



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال پانزدهم، شماره‌ی ۵۷
بهار ۱۴۰۳، صفحات ۱۴-۱

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی آثار زیست محیطی احداث سد بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی سد گرده بن، آذربایجان غربی)

ادریس وهابی^۱، سمیه بهارلوئی یانچشمه^{۲*}

۱. کارشناس ارشد، گروه زمین شناسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

Email: edrisvahabi@yahoo.com

۲. استادیار گروه زمین شناسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

Email: somayehbaharluie@gmail.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰)

چکیده

اگر چه سدها با تأمین آب شرب برای بشر، آبیاری و زهکشی، تأمین انرژی برق آبی و توسعه اقتصادی و اجتماعی برای زندگی بشر سودمند می‌باشند ولیکن آثار جبران ناپذیر زیست محیطی نیز بر اکوسیستم پیرامون خود وارد می‌سازند که از جمله مخرب‌ترین این آثار، افت سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه است که به طور معمول به علت ممانعت از عبور جریان طبیعی رودخانه، در پایین دست سد اتفاق می‌افتد. در این پژوهش، به صورت موردی وضعیت سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه ساختگاه سد گرده بن، دشت پیرانشهر مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه وضعیت هیدروژئولوژی، نوسانات سالیانه سطح لایه آبدار و همچنین بررسی نقشه هم پتانسیل تراز آب زیرزمینی منطقه نشان دهنده روند کاهشی سطح تراز آب از شمال به سمت جنوب دشت می‌باشد و پیش بینی می‌شود با آگیری سد، سطح آب‌های زیرزمینی در پایین دست سد به علت ممانعت از جریان معمول آب رودخانه چم اوجار، در تراز پایین‌تری قرار گیرد که در صورت عدم تغذیه آبخوان، فرونشست زمین را در پی خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: اثرات زیست محیطی، منابع آب زیرزمینی، سد، گرده بن، آذربایجان غربی

مقدمه

در حال حاضر بحران آب در کشور ایران و پیامدهای مختلف آن بر کسی پوشیده نیست. وقوع کم آبی‌ها و خشکسالی‌ها، افزایش مصارف، از بین رفتن زیست بوم‌های آبی و تبعات زیست محیطی، همگی از ابعاد مختلف بحران آب هستند که در دهه‌های قبل کم تر از آن‌ها سخن به میان می‌آمد. این موارد همگی سبب شده است که مقوله احداث سد و سدها بسیار مورد توجه قرار گیرد. کشور ایران با متوسط بارندگی برابر با یک سوم متوسط جهانی، جزء کشورهای خشک و نیمه خشک جهان است و علاوه بر این امر شاید مهم‌ترین علت تأسیس سدها در ایران پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی باشد. اما لازم به ذکر است اگر چه سدها با تأمین آب شرب برای بشر، آبیاری و زهکشی، تأمین انرژی برق آبی و توسعه اقتصادی و اجتماعی برای زندگی بشر سودمند می‌باشند ولیکن آثار جبران ناپذیر زیست محیطی که بر اکوسیستم پیرامون خود وارد می‌سازند را نمی‌توان منکر شد. بنابراین ضروری است که قبل از طراحی پروژه سد، مطالعات کافی و لازم از جهات محیط زیستی در منطقه صورت پذیرد. در این خصوص، کمیسیون جهانی سد (WCD) مجموعه‌ای از اشتباهات بحران آفرین در زمینه سد سازی را مشخص کرده است که از آن جمله می‌توان به انتخاب رودخانه اشتباه برای ساخت سد، بی‌توجهی به تغییرات جریان آب پایین دست، غفلت از تنوع زیستی و از بین بردن زنجیره اتصال غذایی موجودات آبزی و حیوانات اطراف آن، سیاست‌ها و محاسبات اقتصادی اشتباه، ناتوانی در جلب رضایت عمومی مردم منطقه، سوء مدیریت در خطرات و تأثیرات و نهایتاً ساخت و ساز

بی‌رویه سد، اشاره داشت [۱]. بنابراین می‌توان گفت متأسفانه در اغلب سدهای موجود، مباحث پیرامون آثار زیست محیطی سدها نقش بسیار کم و محدودی در طراحی و عملکرد ایفا می‌کند. هر چند در سه دهه اخیر تلاش مضاعفی برای توسعه دیدگاه‌ها به منظور توجه به آثار زیست محیطی در پروژه‌های سدسازی در حال انجام است [۲]. امروزه همان طور که مسائل اقتصادی و تکنیکی مورد توجه قرار می‌گیرند، ارزش‌های زیست محیطی نیز باید در سدسازی مورد توجه قرار گیرند [۳]. بارزترین اثر سدها، تغییر رژیم هیدرولیکی مناطق پایین دست خود است که از جمله این تغییرات می‌توان به تأمین دبی پایه دائمی و تغییر در سطح آب خوان پایین دست اشاره نمود. ارزیابی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی همواره یک مسأله مهم در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی هیدروژئولوژیکی آبخوان‌ها بوده است [۴]. یکی از منابع مهم تغذیه کننده مخازن آب زیرزمینی، رودخانه‌ها هستند، با احداث سد و کاهش حجم جریان رود، حجم آب‌های زیرزمینی پایین دست منطقه نیز کاهش می‌یابد [۵]. از سویی دیگر، تغییر سطح آب زیرزمینی و افزایش آن در بالادست سد سبب شور شدن خاک‌ها و نهایتاً برهم خوردن نظام هیدرولوژیکی رودخانه و ... می‌گردد [۶]. هدف از انجام این پژوهش، بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان‌ها و آثار زیست محیطی آن‌ها، قبل و بعد از احداث سد و به طور موردی بررسی وضعیت آبخوان و نظام هیدرولوژیکی دشت پیرانشهر و ساختگاه سد گرده بن و همچنین پیش‌بینی وضعیت آن بعد از تکمیل پروژه و آب‌گیری آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

روش‌شناسی این پژوهش مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی و آماری بوده است. در این پژوهش جهت بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی و بررسی اثرات منفی احداث سد بر مخازن آب زیرزمینی، داده‌های مربوط به سطح ایستابی در چاه‌های پیژومتری دشت پیرانشهر، دبی چاه‌ها و چشمه‌ها و میزان بارش منطقه جمع‌آوری و سپس جهت ترسیم نقشه هم‌پتانسیل حوضه و ترسیم هیدروگراف واحد منطقه مورد پردازش قرار گرفت. نهایتاً با استفاده از تحلیل هیدروگراف چاه‌های موجود در محدوده‌ی مطالعاتی، وضعیت آبخوان‌های منطقه بعد از اتمام پروژه و آب‌گیری سد پیش‌بینی گردید. برای پیش‌برد این هدف، پس از پیمایش صحرایی، اطلاعات مربوط به تعداد چشمه‌ها و چاه‌ها در منطقه و میزان تخلیه سالانه آن‌ها ارزیابی گردید. سپس، آمار مشاهده‌ای موجود (۲۲ چاهک مشاهده‌ای) مربوط به سطح تراز آب زیرزمینی برای دو سال پیاپی ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ در دشت پیرانشهر مورد بررسی قرار گرفت. پس از مرتب‌سازی آمار، ابتدا جهت تعمیم ارزش‌های اندازه‌گیری شده به سطح منطقه از تابع تیسسن^۱ استفاده شد و سپس هیدروگراف واحد منطقه در پایه زمانی دو سال در محیط نرم افزاری Excel ترسیم گردید. هدف از ترسیم هیدروگراف آبخوان، به‌دست آوردن دید کلی از روند تغییرات سطح آب زیرزمینی است. به دلیل آن که چاه‌های پیژومتری موجود نمی‌توانند تمامی سطح آبخوان را پوشش دهند، به کمک مدل تیسسن، برای هر چاه با توجه به موقعیت و تراکم چاه‌های اطراف، سطحی در نظر گرفته می‌شود. این مساحت‌ها باید به گونه‌ای

باشند که جمع آن‌ها برابر با سطح کل آبخوان گردد. رابطه ۱ بیانگر این مطلب می‌باشد؛

$$A = \sum a_i \quad (1)$$

در این رابطه a_i = مساحت پلی گون i ام و A = مساحت آبخوان

ترسیم هیدروگراف بر اساس مدل تیسسن، یک عمل میانگین‌گیری وزنی است. در این فرایند، وزن اختصاص داده شده به هر پیژومتر، برابر با حاصل تقسیم سطح به دست آمده از روش تیسسن به مساحت کل آبخوان می‌باشد. بنابراین در رابطه ۲ خواهیم داشت:

$$W_i = \frac{a_i}{A} \quad (2)$$

برای به‌دست آوردن ارزش عددی هیدروگراف آبخوان، باید وزن به دست آمده (از رابطه ۲) را در تراز آب زیرزمینی هر چاه در ماه‌های مختلف (h_{ij}) ضرب و سپس تمامی اعداد به دست آمده در J های برابر جمع کرده، در نتیجه تراز آب زیرزمینی آبخوان در ماه J ام طبق رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$\sum (h_{ij} \times w_i) \quad (3)$$

نهایتاً، با رسم نموداری که محور X آن ماه‌های سال و محور Y آن تراز آب زیرزمینی است، هیدروگراف آبخوان ترسیم خواهد شد.

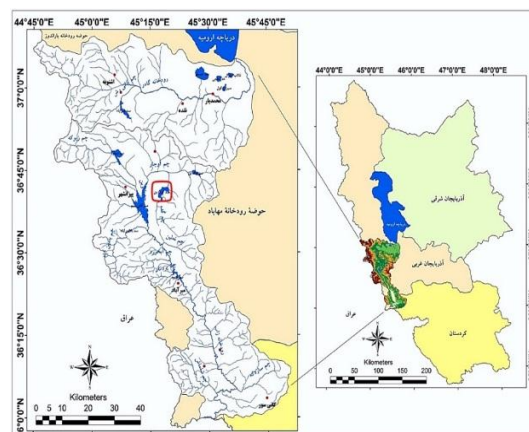
موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

سد مخزنی گرده بن به ارتفاع ۵۵ متر و حجم مخزن نرمال ۱۱۰ میلیون متر مکعب با طول تاج سد ۸۱۹ متر و عرض تاج سد ۱۰ متر می‌باشد. این سد از نوع سد خاکی غیر همگن با هسته رسی در استان آذربایجان غربی، ۲۵ کیلومتری شرق شهرستان پیرانشهر با

¹ Thissen

دگرگونی و افیولیتی زون سنندج - سیرجان می‌باشد. این زون یکی از فعال‌ترین و نآرام‌ترین واحدهای ساختمانی ایران می‌باشد و مراحل مهم دگرگونی را تحمل کرده است [۷]. رخنمون‌های منطقه را سنگ‌های گوناگونی از لحاظ ترکیب و سن پدید آورده است که به طور عمده در برگیرنده سنگ‌های آذرین، رسوبی، دگرگونی از پرکامبرین تا عهد حاضر است [۸]. در گستره حوضه آبریز لاین چای و گرده بن نیز سنگ‌های دگرگونی، آذرین و رسوبی رخنمون دارند. سنگ‌های دگرگون شده در منطقه غیرقابل نفوذ بوده و دارای تراوایی اندک می‌باشند که در این رابطه می‌توان چشمه‌های کم‌آبی همچون چشمه معدنی کانی پا در شمال غرب گردکاولان با آبدهی ۱ لیتر بر ثانیه که در بخش سیلوه پیرانشهر قرار دارد را متعلق به این سنگ‌ها دانست. سنگ‌های دولومیتی سازند باروت از جمله سنگ‌های رسوبی هستند که دارای نفوذپذیری متوسط بوده و به طور متناوب با شیل‌ها قرار دارند. این سنگ‌ها را نیز می‌توان تقریباً غیر قابل نفوذ به شمار آورد. چشمه چرچره با دبی لحظه‌ای ۱ لیتر بر ثانیه که در روستای خالدار در بخش سیلوانای پیرانشهر واقع شده است، مربوط به این طبقات سنگی است. واحد سنگی آهکی از دیگر سنگ‌های رسوبی منطقه است که از نظر سنگ‌شناسی از آهک‌های هوازده می‌باشند و دارای نفوذپذیری مناسبی هستند. اکثر چشمه‌های مورد مطالعه در این تحقیق مربوط به این طبقه سنگی می‌باشند. چشمه‌های پرآب برده میش، کانی پیوان، کهنه خانه، کانی رش و کیلکه آسیاب در دشت پیرانشهر در این واحد سنگی تشکیل شده‌اند. پادگانه‌های آبرفتی نیز که از تناوب کنگلومرای نیمه سخت و ماسه سنگ‌های دانه درشت و سخت نشده با میان لایه‌هایی از

مختصات ۴۵ درجه، ۱۹ دقیقه و ۱۸ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). محور سد در کنار روستای گرده بن و بر روی رودخانه چم اوجار قرار دارد. عملیات اجرایی این پروژه از سال ۱۳۹۰ آغاز گردیده اما هنوز به مرحله بهره‌برداری نرسیده است. منطقه مورد بررسی بخشی از حوضه آبریز رودخانه زاب کوچک در غرب کشور است که دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل می‌باشد. میانگین دمای سالانه منطقه، حدود ۱۰ تا ۱۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداکثر دما در تیرماه برابر با ۲۳/۵ درجه و حداقل دما در دی ماه با میانگین ۴- درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. میانگین تعداد روزهای یخبندان در محدوده منطقه مورد مطالعه حدود ۱۰۰ روز در سال است و دوره یخبندان از اوایل آبان ماه شروع و تا اوایل فروردین ماه ادامه دارد. میانگین بارندگی سالانه منطقه بالغ بر ۵۰۰ میلی‌متر است.



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان پیرانشهر، استان آذربایجان غربی

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

از دیدگاه تقسیمات واحدهای ساختمانی - رسوبی ایران، حوضه‌ی مورد مطالعه در محدوده کمربند

کرده و همین امر موجب تغییر در شرایط زندگی گیاهان و جانوران آبی می‌شود [۱۲].

جدول (۱): واحدهای سنگ شناسی حوضه آبخیز پیرانشهر [۱۰]

واحد	توضیحات	سن	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
pCmt 1	سنگ دگرگونی (آم فیولیت)	پرکامبرین	۸۳۵/۴	۱/۹۶
Pr	سنگ آهک (سازند روته)	پریمین	۴۷۱۵/۷	۱۱/۰۵
db	سنگ دیاباز	کرتاسه	۹۸۶۳	۲۳/۱۱
Cm	سنگ سیاه زیرین (سازند مبارک)	کربونیفر	۴۶۷۶/۲	۱۰/۹۶
pCam	سنگ آمفیبولیت	پرکامبرین	۹۴۵۳/۸	۲۲/۱۶
pCmb	سنگ مرمر مخروط افکنه	پرکامبرین	۹۹۷/۵	۲/۳۴
Qft2	سنگ رسوب های پادگانه	کواترنر	۲۸۲۲/۲	۶/۶۱
pd	سنگ پریدوتیت	تریاس - کرتاسه	۲۲۲۳/۹	۵/۲۱
Klsm	سنگ آهک و دولومیت	کرتاسه	۲۷۷۲/۴	۶/۵
Kfsh	سنگ خاکستری	کرتاسه	۴۳۱۰/۶	۱۰/۱

مورد دیگر تغییر درجه حرارت و دمای آب و تأثیر آن بر رفتار تغذیه ای و جذب غذای ماهی های ساکن آب شیرین است. با باز شدن دریچه تحتانی سد و رها شدن آب سرد موجود در مخزن، آثار منفی زیادی بر آبیان به خصوص بی مهرگان در پایین دست سد خواهد داشت [۱۳]. تغییر کیفیت آب در مخازن سد یکی دیگر

ماسه، در کناره راست رودخانه لاولین دیده می‌شوند، دارای ضخامت نسبتاً زیاد بوده و نفوذپذیری زیادی نیز دارند. از تشکیلات زمین شناسی مؤثر در هیدروژئولوژی منطقه می‌توان به واحدهای سنگی سازند باروت اشاره کرد که بعضی از آنها نظیر سنگ های آهکی و کنگلومرا می‌تواند اثر مثبت و بعضی همچون شیبست و شیل اثر منفی بر پتانسیل آب‌های زیرزمینی داشته باشند. در مورد گسترش رسوبات آبرفتی در دشت پیرانشهر، باید گفت که ضخامت رسوبات آبرفتی بین ۲۷ تا ۱۸۵ متر تخمین زده شده است که حداکثر ضخامت آبرفت در شرق پیرانشهر مشاهده شده است. بررسی نقشه‌های هم پتانسیل نشان می‌دهد که حداکثر رقم تراز آب ۱۵۲۱/۷۷ متر در ورودی شمال غرب دشت (منطقه جلدیان) و حداقل تراز آب ۱۳۶۷/۴۷ متر در جنوب شرق دشت (روستای کاسه گران) است. بخش شمالی دشت توسط رودخانه چم اوجار و قسمت جنوب توسط رودخانه لاولین چای زهکشی می‌شود [۹]. تنوع واحدهای سنگ شناسی منطقه در جدول ۱ آورده شده است.

آثار زیست محیطی سدها

طبق بررسی‌های صورت گرفته، احداث سدها بر روی رودخانه منجر به انفصال در یکپارچگی رودخانه می‌گردد [۱۱]. آبیگری سد اثرات بی‌شماری بر فرایندهای طبیعی رودخانه داشته و در نهایت باعث تغییر ساختار اکولوژیکی اکوسیستم‌ها می‌شود. برخی از این اثرات به عنوان آثار مستقیم شناخته می‌شوند که گاهی تا چند صد کیلومتر در پایین دست سد نیز قابل مشاهده است، همانند تغییر رژیم جریان و آورد رسوب که طی آن به دلیل فقدان رسوب در پایین دست و کاهش تراز کف کانال، شرایط طبیعی رودخانه تغییر

آب، باعث بهم زدن فرایند تولیدمثل گیاهان و تجاوز به زمین های مرتفع بالادستی می‌شوند که در حالت عادی مصون از سیلاب بودند. مطالعاتی در نروژ صورت گرفته که حاکی از کاهش قابل ملاحظه تنوع گیاهان ساحلی در نتیجه احداث سد می‌باشد [۱۷]. وقوع سیلاب‌های زیاد ناشی از رهاسازی آب سرریزها و تخلیه کننده‌ها که موجب تغییرات عمده فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی در پایین دست سدها می‌گردد، تراوش آب از سرریزهای سد که باعث فوق اشباع شدن آب از گازهایی موجود در هوا می‌شود و نهایتاً جذب این حباب‌های گاز در داخل بافت ماهی‌ها که باعث بیماری و در نهایت مرگ ماهی می‌شود، از جمله آثار زیان بخش سدسازی می‌باشد. همچنین، سدها باعث کاهش غلظت مواد غذایی در پایین دست می‌شود و اثرات نامطلوبی بر جامعه نباتی و حیوانی آن ناحیه می‌گذارند. از سویی دیگر، دریاچه سد در بالادست سد موجب نابودی و زیر آب رفتن پوشش گیاهی و جنگلی می‌گردد و همچنین باعث از بین رفتن گونه‌های جانوری و جایگزینی با گونه‌های سازگارتر می‌شود. در دریاچه کم عمق سد، رشد و نمو گیاهان آبی موجب وارد آمدن خسارت به ماهی‌ها شده و محیط مناسبی برای تخم‌ریزی حشرات نیز فراهم می‌کنند و نهایتاً شاید بتوان گفت از مهمترین آثار مخرب سدسازی، تغییرات سطح آب زیرزمینی است که طی آن سطح آب زیرزمینی در پایین دست سد به علت ممانعت از جریان طبیعی آب رودخانه کاهش می‌یابد. همان طور که مطرح گردید، احداث سدهای بزرگ از جنبه‌های زیست محیطی پیامدهای گوناگونی دارد که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. اما به تاثیرگذاری آن‌ها روی آب‌های زیرزمینی کم‌تر

از آثار مخرب سدها بر اکوسیستم طبیعی است. تجزیه زیستی مواد موجود در مخزن می‌تواند باعث تبدیل جیوه ارگانیک به متیل جیوه شود. تجمع زیستی متیل جیوه در بافت ماهی‌ها که در بالای زنجیره غذایی هستند چندین برابر بیش‌تر از ارگانسم‌های موجود در پایین زنجیره غذایی است که این امر می‌تواند پیامدهای قابل توجهی بر مردمی که برای تأمین غذای خود وابسته به ماهی‌ها هستند، داشته باشد [۱۴]. از آثار غیر مستقیم احداث سد بر محیط زیست نیز می‌توان به اثر منفی تنظیم جریان رودخانه در پایین دست سد بر زندگی پرندگان و پستانداران اشاره داشت که طی قطع رژیم سیلاب‌های فصلی در طول رودخانه ایجاد می‌شود [۱۵]. در بلندمدت نیز کاهش سیلاب منجر به تغییر پوشش گیاهی شده که ممکن است این پدیده برای بسیاری از پرندگان و پستانداران حائز اهمیت باشد. تبدیل رودخانه به مخزن نیز یکی دیگر از آثار مخرب سدها می‌باشد که اغلب موجب نابودی گونه‌های ساکن رودخانه می‌شود. در پایین دست سدها به واسطه تغییرات در رژیم جریان و شرایط فیزیکوشیمیایی (دما، کدورت و اکسیژن محلول) تغییرات قابل توجهی در جمعیت ماهی‌ها رخ می‌دهد. اگرچه احداث سدها تنها عامل تهدید کننده حیات ماهی‌ها نیست اما یکی از فاکتورهای اساسی در این زمینه است و تخمین زده شده است که در قرن گذشته نیمی از ماهی‌های بومی ساکن اقیانوس آرام در سواحل امریکا در اثر احداث سد از بین رفته‌اند [۱۶]. سدها همچنین می‌توانند بر پوشش گیاهی اطراف رودخانه و دشت سیلابی که متأثر از اندرکنش پویای سیلاب و رسوب هستند، نیز مؤثر باشند. سدها با تغییر مقدار و گستره زیر آب رفتن دشت سیلابی و تعامل زمین و

مترمکعب در ثانیه و معادل $56/765$ میلیون مترمکعب در شهریور ماه در ایستگاه هیدرومتری گرژال ثبت شده است. بیشترین جریان سالانه رود زاب در همین ایستگاه $45/1$ مترمکعب بر ثانیه و برابر $1422/274$ میلیون متر مکعب و کمترین جریان سالانه $8/4$ مترمکعب بر ثانیه و معادل $264/902$ میلیون مترمکعب در سال است [۱۹]. از نظر اقلیمی این منطقه، یکی از بیشینه‌های بارشی در غرب ایران با میزان بارش سالانه $701/5$ میلی‌متر و میانگین دمای $11/9$ درجه سلسیوس می‌باشد. دشت پیرانشهر با مساحتی در حدود 360 کیلومتر مربع در این حوضه واقع شده است که از سرشاخه‌های مهم رود زاب محسوب می‌شود. ارتفاع متوسط این دشت 1500 متر از سطح دریا و از نظر اقلیمی، یکی از بیشینه‌های بارشی در غرب ایران است. آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی پیرانشهر به لحاظ تقسیمات هیدرولوژی جزو حوضه آبریز زاب محسوب می‌شوند. از آن جایی که جهت جریان آب زیرزمینی عمدتاً از جهت جریان‌های سطحی و شیب توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند، بر همین اساس با در نظر گرفتن اینکه دشت پیرانشهر به لحاظ توپوگرافی نامتقارن است و رودخانه زاب در کناره‌های شرقی دشت جریان دارد، جهت جریان آب زیرزمینی در دشت پیرانشهر از شمال و شمال غرب به سمت جنوب و شرق و در نهایت رودخانه زاب می‌باشد. دشت پیرانشهر بر روی رسوبات آبرفتی کواترنر قرار گرفته است. این رسوبات به شکل رسوبات رودخانه‌ای و پادگانه‌های آبرفتی بوده و از قطعات گراول و ماسه در حاشیه دشت و در محل تماس با کوهستان تا سیلت و رس در قاعده مخروط افکنه‌ها تشکیل شده‌اند که جنس قطعات آن‌ها از تمام واحدهای سنگی موجود در ارتفاعات منطقه

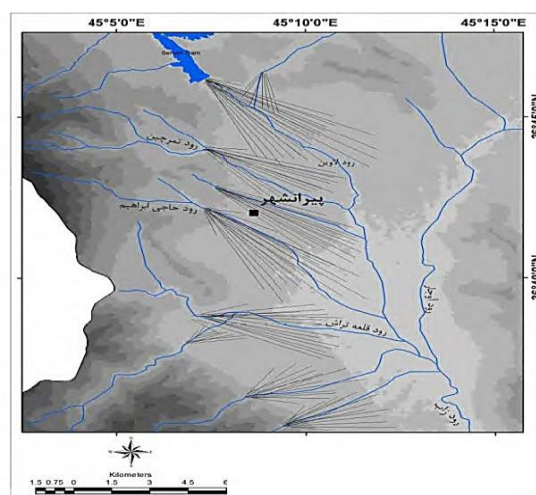
اشاره شده است. آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یکی از منابع تامین کننده آب از اهمیت بالایی برخوردار هستند. کیفیت آب‌های زیرزمینی تحت تاثیر عوامل مختلفی شامل موقعیت جغرافیایی، عوامل هیدروژئولوژیکی، لیتولوژی، ترکیب شیمیایی برف و باران و خاک و گیاه منطقه می‌باشد. سدها با تاثیر بر روی این عوامل باعث تغییراتی در کمیت و کیفیت آب زیرزمینی می‌شوند. بالا آمدن سطح آب زیرزمینی سبب مشکلاتی نظیر اشباع شدن سنگ‌های زیر سطح، ایجاد مرداب‌های راکد و تخریب بستر رودخانه‌ها در پایین دست و پدیده روان‌گرایی می‌شود. از سویی دیگر افت سطح تراز نیز جوانبی نظیر فرونشست زمین، خشک شدن چشمه‌ها و افزایش خطر وقوع سیل را به همراه خواهد داشت. از تاثیرات سد بر روی کیفیت آب زیرزمینی می‌توان به افزایش شوری و تغییر TDS و EC آن اشاره نمود.

تحلیل وضعیت حوضه آبریز

حوضه رودخانه زاب زیر بخشی از حوضه آبریز رودخانه‌های مرزی غرب کشور با مساحت 5005 کیلومتر مربع است که 82 درصد آن را مناطق کوهستانی و بقیه را دره‌ها و مناطق ماهوری تشکیل داده است [۱۸]. رودخانه زاب از ارتفاعات سیاه کوه واقع در مرز ایران و عراق به نام رود لاورین سرچشمه می‌گیرد و با دریافت شاخه‌های زیوکه، تمرچین، قلعه تراش، آوجار، بادین آباد، نعلین، آبخورده، پردانان در مرز ایران و عراق در نزدیکی آبادی هرزنه، پس از دریافت شاخه پرآب چومان، وارد خاک عراق می‌شود. حداکثر جریان ماهانه رودخانه زاب به میزان $133/6$ مترمکعب بر ثانیه و معادل $357/834$ میلیون مترمکعب در اردیبهشت ماه و حداقل جریان ماهانه $8/1$

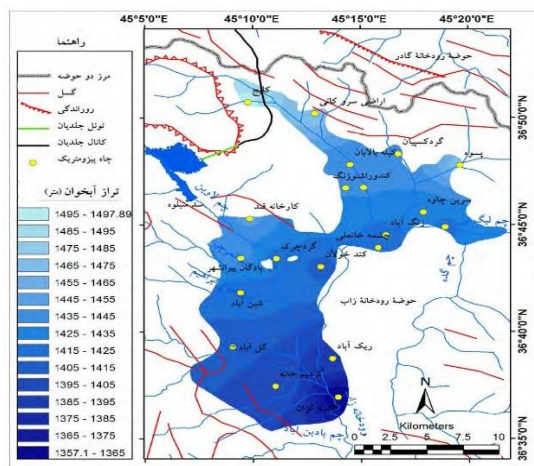
سنگ مخزن این چشمه‌ها را اغلب سنگ‌های آهکی تا آهک دولومیتی مربوط به دوره پرمین تشکیل داده است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که لایه‌های سنگی، پستی و بلندی‌ها [۲۲]، ارتفاع و شیب [۲۳] به ترتیب مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پتانسیل آب زیرزمینی منطقه می‌باشند. در مطالعات انجام شده در منطقه، جهت شمال شرق به علت دریافت بارش بیش‌تر، نقش بیش‌تری در توان آب زیرزمینی دارد و بیش‌ترین تعداد چشمه‌ها نیز در این جهت بوده است و از جهت ویژگی‌های لیتولوژی، تناوب سنگ آهک و دولومیت و سنگ مرمر بیش‌ترین میزان تأثیر را در توان آب زیرزمینی منطقه دارا می‌باشند [۱۰]. تیموری و اسدی [۱۰]، توان آب زیرزمینی بقیه سازندها و سنگ‌های حوضه را نیز بیش از ۸۰ درصد دانسته‌اند و بیان می‌دارند که حضور پراکنده سنگ‌های دگرگونی و پلمه سنگ‌ها در منطقه، توان ذخیره آب زیرزمینی را کاهش می‌دهند. در شکل ۳، سطح تراز آب زیرزمینی در نقاط مختلف دشت پیرانشهر نمایش داده شده است.

می‌باشد [۲۰]. به طور کلی این دشت مشتمل بر تعداد زیادی مخروط افکنه است که در محل خروج رودهای آوجار، لاوین، تمرچین، حاج ابراهیم، قلعه تراش و سوغانلو از کوهستان و ورود آن‌ها به دشت پیرانشهر به وجود آمده‌اند. شکل ۲ موقعیت این مخروط افکنه‌ها را در دشت پیرانشهر نشان می‌دهد.



شکل (۲): موقعیت مخروط افکنه‌ها در دشت پیرانشهر [۲۱]

در محدوده مورد بررسی رسوبات کف رودخانه و تراس‌های آبرفتی حاشیه رودخانه تشکیل منابع آب زیرزمینی غنی‌ای را داده‌اند. از سویی دیگر در رخنمون‌های آهکی و در میزانی کم‌تر در رخنمون‌های آذرین که بخش عمده از حوضه آبریز را پوشانده، حجم قابل توجهی آب ذخیره شده است. با توجه به اینکه بخش زیادی از نزولات جوی منطقه را برف تشکیل می‌دهد و با ذوب آن‌ها، میزان نفوذ آب در درز و شکاف سنگ‌ها زیاد است، بخشی از آب موجود در درز و شکاف و حفرات انحلالی به صورت چشمه خارج شده و بخشی توسط رودخانه زهکشی می‌شود. منابع آب زیرزمینی حوضه سد سیلوه و گرده بن اغلب منحصر به چشمه‌سارهای زیادی است که مظهر آن‌ها را در کوه‌ها و ارتفاعات اطراف حوضه شاهد هستیم.

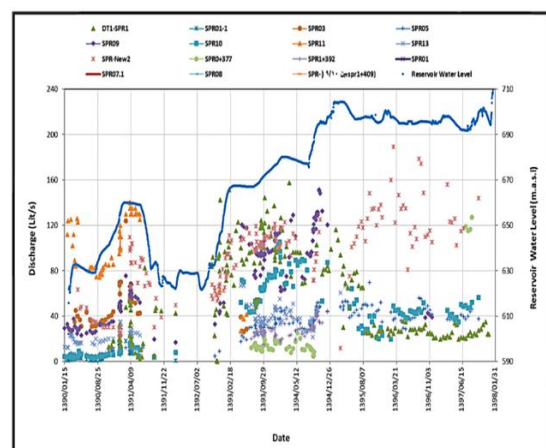


شکل (۳): نقشه سطوح ارتفاعی آب زیرزمینی دشت پیرانشهر

[۲۱]

اثر اجرای سد بر منابع آب زیرزمینی

صفوی و همکاران [۲۴]، با مطالعه بر روی چشمه‌های پایین دست سد سیمره بیان می‌دارند که با آبیگری مخزن سد، تراز سطح آب مخزن به تدریج افزایش می‌یابد و با توجه به افزایش گرادیان هیدرولیکی، انتظار می‌رود در صورت وجود ارتباط هیدرولیکی مشخص بین مخزن، چاه‌های مشاهده‌ای و چشمه‌های پایین دست، تغییراتی نیز در تراز سطح چاه‌ها و همچنین آبدهی چشمه‌ها مشاهده شود و به نظر می‌رسد که رابطه مستقیمی میان تغییرات آبدهی چشمه‌ها با تغییرات تراز مخزن وجود دارد به طوری که با کاهش و افزایش تراز مخزن، دبی اغلب چشمه‌ها نیز کاهش و یا افزایش می‌یابد (شکل ۴). بنابراین همخوانی تغییرات دبی اغلب چشمه‌های اندازه‌گیری شده با تغییرات تراز مخزن نشان می‌دهد که این چشمه‌ها به مخزن راه داشته و از مخزن تغذیه می‌نمایند.

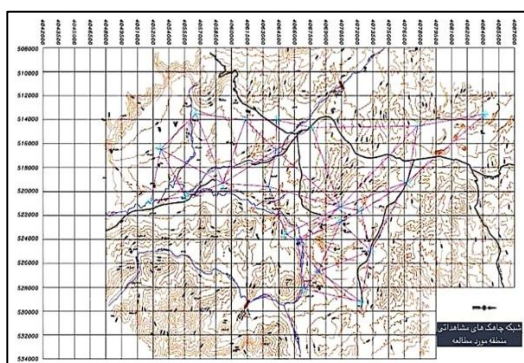


شکل (۴): تغییرات دبی‌های اندازه‌گیری شده چشمه‌های منطقه و تغییرات تراز سطح مخزن نسبت به زمان [۲۴]

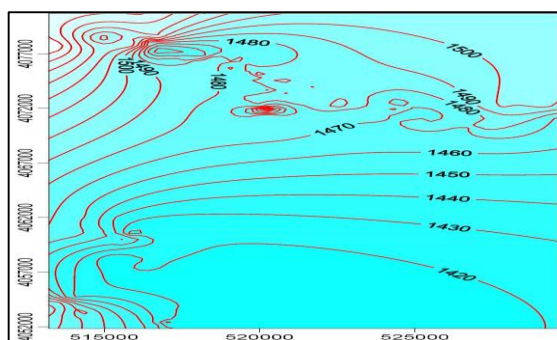
در محدوده مورد مطالعه نیز بر اساس آمار سال ۱۳۸۱، تعداد ۴۵ چشمه با تخلیه سالیانه

۲۸۳۵۸۷۴۸ مترمکعب شناسایی شده است که آب آن‌ها علاوه بر شرب عمدتاً در کشاورزی مصرف می‌شود و این چشمه‌ها را می‌توان به سه گروه اصلی تقسیم نمود که عبارتند از: چشمه‌های بزرگ، که این چشمه‌ها دائمی و به نسبت پرآب بوده و دارای شبکه سنتی می‌باشند. همانند چشمه‌های سروکانی، کهنه خانه و برده میش. آب چشمه سروکانی و برده میش فقط در کشاورزی مصرف می‌شود ولی آب چشمه کهنه خانه علاوه بر کشاورزی به مصارف شهری نیز می‌رسد. از این رو، بخشی از اراضی تحت پوشش این چشمه که سابقاً به صورت زراعت آبی بودند اکنون به صورت زراعت دیم می‌باشند. آبدهی متوسط این چشمه‌ها در حدود ۱۴۵ لیتر بر ثانیه است. گروه دیگر؛ چشمه‌های متوسط هستند که این چشمه‌ها به تعداد زیاد در منطقه مشاهده می‌شوند و آبدهی آن‌ها عمدتاً از حدود یک لیتر تا حداکثر حدود ۱۵ لیتر در ثانیه است. چشمه‌های متوسط در موقعیت‌های متفاوتی مشاهده می‌شوند. برخی از آن‌ها در دامنه تپه‌های مشرف به دشت ظاهر شده که مستقیماً اراضی پایین دست خود را آبیاری می‌کنند و برخی دیگر در حاشیه دره‌های داخل دشت ظاهر شده و وارد آبراه‌ها و رودخانه‌ها می‌شوند که در پایین دست مورد بهره برداری قرار می‌گیرند و با ظهور درکف رودخانه به رودخانه‌های منطقه، حالت زاینده می‌دهند. چشمه‌های متوسط بعضی دائمی و بعضی فصلی‌اند و نهایتاً چشمه‌های کوچک که این چشمه‌ها نیز به تعداد فراوان در منطقه وجود دارند. آبدهی این قبیل چشمه‌ها خیلی کم بوده و حداکثر چند لیتر در ثانیه می‌باشد. چشمه‌های کوچک به صورت دائمی و فصلی مشاهده می‌شوند و در منطقه مورد مطالعه، موجه نام دارند و به صورت خصوصی بهره

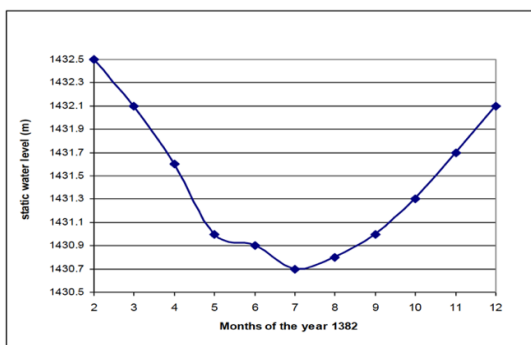
۱۳۸۳ سطح لایه آبدار منطقه مجدداً به اندازه ۰/۹ متر بالا آمده است و نتیجه اینکه طی دو سال متوالی سطح تراز لایه آبدار به اندازه ۰/۵ متر افزایش یافته که بیانگر نفوذ جریان‌های سطحی و آب برگشتی کشاورزی به لایه آبدار مذکور است. با توجه به اینکه مساحت لایه آبدار دشت گرده بن برابر ۲۱۲ کیلومتر مربع بوده و ضریب ذخیره متوسط منطقه برابر ۳/۶ درصد پیش بینی شده است. افزایش حجم آبخوان برای دو سال متوالی در دشت گرده بن برابر $MCM \frac{3}{82}$ می باشد.



شکل (۵): شبکه چاهک‌های مشاهداتی در منطقه



شکل (۶): خطوط هم پتانسیل تراز آب زیرزمینی منطقه



الف

بررداری می‌شوند. بر اساس آمار و اطلاعات اخذ شده از مجموع ۱۹۰ حلقه چاه حفر شده در این دشت تعداد ۲۲ حلقه چاه عمیق با تخلیه سالیانه ۵۸۶۷۳۹ مترمکعب و ۱۶۸ حلقه چاه کم عمق با تخلیه سالیانه ۱۴۷۸۰۴ مترمکعب وجود دارد که همگی در لایه آبدار آزاد حفر شده‌اند. تعدادی از چاه‌های نیمه عمیق منطقه بهره برداری نمی‌شوند و به علت عدم وجود رسوبات غیرقابل نفوذ در دشت پیرانشهر، لایه آبدار تحت فشار نیز در منطقه وجود ندارد. بنابراین، مجموع تخلیه‌ی سالیانه دشت پیرانشهر ۲۹۰۹۳۲۹۱ مترمکعب می‌باشد که از این میزان در حدود $MCM 29$ در بخش شرب و کشاورزی به مصرف می‌رسد و بقیه آب مصرفی، در قسمت بهداشت و صنعت می‌باشد. به منظور مطالعه تغییرات سطح آب زیرزمینی و ترسیم نقشه هم پتانسیل آبخوان در منطقه، از مجموع حلقه چاه‌ها، تعداد ۲۲ چاهک مشاهداتی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵).

بر اساس نتایج به دست آمده متوسط تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه، حدود ۰/۵۰۱ متر تخمین زده شد که این سطح تراز از شمال به سمت جنوب دشت روند کاهشی را نشان می‌دهد (شکل ۶). همچنین هیدروگراف مربوط به تغییرات متوسط ماهانه ارتفاع سطح آب‌های زیرزمینی برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ نیز ترسیم گردید (شکل ۷، الف و ب) که بر طبق آن روند تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی از اوایل اردیبهشت تا اواخر شهریورماه سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به علت تخلیه بیشتر از منابع آب زیرزمینی، نزولی بوده و از مهر تا اسفندماه با تغذیه دوباره لایه آبدار منطقه، سطح تراز آب بالا می‌آید. بر اساس نمودار ذکر شده، در سال ۱۳۸۲ سطح لایه آبدار منطقه به اندازه ۰/۴ متر افت پیدا کرده است و به دنبال آن در سال

سد در فصول بهره‌برداری نیز همچنان روند افت در آبخوان ادامه داشته است که این موضوع نشان دهنده عدم کافی بودن میزان رهاسازی سد جهت تغذیه آبخوان می‌باشد. از سویی دیگر، افت سطح آب‌های زیرزمینی، شکاف‌های طولی کششی در زمین ایجاد می‌کند که سبب نشست زمین خواهد شد [۲۵] و مقدار این نشست بر اساس شرایط زمین شناسی منطقه و میزان فشار متغیر خواهد بود.

