



دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز  
فصلنامه آلودگی‌های محیطی و توسعه پایدار شهری

دوره ۱، شماره ۲، پیاپی ۲  
تابستان ۱۴۰۳، صفحات ۲۲-۱

## "مقاله مروری"

### بام سبز، راهکاری برای کاهش آلودگی محیطی و توسعه پایدار شهری

صبا حسین پورا<sup>۱</sup>، بنت‌الهدی ایزدی کاهکش<sup>۲</sup>، سحر طوفان<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری و هنر، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری معماری منظر، واحد بین‌الملل ارس، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و هنر، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

\* نویسنده مسئول مکاتبات: sahar.toofan@iaut.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۲/۲۳)

### چکیده

بام سبز که بام باغ، بام گیاهی و بام زیستی هم نامیده می‌شود، یک بستر مهندسی‌ساز می‌باشد که رشد گیاه را در بام و نما میسر ساخته و دارای محاسن گوناگون است. از این رو، در بسیاری از کشورهای جهان بخصوص در کشورهای شمال قاره آمریکا و کشورهای غرب اروپا، آیین‌نامه‌ها و ضوابط اجرایی در خصوص بدنه‌های سبز تدوین شده است و به صورت دستورالعمل اجباری در برخی شهرها لحاظ می‌گردد. حال آنکه در کلان‌شهرها فقدان این موضوع به روشنی ملموس است. دست‌یابی به مواردی چون؛ استتار، اختفاء و فریب، ذخیره‌سازی انرژی (مدیریت مصرف)، پایداری ساختمان‌ها، بهره‌گیری از نهایت زیبایی، فرم‌دهی و تغییر شکل، همسان‌سازی با محیط‌های اطراف، انعطاف‌پذیری در تغییر شکل، کنترل برخی پی‌آمدهای طبیعی (سیل، روان‌آب‌ها و امثال آن)، حفظ محیط زیست، صیانت از آلودگی روان‌آب‌ها، بالا بردن سرانه فضای سبز، تعدیل فضای روانی جامعه، ایجاد عایق صوتی و گرمایی، بالا بردن عمر ایزولاسیون بام و نما، کاهش مصرف انرژی، بهره‌گیری از چرخه تولید مواد غذایی، تلطیف هوا (کاهش دی‌اکسید کربن و افزایش اکسیژن)، کنترل آسیب‌های ناشی از وزش طوفان و تگرگ و باران‌های سیل‌آسا و امثال آن، از جمله آوردهایی است که نتیجه اجرای بام‌ها و نماهای سبز خواهد بود. در این مقاله مروری به معرفی انواع بدنه‌های سبز، جزئیات اجرایی و مزایای عمومی آن که بیش‌تر در حوزه پدافند نرم است و نیز مزایای اختصاصی آن در حوزه پدافند غیرعامل و نقش آن در کلان‌شهرها پرداخته می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** بام سبز، نمای سبز، سبزی‌نگی، پایداری، توسعه پایدار

## مقدمه

متخصصین تشخیص داده‌اند که تکنولوژی بام سبز به حل این دو موضوع کمک خواهد نمود (۲).

کاهش آلودگی ناشی از فاضلاب و افزایش میزان اکسیژن لازم برای انسان از اثرات مثبت بام سبز محسوب می‌شود. از آن جا که پیشینیان در طول زمان از ویژگی‌های این نوع بام بهره جستند، استفاده از آن در محیط شهری ضمن جذب سر و صدا و تعدیل دما با کاهش مصرف انرژی همراه است. بام‌های سبز با تولید مواد غذایی گیاهی و تثبیت خاک یک سیستم پایدار را ایجاد می‌کنند. تحقیق و سرمایه‌گذاری در تکنولوژی بام سبز مهم‌ترین روشی است که به شهرهای ما اجازه رشد و توسعه و حفاظت از حیات بشر و محیط زیست را می‌دهد. به نظر می‌رسد که زمان آن رسیده است که در ایران به ویژه در مقیاس کلان شهرهایی چون تهران این موضوع مورد توجه قرار بگیرد. البته در این مقاله سعی در بهره‌گیری از این پتانسیل در راستای تمهیدات پدافندی غیر عامل می‌باشد و ضمن ارائه فواید عمومی (شهری) و اختصاصی (تک بنا) به مزایای پدافند غیر عاملی بام سبز و جزئیات اجرای آن نیز خواهیم پرداخت.

## مبانی نظری

## - بام سبز

بام سبز که بام باغ، بام گیاهی و بام زیستی نیز نامیده می‌شود، یک سیستم مهندسی‌ساز است که رشد گیاه را در بام میسر ساخته و در عین حال از بام محافظت می‌کند (۳). بام سبز یک سطح زنده از گیاهان رویشی در لایه خاک بر بام است. لایه‌ای خاک کم عمق یا ضخیم همراه با پوشش لایه زیرین خاک که در بخش عناصر و جزئیات بام سبز به آن اشاره خواهد شد. گاه

امروزه، گسترش سطح محیط مصنوع نسبت به فضاهای طبیعی شهر یک چالش اساسی است. توسعه ناپایدار شهرها متأثر از رشد تکنولوژی و برهم خوردن تعادل زیستی میان محیط و انسان در نتیجه آن، نیازمند چاره‌اندیشی است. روزانه هزاران سازه در حال ساخت با بکارگیری وسیع بتن و مصالح دیگر که قابلیت نگهداری و آزادسازی بسیار زیاد حرارت را دارند، موجب نابودی و ریشه کن کردن پوشش طبیعی گیاهی و جانوری می‌شوند (۱). با توجه به آنکه احداث بام سبز در برنامه‌ریزی شهری بیش‌تر شهرهای پیشرفته جهان به صورت دستورالعملی اجرایی در ساختمان‌سازی درآمده، لزوم استفاده از انرژی‌های پاک، توجه به محیط زیست و ساکنان کره زمین در گستره زمانی نامحدود، ضروری به نظر می‌رسد. در حال حاضر در آلمان بطور تخمینی ۱۰ درصد از خانه‌ها دارای بام سبز هستند. در شهر توکیو برنامه توکیو ۲۰۰۰ در آوریل ۲۰۰۱ وارد عمل شد، در این برنامه بام قابل استفاده ساختمان‌های جدید با متراژ بیش از ۱۰۰۰ مترمربع، باید دارای ۲۰ درصد فضای سبز باشد. بام سبز در برنامه‌ریزی شهری شمال آمریکا در شهرهایی مانند شیکاگو، پرتلند، اورگن و تورنتو کانادا موثر بوده و به کار گرفته می‌شود. در شیکاگو ۳۰۰۰ مترمربع بام سبز در بالای شهرداری آن قرار گرفته، قانون ذخیره‌سازی انرژی شیکاگو در سال ۲۰۰۲ تصویب شد و مقرر گردید ساختمان‌سازی جدید باید دارای بام سبز یا بام فتوولتائیک باشد. در ونکوور افزایش جمعیت باعث افزایش ناپایداری در دو زمینه مصرف انرژی و افزایش فاضلاب است و

قرار گرفت و در کشورهای اروپایی گسترش زیادی پیدا کرد (۷). امروزه آلمان به‌عنوان کشوری پیشرو در زمینه بام سبز به‌شمار می‌رود (۸). بدلیل عایق بسیار خوب آن‌ها از ترکیب گیاه و لایه خاک، ساخته می‌شوند. در اقلیم‌های سرد، کمک به حفظ گرمای درون ساختمان و در آب و هوای گرم، کمک به جلوگیری از نفوذ گرما به درون ساختمان می‌کنند (۹).



شکل (۱): تصاویری از باغ‌های معلق بابل

در مغازه‌های پمپئی<sup>۱</sup> گیاهان رونده بر روی بالکن‌های طبقه فوقانی‌شان رشد کرده بودند، و پلینی<sup>۲</sup> مورخ قدیمی، درباره ایجاد بام‌های سبز بوسیله درختان، مطالبی نگاشته است. همچنین رومی‌ها در بالای ساختمان‌های ملی، مثل آرامگاه‌های آگستوس<sup>۳</sup>

این پوشش همراه با حفاظ ریشه‌ای و اغلب با یک لایه زهکش در زیر آن همراه است و عموماً گونه‌های گیاهان مقاوم در برابر خشکی در آن رشد می‌یابند (۴).

### پیشینه تاریخی

اولین ایده بام سبز مربوط به ۲۵۰۰ سال پیش است که ایرانیان بام زیگورات‌ها را با گیاهان زینت می‌بخشیدند. پس از آن در حدود ۵۰۰ سال پیش از میلاد مسیح، بزرگ‌ترین باغ بام را مردم بابل تحت عنوان باغ‌های معلق بابل (شکل (۱)) ایجاد کردند (۵). این باغ‌ها از عجایب عالم و از شاهکارهای معماری به حساب می‌آیند. این باغ‌ها به روایتی دارای ۵ تراس مطابق بودند. برای ایجاد قدرت در پایه‌های این بنا از ستون‌های سنگی مربع به ضلع ۵ متر استفاده کرده بودند. طبقات به وسیله مواد خاصی عایق‌بندی شده بودند تا از نفوذ آب به طبقات زیرین جلوگیری شود. برای آبیاری هر یک از طبقات آب فرات را مستقیم به بالاترین طبقه هدایت می‌کردند. بین سال‌های ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ میلادی نروژی‌ها بام ساختمان‌ها را برای عایق کردن آن در مقابل سرما با خاک می‌پوشاندند و برای تثبیت این خاک اقدام به کاشت گیاهان علفی بر روی آن نمودند. این تکنیک در اواخر سال‌های ۱۸۰۰ در بخش‌هایی از آمریکا نیز به کار می‌رفت (۶). در غرب مدرن استفاده از فضای مرده بام به‌عنوان فضای عمومی قابل بهره‌برداری در بافت‌های شهری متراکم، ابعاد کاربردی و اجتماعی باغ بام را پررنگ‌تر کرد و باعث رواج ساخت آن شد. ولی پس از جنبش زیست‌محیطی دهه ۶۰ میلادی، بام سبز به معنایی متفاوت مورد توجه

<sup>۱</sup> Pompeii (شهری تاریخی در اروپا)

<sup>۲</sup> Pliny

<sup>۳</sup> Augustus



شکل (۲): تصاویر بام و نمای ساختمان ویلا ساووا

به نظر می‌رسد از نیمه قرن بیستم تا کنون، مردم و عرف ساخت و ساز محلی - منطقه‌ای شمال اروپا، مفهوم و ایده بام و جداره‌های سبز را به صورت گسترده، مخصوصاً در کشورهایی نظیر آلمان، سوئیس، اتریش و منطقه اسکاندیناوی پذیرفته‌اند.

در اوایل ۱۹۶۰ فن‌آوری‌های بام سبز در تعداد زیادی از کشورها، خصوصاً در سوئیس و آلمان رشد سریعی کرد. در ۱۹۷۰، وجه مهمی از پژوهش‌های تخصصی در خصوص مولفه‌های گوناگون فن‌آوری پوشش بام سبز انجام شد. مطالعات بر روی عوامل جلوگیری از نفوذ ریشه، غشاءها و پوسته‌های ضد آب، زهکشی و گیاهان و پوشش‌های گیاهی با وزن کم انجام شد.

در کشور آلمان در سال ۱۹۸۰، به سرعت توسعه شرکت‌های عرضه بام سبز، سالانه بین ۱۵ تا ۲۰ درصد

و هادریان<sup>۱</sup> درخت می‌کاشتند. وایکینگ‌ها نیز دیوارها و سقف‌های خانه‌هایشان را با پوششی سبز در برابر باد و باران حفاظت می‌کردند، همچنین گاهی از گیاه دریایی (جلبک)، برای عایق‌بندی بام‌ها، استفاده می‌کردند. در دوران رنسانس<sup>۲</sup>، باغ‌های پلکانی شیب‌دار و بام‌های سبز در شهر جنوا<sup>۳</sup> به طور متعارف و عادی دیده می‌شدند. نماهای سبز در کشور هندوستان و در بعضی خانه‌های اسپانیولی مکزیک در قرن‌های ۱۶ و ۱۷ وجود داشتند.

### پیشینه معاصر

در معماری و شهرسازی معاصر، لوکوربوزیه اولین فرد در قرن بیستم بود که سقف سبز فراموش شده را مجدداً به کار گرفت (۵). وی پنج اصل را برای ساختمان‌های مدرن معرفی کرد که عبارتند از:

مرتفع ساختن بنا نسبت به زمین به کمک ستون

بام مسطح و باغ روی بام

پلان آزاد

پنجره‌های طویل افقی و سرتاسری

نمای آزاد و استفاده از سقف کنسول (۵).

کوربوزیه عقاید مطرح شده خود را، در طرح ویلا ساووا در پواسی در شمال پاریس (۱۹۳۰-۱۹۲۸) به نمایش گذاشت (شکل (۲)).

<sup>1</sup> Hadrian

<sup>2</sup> Renaissance

<sup>3</sup> Genoa

در شکل (۳) برخی بدنه و بام‌های سبز در شهر تهران که بسیار اندک‌اند، ارائه گردیده است.



شکل (۳): مجتمع‌های مسکونی نیاوران- ساختمانی در خیابان شهید مطهری - بام برج آ - اس - پ در بزرگراه کردستان

### انواع بام سبز

یکی از سطوح اصلی نما، بام ساختمان می‌باشد که آن را نمای پنجم ساختمان می‌توان نامید. اصل دوم معماری مدرن لوکوربوزیه نیز بام مسطح و باغ روی بام است. اصولاً خاک نقش مهمی در کاهش تأثیر یک انفجار مهیب دارد. دیوارهای خاکریزی و بام‌های مدفون در کاربردهای نظامی بسیار موثرند و می‌توانند در بناهای مختلف مورد استفاده قرارگیرند. همچنین این راهکار و یا بام سبز در بهبود بازدهی انرژی ساختمان نیز بسیار موثر است و معمولاً فضای سبزی

افزایش یافت. در ۱۹۸۹، یک میلیون مترمربع بام سبز در آلمان ایجاد شده بود. در ۱۹۹۶، این عدد به ده میلیون مترمربع افزایش یافت. این رشد عظیم تا درجه زیادی بوسیله مشوق‌ها و محرک‌های قانون‌گذاری دولت ایجاد شد. شهرداری‌ها، ۳۵ الی ۴۰ مارک برای هر مترمربع بام سبز، اعطا می‌کردند (۹).

به طور کلی، خط مشی دولت‌ها و برنامه‌ریزان در اروپا، حمایت از ایجاد صنعتی جدید، برای تامین نیازهای مالی، پژوهشی، اجرا و نحوه نگهداری صنعت بام سبز می‌باشد. در آلمان، فرانسه، اتریش، نروژ، سوئیس و دیگر مراکز اروپا، بام‌های سبز یک موضوع مورد قبول در صنعت ساختمان‌سازی و مورد استقبال در مناظر شهری شده است. به نظر می‌رسد یکی از رویکردهای برنامه‌ریزان در کشورهای غربی در توسعه بام‌های سبز توجه عمیق به مبحث پدافند غیر عامل است. رویکرد این کشورها به مقوله پدافند غیرعامل بسیط است و دفاع غیر عامل را تنها در حوزه نظامی نمی‌دانند و وظیفه‌ای می‌دانند که باید با همکاری شهروندان انجام شود و نیز شرکت اشخاص در دفاع غیر عامل خدمتی عامل المنفعه به جامعه محسوب می‌شود (۲). در کشور ایران نیز استفاده از بام‌های سبز به طرز سنتی و بومی کاربرد داشته است. استفاده از درختان مو (انگور) و گیاهان رونده، همواره در بسیاری از بناها در مناطق مختلف دیده می‌شود. ایجاد بام سبز طی دهه‌های اخیر به صورت پراکنده، بر حسب سلیقه معمار یا کارفرما در معماری معاصر ایران رویت می‌شود، اما بدلیل فقدان آئین‌نامه و محرک‌ها و مشوق‌های دولتی در این زمینه، تاکنون این امر به صورت برنامه‌ریزی گسترده و مدون شده، محقق نشده است (۲).



حالت اشباع می‌باشد. برای بام گسترده واژه Green Roof نیز استفاده می‌شود.

### یافته‌ها

#### - بام سبز متراکم

این نوع بام (شکل (۵)) با نام باغ بام نیز شناخته می‌شود. که شامل انواع مختلفی از گیاهان می‌باشد و مشابه یک پارک طراحی و اجرا (شکل (۶)) می‌شود. برخی از این بام‌ها دارای درختان بزرگ، آب‌نما و حتی استخر می‌باشند که این موضوع نیازمند ساختار سازه‌ای مستحکم و محاسبات مجزا برای این منظور است، به خصوص که دسترسی و استفاده از این بناها عموماً بسیار است.



که دارای کارکردی سازگار با طبیعت بوده و پایدار و استوار باشد در بحث نظامی اهمیت دارد (۲).

بام سبز را می‌توان در سه گونه گسترده<sup>۱</sup>، متمرکز<sup>۲</sup> و مدولار یا جعبه گیاه<sup>۳</sup> دسته‌بندی نمود.

#### - بام سبز گسترده

بام سبز گسترده (شکل (۴)) فقط شامل یک یا دو نوع گیاه و محیط کاشت کم عمق می‌باشد و معمولاً این سیستم، برای زمانی که حداقل بار وزن مدنظر باشد به کار گرفته می‌شود و به طور اختصاصی، فقط پرسنل تعمیر و نگهداری به این نوع بام‌ها دسترسی دارند.



شکل (۴): تصاویری از بام‌های سبز گسترده

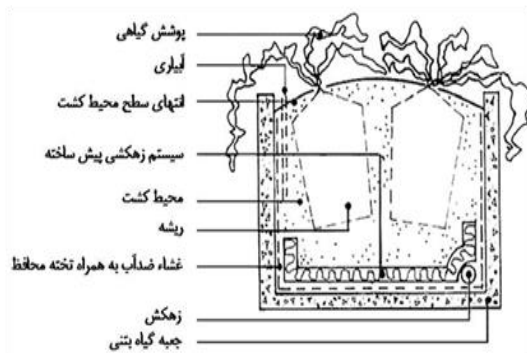
عموماً این نوع بام، بر روی بام‌های مسطح و شیب‌دار ایجاد می‌شود. معمولاً از گیاهانی با ارتفاع ۴۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر در آن‌ها استفاده می‌شود. حدود بار نهایی بام تقریباً بین ۵۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمربع در

<sup>3</sup> Planter Box

<sup>1</sup> Extensive

<sup>2</sup> Intensive

می‌بایست گلدان‌ها در مکان خود تثبیت شوند که در مقابل آثار و موج انفجار پرتاب نگردند (شکل (۷)).



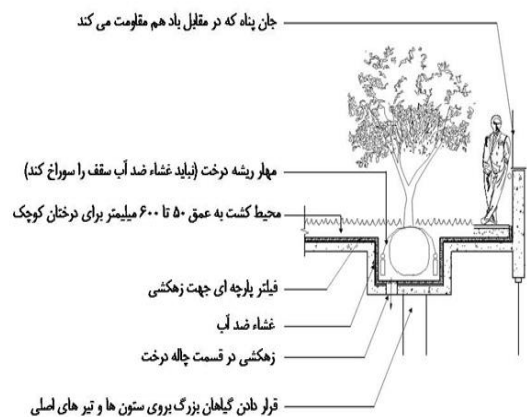
شکل (۷): تصاویر و جزئیات اجرایی سیستم مدولار یا جعبه گیاه

- مقایسه سیستم‌های بام سبز گسترده و متمرکز در جدول (۱) مزایا و معایب بام سبز گسترده و متراکم مقایسه گردیده است.



شکل (۵): تصاویری از باغ بام

با توجه به آنکه بهره‌گیری از پوشش گیاهی انبوه به منظور استتار و اختفاء، متراکم‌سازی و تغییر ساختار فیزیکی و شکل ظاهری اهداف و همگونی آن‌ها با محیط اطراف در طرح‌های پدافند غیرعامل مد نظر است، بام سبز متمرکز بیش‌تر می‌تواند ما را در رسیدن به این اهداف یاری رساند.



شکل (۶): جزئیات اجرایی سیستم متمرکز

### - مدولار یا جعبه گیاه

در این روش گیاه در باکس‌های مخصوصی که تمام یا بیش‌تر بام سبز را می‌پوشاند، نگهداری می‌شود. باید توجه داشت در صورت استفاده از این روش

جدول (۱): مقایسه مزایا و معایب بام سبز گسترده و متراکم

| بام سبز متمرکز  | بام سبز گسترده   |
|---|--|
| خاک عمیق، دارای سیستم آبیاری، برای کاشت بیش‌تر گیاهان مناسب است.  | خاک کم عمق، بدون آبیاری یا آبیاری کم، برای هر گیاهی مناسب نیست.  |
| مزایا   | معایب  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- تنوع بیش‌تر در استفاده از گیاهان و محل سکونت</li> <li>- دارای ویژگی‌های عایق بسیار خوب</li> <li>- می‌تواند مشابه یک باغ طبیعی باشد</li> <li>- می‌تواند بسیار جذاب ساخته شود</li> <li>- معمولاً در دسترس است</li> <li>- بهره‌برداری متنوع از بام (برای سرگرمی، رویش گیاهان خوراکی، فضای باز)</li> <li>- برای تامین اهداف دفاع غیرعامل بسیار مناسب است.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- وزن اندک بر روی بام</li> <li>- مناسب برای سطوح با شیب صفر تا ۳۰ درجه</li> <li>- مراقبت و نگهداری کم</li> <li>- اغلب سیستم آبیاری و زهکشی نیاز ندارند.</li> <li>- مهارت و تخصص کمی (در ایجاد و نگهداری) نیاز دارند</li> <li>بدلیل وزن سبک و تمهیدات اندک برای بناهای موجود قابل استفاده است.</li> <li>- نسبتاً ارزان است.</li> <li>- بیش‌تر حالت طبیعی دارد.</li> <li>- برای ایجاد و نگهداری در شرایط گوناگون، به آسانی قابل برنامه‌ریزی است.</li> <li>- برای تامین اهداف دفاع غیرعامل مناسب است.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- بارگذاری زیاد وزن بر بام و تبع آن بر سازه ساختمان</li> <li>- نیاز زیاد به سیستم‌های آبیاری و زهکشی و تامین آب، مواد (خاک مناسب) و غیره دارد.</li> <li>- پرهزینه است.</li> <li>- سیستم‌های کامل و حرفه‌ای برای ایجاد و نگهداری نیاز دارد.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- محدودیت در انتخاب گیاهان</li> <li>- معمولاً برای سرگرمی و کاربری‌های دیگر قابل استفاده نیست.</li> <li>- مخصوصاً در زمستان ظاهر زیبایی ندارد.</li> </ul>   |

### - عناصر و جزئیات بام سبز

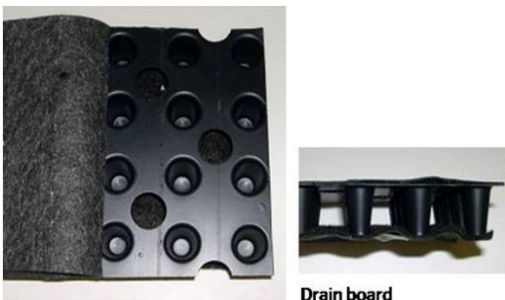
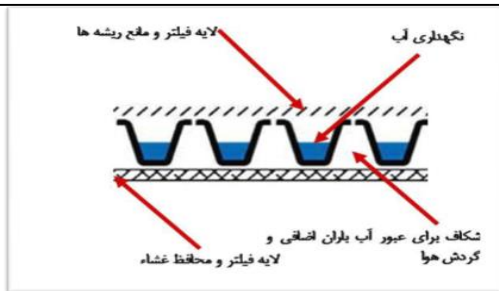
دسته‌بندی اجزای اجرایی باغ بام‌ها بسیار متنوع و وسیع است. زیرا هر موسسه یا شرکت بازرگانی با توجه به توانمندی‌های خود، پیشنهاد ارائه می‌کند و رقابت در بازار، مهم‌ترین دلیل پیچیده شدن این جزئیات است. اما به طور کلی می‌توان عناصر و جزئیات بام سبز را به پنج دسته تقسیم بندی کرد: لایه پوشش گیاهی<sup>۱</sup>، محیط کشت<sup>۲</sup>، لایه زهکش<sup>۳</sup>، لایه محافظت<sup>۴</sup> و ساختار سقف<sup>۵</sup>.

### - لایه پوشش گیاهی

تقریباً هر گیاهی می‌تواند روی بام کاشته شود. اما محدودیت‌هایی مانند آب و هوا، سازه ساختمان و هزینه نگهداری و طراحی منظر بام سبز برای انتخاب گیاه نقش دارد. از آنجایی که بام‌های سبز تا حد ممکن سبک طراحی می‌شوند، اغلب شامل پوششی هستند که در عمق کمی از خاک و با مراقبت و نگهداری کم یا بدون نگهداری رشد کنند.

<sup>1</sup> Plant layer  
<sup>2</sup> Growing medium  
<sup>3</sup> Drainage layer  
<sup>4</sup> Protection layer  
<sup>5</sup> Roof construction





شکل (۸): تصاویر و جزئیات لایه زهکش

جدول (۲): لایه‌های تشکیل دهنده بام سبز

| مصالح  | لایه‌های بام سبز    |
|--|---------------------|
| سدوم‌ها، خزه‌ها، گیاهان علفی، چمن‌ها   | بام سبز گسترده      |
| گیاهان علفی، چمن‌ها، بوته‌ها، درختچه‌ها  | بام سبز نیمه‌گسترده |
| گیاهان علفی، چمن‌ها، بوته‌ها، درختچه‌ها، درختان  | بام سبز متراکم      |
| کودهای گیاهی   | مواد آلی            |
| شن و ماسه، لیکا، پرلیت، پشم سنگ، سنگ پامیس   | مواد معدنی          |
| بافت پارچه‌ای ژئوتکستایل، شن و ماسه  | لایه فیلتر          |
| مصالح دانه‌ای، لیکا، پشم سنگ، لاوا، مواد فوم، ورق‌های فنجان‌ی شکل از ترکیبات پلی اتیلن و پلی پروپیلن   | لایه زهکشی          |
| بتن سبک، ورق پلاستیکی، ورق مسی، پلی استایرن، بافت ژئوتکستایل   | لایه محافظ          |
| ورق هیدروکسید مس، پلی وینیل کلراید (PVC)، الفین ترموپلاستیک (TPO)، پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE)، بتن غیر قابل نفوذ، بافت پارچه‌ای ژئوتکستایل (برای گیاهان با ریشه‌های ایافی) | مانع ریشه           |
| پلی وینیل کلراید (PVC)، الفین ترموپلاستیک (TPO)، غشاء الاستومری (اتیلن پروپیلن)، غشاء (EPDM)، عناصر پلیمری اصلاح شده قیری  | غشاء ضد آب          |

### - محیط کشت

محیط کشت فضایی است که گیاه در آن شروع به رشد می‌کند. محیط کشت به واسطه الزامات خاص سازه‌ای باید وزن کمی داشته باشد به همین دلیل نسبت به خاک معمولی تفاوت‌هایی دارد. باید از محیط کشتی استفاده کرد که حتی الامکان سبک بوده و وزنش حدود ۹۰۰ کیلوگرم در هر مترمکعب در حالت مرطوب باشد. یک مخلوط معمولی مناسب ترکیبی از یک سوم ماسه، یک سوم سنگ‌های متخلخل و یک سوم گیاه خاک (کود گیاهی) است.

### - لایه زهکش

لایه زهکش (شکل (۸)) بین محیط کاشت و لایه محافظ قرار می‌گیرد تا آب بتواند از هر جای بام سبز به سیستم ناودانی (خروجی آب بام ساختمان) جریان یابد.

## بررسی اجمالی مزایای کمی و کیفی بام سبز در مقایسه با بام معمولی

تفاوت بین بام‌های گیاهکاری شده و بام‌های معمولی را می‌توان به دو دسته تفاوت‌های کمی و کیفی دسته‌بندی کرد. فرآیند انتقال گرمایی در بام‌هایی که گیاه کاری شده‌اند کاملاً متفاوت است. گیاهان به دلیل عملکرد بیولوژیکی خود مثل فتوسنتز، تعریق، تنفس و تبخیر مقدار قابل توجهی از اشعه‌های خورشید را جذب می‌کنند. باقی‌مانده اشعه‌های خورشیدی به گرما تبدیل می‌شود و زمانی که از لابه‌لای عناصر ساختمانی بام عبور می‌کند بر دمای هوای داخلی تأثیر می‌گذارد.

### مزایای کمی

#### - بهره‌گیری از فضای سبز به عنوان جاذب امواج

می‌دانیم که تمامی اجسام و موجودات متناسب با وضعیت طبیعی و حتی کارکرد مصنوعی خود طیف وسیع و مختلفی از امواج را از خود متصاعد می‌نمایند. برداشت و سنجش این امواج بهره‌بردار را به نوع کارکرد و حتی تشخیص فضای داخلی شیء یا مجموعه راهنمایی می‌کند. فضای سبز در شناسایی زمینی و هوایی با باندهای مرئی دارای قابلیت مؤثر بوده و می‌تواند نقش مؤثری در تأمین اهداف اولیه (استتار، اختفاء و فریب) اجراء نماید. لذا با توجه به امواج شناخته شده فیزیکی می‌توان متناسب با نوع طیف آن‌ها از این گونه پوشش‌ها جهت حذف کامل یا کاهش یا انحراف این امواج بهره‌گیری نمود (۹).

#### - جاذب امواج الکتریکی و مخابراتی

با توجه به اینکه این امواج از محل کارخانجات صنعتی، مراکز علمی، آزمایشگاه‌ها، مقرهای نظامی و انتظامی ساطع می‌شود و معمولاً این اماکن در دایره

هدف بهره‌برداران غیر مجاز قرار دارند و از طرف دیگر هدایت امواج الکتریکی و مخابراتی جهت اینگونه مجموعه‌ها در قالب بعد، فاصله، بازخورد عملکردی نیز در دایره توجه افراد غیرمجاز قرار می‌گیرد (۹)، هرگونه اختلال در این امر موجبات گمراهی یا عدم موفقیت را فراهم می‌نماید. یکی از راه‌های ایجاد حریم، بهره‌گیری از پوشش‌های جاذب این امواج از جمله پوشش گیاهی می‌باشد (۹).

#### - جاذب امواج حرارتی

از دیگر عوارض بروز یافته از ساختمان‌ها و مکان‌های مسکونی - اداری - صنعتی، تجهیزات خاص به خصوص تونل‌ها - ساختمان‌های زیرزمینی، مخازن مدفون، خطوط حمل و نقل زیرزمینی، اختلاف دمای این مجموعه‌ها با فضاهای اطراف آن‌هاست. از راهکارهای ایجاد اغتشاش در انعکاس امواج حرارتی بهره‌برداری از پوشش عایقی مناسب از جمله پوشش گیاهی جهت تنظیم و تعدیل این اختلاف دما می‌باشد (۱۰).

#### - جاذب امواج لیزری

امواج ساطع شده لیزری از تجهیزات هدف‌یابی و هدف‌گیری بایستی ضمن برخورد با هدف در قالب یک موج بازتاب مجدداً به مبدا خویش یا بر حسب زاویه تنظیم شده به نقطه خاصی هدایت شود. می‌دانیم بخارات آب، رطوبت و آئروسول‌های موجود در فضا می‌توانند جاذب این امواج باشند (۱۰) یا وجود کامل آن‌ها را جذب و یا میزان انعکاس را کاهش و یا زاویه تابش را تغییر دهند. از این رو بهره‌گیری از پوشش گیاهی در این حوزه نیز کارساز می‌باشد.

**- جاذب امواج صوتی**

ناراحتی‌های حاصل از سر و صدای موجود در معابر مشکل مهمی در شهرها محسوب می‌شود. اگرچه عایق‌سازی نما در تعدیل بار صوتی آن یعنی در کاهش صدا از خارج به داخل ساختمان کمک قابل توجهی می‌کند، اما نوع سقف نیز در میزان تأثیرگذاری این عامل بر استفاده‌کنندگان از بنا مؤثر است. بام‌های سبز، عایق‌بندی صدا در سیستم بام را افزایش می‌دهند. البته کیفیت عملکرد عایق به نوع سیستم به کار رفته و همچنین به ضخامت لایه بستگی دارد. بام‌های سبزی که ضخامت لایه خاک آن‌ها ۱۲ سانتی‌متر باشد، نفوذ صدا را تا ۴۰ دسی بل کاهش می‌دهند و بام سبزی که ضخامت لایه خاک آن‌ها ۲۰ سانتی‌متر باشد نفوذ صدا را تا ۴۶ دسی بل کم می‌کند (۱۲). افزایش عمق بستر تا ۲۰-۱۵ سانتی‌متر کاهش سر و صدا را بهبود می‌بخشد، اما بام سبز با لایه عمیق‌تر سود بیشتری را فراهم نمی‌کند. امواج صوتی در بام سبز بیشتر در فرکانس‌های محدوده ۱۰۰۰-۵۰۰ هرتز ساطع می‌شود، اما به هر صورت این لایه‌های خاک به عنوان رساناهای صوتی نرم شناخته می‌شوند. خاک برای جذب فرکانس‌های پایین‌تر صدا و گیاهان به جذب فرکانس‌های بالاتر تمایل دارند. لایه‌های خاک، هوا و پوشش گیاهی که در بام‌های سبز استفاده شده‌اند، منفذدار بوده، بنابراین اجازه می‌دهند که صدا داخل محیط‌های رشد شود. به دلیل فعل و انفعالات زیادی که بین ذرات لایه‌ها و صوت صورت می‌گیرد از شدت صدا کاسته و موجب جذب، انعکاس و انتشار امواج صوتی می‌شوند (۱۱).

**- کاهش اثرات جزایر گرمایی**

شهرهای بزرگ به دلیل داشتن سطوح گسترده سخت غیرقابل نفوذ و فاقد پوشش گیاهی، حرارت تابشی آفتاب را به سرعت جذب و خود به صورت منابع ساطع‌کننده انرژی گرمایی عمل می‌کنند. چنین حالتی را اصطلاحاً پدیده «جزیره گرمایی» می‌نامند. در این حالت اختلاف دمای قابل توجهی بین نواحی شهری که سطوح آن‌ها با آسفالت و قیرگونی پوشیده شده و مناطقی که با پوشش گیاهی پوشیده شده‌اند، وجود دارد. این اختلاف اثر جزایر گرمایی شهری بین شهر و حومه آن در تابستان می‌تواند تا ۱۰ درجه فارنهایت باشد (۱۳). در این صورت دستگاه‌های هواساز و خنک‌کننده افزایش پیدا می‌کنند که این خود بر میزان مصرف انرژی می‌افزاید و پدیده گازهای گلخانه‌ای که مهم‌ترین عامل تخریب لایه اوزون هستند، تشدید می‌شود. بر اساس گزارش سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده، دمای هوای شهر می‌تواند تا ۶/۵ سانتی‌گراد گرم‌تر از حومه‌های اطراف شود و به ازای هر ۶/۰ سانتی‌گراد افزایش درجه حرارت هوا، اوج بار ممکن است ۲ درصد افزایش پیدا کند (۱۴).

**- کاهش آلودگی هوا**

در مناطق شهری، درختان سهم قابل توجهی برای کاهش آلاینده‌های هوا دارند. با این حال، در بسیاری از سایت‌های شهری فضای کمی برای کاشت درخت وجود دارد که ناشی از وجود مجموعه‌هایی از سطوح غیر قابل نفوذ از جمله خیابان، پارکینگ، بام و غیره است. گیاهان، آلاینده‌های هوا را از طریق روزه‌های خود جذب و ذرات آن‌ها را با برگ‌های خود جدا می‌کنند و همچنین قادر به شکستن ترکیبات آلی

دلیل اینکه یکی از گازهای اتمسفر است که مانع انتقال انرژی گرمایی نزدیک سطح زمین به سطوح بالاتر می‌شود، به عنوان یک عامل مداخله‌گر اثر گلخانه‌ای را افزایش داده و دمای محیط را بالا می‌برد. بام‌های سبز در دو روش می‌توانند در کاهش دی‌اکسید کربن در جو مؤثر باشند:

۱- کربن جزء اصلی ساختار گیاهان بوده و به طور طبیعی در بافت‌های گیاهی از طریق فوتوسنتز و در بستر خاک از طریق بوته و تراوشات ریشه تجزیه می‌شود.

۲- کاهش انرژی از طریق عایق‌سازی ساختمان و کاهش اثر جزیره گرمایی شهری. تجزیه کربن می‌تواند به طور کلی با تغییر انتخاب گونه، عمق بستر، ترکیب بستر و شیوه‌های مدیریت بهبود پیدا کند. افزایش عمق بستر نه تنها می‌تواند حجم ذخیره‌سازی بیش‌تری برای کربن فراهم کند، بلکه با حجم خاک بیش‌تر امکان رشد گیاهان دائمی بزرگ‌تر و حتی درختان را نیز فراهم می‌کند و درختان نیز نسبت به چمن‌ها به نوبه خود می‌توانند سهم مؤثرتری در کاهش دی‌اکسیدکربن داشته باشند (۱۶). علاوه بر این، ترکیب بستر رشد می‌تواند میزان این تأثیرگذاری را تغییر دهد. در مطالعات انجام شده، زغال سنگ منبسط شده در بستر رشد، ۸۰ درصد از انرژی گنجانده شده بام سبز را در برمی‌گیرد. با استفاده از مواد جایگزین، انرژی گنجانده شده می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کند. برای مثال، در شمال غربی اقیانوس آرام شمال امریکا، آتشفشانی از پامیس است که اغلب به عنوان بخشی از لایه استفاده می‌شود. سنگ پامیس سنگ منبسط شده‌ای است که به وسیله گرمای طبیعت به دست می‌آید و در نتیجه انرژی گنجانده شده آن بسیار کاهش پیدا می‌کند.

خاصی مانند هیدروکربن‌های پلی آروماتیک در بافت‌های گیاهی و یا در خاک هستند (۱۵) و آن‌ها به طور غیرمستقیم به وسیله کاهش درجه حرارت سطح از طریق تراوشات خنک‌کننده و سایه انداختن، آلودگی هوا را کاهش می‌دهند، که به نوبه خود باعث کاهش واکنش‌های فوتوشیمیایی از نوع آلاینده‌هایی مانند اوزون در جو می‌شوند (۱۶). از آنجا که انواع گونه‌های گیاهی توانایی‌های متفاوتی برای حذف آلاینده‌های هوا و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای دارند برای به حداکثر رساندن بهبود کیفیت هوا می‌توان گونه‌های مؤثرتری را انتخاب کرد. به عنوان مثال کاج‌های همیشه سبز ممکن است فواید بیش‌تری از گونه‌های برگ‌ریز داشته باشند، زیرا با حفظ برگ‌های سالانه خود نقش مؤثرتری در کاهش ذرات گاز دی‌اکسید گوگرد و اوزون، خواهند داشت (۱۷). درختان و درختچه‌ها عمدتاً به دلیل مساحت بزرگ‌تر برگ‌ها نسبت به گیاهان چمنی دائمی، در حذف آلاینده‌ها مؤثرترند. اگرچه بام‌های سبز متراکم با درختان و درختچه‌ها از نظر کاهش آلودگی مطلوب‌ترند، بام سبز گسترده هنوز هم می‌تواند در مورد کیفیت هوا نقش مکمل را بازی کند. البته باید توجه داشت که اگرچه احداث بام‌های سبز به صورت انفرادی تأثیر چندانی در بهبود شرایط آب و هوا و تأمین محیط زیست مطلوب شهری ندارد، اما افزایش این بام‌ها در شهرهای بزرگ می‌تواند تأثیر چشمگیری در بهبود وضعیت شهرها داشته باشد.

### - کاهش دی‌اکسید کربن

زمین به موجب چرخه طبیعی و سوزاندن سوخت‌های فسیلی در حال گرم شدن است. سوزاندن این سوخت‌ها، دی‌اکسید کربن را به عنوان یک محصول جانبی احتراق منتشر می‌کند. دی‌اکسید کربن اغلب به

علاوه بر این، شیوه‌های مدیریت از جمله کوددهی و آبیاری نیز بر انرژی ذخیره شده و تجزیه کربن تأثیر خواهد داشت (۱۶). با این حال، تجزیه کربن توسط گیاهان و بستر فقط بخشی از معادله است. بام‌های سبز نه تنها از طریق تجزیه کربن بر کاهش دی اکسید کربن تأثیر می‌گذارند، بلکه با نقشی که در عایق‌بندی ساختمان‌ها و کاهش جزیره گرمایی دارند نیز بر کاهش این پدیده مؤثرند.

### - کاهش بار سیستم‌های مجاری فاضلاب

بام سبز در کاهش جریان آب‌های سطحی، بهبود کیفیت جریان آب‌های سطحی و کاهش طغیان فاضلاب‌ها تأثیر دارد. اصولاً در تابستان بام‌های سبز می‌توانند ۷۰ تا ۸۰ درصد و در زمستان بین ۲۵ تا ۴۰ درصد آب را در خود حفظ نمایند (۱۲). همچنین بام‌های فشرده با عمق بستر ۱۵۰ میلی‌متر به طور سالانه حدوداً ۷۵ درصد و بام‌های سبز گسترده با عمق بستر ۱۰۰ میلی‌متر در حدود ۴۵ درصد آب را در خود نگه می‌دارند. میزان نگهداری آب در فصل زمستان به طور قابل توجهی پایین‌تر از فصل تابستان است. این نتایج ناشی از تفاوت در تبخیر و تعرق و توزیع بارش باران است (۱۸) اما این امر به نوع سیستم بام سبز، ترکیب خاک و عمق، شیب و فراز پشت بام، گونه‌های گیاهی، رطوبت موجود خاک و شدت و مدت بارش باران بستگی دارد. آب حفظ شده در خاک در نهایت تبخیر خواهد شد و یا به فضای بیرون باز خواهد گشت.

علاوه بر این، جریان آب به دلیل اشباع کردن خاک با تأخیر تخلیه می‌شود. از آنجا که جریان در طی یک بازه زمانی طولانی‌تری آزاد می‌شود، لذا می‌تواند به حفظ سیستم آب‌های سطحی شهری در برابر طغیان و کاهش پتانسیل سایشی فرود آب کمک کند. بام سبز با

حفظ آب‌های سطحی، احتمال رویداد سرریزی آب‌های فاضلاب و همچنین هزینه‌های مرتبط با سیستم آب‌های سطحی را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر بام سبز بر روی کیفیت این آب‌ها تأثیر می‌گذارد. البته مقدار جریان آب بام در کیفیت آب خروجی اثرگذار است. یکی از مشکلات موجود این است که ذرات آلاینده‌ها (به ویژه فلزات سنگین و مواد مغذی) که به سطوح برگ چسبیده‌اند، توسط باران شسته شده و در سیستم آب‌های سطحی وارد شوند و در نتیجه آلودگی هوا و آلودگی آب را به همراه خواهند داشت. یک رابطه مستقیم بین میزان بارندگی و مقدار مواد جامد در پساب وجود دارد. در مواقع کم باران، مواد مغذی و رسوباتی که در بام متعارف با شستشو پاک می‌شوند، به علت عدم جریان یافتن آب باران در روی بام سبز باقی می‌مانند. اما در بارندگی‌های بیش‌تر غلظت مواد از بام سبز بیش‌تر می‌شود. علاوه بر این، انتخاب گیاه، ترکیبات خاک، بستر و عمق نفوذ، سن بام سبز، همه در کیفیت پساب مؤثرند. با توجه به ترکیب بستر با کاهش درصد کود آلی، غلظت ازت و فسفر در خاک کاهش پیدا می‌کند (۱۶) اگر چه بستر مهم است، مدیریت بام سبز نیز بسیار مهم‌تر است. کاربرد کودها و آفت‌کش‌ها برای اطمینان از رشد گیاه نیز می‌تواند برای کیفیت آب بسیار مضر باشد (۱۹).

### - کاهش انتقال حرارت از طریق ذخیره انرژی ساختمان

بام‌های سبز از تابش اشعه‌های نور خورشید محافظت به عمل می‌آورند و به طور غیر مستقیم در خنک‌سازی و کاهش انتقال حرارت نقش دارند. با توجه به اینکه انتقال حرارت همواره از بدنه‌ها و فضاها با دماهای بیش‌تر به فضاها با دمای کم‌تر



جدول (۴): تحقیقات دانشگاه ترنت در پیترבורو کانادا درباره

دمای فضای زیر بام معمولی و بام سبز در زمستان

|                                |                           |
|--------------------------------|---------------------------|
| میانگین درجه حرارت/دمای روزانه | معادل ۰ سانتی‌گراد        |
| دمای فضای زیر بام‌های معمولی   | معادل ۰/۲ سانتی‌گراد      |
| دمای فضای زیر بام‌های سبز      | معادل ۴/۷ درجه سانتی‌گراد |

بنابراین موارد زیر باعث کاهش انتقال حرارت در بام‌های سبز طراحی شده می‌شود:

افزایش ظرفیت گرمایی سقف: در زمستان، اتلاف انرژی کم‌تری از داخل به بیرون و در تابستان نیز انتقال گرمای کم‌تری از بیرون به داخل وجود دارد. در بام‌های سبز با افزایش لایه‌هایی که ظرفیت گرمایی لایه‌های سقف را افزون می‌کنند در کاهش انتقال حرارت نقش مؤثری دارند و در تابستان به خنک‌سازی فضای زیر بام کمک می‌کنند و در زمستان نیز گرمای درون بنا را بیش‌تر حفظ می‌کنند.

حفظ رطوبت: سبزی‌نگی و پوشش گیاهی زنده، رطوبت را در درون خود حفظ و با این شیوه در تعدیل دمای ساختمان نقش مؤثری ایفا می‌کنند. آب به عنوان جرم حرارتی از نوسانات دمایی جلوگیری کرده و موجب خنک شدن ساختمان در تابستان و گرم نگهداشتن نسبی آن در زمستان می‌شود. البته میزان این تأثیر متناسب با فصل‌های گوناگون سال و میزان رطوبت موجود در شبکه بام متغیر است.

فتوستنتز گیاهان (کاهش جذب آفتاب): ترکیب واکنش‌های انجام شده در خاک شامل تجهیز و انتشار و همچنین واکنش‌های فتوستنتز و تعرق گیاهان باعث کاهش میزان انرژی آفتاب جذب شده توسط لایه بام شده و در نتیجه دمای فضای زیر سطح این بام‌ها در تابستان کاهش پیدا می‌کند. در زمستان نیز بام‌های سبز کارکرد حرارتی مثبت خود را ایفا می‌کنند. گیاهان

صورت می‌گیرد، انتقال حرارت در بام‌های ساختمان‌ها در زمستان از داخل به خارج و در تابستان از خارج به داخل صورت می‌گیرد. بام‌های سبز از طریق کاهش نوسانات گرمایی بر روی سطح خارجی بام و از طریق افزایش ظرفیت گرمایی لایه‌های سقف به خنک‌سازی فضای زیر بام در طی تابستان و گرم ماندن آن در زمستان کمک می‌کنند. نتایج یک تحقیق در دانشگاه تورنتو نشان می‌دهد بام‌های سبز در اقلیم‌های سرد نیز کارکرد لازم در جهت گرم نگه داشتن فضاها را دارند. گیاهان با کاهش سرمای باد زمستانی و تنظیم خرد اقلیم بالای بام به افزایش میزان حفظ گرما کمک می‌کنند. البته تأثیر کاستن از شدت وزش باد از اثر سایه اندازی آن بیش‌تر است (۲۰). پوشش گیاهی مانع یخ‌زدگی محیط کاشت در زمستان می‌شود که میزان عایق بودن بام را افزایش می‌دهد. اما در بام‌های سبز متراکم در صورتی که پوشش گیاهی روی سقف‌ها دچار یخ‌زدگی یا پوشیده از برف شوند امتیاز مضاعفی در جهت نگهداری از انرژی در زمستان فراهم می‌کنند (۲۰). تحقیقات دانشگاه ناتینگهام و دانشگاه ترنت (جداول (۳) و (۴)) در پیترבורو کانادا درباره دمای فضای زیر بام معمولی و بام سبز در تابستان و زمستان بیانگر تأثیر این بام‌ها در کاهش انتقال حرارت است.

جدول (۳): تحقیقات دانشگاه ناتینگهام درباره دمای فضای زیر

بام معمولی و بام سبز در تابستان

|                                |                       |
|--------------------------------|-----------------------|
| میانگین درجه حرارت/دمای روزانه | معادل ۱۸/۴ سانتی‌گراد |
| دمای فضای زیر بام‌های معمولی   | معادل ۳۲ سانتی‌گراد   |
| دمای فضای زیر بام‌های سبز      | معادل ۱۷/۱ سانتی‌گراد |

و سنگفرش خود سیمای ناهنجاری را بر روی نمای پنجم ساختمان ایجاد می‌کنند. و جذب گرما به دلیل رنگ تیره و جنس مصالح بام مانع از حضور در بام می‌شود. اکنون می‌توان با کمی سبزی‌نگی، کارآیی و نقش این بام‌ها را تغییر داد. بام‌های سبز با خاصیت خنک‌کنندگی و ایجاد سایه، محیطی مطلوب فراهم می‌کنند و می‌توانند برای تفریح ساکنان استفاده شوند و نیز فضای باز شهری را توسعه دهند.

