Arab Dagh Region in Golestan Province). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 30(3), 1-26.



## مکان یابی احداث ایستگاه بازیافت پسماند جامد صنعتی در شهرک صنعتی نصیرآباد

علیرضا دربان آستانه<sup>۱\*</sup>

[astaneali@ut.ac.ir](mailto:astaneali@ut.ac.ir)

محمد رضا رضوانی<sup>۱</sup>

امید جامی برنجه<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶

### چکیده

**زمینه و هدف:** مدیریت پسماندهای صنعتی به دلیل کمینه سازی پسماندها در مبدأ تولید، بازیافت و استفاده مجدد اهمیت زیادی در حفظ منابع طبیعی و آلودگی محیط زیست دارد. شهرک صنعتی نصیرآباد علیرغم دارا بودن ۴۶۴ واحد تولیدی فعال و تولید روزانه ۲ تن زائدات جامد فاقد ایستگاه بازیافت پسماند جامد صنعتی می باشد. لذا مطالعه حاضر با هدف مکان یابی ایستگاه بازیافت پسماند جامد صنعتی در شهرستان رباط کریم به اجرا درآمد.

**روش تحقیق:** این مطالعه پیمایشی و توسعه ای می باشد و در دو فاز به اجرا درآمد. در مرحله اول در شهرک صنعتی نصیرآباد اطلاعات کمی و کیفی تولید پسماند صنعتی ۴۶۴ واحد صنعتی فعال شناسایی شد که از میان آنها ۶۸ واحد صنعتی با استفاده از نمونه گیری طبقه ای انتخاب شد و سپس به روش پیمایش و به صورت پرسشنامه ای اطلاعات لازم در خصوص میزان کمی و کیفی پسماندها به عمل آمد. در مرحله دوم مکان یابی براساس شاخص ها صورت گرفت. برای شناسایی شاخص های مکان یابی با بهره گیری از دستورالعمل ها و ضوابط مکان یابی دفن پسماند و نیز نظرات کارشناسان در مجموع ۶ معیار مؤثر در قالب ۱۹ زیر معیار شناسایی شد. در گام بعد داده های هر یک از معیارها و زیرمعیارها به صورت نقشه از سازمان های مختلف دریافت و بانک اطلاعاتی تشکیل شد. به منظور شناسایی مکان های دارای اولویت، ابتدا جرائم هریک از کاربری ها محاسبه و در نهایت فضاهای باقیمانده براساس شاخص های شناسایی شده اولویت بندی شدند. تکنیک مورد استفاده برای تعیین امتیاز هر یک از قطعات تکنیک SAW می باشد. برای بی مقیاس سازی لایه ها نیز از روش فازی استفاده شد. در این مرحله ۲۰ قطعه زمین شناسایی شد.

**یافته ها:** پژوهش در مرحله اول نشان داد که کل پسماند تولیدی در شهرک صنعتی حدود ۱۴۷۵ کیلوگرم در روز است همچنین گروه های مختلف صنایع فلزی ۱۷۰ کیلوگرم، شیمیایی ۳۹۵ کیلوگرم، غذایی ۲۵۰ کیلوگرم، نساجی ۷۰ کیلوگرم، سلولزی ۱۷۰ کیلوگرم و برق و الکترونیک ۴۲۰ کیلوگرم به صورت روزانه پسماند تولید می کنند. ۲۵۰۰ کیلوگرم در روز از پسماندهای شهرک صنعتی توسط ماشین جهت دفن در محل دیگر حمل می گردد. همچنین نتایج پژوهش در مرحله دوم نشان داد که قطعه شماره ۱۴ با امتیاز ۰/۷۰۶، گزینه نخست در احداث ایستگاه بازیافت و بقیه قطعات به ترتیب قطعه شماره ۲۰ با امتیاز ۰/۶۳۲، قطعه شماره ۱۳ با امتیاز ۰/۶۳۱ و قطعه ۵ شماره ۸ با امتیاز ۰/۶۰۳ گزینه های بعدی برای تعیین مکان انتخاب شدند.

**نتیجه گیری:** براساس نتایج تحقیق حاضر و پژوهش های پیشین وجود ایستگاه هایی که به طور متمرکز کار دریافت و پردازش پسماند را انجام می دهند مزایای متعددی دارند.

**واژه های کلیدی:** نصیرآباد، مکان یابی، پسماند، ایستگاه بازیافت پسماند، شهرک صنعتی.

<sup>۱</sup> عضو هیأت علمی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران ایران\* (مسوول مکاتبات)

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد برنامه ریزی آمایش سرزمین، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران ایران

## Site selection study on the Establishment of Waste Recycling Center in the Industrial Town (Case Study: Nasirabad)

Alireza Darban Astaneh<sup>1\*</sup>

[astaneali@ut.ac.ir](mailto:astaneali@ut.ac.ir)

Mohammad Reza Rezvani<sup>1</sup>

Omid Jami Beranjeh<sup>2</sup>

Accepted Date: May 6, 2025

Date Received: November 16, 2024

### Abstract

**Introduction:** Management of industrial wastes owing to its minimization, in the start point and recycling is really very much important to preserve the natural environment and avoiding pollution. Nasirabad industrial town despite of 464 active productive unites and producing 2 tons of solid wastes, still hasn't had any recycle station. Therefore in this study aimed to site selecting for recycle station in Robatkarim town.

**Research:** method is servings and developing which done in two sections. In first section quantitative and qualitative information of industrial waste producing was analyzed according to the data gathered from 68 industrial unites. In second step location selecting of the recycle station is considered. In the stage because there are no criteria for site selecting nor clear and related rule to do so we designed 6 criteria in 19 sub criteria by some interviews with experts. In the next step these criteria were received as maps from deferent organization and data base was made. To find places with the Priority, destination of each land use were considered and next remain spaces ranked depend on identifying indexes which in this section 20 land segments was studied. Saw used as a technique to determine the score. To omit the comparison among layers Fuzzy method used.

**Result:** in the first stage represents that all of the waste in the industrial town is 1475 kg per day and also different group make these rates of waste like steel industry 170 kg, chemical 395 kg, food 250 kg, Textile 70 kg, Cellulose 170 kg, electronic 420 kg, per day. Every day 2500 kg of wastes are transported to landfill. And Outcome in the second stage represents that: land 14, land 20, land 13 and land 8 which represent the superiority of each one to the other lands in order.

**Conclusion:** Based on the results of the present study and previous research, the existence of stations that centrally receive and process waste has several advantages.

**Keywords:** Nasirabad, Site selection, Waste, Recycle center, industrial town.

---

<sup>1</sup> Faculty Member, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran \* (Corresponding Author)

<sup>2</sup> Master of Science in Land Use Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

## مقدمه

مواد زائد صنعتی به صورت جامد، نیمه جامد و مایع بوده و از تنوع بسیار زیادی برخوردارند. رشد سریع فناوری، دستیابی به روند جدید تولید، جایگزینی مواد مصنوعی به جای الیاف طبیعی و سنتز هزاران نوع مواد و ترکیبات شیمیایی، سبب افزایش حجم زیادی از زباله‌های صنعتی و در بعضی موارد، سبب تولید زباله‌های جامد و مایع خطرناک شده است (۱). برای مواد زائد خطرناک صنعتی تعریف جامع و یکسانی وجود ندارد و در هر کشور تعریف مواد زائد خطرناک متأثر از قوانین، مقررات و شرایط آن کشور می‌باشد (۲). طبق تعریفی که سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) نموده است مواد زائد مخاطره آمیز شامل مواد زائد یا ترکیبی از مواد زائدی می‌باشند که می‌توانند سلامت انسان و سایر موجودات زنده را در معرض خطر قرار دهند (۳).

پسماندهای صنعتی همواره به عنوان بخشی از محصولات جانبی تولیدی در فعالیت‌های صنعتی مشکل ساز بوده‌اند، با این وجود مدیریت جامع و منطقی گام اصلی در جهت کمینه سازی مخاطرات آنها به شمار می‌آید (۴). در سیستم‌های مدیریت پسماند، کاهش از مبدأ و بازیافت در کاهش حجم و وزن زباله و نیز هزینه‌های حمل و نقل و دفع نهایی، نقش مهمی دارند (۵). در حال حاضر در بسیاری از کشورهای جهان «طرح‌های جامع مدیریت مواد زائد صنعتی» تهیه و در دوره‌های زمانی میان مدت و طولانی مدت به مرحله اجرا گذاشته می‌شود. در ایران هر چند که در زمینه مدیریت پسماندهای شهری اقدامات متعددی انجام شده است اما اجرای اقدامات خاص مربوط به مدیریت پسماندهای صنعتی هنوز در گام‌های اولیه خود قرار دارد. یکی از راهکارهایی که در این زمینه از دیرباز در کشورهای پیشرفته و به تازگی در کشور ما به کار گرفته می‌شود احداث ایستگاه بازیافت پسماند است. پر شدن سریع مکان‌های دفن، فرآیند پر هزینه احداث زباله سوز، آلودگی‌های زیست محیطی، هزینه‌های زیاد حمل و نقل و مواردی از این دست از جمله فاکتورهایی هستند که ساخت ایستگاه بازیافت را با اقبال زیادی مواجه ساخته است (۶). در حال حاضر با توجه به عضویت رسمی ایران در کنوانسیون جهانی بازل و تعهد کشورهای عضو مبنی بر اعمال مدیریت صحیح مواد زائد خطرناک صنعتی از یک سو و از سوی دیگر تصویب «قانون مدیریت پسماندها» (۱۳۸۳/۲/۲۰) و تاکید این قانون بر شناسایی مستقل پسماندهای صنعتی و لزوم اعمال مدیریت جامع بر آنها (۷)، این مطالعه می‌تواند به ایجاد ساختاری مناسب، جهت کنترل و کاهش پسماندهای صنعتی در شهرک صنعتی نصیرآباد منجر گردد. شهرک صنعتی نصیرآباد واقع در

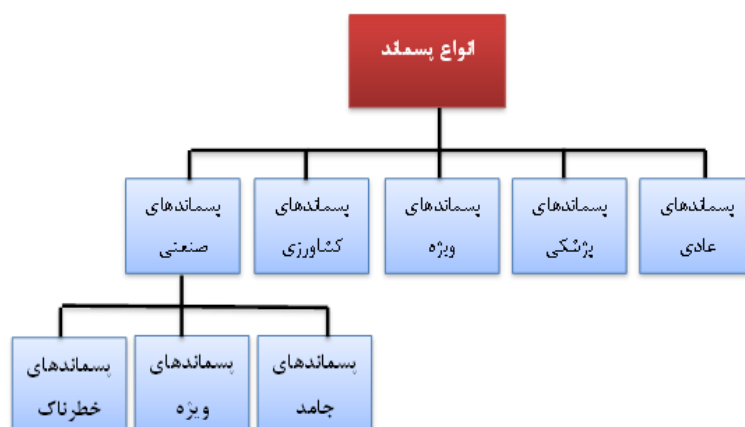
کیلومتر ۳۰ جاده قدیم تهران - ساوه شهر رباط کریم، دارای ۴۶۴ واحد تولیدی صنعتی فعال می‌باشد. در این شهرک واحدهای صنعتی مانند غذایی، برق و الکترونیک، نساجی، سلولزی، شیمیایی، و فلزی وجود دارند که هرکدام از این واحدهای صنعتی، پسماندهای ویژه مربوط به خود را تولید می‌کنند و براساس بررسی‌های اولیه حدود ۲ تن پسماند جامد روزانه از این شهرک دفع می‌شود.