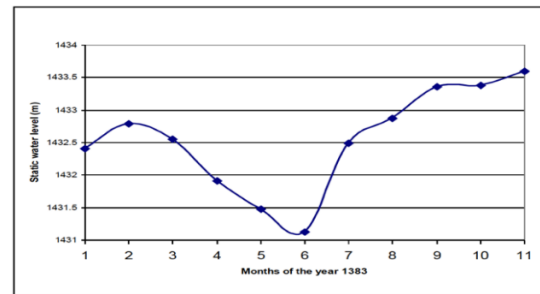
نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، نتایج زیر قابل پیش بینی است:

احداث سد مخزنی روی رودخانه‌هایی که در پایین دست آن مخروط افکنه وجود دارد، سبب کاهش تغذیه و افت شدید سطح آب آن و به تبع آن افت سطح آب زیرزمینی و نهایتاً افزایش املاح آب زیرزمینی می‌شود.

بر اساس نقشه هم پتانسیل تراز آب زیرزمینی در منطقه، سطح تراز آب از شمال به سمت جنوب دشت کاهش می‌یابد. بنابراین پیش بینی می‌شود با احداث و آبرگیری سد به طور معمول سطح آب‌های زیرزمینی در پایین دست سد به علت ممانعت از جریان معمول آب رودخانه، در تراز پایینی قرار گیرد که در صورت عدم تغذیه آبخوان، نشست زمین را نیز در پی خواهد داشت.

برای جلوگیری و یا کاهش آثار منفی افت سطح تراز آب‌های زیرزمینی ناشی از احداث سد، پیشنهاد می‌شود قبل از احداث سدها، ساختار زمین شناسی و سطح آب‌های زیر زمینی منطقه به خوبی مورد مطالعه قرار گیرد و اجازه داده شود مقداری از آب در طول سال به رودخانه ورود داشته باشد. کاشت گیاهان مقاوم



ب

شکل (۷): تغییرات متوسط ماهانه ارتفاع سطح آب‌های زیرزمینی حوضه مطالعاتی در چاهک مشاهداتی برای سال ۱۳۸۲ (الف) و ۱۳۸۳ (ب)

نتیجه اینکه طبق بررسی‌های انجام شده بر روی سطح تراز آب‌های زیرزمینی در منطقه، به نظر می‌رسد با احداث سد و آبرگیری آن، به علت ممانعت از گذر آب رودخانه اوجار، از سویی سطح لایه آبدار در منطقه بالادست سد افزایش می‌یابد که این روند صعودی سبب افزایش سطح پوشش گیاهی در مناطق بالادست خواهد شد و از سویی دیگر در پایین دست سد، سطح تراز آب زیرزمینی، روندی کاهشی خواهد داشت و از آنجایی که لایه‌های آبدار در اثر نفوذ آب‌های سطحی تغذیه می‌شوند، به دلیل شرایط خاک منطقه و نفوذپذیری کم آن‌ها، آبیاری مزارع نیز تأثیر چندانی بر افزایش سطح آب‌های زیرزمینی در دشت نداشته باشد. این نتیجه تاییدی است بر نتایج پژوهش نوین‌پور و همکاران [۴] که با بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی سد مخزنی شهر چای، دشت ارومیه، بر این باورند که اثر احداث سد در خرداد ماه سال‌های آماری به صورت معنی‌دار به صورت کاهش سطح ایستابی است و از ابتدای سال آماری اختلاف ترازها حداقل ۱/۸۵ متر و حداکثر به ۳ متر رسیده است که نشان دهنده کاهش شیب کلی حوضه به دلیل عدم تغذیه در اثر احداث سد می‌باشد و با توجه به رهاسازی آب از

[۸] قهرودی، م.، ثروتی، م.، حسنی قارنائی، ر.، ۱۳۹۲، تحلیل ناپایداری‌های حاصل از نهشته‌های یخچالی در حوضه رود زاب کوچک، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، ش. ۴۳، ص. ۶.

[۹] صمدی، ن.، کریمی، ح.، آقازاده، ن.، ۱۳۹۲، ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آب های زیرزمینی منطقه پیرانشهر و تعیین کیفیت آن‌ها برای مصارف مختلف، هفدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه شهید بهشتی.

[۱۰] تیموری، م.، اسدی نیوان، ا.، ۱۳۹۹، مهم‌ترین عامل های مؤثر بر توان آب زیرزمینی در آبخیز پیرانشهر (آذربایجان غربی) با مدل Max Ent و سامانه ی اطلاعات جغرافیایی. دوره ۳۳، ش. ۱، ۷۱-۵۶.

[11] Ward, J., Stanford, J., 1995. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regulated Rivers: Research & Management*, V.11, Issue 1, P. 105-119.
<https://doi.org/10.1002/rrr.3450110109>.

[۱۲] مهاجری، س.ح.، صفرزاده، ا.، صالحی نیشابوری، س.ع.، ا.، ۱۳۹۴، تعیین پروفیل سرعت طولی جریان آشفته در بستریهای زیر به روش متوسط گیری دوپل. نشریه دانش آب و خاک ایران.

[13] Carolli, M., Bruno, M., C., Siviglia, A., Maiolini, B., 2012, Responses ob benthic invertebrates to abrupt changes of temperature in flume simulations. *River Research and Applications*, 28: 678- 691.

[14] Bodaly, R.A., Hecky, R. E., & Fudge, R. J., P., 1984, Increases in fish mercury levels in lakes flooded by the Churchill River diversion, northern Manitoba. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41(4), 682-691.

[15] Nilsson, C., & Dynesius, M., 1994, Ecological effects of river regulation on mammals and birds: a review. *Regulated Rivers: Research & Management*, 9(1), 45-53.

[16] Chaterjee, P., 1997. Dam busting. *New Scientist*, 2082, 34- 37.

[17] Nilsson, C., Jansson, R. & Zinko, U., 1997, Longterm responses of river – margin vegetation to water – level regulation. *Science*, 276 (5313), 798-800.

به شوری و آب شویی اراضی زراعی با شبکه زهکشی مناسب نیز نقش موثری در متعادل نمودن کیفی و کمی آب‌های زیر زمینی خواهد داشت.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از نظرات ارزشمند سردبیر و داوران محترم مجله کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

[۱] عباسی، ح.، ۱۴۰۱، سدسازی، فواید و معایب آن، فصلنامه علمی تخصصی زیست سپهر، دوره ۱۵، شماره ۱.

[2] Bergkamp G., Mc Cartney M., Dugan P., McNeely J. and Acreman M., 2000. Dams ecosystem functions and environmental restoration: Thematic Review II., World Commission on Dams, Cape Town.

[3] Ishida, S., Kotoku, M., Abe, E., Faza, M. A., Tsuchihara, T. and Imaizumi, M., 2003. Construction of subsurface dams and their impact on the environment, *RMZ Material. Geoenviron.*, 50, 149-152.

[۴] عباس نوین پور، ا.، محمد حسین زاده، م.، رضایی، ح.، ۱۳۹۸، اثر احداث سد مخزنی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی سد مخزنی شهر چای، دشت ارومیه، ایران)، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و ششم، شماره چهارم، ۹۳-۷۵.

[۵] نادریان‌فر، م.، انصاری، ح.، ضیائی، ع. ن.، داوری، ک.، ۱۳۸۹. بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی مختلف، فصلنامه مهندسی آبیاری و آب، شماره ۳، ص. ۳۷-۲۲.

[۶] رنجبر، م.، امینی، ت.، ۱۳۹۳، ارزیابی اثرسدها بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی سد سلمان فارسی -استان فارس)، جغرافیا، ۴۰، ۱۲، ۲۰۶-۱۸۷.

[۷] خضری، س.، روستایی، ش.، رجایی، ع.، ۱۳۸۵، پهنه بندی و تحلیل سلولی ناپایداری دامنه‌ای در بخش مرکزی حوضه آبریز رودخانه زاب، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، ش. ۲۲، ص. ۱۴۸.

[۱۸] سالنامه آماری آب کشور، ۱۳۹۰، وزارت نیرو، دفتر برنامه ریزی کلان آب و آبفا.

[۱۹] اولویت‌های تحقیقاتی، ۱۳۹۳، وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران و شرکت‌های زیرمجموعه.

[۲۰] رضازاده، ع.، عباسی، م.، ۱۳۹۲، تونل انتقال آب گلاس جهت احیای دریاچه ارومیه. سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[۲۱] قنواتی، ع.، خضری، س.، طالب پور اصل، د.، ۱۳۹۴، ارزیابی اثرات انتقال آب بین حوضه‌ای بر مخازن زیرزمینی و نشست زمین (مطالعه موردی: انتقال آب رودخانه زاب به دریاچه ارومیه). فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲، ۴۴-۲۹.

[22] Rahmati, O., Golkarian, A., 2018, Use of a maximum entropy model to identify the key factors that influence groundwater availability on the Gonabad Plain, Iran. *Environmental Earth Sciences*, V. 77, Issue 10. 10.1007/s12665-018-7551-y.

[23] Razavi, V., Mesgari, M., Kazemi, K., 2017, Evaluation and comparison of frequency ratio, statistic index and entropy methods for groundwater potential mapping using GIS (Case Study: Jahrom Township). *Journal of EcoHydrology*. 4(3): 725-736. (In Persian).

[۲۴] صفوی، ش.، فقیهی راد، ش.، کاردان مقدم، ح.، مشکاتی، س.، م.، ح.، شریفی منش، ح.، امیر سلیمانی، ح.، ۱۴۰۲، ارزیابی اثرات آبیگری سد سیمره بر تراز آب زیرزمینی پیرامون ساختگاه و آبدهی چشمه‌های پائین دست. نشریه مهندسی عمران امیر کبیر. دوره ۵۵، ش. ۶، ۱۱۷۹-۱۱۹۴.

[25] Scott, R.F., 1979, Subsidence- revaluation and prediction of subsidence, Ed. By Saxema, S, K, Proc. Cnof. ASCE, Gainsville, PP. 1-25.

“Research article”**Environmental impacts assessment of dams on groundwater sources (A case study: Gerdeh Bon Dam, West Azerbaijan)****Vahabi E.¹, Baharlouei Yancheshmeh S.^{2*}**¹M.Sc, Dept. of Geology, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran.

Email: edrisvahabi@yahoo.com

²Assistant Professor, Dept. of Geology, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

Email: somayehbaharlouie@gmail.com

Abstract

Although dams are beneficial for human life by providing drinking water, irrigation and drainage, providing hydroelectric energy and economic and social development, but they also cause irreparable environmental effects on the surrounding ecosystem. among the most destructive of these effects are changes in the level of underground water in the region, which usually falls downstream due to the obstruction of the natural flow of the river. in this research, the situation of the groundwater level in the area of Gerdeh Bon Dam site, has been investigated as a case study. the study of the hydrogeological situation, the annual fluctuations of the aquifer level and also the investigation of the isopotential map of the underground water level in the region show the decreasing trend of the water level from the north to the south of the plain and it is expected that after dam impoundment, the underground water level in the downstream reaches a lower level due to the obstruction of the normal flow of Cham Ojar river water. this event will result in land subsidence if the aquifer is not fed.

Keywords: Environmental impacts, Groundwater sources, Dam, Gerdeh Bon, West Azerbaijan



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال پانزدهم، شماره‌ی ۵۷
بهار ۱۴۰۳، صفحات ۲۵-۱۵

"مقاله پژوهشی"

زمین شیمی عناصر نادر خاکی (REE) در کانی‌های باریت و فلوریت کانسار اردکان، استان یزد

ابراهیم انصاری^۱، فرهاد احیاء^{۱*}، قدرت الله رستمی پایدار^۲، سارا ملکی خیمه سری^۱

۱. گروه زمین شناسی، واحد بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی، بهبهان، ایران

۲. گروه زمین شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

Email: ehya.farhad@iau.ac.ir *

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۰۴ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۲/۰۵)

چکیده

این مطالعه، زمین شیمی عناصر نادر خاکی (REE) در کانی‌های باریت و فلوریت را به منظور تعیین منشأ کانسار باریت اردکان مورد بررسی قرار می‌دهد. کانی‌سازی باریت به صورت رگه‌ای در دولومیت‌ها و سنگ‌های آهکی سازند شتری به سن تریاس میانی در شمال شرقی شهرستان اردکان در استان یزد رخ داده است. باریت با کانی‌های فرعی فلوریت، کوارتز، اسفالریت، مالاکیت، کریزوکولا و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز همراهی می‌شود. ماهیت کانی‌سازی و روابط کانسنگ-سنگ میزبان نشان می‌دهد که کانی‌سازی باریت دیرزاد (اپی ژنتیک) است. تجزیه شیمیایی نمونه‌های باریت و فلوریت بیانگر مقادیر بسیار کم ΣREE (به ترتیب در محدوده‌های ۱۴/۸۰ تا ۱۹/۵۹ ppm و ۰/۱۴ تا ۶/۵۲ ppm) در این کانی‌ها می‌باشد. کم بودن ΣREE و نسبت Ce/La در نمونه‌های باریت تأیید کننده یک منشأ گرمابی (خشکی) برای کانی باریت است. غلظت پایین ΣREE و نمودار نسبت Tb/Ca در مقابل نسبت Tb/La یک منشأ گرمابی را برای کانی فلوریت کانسار اردکان به تأیید می‌رساند. نتیجه آن که داده‌های زمین شیمیایی REE در کانی‌های باریت و فلوریت از یک منشأ گرمابی برای کانسار باریت اردکان حمایت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: باریت، فلوریت، عناصر نادر خاکی، زمین شیمی، اردکان

مقدمه

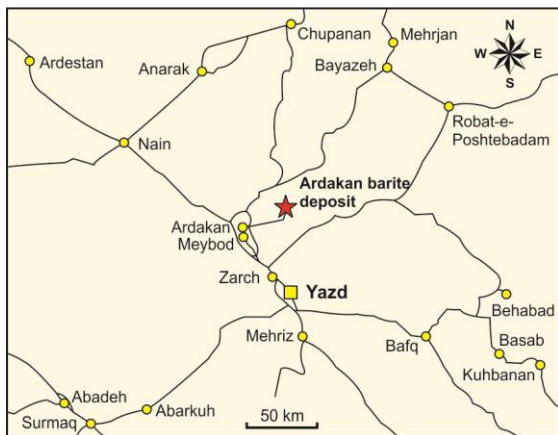
باریت (سولفات باریم، $BaSO_4$) یک کالای معدنی صنعتی است که عمدتاً در حفاری چاه‌های نفت و گاز استفاده می‌شود. سایر کاربردهای جزئی این ماده معدنی شامل استفاده از آن به عنوان افزودنی برای مواد اصطکاکی، رنگ، پلاستیک، لاستیک و سایر محصولات؛ ماده اولیه برای تولید مواد شیمیایی؛ و محافظ در کاربردهای اشعه ایکس و گاما می‌باشد. باریم که ۵۹ درصد وزنی باریت را تشکیل می‌دهد، در لعاب‌های سرامیکی، سایر لعاب‌ها، شیشه‌های اپتیکال، پرایمرها، شعله‌های سیگنالی، سخت‌کننده‌های فولادی، شارهای جوشکاری و انواع محصولات دیگر استفاده می‌شود [۱].

میزان متوسط باریم پوسسته قاره ای بالای ۰/۰۶۲۴ درصد وزنی تخمین زده می‌شود [۲]. باریم در محیط‌های زمین شناسی عمدتاً به صورت کاتیون دو ظرفیتی Ba^{2+} وجود دارد. این یون بزرگ‌تر از سایر کاتیون‌های دو ظرفیتی است و در نتیجه باریم به راحتی در کانی‌های سنگ ساز معمولی جای نمی‌گیرد. باریم به طور گسترده‌ای جایگزین کاتیون‌های تقریباً بزرگ Pb^{2+} و Sr^{2+} در کانی‌هایی می‌شود که حاوی این عناصر هستند، و به میزان کم‌تری جایگزین یون‌های کوچک‌تر Ca^{2+} و K^+ می‌شود.

عناصر نادر خاکی (REE) رفتار زمین شیمیایی مشابه و منسجم، اما همراه با تفکیک را نشان می‌دهند. این امر احتمالاً نتیجه پایداری حالت اکسیداسیون سه مثبت آن‌ها در محیط‌های زمین‌شناسی، و طیف وسیعی از انواع و اندازه چند وجهی‌های کردینانسیون کاتیونی در کانی‌های سنگ ساز است. با این حال، تفکیک تک REE‌ها در طی فرآیندهای زمین‌شناسی رخ می‌دهد و

این با کمبود یا اضافه بودن مقدار Ce و Eu در مقایسه با غلظت REE همسایه آن‌ها در الگوهای REE هنجار شده با کندریت نشان داده می‌شود. این مقادیر اضافه و کمبود معمولاً به عنوان بازتاب اکسیداسیون Ce به ظرفیت چهار و کاهش Eu به حالت دو ظرفیتی توضیح داده می‌شوند [۳]. تصور می‌شود که REE‌ها در محلول‌های آبگین به صورت کمپلکس منتقل می‌شوند، زیرا اکثر نمک‌های REE دارای محصولات با انحلال بسیار کم هستند. پایداری کمپلکس‌های مختلف REE متفاوت است و در نتیجه، عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) و Y کمپلکس‌های کربنات، فلورید، اکسلات، کلرید و سولفات پایداری نسبت به عناصر نادر خاکی سبک (LREE) تشکیل می‌دهند. ترکیب REE محلول‌های ماگمایی اولیه به ترکیب و خواص فیزیکی ماگمای در حال تبلور، که تفکیک REE به سیالات در حال تکامل را کنترل می‌کند، مرتبط است. سیالات گرمابی حاصل از یک ماگمای در حال تبلور یا تولید شده از شسته شدن سنگ‌ها در سیستم‌های گرمابی معمولاً دارای محتوای REE کم هستند. به طور کلی، غلظت REE محلول‌های گرمابی با کاهش pH افزایش می‌یابد. توزیع REE (یعنی غنی‌شدگی LREE یا HREE؛ غلظت‌های Eu و Ce) در سیالات گرمابی عمدتاً توسط pH، دما و نوع کمپلکس‌کننده‌های موجود در محلول‌ها کنترل می‌شود. بی‌ثباتی کمپلکس‌های LREE و HREE با تغییرات دما، فشار، pH، قلیابیت یا غلظت عامل کمپلکس‌کننده منجر به تفریق و رسوب REE می‌شود. واکنش این سیالات با آب‌های سطحی و سنگ‌های دیواره ممکن است ترکیب REE محلول‌ها و سنگ‌های همبر واکنش دهنده را تغییر دهد [۳].

دالمه که مشرف به جلگه کویری اردکان می‌باشد، قرار گرفته است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به کانسار باریت اردکان.

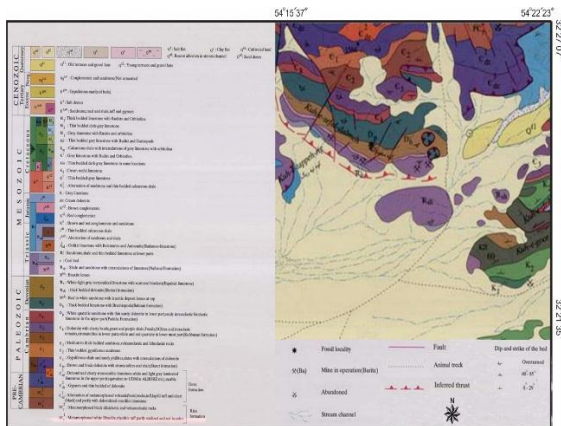
از نظر جایگاه زمین شناسی، کانسار باریت اردکان در پهنه ایران مرکزی واقع است. ناحیه کانسار بخشی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اردکان [۱۳] است. انواع مختلفی از سنگ‌ها به سن پرکامبرین تا کواترنری در ناحیه کانسار وجود دارد (شکل ۲). قدیمی‌ترین واحدهای سنگی شامل سازند ریزو متشکل از سنگ‌های سیلیسی آواری و آتشفشانی دگرگون شده شامل ریولیت، توف و توف ریولیتی، و سازند دزو متشکل از سنگ‌های کربناته (معمولاً دولومیت دگرگون‌شده)، توف، توف ریولیتی و سایر سنگ‌های آتشفشانی آواری و گاهی شیل‌ها و لایه‌های ماسه‌سنگ، لایه‌های ضخیم گچ و دولومیت نازک لایه، و سنگ آهک دولومیتی استروماتولیتی چرتی به سن پرکامبرین پسین می‌باشند. نهشته‌های پالئوزوئیک متشکل از لایه‌هایی از کامبرین زیرین شامل تناوبی از شیل ماسه‌ای، دولومیت نازک لایه، رگه‌های چرت، کوارتزیت نازک لایه، شیل گچی و آواری، اسلیت و فیلیت، گدازه ریولیتی و توف ریولیتی، ماسه سنگ‌های

در گذشته چندین مطالعه به منظور تعیین منشأ بر روی کانسار باریت اردکان انجام گرفته است [۸-۴]. براساس این مطالعات که در آنها از داده‌های کانی شناسی، دگرسانی، زمین شیمی و میانبرهای سیال استفاده شده است، باریت از محلول‌های گرمابی مشتق از ماگما که گاه با محلول‌های جوی مخلوط شده‌اند، ته نشست شده است. جالب آن که بررسی‌های صحرایی در این مطالعه و نیز نقشه زمین شناسی ناحیه کانسار، هیچ توده ماگمایی که محلول‌های باریت دار از آن تأمین شده باشد را در ناحیه کانسار باریت اردکان نشان نمی‌دهد. به علاوه، تاکنون از زمین شیمی عناصر نادر خاکی به منظور بررسی منشأ این کانسار استفاده نشده است. زمین شیمی عناصر نادر خاکی به عنوان یک ابزار قدرتمند و مفید در مطالعه کانی سازی در شرایط گرمابی شناخته شده و به طور وسیعی برای شناخت منشأ و چگونگی تشکیل کانسارهای باریت در محیط‌های زمین شناسی مختلف نیز استفاده شده است [۹-۱۲]. هدف از این مطالعه، بررسی زمین شیمی عناصر نادر خاکی در کانی‌های باریت و فلوریت در کانسار اردکان به منظور استفاده از این عناصر در تعیین منشأ احتمالی و چگونگی تشکیل این کانسار می‌باشد.

موقعیت جغرافیایی و جایگاه زمین شناسی

کانسار باریت اردکان با مختصات جغرافیایی 28° $19'$ طول شرقی و 32° $24'$ $23''$ عرض شمالی در ۳۷ کیلومتری شمال شرقی شهرستان اردکان در استان یزد واقع شده و راه ارتباطی آن با شهر اردکان از طریق ۳۰ کیلومتر جاده آسفالتی و ۷ کیلومتر جاده شوسه می‌باشد (شکل ۱). ارتفاع کانسار از سطح دریا بین ۱۴۰۰ تا ۱۷۰۰ متر است. کانسار در دامنه ارتفاعات کوه سفید

نهشته‌ها در ناحیه کانسار باریت اردکان، نهشته‌های کواترنری است که از تراس‌های قدیمی و جوان و مخروط افکنه‌های سنگ‌ریزه‌ای و آبرفت در رودخانه-ها تشکیل می‌شود (شکل ۲).



شکل (۲): بخشی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ناحیه کانسار باریت اردکان [۱۳].

کانی سازی باریت در کانسار اردکان به صورت رگه‌های استراتاباند (لایه کران) در سنگ‌های کربناته سازند شتری به سن تریاس میانی رخ می‌دهد. سازند شتری در محل کانی‌سازی باریت دارای درزه‌های فراوان است (شکل ۳). اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی درزه‌های موجود در سازند شتری در ناحیه کانسار نشان می‌دهد که دو سیستم درزه شامل یک سیستم درزه غالب با روند شمال غرب-جنوب شرق، و یک سیستم درزه فرعی با روند شمال شرق-جنوب غرب وجود دارد (شکل ۴). روند سیستم درزه غالب با روند گسل‌های مهم در ناحیه کانسار و نیز روند کانی سازی باریت همخوانی دارد و نشان می‌دهد که درزه‌ها و گسل‌ها به احتمال زیاد در تشکیل کانی‌سازی نقش مهمی داشته‌اند. کانی‌سازی باریت در مقطعی به طول ۵ کیلومتر رخ داده است. در این امتداد، هشت رخنمون از کانی‌سازی باریت وجود دارد که کارگاه‌های استخراج ماده معدنی در آنها استقرار یافته است

شیلی گچی و ماسه سنگ‌های متاگرایواکی، ماسه‌سنگ‌های متوسط تا ضخیم لایه، مقداری لیتوکلاست و ولکانوکلاست، شیل و ماسه سنگ میکادار دگرگون شده است (شکل ۲). سازند کوهبنان به سن کامبرین زیرین تا میانی دارای سنگ‌شناسی کوارتزیت، دولومیت و دولومیت چرتی، شیل، دولومیت توده‌ای با آثار استروماتولیت و فسیل‌های کفزی است. واحدهای سنگی دونین شامل سازندهای پادها و بهرام است. سازند پادها به سن دونین زیرین عمدتاً از کوارتزیت و ماسه سنگ با میان لایه‌های شیل و دولومیت تشکیل شده است. سازند بهرام به سن دونین بالایی عمدتاً از سنگ‌های آهکی تشکیل شده، اما لایه‌هایی از ماسه‌سنگ آهن دار، توف، لاپیلی توف، بازالت و شیل توفی نیز دارد. رسوبات مزوزوئیک با یک واحد سنگی متشکل از سیلت سنگ و ماسه سنگ به سن تریاس زیرین شروع می‌شود که در قسمت بالایی به لاتریت ختم می‌گردد. تریاس میانی با سازند شتری متشکل از سنگ آهک با افق‌های توف و لاپیلی توف، دولومیت‌ها و آهک‌های دولومیتی مشخص می‌شود. کانی سازی باریت در کانسار اردکان در سنگ‌های کربناته سازند شتری رخ می‌دهد (شکل ۲). واحد سنگی دیگری به سن تریاس میانی، سنگ آهک اسپهک است که از دولومیت نازک تا متوسط لایه و آهک دولومیتی تشکیل شده است. نهشته‌های تریاس بالایی تا ژوراسیک پایینی از یک واحد سنگی متشکل از شیل، ماسه سنگ و سیلت سنگ در تناوب با لایه‌های آهکی تشکیل می‌شود که بوسیله شیل‌های آهکی و لایه‌های نازک آهکی به سن ژوراسیک فوقانی پوشیده می‌شود. واحدهای سنگی کرتاسه شامل سنگ‌های آهکی و شیل‌های آهکی است. جوان‌ترین



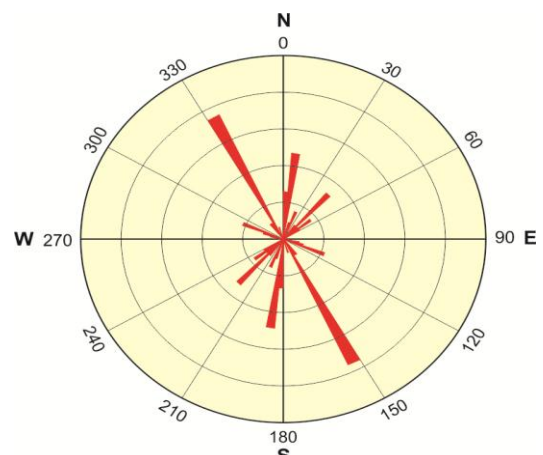
شکل (۵): الف- تصویری از یک کارگاه استخراجی در کانسار باریت اردکان؛ ب- تصویری از سازند شتری در محل کانسار باریت اردکان؛ ج- تصویری از یک توده باریت به رنگ سفید در کانسار باریت اردکان؛ و د- تصویری از کانی فلوریت با رنگ‌های سفید و بنفش در کانسار باریت اردکان.

سازند شتری در مجاورت توده معدنی باریت از دولومیت‌های خاکستری تیره با لایه‌بندی متوسط تا ضخیم، و به مقدار کم‌تر سنگ‌های آهکی تشکیل شده است که رنگ هوازده آن‌ها قهوه‌ای روشن تا کرم است (شکل ۵ ب). کانسنگ در کانسار باریت اردکان از باریت به همراه کانی‌های فلوریت، کوارتز، اسفالریت، مالاکیت، کریزوکولا و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز تشکیل شده است. باریت معمولاً بیش از ۹۰ درصد حجم کانسنگ را تشکیل می‌دهد. این کانی اغلب به صورت تکه‌های توده‌ای و بلوری خالص با رنگ‌های سفید، بی‌رنگ و صورتی رخ می‌دهد (شکل ۵ ج). در محل تماس توده معدنی باریت با سنگ دیواره، سنگ میزبان خرد شده توسط باریت به صورت برش سیمانی می‌شود که نشان می‌دهد کانی‌سازی باریت اپی ژنتیک بوده و همزمان یا پس از گسلش رخ داده است. فلوریت به طور محلی به صورت تکه‌های بلوری بی‌رنگ، بنفش کم رنگ تا تیره و سبز کم رنگ دیده می‌شود (شکل ۵ د).

(شکل ۵ الف). استخراج به صورت حفاریات سطحی و زیر زمینی انجام شده است. کانی‌سازی در امتداد یک روند شمال غرب-جنوب شرق، به موازات گسل-های اصلی گسترش می‌یابد. طول رگه‌های باریت از چند متر تا چند ده متر و ضخامت آن‌ها از چند ده سانتی‌متر تا چند متر متغیر است. باریت عمدتاً خالص است و دارای وزن مخصوص متوسط $4/2$ می‌باشد. ذخیره قطعی کانسار باریت اردکان ۷۰۵ هزار تن عنوان شده است که ۳۶۵ هزار تن آن استخراج شده و ۳۴۰ هزار تن باقی مانده است [۱۴].



شکل (۳): تصویری از درزه‌های موجود در سازند شتری در محل کانی‌سازی باریت



شکل (۴): نمودار گل سرخی (رز دیاگرام) ناحیه کانسار باریت اردکان.

روش مطالعه

برای تعیین غلظت عناصر نادر خاکی در کانی باریت، تعداد ۸ نمونه از این کانی در آزمایشگاه زراآزمایان (کرمان) با استفاده از روش طیفسنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) مورد تجزیه قرار گرفت. نمونه‌ها از رگه‌های باریت در محل‌های مختلف جمع‌آوری شد. نمونه‌های انتخابی تا اندازه‌ای که ۸۵ درصد آن‌ها از الک ۲۰۰ مش عبور نماید، پودر شدند. مقدار ۰/۵ گرم از نمونه وزن شده، به روش هضم ۴ اسید (HCl، HNO₃، HClO₄ و HF) حل و سپس اندازه‌گیری گردید.

غلظت عناصر نادر خاکی در ۷ نمونه از کانی فلوریت نیز در آزمایشگاه نوین شیمیار (تهران) با استفاده از روش طیفسنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) تعیین شد. نمونه‌های جدا شده تا اندازه‌ای که ۸۵ درصد آن‌ها از الک ۲۰۰ مش عبور کند، پودر گردید. مقدار معینی از نمونه‌های پودر شده به روش هضم ۴ اسید حل و مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای تعیین غلظت کلسیم (Ca) در نمونه‌های فلوریت، مقدار ۰/۱ گرم از نمونه‌های پودر شده بوسیله اسید HCl در مجاورت حرارت حل شده و به روش تیتراسیون اندازه‌گیری گردید. عدم قطعیت همه اندازه‌گیری‌ها با استفاده از مواد مرجع در فاصله اطمینان ۹۵ درصد و ضریب اطمینان $k=2$ قرار دارد.

نتایج

غلظت عناصر نادر خاکی در کانی باریت

غلظت REE در نمونه‌های باریت در جدول ۱ ارائه شده است. به استثنای La، Ce، Sm، Eu و Gd، غلظت سایر REE در نمونه‌ها زیر حد تشخیص است. برای REE‌های با غلظت بیش از حد تشخیص، مقادیر

\sum REE کم است و از ۱۴/۸۰ تا ۱۹/۵۹ ppm با مقدار متوسط ۱۶/۹۰ ppm تغییر می‌کند. داده‌های سنسورد (censored) در جدول ۱ نشان می‌دهد که حداکثر غلظت \sum REE برای همه REE‌ها در نمونه‌های باریت تنها می‌تواند حدود ۱ ppm بیش‌تر از این محدوده باشد. از آنجا که REE‌های با غلظت بیش از حد تشخیص، عناصر نادر خاکی سبک (LREE) هستند و غلظت عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) در نمونه‌ها زیر حد تشخیص است، نتیجه می‌شود که نمونه‌های باریت غنی از LREE در مقایسه با HREE هستند. نسبت Ce/La در نمونه‌های باریت بین ۴/۰ تا ۶/۵ متغیر است.

غلظت عناصر نادر خاکی در کانی فلوریت

غلظت REE و Ca در نمونه‌های فلوریت در جدول ۲ آمده است. غلظت REE در اکثر نمونه‌های فلوریت کم‌تر از حد تشخیص است. مقادیر \sum REE برای REE‌های با غلظت بیش از حد تشخیص کم است و از ۰/۱۴ تا ۶/۵۲ ppm با مقدار متوسط ۱/۲۶ ppm متغیر است. داده‌های سنسورد در جدول ۲ نشان می‌دهد که حداکثر مقادیر \sum REE برای همه REE‌ها در نمونه‌های فلوریت کم‌تر از ۷ ppm بیش‌تر از این محدوده است. غلظت Ca در نمونه‌های فلوریت از ۴۸/۰۰ تا ۵۱/۱۰ درصد متغیر است. از آنجا که غلظت La و Tb در نمونه‌های فلوریت کم‌تر از حد تشخیص است، برای محاسبه نسبت‌های Tb/La و Tb/Ca، به جای غلظت‌های سنسورد La و Tb، $\frac{3}{4}$ مقادیر حد تشخیص این عناصر جایگزین شده است. مقدار نسبت Tb/Ca در محدوده $10^{-7} \times 1/46$ تا $10^{-7} \times 1/56$ است، در حالی که نسبت Tb/La در نمونه‌های فلوریت ۰/۰۲ می‌باشد.

جدول (۱): غلظت REE در نمونه‌های باریت کانسار اردکان (بر حسب ppm).

Sample	B-3-8	B-3-10	B-4-5	B-4-6	B-5-3	B-5-4	B-6-2	B-6-4
La	2	2	2	2	2	2	2	2
Ce	8	8	10	10	9	8	11	13
Pr	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Nd	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Sm	1.9	2.6	2.4	2.0	2.7	3.0	2.5	0.6
Eu	1.77	2.12	1.97	1.81	2.35	2.57	2.80	0.95
Gd	1.27	1.26	1.27	1.26	1.23	1.23	1.29	1.35
Tb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Dy	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ho	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Er	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Tm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Yb	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Lu	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
ΣREE	14.94	15.98	17.64	17.07	17.28	14.80	19.59	17.90
Ce/La	4	4	5	5	4.5	4	5.5	6.5

جدول (۲): غلظت REE و Ca در نمونه‌های فلوریت کانسار اردکان (بر حسب ppm به استثنای Ca بر حسب %).

Sample	F-3-1	F-3-2	F-3-3	F-3-4	F-3-5	F-3-6	F-4-1
La	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ce	6.34	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Pr	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05
Nd	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.57	<0.5
Sm	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.08
Eu	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Gd	0.11	<0.1	<0.1	0.14	<0.1	<0.1	0.19
Tb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Dy	0.07	<0.05	<0.05	0.16	0.07	0.06	0.13
Ho	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Er	<0.1	0.14	0.14	<0.1	0.18	0.4	<0.1
Tm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Yb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Lu	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ca	48.00	51.10	50.00	49.60	48.40	50.00	49.20
ΣREE	6.52	0.14	0.14	0.30	0.25	1.03	0.45
Tb/Ca	1.56×10^{-7}	1.46×10^{-7}	1.50×10^{-7}	1.51×10^{-7}	1.55×10^{-7}	1.50×10^{-7}	1.52×10^{-7}
Tb/La	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

بحث

ظرفی بین REE‌های مختلف (اغلب بین عناصر نادر خاکی سبک (LREE) و عناصر نادر خاکی سنگین (HREE)) که در ارتباط با تفاوت‌های اندکی در شعاع یونی می‌باشد را مشاهده نمود. بنابراین، ترکیب نهایی REE‌ها در کانی‌های گرمابی این امکان را می‌دهد تا داده‌های مفیدی در مورد تکامل فیزیوشیمیایی سیستم گرمابی، منبع سیال گرمابی و محیط ته نشست کانی‌ها بدست آید [۱۵-۱۸].

الگوی توزیع REE در کانی‌های گرمابی، محصول پیچیده‌ای ناشی از تفکیک REE در حین فروشست (leaching) از سنگ منبع و مهاجرت سیال گرمابی به محل ته نشست کانی‌ها، و تفکیک REE در حین ته نشست کانی‌ها می‌باشد. ماهیت تفکیک REE بوسیله شرایط فیزیوشیمیایی خاصی که در حین هر یک از موارد فوق حکمفرماست، تعیین می‌شود. علی‌رغم ناهنجاری‌های متمایز Ce و Eu، می‌توان تفکیک

۱). بنابراین، نسبت Ce/La نیز نشان می‌دهد که باریت‌های مورد مطالعه منشأ خشکی و نه دریایی دارند.

همانند باریت، غلظت ΣREE در فلوریت نشانگر محیط تشکیل آن است، به طوری که فلوریت‌های با محتوای ΣREE کم به عنوان محصول یک محیط رسوبی تفسیر می‌شوند [۲۲-۱۹]. اگرچه غلظت REE در نمونه‌های فلوریت اکثراً زیر حد تشخیص است، حداکثر مقدار ΣREE بر اساس داده‌های سنسورد کم است (جدول ۲)، که نشان‌دهنده ته نشست فلوریت در یک محیط رسوبی است. این نتیجه‌گیری بوسیله این واقعیت که سنگ‌های میزبان کانسنگ در کانسار اردکان سنگ‌های رسوبی کربناتی هستند، تأیید می‌شود. علاوه بر این، نمودار Tb/Ca در مقابل Tb/La (شکل ۶) به عنوان یک نمودار متمایز کننده برای تشخیص فلوریت‌های با گرایش رسوبی، گرمابی و پگماتیستی از یکدیگر استفاده می‌شود [۲۴-۲۳]. همه نقاط داده‌های نمونه‌های فلوریت در نمودار شکل ۶ در محدوده گرمابی رسم شده‌اند که نشان‌دهنده منشأ گرمابی برای کانی فلوریت در کانسار اردکان است. اگرچه نسبت Tb/Ca و Tb/La برای نمونه‌های فلوریت از طریق جایگزینی داده‌های Tb و La سنسورد با $\frac{3}{4}$ حد تشخیص این عناصر محاسبه شده است، داده‌های سنسورد نشان می‌دهد که تمام مقادیر واقعی غلظت‌های Tb و La، فلوریت‌ها را در محدوده گرمابی رسم می‌کند. نتیجه‌گیری در مورد منشأ گرمابی باریت و فلوریت در کانسار باریت اردکان براساس زمین شیمی REE، کاملاً با یکدیگر سازگار است.

از آنجا که غلظت اکثر REE در نمونه‌های باریت کانسار اردکان کم‌تر از حد تشخیص است، الگوهای REE بهنجار شده با کندریت برای نمونه‌های باریت ناقص و غیرقابل استفاده هستند، به همین دلیل تهیه نشده‌اند. با این وجود، دو نکته را می‌توان از داده‌های REE در نمونه‌های باریت استنباط کرد: اول این که غلظت ΣREE در این نمونه‌ها کم است و دوم آن که آن‌ها غنی از LREE در مقایسه با HREE هستند. غنی‌شدگی باریت از LREE در مقایسه با HREE یک پدیده رایج است و از این واقعیت ناشی می‌شود که شباهت بیش‌تر شعاع یونی LREE به Ba^{2+} در حین جایگزینی REE در ساختار باریت، منجر به تمرکز LREE در باریت می‌شود [۹].