- **ترویج سلامتی و بهزیستی:** مطالعات بیانگر اهمیت تماس مستقیم انسان با فضاهای طبیعی و سبز و نقش آن‌ها در سلامت جسم و روح انسان است و نشان می‌دهد که دسترسی به فضای سبز به طور مستقیم باعث کاهش ضربان قلب و فشار خون می‌شود و به طور کلی بر افزایش سلامت کمک می‌کند. همچنین تأثیری که بام‌های سبز در تنظیم و تعدیل دمای ساختمان دارند به طور غیرمستقیم بر سلامتی ساکنان اثر می‌گذارد.

- **صرفه‌جویی اقتصادی:** کاهش مصالح ساختمانی مصرفی با افزایش طول عمر بام و کاهش تعمیرات و نوسازی بام، حفاظت از انرژی، مدیریت آب‌های سطحی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسید کربن و کاهش سوخت‌های مصرفی موجب صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود. مزایای اجتماعی و زیست‌محیطی بام سبز هزینه‌های بهداشت و درمان را کاهش می‌دهد، کیفیت آب را بهبود می‌بخشد و هزینه‌های انرژی سرمایشی و گرمایشی را می‌کاهد. همچنین موادی که برای ساختن بام‌های سبز به کار می‌روند اغلب از منابع بازیافتی و غیر قابل استفاده تهیه می‌شوند. استفاده از نخاله‌های مصالح ساختمان باعث صرفه‌جویی در هزینه احداث بام سبز می‌شود و هزینه

پیوسته مقداری هوا لابه‌لای ریشه‌های خود نگه می‌دارند که به صورت یک لایه عایق حرارتی عمل می‌کنند. البته کارایی این لایه عایق حرارتی در بام‌های سبز به میزان رطوبتی وابسته است که در خود نگه می‌دارند.

### مزایای کیفی

- **حفاظت از پوسته بام:** طول عمر بام معمولی حدود ۲۰ سال است. در صورتی که طول عمر بام سبز ۴۵ سال یا بیش‌تر برآورد شده است. غشای قیری بام به وسیله خاک و پوشش گیاهی از اشعه ماوراء بنفش و نوسانات شدید دما بین شب و روز محافظت می‌شود (۱۶).

- **گسترش فضای سبز و زیستگاه جانداران:** می‌توان با بام‌های سبز، زیستگاه جانداران و گیاهانی را که قربانی توسعه ساختمان‌سازی می‌شوند را جبران نموده و از این راه مقدار سطوح عاری از گیاه را کاهش و توسعه حیات وحش را که محدود شده است، گسترش داد (۲۱). بام‌های سبز در مقایسه با بام‌های متعارف فواید زیادی برای محیط زیست و حیات وحش دارند، به ویژه زمانی که این بام‌ها سازگار با بوم و شرایط اقلیمی منطقه باشند، سهم زیادی در حفظ گونه‌های همان منطقه خواهند داشت.

- **تولید غذا:** بام سبز یک فرصت برای توسعه کشاورزی در بالای پشت بام است که تولیدات غذایی را گسترش می‌دهد. تولیدات بام سبز نسبت به محصولات بازار به دلیل توجه به کود دهی و آفت‌کش‌ها می‌تواند کیفیتی بهتر و طبیعی داشته باشد.

- **زیبایی، رفاه و فرصت سرگرمی:** بام‌های معمولی معمولاً با تجهیزات تهویه، دودکش‌ها و لایه‌های قیری

زیست‌محیطی را احیا کند. به این منظور، انتخاب مواد و مصالح تا حد امکان باید طبیعی یا حداقل بازیافتی باشد و ملاحظات لازم در انتخاب گونه‌های گیاهی بومی متناسب با اکوسیستم منطقه رعایت شود و نیز لایه‌های زیر خاک می‌بایست مناسب برای زیست‌بی‌مهرگان باشند.

### کاهش، کنترل و ذخیره انرژی

باید توجه داشت که تامین انرژی معمولاً توسط منابع سوخت فسیلی و الکتریکی تامین می‌شود که مستلزم تقبل هزینه می‌باشد. هر گونه کاهش مصرف و تعدیل و مدیریت آن پیامد کاهش هزینه را به دنبال خواهد داشت که در نهایت اثر آن در صرفه‌جویی انرژی در مبادی تامین مثل نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها مشاهده خواهد شد. این موضوع در زمان بحران نیز از اهمیت برخوردار است. زیرا تهدیدات مختلفی بر نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها مترتب است که سبب نقصان و یا حتی قطع ارتباط با مجموعه شهری می‌شود. بنابراین یکی از مزایای بدنه‌های سبز توانایی کاهش مصرف انرژی در شهرهاست.

### افزایش سرانه سبز

ایجاد بام‌های سبز سبب افزایش سرانه سبز، پوشش گیاهی و منظر زیبا برای افراد یک شهر می‌شود.

### تامین شرایط روانی مناسب در جامعه

ایجاد هنجارهای بصری و حذف ناهنجاری‌های محیطی که محصول آن ایجاد تعدیل روانی، آرامش، تلطیف محیط اجتماعی است از دیگر آثار این رویکرد می‌باشد. به خصوص در زمان بحران و ایجاد خسارات و ضایعات در زیرساخت‌های شهری، شرایط پایدار بام سبز از جمله اثرات روانی مثبت در جامعه است.

لازم برای دفن نخاله‌ها و نیز هزینه انتقال آن‌ها را حذف کرده یا کاهش می‌دهد. نمای ابنیه جزء سطوح پرهزینه ساخت و ساز می‌باشند. استفاده از نماهای پوشیده از گیاهان در کاهش هزینه‌های ساختمانی تاثیر بسزایی دارد و بام سبز یک فرصت منحصر به فردی را برای به کارگیری بام‌ها در راستای بهبود چرخه اقتصادی فراهم می‌کند.

### جمع‌بندی مزایای معماری

مزایای متنوعی برای بناهای بهره‌مند از بام و بدنه‌های سبز ارائه گردید و در مجموع اگر بام سبز به طور گسترده‌تر برای واحدهای همسایگی، سلول‌های شهری و کل شهر مدنظر باشد می‌تواند این مزایا تعمیم یابد و در کل شهر اثرگذار باشد. به طور مثال با توجه به آنکه بسیاری از ابنیه حساس و حیاتی، خواسته یا ناخواسته، درون شهرها واقع شده‌اند، یکسان سازی و فرم دهی فضاها با گسترش در واحد همسایگی بوسیله بام و نمای سبز ارجح‌تر است.

### اکولوژی و تنوع زیستی محیطی

تکنولوژی امروز سبب ضایعات گسترده به طبیعت و محیط زیست و خارج کردن چرخه‌های تعادلی آن شده است. که حاصل آن جز نابودی انسان به عنوان عنصری از این چرخه نیست. طبیعت، نیروها و عناصر خود را برای بازسازی آسیب‌های طبیعی و حتی انسانی به کار می‌گیرد، اگرچه ممکن است این بازسازی سال‌ها به درازا بکشد اما اگر سرعت تخریب عامل انسانی با استفاده از تکنولوژی، بیش‌تر از سرعت آرام و متین طبیعت در بازسازی آن باشد، تمام چرخه‌های آن از حرکت می‌ایستند و در پایان از بین می‌رود.

از آنجا که بام سبز توان بالقوه‌ای در تامین زندگی و مسکن جانداران دارد، در زمینه شهرها می‌تواند تنوع

## ارتباط ارکان توسعه پایدار و سامانه بام سبز

توسعه پایدار دارای سه اصل پایداری اقتصادی، پایداری اجتماعی و پایداری محیط زیست است.

**الف- پایداری اقتصادی:** پایداری اقتصادی به معنای حفظ و ارتقای وضعیت فعلی اقتصادی است بدون اینکه منابع طبیعی تخریب شود که در این راستا فعالیت‌های اقتصادی باید موجب رشد جامعه شده و با عدالت و کارایی همراه باشند.

**کاهش هزینه تعمیر و نوسازی:** عمر عایق‌کاری به کمک بام سبز افزایش پیدا می‌کند؛ به دلیل محافظت در برابر اشعه‌های فرابنفش، تگرگ، طوفان‌ها و تفاوت‌های دمایی، عایق‌کاری به اندازه چهل سال یا بیش‌تر عمر می‌کند. درحالی‌که عمر بام‌های معمولی حدود بیست سال است.

**تولید انرژی:** بام‌های سبز تبادل انرژی ساختمان را کاهش می‌دهند. در هوای گرم زمانی‌که دمای هوا به ۹۵ درجه فارنهایت برسد، دمای بام به ۱۷۵ درجه فارنهایت می‌رسد. این دمای بالا در داخل و بیرون ساختمان تأثیر مستقیم دارد؛ افزایش دمای بیرون، واکنش شیمیایی منجر به کاهش ضخامت لایه اوزون را تسریع می‌کند. در درون ساختمان هم نیاز به تهویه بیشتر جهت خنک کردن ساختمان است که مستلزم مصرف انرژی بیشتر است. گیاهان، حرارت و رطوبت خاک را از طریق تبخیر به رطوبت تبدیل می‌کنند که این روند منجر به خنک شدن ساختمان می‌گردد. خنک شدن داخل ساختمان انعکاس گرما را کاهش می‌دهد.

**مهار سیلاب‌ها:** سامانه بام سبز زهکشی و خروجی آب را به میزان ۱۰ تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهد و بقیه آب هم در زمان دیگری خالی می‌گردد. استفاده از بام

سبز هزینه‌های مجراهای فاضلاب را کاهش می‌دهد. حدود ۳۰ درصد آب از مجراهای کم‌عمق گیاهان را سیراب می‌کند و ۳۰ درصد بقیه تصفیه شده و به آبراه‌های عمیق‌تر راه پیدا می‌کند. نزدیک ۴۰ درصد بلافاصله از طریق تبخیر گیاهان به اتمسفر راه پیدا می‌کند و چیزی بر زمین باقی نمی‌ماند. هنگامی‌که باران بر زمین و جنگل‌ها می‌ریزد زمین را خراب نکرده و در چرخه طبیعی خود حرکت می‌کند. در شهرها که شامل ساختمان‌ها و خیابان‌ها می‌باشد، ۷۵ تا ۱۰۰ درصد پوشش‌ها غیرقابل نفوذ بوده و آب باران تخریب کننده است. فقط حدود ۵ درصد به مجراهای کم‌عمق و عمیق زمین می‌رسد و ۱۵ درصد از طریق گیاهان تبخیر می‌شود و ۷۵ درصد بقیه بر روی زمین شناور می‌ماند و زایل می‌گردد. برای متعادل کردن این امر از سامانه پرهزینه فاضلاب استفاده می‌شود و در بسیاری از موارد اضافه آب زهکشی می‌شود و به‌سوی نهرها هدایت می‌گردد که این اضافه‌ها آب رودخانه‌ها را آلوده می‌کنند. به‌طور متوسط حدود ۷۵ درصد از آب در بام سبز و خاک آن باقی می‌ماند و حدود ۲۵ درصد از آب سرریز می‌شود که این اتفاق ساعت‌ها بعد از باران اتفاق می‌افتد. زمانی که چمن‌ها از آب اشباع می‌شوند، آب به آرامی از میان خاک تصفیه شده و به زهکشی انتقال پیدا می‌کند. خاک رسوبات، برگ‌ها و دیگر اجزا را به دام انداخته و آب راقبل از اینکه به مکانی دیگر انتقال پیدا کند بهبود می‌بخشد.

**استفاده از مکان:** بام‌های سبز فضای اضافی را برای انجام فعالیت‌ها فراهم می‌کنند، که این امر در شهرهای بزرگ که سرریز از ساختمان‌ها، جمعیت و ماشین هستند ضروری می‌باشد. با توجه به گرانی زمین این

زیست محیطی که آینده بشر را به خطر انداخته است معماران را به چاره اندیشی واداشته است (۲۴).

می‌توان گفت که اصول توسعه پایدار به‌طور خلاصه شامل موارد زیر است:

توجه به استفاده از منابع تجدیدپذیر مثل انرژی خورشید و باد، استفاده کم‌تر از انرژی‌های تجدیدناپذیر و آلاینده مثل سوخت‌های فسیلی، توجه به نسل‌های آینده، توجه به محیط زیست و کاهش آلودگی. با توجه به این اصول، معماران و شهرسازان درصدد تعریف معماری و شهرسازی پایدار شده‌اند که در این راستا، تعریف‌های زیادی از معماری و شهرسازی پایدار به‌عمل آمده که در اکثر آن‌ها، توجه به محیط زیست شهری، ایجاد شهرهای سالم و اکولوژیک و آلودگی کم‌تر شهرها، اهمیت ویژه‌ای داشته است. شهری سالم خواهد بود که فضاهای قابل‌توجهی از آن به پارک‌ها و فضاهای سبز، اختصاص داده شود و در آن به محیط زیست، پاکیزگی هوا، اکوسیستم‌ها و چرخه‌های زیستی موجودات دیگر اهمیت داده شده باشد. ایجاد پارک‌ها و فضاهای سبز وسیع در شهرها، علاوه بر حفظ پاکیزگی، بر زیبایی و طراوت آن‌ها نیز افزوده و زمینه زندگی انواع جانداران زیست محیطی را نیز در شهر فراهم می‌آورند. استفاده از بام‌های سبز با توجه به مزیت‌هایشان مانند صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش جزیره گرمای شهری، بهبود کیفیت هوا و جلوگیری از هدر رفت آب بارندگی‌ها، در مقایسه با بام‌های معمولی به عنوان یک استراتژی برای توسعه پایدار شهری رواج یافته است. با توجه به نگرانی‌های زیاد در مورد گرم شدن کره زمین و اثرات موضعی جزایر حرارتی شهری، اثرات حرارتی و انرژی بام‌های سبز توجه دانشمندان،

مورد مزیت بسیار مهمی در استفاده از این سامانه می‌باشد.

**ب- پایداری اجتماعی:** انسان و جوامع انسانی محور اصلی توسعه پایدار هستند. هدف توسعه پایدار، توسعه همه جانبه است و توسعه همه جانبه بدون توسعه اجتماعی ممکن نخواهد بود. در توسعه اجتماعی بر اهدافی نظیر هویت فرهنگی، همبستگی اجتماعی، توسعه تشکیلاتی، مشارکت شهروندان، توانمندسازی انسان‌ها و امکان جابجایی اجتماعی تأکید می‌شود. پس به طور کلی می‌توان گفت که هدف توسعه پایدار دستیابی به جامعه‌ای پویا و ماندگار است که این امر با حفظ محیط زیست ممکن خواهد شد (۲۳). ساخت بام سبز باعث ایجاد فرصت‌های شغلی می‌شود. در بام‌های سبز عمومی امکان تبادل فرهنگ و اطلاعات بین ساکنین ساختمان بوجود می‌آید. در بام‌های سبز، کودکان می‌توانند بازی کنند، بزرگسالان ورزش کنند و افراد مسن در کنج‌های سبز و گل‌کاری شده آن استراحت کنند و در صورت تمرکز بیشتر می‌توانیم علاوه بر تفریحاتی مانند گردش، مطالعه و گذران وقت از پشت بام‌های سبز استفاده‌های بیش‌تری ببریم.

**ج- پایداری زیست محیطی:** پایداری زیست محیطی بر کاهش استفاده از منابع طبیعی و انرژی‌های تجدیدناپذیر، جلوگیری از اتلاف منابع انرژی، کاهش تولید پسماندها با استفاده مجدد و بازیافت پسماندها، استفاده از مواد قابل بازگشت به طبیعت و کاهش تولید آلودگی‌ها در صنایع و کشاورزی تأکید می‌کند. در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار، «پایداری محیطی» در ارتباط با معماری اهمیت زیادی دارد و مسائل



و محیط زیست، تحریم انرژی و مواد غذایی و خسارات و تبعات ناشی از تخصیص سخت کارآمد است. ضمن آنکه در شرایط عادی با دارا بودن فواید عمومی و اختصاصی از جمله:

- بهبود کیفیت هوا (تا ۸۵ درصد ذرات گرد و غبار می‌تواند تصفیه شود)

- ایجاد هوای معتدل‌تر و رطوبت بیشتر از طریق تبخیر طبیعی در شهر

- جمع آوری ۳۰ تا ۱۰۰ درصد بارش سالانه از طریق زهکشی

- ایجاد مناظر زیبای شهری

- کاهش نیاز به شیوه‌های مدیریتی فاضلاب

- کاهش مصرف انرژی هزینه‌های گرمایشی و سرمایشی

- تولید مواد غذایی و اشتغال‌زایی

- افزایش مشارکت مردمی

می‌تواند با کارآمدی توامان در زمان‌های مختلف به صورت یک دستورالعمل اجرایی در ساختمان‌سازی و در گستره زمانی نامحدود به پایداری هر چه بیشتر معماری و شهرسازی بینجامد.

پس از بررسی راهکارها و تجارب مختلف جهانی در این رابطه و با توجه به پتانسیل نهفته در نحوه ساختمان‌سازی ردیفی و وضعیت تکان دهنده زیست محیطی و تهدیدهای مترتب بر کلان شهر تهران، به نظر می‌رسد ایده زنده‌سازی بام‌ها با استفاده از بام سبز که یک راه حل جهانی است، می‌تواند در حل بحران زیست محیطی و همچنین کاهش مخاطرات ناشی از تهدیدات از جمله در زمینه تامین انرژی در تهران کارآمد باشد.

معماران و مهندسان شهرسازی را به خود جلب کرده است. نفوذ انرژی خورشیدی و شار حرارتی از ساختمان‌ها به فضاهای داخلی و هوای محیط و همچنین گرمای به دام افتاده در خیابان‌ها که توسط ساختمان‌های بلند مرتبه همچون دره‌های بار یکی شده‌اند، اصلی‌ترین عامل شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری هستند. از اینرو، سبز کردن بام‌ها به طور غیرمستقیم می‌تواند از طریق چندین فرآیند حرارتی و فیزیولوژیکی این تأثیرات را متعادل کند. سیستم بام سبز می‌تواند به عنوان عایق کار کند و باعث افزایش جرم حرارتی و تغییر الگوی شار حرارتی سقف و همچنین بار حرارتی ساختمان شود. چراکه، سایبان‌های ایجاد شده به وسیله گیاهان، درصد بالایی از تابش خورشیدی را جذب کرده و از طریق تبخیر و تعرق آن را به گرمای نهان تبدیل می‌کنند و بدین ترتیب سطح سقف و همچنین هوای محیط را خنک می‌نمایند (۲۵).

### نتیجه‌گیری

خداوند در قرآن کریم، آیه ۶۱ سوره هود می‌فرماید: (هو انشاء کم من الارض، واستعمرکم فیها) (او شما را از زمین انشاء کرد، پس آباد کنید آن را)، این در حالی است که ما با ساختمان‌سازی‌های ناسازگار با محیط زیست، زمین را به قتل می‌رسانیم. و باید توجه داشت که عواقب آن امروز گریبان‌گیر انسان است.

بام سبز با داشتن قابلیت‌هایی نظیر کنترل و کاهش مصرف انرژی، کاهش آثار ناشی از موج انفجار و یکسان‌سازی فضاها برای ساختمان‌ها و مزایایی چون تسهیل مدیریت بحران در قبال تهدیدات طبیعی، غیر طبیعی و تقابلی نرم و سخت مانند سیل، آلودگی هوا

environmental conditions, International Conference on Civil Engineering, Architecture and Sustainable Urban Development, Islamic Azad University, Tabriz Branch, 19 October, Tabriz, Iran. (in Persian)

[2] Safavi, S.M., 2014, The role of green roofs and facades from the passive defense view, the case of green bodies in the city of Tehran. Journal of Sustainable Architecture and Urban Design, 1, 29. (in Persian)

[3] Ganjali Beyk, A., 2014, Sustainable design of green roofs in tropical areas, a case study of Kish Island, M.Sc. Thesis, University of Tehran - Kish Campus. (in Persian)

[4] Fattahi, M., Nazeri, V., Sefidkon, F., Zamani, Z., 2013, Autecology of *Dracocephalum kotschy* bio. in Iran. 29, 325. (in Persian)

[5] Yazdan Dad, H., Emami, S., Hashemi, N., 2011, Environmental values and functions of green roofs on sustainable urban development, First National Conference on Sustainable Urban Development, Gilan University, 9 March, Gilan, Iran. (in Persian)

[6] Razavian, M.T., Ghafouripour, A., Razavian, M., 2010, Green Roofs, Quarterly Journal of Environmental Based Territorial Planning, 10, 137. (in Persian)

[7] Poursafavai, F., Eskandari, S., Zahedi, M., 2015, Green roof or roof garden? Looking to the recent experiences of Tehran, Manzar, 7, 30. (in Persian)

[8] Magill, J.D., Midden, K., Groninger, J., Therrell, M., 2011, A history and definition of green roof technology with recommendations for future research. Research Papers. Paper 91.

[9] Saeidi, A., Savadkohifar, S., Shiva, H., 2015, Passive defense consideration urban environmental technologies of settlements (Case study of 15th district of Tehran), Passive Defense, 6, 15. (in Persian)

[10] Zaeimi, F., Mehregan, S., Mahmoodi Zarandi, M., Saeidi Rezvani, N., 2013, Green view from passive defense perspectives. Passive Defense, 4, 35. (in Persian)

[11] Mahmoudi Zarandi, M., Pakari, N., Bahrami, H., 2012, The effect of green roof on reducing environment temperature, Bagh-e Nazar, 9, 73.

[12] European federation of green roof & wall associations. (Available online: [www.efb-greenroof.eu](http://www.efb-greenroof.eu)).

و به منظور عملیاتی کردن آن، باید توجه داشت؛ اقدام دولت‌ها، موثرترین مورد در اجرایی شدن بام سبز در کشورهای جهان است. در تمام دنیا، برای توسعه این شکل فضای سبز، ابتدا دولت‌ها پیش قدم بوده‌اند؛ به شکلی که در قدم نخست در ساختمان‌های دولتی از این نوع فضای سبز استفاده کرده‌اند و در پی آن، سیاست‌های تشویقی برای مردم شهرها اعمال کرده‌اند تا مردم هم در این امر مشارکت داشته باشند.

شورای اسلامی شهر تهران نیز مصوبه‌ای با عنوان "تعیین بهای خدمات تشویق و شاخص‌های اقتصادی جلب مشارکت شهروندان در ایجاد و توسعه فضای سبز بر بدنه و فضاهای بلااستفاده ساختمان‌ها در شهر" دارد. این مصوبه در معاونت حقوقی و شهرسازی شهرداری تهران در دست پیگیری است تا چهارچوبی تعریف شود که ساختمان‌هایی که این سیستم در آن‌ها اجرا می‌شود، در بهای خدمات شهری و عوارض نوسازی و امثال آن تخفیف بگیرند. به علاوه بودجه‌ای نزدیک به ۲ میلیارد تومان برای سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهرداری تهران در نظر گرفته شده است تا قطعاتی از این طرح به عنوان نمونه اجرا شود. موردی که باید با جدیت پیگیری شود، ایجاد استانداردها برای تکنولوژی و انواع آن با توجه به اقلیم و سبک ساخت و ساز در کشور ماست تا هر طرح نامناسب و غیراستانداردی در شهر اجرا نشود.

## تعارض منافع

نویسندگان هیچگونه تعارض منافی برای اعلام ندارند.

## منابع

[1] Zarrin Vafa, A., 2013, Investigating the performance of green roof systems in the sustainability and regulation of building

Mediterranean climate, Energy and Buildings, 116, 318.

[13] Luckett, K., 2009, Green roof construction and maintenance. 1<sup>st</sup> Edition, New York: McGraw- Hill.

[14] Takahashi, M., Kondo, K., Morikawa, H., 2003, Assimilation of nitrogen dioxide in selected plant taxa. Acta Biotechnologica, 23, 241.

[15] Baker, A.J.M., Brooks, R.R., 1989, Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry, Biorecovery, 1, 81.

[16] Bradley Rowe, D., 2011, Green roofs as a means of pollution abatement, Environmental Pollution, 159, 2100.

[17] Morikawa, H., Higaki, A., Nohno, M., Takahashi, M., Kamada, M., Nakata, M., Toyohara, G., Okamura, Y., Matsui, K., Kitani, S., Fujita, K., Irifune, K., Goshima, N., 1998, More than a 600-fold variation in nitrogen dioxide assimilation among 217 plant taxa, Plant, Cell & Environment, 21, 180.

[18] Berndtsson, J.C., Bengtsson, L., Jinno, K., 2009, Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. Ecological Engineering, 35, 369.

[19] Emilsson, T., Berndtsson, J.C., Mattsson, J.E., Rolf, K., 2007, Effect of using conventional and controlled release fertiliser on nutrient runoff from various vegetated roof systems. Ecological Engineering, 29, 260.

[20] Bass, B., 2007, Green roofs and green walls: Potential energy savings in the winter. (Available online: [https://www.researchgate.net/publication/242663071\\_green\\_roofs\\_and\\_green\\_walls\\_potential\\_energy\\_savings\\_in\\_the\\_winter](https://www.researchgate.net/publication/242663071_green_roofs_and_green_walls_potential_energy_savings_in_the_winter)).

[21] London 2019 green roof report. (Available online: [www.livingroofs.org](http://www.livingroofs.org)).

[22] Szewczyk, N.J., Kozak, E., Conley, C.A., 2003, Chemically defined medium and *Caenorhabditis elegans*. BMC Biotechnology 3, 19.

[23] Del Barrio, E.P., 1998, Analysis of the green roofs cooling potential in buildings, Energy and Buildings, 27, 179.

[24] Pearen, B., Wilson, C., 2006, Feasibility study for green roof application on Queen's University campus. Queen's Physical Plant Services.

[25] Silva, C.M., Gomes, M.G., Silva, M., 2016, Green roofs energy performance in

**“Review article”**

## **Green roof, a solution to reduce environmental pollution and sustainable urban development**

**Saba Hosseinpour<sup>1</sup>, Bint Alhoda Izadi Kahkesh<sup>2</sup>, Sahar Toofan<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Department of Architecture, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Department of Landscape Architecture, Aras Branch, Islamic Azad University, Jolfa, Iran

\*Corresponding author: sahar.toofan@iaut.ac.ir

(Received: 22 December 2023, Accepted: 12 May 2024)

### **Abstract**

A green roof, also known as a garden roof, vegetable roof, or biological roof, is an engineering system that enables the growth of plants on roof and facade, offering numerous advantages. Therefore, many countries, particularly those in North America and Western Europe, have developed regulations, executive rules, and mandatory instructions for green infrastructure. However, in many large cities, the implementation of such systems remains clearly insufficient. The benefits of green roofs include camouflage, concealment and deception, energy conservation, building sustainability, aesthetic enhancement, shaping and changing shape, environmental assimilation, shape flexibility, natural consequence control (e.g. floods and water runoff), environmental preservation, water pollution protection, increased green space per capita, improved societal psychological atmosphere, sound and heat insulation, extended lifespan of roof and facade insulation, reduced energy consumption, food production cycle, air quality improvement (reducing carbon dioxide and increasing oxygen), and damage control from storms and heavy rainfall. This article discusses the types of green bodies, their executive details, and their general advantages, primarily in soft defense and their specific advantages in passive defense and their role in large urban areas.

**Conflict of interest:** None declared.

**Keywords:** Green roof, Green facade, Greenness, Sustainability, Sustainable development



دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز  
فصلنامه آلودگی‌های محیطی و توسعه پایدار شهری

دوره ۱، شماره ۲، پیاپی ۲  
تابستان ۱۴۰۳، صفحات ۴۷-۲۳

## "مقاله مروری"

# آلاینده‌های نوظهور در محیط‌های آبی: وقوع، منابع، سرنوشت، اثرات بهداشتی و زیست محیطی و ارزیابی ریسک

محمد صفری<sup>۱</sup>، احمد اصل هاشمی<sup>۲</sup>، غلامحسین صفری<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده پزشکی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران

<sup>۲</sup> گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

<sup>۳</sup> مرکز تحقیقات و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

\* نویسنده مسئول مکاتبات: hsafari13@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۱۳، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۶/۰۲)

## چکیده

آلاینده‌های نوظهور (EPs) شامل بسیاری از ترکیبات مصنوعی یا طبیعی از قبیل زیست‌کش‌ها (بیوسایدها)، بازدارنده‌های آتش، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، نرم‌کننده‌ها، مواد فعال سطحی (سورفکتانت‌ها)، هورمون‌ها، محصولات مراقبت شخصی، ترکیبات دارویی و نانوذرات می‌باشند، که اغلب در محیط کنترل یا نظارت نمی‌شوند. این آلاینده‌ها در غلظت‌های محیطی کم وجود دارند و اثرات شدیدی بر سلامتی انسان و موجودات زنده می‌گذارند. این آلاینده‌ها عمدتاً در بیمارستان‌ها، مزارع کشاورزی و مناطق شهری و صنعتی تولید می‌شوند. راه‌های اصلی ورود آن‌ها به محیط زیست، بقایای آب‌های آلوده، لجن فاضلاب حاصل از تصفیه‌خانه فاضلاب و کود دامی ناشی از مزارع کشاورزی می‌باشند. با این حال، اگرچه منابع ورودی این آلاینده‌ها شناخته شده هستند، سرنوشت و رفتار آن‌ها در بخش‌های مختلف محیطی و همچنین خطرات آن‌ها برای سلامتی انسان و محیط زیست نیاز به تحقیقات بیش‌تری دارد. هدف از این مقاله مروری، بررسی وضعیت فعلی وقوع، منابع آلودگی، سرنوشت، اثرات بهداشتی و زیست‌محیطی و همچنین ارزیابی ریسک‌های ناشی از EPها در محیط‌های آبی در راستای مدیریت پایدار منابع آبی می‌باشد. در این مقاله مروری طبقه‌بندی EPها در محیط زیست، منابع، سرنوشت و اثرات آن‌ها، با چند مثال مورد بحث قرار می‌گیرد. همچنین برخی از مشکلات مربوط به آلودگی محیط‌های آبی با EPها و ریسک‌هایی که آن‌ها می‌توانند برای آبزیان و سلامتی انسان‌ها ایجاد کنند، ارائه می‌شود. این مقاله نگاهی انتقادی به چالش‌های فعلی ناشی از حضور EPها در محیط‌های آبی و توصیه‌هایی برای تحقیقات بیش‌تر به منظور کاهش اثرات EPها بر محیط‌های آبی و سلامت انسان ارائه می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** محیط‌های آبی، آلاینده‌های نوظهور، سرنوشت، اثرات بهداشتی، ارزیابی ریسک



## مقدمه

آلودگی محیط زیست به یکی از چالش برانگیزترین و روزمره‌ترین معضلات بشر تبدیل شده است. با صنعتی شدن و شهرنشینی، کاهش کیفیت محیط زیست به طرز نگران کننده‌ای افزایش یافته است. گروه‌های مختلف آلاینده‌ها از قبیل ترکیبات غیر آلی پایدار (مانند فلزات سنگین) و ترکیبات آلی (داروها، آفت‌کش‌ها، عوامل مختل کننده غدد درون‌ریز، محصولات مراقبت شخصی و غیره) یک مشکل جدی در سطح جهانی هستند، زیرا می‌توانند بر روی گیاهان و جانوران و سلامتی انسان تأثیر بگذارند (۱ و ۲).

آب، به عنوان یک منبع ضروری برای حیات در روی زمین، یکی از آسیب‌پذیرترین بخش‌های محیط زیست است. از این رو، آلودگی آب به موضوعی بسیار مورد توجه و خطیر در سراسر جهان تبدیل شده است. سومین مجمع جهانی آب در کیوتوی ژاپن، از سال ۲۰۰۲ توجه را به این واقعیت جلب کرده است که روزانه حدود ۲ میلیون تن آلاینده از دسته‌های مختلف (فاضلاب، پسماندهای صنعتی و کشاورزی) در سراسر جهان به آب ریخته می‌شود، مقداری که تقریباً با وزن جمعیت خشکی برابر است، در نتیجه نزدیک به ۱۵۰۰ کیلومتر مکعب فاضلاب تولید می‌شود (۳ و ۴).

مطالعات منتشر شده در ادبیات تأکید می‌کند که آلاینده‌ها در محیط آبی با یک پویایی جالب در ارتباط با طبقه‌بندی‌های خود مشخص می‌شوند که در طول زمان تغییر می‌کنند. بنابراین، تشدید تلاش‌های تحقیقاتی و منابع سرمایه‌گذاری شده برای شناسایی همه امکانات به منظور کاهش اثرات و ریسک‌های ناشی از آلودگی آب، با اثرات ضمنی بر سلامت انسان ضروری است، زیرا آلاینده‌های پایدار ظرفیت درگیر

شدن در زنجیره غذایی را دارند. بهبود تکنیک‌های تشخیص برخی از مواد در محیط‌های آبی در دهه‌های اخیر منجر به شناسایی تعداد فزاینده‌ای از آلاینده‌ها و محصولات تبدیلی آن‌ها شده است که قبلاً شناخته شده نبودند (۵ و ۶). این ترکیبات به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور (EPs) شناخته می‌شوند که شامل محصولاتی هستند که روزانه در خانه‌ها، صنعت و سایر فعالیت‌های انسانی (سورفکتانت‌ها و محصولات تجزیه، داروها و محصولات مراقبت شخصی، افزودنی‌های بنزین و نرم‌کننده‌ها و غیره) استفاده می‌شوند. بررسی ادبیات نشان می‌دهد که مکانیسم‌های فعلی برای جمع‌آوری اطلاعات خاص در مورد پویایی EPها در آب باید به‌روزرسانی و پالایش شوند تا از ریسک‌های احتمالی برای کیفیت آب، گیاهان و جانوران در حوضه‌های رودخانه‌ها جلوگیری شود (۲ و ۳).

موضوع EPها توجه جهانی را به خود جلب کرده است و چندین سازمان دولتی و غیردولتی تحقیقات فعالی در این زمینه انجام داده‌اند. اما آلودگی ناشی از EPها پدیده جدیدی نیست و از چندین هزار سال قبل وجود داشته است. افزایش آن متناسب با توسعه صنایع و فناوری است. جنگ‌های جهانی و جنگ‌های بعدی منجر به آلودگی شیمیایی، هسته‌ای و بیولوژیکی محیط زیست به میزان غیر قابل‌تصور شده است. آلودگی‌ها با منشأهای مختلف ممکن است به روش‌های عمدی یا غیرعمدی ایجاد شوند. این روند آلودگی، با آلودگی بیولوژیکی بدنه‌های آبی با مدفوع، مواد زائد و فاضلاب انسانی، آلودگی جهانی سرب از طریق استخراج و ذوب توسط رومیان آغاز شد و به سمت آفت‌کش‌های مبتنی بر آرسنیک و کلر مانند DDT

حرکت کرد و در حال حاضر به ترکیبات دارویی، محصولات مراقبت شخصی، نانوذرات، بازدارنده‌های آتش و غیره رسیده است (۷).

این موضوع، به عنوان یک هدف پایدار برای جامعه علمی و تحقیقاتی باقی خواهد ماند زیرا هر ساله ترکیبات جدیدی سنتز و به محیط زیست وارد می‌شوند. این بدان معنا نیست که فقط مواد شیمیایی مصنوعی به عنوان EPها در نظر گرفته می‌شوند. طبق تعریفی که توسط سازمان زمین شناسی ایالات متحده ارائه شده است، EPها عبارتند از هر ماده شیمیایی مصنوعی یا طبیعی یا هر میکروارگانیسمی که معمولاً در محیط نظارت نمی‌شوند، اما پتانسیل ورود به محیط را دارد و باعث ایجاد اثرات نامطلوب بر محیط‌زیست و یا سلامتی انسان می‌شوند و یا مشکوک به ایجاد اثرات نامطلوب هستند (۸). در واقع، ۶۸ آلاینده میکروبی از جمله باکتری‌ها یا ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک نیز به عنوان EPS در نظر گرفته می‌شوند (۱۱-۹).

همچنین ممکن است یک آلاینده به دلیل اینکه یک منبع جدید یا مسیری جدید برای رسیدن آن به انسان کشف شده است یا یک روش تشخیص یا فناوری تصفیه‌ای جدید برای آن ایجاد شده است، "نوظهور" تلقی گردد (۱۲). با این حال، درک بهتر EPها یک چالش واقعی است زیرا در حال حاضر فقط اطلاعات کمی در مورد رفتار آنها در محیط‌زیست و اثرات سمی آنها بر سلامتی انسان یا محیط زیست در دسترس است. تا حد زیادی، توسعه سریع روش‌های

تحلیلی طیف‌سنجی جرمی در ۲۵ سال گذشته راه را برای شناسایی EPها در مقادیری خیلی اندک باز کرده است (۱۳). از زمانی که EPها توجه گسترده‌ای را به خود جلب کردند، تلاش‌های زیادی برای روشن کردن نگرانی انتشار EPها در محیط و تشویق بیش‌تر سیاست‌گذاران برای اتخاذ اقدامات مرتبط برای جلوگیری از خطرات زیست محیطی صورت گرفته است. در نتیجه، در حال حاضر تعداد زیادی مطالعات پژوهشی در این زمینه در سراسر جهان در حال انجام است که منجر به انتشار مقالات متعددی شده است (۱۴ و ۱۸).

سانگانیاتو<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۸ پژوهشی در زمینه تجمع زیستی آلاینده‌های موجود از جمله EPها در دلفین‌های گوزپشت ساکن در آب‌های ساحلی کم‌عمق اقیانوس هند و آرام که اغلب تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرند، انجام دادند (۱۹). فیلیپ<sup>۲</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۸ پیشرفت گام به گام تحقیقات هندی‌ها در مورد EPها را بررسی کردند (۱۲). کیو<sup>۳</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۸ به طور جامع آلودگی EPها در شیرابه دفن پسماند در چین را بررسی کردند (۲۰). استارلینگ<sup>۴</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۹ مطالعات انجام شده در برزیل را با توجه به وقوع، کنترل و سرنوشت EPها در محفظه‌های محیطی جمع‌آوری کردند و داده‌های منتشر شده را با داده‌های به دست آمده در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه مقایسه کردند (۲۱). گونگ<sup>۵</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۸ مروری بر کاربرد نمونه‌گیرهای غیرفعال معمولی

<sup>1</sup> Sanganyado

<sup>2</sup> Philip

<sup>3</sup> Qi

<sup>4</sup> Starling

<sup>5</sup> Gong

آمده و از منابع مختلف به منظور پردازش مطالب استفاده شده است. با توجه به اهمیت موضوع EPها در محیط زیست سعی گردید تا حد امکان از مرتبط-ترین و به‌روزترین منابع حاوی نکات ارزنده در رابطه با وقوع EPها در محیط‌های آبی و اثرات آنها بر سلامتی انسان و محیط زیست استفاده شود. در این مطالعه مروری ابتدا به طبقه‌بندی EPها، مسیرهای بالقوه، منابع، و سرنوشت آنها در محیط زیست پرداخته شده است. سپس اثرات بهداشتی و زیست-محیطی ناشی از این آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت مباحث مرتبط با ارزیابی ریسک‌های ایجاد شده توسط EPها در راستای مدیریت پایدار منابع آبی و کاهش اثرات آنها بر محیط‌های آبی و سلامت انسان مورد مطالعه قرار گرفته است.

#### طبقه‌بندی EPها

EPها به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند (۲۸-۲۶):

۱. ترکیبات دارویی (داروهای غیرمجاز و تجویزی)
۲. محصولات مراقبت شخصی (محصولات آرایشی و بهداشتی، سورفکتانت‌ها، گندزداها، زیست‌کش‌های خانگی، افزودنی‌های مواد غذایی)
۳. مواد شیمیایی صنعتی (افزودنی‌های مواد غذایی، آفت‌کش‌ها، بی‌فنیل پلی‌کلرینه شده، بازدارنده‌های آتش، مواد ضد میکروبی)
۴. محصولات جانبی گندزدایی (ناشی از تصفیه-خانه‌های آب: نیتروزوآمین، هالونیترومتان‌ها، هالواستونیتریل‌ها، تری هالومتان‌ها، هالواستیک اسیدها)

برای نظارت بر آلاینده‌های آلی قطبی ارائه کردند (۲۲). گوگوی<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۸ اثر بخشی تکنیک‌های مختلف تصفیه در حذف EPها را بررسی کردند و اشاره کردند که دیدگاه تحقیقات آینده باید بر توسعه مدل‌ها و چارچوب غربالگری مبتنی بر ریسک تمرکز کند (۲۳). با توجه به این واقعیت که میکروپلاستیک‌ها نیز به عنوان EPها طبقه‌بندی می‌شوند، فعل و انفعالات بین میکروپلاستیک‌ها و آلاینده‌ها توسط باربوزا<sup>۲</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفت. آنها نشان دادند که مواد زائد میکروپلاستیکی دریایی ممکن است ایمنی و سلامت غذای انسان را به خطر بیندازند (۲۴). با توجه به این واقعیت که فرآیندهای تصفیه فاضلاب متداول قادر به تصفیه EPها در غلظت‌های بسیار پایین نیستند. طاهران<sup>۳</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۸ پیشنهاد کردند که تصفیه ثانویه با یک طرح تصفیه پیشرفته برای زلال سازی پساب و در نتیجه حذف EPها ادغام شود (۲۵). با این حال، در مقایسه با کشورهای توسعه یافته، کشورهای در حال توسعه به طور کلی فاقد مطالعات کافی در مورد مسائل مربوط به EPها هستند. این مطالعه با هدف بررسی وضعیت فعلی وقوع، طبقه بندی، مسیرهای بالقوه، منابع آلودگی، سرنوشت، ریسک‌های زیست‌محیطی و بهداشتی و در نهایت ارزیابی ریسک‌های ناشی از EPها در محیط‌های آبی در راستای مدیریت پایدار منابع آب انجام شد.

#### مواد و روش‌ها

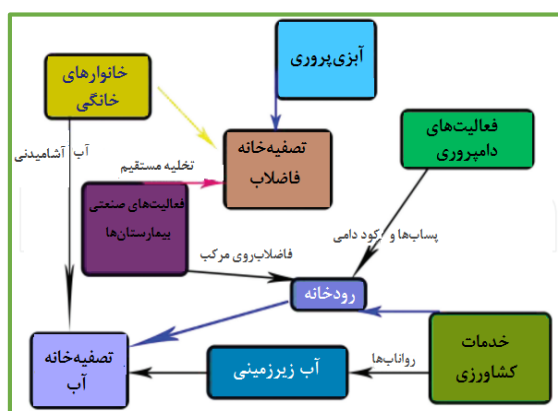
پژوهش حاضر یک مطالعه توصیفی - مروری است که داده‌های آن از طریق مطالعات کتابخانه‌ای به دست

<sup>1</sup> Gogoi

<sup>2</sup> Barboza

<sup>3</sup> Taheran

گذاشته و منجر به کاهش کیفیت آب آشامیدنی می‌شود. با این حال، اساساً بسیاری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب (WWTPs) برای حذف EPها همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، در نظر گرفته نشده و یا طراحی نشده‌اند. در نتیجه ماهیت آب‌گریز بودن EPها و متابولیت‌های آنها و همچنین سایر ویژگی‌های خاص، در هنگام تخلیه در آب، این آلاینده‌ها در زیر سطح آب قرار می‌گیرند. آب شهری تصفیه شده و تصفیه نشده و همچنین تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، منابع و مسیرهای اصلی ورود EPها به ماتریس‌های محیطی هستند (۲۷).



شکل (۱): منابع بالقوه EPها و متابولیت‌های آنها در چرخه آب اصلاح شده (۲۷)

### EPها در محیط‌های آبی

در نتیجه توسعه مستمر فعالیت‌های انسانی (صنعت، کشاورزی و بهداشت)، تولید و استفاده از مواد شیمیایی معروف به «آلاینده‌های نوظهور»<sup>۳</sup> و/یا «آلاینده‌های با نگرانی‌های نوظهور»<sup>۳</sup> افزایش یافته است. اولین EPها در اوایل دهه ۱۸۰۰ در محیط‌های آبی کشف شدند (۳۶). وجود EPها در محیط زیست، نتیجه شهرنشینی کنترل نشده، توسعه صنعت،

۵. سموم جلبکی (سموم آزاد شده از برخی از جلبک‌ها مانند سیانوتوکسین‌ها، میکروسیستین)  
 ۶. زیست‌کش‌ها و متابولیت‌های آنها (عوامل بازدارنده گیاهان و کشاورزی [آفت‌کش‌ها])  
 ۷. بیوتورویسم و دستگاه‌های اختلال (سلاح‌های بیولوژیکی و شیمیایی)  
 بیش از ۱۰۳۶ آلاینده نوظهور متابولیت‌های ثانویه و همچنین محصولات تبدیل زیستی آنها در فهرست NORMAN شناسایی شده است (۲۹). رایج‌ترین کلاس‌ها/دسته‌های EPها عبارتند از: مواد شیمیایی صنعتی، محصولات جانبی گندزایی، آفت‌کش‌ها، شیرین کننده‌ها، ترکیبات مختل کننده غدد درون‌ریز، نانوذرات، کرم‌های ضد آفتاب، فیلترهای UV، ترکیبات دارویی و محصولات مراقبت شخصی (۳۲-۳۰).

### مسیرهای بالقوه EPها

مجموعه‌ای از فعالیت‌های انسانی مانند فعالیت‌های کشاورزی، خانگی و صنعتی منجر به تخلیه آلاینده‌ها به ماتریس‌های مختلف محیطی می‌شوند (شکل (۱)). آب و رسوبات به عنوان یک مخزن برای این آلاینده‌ها عمل می‌کنند (۳۳). مصرف مداوم ترکیبات دارویی به دلیل توجه کم‌تر به طب سنتی برای درمان و استفاده مکرر از محصولات مراقبت شخصی، منجر به انتشار محصولات جانبی مختلف با غلظت‌های کم در محیط زیست می‌شود (۳۴). غلظت این آلاینده‌ها در محیط زیست، بستگی به فرآیندهای تولید مورد استفاده برای این داروها در کشورهای مختلف دارد (۳۵). وجود EPها در آب بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب تأثیر

<sup>3</sup> Contaminants of Emerging Concerns

<sup>1</sup> Wastewater Treatment Plants

<sup>2</sup> Emerging Pollutants

مطالعات و تحقیقات متعددی در مورد وقوع، رفتار منابع، اثرات و ریسک‌های ناشی از EPها در محیط وجود دارد (۳۸ و ۲۳)، اما در حال حاضر، داده‌های جامعی در مورد سمیت آن‌ها در دسترس نیست. این به دلیل اطلاعات ضعیف ناشی از ویژگی‌های پیچیده EPها در محیط در ارتباط با خواص فیزیکوشیمیایی آن‌ها است که باعث رفتار غیرمنتظره در آب، خاک و هوا می‌شود (۳ و ۲۳). EPها را می‌توان در آب‌ها در غلظت‌های وسیعی (در محدوده نانوگرم بر لیتر تا میکروگرم بر لیتر) یافت. اثرات EPها بر موجودات زنده با اختلالات غدد درون ریز، سمیت حاد و مزمن و مقاومت میکروارگانیسم‌ها به آنتی‌بیوتیک‌ها همراه بوده و تهدیدی برای سلامت انسان خواهد بود (۳۹ و ۳).

گروه دیگری از آلاینده‌ها وجود دارد که به عنوان «آلاینده‌های با نگرانی نوظهور» شناخته می‌شوند، که «مواد شیمیایی شناخته‌شده‌ای هستند که برای دهه‌ها در کاربردهای مختلف استفاده شده و به طور تجمعی در محیط منتشر می‌شوند و محصولات فرعی ناشی از تجزیه محیطی آن‌ها اکنون در منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین در خاک و رسوبات شناسایی شده‌اند. اصطلاح «آلاینده‌های با نگرانی نوظهور» معمولاً زمانی استفاده می‌شود که اطلاعات بسیار کمی در مورد میزان و فرکانس ریسک‌های ناشی از این دسته از آلاینده‌ها بر روی محیط زیست و سلامت انسان در دسترس باشد (۴۰).

اگرچه برخی از EPها برای چندین سال در محیط زیست وجود داشته‌اند، وقوع کمی و کیفی آن‌ها به

فعالیت‌های مراقبت‌های بهداشتی ضروری برای حمایت از رفاه انسان، کشاورزی و حمل و نقل است و شامل طیف گسترده‌ای از مواد تولید شده توسط انسان است که برای جامعه مدرن ضروری تلقی می‌شود (۹ و ۲).