شهرستان رباط کریم به عنوان یکی از شهرستان‌های حاشیه پایتخت، مراحل صنعتی شدن خود را به سرعت طی می‌کند، در چند دهه اخیر با دشواری‌های مربوط به آلاینده‌های صنعتی مواجه شده است. رشد سریع صنعت و توسعه صنعتی، محیط زیست طبیعی شهرستان و استان را در معرض فشار قرار می‌دهد، علاوه بر این، استفاده از فن‌آوری‌های نامناسب قدیمی و مدیریت ناکارآمد در صنایع باعث مصرف بی رویه منابع اولیه شده است. شدت آلودگی‌های محیط حاصل از پسماندها در شهرها و مراکز تجمع صنایع به گونه‌ای است که توجه منابع علمی و اجرایی جهان را نسبت به دفع بهینه یا بازیافت اصولی این مواد جلب کرده است. از سوی دیگر با توجه به توسعه و افزایش شهرک‌های صنعتی در این شهرستان مدیریت جمع‌آوری، حمل و نقل، دفع و بازیافت پسماندهای صنعتی در این شهرک‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد.

باتوجه به وجود مسئله در منطقه مورد مطالعه و اهمیت موضوع، هدف اصلی تحقیق حاضر مکان‌یابی استقرار ایستگاه بازیافت پسماند در شهرک صنعتی نصیرآباد و همچنین شناسایی معیارهای اصلی مکانیابی آن براساس ضوابط علمی می‌باشد.

پسماند به مواد جامد، نیمه جامد و مایع (به استثنای فاضلاب) گفته می‌شود که به طور مستقیم یا غیرمستقیم حاصل از فعالیت انسان بوده و از نظر تولیدکننده، زائد تلقی می‌شود (۸). واژه "پسماند صنعتی" به همه زائداتی که در نتیجه عملیات صنعتی و یا فرآیندهای تولید صنعتی به وجود می‌آیند، دلالت دارد (۹). آن دسته از پسماندهای صنعتی که نه وارد آب‌ها می‌شوند و نه به سیستم فاضلاب تخلیه می‌گردند، در دسته‌های زیر طبقه‌بندی می‌شوند (تصویر شماره ۱).

<sup>1</sup> Industrial waste



شکل ۱- تقسیم بندی انواع پسماندها.

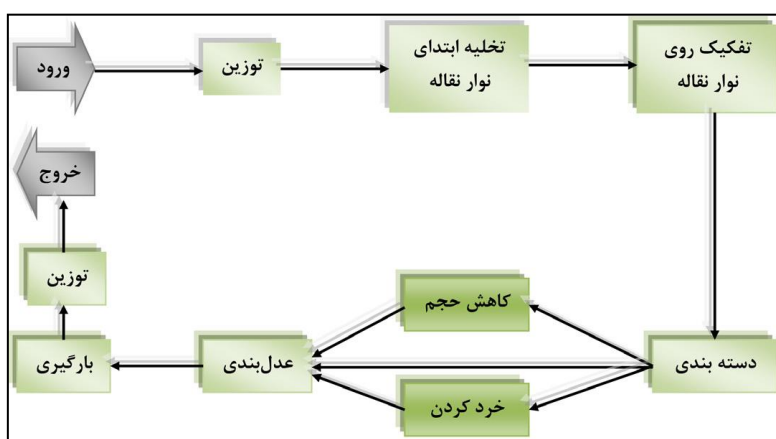
Figure 1- Classification of waste types

### ایستگاه بازیافت پسماند

ایستگاه بازیافت یا تأسیسات بازیافت مواد<sup>۱</sup> (MRF)، در فضایی سه بعدی با در نظر گرفتن ارتفاع مناسب برای تسهیل حمل و نقل و ذخیره سازی مواد و همچنین به حداقل رساندن مساحت مورد نیاز تأسیسات طراحی شده اند. به صورت یک قاعده کلی، مواد ورودی توسط تسمه نقاله به محل استقرار تجهیزات و پرسنل حمل شده و تفکیک می شوند. سپس به بانکرهای ذخیره سازی موقت منتقل شده و تخلیه می گردند. مواد قابل بازیافت مورد پردازش قرار می گیرند (به عنوان مثال عدل می شوند، متراکم می شوند، و...) و قبل از اینکه به بازار منتقل شوند، در محلی ذخیره می گردند (۱۰). فرآیند عملیات در ایستگاه های بازیافت مطابق تصویر شماره ۲ است.

تأسیسات بازیافت مواد باید برای تولید محصولاتی پاک، سازگار

و قابل عرضه به بازار از مواد ناهمگنی که شامل برخی از آلودگی ها هستند طراحی شوند. طراحی، ساخت و تجهیز یک مرکز بازیافت مواد جدید و یا طراحی مجدد تأسیسات موجود، نیازمند یکپارچه سازی دستگاه های اتوماتیک و فعالیت های انسانی می باشد. به طور کلی در هنگام طراحی یک مرکز بازیافت مواد، بعضی از موارد کلیدی که به منظور به حداکثر رساندن میزان کارایی و مقرون به صرفه بودن باید در نظر گرفته شوند شامل به حداکثر رساندن توان عملیاتی بر روی مواد، به حداکثر رساندن بازیابی مواد و به حداقل رساندن فرآیندهای پردازش پسماند، افزایش اتوماسیون و به حداقل رساندن کار با دست، ایجاد یک محیط امن برای کارگران، تولید جریان مداوم از مواد بازیافت شده با کیفیت، بهینه سازی عملکرد سیستم و کاهش خرابی ها می شوند (۱۰).



شکل ۲- نمودار فرآیند عملیات در ایستگاه های بازیافت (۱۱)

Figure 2 - Operation process diagram in recycling stations (11).

<sup>1</sup> Materials Recovery Facility

بعلاوه کار برای طبقه بندی، کارکنان تأسیسات پردازش معمولاً شامل اپراتورهای تجهیزات متحرک و ثابت و پرسنل حفاظت می‌شود. کار طبقه بندی می‌تواند یک بخش اساسی این کار عملیاتی باشد، در این سیستم‌ها گاهی ۵۰ تا ۷۵ درصد برای بازیافتن چندین نوع مواد طراحی کرد. تأسیسات پردازش همچنین نیاز دارد به کارکنان دفتری که ممکن است شامل یک یا بیشتر از آنچه که در زیر آمده است: مدیر دستگاه، مدیر سنجش، حسابدار، منشی، نگهبان و غیره. سطوح اعضاء متعارف برای تأسیسات که مواد تفکیک شده در مبداء را پردازش می‌کنند در جدول شماره ۱ برای ظرفیت‌های عملکرد ۵۰۰، ۱۰۰۰، و ۲۰۰۰ مگا گرم در هفته شرح داده شده است.

بررسی ویژه باید بر روی تخصیص فضا برای ذخیره سازی مواد در جریان طراحی وسیله انجام گیرد. مساحت ذخیره سازی شامل آنهایی است که تخصیص داده شده برای زمین پیشنهادی به ذخیره مواد حمل شده و برای ذخیره محصولات بازیابی شده انتهایی. گرایش معمول به دست کم گرفتن ضرورت‌های فضا است، با نتایج بالقوه‌ای که وجود دارند: (۱) فقدان انعطاف‌پذیری پردازش؛ و (۲) ذخیره سازی مواد حفظ نشده (نگهداری در فضای آزاد) به دلیل فقدان فضای مسقف برای ذخیره سازی مناسب. برخی راهنمایی‌های کلی برای تخصیص فضا برای تأسیساتی که مواد تفکیک شده در مبداء را پردازش می‌کنند در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. این راهنمایی‌ها به معنی این نیستند که یک بدل برای تجزیه و تحلیل مفصل مهندسی باشند که عملکرد واقعی و ملاک‌های معین پروژه دیگر در نظر گرفته شوند.

تأسیسات بازیافت مواد باید برای تولید محصولاتی پاک، سازگار و قابل عرضه به بازار از مواد ناهمگنی که شامل برخی از آلودگی‌ها هستند طراحی شوند. طراحی، ساخت و تجهیز یک مرکز بازیافت مواد جدید و یا طراحی مجدد تأسیسات موجود، نیازمند یکپارچه سازی دستگاه‌های اتوماتیک و فعالیت‌های انسانی می‌باشد. به طور کلی در هنگام طراحی یک مرکز بازیافت مواد، بعضی از موارد کلیدی که به منظور به حداکثر رساندن میزان کارایی و مقرون به صرفه بودن باید در نظر گرفته شوند شامل به حداکثر رساندن توان عملیاتی بر روی مواد، به حداکثر رساندن بازیابی مواد و به حداقل رساندن فرآیندهای پردازش پسماند، افزایش اتوماسیون و به حداقل رساندن کار با دست، ایجاد یک محیط امن برای کارگران، تولید جریانی مداوم از مواد بازیافت شده با کیفیت، بهینه سازی عملکرد سیستم و کاهش خرابی‌ها می‌شوند (۱۰).

#### طراحی تأسیسات پردازش پسماند

تأسیسات پردازش پسماند، بویژه از نظر اقتصادی در کشورهای در حال توسعه، معمولاً طبقه بندی اساسی دستی در موقع عملیات تفکیک اولیه و ثانویه است. طبقه بندی دستی بطور آشکار یک فعالیت شدید کاری و زمانی است. در واقع، در کشورهای صنعتی، بخش اساسی هزینه‌های عملیاتی یک وسیله می‌تواند مرتبط با کار طبقه‌بندی باشد. عامل‌های متعددی بر میزان و کارایی طبقه‌بندی تأثیر گذار هستند، که شامل نوع و تصویر مواد تفکیک شده و درجه آلودگی و مخلوط شدگی می‌باشند (۱۲).

جدول ۱- شرایط کاری متعارف برای تأسیسات جهت پردازش مواد جدا شده از مبداء

Table 1 - Typical operating conditions for facilities for processing source-separated materials

| ظرفیت وسیله (Mg/wk) |          |          | پرسنل                    |
|---------------------|----------|----------|--------------------------|
| ۲۰۰۰                | ۱۰۰۰     | ۵۰۰      |                          |
| ۵ تا ۶              | ۳ تا ۴   | ۲ تا ۳   | دفتر اداری               |
|                     |          |          | کار عملیاتی:             |
| ۳ تا ۴              | ۲ تا ۳   | ۱ تا ۲   | سرکارگر / اپراتور دستگاه |
| ۱۵ تا ۲۶            | ۱۰ تا ۱۸ | ۸ تا ۱۶  | سوا کننده                |
| ۵ تا ۶              | ۳ تا ۴   | ۲ تا ۳   | جرثقیل (اپراتورهای FEL)  |
| ۴                   | ۲        | ۱        | حفاظت                    |
| ۳۲ تا ۴۶            | ۲۰ تا ۳۱ | ۱۴ تا ۲۵ | کل                       |

منبع: (۱۲).

جدول ۲- راهنمای مساحت زمین (مترمربع) برای تأسیسات جهت پردازش مواد جدا شده از مبدا

Table 2 - Land area guide (square meters) for facilities for processing source-separated materials

| ظرفیت وسیله (Mg/wk) |      |     | مساحت کاربری      |
|---------------------|------|-----|-------------------|
| ۵۰۰                 | ۱۰۰  | ۱۰  |                   |
|                     |      |     | سالن پیشنهادی     |
| ۳۰۰۰                | ۷۵۰  | ۳۰۰ | ظرفیت برای دو روز |
| ۵۰۰۰                | ۲۰۰۰ | ۶۰۰ | پردازش            |
|                     |      |     | ذخیره سازی        |
| ۳۵۰۰                | ۸۷۵  | ۱۰۰ | ظرفیت برای ۷ روز  |
| ۷۰۰۰                | ۱۷۵۰ | ۱۷۵ | ظرفیت برای ۱۴ روز |

منبع: (۱۲)

برای تولید سوخت اشتقاقی از پسماند (RDF) یا مواد اولیه‌ای برای ترکیب می‌تواند ظرفیت بازیابی را ۷۵ تا ۸۵ درصد افزایش دهد.