غلظت ΣREE در باریت می‌تواند به عنوان معیاری برای تعیین منشأ باریت استفاده شود، به طوری که باریت‌های خشکی و گرمابی غلظت ΣREE کم‌تری در مقایسه با باریت‌های عمیق دریایی دارند. مقدار REE در باریت‌های دریایی به طور کلی ۱۰ تا ۱۰۰ برابر بیش‌تر از باریت‌های تشکیل شده در خشکی است [۹، ۱۱]. بر اساس غلظت ΣREE ، باریت کانسار اردکان دارای منشأ گرمابی (خشکی) و نه عمیق دریایی است، زیرا دارای محتوای ΣREE پایین است (۱۹/۵۹- ppm ۱۴/۸۰؛ جدول ۱). یکی دیگر از شاخص‌های زمین شیمیایی که برای تمایز بین باریت‌های دریایی و خشکی استفاده می‌شود، نسبت Ce/La است. این نسبت در باریت‌های عمیق دریایی مشابه آب دریا است (<1)، در حالی که در باریت‌های خشکی (باریت‌های رگه‌ای) مشابه سنگ‌های بازیک و رس‌هاست (>1) [۹]. نسبت Ce/La در نمونه‌های باریت کانسار اردکان از ۴/۰ تا ۶/۵ متغیر است (جدول

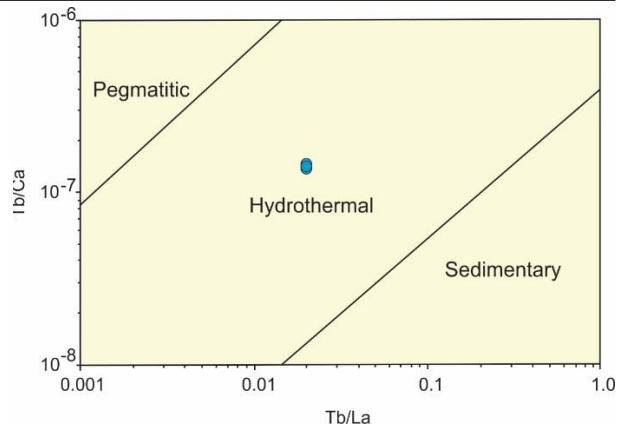
گرمایی برای آن‌هاست. بنابراین، براساس داده‌های زمین شیمیایی REE می‌توان یک منشأ گرمایی برای کانی‌های باریت و فلوریت در کانسار باریت اردکان در نظر گرفت.

سپاسگزاری

این تحقیق به عنوان بخشی از فعالیت‌های پژوهشی لازم برای اخذ درجه دکتري زمین‌شناسی اقتصادی نویسنده اول از دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان انجام شده است. از داوران محترم فصلنامه کاربرد شیمی در محیط زیست که با پیشنهادات خود باعث بهبود کیفیت این مقاله شدند، سپاسگزاری می‌شود.

منابع

- [1] Johnson, C.A., Piatak, N.M., Miller, M.M., 2017, Barite (Barium), chap. D of Schulz, K.J., DeYoung, J.H., Jr., Seal, R.R., II, and Bradley, D.C., eds., Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802, p. D1–D18.
- [2] Rudnick, R.L., Gao, S., 2003, Composition of the continental crust, in Rudnick, R.L., ed., The crust, v. 3 of Holland, H.D., and Turekian, K.K., eds., Treatise on geochemistry, v. 3: Oxford, United Kingdom, Elsevier-Pergamon, p. 1–64.
- [3] Lottermoser, B.G., 1992, Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes. *Ore Geology Reviews* 7, 25-41.
- [۴] قاسم پور، ع.، ۱۳۷۶، بررسی زمین‌شناسی اقتصادی کانسارهای باریت اردکان و حوضه دشت ده (شرق-شمال شرق یزد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۴۰ صفحه.
- [۵] شکاری فرد، ع.، ۱۳۷۸، بررسی نحوه تشکیل کانسار باریت اردکان از دیدگاه ژئوشیمیایی و نگرشی ویژه بر دگرسانی کالکوپیریت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۵۰ صفحه.



شکل (۶): نمودار Tb/Ca در مقابل Tb/La برای نمونه‌های فلوریت کانسار اردکان [۲۴-۲۳].

نتیجه‌گیری

سنگ‌های میزبان کانی‌سازی باریت در کانسار اردکان، دولومیت‌ها و به مقدار کم‌تر سنگ‌های آهکی سازند شتری به سن تریاس میانی است. کانی‌سازی به صورت رگه‌های استراتاباند (لایه کران) با روند شمال غرب-جنوب شرق رخ می‌دهد. کانسنگ از باریت به همراه کانی‌های فرعی فلوریت، کوارتز، اسفالریت، مالاکیت، کریزوکولا و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز تشکیل شده است. نحوه کانی‌سازی باریت و ارتباط آن با سنگ‌های میزبان نشان می‌دهد که کانی‌سازی دارای منشأ غیرهمزاد (اپی ژنتیک) می‌باشد. مقادیر Σ REE در نمونه‌های باریت و فلوریت بسیار کم است. غلظت پایین Σ REE و نسبت Ce/La در نمونه‌های باریت یک منشأ گرمایی (خشکی) و نه دریایی را برای آن‌ها به اثبات می‌رساند. مقادیر کم Σ REE در نمونه‌های فلوریت نیز نشان‌دهنده ته‌نشست آن‌ها در یک محیط رسوبی است که بوسیله سنگ‌های میزبان کربناتی کانسنگ در کانسار اردکان تأیید می‌گردد. نمونه‌های فلوریت در نمودار Tb/Ca در مقابل Tb/La در محدوده گرمایی قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده منشأ

- Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol.: 53, 745-750.
- [16] Bau, M., Möller, P., 1991, REE systematics as source of information on minerogenesis. In Pagel M. and Leroy J.L. (eds.): Source, transport and deposition of metals, Balkema, Rotterdam, 17-20.
- [17] Bau, M., Möller, P., 1992, Rare earth element fractionation in metamorphogenic hydrothermal calcite, magnesite and siderite, Mineralogy and Petrology, Vol.: 45, 231-246.
- [18] Möller, P., 1998, Europium anomalies in hydrothermal minerals: kinetic versus thermodynamic interpretation. Proceedings of the Ninth Quadrennial IAGOD Symposium. Schweizerbart, Stuttgart, pp. 239-246.
- [19] Hill, G.T., Andrew, R.C., Philip, R.K., 2000, Geochemistry of southwestern New Mexico fluorite occurrences: implications for precious metals exploration in fluorite-bearing systems. Journal of Geochemical Exploration 68, 1-20.
- [20] Ronchi, L.H., Tauray, J.C., Michard, A., Dardenne, M.A., 1993, The Ribeira fluorite district, Southern Brazil: geological and geochemical (REE, Sm-Nd isotopes) characteristics. Mineralium Deposita 28, 240-252.
- [21] Sasmaz, A., Önal, A., Sagioglu, A., Önal, M., Akgul, B., 2005, Origin and nature of the mineralizing fluids of thrust zone fluorites in Celikhan (Adiyaman, Eastern Turkey): a geochemical approach. Geochemical Journal 39, 131-139.
- [22] Ehya, F., 2012, Variation of mineralizing fluids and fractionation of REE during the emplacement of the vein-type fluorite deposit at Bozijan, Markazi Province, Iran. Journal of Geochemical Exploration 112, 93-106.
- [23] Möller, P., Parekh, P.P., Schneider, H.J., 1976, The application of Tb/Ca-Tb/La abundance ratios to problems of fluor spar genesis. Mineralium Deposita 11, 111-116.
- [24] Möller, P., Morteani, G., 1983, On the chemical fractionation of REE during the formation of Ca-minerals and its application to problems of the genesis of ore deposits. In: Augustithis, S. (Ed.), The Significance of Trace Elements in Solving Petrogenetic Problems, pp. 747-791. Athens.
- [6] Rahimpour Bonab, H., Shekarifard, A., 2002, Barite Ore Deposits in the Central Iran - Ardakan Province: Genesis and Alterations. Iranian Int. J. Sci. 3, 69-91.
- [7] شکاری فرد، ع.، رحیم پور بناب، ح.، روح شهباز، ج.، ۱۳۸۳، دگرسانی کانی های سولفیدی در کانسار باریت- کالکوپیریت اردکان. مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، جلد ۱۲، صفحات ۱۵۸-۱۴۳.
- [۸] شکاری فرد، ع.، رحیم پور بناب، ح.، سید امامی، ک.، ۱۳۸۴، کانه شناسی و ژئوشیمی کانی‌های ثانوی مس در رگه های باریت- کالکوپیریت کانسار باریت اردکان. علوم زمین، شماره ۵۷، صفحات ۶۷-۵۶.
- [9] Guichard, F., Church, T.M., Treuil, M., Jaffrezic, H., 1979, Rare earths in barites: distribution and effects on aqueous partitioning. Geochimica et Cosmochimica Acta 49, 983-997.
- [10] Ehya, F., 2012, Rare earth element and stable isotope (O, S) geochemistry of barite from the Bijgan deposit, Markazi Province, Iran. Mineral. Petrol. 104, 81-93.
- [11] Dora, M.L., Roy, S.K., Khan, M., Randive, K., Kanungo, D.R., Barik, R., Kaushik, C.S., Bari, S.H., Pattanayak, R.S., Krishna, K.V.S., Mayachar, G.K., 2022, Rift-induced structurally controlled hydrothermal barite veins in 1.6 Ga granite, Western Bastar Craton, Central India: Constraints from fluid inclusions, REE geochemistry, sulfur and strontium isotopes studies. Ore Geology Reviews, 148, 105050.
- [12] Kalantar Hormozi, H., Ehya, F., Rostami Paydar, G., Maleki Kheymehsari, S. 2023, Formation of barite in the Ab Torsh deposit, Kerman province, Iran: Insights from rare earth elements, O and S isotopes, and fluid inclusions. Geochemistry, 126024.
- [13] Yousefi, M., Jafarian, M.B. (compilers), 2005, Geological map of Iran 1:100000 series sheet No. 6854 (Ardakan). Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- [۱۴] ابراهیمی نیا، ج.، ۱۳۹۸، طرح بهره برداری معدن باریت اردکان. شرکت باریت فلات ایران، ۴۰ صفحه.
- [15] Michard A (1989) Rare earth element systematics in hydrothermal fluids,

“Research article”

Geochemistry of rare earth elements (REE) in barite and fluorite minerals from the Ardakan deposit, Yazd province**Ebrahim Ansari**

Department of Geology, Behbahan Branch, Islamic Azad University, Behbahan, Iran

Farhad Ehya*

Department of Geology, Behbahan Branch, Islamic Azad University, Behbahan, Iran

Ghodratollah Rostami Paydar

Department of Geology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Sara maliki kheyme sari

Department of Geology, Behbahan Branch, Islamic Azad University, Behbahan, Iran

Abstract

This study investigates the geochemistry of rare earth elements (REE) in barite and fluorite minerals to determine the origin of the Ardakan barite deposit. Barite mineralization occurred in the form of veins in dolomites and limestones of the middle triassic Shotori Formation in the northeast of Ardakan city in Yazd province. barite is accompanied by the subordinate minerals fluorite, quartz, sphalerite, malachite, chrysocolla as well as iron and manganese oxides and hydroxides. the nature of the mineralization and the relationships between ore and host rock indicate that the barite mineralization is epigenetic. Chemical analysis of the barite and fluorite samples shows very low levels of Σ REE in these minerals (ranging from 14.80 to 19.59 ppm and 0.14 to 6.52 ppm, respectively). low Σ REE and Ce/La ratios in barite samples confirm a hydrothermal (terrestrial) origin of the barite. the low Σ REE concentration and the Tb/Ca vs. Tb/La diagram confirm a hydrothermal origin of the fluorite from the Ardakan deposit. as a result, the geochemical REE data in barite and fluorite minerals indicate a hydrothermal origin of the Ardakan barite deposit.

Keywords: Barite, Fluorite, Rare earth elements, Geochemistry, Ardakan



"مقاله پژوهشی"

تولید فیلم زیست تخریب پذیر بر پایه نانوذرات اکسید روی- پلی لاکتیک اسید- نشاسته و ارزیابی خواص آن

هادی اسلامی^۱، هدا جعفری زاده مالگیری^{۲*}، حسین علی خنکدار^۳

۱. گروه مهندسی شیمی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. گروه صنایع غذایی، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز، ایران

Email: h_jafarizadeh@sut.ac.ir

۳. پژوهشکده فرآیند، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۱/۲۱ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱)

چکیده

امروزه توسعه و ساخت فیلم‌های زیست تخریب پذیر با استفاده از ترکیبات طبیعی، به عنوان جایگزینی مناسب برای پلاستیک‌های مصنوعی می‌باشد. فیلم‌های زیست تخریب پذیر حاوی پلی لاکتیک اسید (PLA) و نشاسته (Starch) در سه نسبت وزنی ۹۰/۱۰، ۸۰/۲۰ و ۷۰/۳۰ تهیه و با استفاده از تکنیک‌های طیف سنج مادون قرمز تبدیل فوریه، پراش اشعه ایکس، گراموزن سنجی، میکروسکوپ الکترونی روبشی- عبوری و طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار نشاسته (۳۰ درصد) منجر به شکنندگی و استحکام کم تر لایه‌های PLA/Starch می‌گردد. همچنین افزودن ۵ درصد آنیدرید مالئیک (MA) و نانوذرات اکسید روی (ZnONPs) به فیلم، چسبندگی بین دو فاز را افزایش داد. علاوه بر این، با افزایش مقدار ZnONPs از ۱ به ۵ درصد در فرمولاسیون فیلم، ساختار آمورف فیلم به طور معنی داری ($P < 0.05$) افزایش یافته و فیلم‌های حاوی ۱ و ۵ درصد ZnONPs دارای اندازه‌های کریستالی ۳۴/۱۴ و ۲۸/۴ نانومتر می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مقدار ZnONPs در فیلم از ۱ به ۵ درصد، مقاومت حرارتی آن افزایش و وزن فیلم‌ها از ۹۵/۱۳ به ۸۸/۱۹ درصد کاهش یافت. همچنین درصد تخریب فیلم‌ها پس از یک ماه از ۷۷/۳ به ۶۹/۳۹ درصد کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که فیلم‌های بر پایه PLA/Starch/MA/ZnONPs با نسبت ۸۰/۲۰/۵/۵ دارای کربن، اکسیژن و روی به ترتیب با درصد وزنی ۷۰/۳، ۲۵/۱ و ۴/۶ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فیلم‌های زیست تخریب پذیر، پلی لاکتیک اسید، نشاسته، نانوذرات اکسید روی

مقدمه

پلاستیک‌های مصنوعی به طور گسترده در بسته‌بندی کالاها و محصولات مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند و کاهش تخریب آن در محیط زیست، یکی از مشکلات و نگرانی‌های اصلی روزمره است [۵-۱]. از این رو، توسعه منابع طبیعی به جای پلاستیک‌های معمولی به عنوان ماده اصلی بسته‌بندی، توجه بیش‌تر محققان، تولیدکنندگان، فروشندگان و مصرف‌کنندگان را به خود جلب کرده است. در دهه‌های اخیر استفاده از بیوپلیمرهای طبیعی تجدیدپذیر و زیست‌تخریب‌پذیر و مواد زیستی؛ مانند نشاسته (Starch)، پلی لاکتیک اسید (PLA) و پلی-۳-هیدروکسی بوتیرات برای غلبه بر مشکلات ذکر شده‌ی پلاستیک‌های رایج صنعتی شده‌اند [۸-۶]. پلی لاکتیک اسید عموماً از ذرت و نیشکر به دست آمده و در دسته پلی‌استرهای آلیفاتیک خطی قرار می‌گیرد و با استفاده از این پلیمر زیستی و سایر پلیمرهای مبتنی بر اسید لاکتیک، فیلم‌ها و پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر مختلفی برای بسته‌بندی مواد غذایی تهیه شده است [۹]. علاوه بر این، به منظور افزایش میزان تجزیه‌پذیری زیستی پلی لاکتیک اسید، پلیمرهای زیستی دیگر مانند نشاسته اغلب با پلی لاکتیک اسید مخلوط می‌شوند که یک روش آسان و مقرون‌به‌صرفه می‌باشد [۱۰]. ترکیبات پلی لاکتیک اسید/نشاسته مقاومت حرارتی بهتر، زیست‌تخریب‌پذیری بالاتر و هزینه‌ی کم‌تر دارند، اما یکی از مشکلات آن ناسازگاری پلی لاکتیک اسید آب‌گریز با نشاسته آب‌دوست بوده که باعث چسبندگی سطحی ضعیف کامپوزیت و ضعف خواص مکانیکی آن می‌شود. با استفاده از سازگارکننده‌های واکنشی مانند آنیدرید مالئیک (MA) می‌توان مشکلات

ذکر شده به‌ویژه چسبندگی ضعیف آن را حل کرد. در واقع، دو گروه کربونیل اسیدی و یک پیوند دوگانه در آنیدرید مالئیک ظاهر می‌شوند که آن را در کاهش کشش سطحی، اندازه فاز، انعقاد، افزایش ویسکوزیته و چسبندگی فازها مفید می‌سازد [۴]. در طی دو دهه گذشته، نشاسته به‌عنوان یک بیوپلیمر طبیعی متشکل از آمیلوز و آمیلوپکتین، به طور گسترده‌ای در ترکیبات فیلم‌ها و بسته‌بندی‌های سبز استفاده شده است [۱۱]. در میان نانوذرات فلزی و اکسید فلزی، نانوذرات اکسید روی (ZnO NPs) به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود مانند فعالیت‌های فوتوکاتالیستی، آنتی‌اکسیدانی و ضدباکتریایی مورد توجه بیش‌تری قرار گرفته‌اند. نانوذرات ZnO در حال حاضر در مخلوط‌های پلیمری برای بهبود خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلیمری استفاده می‌شوند [۱۳-۱۲]. در سنتز سبز نانوذرات فلزی و اکسید فلزی، عصاره‌های گیاهی به طور گسترده به‌عنوان اجزای کاهنده و تثبیت‌کننده استفاده می‌شوند [۱۲]. علاوه بر این، استفاده از سازگارکننده‌های سبز و ایمن توجه زیادی را برای بهبود زیست سازگاری و خواص زیست محیطی کامپوزیت‌ها به خود جلب کرده است [۱۴]. نبود سازگاری ترمودینامیکی بین پلی لاکتیک اسید آب‌گریز و نشاسته آب‌دوست باعث می‌شود این دو ترکیب دارای درجه بلورینگی پایین، مدول ذخیره‌سازی، مقاومت در برابر پیری و پایداری حرارتی باشند [۱۵]. عرشیان و همکاران تأثیر نانوذرات هیبرید اکسید روی / سیلسسکویوکسان‌های چند وجهی الیگومری (POSS) را بر روی خواص پلی لاکتیک اسید بررسی کردند. آن‌ها چگونگی تغییر درصد وزنی اکسید روی، POSS و هیبریدهای آن‌ها بر خواص

طبق مطالعه قبلی ما، ۲ گرم نیترات روی به ۲۰ میلی لیتر عصاره فلفل قرمز اضافه شد و محلول مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو آزمایشگاهی با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱,۵ اتمسفر قرار داده شد. پس از آن محلول به مدت ۲ ساعت به کوره آزمایشگاهی با دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد برای سنتز پودر زرد کم رنگ نانوذرات روی منتقل شد. [۱۷].

آماده‌سازی فیلم

۶ فیلم مختلف زیست تخریب‌پذیر مطابق جدول ۱ تهیه شد. ابتدا تمام اجزا به مدت ۱۲ ساعت در داخل فر با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد رطوبت زدایی شدند. سپس مواد خشک شده شامل پلی لاکتیک اسید و نشاسته به صورت پودر و آنیدرید مالئیک و نانو ذرات اکسیدروی به میکسر داخلی ناپیوسته آزمایشگاهی (Brabender W350 EHT, Duisburg, Germany) اضافه شدند و اختلاط با سرعت ۱۳۰ دور در دقیقه در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ دقیقه انجام شد. در نهایت برای فشردن و ایجاد قالب، نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه تحت فشار ۱۰ مگاپاسکال قرار گرفتند تا ورقه‌هایی با ابعاد ۱۰×۱۵×۲ میلی متر آماده شوند [۱۶].

جدول (۱): ترکیب فیلم‌های مختلف

ردیف	ترکیب فیلم‌ها	درصد وزنی
۱	پلی لاکتیک اسید/ نشاسته	۹۰-۱۰
۲	پلی لاکتیک اسید/ نشاسته	۸۰-۲۰
۳	پلی لاکتیک اسید/ نشاسته	۷۰-۳۰
۴	پلی لاکتیک اسید/ نشاسته/ سازگار کننده	۸۰-۲۰-۵
۵	پلی لاکتیک اسید/ نشاسته/ سازگار کننده / نانوذرات اکسید روی	۲۰-۵-۱ / ۸۰
۶	پلی لاکتیک اسید/ نشاسته/ سازگار کننده / نانوذرات اکسید روی	۲۰-۵-۵ / ۸۰

مکانیکی، آبدوستی و ضد باکتریایی نانوکامپوزیت‌های توسعه یافته برای استفاده در بسته بندی مواد غذایی را ارزیابی کردند [۱۶]. در مطالعه قبلی ما، نانوذرات اکسید روی با استفاده از عصاره فلفل قرمز [۱۷] ساخته شدند و اهداف اصلی در این مطالعه عبارت بودند از: (۱) تهیه فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر بر اساس نانوذرات اکسید روی / پلی لاکتیک اسید / نشاسته، با مقادیر مختلف نشاسته و نانوذرات، و (۲) بررسی ویژگی فیلم‌های تهیه شده و انتخاب فیلم‌های مطلوب‌تر با رفتارهای حرارتی مناسب، قابلیت زیست‌تخریب‌پذیری و فعالیت ضد باکتریایی بالا برای استفاده در بسته بندی مواد غذایی به عنوان بسته بندی سازگار با محیط زیست برای افزایش ماندگاری غذاهای بسته بندی شده.

مواد و روش‌ها

فلفل قرمز از گلخانه‌ای در تبریز (ایران) خریداری شد. پلی لاکتیک اسید (grade Ingeo 4043D)، با چگالی ۱/۲۱ گرم بر سانتی متر مکعب، نقطه ذوب ۱۴۵-۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و وزن مولکولی ۱۰۰۰۰۰۰۰ گرم در مول، از شرکت Nature Works (ایالات متحده آمریکا) به دست آمد. نیترات روی ۶ آبه از مرک (آلمان) (Merck GmbH & Co. KG, Darmstadt, Germany) خریداری شد. آنیدرید مالئیک و سالیین بافر فسفات (PBS) از سیگما آلدریچ (آلمان) تهیه شد. نشاسته با اندازه ذرات ۴۸ میکرومتر از گروه صنعتی غذایی شیرین‌عسل (تبریز، ایران) تهیه گردید. نوترینت آگار از شرکت Biolife (میلان، ایتالیا) و آب دو بار مقطر (DDW) توسط شرکت دکتر مجللی (تهران، ایران) تهیه شد.

سنتز نانوذرات اکسید روی

ویژگی های فیلم

طیف FTIR گروه های عاملی اصلی فیلم تهیه شده با دستگاه طیف سنج Bruker Tensor 27 (کارلسروهه، آلمان) با استفاده از نمک KBr در محدوده $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ مشخص شدند. پراش سنج اشعه ایکس (XRD؛ D5000، زیمنس، کارلسروهه، آلمان) برای ثبت الگوهای XRD در محدوده 10 تا 70 درجه (بر حسب 2θ) و حالت بلورینگی نانوذرات در فیلمها استفاده شد. پراش سنج مجهز به تابش Cu-K α (154 nm) با ولتاژ 40 کیلوولت و جریان 40 میلی آمپر بود [18]. با کمک فرمول دبی-شرر میانگین اندازه متوسط نانوذرات اکسیدروی محاسبه شد [19]. از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FESEM، the Czech، Teskan، CamScan MV 2300 Republic) برای نظارت بر مورفولوژی سطح فیلمهای تهیه شده استفاده شد. برای بررسی مشخصات عنصری نمونهها از طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS) استفاده گردید. برای بررسی رفتار حرارتی نمونهها از وزن سنجی حرارتی (TGA) استفاده شد. برای این منظور، هر نمونه ($7-6$ میلی گرم) از دمای 25 درجه سانتیگراد تا دمای 650 درجه سانتیگراد با سرعت گرمایش 20 درجه سانتیگراد در دقیقه در اتمسفر هوا حرارت داده شد.

زیست تخریب پذیری فیلم

به منظور بررسی زیست تخریب پذیری فیلمها، کاهش وزن فیلمها در PBS با $\text{pH}=7/4$ در طی 4 هفته به دقت اندازه گیری شد. محلول PBS هر سه روز یکبار تجدید شد و pH محلول در فواصل زمانی معین (1، 7، 14 و 28 روز) با استفاده از pH متر (Metrohm،

Germany) تعیین و درصد تخریب با تعیین کاهش وزن فیلمها محاسبه شد (معادله ۱).

$$(1) \quad 100 \times (M_d/M_0) = \text{درصد کاهش وزن}$$

در معادله فوق، M_d و M_0 به ترتیب جرم باقی مانده پس از تخریب و جرم خشک اولیه هستند [20].

فعالیت ضد باکتریایی

روش انتشار دیسک آگار برای ارزیابی فعالیت ضد باکتریایی نمونهها در برابر دو رشته باکتری منتخب یعنی استافیلوکوکوس اورئوس (PTCC 1764) و اشرشیاکلی (PTCC 1270) استفاده شد که آنها از مرکز کلکسیون قارچها و باکتریهای صنعتی ایران (تهران، ایران) به دست آمده اند، همان طور که در کار قبلی ما توضیح داده شد [17]. در این روش دیسک های تهیه شده از نمونهها با قطر 5 میلی متر بر روی پلیت های حاوی آگار اصلاح شده با سوسپانسیون دو باکتری، قرار داده شد و به مدت 24 ساعت در دمای 37 درجه سانتیگراد انکوبه شد. پس از انکوباسیون، ناحیه شفاف تشکیل شده در اطراف دیسک اندازه گیری شد و به عنوان اثرات ضد باکتریایی نمونهها مورد استفاده قرار گرفت.

تحلیل آماری

تمام آزمایشها در سه تکرار انجام شد. نتایج خواص فیزیکیوشیمیایی نمونهها به روش آنالیز واریانس با نرم افزار Minitab 16 مورد ارزیابی قرار گرفت. تفاوت معنادار فیلمها با سطح اطمینان 95 درصد با آزمون توکی تعیین شد ($P < 0.05$).

نتایج و بحث

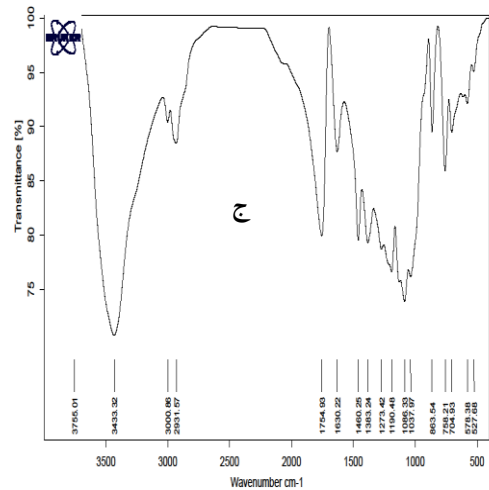
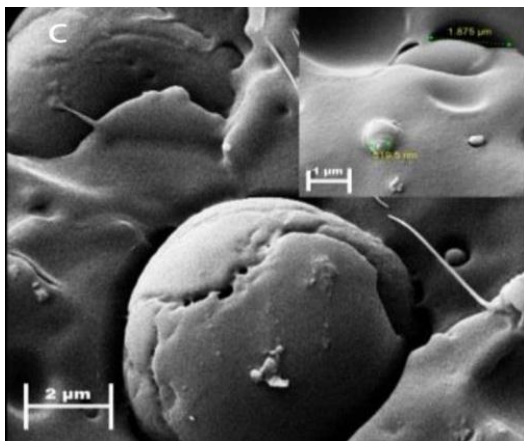
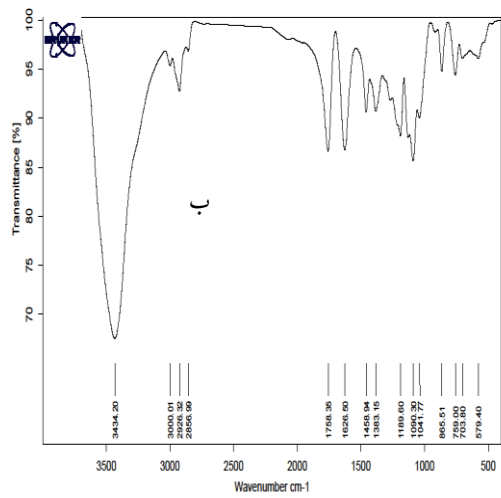
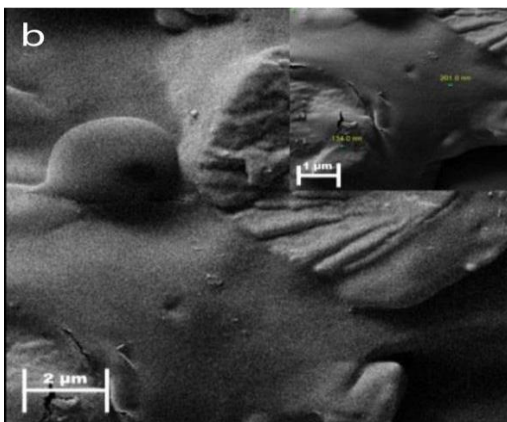
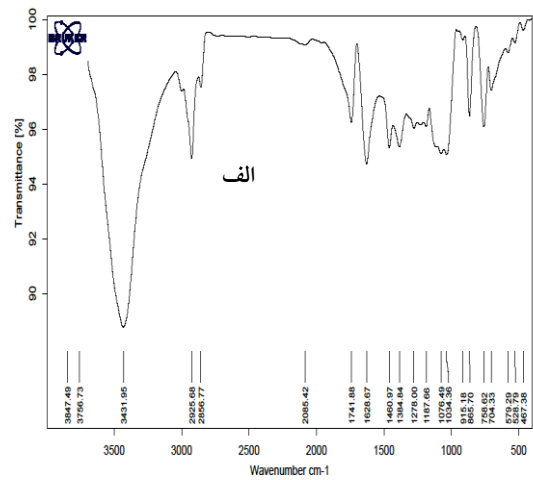
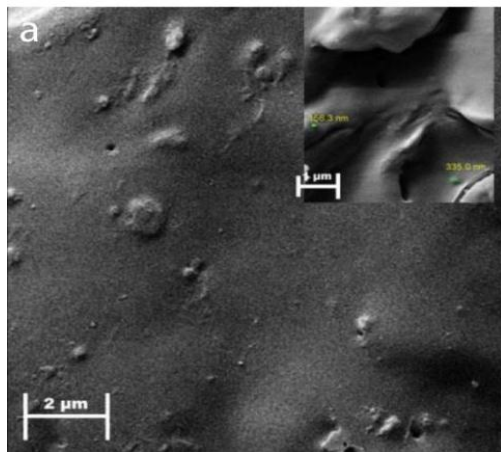
بررسی محتوای نشاسته

طیف FT-IR از سه فیلم پلی لاکتیک اسید/ نشاسته حاوی مقادیر متفاوتی از اجزای اصلی در شکل ۱

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش درصد نشاسته در فیلم‌های تهیه شده، اندازه ذرات پراکنده نیز افزایش یافته که می‌توان آن را به ناسازگاری دوفاز نسبت داد. در واقع نشاسته و پلی لاکتیک اسید دو پلیمر آب‌دوست، آب‌گریز و با یکدیگر اختلاط ناپذیرند. نتایج تجزیه و تحلیل FTIR و FESEM نشان داد که فیلم پلی لاکتیک اسید/نشاسته حاوی ۲۰ درصد نشاسته بهتر از فیلم حاوی ۳۰ درصد نشاسته بوده و برای اصلاح و تجزیه و تحلیل بیش‌تر انتخاب شد. چاهان و همکاران دریافتند که ترکیب نشاسته ترموپلاستیک با پلی لاکتیک اسید منجر به کاهش قابل توجهی در استحکام مکانیکی در مقایسه با پلی لاکتیک اسید خالص شد. آن‌ها همچنین دریافتند که پلی لاکتیک اسید پیوند شده با آنیدرید مالئیک تأثیر مثبتی بر بهبود سازگاری داشته و این با بهبود خواص مخلوط‌ها نشان داده شد [۲۳]. مارتینز-ویلا دیگو و همکاران دریافتند که برای بهبود سازگاری پلی لاکتیک اسید/نشاسته ترموپلاستیک، استراتژی‌های مختلفی مانند افزودن نرم‌کننده‌ها، عوامل جفت‌کننده، تقویت‌کننده‌ها و نانوکامپوزیت‌ها با هدف بهبود چسبندگی سطحی دو ماده و به دست آوردن محصول نهایی با خواص مکانیکی، حرارتی و مورفولوژیکی همگن می‌باشد [۲۴]. اوشانی و همکاران، نانوذرات POSS را به ترکیبات پلیمری سه تایی مبتنی بر پلی لاکتیک اسید/نشاسته/پلی کاپرولاکتون برای کاهش کشش سطحی و افزایش سازگاری نشاسته آب‌دوست با پلی لاکتیک اسید و پلی کاپرولاکتون آب‌گریز معرفی کردند [۲۵].

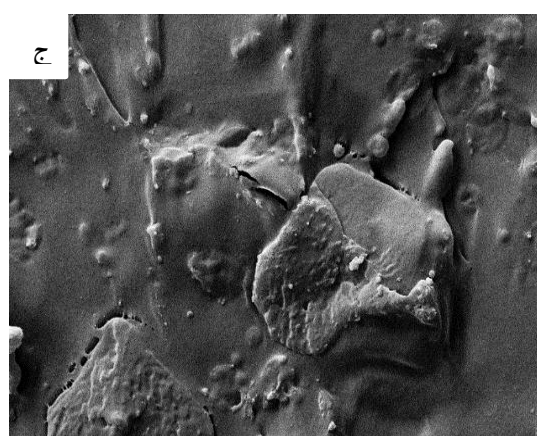
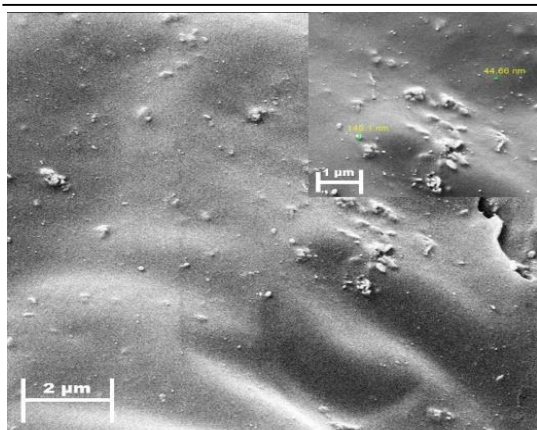
نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها به وضوح مشاهده شد، باندهای جذب در cm^{-1} $3433/32$ ، $3000/86$ ، $1754/93$ و $1660/25$ به ترتیب مربوط به ارتعاش خمشی و کششی O-H، ارتعاش کششی نامتقارن C-H، ارتعاش کششی C=O و کشش C-H در CH_3 از پلی لاکتیک اسید بود. همچنین می‌توان مشاهده کرد که شدت باند در cm^{-1} $3000/86$ و $1754/93$ با افزایش مقدار نشاسته از ۱۰ به ۳۰ درصد کاهش یافت. از این رو، می‌توان گفت که نشاسته در پلی لاکتیک اسید با سطحی از سطح مشترک بین آن‌ها پراکنده شده و کامپوزیت PLA/CS را تشکیل می‌دهد [۲۱].

شدت پیک‌ها با افزایش مقدار نشاسته از ۱۰ تا ۲۰ درصد اندکی افزایش یافت. درحالی‌که مطابق شکل ۱ ج، با افزایش مقدار نشاسته در فیلم تهیه شده تا ۳۰ درصد، شدت پیک‌ها به میزان قابل توجهی افزایش یافت؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر بالای نشاسته (۳۰٪) منجر به شکنندگی و استحکام کم‌تر فیلم‌های پلی لاکتیک اسید/نشاسته می‌شود. بولاتوویچ و همکاران همچنین نشان داد که افزودن نشاسته ترموپلاستیک به فیلم پلی لاکتیک اسید می‌تواند به طور مؤثر مدول الاستیک، استحکام کششی و خواص مکانیکی لایه‌های تشکیل شده را کاهش دهد. آن‌ها همچنین دریافتند که به دلیل شکنندگی شدید پلی لاکتیک اسید، افزودن نشاسته ترموپلاستیک به دلیل محتوای آمیلوز بالای آن به ازدیاد طول در هنگام شکست کمک می‌کند [۲۲]. شکل ۲ (الف تا ج) تصاویر FESEM از فیلم‌های پلی لاکتیک اسید/نشاسته حاوی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد نشاسته را نشان می‌دهد.



شکل (۲): تصاویر FESEM از فیلم‌های تهیه شده بر پایه پلی لاکتیک اسید/نشاسته با نسبت الف) ۹۰/۱۰، ب) ۸۰/۲۰ و ج) ۷۰/۳۰

شکل (۱): طیف FTIR فیلم‌های تهیه شده بر پایه پلی لاکتیک اسید/نشاسته با نسبت الف) ۹۰/۱۰، ب) ۸۰/۲۰ و ج) ۷۰/۳۰



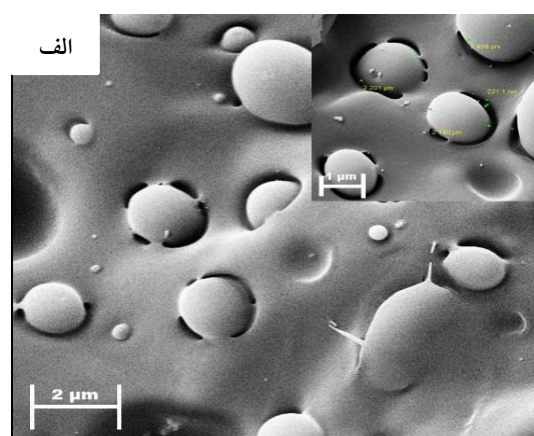
شکل (۳): تصاویر FESEM از فیلم‌های تهیه شده بر پایه الف) پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک (۸۰/۲۰/۵)، ب) پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک/نانو ذرات اکسیدروی (۸۰/۲۰/۵/۱) و ج) پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک/نانو ذرات اکسیدروی (۸۰/۲۰/۵/۵)

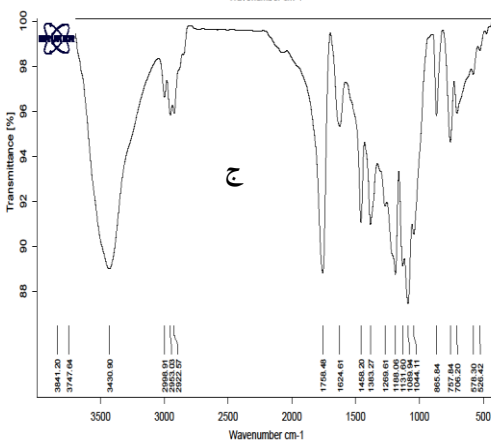
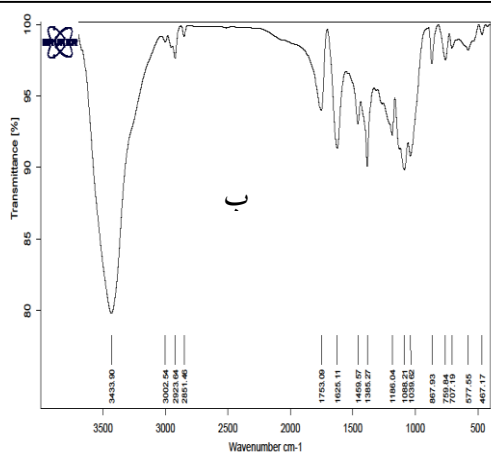
گروه‌های عملکردی اصلی

طیف FTIR فیلم‌های تهیه شده حاوی پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدرید مالئیک با نسبت وزنی ۸۰/۲۰/۵ ترکیب شده با ۱ و ۵ درصد نانوذرات اکسید روی در شکل ۴ (الف، ب و ج) نشان داده شده است. همان‌طور که در این طیف‌ها مشاهده می‌شود، پیک مربوط به کشش C=O در عدد موج 1757 cm^{-1} ظاهر شد [۸]. قله‌ای که در عدد موج 1630 cm^{-1} ظاهر شد مربوط به گروه کربونیل بود [۲۶]. پیوند خمشی آلیفاتیک O-

اثربخشی آنیدرید مالئیک و نانوذرات اکسید روی در فیلم‌های تهیه شده

شکی نیست که بررسی ریزساختار و سازگاری در کوپلیمر پیوندی پلی لاکتیک اسید و نشاسته بسیار مهم است. با وجود ناسازگاری بین این دو پلیمر آب‌گریز و آب‌دوست، همچنان چسبندگی سطحی ضعیفی بین آنها وجود داشت. با افزودن ۵ درصد آنیدرید مالئیک به مخلوط این دو پلیمر، چسبندگی بین دوفاز افزایش یافته و به دلیل کاهش کشش سطحی بین دوفاز، همگنی فاز پراکنده در فاز پیوسته بهبود یافته است (شکل ۳ الف). از سوی دیگر، افزودن نانوذرات اکسید روی در فیلم می‌تواند استحکام چسبندگی ترکیبات پلی لاکتیک اسید/نشاسته را به دلیل اندازه ذرات کوچک نانوذرات اکسید روی و نسبت سطح به حجم بالای آنها افزایش دهد (شکل ۳ ب و ج). هم‌چنین نتایج نشان داد که با افزایش مقدار نانوذرات اکسید روی به ۵ درصد (شکل ۳ ج)، کشش سطحی به طور قابل توجهی کاهش یافته و همگنی فاز پراکنده در فاز پیوسته مخلوط افزایش یافته است.