EPها مواد شیمیایی آلی پایدار سنتزی هستند که به طور معمول در محیط نظارت نمی‌شوند، اما می‌توانند اثرات نامطلوبی بر محیط زیست و سلامت انسان ایجاد کنند. بر اساس پایگاه داده NORMAN، بیش از ۷۰۰ ترکیب وجود دارد که در ۲۰ دسته از EPها دسته‌بندی شده‌اند: «سورفکتانت‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها و سایر داروها، هورمون‌های استروئیدی و سایر ترکیبات مختل‌کننده غدد درون ریز (EDCs<sup>۱</sup>)، بازدارنده‌های آتش، ضدآفتاب‌ها، محصولات جانبی گندزدایی، آفت‌کش‌های جدید و متابولیت‌های آفت‌کش‌ها، سموم جلبکی طبیعی و غیره (۳۷ و ۳). شکل (۲) گروهی از EPها را نشان می‌دهد که در محیط زیست یافت می‌شوند.



شکل (۲): دسته‌بندی EPهایی که بر خاک، هوا، آب،

حیوانات، گیاهان، میکروارگانیسم‌ها و انسان تأثیر می‌گذارند (۳۸ و ۲۳ و ۶)

<sup>1</sup> Endocrine-Disrupting Compounds

بیماری‌ها استفاده می‌شوند و ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و بیولوژیکی بسیار متنوع آن‌ها، بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند. تقریباً تمام گروه‌های دارویی در پساب‌ها شناسایی شده‌اند (۴۱). ترکیبات دارویی (شامل گروه‌های مختلف: هورمون‌ها، ضد التهاب، ضد صرع، استاتین‌ها، داروهای ضد افسردگی، بتابلاکرها، آنتی‌بیوتیک‌ها، مواد حاجب و غیره) پس از تجویز تا حد زیادی به شکل اصلی یا به صورت متابولیت‌ها دفع می‌شوند و می‌توانند در فاضلاب شهری، فاضلاب بیمارستانی و آب‌های سطحی یافت شوند (۴۲). آن‌ها همچنین می‌توانند به آب‌های زیرزمینی یا حتی آب آشامیدنی و همچنین خاک حاصل از آب آبیاری برسند. به نظر می‌رسد آنتی‌بیوتیک‌ها در محیط به مقدار فزاینده‌ای پخش می‌شوند و تنوع رو به رشدی از ترکیبات را در بر می‌گیرند. مطالعات اخیر نشان داد که غلظت آنتی‌بیوتیک‌ها در برخی از رودخانه‌های جهان تا ۳۰۰ برابر از سطوح "ایمن" فراتر می‌باشد (۴۳). مطابق نظر سازمان جهانی بهداشت، بزرگ‌ترین تهدید برای سلامتی، امنیت غذایی و توسعه جهانی، مقاومت آنتی‌بیوتیکی است. درمان تعداد فزاینده‌ای از عفونت‌ها و بیماری‌ها دشوار است، زیرا آنتی‌بیوتیک‌هایی که برای درمان آن‌ها استفاده می‌شوند در نتیجه آلودگی‌های محیطی کارایی کم‌تری دارند (۴۴).

در بین EPها، ریزآلاینده‌های نوظهور (EMPs<sup>3</sup>) «مواد شیمیایی انسان‌زایی (ناشی از فعالیت‌های انسانی) هستند که در محیط (آبی) به دلیل فعالیت‌های انسانی، بطور بالقوه بسیار بالاتر از سطح پس‌زمینه

تازگی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مشخص شده است که این ترکیبات می‌توانند برای اکوسیستم‌ها ریسک بالایی داشته باشند (۲). روش‌های آنالیز جدید (به عنوان مثال، کروماتوگرافی مایع همراه با طیف‌سنجی جرمی (LC-MS)، یا LC-MS-MS) اخیراً توسعه یافته و به کار گرفته شده‌اند که نوید بخش تشخیص غلظت‌های بسیار کم (نانوگرم تا میکروگرم بر لیتر) از این ترکیبات در ماتریس‌های مایع و جامد است. با استفاده از این تکنیک‌ها، شناسایی و تعیین کمیت حدود ۳۰۰۰ ترکیب شیمیایی فعال بیولوژیکی در محیط ممکن خواهد شد (۶).

بسیاری از EPها به دلیل کمبود اطلاعات در مورد اثرات مواجهه مزمن، تابع استانداردها و مقررات نیستند. محصولات دارویی (PPs<sup>1</sup>)، محصولات مراقبت شخصی (PCPs<sup>2</sup>) و بازدارنده‌های آتش برخی از متداول‌ترین EPهای شناسایی شده در محیط هستند (جدول (۱)). ترکیباتی که بر سیستم غدد درون‌ریز (EDC) تأثیر می‌گذارند، برخی از EPها هستند که بیش‌تر مورد بررسی قرار گرفته‌اند (شکل (۲)). بیش از ۲۰۰ ترکیب منفرد شناسایی شده است، و تعدادی از آن‌ها تاکنون پایش شده است (۳).

در حال حاضر، بیش از ۳ میلیون تن فتالات در جهان تولید می‌شود. فتالات یک ترکیب شیمیایی معروف است که بیش از نیم قرن است به عنوان نرم‌کننده در پلاستیک‌ها یا به عنوان تثبیت‌کننده در لوازم آرایشی استفاده می‌شود (۲۸-۲۶).

در میان EPها، دسته‌ای از ترکیبات دارویی به دلیل حجم زیادی که برای درمان طیف گسترده‌ای از

<sup>3</sup> Emerging Micro Pollutants

<sup>1</sup> Pharmaceutical Products

<sup>2</sup> Personal Care Products

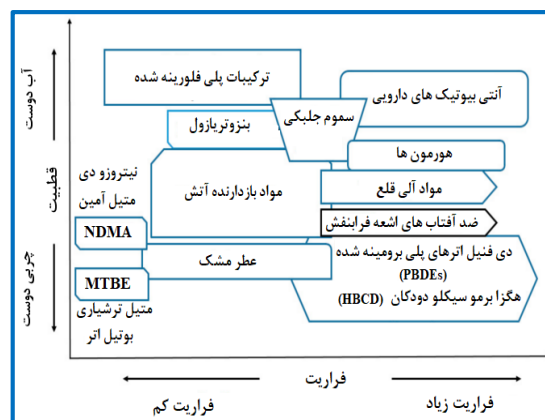
دسته‌ای از ترکیبات آلی که اخیراً در لیست EPها گنجانده شده است شامل ترکیبات ضد اشعه فرابنفش یا فیلترهای آلی UV هستند. اگرچه می‌توان آن‌ها را به عنوان محصولات مراقبت شخصی در نظر گرفت، اما این ترکیبات نیاز به توجه ویژه‌ای دارند، زیرا افزایش تولید و استفاده از فیلترهای آلی UV آن‌ها را به دسته جدیدی از آلاینده‌های زیست محیطی تبدیل کرده است. این ترکیبات به طور گسترده در ترکیب محصولات ضد آفتاب استفاده می‌شوند، زیرا به دلیل ضریب جذب مولی زیادشان در محدوده UVA (۳۲۰-۴۰۰nm) و UVB (۲۸۰-۳۲۰ nm) توانایی جذب تابش خورشید را دارند (۶). بنابراین فیلترهای UV می‌توانند مصرف کنندگان را از اثرات مضر اشعه خورشید محافظت کنند و همچنین پایداری نوری محصولات مراقبت شخصی مانند کرم‌های پوست، اسپری مو، لوازم آرایشی، رنگ مو، شامپو، لوسیون بدن و غیره را افزایش دهند. استفاده گسترده و نظارت بر آن‌ها بیانگر آنست که این ترکیبات می‌توانند در بدن انسان (بسیار چربی دوست)، در محفظه‌های محیطی و اکوسیستم‌ها تجمع یابند (۴۵). علاوه بر این، برخی از مطالعات مقدماتی در حیوانات نشان داده است که برخی از فیلترهای UV مختل کننده غدد درون‌ریز هستند. سایر خطرات مرتبط با حضور آن‌ها در محیط بسیار کم شناخته شده است (۴۶).

فیلترهای UV به دلیل تعداد زیاد شناگران و آفتاب‌گیران در طول فعالیت‌های تفریحی وارد آب‌های سطحی می‌شوند. سواحل بیش‌تر در معرض مواجهه با این ترکیبات قرار دارند و آب خلیج‌ها یا دریاها می‌تواند حاوی فیلترهای UV مختلف از کرم‌های ضد

طبیعی اما با غلظت‌هایی در سطوح پایین (کمیاب) (به عنوان مثال، در محدوده میکروگرم بر لیتر) وجود دارند. اگرچه EMPها در غلظت‌های بسیار پایین در محلول‌های آبی (از پیکوگرم تا میکروگرم بر لیتر) یافت می‌شوند، اما EMPها معمولاً پس از مواجهه طولانی مدت می‌توانند اثرات سمی شدیدی را ایجاد کنند. EPها را می‌توان با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها به صورت زیر دسته‌بندی کرد (۳):

- ۱) مواد آلی قطبی (به عنوان مثال، داروها، مواد شیمیایی صنعتی، آفت‌کش‌ها)
- ۲) ذرات آلوده‌کننده (به عنوان مثال، نانوذرات و میکروپلاستیک‌ها).

هنگامی که EPها در محیط، فاضلاب، آب‌های سطحی یا پساب‌های تصفیه شده قرار می‌گیرند، قطبی-تر، اسیدی‌تر و قلیایی‌تر از مواد شیمیایی طبیعی هستند و این ویژگی‌ها در برخی از غلظت‌ها آن‌ها را خطرناک می‌کند. بسیاری از EPها آب‌گریز هستند و از طریق زنجیره غذایی پویا هستند، بنابراین می‌توانند در بافت‌های غنی از چربی تجمع کنند یا می‌توانند با قرار گرفتن در معرض مستقیم یا غیرمستقیم بر سیستم غدد درون ریز حیوانات و انسان تأثیر بگذارند (۲) (شکل (۳)).



شکل (۳): فراریت و قطبیت EPها (۶)

درصد مجاز هستند. برخی از فیلترهای آلی UV می‌توانند در محصولات تبدیلی (TP<sup>۶</sup>) در نتیجه تجزیه نوری تحت تأثیر تابش خورشیدی یا با تجزیه زیستی در محیط به ترکیبات دیگری تبدیل شوند و به همین خاطر در طول نظارت شناسایی نمی‌شوند. مشابه با سایر EPها، مطالعات تجربی بیش‌تری باید در مورد سرنوشت مخلوط فیلترهای UV در محیط انجام شود (۴۹).

علاوه بر این، قوانین اروپا شامل مقررات دیگری در مورد EPها می‌باشد، مانند: REACH<sup>۷</sup> (مقررات (EC) شماره ۲۰۰۶/۱۹۰۷ پارلمان اروپا و شورای مورخ ۱۸ دسامبر ۲۰۰۶ در مورد ثبت، ارزیابی، مجوز و محدودیت مواد شیمیایی) (۵۰) و یا مقررات مربوط به تعیین روش‌های اعطای مجوز و نظارت بر ترکیبات دارویی برای مصارف پزشکی و دامپزشکی (مقررات پارلمان اروپا و شورای اصلاح مقررات (EC) شماره ۲۰۰۴/۷۲۶ تشریح رویه‌های جامعه برای مجوز و نظارت بر فرآورده‌های دارویی برای استفاده پزشکی و دامپزشکی و ایجاد آژانس دارویی اروپا) (۵۱). بر اساس دستورالعمل چارچوب آب (WFD<sup>۸</sup>) (دستورالعمل EC/۶۰/۲۰۰۰ پارلمان اروپا و شورای ۲۳ اکتبر ۲۰۰۰ مبنی بر ایجاد چارچوبی برای اقدام جامعه در زمینه سیاست آب)، کشورهای عضو اتحادیه اروپا مواد نوظهوری را که به دلیل فرکانس بالا و ریسک بالقوه برای سلامتی انسان و محیط زیست به

آفتاب مانند اتیل هگزیل متوکسی سینامات،<sup>۱</sup> EHMHC باشد. اکتوکریلین،<sup>۲</sup> OC؛ بوتیل متوکسی دی بنزوئیل متان،<sup>۳</sup> BM-DBM. بنزوفنون-۳،<sup>۴</sup> BP3 و غیره، و پایش آن‌ها صد کیلوگرم در سال را به عنوان پتانسیل آلودگی آب با فیلترهای UV پیش‌بینی می‌کند. آن‌ها در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، آب دریا، آب‌های زیرزمینی، رسوبات و موجودات زنده شناسایی شده‌اند. با این حال، منبع اصلی آلودگی، پساب‌های حاصل از WWTPs گزارش شده است. مشابه با سایر دسته‌های EPها، WWTPها در حذف فیلترهای آلی UV بسیار موثر نیستند. راموس<sup>۵</sup> و همکاران یک مرور کلی در مورد ظهور و سرنوشت گروه بزرگی از فیلترهای UV در تصفیه خانه‌های مختلف فاضلاب انجام دادند (۶). اگر غلظت این ترکیبات در محیط‌های آبی به سطوح مورد نظر برسد، کیفیت پساب فاضلاب به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد و استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده محدود می‌شود (۴۷ و ۶). به همین دلیل وقوع و اثرات منفی آن‌ها بر محیط آبی و سلامت انسان نیاز به بررسی کامل دارد. تجزیه و تحلیل این ترکیبات در ماتریس‌های پیچیده مانند فاضلاب همانند سایر EPها به تکنیک‌های حساس و بسیار خاص مانند LC-MS/MS نیاز دارد. در حال حاضر، قانون اروپا حداکثر غلظت مجاز را برای هر فیلتر UV در محصولات آرایشی و بهداشتی مشخص کرده است (قوانین شماره ۲۰۰۹/۱۲۲۳ پارلمان اروپا و شورای ۳۰ نوامبر ۲۰۰۹ در مورد محصولات آرایشی) (۴۸). تعداد ۲۷ فیلتر UV در قوانین اتحادیه اروپا در غلظت‌های بین ۱۵-۲

<sup>۶</sup> Transformation Products

<sup>۷</sup> Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals

<sup>۸</sup> Water Framework Directive

<sup>۱</sup> Ethylhexyl Methoxycinnamate

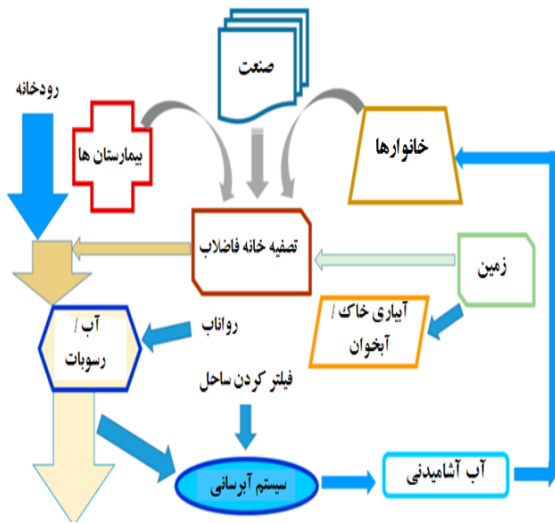
<sup>۲</sup> Octocrylene

<sup>۳</sup> Butyl Methoxydibenzoylmethane

<sup>۴</sup> Benzophenone-3

<sup>۵</sup> Ramos





شکل (۴): منشاء EPها و مسیرهای آنها در محیط زیست (۶)

EPها می توانند به راحتی به آلاینده های اکوسیستم های رودخانه های تبدیل شوند که پساب های ناکافی تصفیه شده در آنها تخلیه می شوند (شکل (۵)). همچنین آنها می توانند در رسوبات و گیاهان و جانوران رودخانه به دلیل ماندگاری تجمع زیستی یابند. تجزیه زیستی، تجزیه شیمیایی و تجزیه نوری آنها (در غیاب نور) می تواند با سرعت بسیار کم تری رخ دهد. از این رو، حذف آنها از محیط های آبی تقریباً ناچیز است (۵۴). اگرچه، برخی از جمعیت های میکروبی می توانند با اثر زیست کشی EPها مبارزه کنند و به طور عملی آنها را تغییر دهند و نرخ تجزیه آنها را افزایش دهند. مطالعات کمی در مورد تجزیه زیستی طبیعی EPها مانند هورمون ها، برخی مواد شوینده یا ترکیبات دارویی وجود دارد. معمولاً این مطالعات در آزمایشگاه ها انجام می شوند، اما تضمینی مبنی بر اینکه که سیستم های آزمایشگاهی شرایط واقعی محیط را به خوبی تکرار کنند، وجود ندارد و اجرای این نتایج در مقیاس بزرگ هنوز به اندازه کافی مشخص نشده است (۲۰۳). بنابراین، توسعه مطالعات و تحقیقات برای یافتن و بهره برداری

این اقدام نیاز دارند، بر اساس فهرست نظارتی تهیه شده از EPها، نظارت می کنند (۵۲).

### منابع آلودگی و سرنوشت EPها در محیط زیست

EPها، طیف وسیعی از ترکیبات با برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاص، مشکلات متعددی را در ارتباط با حذف آنها از محیط زیست ایجاد می کنند. به عنوان مثال، در تصفیه آب های سطحی و فاضلاب-هایی که حاوی EPها هستند، باید هم فعل و انفعالات بین آلاینده ها و هم فعل و انفعالات بین آلاینده ها با شرایط محیطی مختلف، مانند توالی فصول، شدت تابش خورشید، دما، مقاومت های هیدرولیکی و غیره در نظر گرفته شود. EPها را می توان به دلیل ویژگی های خاصی نظیر ماندگاری در طول حمل و نقل طولانی و تجمع زیستی، در مناطق مختلفی یافت که در آنها هرگز استفاده نشده اند (۲۰۵۳).

EPها می توانند از منابع مختلف نقطه ای یا پراکنده در محیط ظهور یابند و سپس از طریق چندین راه یا مکانیسمی که عمدتاً به خواص EPها (قطبیت، فراریت، ماندگاری و غیره) و همچنین ویژگی های محیط بستگی دارد، به خاک، اتمسفر یا بدنه های آبی برسند (۳). EPها و برخی از متابولیت های آنها از مسیرهای مختلفی از صنایع، خانوارها، بیمارستان ها، زمین ها و غیره در محیط رها می شوند (شکل (۴)) و در نهایت وارد آب های سطحی و زیرزمینی می شوند (۲۳).

از جمعیت های میکروبی متناسب با دسته های مختلف EPها یا حتی هدف گذاری برای ترکیبات خاص، تکلیفی با چشم اندازهای بزرگ برای محققان است.



شکل (۵): بروز سمیت EPها از منابع مختلف آلودگی (۶)

است، در حالی که آگاهی و شناخت از رفتار و خطرات یا ریسک های زیست محیطی آنها واقعاً کافی نیست. ادبیات و متون علمی، استفاده از ابزارهای خاص از قبیل ارزیابی ریسک زیست محیطی (ERA<sup>۱</sup>)، تجزیه و تحلیل کمی رابطه ساختار - فعالیت (QSAR<sup>۲</sup>)، رابطه بین خواص فیزیکوشیمیایی و رفتار و سرنوشت زیست محیطی (PPEF<sup>۳</sup>)، به کمک ابزارهای نرم-را برای ارزیابی اثرات سمیت EPها توصیه می کند (۴۱ و ۲۰). مطالعات موجود در مورد ریسک های ناشی از EPها در محیط زیست و به ویژه در آب، سمیت آنها را بر روی گیاهان و جانوران آبرزی (ماهی،

اثرات بهداشتی و زیست محیطی ناشی از EPها بروز ریسک های زیست محیطی و سلامتی در انسان در ارتباط با EPها ناشی از سمیت آنها است. EPها بسیار سمی در نظر گرفته می شوند، زیرا در غلظت های نانوگرم در لیتر (ng/L) می توانند اثرات نسبی از قبیل تداخل هورمونی در ماهی ها، سمیت ژنتیکی، سرطانزایی در حیوانات آزمایشگاهی، اختلالات غدد درون ریز و سمیت ایمنی را هم برای انسان ها و هم برای موجودات آبرزی نشان دهند، مشخص نیست و/یا تخمین اثرات درازمدت اکثر EPها بر محیط زیست و سلامتی انسان دشوار است و این هنوز یک نگرانی

<sup>1</sup> Environmental Risk Assessment

<sup>2</sup> Quantitative analysis of the Structure-Activity Relationship

<sup>3</sup> Properties and Environmental Behavior and Fate

جلبک، دافنیا) در نظر گرفته است، اما همچنین بر ریسک‌های سلامتی انسان به‌ویژه در سیستم‌های بازیابی و استفاده مجدد آب تمرکز کرده است. با این حال، با توجه به غلظت کم این آلاینده‌ها در جریان‌های مایع، جمع‌آوری داده‌ها در مورد پارامترهای سمیت و در معرض قرار گرفتن انسان چالش‌های علمی واقعی هستند (۵۵). در این زمینه، دستورالعمل‌هایی توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده و سازمان جهانی بهداشت فراهم شده است که روش-هایی را برای ارزیابی ریسک EPها بر روی سلامتی انسان و تعیین عوامل مواجهه با مواد شیمیایی مختلف ارائه می‌دهند. در اتحادیه اروپا، پروتکل‌ها و روش-هایی برای تجزیه و تحلیل ریسک‌های تولید شده توسط مواد شیمیایی، از سال ۱۹۸۰ (برای "مواد شیمیایی جدید") توسعه یافته است، سپس، در آغاز دهه ۱۹۹۰، محصولات دارویی مورد توجه قرار گرفتند. یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌ها و تحولات در مورد ثبت و ارزیابی مجوز مواد شیمیایی توسط مقررات REACH ارائه شده است (۶).

بررسی‌ها در زمینه ریسک‌های اکولوژیکی و سلامتی انسان، به عنوان یک اولویت، بر روی گروه‌های آلاینده‌ها در فاضلاب و آب‌های سطحی متمرکز شده

است. علاوه بر این، برخی از مطالعات به تجمع EPها در رسوبات پرداختند، که معمولاً به عنوان یک مخزن برای EPها و سمیت دیده می‌شوند (۶). علاوه بر این، اگر ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات مجدداً جابجا شده و در جریان مایع متحرک (مثلاً در هنگام سیل) معلق شوند، رسوبات می‌توانند به منبع آلودگی با EPها برای گیاهان و جانوران آبی تبدیل شوند (شکل (۵)). EPهای مرتبط با ذرات جامد می‌توانند به طور بالقوه در دسترس موجودات اعماق دریا قرار گیرند و اگر سطح تجمع زیستی به اندازه کافی بالا باشد، می‌توانند مواجهه حاد و مزمن ایجاد کرده و به سطوح تغذیه‌ای بالاتر گسترش یابند (۵۶).

در آب رودخانه‌ها، EPها می‌توانند دستخوش تبدیل‌های احتمالی به موادی با سمیت کم‌تر شوند. همچنین محصولات سمی‌تر نیز می‌توانند جذب رسوبات شده و تجمع یابند یا به سایر آب‌های حاوی گیاهان و جانوران حساس یا محافظت شده و یا به آب‌های زیرزمینی استفاده شده به عنوان منبع آب آشامیدنی، منتقل شده و بسته به طبقه و ترکیبات، اثرات بهداشتی و زیست محیطی خود را آشکار نمایند (جدول (۱)).

جدول (۱): منابع، اثرات بهداشتی و زیست محیطی EPها (۵۷)

| طبقات                                     | منابع   | اثرات بهداشتی  | اثرات زیست محیطی   |
|---|---|--|--|
| هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) | آسفالت مورد استفاده در جاده‌سازی، داروها، رنگ‌ها، پلاستیک‌ها و آفت‌کش‌ها. آن‌ها همچنین می‌توانند در موادی مانند نفت خام، زغال سنگ، قطران زغال سنگ، کرئوزوت و قیر پشت بام یافت شوند. | • سرطان‌زا و پتانسیل تشکیل نوروکسین<br>• اثرات کوتاه مدت مانند سردرد و حالت تهوع   | • سمیت حاد متوسط تا زیاد برای آبزیان و پرندگان<br>• در غلظت‌های بالا در خاک، می‌تواند اثرات نامطلوبی بر روی بی‌مهرگان زمینی از جمله بر تولید مثل، نمو و ایمنی داشته و ممکن است باعث ایجاد تومور شود. |
| آفت‌کش‌ها                                 | روان‌آب‌های کشاورزی و فضاهای سبز شهری و پارک‌ها (شامل علف‌کش‌ها و تهره‌کش‌ها)   | • اثرات کوتاه مدت مانند سردرد و حالت تهوع<br>• اثرات مزمن مانند سرطان، آسیب تولید مثل، و اختلال غدد درون‌ریز   | • می‌تواند خاک، آب، چمن و سایر گیاهان را آلوده کند.<br>• می‌تواند باعث مرگ و میر در حشرات و علف‌های هرز شود.<br>• برای سایر موجودات از جمله پرندگان، ماهی‌ها، حشرات مفید و گیاهان غیر هدف سمی است.   |
| استروژن‌های محیطی                         | مواد شیمیایی مصنوعی موجود در مواد غذایی، محصولات حیوانی و گیاهی و برخی از اقلام خانگی   | • با سرطان سینه در زنان و سرطان پروستات در مردان مرتبط بوده است.<br>• استروژن دارای طیف گسترده‌ای از اثرات بر روی بدن و مغز، از جمله در پردازش عاطفی از طریق عوامل عصبی روانی است. | • فیزیولوژی ماهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند بر رشد تولید مثل در حیوانات اهلی و وحشی تأثیر بگذارد.<br>• می‌تواند اثرات سایر تنش‌های محیطی را بر گیاه کاهش دهد.                               |
| فتالات‌ها                                 | مواد شیمیایی صنعتی که برای نرم کردن پلاستیک PVC و به عنوان حلال در لوازم آرایشی و سایر محصولات مصرفی استفاده می‌شود.  | • آسیب به کبد، کلیه‌ها و ریه‌ها<br>• به سیستم تولید مثل آسیب می‌رساند و می‌تواند باعث ناباروری و مشکلات باروری در مردان شود.   | • اثرات سمیت در حیوانات از جمله پلاستیک PVC و به عنوان حلال در لوازم آرایشی و سایر محصولات مصرفی استفاده می‌شود.   |
| ترکیبات دارویی                            | ورود از طریق فاضلاب خانوارهای دارای بیماران مصرف‌کننده دارو   | • توسعه سویه‌های باکتری مقاوم به آنتی‌بیوتیک که می‌تواند منجر به تهدید جدی برای سلامت انسان شود.   | • توسعه سویه‌های باکتری مقاوم به آنتی‌بیوتیک که می‌تواند اکوسیستم‌های باکتریایی طبیعی در محیط را به شدت مختل کند.<br>• تحت شرایط خاص تأثیر مستقیم بر تولید مثل ماهی                                  |
| محصولات مراقبت شخصی                       | محصولات بهداشتی، زیبایی و پاک‌سازی  |  | • تأثیر منفی بر اکوسیستم‌های آبی، به ویژه مربوط به اختلالات غدد درون‌ریز و اختلالات تولید مثل<br>• ایجاد لایه‌ای روی سطح آب که مانع تبادلات گازی بین هوا و دریا می‌شود.                              |

## ادامه جدول (۱):

|   |  |
|---|--|
| <p><b>فیلترهای UV</b> در محصولات ضد آفتاب و سایر • فیلترهای شیمیایی خاصی مختل کننده • ایجاد لایه‌ای روی سطح آب که مانع محصولات موضعی یافت می‌شود. غدد درون ریز بالقوه هستند. تبادلات گازی بین هوا و دریا می‌شود.</p> <p>• مختل کننده غدد درون ریز حیوانات</p> <p>• اثرات سمی بر جانوران دریایی</p> <p>• خاصیت سرطان‌زایی دارند.</p> <p>• شعله بروم و کلردار</p> <p>• بازدارنده‌ها می‌توانند سمیت آتش را از جمله سرعت رشد آتش و سمیت دود را افزایش دهند.</p> | <p>به عنوان پوشش استفاده می‌شود.</p> <p><b>بازدارنده‌های آتش</b></p>                     |
| <p>• شواهدی از خواص سرطان‌زایی و جهش‌زایی محصولات جانبی در حیوانات کوچک وجود دارد.</p>  | <p>ناشی از زباله‌های خانگی، بیمارستانی و گندزدایی صنعتی.</p> <p><b>محصولات جانبی</b></p> |

برای برآورد ریسک‌های ایجاد شده توسط EPها از منابع مختلف نسبت به پذیرنده‌های مختلف، شناسایی آنها و تعیین دوزها و مواجهه‌های حاد و مزمن ضروری است. اطلاعات مورد نیاز برای تخمین و تجزیه و تحلیل ریسک در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی در حال توسعه مطالعات شیمی محیطی، سم‌شناسی و اکوتوکسیکولوژی است که می‌تواند داده‌های اصلی و مجموعه‌های کاملی از آزمایش‌ها را طبق مقررات موجود تولید کند. این مراحل می‌توانند تشخیص و شناسایی منابع (خطرات)، مسیرها (حمل و نقل و سرنوشت EPها)، پذیرنده‌ها و پیامدها، از جمله در معرض قرار گرفتن انسان (ارتباط آلاینده) را تسهیل کنند (۵۸).

در حال حاضر، ارزیابی ریسک زیست‌محیطی (ERA<sup>۲</sup>) با محاسبه مقدار نسبت بین غلظت محیطی پیش‌بینی شده (PEC<sup>۳</sup>) و غلظت بدون تأثیر

اگر مخلوطی از انواع EPهای مختلف موجود باشد، اثرات سمی ناشی از آنها می‌تواند تجمع یابد و برهمکنش‌های هم‌افزایی یا متضاد ایجاد کند، که منجر به اصطلاح "اثر کوکتل"<sup>۱</sup> می‌شود، به طوری که دشواری تجزیه و تحلیل ریسک افزایش می‌یابد. در این زمینه، اصل احتیاط باید به طور مداوم اعمال شود تا از محیطی پاک و سالم برای نسل‌های آینده اطمینان حاصل شود، به همین دلیل است که مطالعات پیش‌تر در مورد ریسک‌های ناشی از EPها (در نتیجه رفتار محیطی خاص، سمیت و اثرات آنها بر محیط زیست و سلامت انسان) ضروری می‌باشد (۳۸ و ۳۶).

اغلب، شناسایی منشأ EPها و ریسک‌های ایجاد شده توسط آنها دشوار است، تا زمانی که می‌توانند از منابع انتشار آلودگی مانند نش‌ و تخلیه فاضلاب، رواناب‌های سطحی در مناطق شهری و زمین‌های کشاورزی و غیره منشأ بگیرند (شکل‌های (۴-۶)).

ترکیبات می‌توانند به یک اثر سمی بالاتر و قوی‌تر از سمیت ترکیب منفرد منجر شوند.

<sup>۲</sup> Environmental Risk Assessment

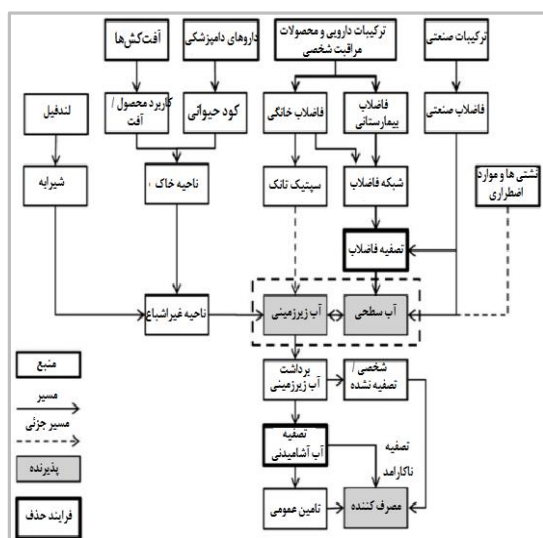
<sup>۳</sup> Predicted Environmental Concentration

<sup>۱</sup> cocktail effect: اصطلاح "اثر کوکتل" برای تعریف سمیت ناشی از ترکیب چند آلاینده استفاده می‌شود. در واقع، برخی از مواد شیمیایی در غلظت‌های کم‌تر از حد آستانه مجاز خطرناک نیستند، اما در صورت ترکیب با سایر آلاینده‌ها می‌توانند سمی باشند. بنابراین، مخلوطی از

از اجزای مخلوط که منجر به یک اثر سم‌شناسی مشترک می‌شود.

با این حال، این دو رویکرد نمی‌توانند اثرات واقعی مخلوط EPها را توصیف کنند، برخی از مطالعات نشان می‌دهند که تخمین سمیت با آزمایش مخلوطها می‌تواند منجر به سمیت بالاتر از مقدار واقعی شود، در حالی که تخمین‌های منفرد می‌تواند منجر به سمیت کم‌تری نسبت به مقدار واقعی شود.

ارزیابی و تجزیه و تحلیل ریسک از مهم‌ترین تحقیقات مربوط به EPها هستند، زیرا می‌توانند مدیریت آلاینده‌ها را در یک رویکرد "مبتنی بر ریسک" با ارائه پشتیبانی برای تصمیم‌گیری در مورد گزینه‌های اصلاح مناسب هم از نظر کاهش ریسک و هزینه و هم اثربخشی و بهره‌وری به صورت یکپارچه امکان‌پذیر سازد (شکل ۷)). ارزیابی ریسک یکپارچه ارتباط ریسک را با ذینفعان برای تجزیه و تحلیل و تصمیم‌گیری در مورد کاهش ریسک تسهیل می‌کند (۵۶ و ۶).



شکل (۶): منابع و مسیرهای EPها برای رسیدن به پذیرنده‌های

مختلف (خاکستری) (۶)

پیش‌بینی شده ( $PNEC^1$ ) برای یک ماده واحد انجام می‌شود (۵۹). تا حدودی اخیراً، توسعه مدل‌های فارماکوکینتیک مبتنی بر تبدیل‌های زیستی فیزیولوژیکی در موجودیت‌های تحت‌تاثیر EPها امکان توصیف دریافت، توزیع، متابولیسم و دفع EPها را فراهم کرده است (۳). با این حال، در بیش‌تر موارد، با پرداختن به رابطه برخی از EPها با محیط و ریسک‌های مرتبط، مشخص کردن مسیر از منبع به پذیرنده به خصوص برای مواد جدید دشوار است، زیرا این مسیر به عوامل بسیاری در ارتباط با خود مواد از قبیل منبع (خطر)، شرایط محیطی و تصفیه‌های بالقوه‌ای که EPها در معرض آن قرار می‌گیرند، بستگی دارد (شکل ۷)). حل این مشکلات در سریع‌ترین زمان ممکن بهترین تصمیمات را برای مدیریت ریسک تسهیل می‌کند. علاوه بر این، برآورد و تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایجاد شده توسط مخلوطی از EPها، استراتژی‌های جدیدی را تحمیل می‌کند، که باید واقعیت را با دقت هر چه تمام‌تر باز تولید کند، زیرا اگر تنها یک ماده از مخلوط یا هر ماده به طور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل گرفته بگیرد، سمیت مخلوط را می‌توان کم یا بیش از حد برآورد کرد در ادبیات علمی، دو نوع مشکل در این زمینه مطرح شده است (۵۹ و ۶۰):

- ارزیابی سمیت مخلوط، زمانی که نتایج فقط برای آن مخلوط معتبر است و نمی‌توان آن را به سناریوهای سایر مواجهه‌ها تعمیم داد.

- ارزیابی با در نظر گرفتن اجزای مخلوط، زمانی که نتایج را می‌توان به دو روش تفسیر کرد: با تجمع سمیت اجزا یا در نظر گرفتن عملکرد مستقل هر یک

<sup>1</sup> Predicted No-Effect Concentration

باشند. در سطح کمیسیون اروپا، تأکید می شود که اگر قرار گرفتن در معرض مواد شیمیایی ارزیابی شود، لازم است اثر تجمعی نشرهای قبلی که می تواند غلظت های باقی مانده یا پس زمینه ایجاد کند، نیز در نظر گرفته شود (۶).

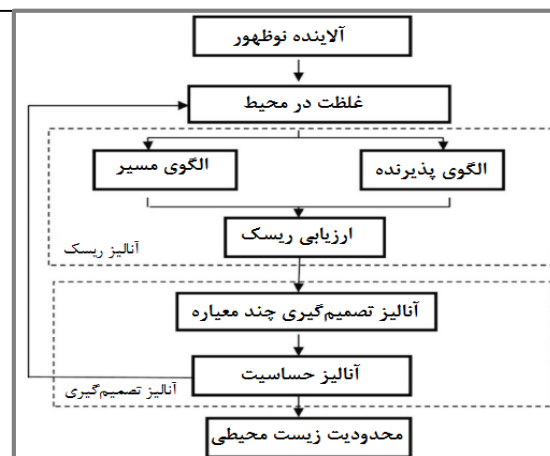
### روش های ضریب خطر و ضریب ریسک

روش های ضریب خطر (HQ) و ضریب ریسک (RQ<sup>۲</sup>) هر دو اغلب برای توصیف طبقه خطر یک ماده شیمیایی استفاده می شوند. RQ نسبت تخمین نقطه ای قرار گرفتن در معرض و تخمین نقطه ای اثرات است که در درجه اول توسط EPA<sup>۳</sup> ایالات متحده برای ارزیابی خطر زیست محیطی آفت کش ها استفاده می شود. HQ ضریب غلظت محیطی اندازه گیری یا برآورد شده (MEC<sup>۴</sup>) و غلظت اثر (EC<sup>۵</sup>) است (۳۸).

روش ضریب ریسک یکی از پرکاربردترین رویکردها برای ارزیابی ریسک اکولوژیکی ناشی از EP های شناسایی شده، است. RQ بر اساس معادله (۱) محاسبه می شود (۶۲ و ۶۱):

$$RQ = \frac{MEC}{PNEC} \quad (1)$$

که در آن MEC غلظت محیطی اندازه گیری شده آلاینده را نشان می دهد. PNEC غلظت بدون اثر پیش بینی شده آلاینده است. RQ اساساً شاخصی برای تعیین کمیت ریسک زیست محیطی مواد شیمیایی ارائه می دهد که شامل مقایسه غلظت محیطی آلاینده ها با غلظت هایی است که باید عدم وجود اثرات نامطلوب



شکل (۷): تجزیه و تحلیل تصمیم گیری مبتنی بر ریسک (۶۲)

### مروری بر ارزیابی ریسک های ایجاد شده توسط

#### EP ها

اگرچه EP ها اغلب در ماتریس های محیطی مختلف در جهان رخ می دهند، اما آگاهی از رفتارها و خطرات و یا ریسک های زیست محیطی آنها بسیار ناکافی است. با توجه به پیچیدگی و گروه های متنوع EP ها، توسعه روش های قابل اعتماد برای ارزیابی ریسک این آلاینده ها ضروری است (۳۸). ریسک های زیست محیطی و سلامتی ناشی از EP ها با توجه به ایجاد حمایت تصمیم گیری برای اطمینان از حفاظت از سیستم های اکولوژیکی، به ویژه محیط زیست آبی، و همچنین سلامتی انسان ارزیابی می شوند. افراد مورد ارزیابی ریسک سلامتی انسان افرادی هستند که ممکن است از طریق مصرف آب آشامیدنی یا مصرف مواد غذایی آلوده یا محصولات گیاهی آبیاری شده با آب بازیافتی که به اندازه کافی تصفیه نشده است، با آلاینده های سمی تماس مستقیم یا غیرمستقیم داشته

<sup>1</sup> Hazard Quotient

<sup>2</sup> Risk Quotient

<sup>3</sup> Environmental Protection Agency

<sup>4</sup> Measured Environmental Concentration

<sup>5</sup> Effect Concentration

بر ارگانسیم‌های هدف را بر اساس داده‌های تجربی تضمین نمایند (۶۳).

هنگامی که تجزیه و تحلیل ریسک موکداً برای محیط‌های آبی انجام می‌شود، ارزیابی غلظت‌های شناسایی شده در محیط و سمیت مزمن EPها برای موجودات آبی، برای تعیین RQ ضروری است (۶۴). PNEC از تقسیم مقدار سمیت حاد (کوتاه مدت) یا مزمن (بلند مدت) بر یک فاکتور ارزیابی (AF<sup>۱</sup>) حاصل می‌شود. سمیت حاد را می‌توان به عنوان میانه غلظت کشنده (LC50<sup>۲</sup>) یا میانگین غلظت موثر (EC50<sup>۳</sup>) در نظر گرفت که در این صورت AF برابر ۱۰۰۰ است. سمیت مزمن با غلظت بدون اثر قابل مشاهده (NOEC<sup>۴</sup>) مشخص می‌شود، که در این صورت بسته به سطوح تغذیه‌ای، AF می‌تواند ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ باشد. در این صورت، سطح ریسک می‌تواند (۶۵ و ۶۶):

(۱) پایین باشد، زمانی که  $RQ \leq 0.1$  باشد.

(۲) متوسط باشد، زمانی که  $0.1 < RQ < 1$  باشد.

(۳) بالا باشد، زمانی که  $RQ \geq 1$  باشد.

داس سانتوس<sup>۵</sup> و همکاران، ارزیابی ریسک پیش‌بینی شده ناشی از EPها [۹ ماده شیمیایی مختل کننده غدد درون ریز (EDCs) و ۲۶ ماده شیمیایی فعال دارویی (PhACs)] را در رسوبات دریایی محل مجاور تخلیه فاضلاب زیردریایی در امتداد ساحل ایالتی سائوپائولو (برزیل) با استفاده از روش ضریب ریسک مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش، ارزیابی ریسک زیست محیطی پیش‌بینی شده با در نظر گرفتن

غلظت‌های زیست محیطی اندازه‌گیری شده و نقاط پایانی سمیت زیست محیطی گزارش شده در منابع، حاکی از پتانسیل ریسک بالا در برخی از SSOs<sup>۶</sup> مورد بررسی بود (۶۷).

سسن<sup>۷</sup> و همکاران در پژوهشی، ارزیابی خطرات زیست محیطی ناشی از ۴۸ آلاینده نوظهور را در محیط‌های آبی (آب سطحی و فاضلاب) اسلوونی را با استفاده از ضریب ریسک مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، دو فیلتر UV (اکسی بنزون و دی اکسی بنزون)، استرون و تریکلوزان، علیرغم فراوانی کم، خطر محیطی متوسط تا بالا را با RQ بین ۰/۲۸۲ (برای اکسی بنزون) و ۱۵/۵ (برای استرون) نشان دادند (۶۸).

پنگ<sup>۸</sup> و همکاران پیچیدگی و تنوع EPها (باقیمانده‌های داروهای انسانی شامل ۸ آنتی بیوتیک، ۹ متابولیت و ۱۲ داروی متفرقه) را در آب‌های سطحی ووهان، چین، در منطقه دلتای رودخانه یانگ تسه مورد بررسی قرار دادند و از ارزیابی ریسک اکولوژیکی غربالگری برای ارزیابی خطرات اکولوژیکی بالقوه بر اساس رویکرد ضریب خطر استفاده کردند. آن‌ها از ۹۵ درصد غلظت محیطی اندازه‌گیری شده (MEC95) (یا غلظت منفرد) به عنوان مقادیر MEC استفاده کردند. برای غلظت اثر، آن‌ها از ۵ درصد غلظت‌های اثر حاد (EC05) گزارش شده توسط پایگاه داده ECOTOX (USEPA) استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین نسبت باقی‌مانده‌های دارویی در پایین دست رودخانه یانگ تسه و در دریاچه‌های نزدیک به

<sup>6</sup> Submarine Sewage Outfalls

<sup>7</sup> Cesen

<sup>8</sup> Peng

<sup>1</sup> Assessment Factor

<sup>2</sup> Median Lethal Concentration

<sup>3</sup> Mean Effective Concentration

<sup>4</sup> No Observable Effect Concentration

<sup>5</sup> Dos Santos



بالاتر از PNECها و NO<sub>2</sub> تعداد کل نمونه‌ها را نشان می‌دهد. RQf مطابق جدول (۲) در ۵ گروه طبقه‌بندی می‌شود.

جدول (۲): توصیف ریسک بر اساس ضریب ریسک مبتنی بر فرکانس (۶۴)

| توصیف ریسک                                 | محدوده مقادیر RQf       |
|--|-------------------------|
| ریسک زیست محیطی بالا                       | $RQf \geq 1$            |
| ریسک زیست محیطی متوسط                      | $1 > RQf \geq 0.1$      |
| اثر نامطلوب در مقیاس کوچک (ریسک قابل تحمل) | $0.1 > RQf \geq 0.01$   |
| محدود (ریسک ناچیز)                         | $0.01 > RQf \geq 0.001$ |
| بدون ریسک (ایمن)                           | $RQf = 0$               |

ارزیابی ریسک‌های سلامتی مرتبط با EPها بر اساس پاسخ برخی از گونه‌های بیولوژیکی به رابطه دوز-پاسخ برای طیف خاصی از غلظت‌های EP است. اگرچه اثرات آنها بر روی انسان خیلی مورد بررسی قرار نگرفته است، این اثرات نامطلوب بر سلامتی انسان عمدتاً بر اساس مدل‌ها اندازه‌گیری می‌شوند. این مدل‌ها باید اعتبار سنجی شوند تا بطور کمی توانایی EPها برای ایجاد تغییرات عمده در سلامتی انسان و تعیین ریسک‌های قابل توجه و مهم تخمین زده شوند (۶۴). ریسک غیرسرطان‌زایی ناشی از بلع EPها را می‌توان با استفاده از شاخص خطر (HI<sup>۲</sup>)، محاسبه شده برای مسیرهای مواجهه متفاوت (استنشاق، بلع، تماس پوستی و غیره) با استفاده از معادله (۴) ارزیابی کرد (۶۶):

$$HQ_{\text{ingestion}} = \frac{CID_{\text{ingestion}}}{RfD} \quad (4)$$

شهر مرکزی یافت شد و غلظت‌های بالایی (بیش‌تر از ۱۲۰ نانوگرم بر لیتر) از کافئین، متفورمین، تیوبرومین و والسارتان در نمونه‌های آب سطحی شناسایی شدند (۶۹).

RQ محاسبه شده با معادله (۱) به سمیت EPها بر اساس غلظت‌های محیطی اندازه‌گیری شده اشاره دارد، اما تغییرات در غلظت در طول زمان را، که موجودات آبی را، به ویژه در مورد ترکیبات با حضور طولانی مدت در بدنه‌های آبی، در معرض سطوح سمیت بالاتر از حد تحمل‌پذیری قرار می‌دهد، در نظر نمی‌گیرد. در این شرایط، مشکل تجزیه و تحلیل ریسک متمایز برای EPهای مکرر شناسایی شده و برای EPهای گهگاه شناسایی شده وجود خواهد داشت. این مشکل را می‌توان با وارد کردن عامل فرکانس در محاسبه RQ مرتفع نمود. در این زمینه، ژو<sup>۱</sup> و همکاران یک ضریب ریسک جدید (RQf) را بر اساس متوسط مقدار RQ و فرکانس MECهای بیش از PNEC پیشنهاد کردند و در ارزیابی ریسک‌های بالقوه ناشی از مواد شناسایی شده به کار بردند. مقدار RQf را می‌توان با توجه به معادلات (۲) و (۳) محاسبه کرد (۶۴):

$$RQf = RQ \times F = \frac{MEC}{PNEC} \times F \quad (2)$$

$$F = \frac{NO_1}{NO_2} \quad (3)$$

که RQf ضریب ریسک مبتنی بر فرکانس و تکرار است، در واقع، یک ضریب ریسک بهینه پس از در نظر گرفتن فرکانس‌های MECهای بیش‌تر از PNECها، ایجاد می‌شود. F فرکانس MECهای بیش‌تر از PNECها است. NO<sub>1</sub> تعداد نمونه‌هایی با غلظت

<sup>2</sup> Hazard Index

<sup>1</sup> Zhoe

اثرات سمی مشترک و توام مخلوطی از آلاینده‌ها می‌تواند منجر به فعل و انفعالات هم افزایی یا آنتاگونیستی شود که منجر به اثر کوکتل خواهد شد (۷۰). تحقیقات در مورد EPها باید گسترش یابد و در راستای یافتن روش مناسب برای ارزیابی ریسک زیست محیطی حمایت شود. دالساندرو<sup>۸</sup> و همکاران در ایتالیا نشان دادند که آنتراسن، روی و کروم فراوان‌ترین ترکیبات شیمیایی در نمونه‌های رسوبات تجزیه و تحلیل شده در سایت آگوستا واقع در زیرمنطقه MSFD Ionian دریای مدیترانه مرکزی بودند. این یافته ما را به توجه بیشتر به ارزیابی خطر آلودگی مشترک و توام ترکیبات مختلفی از EPها و سایر آلاینده‌ها سوق می‌دهد (۷۱).