#### شاخص‌های مکان یابی

جدول زیر برخی از فواصل جداسازی پیشنهاد شده را برای تأسیسات بازیافت مواد نشان می‌دهد. فواصل جداسازی برای حداقل سازی تضادهای بالقوه محیطی بین کاربری‌های ناسازگار و تأسیسات ضروری هستند.

تأسیساتی که مواد تفکیک شده در مبدا را پردازش می‌کنند می‌توانند به آسانی ۸۰ درصد یا بیشتر از آن گریدهای قابل فروش فلزات، شیشه، پلاستیک و کاغذ از یک ورودی شامل اجزا مخلوط و تفکیک شده و آلودگی اتفاقی که معمولاً با مواد نشانه گذاری شده همراه هستند بازیابی کنند. از سوی دیگر، تأسیساتی که پسماند مخلوط شده را پردازش می‌کنند معمولاً فقط در حدود ۱۰ تا ۲۵ درصد از پسماندها را در تصویر مواد قابل فروش بازیابی می‌کنند (ترکیب پسماندها و بازارهای موجود برای مواد فرعی و ثانویه روی هم رفته درصد بازیابی امکان پذیر را تعیین می‌کنند). اما این اضافه عملیات پردازش

جدول ۳- فواصل جداسازی پیشنهاد شده را برای تأسیسات بازیافت مواد

Table 3 - Suggested separation distances for material recycling facilities

|                                                                                                                                                                                                              |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| سایت‌های MRF نباید در نواحی حساس محیطی (پارک‌ها، منابع طبیعی، نواحی که آنجا ممکن است گونه‌های گیاهی یا جانوری باشند به مخاطره بیندازد، کریدورهای مهاجرت حیوانات وحشی، زمین‌های مرطوب و غیره) مکان یابی شوند. | کاربری زمین               |
| جاده‌های دسترسی باید تمام سال از لحاظ وزن و نوع وسایل نقلیه پیش بینی شده در دسترس باشند.                                                                                                                     | محدودیت‌های دسترسی و جاده |
| محل MRF نباید در دشت سیلابی ۱۰۰ ساله یا در هر ناحیه‌ای که بیش از ۱ درصد خطر طغیان سیل در هر سال دارد مکان یابی شود. تهیه نقشه خطر سیل ضروری است اگر قابل دسترس باشد.                                         | دشت سیلابی                |
| یک سایت MRF نباید در یک ناحیه عرضه آب حفاظت شده یا یک حوزه چاه حفاظت شده مکان یابی شده باشد.                                                                                                                 | آبخیزها                   |
| نواحی که در آنجا یک گودی عادی خاک‌های محلی و منابع آب‌های زیرزمینی بی‌فایده وجود دارد ترجیح داده می‌شود.                                                                                                     | هیدرولوژی                 |
| سایت‌ها نباید در ۱۰۰ متری یک ناحیه ناپایدار مکان یابی شده باشند.                                                                                                                                             | نواحی ناپایدار            |
| این محل باید دست کم ۸ کیلومتر از فرودگاه‌هایی که توسط هواپیمای تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند مکان یابی شده باشند.                                                                                         | فرودگاه‌ها                |

منبع: (۱۳)

- زمین‌شناسی منطقه: محل دفن نباید در مناطق زلزله خیز، گسل‌ها، معادن زیرزمینی، فرونشست‌ها و حفره‌های حاصل از انحلال مواد واقع شود (۱۵).

- گسل: رعایت فاصله ۶۰ متری از گسل‌هایی که در دوره هولوسن جابجایی داشته‌اند، ضروری است. برای سایت‌هایی که در فاصله کمتر از ۶۰ متر با گسل اجرا می‌شوند مجریان باید تشریحات لازم را ارائه کنند (۱۴).

## پیشینه تحقیق

- واحد دهقانی کاظمی (۱۳۹۲) در تحقیقی با عنوان کاربرد تکنیک‌های تصمیم‌گیری گروهی، منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مکان‌یابی ایستگاه بازیافت پسماند در منطقه ۹ تهران باهدف ارائه چارچوبی جهت ترکیب تکنیک‌های تصمیم‌گیری دلفی و دلفی فازی با سامانه اطلاعات مکانی، به منظور شناسایی مکان‌های مستعد جهت احداث ایستگاه بازیافت پسماند و پیاده کردن این روش‌ها در منطقه نه شهرداری تهران پرداخته است. در این تحقیق هشت معیار موثر در مکان‌یابی ایستگاه بازیافت شناسایی شد و تعیین حریم مجاز آنها و با اعمال حریم‌ها در نرم افزار GIS و بازدیدهای میدانی و انتخاب ۵ گزینه مکانی برای استقرار ایستگاه بازیافت در منطقه مطالعاتی صورت گرفت (۱۶).

- اعظم زارع (۱۳۸۹) در پژوهشی با عنوان مکان‌یابی بهینه دفن پسماند در شهر شیراز با استفاده از GIS با استفاده از لایه‌های متعدد اطلاعاتی نظیر نقشه شیب منطقه، نقشه کاربری اراضی، لایه فاصله از مراکز شهری، نقشه خاک، نقشه آب‌های زیرزمینی و... برای مکان‌یابی محل دفن پسماند استفاده کرده است. روش تحقیق ترکیبی از روش‌های اسنادی، توصیفی و تحلیلی بوده است و از GIS برای مکان‌یابی محل دفن زباله بهره برده است و به این نتیجه رسیده است که مکان‌یابی محل دفن زباله سابق شهر شیراز از نظر موقعیت مکانی و جغرافیایی مطلوب نمی‌باشد و باتوجه به افزایش جمعیتی این شهر در ۳۰ سال اخیر و با توجه به پیش‌بینی جمعیت در سال‌های آینده، لزوم مکان‌گزینی بهینه سایت دفن زباله ضروری بوده است (۱۷).

- نی - بین چانگ (۲۰۰۸)، در پژوهشی که با عنوان "ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) با تصمیم‌گیری چند معیاری فازی جهت جانمایی مکان‌های دفن پسماندهای شهری در شهرهای با رشد بالای جمعیت" یک تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره فازی به همراه تحلیل موقعیت مکانی را جهت انباشت ضایعات شهری ارائه داده و محل انباشت ضایعات شهری در حومه شهر آرلینگتون در ایالت تگزاس جنوبی را مکان‌یابی نموده است (۱۸).

- یان یین هو (۲۰۰۲)، در پژوهش خود با عنوان "بازیافت به عنوان یک استراتژی مدیریت پسماند برای سنگاپور: پژوهشی درباره یافتن روش‌هایی برای ارتقاء رفتار بازیافت پسماند خانگی سنگاپور" به این نتیجه رسیده است که بررسی مقایسه بین رفتار بازیافتی شهروندان سوئد و

سنگاپور نشان می‌دهد، افزایش دسترسی به تسهیلات بازیافت در سوئد نقش مثبتی در رفتار بازیافتی شهروندان دارد. همانطور که سنگاپوری‌های مقیم سوئد این رفتار را در آنجا به دلیل دسترسی به تسهیلات بازیافت بهتر انجام می‌دهند (۱۹).

## روش پژوهش

رویکرد کلی تحقیق از نوع پژوهش‌های کمی و از نظر شیوه گردآوری داده‌ها مبتنی بر داده‌های کتابخانه‌ای و پیمایش میدانی است. تحقیق حاضر در دو مرحله انجام گرفته است در مرحله اول جامعه آماری شامل کلیه واحدهای صنعتی مستقر در شهرک صنعتی نصیرآباد که از طریق لیستی که شهرک صنعتی در اختیار پژوهشگر قرار داد ۵۳۰ واحد صنعتی بود که از این بین ۴۰۰ واحد صنعتی فعال شناسایی شد. که این واحدهای صنعتی فعال شامل ۶ گروه صنایع عمده فلزی، شیمیایی، غذایی، نساجی، سلولزی و برق و الکترونیک می‌شوند. که برای شناسایی میزان پسماندهای شهرک صنعتی و برنامه‌ریزی برای احداث و راه اندازی هر واحد صنعتی از جمله تأسیسات بازیافت، نیاز به شناخت از کمیت و کیفیت و ترکیب مواد اولیه می‌باشد. از جمله اقداماتی که بایستی در این زمینه صورت گیرد انجام آمارگیری از پسماندهای تولیدی است. به منظور شناخت هر چه بیشتر و وضعیت اجزای تشکیل دهنده پسماندهای صنعتی از پرسشنامه به عنوان ابزار گردآوری داده‌ها استفاده شد و از روش نمونه‌گیری احتمالی و با استفاده از فرمول کوکران (۲۰): 
$$n = \frac{N(t^2 s^2)}{N d^2 + (t^2 s^2)}$$
 ۶۸ واحد صنعتی به صورت تصادفی طبقه‌ای با انتخاب بهینه انتخاب شدند.

در مرحله دوم برای شناسایی معیارهای مکانیابی ابتدا ضوابط و معیارهای چهار ارگان معتبر ملی و فراملی شامل:

الف- دستورالعمل سازمان حفاظت محیط زیست ایران (IR. DOE) ب- معیارها و ضوابط ارائه شده توسط سازمان مدیریت و برنامه ریزی (۲۱) ج- معیارها و ضوابط آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA) د- معیارها و ضوابط آژانس حفاظت از آب و خاک و هوای کانادا (British Colombia) در امر مکان‌یابی مورد بررسی قرار گرفته است (جدول شماره ۴).

در این تحقیق از معیارهایی مثل شیب، گسل، خاک، فاصله از شهر، فاصله از آب‌های سطحی، راه‌های اصلی و فرعی و ... استفاده شده است. که چگونگی فرآیند انجام پژوهش در زیر شرح داده شده است.

کلیه کارشناسان مرتبط با موضوع تحقیق که نسبت به شناسایی آنها اقدام شد تا نسبت به نمونه‌گیری از آنها اقدام شود.