شکل (۴): طیف FTIR فیلم‌های تهیه شده بر پایه الف) پلی

لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک (۸۰/۲۰/۵)، ب) پلی

لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک/نانوذرات اکسیدروی

(ج) پلی لاکتیک

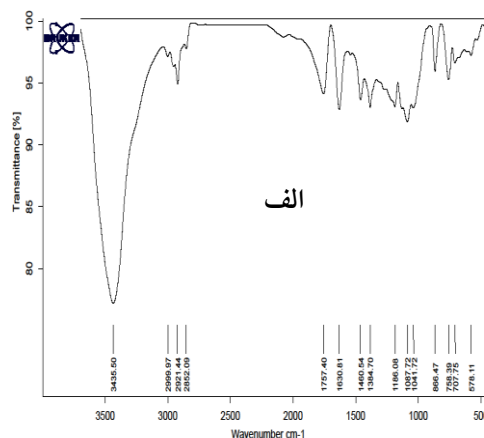
اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک/نانوذرات اکسیدروی

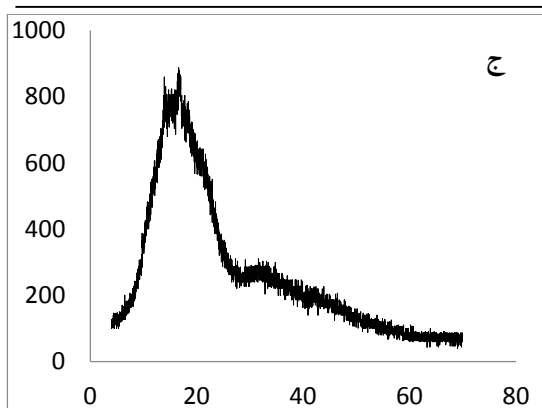
(۸۰/۲۰/۵/۵)

بلورینگی

الگوهای XRD فیلم‌های تهیه شده حاوی پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدرید مالئیک با نسبت وزنی ۸۰/۲۰/۵ ترکیب شده با ۱ و ۵ درصد نانوذرات اکسید روی در شکل ۵ (الف، ب و ج) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۵ الف مشاهده می‌شود، یک پیک برجسته ولی پهن در $2\theta = 15/88^\circ$ نشان می‌دهد که فیلم دارای کامپوزیت نیمه‌بلوری با اندازه کریستال ۲۸/۴ نانومتر هست [۳۰]. وجود نوپها در شکل‌های

H در پلی لاکتیک اسید را می‌توان به صورت دو قله ضعیف در مرکز شماره موج‌های 1460 cm^{-1} و 1384 cm^{-1} مشاهده کرد. پیکی که در محدوده 3000 cm^{-1} - 2850 ظاهر می‌شود متعلق به باند کششی C-H بود. پیوند کششی C-O را می‌توان در 1087 cm^{-1} و 1186 cm^{-1} مشاهده کرد که این یکی از گروه‌های اصلی موجود در پلی لاکتیک اسید و نشاسته هست [۲۷]. پیک جذب کششی C-O-H در $1047/70\text{ cm}^{-1}$ مشاهده شد. وجود رطوبت در نمونه‌ها با ظهور یک پیک بسیار بزرگ مربوط به ارتعاشات کششی OH مشهود بود که به‌وضوح در پیک 3430 cm^{-1} قابل مشاهده است. همان‌طور که در شکل ۴ (ب و ج) مشاهده می‌شود، حضور نانوذرات اکسید روی در کامپوزیت‌ها می‌تواند روند طیف را تغییر دهد. این تغییرات را می‌توان با حضور یک قله در 500 cm^{-1} و افزایش پیک‌های خمش O-H در 1380 cm^{-1} و 1384 cm^{-1} مشاهده کرد [۲۸]. در واقع، حضور نانوذرات اکسید روی در فرمولاسیون فیلم، شدت پیک جذب مرتبط با گروه هیدروکسیل را افزایش داد. با افزایش مقدار نانوذرات اکسید روی در فرمولاسیون فیلم، شدت این پیک افزایش یافت (شکل ۴ ج) [۲۹].



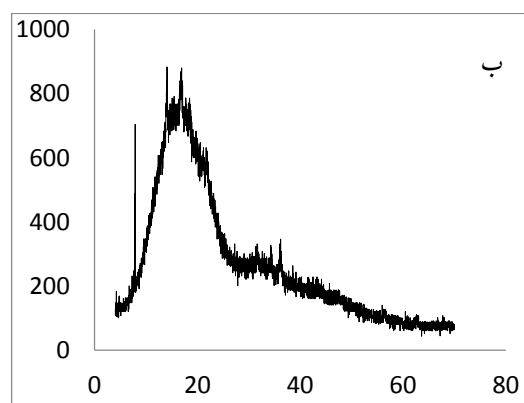
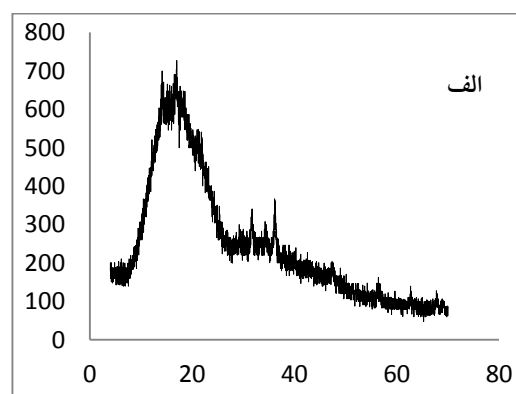


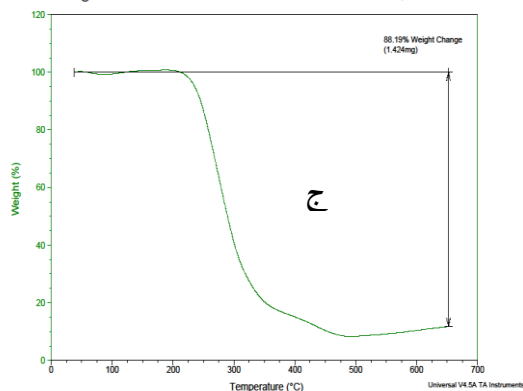
شکل (۵): الگوهای XRD فیلم‌های تهیه شده بر اساس الف) پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک (۸۰/۲۰/۵)، ب) پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک/نانو ذرات اکسیدروی لاکتیک (۸۰/۲۰/۵/۱) و ج) پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک/نانو ذرات اکسیدروی لاکتیک (۸۰/۲۰/۵/۵)

مقاومت حرارتی

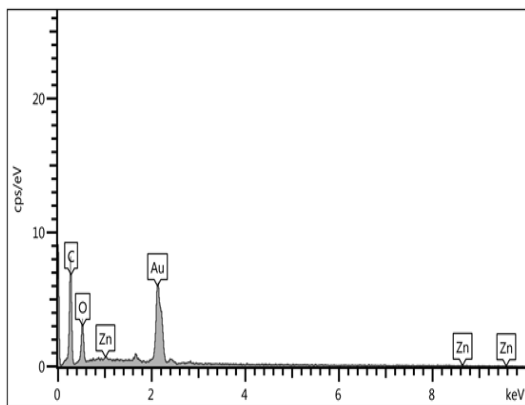
از TGA برای بررسی مقاومت حرارتی نانوکامپوزیت‌های تهیه شده در دمای ۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد [۳۴، ۳۵]. شکل ۶ (الف تا ج) منحنی‌های TGA فیلم‌های تهیه شده حاوی پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدرید مالئیک را با نسبت وزنی ۸۰/۲۰/۵ به ترتیب با ۱ و ۵ درصد نانوذرات اکسید روی نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۶ الف به وضوح مشاهده می‌شود، منحنی TGA فیلم تهیه شده، بدون نانوذرات اکسید روی، سه مرحله مجزا داشت. در مرحله اول کاهش وزن آهسته رخ داد و تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد ادامه یافت که مربوط به از دست دادن آب به صورت رطوبت از نمونه بود. مرحله دوم کاهش وزن در دمای ۲۲۵ تا ۳۷۵ درجه سانتی‌گراد رخ داد و کامپوزیت از نظر حرارتی تجزیه شد و تنها کم-تر از ۵ درصد از وزن اولیه آن باقی ماند. در آخرین مرحله از تجزیه، اجزای باقی‌مانده از احتراق ناقص نیز می‌سوزند و به گاز دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شوند.

۵) (ب و ج) نشان می‌دهد که فیلم‌های ارائه شده حاوی نانوذرات اکسید روی، دارای حالت آمورف هستند. اندازه کریستال در فیلم حاوی ۱٪ نانوذرات اکسید روی ۳۴/۱۴ نانومتر شد (شکل ۵ ب). در طیف XRD فیلم‌های حاوی نانوذرات اکسید روی، صفحات (۱۰۰)، (۰۰۲) و (۱۰۱) به ترتیب با قله‌های $31/69^\circ$ ، $34/33^\circ$ و $36/18^\circ$ مطابقت دارند که مربوط به حضور نانوذرات اکسید روی بودند [۳۱]. نتایج به دست آمده مطابق با یافته‌های کرمی و همکاران بود [۳۲]. آن‌ها دریافتند که افزودن سازگارکننده به ترکیب پلی لاکتیک اسید/نشاسته، کامپوزیتی با ساختار نیمه‌بلوری ایجاد می‌کند. بریتو و همکاران با افزودن ریغامپین به عنوان یک عامل ضدباکتری به کامپوزیت پلی لاکتیک اسید/نشاسته، ساختار کامپوزیت را به آمورف تغییر دادند [۳۳].





شکل (۶): منحنی‌های TGA فیلم‌های تهیه شده بر پایه الف) پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک (۸۰/۲۰/۵)، ب) پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک/نانو ذرات اکسیدروی (۸۰/۲۰/۵/۱) و ج) پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک/نانو ذرات اکسیدروی (۸۰/۲۰/۵/۵)



شکل (۷): مشخصات عنصری فیلم تهیه شده بر اساس پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک/نانو ذرات اکسیدروی (۸۰/۲۰/۵/۵)

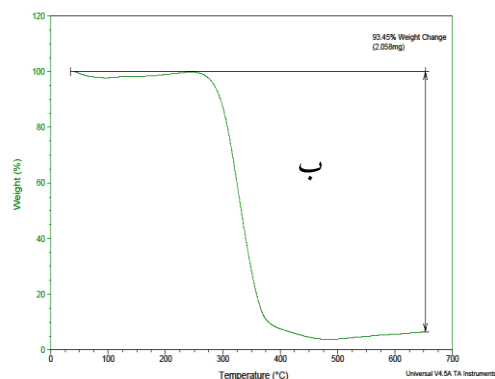
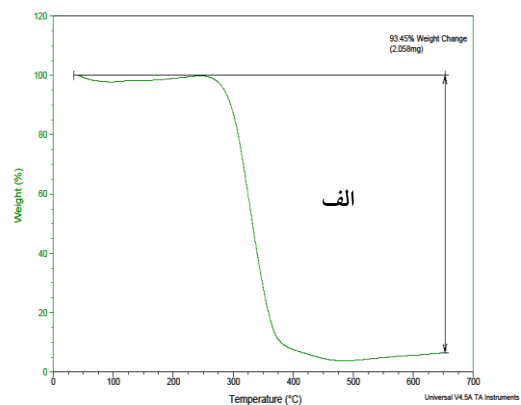
جدول (۱): مشخصات عنصری فیلم تهیه شده حاوی نانوذرات پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدرید مالئیک/اکسیدروی

عناصر	%درصد وزنی
C	۷۰/۳
O	۲۵/۱
Zn	۴/۶

زیست تخریب پذیری

درصد تخریب فیلم تهیه شده حاوی ۱ و ۵ درصد نانوذرات اکسید روی در طی یک ماه نگهداری در

همان‌طور که از شکل ۶ (ب و ج) مشاهده می‌شود، وجود نانوذرات اکسیدروی در فیلم‌های تهیه شده از سوختن کامل کامپوزیت‌ها جلوگیری می‌کند، برای فیلم‌های آماده شده حاوی ۱ و ۵ درصد نانوذرات اکسید روی، درصد کاهش وزن به ترتیب ۹۵/۱۳ و ۸۸/۱۹ درصد بوده است. لازم به ذکر است که اکسیدروی نمی‌سوزد و به‌صورت خاکستر باقی می‌ماند [۳۶]. از سوی دیگر، لازم به ذکر است که مقاومت حرارتی نشاسته ضعیف است و حضور آن در فرمولاسیون فیلم می‌تواند سرعت تجزیه حرارتی فیلم‌ها را افزایش دهد [۳۷]. شکل ۷ مشخصات عنصری فیلم تهیه شده حاوی نانوذرات اکسید روی (۵٪) را نشان می‌دهد. درصد عناصر مختلف نیز در جدول ۲ نشان داده شده است. وجود روی در فیلم تهیه شده می‌تواند به‌طور مؤثر مقاومت حرارتی فیلم را افزایش دهد.



جدول (۳): درصد زیست تخریب پذیری فیلم‌های تهیه شده حاوی مقادیر مختلف نانوذرات اکسید روی

روز		فرمولاسیون	
۲۸	۲۱	۱۴	۷
PLA/Starch/MA/ZnO NPs (%1)			
۷۷/۳	۵۱	۲۹	۱۸/۹
PLA/Starch/MA/ZnO NPs (%5)			
۶۱/۳۹	۴۳/۰۶	۲۴/۲	۱۵

فعالیت‌های ضد باکتریایی

فعالیت ضد باکتریایی سه نمونه حاوی پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدرید مالئیک (۸۰/۲۰/۵) و نانوذرات پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدرید مالئیک/اکسید روی با نسبت‌های ۸۰/۲۰/۵/۱ و ۸۰/۲۰/۵/۵ در برابر اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس اندازه‌گیری شد. (شکل ۸ الف و ب) نتایج نشان داد که دو فیلم تهیه‌شده حاوی نسبت‌های ۸۰/۲۰/۵/۱ و ۸۰/۲۰/۵/۵ فعالیت ضدباکتریایی علیه هر دو باکتری انتخاب شده نداشتند. با این حال، فیلم تهیه‌شده حاوی بالاترین مقدار نانوذرات اکسید روی (۵ درصد) تنها بر روی استافیلوکوکوس اورئوس با ناحیه شفاف ایجاد شده با قطر ۱۰ میلی‌متر اثر ضدباکتریایی داشت. نتایج به دست آمده را می‌توان با این واقعیت توضیح داد که اثرات ضد باکتریایی نانوذرات اکسید روی در مقادیر بیش‌تر در برابر سویه باکتری‌های گرم مثبت به عدم وجود لایه‌های لیپولی ساکارید، پروتئین و پورین در سطح دیواره سلولی باکتری مربوط می‌شود که نفوذ نانوذرات‌ها را از لایه‌های دیواره سلولی و اتصال آن‌ها به اعضای سیتوپلاسمی را آسان می‌کند. این می‌تواند

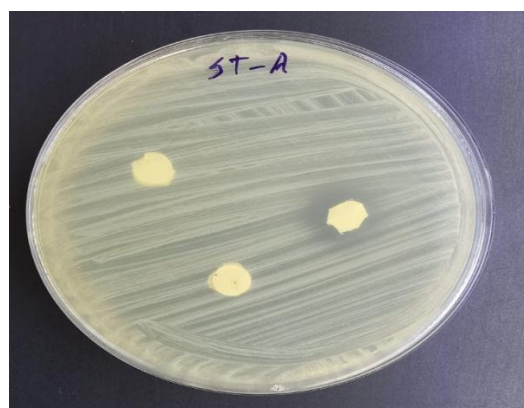
جدول ۳ نشان‌دهنده‌ی نتایج نشان داد که پس از یک ماه درصد تخریب فیلم‌های حاوی ۱ و ۵ درصد نانوذرات اکسید روی به ترتیب ۷۷/۳ و ۶۹/۳۹ درصد بود. با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از مقدار کمتر نانوذرات اکسید روی، می‌تواند به طور قابل توجهی نرخ تجزیه زیستی فیلم را افزایش دهد. این را می‌توان با این واقعیت توضیح داد که نانوذرات اکسید روی دارای فعالیت ضد میکروبی در برابر میکرو ارگانیسم‌های مختلف مانند سویه‌های باکتری و قارچ بودند. با افزایش مقدار نانوذرات اکسید روی در فرمولاسیون فیلم، نانوذرات فعالیت میکروارگانیسم را در سطح فیلم محدود کردند [۳۸]. به دلیل ماهیت آب‌دوست نشاسته، میکروارگانیسم‌ها شروع به تجزیه می‌کنند که در ابتدا با فعالیت آنزیم خود شروع به تجزیه می‌کنند و پس از آن میکروارگانیسم‌ها سایر اجزای فیلم را به راحتی تجزیه می‌کنند [۳۹، ۴۰]. مطالعه زیست تخریب‌پذیری فیلم‌های توسعه یافته توسط منگراج و همکاران با استفاده از آزمون دفن خاک نشان داد که پس از ۱۵۰ روز، درصد کاهش وزن فیلم توسعه یافته بین ۴۷ تا ۵۲ درصد متغیر هست [۴۱]. در مطالعه وولانزا و همکاران، تجزیه انبوه مخلوط پلی لاکتیک اسید/نشاسته ساگو در محیط PBS به تصویر کشیده شده است. افزایش محتوای نشاسته ساگو در ترکیب پلی لاکتیک اسید به طور قابل توجهی سرعت تخریب نمونه‌های کوچک را افزایش داد و سرعت تجزیه صفحات کوچک با نسبت‌های مختلف نشاسته ساگو از ۱۰٪-۵۰٪، ۵٪ تا ۲۵٪ مشاهده شد [۴۲].

که وجود نانوذرات اکسید روی از سوختن کامل فیلم جلوگیری می کند. حضور نانوذرات اکسید روی نشان داد که با افزایش مقدار نانوذرات اکسید روی در فرمولاسیون، میزان زیست تخریب پذیری فیلم های تهیه شده به دلیل فعالیت ضد میکروبی نانوذرات اکسید روی کاهش می یابد که باعث محدود شدن فعالیت آنزیمی میکروارگانیسم ها برای تجزیه فیلم تهیه شده می شود. به عنوان نتیجه، فیلم زیست تخریب پذیر توسعه یافته در مطالعه حاضر، می تواند جایگزین مناسبی برای پلاستیک مصنوعی رایج برای بسته بندی محصولات مختلف، به ویژه در صنایع غذایی باشد. با بهینه سازی مقادیر اجزای اصلی فیلم ارائه شده، می توان خواص فیزیکوشیمیایی، مکانیکی و بیولوژیکی آن را افزایش داد.

منابع

- [1] Akshaykranth, A., Jayarambabu, N., Venkatappa Rao, T., Rakesh Kumar, R., Srinivasa Rao, L., 2023, Antibacterial activity study of ZnO incorporated biodegradable poly (lactic acid) films for food packaging applications. *Polymer Bulletin*, 80(2): p. 1369-1384.
- [2] Smaoui, S., Chérif, I., Hlima, H.B., Khan, M.U., Rebezov, M., Thiruvengadam, M., Sarkar, T., Shariati, M.A., Lorenzo, J.M., 2023, Zinc oxide nanoparticles in meat packaging: A systematic review of recent literature. *Food Packaging and Shelf Life*, 36: p. 101045.
- [3] Grande-Tovar, C.D., Castro, J.I., Valencia Llano, C.H., Tenorio, D.L., Saavedra, M., Zapata, P.A., Chaur, M.N., 2022, Polycaprolactone (PCL)-Polylactic Acid (PLA)-Glycerol (Gly) Composites Incorporated with Zinc Oxide Nanoparticles (ZnO-NPs) and Tea Tree Essential Oil (TTEO) for Tissue Engineering Applications. *Pharmaceutics*, 15(1): p. 43.
- [4] Sharifi, A., Mousavi, S.R., Ghanemi, R., Mohtaramzadeh, Z., Asheghi, R., Mohammadi-Roshandeh, J., Khonakdar, H.A., Hemmati, F.,

نفوذ پذیری عضو را تغییر دهد و باعث مرگ سلولی شود [۱۸].



شکل (۸): فعالیت ضد باکتریایی اندازه گیری شده سه نمونه حاوی (۱) پلی لاکتیک اسید/نشاسته /آنیدریدمالئیک (۸۰/۲۰/۵)، (۲) پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک/نانو ذرات اکسیدروی (۸۰/۲۰/۵/۱) و (۳) پلی لاکتیک اسید/نشاسته/آنیدریدمالئیک/نانو ذرات اکسیدروی (۸۰/۲۰/۵/۵) علیه الف) اشرشیاکلی و ب) استافیلوکوکوس آرتوس

نتیجه گیری

در مطالعه حاضر اثر نانوذرات اکسید روی بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی، ریزساختاری، حرارتی و زیست تخریب پذیری فیلم زیست تخریب پذیر حاوی نشاسته و پلی لاکتیک اسید مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حضور نانوذرات اکسید روی باعث کاهش آب دوستی فیلم کامپوزیت و بهبود خواص مکانیکی آن می شود. تجزیه و تحلیل حرارتی نشان داد

- [12] Mousavi-Kouhi, S.M., Beyk-Khormizi, A., Amiri, M.S., Mashreghi, M., Yazdi, M.E.T., 2021, Silver-zinc oxide nanocomposite: From synthesis to antimicrobial and anticancer properties. *Ceramics International*, 47(15): p. 21490-21497.
- [13] Umoren, S.A., Obot, I.B., Gasem, Z.M., 2014, Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using red apple (*Malus domestica*) fruit extract at room temperature. *Journal of Materials and Environmental Science*, 5: p. 907-914.
- [14] Wu, D., Hakkarainen, M., 2015, Recycling PLA to multifunctional oligomeric compatibilizers for PLA/starch composites. *European Polymer Journal*, 64: p. 126-137.
- [15] Wang, P., Xiong, Z., Xiong, H., Cai, J., 2020, Synergistic effects of modified TiO₂/multifunctionalized graphene oxide nanosheets as functional hybrid nanofiller in enhancing the interface compatibility of PLA/starch nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(37): p. 49094.
- [16] Arshian, M., Estaji, S., Tayouri, M.I., Mousavi, S.R., Shojaei, S., Khonakdar, H.A., 2023, Poly (lactic acid) films reinforced with hybrid zinc oxide-polyhedral oligomeric silsesquioxane nanoparticles: Morphological, mechanical, and antibacterial properties. *Polymers for Advanced Technologies*, 34(3): p. 985-997.
- [17] Eslami, H., Jafarizadeh-Malmiri, H., Khonakdar, H.A., 2022, Effectiveness of different accelerated green synthesis methods in zinc oxide nanoparticles using red pepper extract: Synthesis and characterization. *Green Processing and Synthesis*, 11: p. 686-696.
- [18] Anzabi, Y., 2018, Biosynthesis of ZnO nanoparticles using barberry (*Berberis vulgaris*) extract and assessment of their physicochemical properties and antibacterial activities. *Green Processing and Synthesis*, 7: p. 114-121.
- [19] Rajakumar, G., Thiruvengadam, M., Mydhili, G., Gomathi, T., Chung, I.M., 2018, Green approach for synthesis of zinc oxide nanoparticles from *Andrographis paniculata* leaf extract and evaluation of their antioxidant, anti-diabetic, and anti-inflammatory activities. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 41: p. 21-30.
- [20] 2023, Extruded biocomposite films based on poly (lactic acid)/chemically-modified agricultural waste: tailoring interface to enhance performance. *International Journal of Biological Macromolecules*, 233: p. 123517.
- [5] Soleimanpour, A., Khonakdar, H., Mousavi, S.R., Hemmati, F., Arjmand, M., Arnhold, K., Reuter, U., Khonakdar, H.A., 2022, Dynamic crystallization kinetics and morphology of carbonaceous nanofillers-reinforced poly (lactic acid) foams. *Thermochimica Acta*, 716: p. 179308.
- [6] Jalalvandi, E., Majid, R.A., Ghanbari, T., Ilbeygi, H., 2015, Effects of montmorillonite (MMT) on morphological, tensile, physical barrier properties and biodegradability of polylactic acid/starch/MMT nanocomposites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 28: p. 496-509
- [7] Mokhtari Aghdami, R., Mousavi, S.R., Estaji, S., Dermeni, R.K., Khonakdar, H.A., Shakeri, A., 2022, Evaluating the mechanical, thermal, and antibacterial properties of poly (lactic acid)/silicone rubber blends reinforced with (3-aminopropyl) triethoxysilane-functionalized titanium dioxide nanoparticles. *Polymer Composites*, 43(7): p. 4165-4178.
- [8] Paydayesh, A., Mousavi, S.R., Estaji, S., Khonakdar, H.A., Nozarinya, M.A., 2022, Functionalized graphene nanoplatelets/poly (lactic acid)/chitosan nanocomposites: Mechanical, biodegradability, and electrical conductivity properties. *Polymer Composites*, 43(1): p. 411-421.
- [9] Momeni, S., Rezvani Ghomi, E., Shakiba, M., Shafiei-Navid, S., Abdouss, M., Bigham, A., Ramakrishna, S., 2021, The effect of poly (Ethylene glycol) emulsion on the degradation of pla/starch composites. *Polymers*, 13: p. 1019.
- [10] Sun, Y., Lee, D., Wang, Y., Li, S., Ying, J., Liu, X., Xu, G., Gwon, J., Wu, Q., 2021, Thermal decomposition behavior of 3D printing filaments made of wood-filled polylactic acid/starch blend. *Journal of Applied Polymer Science*, 138: p. 49944.
- [11] Muller, J., González-Martínez, C., Chiralt, A., 2017, Poly (lactic) acid (PLA) and starch bilayer films, containing cinnamaldehyde, obtained by compression moulding. *European Polymer Journal*, 95: p. 56-70.

- as well as anticancer activities. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 9(1): p. 015008.
- [29] Nagaraju, G., Prashanth, S.A., Shastri, M., Yathish, K.V., Anupama, C., Rangappa, D., 2017, Electrochemical heavy metal detection, photocatalytic, photoluminescence, biodiesel production and antibacterial activities of Ag-ZnO nanomaterial. *Materials Research Bulletin*, 94: p. 54-63.
- [30] Brito, L.M., Chávez, F.V., Tavares, M.I.B., Sebastião, P.J., 2013, Molecular Dynamic Evaluation of starch-PLA blends nanocomposite with organoclay by proton NMR relaxometry. *Polymer Testing*, 32: p. 1181-1185.
- [31] Hao, L., Hu, Y., Zhang, Y., Wei, W., Hou, X., Guo, Y., Jiang, D., 2018, Enhancing the mechanical performance of poly (ether ether ketone)/zinc oxide nanocomposites to provide promising biomaterials for trauma and orthopedic implants. *RSC Advances*, 8: p. 27304-27317.
- [32] Alikarami, N., Abrisham, M., Huang, X., Panahi-Sarmad, M., Zhang, K., Dong, K., Xiao, X., 2022, Compatibilization of PLA grafted maleic anhydride through blending of thermoplastic 137 starch (TPS) and nanoclay nanocomposites for the reduction of gas permeability. *International Journal of Smart and Nano Materials*, 13: p. 130-151.
- [33] Brito, L.M., Tavares, M.I.B., 2022, PLA-Starch Microparticles Containing Clays Focusing Controlled Release of Rifampicin. *Mater Sci and Appl*, 13: p. 441-452.
- [34] Xiang, S., Feng, L., Bian, X., Li, G., Chen, X., 2020, Evaluation of PLA content in PLA/PBAT blends using TGA. *Polymer Testing*, 81: p. 106211.
- [35] Mofokeng, J.P., Luyt, A.S., Tábi, T., Kovács, J., 2012, Comparison of injection moulded, natural fibre-reinforced composites with PP and PLA as matrices. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 25(8): p. 927-948.
- [36] Kaur, H., Rathore, A., Raju, S., 2014, A study on ZnO nanoparticles catalyzed ring opening polymerization of L-lactide. *Journal of Polymer Research*, 21: p. 1-10.
- [37] Haeldermans, T., Samyn, P., Cardinaels, R., Vandamme, D., Vanreppelen, K., Cuyper, A., Schreurs, S., 2021, Poly (lactic acid
- [20] Fereshteh, Z., Fathi, M., Bagri, A., Boccaccini, A.R., 2016, Preparation and characterization of aligned porous PCL/zein scaffolds as drug delivery systems via improved unidirectional freeze-drying method. *Materials Science and Engineering: C*, 68: p. 613-622.
- [21] Rahman, M.M., Islam, M.S. and Li, G.S., 2018, Development of PLA/CS/ZnO nanocomposites and optimization its mechanical, thermal and water absorption properties. *Polymer Testing*, 68: p.302-308.
- [22] Bulatović, V.O., Mandić, V., Kučić Grgić, D. and Ivančić, A., 2021, Biodegradable polymer blends based on thermoplastic starch. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(2): p.492-508.
- [23] Chauhan, S., Raghu, N. and Raj, A., 2021, Effect of maleic anhydride grafted polylactic acid concentration on mechanical and thermal properties of thermoplasticized starch filled polylactic acid blends. *Polymers and Polymer Composites*, 29(9_suppl): p.S400-S410.
- [24] Martinez Villadiego, K., Arias Tapia, M.J., Useche, J., Escobar Macías, D., 2022, Thermoplastic starch (TPS)/polylactic acid (PLA) blending methodologies: a review. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(1): p.75-91.
- [25] Oshani, B.N., Davachi, S.M., Hejazi, I., Seyfi, J., Khonakdar, H.A. and Abbaspourrad, A., 2019, Enhanced compatibility of starch with poly (lactic acid) and poly (ϵ -caprolactone) by incorporation of POSS nanoparticles: Study on thermal properties. *International journal of biological macromolecules*, 141: p.578-584.
- [26] Asrofi, M., Dwilaksana, D., Abrial, H., Fajrul, R., 2019, Tensile, thermal, and moisture absorption properties of polyvinyl alcohol (PVA)/bengkuang (*pachyrhizuserosus*) starch blend films. *Material Science Research India*, 16: p. 70-75.
- [27] Kaur, K., Jindal, R., Maiti, M., Mahajan, S., 2019, Studies on the properties and biodegradability of PVA/Trapa natans starch (N-st) composite films and PVA/N-st-g-poly (EMA) composite films. *International journal of biological macromolecules*, 123: p. 826-836.
- [28] Suresh, J., Pradheesh, G., Alexramani, V., Sundrarajan, M., Hong, S.I., 2018, Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticle using insulin plant (*Costus pictus* D. Don) and investigation of its antimicrobial

biocomposites containing biochar particles: effects of fillers and plasticizers on crystallization and thermal properties. *Express Polymer Letters*, 15: p. 343-360.

[38] Eshagh, S., Abbaspour-Fard, M.H., Hosseini, F., Tabasizadeh, M., 2019, Effect of Zinc Oxide Nanoparticles on Mechanical, Thermal and Biodegradability of Gelatin-Based Biocomposite Properties Films. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 32: p. 411-426.

[39] Neto, B.A.D.M., Junior, C.C.M.F., Silva, E.G.P.D., Franco, M., Santos Reis N.D., Ferreira Bonomo, R.C., Pontes, K.V., 2017, Biodegradable thermoplastic starch of peach palm (*Bactris gasipaes kunth*) fruit: Production and characterisation. *International journal of food properties*, 20(sup3): p. S2429-S2440.

[40] Heydarian, A., Mousavi, S.M., Vakilchap, F., Baniyadi, M., 2018, Application of a mixed culture of adapted acidophilic bacteria in two-step bioleaching of spent lithium-ion laptop batteries. *Journal of Power Sources*, 378: p. 19-30.

[41] Mangaraj, S., Thakur, R.R. and Yadav, A., 2022, Development and characterization of PLA and Cassava starch-based novel biodegradable film used for food packaging application. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(9): p.e16314.

[42] Whulanza, Y., Azadi, A., Supriadi, S., Rahman, S.F., Chalid, M., Irsyad, M., Nadhif, M.H. and Kreshanti, P., 2022, Tailoring mechanical properties and degradation rate of maxillofacial implant based on sago starch/polylactid acid blend. *Heliyon*, 8(1): p.e08600.

“Research article”

Green biodegradable film based on Zinc oxide nanoparticles - poly lactic acid - starch: Preparation and characterization

Hadi Eslami¹, Hoda Jafarizadeh Malmiri^{2*}, Hosein Ali Khonakdar³

1.Department of Chemical Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2.Department of Chemical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

Email: h_jafarizadeh@sut.ac.ir

3.Department of polymer processing, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, Iran

Abstract

Biodegradable films containing poly (lactic acid) (PLA) and starch with three ratios of 90/10, 80/20 and 70/ 30 were prepared and analyzed using FT-IR, FESEM, XRD, EDS and TGA. results of FT-IR and FESEM indicated that highest amount of starch (30 %) was lead to fragile and less strength of PLA/Starch films. Results indicated that by addition of 5% maleic anhydride (MA) and ZnO NPs to the film formulation, adhesion between the two phases was significantly ($p < 0.05$) increased Furthermore, by increasing amount of ZnO NPs from 1 to 5% into the film formulation, amorphous structure of the film was significantly ($p < 0.05$) increased, and the films containing 1 and 5% ZnO NPs had crystal size of 34.14 and 28.4 nm, respectively. results indicated that by increasing the amount of ZnO NPs in the film formulation from 1 to 5 %, its thermal resistance increased and weight loss decreased from 95.13 to 88.19 %, respectively. furthermore, degradation percentage of the films decreased from 77.3 to 69.39%, respectively, after one month. results indicated that film, based on PLA/Starch/MA/ ZnO NPs with ratio of 80/20/5/5 had carbon, oxygen and Zinc with weight percentage of 70.3, 25.1 and 4.6%, respectively.

Keywords: Biodegradable film; Starch; Green Zinc oxide nanoparticles



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال پانزدهم، شماره‌ی ۵۷
بهار ۱۴۰۳، صفحات ۴۳-۵۴

"مقاله پژوهشی"

بهینه‌سازی فرایند جذب رنگ کاتیونی مالاثیت سبز توسط بیوجاذب پلیمری کیتوسان- اتیل آکریلات با استفاده از مدل تاگوچی

نسیم ضیایی فر*^۱، صابر خدایی^۲

استاد یار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، ایران

استاد یار گروه آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱)

چکیده

بسیاری از رنگ‌زاهای نظیر مالاثیت سبز در اثر واکنش‌های گوناگون مواد جانبی سمی تولید می‌کنند که برای موجودات آبی و انسان زیانبار است. فناوری جذب سطحی کاربردهای وسیعی در تصفیه آب و پساب دارد. در این مطالعه، بیوپلیمر طبیعی کیتوسان با ترکیب آلی اتیل آکریلات اصلاح گردیده و برای جذب سطحی ماده رنگزای کاتیونی مالاثیت سبز بکار رفت. ترکیب بدست آمده با استفاده از طیفسنجی مادون قرمز شناسایی شد. برای بررسی ویژگی‌های رنگبری ترکیب سنتز شده، عوامل مؤثر مانند pH، غلظت جاذب، غلظت ماده رنگزا، دما و اثر نمک‌های مختلف بررسی گردید. نتایج نشان داد که افزایش pH و مقدار جاذب اثر مثبت در مقدار رنگبری دارد، برای بررسی تاثیر و تعیین شرایط بهینه هر یک از این پارامترها روش تاگوچی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج طراحی آزمایش بیشترین پارامتر، گرم بیوجاذب نسبت به سایر پارامترها و کمترین تأثیر مربوط به دما را در جذب سطحی ارایه داد.

واژه‌های کلیدی: بیوجاذب پلیمری، کیتوسان، مالاثیت سبز، تاگوچی

مقدمه

رنگ‌ها از جمله خطرناک‌ترین گروه‌های ترکیبات شیمیایی یافت شده در پساب‌های صنعتی بوده که بنا به دلایلی از قبیل کاهش قابلیت نفوذ نور و به دنبال آن ایجاد اختلال در انجام فرآیند فتوسنتز در منابع آبی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار می‌باشند [۱-۲]. این ترکیبات همچنین بر کیفیت آب برای مصارف شرب و سایر مصارف اثر منفی برجای گذاشته [۳] و در عین حال سبب بروز آلرژی، درماتیت، تحریک پوستی [۴]، سرطان [۵] و نیز جهش‌های ژنتیکی در انسان می‌شوند [۶]. مالاشیت سبز ماده رنگزا از گروه تری فنیل متان است که به طور وسیعی برای اهداف رنگرزی در صنایعی مانند ابریشم، چرم و کاغذ استفاده می‌گردد. حذف رنگ از فاضلاب معمولاً با روش‌های فیزیکی، فیزیکی- شیمیایی، بیولوژیکی و یا شیمیایی انجام می‌پذیرد [۷-۸] برخی از این روش‌ها بنا به دلایلی از جمله هزینه‌های بهره برداری و مشکلات مربوطه از کارایی و کاربرد محدودی برخوردار می‌باشد. اخیراً بیش‌تر بررسی‌های محققین بر روی جاذب‌هایی متمرکز شده است که پایه طبیعی داشته و در مقادیر بالایی در طبیعت موجود باشند و برای محیط زیست مضر نباشند. همچنین، مشکلات اقتصادی و بازیابی جاذب‌ها باعث شده است تا محققین بر روی جاذب‌های با قیمت ارزان‌تر متمرکز شوند. کیتوسان بعنوان یک بیوجاذب پلیمری طبیعی برای حذف مواد رنگزای آنیونی از محلول‌های رنگی توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته است. کیتوسان بعنوان یک جاذب ارزان قیمت و مؤثر، پتانسیل جذب خیلی زیاد برای کلیه مواد رنگزا به غیر از مواد رنگزای کاتیونی را دارد که بدلیل خصلت ذاتی

کاتیونی آن می‌باشد کیتوسان خود به تنهایی قابلیت حذف مواد رنگزای کاتیونی را از محلول‌های رنگی ندارد. لذا با اصلاح شیمیایی می‌توان ترکیبی بر پایه کیتوسان سنتز نمود که قابلیت جذب سطحی مواد رنگزای کاتیونی را داشته باشد. همانند تمام واکنش-های شیمیایی، جذب سطحی تحت تأثیر شرایط فیزیکی و شیمیایی فرایند قرار دارد. مانند؛ مساحت سطح جاذب، ماهیت ماده‌ی جاذب شونده، pH، غلظت اولیه‌ی جاذب شونده، گرم جاذب، زمان تماس، دما و ... با استفاده از طراحی آزمایش امکان حذف فاکتورهای غیر ضروری، محاسبه درصد اهمیت هر متغیر، تعیین میزان خطا و تعیین شرایط بهینه صورت می‌گیرد. انواع روش‌های طراحی آزمایش را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی نمود: ۱- یک فاکتور در یک زمان ۲- چند فاکتور در یک زمان ۳- طراحی فاکتوریل کامل ۴- طراحی فاکتوریل جزئی، برخی از زیر مجموعه‌های مورد چهارم عبارتند از: ۱- طراحی تاگوچی ۲- روش رویه پاسخ ۳- طراحی مخلوط

در روش تاگوچی با استفاده از آرایه‌های متعامد تعداد آزمایش‌ها بسیار کاهش می‌یابد. مدل تاگوچی مدلی برای تحلیل آزمایش‌ها می‌باشد که با استفاده از تعداد معینی آزمایش میزان تاثیر و سطوح بهینه عوامل موثر را پیش بینی می‌نماید.

در ارتباط با این زمینه‌ی پژوهشی می‌توان به این کارهای تحقیقی اشاره کرد: سرخوش و همکارانش حذف مالاشیت سبز را با استفاده از ضایعات کشاورزی پوست جو دو سر بررسی کردند و نتیجه گرفتند که ساعت جذب تعادلی ۱۰۰ دقیقه و pH بهینه ۳ بود. با افزایش غلظت اولیه مالاشیت سبز ظرفیت

مواد و روش‌ها

رنگزای مالاشیت سبز از شرکت فلوکا خریداری شد. کیتوسان (استخراج شده از پوسته کیتینی خرچنگ) از سیگما آمریکا، اتیل آکریلات، تری اتیل آمین، بی کربنات سدیم، اسید استیک، متانول، استن، نیترات سدیم، سدیم کلرید، پتاسیم کربنات، سدیم سولفات، اسید کلریدریک و سدیم هیدروکسید با درصد خلوص آزمایشگاهی از شرکت مرک تهیه شدند. از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV2100 ساخت شرکت یونیکو آمریکا و دستگاه FTIR مدل Tensor 27 از شرکت Bruker آلمان و غشای دیالیز با اندازه MWCO 12000 از شرکت سیگما آلدریچ استفاده گردید.