در بیش‌تر موارد، مواجهه انسان تنها در رابطه با یک آلاینده رخ نمی‌دهد، بلکه مخلوطی از انواع مواد شیمیایی در مواجهه دخیل هستند. به همین دلیل، محققان روش‌هایی را برای ارزیابی ریسک‌های سلامتی مرتبط با قرار گرفتن در معرض مجموعه‌های مختلفی از آلاینده‌ها توسعه داده‌اند. کل ریسک‌های بالقوه غیرسرطان‌زای ناشی از مسیرهای مختلف را می‌توان با شاخص خطر تجمعی ( $HI_{cum}$ )<sup>۹</sup> ارزیابی کرد، همانطور که در معادله (۷) بیان شده است (۷۲):

$$RfD = \Sigma (HI_{ingestion} + HI_{derm}) \quad (7)$$

به طور مشابه، برای  $HI_{cum} > 1$ ، اثرات نامطلوبی بر سلامتی انسان وجود دارد (۷۲). فابریگا<sup>۱۰</sup> و همکاران

که در آن  $CDI$ <sup>۱</sup> نشان دهنده دریافت مزمن روزانه EPها بوسیله بلع بر حسب  $mg/(kg \cdot day)$  است، و  $RfD$ <sup>۲</sup> دوز مرجع برای EPها بر حسب  $mg/(kg \cdot day)$  است. برای  $HI > 1$ ، اثرات نامطلوب سلامتی ممکن است رخ دهد، در حالی که برای  $HI < 1$ ، اثرات آن بر روی سلامتی ناچیز است. مقدار  $CDI$  را می‌توان با توجه به معادله (۵) تخمین زد (۶۱):

$$CDI = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (5)$$

که در آن  $C$  غلظت EP در آب است.  $IR$ <sup>۳</sup> به معنای میزان دریافت آب آلوده است (برای بزرگسالان  $1/41$  لیتر در روز و برای کودک  $0/87$  لیتر در روز تعیین می‌شود).  $EF$ <sup>۴</sup> فرکانس مواجهه (۳۶۵ روز در سال) است.  $ED$ <sup>۵</sup> مدت زمان مواجهه (۷۰ سال برای بزرگسالان، ۶ سال برای کودکان) است.  $BW$ <sup>۶</sup> وزن بدن است (۷۰ کیلوگرم برای بزرگسالان، ۲۰ کیلوگرم برای کودکان).  $AT$ <sup>۷</sup> میانگین طول عمر است (۲۵۵۵۰ روز برای بزرگسالان، ۲۱۹۰ روز برای کودکان).  $RfD$  را می‌توان طبق معادله (۶) محاسبه کرد (۶۱):

$$RfD = LD_{50} \times 4 \times 10^{-5} \quad (6)$$

علیرغم توجه علمی فزاینده به تأثیر اکولوژیکی هر یک از EPها، شکاف‌های دانش در مورد سمیت همزمان ترکیبی از آلاینده‌ها و اثرات آن بر موجودات آبی باقی می‌ماند. در مقایسه با سمیت تک ترکیبی،

<sup>7</sup> Average Time of lifespan

<sup>8</sup> D'Alessandro

<sup>9</sup> Cumulated Hazard Index

<sup>10</sup> Fabrega

<sup>1</sup> Chronic Daily Intake

<sup>2</sup> Reference Dose

<sup>3</sup> Intake Rate of polluted water

<sup>4</sup> Frequency of Exposure

<sup>5</sup> Exposure Period

<sup>6</sup> Body Weight

محصولاتی که سمیت کم‌تری دارند و راحت‌تر از آب حذف می‌شوند، می‌تواند نقش مهمی در کاهش تأثیر EPها بر محیط زیست و سلامت انسان داشته باشد. زمانی که تجزیه و تحلیل‌های انجام شده، بیانگر ریسک‌های غیرقابل قبول توسط یک آلاینده نوظهور بر روی محیط زیست و یا سلامتی انسان باشد، به منظور کاهش این ریسک‌ها، گزینه‌های مدیریتی مختلفی باید اعمال شود. در وهله اول، پیشگیری از ریسک‌ها با بکارگیری شیوه‌ها و فناوری‌های صنعتی پایدار و همچنین سنتز محصولات سازگار با محیط زیست و عمدتاً فرآورده‌های زیست تخریب‌پذیر، ضروری می‌باشد. از سوی دیگر، توسعه فن‌آوری‌های کارآمد تصفیه فاضلاب به منظور کاهش و یا حذف مقادیر قابل توجهی از EPها و پیشگیری از ورود آنها به بدنه آب‌های طبیعی ضروری است.

### تعارض منافع

نویسندگان هیچگونه تعارض منافی برای اعلام ندارند.

### منابع

- [1] Bunke, D., Moritz, S., Brack, W., Herráez, D.L., Posthuma, L., Nuss, M., 2019, Developments in society and implications for emerging pollutants in the aquatic environment, *Environmental Sciences Europe*, 31, 32.
- [2] Gavrilesco, M., Demnerová, K., Aamand, J., Agathos, S., Fava, F., 2015, Emerging pollutants in the environment: present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation, *New Biotechnology*, 32, 147.
- [3] Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., van der Ploeg, M., van de Zee, S.E., Ritsema, C.J., 2015. Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management, *International Soil and Water Conservation Research*, 3, 57.

شاخص ریسک یکپارچه آلودگی شیمیایی آبریان (IRICAP<sup>1</sup>) را با استفاده از معادله (۸) محاسبه کرده‌اند (۷۳):

$$IRICAP = \frac{\sum(\text{hazardindex} \times \text{chemicalconcentration})}{\text{numero f chemical}} \quad (8)$$

برای محاسبه IRICAP، شاخص خطر هر ترکیب جداگانه در غلظت آب نرمال شده در هر نقطه نمونه‌برداری ضرب می‌شود و سپس جمع شده و مقدار نهایی بر تعداد آلاینده‌ها تقسیم می‌شود. غلظت‌ها برای هر ماده شیمیایی به منظور جلوگیری از تخمین بیش از حد برای هر ماده شیمیایی، طبق معادله (۹) نرمال می‌شوند:

$$C_{\text{norm}} = \frac{C_i - C_m}{C_{\text{max}} - C_{\text{min}}} \quad (9)$$

### نتیجه‌گیری

حضور EPها در محیط زیست مشکلات و خطرات جدی را سبب می‌شوند. با توجه به افزایش نظارت بر کیفیت منابع آبی و توسعه تکنیک‌های تجزیه و تحلیلی جدید، شناسایی همزمان مجموعه‌ای از انواع ترکیبات شیمیایی نوظهور در محیط‌های آبی امکان‌پذیر است. با این حال، علیرغم پیشرفت‌های زیادی که در سال‌های اخیر صورت گرفته است، هنوز موانع قابل توجهی وجود دارد که تشخیص سریع و کارآمد EPها و رویکردهای موثر برای حذف این ترکیبات را محدود می‌کند. ظهور EPها حتی در غلظت‌های بسیار کم (ng/L) در محیط‌های آبی می‌تواند منجر به ایجاد ریسک‌های قابل توجه برای محیط زیست و سلامتی انسان باشد. کاهش منابع آلودگی و جایگزینی EPها با

<sup>1</sup> Integrated Risk Index of Chemical Aquatic

- Society of London. Series B, Biological Sciences, 369, 20130571.
- [14] Carvalho, A.R.M., Cardoso, V.V., Rodrigues, A., Ferreira, E., Benoliel, M.J., Duarte, E.A., 2015, Occurrence and analysis of endocrine-disrupting compounds in a water supply system, *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 139.
- [15] Lai, W.W.P., Lin, Y.C., Tung, H.H., Lo, S.L., Lin, A.Y.C., 2016, Occurrence of pharmaceuticals and perfluorinated compounds and evaluation of the availability of reclaimed water in Kinmen, *Emerging Contaminants*, 2, 135.
- [16] McGrath, T.J., Morrison, P.D., Ball, A.S., Clarke, B.O., 2017, Detection of novel brominated flame retardants (NBFRs) in the urban soils of Melbourne, Australia, *Emerging Contaminants*, 3, 23.
- [17] Cowell, W.J., Stapleton, H.M., Holmes, D., Calero, L., Tobon, C., Perzanowski, M., Herbstman, J.B., 2017, Prevalence of historical and replacement brominated flame retardant chemicals in New York City homes, *Emerging Contaminants*, 3, 32.
- [18] Westhof, L., Köster, S., Reich, M., 2016, Occurrence of micropollutants in the wastewater streams of cruise ships, *Emerging Contaminants*, 2, 178.
- [19] Sanganyado, E., Rajput, I.R., Liu, W., 2018, Bioaccumulation of organic pollutants in Indo-Pacific humpback dolphin: A review on current knowledge and future prospects, *Environmental Pollution*, 237, 111.
- [20] Qi, C., Huang, J., Wang, B., Deng, S., Wang, Y., Yu, G., 2018, Contaminants of emerging concern in landfill leachate in China: A review, *Emerging Contaminants*, 4, 1.
- [21] Starling, M.C.V.M., Amorim, C.C., Leão, M.M.D., 2019, Occurrence, control and fate of contaminants of emerging concern in environmental compartments in Brazil, *Journal of Hazardous Materials*, 372, 17.
- [22] Gong, X., Li, K., Wu, C., Wang, L., Sun, H., 2018, Passive sampling for monitoring polar organic pollutants in water by three typical samplers, *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 17, 23.
- [23] Gogoi, A., Mazumder, P., Tyagi, V.K., Chaminda, G.G.T., An, A.K., Kumar, M., 2018, Occurrence and fate of emerging contaminants
- [4] Phillips, L.J., Moya, J., 2014, Exposure factors resources: Contrasting EPA's exposure factors handbook with international sources, *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 24, 233.
- [5] Stefanakis, A.I., Becker, J.A., 2016, A review of emerging contaminants in water: Classification, sources, and potential risks, In: *Impact of water pollution on human health and environmental sustainability*, McKeown, A.E., Bugyi, G., (Editors), IGI Global, pp. 55-80.
- [6] Vasilachi, I.C., Asiminesei, D.M., Fertu, D.I., Gavrilescu, M., 2021, Occurrence and fate of emerging pollutants in water environment and options for their removal, *Water*, 13, 181.
- [7] Sauvé, S., Desrosiers, M., 2014, A review of what is an emerging contaminant, *Chemistry Central Journal*, 8, 15.
- [8] Battaglin, W., Kolpin, D.W., Furlong, E., Glassmeyer, S., Blackwell, B., Corsi, S., Meyer, M., Bradley, P., 2018, Contaminants of emerging concern in the environment, *Water Resources Impact*, 20, 8.
- [9] Petrie, B., Barden, R., Kasprzyk-Hordern, B., 2015, A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring, *Water Research*, 72, 3.
- [10] Sanderson, H., Fricker, C., Brown, R.S., Majury, A., Liss, S.N., 2016, Antibiotic resistance genes as an emerging environmental contaminant, *Environmental Reviews*, 24, 205.
- [11] Glassmeyer, S.T., Furlong, E.T., Kolpin, D.W., Batt, A.L., Benson, R., Boone, J.S., Conerly, O., Donohue, M.J., King, D.N., Kostich, M.S., Mash, H.E., Pfaller, S.L., Schenck, K.M., Simmons, J.E., Varughese, E.A., Vesper, S.J., Villegas, E.N., Wilson, V.S., 2017, Nationwide reconnaissance of contaminants of emerging concern in source and treated drinking waters of the United States, *Science of the Total Environment*, 581, 909.
- [12] Philip, J.M., Aravind, U.K., Aravindakumar, C.T., 2018, Emerging contaminants in Indian environmental matrices – a review, *Chemosphere*, 190, 307.
- [13] Larsson, D.J., 2014, Pollution from drug manufacturing: Review and perspectives, *Philosophical Transactions of the Royal*

- the Buffalo River in the Eastern Cape of South Africa and its health implications, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, 1372.
- [34] Yu, C.P., Chu, K.H., 2009, Occurrence of pharmaceuticals and personal care products along the West Prong Little Pigeon River in east Tennessee, USA, *Chemosphere*, 75, 1281.
- [35] Rogers, J.A., Metz, L., Yong, V.W., 2013, Review: Endocrine disrupting chemicals and immune responses: A focus on bisphenol-A and its potential mechanisms, *Molecular Immunology*, 53, 421.
- [36] Du, B., Haddad, S.P., Scott, W.C., Chambliss, C.K., Brooks, B.W., 2015, Pharmaceutical bioaccumulation by periphyton and snails in an effluent-dependent stream during an extreme drought, *Chemosphere*, 119, 927.
- [37] Snow, D.D., Cassada, D.A., Larsen, M.L., Mware, N.A., Li, X., D'Alessio, M., Zhang, Y., Sallach, J.B., 2017, Detection, occurrence and fate of emerging contaminants in agricultural environments, *Water Environment Research*, 89, 897.
- [38] Tang, Y., Yin, M., Yang, W., Li, H., Zhong, Y., Mo, L., Liang, Y., Ma, X., Sun, X., 2019, Emerging pollutants in water environment: Occurrence, monitoring, fate, and risk assessment, *Water Environment Research*, 91, 984.
- [39] Hlavínek, P., Žižlavská, A., 2018, Occurrence and removal of emerging micropollutants from urban wastewater, In: *Water management and the environment: Case studies*, Zelenakova, M., (Editor), Springer, pp. 231-254.
- [40] Gomes, A.R., Justino, C., Rocha-Santos, T., Freitas, A.C., Duarte, A.C., Pereira, R., 2017, Review of the ecotoxicological effects of emerging contaminants to soil biota, *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 52, 992.
- [41] Basheer, A.A., 2018, New generation nano-adsorbents for the removal of emerging contaminants in water, *Journal of Molecular Liquids*, 261, 583.
- [42] Warner, W., Nödler, K., Farinelli, A., Blum, J., Licha, T., 2018, Integrated approach for innovative monitoring strategies of in water environment: A review, *Groundwater for Sustainable Development*, 6, 169.
- [24] Barboza, L.G.A., Vethaak, A.D., Lavorante, B.R.B.O., Lundebye, A.K., Guilhermino, L., 2018, Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health, *Marine Pollution Bulletin*, 133, 336.
- [25] Taheran, M., Naghdi, M., Brar, S.K., Verma, M., Surampalli, R.Y., 2018, Emerging contaminants: Here today, there tomorrow!, *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 10, 122.
- [26] Dey, S., Bano, F., Malik, A., 2019, Pharmaceuticals and personal care product (PPCP) contamination - a global discharge inventory, In: *Pharmaceuticals and personal care products: Waste management and treatment technology*, Prasad, M.N.V., Vithanage, M., Kapley, A., (Editors), Butterworth-Heinemann (imprint of Elsevier), pp. 1-26.
- [27] Abdulrazaq, Y., Abdulsalam, A., Rotimi, A.L., Abdulbasit, A.A., Clifford, O., Abdulsalam, O.A., Racheal, O.N., Joy, A.A., Victor, F.O., Johannes, Z.M., Bilal, M., Umar M, S., 2020, Classification, potential routes and risk of emerging pollutants/contaminant, In: *Emerging contaminants*, Nuro, A., (Editor), IntechOpen, pp. 3-14.
- [28] Yahaya, A., Sale, F.J., Salehdeen, U.M., 2020, Analytical Methods for Determination of regulated and unregulated disinfection by-products in drinking water: A review, *CaJoST*, 2, 25.
- [29] NORMAN Network, 2016, List of NORMAN emerging substances, Available online: <https://www.norman-network.net>
- [30] Rodriguez-Narvaez, O.M., Peralta-Hernandez, J.M., Goonetilleke, A., Bandala, E.R., 2017, Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review, *Chemical Engineering Journal*, 323, 361.
- [31] Richardson, S.D., Ternes, T.A., 2022, Water analysis: Emerging contaminants and current issues, *Analytical Chemistry*, 94, 382.
- [32] Li, W.C., 2014, Occurrence, sources, and fate of pharmaceuticals in aquatic environment and soil, *Environmental Pollution*, 187, 193.
- [33] Yahaya, A., Okoh, O.O., Okoh, A.I., Adeniji, A.O., 2017, Occurrences of organochlorine pesticides along the course of

- human and veterinary use and establishing a European Medicines Agency, Official Journal of the European Union, 136, 1.
- [52] European Parliament, Council of the European Union, 2000, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy, Official Journal of the European Communities, 327, 1.
- [53] Sorlini, S., Collivignarelli, M.C., Miino, M.C., 2019, Technologies for the control of emerging contaminants in drinking water treatment plants, *Environmental Engineering & Management Journal*, 18, 203.
- [54] Caracciolo, A.B., Grenni, P., Rausedo, J., Ademollo, N., Cardoni, M., Rolando, L., Patrolecco, L., 2018, Degradation of a fluoroquinolone antibiotic in an urbanized stretch of the River Tiber, *Microchemical Journal*, 136, 43.
- [55] Lin, X., Xu, J., Keller, A.A., He, L., Gu, Y., Zheng, W., Sun, D., Lu, Z., Huang, J., Huang, X., Li, G., 2020, Occurrence and risk assessment of emerging contaminants in a water reclamation and ecological reuse project, *Science of the Total Environment*, 744, 140977.
- [56] Dsikowitzky, L., Crawford, S.E., Nordhaus, I., Lindner, F., Irianto, H.E., Ariyani, F., Schwarzbauer, J., 2020, Analysis and environmental risk assessment of priority and emerging organic pollutants in sediments from the tropical coastal megacity Jakarta, Indonesia, *Regional Studies in Marine Science*, 34, 101021.
- [57] Larroze, S., Russo, M., Gadelha, J.R., Tode, L., 2021, Contaminants of emerging concern in the Mediterranean Sea, *Plan Bleu Notes*, 40.
- [58] Sanchez, W., Egea, E., 2018, Health and environmental risks associated with emerging pollutants and novel green processes, *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 6085.
- [59] Rivera-Jaimes, J.A., Postigo, C., Melgoza-Alemán, R.M., Aceña, J., Barceló, D., de Alda, M.L., 2018, Study of pharmaceuticals in surface and wastewater from Cuernavaca, Morelos, Mexico: Occurrence and environmental risk assessment, *Science of the Total Environment*, 613-614, 1263.
- reservoirs and lakes, *Environmental Engineering & Management Journal*, 17, 2497.
- [43] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2019, *Pharmaceutical residues in freshwater: hazards and policy responses*. OECD Publishing.
- [44] Kraemer, S.A., Ramachandran, A., Perron, G.G., 2019, Antibiotic pollution in the environment: From microbial ecology to public policy, *Microorganisms*, 7, 180.
- [45] Hiller, J., Klotz, K., Meyer, S., Uter, W., Hof, K., Greiner, A., Göen, T., Drexler, H., 2019, Systemic availability of lipophilic organic UV filters through dermal sunscreen exposure, *Environment International*, 132, 105068.
- [46] Zhou, X., Peng, F., Luo, Z., Li, Y., Li, H., Yang, Z., 2020, Assessment of water contamination and health risk of endocrine disrupting chemicals in outdoor and indoor swimming pools, *Science of the Total Environment*, 704, 135277.
- [47] Salthammer, T., 2020, Emerging indoor pollutants, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 224, 113423.
- [48] European Parliament, Council of the European Union, 2009, Regulation (EC) No 1223/2009 of the European parliament and of the council of 30 November 2009 on cosmetic products, Official Journal of the European Union, 342, 59.
- [49] Magi, E., Scapolla, C., Di Carro, M., Rivaro, P., Nguyen, K.T.N., 2013, Emerging pollutants in aquatic environments: Monitoring of UV filters in urban wastewater treatment plants, *Analytical Methods*, 5, 428.
- [50] The Commission of the European Communities, 2008, Council regulation (EC) No 440/2008 of 30 May 2008 laying down test methods pursuant to regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), Official Journal of the European Union, 142, 1.
- [51] The European Parliament and the Council of the European Union, 2004, Regulation (EC) No 726/2004 of the European Parliament and of the Council of 31 March 2004 laying down community procedures for the authorisation and supervision of medicinal products for

- of submarine sewage outfalls, *Marine Pollution Bulletin*, 129, 299.
- [68] Česen, M., Heath, D., Krivec, M., Košmrlj, J., Kosjek, T., Heath, E., 2018, Seasonal and spatial variations in the occurrence, mass loadings and removal of compounds of emerging concern in the Slovene aqueous environment and environmental risk assessment, *Environmental Pollution*, 242, 143.
- [69] Peng, Y., Fang, W., Krauss, M., Brack, W., Wang, Z., Li, F., Zhang, X., 2018, Screening hundreds of emerging organic pollutants (EOPs) in surface water from the Yangtze River Delta (YRD): Occurrence, distribution, ecological risk, *Environmental Pollution*, 241, 484.
- [70] Di Poi, C., Costil, K., Bouchart, V., Halm-Lemeille, M.P., 2018, Toxicity assessment of five emerging pollutants, alone and in binary or ternary mixtures, towards three aquatic organisms, *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 6122.
- [71] D'Alessandro, M., Esposito, V., Porporato, E.M.D., Berto, D., Renzi, M., Giacobbe, S., Scotti, G., Consoli, P., Valastro, G., Andaloro, F., Romeo, T., 2018, Relationships between plastic litter and chemical pollutants on benthic biodiversity, *Environmental Pollution*, 242, 1546.
- [72] Means, B., 1989, Risk-assessment guidance for superfund. Volume 1. Human health evaluation manual. Part A. Interim report (Final). Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C., USA.
- [73] Fàbrega, F., Marquès, M., Ginebreda, A., Kuzmanovic, M., Barceló, D., Schuhmacher, M., Domingo, J.L., Nadal, M., 2013, Integrated risk index of chemical aquatic pollution (IRICAP): Case studies in Iberian rivers, *Journal of Hazardous Materials*, 263, 187.
- [60] Kortenkamp, A., Backhaus, T., Faust, M., 2009, State of the art report on mixture toxicity, Final Report - Executive Summary, School of Pharmacy, University of London, London, UK.
- [61] Wu, D., Zhou, Y., Lu, G., Hu, K., Yao, J., Shen, X., Wei, L., 2019, The occurrence and risks of selected emerging pollutants in drinking water source areas in Henan, China, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 4109.
- [62] Thomaidi, V.S., Matsoukas, C., Stasinakis, A.S., 2017, Risk assessment of triclosan released from sewage treatment plants in European rivers using a combination of risk quotient methodology and Monte Carlo simulation, *Science of the Total Environment*, 603-604, 487.
- [63] López-Doval, J.C., Montagner, C.C., de Albuquerque, A.F., Moschini-Carlos, V., Umbuzeiro, G., Pompêo, M., 2017, Nutrients, emerging pollutants and pesticides in a tropical urban reservoir: Spatial distributions and risk assessment, *Science of the Total Environment*, 575, 1307.
- [64] Zhou, S., Di Paolo, C., Wu, X., Shao, Y., Seiler, T.B., Hollert, H., 2019, Optimization of screening-level risk assessment and priority selection of emerging pollutants—the case of pharmaceuticals in European surface waters, *Environment International*, 128, 1.
- [65] Yan, Z., Liu, Y., Yan, K., Wu, S., Han, Z., Guo, R., Chen, M., Yang, Q., Zhang, S., Chen, J., 2017, Bisphenol analogues in surface water and sediment from the shallow Chinese freshwater lakes: Occurrence, distribution, source apportionment, and ecological and human health risk, *Chemosphere*, 184, 318.
- [66] Xiao, J., Wang, L., Deng, L., Jin, Z., 2019, Characteristics, sources, water quality and health risk assessment of trace elements in river water and well water in the Chinese Loess Plateau, *Science of the Total Environment*, 650, 2004.
- [67] Dos Santos, D.M., Buruaem, L., Gonçalves, R.M., Williams, M., Abessa, D.M.S., Kookana, R., de Marchi, M.R.R., 2018, Multiresidue determination and predicted risk assessment of contaminants of emerging concern in marine sediments from the vicinities

**“Review article”**

## **Emerging pollutants in aquatic environments: Occurrence, sources, fate, health and environmental effects and risk assessment**

**Mohammad Safari<sup>1</sup>, Ahmad Asl Hashemi<sup>2</sup>, Gholamhossein Safari<sup>2,3\*</sup>**

<sup>1</sup>Faculty of Medicine, Islamic Azad University, Kerman Branch, Kerman, Iran

<sup>2</sup>Department of Environmental Health Education, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

<sup>3</sup>Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

\*Corresponding author: hsafari13@yahoo.com

(Received: 3 July 2024, Accepted: 23 August 2024)

### **Abstract**

Emerging pollutants (EPs) encompass a wide range of synthetic or natural substances, such as biocides, fire retardants, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), emollients, surfactants, hormones, personal care products, pharmaceutical compounds, and nanoparticles, many of which are not consistently controlled or monitored in the environment. Despite their typically low environmental concentrations, these pollutants pose significant risks to human health and living organisms. EPs primarily originate from hospitals, agricultural fields, urban areas and industrial sectors. Their entrance into the environment occurs through polluted water, wastewater sludge from wastewater treatment plants, and manure from agricultural fields. While the sources of EPs are generally known, further research is needed to fully understand their behavior, fate, and potential risks across different environmental sectors as well as their impacts on human health and ecosystems. This review aims to investigate the current state of the occurrence, pollution sources, fate, and health and environmental impacts of EPs, with a particular focus on aquatic environments and the broader goal of sustainable water resource management. The article categorizes EPs in the environment, and provides detailed discussion on their sources, fate and effects supported by relevant examples. Additionally, it addresses the challenges posed by EP contamination in aquatic systems and the associated risks to both aquatic life and human health. Finally the review offers critical insights into the current challenges and suggests avenues for further research to mitigate the effects of EPs on aquatic environments and public health.

**Conflict of interest:** None declared.

**Keywords:** Aquatic environments, Emerging pollutants, Fate, Health effects, Risk assessment





دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز  
فصلنامه آلودگی‌های محیطی و توسعه پایدار شهری

دوره ۱، شماره ۲، پیاپی ۲  
تابستان ۱۴۰۳، صفحات ۶۳-۴۹

## "مقاله پژوهشی"

# تحلیل همبستگی فضایی آلودگی هوا و بیماری آسم دوره ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ (شهر تبریز)

مریم‌السادات حشمتی<sup>۱</sup>، محمد ابراهیم رضانی<sup>۲\*</sup>، زیبا بهشتی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته گروه آموزشی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران  
<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، مرکز تحقیقات مدیریت توسعه پایدار حوضه آبریز دریاچه ارومیه و رودخانه ارس، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران  
<sup>۳</sup> پژوهشگر مرکز تحقیقات مدیریت توسعه پایدار حوضه آبریز دریاچه ارومیه و رودخانه ارس، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران  
\* نویسنده مسئول مکاتبات: ramazani@iaut.ac.ir  
(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۲/۲۳)

## چکیده

مطالعات اپیدمیولوژیک زیادی در سال‌های اخیر در نقاط مختلف جهان در جهت مشخص کردن رابطه بین اثرات آلودگی هوا و سلامت انسان‌ها انجام شده است. نتایج بیانگر این است که، افزایش آلودگی هوا بر افزایش عفونت‌های دستگاه تنفسی تاثیر مشخص و قابل ملاحظه‌ای دارد. شهر تبریز به عنوان یکی از شهرهای آلوده کشور محسوب می‌شود، بطوریکه آلودگی هوا به طور جدی سلامتی ساکنین این شهر را تهدید می‌نماید. مطالعه حاضر با هدف مشخص نمودن رابطه عوامل مختلف آلودگی هوا و تأثیر آن بر تعداد بیماران مبتلا به آسم در شهر تبریز انجام شده است. بدین منظور اطلاعات آماری آلاینده‌ها، مربوط به ذرات معلق با قطر کم‌تر از ۱۰ میکرون (PM<sub>10</sub>)، ازن (O<sub>3</sub>)، دی‌اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>)، دی‌اکسید نیتروژن (NO<sub>2</sub>) و مونوکسید کربن (CO) برای کلیه ماه‌های سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱، از پنج ایستگاه سنجش آلاینده‌های هوای شهر گردآوری و سپس این اطلاعات با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS در مقایسه با شاخص استاندارد آلودگی هوا (PSI) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج تحقیق نشان داد که غلظت آلاینده‌ها در مناطق ۱، ۱۰ و ۴ به ترتیب کم، متوسط و زیاد است. نتایج نشان داد بین غلظت گاز SO<sub>2</sub> و فراوانی بیماران مبتلا به آسم رابطه مکانی مستقیم وجود دارد. نظر به توزیع آلودگی گاز O<sub>3</sub> در سطح شهر تبریز، بیش‌ترین غلظت آلودگی این گاز در ضلع غربی و قسمتی از مرکز شهر بوده و در این محدوده‌ها تعداد افراد مبتلا به بیماری آسم بیش‌تر بوده است. بنابراین بین فراوانی بیماران مبتلا به آسم و غلظت گاز O<sub>3</sub> در سطح شهر تبریز رابطه مستقیم مکانی دیده شد. توزیع آلودگی ذرات PM<sub>10</sub> در سطح شهر تبریز در مرکز شهر بیش‌تر بوده و بیش‌ترین فراوانی بیماران مبتلا به آسم در محدوده این مناطق قابل رویت است. بنابراین بین میزان آلودگی ذرات PM<sub>10</sub> با تعداد افراد مبتلا به بیماری آسم نیز رابطه مستقیم مکانی وجود دارد.

**واژه‌های کلیدی:** آلودگی هوا، بیماری‌های تنفسی، نرم‌افزار ARC GIS، شاخص استاندارد آلودگی هوا، تبریز

## مقدمه

گسترش شهرها، توسعه مهاجرت، گسترش نامناسب صنایع و بی‌توجهی به مکان آن از عوامل مهم افزایش آلودگی‌های محیطی می‌باشد. آلودگی هوا یک فاکتور مهم محیطی برای جهان و سلامت عمومی محسوب می‌شود که با افزایش هزینه‌های پزشکی و میرایی همراه است. برآورد می‌شود، این عامل علت ۸۰۰۰۰۰ مرگ زودرس در سراسر جهان می‌باشد (۱). آلودگی هوا پس از استعمال دخانیات، دومین عامل اصلی مرگ‌های ناشی از بیماری‌های غیر واگیر محسوب می‌شود و با افزایش ریسک ابتلاء به بیماری‌های حاد، مزمن و مرگ در ارتباط است. در گزارش سازمان بهداشت جهانی در خصوص کیفیت هوای جهان در سال ۲۰۲۲ در بین ۱۳۱ کشور که مجهز به ایستگاه سنجش آلاینده هستند، ایران از منظر آلودگی ۲/۵ PM (ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون)، در رتبه ۲۱ آلودگی قرار دارد. بر اساس آخرین گزارش سازمان بهداشت جهانی (WHO<sup>۱</sup>) در سال ۲۰۲۰، آلودگی هوای آزاد و هوای داخل، سالیانه به بیش از ۷ میلیون مرگ زودرس در جهان منجر می‌شود (از هر صد مرگ، نه مرگ منتسب به آلودگی هوا است). آلودگی هوا نشانه ناپایداری سیستم‌های آلاینده هست. در واقع به واسطه عدم توجه به پایدار بودن توسعه، مشکلات محیط زیستی که یکی از آن‌ها آلودگی هوا است پیش می‌آید (۲). آلودگی هوا در درجه اول به صورت کاهش سطح عملکرد فرد در فعالیت‌های روزمره، انواع بیماری‌های تنفسی و بیماری‌های قلبی و ریوی خود را نشان داده و در نهایت مرگ و میر زودرس را سبب

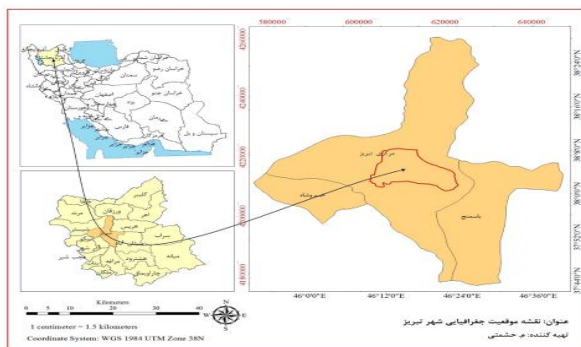
می‌شود (۳). حضور مداوم در مناطقی با غلظت بالای آلاینده‌های هوا، می‌تواند باعث تشدید بیماری‌های تنفسی گردد. از انواع بیماری‌های تنفسی مرتبط با آلودگی هوا می‌توان آسم، برونشیت، آمفیزم، پنومونی و بیماری انسدادی مزمن ریوی را نام برد (۴). طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت بر روی بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا، ۸۹ درصد از کل مرگ‌های مربوط به آلودگی هوا در اثر بیماری‌های قلبی - تنفسی می‌باشد. مؤسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC)<sup>۲</sup> در سازمان جهانی بهداشت، آلودگی هوا و ذرات معلق آن را به عنوان ترکیبات سرطان‌زا طبقه‌بندی کرده‌اند. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی سالانه حدود ۷ میلیون نفر در اثر بیماری‌های مربوط به آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند (۵). یکی از اقدامات مؤثر در کنترل کیفیت هوا، تعیین میزان واقعی آلاینده‌ها و کیفیت هوا در مقایسه با شرایط استاندارد، یعنی شاخص‌هایی نظیر شاخص کیفیت هوا، شاخص آلودگی هوا و شاخص استاندارد آلودگی می‌باشد. بر پایه این اطلاعات می‌توان به وضع اقدامات پیشگیرانه در موارد نامطلوب کیفیت هوا اقدام نمود (۶ و ۷). با توجه به اینکه شهر تبریز به عنوان یکی از شهرهای آلوده ایران از نظر وضعیت هوا همیشه مطرح بوده (۸ و ۹) و آلودگی هوا به طور جدی سلامتی ساکنین این شهر را تهدید می‌کند، بنابراین تحقیق در زمینه ارتباط بیماری‌های تنفسی با آلودگی هوا و بررسی رعایت استانداردهای مختلف در زمینه‌های مختلف صنعتی و فضای سبز در ارائه راهکارهای مناسب در جهت مقابله با افزایش بیماری‌های تنفسی

<sup>2</sup> International Agency for Research on Cancer<sup>1</sup> World Health Organization

گردید. بنابراین مطالعه شامل دو مرحله بوده است: مرحله اول شامل تعیین آلودگی نسبی مناطق و تعیین آلوده‌ترین مناطق و همراه با آن تعیین شاخص‌هایی برای تعیین کیفیت هوا است. مرحله دوم نیز تعیین ارتباط مکانی بین توزیع آلودگی استخراج شده و توزیع بیماری‌های تنفسی است.

### موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه‌ای که این مطالعه به آن پرداخته، محدوده شهرستان تبریز در مرکز استان آذربایجان شرقی در شمال غرب ایران است. وسعت محدوده مورد بررسی حدود ۲۱۷۹ کیلومترمربع است و در موقعیت جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی (شکل (۱)) با ارتفاع متوسط بین ۱۳۴۰ تا ۱۷۲۴ متر از سطح دریا در جلگه‌ای به همین نام واقع شده است که شهرهای تبریز، سردرود، خسروشهر و باسمنج را در برمی‌گیرد. این شهرستان از سمت شمال به شهرستان اهر و جنگل‌های ارسباران، از جنوب به شهرستان مراغه، از شرق به شهرستان‌های هریس و بستان آباد و از غرب به شهرستان‌های شبستر و اسکو منتهی می‌شود.



شکل (۱): نقشه موقعیت جغرافیایی شهرستان تبریز

می‌تواند مثر ثمر باشد. مطالعات به عمل آمده نشان می‌دهد در سال‌های اخیر مطالعه جامع و کامل در مورد ارتباط بین آلودگی هوا و سلامت در شهر تبریز انجام نگرفته است. نتایج نشان دهنده این اهمیت می‌باشند که ارتباط مستقیم و معناداری بین افزایش غلظت حضور آلاینده‌های هوای محیط با میزان ابتلا به بیماری‌های تنفسی در سطح شهر تبریز وجود دارد. در این تحقیق سعی بر آن است که نسبت به بررسی و تعیین ارتباط بین آلودگی هوای تبریز و ارتباط آن با بیماری‌های مرتبط اقدام شود. نتایج این تحقیق به عنوان یک گام اساسی برای کارشناسان و محققان کشور در مدیریت کیفیت هوا و شناسایی مناطق بحرانی و آلوده کننده هوا خواهد بود که می‌تواند برای تصمیم‌گیری و مدیریت آلودگی هوا و همچنین در تهیه طرح‌های تفصیلی به کار گرفته شود.

### روش تحقیق

از آنجا که هدف این تحقیق بررسی ارتباط مکانی بین میزان آلودگی هوای شهر تبریز و تاثیر آن بر افزایش تعداد مبتلایان به بیماری آسم می‌باشد، از این رو بخشی از مطالعات به صورت کتابخانه‌ای بوده و اطلاعات مورد نیاز، با توجه به آمار ارائه شده توسط سایت سازمان هواشناسی کشور، سالنامه‌های سازمان هواشناسی کشور و ادارات و نهادهای مرتبط استخراج گردید. اطلاعات مربوط به وضعیت کیفی آلاینده‌های هوای شهر تبریز، با مراجعه به اداره کل حفاظت محیط زیست استان آذربایجان شرقی تهیه گردید. شاخص‌های مورد مطالعه عبارت‌اند از:  $NO_2$ ،  $SO_2$ ،  $O_3$ ،  $PM_{10}$  و CO. داده‌های مربوط به کمیت بیماران مبتلا به آسم، از مراکز بهداشت و بیمارستان‌های شهر تبریز دریافت

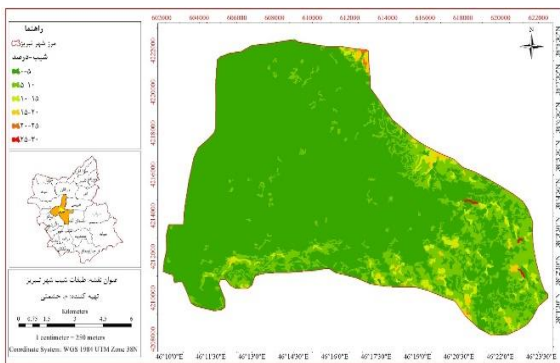
### جامعه آماری

جامعه هدف در این تحقیق آمار و اطلاعات ارائه شده از طرف واحدهای درگیر و مرتبط مانند مرکز بهداشت شهرستان تبریز، بیمارستان‌های سطح شهر تبریز و همچنین آمار اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان آذربایجان شرقی می‌باشد.

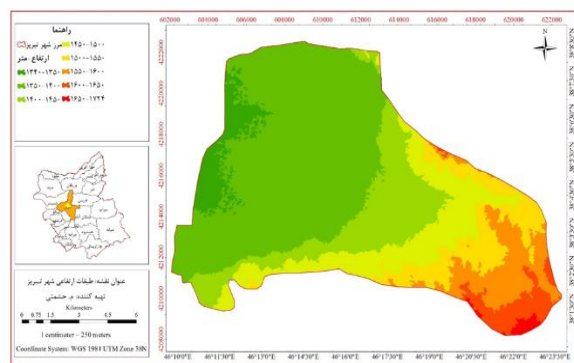
### نقشه‌های توپوگرافی شهر تبریز

ارتفاع شهر تبریز از سطح دریا بین ۱۳۴۰ تا ۱۷۲۴ متر در نقاط مختلف آن متغیر بوده (جدول (۱)) و شیب عمومی زمین‌های تبریز به سمت مرکز شهر و سپس به سمت مغرب (شکل (۲)) و مساحت آن معادل ۱۷۰۶۶/۲ هکتار است.

در اراضی بخش میانی و غرب شهر تبریز میزان شیب متوسط ۲-۰ درصد است و جزو اراضی هموار محسوب می‌شود، ولی از بخش مرکز شهر به سمت-های شمال، جنوب و نیز شرق، به دلیل وجود ارتفاعات در بخش شمالی و جنوبی و تپه‌های مارنی شرقی، شیب دارتر (بین ۵ تا ۳۰ درصد) می‌شوند. میانگین شیب شهر ۷ درصد است (جدول (۲))، در جنوب دشت تبریز رشته کوه سهند قرار دارد که دارای شیب ملایمی می‌باشد و در قسمت شمالی آن ارتفاعات عون بن علی قرار دارند که با شیب تند و جهت‌گیری غربی-شرقی می‌باشند (شکل (۳)).



شکل (۳): نقشه شیب شهر تبریز



شکل (۲): نقشه طبقات ارتفاعی شهر تبریز

جدول (۲): طبقات شیب شهر تبریز

| ردیف | طبقات شیب | مساحت (هکتار) | درصد  | درصد تجمعی |
|------|-----------|---------------|-------|------------|
| ۱    | ۰-۵       | ۱۳۴۷۷/۷۹      | ۷۸/۹۸ | ۷۸/۹۸      |
| ۲    | ۵-۱۰      | ۲۹۵۸/۹۰       | ۱۷/۳۴ | ۹۶/۳۲      |
| ۳    | ۱۰-۱۵     | ۴۸۲/۶۱        | ۲/۸۳  | ۹۹/۱۵      |
| ۴    | ۱۵-۲۰     | ۱۱۸/۳۵        | ۰/۶۹  | ۹۹/۸۴      |
| ۵    | ۲۰-۲۵     | ۱۱/۳۲         | ۰/۰۷  | ۹۹/۹۱      |
| ۶    | ۲۵-۳۰     | ۱۵/۲۵         | ۰/۰۹  | ۱۰۰        |

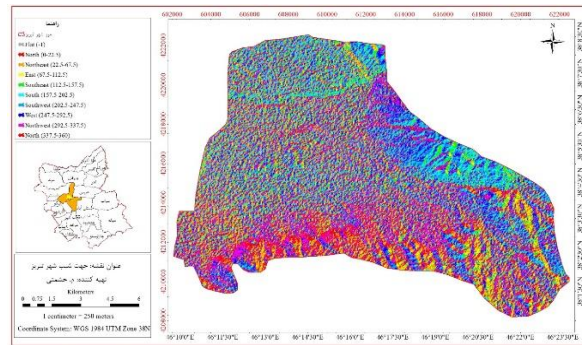
جدول (۱): طبقات ارتفاعی شهر تبریز

| ردیف | طبقات ارتفاعی | مساحت (هکتار) | درصد  | درصد تجمعی |
|------|---------------|---------------|-------|------------|
| ۱    | ۱۳۴۰-۱۳۴۰     | ۸۷۲/۷۰        | ۵/۱۱  | ۵/۱۱       |
| ۲    | ۱۳۵۰-۱۴۰۰     | ۷۸۵۳/۷۴       | ۴۶/۰۲ | ۵۱/۱۴      |
| ۳    | ۱۴۰۰-۱۴۵۰     | ۲۵۰۹/۰۷       | ۱۴/۷۰ | ۶۵/۸۴      |
| ۴    | ۱۴۵۰-۱۵۰۰     | ۲۲۶۷/۸۲       | ۱۳/۲۹ | ۷۹/۱۳      |
| ۵    | ۱۵۰۰-۱۵۰۰     | ۱۵۲۳/۹۵       | ۸/۹۳  | ۸۸/۰۶      |
| ۶    | ۱۵۵۰-۱۶۰۰     | ۱۳۱۴/۸۲       | ۷/۷۰  | ۹۵/۷۶      |
| ۷    | ۱۶۰۰-۱۶۰۰     | ۶۱۶/۷۳        | ۳/۶۱  | ۹۹/۳۸      |
| ۸    | ۱۷۲۴-۱۶۰۰     | ۱۰۶/۵۲        | ۰/۶۲  | ۱۰۰        |

بیش‌ترین سطوح جهت شیب دامنه‌ها (شکل (۴))، در جهات جنوب و جنوب غربی می‌باشد (جدول (۳)).

می‌توان گسل تبریز را با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی نام برد (شکل (۵)).

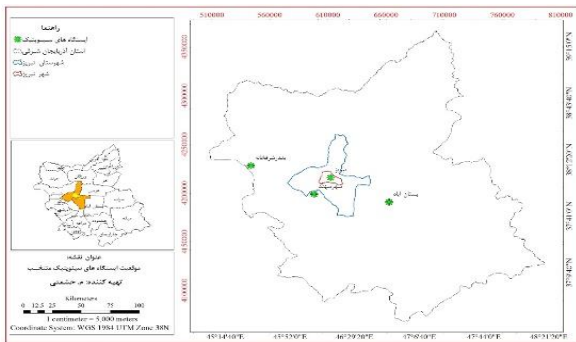
در مطالعه حاضر اطلاعات اقلیمی و آب و هواشناسی از ۴ ایستگاه سینوپتیک (شکل (۶)) منتخب در استان آذربایجان شرقی استخراج گردیده است، همچنین به منظور بررسی میزان نزولات جوی در منطقه، از آمار دراز مدت بارش‌های سالانه در ایستگاه‌های منتخب استفاده گردید (شکل (۷)). مرور اجمالی داده‌های مذکور حاکی از این امر دارد که بیش-ترین و کم‌ترین میزان بارش سالانه به ترتیب ۳۴۵/۵ و ۲۲۳/۶ میلی‌متر در ایستگاه‌های بستان آباد و سهند ثبت شده است.



شکل (۴): نقشه جهت شیب شهر تبریز

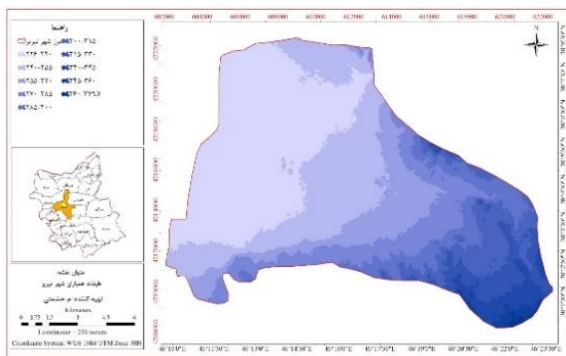
جدول (۳): طبقات جهت شیب شهر تبریز

| ردیف | جهت شیب  | مساحت (هکتار) | درصد  | درصد تجمعی |
|------|----------|---------------|-------|------------|
| ۱    | بدون جهت | ۱۴۲۴/۴۰       | ۸/۳۵  | ۸/۳۵       |
| ۲    | شمال     | ۱۰۰۴/۶۶       | ۵/۸۹  | ۱۴/۲۳      |
| ۳    | شمال شرق | ۱۷۹۹/۳۵       | ۱۰/۵۴ | ۲۴/۷۸      |
| ۴    | شرق      | ۹۰۲/۲۸        | ۵/۲۹  | ۳۰/۰۷      |
| ۵    | جنوب شرق | ۹۲۵/۴۴        | ۵/۴۲  | ۳۵/۴۹      |
| ۶    | جنوب     | ۱۷۳۹/۳۴       | ۱۰/۱۹ | ۴۵/۶۸      |
| ۷    | جنوب غرب | ۲۴۱۵/۱۲       | ۱۴/۱۵ | ۵۹/۸۳      |
| ۸    | جنوب     | ۲۸۹۳/۸۰       | ۱۶/۹۶ | ۷۶/۷۹      |
| ۹    | شمال غرب | ۳۹۶۰/۴۲       | ۲۳/۲۱ | ۱۰۰        |

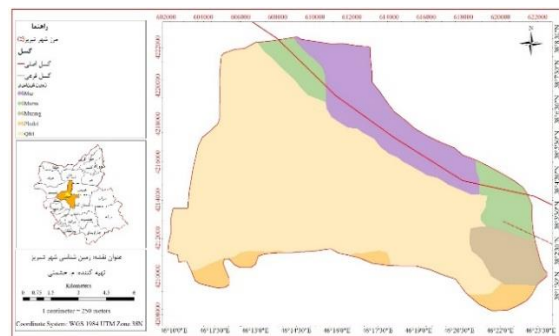


شکل (۶): موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک استان آذربایجان

شرقی



شکل (۷): نقشه همباران شهر تبریز

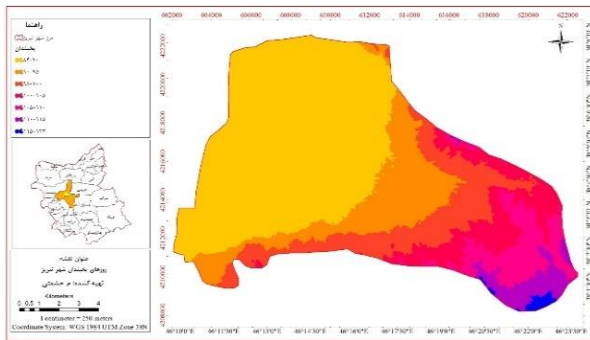


شکل (۵): نقشه زمین‌شناسی شهر تبریز

منطقه تبریز، محل طلاق سیستم کوهستانی البرز و زاگرس بوده و از دیدگاه لرزه زمین ساخت، جزئی از منطقه ایران مرکزی می‌باشد. از گسل‌های مهم منطقه،

| ردیف | طبقات همدمای | مساحت (هکتار) | درصد  | درصد تجمعی |
|------|--------------|---------------|-------|------------|
| ۱    | ۹/۹۳-۱۱      | ۴۶۷/۱۰        | ۲/۷۴  | ۲/۷۴       |
| ۲    | ۱۱-۱۱/۵      | ۹۹۷/۷۶        | ۵/۸۵  | ۸/۵۸       |
| ۳    | ۱۱/۵-۱۲      | ۱۶۲۵/۷۶       | ۹/۵۳  | ۱۸/۱۱      |
| ۴    | ۱۲/۵-۱۲      | ۱۹۷۳/۳۴       | ۱۱/۵۶ | ۲۹/۶۷      |
| ۵    | ۱۲/۵-۱۳      | ۲۴۹۲/۷۰       | ۱۴/۶۱ | ۴۴/۲۸      |
| ۶    | ۱۳-۱۳/۵      | ۹۵۰۸/۹۵       | ۵۵/۷۲ | ۱۰۰        |

جدول (۴): متوسط دمای سالانه (سانتی‌گراد) شهر تبریز

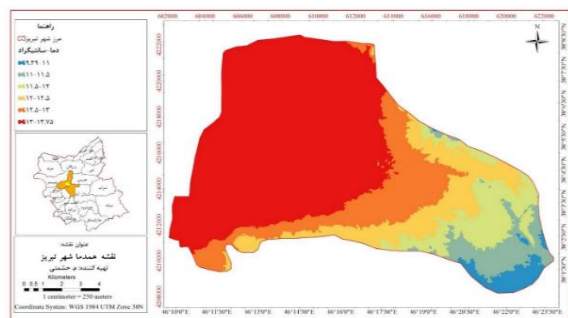


شکل (۹): نقشه روزهای یخبندان شهر تبریز

جدول (۵): ویژگی‌های روزهای یخبندان شهر تبریز

| ردیف | طبقات روزهای یخبندان | مساحت (هکتار) | درصد  | درصد تجمعی |
|------|----------------------|---------------|-------|------------|
| ۱    | ۹۰-۸۴                | ۸۷۲۶/۴۵       | ۵۱/۱۴ | ۵۱/۱۴      |
| ۲    | ۹۵-۹۰                | ۲۵۰۹/۰۷       | ۱۴/۷۰ | ۶۵/۸۴      |
| ۳    | ۱۰۰-۹۵               | ۲۲۶۷/۸۲       | ۱۳/۲۹ | ۷۹/۱۳      |
| ۴    | ۱۰۵-۱۰۰              | ۱۵۲۳/۹۵       | ۸/۹۳  | ۸۸/۰۶      |
| ۵    | ۱۱۰-۱۰۵              | ۱۳۱۴/۸۲       | ۷/۷۰  | ۹۵/۷۶      |
| ۶    | ۱۱۵-۱۱۰              | ۶۱۶/۷۳        | ۳/۶۱  | ۹۹/۳۸      |
| ۷    | ۱۲۳-۱۱۵              | ۱۰۶/۵۲        | ۰/۶۲  | ۱۰۰        |

مطالعه دمای هوا و مولفه‌های مختلف (جدول (۴)) آن به عنوان یکی از دو عامل مهم در معرفی هویت اقلیمی هر محل ضرورت دارد. میانگین دمای هوا در شهر تبریز ۱۳/۵ سانتی‌گراد است (شکل (۸)). در شهر تبریز عموماً مرداد ماه گرم‌ترین ماه و بهمن ماه سردترین ماه سال است.