جدول ۴- معیارها، زیرمعیارها و محدوده قابل قبول آنها

Table 4 - Criteria, sub-criteria and their acceptable limits

| معیارها             | زیرمعیارها             | معیار تصمیم‌گیری (رعایت حریم) |
|---------------------|------------------------|-------------------------------|
| عوامل زیست محیطی    | مناطق حفاظت شده        | ۱۰۰۰ متر                      |
|                     | حوضه‌های سیل گیر       | ۶۰۰ متر                       |
|                     | پهنه‌های سیل گیر       | ۶۰۰ متر                       |
|                     | کاربری زمین            | کاربری با ارزش پایین          |
| عوامل کالبدی        | مناطق شهری             | ۲۰۰۰ متر                      |
|                     | مناطق روستایی          | ۱۰۰۰ متر                      |
|                     | تأسیسات                | -                             |
|                     | مجتمع‌ها و شهرک صنعتی  | -                             |
|                     | فرودگاه                | ۱۵۰۰ متر                      |
| عوامل دسترسی        | جاده اصلی              | ۱۰۰۰ متر                      |
|                     | جاده فرعی              | ۳۰۰ متر                       |
|                     | خطوط انتقال نیرو       | ۴۰۰ متر                       |
| عوامل هیدرولوژی     | آب‌های سطحی (رودخانه)  | ۲۰۰۰ متر                      |
|                     | آب‌های زیرزمینی (قنات) | ۴۰۰ متر                       |
| عوامل زمین ساختمانی | گسل                    | ۱۵۰ متر                       |
|                     | خاک                    | با ارزش پایین                 |
|                     | جنس سنگ بستر           | با ارزش پایین                 |
|                     | شیب                    | ۱۵-۰ درصد                     |

منبع: ضوابط مکان یابی EPA- British Colombia- IR. DOE- IR. MPO ، ۱۳۹۴

جدول ۵- تعیین وزن شاخص‌های مکان یابی

Table 5- Determining the weight of location indicators

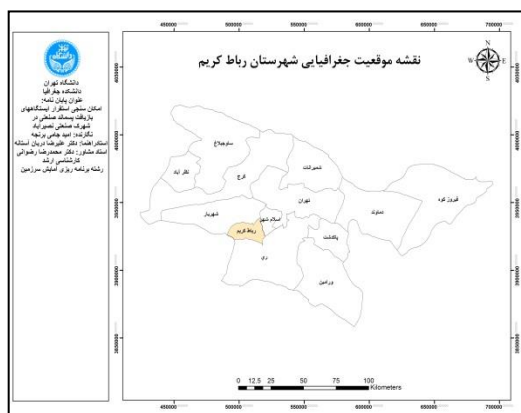
| شاخص‌ها- وزن شاخص‌ها       | زیرشاخص‌ها                 | وزن زیرشاخص | زیرشاخص‌ها              | وزن زیرشاخص |
|----------------------------|----------------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| عوامل زیست محیطی - ۰/۱۹    | فاصله از مناطق حفاظت شده   | ۰/۰۲        | باغات و مجتمع‌های درختی | ۰/۰۲        |
|                            | حوضه‌های سیل گیر           | ۰/۰۲        | زراعت آبی               | ۰/۰۲        |
|                            | پهنه‌های سیل گیر           | ۰/۰۲        | مرتفع با تراکم متوسط    | ۰/۰۲        |
|                            | اراضی شور                  | ۰/۰۱        | مرتفع پر تراکم          | ۰/۰۲        |
|                            | اراضی ماندابی با پوشش بومی | ۰/۰۲        | مرتفع کم تراکم          | ۰/۰۲        |
| عوامل کالبدی - ۰/۱۴        | مناطق شهری                 | ۰/۰۳        | شهرک‌های صنعتی          | ۰/۰۲        |
|                            | مناطق روستایی              | ۰/۰۳        | فرودگاه‌ها              | ۰/۰۲        |
|                            | تأسیسات                    | ۰/۰۲        |                         |             |
| عوامل دسترسی - ۰/۱۶        | جاده اصلی                  | ۰/۰۵        | خطوط انتقال برق         | ۰/۰۴        |
|                            | جاده فرعی                  | ۰/۰۴        | خطوط انتقال گاز         | ۰/۰۴        |
| عوامل هیدرولوژی - ۰/۱۹     | آب‌های سطحی                | ۰/۰۴        | بستر رودخانه            | ۰/۰۴        |
|                            | آب‌های زیرزمینی            | ۰/۰۴        | رودخانه                 | ۰/۰۴        |
|                            | آبراهه اصلی                | ۰/۰۴        |                         |             |
| عوامل زمین ساختمانی - ۰/۱۶ | گسل‌ها                     | ۰/۰۴        | جنس سنگ بستر            | ۰/۰۴        |
|                            | خاک                        | ۰/۰۴        | شیب                     | ۰/۰۴        |

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۴

از بین جامعه‌ی آماری شناسایی شده، ۱۲ کارشناس که مرتبط با موضوع بودند انتخاب شدند و از آنها نظرخواهی به عمل آمد تا نسبت به تعیین وزن شاخص‌های مورد بررسی اقدام کنند (جدول شماره ۶).

### محدوده مورد مطالعه

شهرک صنعتی نصیرآباد واقع در کیلومتر ۳۰ جاده قدیم تهران - ساوه شهر رباط کریم، دارای ۴۰۰ واحد تولیدی صنعتی فعال در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه و ۲۳ ثانیه شمالی و ۵۱ درجه و ۴ دقیقه و ۳۲ ثانیه شرقی می باشد. در این شهرک صنعتی واحدهای صنعتی مانند نساجی، سلولزی، شیمیایی، کانی غیرفلزی، فلزی، برق و الکترونیک، وجود دارند.



تصویر ۴- موقعیت جغرافیایی شهرستان رباط کریم

Figure 3- Geographical location of the industrial town

رباط کریم تا قبل از سال ۱۳۶۸ ه.ش یکی از بخشهای شهرستان کرج محسوب می شد و در سال ۱۳۶۸ یکی از بخشهای شهرستان شهریار شد.

در سال ۱۳۷۶ رباط کریم از شهریار منفک و مستقل گردید. این شهرستان دارای ۳۵۷ کیلومتر مربع وسعت، یک بخش مرکزی و دو بخش بوستان و گلستان، سه دهستان منجیل آباد، امامزاده ابوطالب، وهن آباد در بخش مرکزی، دو دهستان صالح آباد، میمنت در بخش گلستان و دو دهستان همدانک، اسماعیل آباد در بخش بوستان و از ۶ شهر رباط کریم، نصیرآباد، پرند، گلستان، نسیم شهر و بهارستان تشکیل شده است. مجموعاً دارای ۴۳ آبادی که ۳۱ آبادی دارای سکنه و ۱۲ آبادی دیگر خالی از سکنه می باشند. جمعیت کل شهرستان ۷۱۹۵۵۳ نفر می باشد که از این میان جمعیت شهری شهرستان بالغ بر ۵۷۸۳۴۲ نفر و جمعیت روستایی ۱۴۱۱۹۴ نفر می باشد (۲۲).

### یافته‌های پژوهش

مرحله اول تحقیق: نوع و میزان پسماند واحدهای تولیدی

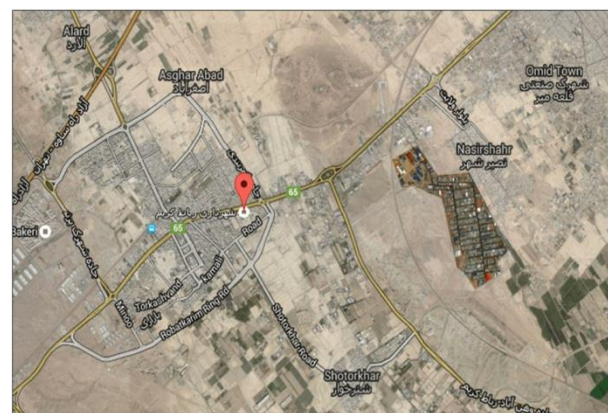
در این تحقیق از روش نمونه گیری غیراحتمالی و به صورت قضاوتی بهره برده شد.

از پیمایش میدانی و از پرسشنامه به عنوان ابزار اصلی جمع آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز استفاده شده است.

برای سنجش روایی تحقیق از نظرات استاد راهنما بهره برده شد و سوالات پرسشنامه چندین بار مورد بازبینی قرار گرفت.

نظر به اینکه متغیرهای این مرحله از تحقیق همگی دارای مقیاس غیر رتبه‌ای بودند لذا نیازی به محاسبه پایایی نبود.

اطلاعات خام به دست آمده از پرسشنامه‌ها با استفاده از نرم افزار آماری Excel تجزیه و تحلیل شدند و وزن معیارها محاسبه شد.



تصویر ۳- موقعیت جغرافیایی شهرک صنعتی

Figure 4- Geographical location of Robat Karim city

شهرستان رباط کریم یکی از شهرستانهای غرب استان تهران می باشد و مرکز آن شهر رباط کریم است. این شهرستان ارتفاع حدود ۱۰۵۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد و در طول جغرافیایی ۵۱/۰۴ و عرض جغرافیایی ۳۵/۲۸ قرار دارد. از شمال به شهرستان شهریار، از جنوب به شهرستان ری، از شرق به شهرستان اسلامشهر و از غرب به شهرستان ساوه محدود می شود.

منطقه رباط کریم سرزمینی است که از لحاظ ویژگیهای جغرافیایی با شیبی از شمال به جنوب و به طرف مشرق گسترش می یابد که شیب غربی آن نسبت به شیب شمالی آن کمتر است. دو عارضه مشخص طبیعی در این شهرستان مشاهده می شود که یکی مربوط به دره بزرگ کردان است که توسط رود کرج در جهتی شمالی و جنوبی ایجاد شده است و دیگری جلگه‌های آبرفتی پایکوه است که به کویرهای ناحیه جنوبی این منطقه منتهی می شود. در مجموع این شهرستان به علت واقع شدن در مجاورت مناطق کویری دارای آب و هوای خشک تا نیمه خشک است.

الیاف (۵۰ کیلوگرم در روز) و لجن (۱۰ کیلوگرم در روز) تولید می‌شود.

**صنایع نساجی:** در صنایع نساجی بنا به اظهار پاسخ گویان پسماندهایی مثل پلاستیک (۳۰ کیلوگرم در روز) و پارچه و الیاف (۴۰ کیلوگرم در روز) تولید می‌شود.

**صنایع سلولزی:** در صنایع سلولزی نیز ترکیب پسماندهایی مانند کاغذ و مقوا (۴۰ کیلو گرم در روز)، چوب (۱۰۰ کیلوگرم در روز) و لجن (۳۰ کیلوگرم در روز) وجود دارد.

**صنایع برق و الکترونیک:** و در صنایع برق و الکترونیک پسماندهایی مثل فلزی غیرآهنی (۸۰ کیلوگرم در روز)، فلزی آهنی (۱۰۰ کیلوگرم در روز)، پلاستیک (۱۰۰ کیلوگرم در روز)، کاغذ و مقوا (۱۰۰ کیلوگرم در روز) و چوب (۴۰ کیلوگرم در روز) تولید می‌شود.

براساس نتایج به دست آمده از ۶۸ واحد صنعتی نمونه‌گیری شده، میزان کل پسماندهای تولیدی واحدهای صنعتی شهرک صنعتی نصیرآباد برابر با ۱۴۷۵ کیلوگرم در روز می‌باشد.

**صنایع فلزی:** با بررسی به عمل آمده از نوع و میزان پسماندهای صنایع مستقر در شهرک صنعتی در صنایع فلزی پسماندهایی مثل فلزی غیرآهنی (۵۰ کیلوگرم در روز)، فلزی آهنی (۳۰ کیلوگرم در روز)، پلاستیک (۳۰ کیلوگرم در روز)، شیمیایی (۲۵ کیلوگرم در روز)، کاغذ و مقوا (۲۰ کیلوگرم در روز) و چوب (۱۵ کیلوگرم در روز) تولید می‌شوند.

**صنایع شیمیایی:** در صنایع شیمیایی نیز پسماندهایی مثل فلزی غیرآهنی (۵۰ کیلوگرم در روز)، فلزی آهنی (۵۰ کیلوگرم در روز)، فسادپذیر (۲۰ کیلوگرم در روز)، پلاستیک (۳۰ کیلوگرم در روز)، شیمیایی (۵۰ کیلوگرم در روز)، کاغذ و مقوا (۵۰ کیلو گرم در روز) و چوب (۴۵ کیلوگرم در روز) و پارچه و الیاف (۱۰ کیلوگرم در روز) تولید می‌شود.