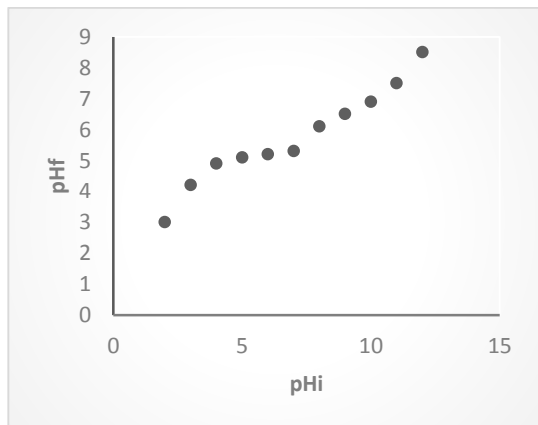
سنتز کیتوسان- اتیل آکریلات

برای سنتز بیو جاذب ۴۰۰ میلی گرم کیتوسان در ۴۰ میلی لیتر آب شامل اسید استیک و متانول حل گردید. به این محلول ۷۰ میلی گرم اتیل آکریلات و تری اتیل آمین در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد و در حال هم زدن اضافه شد. بعد از ۱۰ روز، مخلوط واکنش به دو قسمت تقسیم شد. محصول واکنش از طریق افزایش استن (۸۰ میلی لیتر) و بی کربنات سدیم رسوب داده شد. این رسوب فیلتر شده و در آب اشباع شده با بی کربنات سدیم دیسپرس شد. مخلوط حاصل در ۴ لیتر آب به مدت ۲ روز دیالیز شده و بدنال آن لیوفیلیز (خشک کردن انجمادی) گردید. در نهایت N-کربوکسی اتیل کیتوسان اتیل استر بدست آمد. رسوب حاصل در محلول سود ۱ مولار قرار داده شد تا pH به ۱۰ الی ۱۲ برسد. این عمل به منظور تبدیل اتیل استر به نمک سدیم انجام شد. مخلوط سپس بمدت ۲ روز دیالیز شد تا نمک موجود برطرف گردد [۱۲]. بدنال

جذب رنگ کاهش می یابد که دلیل آن دافعه بین بار منفی مالاشیت سبز و اکسید گرافن می باشد. فرایند گرماگیر بوده و از ایزوترم لانگمویر تبعیت می کند [۹]. ضیایی فر و همکارانش در پروژه‌ی خود روش RSM و تاگوچی را به منظور بررسی تأثیرات شرایط عملیاتی با استفاده از فرآیند جذب سطحی به کار بردند. آن‌ها از نانو ذره اکسید نیکل به عنوان جاذب در این کار استفاده کردند [۱۰]. حسنی مرند و همکارانش در پژوهشی حذف رنگ اسیدی توسط نانو کامپوزیت کیتوسان را بررسی کردند. نتایج بدست آمده نشان داد که ظرفیت جذب رنگ توسط نانو کامپوزیت سنتز شده با کاهش دوز جذب و افزایش غلظت در زمان تعادلی ۴۵ دقیقه ظرفیت جذب ۲۶۵ میلی گرم بر گرم بدست آمد [۱۱]. هدفی که در این مقاله دنبال می شود، اصلاح شیمیایی کیتوسان با اتیل اکریلات به منظور ایجاد شارژ منفی بواسطه گروه‌های کربوکسی بر روی کیتوسان است تا علاوه بر حفظ خصوصیات ذاتی و بی نظیر آن، قابلیت جذب مواد رنگزای کاتیونی نظیر مالاشیت سبز را نیز داشته باشد. برای این منظور، کیتوسان با اتیل اکریلات اصلاح می شود و از ترکیب بدست آمده، برای حذف ماده رنگی مالاشیت سبز استفاده می شود. بررسی عوامل مؤثر بر فرآیند رنگبری مثل pH، غلظت جاذب، غلظت ماده رنگزا، دما، زمان تماس و اثر نمک‌های مختلف بررسی گردید. در ضمن شرایط بهینه آزمایشی در فرایند جذب سطحی مالاشیت سبز توسط بیوجاذب پلیمری کیتوسان- اتیل آکریلات توسط طراحی آزمایش به روش تاگوچی بررسی شده است.

اندازه‌گیری محدوده ایزوالکتریک

برای تعیین محدوده ایزوالکتریک بیوجاذب سنتز شده، ۰/۱ گرم از کیتوسان اصلاح شده با اتیل اکریلات به ۲۰ میلی‌لیتر محلول محلول نیترات سدیم ۰/۱ مولار اضافه شد. pH محلول در مقادیر مختلف ۲ تا ۱۲ تنظیم شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگه داشته شدند. سپس pH نهایی محلول‌ها اندازه‌گیری شدند. با رسم نمودار pH نهایی بر حسب pH اولیه محدوده ایزوالکتریک بیوجاذب کیتوسان اصلاح شده با اتیل اکریلات تعیین گردید. همانطور که از شکل ۱ مشخص است، می‌توان اشاره کرد که محدوده ایزوالکتریک برای این جاذب تقریباً بین ۴ تا ۷ می‌باشد.



شکل (۱): نمودار تعیین محدوده ایزوالکتریک برای بیوجاذب کیتوسان اصلاح شده با اتیل اکریلات

طراحی آزمایش به روش تاگوچی

طراحی آزمایشات تاگوچی، یکی از روش‌های مورد استفاده در مبحث طراحی آزمایشات است که اجرای آن در صنایع مختلف با موفقیت‌های زیادی همراه بوده است. تاگوچی مجموعه ویژه‌ای از طرح‌های کلی برای آزمایشات فاکتوریلی ایجاد کرده است که اغلب کاربردها را پوشش می‌دهد. آرایه‌های

آن لیوفیلیز انجام شد و محصول با راندمان ۹۵ درصد بدست آمد.

شناسایی ساختار شیمیایی بیوجاذب پلیمری کیتوسان-اتیل اکریلات

طیف FTIR بیوجاذب پلیمری کیتوسان - اتیل اکریلات با استفاده از قرص KBr به منظور تایید گروه‌های عاملی مورد نظر بر روی ساختار شیمیایی کیتوسان بعد از اصلاح شیمیایی انجام شد. نتایج بدست آمده از دستگاه طیف سنجی FTIR بر روی کیتوسان خام و ترکیب کیتوسان اصلاح شده با اتیل اکریلات سنتز شده، صحت واکنش انجام شده را تأیید کرد.

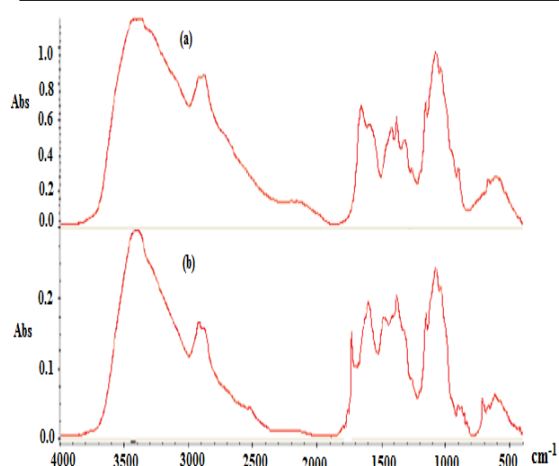
آزمایش‌های بیوجاذب پلیمری کیتوسان-اتیل اکریلات

به منظور بررسی عملکرد جاذب، از ترکیب سنتز شده با غلظت‌های ۰/۵ - ۰/۱ گرم در لیتر برای رنگبری ماده رنگزای کاتیونی مالاویت سبز با غلظت‌های مختلف ۱۰۰-۲۵ میلی‌گرم در لیتر و در مقادیر مختلف pH ۱۰-۲ و زمان‌های ۸۰-۰ دقیقه استفاده شد. برای بررسی اثر مقدار نمک بر مقدار رنگبری، غلظت ۰/۰۰۱ مول از نمک‌های مختلف NaCl ، NaHCO_3 ، K_2CO_3 و Na_2SO_4 بکار رفتند.

برای بدست آوردن درصد حذف رنگ مالاویت سبز در فواصل زمانی مختلف با توجه به معادله ۱ که در زیر آورده شده است استفاده می‌شود:

$$\text{معادله ۱} \quad \text{درصد حذف} = [(C_i - C_f) / C_i] \times 100$$

که C_i و C_f به ترتیب غلظت اولیه و غلظت نهایی رنگ مالاویت سبز در فاز مایع بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.



شکل (۲): طیف FTIR مربوط به (a) کیتوسان خام، (b) کیتوسان اصلاح شده با اتیل آکریلات

بررسی متغیرهای تاثیرگذار بر فرایند حذف رنگ مالاشیت سبز توسط بیوجاذب

سنتر کیتوسان اصلاح شده بواسطه حضور گروه‌های کربوکسی، باعث ایجاد بار منفی شده است. در نتیجه ماده سنتر شده به جذب مواد کاتیونی تمایل پیدا می‌کند. به همین منظور عوامل مؤثر در مقدار برداشت ماده رنگزای کاتیونی مالاشیت سبز از محلول‌های آبی شامل pH، غلظت بیوجاذب، غلظت جذب شونده، زمان، دما و اثر نمک‌های معدنی مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

اثر pH

یکی از عوامل مهم در فرایند حذف رنگ pH محلول می‌باشد. pH می‌تواند بر روی خصوصیات جاذب و جذب شونده تأثیر بگذارد. برای بررسی اثر این عامل، کلیه آزمایش‌های جذب به منظور اثر pH در مقادیر ۲ تا ۱۰ بررسی شد. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات تعیین محدوده ایزوالکتریک، انتظار می‌رفت که جاذب سنتر شده در مقادیر pH بالای ۶ به ماده رنگزای مالاشیت سبز تمایل پیدا کند. شکل ۳ نیز

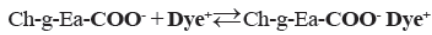
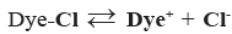
ارتوگونال، جزئی از این مجموعه طراحی‌ها می‌باشد. استفاده از این آرایه‌ها ما را در تعیین کم‌ترین تعداد آزمایشات مورد نیاز برای مجموعه‌ای از فاکتورها یاری می‌کند. چهار متغیر مؤثر در فرایند جذب مالاشیت سبز، شامل دما، مقدار جاذب، pH و مقدار آلاینده به عنوان متغیرهای اصلی در نظر گرفته شد که این آرایه با ۴ فاکتور در ۳ سطح تغییر می‌کند. هر سطر از ماتریس نشان دهنده‌ی یک آزمایش می‌باشد. در نتیجه جمعاً ۹ آزمایش با در نظر گرفتن شرایط سطوح برای بهینه‌سازی و تعیین درجه‌ی تأثیر هریک از فاکتورها لازم است. جهت کاهش خطا هر آزمایش ۲ بار تکرار شده است.

یافته‌ها و بحث

شناسایی بیوجاذب سنتر شده

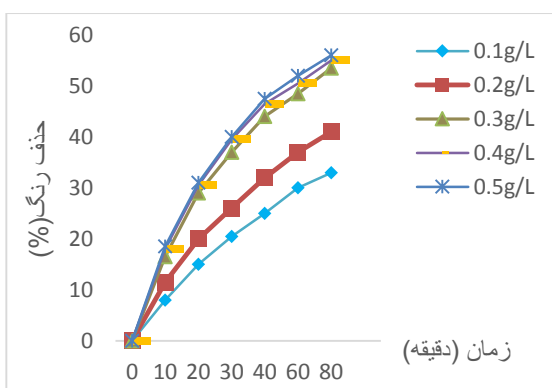
به منظور بررسی ساختار شیمیایی کیتوسان خام و کیتوسان اصلاح شده با اتیل آکریلات از طیف سنجی FTIR استفاده شد. طیف کیتوسان خام منحنی (a) و کیتوسان اصلاح شده منحنی (b) در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که می‌بینیم، تفاوت‌های آشکاری با همدیگر دارند که بیانگر انجام واکنش بین گروه‌های اتیلن (-CH₂=CH) اتیل آکریلات و گروه‌های NH₂ کیتوسان می‌باشد (واکنش اضافی مایکل). این اختلافات عبارتند از: کاهش شدت نوار از ۱/۲۱ Cm⁻¹ به ۰/۳، تبدیل شدن نوار پهن و دو شانه‌ای در محدوده ۳۴۴۹ Cm⁻¹ که مربوط به گروه‌های آمین، آمید و هیدروکسیل کیتوسان خام به یک نوار تک شانه‌ای در محدوده ۳۴۰۹ Cm⁻¹ و همچنین مشاهده نوار در محدوده ۱۷۰۰ Cm⁻¹ که مربوط به گروه‌های گروه کربونیل کربوکسیلیک اسید می‌باشد [۱۳].

نتیجه، جذب بین جاذب و جذب شونده از طریق پیوند یونی (الکترواستاتیکی) صورت می‌گیرد.



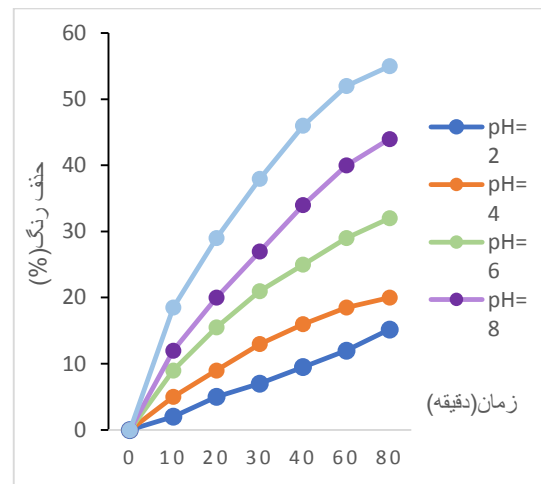
اثر مقدار بیوجاذب

مقدار بیو جاذب نیز بر روی میزان رنگبری در فرآیند جذب سطحی عامل بسیار مهمی می‌باشد. به منظور بررسی این عامل در فرآیند رنگبری مقادیر مختلفی از جاذب سنتز شده (۰/۱-۰/۵ g/L) در حجم ۵۰ میلی لیتر از محلول ۵۰ mg/L ماده رنگزای مالا شیت سبز قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مقدار بیوجاذب، رنگبری نیز افزایش می‌یابد (شکل ۴). این پدیده را می‌توان به افزایش مکان‌های سطح تماس جاذب و افزایش بیش‌تر دسترسی به مکان‌های جذب توسط مولکول‌های ماده رنگزا نسبت داد [۱۶]. در غلظت ۰/۳ g/L مقدار قابل توجهی ماده رنگزا جذب شد، لذا غلظت ۰/۳ g/L بیوجاذب به عنوان مقدار بهینه برای آزمایشات بعدی انتخاب گردید.



شکل (۴): تاثیر مقدار بیوجاذب بر روی حذف ماده رنگزا با استفاده از بیوجاذب کیتوسان اصلاح شده با اتیل اکریلات در زمان‌های مختلف، در دمای ۴۰ °C، pH=۱۰، در غلظت ۵۰ ppm ماده رنگزا

نشان می‌دهد که با افزایش pH مقدار رنگبری نیز افزایش یافته است. افزایش pH، باعث می‌شود تا گروه‌های آمین دارای بار مثبت موجود در کیتوسان از لحاظ کمی کم‌تر شوند و گروه‌های کربوکسی ایجاد شده بر روی آن فعال‌تر شوند و با مولکول‌های دارای بار مثبت ماده رنگزا پیوند الکترواستاتیکی برقرار نمایند، در نتیجه مقدار رنگبری نیز افزایش می‌یابد [۱۵-۱۴]. در pH برابر ۱۰، بیش‌ترین مقدار جذب ماده رنگزا اتفاق افتاده است و به همین دلیل بعنوان pH بهینه در نظر گرفته شد.



شکل (۳): تاثیر pH بر روی حذف ماده رنگزا با استفاده از بیوجاذب کیتوسان اصلاح شده با اتیل اکریلات در زمان‌های مختلف، در دمای ۴۰ °C، در غلظت ۵۰ ppm ماده رنگزا و غلظت ۰/۳ g/L بیوجاذب

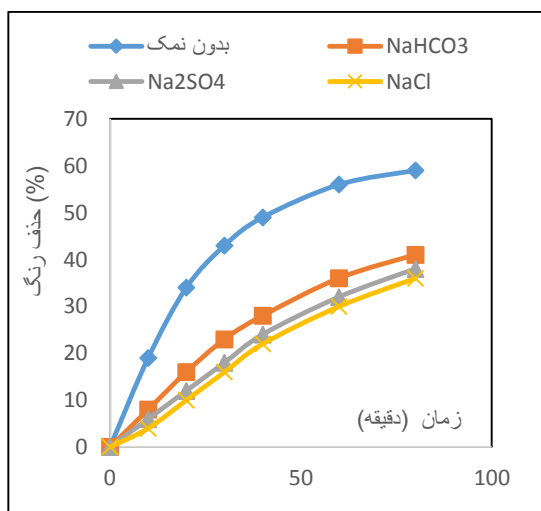
در واکنش‌های زیر مکانیزم جذب مواد رنگزای کاتیونی بر روی بیوجاذب پلیمری کیتوسان اصلاح شده با اتیل اکریلات (Ch-g-Ea) بصورت خلاصه آورده شده است. در بالای نقطه ایزوالکتریک، گروه‌های کربوکسی (-COO-) ایجاد شده بر روی جاذب، فعال‌تر شده و جاذب دارای بار سطحی منفی می‌شود. از طرف دیگر، پس از انحلال، مواد رنگزای کاتیونی تفکیک شده و دارای شارژ مثبت می‌شوند. در

اثر غلظت اولیه ماده رنگزا

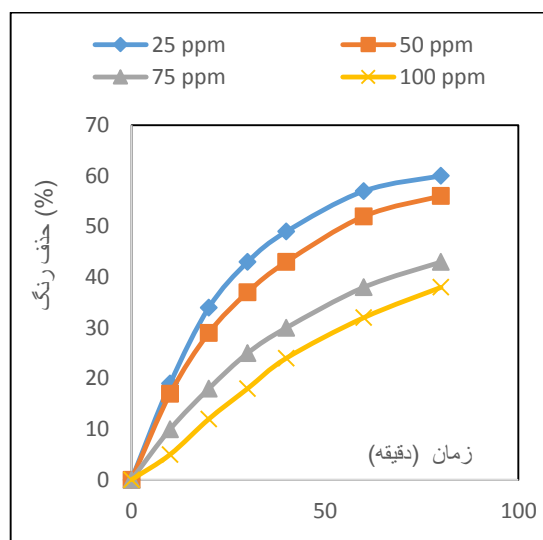
یکی از پارامترهای مهم از دیدگاه کاربردی، بررسی تاثیر غلظت اولیه ماده رنگزا بر میزان حذف است. اثر غلظت اولیه ماده رنگزا بر روی مقدار رنگبری در غلظت‌های مختلف ۲۵-۱۰۰ mg/L و در زمان‌های مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۵ دیده می‌شود با افزایش غلظت اولیه ماده رنگزا مقدار جذب کاهش یافته است، که آن را می‌توان به دافعه ایجاد شده از سوی مولکول‌های ماده رنگزا قرار گرفته بر روی جاذب نسبت داد که در اثر افزایش غلظت باعث جلوگیری از جذب شدن مولکول‌های ماده رنگزا از محلول بر روی مکان‌های خالی جاذب می‌شوند [۱۷]. در غلظت ۵۰ mg/L محلول ماده رنگزا مقدار رنگبری بصورت قابل قبولی صورت گرفته است و بعنوان غلظت بهینه در نظر گرفته شد.

اثر نمک‌های معدنی

به منظور بررسی اثر نمک‌های معدنی بر فرآیند رنگبری، ۰/۰۰۱ مول از نمک‌های Na_2SO_4 ، NaCl و NaHCO_3 به محلول pH برابر ۱۰، جاذب ۰/۳ g/L، غلظت ماده رنگزای ۵۰ mg/L اضافه شد و از محلول هر ۱۰ دقیقه یکبار نمونه‌برداری شد. همانطور که در شکل ۶ دیده می‌شود، افزودن نمک باعث کاهش مقدار رنگبری شده است. این پدیده را می‌توان به اندازه کوچک مولکول‌های نمک و بار منفی آن‌ها نسبت داد که ممکن است با بار مثبت مولکول‌های ماده رنگزا کمپلکس ضعیفی تشکیل داده و مانع جهت گیری مولکول‌های ماده رنگزا به سمت جاذب شوند [۱۳]. افزودن نمک‌های معدنی تأثیر منفی بر مقدار رنگبری دارد در نتیجه در شرایط بهینه از نمک‌های معدنی استفاده نمی‌گردد.



شکل (۶): تاثیر نمک‌های معدنی بر روی حذف ماده رنگزا با استفاده از بیوجاذب کیتوسان اصلاح شده با اتیل اکریلات در زمان‌های مختلف، در دمای 40°C ، در غلظت ppm ۵۰ ماده رنگزا و غلظت ۰/۳ g/L بیوجاذب



شکل (۵): تاثیر مقدار غلظت اولیه ماده رنگزا بر روی حذف ماده رنگزا با استفاده از بیوجاذب کیتوسان اصلاح شده با اتیل اکریلات در زمان‌های مختلف، در دمای 40°C ، در غلظت ۰/۳ g/L بیوجاذب

اثر دما

به منظور بررسی اثر دما بر فرآیند رنگبری بیوجاذب پلیمری کیتوسان اصلاح شده با اتیل آکریلات، آزمایش‌ها در دماهای $30-50^{\circ}\text{C}$ انجام شد. شکل ۷ نشان می‌دهد که افزایش دما اثر مثبتی بر مقدار رنگبری دارد. بنظر می‌رسد که افزایش دما از یک طرف باعث حرکت سریع‌تر مولکول‌های ماده رنگزا به سمت جاذب شده و همچنین مکان‌های جذب ماده رنگزا بر روی جاذب راحت‌تر در دسترس مولکول‌های ماده رنگزا قرار می‌گیرند. در دمای 40°C ، مقدار قابل قبولی صورت می‌گیرد و بعنوان دمای بهینه در نظر گرفته می‌شود [۱۷].

از طریق بیوجاذب و تعیین سهم هر یک از پارامترهای مؤثر در فرآیند جذب سطحی از طراحی آزمایش با استفاده از روش تاگوچی بهره برده شده است. برای بدست آوردن تعداد آزمایش‌های لازمه از خاصیت آرایه‌های متعامد استفاده می‌شود. چهار متغیر مؤثر در فرآیند حذف مالاثیت سبز شامل اثر دما، مقدار بیوجاذب، pH و غلظت مالاثیت سبز به عنوان متغیرهای اصلی در نظر گرفته شد. هر یک از این فاکتورها نیز در سطح مورد بررسی قرار گرفته که فاکتورهای مورد استفاده و سطوح آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

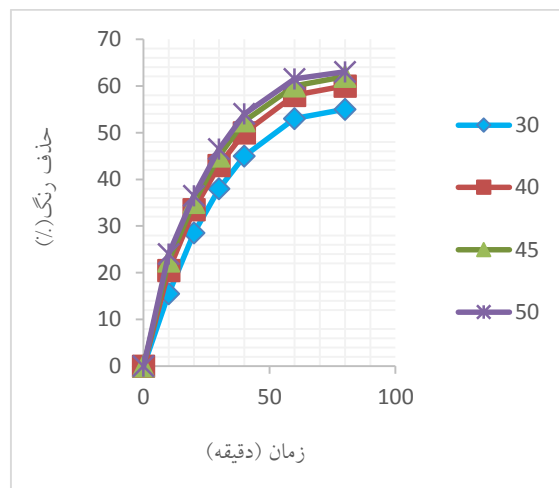
جدول (۱): فاکتورها و سطوح آن‌ها برای طراحی آزمایش

فاکتور	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
مقدار بیوجاذب (gr)	۰/۱	۰/۳	۰/۵
T °C	۳۰	۴۰	۵۰
مالاثیت سبز (mg/L)	۲۵	۵۰	۱۰۰
pH	۳	۶	۸

با در نظر گرفتن ۴ فاکتور در ۳ سطح تغییر برای هر کدام، باید آرایه‌ی متعامد مناسب برای آن انتخاب گردد. از آنجایی که هر فاکتور دارای درجه‌ی آزادی ۲ می‌باشد، در نتیجه کل درجه‌ی آزادی برابر با ۸ خواهد شد، از این رو آرایه‌ی مناسب، آرایه‌ی L_8 خواهد بود. به منظور تعیین شرایط بهینه و تعیین سهم هر یک از پارامترهای تأثیرگذار در فرآیند حذف، از روش S/N و رسم نمودارهای مربوط به آن استفاده شده است. مقدار نسبت S/N با استفاده از معادله ۲ محاسبه شده و در جدول ۲ گزارش شده است.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \quad \text{معادله ۲}$$

r: تعداد آزمایش y_i : نتیجه‌ی آزمایش i ام برای هر یک از تعداد آزمایش



شکل (۷): تاثیر دما بر روی حذف ماده رنگزا با استفاده از بیوجاذب کیتوسان اصلاح شده با اتیل آکریلات در زمان‌های مختلف، در دمای 40°C ، در غلظت 50 ppm ماده رنگزا و غلظت $0/3 \text{ g/L}$ بیوجاذب

طراحی آزمایش حذف مالاثیت سبز از محیط‌های آبی از طریق بیوجاذب کیتوسان اصلاح شده با اتیل آکریلات براساس خواص آرایه‌های متعامد

به منظور کسب اطلاعات بیشتر در مورد بهینه‌سازی فرآیند حذف مالاثیت سبز از محیط‌های آبی

جدول (۲): مقدار S/N برای آزمایش‌های مختلف

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
S/N پاسخ	۲۵/۷۳۱	۲۴/۱۸۸	۲۱/۰۹۷	۳۲/۳۵۹	۲۶/۶۲۶	۳۶/۰۰۷	۳۲/۵۱۶	۳۵/۷۹۸	۳۰/۴۶۱

در روش تاگوچی برای تعیین اثر هر یک از پارامترهای ورودی و سهم هر کدام از فاکتورها در میزان پاسخ، از آنالیز واریانس (ANOVA) استفاده می‌شود. نتایج آنالیز ANOVA در جدول ۵ گزارش شده است. همانطور که در جدول ۴ و شکل ۸ مشخص است، مقدار جاذب و مقدار آلاینده‌ها بیش‌ترین تأثیر را در میان فاکتورهای انتخابی دارند. دما کم‌ترین تأثیر را در راندمان فرآیند حذف دارد.

متوسط مقدار S/N برای هر سطح از پارامترها به عنوان S/N پاسخ در جدول ۳ گزارش شده است.

جدول (۳): پاسخ آنالیز تاگوچی برای فرآیند جذب سطحی حذف مالاشریت سبز از طریق بیو جاذب

فاکتور	S/N متوسط		
	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
مقدار بیو جاذب (gr)	۲۳/۶۷۲	۳۱/۶۶۴	۳۲/۹۲۵
T °C	۳۰/۲۰۲	۲۸/۸۷۱	۲۹/۱۸۸
مالاشریت سبز (mg/L)	۳۲/۵۱۲	۲۹/۰۰۳	۲۶/۷۴۶
pH	۲۷/۶۰۶	۳۰/۹۰۴	۲۹/۷۵۱

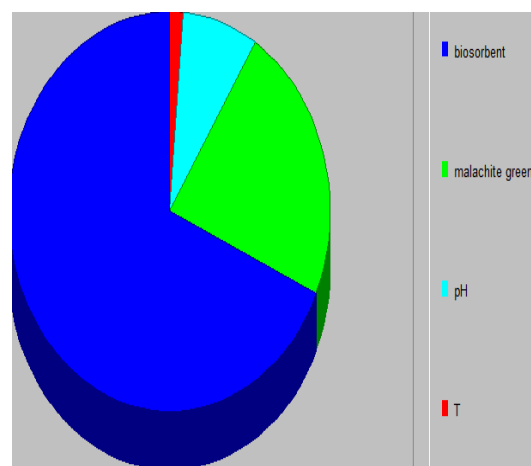
جدول (۵): نتایج بدست آمده از تحلیل واریانس به منظور تعیین درصد تأثیر فاکتورهای مختلف در فرآیند حذف مالاشریت سبز از محیط‌های آبی به وسیله ی بیو جاذب

فاکتور	DOF (f)	Sum of Squares(S)	Variance (V)	F-Ratio (F)	Pure Sum (S ²)	Perct (P%)
مقدار بیو جاذب (gr)	۲	۱۵۱/۰۸۱	۷۵/۵۴	-	۱۵۱/۰۸۱	۶۸/۲۲۹
T °C	۲	۲/۸۹۹	۱/۴۴۹	-	۲/۸۹۹	۱/۳۰۹
مالاشریت سبز (mg/L)	۲	۵۰/۶۴۷	۲۵/۳۲۳	-	۵۰/۶۴۷	۲۲/۸۷۲
pH	۲	۱۶/۸۰۲	۸/۴۰۱	-	۱۶/۸۰۲	۷/۵۸۸

با توجه به اینکه مقدار S² برای دما کم می‌باشد، می‌توان از این پارامتر در تخمین شرایط بهینه چشم پوشی کرد.

نتیجه‌گیری

بطور کلی یک جاذب مناسب برای جذب مواد رنگزا می‌بایست دارای شرایط لازم زیادی مانند کارآمد برای حذف رنگزا، سرعت و ظرفیت بالای جذب، گزینش پذیری برای غلظت‌های مختلف و قابلیت تحمل در محدوده وسیعی از عوامل موثر در پساب باشد. در این مطالعه بیوپلیمر طبیعی کیتوسان با ترکیب آلی اتیل



شکل (۸): نمودار اهمیت فاکتورهای مؤثر در فرآیند حذف مالاشریت سبز به وسیله ی بیو جاذب

- [3] Royer, B.CN., Lima, EC., Macedo, TR., Airoidi, C.A., 2015, useful organofunctionalized layered silicate for textile dye removal. *Journal of Hazardous Materials*;181:366-74.
- [4] Factors, DS.B., 2009, Factors associated with textile pattern dermatitis caused by contact allergy to dyes, finishes, foams, and preservatives. *Dermatologic Clinics*; 27:309-22.
- [5] Lima, ROA.de.BA., Salvadori, DMF., Rech, CM., Oliveira, DP., Umbuzeiro, GA., 2017, Mutagenic and carcinogenic potential of a textile azo dye processing plant effluent that impacts a drinking water source. *Mutation Research Genetic Toxicology Environmental Mutagenesis*;626:53-60.
- [6] Carneiro, PA.UG., Oliveira, DP., Zanoni, MVB., 2010, Assessment of water contamination caused by a mutagenic textile effluent/dyehouse effluent bearing disperse dyes. *Journal of Hazardous Materials.*;174:694-9
- [7] Vijayaraghavan, K.YY., 2008, Biosorption of reactive black 5 from aqueous solution using acid-treated biomass of brown seaweed *Laminaria sp.* *Dyes Pigments*;76:726-32.
- [8] Aksu, Z.KG., 2008, Comparison of biosorption properties of different kinds of fungi for the removal of Gryfalan Black RL metalcomplex dye. *Bioresource Technology*; 99(16):7730-41.
- [9] Sarkhosh, M., Atafar, Z., Nazari, Sh., Fakhri, Y., Rezae S., Sheikh Mohamadi, A., Mohseni, SM., Baziar, B., 2016, Removal of malachite green, ahazardous dye using graphene oxide as an adsorbent from aqueous phase. *J Chem Pharm Res*; 8:624-33.
- [10] Ziaiefar, N.KM., Behnajady, M.A., Sohrabi ,M.R., Modirshahla, N., 2015, Optimizing adsorption of Cr(VI) from aqueous solutions by NiO nanoparticles using Taguchi and response surface methods. *Water science and technology*;72(5):721-9.
- [11] Hosni.Marand, M.BA., Anbia, M., 2018, Synthesis of clay nanocomposite modified with chitosan in order to remove acid color from water environment. *National Conference of Nanostructures, Science and Nano Engineering*; Kashan, Iran: Azad University, Kashan Branch.

اکریلات اصلاح شد و برای رنگبری پساب حاوی ماده رنگزای مالاثیت سبز بکار رفت. نتایج نشان داد که جاذب سنتز شده پتانسیل رنگبری پساب حاوی ماده رنگزای مالاثیت سبز را دارد. افزایش مقدار بیوجاذب اثر مثبت در مقدار رنگبری داشت، درحالیکه افزودن نمک و افزایش غلظت محلول ماده رنگزا باعث کاهش مقدار جذب ماده رنگزا بر روی جاذب شد. همچنین آزمایش‌ها نشان داد که بهترین شرایط به منظور رنگبری ماده رنگزای مالاثیت سبز با جاذب سنتز شده در مقادیر pH برابر ۱۰، دمای ۴۰°C، مقدار جاذب ۰/۳g/L و غلظت محلول ماده رنگزای ۵۰ ppm است. طراحی آزمایش به روش تاگوشی که ابزاری قدرتمند در تعیین شرایط بهینه حذف می باشد، نشان می دهد که از پارامترهای موثر در راندمان حذف مالاثیت سبز، بیشترین تأثیر مربوط به مقدار جاذب و کمترین تأثیر مربوط به دما می باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که بیوجاذب پلیمری کیتوسان اصلاح شده با اتیل اکریلات می تواند یک بیوجاذب خوب برای حذف ماده رنگزای مالاثیت سبز از آلاینده‌های رنگی و پساب‌های صنعتی باشد.

منابع

- [1] Royer, B.CN., Lima, EC., Vagheti, JCP., Simon, NM., Calvete. T., Veses, RC., 2009, Applications of Brazilian-pine fruit shell in natural and carbonized forms as adsorbents to removal of methylene blue from aqueous solutions - kinetic and equilibrium study. *Journal of Hazardous Materials*;164:1213-22.
- [2] Lima, EC.RB., Vagheti, JCP., Simon, NM., Cunha, BM., Pavan, FA., Benvenutti, EV., 2008, Cataluna-Veses R, Airoidi C. Application of Brazilian pine-fruit shell as a biosorbent to removal of reactive red 194 textile dye from aqueous solution Kinetics and equilibrium study. *Journal of Hazardous Materials*;155:536-55.

- [12] Sashiwa, H.YN., Ichinose, Y., Sunamoto, J., Aiba, S., 2003, Chemical Modification of Chitosan, 17, Michael Reaction of Chitosan with Acrylic Acid in Water. *Macromol Biosci* ; 3:231-3.
- [13] Salehi, R.AM., Mahmoodi, NM., Bahrami, H., Khorramfar, S., 2010, Novel biocompatible composite (Chitosan-zinc oxide nanoparticle): Preparation, characterization and dye adsorption properties. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*; 80:86-93.
- [14] Lazaridis, NK.KG., Vassiliou, AA., Bikiaris, DN., 2007, Chitosan Derivatives as Biosorbents for Basic Dyes. *Langmuir*; 23:7634-43.
- [15] Kyzas, GZ.BD., Lazaridis, NK., 2008, Low-Swelling Chitosan Derivatives as Biosorbents for Basic Dyes. *Langmuir*; 24:4791-9.
- [16] Crini, G.GF., Robert, C., Martel, B., Adam, O., Crini, NM., Giorgi, FD., Badot, PM., 2008, The removal of Basic Blue 3 from aqueous solutions by chitosan-based adsorbent: batch studies. *J Hazard Mater*; 153:96-106.
- [17] Uzun, I., 2006, Kinetics of the adsorption of reactive dyes by chitosan. *Dyes Pigments*; 70:76-83.

“Research article”

Optimization of malachite green cationic dye adsorption process by chitosan-ethyl acrylate polymer biosorbent using Taguchi model

Nasim Ziaei far^{1*}, Saber Khodaei²

1. Assistant Prof. of applied Chemistry, Department of science, branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

2. Department of Statistics, Maragheh branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

Abstract

Many dyes, such as malachite green, produce toxic by-products due to various reactions, which are harmful to aquatic organisms and humans. surface absorption technology has wide applications in water and wastewater treatment. in this study, the natural biopolymer chitosan was modified with the organic compound of ethyl acrylate and was used for the surface absorption of malachite green cationic dye. the obtained compound was identified using infrared spectroscopy. to investigate the decolorization characteristics of the synthesized compound, effective factors such as pH, concentration of adsorbent, concentration of dye, temperature and the effect of different salts were investigated. the results showed that increasing the pH and amount of adsorbent has a positive effect on the amount of color removal, taguchi method was used to investigate the effect and determine the optimal conditions of each of these parameters. the results of the experiment design showed the highest parameter, gram of bioadsorbent compared to other parameters and the lowest effect related to temperature in surface absorption.

Key words: Polymeric bioadsorbent, Chitosan, Malachite green, Taguchi



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال پانزدهم، شماره‌ی ۵۷
بهار ۱۴۰۳، صفحات ۶۹-۵۵

"مقاله پژوهشی"

مطالعه روش‌های ساخت لایه‌های نازک و کاربردهای آن‌ها در مسائل محیط زیست

حسن آبسالان*

گروه فیزیک، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

Email: absalanh@gmail.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸)

چکیده

در این مقاله، تکنیک‌های مختلف ساخت لایه‌های نازک و همچنین کاربردهای آن‌ها در مسائل محیط زیست مورد مطالعه قرار گرفته است. ضخامت لایه‌های نازک معمولاً در محدوده بین ۵۰ و ۵۰۰۰ آنگستروم قرار می‌گیرد. روش‌های ساخت لایه‌های نازک، عمدتاً به دو صورت فیزیکی و شیمیایی انجام می‌گیرد. با کاهش ضخامت یک لایه نازک، رسانایی الکتریکی آن، کاهش و مقاومت الکتریکی آن، افزایش می‌یابد. همچنین کاهش ضخامت لایه، منجر به کاهش شدت مغناطیسی آن می‌گردد. از طرف دیگر، به علت افزایش میزان سطح به حجم در لایه‌های نازک، سرعت تغییر دما و واکنش شیمیایی نسبت به حالت توده‌ای افزایش می‌یابد. از جمله عوامل مؤثر بر کیفیت یک لایه نازک می‌توان به ساختار زیرلایه، سرعت لایه نشانی، دمای زیرلایه و نوع خلاء اشاره کرد.

کلمات کلیدی: لایه‌های نازک، روش‌های ساخت، ویژگی‌ها و کاربردها، محیط زیست

مقدمه

یا یون‌های مجزا در می آید و روی سطح زیرلایه می‌نشینند، پوششی ایجاد می‌شود که آن را لایه می‌نامند. این لایه بر روی سطح قطعات و مواد دیگر قرار گرفته و به آن خصوصیت ویژه و جدیدی را می‌بخشد. معمولاً اگر لایه تشکیل شده، نازک باشد، خواص فیزیکی جدیدی از خود بروز می‌دهد که با خواص همان لایه به صورت توده‌ای متفاوت است که به این ترتیب می‌توان قابلیت‌های جدیدی به محصول افزود. لایه‌های نازک، لایه‌هایی هستند که ضخامت آن‌ها بین ۵۰ تا ۵۰۰۰ آنگستروم می‌باشد [۱]. به بیان دیگر لایه‌های نازک، لایه‌های با دقت اتمی طراحی شده‌ای از انواع مواد اعم از فلزات، عایق‌ها، نیمه‌رساناها هستند. لایه‌های نازک را می‌توان در دسته پوشش‌های نانو ساختار دسته‌بندی کرد. لایه‌های نازک، از دو ویژگی مهم برخوردار هستند. اولین ویژگی، ضخامت زیرمیکرونی آن است که هر چه به اندازه نانو نزدیک‌تر شود، ویژگی‌های متفاوت‌تری را برای لایه به وجود می‌آورد. دومین ویژگی، این است که لایه‌ها می‌توانند سطوح فوق‌العاده بزرگی نسبت به ضخامت داشته باشند. این دو ویژگی باعث پدید آمدن خواص متفاوت‌تر و کاربردی می‌شوند.