شکل (۸): نقشه همدمای شهر تبریز

برای تهیه لایه ساعات آفتابی از مجموع ساعات آفتابی (جدول (۶)) ده سال ایستگاه هواشناسی استفاده شد. بیش از ۴۳ درصد از سطح شهر تبریز دارای ۲۳۰۰-۲۴۰۰ ساعت در سال از تابش آفتاب بهره‌مند می‌شوند (شکل (۱۰)).

با توجه به تغییرات تعداد روزهای یخبندان جدول (۵) و شکل (۹)، در ۴ ایستگاه سینوپتیک منتخب مشخص می‌شود که میانگین تعداد روزهای یخبندان با توجه به مورفولوژی بخش‌های مختلف شهر تبریز، تحت تأثیر فاکتورهای مختلف اقلیمی متفاوت بوده و مقدار آن در محدوده شهری مورد مطالعه تقریباً ۸۵ روز است.



شکل (۱۱): نقشه رطوبت نسبی شهر تبریز

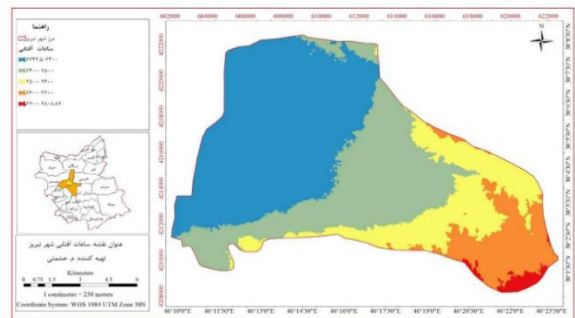
جدول (۷): ویژگی‌های رطوبت نسبی شهر تبریز

| ردیف | طبقات رطوبت نسبی | مساحت (هکتار) | درصد  | درصد تجمعی |
|------|------------------|---------------|-------|------------|
| ۱    | ۵۲-۵۰/۸۵         | ۸۵۳۲/۱۷       | ۵۰    | ۵۰         |
| ۲    | ۵۴-۵۲            | ۴۹۰۵/۵۱       | ۲۸/۷۴ | ۷۸/۷۴      |
| ۳    | ۵۶-۵۴            | ۲۹۰۴/۶۴       | ۱۷/۰۲ | ۹۵/۷۶      |
| ۴    | ۵۶-۵۸/۴۶         | ۷۲۳/۴۱        | ۴/۲۴  | ۱۰۰        |

جدول (۶): ویژگی‌های ساعات آفتابی شهر تبریز

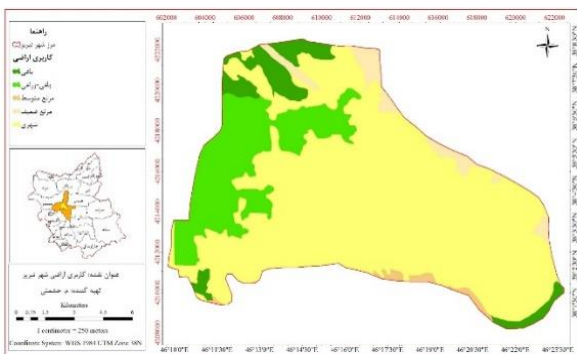
| ردیف | طبقات ساعات آفتابی | مساحت (هکتار) | درصد  | درصد تجمعی |
|------|--------------------|---------------|-------|------------|
| ۱    | ۲۴۰۰-۲۳۴۳/۵        | ۷۴۶۵/۹۷       | ۴۳/۷۵ | ۴۳/۷۵      |
| ۲    | ۲۴۰۰-۲۵۰۰          | ۴۷۸۷/۹۲       | ۲۸/۰۶ | ۷۱/۸۱      |
| ۳    | ۲۵۰۰-۲۶۰۰          | ۲۸۰۸/۸۲       | ۱۶/۴۶ | ۸۸/۲۷      |
| ۴    | ۲۶۰۰-۲۷۰۰          | ۱۷۸۰/۱۷       | ۱۰/۴۳ | ۹۸/۷۰      |
| ۵    | ۲۷۰۰-۲۸۰۸/۸۷       | ۲۲۲/۱۶        | ۱/۳۰  | ۱۰۰        |

بر اساس سرشماری نفوس و مسکن ۱۳۹۵، شهر تبریز دارای ۱۵۵۸۶۹۳ نفر جمعیت در قالب ۴۹۷۸۹۸ خانوار می‌باشد (جدول (۸)). از آنجا که انسان برای ایجاد سکونت‌گاه‌های خویش موارد و جوانب متعدد و مختلفی را بررسی می‌کند، کاربری اراضی شهری (شکل (۱۲)) با مورفولوژی خاص، نتیجه خواست انسان و هدف او از این، مکان‌گزینی است.

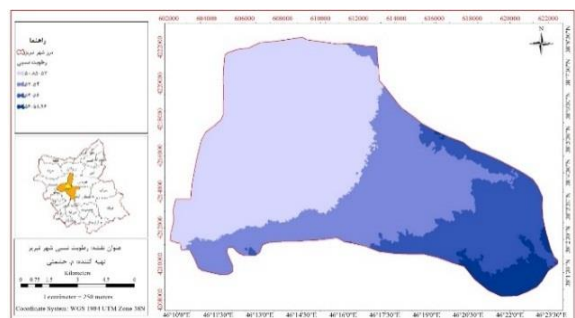


شکل (۱۰): نقشه ساعات آفتابی شهر تبریز

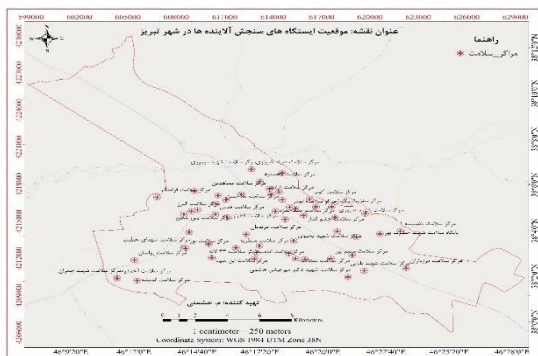
بیماری آسم از عناصر حداقل رطوبت نسبی و متوسط رطوبت نسبی تاثیر می‌پذیرد (۱۰). در واقع میزان مراجعه کننده آسم در زیر میانگین رطوبت نسبی و در شرایط خشک منطقه بیش تر و در بالاتر از نقطه میانگین رطوبت نسبی و وجود شرایط مرطوب منطقه، کم تر می‌شود. بنابراین شناخت وضع رطوبت نسبی هوای شهر تبریز (جدول (۷)) و توزیع ماهانه و سالانه آن (شکل (۱۱)) برای تعیین پراکنش کمیت مبتلایان به بیماری آسم ضروری می‌باشد.



شکل (۱۲): نقشه وضعیت کاربری اراضی شهر تبریز

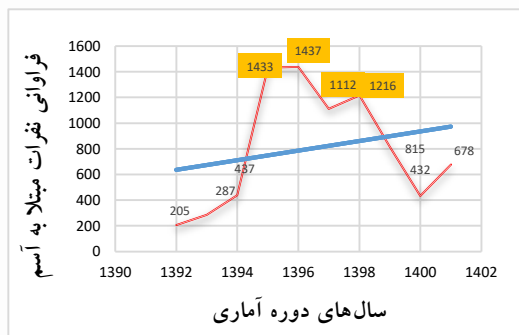


مراکز جامع سلامت شهر تبریز طی دوره آماری ده سال (۱۴۰۱-۱۳۹۲) گردآوری شد (شکل (۱۴)). سپس این اطلاعات با استفاده از افزونه زمین آماری نرم‌افزار Arc GIS و در مقایسه با شاخص‌های استاندارد آلودگی هوا (PSI)<sup>۱</sup> و کیفیت هوا (AQI)<sup>۲</sup> مورد تجزیه و تحلیل و آنالیز قرار گرفت.



شکل (۱۳): موقعیت مکانی و پراکنش ایستگاه‌های سنجش

آلاینده‌های هوای شهر تبریز



شکل (۱۴): تغییرات سالانه شیوع بیماری آسم در شهر تبریز

مطالعه تغییرات سالانه شیوع بیماری آسم در شهر تبریز، حاکی از افزایش دوره‌های شیوع بیماری در مقابل تغییرات آلودگی هوا، در سال‌های بین ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ می‌باشد. می‌توان چنین اشاره کرد که افزایش مجوزهای ساخت و تاسیس شهرک‌های صنعتی و عدم

جدول (۸): ویژگی‌های جمعیتی شهر تبریز

| شهر      | منطقه شهری | خانوار | جمعیت   | مرد    | زن     |
|----------|------------|--------|---------|--------|--------|
| کل       |            | ۴۹۷۸۹۸ | ۱۵۵۸۶۹۳ | ۷۸۶۶۶۱ | ۷۷۲۰۳۲ |
| منطقه ۱  |            | ۶۸۸۹۸  | ۲۱۸۶۴۷  | ۱۱۲۶۲۸ | ۱۰۶۰۱۹ |
| منطقه ۲  |            | ۶۲۳۴۸  | ۱۹۶۵۰۷  | ۹۶۵۸۸  | ۹۹۹۱۹  |
| منطقه ۳  |            | ۷۴۲۶۷  | ۲۲۹۴۷۴  | ۱۱۵۹۳۴ | ۱۱۳۵۴۰ |
| منطقه ۴  |            | ۱۰۲۴۸۱ | ۳۱۵۱۸۳  | ۱۵۸۶۹۸ | ۱۵۶۴۸۵ |
| منطقه ۵  | تبریز      | ۴۰۲۷۳  | ۱۲۶۱۲۴  | ۶۳۴۸۴  | ۶۲۶۴۰  |
| منطقه ۶  |            | ۳۱۹۱۷  | ۹۸۹۱۰   | ۵۰۳۴۶  | ۴۸۵۶۴  |
| منطقه ۷  |            | ۴۹۴۱۹  | ۱۵۵۸۷۲  | ۷۸۹۳۰  | ۷۶۹۴۲  |
| منطقه ۸  |            | ۱۰۱۹۱  | ۲۹۳۸۴   | ۱۴۲۰۱  | ۱۵۱۸۳  |
| منطقه ۹  |            | ۲۰۲    | ۶۳۴     | ۳۲۲    | ۳۱۲    |
| منطقه ۱۰ |            | ۵۷۹۰۲  | ۱۸۷۹۵۸  | ۹۵۵۳۰  | ۹۲۴۲۸  |

## نتایج و بحث

اپیدمیولوژیک آسم به علت افزایش شیوع و شدت و نیز تاثیرات اجتماعی و اقتصادی آن‌ها به سیستم‌های ارائه دهنده خدمات سلامتی مورد توجه و حائز اهمیت است. آلاینده‌های هوا می‌توانند ارگان‌های بدن را متاثر کنند، اما با توجه به وسعت زیاد هوایی که وارد دستگاه تنفس می‌شود، شایع‌ترین قسمت درگیر بیماری، دستگاه تنفسی می‌باشد. اطلاعات آماری آلاینده‌ها، مربوط به آلاینده‌های ذرات معلق هوا با قطر کمتر از ۱۰ میکرون ( $PM_{10}$ )، ازن ( $O_3$ )، دی‌اکسید گوگرد ( $SO_2$ )، دی‌اکسید نیتروژن ( $NO_2$ ) و دی‌اکسید کربن ( $CO_2$ ) برای کلیه ماه‌های بین سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱، از ده ایستگاه سنجش آلاینده‌های هوای شهر (شکل (۱۳)) از اداره کل حفاظت محیط زیست استان آذربایجان شرقی تهیه شد. داده‌ها و آمار مربوط به بیماران مبتلا به آسم از مرکز بهداشت استان برای کل

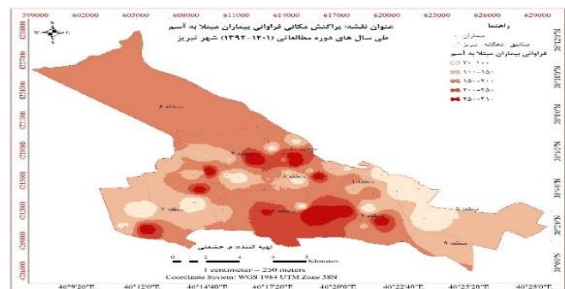
<sup>2</sup> Air Quality Index

<sup>1</sup> Pollutant Standards Index

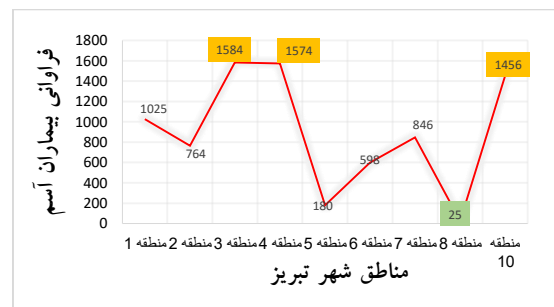


لزوم تاکید بر اجرای مفاد قانونی مصوب مقررات زیست محیطی (قانون جلوگیری از آلودگی هوا، مصوب ۱۳۷۴/۰۲/۳)، در این عرصه‌ها و نیز عدم کنترل بر روی سیستم‌های حمل و نقل عمومی منجر به افزایش آلاینده‌های شهری در دوره‌های مورد نظر، گردیده است.

### وضعیت مکانی شیوع بیماری آسم در شهر تبریز



شکل (۱۵): نقشه پراکنش مکانی فراوانی حملات آسم شهر تبریز

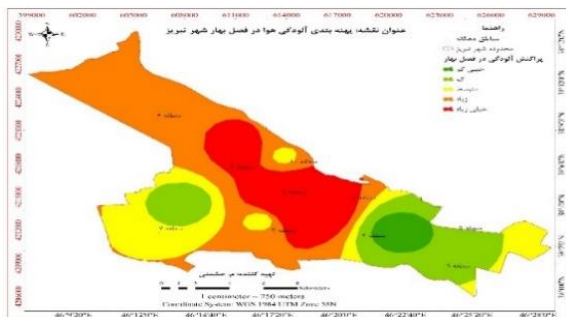


شکل (۱۶): فراوانی حملات آسم بر اساس موقعیت مکانی مناطق شهری

بیشترین حملات آسم، در مناطق شهری ۳، ۴ و ۱۰ است (شکل (۱۵))، که تعداد موارد بروز بیماری در این مناطق به ترتیب ۱۵۸۴، ۱۵۷۴ و ۱۴۵۶ نفر بوده است و کمترین حملات آسم در منطقه ۸ شهری با تعداد ۲۵ نفر مشاهده شد (شکل (۱۶)).

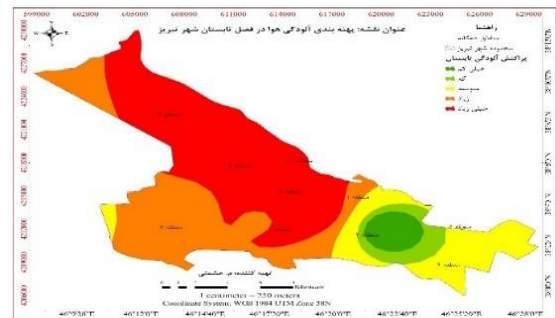
### توزیع زمانی و مکانی انواع گازهای آلاینده

توزیع زمانی و مکانی گازهای آلاینده هوا با توجه به شرایط اقلیمی و محیطی در نواحی مختلف و ماه‌ها و فصول مختلف متفاوت می‌باشد. پهنه‌بندی آلودگی هوا در فصل بهار برای شهر تبریز (شکل (۱۷)) نشان می‌دهد که مناطق ۴ و ۸ شهرداری بیشترین مقادیر آلودگی در منطقه مورد مطالعه و همچنین منطقه ۲ شهرداری کمترین مقدار آلودگی را دارا می‌باشد. پهنه‌بندی آلودگی هوا در فصل تابستان (شکل (۱۸)) نشان می‌دهد که مناطق ۶، ۸، ۴ و ۱۰ شهرداری بیشترین مقادیر آلودگی در منطقه مورد مطالعه و همچنین مناطق ۲ و ۵ شهرداری کمترین مقدار آلودگی را دارا می‌باشد. پهنه‌بندی آلودگی هوا در فصل پاییز (شکل (۱۹)) گویای این است که مناطق ۸ و ۳ شهرداری بیشترین مقادیر آلودگی در منطقه مورد مطالعه و مناطق ۱، ۲، ۵ و ۹ شهرداری کمترین مقدار آلودگی را دارا می‌باشند. در فصل زمستان نیز (شکل (۲۰)) پهنه‌بندی آلودگی هوا نشان می‌دهد که مناطق ۱۰، ۴، ۳ و ۸ شهرداری بیشترین مقادیر آلودگی در منطقه مورد مطالعه و مناطق ۱، ۲، ۵ و ۹ شهرداری کمترین مقدار آلودگی را دارا می‌باشد.

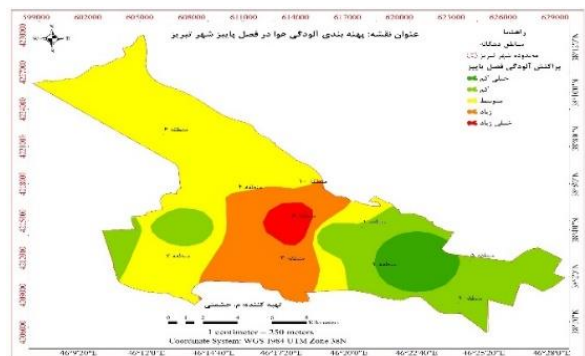


شکل (۱۷) پهنه‌بندی آلودگی هوا در فصل بهار شهر تبریز

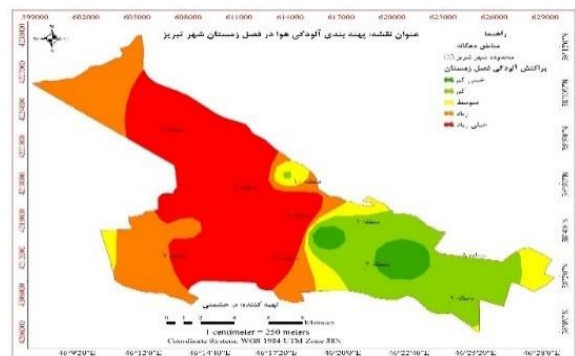
زیست استان آذربایجان شرقی، همپوشانی و ارتباط مکانی حضور آلاینده های بالا و تاثیر آن ها در افزایش تعداد مبتلایان به بیماری آسم و همچنین مناطق مستعد به این بیماری شناسایی شدند. به استناد شکل (۲۱) بیشترین موارد ابتلا به بیماری آسم در مناطقی با غلظت خیلی زیاد CO است به عبارتی پیرامون مناطق ۶، ۷، ۸، ۴ و ۱۰ شهرداری شهر تبریز که میزان آلودگی گاز CO در حد خیلی زیاد قرار دارد، فراوانی افراد مبتلا به بیماری آسم در بیشترین میزان خود قرار گرفته است. با توجه به شکل (۲۲)، پراکندگی موارد ابتلا به بیماری آسم در سطح شهر تبریز در غلظت های زیاد و خیلی زیاد گاز NO<sub>2</sub> دارای بیشترین فراوانی می باشد. مناطق شهری ۳ و ۸ شهرداری شهر تبریز دارای بیشترین غلظت آلاینده NO<sub>2</sub> بوده و همچنین از لحاظ فراوانی بیماران مبتلا به بیماری آسم در حد خیلی زیاد می باشد. در برخی از مناطق دارای بیشترین فراوانی مبتلا به بیماری آسم، غلظت آلودگی گاز NO<sub>2</sub> در حد کم و خیلی کم نیز دیده شد.



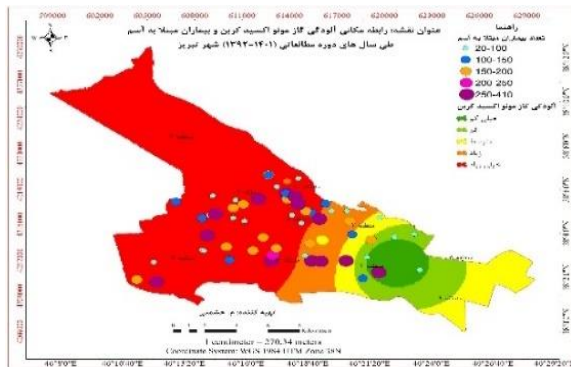
شکل (۱۸): پهنه بندی آلودگی هوا در فصل تابستان شهر تبریز



شکل (۱۹): پهنه بندی آلودگی هوا در فصل پاییز شهر تبریز



شکل (۲۰): پهنه بندی آلودگی هوا در فصل زمستان شهر تبریز

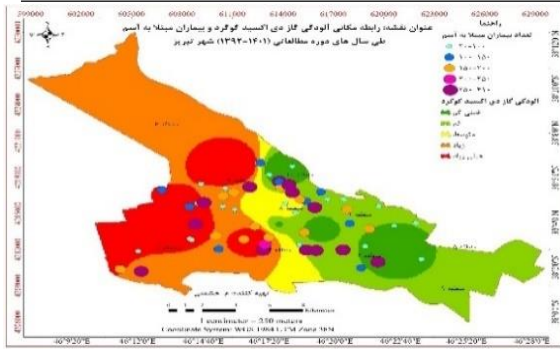


شکل (۲۱): رابطه مکانی آلاینده CO و بیماری آسم

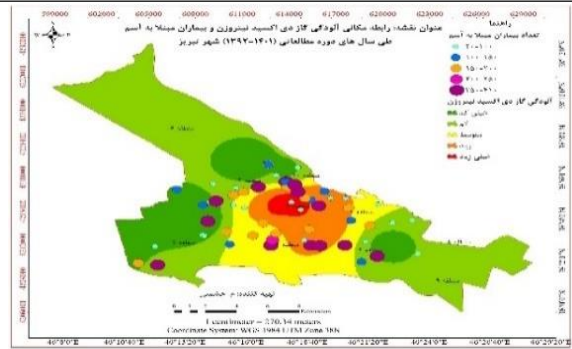
### تحلیل ارتباط آلودگی هوا و حملات آسم در شهر

#### تبریز

با استفاده از نرم افزار ARC GIS، داده های تهیه شده از مراکز بهداشت و درمانی شهر تبریز مبنی بر تعداد مراجعین با علائم بیماری آسم، با آمار آلاینده های مورد مطالعه دریافتی از اداره کل حفاظت محیط



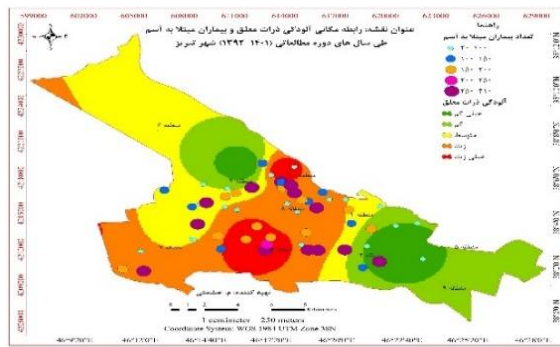
شکل (۲۴): رابطه مکانی آلاینده SO<sub>2</sub> و بیماری آسم



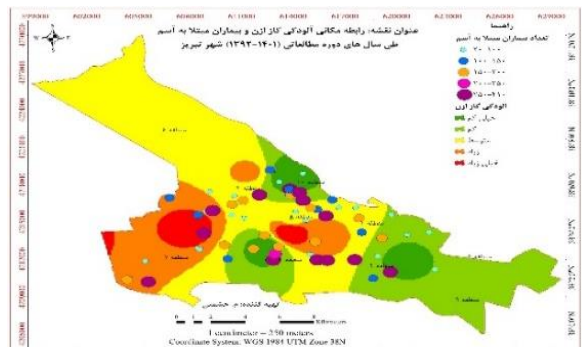
شکل (۲۲): رابطه مکانی آلاینده NO<sub>2</sub> و بیماری آسم

به استناد شکل (۲۵) ارتباط مکانی بین غلظت PM<sub>10</sub> و موارد ابتلا به حملات آسم بدین صورت است که در مناطق ۳، ۷، ۸ و ۱۰ شهرداری بیشترین موارد ابتلا را داریم و همچنین در این مناطق غلظت PM<sub>10</sub> در حد زیاد و متوسط قرار دارد. نتایج حاصل از شاخص کیفیت هوای ده ساله (۱۳۹۲-۱۴۰۱) مربوط به آلاینده های هوا و بیماری آسم نشان می‌دهد (شکل (۲۶))، در مناطقی با شاخص کیفی پایین هوا تعداد موارد ابتلا به بیماری آسم بیش‌تر بوده است. در مناطق ۴، ۶ و ۸ شهرداری شاخص کیفیت هوا، کم و تعداد موارد ابتلا به بیماری آسم، زیاد را نشان می‌دهد.

بیش‌ترین موارد ابتلا به بیماری آسم در مناطقی با غلظت متوسط و کم گاز O<sub>3</sub> بوده است (شکل (۲۳)). به عبارتی پیرامون مناطق ۷ و ۸ شهرداری شهر تبریز که میزان آلودگی گاز O<sub>3</sub> در حد زیاد قرار دارد، تعداد افراد مبتلا به بیماری آسم در حد متوسط و زیاد (۲۵۰-۲۰۰) می‌باشد. نتیجه ارتباط مکانی میزان غلظت SO<sub>2</sub> و حملات آسم که در شکل (۲۴) ارائه گردیده، نشان می‌دهد در مناطق ۳، ۴ و ۷ شهرداری تبریز میزان غلظت گاز SO<sub>2</sub> در بیش‌ترین حد خود بوده و موارد ابتلا به بیماری آسم نیز در بیش‌ترین میزان خود قرار دارد.



شکل (۲۵): رابطه مکانی آلودگی ذرات PM<sub>10</sub> و بیماری آسم

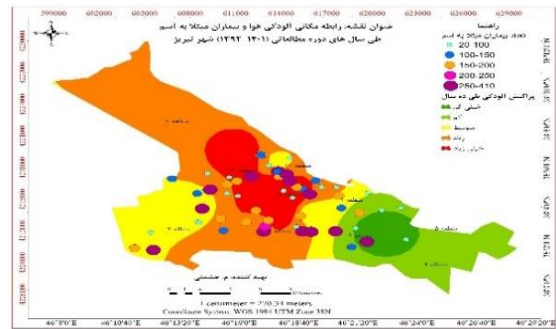


شکل (۲۳): رابطه مکانی آلاینده O<sub>3</sub> و بیماری آسم

سایر مطالعات به صورت مقطعی و با آلاینده‌های موردی محدودی مطالعه شده‌اند، بر این مبنا بوده است که با توجه به مناطق شهر تبریز، مکان استقرار صنایع خرد و کلان، میزان تردد بالای وسایل نقلیه در مناطق شهری و غیره ارتباط آلاینده‌های هوا و کمیت بیماران آسم، تفکیک‌بندی و به صورت آماری بررسی شوند.

### نتیجه‌گیری

با توجه به توزیع آلودگی CO در سطح شهر تبریز که نشان می‌دهد بیش‌ترین غلظت آلودگی در ضلع غربی شهر بوده و در این محدوده فراوانی بیماران مبتلا به آسم نیز در بیش‌ترین میزان خود می‌باشد، بنابراین رابطه مستقیم مکانی بین غلظت گاز CO با تعداد بیماران مبتلا به آسم دیده می‌شود. پراکنش آلودگی گاز NO<sub>2</sub> در مرکز شهر تبریز در بیش‌ترین حد خود می‌باشد و تعداد بیماران مبتلا به آسم در این بخش دارای بیش‌ترین فراوانی می‌باشد. لذا بین غلظت گاز NO<sub>2</sub> و فراوانی بیماران مبتلا به آسم رابطه مکانی مستقیم وجود دارد. پراکنش آلودگی گاز SO<sub>2</sub> در ضلع غربی شهر تبریز در بیش‌ترین حد خود می‌باشد و تعداد بیماران مبتلا به آسم این ضلع بیش‌تر از سایر محدوده‌ها می‌باشد. بررسی نشان داد در منطقه ۱ غلظت آلودگی کم، در منطقه ۱۰ غلظت آلودگی متوسط و در منطقه ۴ غلظت آلودگی زیاد می‌باشد. لذا بین غلظت گاز SO<sub>2</sub> و فراوانی بیماران مبتلا به آسم رابطه مکانی مستقیم وجود دارد. با توجه به توزیع آلودگی گاز O<sub>3</sub> در سطح شهر تبریز، بیش‌ترین غلظت آلودگی این گاز در ضلع غربی و قسمتی از مرکز شهر بوده و در این محدوده‌ها تعداد افراد مبتلا به بیماری آسم بیش‌تر بوده است که بیش‌ترین تعداد افراد مبتلا



شکل (۲۶): رابطه مکانی آلودگی هوا و بیماری آسم

ادبیات بررسی اثر آلودگی به سلامت انسان‌ها، به طور عمده، به تلاش برای تخمین اثرات کوتاه مدت و بلند مدت این پدیده بر سلامت انسان اختصاص یافته است. مطالعات جدید در حوزه آلودگی هوا، بیش‌تر بر روی اثرات این پدیده بر مشکلات تنفسی، قلبی و شکل‌گیری جنین و سلامت نوزاد در بدو تولد متمرکز شده‌اند. هدف اصلی در این تحقیق، تعیین نوع ارتباط مکانی آلاینده‌های منتخب با میزان کمیت بیماران مبتلا به بیماری آسم در طول دوره ده ساله مذکور بوده است، مطابق با یافته‌های (۱۱) مطالعه‌ای در کالیفرنیا، که در سال ۲۰۱۸ با روش مورد - متقاطع (-crossover case) و سری زمانی انجام شد، هم‌خوانی روابط مکانی مستقیم بین افزایش غلظت O<sub>3</sub> و افزایش آسم وجود دارد. در مطالعه‌ای که ارتباط بین آلاینده‌های شهری و میزان مراجعین بیماران تنفسی به مراکز درمانی (۱۲) در سال ۲۰۱۹، مورد بررسی قرار گرفته بود، همسوئی نتایج در مورد ارتباط مکانی مستقیم آلاینده‌های PM<sub>10</sub> و CO با افزایش بیماران مبتلا به آسم وجود دارد. در این تحقیق ارتباط مکانی مستقیمی بین آلاینده‌های NO<sub>x</sub> با افزایش آسم مطابق نتایج (۱۳) یعنی بررسی گازهای گلخانه‌ای و سیستم حمل و نقل جاده‌ای در مالزی وجود دارد. دیدگاه جدید در این تحقیق که در

## منابع

- [1] Khazaei, E., Alesheikh, A., Karimi, M., Vahidnia, M.H., 2013, Comparison of two modeling methods for the prediction of carbon monoxide concentration using neuro-fuzzy system, *Journal of Environmental Studies*, 38, 29. (in Persian)
- [2] Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., Bezirtzoglou, E., 2020, Environmental and health impacts of air pollution: A review. *Frontiers in Public Health*, 8, 14.
- [3] Wilson, A.M., Salloway, J.C., Wake, C.P., Kelly, T., 2004, Air pollution and the demand for hospital services: A review. *Environment International*. 30, 1109.
- [4] Lee, Y.G., Lee, P.H., Choi, S.M., An, M.H., Jang, A.S., 2021, Effects of air pollutants on airway diseases, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 9905.
- [5] Yousefi Golboteh, R., Ramezani Moghadam Sahrayi, F., Mohammadi, M., Houshmand, Sh., Mohammadi, M., 2016, Measuring vehicle exhaust emissions from Peugeot 206, Samand and EL Samand in Mashhad, *Journal of Environmental Sciences and Technology*. 18, 63. (in Persian)
- [6] Ghadami, M., Abdollahvand, H., 2018, The Impact of urban spatial structure scenarios on air pollution (A case study of Tehran), *Geography and Urban Space Development*, 8, 261. (in Persian)
- [7] Heidari, M., Heidarinejad, Z., Alipour, V., Dindarloo, K., Rahmanian, O., Goodarzi, B., Mousapour, H., 2018, Evaluation of air quality based on air quality index in Kerman city, 2015, *Journal of Research in Environmental Health*, 3, 208. (in Persian)
- [8] Esmailnejad, M., Eskandari Sani, M., Barzaman, S., 2015, Evaluation and zoning of urban air pollution in Tabriz, *Journal of Regional Planning*, 5, 173. (in Persian)
- [9] Gorbani, R., Hosseinzadeh Delir, K., Shorkri Firoozjah, P., 2012, The study Tabriz city air pollution condition on the basis of principal component analysis (PCA), *Journal of Geography and Planning*, 39, 89. (in Persian)

به بیماری آسم در مناطقی با غلظت گاز  $O_3$  بالا مشاهده گردید. بنابراین بین فراوانی بیماران مبتلا به آسم و غلظت گاز  $O_3$  در سطح شهر تبریز رابطه مستقیم مکانی دیده شد. توزیع آلودگی ذرات  $PM_{10}$  در سطح شهر تبریز در مرکز شهر بیش تر بوده و بیش ترین فراوانی بیماران مبتلا به آسم در محدوده این مناطق قابل رویت است. بنابراین بین میزان آلاینده‌گی ذرات  $PM_{10}$  با تعداد افراد مبتلا به بیماری آسم رابطه مستقیم مکانی وجود دارد.

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش، حداکثر تعداد افراد مبتلا به بیماری آسم در شهر تبریز در مرکز شهر که دارای بیش‌ترین آلودگی در تمام پنج پارامتر شاخص آلاینده‌های هوا می‌باشد دیده شد. بر اساس نتایج بدست آمده در تحقیق جهت جلوگیری از افزایش حملات آسم در شهر تبریز برنامه‌ریزی‌های صحیح و منطقی می‌بایست صورت گیرد که از آن جمله می‌توان به این موارد اشاره نمود: ایجاد بانک آمار و اطلاعات منظم از تعداد بیماران، به خصوص بیماری‌های شایع در بیمارستان‌ها بر اساس محل زندگی، پیش‌بینی در رابطه با زمان اوج آلاینده‌های هوا به خصوص  $CO$  و اطلاع‌رسانی آن‌ها به مسئولین و والدین در جهت کاهش حملات آسم، مکان‌یابی صحیح در خصوص استقرار ایستگاه‌های سنجش آلودگی جدید در سطح شهر تبریز، کالیبراسیون آنالیزورهای ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا و نصب تمامی سنجنده‌های آلودگی‌های شاخص در تمامی ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا.

## تعارض منافع

نویسندگان هیچگونه تعارض منافی برای اعلام ندارند.

- [10] Shahriari-Namadi, M., Azizi, K., Moemenbellah-Fard, M.D., Soltani, A., 2019, Epidemiologic study of the factors affecting the incidence of asthma and allergies with emphasis on arthropod allergens in the patients referring to Imam Reza clinic of asthma and allergy in Shiraz, 2016, Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences, 24, 68. (in Persian)
- [11] Basu, R., Rau, R., Pearson, D., Malig, B., 2018, Temperature and term low birth weight in California, American Journal of Epidemiology, 187, 2306.
- [12] Arbex, M.A., de Souza Conceição, G.M., Cendon, S.P., Arbex, F.F., Lopes, A.C., Moysés, E.P., Santiago, S.L., Saldiva, P.H.N., Pereira, L.A.A., Braga, A.L.F., 2009, Urban air pollution and chronic obstructive pulmonary disease-related emergency department visits. Journal of Epidemiology and Community Health, 63, 777.
- [13] Alkurdi, F., Karabet, F., Dimashki, M., 2013, Characterization, concentrations and emission rates of polycyclic aromatic hydrocarbons in the exhaust emissions from in-service vehicles in Damascus, Atmospheric Research, 120, 68.



“Research article”

## Spatial correlation analysis of air pollution and respiratory diseases period 2013-2022 (Tabriz City)

Maryam Alsadat Heshmati<sup>1</sup>, Mohammad Ebrahim Ramazani<sup>2\*</sup>, Ziba Beheshti<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Environmental Education Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Department of Environmental Engineering, Research Center for Sustainable Development Management of Urmia Lake and Aras River Basin, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

<sup>3</sup>Sustainable Development Management Research Center of Urmia Lake and Aras River Basin, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

\*Corresponding author: ramazani@iaut.ac.ir

(Received: 25 January 2024, Accepted: 17 February 2024)

### Abstract

Recent epidemiological studies worldwide have investigated the relationship between air pollution and human health, revealing a significant impact of increased air pollution on respiratory tract infections. Tabriz, one of the most polluted cities in the country, faces serious health threats due to air pollution. The present study aimed to determine the relationship between different factors of air pollution and the incidence of asthma in Tabriz. Statistical data on pollutants (suspended particles with a diameter of less than 10 microns (PM<sub>10</sub>), ozone (O<sub>3</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), and carbon monoxide (CO)) from 2013 to 2022, were collected from five air pollutant measurement stations. ARC GIS software was used to analyze and compare the collected data with standard air pollution index (PSI). The results of the research indicated that the concentration of pollutants is low, medium and high in the regions 1, 10 and 4, respectively. The results indicated that there is a direct spatial relationship between SO<sub>2</sub> levels and asthma incidence. Additionally, the highest O<sub>3</sub> concentrations were in the western side and part of the city center, correlating with higher number of asthma cases, indicating a direct spatial relationship between O<sub>3</sub> concentration and asthma incidence. PM<sub>10</sub> pollution was higher in the city center, where the highest frequency of asthma patients was observed, showing a direct spatial relationship between PM<sub>10</sub> and asthma prevalence.

**Conflict of interest:** None declared.

**Keywords:** Air pollution, Respiratory diseases, ARC GIS software, Air pollution standard index, Tabriz



دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز  
فصلنامه آلودگی‌های محیطی و توسعه پایدار شهری

دوره ۱، شماره ۲، پیاپی ۲  
تابستان ۱۴۰۳، صفحات ۸۳-۶۵

## "مقاله پژوهشی"

# سبزه‌های حاشیه رودخانه زرینه‌رود میاندوآب و رودخانه دز دزفول و توسعه پایدار طبیعت رودخانه در حاشیه آن‌ها

راضیه نوردیده<sup>۱</sup>، محمد جدیری عباسی<sup>۲\*</sup>، رضا فتحی پور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته دوره دکتری معماری، دانشکده معماری، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

<sup>۲</sup> استادیار گروه معماری، دانشکده معماری، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

\* نویسنده مسئول مکاتبات: mohammad.jodeiri@iau.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۵/۲۰)

## چکیده

با توجه به صنعتی شدن جوامع، نظم طبیعی شهرها برهم خورده و می‌توان گفت که تعامل و مشارکت بین افراد با طبیعت کمرنگ گردیده است. برای برقراری ارتباط بین انسان و طبیعت می‌توان از علم منظر کمک گرفت. رودخانه دز دزفول و زرینه‌رود میاندوآب که از محدوده مرکزی شهر می‌گذرند نقش کلیدی در تعریف منظر شهری دارد. این رودها منبع با ارزشی در جهت ارتقای کیفیت محیط از دید زیبایی‌شناسی، اکولوژیکی، تفرجگاهی و شهرسازی می‌باشند. متأسفانه در محدوده مورد مطالعه طراحی مناسبی صورت نپذیرفته است. سبزه‌ها را می‌توان به دلیل ماهیت خطی بودن، گزینه مناسبی برای حاشیه رودخانه‌ها در نظر گرفت. با توجه به حیاتی بودن رودخانه دز و زرینه در شهر و نقشی که در سرزندگی محیط بر عهده دارند، در این تحقیق سعی شده با توجه به طغیان‌های رودخانه و مسائل زیست محیطی، امکان ایجاد سبزه در حاشیه این رودخانه‌ها بررسی شود. پژوهش حاضر نوعی تحقیق کاربردی و ترکیبی از روش‌های کتابخانه‌ای و تحلیلی است و هدف آن مطالعه پایداری طبیعت رودخانه در حاشیه آن‌هاست. در این مقاله که طرح محور می‌باشد سعی شده با بررسی مشکل سواحل رودخانه‌های دایمی کشور که در مقاطعی به شهر می‌خورند و بیش‌تر آن‌ها هم اکنون در وضعیت نابسامان قرار گرفته‌اند و محل رشد گیاهان بی‌ثمر و معمولاً محل زباله انداختن مردم شده و منظر طبیعی آن‌ها نیز در شهرها بیش‌تر در جهت زشت‌نمایی رشد نموده است، با طراحی و ایجاد فضاهای گردشگری برای زیست انسان و تفریح و توریست و در عین حال توسعه پایدار و ادامه‌دار تا حدودی بتوان سواحل این رودخانه‌های دایمی را در جوار شهرها سر و سامان داد و موجب روند این توسعه در جهت پایدار شد. این توسعه پایدار در مسیر حرکت آب موجب ایجاد منظر شهری زیبا و بنا نهادن محیطی برای گذران اوقات فراغت و افزایش روحیه مخاطبان با استفاده از آسایش روانی و معنوی آب به دست می‌آید.

**واژه‌های کلیدی:** سبزه، حاشیه رود، پایداری طبیعت، زرینه‌رود، میاندوآب، رودخانه دز دزفول



## مقدمه

رشد روزافزون جمعیت، تراکم محیط‌های انسان ساخت و توسعه زندگی شهری موجب محدود شدن محیط‌های طبیعی و شرایط بوم‌شناختی عناصر مهمی چون رودخانه‌ها، جنگل‌ها و کاهش منابع طبیعی شده است. متأسفانه در مورد رودخانه‌ها در محدوده شهرها، گسترش لجام گسیخته فضاهای شهری در حریم دلان و اراضی حاشیه رودخانه‌ها، اثرات مخرب زیست محیطی را به دنبال داشته است. این مسئله در حالی مطرح است که توجه به عناصر طبیعی درون شهرها از جمله رودخانه نقش بسزایی در بهبود کیفیت زندگی مردم در کنار سلامت محیط زیست دارد. به علاوه، اراضی سبز و منظر در حاشیه رودخانه‌ها می‌تواند نمونه‌ای از محیط طبیعی مطلوب درون‌شهری به حساب آید و زمینه تقویت منظر شهری و ارتقای کیفی منظر روزانه را در کنار انواع خدمات اکوسیستمی و به ویژه گردشگری طبیعی - تفریحی فراهم سازد (۱).

بنابراین نظریه نیلوفر رضوی و سایر همکاران در مقاله ترانه‌ای از آب، طرحی از انسان، جایگاه آب در طراحی منظر شهری در سال ۱۳۸۶، آب به عنوان یکی از اساسی‌ترین عناصر طبیعی منظر و به تبع آن منظر شهری از دیروز تا امروز تاثیر بسزایی در شکل‌گیری و اثربخشی فضاهای تفریحی، گردشگری و شهری داشته و همواره جلوه‌های مختلف آن باعث تهییج و تحریک گرایش انسان به زیبایی شده است. ارزش‌های وجودی آب تنها از نوع زیبا شناختی نبوده بلکه به عمیق‌ترین و درونی‌ترین بخش طبیعت ما باز می‌گردد. چنین محرکی انسان را بسوی شناخت ویژگی‌های فیزیکی بصری و ذهنی آب سوق داده و همین شناخت دستمایه طراحی‌های

انسان در غالب حوض‌ها، آب‌نماها، فواره‌ها و غیره شده است (۲).

شکل‌گیری اکثر تمدن‌های بشری در کنار رودخانه‌هایی با کاربری‌های متفاوت و گسترده شامل تامین آب آشامیدنی، مصارف کشاورزی، صید آبیان و ماهی‌گیری، تامین انرژی در گذشته و همچنین به کارگیری پتانسیل‌های گسترده رودخانه‌ها در بهبود سیما و منظر شهری و ایجاد تنفس‌گاه‌های عمده شهری و خلق کمربندهای سبز طبیعی در حاشیه رودخانه‌ها در زمان حال، نشانگر اهمیت بسیار این منبع حیاتی و طبیعی است.

متأسفانه در عصر حاضر و شهرهای کنونی سرزمین - مان، ایران، آن طور که شایسته است به این عامل حیات بخش توجه کافی نمی‌شود و کناره رودخانه‌ها با پتانسیل بسیار بالا برای زیباسازی و بهبود سیما و منظر شهری، بلااستفاده مانده و نه تنها حاشیه‌ای نازیبا از خود به نمایش گذاشته است، بلکه در بعضی از شهرهای بزرگ و کوچک از جمله میاندوآب و دزفول، تاسیسات و کارخانه‌ها با ایجاد فضاهای نامنظم و نامتناسب مانند فضاهای سبز و کارگاهی و ساخت‌وسازهای غیر مجاز دولتی و غیره، سبب شده‌اند منظر طبیعی رودخانه هم از بین برود. بدون تردید راه نجات از این وضعیت کنونی، توجه به اصول معماری پایدار و دخالت دادن آن در طراحی حاشیه رودخانه‌ها با ایجاد فضاهای تفریحی - توریستی، فرهنگی - گردشگری، ورزشی و منظر شهری و ساماندهی حاشیه رودخانه است (۳).

در زمینه اصول و معیارهای طراحی منظر پایدار، نظریات متفاوتی وجود دارد. نظریه پردازانی چون «تامپسون» و «استینر»، دو اصل خلاقیت و اکولوژی را به عنوان اصول اساسی منظر پایدار معرفی می‌نمایند و

متذکر می‌گردند که الهام از ویژگی‌های اکولوژی طبیعت پیوندی ناگسستنی با فرهنگ دارند. بنابراین طراحی منظر پایدار بر مبنای رعایت اصول اکولوژیکی و زیبایی‌شناختی امکان‌پذیر می‌شود. این نگرش نقش طراحی منظر پایدار و طراحی محیط، در ایجاد تعادل بین تقاضای استفاده از محیط و توان اکولوژیک را مشخص‌تر می‌کند (۴).