**صنایع غذایی:** همچنین در صنایع غذایی پسماندهایی مثل فلزی غیرآهنی (۲۰ کیلوگرم در روز)، فلزی آهنی (۳۰ کیلوگرم در روز)، فسادپذیر (۵۰ کیلوگرم در روز)، پلاستیک (۵۰ کیلوگرم در روز)، کاغذ و مقوا (۴۰ کیلو گرم در روز)، پارچه و

جدول ۶- میزان و نوع پسماندهای تولیدی به تفکیک واحدهای صنعتی  
Table 6 - Amount and type of waste produced by industrial units

| نوع و<br>واحدهای<br>صنعتی | فلزی غیر آهنی | فلزی آهنی | فسادپذیر | پلاستیک | شیمیایی | کاغذ و مقوا | چوب | پارچه و الیاف | پلاستیک | چوب | زائدات<br>تولیدی | م.م  |
|---------------------------|---------------|-----------|----------|---------|---------|-------------|-----|---------------|---------|-----|------------------|------|
| فلزی                      | وزن           | ۵۰        | ۳۰       | -       | ۲۵      | ۲۰          | ۱۵  | -             | -       | -   | -                | ۱۷۰  |
| شیمیایی                   | وزن           | ۵۰        | ۵۰       | ۲۰      | ۳۰      | ۵۰          | ۴۵  | ۱۰            | -       | -   | -                | ۳۹۵  |
| غذایی                     | وزن           | ۲۰        | ۳۰       | ۵۰      | -       | ۴۰          | -   | ۵۰            | ۱۰      | -   | -                | ۲۵۰  |
| نساجی                     | وزن           | -         | -        | -       | ۳۰      | -           | -   | ۴۰            | -       | -   | -                | ۷۰   |
| سلولزی                    | وزن           | -         | -        | -       | -       | -           | ۴۰  | -             | ۳۰      | -   | -                | ۱۷۰  |
| برق و الکترونیک           | وزن           | ۸۰        | ۱۰۰      | -       | ۱۰۰     | ۱۰۰         | ۴۰  | -             | -       | -   | -                | ۴۲۰  |
| کل                        |               | ۲۰۰       | ۲۱۰      | ۷۰      | ۲۴۰     | ۲۵۰         | ۲۰۰ | ۱۰۰           | ۴۰      | -   | -                | ۱۴۷۵ |

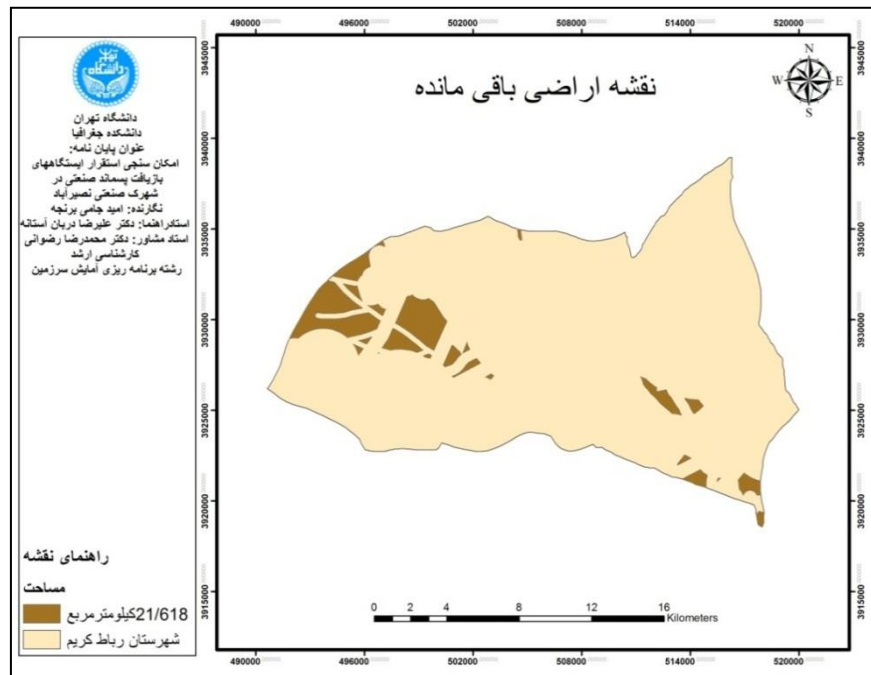
منبع: (گزارش‌های تحقیق، ۱۳۹۴)

### معیارهای اولویت بندی

براساس مطالعات انجام شده، برای استقرار ایستگاه بازیافت نقشه‌های اولویت بندی شامل کاربری زمین، زمین شناسی، رده‌های خاک، نوع خاک و شیب براساس ضوابط مکان یابی بدست آمد و برای اولویت بندی آنها همانطور که اشاره شد از نظرات کارشناسان و در محیط GIS برای اولویت بندی آنها از تابع Polygon to Raster و کدبندی مجدد آنها از Reclassify استفاده شد که در نقشه‌های زیر این فرآیند نشان داده شده است.

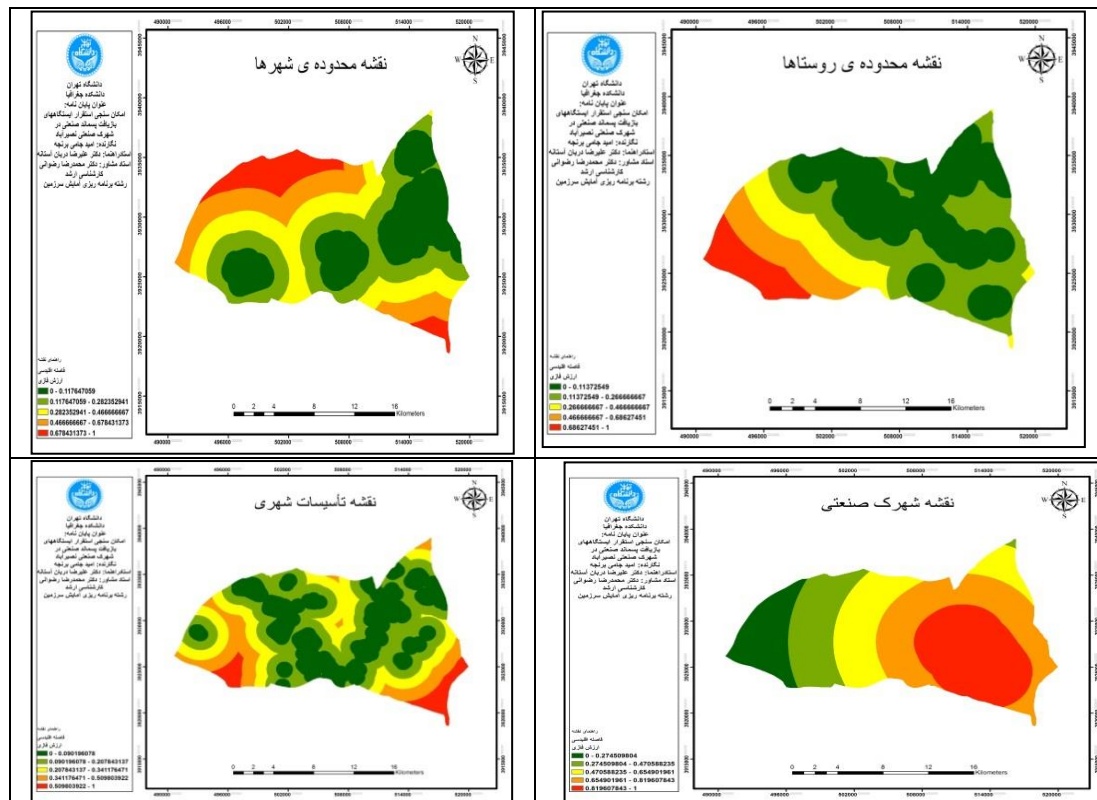
### مرحله دوم تحقیق: شناسایی اراضی باقی مانده:

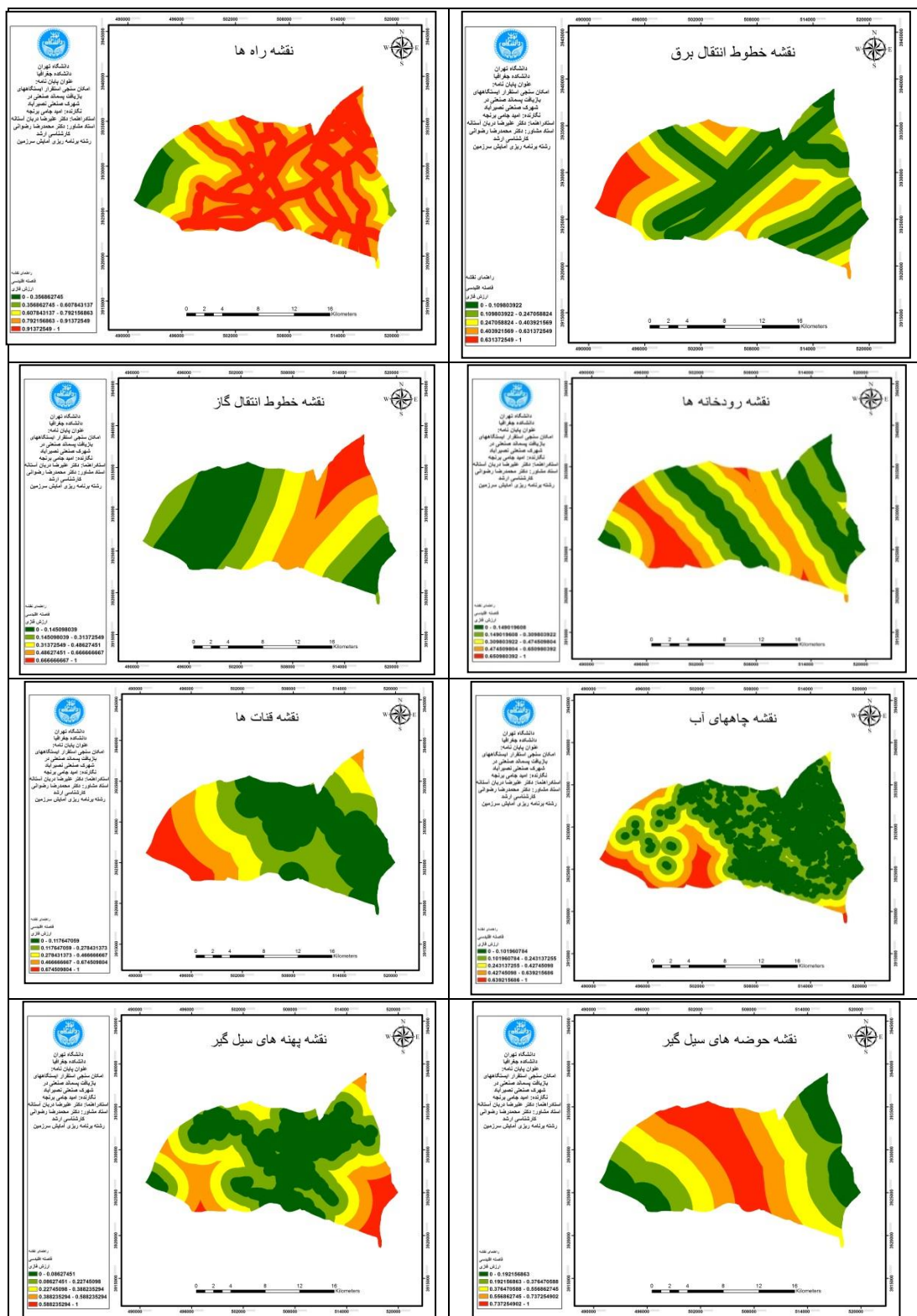
در مجموع از Intersect لایه‌های مختلف مانند محدوده شهرها، محدوده روستاها، تأسیسات، مجتمع‌ها و شهرک‌های صنعتی، جاده‌های اصلی، جاده‌های فرعی، خطوط انتقال گاز، خطوط انتقال برق، چاه‌های آب، قنات، رودخانه‌ها، حوضه‌های سیل گیر، پهنه‌های سیل گیر و گسل نقشه اراضی باقی مانده از حذف مناطق غیرممکن با مساحت ۲۱/۶۱۸ کیلومترمربع بدست آمده است. که در نقشه زیر این فرآیند نشان داده شده است.