به منظور ساخت یک لایه نازک، می‌بایست به گونه‌ای اتم‌ها و یا مولکول‌های مورد نظر را از چشمه بر روی جسم دیگری، که زیرلایه نامیده می‌شود، فرستاد. اتم‌هایی که از چشمه به سمت زیرلایه حرکت می‌کنند و به نزدیکی آن می‌رسند، ممکن است بصورت یکتایی در فاز بخار باشند و یا بصورت دو تایی و یا بیش‌تر. هر کدام از این‌ها احتمال دارد به سطح نزدیک شده و توسط آن جذب گردند. در این حالت، بلافاصله از روی سطح برخیزند و یا مدتی روی سطح شروع به

یکی از مهم‌ترین مسائل دنیای امروز، آلودگی محیط زیست به مواد خطرناک می‌باشد. گازهای خارج شده از صنعت و وسایل نقلیه، رتبه اول در ایجاد آلودگی را دارند. از طرف دیگر، فلزات سنگین، نیترات‌ها و پلاستیک‌ها، سمی هستند و باعث آلودگی می‌شوند. آلودگی هوا، ناشی از گازها و سموم مختلفی است که توسط صنایع و کارخانجات و از ترکیب سوخت‌های فسیلی منتشر می‌شود. کاربرد گسترده فلزات سنگین در صنایع باعث شده است که غلظت این فلزات در آب، فاضلاب، هوا و خاک بیش‌تر از مقادیر زمینه‌ای افزایش پیدا کند. مکانیزم اثر سمیت فلزات سنگین، ناشی از تمایل شدید کاتیون‌های این فلزات به گوگرد و بدین طریق مختل کردن فعالیت آنزیم‌های حیاتی در موجودات زنده می‌باشد، بنابراین حذف فلزات سنگین از محیط آبی، موضوع مهمی در بهداشت عمومی جامعه محسوب می‌شود. همچنین گاز دی‌اکسید کربن به عنوان یکی از آلاینده‌های موجود در هوا، از منابع آلودگی محیط زیست به شمار می‌رود که می‌توان با انتخاب یک روش مناسب، آن را از بین برد. یکی از این روش‌ها، استفاده از لایه‌های نازک در صنعت می‌باشد.

به طور کلی لایه، به ماده‌ای گفته می‌شود که به صورت پوششی بر یک سطح یا ماده (زیرلایه) می‌نشیند و باعث ایجاد ویژگی‌های الکتریکی، اپتیکی و مکانیکی سطحی جدیدی می‌شود که خواص سطحی زیر لایه را ارتقاء می‌بخشد. معمولاً در فیزیک حالت جامد، مواد را به صورت توده‌ای مورد بررسی قرار می‌دهند. در عموم روش‌های لایه‌نشانی، هنگامی که ماده از حالت توده‌ای به صورت اتم‌ها، مولکول‌ها

گیری لایه و زیرلایه مشاهده کرد. این پدیده را، روشانی می‌گویند. تحت شرایط مطلوب می‌توان کل لایه را بصورت تک کریستال رشد داد.

در سال‌های اخیر، علم لایه‌های نازک در میان سایر علوم رشد قابل ملاحظه‌ای داشته و حجم وسیعی از تحقیقات را به خود اختصاص داده است. بی‌شک رشد چشم‌گیر ارتباطات، پردازش اطلاعات، ذخیره‌سازی، صفحه‌های نمایش، صنایع تزئینی، ابزارآلات نوری، مواد سخت و عایق‌ها، نتیجه تولید لایه‌های نازک براساس فناوری‌های نوین می‌باشد. علاوه بر اهمیت کاربردی، لایه‌های نازک نقش مهمی در توسعه و مطالعه مواد با ویژگی‌های جدید و منحصر به فرد ایفا می‌کنند. در ساخت لایه‌های نازک نیز در سال‌های اخیر تحولات وسیعی صورت گرفته است که خود ناشی از پیشرفت در فناوری خلاء، تولید میکروسکوپ‌های الکترونی و ساخت وسایل دقیق و پیچیده‌ی شناسایی مواد است. همچنین باز شدن مباحثی نظیر میکروالکترونیک، اپتیک و نانوتکنولوژی مدیون اهمیت پوشش‌های لایه نازک می‌باشد. ایجاد لایه‌های نازک بر روی زیرلایه‌ها، موجب بهبود ویژگی‌های سطحی آن‌ها، شامل ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی، الکتریکی و اپتیکی مطلوب، مانند رسانش، مقاومت در برابر خوردگی، انعکاس و یا سختی بیشتر بر سطح ماده می‌شود.

لایه‌های نازک با دارا بودن ویژگی‌های مهم و منحصر بفرد، کاربردهای فراوانی در صنعت و فناوری‌های نوین دارند. برخی از ویژگی‌ها، شامل افزایش مقاومت ویژه، ایجاد پدیده تداخل نور، پدیده تونل زنی، مغناطیس شدگی سطحی، تغییر دمای بحرانی ابررساناها می‌باشد. با توجه به عملکرد و

حرکت کنند تا انرژی خود را به سطح داده و در مکانی مستقر شوند و یا اینکه از سطح برخیزند. اتم‌هایی که مستقر شده‌اند، با یکدیگر تشکیل خوشه‌های بزرگ-تری را می‌دهند که البته این خوشه‌ها با بزرگ‌تر شدن، می‌توانند منجر به تشکیل هسته‌های پایدار شوند. هسته‌های تولید شده در محل خود شروع به رشد در دو یا سه بعد می‌کنند که معمولاً در این حالت میزان ایجاد هسته‌های جدید، به سرعت کاهش می‌یابد و همه اتم‌هایی که به سطح می‌رسند، جذب هسته‌های قبلی می‌گردند و به رشد آن‌ها کمک می‌کنند. با بزرگ‌تر و نزدیک‌تر شدن هسته‌های مجاور به هم، این هسته‌ها در هم ادغام شده و جزایری بر روی سطح بوجود می‌آورند و نهایتاً با ادامه یافتن رشد، یک لایه پیوسته بر روی سطح زیرلایه بوجود می‌آید.

لایه‌های نازک بسته به طبیعت زیرلایه، میزان تبخیر و ماده لایه می‌توانند به صورت بی‌شکل، پلی کریستالی و تک کریستالی رشد کنند. پدیده‌هایی که موجب افزایش تحرک اتم‌های جذب شده به سطح می‌شوند، باعث بزرگ‌تر شدن دانه‌های لایه‌ها می‌گردند. این پدیده می‌تواند در اثر افزایش دمای زیرلایه بوقوع بپیوندد و برعکس، کاهش دمای زیرلایه، باعث کوچک‌تر شدن اندازه‌های دانه‌ها می‌گردد. همچنین ناخالصی‌ها و نابجایی‌های روی سطح نیز می‌توانند موجب کاهش تحرک اتم‌ها گردند. در طی رشد لایه‌های نازک، اغلب فازهای ناپایدار شکل می‌گیرند که در حجم صورت نمی‌گیرد. این فازها با افزایش ضخامت لایه از بین می‌روند. تحت یکسری شرایط ویژه، لایه‌های ضخیم می‌توانند با فاز ناپایدار رشد کنند. اگر لایه‌ای روی یک زیرلایه تک کریستالی رشد داده شود، اغلب می‌توان یک رابطه درونی بین جهت

جامد صورت می‌گیرد. چگالش لایه‌های نازک به شکل‌های مختلفی رخ می‌دهد که هر شکل آن به عوامل متعددی وابسته است که از آن دسته می‌توان به برهمکنش بین اتم‌های لایه‌ی در حال رشد و اتم‌های لایه و زیرلایه اشاره کرد.

با توجه به نوع کاربرد لایه‌های نازک می‌توان کیفیت ساخت آن‌ها را تغییر داد. از عواملی که در کیفیت لایه نازک موثرند می‌توان به سرعت لایه‌نشانی، دمای زیرلایه، نوع خلاء، ساختار زیرلایه و تطابق آن با لایه اشاره نمود. در مورد سطح مشترک لایه و زیرلایه، بایستی مرز مشترک آن عاری از آلودگی و ناخالصی باشد و ناصافی آن به حداقل ممکن خود برسد تا اتصال در سطح مشترک به خوبی صورت گیرد. در مورد ساختار نیز، نظم اتمی لایه و زیرلایه می‌تواند نقش مهمی در ویژگی‌های لایه نازک داشته باشد. همچنین خواص شیمیایی به دلیل ایجاد واکنش شیمیایی که ممکن است بین اتم‌های لایه و زیرلایه صورت بگیرد، بایستی به دقت مورد بررسی قرار گیرد. در حیطه خواص حرارتی، نزدیکی ضریب انبساط حرارتی لایه و زیرلایه موضوع حائز اهمیت است تا لایه ایجاد شده بر روی زیرلایه چروکیده یا پاره نشود. همچنین در برابر شوک‌های حرارتی بایستی مقاوم باشند و در مورد خاصیت مکانیکی، لایه و زیرلایه بایستی از استقامت مکانیکی خوبی برخوردار باشند [۱].

لایه‌های نازک، ویژگی‌های منحصر بفردی دارند که متفاوت از ویژگی‌های حالت توده‌ای مواد تشکیل‌دهنده آن‌ها می‌باشد. این ویژگی‌ها، شامل ویژگی‌های الکتریکی، مغناطیسی، اپتیکی، مکانیکی و غیره می‌باشد. ویژگی‌های اشاره شده، به پارامترهایی

خواص لایه‌های نازک، می‌توان از آن‌ها جهت بهبود تکنولوژی‌هایی نظیر سلول‌های خورشیدی، حسگرها، کاربردهای نوری، مهندسی الکترونیک و فروالکترونیک نیز استفاده نمود. امروزه کاربرد لایه‌نشانی در صنایع، موضوع توسعه یافته‌ای است، به گونه‌ای که بخش بزرگی از زندگی مدرن را مدیون توسعه صنعت لایه‌نشانی می‌دانند [۱-۲]. اهمیت لایه‌های نازک در ساخت قطعات مدرن و پیچیده نیز به چشم می‌آید.

فیزیک لایه‌های نازک

در زمان لایه نشانی، فرآیند رشد لایه‌های نازک، همانند حالت توده‌ای مواد، بصورت یک صفحه کامل نیست. وقتی با حجم ماده مقایسه می‌شود، خواص فیزیکی لایه نازک بر روی زیرلایه، به شدت ممکن است متفاوت باشد که این امر وابسته به ساختار و مورفولوژی آن است. ویژگی‌هایی مانند اندازه دانه، شکل و جهت، مرتبط با مراحل رشد لایه تعیین می‌شود و می‌تواند متأثر از شرایط لایه‌نشانی باشد. فرآیند رشد اتمی به این صورت است که در ابتدا یک ذره از فاز بخار، متراکم می‌شود که ممکن است بلافاصله تبخیر مجدد شود و یا در میان سطح، نفوذ کند. عمل نفوذ نیز ممکن است به جذب در مکان‌های خاصی انجام پذیرد. در حین فرآیند رشد، برای بدست آوردن لایه‌ای با سطح صاف، به تحرک پذیری سطحی مناسب و به اندازه و همچنین به دمای بالا نیاز می‌باشد. برای تشکیل لایه، ماده اولیه سه مرحله اساسی را طی می‌کند. در مرحله اول، ماده اولیه به ذره‌های اتمی، مولکولی یا یونی تبدیل می‌شود. سپس در مرحله دوم، فاصله بین منبع تا زیرلایه را طی می‌کند و در مرحله آخر، چگالش ذرات بر روی زیرلایه و تشکیل یک لایه

مطالعه ویژگی‌های مکانیکی لایه‌های نازک می‌تواند ما را به درک بهتر و عمیق‌تری از رفتار توده مواد برساند. در عمل، مناسب بودن عملکرد قطعاتی که در آن‌ها از عمل لایه نشانی استفاده شده است، به شکل و ترتیب قرار گرفتن لایه‌های پایدار، که می‌توانند در برابر تأثیرات محیط زیست تاب بیاورند، بستگی دارد. ویژگی‌های مکانیکی لایه‌های نازک، عمدتاً به عوامل مؤثر در آماده‌سازی آن‌ها وابسته است. به دلیل مشکلات تجربی و محدودیت‌های موجود در ساخت لایه‌ها، بیش‌تر مطالعات انجام یافته، بر روی ویژگی‌های مکانیکی لایه‌های چند بلوری و لایه‌های فلزی بوده و این، به خاطر ساختار مختلط بیشتر لایه‌ها است. از طرف دیگر، به مواد دی‌الکتریک که در قطعات الکتریکی و اپتیکی گوناگون اهمیت دارند نیز توجه شده است.

بررسی ویژگی‌های الکتریکی مواد عمدتاً براساس نظریه نوار انرژی صورت می‌گیرد که در آن، ترازهای انرژی الکترونی و چگالی حالت‌ها، فلز یا نیمه‌رسانا و یا عایق بودن ماده را تعیین می‌کنند. این ترازهای انرژی، در سطوح مربوط به لایه‌ای نازک و حالت توده‌ای مواد با هم تفاوت دارد. بعبارت دیگر، برخی از ترازهای ممنوعه انرژی در حالت توده‌ای مواد، تبدیل به ترازهای گسسته مجاز می‌شوند. از طرف دیگر، در فصل مشترک دو سطح با یکدیگر، برهمکنش موجود می‌تواند ترازهای انرژی دیگری را تحت تأثیر قرار دهد. این امر می‌تواند در بکارگیری لایه‌های نازک در اتصالات بین قسمت‌های مختلف مدارهای مجتمع، وسایل میکروالکترونیک و الکترونیک، مورد مطالعه قرار گیرد.

مانند روش ساخت، دما، کیفیت و نوع زیرلایه بکار رفته وابسته است. یکی از ویژگی‌های مهم لایه‌های نازک، ویژگی‌های مکانیکی آن‌ها می‌باشد. رفتار مکانیکی لایه‌های نازک، مانند استحکام و چسبندگی آن‌ها، نقش بسزایی در کارایی لایه‌های نازک دارد. عوامل مؤثر بر ویژگی‌های مکانیکی، شامل اندازه و شکل دانه‌های تشکیل شده درون لایه‌ها، نابجایی‌ها، اختلالات و غیره می‌باشد. غلظت بالای نابجایی‌ها و عدم تحرک آن‌ها در لایه نازک سبب افزایش خواص مکانیکی نظیر سختی و مقاومت به سایش آن‌ها می‌شود که قابل مقایسه با حالت حجمی ماده نیست. همچنین، بدلیل افزایش شدید غلظت نابجایی‌ها، تنش در ساختار لایه نازک ایجاد می‌شود. از آنجاییکه که اکثر روش‌های ساخت لایه‌های نازک در دمای بالاتر از دمای محیط صورت می‌پذیرند، یک تنش در این لایه‌ها ایجاد می‌شود [۲-۴].

تنش در لایه‌های نازک به دو نوع تنش حرارتی و تنش ذاتی تقسیم می‌شود. تنش حرارتی به این دلیل ایجاد می‌شود که اکثر فرایندهای لایه‌نشانی در دمای بالا انجام می‌شود و چون مواد مختلف، ضرایب انبساط گرمایی متفاوتی دارند، در هنگام لایه‌نشانی بین لایه و زیرلایه این تنش ایجاد می‌شود. تنش ذاتی نیز به عواملی مانند فرایندهای رشد غیر تعادلی بستگی دارد که موجب تشکیل ساختارهای غیر تعادلی می‌شود. از دیگر ویژگی‌های مکانیکی لایه‌های نازک، تنش کششی لایه است که هر چه میزان آن بزرگ‌تر باشد، لایه سخت‌تر کشیده می‌شود. تشکیل لایه اکسیدی بر روی لایه می‌تواند باعث افزایش استقامت کششی لایه گردد [۵].

خواص فرو مغناطیس یک زیرلایه، به عواملی مانند دمای زیرلایه، آهنگ لایه‌نشانی و اجزای سازنده آن بستگی دارد. با استفاده از فلزات مغناطیسی می‌توان لایه‌های نازک فرومغناطیس تولید نمود که کاربرد وسیعی در ابزار حافظه کامپیوتر دارند. در حالت کلی می‌توان گفت که ویژگی‌های مغناطیسی لایه‌های نازک، به عواملی مانند مورفولوژی، شکل هندسی و میکروساختار لایه بستگی دارد [۲].

از نقطه نظر ویژگی‌های اپتیکی لایه‌های نازک می‌توان گفت که پدیده‌های مختلف اپتیکی در مواد شامل بازتاب، جذب، عبور و پراکندگی نور می‌باشد. پارامترهای اصلی واکنش نور با لایه‌های نازک، شامل ضریب شکست و ضریب جذب می‌باشد. معمولاً برای لایه‌نشانی با اهداف اپتیکی، از روش‌های فیزیکی استفاده می‌شود. از تغییراتی که در ثابت‌های جذب و بازتاب لایه نازک ایجاد می‌شود، می‌توان در کاربردهای وسیعی نظیر آینه‌ها و لایه‌های ضدانعکاس استفاده نمود. در مباحث ویژگی‌های اپتیکی لایه‌های نازک، بیش‌ترین کاربرد مربوط به سیستم‌های چندلایه است که با ترکیب چند لایه با ضخامت‌ها و ضریب شکست‌های متفاوت می‌توان کاربردهای متفاوتی را ایجاد نمود [۳].

روش‌های ساخت لایه‌های نازک

فناوری لایه نازک به عنصری حیاتی در دنیای مدرن امروزی تبدیل شده است. با توسعه علم و فناوری در همه عرصه‌ها از جمله فیزیک و فناوری نانو، لایه‌های نازک بیش از پیش اهمیت و ضرورت خود را در صنایع مختلف و پژوهش‌های محققان نشان داده اند. بعلاوه، امروزه کاربرد و خواص لایه‌های نازک در علوم مختلف و نقش بسزای آن‌ها در توسعه و رشد

با توجه به کاهش تعداد حامل‌های بار در لایه نازک و همچنین کاهش ضخامت لایه، حرکت الکترون‌ها در آن محدود می‌شود و الکترون‌ها با انحراف اندکی که از مسیر حرکتشان پیدا می‌کنند، باعث کاهش رسانایی می‌شوند. بر این اساس، با کم‌تر شدن ضخامت لایه نازک نسبت به طول مسافت آزاد میانگین آن، الکترون‌ها دائماً با دیواره لایه نازک برخورد کرده و این امر موجب کاهش رسانایی ماده و افزایش شدید مقاومت الکتریکی لایه نازک می‌شود. مقاومت الکتریکی لایه‌های نازک فلزی، بیش‌تر از حالت حجمی ماده است و این میزان، با افزایش ضخامت لایه نازک، کاهش پیدا می‌کند. از طرف دیگر، خواص الکتریکی لایه‌های نازک، شدیداً به مورفولوژی آن‌ها وابسته است. تحقیقات نشان می‌دهند که لایه‌های نازک منسجم، دارای بالاترین رسانایی و لایه‌های با ذرات جدا از هم، دارای پایین‌ترین میزان رسانایی هستند.

ویژگی‌های مغناطیسی مواد، اساساً به چرخش الکترون به دور خود وابسته است. اگر نسبت شعاع اتم به شعاع اوربیتال تک الکترونی بگونه‌ای باشد که میزان انرژی تبادل در ناحیه مثبت قرار گیرد، ماده، خاصیت مغناطیسی از خود نشان می‌دهد. زمانی که ضخامت یک لایه نازک کاهش می‌یابد، خاصیت مغناطیسی آن نیز کاهش می‌یابد، زیرا به دلیل افزایش تعداد الکترون‌های سطحی و آزادی بیش‌تر این الکترون‌ها، به سختی می‌توان همه الکترون‌ها را هم جهت و موازی کرد. کاهش بیش‌تر ضخامت لایه‌های نازک، می‌تواند آن‌ها را به لایه‌های پارامغناطیس تبدیل کند. در لایه‌های نازک، آثار پارامغناطیس و دیامغناطیس به اندازه‌ای ضعیف است که به سختی آشکار می‌شود.

کوچکی از این ذرات تبدیل کرده و در جای دیگری به شکل و ضخامت مناسبی انباشت کنیم. از آنجاییکه مواد متشکل لایه همواره باید کنترل شود، ساخت لایه-ها با روش‌های فیزیکی در خلاء انجام می‌گیرد [۷]. یکی از دلایل پیچیدگی و پرهزینه بودن ساخت لایه‌ها با این روش‌ها، بوجود آوردن محیط خلاء مناسب می‌باشد. از آنجاییکه مایعات و اجسام در خلاء، تبخیر (یا تصعید) می‌شوند و هرچه درجه خلاء پایین‌تر باشد، این روند سریع‌تر انجام می‌گیرد، ایجاد خلاء مطلق، غیر ممکن بوده و با نزدیک شدن به خلاء مطلق، اتم‌های جدار داخلی ظرف حاوی محیط خلاء، سبب بالا رفتن فشار می‌شوند. در زیر، برخی از روش‌های فیزیکی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

از روش تبخیر حرارتی می‌توان در کاربردهایی مانند پوشش‌های تزئینی، میکروالکترونیک، کاربردهای مهم مهندسی، شیمیایی، هسته‌ای و صنایع وابسته استفاده کرد [۸]. این روش معمولاً در داخل محفظه خلاء انجام می‌شود و بیش از سایر روش‌ها برای تهیه لایه-های نازک مورد استفاده قرار می‌گیرد. علت این امر را می‌توان در ساده بودن این روش و ساخت لایه‌هایی با درجه خلوص خیلی بالا و بدست آوردن ساختار کریستالی دلخواه با فراهم نمودن شرایط مناسب جستجو کرد. فرآیند شکل‌گیری لایه در این روش، شامل سه مرحله تبخیر (یا تصعید)، انباشت روی زیرلایه و اصلاح مجدد پیوندهای بین ذرات می‌باشد. این روش دارای کاربردهای متعددی می‌باشد که از آن جمله می‌توان به انباشت فلزکاری برای سیستم‌ها، قطعات و حسگرهای الکترونیکی [۹]، تهیه پوشش-های مغناطیسی و اپتیکی [۱۰-۱۱] و تهیه قطعات اپتوالکترونیکی [۱۲] اشاره کرد. همچنین از این روش

فناوری، بسیار چشمگیر بوده است. در نتیجه، روش‌های ساخت لایه نازک مانند لایه نشانی در خلاء نیز، بیش‌تر از قبل، مورد توجه محققان و پژوهشگران این حوزه قرار گرفته است. روش‌های متفاوتی برای رشد لایه‌های نازک وجود دارد. برخی از این تکنیک‌ها برای رشد لایه‌های نازک رسانای شفاف بکار گرفته شده است. در کنار روش‌های متعدد، یکسری از آن‌ها مرسوم شده و موارد کاربرد بیش‌تری دارند. با توجه به اینکه گذار الکتریکی و اپتیکی این فیلم‌ها به ریزساختار و عنصرسنجی آن‌ها و طبیعت ناخالصی موجود وابسته است، هر تکنیک رسوب‌گذاری به همراه پارامترهای وابسته، خواص متفاوتی را برای لایه مورد نظر بوجود می‌آورد [۶]. با توجه به تکنیک رسوب‌گذاری، زیرلایه می‌تواند تاثیر بسیار مهمی را در خواص لایه‌ها داشته باشد. ضریب انبساط گرمایی زیرلایه، تأثیر مهمی روی خواص الکتریکی لایه‌های نازک دارد، بطوریکه باعث کاهش تنش‌های ذاتی در داخل لایه‌ها می‌گردد. در فرآیندهایی که مستلزم دماهای رسوب‌گذاری بالایی هستند، تأثیر پخش یون‌های قلیایی از زیرلایه‌ها به لایه، بسیار مهم می‌باشد. کاتیون‌ها بعنوان عوامل آلاینده نوع p عمل کرده و باعث ختنی شدن بخشنده‌ها می‌گردند. به منظور برطرف کردن مشکل ناشی از وجود یون‌های قلیایی، یک فرآیند مخصوص تمیزکردن برای زیرلایه-های شیشه‌ای، بایستی اختیار شود. در حالت کلی، روش‌های رشد لایه‌های نازک به دو دسته روش‌های فیزیکی و روش‌های شیمیایی تقسیم می‌شوند.

در روش‌های فیزیکی، در موقع تهیه یک لایه نازک، رفتار فیزیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای ساختن لایه‌ها به روش فیزیکی، لازم است که ماده یا مواد مورد نظر را بصورت اتم، مولکول و یا مجموعه

تعداد زیادی از اتم‌های متشکله سطح، انرژی بسیار زیادی کسب می‌کنند. اگر این انرژی برای پرتاب اتم‌های دیگر، کافی باشد، برخورد این اتم با اتم‌های دیگر سبب پراکنش می‌شود.

برای شکل‌گیری لایه توسط روش کندوپاش، دو وجه اصلی واکنشی و غیر واکنشی وجود دارد. در حالت غیر واکنشی، کندوپاش با استفاده از پلاسمای گاز بی اثر مانند آرگون، که هیچ تأثیر مستقیمی بر تشکیل ترکیبات بر روی هدف یا زیرلایه ندارد، صورت می‌گیرد. آرگون بدلیل داشتن جرم کافی برای ایجاد کندوپاش بالا و هزینه کم‌تر نسبت به کریپتون و زنون، متداول‌ترین گاز مورد استفاده می‌باشد. با توجه به اینکه مکانیزم پوشش در این روش اکثراً مکانیکی است، لذا برای پوشش موادی با درجه ذوب بالا مانند فلزات دیرگداز تنگستن و تانتالیوم می‌تواند مفید باشد. بنابراین از این روش برای فلزکاری مدارهای الکترونیکی و پوشش‌های اپتیکی استفاده می‌شود [۱۳].

روش روآرایی توسط باریکه مولکولی، یکی دیگر از تکنیک‌های فیزیکی تولید لایه‌های نازک می‌باشد که جهت ساخت قطعات میکرو موج اپتوالکترونیکی، دارای قابلیت‌های فراوانی می‌باشد [۱۴]. در طی این فرآیند، چندین باریکه مولکولی با چگالی‌های شار متفاوت، با زیرلایه تک کریستالی که قبلاً گرم شده باشد، پیوند شیمیایی برقرار می‌کنند. بر خلاف سایر روش‌های انباشت، این روش بایستی در خلاء بسیار بالایی انجام گیرد. از طرف دیگر امکان آلودگی لایه با استفاده از این روش، بسیار پایین است. ایجاد خلاء بسیار بالا و نگهداری آن و همچنین نگهداری تک لایه‌های تهیه شده با این روش دردسرساز است،

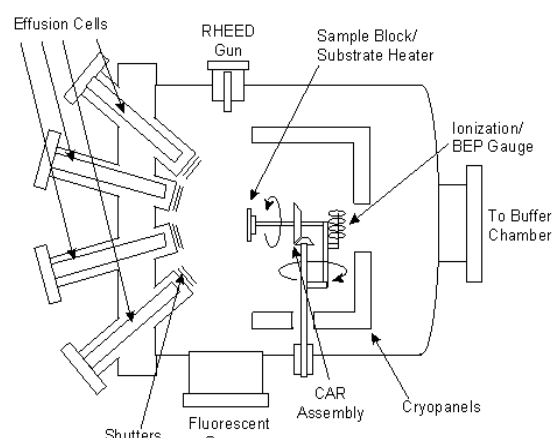
بطور گسترده‌ای در تهیه لایه‌های فلزی و دی الکتریک جهت کاربردهای الکترونیکی استفاده می‌شود.

روش دیگر، روش کندوپاش است که یکی از تکنیک‌های گسترده مورد استفاده برای رسوب گذاری لایه‌های اکسیدی رسانای شفاف می‌باشد [۸]. وقتی بر سطح جامد، پرتو یونی، الکترونی و یا نوری با انرژی کافی بتابد، اتم‌های تشکیل دهنده جسم از سطح آن آزاد شده و در فضا پراکنده می‌شوند. این پدیده به کندوپاش (پراکنش) مرسوم است. فرآید کندوپاش فواید منحصر بفردی نسبت به فرآیندهای دیگر دارد. از جمله این موارد می‌توان به یکنواختی لایه، پوشش دهی مواد سخت، پوشش‌دهی مواد نارسانا، پوشش-دهی سطوح بزرگ و عدم ایجاد زبانه اشاره کرد. این فرآیند، به نوع و انرژی ذرات برخوردی به سطح و نیز مواد متشکله سطح و زاویه برخورد ذره و سطح بستگی مستقیم دارد. برخورد یون پر انرژی به سطح، سبب ایجاد چندین نوع برخورد در سطح یا نزدیکی سطح در درون جامد می‌شود. انتقال انرژی ذره برخورد کننده به ذرات درون سطح، بر اثر حداقل یک برخورد یا برخوردهای پیاپی اتفاق می‌افتد. وقتی ذره تابشی، یک یون سبک مانند H^+ یا D^+ باشد، انرژی آن برای بوجود آوردن برخوردهای پیاپی کافی نبوده و حالت پستاب کوچک رخ می‌دهد. وقتی که انرژی یون تابشی برای بوجود آمدن برخوردهای پیاپی نسبتاً کافی باشد، بر اثر برخورد به سطح، برخی از اتم‌های نزدیک سطح به حرکت در می‌آیند، ولی برخورد اتم‌های داخلی قابل چشم پوشی است. این نوع پراکنش را پراکنش با نفوذ بر اثر برخورد خطی می‌گویند. وقتی که اتم سنگینی با انرژی زیاد به سطحی که توان ایستادگی آن زیاد است بتابد، برخوردهای پیاپی بوجود می‌آورد؛ در نتیجه

برای یکنواخت نگهداشتن دما، از مواد نسوز با رسانش دمایی بالا مانند مولیبدنوم استفاده می‌شود. در دمای شدید (معمولاً کم‌تر از ۶۰۰ درجه)، فشار بخار این مایعات بسیار کم می‌باشد. اگر گرما بطور یکنواخت به زیرلایه اعمال نشود، سبب ایجاد دررفتگی در لایه رشد یافته می‌شود. کیفیت لایه ایجاد شده با این روش به چندین عامل بستگی دارد که عبارتند از: ساختار چشمه، دمای سطحی زیرلایه، میزان رشد و میزان شار باریکه. با استفاده از روش روآرایی با باریکه مولکولی می‌توان بخوبی ترکیبات لایه، کریستالی شدن، خلوص کریستالی و ایجاد لایه‌ای با عمل تزریق و نیز مورفولوژی سطح را تا یک لایه اتمی کنترل کرد. این تکنیک، روش مناسبی برای ساخت لایه‌هایی برای استفاده در وسایل اپتوالکترونیک، لیزرهای دیودی، سلول‌های خورشیدی و آشکارسازهای نوری می‌باشد [۱۵]. از دیگر کاربردهای این روش می‌توان به ابررساناهای دمای بالا و لایه‌های الماسی اشاره کرد [۱۶].

یکی دیگر از تکنیک‌های فیزیکی ساخت لایه‌های نازک، روش انباشت توسط پالس لیزری می‌باشد. اگر پرتو یک لیزر با توان بالا به یک هدف برخورد کند، می‌تواند دمای آن سطح را به اندازه کافی بالا ببرد. در این روش معمولاً از لیزرهای ماوراء بنفش که می‌توانند پالس‌های تا حد یک ژول را در ۱۵ تا ۴۵ نانو ثانیه تولید کنند، استفاده می‌شود [۱۷]. با جاروب نمودن پرتو لیزری در امتداد هدف و چرخاندن زیرلایه، هدف بطور کامل مصرف شده و در نتیجه لایه بطور یکنواخت ایجاد می‌شود. از طرف دیگر یک دستگاه لیزر جذبی، پرتوهای لیزر را مستقیماً به روی هدف می‌تاباند و در نتیجه تعدادی از مولکول‌های

در نتیجه سیستم‌های جدیدی برای انباشت طراحی شده‌اند که مجهز به محفظه‌های جداگانه با عملیات معلومی مانند تجزیه لایه‌ها، آماده‌سازی زیرلایه و فرآیندهای انباشت می‌باشد. جنس این قطعات از استیل ضد زنگ می‌باشد که از سطوح داخلی بسیار صافی برای کاهش رطوبت و جذب گاز تشکیل می‌شوند. شکل ۱، نمایی کلی از محفظه رشد یک سیستم با این تکنیک را نشان می‌دهد.



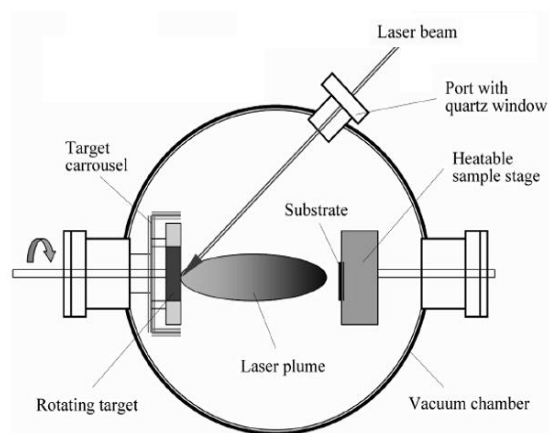
شکل (۱): نمایی کلی از محفظه رشد یک سیستم روآرایی با باریکه مولکولی

روآرایی با ترکیب شیمیایی دلخواه، با انتخاب سلول تبخیری مناسب و نیز دمای مناسب زیرلایه‌ای ایجاد می‌گردد. از جمله خصوصیات این روش این است که لایه نشانی در میزان رشد نسبتاً پایینی در حدود یک میکرومتر در ساعت صورت می‌گیرد که تقریباً معادل یک تک لایه بر ثانیه است. در این روش، تا حد ۵ آنگستروم هیچ نفوذی در لایه نداریم و سطح نیز کاملاً هموار می‌باشد. برای اطمینان از یکنواختی و تکرارپذیری خواص لایه، به سطحی نیاز داریم که بتواند دمای مورد نیاز را برای زیرلایه تأمین کند. از طرف دیگر زیرلایه بایستی بگونه‌ای نگهداری شود که تحت فشار نبوده و برای لایه ایجاد ناخالصی ننماید. معمولاً

از بخار، که بیش‌ترین کاربرد را در میان روش‌های شیمیایی دارد، شامل واکنش سطح روی سطح جامد با در نظر گرفتن یک یا چند نوع واکنش گازی است. معمولاً اکسیدهای فلزی بوسیله تبخیر یک ترکیب فلزی چندگانه مناسب رسوب می‌شوند. پایداری گرمایی در یک دمای به اندازه کافی بالا، برای ایجاد یک فشار بخار مناسب و غیر پایداری گرمایی در دماهای بالاتر، معمولاً توسط ترکیبات فلزی طبیعی انجام می‌گیرد. بطور کلی روش‌های انباشت شیمیایی از بخار، شامل روش‌هایی است که در آن جریانی از گاز، شامل ترکیبات فرار موادی که می‌خواهیم پوشش دهیم، وارد یک محفظه خلاء می‌شود. شرایط درون این محفظه طوری کنترل می‌شود که باعث انجام واکنش‌های شیمیایی در نزدیکی زیرلایه یا روی آن می‌شود و پوشش مورد نظر بر روی سطح زیرلایه تشکیل گردیده و مواد اضافی حاصل از واکنش‌های شیمیایی در طول فرآیند از سیستم خارج می‌شوند. لایه‌های بدست آمده با استفاده از این روش می‌تواند لایه‌های فلزی، آلیاژی، ترکیبات نسوز و نیمه‌هادی‌ها باشد [۲۰]. از پارامترهای اصلی کنترل در این روش‌ها، می‌توان به شارش گاز، ترکیب گاز، دمای زیرلایه و هندسه دستگاه‌های رسوب گذاری اشاره کرد.

نمایی از یک سیستم انباشت شیمیایی از بخار، در شکل ۳ دیده می‌شود. اصولاً میزان رسوب گذاری به میزان شارش گاز و دمای زیرلایه بستگی دارد. انتظار می‌رود که رسانندگی لایه‌های تهیه شده با این تکنیک، با افزایش تراکم گاز اکسیژن یا آب، کاهش یابد. معمولاً دمای زیرلایه در محدوده ۳۵۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است. دماهای بالاتر، تبلور بهتری را موجب می‌شوند و همچنین اندازه بزرگ‌تر ذرات را با ایجاد

هدف از آن جدا شده و روی زیرلایه انباشت می‌شوند. البته بایستی اشاره نمود که زیرلایه باید قبلاً گرم شده باشد. تصویر کلی از یک سیستم پالس لیزری در شکل ۲ دیده می‌شود. از این روش علاوه بر اینکه جهت تبخیر می‌شود استفاده کرد، جهت سرد کردن دوباره کریستال و تشکیل لایه‌های روآرایی نیز کاربرد دارد. عمده‌ترین برتری روش فوق در این است که با ترکیب اهداف مختلف در حالت بخار، می‌توان لایه‌های مرکب تولید کرد. از دیگر محاسن قابل توجه برای این روش، گرم کردن کلیه نمونه‌ها است، زیرا محدود به لایه‌های کم عمق می‌شود و باعث پخش ناخالصی درون جامد نمی‌گردد. با توجه به اینکه در نقطه تماس بین پرتو لیزر و هدف معمولاً دمای نسبتاً زیادی ایجاد می‌شود، لذا تقریباً تمام مواد را می‌توان با استفاده از این روش انباشت کرد. از جمله کاربردهای این روش می‌توان به ابررساناهای دمای بالا، گرافیت و مواد الکترواپتیکی اشاره کرد [۱۹-۱۸].



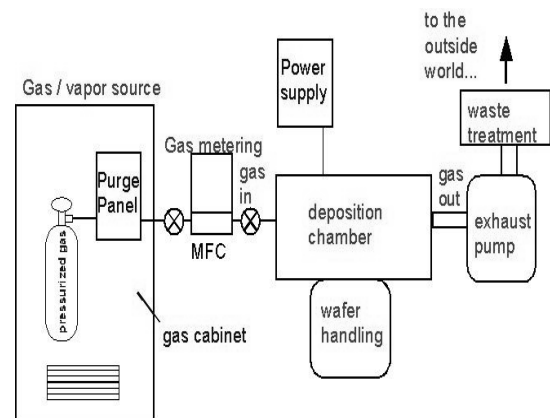
شکل (۲): نمایی کلی از یک سیستم PLD و اجزاء تشکیل دهنده آن

در روش‌های شیمیایی ساخت لایه‌های نازک نیز از برخی خصوصیات و فرآیندهای شیمیایی برای تهیه لایه‌های نازک استفاده می‌شود. روش انباشت شیمیایی

فناوری لایه نازک به عنوان یک فناوری بین رشته‌ای در دنیا مطرح است. در این میان، برخی مواد از جمله اکسید روی، به دلایل مختلفی مانند رسانایی عالی، پایداری از نظر فیزیکی و شیمیایی، ارزان قیمت بودن و دسترسی راحت، یک لایه نازک محبوب است [۲۱-۲۲]. تطبیق‌پذیری و مقرون به صرفه بودن لایه نازک اکسید روی، آن را به ماده‌ای جذاب برای کاربردهای مختلف در صنایع مختلف تبدیل کرده است. از جمله کاربردهای لایه نازک اکسید روی می‌توان به قطعات نیمه‌هادی و پوشش‌ها، سلول‌های خورشیدی، نمایشگرها، حسگرهای زیستی و حسگرهای گازی و لیزرها اشاره نمود. در حالی که لایه نازک اکسید روی دارای کاربردهای سلول خورشیدی است، گالیم مس ایندیم به دلیل کارایی بالاتر و پایداری بیشتر، جایگزین مناسبی در بخش انرژی خورشیدی شده است. به طور کلی، سلول‌های خورشیدی لایه نازک، تولید انرژی پاک و کم هزینه را فراهم می‌کنند و آن‌ها را به یکی از اجزای حیاتی صنعت انرژی جایگزین تبدیل می‌کنند. علاوه بر این، سلول‌های خورشیدی لایه نازک دارای یک لایه جاذب با ضریب جذب بالا هستند که امکان کاهش هزینه و ضخامت مواد را فراهم می‌کند.

در حالی که باتری‌های لیتیوم یون، انرژی اکثر دستگاه‌ها، تجهیزات و وسایل نقلیه مورد استفاده امروزی را تأمین می‌کنند، باتری‌های لایه نازک به عنوان جایگزین بهتری ظاهر شده‌اند. آن‌ها نازک‌تر و سبک‌تر هستند و برای دستگاه‌های فنی که باریک‌تر و باریک‌تر می‌شوند، ایده‌آل هستند. در واقع، باتری‌های لایه نازک اکنون در صنعت پزشکی برای تأمین انرژی دستگاه‌های ایمپلنت استفاده می‌شوند. مقاومت‌های

تحرك‌پذیری بیشتر، تسهیل می‌کنند. در حالت کلی اساس فرآیند بدین ترتیب است که ابتدا یک مخلوط گازی وارد محفظه راکتور می‌شود، در نزدیکی یا روی زیرلایه یک واکنش شیمیایی رخ می‌دهد و در نتیجه آن، ماده جدیدی روی زیرلایه ایجاد می‌شود. از جمله مهم‌ترین مزایای این روش می‌توان به یکنواخت بودن ضخامت لایه انباشته شده، سرعت لایه نشانی نسبتاً بالا، کنترل ساده ترکیب پوشش، مناسب بودن برای ایجاد لایه‌های چند تایی و مختلط، امکان کنترل ابعاد ریز دانه‌ها در لایه اشاره کرد.