رودخانه دز به عنوان یکی از عوامل اصلی شکل‌گیری شهر شناخته می‌شود و در اصل منافع زیادی را برای شهر به همراه دارد اما با وجود پتانسیل بالا در این حاشیه متاسفانه طراحی لبه رودخانه از نظر بصری زیبایی خاصی را القانمی‌کند و همینطور به خاطر عدم رعایت حریم‌ها در زمان بالا آمدن سطح آب مشکلاتی برای منظر مورد استفاده به وجود می‌آید. مطالعه حاضر در نظر دارد با استفاده از اطلاعات موجود و بررسی نقشه‌ها و همچنین مشارکت با افراد به این نتیجه برسد که آیا می‌توان در حاشیه رودخانه سبز راهی ایجاد کرد که باعث افزایش تعاملات اجتماعی و مشارکت مراجعه‌کنندگان شود یا خیر. همچنین در شهر میاندوآب با توجه به اینکه در طول مسیر طبیعی رودخانه زرينه-رود سبزراه در حاشیه ساحل رودخانه اجرا شده و تا حدودی با حفظ پایداری طبیعت رودخانه؛ فضایی لذت‌بخش و طبیعی برای عموم مردم محیا کرده بنابراین با احیای محیط طبیعی در کنار طراحی مناسب عناصر مصنوع هم‌جوار آن می‌توان رابطه انسان با طبیعت را تقویت کرد.

### روش تحقیق

در این پژوهش که جزو پژوهش‌های طرح محور و توسعه‌ای محسوب می‌شود سعی خواهد شد تا پس از ارائه تعاریفی مرتبط با موضوع پایداری طبیعت رودخانه

با طراحی معماری حاشیه زرينه‌رود در شهر میاندوآب و رود دز در شهر دزفول به اصل پایداری طبیعت و مؤلفه‌های آن بر روی جداره رودخانه پرداخته و در نهایت با تبیین این مؤلفه‌ها در برخورد با رودخانه، راهکارهایی برای رسیدن به طراحی جامع برای ایجاد محیطی مناسب در حاشیه رودخانه زرينه‌رود و رود دز و تبدیل حاشیه رودخانه به محیطی هم‌سو با طبیعت و در عین حال رعایت اصول پایداری طبیعت ارائه شود. به منظور انجام این پژوهش از روش اسنادی و کتابخانه‌ای به گردآوری اطلاعات از کتب، نشریات، مطالعات، عکس‌ها، سایت‌های اینترنتی پرداخته شده است.

بر این اساس روش پژوهش حاضر عبارت است از:  
- ادبیات تحقیق: توصیفی است که از ابزار جمع‌آوری اطلاعات، مطالعات کتابخانه‌ای طی رویکرد اسنادی بهره برده است.

- تجربیات جهانی و مطالعات موردی: از روش تحلیلی استفاده شده است و به بررسی موارد مرتبط با ادبیات تحقیق پرداخته است.

### مبانی نظری تحقیق

#### سبزراه

تعاریف متعددی برای سبزراه‌ها وجود دارد. کلمه سبزراه از الحاق کلمات کمربند سبز و پارک‌راه تشکیل شده است و به همین علت است که این کلمه طیف وسیعی از ایده‌های فضای باز و سبز مرتبط با هم را در برمی‌گیرد. سبز راه مطابق با شاخص‌های موجود در جدول (۱) یک فضای خطی است که می‌تواند شامل مسیر پیاده و یا دوچرخه‌باشد، مسیر تفریحی و ورزشی، فضای باز ارتباط‌دهنده و متصل‌کننده پارک و در مقیاس

محلی، نوارهای مشخص یا پارک‌های خطی طراحی شده به صورت پارک‌راه یا کمربند سبز می‌باشد (۵).

جدول (۱): شاخص‌ها و معیارهای سبزراه (۸)

|               |   |
|---------------|---|
| پایه‌مداری    | - میزان عدم تداخل مسیر حرکت پیاده و سواره<br>- پوشش مناسب حرکت پیاده<br>- عرض مؤثر مسیرهای حرکت پیاده<br>- میزان آلودگی صوتی در فضا                 |
| امنیت         | - کاربری‌های شبانه<br>- امنیت حاصل از عبور و حضور مردم<br>- نورپردازی شبانه<br>- حس نظارت اجتماعی<br>- بدنه‌های فعال                                |
| ایمنی         | - نبود نقاط خطرآفرین<br>- احساس ایمنی مرتبط با وسایل نقلیه و خودرو<br>- بررسی مبلمان و تسهیلات رفاهی<br>- بررسی فضای طراحی‌شده و امکان اجتماع افراد |
| اجتماع‌پذیری  | - میزان مشارکت مردم در طراحی و نگهداری فضا<br>- بررسی میزان حس تعلق به فضا  |
| زیست‌پذیری    | - بررسی میزان همه شمول بودن فضا<br>- بررسی میزان آسایش اقلیمی فضا<br>- بررسی میزان نفوذپذیری فضا  |
| کالبد و فیزیک | - فرم هندسی<br>- اجزای تشکیل‌دهنده ساختار<br>- شبکه‌های بودن  |
| کیفیت فضایی   | - ماجراجویی<br>- شاد بودن<br>- تنوع گونه‌های گیاهی  |

کمسیون ریاست جمهوری آمریکا در سال ۱۹۹۵ می‌توان این گونه تعریف کرد: شبکه‌ای زنده از سبزراه‌ها به منظور فراهم آوردن دسترسی مردم به فضاهای باز نزدیک به محل زندگی‌شان و به منظور اتصال فضاهای شهری و روستایی برای به بند کشیدن شهرها و حومه‌ها مانند یک شبکه حلقوی عظیم (۷).

### پارک‌های خطی (سبزراه‌های پیاده شهری)

یکی از انواع فضاهای سبز شهری پارک‌های خطی می‌باشند که بهره‌مندی شهروندان از مزایای فضای سبز را به طور یکسان در سطح شهر امکان‌پذیر می‌کنند. به فضاهای سبز خطی که معمولاً در کنار یک عامل طبیعی (دریا، رودخانه، دره و ...) یا یک عامل مصنوعی (راه‌آهن‌های متروک، جاده‌ها، خیابان‌های اصلی و فرعی، کانال‌ها و ...) به صورت طولی یا نواری با کاربری عمومی شکل می‌گیرند، پارک‌خطی می‌گویند (۹). این مسیرهای سبز دالان‌هایی هستند که با پهنای متفاوت در سیستمی شبیه به شبکه‌های بزرگ‌راه‌ها و راه‌آهن به یکدیگر متصل شده‌اند. راه‌های سبز به پیاده‌ها و دوچرخه‌سوارها فرجه‌ای سایه‌دار برای رهایی از خیابان‌های شلوغ شهر داده‌اند و نیز زیستگاه و پناهگاهی برای حیات وحش محسوب می‌شوند (۱۰).

پارک‌های سبز خطی برخلاف فضاهای سبز لکه‌ای که برای احداث، نیاز به تخصیص فضایی وسیع دارند، امکان رشد در فضاهای خالی شهر را دارا بوده و علاوه بر بهبود منظر شهری، با ایجاد یکپارچگی بین فضاهای تکه تکه شده شهری، باعث افزایش سرانه فضای سبز در سطح شهر نیز می‌گردند. با توجه به خطی بودن شکل این پارک‌ها و سبزراه‌ها، از مبدایی شروع و به مقصدی ختم می‌شوند. گاهی وجود نهر و رودخانه،

سبزراه‌ها دالان‌هایی هستند که با پهنای متفاوت در سامانه‌ای شبیه به شبکه‌های بزرگ‌راه‌ها و راه‌آهن به یکدیگر متصل شده‌اند (۶). سبزراه را بر اساس بیانیه

همه سبزره‌ها لزوماً دارای فضای سبز نیستند، به طور مثال اگر چنانچه یک مسیر از شهر را برای عبور پیاده مناسب‌سازی کرده و از تردد اتومبیل در آن جلوگیری کنیم، آن مسیر را به یک سبزره تبدیل کرده‌ایم. انواع مختلف کاربری‌های تجاری، تفریحی و فرهنگی در طول یک سبزره می‌تواند نقش و کارکرد آن را تقویت کند. همانطور که بیان شد سبزره‌ها به رنگ‌ها و انواع مختلف عرضه می‌شوند که باید در محیط زیست با دقت جایابی شوند. هر کدام از آن‌ها باید مکان خود و نقش خود را در درون چارچوب ساختار شهری دریابند. پارک‌های خطی (سبزره) می‌توانند پارک‌های کوچک و قدیمی را نیز به هم متصل سازند. در این حالت هدف ایجاد طرحی جامع است که تمام مسیرها و فضاهای سبز درون شهر به واسطه سبزره‌های اصلی به یکدیگر متصل شده و یک چرخه حرکتی ایمن، مفرح و سالم را به وجود آورند. بعضی از مسیرهای سبز با هدف حفاظت تاریخی احداث شده‌اند، مانند راه‌هایی برای مرتبط کردن مکان‌های تاریخی به وسیله مسیرهایی به منظور لذت بردن بازدیدکنندگان. اگر در طراحی مسیرهای سبز به نیازهای جوامع توجه شود بیش‌تر مردم با هر پیشینه‌ای، به دفعات از این مسیرها استفاده می‌کنند. مطالعات جامعی در شیکاگو حاکی از آن است که مردمی که در نزدیکی سبزره‌ها زندگی می‌کنند پاکیزگی، طبیعت، زیبایی، امنیت و دسترسی به آن را ارج می‌نهند (۱۰).

بستر طبیعی مناسبی را برای چنین پارک‌هایی فراهم می‌سازد. گاهی نیز انگیزه اصلی ممکن است حرکت لذت‌بخش و دیدن و دیده شدن باشد تا بهره‌بردن از طبیعت. اواخر قرن نوزدهم شاهد به وجود آمدن تعداد زیادی فضاهای عمومی از این قبیل بود که مخصوص درشکه‌های اشرافی ساخته شده بود. پارک "ویاله دی کوله" در فلورانس نمونه عالی این پارک‌ها است (۹). تعاریف متعدد دیگری نیز برای سبزره پیاده ذکر شده است:

- دالانی از زمین توسعه نیافته، در امتداد رودخانه یا در بین مراکز شهری که برای استفاده تفریحی یا حفاظت زیست محیطی ذخیره می‌شود.
- سبزره پیاده، فضای باز خطی و یا پارکی خطی است که اولاً از لحاظ محیطی سبز است و ثانیاً به عنوان یک مسیر به کار برده می‌شود.
- سبزره‌های پیاده‌شهری جمع‌کننده افراد به دور یکدیگر، فراهم آورنده فضاهای باز برای همه افراد در مکانی نزدیک به محل سکونتشان، حفاظت‌کننده‌های حیات آب، حیات وحش، منابع تفریحی و ارتباط‌دهنده پارک‌ها، مکان‌های باز، جنگل‌ها و غیره می‌باشد.
- سبزره‌های پیاده شهری، شبکه‌ای از عناصر خطی در برگرفته زمین هستند که مطابق با جدول (۲) برای اهداف چندگانه از قبیل بوم‌شناختی، تفریحی، فرهنگی، زیبایی‌شناختی و دیگر اهداف سازگار با مفهوم کاربری زمین پایدار برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت می‌شوند (۱۱).

## جدول (۲): دسته‌بندی مسیرهای سبز پیاده در شهر (۱۲)

|                          |   |
|--------------------------|---|
| سبزه‌های تفریحی          | این سبزه‌ها در دالان‌ها و نهرها هستند، اغلب مسافت نسبتاً زیادی دارند و مسیرهایی را شامل می‌گردند که کیفیت بصری دارند به نحوی که استفاده کنندگان از میان منظرهای مهم بصری و متنوع عبور می‌کنند. بسیاری از فضاهای سبز و سبزه‌های تفریحی مطلوب در جایی پدید آمده‌اند که مسیرهای پیاده‌روی و کوره‌راه‌ها با نواحی و مکان‌های تفریحی حاشیه رودخانه و مسیل‌ها تلاقی می‌یابند.   |
| سبزه‌های بوم‌شناختی      | سبز راه‌های بوم‌شناختی فضاهای باز و دالان‌های مهم طبیعی هستند و اغلب در امتداد رودخانه‌ها، مسیل‌ها و تپه‌ها قرار دارند. این سبز راه‌ها مکان‌های مناسبی جهت مهاجرت حیات وحش، حفظ تنوع زیستی و مطالعه اختصاصی طبیعت فراهم می‌آورند.   |
| سبزه‌های تاریخی و فرهنگی | مکان‌ها و راه‌هایی با ارزش فرهنگی و میراث تاریخی هستند. این مسیرها به منظور جذب گردشگر و فراهم آوردن آموزش، چشم‌انداز مطلوب، تفریح و سودمندی اقتصادی مورد توجه قرار می‌گیرند. این سبزه‌ها معمولاً در امتداد یک راه یا بزرگراه هستند و عمده‌ترین نقش آن‌ها فراهم کردن دسترسی پیاده در امتداد مسیر و مکانی برای پیاده شدن از اتومبیل است. مسیر سبز پیاده گردشگری نوعی از سبزه‌های تاریخی و فرهنگی به شمار می‌رود. |

## رودخانه‌های شهری

رودخانه‌های شهری جزئی از پیکره طبیعی شهر هستند و در اغلب شهرهای جهان مهم‌ترین عنصر طبیعی و به مثابه اندام شهری پیونددهنده انسان، شهر و طبیعت بوده و دارای نقش ارزنده‌ای در ارتقای کیفیت محیطی شهری می‌باشند. رودخانه‌های شهری با ایجاد مناظر زیبای طبیعی در درون بافت شهر، همواره مردم را برای سکونت به سمت خود جذب نموده و باعث شکل‌گیری بافت‌های شهری در راستای آن‌ها شده است. اهمیت این رودخانه‌ها تا جایی پیداست که با بررسی و تحقیق در فرم، شکل و سیمای شهرها می‌توان پی برد که گسترش و توسعه شهر تحت تأثیر مستقیم رودخانه بوده و این تأثیر در ساختار کالبدی و فضایی محسوس است. توسعه روز افزون شهرها بدون بهره‌گیری از محیط‌های طبیعی، توازن بین شهر و طبیعت را مختل نموده است. در این میان رودخانه‌ها به عنوان یکی از عناصر ساختار اکولوژیکی شهرها می‌توانند نقش موثری در راستای ایجاد تعادل بین فضای انسان ساخت، شهر و طبیعت و در نهایت ارتباط انسان با طبیعت ایفا نمایند. گسترش و

نفوذ این رودخانه‌ها در شهر و در میان بافت شهری و در نتیجه قابلیت دسترسی بالای آن‌ها از جمله ویژگی‌های مهم آن‌هاست. ذکر این نکته بدیهی است که رودخانه‌های شهری مؤلفه‌ای اساسی در پایداری زیست محیطی شهرها به شمار می‌روند (۱۳).

## پایداری

واژه پایدار به معنی وجود داشتن و قابل حفظ بودن در یک موقعیت یا شرایط مشخص می‌باشد. در زمینه معماری، پایداری واژه‌ای است که به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شود که به لحاظ اقتصادی، اثربخش، به لحاظ محیطی، سلامت و به لحاظ تکنیکی، کارآمد اجرا شده باشند. علاوه بر معماری و اکولوژی، تعاریف دیگری از پایداری در سایر زمینه‌ها نیز وجود دارد: تکنولوژیک، مصالح، اقتصادی و رفتاری (۱۵).

## توسعه پایدار

از هدف اصلی توسعه پایدار می‌توان به تامین نیازهای اساسی، بهبود و ارتقای سطح زندگی برای همه، حفظ و اداره بهتر اکوسیستم‌ها و آینده‌ای امن‌تر و سعادت‌مندتر اشاره نمود. این اهداف خود متضمن تناقضی است که

تغییر فشارهای اقتصادی؛ زیست‌محیطی و اجتماعی است (۱۸).

### پایداری در طبیعت

از دیدگاه اکولوژیکی اصولاً هر اکوسیستمی در داخل اکوسیستم‌های بزرگ‌تر جای می‌گیرد و در نهایت همه اکوسیستم‌های طبیعی درون اکوسیستم بیوسفر (زیست کره، بوم‌سپهر) قرار می‌گیرند. موجودات زنده و اکوسیستم آن‌ها قادر به مقاومت و بازسازی در مقابل تغییرات و اثرات خارجی هستند. به عبارت دیگر، آنان دارای قدرت پایداریند. حال سؤال اساسی اینجاست که اکوسیستم‌ها چگونه پایداریند؟ صریحاً می‌توان اذعان نمود که اکولوژیست‌ها با وجود تعدد فرضیات در این مورد، جواب کاملی بر این سؤال ندارند. دلیل نبودن چنین اطلاعاتی این است که پایداری اکوسیستم امر فوق‌العاده پیچیده‌ایست.

با این حال مرور ساختار، اجزا و برخی ویژگی‌های اکوسیستم می‌تواند برخی رموز این پایداری را روشن سازد (۱۹).

### معماری پایدار

از طریق معماری می‌توان جامعه را از مطلوبیت و ارزش‌های فراوان اقتصادی و زیست محیطی و انرژی‌هایی که به نام‌های بی‌ضرر، سبز، آرام و غیره شهرت یافته‌اند، مطلع نمود. انرژی‌هایی که از دیدگاه هنرمندان و معماران، انرژی زیبا نامیده می‌شوند (۲۰). در معماری، پایداری واژه‌ای عمومی است که برای توصیف طراحی ساختمان‌های مقاوم از نظر تکنیکی، مصالح، اکولوژیک و محیطی به کار می‌رود. در مفهوم معماری پایدار، استواری از طریق سه جزء عمده تامین می‌شود:

بسیاری آن را از خصوصیات اصلی واژه توسعه پایدار می‌دانند. تامین رشد لازم برای بهبود سطح زندگی عموم و آینده‌ای مفرح‌تر و در عین حال حفظ اکوسیستم‌ها. لیکن موضوع این است که با تغییراتی که بشر در محیط و بستر طبیعی خود پدید آورده است، به چنان مرحله بحرانی از تاریخ خود رسیده است که ادامه حیات سالم در کره زمین را مستلزم تجدید نظر در فرضیاتی قرار می‌دهد که مدل‌های رایج برنامه‌ریزی و توسعه بر پایه آن‌ها قرار گرفته‌اند (۱۴).

توسعه پایدار شکلی از توسعه امروزی است که توان توسعه مداوم شهرها و جوامع شهری برای نسل‌های آینده را تضمین می‌کند (۱۵). توسعه پایدار به عنوان توسعه‌ای که نیازهای نسل حاضر بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای رفع نیازهای خود تعریف شده است. توسعه پایدار نیاز به رویکرد برنامه‌ریزی زیست محیطی دارد که در آن در تمام سطوح مجاز، از توسعه پایدار نگهداری می‌شود. ارزیابی آثار زیست-محیطی ضمن کمک به رویکرد برنامه‌ریزی، یکی از ابزارهای مهم برای دستیابی به این هدف است (۱۶). در نظریه‌های توسعه پایدار شهری برنامه‌ریزی (برخلاف برنامه‌ریزی فیزیکی) خواهان توجه به ارتباط بین ساختارهای پویای اقتصادی؛ اجتماعی؛ فرهنگی؛ محیط-زیستی؛ سیاسی و اداری درون و بین مناطق شهری می‌باشد (۱۷).

در پایداری زیست‌محیطی توسعه‌ای مورد نظر می‌باشد که ثبات و پایداری جامعه را برهم نزند و در پایداری و رشد جامعه کمک کند. در برنامه‌ریزی برای تحقق توسعه پایدار ضمن به کارگیری منابع و استفاده از آن‌ها باید بقای منابع و جامعه نیز در نظر باشد. بر این اساس توسعه پایدار شهری؛ یک فرایند پویا و بی وقفه در پاسخ به

اشترانکوه و قالیکوه سرچشمه گرفته است. این رودخانه را در زمره یکی از پرآب‌ترین رودخانه‌های دائمی ایران که از دو شاخه اصلی موسوم به سزار و بختیاری تشکیل شده است قرار می‌دهند (۲۲). دزفول از شهرهای استان خوزستان در جنوب غربی ایران است که بر روی رودخانه دز واقع شده و مختصات آن عبارتند از عرض جغرافیایی "۳۲ ۱۶" و طول جغرافیایی "۴۸ ۲۵" و دارای ارتفاع ۱۳۷ متر از سطح تراز دریا می‌باشد. محدوده مورد مطالعه بخشی از رودخانه دز در حوضه آب‌خیز رودخانه دز در شهرستان دزفول است که حد فاصل روستای چمگلک تا سد انحرافی پایین دست رودخانه دز به طول ۱۴ کیلومتر را شامل می‌شود (۲۳).

در تقسیم‌بندی از لحاظ کالبدی و نقش رودخانه در شکل‌گیری شهر رود دز از رودهای دائمی کشور بوده که از میان استخوان‌بندی شهر می‌گذرد و یا به عبارتی رود از میان ساختار شهر عبور می‌کند (می‌توان گفت که رود بیش‌ترین نقش را در پیدایش و شکل‌گیری شهر دارا بوده است). در سابقه تاریخی آن، هسته اولیه شهر در یک طرف رودخانه پدید آمده که پس از شکل‌گیری شهر در زمان بسیار کوتاهی تا طرف دیگر گسترش یافته است. این اندام طبیعی که به صورت یک عنصر منسجم تمام طول خطی شهر را فراگرفته است تأثیرات قابل ملاحظه-ای را در اکوسیستم و کیفیت‌های اکولوژی شهر بر جای نهاده است. علاوه بر آن موضوع کیفیت محیط مصنوع و سازمان ادراک شهر را شدیداً تحت تأثیر قرار داده و در انتظام‌بخشی و خوانایی ساختار طبیعی و مصنوع شهر نقش مؤثر دارد که مانند ستون فقرات اتصال‌دهنده اجزا سازمان کالبدی در کل پهنه شهر به حساب می‌آید. در طول رودخانه دز ساخت و سازهای وسیعی صورت گرفته است. از یک سو سیلابی بودن رودخانه تهدیدی

۱- استواری تکنولوژی مواد (عناصر)

۲- پایداری منابع

۳- پایداری محیطی

خلق ساختمان‌های پایدار نیازمند توجه به پایداری عناصر تکنولوژیک و مواد، منابع و محیط است. پایداری یک المان بر اساس دوام، درجه حفاظت و توانایی تجدید شدن آن تعیین می‌شود. مباحث اقتصادی مرتبط با ساخت، سودبخشی و ارزش موجود ساختمان نیز باید مورد توجه قرار گیرند. پایداری منابع بر پایه شرایط سایت، اثرگذاری، هزینه‌های عملکردی، چرخه حیات ساختمان، در دسترس بودن و نیروهای طبیعی مطلوب می‌تواند اندازه‌گیری شود (۲۱). در نهایت ایجاد محیط-های سلامت، قابل سکونت و ایمن با ظرفیت اجتماعی و اصولی باید در ابتدا مدنظر قرار گیرد تا پایداری محیطی به وجود آید. بنابراین چالش معمار یافتن توازی بین مسائل تکنیکی و مواد، موجود بودن منابع و پایداری محیطی می‌باشد (جدول (۳)).

جدول (۳): پایداری محیط (۲۱)

| المان‌ها   | منابع                                  | محیط                   |
|------------|--|------------------------|
| بادوام     | بر مبنای شرایط سایت                    | سلامت                  |
| اقتصادی    | تحت تأثیر هزینه‌ها (عملکردی/چرخه حیات) | قابل سکونت             |
| نگهداری کم | در دسترس بودن                          | ظرفیت اجتماعی/اصولی    |
| قابل تجدید | نیروهای طبیعی (مطلوب)                  | ایمنی و امنیت (حفاظتی) |

### محدوده مورد مطالعه

(نمونه موردی: رودخانه دز)

رودخانه دز از ارتفاعات جنوب غربی اراک، بروجرد، الیگودرز و کوه‌های بلند بختیاری مانند زردکوه،

**(نمونه موردی: رودخانه زرینه‌رود میان‌دوآب)**

رودخانه زرینه‌رود (جیغاتو) نام رودی است که در شمال غربی ایران و در جنوب شرقی استان آذربایجان غربی جریان دارد و پرآب‌ترین رودخانه با طول ۳۴۰ کیلومتر و طولانی‌ترین رود استان آذربایجان غربی نیز است که از شهرستان‌های بوکان، شاهین‌دژ و میان‌دوآب عبور و سرانجام از قسمت جنوب شرقی دریاچه ارومیه به آن وارد می‌شود. این رودخانه به عنوان بزرگ‌ترین رود حوضه آبریز دریاچه ارومیه بیش از ۴۰ درصد از سهم آب‌های ورودی به دریاچه از طریق رودخانه‌های حوضه را به خود اختصاص داده و به دلیل اهمیت اقتصادی و به ویژه زیست‌محیطی و اکوسیستمی آن، آب جاری شده از طریق رودخانه زرینه‌رود بسیار اهمیت دارد. متوسط آبدهی رودخانه زرینه‌رود ماهانه ۱۳۹/۵ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود. سطح حوضه آبریز رودخانه زرینه‌رود ۷۱۶۰ کیلومتر مربع است. این رود علاوه بر تأمین آب کشاورزی و شرب مردم شهرها و روستاهای اطراف خود موجب طراوت و زیبایی محیط اطراف و تأمین زیستگاه گونه‌های متنوع گیاهی و جانوری شده است که از نظر اکوسیستمی بسیار ارزشمند است (۲۷).



شکل (۲): دید هوایی رودخانه زرینه‌رود میان‌دوآب (۲۸)

برای شهر بوده و از سوی دیگر چهره پر آب آن می‌تواند در ارتقا کیفیت بصری و بهبود کیفیت سیمای شهر دزفول مؤثر باشد. که خود گامی مؤثر در جهت توسعه پایدار شهری می‌باشد. این رود دائم حوزه اکولوژیکی و کیفیت محیطی جدیدی بر قابلیت طبیعی شهر افزوده است (۲۴). حوضه آبریز کارون و دز، در مساحتی بالغ بر ۶۶۹۳۰ کیلومترمربع قرار دارد و این رودخانه در محدوده بین مختصات جغرافیایی ۱۵، ۴۸ تا ۳۰، ۵۲ طول شرقی ۱۷، ۳۰ تا ۴۹، ۳۳ عرض شمالی واقع گردیده است. رودخانه کارون در فاصله ۷۵ کیلومتری جنوب اصفهان از رشته کوه‌های زاگرس سرچشمه گرفته و در شمال شهر شوشتر به دو شاخه گرگر و شطیط تقسیم می‌شود. این دو شاخه در محلی به نام بندقیر به هم پیوسته و با الحاق به رودخانه دز مجموعاً رودخانه کارون بزرگ را تشکیل می‌دهند. در مورد تعداد و انواع آلاینده‌های ورودی به رودخانه کارون و دز باید گفت که ۹ زهکش عمده، از آلاینده‌های کشاورزی، ۱۷ واحد صنعتی و ۳۷ محل تخلیه پساب فاضلاب‌های شهری از ۷ شهر مجاور آبراهه، پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری خود را در آن محل تخلیه می‌کنند (۲۵).



شکل (۱): چشم‌انداز شهری رودخانه دز (۲۶)



## تجارب جهانی

بسته به مشخصه‌های اجتماعی و اکولوژیکی متنوع در نقاط مختلف طیف گسترده‌ای از رویکردهای مختلف احیای رود شهری می‌توان متصور شد. اجتماع اروپاییان

تجربه‌های با ارزشی در زمینه بازآفرینی رودهای موجود شهری داشته‌اند (جدول (۴)) که بیش‌تر نه فقط به فهم جامع و فراگیر از احیای رود شهری پرداخته‌اند بلکه دیدی کاملاً محلی و موضعی به مقوله احیای رود با معیارهای مشخص داشته‌اند (۲۹).

جدول (۴): نمونه‌هایی از برنامه‌ریزی‌های فضاهای حاشیه رودخانه در اروپا (۳۰)

| نام پروژه  | توضیحات موردی   |
|--|---|
| The banks of the Rhone river 2006 (les berges du Rhone 2006)         | بخش عمده‌ای از کناررود، رودخانه شهری Rhone برای احیاء توسط مقامات حکومتی شهر لیون (Lyon) برنامه‌ریزی شده است که مساحتی در حدود ۶۰۰۰۰ مترمربع را در برمی‌گیرد. این فضاهای برنامه‌ریزی شده به منظور کاربری‌های جدید برنامه‌ریزی شده‌اند.                          |
| Nature val de saone, Municipalities along the saone river incl. Lyon | هدف این برنامه احیاء فضای سبز و پوشش گیاهی استقرار یافته در کناررود، رود شهری Saone را در برمی‌گیرد که هدف آن بالا بردن کیفیت پوشش گیاهی رود کناری است. این طرح در سال ۱۹۹۹ شروع شده و چندین سال به طول خواهد انجامید.  |
| The blue Network (Het Blauw Network), Brussels                       | این برنامه در جهت احیاء و باز زنده‌سازی چندین آبراه شهری در منطقه Brussels مرکزی شامل: woluwe, Molenbeek sud (Geleleysbeek), molenbeek nord, Vogelzangbeek, Neerpedebeeck, la. و اکولوژیکی عملکردهای بصری و دوباره آفرینی کریدورهای رود تنظیم شده است.          |
| Trout 2010, Hamburg  | Trout 2010 برنامه‌ای است برای بازگرداندن ساکنین منطقه پرورش ماهی قزل‌آلا در مسیل‌های منتخب هامبورگ. پیشرفت‌های لازم در بخش مسیل‌های کانال‌کشی شده با همکاری سازمان‌های غیردولتی میسر خواهد بود. این برنامه اهداف دستوراالعمل ۲۱ برنامه‌ریزی شهری را در بر دارد. |
| Emscherumbau   | تاریخ اکتشافات معدنی در منطقه Emscher هویت آنگیرهای این شهر را در رود دره RuHR شکل می‌دهد. این طرح از سال ۱۹۹۰ در دست اجرا بوده و احیاء تمام آنگیرهای شهری را در منطقه مد نظر دارد و هدف آن بهره‌وری پایدار از آب و تأمین نیازهای آینده منطقه است.              |
| Isar plan, Munich  | پروژه ایزار (Isar) سال ۱۹۹۵ شروع شد. این پروژه یک برنامه مرکب برای ایالت باواریا (Bavaria) و شهر مونیخ (Munich) می‌باشد که در جهت بهبود استحکامات در برابر سیل، ارتقاء وضعیت اکولوژیکی و دوباره آفرینی ارزش‌ها در رود ایزار در مونیخ تا سال ۲۰۰۶ می‌باشد.       |

## اجرای سبز راه‌های پیاده در شهرهای اروپایی

محدوده‌های پیاده در مراکز شهرهای اروپایی: ایجاد این نوع مراکز خاص پیاده با حذف کامل رفت و آمد سواره در اغلب شهرهای اروپایی به خصوص شهرهای کشور آلمان و با خصوصیات زیر انجام شد:

- توجه به جنبه‌های عملکردی محور پیاده و اولویت آن بر جنبه‌های زیبایی و جذابیت کالبدی، اجرای برنامه‌های

سرگرم‌کننده و تفریحی در طول محورها که باعث زنده بودن فضای خیابان در بیش‌تر ساعات روز شده است.

- ایجاد کاربری‌های متنوع
- بهبود ترافیک
- سابقه اولین پیاده راه در آلمان در دهه ۷۵ قرن بیستم در شهرهای اسن و کلن بوده است
- ایجاد اولین مسیر پیاده در دهه ۱۹۳۰ در خیابان لیمبکر در اسن آلمان

مناطق مختلف مورد تقلید قرار گرفت. معمار و برنامه‌ریز شهری، جان گهل، طراح و برنامه‌ریز این مسیر می‌باشد. روزانه حدود ۲۵۰ هزار نفر در فصل تابستان و حدود ۱۲۰ هزار نفر در فصل زمستان از خیابان اشتروگت (استراگت) استفاده می‌نمایند. برای سال‌های زیادی در اواخر قرن بیستم گردشگران در این خیابان از تماشای مرد وایکینگ با لباس خاص که آن‌ها را به مغازه‌های پوشاک راهنمایی می‌کرد لذت می‌بردند.

چند مرحله از مراحل ده‌گانه برنامه‌ریزی شهر کپنهاگ دانمارک، که آن را به کشوری دوست‌دار پیاده (پیاده مدار) تبدیل نموده است عبارتند از:

- تبدیل خیابان‌ها به راه‌های اصلی کاملاً پیاده
- کاهش تدریجی ترافیک و پارکینگ
- تبدیل محوطه‌های پارکینگ به میداين عمومی
- احترام به مقیاس انسانی
- ساکن کردن مردم در هسته مرکزی شهرها
- ترویج دوچرخه سواری
- در دسترس قرار دادن دوچرخه‌ها

### اجرای پیاده‌راه‌های سبز در شهرهای قاره آمریکا

در آمریکای شمالی در اوایل دهه ۱۹۶۰ گرایش بازگشت به مراکز شهری قوت گرفت و طی ده سال (۱۹۷۰-۱۹۶۰)، ۱۵۰ خیابان پیاده در شهرهای آمریکا به وجود آمدند. پیش از این تاریخ به دلیل اینکه مردم برای فرار از آلودگی و هزینه به حومه‌ها رفته بودند، ایده پیاده-راه‌ها در آمریکا شکل نگرفت.

مدتی بعد عده‌ای از طراحان شهری با توجه به مراکز شهرهای اروپایی دیدگاه خود را نسبت به پتانسیل‌های بالقوه شهر تغییر دادند و حومه‌ها اهمیت خود را از دست دادند. در آمریکای شمالی، ایجاد مسیر پیاده تجاری برای

- تبدیل خیابان کتویگر در اسن بصورت تدریجی و طی ۳۰ سال از یک خیابان پرتراфик به یک خیابان کاملاً پیاده

دو خیابان لیمبکر و کتویگر دارای عملکرد تجاری بوده ولی هر یک ویژگی‌های خاص خود را دارا هستند. خیابان لیمبکر با طول ۶۰۰ متر و عرض ۹ متر دارای واحدهای خرده فروشی و یک رستوران و بدون فعالیت‌های سرگرم کننده می‌باشد. در مقابل خیابان کتویگر با کاربری‌های متنوع مانند فروشگاه‌ها و سینماها و رستوران‌ها و غیره شرایط مطلوب‌تری را برای جذب شهروندان دارد. نکته مهم در برنامه‌ریزی و طراحی این محورها تدریجی بودن انجام تغییرات در آن‌ها می‌باشد. خیابان اشتروگت، کپنهاگ دانمارک: مرکز کپنهاگ یکی از بزرگ‌ترین و قدیمی‌ترین مثال‌های خیابان‌های پیاده است که اشتروگت نام دارد. خیابانی که محل خرید عابر پیاده است که در واقع یک خیابان نیست بلکه مجموعه‌ای از مسیرهای پیاده گردشگری است.

در بیش‌تر این مسیرها به اتومبیل‌های سنگین اجازه داده می‌شود که در طول مدت اول صبح به مغازه‌ها سرویس‌دهی نمایند و همچنین اتومبیل‌های حاوی دستگاه‌های تمیزکننده زمانی که مغازه‌ها و فروشگاه‌ها تعطیل می‌شوند امکان تمیز کردن کوچه‌ها و خیابان را می‌یابند. این خیابان بزرگ‌ترین جاذبه توریستی پرجمعیت مرکز شهر و طولانی‌ترین ناحیه خرید پیاده در اروپاست. این خیابان در نوامبر ۱۹۶۲، زمانی که اتومبیل تسلط خود را بر خیابان‌های مرکزی کپنهاگ آغاز کرده بود، ساخته شد. خیلی زود در این مسیر فروشگاه‌های بیش‌تر و کافه‌ها و غیره شکل گرفت و خیابان زندگی دوباره یافت. شبکه پیاده کپنهاگ به حدود ۱۰۰ هزار مترمربع بسط یافت و این ایده تبدیل به مدلی شد که در

عابرین رایج است. این خیابان‌ها پوشیده با سنگ‌فرش می‌باشند.

شهرهای بزرگ آرژانتین در آمریکای جنوبی که کوردوبا، روزاریو و مندوزا نام دارند دارای خیابان‌هایی جهت پیاده‌روی هستند، که میدان‌های شهری و پارک‌هایی که در بیش‌تر ساعات شبانه‌روز شلوغ می‌باشند شامل می‌شوند. بیش‌تر اما نه همه شهرهای آرژانتین مقیاسی انسانی دارند و دوست‌دار پیاده هستند اگرچه در بعضی بخش‌ها ترافیک خودرو ممکن است وجود داشته باشد.

پکوتا آیلند در ریودوژانیرو بدون حمل و نقل موتوری است و تنها خودروهای پلیس و آمبولانس اجازه عبور و مرور دارند. در ریودوژانیرو، جاده‌های کنار ساحل بدون ترافیک موتوری می‌باشند و تنها در روزهای یکشنبه و تعطیلات دیگر اجازه تردد دارند. کشور شیلی نیز خیابان‌های پیاده‌بزرگی در سانتیاگو وینه دلمر دارد. اسپارکز استریت اتاوا کانادا: این خیابان در مرکز شهر اتاوا کانادا قرار گرفته است که در سال ۱۹۶۶ به یک خیابان پیاده تبدیل شده است. خیابان پیاده اسپارکز شامل تعدادی رستوران و مراکز هنری دیدنی می‌باشد. این خیابان یکی از خیابان‌های تاریخی اتاوا است که تعدادی ساختمان‌های تاریخی در آن قرار گرفته است. این خیابان بعد از نیکالس اسپارکز نامگذاری شده است. او کشاورزی بود که در اوایل قرن نوزدهم با قرار دادن چوب، راهی درست کرد که بعدها به خیابان تبدیل شد. هنگامی که اتاوا به عنوان پایتخت کانادا انتخاب شد این خیابان از قبل مهم‌تر شد و تعدادی از دولت‌مردان و نمایندگان مجلس در آن ساکن شدند. همانطور که شهر گسترش می‌یافت عملکرد مرکز شهر کم‌رنگ‌تر گردید تا اینکه در سال ۱۹۵۹ خیابان به روی اتومبیل‌ها بسته

شد و تجارت در این مسیر دچار افت شدیدی شد. در سال ۱۹۶۱ نقشه‌ای برای تبدیل سریع این خیابان به مسیر پیاده‌گردشگری و تجاری ارائه شد تا قدرت تجاری و اقتصادی خیابان بازگردد. این موفقیت باعث شد که این خیابان به طور دائمی و برای همیشه به روی وسایل نقلیه بسته شود. در ماه‌های گرم سال کافه‌های دو طرف مسیر باز هستند و مراکز تجاری همیشه پر از جمعیت‌اند. هر سال این خیابان محل فستیوال‌ها و جشن‌های مختلف است. تعدادی از ساختمان‌های مهم اتاوا در این خیابان قرار دارند از جمله: اداره پست اتاوا از سال ۱۹۷۳ و ساختمان برق اتاوا از سال ۱۹۲۶ و همچنین تعدادی از بانک‌های کانادایی.

### سبزه‌راه‌های شهری استرالیا

مارتین پلیس: بیش‌تر این مسیرهای گردشگری پیاده در اواخر سال ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ بوجود آمده‌اند. اولین آن هاسیتی واک و گراما پلیس در کانبرا در سال ۱۹۷۱ افتتاح شد. در حال حاضر در استرالیا همه شهرهای بزرگ، حداقل دارای یک مسیر گردشگری پیاده می‌باشند. مارتین پلیس در سیدنی یکی از این مسیرهای گردشگری پیاده در استرالیا است. این مسیر در سال ۱۸۹۱ افتتاح شد و به احترام Sir James Martin Place نام گرفت. این خیابان به وسیله تعداد زیادی ساختمان احاطه شده است. این محل مخصوصاً در زمان نهار و اغلب به وسیله کارکنان ادارات پر ازدحام می‌شود.

شناخت مؤلفه‌های توسعه پایدار در تبیین جایگاه رودخانه دز و زرینه‌رود و پیشنهاد راهکارهای اجرایی شناخت و آگاهی صحیح از مفهوم توسعه پایدار و بکارگیری خلاقیت در جهت پاسخگویی به نیازهای

### بحث و نتیجه‌گیری

با گسترش فضاهای شهری، رودخانه‌ها و به خصوص رودخانه‌های فصلی مورد بی‌مهری قرار گرفته‌اند تا جایی که تنها از آنان به عنوان مسیل یاد می‌کنیم. عامل اصلی این بی‌توجهی، نوع اندیشه و تفکر افراد نسبت به این شریان‌های حیاتی شهرها است. احیاء کالبد رودخانه‌ها از طریق افزایش حس تعلق افراد به فضا، توسط ایجاد کاربری‌ها و فعالیت‌های جدید می‌تواند یک راهکار مؤثر در تبدیل فضاهای فراموش شده به فضاهای پایدار باشد. با در نظر گرفتن مواردی همچون ارتقای کیفیت منظر رودخانه (نظیر از بین بردن آلودگی زیست‌محیطی) و لزوم مکان‌بند ساختن کالبد رودخانه، موجب ارزش‌افزایی کالبد رودخانه‌ها می‌گردد، که موجب ایجاد یک فضای باز و پایدار شهری می‌شود که نقش حیاتی در شهرها ایفا می‌کند. بدیهی است برای احیاء و توسعه فضای سبز رودخانه و سازماندهی آن نیازمند طرح‌هایی به مراتب گسترده‌تر و در مقیاسی وسیع‌تر هستیم که می‌توان در طرح‌های جامع شهری آن را مدنظر قرار داد. کشور ایران با داشتن جاذبه‌های تاریخی و طبیعی فراوان پتانسیل‌های کافی و لازم برای ایجاد شبکه‌های اکولوژیک - تفریحی و تاریخی پیاده را در شهرهای خود داراست. مسیرهای سبز پیاده نقش مؤثری در کشف و ادراک محیط کالبدی و اجتماعی شهر دارند. شیب‌ها و انحنای معابر، تغییر موقعیت ناظر، ثبات و پیوستگی مسیر و جهت یا تغییر و تناوب آن تأثیرات عمیقی در دریافت و احساسات عابرین بوجود می‌آورند. پیاده‌روی در مسیرهای سبز عامل انسجام و ارتباط ساختارها، فضاها و شهروندان یک شهر با یکدیگر است. راحت و آهسته بودن عابران پیاده در این مسیرها سبب تمایز آن‌ها و ایجاد تعامل و تجربه و مکاشفه در محیط شهری می‌شود. در

مادی، معنوی و روانی انسان، فضا و محیطی را خلق می‌کند تا در جهت ارتقای کیفیت محیط و مناسب‌سازی آن برای تداوم زندگی مطلوب انسان ایفای نقش نماید. لذا با شناسایی و بهره‌وری از معیارهای توسعه پایدار و چگونگی تجلی کیفی و کمی آن به راهبردهایی جهت تبیین نقش آن در تعامل انسان، رودخانه و شهر - به عنوان یک روش سه مؤلفه‌ای (۳۱) در نیل به سوی محیطی پایدار دست خواهیم یافت. در زمینه توسعه پایدار نظریه - پردازان بیشماری پیرامون آن سخن گفته‌اند. نکته مهم مربوط به توسعه، شناسایی متغیرهایی است که نقش اساسی دارند. لذا سه محور اصلی معیارهای عملکردی، معیارهای زیبایی‌شناسانه و معیارهای زیست‌محیطی را می‌توان نام برد (۳۲). به طور خلاصه می‌توان گفت از نظر توسعه پایدار از لحاظ تعامل رودخانه و شهر به منظور خلق محیطی سرزنده و پویا باید موارد ذیل تأثیرگذار باشند:

- توجه به حیاط وحش و اکوسیستم محیط و میزان رشد و نمو آبزیان
- خوانایی فضای شهری با ایجاد تداوم و توالی بین عرصه‌های ادراکی خرد و کلان
- ارتقای کیفیت اکولوژیک و زیست‌محیطی رودخانه و ساحل آن به عنوان ساختار طبیعی و ارگانیک شهر و در واقع ریه تنفسی شهر
- مشخص کردن حد و مرز حریم رودخانه بدلیل طغیان - های فصلی رودخانه
- وجود انگیزه برای تداخل فعالیت‌های ساحل و رودخانه
- ملاحظات زیست‌محیطی (۲۴).

سبز راه‌های پیاده آزادی عمل انسان پیاده برای توقف، مکث، تغییر جهت و تماس مستقیم با دیگران بسیار زیاد است و چون آزادی حرکت پیاده در شهرها و فضاهای شهری نشانه خوبی از تمدن آن شهر است، می‌توان گفت که وجود سبز راه پیاده در شهر، مظهر تمدن و مدنیت و هویت آن شهر است. طراحی مسیرهای سبز پیاده با هدف حفظ بافت طبیعی موجود شهرها، رونق بخشیدن به صنعت گردشگری، کنترل منطقی توسعه شهری و ایجاد فضاهای پایدار شهری، یکی از مهم‌ترین اقدامات

به شمار می‌رود. طراحی مسیرهای سبز پیاده یکی از راهکارهای مناسبی خواهد بود که می‌تواند از تهدید و تخریب هر چه بیش‌تر محیط طبیعی و همچنین تاریخی جلوگیری نماید و در سامان بخشی آن‌ها موثر باشد. باتوجه به جدول (۵) معیارها و ارزیابی‌هایی که در قسمت مبانی نظری این پژوهش از مقاله قلعه‌نوعی و علیخانی برگرفته شده بود مقایسه تطبیقی بین این دو رودخانه به شکل زیر انجام گرفت:

جدول (۵): مقایسه تطبیقی دو رودخانه زرینه‌رود و دز

| معیار       | شاخص                                      | رودخانه   |    |  |
|-------------|---|-----------|----|--|
|             |   | زرینه‌رود | دز |  |
| پیاده‌مداری | - میزان عدم تداخل مسیر حرکت پیاده و سواره | ✓         | ✗  |  |
|             | - پوشش مناسب حرکت پیاده                   | ✓         | ✗  |  |
|             | - عرض مؤثر مسیرهای حرکت پیاده             | ✓         | ✗  |  |
|             | - میزان آلودگی صوتی در فضا                | ✓         | ✗  |  |
|             | - کاربری‌های شبانه                        | ✓         | ✓  |  |
| امنیت       | - امنیت حاصل از عبور و حضور مردم          | ✓         | ✓  |  |
|             | - نورپردازی شبانه                         | ✓         | ✓  |  |
|             | - حس نظارت اجتماعی                        | ✓         | ✓  |  |
|             | - بدنه‌های فعال                           | ✓         | ✓  |  |
|             |   |           |    | عرصه‌های شهر در تعامل با جداره رودخانه دز  |
|             |   |           |    | در محدوده مورد نظر تداخل حرکت سواره و پیاده وجود دارد به گونه‌ای که در پاره‌ای از مقاطع سایت دسترسی سواره باعث قطع ارتباط ساحل با شهر گشته و محدوده ساحلی به صورت چند پاره درآمده است.           |
|             |   |           |    | وجود فعالیت‌های زنده در شب با فواصل و پراکندگی مناسب در کناره‌ها و سواحل، ایجاد بستر کالبدی مناسب برای توقف‌های دراز مدت نظیر پیک‌نیک (صرف شام به همراه خانواده به خصوص در تابستان در کنار رود). |
|             |   |           |    | امکان بستری‌هایی برای بازی آزاد کودکان و امکان نظارت در حین بازی بر کودکان.  |
|             |   |           |    | نبود محدوده‌های امن برای شنا و قایقرانی و فعالیت‌های مشابه آن.   |

## ادامه جدول (۵):

|               |   |   |   |   |
|---------------|---|---|---|---|
|               | ✓ | x | - نبود نقاط خطر آفرین                       |   |
| ایمنی         |   |   |   | در محدوده ساحلی مورد نظر جهت حفاظت در مقابل جریانات دریایی تسهیلات حفاظتی در نظر گرفته شده است که در پاره‌ای از قسمت‌ها امکان تماس مستقیم با آب را با مشکل مواجه کرده است. لذا باید در طرح به گونه‌ای اندیشید که در عین حفظ ایمنی و امنیت ساخت و سازهای ساحلی امکان تعامل هرچه بیشتر با آب در جهت ارتقای کیفیت‌های محیطی محدوده برقرار گردد.  |
|               | ✓ | x | - احساس ایمنی مرتبط با وسایل نقلیه و خودرو  |   |
| اجتماع- پذیری |   |   |   | سطح تسهیلات رفاهی (مبلمان، تسهیلات تامین آسایش اقلیمی و...) در سطح پایین می‌باشد. محدوده مورد نظر از نظر ویژگی‌ها و عناصر خاطره‌انگیز که باعث نقش بستن خاطرات جمعی استفاده‌کنندگان و کاربری‌های برنامه‌ریزی شده مورد نیاز جهت تقویت حضور بهره‌بردار، در سطح پایین قرار دارد.  |
|               | ✓ | ✓ | - بررسی مبلمان و تسهیلات رفاهی              |   |
|               | ✓ | x | - بررسی فضای طراحی شده و امکان اجتماع افراد |   |
|               | ✓ | x | - میزان مشارکت مردم در طراحی و نگهداری فضا  |   |
|               | ✓ | ✓ | - بررسی میزان حس تعلق به فضا                |   |
|               | ✓ | x | - بررسی میزان همه شمول بودن فضا             |   |
|               | ✓ | ✓ | - بررسی میزان آسایش اقلیمی فضا              |   |
| زیست- پذیری   |   |   |   | در مسیر ساحل رودخانه دز به عنوان ساحل درون شهری، لزوم توجه عمیق‌تر و ارائه راهکارهای مناسب متناسب با شخصیت و هویت آن، برای ساحل ضروری می‌باشد. توجه به مسائل فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی، هویت شهری و... در رسیدن به ساختارهای مناسب برای سواحل رودخانه امری بسیار جدی و غیرقابل انکار می‌باشد. در حالی که نبود دانش کافی در این زمینه مسایل زیست محیطی نامناسب و مشکلات شهری عدیده‌ای را بوجود آورده است. |
|               | ✓ | ✓ | - بررسی میزان نفوذپذیری فضا                 |   |
|               | ✓ | ✓ | - فرم هندسی                                 |   |
| کالبد و فیزیک |   |   |   | همچنین امکان نفوذپذیری عرصه طراحی به حوزه‌های همجوار نیز بر اساس ویژگی‌های هر حوزه تعیین می‌شود. همجواری ساحل با بافت مجاور و به عنوان مفصلی بین شهر و دریا باعث تعامل هرچه بیشتر این دو حوزه می‌شود.   |
|               | ✓ | ✓ | - اجزای تشکیل دهنده ساختار                  |   |
|               | ✓ | ✓ | - شبکه‌ای بودن                              |   |
|               | ✓ | ✓ | - ماجراجویی                                 |   |
| کیفیت فضایی   |   |   |   | عرصه شهر (پارک ساحلی) در واقع همان ساختار خطی مجاور حریم رودخانه است و از لحاظ بصری و کارکردی با ساحل شرقی و شریان محلی درجه یک و پل مجاور خود در حال تعامل می‌باشد.  |
|               | ✓ | ✓ | - شاد بودن                                  |   |
|               | ✓ | x | - تنوع گونه‌های گیاهی                       |   |
|               | ✓ | ✓ |   | حضور فعال کودکان در فضا بر مفرح بودن آن می‌افزاید. امکان انجام فعالیت‌های ورزشی چون دوچرخه‌سواری، شطرنج، پیاده‌روی و نظایر آن نیز گذران اوقات فراغت در فضا را ممکن‌تر می‌سازد.  |
|               | ✓ | ✓ |   | در این محدوده فقدان پوشش گیاهی احساس می‌شود.  |

با توجه به جدول فوق رودخانه زرینه‌رود میان‌دوآب در وضعیت بهتری قرار دارد.