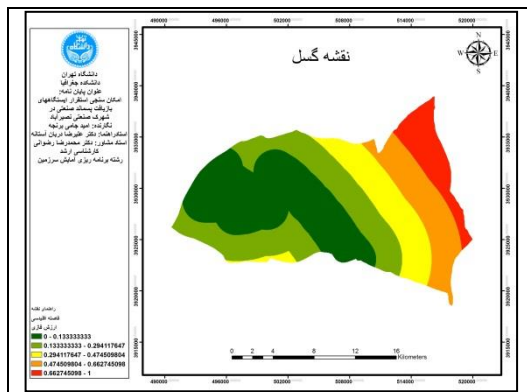


شکل ۵- نقشه اراضی باقی مانده از حذف مناطق منبع: (ترسیم تحقیق، ۱۳۹۴).

Figure 5 - Map of lands remaining from the removal of source areas: (Research drawing, 2015).

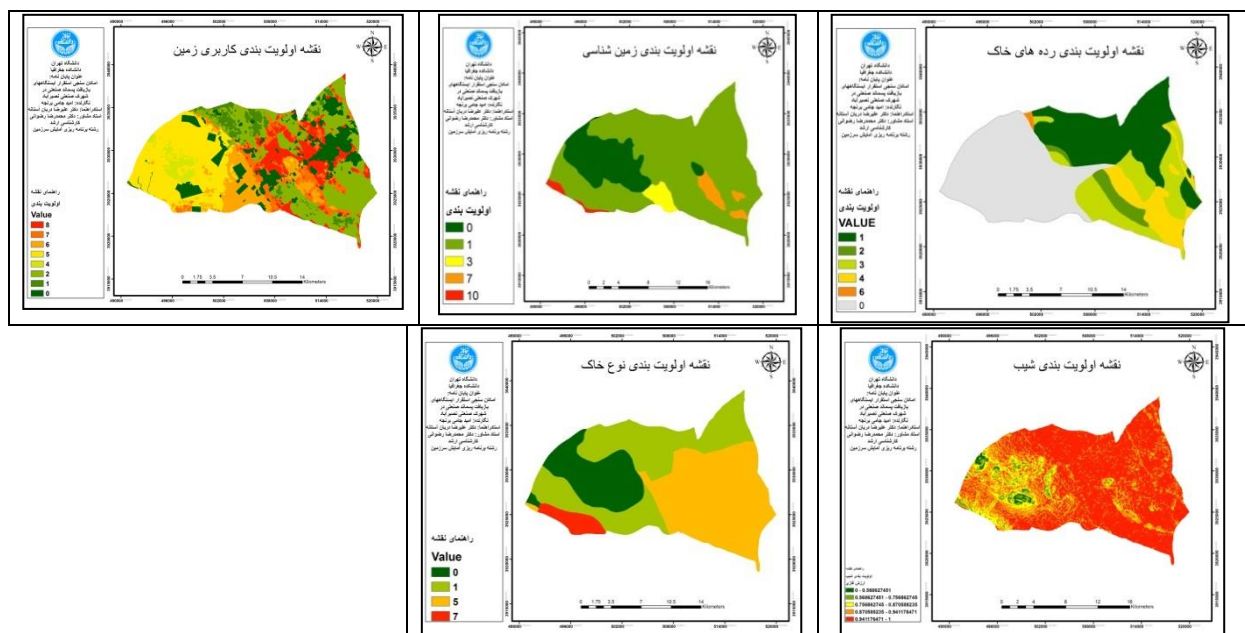






شکل ۶- نقشه‌های با محاسبه فاصله اقلیدسی و بی‌مقیاس سازی فازی منبع: (ترسیم تحقیق، ۱۳۹۴).

Figure 6- Maps with Euclidean distance calculation and fuzzy scaling Source: (Research Drawing, 2015).



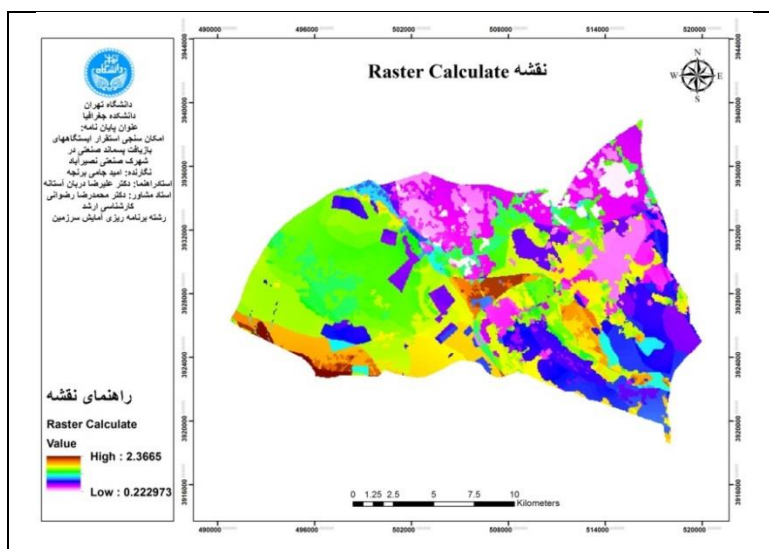
شکل ۷- نقشه‌های اولویت بندی شده جهت مکان‌یابی ایستگاه بازیافت پسماند.

Figure 7 - Prioritized maps for locating waste recycling stations.

قالب جدول جداگانه نیز در زیر نشان داده شده است. ضمن بررسی‌های به عمل آمده از نقشه‌های اولویت بندی شده و حریم‌ها و اعمال فواصل استاندارد و intersect کردن لایه‌ها قطعات زمین‌های باقی مانده در منطقه مطالعاتی شناسایی گردید. و با جدا سازی قطعات و دادن شماره به هریک از قطعات در حدود ۲۰ قطعه شناسایی شد که با محاسبات لازم بر روی قطعات شناسایی شده نسبت به دست آوردن مساحت و امتیازهای قطعات زمین اقدام شد و قطعه شماره‌ی ۱۴ با امتیاز ۰/۷۰۶، قطعه شماره‌ی ۲۰ با امتیاز ۰/۶۳۲، قطعه شماره‌ی ۱۳ با امتیاز ۰/۶۳۱ و قطعه‌ی شماره‌ی ۸ با امتیاز ۰/۶۰۳ بدست آمد (تصویر شماره ۱۱).

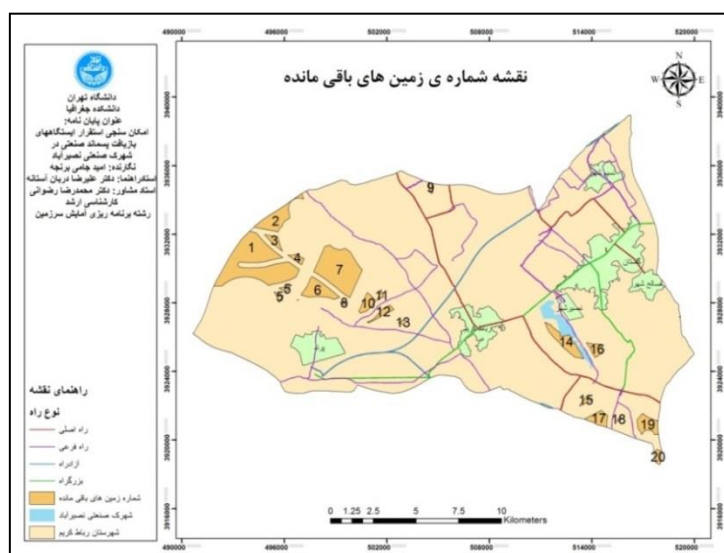
بعد از آنکه زمین‌های باقی مانده شناسایی شد برای لایه‌ها فاصله اقلیدسی و اولویت‌بندی‌ها حساب شد و بعد از محاسبه فاصله اقلیدسی چون لایه در دسته‌های مختلف قرار داشتند با استفاده از تابع Fuzzy Memberation بی‌مقیاس سازی آنها انجام شد. سپس با استفاده از تابع Raster Calculate لایه‌های محاسبه شده اقلیدسی و اولویت‌بندی را در وزن‌هایی که از کارشناسان مرتبط به معیارها و زیرمعیارها بدست آمده بود ضرب کرده و حاصل جمع آنها را به صورت نقشه نهایی اراضی بدست آوردیم.

و بعد از تفکیک قطعه زمین‌ها به شماره‌های مجزا و قطعه‌های ۲۰ گانه نسبت به محاسبه مساحت و امتیاز زمین‌های باقی مانده اقدام شد که همه این مراحل که توضیح داده شد در



شکل ۸- نقشه Raster Calculate منبع: (ترسیم تحقیق، ۱۳۹۴).

Figure 8- Raster Calculate Map Source: (Research Drawing, 2015).



تصویر ۹- نقشه شماره زمین های باقی مانده منبع: (ترسیم تحقیق، ۱۳۹۴).

Figure 9 - Map of the number of remaining lands. Source: (Research drawing, 2015).

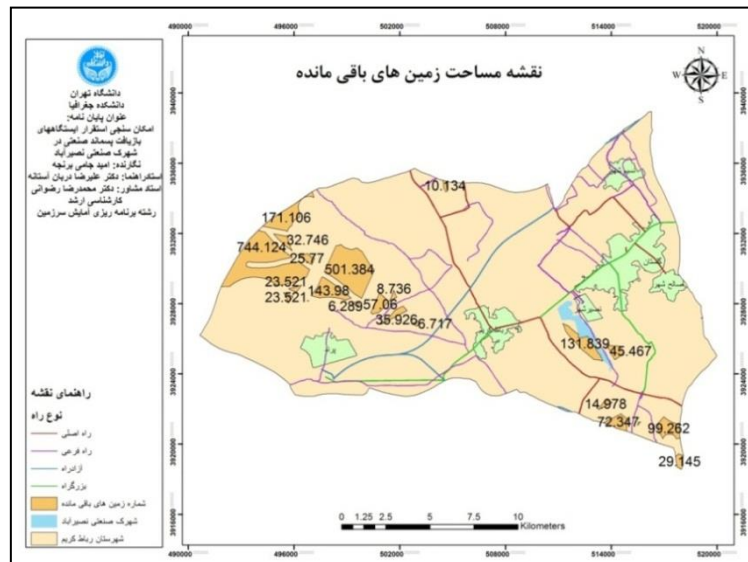
جدول ۷- مساحت و امتیاز قطعه زمین های باقی مانده

Table 7- Area and score of remaining land plots

| شماره زمین | امتیاز | مساحت (هکتار) | شماره زمین | امتیاز | مساحت (هکتار) |
|------------|--------|---------------|------------|--------|---------------|
| ۱۸         | ۰/۳۱۶  | ۱/۷۳۴         | ۷          | ۰/۵۷۱  | ۵۰۱/۳۸۴       |
| ۱۵         | ۰/۳۳۶  | ۱۴/۹۷۸        | ۱          | ۰/۵۷۲  | ۷۴۴/۱۲۴       |
| ۱۶         | ۰/۳۹۲  | ۴۵/۴۶۷        | ۹          | ۰/۵۲۶  | ۱۰/۱۳۴        |
| ۱۹         | ۰/۴۰۱  | ۹۹/۲۶۲        | ۱۲         | ۰/۵۷۶  | ۳۵/۹۲۶        |
| ۱۷         | ۰/۴۳۴  | ۷۲/۳۴۷        | ۳          | ۰/۵۷۷  | ۳۲/۷۴۶        |
| ۶          | ۰/۵۳۹  | ۱۴۳/۹۸۰       | ۲          | ۰/۵۸۵  | ۱۷۱/۱۰۶       |
| ۱۱         | ۰/۵۴۴  | ۸/۷۳۶         | ۸          | ۰/۶۰۳  | ۶/۲۸۹         |
| ۵          | ۰/۵۵۶  | ۲۳/۵۲۱        | ۱۳         | ۰/۶۳۱  | ۶/۷۱۷         |
| ۱۰         | ۰/۵۷۰  | ۵۷/۰۶۰        | ۲۰         | ۰/۶۳۲  | ۲۹/۱۴۵        |