شکل (۳): نمایی از یک سیستم انباشت شیمیایی از بخار

کاربرد لایه‌های نازک

اهمیت عمده لایه‌های نازک در صنایع الکترونیک، میکروالکترونیک و صنایع نوری می‌باشد که در سال‌های اخیر با پیشرفت فناوری نانو، رشد قابل ملاحظه‌ای را در اصلاح خواص سطحی مواد داشته است. خواص لایه‌های نازک وابسته به ساختار و مورفولوژی آن‌ها طی فرآیند رشد است. لایه نازک امروزه کاربردهای گسترده‌ای یافته است، از کاربردهای الکترونیکی، انرژی‌های نو و پوشش‌های سخت مقاوم در برابر خوردگی و سایش گرفته تا کاربردهای دکوراسیون و نمای ساختمان‌ها. از این رو امروزه

نصب کرد یا در داخل آن آویزان کرد که به طور قابل توجهی بار ساخت و ساز و کارهای عمومی مربوطه را کاهش می‌دهد. با این حال، پلاستیکی که به عنوان ماده استفاده می‌شود، از این نظر ضعف دارد که وقتی در معرض نور خورشید قرار می‌گیرد، به سرعت خراب می‌شود. اگرچه سلول‌های خورشیدی لایه نازک، آسان‌تر از پانل‌های خورشیدی هستند، اما باید مرتباً تعویض و دفع شوند، که واضح است که برای کشاورزان می‌تواند هزینه‌بر باشد. در سال‌های اخیر، کشورهای توسعه یافته، قوانینی را برای محدود کردن استفاده از پلاستیک‌های تجزیه ناپذیر تصویب و اعمال کرده‌اند. مواد جدید، برای محافظت از محیط زیست و حفظ خاک توسعه داده شده است. با این حال و با وجود تکنولوژی موجود، می‌توان پوشش‌های فتوولتائیک زیست تخریب پذیر را با استفاده از مواد مشتق شده طبیعی تولید کرد. به دلیل نیاز به توسعه محصول، محققان به سراغ ابرپلاستیک‌هایی رفته‌اند که فناوری ساخت لایه‌های نازک با مواد مختلف را برای توسعه مشترک دارد.

در حالی که نوآوری‌های تکنولوژیکی، کاربردها و مشکلات در انرژی خورشیدی گلخانه‌ای و استفاده یکپارچه با استفاده از مواد جدید برای گلخانه‌های کشاورزی فتوولتائیک خورشیدی، از جمله گلخانه‌ها و سقفی که در بالای گلخانه با ماژول‌های پنل خورشیدی در مکان‌های پیوسته یا فاصله دار قرار دارند، همراه است. اگر بتوان از چنین سلول‌های خورشیدی منتسب به خاک استفاده عملی کرد، احتمالاً گزینه قدرتمندی برای دستیابی به بی‌طرفی کربن خواهند بود که به معنای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تقریباً به صفر است. در عین حال، هنگام

لایه نازک، یکی دیگر از کاربردهای محبوب در فناوری مدرن است. کاربردهای آن‌ها، شامل مواردی مانند گیرنده‌های رادیویی، تابلوهای مدار، دستگاه‌های فرکانس رادیویی، روترهای بی‌سیم، ماژول‌های بلوتوث و مانیتورها می‌باشد. به طور خاص، مقاومت‌های مبتنی بر آلیاژ نیکل کروم از کاربرد گسترده‌ای در دستگاه‌های الکترونیکی کوچک‌تر و نازک‌تر برخوردار هستند. پوشش‌های نوری و اپتوالکترونیک‌های مختلف، از لایه‌های نازک نوری استفاده می‌کنند. پوشش‌های موجود در این لایه‌های نازک، مانند پوشش‌های موجود در عدسی‌های مورد استفاده در عینک‌ها، تلسکوپ‌ها و آینه‌ها، بر نحوه انعکاس نور و انتقال نور تأثیر می‌گذارند. این پوشش‌ها می‌توانند ضد انعکاس یا بسیار بازتابنده باشند که می‌توانند نور را منحرف یا فیلتر کنند. علاوه بر کاربردهای گوناگون در زمینه‌های مختلف، لایه‌های نازک نقش بسزایی در مطالعه و توسعه مواد با ویژگی‌های منحصر به فرد و خاص دارند، برای مثال ابرشبکه‌ها که امکان مطالعه پدیده‌های کوانتومی را فراهم می‌آورند. آن‌ها از این جهت بسیار مهم هستند که ویژگی‌ها و واکنش‌های سطح ماده را از توده آن، متفاوت می‌سازند. بعلاوه، آن‌ها دارای طیف وسیعی از خصوصیات هستند که متناسب با خصوصیتشان، کاربردهای گوناگونی دارند. در سال‌های اخیر، از نظر زیست محیطی نیز لایه‌های نازک کاربردهای وسیع و متنوعی داشته‌اند. استفاده از فناوری انرژی خورشیدی در گلخانه‌ها در حال گسترش است و از انرژی تجدید ناپذیر خورشید حداکثر استفاده را می‌کند و در عین حال، کارایی کشت و تولید را تضمین می‌کند. با سلول‌های خورشیدی لایه نازک می‌توان آن‌ها را مستقیماً بر روی سقف گلخانه

صنایع میکروالکترونیک، فروالکترونیک، اپتیک و غیره گشته است. ویژگی‌های فیزیکی لایه‌های نازک عموماً متفاوت از حالت توده‌ای ماده است و با توجه به شرایط لایه‌نشانی و ساختار لایه تشکیل شده، می‌تواند تغییر کند. سرعت لایه‌نشانی، دمای زیرلایه، نوع خلأ، ساختار زیرلایه و تطابق آن با لایه از جمله عوامل تأثیرگذار بر کیفیت لایه نازک می‌باشند.

منابع

- [۱] رازقی زاده، ع.ر.، ۱۳۸۸، فیزیک لایه‌های نازک، دانشگاه پیام نور، تهران.
- [2] Rao, M.C., Shekhawat, M.S., 2013, A brief survey on basic properties of thin films for device application, International Journal of Modern Physics: Conference Series. 22, World Scientific Publishing Company.
- [3] Frey, H., 2015, Applications and Developments of Thin Film Technology, Handbook of Thin-Film Technology, Springer, Berlin.
- [4] Wasa, K., Kitabatake, M., Adachi, H., 2004, Thin Film Materials Technology- Sputtering of Compound Materials, Springer, William Andrew Inc publishing, New York.
- [5] Ohring, M., 2002, The Materials Science of thin Films, Deposition and structure, Academic press.
- [6] Seshan, K., 2001, Handbook of Thin Film Deposition Processes and Techniques-Principles, Methods, Equipment and Applications, William Andrew Publishing, New York.
- [۷] معتمد اکتسابی، ع.، ۱۳۷۴، روش‌های نوین در تکنولوژی ساخت لایه‌ها، انتشارات سازمان انرژی اتمی.
- [۸] میرعباس زاده، ک.، ۱۳۸۱، تکنولوژی ساخت لایه‌های نازک و کاربردهای آن، انتشارات دانشگاه امیر کبیر.
- [9] Elanjitsenni, V.P., Vadivu, K.S., Prasanth, B.M., 2022, A review on thin films, conducting polymers as sensor devices, Mater. Res. Express 9 022001.
- [10] Gao, V., Wang, J., Yuan, H.Li., 2016, Preparation and magnetic properties of

دفع سلول‌های خورشیدی ضایعات، به عنوان مثال، خطرات زیست محیطی برای خاک به طور نسبی کاهش می‌یابد، که برای بقای همه نوع بشر از اهمیت بالایی برخوردار است و شایسته مطالعه و ترویج شدید است.

نتیجه‌گیری

در بررسی ویژگی‌های لایه‌های نازک مشخص است که خواص لایه نسبت به توده ماده رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهد. ویژگی‌های الکتریکی وابسته به نوع عیوب ایجاد شده خواهد بود. در بحث خواص الکتریکی لایه‌های نازک گفته شد که رسانایی الکتریکی لایه با کاهش ضخامت آن، کاهش می‌یابد و در مقابل، میزان مقاومت الکتریکی در لایه‌های نازک‌تر، مقادیر بزرگ‌تری خواهد داشت. با کاهش ضخامت لایه‌های نازک، میزان مغناطیسی شدن آن‌ها نیز کم می‌شود و در مورد ویژگی‌های نوری، با کاهش ضخامت لایه، جذب نور در آن افزایش خواهد داشت. همچنین به علت افزایش میزان سطح به حجم در لایه‌های نازک، تغییر دما و واکنش شیمیایی نسبت به توده ماده با سرعت بیش‌تری انجام خواهد گرفت. پوشش‌ها براساس ضخامت آن‌ها دسته‌بندی می‌شوند که لایه‌های نازک را در محدوده ضخامت بین ۵۰ و ۵۰۰۰ آنگستروم قرار می‌دهند. تولید این لایه‌ها طی چند سال اخیر با پیشرفت فناوری نانو، شمار زیادی از تحقیقات را به خود اختصاص داده است. اهمیت لایه‌های نازک علاوه بر ویژگی‌های پوششی آن‌ها، شامل ویژگی‌های مکانیکی، الکتریکی، اپتیکی نیز می‌باشد که از دو ویژگی اساسی لایه‌های نازک که همان نازک بودن و بزرگی فوق‌العاده نسبت سطح به حجم است، حاصل می‌گردد و باعث پیشرفت در

- [۲۲] آبسالان، ح.، ۱۴۰۰، مطالعه خواص فیلم‌های نازک اکسید روی تهیه شده با روش سل-ژل، فصلنامه کاربرد شیمی در محیط زیست، شماره ۴۷، دوره ۱۲.
- Ni-P-La coating by electroless plating on silicon substrate, *Appl. Surf. Sci.* 364 740.
- [11] Piegari, A., Flory, F., 2018, *Optical Thin Films and Coatings- From Materials and Applications*, Woodhead Publishing.
- [12] Islam, R., Banerjee, H.D., Rao, D.R., 1995, Structural and optical properties of CdSe_xTe_{1-x} thin films grown by electron beam evaporation, *Thin Solid Films* 266 215.
- [13] Gulbinski, W., 2002, *Deposition of Thin Films by Sputtering*, Chemical Physics of Thin Film Deposition Processes for Micro- and Nano-Technologies. NATO Science Series, 55, Springer, 309.
- [14] Moustakas, T.D., 2013, *Molecular Beam Epitaxy: Thin Film Growth and Surface Studies*, Cambridge University Press 29.
- [15] Praseuth, J.P., 1995, Molecular beam epitaxy of AlGaInAs on patterned InP substrates for optoelectronic applications, *Microelectronics Journal* 26 841.
- [16] Wu, B.J., Haugen, G.M., DePuydt, J.M., Kuo, L. H., Salamanca-Riba, L., 1996, Molecular beam epitaxy of low defect density ($\leq 1 \times 10^4 \text{ cm}^{-2}$) ZnSSe on GaAs, *Appl. Phys. Lett.* 68 2828.
- [17] Dieleman, J., Riet, E.V.de., Kools, J.C.S., 1992, *Laser Ablation Deposition: Mechanism and Application*, Japanese Journal of Applied Physics 31 1964.
- [18] Guidoni, A.G., Pettiti, I., Morone, A., Marotta, V., Snels, M., Parisi, G.P., Bentivenga, G., 1993, Laser deposition of thin films of high T_c superconductors: In situ analysis of the transient species formed in the plume and surface diagnostics of the deposited material, *Appl. Surf. Sci.* 69 365.
- [19] Petersen, G.A., McNeil, J.R., 1992, Effects of oxygen partial pressure on lead content of PLZT thin films produced by excimer laser deposition, *Thin Solid Films* 220 87.
- [20] Birnie, D.P., 2013, A Model for Drying Control Cosolvent Selection for Spin-Coating Uniformity: The Thin Film Limit, *Langmuir* 29 9072.
- [21] Ghodsi, F.E., Absalan, H., 2010, Comparative study of ZnO thin films prepared by different sol-gel route, *Act. Phys. Pol. A* 118 659.

“Research article”

Study of the methods of preparing thin films and their applications in environmental issues

Hassan Absalan*

Department of Physics, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran
Email: absalanh@gmail.com

Abstract

In this article, different techniques of preparing of thin films as well as their applications in environmental issues have been studied. the thickness of thin films is usually in the range between 50 and 5000 angstroms. the thickness of thin films is usually in the range between 50 and 5000 angstroms. the methods of preparing thin films are mainly physical and chemical. by reducing the thickness of a thin film, its electrical conductivity decreases and its electrical resistance increases. also, decreasing the thickness of the thin film leads to decreasing its magnetic intensity. on the other hand, due to the increase of ratio of surface area to volume in thin films, the rate of temperature change and chemical reaction increases compared to the bulk mode. among the factors affecting the quality of a thin film, we can mention the structure of the substrate, the speed of layering, the temperature of the substrate and the type of vacuum.

Keywords: Thin films, Techniques of preparing, Properties and applications, The environment



"مقاله مروری"

مروری بر بیماری‌های منتقله از آب: ریسک فاکتورها و شیوه‌های پیشگیری

محمد صفری^۱، احمد اصل هاشمی^۲، غلامحسین صفری^{۳*}

۱. دانشکده پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران

۲. مرکز تحقیقات سلامت و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

۳. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

مرکز تحقیقات سلامت و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

Email: hsafari13@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۰۹ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴)

چکیده

آب برای حیات انسان و سلامتی عمومی ضروری است زیرا تا ۶۰ درصد از بدن انسان بالغ را آب تشکیل می‌دهد. با این حال، بسیاری از جمعیت جهان به آب آشامیدنی کافی و سالم دسترسی ندارند. از طرفی آب آلوده می‌تواند باعث گسترش بیماری و ایجاد مسمومیت شود. شایع‌ترین بیماری‌های منتقله از آب، بیماری‌های اسهالی مانند وبا، حصبه، پاراتیفوئید، سالمونلا، ژیاوردیازیس و کریپتوسپوریوزیس می‌باشند. همچنین خطرات بهداشتی ممکن است ناشی از ترکیبات شیمیایی و رادیواکتیو آب باشد. در واقع، برخی از مواد شیمیایی محلول در آب در نتیجه فرآیندهای طبیعی، ممکن است مواد ضروری برای مصارف خوراکی باشند و برخی ممکن است در غلظت‌های بیش‌تر از حد مجاز مضر باشند. از جمله این ترکیبات می‌توان به انواع فلزات مختلف، مواد آلی سنتتیک و عناصر ضروری از قبیل فلوراید، ید و سلنیوم اشاره کرد. به همین دلیل است که کیفیت آب آشامیدنی یک نگرانی جهانی برای سلامتی به ویژه در کشورهای در حال توسعه است. این مطالعه مروری با هدف مروری بر تحقیقات کنونی و گذشته در زمینه بیماری‌های منتقله از آب و مهم‌تر از همه عوامل مؤثر و ریسک فاکتورهای مرتبط، شیوه‌های پیشگیری و در نهایت شناسایی شکاف‌های بالقوه در مطالعات مربوط به بیماری‌های منتقله از آب انجام شد. بررسی متون نشان داد که آب آشامیدنی ناسالم و عدم دسترسی به امکانات بهسازی و بهداشتی اولیه، از عوامل اصلی شیوع بیماری‌های منتقله توسط آب می‌باشند. بهبود وضعیت آب آشامیدنی، امکانات بهسازی و بهداشتی مناسب به ویژه دفع بهداشتی مدفوع منجر به کاهش بیماری‌های منتقله از آب می‌شود.

کلمات کلیدی: آب؛ آلودگی آب؛ بیماری ناشی از آب؛ بهسازی؛ شیوه‌های پیشگیری

مقدمه

آب برای زندگی انسان و سلامت عمومی مهم است. با این حال، بسیاری از جمعیت جهان به آب آشامیدنی کافی و سالم دسترسی ندارند. در حال حاضر، کمبود آب یک چالش جهانی است که بیش از ۴۰ درصد از کل جمعیت جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱]. علاوه بر این، تخمین زده می‌شود که حدود ۳ میلیارد نفر تا سال ۲۰۲۵ به آب شیرین دسترسی نخواهند داشت و در یک محیط پرتنش آب زندگی خواهند کرد [۲]. در نتیجه، بیماری‌ها و مرگ و میرهای مرتبط با آب همچنان یک بار جهانی در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه است. اگرچه بیش‌تر موارد در کشورهای کم‌تر توسعه یافته گزارش شده است، اما کشورهای توسعه یافته نیز شیوع بیماری‌های منتقله از راه آب را تجربه می‌کنند [۳-۵].

بیماری‌های منتقله از طریق آب عمدتاً ناشی از نوشیدن و مصرف آب آلوده به فضولات انسانی یا حیوانی حاوی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا است. در سطح جهان، بیماری اسهال ناشی از آب در میان بیماری‌هایی که باعث مرگ و میر و عوارض می‌شوند، پیشرو است و سالانه ۱/۸ میلیون نفر را می‌کشد و باعث حدود ۴ میلیارد مورد بیماری می‌شود. همچنین، در کشورهای کم‌تر توسعه یافته، بیماری اسهال ناشی از آب همچنان یکی از علل اصلی مرگ و میر و بیماری در میان کودکان است و ۹۰ درصد از مرگ‌های ناشی از اسهال توسط کودکان زیر پنج سال اتفاق می‌افتد [۲]. بهسازی^۱ نامناسب، آب آشامیدنی سالم ناکافی و

شیوه‌های بهداشتی نامناسب از عوامل عمده در بروز بیماری‌های منتقله از طریق آب هستند [۶-۷]. علاوه بر این، سازمان جهانی بهداشت (WHO^۲) تخمین می‌زند که ۶/۳ درصد از کل مرگ‌های ناشی از دسترسی محدود به آب آشامیدنی سالم است، بهبود امکانات بهسازی و اقدامات بهداشتی و همچنین مدیریت آب انتقال بیماری‌های ناشی از آب را کاهش می‌دهد [۸]. بر این اساس، ۷۸۰ میلیون نفر از کل جمعیت جهان به آب سالم دسترسی ندارند و تخمین زده می‌شود که ۲/۵ میلیارد نفر در کشورهای در حال توسعه بدون دسترسی به بهسازی کافی زندگی می‌کنند [۲].

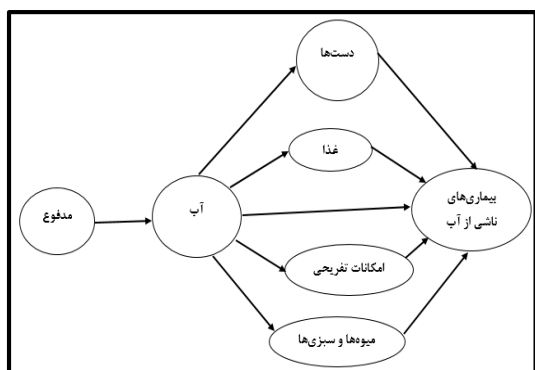
طبق گزارش WHO و مراکز کنترل و پیشگیری از بیماری‌های ایالات متحده (CDC^۳), نزدیک به ۲/۴ میلیارد نفر در جهان به آب سالم و بهداشتی یا امکانات مدیریت مواد زائد دسترسی ندارند این رقم تقریباً ۴۰ درصد از جمعیت زمین را شامل می‌شود. این عدم دسترسی به آب آشامیدنی تمیز ممکن است افراد را در معرض بیماری‌های عفونی متعدد و احتمالاً تهدیدکننده زندگی قرار دهد. علیرغم تلاش‌های جهانی برای بهبود بهداشت، برخی از کشورهای در حال توسعه به دلیل عدم آگاهی از اصول بهداشت فردی و بهسازی محیط یا کمبود منابع مناسب، از اصول بهداشت فردی ایمن و بهسازی مناسب محیط پیروی نمی‌کنند [۹]. WHO تخمین زده است که هر ۸ ثانیه یک کودک در اثر یک بیماری مرتبط با آب جان خود را از دست می‌دهد و هر سال ۵ میلیون نفر به

² World Health Organization

³ Centers for Disease Control and Prevention

¹ Sanitation

بهداشتی و تسهیلات بهسازی مناسب، عدم آگاهی از بهداشت همچنان منجر به شیوع بیماری‌های مرتبط با آب می‌شود. بطوری که در کشور جمهوری کنیا واقع در شرق افریقا، بیماری‌های اسهالی ناشی از آب آشامیدنی همچنان یکی از مشکلات عمده بهداشت عمومی گزارش می‌شود که عمدتاً ناشی از بهسازی نامناسب، اقدامات بهداشتی ضعیف و همچنین کمبود آب آشامیدنی سالم و بهداشتی است [۱۴]. اصلی‌ترین عوامل بیماری‌زای منتقله از طریق آب، ناشی از پاتوژن‌های موجود در مدفوع است که منجر به آلودگی آب می‌شود. بنابراین دفع بهداشتی فضولات انسانی از اهمیت بالایی برخوردار است. بهبود وضعیت بهسازی به ویژه دفع بهداشتی مدفوع را به عنوان مانع و سدی در برابر بیماری‌های منتقله از آب است. در شکل ۱ نحوه انتقال بیماری‌های ناشی از آب نشان داده شده است.



شکل (۱): انتقال بیماری‌های ناشی از آب

از این رو، درک بهتر از وقوع بیماری‌های منتقله از آب می‌تواند به کاهش میزان عوارض و مرگ و میر مربوطه کمک کند. هدف کلی این مطالعه مروری بر تحقیقات کنونی و گذشته در زمینه بیماری‌های منتقله از آب و مهم‌تر از همه عوامل مؤثر در بیماری‌های

دلیل بیماری‌های مرتبط با آب آشامیدنی ناسالم یا بهسازی نامناسب جان خود را از دست می‌دهند. شیوع بیماری‌های مرتبط با آب به دلیل میکروارگانیسم‌های باکتریایی، ویروسی و انگلی مرتبط با مصرف آب آشامیدنی تصفیه نشده یا بطور نامناسب تصفیه شده است [۹-۱۰]. شایع‌ترین بیماری‌های منتقله از آب، بیماری‌های اسهالی مانند وبا، حصبه، پاراتیفوئید، سالمونلا، ژیاوردیازیس و کریپتوسپوریدیوزیس می‌باشند. علاوه بر این، خطرات بهداشتی ممکن است ناشی از ترکیبات شیمیایی و مواد رادیواکتیو آب باشد. در واقع، برخی از مواد شیمیایی محلول در آب در نتیجه فرآیندهای طبیعی، ممکن است مواد ضروری برای مصارف خوراکی باشند و برخی ممکن است در غلظت‌های بیش‌تر از حد مجاز مضر باشند. از جمله این ترکیبات می‌توان به انواع فلزات، مواد آلی سنتتیک و عناصر ضروری از قبیل فلوراید، ید و سلنیوم اشاره کرد. به همین دلیل است که کیفیت آب آشامیدنی یک نگرانی جهانی برای بهداشت سلامتی به ویژه در کشورهای در حال توسعه است [۹]. بنابر این، تامین آب آشامیدنی سالم یکی از چالش‌های اصلی پیش روی اکثر کشورهای کم‌تر توسعه یافته امروزی به ویژه کشورهای قاره افریقا است [۱۱]. در افریقا، تخمین زده می‌شود که تنها ۲۲٪ از جمعیت دارای امکانات بهسازی کافی هستند [۱۲]. همچنین، ۲۸ درصد از جمعیت جنوب صحرای افریقا در فضای باز مدفوع خود را دفع می‌کنند و ۲۳ درصد دیگر از تسهیلات بهسازی نامناسب استفاده می‌کنند که منجر به پیشگیری از تماس انسان با فضولات انسانی نمی‌شود [۱۳]. علاوه بر این، حتی در صورت وجود آب سالم و

منتقله و همچنین شیوه‌های پیشگیری بود. بنابراین، پژوهش حاضر اطلاعات مناسبی در زمینه بیماری‌های منتقله از آب در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، ریسک فاکتورهای مرتبط با بیماری‌های منتقله از آب، شیوه‌های پیشگیری از این بیماری‌ها و در نهایت شناسایی شکاف‌های بالقوه در مطالعات مربوط به بیماری‌های منتقله از آب ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر یک مطالعه توصیفی - مروری است که داده‌های آن از طریق مطالعات کتابخانه‌ای به دست آمده و از منابع مختلف به منظور پردازش مطالب استفاده شده است. با توجه به اهمیت موضوع بیماری‌های منتقله از آب، سعی گردید تا حد امکان از مرتبط ترین و به روزترین منابع حاوی نکات ارزنده در رابطه با بیماری‌های منتقله از آب استفاده شود. در این مطالعه مروری ابتدا بحران آب و بهسازی در جهان. سپس طبقه‌بندی بیماری‌های منتقله از آب مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه عوامل موثر، ریسک فاکتورهای مهم و تاثیر تغییرات آب و هوایی بر بیماری‌های منتقله از آب و در نهایت شیوه‌های پیشگیری از بیمارهای مرتبط با آب مورد مطالعه قرار گرفت.

بحران جهانی آب و بهسازی

هر روز صدها میلیون نفر تحت تاثیر بحران جهانی آب و خدمات بهسازی قرار می‌گیرند. آب آشامیدنی ناسالم و عدم دسترسی به امکانات بهسازی و بهداشتی اولیه، از عوامل اصلی فقر شدید هستند. کرامت و توان انسانی زیر بار یک ظرف پر از آب آلوده سرکوب می‌شود و بدون آب آشامیدنی سالم و امکانات بهداشتی، فقر به نسل بعدی منتقل می‌شود. دولت‌ها، شرکت‌ها،

سازمان‌های غیرانتفاعی و جوامع محلی در ۲۰ سال گذشته گام‌های بلندی برای در راستای پایان دادن به چنین بحران‌هایی برداشته‌اند. با تلاش‌های آن‌ها، تعداد افرادی که از برکه‌ها، رودخانه‌ها، باتلاق‌ها و چشمه‌های آلوده آب مصرف می‌کنند، از تقریباً ۱۶/۵ درصد جمعیت جهان به تنها ۸ درصد کاهش یافته است که تقریباً ۵۰۰ میلیون نفر را تحت تاثیر قرار داده است [۱۵]. طبق تعریف سازمان جهانی بهداشت، بهسازی به دفع بهداشتی مواد زائد جامد و فاضلاب- های انسانی و ارائه خدمات و امکانات کافی برای مدیریت آن‌ها اطلاق می‌شود. همچنین بهسازی شامل اجتناب از تماس انسان با مدفوع و شستن دست‌ها با آب و صابون است [۱۶].

- بیش از ۵۷۹ میلیون آب آشامیدنی آلوده مصرف می‌کنند و ۸۴۱ میلیون نفر بدون دسترسی اولیه به آب آشامیدنی هستند. بیش از ۵۷۹ میلیون نفر در سراسر جهان از چاه‌های دستی حفر شده، برکه‌ها، مرداب‌ها، رودخانه‌ها و چشمه‌ها آب ناسالم و غیر بهداشتی مصرف می‌کنند [۱۵]. مصرف آب آلوده باعث بیماری و حتی مرگ به خصوص در بین کودکان می‌شود. اکثریت افرادی که آب ناسالم مصرف می‌کنند، تقریباً ۸۱ درصد، در مناطق روستایی و محروم جهان زندگی می‌کنند. علاوه بر این، ۲۶۲ میلیون نفر در حال مصرف چیزی هستند که به عنوان آب سالم طبقه بندی شده است، اما برای دسترسی به آن بیش از ۳۰ دقیقه سفر می‌کنند. سازمان جهانی بهداشت (WHO) این دسترسی را «محدود» می‌نامد و اغلب کودکان و خانواده‌هایشان را از رشد در جوامعشان باز می‌دارد

[۱۷]. کمیت آب خانگی و سطوح خدمات و بهداشت در جدول ۲ ارائه شده است.

- یک سوم جمعیت انسانی بدون تسهیلات بهسازی کافی هستند. تقریباً یک سوم از جهان، یا ۲/۳ میلیارد نفر، به امکانات بهسازی اولیه دسترسی ندارند، به این معنی که آن‌ها در زمین‌های باز، جنگل‌ها یا در سازه‌هایی که استانداردهای بهداشتی اولیه را رعایت نمی‌کنند، مدفوع خود را دفع می‌کنند. از این ۲/۳ میلیارد نفر، ۸۹۰ میلیون در فضای باز مدفوع خود را دفع می‌کنند که یکی از رایج‌ترین نشانه‌های فقر شدید و خطر جدی سلامتی برای خانواده‌ها، به‌ویژه خانوارهای دارای کودکان خردسال می‌باشد [۱۷].

- به ازای هر ۱۰۰۰ کودک متولد شده، ۳۱ کودک قبل از رسیدن به سن ۵ سالگی می‌میرند. پیشگیری از مرگ کودکان شاید فوری‌ترین و متحدترین مأموریت جهان باشد. بر اساس تخمین‌های انجام شده توسط گروه بین‌سازمانی سازمان ملل متحد زمینه برآورد مرگ و میر کودکان (UN IGM^E) در سال ۲۰۱۸، از هر ۱۰۰۰ کودک متولد شده در جهان، ۳۹ کودک قبل از رسیدن به پنج سالگی می‌میرند [۱۸]. بیش‌تر مرگ و میرهای زیر پنج سال ناشی از بیماری‌های قابل پیشگیری مانند مالاریا، اسهال و ذات‌الریه است. آب آلوده و امکانات بهسازی و بهداشتی نامناسب منجر به بروز مکرر بیماری‌های اسهالی می‌شود که به سوء تغذیه کمک می‌کند، سیستم ایمنی را ضعیف می‌کند و احتمال ابتلا به سایر بیماری‌ها را افزایش می‌دهد. در مناطقی مانند جنوب صحرائی آفریقا که بحران آب و بهسازی تشدید شده است، از هر ۱۰۰۰ کودک متولد شده ۷۵/۵ نفر

قبل از رسیدن به پنجمین سالگرد تولد یعنی تقریباً یک نفر از هر ۱۳ کودک می‌میرند [۱۷].

- سالانه حدود ۸۲۹۰۰۰ نفر در کشورهای با درآمد کم و متوسط به دلیل آب ناکافی، بهسازی و بهداشت نامناسب جان خود را از دست می‌دهند که ۶۰ درصد از کل مرگ و میرهای ناشی از اسهال را تشکیل می‌دهد. اعتقاد بر این است که بهسازی نامناسب علت اصلی در حدود ۴۳۲۰۰۰ مورد از این مرگ و میرها بوده و عامل اصلی در چندین بیماری استوایی نادیده گرفته شده از جمله کرم‌های روده‌ای، شیستوزومیازیس و تراخم است. همچنین بهسازی نامناسب به سوء تغذیه نیز کمک می‌کند.

- در سال ۲۰۲۰، ۵۴ درصد از جمعیت جهان (۴/۲ میلیارد نفر) از خدمات بهسازی با مدیریت ایمن استفاده می‌کردند. ۳۴٪ (۲/۶ میلیارد نفر) از تأسیسات بهسازی خصوصی متصل به شبکه فاضلاب برای تصفیه فاضلاب استفاده می‌کردند. ۲۰٪ (۱/۶ میلیارد نفر) مدفوع خود را با استفاده از توالت یا مستراح بصورت بهداشتی و ایمن در محل دفع می‌کردند. و ۷۸٪ از جمعیت جهان (۶/۱ میلیارد نفر) حداقل از یک نوع خدمات بهسازی اولیه^۵ (استفاده از امکانات بهسازی بهتر بصورت خصوصی و بدون اشتراک با سایر خانوارها) استفاده می‌کنند. با این حال، بیش از ۱/۷ میلیارد نفر هنوز از خدمات بهسازی اولیه مانند توالت یا توالت خصوصی برخوردار نیستند. از این تعداد، ۴۹۴ میلیون هنوز در فضای باز، به عنوان مثال در جوی‌های کنار خیابان، پشت بوته‌ها یا داخل آب‌های باز و روان مدفوع خود را دفع می‌کنند [۱۹].

⁵ Basic sanitation

⁴ United National Inter-agency Group for Child Mortality Estimation

به کمبود آب یا آلودگی آب در طول رویدادهای نامطلوب آب و هوایی، مانند سیل و خشکسالی است. علاوه بر این برخی از بیماری‌های منتقله مربوط به ناقلین هستند که بخشی از چرخه زندگی خود را در زیستگاه‌های آبی سپری می‌کنند [۲۰]. بیماری‌های منتقله از آب، بیماری‌هایی هستند که از مواجهه مستقیم با آب آشامیدنی یا مواجهه غیر مستقیم پوست با آب آلوده ناشی می‌شوند. عمده‌ترین بیماری‌های منتقله از طریق آب، بیماری‌های واگیردار هستند. سازمان جهانی بهداشت آن‌ها را بر حسب طبیعت و نوع بیماری‌زایی تقسیم بندی نموده است. اساساً بیماری‌های مرتبط با آب به شش دسته اصلی طبقه بندی می‌شوند [۲، ۹، ۲۱].

- ۱) بیماری‌های ناشی از مصرف مستقیم آب^۶
- ۲) بیماری‌های ناشی از عدم دسترسی کافی به آب^۷
- ۳) بیماری‌های مبتنی بر آب^۸ که آب محیط مناسب برای رشد و نمو میزبان واسط آن‌ها است.
- ۴) بیماری‌های ناشی از حشرات ناقل^۹ که آب محیط پرورش برای ناقلین آن‌ها است.
- ۵) بیماری‌های ناشی از عفونت‌های منتشره بوسیله آب در محیط^{۱۰}.
- ۶) بیماری‌های ناشی از مواد شیمیایی محلول آب آشامیدنی^{۱۱}

چهار گروه بیماری‌های ذکر شده عمدتاً از مشکلات کشورهای در حال توسعه می‌باشند. بعضی از این

در سال ۲۰۲۰، ۴۵ درصد از فاضلاب خانگی تولید شده در سطح جهان بدون تصفیه ایمن دفع شده است. تصور می‌شود که حداقل ۱۰ درصد از جمعیت جهان از مواد غذایی آبیاری شده توسط فاضلاب استفاده می‌کنند. بهسازی نامناسب به دلیل تأثیراتی مانند اضطراب، خطر تجاوز جنسی و فرصت‌های از دست رفته برای تحصیل و کار، رفاه انسان، توسعه اجتماعی و اقتصادی را کاهش می‌دهد. بهسازی نامناسب با انتقال بیماری‌های اسهالی مانند وبا و اسهال خونی و همچنین حصبه، عفونت کرم روده و فلج اطفال مرتبط است که منجر به تشدید کوتاهی قد می‌شود و به گسترش مقاومت ضد میکروبی کمک می‌کند [۱۹].

- بیماری‌های اسهالی یک قاتل اصلی هستند اما تا حد زیادی قابل پیشگیری هستند. آب سالم، خدمات بهسازی و بهداشتی مناسب می‌تواند از مرگ ۲۹۷۰۰۰ کودک زیر ۵ سال در سال جلوگیری کند. دفع مدفوع در فضای باز، چرخه معیوب بیماری و فقر را تداوم می‌بخشد. در کشورهایی که دفع غیر بهداشتی مدفوع در فضای باز شیوع بیشتری دارد، بیش‌ترین تعداد مرگ و میر کودکان زیر ۵ سال و همچنین بالاترین سطح سوء تغذیه و فقر و نابرابری‌های بزرگ را دارند [۱۹].

طبقه‌بندی بیماری‌های مرتبط با آب

بیماری‌های منتقله توسط آب به دلیل عوامل بیماری‌زا مرتبط با آب هستند. همچنین این بیماری‌ها مربوط

⁶ Waterborne diseases

⁷ Water-washed diseases

⁸ Water-based diseases

⁹ Insect vector diseases.

¹⁰ Water dispersed infections

¹¹ Waterborne chemical diseases

بیماری‌ها ممکن است در کشورهای توسعه یافته نیز از طریق افراد ناقل بیماری که از نقاط آلوده مسافرت یا مهاجرت می‌نمایند منتقل گردند. اما گروه پنجم بیماری‌ها بیش‌تر خاص کشورهای توسعه یافته می‌باشد. بیماری‌هایی که از طریق نوشیدن آب آلوده یا

غذا وارد بدن می‌شوند بیش‌ترین اهمیت را از نظر بهداشتی در سطح جهان دارند. پاتوژن‌های منتقله از آب و اهمیت آن‌ها در منابع آبی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول (۱): خلاصه‌ای از دسترسی به آب، کفایت و سطح نگرانی بهداشتی [۲۰]

سطح دسترسی و حجم آب مورد استفاده در خانه	دسترسی به منبع آب	کفایت نیازهای بهداشتی	سطح نگرانی بهداشتی
دسترسی ناکافی (کمتر از ۵/۳ لیتر به ازای هر نفر در روز)	بیش از ۱۰۰۰ متر مسافت یا کل زمان جمع آوری ۳۰ دقیقه	نوشیدن: قابل تضمین نیست پخت و پز: قابل تضمین نیست بهداشت: بهداشت مواد غذایی، شستن دست‌ها و صورت به خطر می‌افتد؛ سایر فعالیت‌های بهداشتی باید دور از خانه انجام شود	خیلی بالا
دسترسی اولیه (مقدار متوسط بعید است بیشتر از ۲۰ لیتر به ازای هر نفر در روز باشد)	۱۰۰-۱۰۰۰ متر مسافت یا کل زمان جمع آوری ۵-۳۰ دقیقه	نوشیدن: باید تضمین شود پخت و پز: باید تضمین شود بهداشت: بهداشت مواد غذایی، شستن دست‌ها و شستشوی صورت ممکن است تضمین شود. استحمام و شستشوی لباس را نمی‌توان در خانه تضمین کرد، اما ممکن است در منبع آب انجام شود.	بالا
دسترسی میانی (مقدار متوسط حدود ۵۰ لیتر به ازای هر نفر در روز)	تامین آب از طریق یک شیر آب در زمین، یا در ۱۰۰ متری یا کل زمان جمع آوری ۵ دقیقه	نوشیدن: تضمین شده پخت و پز: تضمین شده بهداشت - تمام نیازهای بهداشت مواد غذایی، شستشوی دست و صورت در شرایط بدون شیوع تضمین شده است؛ افزایش بهداشت در هنگام شیوع بیماری‌های عفونی تضمین شده نیست، استحمام و شستن لباس در خانه نیز باید تضمین شود.	متوسط
دسترسی بهینه (مقدار متوسط بیش از ۱۰۰ لیتر به ازای هر نفر در روز)	تامین آب از طریق شیرهای متعدد در داخل خانه	نوشیدن: همه نیازها برآورده شده است پخت و پز: همه نیازها باید برآورده شوند بهداشت: تمام نیازهای بهداشت مواد غذایی، شستن دست‌ها و صورت از جمله استحمام، لباسشویی در خانه و نظافت خانه باید برآورده شود.	پایین

بیماری‌های ناشی از مصرف مستقیم آب

به بیماری‌هایی گفته می‌شود که بطور مستقیم از طریق مصرف آب آلوده به فضولات انسانی یا حیوانی منتقل می‌شوند. استفاده از آب آشامیدنی آلوده در تهیه غذا می‌تواند منجر به همان میکروارگانیسم‌ها با منشا بیماری‌های منتقله از غذا باشد. بیش‌تر بیماری‌های منتقله از طریق آب با اسهال مشخص می‌شوند که که

اغلب منجر به کم‌آبی بدن و احتمالاً مرگ می‌شود. طبق گزارش صندوق کودکان سازمان ملل متحد، یونیسف (UNICEF^{۱۳})، تقریباً ۴ میلیارد مورد اسهال گزارش شده در هر سال باعث حداقل ۱/۸ میلیون مرگ می‌شود که ۹۰٪ موارد را کودکان زیر پنج سال تشکیل می‌دهند.