### پیشنهادات

مهم‌ترین شاخص‌های طراحی مسیر سبز پیاده موفق، با توجه به نکات مطرح شده در تجربیات پیاده‌راه‌های شهری ایران و جهان، می‌تواند به شرح ذیل باشد:

(۱) توجه به عناصر تاریخی و پیشینه‌های ارزشمند فرهنگی در طراحی و برنامه‌ریزی مسیر پیاده‌راه

(۲) توجه به شرایط اقلیمی در انتخاب مصالح و جزئیات طراحی

(۳) ایجاد سرزندگی در محدوده پیاده از طریق هنر عمومی و رویدادهای خیابانی

(۴) اجتناب از تغییر سطح‌های شدید در برنامه‌ریزی و طراحی مسیر پیاده، باید مورد توجه قرار گیرد.

(۵) ایجاد جاذبه‌های مثبت در طول مسیر که تا حدی انرژی از دست رفته در حرکت را جبران نماید: سفرهای پیاده در محدوده‌های متنوع و محرک می‌توانند تا ۳۵

درصد طولانی‌تر باشند، تا همان مقاومت و مانعی را به وجود آورند که یک محدوده متروکه و یکنواخت

شهری ایجاد می‌کند. ارتقای کیفیت به عنوان منبع انرژی در امور حمل و نقل از طریق شهرسازی و طراحی

فضای خیابان می‌تواند از لحاظ کمیت، تاثیر فضایی بیش‌تری در مقایسه با اقداماتی برای سرعت بخشی-

برای تردد وسایل نقلیه شخصی و همچنین برای تردد وسایل نقلیه عمومی - داشته باشد.

(۷) کف‌سازی‌ها می‌بایست جذاب و دعوت‌کننده یا به عبارتی دیگر انعطاف‌پذیر باشند.

(۸) طراحی جذاب محیط‌های اطراف مسیر پیاده

(۹) ایجاد فعالیت‌های متنوع تفریحی و فرهنگی و فعالیت‌های تجاری در طول مسیر پیاده

(۱۰) می‌بایست مسیر عابر پیاده را به طور مطلوب با محیط و مناظر اطراف وفق داد.

(۱۱) ایجاد فضاهای باز عمومی در فواصل کوتاه، در طول مسیر پیاده گردشگری اجتناب ناپذیر است. در

مسیری سرزنده و با نشاط باید در فواصل ۱۵۰ تا ۳۰۰ متری همواره یک فضای باز عمومی با جذابیت پیش-

بینی گردد.

(۱۲) ایجاد مراکز خرید و تاسیسات جنبی مانند آب نماها، محل‌های نشستن، سرویس‌های بهداشتی، سایه-

بان‌ها و ... در طول مسیر

(۱۳) برنامه‌ریزی برای تردد دوچرخه که تکمیل‌کننده تردد عابر پیاده باشد نه در تضاد با آن

(۱۴) ایجاد ایستگاه‌های دوچرخه در طول مسیر و امکان رها کردن دوچرخه توسط استفاده‌کننده در هر یک از

ایستگاه‌ها

(۱۵) ارزش قائل شدن برای مقیاس انسانی در طراحی مسیر پیاده گردشگری

(۱۶) اصلاح و بازسازی کالبدی پیاده‌راه (کف، جداره و...)

(۱۷) ایجاد فعالیت‌های ۲۴ ساعته در طول پیاده‌راه

(۱۸) حذف فعالیت‌ها و کاربری‌های مزاحم در طول مسیر

(۱۹) ایجاد سایه‌بان‌های مناسب و زیبا در طول پیاده‌راه برای محافظت در برابر آب و هوای نامناسب

(۲۰) ایجاد سرزندگی، ایمنی و انعطاف‌پذیری در پیاده‌راه

(۲۱) در نظر گرفتن وسایل حمل و نقل عمومی در اطراف محدوده پیاده

(۲۲) ایجاد فعالیت‌های متنوع

## تعارض منافع

نویسندگان هیچگونه تعارض منافی برای اعلام ندارند.

## منابع

- A., 1<sup>st</sup> Edition, University of Tehran Press, pp. 218, 219 and 221. (in Persian)
- [11] Ahern, J., 1995, Greenways as a planning strategy, *Landscape and Urban Planning*, 33, 131.
- [12] Nematollahi Sani, M., Momeni, M., 2013, Green urban sidewalks as a sample of sustainable urban spaces, First Architecture and Sustainable Urban Spaces Conference, Parman Applied Research Group, 22 November, Mashhad, Iran. (in Persian)
- [13] Tabatabaei Masoleh, S., 2013, Design of the river bank with an emphasis on the connection between the city and nature (case study: Zarjob river bank in Rasht between Takhti bridge and Zarjob bridge), M.Sc. Thesis, Gilan University, pp. 75. (in Persian)
- [14] Zoulfaqarzadeh, H., Tavakoli, A., Valadkhan, R., 2013, Architecture from nature to nature with an emphasis on the role of sustainable materials, First Architecture and Sustainable Urban Spaces Conference, Parman Applied Research Group, 22 November, Mashhad, Iran. (in Persian)
- [15] Kiani, M., 2015, Organization of inner-city riverbanks with emphasis on environmental indicators (case study: Golestan city river), International Conference on Environmental Science, Engineering and Technologies, University of Tehran, 5-6 May, Tehran, Iran. (in Persian)
- [16] Furman, E., Hildén, M., 1997, Guidelines for Environmental Impact Assessment (EIA) in the arctic, Finnish Ministry of the Environment, Finland.
- [17] Healey, P., 2007, Urban complexity and spatial strategies towards a relational planning for our times, 1<sup>st</sup> Edition, Routledge, pp. 338.
- [18] Haughton, G., Hunter, C., 2003, Sustainable cities, 1<sup>st</sup> Edition, Routledge.
- [19] Makhdoum, M., 2012, Living in the environment, (Translation), Author: Miller, G.T., 12<sup>th</sup> Edition, University of Tehran Press. (in Persian)
- [20] Shahabi, Sh., 2003, Green architecture, *Abadi: Quarterly Journal on Architecture & Urbanism*, 12, 94. (in Persian)
- [21] Zahri, S., 2012, Green architecture: Advanced technologies and materials, (Translation), Author: Attmann, O., Mehrazan. (in Persian)
- [1] Taghvaei, S.H., Alidoost, Sh., Mobarghaei Dinan, N., 2017, A framework for landscape & urban riverside's improvement based on ecosystem services case study: Sefidrud River in Astaneh Ashrafieh, *Journal of Architecture and Urban Planning*, 19, 77. (in Persian)
- [2] Dabiri, M., Razavi, N., Baharlo, M., Pakzad, P., 2008, The song of water, design of human being; the role of water in urban landscape designing, *Municipalities Monthly*, 86, 360. (in Persian)
- [3] Moeinfar, M., Beig Babaei, B., 2015, The sustainability of the river nature with architectural design on its edge (Case study: Zarrineh-Rud beach in Miyandoab city), The First National Conference on Geography, Tourism, Natural Resources and Sustainable Development, 19 February, Tehran, Iran. (in Persian)
- [4] Baghdadi, A., Goodarzi, H., 2021, Solutions for sustainable landscape design of urban rivers using greenways, study area: Karaj River, *Green Architecture*, 23, 21. (in Persian)
- [5] Little, C.E., 1995, Greenways for America, Johns Hopkins University Press, London.
- [6] Fabos, J.G., 1995, Introduction and overview: the greenway movement, uses and potentials of greenways, *Landscape and Urban Planning*, 33, 1.
- [7] Shabani, N., Abarkar, M., Parivar, P., Kouchekezadeh, M., 2011, Introducing and applying landscape ecological approach in city scale (Case study: The city of Tehran). *Journal of Environmental Sciences and Technology*, 12, 185.
- [8] Ghalehnoee, M., Alikhani, M., 2015, Evaluation of Isfahan's "Mâdies" as greenways, with sustainable development approach; a case study of Niasarm Mâdi, *Journal of Environmental Studies*, 40, 1067. (in Persian)
- [9] Bahrainy, S.H., 2003, A theory of city form, (Translation), Author: Lynch, K., 2<sup>nd</sup> Edition, University of Tehran Press, pp. 593. (in Persian)
- [10] Tabibian, M., 2010, City and environment, (Translation), Authors: Boone, C.G., Modarres,



- analysis for a problematic world revisited: problem structuring methods for complexity, uncertainty and conflict, Rosenhead, J., Mingers, J., (Editors), 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, pp. 289-310.
- [32] Golkar, K., 2006, The concept of cityscape, Abadi: Quarterly Journal on Architecture & Urbanism, 53, 38. (in Persian)
- [22] Hedayat, N., 2005, Improving the performance of water delivery systems in the Dez and Moghan irrigation schemes in Iran. Ph.D. thesis, Cranfield University.
- [23] Zallaghi, M., Afrous, A., 2020, Qualitative simulation of nitrate and phosphate along the Dez River using QUAL2KW model, Iranian Journal of Soil and Water Research, 50, 2099. (in Persian)
- [24] Saeedian, A., Goli, M., Kaboli, A.R., 2012, Investigating the interaction of the Dez River and the city fabric on the modern urban life of Dezful, National Conference on Archeology and Architecture of Dezful Water Structures, Dezful Branch, Islamic Azad University, 30-31 January, Dezful, Iran. (in Persian)
- [25] Shamsaei, A., Oreei Zareh, S., Sarang, A., 2005, The comparison of water indices and zoning quality in Karoon and Dez Rivers, Journal of Water and Wastewater, 16, 39. (in Persian)
- [26] Ameli, M.M., ISNA, 2023. (Available online: <https://aftabnews.ir/003UVH>).
- [27] Sharzei, G., Majed, V., 2015, Using choice experiment to value Zarinehroud's environmental functions improvement, Environmental Sciences, 13, 133. (in Persian)
- [28] Zarin Khabar. (Available online: <https://images.app.goo.gl/ajfkURfgTGa4dk8y6> ).
- [29] Schanze, J., Olfert, A., Tourbier, J.T., Gersdorf, I., Schwager, T., 2004, Existing urban river rehabilitation schemes, Final report of WP2 from urban river basin enhancement methods, European Commission.
- [30] Bemanian, M.R., 2008, The environmental planning revitalization for river valleys of Tehran in strategic factors analysis approach (SWOT) (Case study: Velenjak river valley), Environmental Sciences, 5, 1. (in Persian)
- [31] Mingers, J., 2001, Multimethodology - Mixing and matching methods, In: Rational

**“Research article”**

**Greenways on the banks of Zarrineh-Rud of Miyandoab and Dez of Dezful rivers and sustainable development of river nature on their banks**

**Razieh Noordideh, Mohammad Jodeiri Abbasi\*, Reza Fathipour**

Faculty of Architecture, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

\*Corresponding author: mohammad.jodeiri@iau.ac.ir

(Received: 3 February 2024, Accepted: 10 August 2024)

**Abstract**

The industrialization of societies has disrupted the natural order of cities, leading to a noticeable decline in the interaction and participation between people and nature. To establish the relationship between humans and nature, landscape science can be employed. The Dez of Dezful River and the Zarrineh-Rud River in Miyandoab, both of which traverse the central areas of their respective cities, play a crucial role in shaping the urban landscape. These rivers are valuable resources for enhancing environmental quality in terms of aesthetics, ecology, recreation, and urban planning, yet they have unfortunately not been properly designed in the studied area. Greenways can be considered as an appropriate option for riverbanks due to their linear nature. Considering the significance of the Dez and Zarrineh rivers within the city and the role they play in environmental vitality, this research examines the possibility of creating a greenway along these rivers, considering river floods and environmental concerns. The current research is applied in nature, combining library and analytical methods, with the aim of studying the stability of river ecosystems along their margins. This article focuses on investigating the issues concerning the banks of the permanent rivers of the country, which sometimes flow into urban areas. Many of these riverbanks are currently in a disordered state, overgrown with barren plants and usually used as dumping ground for waste. Their natural landscape has also deteriorated, contributing to visual pollution within cities. By designing and developing tourism spaces for human life, recreation, leisure, and sustainable development, it is possible to revitalize the banks of these permanent rivers near cities. Such development, aligned with sustainable practices along water courses, not only enhances the urban landscape but also creates inviting environment for leisure activities, boosting public morale through psychological and spiritual benefits of water.

**Conflict of interest:** None declared.

**Keywords:** Greenway, Riverbank, The sustainability of nature, Zarrineh-Rud, Miyandoab, Dez of Dezful River



دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز  
فصلنامه آلودگی‌های محیطی و توسعه پایدار شهری

دوره ۱، شماره ۲، پیاپی ۲  
تابستان ۱۴۰۳، صفحات ۹۶-۸۵

## "مقاله پژوهشی"

# سنتز نانوکامپوزیت ZnO/SnO<sub>2</sub> بارگذاری شده با نقره به روش تلقیح مایع و بررسی فعالیت نوری آن در حذف یک آلاینده محیط زیست تحت تابش نور مرئی

لیلا آیرملو\*

دانش آموخته دکتری شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

\*نویسنده مسئول مکاتبات: leilaayramlo@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶)

## چکیده

در این تحقیق ابتدا نانوکامپوزیت ZnO/SnO<sub>2</sub> به روش هم‌رسوبی سنتز شده، سپس نقره با درصد‌های مختلف به روش تلقیح مایع بر روی نانوکامپوزیت بارگذاری شده است. فعالیت فوتوکاتالیزوری مواد سنتز شده در حذف یک آلاینده رنگزا (اسید قرمز ۲۷) تحت نور مرئی مورد ارزیابی قرار گرفته است. مشخصه‌یابی مواد با استفاده از روش‌های XRD و SEM-EDX انجام گرفته است. با استفاده از آنالیزهای مذکور اندازه ذرات، فازهای تشکیل دهنده و همچنین مورفولوژی ذرات بدست آمده است. نتایج فعالیت فوتوکاتالیزوری نشان می‌دهد که نانوکامپوزیت Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> فعالیت بیش‌تری نسبت به نانوکامپوزیت ZnO/SnO<sub>2</sub> در حذف اسید قرمز ۲۷ (AR27) را دارد. بیش‌ترین فعالیت فوتوکاتالیزوری مربوط به نانوکامپوزیت Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> با ۵٪ وزنی نقره و دمای کلسیناسیون ۵۰۰°C می‌باشد بطوریکه درصد حذف AR27 تحت تابش نور مرئی به مدت ۵۰ دقیقه ۹۵٪ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ZnO/SnO<sub>2</sub>، Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub>، هم‌رسوبی، تلقیح مایع، فعالیت فوتوکاتالیزوری، اسید قرمز ۲۷

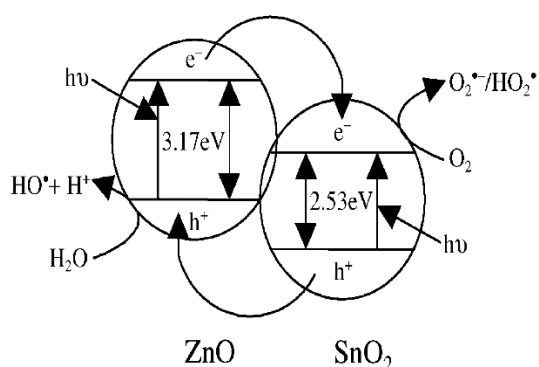
## مقدمه

تولید فاضلاب‌های صنعتی و نفوذ آن‌ها به منابع آب و از طرفی محدودیت در منابع آب قابل استفاده در صنعت، کشاورزی و شرب، جوامع بشری را به شدت به استفاده بهینه از این منابع و نیز استفاده مجدد از آب‌های آلوده واداشته است. روش‌های تصفیه بسیاری برای تصفیه آب و فاضلاب مورد استفاده قرار گرفته است که هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارند. از مهم‌ترین مشکلات روش‌های متداول تصفیه آب، عدم امکان تصفیه آلاینده در غلظت‌های کم و همچنین خواص سمی و مقاوم برخی از آلاینده‌هاست که به سادگی تخریب نشده و در مقابل عوامل بیولوژیک از خود مقاومت نشان می‌دهند (۱-۲).

به منظور حل مشکلات فوق، در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی بر روی فرآیندهای اکسایش پیشرفته صورت گرفته است. به طور کلی فرآیندهای اکسایش پیشرفته در برگیرنده کلیه فرآیندهایی هستند که در آن‌ها با روش‌های مختلف رادیکال‌های فعال هیدروکسیل تولید می‌شوند. از آنجایی که رادیکال‌های هیدروکسیل قدرت اکسیدکنندگی بسیار بالایی دارند، باعث تجزیه کامل اکثر آلاینده‌ها می‌گردند. یکی از فرآیندهای اکسایش پیشرفته که در سال‌های اخیر به منظور حذف انواع آلاینده‌ها از آب‌های آلوده، مطالعه و پیشنهاد شده است فرآیندهای اکسایش فوتوکاتالیزوری می‌باشند. فرآیند UV/ZnO یکی از فرآیندهای اکسایش فوتوکاتالیزوری می‌باشد. در این فرآیند اکسید روی به عنوان فوتوکاتالیزور مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از ذرات اکسید روی در ابعاد نانو در فرآیند UV/ZnO سرعت آن را به طور

قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. علم نانو و تولید در مقیاس نانو سبب می‌شود تا بتوانیم پا را فراتر از محدودیت‌های اندازه‌ای که به طور طبیعی موجود است، بگذاریم و درست روی واحدهای ساختاری مواد کار کنیم، جایی که خاصیت مواد مشخص می‌شود و با تغییر در آن واحدها می‌توان تغییرات خواص را ایجاد کرد. با ظهور فناوری نانو، سنتز و استفاده از نانوذرات از مباحث عمده مطرح شده در مجامع علمی است که نوید بخش پیشرفت‌های سریع در تمامی زمینه‌های علمی، صنعتی و حتی نظامی است. تحقیقات گسترده در حوزه نانو تکنولوژی در شاخه‌های گوناگونی در حال انجام است که یکی از آن‌ها سنتز نانوکاتالیزورها می‌باشد. در همین راستا تلاش‌های زیادی برای سنتز و به کارگیری انواع نیمه هادی‌ها به ویژه ZnO و TiO<sub>2</sub> در ابعاد نانو و کاربرد آن‌ها در فرآیندهای اکسایش پیشرفته صورت گرفته است (۴-۳). نانوکاتالیزورها به دلیل دارا بودن مساحت سطح زیاد و اندازه مناسب و خصوصیات نوری، الکتریکی و کاتالیزوری وابسته به ساختارشان پتانسیل زیادی جهت مطرح شدن به عنوان کاتالیزورهای تصفیه آب و فاضلاب دارند (۵). این نانوذرات می‌توانند طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های آلی و آنیون‌های معدنی نظیر نیترات‌ها را در محیط‌های آبی تجزیه نموده و به محصولات با سمیت کم‌تر تبدیل نمایند با به طور کامل معدنی نمایند. فوتوکاتالیزور اکسید روی به خاطر اینکه نسبتاً ارزان، غیرسمی و با حفره‌هایی با قدرت ترکیب شونده قوی با اکسیژن است یک فوتوکاتالیزور ایده‌آل به شمار می‌آید. اثبات شده است که اکسید روی در اکسایش فوتوکاتالیزوری مختلف ترکیبات آلی

فوتوکاتالیزوری را افزایش می‌دهد. در واقع با کوپل کردن این دو نیم‌رسانا با سطوح انرژی مختلف می‌توان جداسازی بار را افزایش داد و از عمل ترکیب مجدد الکترون-حفره جلوگیری کرد. در شکل (۱) مکانیسم جدایی بار و واکنش‌های فوتوکاتالیزوری بر روی نانوکامپوزیت ZnO/SnO<sub>2</sub> نشان داده شده است.

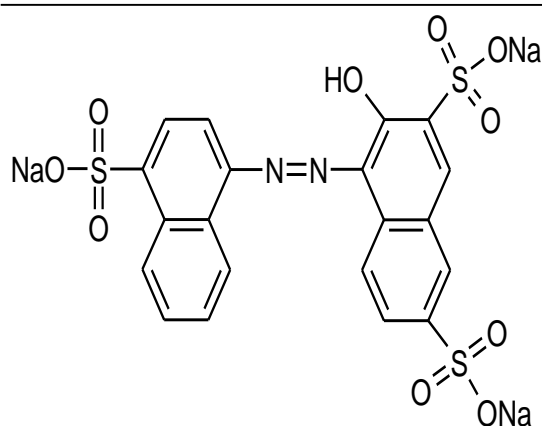


شکل (۱): نحوه انتقال بار در نانوکامپوزیت ZnO/SnO<sub>2</sub> (۱۷)

روش دیگر برای افزایش فعالیت نوری، دوپینگ و یا بارگذاری فلزات بر روی اکسیدهای فلزی می‌باشد. مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که حضور فلزات واسطه مانند آهن، نقره و پلاتین عمل انتقال بار و عملکرد فوتوشیمیایی اکسیدهای فلزی را بهبود می‌بخشد (۱۷). نانوذرات نقره دوپینگ شده بر روی ZnO نقش سودمندی را دارند مطالعات حاکی از اینست که نانوذرات نقره هم فعالیت فوتوکاتالیزوری ZnO را افزایش می‌دهند و هم پایداری نوری آن را بهبود می‌بخشد (۱۸). فلز نقره برخی خصوصیات منحصر به فرد و بی‌همتایی دارد. مشخص شده است که نقره تأثیر سودمند و مفیدی در فعالیت نوری فوتوکاتالیزورهای نیم‌رسانای نانوکریستالی دارد (۱۹).

بسیار فعال است و به طور کامل آلاینده‌های محیط زیست را معدنی‌سازی و تخریب می‌کند (۶).

اساس یک فرآیند فوتوکاتالیزوری تشکیل جفت الکترون-حفره است که می‌تواند واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء را بر روی اجزا جذب سطحی شده در سطح فوتوکاتالیزور انجام دهد. ترکیب مجدد حفره‌ها و الکترون‌های تولید شده ناشی از تابش نور، مهم‌ترین عامل محدود کننده‌ای است که کارایی فرآیند فوتوکاتالیزوری را کاهش و مانع از کاربرد عملی این تکنیک در تجزیه آلاینده‌ها می‌شود. بنابراین در فوتوکاتالیزورهای ناهمگن نیاز به افزایش راندمان جداسازی بار در فوتوکاتالیزور وجود دارد (۷). به نظر می‌رسد اساس تکنیک کوپل اکسیدهای نیم‌رسانای متفاوت، جداسازی هر چه بیش‌تر الکترون - حفره و متعاقب آن فعالیت فوتوکاتالیزوری زیاد باشد. افزایش عمر الکترون-حفره در اکسیدهای کوپل شده در نتیجه انتقال الکترون و حفره مابین دو نیم‌رسانا است به این صورت که الکترون از نیم‌رسانای فعال نوری به نیم‌رسانای غیرفعال نوری و حفره‌ها از نیم‌رسانای غیرفعال نوری به نیم‌رسانای فعال نوری انتقال می‌یابند. در نتیجه فوتوکاتالیزورهای نیم‌رسانای کوپل شده با افزایش جدایی بار و همچنین محدوده پاسخ نوری بیش‌تر، فعالیت فوتوکاتالیزوری بیش‌تری را نشان می‌دهند (۸). تا کنون مطالعات زیادی در ارتباط با فعالیت فوتوکاتالیزوری نیم‌رساناهای کوپل شده نظیر CdS-ZnO، TiO<sub>2</sub>-CdS، TiO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub>، TiO<sub>2</sub>-SnO<sub>2</sub>، TiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>، ZnO-ZnS، CdS-AgI انجام گرفته است (۹-۱۶). مطالعات نشان داده است که کوپل نانوذرات ZnO و SnO<sub>2</sub> نیز بازده فرآیند



شکل (۲): ساختار مولکولی AR27

### روش تهیه نانوکامپوزیت

نانوکامپوزیت ترکیبی ZnO/SnO<sub>2</sub> به روش هم رسوبی و با استفاده از NaOH به عنوان عامل رسوب دهنده سنتز گردید. در این روش ابتدا سولفات روی ۷ آبه (ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) و کلرید قلع ۵ آبه (SnCl<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O) به ترتیب به عنوان پیش ماده روی و پیش ماده قلع با نسبت مولی ۲ به ۱ را در بشرهای mL ۱۰۰ ریخته و در کمترین مقدار آب مقطر حل شد، سپس هر دو محلول به یک بشر mL ۲۵۰ منتقل شده و در حالی که ظرف مورد نظر توسط همزن مغناطیسی هم زده می شود، سدیم هیدروکسید ۴ مولار، قطره قطره به آن اضافه گردید، تا بتدریج ذرات ریز رسوب سفید رنگ پدیدار شوند. اضافه کردن سود را تا تشکیل رسوب سفید رنگ و رسیدن pH محلول به ۷ ادامه داده و سپس ماده حاصله به مدت یک ساعت بر روی همزن هم زده می شود. محلول حاصله توسط کاغذ صافی صاف شده و برای حذف یونهای کلراید و سولفات، رسوب توسط آب مقطر چندین بار شستشو داده شد. رسوب حاصله را در آون با دمای ۸۰°C به

همچنین به علت تغییر خواص سطح نیم رسانا، نظیر افزایش فضاها، خالی اکسیژن، نقص های کریستالی و مساحت سطح ویژه، فعالیت فوتوکاتالیزوری را افزایش می دهد. یون های نقره به دلیل تأثیرات بدیع و نو بر روی بهبود فعالیت نوری فوتوکاتالیزورها و همچنین خواص ضد باکتری نقره در کارهای تحقیقاتی مورد توجه جدی واقع شده اند. این خواص در بسیاری از کاربردهای زیستی، نساجی، مهندسی مواد و غیره در سطح وسیعی مورد توجه قرار گرفته اند (۲۰).

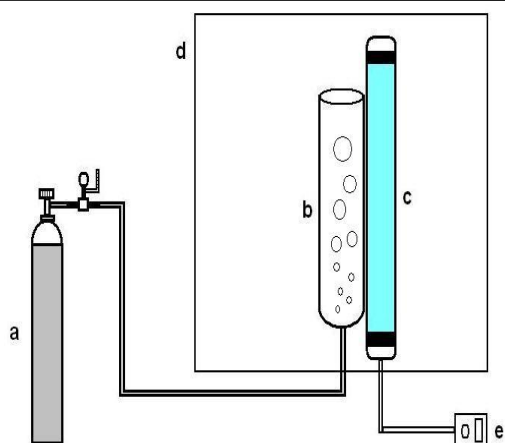
در این تحقیق نانوکامپوزیت Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> به روش هم رسوبی و تلقیح مایع تهیه شده و تست فعالیت فوتوکاتالیزوری نانوکامپوزیت سنتز شده تحت تابش نور مرئی در حذف یک آلاینده محیط زیست مورد بررسی قرار گرفته است.

### بخش تجربی

#### مواد مورد استفاده

روی سولفات هفت آبه، قلع کلرید پنج آبه، سدیم هیدروکسید، نقره نترات و اسید قرمز ۱۲۷ (AR27) از شرکت مرک (Merck) تهیه شده است. AR27 به عنوان رنگ در صنایع نساجی و رنگرزی به کار می رود و ساختار آن در شکل (۲) ارایه شده است.

<sup>1</sup> C.I. Acid Red 27



شکل (۳): شمای فوتوراکتور مورد استفاده و اجزای آن

جهت بررسی فعالیت فوتوکاتالیزوری نانوذرات سنتزی، ۴۰ mg از فوتوکاتالیزور تهیه شده را وزن کرده و در داخل یک بالن ۱۰۰ mL ریخته و سپس ۵۰ mL به آن آب مقطر اضافه شد. بالن مربوطه را به مدت ۱۵ min تحت امواج التراسونیک قرار داده و سپس ۱۰ mL از محلول مادر AR27 به غلظت  $200 \text{ mg L}^{-1}$  در داخل بالن ریخته و به حجم رسانده شد. بدین ترتیب سوسپانسیون مورد آزمایش محتوی  $20 \text{ mg L}^{-1}$  از AR27 به همراه  $400 \text{ mg L}^{-1}$  از فوتوکاتالیزور خواهد بود. غلظت‌های فوق در تمام آزمایش‌ها ثابت نگه داشته شد. سوسپانسیون تهیه شده در مرحله قبل را وارد فوتوراکتور نموده و به مدت ۳۰ min محلول سوسپانسیون توسط گاز اکسیژن در تاریکی هم زده شد تا تعادل جذب - و جذب برقرار گردد. دبی اکسیژن ورودی به سیستم راکتور در حدود  $1 \text{ mL min}^{-1}$  تنظیم شد. سپس سوسپانسیون را در برابر اشعه نور مرئی قرار داده و در فواصل زمانی مشخص نمونه‌برداری گردید و پس از جداسازی نانوذرات کاتالیزور توسط سانتریفیوژ غلظت AR27 با استفاده از

مدت ۱۵ ساعت قرار داده و در نهایت ماده حاصله در داخل کروزه ریخته شده و در کوره در دمای  $400^\circ\text{C}$  کلسینه شد.

در ادامه برای سنتز نانوکامپوزیت Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> به روش تلقیح مایع، محلول نیترات نقره با غلظت‌های مختلف به پودر نانوکامپوزیت ZnO/SnO<sub>2</sub> تهیه شده در مرحله قبل افزوده شد و به مدت یک ساعت توسط همزن مغناطیسی هم زده شد. محلول حاصله در دمای  $80^\circ\text{C}$  و به مدت ۱۰ ساعت در آن قرار داده و در آخر ماده بدست آمده در کوره در دماهای مورد نظر کلسینه شد. برای بررسی ساختار و مشخصه‌یابی نانوکاتالیزورهای سنتز شده از تکنیک‌های XRD و SEM-EDX استفاده شده است.

### شرح ساختار فوتوراکتور و روش بررسی فعالیت نوری کاتالیزور در حذف آلاینده

بررسی فعالیت نوری کاتالیزور سنتز شده در حذف AR27 در یک سیستم فوتوراکتور ناپیوسته صورت گرفته است.

این سیستم که در شکل (۳) نشان داده شده است، شامل قسمت‌های عمده زیر است:

- ۱- کپسول اکسیژن و مانومتر مخصوص اندازه‌گیری فشار گاز اکسیژن (a)
- ۲- لوله کوارتزی (b)
- ۳- لامپ مرئی با توان ۵۰۰ وات (c)
- ۴- محفظه چوبی (d)
- ۵- منبع تغذیه الکتریکی (e)

می‌یابد. بنابراین در Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> انتقال الکترون مؤثرتری مابین گونه‌های الکترون‌دهنده و الکترون گیرنده جذب سطحی شده و کاتالیزور در مقایسه با ZnO/SnO<sub>2</sub> خالص رخ می‌دهد (۲۱).

از طرف دیگر نتایج شکل (۴) نشان می‌دهد که نانوکامپوزیت Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> سنتز شده در دمای کلسیناسیون ۵۰۰ °C بیشترین فعالیت را از خود نشان می‌دهد. درصد حذف AR27 تحت تابش نور مرئی به مدت ۵۰ دقیقه، ۸۹٪ است. همانطوریکه در شکل (۴) مشخص است فعالیت فوتوکاتالیزوری Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> حاوی ۳ wt.٪ نقره با افزایش دمای کلسیناسیون از ۴۰۰ به ۵۰۰ °C، افزایش نشان داده و در ادامه با افزایش دمای کلسیناسیون به ۶۰۰ °C فعالیت نوری آن کاهش یافته است. احتمالاً تشکیل فازهای اکسیدی از فلز نقره بارگذاری شده در دماهای کلسیناسیون بالا در سطح فوتوکاتالیزور دلیلی بر کاهش فعالیت آن می‌باشد. همچنین فعالیت فوتوکاتالیزوری نانوذرات ارتباط آشکاری با مساحت سطح ویژه آن‌ها دارد افزایش دمای بیش از حد باعث کاهش سطح ویژه می‌شود که منجر به کاهش فعالیت نوری کاتالیزور می‌گردد. بنابراین یکی از دلایل کاهش فعالیت نوری نانوذرات با افزایش دما می‌تواند کاهش سطح ویژه آن‌ها در نتیجه بزرگ‌تر شدن اندازه ذرات باشد (۹).

جذب نمونه در طول موج ۵۲۲ nm که طول موج حداکثری این آلاینده می‌باشد، و همچنین منحنی کالیبراسیون رسم شده، بدست آمد. از روی غلظت باقیمانده میزان درصد حذف AR27 محاسبه و گزارش گردید.

## نتایج و بحث

### بررسی فعالیت نوری نانوکاتالیزورهای سنتز شده در حذف آلاینده مدل (AR27)

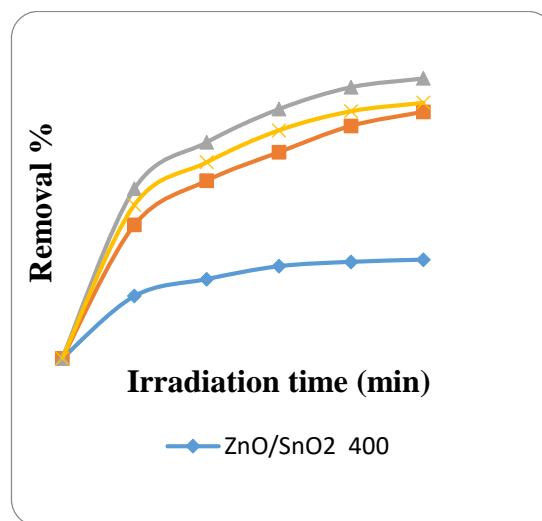
در قدم اول به منظور تعیین دمای کلسیناسیون مطلوب در فعالیت نوری کاتالیزور، نقره به روش تلقیح مایع و با مقدار ۳ wt.٪ بر روی ZnO/SnO<sub>2</sub> بارگذاری شده و به مدت ۲ ساعت در دماهای ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ °C کلسینه شده است. نتایج فعالیت نوری کاتالیزورها در حذف AR27 در شکل (۴) گزارش شده است. بررسی اولیه نمودار نشان می‌دهد که فعالیت نوری ZnO/SnO<sub>2</sub> بارگذاری شده با نقره نسبت به ZnO/SnO<sub>2</sub> خالص (هر دو کلسینه شده در دمای یکسان) به مراتب بیش‌تر است. تاثیر مثبت نقره بارگذاری شده در فعالیت نوری ZnO/SnO<sub>2</sub> به قدرت نقره در به تله انداختن الکترون‌ها نسبت داده می‌شود. همانطوری که می‌دانیم فوتوکاتالیزور ZnO/SnO<sub>2</sub> تحت تابش نور تولید جفت الکترون - حفره می‌نماید، ترکیب مجدد جفت الکترون - حفره، سرعت فرآیند تخریب فوتوکاتالیزوری را کاهش می‌دهد. تأثیر مثبت نقره بر فعالیت ZnO/SnO<sub>2</sub> در تخریب AR27 به صورت قدرت نقره برای به تله انداختن الکترون‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد. در ZnO/SnO<sub>2</sub> بارگذاری شده با نقره ترکیب مجدد الکترون - حفره کاهش



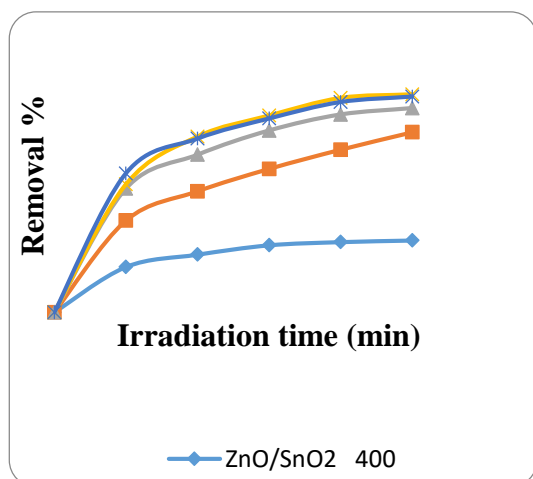
میزان تولید الکترون - حفره کاهش یافته و فعالیت نوری کاتالیزور کاهش می‌یابد (۲۲).

- ترسیب فلز ممکن است مکان‌های فعال موجود در سطح کاتالیزور را که برای واکنش‌های فوتوکاتالیزوری مطلوب می‌باشند اشغال نموده و باعث کاهش فعالیت کاتالیزور شود.

- موقعیت‌های بارگذاری شده با نقره که حاوی بار منفی شده‌اند می‌توانند حفره‌ها را مجدداً جذب نموده و آن‌ها را با الکترون‌ها ترکیب مجدد نمایند در چنین مواقعی موقعیت‌های فلزدار خود به عنوان مراکز ترکیب مجدد عمل می‌نمایند (۲۱).



شکل (۴): تاثیر دمای کلسیناسیون در فعالیت نوری نانو فوتوکاتالیزورهای ZnO/SnO<sub>2</sub> بارگذاری شده با ۳٪ وزنی نقره به روش تلقیح مایع در حذف AR27



شکل (۵): تاثیر درصد وزنی نقره در فعالیت نوری نانو فوتوکاتالیزورهای Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> کلسینه شده در دمای ۵۰۰ °C در حذف AR27

#### مشخصه‌یابی نانوکاتالیزورهای سنتز شده

طیف XRD نانوکامپوزیت Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> سنتز شده در دمای کلسیناسیون ۵۰۰ °C در شکل (۶) نشان داده شده است. در طیف XRD پیک‌های واقع در ۲θ های ۳۱/۵، ۳۴، ۳۶/۴، ۴۷/۵، ۵۶/۵، ۶۲/۸، ۶۷/۸ و ۶۹ مربوط به نانوذرات ZnO و پیک‌های واقع در

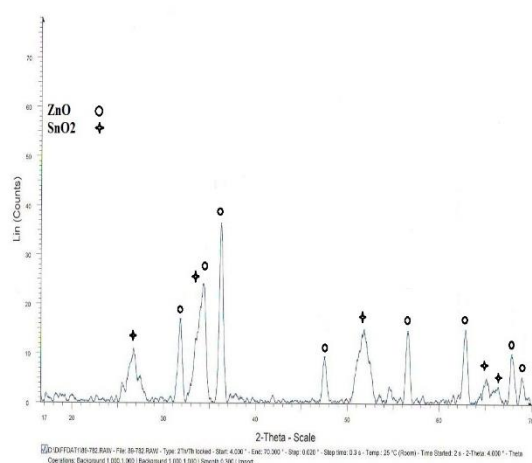
در ادامه به منظور تعیین درصد مطلوب نقره در فعالیت نوری کاتالیزور، نقره به روش تلقیح مایع و با مقدار درصدهای ۱، ۳، ۵ و ۷ wt. بر روی ZnO/SnO<sub>2</sub> بارگذاری شده و به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۰۰ °C کلسینه شده است. نتایج فعالیت نوری کاتالیزورها در حذف AR27 در شکل (۵) گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد که نانوکامپوزیت حاوی ۵ wt. نقره بیش‌ترین فعالیت را از خود نشان می‌دهد بطوری‌که درصد حذف AR27 تحت تابش نور مرئی به مدت ۵۰ دقیقه در حدود ۹۵٪ می‌باشد. تاثیر مثبت نقره در افزایش فعالیت نوری در بخش قبلی توضیح داده شده است. دلیل کاهش فعالیت در مقادیر بیش‌تر نقره نیز می‌تواند ناشی از موارد زیر باشد:

- پوشش بیش از حد سطح ZnO/SnO<sub>2</sub> باعث کاهش رسیدن میزان نور به سطح فوتوکاتالیزور شده در نتیجه

شده در دمای ۴۰۰°C از مورفولوژی صفحه مانند<sup>۱</sup> برخوردار هستند تولید نانوصفحات ZnO/SnO<sub>2</sub> همچنین توسط وانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۷ به روش هیدرترمال در دمای ۲۰۰°C گزارش شده است. در مقایسه‌ای که این محققین بر روی فعالیت فوتوکاتالیزوری انواع مورفولوژی‌های نانوذرات ZnO/SnO<sub>2</sub> خالص انجام دادند نشان دادند که بیشترین فعالیت فوتوکاتالیزوری مربوط به نانوذرات ZnO/SnO<sub>2</sub> با مورفولوژی صفحه مانند می‌باشد. آنها فعالیت بالای نانوذرات ZnO/SnO<sub>2</sub> با مورفولوژی صفحه مانند را به توانایی بالای نانوصفحات در انتقال الکترون و حفرات تولید شده در داخل کریستال به سطح نسبت دادند (۲۴). در شکل (۷-ب) تصویر SEM نانوذرات ZnO/SnO<sub>2</sub> بارگذاری شده با نقره نشان داده شده است. همانطوریکه از تصاویر مشخص است عمل بارگذاری نقره که همراه با افزایش دما همراه بوده سبب از بین رفتن مورفولوژی صفحه مانند شده است. در این حالت ذرات شکل منظمی نداشته و دمای کلسیناسیون بالا سبب آگلومره شدن ذرات شده است.

به منظور آنالیز عنصری فوتوکاتالیزورهای ترکیبی از تکنیک EDX استفاده می‌شود. طیف EDX برای نمونه Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> حاوی ۵ درصد نقره و کلسینه شده در دمای ۵۰۰°C در شکل (۸) نشان داده شده است. درطیف EDX پیک‌های مربوط به Zn و Sn حضور این عناصر را در فوتوکاتالیزور مورد نظر تایید می‌کند. همچنین حضور عنصر Ag نیز در این طیف به وضوح نشان داده شده است. آنالیز EDX نمونه

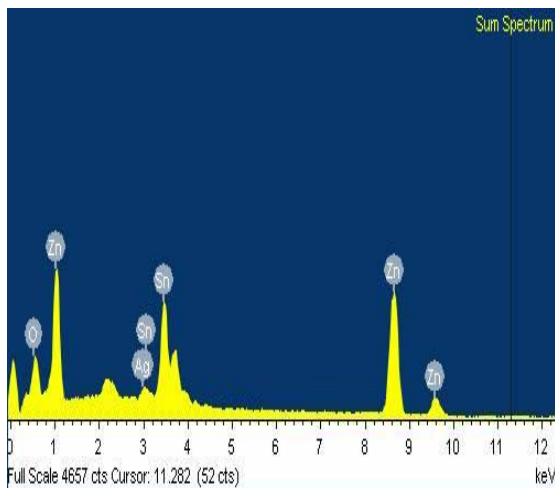
۲۰های ۲۶/۵، ۳۳/۵، ۵۲، ۶۴/۸ و ۶۵/۲ مربوط به نانوذرات SnO<sub>2</sub> می‌باشد. در طیف XRD پهنای پیک انعکاس دهنده اندازه کریستالی ذرات و شدت پیک انعکاس دهنده کریستالیت نمونه‌ها است (۲۳). در طیف XRD نانوکامپوزیت Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> پیکی مربوط به نقره ظاهر نشده است. دلیل این مسئله توزیع یکنواخت نقره بر روی سطح کاتالیزور، قرار گرفتن آن در سطح و عدم نفوذ آن به درون شبکه ZnO/SnO<sub>2</sub> می‌باشد. اندازه کریستالی ذرات با استفاده از فرمول دبای-شرر برای ZnO و SnO<sub>2</sub> به ترتیب ۱۷ و ۸ نانومتر محاسبه شده است.



شکل (۶): طیف XRD نانوکامپوزیت Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> حاوی ۵ درصد نقره و کلسینه شده در دمای ۵۰۰°C

مورفولوژی نانوذرات ZnO/SnO<sub>2</sub> خالص و بارگذاری شده با نقره بوسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل (۷-الف) تصویر SEM نانوذرات ZnO/SnO<sub>2</sub> خالص نشان داده شده است. همانطوریکه در تصویر مشخص است نانوذرات ZnO/SnO<sub>2</sub> خالص کلسینه

<sup>۱</sup> Sheetlike

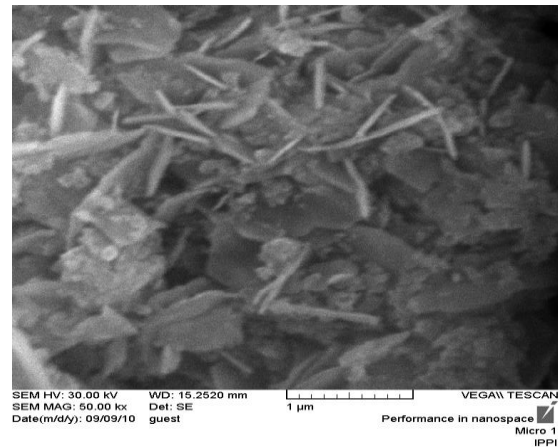


شکل (۸): طیف EDX نانوکامپوزیت Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> حاوی ۵ درصد نقره و کلسینه شده در دمای ۵۰۰°C

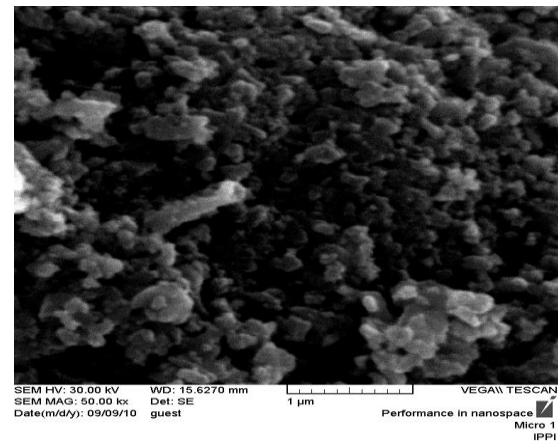
### نتیجه گیری

نتایج نشان می‌دهد که نانوکامپوزیت ZnO/SnO<sub>2</sub> بارگذاری شده با نقره فعالیت فوتوکاتالیزوری بیش-تری نسبت به نانوکامپوزیت ZnO/SnO<sub>2</sub> خالص در حذف AR27 را دارد. بیشترین فعالیت فوتوکاتالیزوری مربوط به نانوکامپوزیت Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> حاوی ۵ درصد نقره و کلسینه شده در دمای ۵۰۰°C می‌باشد. توزیع یکنواخت نقره بر روی سطح نانوکامپوزیت و عدم نفوذ آن به درون شبکه ZnO/SnO<sub>2</sub> سبب می‌شود که پیکی مربوط به نقره در XRD نانوکامپوزیت Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> ظاهر نگردد. تصاویر SEM نیز بیانگر تغییر مورفولوژی نانوکامپوزیت ZnO/SnO<sub>2</sub> در نتیجه بارگذاری با نقره می‌باشد. به نحوی که عمل بارگذاری نقره که همراه با افزایش دما همراه می‌باشد، سبب از بین رفتن مورفولوژی صفحه مانند نانوکامپوزیت ZnO/SnO<sub>2</sub> خالص می‌گردد.