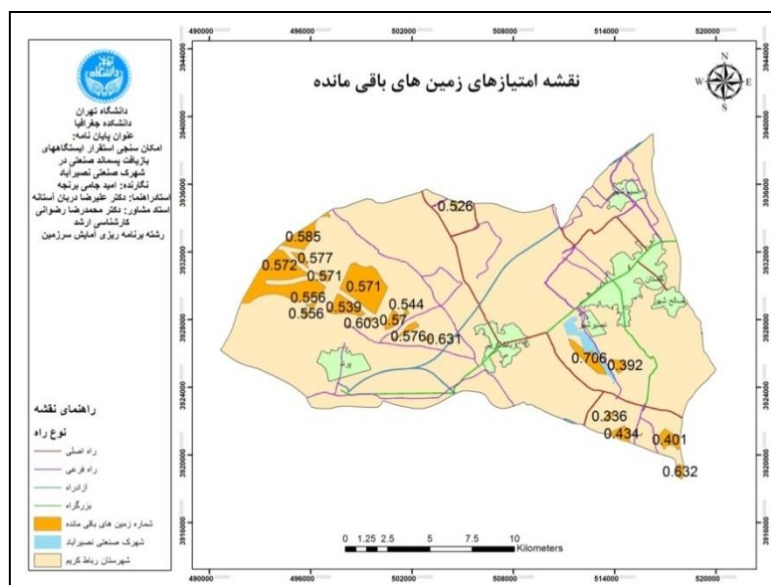
| شماره زمین | امتیاز | مساحت (هکتار) | شماره زمین | امتیاز | مساحت (هکتار) |
|------------|--------|---------------|------------|--------|---------------|
| ۴          | ۰/۵۷۱  | ۲۵/۷۷۰        | ۱۴         | ۰/۷۰۶  | ۱۳۱/۸۳۹       |

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۴



شکل ۱۰- نقشه مساحت زمین‌های باقی مانده منبع: (ترسیم تحقیق، ۱۳۹۴).

Figure 10 - Map of the remaining land area. Source: (Research drawing, 2015).



شکل ۱۱- نقشه امتیازهای زمین‌های باقی مانده منبع: (ترسیم تحقیق، ۱۳۹۴).

Figure 11 - Map of remaining land points Source: (Research drawing, 2015).

### نتایج پژوهش

پسماندها، اعمال مدیریت پسماند با تأکید بر کاهش مقدار و حجم تولید پسماند از طریق اجرای برنامه‌های مخصوص کاهش تولید پسماندها و انجام بازیافت و استفاده بهینه از منابع انرژی ضروری است. ایستگاه بازیافت پسماند که با عنوان تأسیسات بازیافت مواد نیز نامیده می‌شوند، یکسری تأسیساتی هستند که

همواره استفاده ناقص و نامناسب از منابع اولیه بدون توجه به میزان خطر و تهدیدی که به دلیل ایجاد آلودگی برای سلامتی محیط زیست و مردم دارند، سبب تولید پسماند بیشتری می‌شود و با توجه به ارزش و اهمیت اقتصادی و بهداشتی

صنعتی شهرک در حدود ۹۶۹۰ کیلوگرم در روز می باشد که از این میان ۲۵۰۰ کیلوگرم به صورت روزانه به مرکز دفن انتقال می یابد.

- در مرحله دوم معیارهای اصلی مکان یابی ایستگاه های بازیافت پسماند شامل ۶ معیار زیست محیطی، کالبدی، دسترسی، هیدرولوژی، زمین ساختی و اقلیم بودند که با استفاده از دستورالعمل های مکان یابی موجود در زمینه ی دفن پسماند از آنها در تعیین محل ایستگاه بازیافت بهره برده شد و از آنجا که در زمینه ی موضوع مورد نظر استانداردهای خاصی در زمینه ی مکان یابی وجود نداشت و با بلا اشکال بودن استفاده از این دستورالعمل ها از نظر کارشناسان در تعیین مکان یابی ایستگاه بازیافت، از معیارهای استاندارد داخلی و خارجی مثل سازمان حفاظت محیط زیست ایران (IR.DOE)، سازمان مدیریت و برنامه ریزی (IR.MPO)، آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA) و آژانس حفاظت از آب و خاک و هوای کانادا (British Colombia) در مرحله ی اول مکان یابی استفاده شد. ضمن جمع آوری داده های مورد نیاز از منطقه مطالعاتی، پایگاه داده های GIS ای تحقیق تشکیل گردید. در ادامه با اعمال فواصل حرائم تعیین شده، نقشه حریم ها تهیه شد. و همچنین لایه های اطلاعاتی اولویت بندی شده بدست آمد. ضمن بررسی های به عمل آمده از نقشه های اولویت بندی شده و حریم ها و اعمال فواصل استاندارد و تقاطع کردن لایه ها قطعات زمین های باقی مانده در منطقه مطالعاتی شناسایی گردید. و با جدا سازی قطعات و دادن شماره به هریک از قطعات در حدود ۲۰ قطعه شناسایی شد که با محاسبات لازم بر روی قطعات شناسایی شده نسبت به به دست آوردن مساحت و امتیازهای قطعات زمین اقدام شد و قطعه شماره ی ۱۴ با امتیاز ۰/۷۰۶، قطعه شماره ی ۲۰ با امتیاز ۰/۶۳۲، قطعه شماره ی ۱۳ با امتیاز ۰/۶۳۱ و قطعه ی شماره ی ۸ با امتیاز ۰/۶۰۳ بدست آمد. با توجه به نتایج مکان یابی مکان های شناسایی شده ایستگاه بازیافت، قطعه زمین شماره ی ۱۴ به عنوان گزینه مکانی برتر پیشنهاد می شود.

که دارای ویژگی هایی مانند:

- در مجاورت شهرک صنعتی نصیرآباد قرار گرفته است.
- بخش بزرگی از این مکان در مالکیت شهرک صنعتی نصیرآباد می باشد.
- دارای مسیر دسترسی است.

مواد قابل بازیافت موجود در زباله ها را در آنجا پردازش می کنند و مواد قابل استفاده آن را جدا کرده و در صورت لزوم تغییراتی در آن ایجاد کرده و به صورتی که قابل استفاده برای مشتریان باشد، تبدیل می کنند.

براساس نتایج تحقیق حاضر و پژوهش های پیشین وجود ایستگاه هایی که به طور متمرکز کار دریافت و پردازش پسماند را انجام می دهند مزایای متعددی دارند از جمله این مزایا می توان موارد زیر را نام برد:

- کل زباله در یک مکان متمرکز جمع آوری می گردد و در نتیجه مدیریت آن ساده تر و مؤثرتر خواهد بود.
- بازیافت متمرکز زباله در یک مکان می تواند باعث کاهش هزینه ها شود.
- امکان بکارگیری ترکیبی از تکنیک ها و ابزارهای بازیافت برای انواع مختلف زباله ها به صورت یکجا وجود دارد.
- می توان چرخه ای از بازیافت مواد ایجاد کرد که در هر مرحله از این چرخه یکسری مواد خاص از زباله جداسازی می شود.
- زمانیکه حجم زیادی از زباله در یک مکان جمع گردد فعالیت بازیافت cost effective خواهد بود زیرا زمانی که حجم زباله کم است درآمد حاصل از مواد بازیافتی نسبت به هزینه بازیافت صرفه اقتصادی در پی ندارد.
- در مقایسه با زمانی که عملیات بازیافت به طور پراکنده انجام می شود، در تأسیسات مرکزی بازیافت آلودگی ها و اثرات نامطلوب را می توان بهتر مدیریت کرد.
- زمانی که تعداد مواد قابل بازیافت زیاد است تأسیسات مرکزی بازیافت گزینه ای سودآور است.
- در مناطقی که زباله به صورت مخلوط جمع آوری می شود تأسیسات بازیافت می تواند گزینه مؤثری برای بازیافت مواد باشد.
- پسماند به طور یکنواخت و مطابق با برنامه پردازش شده و محصولاتی منطبق با خواست مشتری تولید می گردند.
- نتایج تحقیق در مرحله اول حاکی از آن است که در شهرک صنعتی نصیرآباد ۴۶۴ واحد صنعتی فعال هستند که از میان آنها ۶۸ واحد صنعتی با استفاده از نمونه گیری طبقه ای انتخاب شد و سپس به روش پیمایش و به صورت پرسشنامه ای اطلاعات لازم در خصوص میزان کمی و کیفی پسماندها به عمل آمد. آنچه که در خصوص پسماندهای شهرک صنعتی به دست آمد این بود که ۶۸ واحد صنعتی نمونه برداری شده در حدود ۱۴۷۵ کیلوگرم پسماند به صورت روزانه تولید می کنند. همچنین براساس برآوردی که از کل پسماند تولیدی واحدهای صنعتی به دست آمد نشان داد که کل پسماندهای تولیدی واحدهای

Facilities, Newfoundland, Department of Environment and Conservation.

- [14] US Environmental Protection Agency (EPA) c.1998. MSW Landfill Criteria, Technical.
- [15] Environmental Protection Agency (2001), Guidelines for locating engineering-sanitary waste landfills, Water and Soil Pollution Investigation Office.
- [16] Dehghani Kazemi, Vahed, Hamidreza Jafari and Bahram Malek Mohammadi (2013), Application of group decision-making techniques, fuzzy logic and geographic information system in locating waste recycling stations, Journal of Applied Research in Geographical Sciences, Year 12, No. 27, 185-204.
- [17] Zare, Azam, Hassan Beyk Mohammadi and Mehdi Momeni (2010), Optimal location of waste landfill in Shiraz city using GIS, Quarterly Journal of Geography and Environmental Studies, Year 2, Issue 4, pp. 65-81.
- [18] Ni- Bin chang, G. parvathinathan, Jeff b. Breeden (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision- making for landfill sitting in a fast- growing urban Regions, Journal of Environmental Management No. 87, P. 139- 153.
- [19] Yin Ho, Yan (2002), recycling as a Sustainable Waste Management Strategy for Singapore: An Investigation to Find Ways to Promote Singaporean's Household Waste Recycling Behavior, Master Thesis, and Lund University.
- [20] Azkia, Mostafa and Alireza Darban Astana (2010), Applied Research Methods Volume 1, Tehran, Kayhan Publishing Company. Second Edition.
- [21] Management and Planning Organization (2001), Design, Implementation, Maintenance and Operation of Sanitary Landfills for Urban Waste, Deputy for Support Affairs, Scientific Documents and Publications Center.
- [22] Statistics Center of Iran (2013), Statistical Yearbook of Tehran Province, Tehran.