جدول (۲): پاتوژن‌های منتقله از آب و اهمیت آن‌ها در منابع آبی [۲۲]

عوامل بیماری‌زا (پاتوژن‌ها)				
اهمیت بهداشتی پایداری در منابع آبی پایداری نسبت به کلر عفونت نسبی منبع حیوانی مهم				
بلا	متوسط	پایین	متوسط	کمپیلوباکتر ژرونی، کمپیلوباکتر کولی
بلا	پایین	پایین	متوسط	اشرشیاکلی پاتوزنیک
بلا	بلا	پایین	متوسط	اشرشیاکلی انتروهومورازیک
بلا	متوسط	پایین	قابل‌تکثیر	گونه‌های لژیونلا
بلا	پایین	پایین	متوسط	سالمونلا تیفی
بلا	پایین	پایین	احتمال‌تکثیر	گونه‌های دیگر سالمونلا
بلا	متوسط	پایین	کوتاه	گونه‌های شیگلا
بلا	پایین	پایین	کوتاه	ویبریو کلرا
بلا	پایین	پایین	طولانی	یرسینا انتروکولیتیکا
بلا	بلا	متوسط	طولانی	ویروس‌ها
بلا	بلا	متوسط	طولانی	ادنوویروس‌ها
بلا	بلا	متوسط	طولانی	انتروویروس‌ها
بلا	بلا	متوسط	طولانی	هپاتیت A
بلا	بلا	متوسط	طولانی	هپاتیت E
بلا	بلا	متوسط	طولانی	نروویروس‌ها و ساپوویروس‌ها
بلا	بلا	متوسط	طولانی	روتاویروس‌ها
بلا	بلا	بلا	طولانی	پروتوزوئرها
بلا	بلا	بلا	طولانی	کریپتوسپوریدیوم پارووم
بلا	بلا	بلا	متوسط	اتامبا هیستولیتیکا
بلا	بلا	بلا	متوسط	ژیاردیا اینتستینالیس (لامبلیا)
بلا	بلا	بلا	بلا	کرم‌ها
بلا	بلا	متوسط	متوسط	دراکونکولوس مدینسیس (پیوک)
بلا	بلا	متوسط	کوتاه	گونه‌های شیسستوزوما

شوند. برخی از ارگانسیم‌هایی شاخص در شیوع بیماری‌های منتقله از راه آب در جدول ۳ ارائه شده است و عبارتند از: وبا، اسهال خونی آمیبی، اسهال خونی باسیلی، کریپتوسپوریدیوز، تیفوئید، ژiardیازیس، اراتیفوئید، بالانتیدازیس، سالمونلوزیس، کمپیلوباکتر انتریدیس، اسهال ناشی از روتا ویروس‌ها، اسهال ناشی از اشرشیاکلی، هپاتیت A، لپتوسپیروز و فلج اطفال [۲۳-۲۴].

بیماری‌های ناشی از عدم دسترسی کافی به آب

بیماری‌های آن‌اشی از عدم دسترسی کافی به آب، بیماری‌هایی هستند که در شرایط کمبود آب شیرین و بهسازی ضعیف رشد می‌کنند. کنترل بیماری‌های آب این گروه بیش‌تر به کمیت آب بستگی دارد تا کیفیت.

این مرگ و میرها تقریباً ۴ درصد از کل مرگ و میرها را و ۱۸ درصد از مرگ و میر کودکان زیر پنج سال در کشورهای در حال توسعه تشکیل می‌دهند، بیماری اسهالی حدود ۴/۱ درصد از کل بار روزانه جهانی بیماری را تشکیل می‌دهد و مسئول مرگ ۱/۸ میلیون نفر در سال است که بیش‌تر بر روی کودکان زیر ۵ سال در کشورهای در حال توسعه متمرکز است [۲۳]. اکثر بیماری‌های منتقله از طریق آب اغلب از طریق مسیر مدفوعی-دهانی^{۱۴} منتقل می‌شوند و معمولاً به دلیل مصرف آب یا غذای آلوده به مدفوع انسانی اتفاق می‌افتند که عمدتاً ناشی از مدیریت نامناسب فاضلاب و بهسازی نامناسب است. بیماری‌های منتقله از طریق آب می‌توانند توسط تک-یاخته‌ها، ویروس‌ها، باکتری‌ها و انگل‌های روده‌ای ایجاد

جدول (۳): طبقه‌بندی بیماری‌های مرتبط با آب [۲، ۹، ۲۱].

طبقه بیماری	مسیر مواجهه	بیماری‌های منتقله
بیماری‌های ناشی از مصرف مستقیم آب	مصرف مستقیم آب آلوده	وبا، اسهال خونی آمیبی، اسهال خونی باسیلی (شیگلوز)، کریپتوسپوریدیوز، تیفوئید، ژiardیازیس، پاراتیفوئید، بالانتیداز، سالمونلوز، کمپیلوباکتر انتریدیس، اسهال ناشی از روتاویروس‌ها، اسهال ناشی از E.Coli، هپاتیت A، لپتوسپیروز و فلج اطفال
بیماری‌های ناشی از عدم دسترسی کافی به آب	عدم وجود آب سالم و بهداشتی برای شستشو.	گال، تیفوس، یاز، تب راجه، زرد زخم، تراخم، ورم ملتحمه و زخم‌های پوستی.
بیماری‌های مبتنی بر آب	ارگانسیم‌های میزبان که به انگل‌های انسانی تبدیل می‌شوند.	شیستوزومیازیس، دراکونکولیاژیس (پیوک)
بیماری‌های ناشی از حشرات ناقل	ارگانسیم‌هایی که برای تولید مثل به آب نیاز دارند.	بیماری‌های منتقله از طریق پشه شامل مالاریا، تب زرد، تب دانگی، فیلاریازیس؛ بیماری‌های ناشی از مگس شامل انکوسرسیازیس (کوری رودخانه)، تریپانوزومیازیس (بیماری خواب آفریقای غربی)، لیشمانیوز (کالآزار) و لوایز (فیلارزیازیس لنفوی)
بیماری‌های ناشی از غفون‌های منتشره	از طریق تنفسی	لژیونلوزیس
بیماری‌های ناشی از مواد شیمیایی	مصرف مستقیم آب آشامیدنی	آرسنیکوزیس، پوسیدگی دندان، فلونوروزیس دندان و اسکلتی، گواتر، متهموگلوبینی

¹⁴ Fecal-Oral

و کسانی که سوء تغذیه دارند، می‌تواند باعث کم خونی، کمبود پروتئین و تاخیر در رشد نیز شود. بهبود بهسازی به ویژه دفع بهداشتی مدفوع و رعایت بهداشت فردی می‌تواند بروز این بیماری‌ها را کاهش دهد. همچنین، کرم زدایی انبوه کودکان نیز به عنوان یک اقدام کنترل موثر شناخته شده است. این بیماری‌ها را می‌توان بیماری‌های ناشی از عدم دسترسی کافی به آب نیز در نظر گرفت که شستشو و بهبود بهداشت فردی نقش مهمی در جلوگیری از انتقال بیماری‌های فوق دارد [۲۵].

عفونت‌های حاد تنفسی

عفونت‌های حاد تنفسی از جمله ذات‌الریه مسئول تقریباً ۱۹٪ از کل مرگ و میر کودکان در هر سال است. شواهد نشان می‌دهد که اقدامات بهداشتی خوب، به ویژه شستن دست‌ها با صابون، می‌تواند به طور قابل توجهی انتقال ARI را کاهش دهد. با توجه به ارتباط بین ARI و بهداشت، اکنون می‌توان آن را یک بیماری ناشی از عدم دسترسی کافی به آب در نظر گرفت [۲۵-۲۸].

بیماری‌های پوست و چشم

صندوق کودکان سازمان ملل متحد (۲۰۰۸) معتقد است که تراخم، عامل اصلی نابینایی در جهان، قابل پیشگیری است. حدود ۶ میلیون نفر به دلیل تراخم نابینا هستند و بیش از ۱۰ درصد از جمعیت جهان در معرض خطر هستند. در سطح جهانی، این بیماری هر

برخی از نمونه‌های بیماری‌های این گروه در جدول ۳ عبارتند از: گال، تیفوس، یاز، تب راجعه، زرد زخم، تراخم و زخم‌های پوستی. شستشو و بهبود بهداشت فردی نقش مهمی در جلوگیری از انتقال بیماری ناشی از عدم دسترسی کافی به آب دارد [۲۳]. کرم‌های منتقله از خاک^{۱۵}، عفونت‌های حاد تنفسی^(۱۶) (ARI)، بیماری‌های پوست و چشم، و بیماری‌های ناشی از کک، شپش و کنه را نیز می‌توان در این طبقه قرار داد. در همه موارد فوق، شستشو و بهبود بهداشت فردی نقش مهمی در جلوگیری از انتقال بیماری دارد [۲۵].

کرم‌های منتقله از خاک

کرم‌های منتقله از خاک، کرم‌های روده‌ای (نماتدها) هستند که عمدتاً به دلیل بهسازی ضعیف به ویژه دفع غیر بهداشتی مدفوع، از طریق تماس با خاک آلوده منتقل می‌شوند. شایع‌ترین کرم‌ها عبارتند از: آسکاریس^{۱۷}، کرم قلابدار^{۱۸} و کرم شلاق^{۱۹}. کرم‌های خاکی^{۲۰} در حال حاضر حدود یک چهارم تا یک سوم جمعیت جهان را آلوده می‌کنند. بیش از ۱۳۰ میلیون کودک از عفونت‌های کرم‌های خاکی با شدت بالا رنج می‌برند. کرم‌ها سالانه باعث مرگ ۱۲۰۰۰ نفر می‌شوند. کرم قلابدار در اثر تماس با خاک آلوده که دارای توده عظیمی از مدفوع انسان است، انتقال می‌یابد. لارو کرم قلابدار به پوست انسان نفوذ می‌کند تا به روده کوچک برسد و در آنجا تکثیر شده و تعداد آن افزایش می‌یابد. این بیماری باعث خارش، بثورات، اسهال و گرفتگی عضلات می‌شود. با این حال، برای کودکان، زنان باردار

²⁰ Geohelminths

¹⁵ Soil-Transmitted Helminths

¹⁶ Acute respiratory infections

¹⁷ *Ascaris lumbricoides*

¹⁸ *Ancylostoma duodenale* and *Necator americanus*

¹⁹ *Trichuris trichiura*

بلعیده شده در ماهی) (جدول ۳). با اجتناب از تماس با آب آلوده یا استفاده از لباس‌های محافظ یا کرم‌های مانع می‌توان از این بیماری‌ها پیشگیری کرد [۲۵].

بیماری‌های ناشی از حشرات ناقل

بیماری‌های ناشی از حشرات ناقل، بیماری‌هایی هستند که ارتباط مستقیمی با آب آشامیدنی ندارند. این گروه شامل بیماری‌هایی است که آب، محیط مناسبی برای رشد و نمو ناقلین آنها است. بیماری‌هایی که توسط حشرات ناقل مانند پشه و مگس ایجاد می‌شوند که برای تولید مثل به آب نیاز دارند [۲۳]. انسان‌ها با گزش توسط این حشرات ناقل آلوده می‌شوند. پشه‌ها در آب تولید مثل و تکثیر می‌نمایند. پشه بالغ می‌تواند بیماری‌های از قبیل فیلاریازیس، مالاریا، تب زرد و بیماری ورم مغزی را به انسان منتقل نماید. پشه ناقل بیماری مالاریا آب‌های نسبتاً تمیز را دوست دارد در حالی که پشه ناقل بیماری کوری رودخانه در آب‌های جاری تکثیر پیدا می‌کند. مگس ناقل کرم چشم به گودال‌های دارای آب گل آلود تمایل دارد اما مگس تسه‌تسه ناقل بیماری خواب افریقایی گرچه روی زمین زاد و ولد می‌کند، اما در نزدیکی آب‌ها انسان را نیش می‌زند. از این رو، در نظر گرفتن کنترل ناقلین در طول طراحی، ساخت و بهره‌برداری از مخازن و کانال‌های آب سطحی می‌تواند پتانسیل انتقال بیماری‌های مرتبط با آب را کاهش دهد شیوع بیماری‌های مرتبط با آب در مناطق گرمسیری آفریقا به دلیل مدیریت محیطی و بهسازی ضعیف، بالا است. زهکشی‌ها اغلب غرقابی هستند، از این رو محل‌های تکثیر این حشرات ناقل را تشکیل می‌دهند. مالاریا یکی از بیماری‌های بومی

سال منجر به کاهش بهره‌وری ۲/۹ میلیارد دلاری می‌شود. در ایالات متحده، تراخم توسط باکتری کلامیدیا تراکوماتیس^{۲۱} ایجاد می‌شود که چشم را ملتهب می‌کند. مگس‌ها در انتقال تراخم نقش دارند و اغلب از ترشحات چشم‌های آلوده تغذیه می‌کنند. بهترین روش کنترل تراخم و ورم ملتحمه، دسترسی بهتر به آب برای شستشوی صورت است. کرم حلقوی^{۲۲} (تینه‌آ) نیز بیماری ناشی از شستشوی آب است که در بین کودکان در سن مدرسه و سالمندان شایع است. این بیماری عفونی پوست، پوست سر و بافت‌های کراتینه شده را درگیر می‌کند و توسط قارچ ایجاد می‌شود [۲۵].

بیماری‌های مبتنی بر آب

بیماری‌های مبتنی بر آب که آب محیط مناسب برای رشد و نمو میزبان واسط آنها است، عفونت‌هایی هستند که در اثر انتشار ارگانیزم‌هایی ایجاد می‌شوند که در آب رشد می‌کنند و به انگل انسان تبدیل می‌شوند. بیماری‌های مبتنی بر آب نیز عفونت‌های ناشی از پاتوژن‌های انگلی موجود در موجودات میزبان آبی هستند [۲۳]. این ارگانیزم‌های میزبان عمدتاً شامل حلزون، ماهی یا سایر جانوران آبی می‌شود. انسان معمولاً با خوردن اشکال عفونی یا از طریق نفوذ به پوست آلوده می‌شود. نمونه‌هایی از بیماری‌های مبتنی بر آب عبارتند از شیستوزومیازیس (سرکریاهایی که از حلزون رها می‌شوند، در پوست نفوذ می‌کنند)، دراکونکولیازیس یا پیوک (لاروهای بلعیده شده در سخت پوستان)، پاراگونیمیازیس (متاسرکریاهای بلعیده شده در خرچنگ یا خرچنگ خاردار) و کلونورکیازیس یا فلوک کبدی چینی (متاسرکریاهای

²¹ Chlamydia trachomatis

²² Ringworm

مواد شیمیایی و ترکیبات تشکیل دهنده آب آشامیدنی توسط UNEP (برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد) GEMS (سیستم جهانی نظارت بر محیط زیست) به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند که عبارتند از [۲۹]:

(۱) موادی (فلزات مختلف، نیتрат‌ها، سیانیدها) که باعث ایجاد یک سمیت حاد و یا مزمن هنگام مصرف می‌شوند. با افزایش غلظت این مواد در آب آشامیدنی، شدت مشکل سلامتی نیز افزایش می‌یابد. با این حال زیر یک غلظت آستانه مشخص، هیچ اثرات سلامت قابل مشاهده‌ای وجود ندارد.

(۲) مواد ژنوتوکسیک (مواد آلی سنتتیک، بسیاری از مواد آلی کلرینه شده، برخی از آفت‌کش‌ها و آرسنیک) که باعث اثرات نامطلوب سلامتی مانند سرطان‌زایی، جهش‌زایی و نقایص مادرزادی می‌شوند. هیچ سطح آستانه‌ای برای این مواد وجود ندارد که ایمن در نظر گرفته شود، زیرا مصرف هر میزانی از این مواد به افزایش ریسک کمک می‌کند.

(۳) عناصر ضروری (فلوراید، ید، سلنیوم) که بخش اجباری رژیم غذایی برای حفظ سلامت انسان هستند. کمبود یا غلظت بالای این عناصر باعث انواع اثرات نامطلوب سلامتی می‌شود [۹]. برخی از مواد شیمیایی موجود در آب با توجه به تأثیر آن‌ها بر سلامتی انسان از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند که عبارتند از: آرسنیک، فلوراید، ید و نیترات

آرسنیک: به طور طبیعی در تمام سنگ معدن سرب، مس و طلا وجود دارد. چندین منطقه جغرافیایی در آسیا، آمریکای شمالی و آمریکای لاتین تحت تأثیر شرایط بهداشتی مرتبط با آرسنیک از جمله اثرات

مرتبط با آب است که حدود ۲۱۲ میلیون مورد مالاریا در جهان گزارش شده است. بیش‌تر موارد گزارش شده در سال ۲۰۱۵ متعلق به منطقه آفریقا (۹۰٪) و پس از آن منطقه جنوب شرق آسیا (۷٪) و منطقه مدیترانه شرقی (۲٪) است. بیماری‌های ناشی از حشرات ناقل در جدول ۳ ارئه شده است [۲-۲۵].

بیماری‌های ناشی از عفونت‌های منتشره بوسیله آب در محیط

عفونت‌های منتشره توسط آب پنجمین دسته از بیماری‌های مرتبط با آب هستند که در کشورهای توسعه یافته در حال ظهور هستند. عفونت‌هایی که عوامل بیماری‌زا می‌توانند در آب شیرین تکثیر شده و از طریق دستگاه تنفسی وارد آن‌ها شوند. آمیب‌هایی که در آب شیرین زندگی می‌کنند غالباً بیماری‌زا نیستند ولی چنانچه در آب گرم قرارگیرند و به صورت انبوه وارد بدن انسان شوند، می‌توانند در امتداد مجاری بویایی از طریق تنفسی بدن را مورد حمله قرار داده و موجب مننژیت کشنده می‌گردند. باکتری لژیونلا می‌تواند به همراه آئروسول‌های آب بخصوص در سالن‌هایی که دارای سیستم پیچیده تهویه هستند، در هوا پخش شده و تعدادی از افراد را از راه دستگاه تنفسی آلوده سازند. در این گروه عامل بیماری از طریق دستگاه تنفس می‌تواند وارد بدن انسان گردد. بارزترین بیماری این گروه در آب لژیونلوزیس (تب پونتیاک) است که توسط لژیونلا ایجاد می‌شود و منجر به ذات‌الریه می‌شود [۹].

بیماری‌های ناشی از مواد شیمیایی محلول آب آشامیدنی

شود. نیترات‌ها به نیتريت احيا می‌شوند و با جذب هموگلوبین با هموگلوبین ترکیب می‌شوند و متهموگلوبین را تشکیل می‌دهند که قادر به اتصال با اکسیژن نیست و بنابراین آن را از ریه‌ها به بافت‌ها منتقل می‌کند. غلظت‌های بالای نیترات در آب آشامیدنی منجر به بیماری متهموگلوبینمی در نوزادان شیرخشک خوار می‌گردد [۹].

عوامل موثر در بیماری‌های منتقله از آب

شیوع بیماری‌های منتقله از طریق آب در جایی که استانداردهای آب، بهسازی و بهداشت فردی پایین است افزایش می‌یابد. با توجه به گزارش WHO، بیماری‌های منتقله از آب به شدت به فقدان آب آشامیدنی سالم و بهداشتی، بهسازی و اقدامات بهداشتی و ضعیف نسبت داده می‌شود. علاوه بر این، تحقیقات نشان می‌دهد که شیوع بیش از نیمی از بیماری‌های حاد مربوط به آب، بهسازی و بهداشت در تمام گروه‌های سنی است. بیماری‌های مرتبط با آب معمولاً در کشورهای کم‌درآمد گزارش می‌شوند، زیرا تأمین آب سالم، بهسازی و بهداشت در مقایسه با کشورهای توسعه‌یافته که منابع آبی بیشتری دارند، کم‌تر از حد مطلوب است. همچنین، حتی با وجود منابع بیش‌تر در کشورهای توسعه‌یافته، پمپ‌ها، لوله‌ها و تأسیسات تصفیه ممکن است از کار بیفتند و مردم را مستعد ابتلا به بیماری‌های منتقله از طریق آب کنند [۳۰].

تأثیر تغییرات آب و هوایی بر بیماری‌های منتقله توسط آب

ادامه تغییرات آب و هوایی احتمالاً شیوع بیماری‌های منتقله از آب را افزایش می‌دهد. این به این دلیل

پوستی قرار گرفتند که اولین مظهر غنی‌سازی آرسنیک در آب‌های زیرزمینی بود. در سطوح مسمومیت مزمن، اثرات مختلفی مانند بیماری عروقی، بیماری کبد، ضایعات پوستی، سرطان پوست و اختلالات عصبی مشاهده می‌شود [۹].

فلوراید: به طور طبیعی در برخی غذاها و همچنین در آب وجود دارد، اما در بیش‌تر موارد، مصرف آب آشامیدنی میزان مصرف روزانه را تعیین می‌کند. از آنجایی که فلوراید یک جزء مهم در ساختار استخوان و دندان است، یک عنصر ضروری در نظر گرفته می‌شود. همچنین فلوراید یک ماده شیمیایی سمی است که تنها در دامنه نسبتاً محدودی از غلظت فلوراید در آب آشامیدنی شرایط بهینه را فراهم می‌کند. سطوح بسیار پایین فلوراید باعث افزایش بروز پوسیدگی دندان می‌شود در حالی که سطوح بالا باعث لکه دار شدن دندان‌ها و همچنین فلوروزیس اسکلتی می‌شود. فلوراید در برخی کشورها برای بهبود سلامت دندان‌ها به آب آشامیدنی اضافه می‌شود [۹].

ید: ید موجود در آب آشامیدنی یکی از منابع اصلی دریافت رژیم غذایی است. در مناطقی که غلظت ید آب‌های زیرزمینی بسیار کم است، جمعیت ساکن از کمبود ید رنج می‌برند که منجر به بزرگ شدن غده تیروئید (گواتر) و در موارد شدید، عقب ماندگی ذهنی و کرتینیسم می‌شود [۹].

نیترات: منابع اصلی افزایش غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی ناشی از کاربرد زیاد و بیش از حد کودهای نیتروژن‌دار هستند. سطوح بالای نیترات در آب آشامیدنی نگران‌کننده است زیرا ممکن است منجر به عواقب جدی و حتی کشنده در نوزادان زیر ۶ ماه

گزارش شده از بیماری‌های منتقله از طریق آب به دلیل عوامل محیطی مانند بهسازی محیطی ضعیف، دفع بی‌رویه و غیر بهداشتی مواد زائد، تاثیر بحران‌های اجتماعی طولانی مدت، توپوگرافی پایین و باتلاق‌ها که منجر به رشد میکروبی بالا، سختی آب و pH بالای آب چاه‌ها در منطقه شده است، می‌باشد [۳۳]. الگوی اندمیک بیماری‌های اسهال در مکزیکو سیٹی، عمدتاً ناشی از مسکن غیربهداشتی، اقدامات بهسازی ضعیف و نبود آب آشامیدنی سالم است [۳۴].

شیوع بالای بیماری‌های منتقله از طریق آب در شهرستان ناکالوکه، اوگاندا، ناشی از بهسازی نامناسب، محل نامناسب تسهیلات بهداشتی و نزدیکی توالی‌های گودالی در نزدیکی منابع آب بود [۳۵]. در مطالعه‌ای که بین دانش‌آموزان پسر در شهر جده در عربستان سعودی انجام شد، مشخص شد خوردن غذاهای آلوده بعد از ساعات مدرسه در کیوکسک‌های غیربهداشتی باعث بیماری‌های منتقله از آب می‌شود. همچنین در این مطالعه مشخص شد که نشت فاضلاب منجر به آلودگی منابع آب موجود بود [۳۶].

شیوه‌های پیشگیری از بیماری‌های منتقله از آب

بر اساس برآورد سازمان جهانی بهداشت (۲۰۰۷)، ۹۴ درصد موارد اسهال ناشی از آب، از طریق تغییرات محیطی قابل پیشگیری هستند که شامل مداخلاتی برای افزایش دسترسی به آب آشامیدنی سالم و بهداشتی و بهبود اقدامات بهسازی و بهداشتی است. علاوه بر این، یک بررسی سیستماتیک در سال ۲۰۰۵ به این نتیجه رسید که میزان بروز بیماری‌های اسهال تا ۲۵ درصد از طریق بهبود تامین آب، ۳۲ درصد با بهبود بهسازی، ۴۵ درصد از طریق شستن دست‌ها و ۳۹ درصد از

است که تغییرات آب و هوایی باعث افزایش بارش، طوفان و دمای دریاها می‌شود. این عوامل محیطی به ایجاد سیل و رواناب کمک می‌کنند که می‌توانند فاضلاب، مواد شیمیایی و عوامل بیماری را گسترش و پخش دهند. آن‌ها همچنین از رشد، بقا و گسترش باکتری‌ها، ویروس‌ها و سموم ایجاد شده توسط جلبک‌های مضر حمایت می‌کنند. در نتیجه، افراد بیش‌تری احتمالاً از طریق بلع، استنشاق و تماس پوستی و همچنین مصرف ماهی و صدف‌های آلوده در معرض بیماری‌های منتقله از طریق آب قرار می‌گیرند. در جدول ۴ تاثیر تغییرات آب و هوایی بر بیماری‌های ناشی از آب به اختصار ارائه شده است [۳۱-۳۲].

جدول (۴): تاثیر تغییرات آب و هوایی بر بیماری‌های ناشی از آب

عامل	اثرات
بارندگی	منجر به انتقال و انتشار عوامل عفونی می‌شود.
سیل	منجر به سرریز شدن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و در نهایت آلودگی منابع آب می‌شود.
افزایش سطح دریاها	احتمال ریسک جاری شدن سیل شدید را افزایش می‌دهد.
افزایش دما	منجر به افزایش رشدپاتوژن‌ها شده و میزان بقای و پایداری عوامل بیماری‌زا را طولانی می‌کند.
خشکسالی	غلظت عوامل بیماری‌زا را افزایش می‌دهد و باعث اختلال در فعالیت‌های بهداشتی می‌شود.

در مطالعات متعددی اهمیت کیفیت آب، بهسازی و بهداشت را در توصیف وقوع بیماری‌های منتقله از طریق آب نشان داده است. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای که در شهر Ile-Ife، در نیجریه در تلاش برای ارزیابی و ترسیم عوامل بروز مسئول گسترش بیماری‌های منتقله از آب انجام شد، نشان داد که بیش‌تر موارد

شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که اکثر افراد مبتلا به بیماری‌های منتقله از آب کسانی بودند که قبل از خوردن غذا شستن منظم دست‌ها را انجام نمی‌دادند [۴۲]. مطابق گزارش بروکس و همکاران (۲۰۰۳)، شستشوی منظم دست‌ها پس از دفع مدفوع، منجر به کاهش بار بیماری ناشی از اسهال خونی شد و در عین حال استفاده غیرمجاز و بی‌رویه از عوامل ضد میکروبی را در کنیا محدود کرد [۴۳]. انجام مداخلات بهسازی برای پیشگیری از بروز بیماری‌های منتقله از آب ضروری می‌باشد. تسهیلات و امکانات بهسازی مانند ایجاد توالت‌ها، زهکشی مؤثر توالت‌ها در جداسازی مدفوع انسان یا سایر فضولات حیاتی هستند. مطالعه‌ای بر روی تجزیه و تحلیل فضایی عوامل مسئول بروز بیماری‌های منتقله از آب در شهر Ile-Ife در نیجریه نشان داد که عمده موارد گزارش بیماری‌های منتقله از آب به دلیل عواملی مانند بهسازی ضعیف و نامناسب بوده است. جایی که اکثر ساکنان مبتلا به بیماری از توالت‌های رو باز استفاده می‌کردند و در نزدیکی مرکز بازار زندگی می‌کردند که در آن زباله‌های بزرگ تولید می‌شد و به‌طور نامناسب در جریان آب مجاور دفع می‌شد [۳۳]. مطابق با مطالعات بروکس و همکاران (۲۰۰۳) و گرت و همکاران (۲۰۰۸)، وجود توالت در یک خانواده خطر ابتلا به بیماری‌های اسهالی را در کنیا کاهش می‌دهد و از آلودگی منابع آب‌های سطحی مانند رودخانه‌ها به دلیل عدم دفع مدفوع در فضاهای باز جلوگیری می‌کند و در نهایت منجر به کاهش عفونت بیماری‌های منتقله از آب می‌شود [۳۸-۴۳].

طریق تصفیه آب خانگی و ذخیره‌سازی ایمن کاهش می‌یابد [۳۷]. سایر مداخلات برای کاهش بیماری‌های منتقله از آب، بهبود در آب آشامیدنی، اقدامات بهداشتی و تسهیلات بهسازی در کشورهای کم‌تر توسعه یافته است. همچنین نتایج مطالعه انجام شده به منظور پیشگیری بروز اسهال در جوامع روستایی پرخطر نشان داد که کلرزی آب آشامیدنی برای بهبود کیفیت آن و همچنین استفاده از ظروف دهانه تنگ و سرپوشیده برای پیشگیری از آلودگی آب، منجر به کاهش بروز بیماری‌های اسهالی ناشی از آب شد [۳۸]. یافته‌های مشابه در بولیوی و بنگلادش نشان داد که در مناطق فاقد لوله کشی آب، بهبود کیفیت آب از طریق گندزدایی با کلر و ذخیره‌سازی در یک ظروف مناسب به طور قابل توجهی کیفیت میکروبیولوژیکی آب آشامیدنی خانگی را بهبود می‌بخشد و خطر ابتلا به بیماری‌های اسهالی ناشی از آب را کاهش می‌دهد [۳۹-۴۱].

اقدامات و رفتارهای بهداشتی نامناسب می‌تواند بروز بیماری‌های ناشی از آب را افزایش دهد. مطالعه انجام شده توسط الغامدی و همکاران (۲۰۰۹) در شهر جدّه، عربستان سعودی نشان داد که عدم شستشوی دست‌ها و همچنین استفاده از پارچه‌ها یا اسفنج‌های قابل استفاده مجدد برای خشک کردن ظروف قبل از غذا خوردن، منجر به افزایش ریسک ابتلا به بیماری‌های اسهالی در کودکان می‌شود [۳۶]. در نتیجه، بهبود رفتارهای بهداشتی می‌تواند احتمال ابتلا به بیماری‌ها را کاهش دهد. مزایای بهبود و توسعه بهداشت در کاهش بیماری‌های منتقله از آب در مطالعه انجام شده در شهر باماندانکوه در شمال غربی کامرون گزارش

نتیجه‌گیری

بیماری‌های منتقله از آب دارند. علاوه بر این، شیوه‌های ضعیف زیست‌محیطی مانند نبود امکانات بهسازی مناسب، منجر به گسترش و پخش مواد زائد مایع و جامد در مناطق مسکونی شده و در نهایت به افزایش بیماری‌های ناشی از آب کمک می‌کند. علاوه بر این، مصرف آب آلوده و امکانات بهسازی و بهداشتی نامناسب منجر به بروز مکرر بیماری‌های مانند اسهال می‌شوند که به سوء تغذیه کمک می‌کند، سیستم ایمنی را ضعیف می‌کند و احتمال ابتلا به سایر بیماری‌ها را افزایش می‌دهد. بهبود وضعیت آب آشامیدنی، تسهیلات بهسازی و اقدامات مناسب بهداشتی به ویژه دفع بهداشتی مدفوع در کشورهای کمتر توسعه یافته توسط بسیاری از مطالعات به عنوان مداخلات کلیدی برای کاهش بیماری‌های منتقله از طریق آب پیشنهاد شده است.

منابع

- [1] Newton, D.E., 2016, The Global Water Crisis: A Reference Handbook: A Reference Handbook: ABC-CLIO.
- [2] Manetu, W.M., Karanja, A.M., 2021, Waterborne disease risk factors and intervention practices: A review. Open Access Library Journal. 8(5): p. 1-11.
- [3] Beaudeau, P., Lessons, al., 2008, learned from ten investigations of waterborne gastroenteritis outbreaks, France, 1998–2006. Journal of Water and Health. 6(4): p. 491-503.
- [4] Blasi, M.F., Water-related, al., 2008, diseases outbreaks reported in Italy. Journal of water and health. 6(3): p. 423-432.
- [5] Craun, M.F., Waterborne, al., 2006, outbreaks reported in the United States. Journal of water and health. 4(S2): p. 19-30.
- [6] Nyangwencha, J., 2012, Access to Safe Drinking Water and Water-Borne Diseases in Masaba North District, Kenya. in Scientific Conference Proceedings.
- [7] Njiru, P., Omuterema, S., Lilechi, D., 2016, Sanitation in relation to prevalence of

آب کافی برای بهداشت، سلامتی، و رفاه انسان حیاتی است. مصرف روزانه آب کافی برای تامین مایعات بدن و تسهیل فرآیندهای فیزیولوژیکی لازم است. مقدار آب مصرفی تا حد زیادی با سطح دسترسی، یعنی زمان و مسافت طی شده برای جمع آوری آب، و تداوم (در دسترس بودن همیشه)، قابلیت اطمینان (در دسترس بودن در صورت انتظار یا نیاز) و قیمت تعیین می‌شود. متأسفانه، هزینه آب آشامیدنی سالم و بهداشتی بالا است و تنها تعداد کمی از مردم به ویژه در مناطق محروم روستایی می‌توانند از عهده آن برآیند در حالی که اکثریت مردم از منابع آب موجود صرف نظر از وضعیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن، استفاده می‌کنند. به همین دلیل، شیوع بیماری‌های مرتبط با آب همچنان یک مسئله مهم بهداشت عمومی جهانی و یک نگرانی بزرگ زیست محیطی می‌باشد و شیوع آن در کشورهای کم‌تر توسعه یافته و به ویژه در کشورهای آفریقایی بیش‌تر از سایر بیماری‌ها بوده و یکی از علل اصلی مرگ و میر و بیماری در سطح جهان است که بیش‌تر کودکان زیر ۵ سال را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

آب آشامیدنی ناسالم و عدم دسترسی به امکانات بهسازی و بهداشتی اولیه، از عوامل اصلی شیوع بیماری‌های منتقله توسط آب می‌باشند. در دسترس نبودن آب لوله کشی و وابستگی روستائیان به آب‌های سطحی مانند برکه‌ها، رودخانه‌ها، باتلاق‌ها که اغلب آلوده به مواد مدفوعی هستند، از علل عمده شیوع بیماری‌های منتقله از طریق آب است. اقدامات بهسازی و بهداشتی ضعیف نیز نقش مهمی در گسترش

- [21] Stanwell-Smith, R., 2009, Classification of water-related disease. *Water and Health*. 1: p. 66.
- [22] Funari, E., et al., 2011, Technical guidance on water-related disease surveillance: World Health Organization. Regional Office for Europe.
- [23] Unicef, 2008, UNICEF handbook on water quality. United Nations Childrens Fund, New York/USA.
- [24] Cheesbrough, M., 2005, District laboratory practice in tropical countries, part 2: Cambridge university press.
- [25] Nwabor, O.F., et al., 2016, Water and waterborne diseases: a review. *Int. J. Trop. Dis. Health.*, 12(4): p. 1-14.
- [26] Luby, S.P., et al., 2005, Effect of handwashing on child health: a randomised controlled trial. *The Lancet*. 366(9481): p. 225-233.
- [27] Rabie, T., Curtis, V., 2006, Handwashing and risk of respiratory infections: a quantitative systematic review. *Tropical medicine & international health*. 11(3): p. 258-267.
- [28] Cairncross, S., 2003, Handwashing with soap—a new way to prevent ARIs?, *Citeseer*. p. 677-679.
- [29] Fraser, A.S., Robarts, R.D., Hodgson, K.M., 2001, The United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System/Water Programme. *Water Resources IMPACT*. 3(2): p. 26-28.
- [30] Organization, W.H., 2007, The International Network to promote household water treatment and safe storage. Combating waterborne disease at the household level. Geneva: World Health Organization.
- [31] Fadhil, M., Ismail, M., Tosepu, R., 2021, An Impact of Climatic Change on Water-borne Diseases: A Review. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing.
- [32] Gholami-Borujen, F., Zazouli, M.A., Fallahi, S., 2018, A review of the effects of climate change with an emphasis on burden of waterborne diseases. *Iranian Journal of Health Sciences*.
- [33] Olajuyigbe, A.E., et al., 2012, Spatial analysis of factors responsible for incidence of water borne diseases in Ile-Ife, Nigeria. *Journal of Sustainable Society*. 1(4): p. 96-113.
- waterborne diseases in Mbeere, Embu County. Kenya. *IOSR J. Environ. Sci. Toxicol. Food Technol*. 10(5): p. 59-65.
- [8] Pruss-Ustun, A., Organization, W.H., 2008, Safer water, better health: costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health. World Health Organization.
- [9] J, G., 2014, Water and Health. *Air Water Borne Diseases*. 3(2).
- [10] Tamene, N.M., Menkir, S.P., Kebede, A.P., 2002, Prevalence of intestinal parasite infections and parasitological quality of drinking water and its handling practices in gursum town, oromia region, ethiopia.
- [11] Naik, P.K., 2017, Water crisis in Africa: myth or reality? *International journal of water resources development*. 33(2): p. 326-339.
- [12] Batterman, S., et. al., 2009, Sustainable control of water-related infectious diseases: a review and proposal for interdisciplinary health-based systems research. *Environmental health perspectives*. 117(7): p. 1023-1032.
- [13] Mack, A. Choffnes, E.R., 2009, Global issues in water, sanitation, and health: workshop summary: National Academies Press.
- [14] Organization, W.H., 2008, Communicable disease risk assessment and interventions: post-election emergency: Kenya February. World Health Organization.
- [15] Lifewater, Global Water and Sanitation Crisis. <https://lifewater.org>, 2019.
- [16] Organization, W.H., 2018, Guidelines on sanitation and health.
- [17] Supply, W.U.J.W., Programme, S.M., 2015, Progress on sanitation and drinking water: 2015 update and MDG assessment: World Health Organization.
- [18] You, D., et al., 2015, United Nations Inter-agency Group for Child Mortality Estimation (UN IGME). Global, regional, and national levels and trends in under-5 mortality between 1990 and 2015, with scenario-based projections to 2030: a systematic analysis by the UN Inter-agency Group for Child Mortality Estimation. *Lancet*. 386(10010): p. 2275-2286.
- [19] (WHO), W.H.O., 2022, Sanitation. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>.
- [20] Howard, G., et al., 2020, Domestic water quantity, service level and health.

- within households in the Bamendankwe Municipality-North West Cameroon. *Global Journal of Medical Research*. 14(5): p. 24-35.
- [43] Brooks, J.T., et al., 2003, Epidemiology of sporadic bloody diarrhea in rural Western Kenya. *The American journal of tropical medicine and hygiene*. 68(6): p. 671-677.
- [34] Cifuentes, E., et al., 2002, Diarrheal diseases in children from a water reclamation site in Mexico city. *Environmental Health Perspectives*. 110(10): p. A619-A624.
- [35] Nafi'u, A., 2015, The Occurrence of Waterborne diseases in drinking water in Nakaloke Sub-County, Mbale District Uganda.
- [36] Al-Ghamdi, M.A., Bentham, G., Hunter, P.R., 2009, Environmental risk factors for diarrhoea among male schoolchildren in Jeddah City, Saudi Arabia. *Journal of water and health*. 7(3): p. 380-391.
- [37] Fewtrell, L., et al., 2005, Water, sanitation, and hygiene interventions to reduce diarrhoea in less developed countries: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet infectious diseases*. 5(1): p. 42-52.
- [38] Garrett, V., et al., 2008, Diarrhoea prevention in a high-risk rural Kenyan population through point-of-use chlorination, safe water storage, sanitation, and rainwater harvesting. *Epidemiology & Infection*. 136(11): p. 1463-1471.
- [39] Arnold, B.F., Colford, J.M., 2007, Treating water with chlorine at point-of-use to improve water quality and reduce child diarrhea in developing countries: a systematic review and meta-analysis. *The American journal of tropical medicine and hygiene*. 76(2): p. 354-364.
- [40] Fonyuy, B.E., 2014, Prevalence of water borne diseases within households in the Bamendankwe Municipality-North West Cameroon. *Journal of Biosafety & Health Education*.
- [41] Sobsey, M., Handzel, T., Venczel, L., 2003, Chlorination and safe storage of household drinking water in developing countries to reduce waterborne disease. *Water science and Technology*. 47(3): p. 221-228.
- [42] Fonyuy, B.E., Innocent, M.L., 2014, Prevention practices from water borne diseases

“Review article”

An Overview of Water-borne Diseases: Risk factors and Prevention practices

Mohammad Safari¹, Ahmad Asl hashemi², Gholamhossein Safari^{3*}

1. (Faculty of Medicine, Islamic Azad University, Kerman Branch, Kerman, Iran)

2. (Department of Environmental Health Education, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran)

3. (Department of Environmental health engineering, Faculty of Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran)

3. Department of Environmental Health Education, Tabriz University of Medical Sciences

Email: hsafari13@yahoo.com

Abstract

Water is essential for human life and public health because up to 60% of the adult human body is made up of water. however, much of the world's population does not have access to sufficient and safe drinking water. The most common waterborne diseases are diarrheal diseases such as cholera, typhoid, paratyphoid, salmonella, giardiasis and cryptosporidiosis. also, health risks may be caused by chemical and radioactive compounds of water. in fact, some chemicals dissolved in water may be essential substances for food consumption, and some may be harmful in higher than permissible concentrations. these compounds can include various metals, synthetic organic materials and essential elements such as fluoride, iodine and selenium. this is why drinking water quality is a global health concern, especially in developing countries. this review study was conducted with the aim of reviewing the current and past researches in the field of waterborne diseases and most importantly the effective factors in transmitted diseases as well as methods of prevention and finally identifying potential gaps in studies related to waterborne diseases. the review of the literature showed that unsafe water and lack of access to basic sanitation facilities are the main causes of the outbreak of water-borne diseases. improving drinking water conditions, proper sanitary facilities, especially sanitary disposal of feces, leads to the reduction of water-borne diseases.

Keywords: Water, water pollution, waterborne disease, Sanitation, Prevention practices