بارگذاری شده با ۵٪ از Ag مقدار ۴٪ از Ag را نشان می‌دهد اختلاف مقادیر آنالیز شده و مقادیر استفاده شده در سنتزها می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی باشد به عنوان مثال به دلیل ضخامت بالای نمونه در SEM، پرتو الکترونی در قسمت وسیعی از ناحیه مورد نظر نفوذ کرده و مقدار متوسطی را می‌دهد که برای آنالیز ساختارهای ریز چندان مناسب نمی‌باشد.



(الف)



(ب)

شکل (۷): تصویر SEM نانوکامپوزیت ZnO/SnO<sub>2</sub> خالص کلسینه شده در دمای ۴۰۰°C (الف)، تصویر SEM نانوکامپوزیت Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> حاوی ۵ درصد نقره و کلسینه شده در دمای ۵۰۰°C (ب)

- [9] Wang, C., Wang, X., Xu, B.Q., Zhao, J., Mai, B., Peng, P., Sheng, G., Fu, J., 2004, Enhanced photocatalytic performance of nanosized coupled ZnO/SnO<sub>2</sub> photocatalysts for methyl orange degradation, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 168, 47.
- [10] Li, Y., Feng, Y., Bai, H., Liu, J., Hu, D., Fan, J., Shen, H., 2023, Enhanced visible-light photocatalytic performance of black TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> nanoparticles, *Journal of Alloys and Compounds*, 960, 170672.
- [11] Du, Q., Lin, Y., Cheng, S., Wei, D., Wang, Y., Zhou, Y., 2024, In situ synthesis of three-dimensional flower-like TiO<sub>2</sub>/WO<sub>3</sub> heterojunction: Enhanced visible photocatalytic properties and theoretical calculations, *Ceramics International*, 50, 30605.
- [12] Yang, W., Bu, Q., 2024, Microsphere structure enhances the photocatalytic performance of TiO<sub>2</sub>-CdS heterojunction, *Materials Letters*, 367, 136619.
- [13] Qiu, T., Chen, G., 2024, Degradation of naphthalene and anthracene using the CdS/ZnO with enhanced photocatalytic activities, *Environmental Technology & Innovation*, 36, 103741.
- [14] Chankhanittha, T., Watcharakitti, J., Piyavarakorn, V., Johnson, B., Bushby, R.J., Chuaicham, C., Sasaki, K., Nijpanich, S., Nakajima, H., Chanlek, N., Nanan, S., 2023, ZnO/ZnS photocatalyst from thermal treatment of ZnS: Influence of calcination temperature on development of heterojunction structure and photocatalytic performance, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 179, 111393.
- [15] Aguirre-Cortés, J.M., Munguía-Ubierna, Á., Moral-Rodríguez, A., Pérez-Cadenas, A.F., Carrasco-Marín, F., Bailón-García, E., 2024, Size-miniaturization of TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> coupled semiconductors to develop highly efficient visible-driven photocatalysts for the degradation of drugs in wastewater, *Applied Surface Science*, 670, 160609.
- [16] Suliman, Z.A., Mecha, A.C., Mwasiagi, J.I., 2024, Effect of TiO<sub>2</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopowder synthesis method on visible light photocatalytic degradation of reactive blue dye, *Heliyon*, 10, e29648.
- [17] Zhang, M., An, T., Hu, X., Wang, C., Sheng, G., Fu, J., 2004, Preparation and

## تعارض منافع

نویسنده هیچ گونه تعارض منافع برای اعلام ندارد.

## منابع

- [1] Daneshvar, N., Salari, D., Khataee, A.R., 2003, Photocatalytic degradation of azo dye Acid Red 14 in water: Investigation of the effect of operational parameters, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 157, 111.
- [2] Daneshvar, N., Rabbani, M., Modirshahla, N., Behnajady, M.A., 2004, Kinetic modeling of photocatalytic degradation of Acid Red 27 in UV/TiO<sub>2</sub> process, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 168, 39.
- [3] Daneshvar, N., Salari, D., Khataee, A.R., 2004, Photocatalytic degradation of azo dye Acid Red 14 in water on ZnO as an alternative catalyst to TiO<sub>2</sub>, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 162, 317.
- [4] Daneshvar, N., Salari, D., Niaei, A., Rasoulifard, M.H. and Khataee, A.R., 2005, Immobilization of TiO<sub>2</sub> nanopowder on glass beads for the photocatalytic decolorization of an azo dye C.I. Direct Red 23, *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 40, 1605.
- [5] Daneshvar, N., Rasoulifard, M.H., Khataee, A.R., Hosseinzadeh, F., 2007, Removal of C.I. Acid Orange 7 from aqueous solution by UV irradiation in the presence of ZnO nanopowder, *Journal of Hazardous Materials*, 143, 95.
- [6] Obare, S.O., Meyer, G.J., 2004, Nanostructured materials for environmental remediation of organic contaminants in water, *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 39, 2549.
- [7] Peng, F., Zhu, H., Wang, H., Yu, H., 2007, Preparation of Ag-sensitized ZnO and its photocatalytic performance under simulated solar light, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 24, 1022.
- [8] Beydoun, D., Amal, R., Low, G., McEvoy, S., 1999, Role of nanoparticles in photocatalysis, *Journal of Nanoparticle Research*, 1, 439.

photocatalytic properties of a nanometer ZnO–SnO<sub>2</sub> coupled oxide, *Applied Catalysis A: General*, 260, 215.

[18] Sant, P.A., Kamat, P.V., 2002, Interparticle electron transfer between size-quantized CdS and TiO<sub>2</sub> semiconductor nanoclusters, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 4, 198.

[19] Kuo, C.Y., Lin, H.Y., 2004, Effect of coupled semiconductor system treating aqueous 4-nitrophenol, *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 39, 2113.

[20] Gouvea, C.A.K., Wypych, F., Moraes, S.G., Duran, N., Peralta-Zamora, P., 2000, Semiconductor-assisted photodegradation of lignin, dye and kraft effluent by Ag-doped ZnO, *Chemosphere*, 40, 427.

[21] Coleman, H.M., Chiang, K., Amal, R., 2005, Effects of Ag and Pt on photocatalytic degradation of endocrine disrupting chemicals in water, *Chemical Engineering Journal*, 113, 65.

[22] Carp, O., Huisman, C.L., Reller, A., 2004, Photoinduced reactivity of titanium dioxide, *Progress in Solid State Chemistry*, 32, 33.

[23] Kontapakdee, K., Panpranot, J., Praserttham, P., 2007, Effect of Ag addition on the properties of Pd-Ag/TiO<sub>2</sub> catalysts containing different TiO<sub>2</sub> crystalline phases, *Catalysis Communications*, 8, 2166.

[24] Wang, W.W., Zhu, Y.J., Yang, L.X., 2007, ZnO-SnO<sub>2</sub> hollow spheres and hierarchical nanosheets: Hydrothermal preparation, formation mechanism, and photocatalytic properties, *Advanced Functional Materials*, 17, 59.

“Research article”

**Synthesis of ZnO/SnO<sub>2</sub> nanocomposite loaded with silver via liquid impregnation method and investigation of its photocatalytic activity in removing an environmental pollutant under visible light irradiation**

**Leila Airemlou\***

Department of Chemistry, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

\*Corresponding author: leilaayramlo@yahoo.com

(Received: 12 August 2024, Accepted: 27 August 2024)

**Abstract**

In this research, ZnO/SnO<sub>2</sub> nanocomposite was first synthesized using the co-precipitation method, followed by the loading of silver at different percentages onto the nanocomposite via the liquid impregnation method. The photocatalytic activity of the synthesized materials in the removal of a dye pollutant (C.I. Acid Red 27) was evaluated under visible light. Material characterization was conducted using XRD and SEM-EDX methods. Through these analyses, the particle size, constituent phases, and morphology of the particles were determined. The photocatalytic activity results showed that the Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> nanocomposite exhibited higher activity than the ZnO/SnO<sub>2</sub> nanocomposite in pollutant removal. The highest photocatalytic activity was observed in the Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub> nanocomposite with 5% wt. silver and a calcination temperature of 500°C, achieving a 95% removal of Acid Red 27 after 50 min of irradiation.

**Conflict of interest:** None declared.

**Keywords:** ZnO/SnO<sub>2</sub>, Ag-ZnO/SnO<sub>2</sub>, Co-precipitation, Liquid impregnation, Photocatalytic activity, C.I. Acid Red 27



دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز  
فصلنامه آلودگی‌های محیطی و توسعه پایدار شهری

دوره ۱، شماره ۲، پیاپی ۲  
تابستان ۱۴۰۳، صفحات ۹۷-۱۰۷

## "مقاله پژوهشی"

# سنتز آهن صفر ظرفیتی بارگذاری شده بر روی نانولوله‌های کربنی و بررسی کارایی آن در حذف یک آلاینده رنگزا

زهره قاضی طباطبایی\*

استادیار گروه شیمی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

\* نویسنده مسئول مکاتبات: zghazi@iaau.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰)

## چکیده

در این مطالعه آهن صفر ظرفیتی بارگذاری شده بر روی نانولوله‌های کربنی به عنوان یک نانوجاذب سنتز شد و مورفولوژی آن با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت. کارایی نانوجاذب برای رنگ‌زدایی و حذف آلاینده رنگ راکتیو نارنجی ۱۲۲ مورد بررسی قرار گرفت. بهینه‌سازی متغیرهای عملیاتی مانند مقدار نانوجاذب، غلظت اولیه رنگ و pH به روش طراحی آزمایش بر پایه سطح پاسخ و روش باکس-بنکن انجام شد. حداکثر راندمان حذف در شرایط بهینه ۸۶/۱۶٪ بدست آمد. با استفاده از روش تحلیل واریانس موثرترین پارامتر شناسایی گردید. برای پیش‌بینی میزان حذف، مدلی با استفاده از آنالیز رگرسیون چند متغیره ارائه گردید.

**واژه‌های کلیدی:** نانولوله‌های کربنی، روش باکس-بنکن، آهن صفر ظرفیتی، راکتیو نارنجی ۱۲۲

## مقدمه

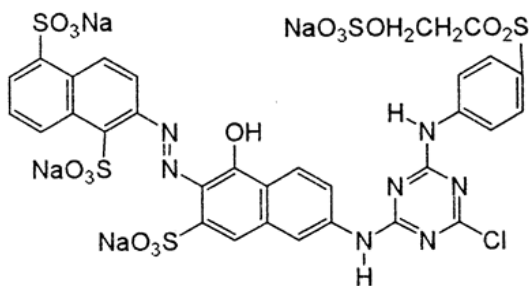
با افزایش چشمگیر جمعیت و توسعه سریع فعالیت های صنعتی، آلودگی آب و ارتباط آن با بیماری های انسانی، مهم ترین مسئله زیست محیطی پیش روی جوامع انسانی می باشد (۱). پساب های صنعتی حاوی ترکیبات رنگی یکی از عمده ترین آلاینده های محیط زیست به شمار می روند، زیرا صنایع نساجی به دلیل استفاده گسترده از ترکیبات رنگی، طیف متنوعی از آلاینده های پایدار تولید می کنند (۲). متداول ترین گونه های رنگی مورد استفاده از رنگ های گروه آزو<sup>۱</sup> است که معمولاً به دلیل ارزان بودن، رنگرزی ساده و ... به طور گسترده ای برای رنگرزی الیاف یا در صنایع غذایی و دارویی مورد استفاده قرار می گیرند (۳-۴). این گونه ترکیبات رنگی سمی بوده و معمولاً به سختی تجزیه می شوند و به علت تجزیه طولانی مدت آن ها فاضلاب این صنایع نباید بدون تصفیه در محیط زیست رها گردد در غیر این صورت می تواند صدمات جبران ناپذیری به محیط زیست وارد کنند. روش های متداول مورد استفاده برای تصفیه فاضلاب های صنعتی رنگی شامل روش های بیولوژیکی (۵)، فرایندهای غشایی (۶)، جذب سطحی (۷)، انعقاد (۸) و فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته (۹) می باشند. رنگ های راکتیو معمولاً کروموفورهای بر پایه آزو هستند که با انواع مختلفی از گروه های راکتیو ترکیب می شوند و برای رنگرزی ابریشم و نخ بکار می روند (۱۰). جذب این مواد بر روی توده های بیولوژیکی ضعیف بوده و تحت شرایط هوای تجزیه نمی شوند (۱۱). در این رابطه، کاربرد فرایندهای شیمیایی نظیر انعقاد و لخته سازی به دلیل محدودیت

کاربرد و تولید لجن و یا فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته با توجه به هزینه بالا و کارایی کم در حذف رنگ های دیسپرس و پیگمنت با مشکلاتی مواجه است. از میان فرایندهای مورد استفاده در حذف رنگ، فرایند جذب سطحی از نظر هزینه اولیه، سادگی طراحی، بهره برداری آسان و حساس نبودن به مواد شیمیایی و سمی، مقبولیت زیادی دارد (۱۲). فرایند جذب سطحی، فرایند انتقال مولکول های رنگ از فاز محلول به سطح مشترک بین دو فاز جامد و مایع می باشد. با توجه به پیشرفت های علمی انجام شده در زمینه نانوذرات، در سال های اخیر تحقیقات بسیاری برای تهیه نانوجاذب های جدید با کارایی و طول عمر بیشتر صورت گرفته است. امروزه استفاده از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی (nZVI)<sup>۲</sup> به دلیل فراوانی، ارزان بودن، عدم ایجاد سمیت و حذف آسان از محیط بسیار مورد توجه قرار گرفته است (۱۳). آهن صفر ظرفیتی یک عامل کاهش دهنده زیستی قوی است که به آسانی قابل دسترس است و به طور موثر آلاینده ها را تجزیه نموده، ضایعات بسیار کم تولید می کند (۱۴). با توجه به ماهیت مغناطیسی نانوجاذب های مغناطیسی و امکان استفاده از میدان مغناطیسی خارجی جهت جداسازی آلاینده های جذب سطحی شده و همچنین امکان بازیافت و استفاده مجدد از جاذب، سبب گردیده ترکیبات مذکور بسیار مقرون به صرفه باشند. تجمع نانوذرات مغناطیسی به صورت خوشه های بزرگ سبب کاهش انرژی سطح شده و مراحل سنتز را معمولاً به تاخیر می اندازد، بنابراین اصلاح سطح این نانوذرات راه حلی برای جلوگیری از این پدیده است. از سوی دیگر، استحکام و انعطاف پذیری نانولوله های کربنی از

<sup>2</sup> Nanoscale zero-valent iron<sup>1</sup> Azo



بورهیدرید ( $\text{NaBH}_4$ )، کلرید آهن ۶ آبه ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )، اسید سولفوریک ۹۸ درصد ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) و اسید نیتریک ۶۵ درصد ( $\text{HNO}_3$ ) از شرکت Merck آلمان تهیه شدند. RO122، (فرمول مولکولی  $\text{C}_{31}\text{H}_{20}\text{ClN}_7\text{Na}_4\text{O}_{16}\text{S}_5$ ، وزن مولکولی  $1034 \text{ g mol}^{-1}$ ) با طول موج ماکزیمم ۴۹۶ نانومتر، از شرکت الوان ثابت (ایران) تهیه شد. ساختار مولکولی RO122 در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): ساختار مولکولی RO122

#### - دستگاه‌ها

مطالعه مورفولوژی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به طیف‌سنج نشر انرژی پرتو ایکس ( $\text{EDX}^3$ ) شرکت ZEISS مدل Sigma VP انجام شد. غلظت رنگ راکتیو نارنجی ۱۲۲ و درصد حذف با استفاده از اسپکتروفوتومتر UV-Visible مدل DR5000 شرکت HACH آمریکا اندازه‌گیری شد. pH متر مدل Metrohm-691 مورد استفاده قرار گرفت. سانتیفریوژ ROTINA-380 برای جداسازی نانوذرات استفاده شد.

#### - روش‌ها

- اکسید کردن نانولوله‌های کربنی تک دیواره (swCNTs)

جمله ویژگی‌هایی است که نقش این نانوساختارها را در مهندسی فناوری نانو پررنگ‌تر می‌کند. خواص ویژه و منحصر به فرد نانولوله‌های کربنی از جمله مدول یانگ بالا و استحکام کششی خوب از یک طرف و طبیعت کربنی آن‌ها (به این دلیل که کربن ماده‌ای است کم وزن، بسیار پایدار و ساده برای انجام فرایندها با هزینه تولید ارزاتر نسبت به فلزها)، باعث شده که در دو دهه گذشته شاهد پژوهش‌های مهمی در به‌کارگیری نانولوله‌های کربنی در زمینه‌های گوناگون باشیم (۷ و ۱۵). این پژوهش‌ها نشان داده‌اند ویژگی‌های ذاتی نانولوله‌های کربنی را حتی می‌توان با اصلاح سطحی و یا ساختاری به طور گسترده‌ای بهبود بخشید و آن‌ها را برای دستیابی به راندمان بالا برای کاربردهای خاص بکار گرفت (۱۶).

بنابراین در این مطالعه، به منظور افزایش کارایی جاذب، جلوگیری از تجمع نانوذرات آهن و نیز افزایش طول عمر آن‌ها از روش بارگذاری آهن صفر ظرفیتی بر روی نانولوله‌های کربنی استفاده شد. هم‌چنین برای ارزیابی نقش متغیرهای عملیاتی و بهینه‌سازی فرآیند حذف رنگ راکتیو نارنجی ۱۲۲ (RO122) از محلول آبی از طراحی آزمایش به روش سطح پاسخ<sup>۲</sup> استفاده شد.

#### روش تحقیق

##### - مواد

نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره از پژوهشگاه صنعت نفت تهران با خلوص ۸۵ درصد با قطر داخلی ۱۰ تا ۲۰ نانومتر و طول ۱۰ میکرومتر خریداری شد. سدیم

<sup>3</sup> Energy Dispersive X-ray Spectroscopy

<sup>1</sup> Reactive Orange 122

<sup>2</sup> Response Surface Methodology

نانوجاذب تهیه شده صاف شده و با آب دیونیزه شستشو داده شدند و سپس مورد شناسایی قرار گرفتند.

#### - آماده سازی محلول

این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد و از swCNTs-nZVI برای جذب سطحی و حذف RO122 از آب استفاده گردید. در این مطالعه اثر جرم جاذب، غلظت آلاینده رنگزا و pH مورد بررسی قرار گرفت. محلول  $100 \text{ mg L}^{-1}$  از RO122 در یک ظرف یک لیتری تهیه شد و سپس مقدار مشخص از نانوجاذب با توجه به نسبت جاذب به آلاینده انتخاب گردید. پس از مدت زمان های معین، مقدار مناسبی از محلول، نمونه برداری شد و پس از عمل سانتیفیوژ، مقدار جذب محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر تک شعاعی در طول موج جذب حداکثری RO122 ( $485 \text{ nm}$ ) تعیین شد.

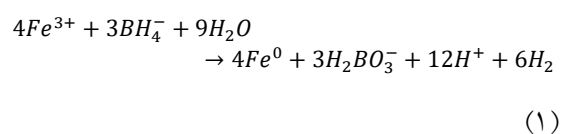
#### - روش جذب سطحی

جذب سطحی RO122 بر روی نانوجاذب به روش ناپیوسته انجام شد. بدین منظور مقادیر مختلفی از نانوجاذب ( $0.05$ ،  $0.1$  و  $0.15$  گرم بر لیتر) به محلول حاوی غلظت های مختلفی از RO122، ( $10$ ،  $20$  و  $30$  میلی گرم در لیتر) اضافه شد. pH محلول ها در  $5$ ،  $7$  و  $9$  به ترتیب با افزودن کلریدریک اسید و سود  $0.1$  مول بر لیتر تنظیم شد. سپس محلول ها به مدت  $40$  دقیقه بر روی همزن مغناطیسی هم زده شدند. پس از آن، نانوجاذب توسط سانتیفیوژ با سرعت  $3000$  دور در دقیقه از مخلوط جدا شد و محلول رویی صاف شد و جذب نمونه ها اندازه گیری شده و در نهایت درصد حذف محاسبه گردید.

سطح خارجی نانولوله های کربنی از طریق روش های عامل دار کردن کووالانسی و غیرکووالانسی با گروه های عاملی اکسیژن دار اصلاح شدند. به این منظور و نیز برای حذف ناخالصی های موجود در نانولوله های کربنی و بهبود پراکندگی، فرایند اسیدشویی توسط  $\text{HNO}_3$  و  $\text{H}_2\text{SO}_4$  انتخاب شد. بدین منظور  $1$  گرم از نانولوله ها به  $120$  میلی لیتر اسید، شامل مخلوطی از  $\text{HNO}_3$  و  $\text{H}_2\text{SO}_4$  به نسبت  $1$  به  $3$ ، اضافه شد. مخلوط در حمام التراسونیک به مدت یک ساعت قرار گرفت تا نانولوله های کربن بطور کامل در آن توزیع شوند. پس از آن به مدت  $4$  ساعت بر روی همزن مغناطیسی در دمای  $80$  تا  $90$  سانتی گراد مخلوط شد. در ادامه، نانولوله ها برای جداسازی محصولات ناخواسته در واکنش، رقیق و با آب دیونیزه چندین بار شستشو شدند تا pH نهایی به pH خنثی برسد و در نهایت در دمای  $80$  سانتی گراد به مدت  $24$  ساعت خشک شد (V).

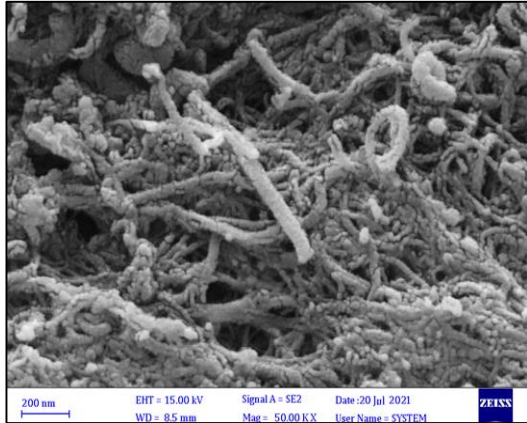
#### - تهیه نانوجاذب swCNTs-nZVI

مقدار  $1$  گرم swCNTs در  $20$  میلی لیتر محلول  $1$  مولار از  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  به مدت  $2$  ساعت بر روی همزن مغناطیسی همزده شد. آزمایشات تحت اتمسفر گاز نیتروژن انجام شد. سپس با محلول  $1$  به  $1$  اتانول و آب به میزان  $5$  برابر رقیق شد. در مرحله بعد محلول  $\text{NaBH}_4$  ( $100$  میلی لیتر،  $0.3$  مولار) بصورت قطره ای به محلول فوق اضافه شد و تحت همزن مکانیکی به شدت همزده شد. نانوذرات آهن صفر ظرفیتی طبق معادله (۱) در سطح نانولوله های کربنی تشکیل گردید:



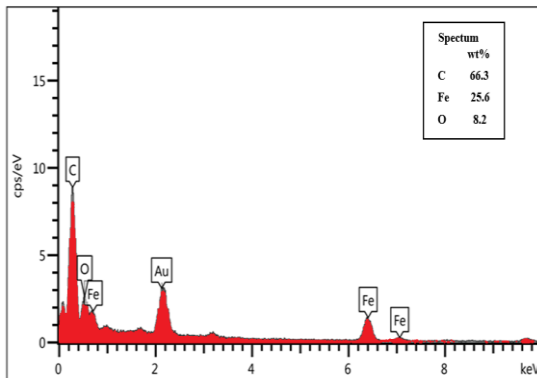
## - طراحی آزمایش

روی نانولوله های کربنی مشهود است و نشان دهنده تثبیت موفق nZVI بر روی بستر swCNTs می باشد.



شکل (۱): تصویر SEM نانوکامپوزیت nZVI-swCNTs

جهت بدست آوردن آثار اصلی و متقابل متغیرهای مستقل تأثیرگذار بر میزان پاسخ در بررسی حذف RO122 توسط فرآیند جذب سطحی از طراحی آزمایش استفاده شد. آزمایشات مورد نیاز با استفاده از روش سطح پاسخ با نرم افزار DX-7 طراحی گردید. متغیرهای آزمایشی شامل غلظت اولیه رنگ، مقدار جاذب و pH در سه سطح مطابق جدول (۱) می باشد. آزمایشات انجام شده به همراه راندمان حذف در جدول (۲) ارائه شده است. بعد از تعیین شرایط بهینه و تحلیل آنالیز واریانس در ادامه مدل رگرسیونی چند متغیره مرتبه دوم برای فرآیند حذف ارائه شد (۱۷ و ۱۸).



شکل (۲): الگوی EDX نانوجاذب nZVI-swCNTs

جدول (۱): متغیرها و سطوح آن‌ها در طراحی آزمایش

| متغیر                              | محدوده و سطوح متغیرها |     |      |
|------------------------------------|-----------------------|-----|------|
|                                    | +۱                    | ۰   | -۱   |
| [RO122] (mg L <sup>-1</sup> )      | ۳۰                    | ۲۰  | ۱۰   |
| [swCNTs-nZVI] (g L <sup>-1</sup> ) | ۰/۱۵                  | ۰/۱ | ۰/۰۵ |
| pH                                 | ۹                     | ۷   | ۵    |

## نتایج و بحث

## - مشخصه یابی swCNTs-nZVI

- بهینه سازی به روش سطح پاسخ  
طراحی آزمایش و بهینه سازی آزمایشات حذف RO122 توسط نانوجاذب swCNTs-nZVI تحت شرایط تعیین شده توسط طراحی روش باکس-بنکن<sup>۱</sup> (BBD) انجام شد. سطوح متغیرهای عملیاتی مطابق جدول (۱) تعیین گردید و آزمایش های جذب مطابق جدول (۲) طراحی شد.

شکل (۱) تصویر SEM نانوجاذب سنتز شده (swCNTs-nZVI) را نشان می دهد. این شکل نشان دهنده نانوذرات آهن صفر ظرفیتی با اندازه های متفاوت می باشد که سطح نانولوله ها را پوشانده است. نتایج آنالیز EDX برای swCNTs-nZVI در شکل (۲) نشان داده شده است که پیک آهن صفر ظرفیتی بر

<sup>1</sup> Box-Behnken Design

جدول (۲): نتایج طراحی آزمایش های انجام شده مطابق روش BBD برای حذف RO122

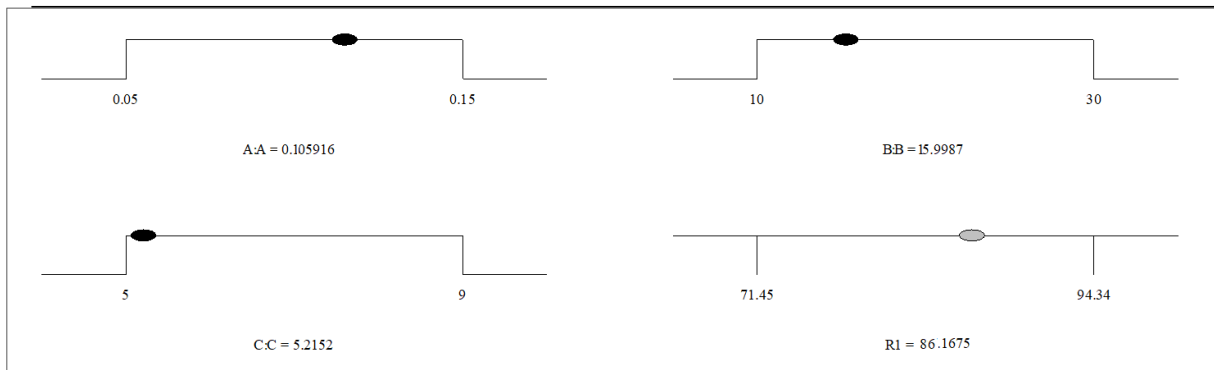
| شماره آزمایش | پارامترهای عملیاتی                    |                                  |    |       | راندمان حذف (%) |
|--------------|---------------------------------------|----------------------------------|----|-------|-----------------|
|              | [swCNTs-nZVI]<br>(g L <sup>-1</sup> ) | [RO122]<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | pH | تجربی |                 |
| ۱            | ۰/۱۵                                  | ۱۰                               | ۷  | ۹۰/۲۱ | ۸۸/۹۳           |
| ۲            | ۰/۱۵                                  | ۲۰                               | ۵  | ۹۲/۲۳ | ۹۱/۱۹           |
| ۳            | ۰/۱                                   | ۳۰                               | ۵  | ۷۷/۴۷ | ۷۷/۶۴           |
| ۴            | ۰/۱                                   | ۱۰                               | ۹  | ۷۳/۴۳ | ۷۳/۰۵           |
| ۵            | ۰/۱۵                                  | ۲۰                               | ۹  | ۷۴/۳۲ | ۷۵/۷۸           |
| ۶            | ۰/۱۵                                  | ۳۰                               | ۷  | ۷۷/۳۴ | ۷۸/۲۰           |
| ۷            | ۰/۰۵                                  | ۲۰                               | ۵  | ۸۱/۴۳ | ۷۹/۹۸           |
| ۸            | ۰/۱                                   | ۲۰                               | ۷  | ۸۶/۳۳ | ۸۶/۳۲           |
| ۹            | ۰/۱                                   | ۲۰                               | ۷  | ۸۶/۳۲ | ۸۶/۳۲           |
| ۱۰           | ۰/۱                                   | ۱۰                               | ۵  | ۹۴/۳۴ | ۹۶/۶۵           |
| ۱۱           | ۰/۰۵                                  | ۲۰                               | ۹  | ۷۱/۴۸ | ۷۲/۴۸           |
| ۱۲           | ۰/۱                                   | ۲۰                               | ۷  | ۸۶/۳۲ | ۸۶/۳۲           |
| ۱۳           | ۰/۰۵                                  | ۱۰                               | ۷  | ۷۸/۶۷ | ۷۷/۸۰           |
| ۱۴           | ۰/۱                                   | ۲۰                               | ۷  | ۸۶/۳۲ | ۸۶/۳۲           |
| ۱۵           | ۰/۰۵                                  | ۳۰                               | ۷  | ۷۳/۵۴ | ۷۴/۸۴           |
| ۱۶           | ۰/۱                                   | ۳۰                               | ۹  | ۸۰/۶۸ | ۷۸/۳۳           |
| ۱۷           | ۰/۱                                   | ۲۰                               | ۷  | ۸۶/۳۲ | ۸۶/۳۲           |

تعداد ۱۷ آزمایش انجام شد که معادله چندجمله‌ای مرتبه دوم برای پیش‌بینی فرایند حذف RO122 پیشنهاد شد که در معادله (۳) ارائه شده است.

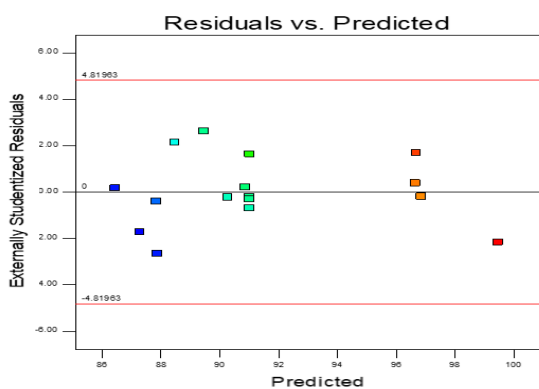
$$R (\%) = 124.25 - 11.02x_1 + 169.35x_2 - 0.18x_3 - 1.67x_1x_2 + 0.06x_1x_3 - 3.8x_2x_3 + 0.81x_1^2 - 536.7x_2^2 - 2.17 \times 10^{-3}x_3^2 \quad (3)$$

در این رابطه،  $x_1$  مقدار نانوجاذب،  $x_2$  مقدار غلظت اولیه RO122 و  $x_3$  مقدار pH می‌باشد.

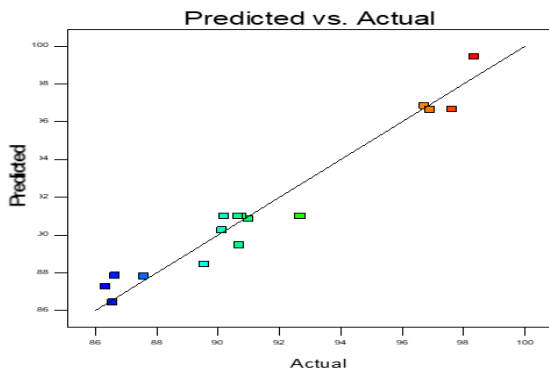
با توجه به نتایج بهینه‌سازی فرایند در شکل (۳) بیشترین راندمان حذف RO122 تحت شرایط بهینه ( $pH = 5/2$ ) مقدار نانوجاذب برابر  $0/1 \text{ g L}^{-1}$  و میزان غلظت RO122 برابر  $16 \text{ mg L}^{-1}$  برابر با  $86/16\%$  بدست آمد. انجام آزمایش تجربی تحت شرایط بهینه نیز نشان داد که راندمان حذف  $87/25\%$  می‌باشد. با محاسبه میزان درصد خطا، می‌توان اعتبار مدل ارائه شده در معادله (۳) را در پیش‌بینی رفتار پارامترهای عملیاتی مشخص نمود.



شکل (۳): شرایط بهینه در حذف RO122



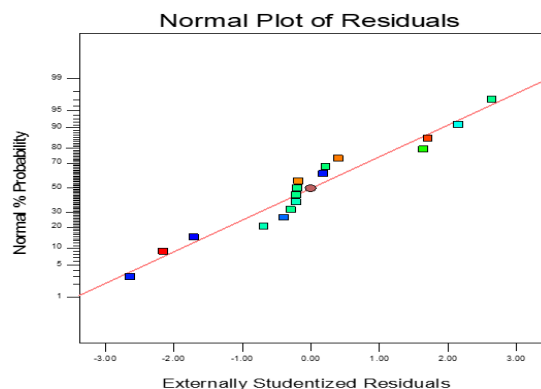
شکل (۵): نمودار مقادیر باقیمانده برحسب پاسخ پیش بینی شده



شکل (۶): نمودار مقادیر تجربی در مقابل مقادیر پیش بینی شده

در مجموع با توجه به تحلیل نمودارهای آماری می توان نتیجه گرفت که مدل پیشنهادی برای تحلیل داده ها مناسب می باشد. در مورد اثر متغیرهای عملیاتی در حذف RO122 همانطوری که در شکل (۷) نشان داده

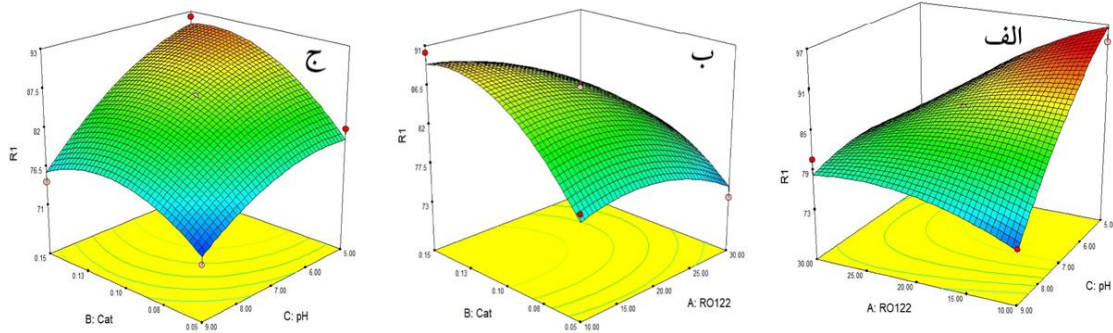
به منظور بررسی کیفی مدل آماری ارائه شده نمودار احتمال نرمال در شکل (۴) آورده شده است. با توجه به اینکه تمام نقاط روی نمودار بر روی یک خط مستقیم قرار دارند، فرض نرمال بودن باقیمانده ها تأیید می شود. شکل (۵) نشان دهنده مقادیر باقیمانده برحسب پاسخ پیش بینی شده است، این نمودار دارای پراکندگی تصادفی بوده که نشان دهنده یک طیف ثابت از باقی مانده در سراسر نمودار می باشد. شکل (۶) نشان دهنده مقادیر واقعی در مقابل مقادیر پیش بینی شده توسط مدل می باشد که پیشتر در جدول (۲) نتایج آن ذکر گردید.



شکل (۴): نمودار احتمال نرمال

همچنین درصد حذف با افزایش دوز جاذب از ۰/۰۵ به ۰/۱۵ گرم بر لیتر افزایش می یابد.

شده است می توان اظهار داشت که درصد حذف RO122 با افزایش pH از ۵ به ۹ و افزایش غلظت رنگ از ۱۰ به ۳۰ میلی گرم بر لیتر کاهش می یابد.



شکل (۷): نمودار درصد حذف RO122 برحسب متغیرهای اصلی (دوز جاذب، غلظت اولیه رنگ و pH)

افزایش جذب سطحی مولکول های RO122 بر روی سطح نانوجاذب swCNTs-nZVI می شود.

#### - آنالیز واریانس

در جدول (۳) نتایج آنالیز واریانس<sup>۸۳</sup> (ANOVA) ارائه شده است. از روی مقدار آماره F (F-value) و نیز مقدار p-value گزارش شده می توان دریافت که بیشترین تاثیر مربوط به متغیر pH بوده و سپس حاصل ضرب pH در غلظت RO122، دوز نانوجاذب و غلظت RO122 بر روی پاسخ تاثیر بیشتری دارند، در حالی که سایر متغیرها تاثیر قابل توجهی از خود نشان نمی دهند. با توجه به مقدار آماره F برای مدل (F = ۲۷/۴۱)، و نیز مقدار p-value (۰/۰۰۰۱) نشان می دهد که مدل به خوبی می تواند رفتار آزمایش های تجربی را پیش بینی نماید. همچنین در کنار آماره های F و p به منظور بررسی کیفیت مدل، پارامترهایی مانند ضریب همبستگی ( $R^2$ ) و سایر آماره ها نیز در جدول (۴) ارائه شده اند. مقدار نزدیک به یک ضریب  $R^2$ ، اختلاف کم تر از ۰/۲ مابین ضرایب  $R^2$  و بیش تر بودن

شکل (۷ الف) نشان می دهد که با افزایش غلظت اولیه RO122 درصد حذف کاهش می یابد. زیرا به دلیل پوشیده شدن سطح نانوجاذب و خلل و فرج آن، با افزایش غلظت اولیه RO122 جایگاه لازم برای به دام افتادن مولکول های RO122 وجود نخواهد داشت. مطابق شکل (۷ ب) راندمان حذف RO122 با افزایش مقدار نانوجاذب swCNTs-nZVI از ۰/۰۵ تا ۰/۱۵ گرم بر لیتر افزایش یافته است. در واقع با افزایش مقدار جاذب در غلظت ثابت آلاینده، میزان سطح جاذب و خلل و فرج جهت بدام انداختن مولکول های RO122 بیش تر شده و راندمان حذف افزایش می یابد. به همین ترتیب همچنین تغییرات راندمان حذف RO122 با pH در شکل (۷ ج) نشان می دهد که راندمان حذف در pH اسیدی بیش تر از محیط های قلیایی یا خنثی می باشد. زیرا برهمکنش های الکترواستاتیکی مناسبی میان مولکول های آنیونی RO122 و سطح با بار مثبت نانوجاذب در محیط اسیدی صورت می گیرد که باعث

<sup>83</sup> Analysis of Variance

Adeq Precision از عدد ۴، تاییدی بر اعتبار مدل

پیشنهادی هستند.

جدول (۳): آنالیز ANOVA برای حذف RO122 توسط نانوجاذب

| منبع واریانس                 | مجموع مربعات | درجه آزادی (DF) | میانگین مربعات | F-Value | p-value | سطح معنی داری |
|------------------------------|--------------|-----------------|----------------|---------|---------|---------------|
| مدل                          | ۷۶۹/۳۸       | ۹               | ۸۵/۴۹          | ۲۷/۴۱   | ۰/۰۰۰۱  | معنی دار      |
| دوز نانوجاذب                 | ۱۰۵/۳۴       | ۱               | ۱۰۵/۳۴         | ۳۳/۷۸   | ۰/۰۰۰۷  |               |
| غلظت RO122                   | ۹۴/۱۹        | ۱               | ۹۴/۱۹          | ۳۰/۲۰   | ۰/۰۰۰۹  |               |
| pH                           | ۲۶۲/۲۰       | ۱               | ۲۶۲/۲۰         | ۸۴/۰۸   | <۰/۰۰۰۱ |               |
| دوز نانو جاذب × غلظت RO122   | ۱۴/۹۸        | ۱               | ۱۴/۹۸          | ۴/۸۰    | ۰/۰۶۴۵  |               |
| دوز نانو جاذب × pH           | ۱۵/۶۴        | ۱               | ۱۵/۶۴          | ۵/۰۲    | ۰/۰۶۰۱  |               |
| pH × غلظت RO122              | ۱۴۷/۵۴       | ۱               | ۱۴۷/۵۴         | ۴۷/۳۰   | ۰/۰۰۰۲  |               |
| (دوز نانو جاذب) <sup>۲</sup> | ۶۶/۳۶        | ۱               | ۶۶/۳۶          | ۲۱/۲۸   | ۰/۰۰۲۴  |               |
| (غلظت RO122) <sup>۲</sup>    | ۲۴/۴۶        | ۱               | ۲۴/۴۶          | ۷/۸۴    | ۰/۰۲۶۵  |               |
| (pH) <sup>۲</sup>            | ۲۶/۰۶        | ۱               | ۲۶/۰۶          | ۸/۳۵    | ۰/۰۲۳۳  |               |

جدول ۴- شاخص های برازش برای مدل ارائه شده در رابطه (۳)

|           |       |                |        |
|-----------|-------|----------------|--------|
| Std. Dev. | ۱/۷۷  | R-Squared      | ۰/۹۷۲۴ |
| Mean      | ۸۲/۱۵ | Adj R-Squared  | ۰/۹۳۶۹ |
| C.V. %    | ۲/۱۵  | Adeq Precision | ۱۷/۸۴۲ |

## نتیجه گیری

در مطالعه حاضر نانوجاذب نانولوله های کربنی بارگذاری شده با آهن صفر ظرفیتی تهیه گردید. کارایی این نانوجاذب در حذف رنگ RO122 به عنوان یک ترکیب مدل از آلاینده های رنگی محیط زیست مورد مطالعه قرار گرفت. برای تعیین شرایط بهینه حذف آلاینده از محلول آبی از روش طراحی آزمایش باکس-بنکن استفاده شد. مدلی برای پیش بینی میزان راندمان حذف RO122 پیشنهاد گردید. مطابق نتایج متغیر pH بیشترین تاثیر را در راندمان حذف RO122 دارد. زیرا در محیط های اسیدی سطح جاذب دارای بار مثبت شده و رنگ مورد نظر که آنیونی است با نیروی الکترواستاتیک قوی تری به سطح جاذب متصل شده و

حذف می گردد. پیش بینی راندمان حذف RO122

توسط نانوجاذب با موفقیت با مدل مرتبه دوم انجام شد.

## تعارض منافع

نویسنده هیچگونه تعارض منافی برای اعلام ندارد.

## منابع

- [1] Bahrami, M., Amiri, M.J., Dehkhodaie, F., 2021, Effect of different thermal activation on hydroxyapatite to eliminate mercury from aqueous solutions in continuous adsorption system. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 101, 2150.
- [2] Lim, L.B.L., Priyantha, N., Fang, X.Y., Mohamad Zaidi, N.A.H., 2017, Artocarpusodoratissimus peel as a potential adsorbent in environmental remediation to remove toxic Rhodamine B dye, *Journal of Materials and Environmental Science*, 8, 494.

- treatment for removal of dyes by coagulation and membrane processes, *Petroleum Chemistry*, 52, 545.
- [13] Poguberović, P.P., Krčmar, D.M., Dalmacija, B.D., Maletić, S.P., Tomašević-Pilipović, D.D., Kerkez, D.V., Rončević, S.D., 2016, Removal of Ni(II) and Cu(II) from aqueous solutions using 'green' zero-valent iron nanoparticles produced by oak and mulberry leaf extracts. *Water Science and Technology*, 74, 2115.
- [14] Ma, F., Zhao, B., Diao, J., Jiang, Y., Zhang, J., 2020, Mechanism of phosphate removal from aqueous solutions by biochar supported nanoscale zero-valent iron, *RSC Advances*, 10, 39217.
- [15] Fallahnejad, Z., Bakeri, G., Ismail A.F., 2021, Thin film polyamide membranes containing modified manganese dioxide nanotubes for removal of sodium and copper ions, *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 34, 155. (in Persian)
- [16] Lee, H.A., Park E., Lee H., 2020, Polydopamine and its derivative surface chemistry in material science: A focused review for studies at KAIST, *Adv. Mater.*, 32, 1907505.
- [17] Gupta, V.K., Nayak, A., Agarwal, S., Tyagi I., 2014, Potential of activated carbon from waste rubber tire for the adsorption of phenolics: Effect of pre-treatment conditions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 417, 420.
- [18] Robati, D., Mirza, B., Rajabi, M., Moradi O., Tyagi I., Agarwal S., Gupta V.K., 2016, Removal of hazardous dyes-BR 12 and methyl orange using graphene oxide as an adsorbent from aqueous phase, *Chemical Engineering Journal*, 284, 687.
- [3] Modirshahla, M., Behnaiady, M.A., Ghazi Tabatabaie, Z., 2006, Kinetic modeling on photooxidative degradation of C.I. Acid Yellow 23 by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process, *Journal of Physical & Theoretical Chemistry*, 2, 183.
- [4] Aanchal, Barman, S., Basu, S., 2020, Complete removal of endocrine disrupting compound and toxic dye by visible light active porous g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/H-ZSM-5 nanocomposite, *Chemosphere*, 241, 124981.
- [5] Padervand, M., Lammel, G., Bargahi, A., Mohammad-Shiri, H., 2019, Photochemical degradation of the environmental pollutants over the worm-like Nd<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub>-Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanostructures, *Nano-Structures & Nano-Objects*, 18, 100258.
- [6] Kumar, A.N., Reddy, C.N., Mohan, S.V., 2015, Biomineralization of azo dye bearing wastewater in periodic discontinuous batch reactor: Effect of microaerophilic conditions on treatment efficiency, *Bioresource Technology*, 188, 56.
- [7] Zahednia, M., Ghazi Tabatabaie, Z., 2018, Investigation of BTEX removal from aqueous solution by single wall carbon nanotubes coated with ZnO, *Journal of Water & Wastewater*, 29, 1. (in Persian)
- [8] Khan, M.A., Ahmad, A., Umar, K., Nabi, S.A., 2015, Synthesis, characterization, and biological applications of nanocomposites for the removal of heavy metals and dyes, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54, 76.
- [9] Cheikh S'Id, E., Kheribech, A., Degué, M., Hatim, Z., Chourak, R., M'Bareck, C., 2021, Removal of methylene blue from water by polyacrylonitrile co sodium methallylsulfonate copolymer (AN69) and polysulfone (PSF) synthetic membranes, *Progress in Color, Colorants and Coatings*, 14, 89.
- [10] Rezaei, M., Hosseini Shekarabi, F., Varsei, M., Samiee Bayragh, A., 2016, Investigating and comparing removal of Acid Red 37 with electrofenton and electrocoagulation processes. *Environmental Sciences*, 13, 85.
- [11] Adeyemo, A.A., Adeoye, I.O., Bello, O.S., 2017, Adsorption of dyes using different types of clay: A review, *Applied Water Science*, 7, 543
- [12] Kasperchik, V.P., Yaskevich, A.L., Bil'Dyukevich, A.V., 2012, *Wastewater*



**“Research article”**

**Synthesis of zero valent iron loaded on carbon nanotubes and its effectiveness in removing a dye pollutant**

**Zohreh Ghazi Tabatabaei\***

Department of Chemistry, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

\*Corresponding author: zghazi@iau.ac.ir@iaut.ac.ir

**Abstract**

In this study, zero-valent iron loaded onto carbon nanotubes was synthesized as a nano-adsorbent, and its morphology was investigated using a scanning electron microscope (SEM). the effectiveness of the nano-adsorbent for the decolorization and removal of the reactive orange 122 dye pollutant was examined. the optimization of operating variables, including the amount of nano-adsorbent, the initial concentration of the dye, and the pH, was conducted using an experimental design based on response surface methodology (the Box–Behnken method). the maximum removal efficiency under optimal conditions was 86.16%. through variance analysis, the most influential parameter was identified. A model for predicting the removal efficiency was developed using multivariate regression analysis.

**Keywords:** Carbon nanotubes, Box–Behnken method, Zero valent iron, Reactive Orange 122.

**Conflict of interest:** None declared.