#### منابع

- [1] Geng, Y.Q., H., Zhu .2007. Planning for Integrated Solid Waste Management at the Industrial Park Level: a case of Tianjin. China, Waste Management. Volume 27, Issue 1, Pages 141-150
- [2] La Grega M, Buckingham P, Evans J. (2001). Hazardous waste management. 2<sup>nd</sup> ed. Mcgrraw-Hill, New York. 237-243. Manual.
- [3] U.S.EPA. Characterizing waste in: U.S.EPA, (Ed). Guide for industrial waste management. USA. 2004; 211-217.
- [4] Farzadkia Mehdi, Mohammad Amin Karami, Ahmad Junaidi Jafari, Ramin Nabizadeh, Mahmoud Reza Gohari, Mostafa Karimaei (2011), Study of industrial waste management in industries between Tehran and Karaj in 2009, Quarterly Scientific Research Journal of the Iranian Environmental Health Scientific Association, Volume 4, Issue 4, 507-518.
- [5] Abdoli, Mohammad Ali (2006), Recycling of Municipal Solid Waste (Reduction, Reuse and Recycling), Tehran, Tehran University Press. Third edition.
- [6] Bovea, M.D., J.C. Powell, A. Gallardo and S.F. Capuz-Rizo, (2007). The role played by environmental factors in the integration of a transfer station in a municipal solid waste management system. Waste Management, 27, 545- 553.
- [7] Abdoli, Mohammad Ali, Babak Tavakoli and Mohammad Hossein Minhaj (2011), Special Waste Management, a Strategy for Preserving Nature and the Urban Environment, Geographical Perspective (Human Studies), Year 6, Issue 15, pp. 88-101
- [8] Occupational and Environmental Health Center (2013), Waste Classification Guide for Environmental Health Inspectors, Tehran University of Medical Sciences, Environmental Research Institute.
- [9] Mokhtarani, Nader, Babak Mokhtarani and Seyyed Mohammad Reza Alavi Moghadam (2007), Hazardous Waste Management, Tehran, Sharif University of Technology, in collaboration with Fadak ISATIS Publications.
- [10] Kessler consulting (2009), materials recovery facility technology reviews.
- [11] National Standards Organization of Iran (2013), Management of Urban Recycling Stations - Work Procedures, A Group of Experts, National Standards Organization of Iran, First Edition.
- [12] United Nations Environment programme, Volume I (2005), "Solid Waste Management.
- [13] Ryan, Marie (2010). Environmental Standards for Municipal Solid Waste Material Recovery

|                                                                                                                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Evaluating the Impact of environmental education on girl high school students in the coservation of wetlands (case study: Shour, shirin and minab wetland)</b>          | <b>2</b>   |
| Mahnaz Jadidi , Ahmad Nohegar                                                                                                                                              |            |
| <b>Aesthetic assessment of tree species in urban green spaces: Case study: Abidar Forest Park</b>                                                                          | <b>12</b>  |
| Jahedeh Tekiekhah, Seyed Mohsen Hosseini, Salaheddin Ghasemi                                                                                                               |            |
| <b>Application of magnesium oxide/chitosan nanocomposite adsorbent for removal of Nickel (II) ion from aqueous solutions: Thermokinetic study</b>                          | <b>28</b>  |
| Nabieh Farhami, Mohamad Ali Afzali, Bijan Ghanavati                                                                                                                        |            |
| <b>Investigation of heavy metal accumulation in the leaves of tree species (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>, <i>Conocarpus erectus</i>) Around khuzestan steel company</b> | <b>38</b>  |
| Forough Pourmokhtari, Maryam Mohammadi Roozbahani                                                                                                                          |            |
| <b>Study of Eutrophication and Thermal Stratification in Construction phase of Abolfares Dam Reservoir in Khuzestan Province</b>                                           | <b>48</b>  |
| Nazli Moghadamkia, Ali Jozi                                                                                                                                                |            |
| <b>Air quality assessment using geographic information system (GIS) (Case study: Tehran City)</b>                                                                          | <b>60</b>  |
| Narges Arab, Seyed Hamed Mirkarimi, Abdol Rasol Mahini                                                                                                                     |            |
| <b>Diversity of deposited dust fungal communities in relation to the amount of deposition on Persian oak leaf surface in Zagros forests</b>                                | <b>70</b>  |
| Nilofar Haghdoust, Moslem Akbarinia, Naser Safaei, Hamed Yosefzadeh, Miklos Balint                                                                                         |            |
| <b>Synthesis of nano-zeolite modified with surfactant as nano-adsorbent in the effective removal of nitrate from drinking water</b>                                        | <b>80</b>  |
| Zahra Hoseinabadi, Nima Zolfaghari, Zahra Beigom Mokhtari-Hoseini, Mojtaba Hadavifar                                                                                       |            |
| <b>Spatio-temporal dynamics of developmental stages mosaics in a managed eastern beech forest (<i>Fagus orientalis</i> Lipsky)</b>                                         | <b>94</b>  |
| Seyed Bagher Mirahmadi, Asdaleh Metaji, Sasan Babaei Kafaki, Reza Akhavan                                                                                                  |            |
| <b>Site selection study on the Establishment of Waste Recycling Center in the Industrial Town (Case Study: Nasirabad)</b>                                                  | <b>108</b> |
| Alireza Darban Astaneh, Mohammad Reza Rezvani, Omid Jami Beranjeh                                                                                                          |            |

**Address:**

Journal of Environmental Sciences and Technology

No. 715, 7<sup>nd</sup> Floor, Educational block 2,  
Faculty of Natural Resources and  
Environment, Science and Research  
Branch Islamic Azad University, Shahid  
Sattari Highway - University Square -

Shahdaya Hesarak Blvd Daneshgah Blvd,  
Iran, Tehran.

Telefax: 44867170-71 (2709, 2710)

E-mail addresses:

[irsen1385@gmail.com](mailto:irsen1385@gmail.com)

Website:

[www.irsen.org](http://www.irsen.org)

[www.iisen.org](http://www.iisen.org)

[www.jest.srbiau.ac.ir](http://www.jest.srbiau.ac.ir)

number, city of publication, publisher, year of publication, pages.

\*Example:

پرمن، راجر، یوما، جیمز. ری، مک گیل.(نویسندگان)  
ارباب، حمیدرضا. (مترجم). «اقتصاد محیط زیست و منابع  
طبیعی». چاپ اول، تهران: نشر نی ۱۳۸۲.

**Conferences:** Last and first name(s) of the author(s), title of the article, name of the congress, date (day, month, year), city, country.

\*Example:

تقفی- م، شریفی-م، هلجی اسدی- م، «بررسی پتانسیل  
باد سیاهپوش در استان قزوین برای احداث نیروگاه برق  
بادی»- پنجمین همایش ملی انرژی، بهار ۱۳۸۴- تهران-  
ایران.

**Theses:** Last and first name of the author, complete title of the thesis, academic degree, name of the university, year, pages.

\*Example:

مشکینیان، علی، «بررسی و ارزشیابی محیطی و  
بیولوژیکی میزان غلظت سرب در کارگران خدمات شهری  
شاغل در یکی از مناطق پر ترافیک تهران»، پایان نامه  
کارشناسی ارشد بهداشت حرفه ای، دانشگاه تربیت  
مدرس، دانشکده علوم پزشکی، ۱۳۸۱؛ صفحات ۵۳ تا ۵۷  
و ۸۸ تا ۹۴.

**Electronic sources:** Last and first name of the author, complete title of the article, name of the journal, month and year of publication, article number, the Internet site.

\*Example:

Sharma, Chhatra Mani, 2003. Effect of Exposure to Aluminium on fish in Acidic waters, see information in: <http://www.geocities.com/chhatra-sharma/ecotoxicology.pdf>.17p

3. Each manuscript must be submitted together with a letter signed by the author(s) clearly

asserting that it has not been accepted or published in other journals and that it has not been submitted simultaneously to other journals. The author(s) must also assert that the manuscript will not be sent to other journals for publication until the *Journal of Environmental Sciences and Technology* gives its final response.

4. On a separate sheet of paper, the first and last name(s) of the author(s) as well as their affiliation, academic rank, and complete address together with the corresponding author's telephone number, fax, and e-mail address must be given. The authors must specify the order in which they wish their names to be mentioned.
5. The author(s) must bear the responsibility that the printed materials are correct from scientific, moral, and legal points of view.
6. The journal reserves the right to accept, reject, modify, edit, and summarize the submitted manuscripts. The manuscripts and their attachments shall not be sent back.
7. To become more familiar with the the method of writing articles, the respected authors can refer to the latest issue of the journal.
8. The final decision regarding the manuscripts is made by the journal's council of authors following an assessment done by at least three referees whose identities remain unknown.

**Discussion and conclusion:** Based on the special goals of the study, the important findings must be mentioned briefly and in a logical order, and must be discussed with reference to similar and different cases found in the literature. If any hypothesis has been made in the study, its acceptance or rejection must also be discussed. Conclusions must be made clearly within the limits of the investigation findings and considering the limitations of the study.

**Acknowledgements:** In this section, the author(s) should acknowledge the support of the budget-supplying institute as well as the individuals and organizations that have helped directly and/or indirectly to conduct the study or to write the manuscript, but their names are not mentioned among the authors.

The articles must be written in fluent Farsi language and the author(s) must observe the grammatical rules of the language. Foreign terms having clear and exact Farsi equivalents must be avoided. Whenever needed, the English equivalents must be given in parenthesis next to the Persian words.

Review articles are accepted only if the author is an expert and has acceptable publications in the field.

The respected researchers who wish their articles to be published in the *Journal of Environmental Sciences and Technology* are kindly requested to observe the following points at the time of writing and submitting the manuscripts:

1. The manuscript must be typed in Word Software using Nazanin font size 11 for Persian texts and Times New Roman font for English texts, and then must be submitted online via the following E-mail addresses:

[irsen1385@gmail.com](mailto:irsen1385@gmail.com)

2. The sources must be numbered based on the order in which they are used in the text (Vancouver System). For more explanation, examples of different references are given below:

**Articles:** Last and first name(s) of the author(s), complete title of the article, name of the journal, year of publication, issue number, pages.

\*Example for Persian articles:

فرانوش، محمد و همکاران. «بررسی میزان آلودگی به سرب و برخی از عوامل مرتبط با آن در کودکان ۶-۱۱ ساله شهر سمنان در سال ۱۳۸۰». مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی سمنان، تابستان ۱۳۸۲، جلد ۴، شماره ۳ و ۴.

\*Example for English articles:

Pettine, M., Casentini, B., Fazi, S., Giovanardi, F., 2007. A revisitation of TRIX for trophic Status assessment in the light of the European Water Framework Directive Application to Italian Coastal Waters. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 24, pp. 1413-1426.

**Books:** Last and first name(s) of the author(s), title of the book, edition number, city of publication, publisher, year of publication, pages.

\*Example for Persian books:

ترکیان، ایوب، «مهندسی کنترل آلودگی هوا»، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۰، جلد اول، فصل دوم.

\* Example for English books :

RUB10, B. 2000. Geochemistry of major and trace Elements in sediments of the Riq devigo (NW Spring).

**Book translations:** Last and first name of the translator, complete title of the book, last and first name of the author, edition

GUIDELINES FOR  
AUTHORS

*J. Env. Sci. Tech., Vol 26, No.11, February, 2025*

*Journal of Environmental Sciences and Technology* is a quarterly published jointly by the Iranian Society of Environmentalists (IRSEN) and Faculty of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University.

The journal aims to familiarize the specialists, experts, and students of environment with the latest researches conducted in various environment-related fields.

**Instructions for Authors**

The Journal is ready to receive and assess research and review articles. Research articles must have the following features:

- A concise, clear, and to-the-point title.
- An abstract (at most 250 words) in Persian and in English including background and objective, method, findings, discussion and conclusion, and 3-5 key words. Moreover, the English abstract must be the exact equivalent of the Persian one.

The text of the article must include the following sections:

**Background and objective:** The existing knowledge about the issue and its theoretical bases, the importance of the research, and the aim of the study must be made clear in this section.

**Method:** In the method section, the type of the study, research community, the sample to be studied, data collection procedure, data collection devices, moral

considerations, and statistical methods must clearly be defined.

- When applying known research methods, it is enough to mention the source. But in case of using new ones, sufficient information must be provided so that another researcher can conduct it based on the given information.
- When using certain materials and instruments, the name of the manufacturing company and its address must be given in parentheses.

**Findings:** The text, tables, diagrams, and pictures must proportionately be used in this section to state the findings. The tables, diagrams, etc. must be numbered and have clear, complete titles. Moreover, the use of tables must be avoided if their information exists completely in the text of the manuscript.