

## بررسی تغییرات اقلیمی در توالی رسوبات تالاب هورالعظیم و تعیین نرخ رسوبگذاری با استفاده از مغزه های رسوبی

سیده مرضیه موسویان\*؛ دکتری آلودگی زیست محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، اهواز، ایران

جواد درویشی خاتونی؛ دکتری ژئومورفولوژی، سازملن زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۳

### چکیده

تالاب هورالعظیم به عنوان یکی از مهم‌ترین تالاب‌های مرزی ایران و عراق، از نظر زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی اهمیت بالایی دارد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات اقلیمی و تعیین نرخ رسوبگذاری در تالاب هورالعظیم انجام شد. برای این منظور، سه مغزه رسوبی از سه ایستگاه در خروجی رودخانه ساهندی، سابله و نیسان برداشت شد. از مغزه ایستگاه شماره سه (رودخانه نیسان)، سه نمونه رسوبی جهت تعیین نرخ رسوبگذاری به روش کربن ۱۴ استفاده شد. همچنین آنالیز پالینولوژی (شناسایی گرده‌های گیاهی و هاگ‌ها) به منظور بررسی تغییرات پوشش گیاهی و شرایط آب‌وهوایی گذشته در مغزه شماره یک (رودخانه ساهندی) صورت گرفت. نتایج نشان داد که میانگین نرخ رسوبگذاری در هورالعظیم حدود ۰.۳ میلی‌متر در سال است. تحلیل داده‌ها بیانگر وجود نوسانات اقلیمی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت بوده که بر پوشش گیاهی و شرایط هیدرولوژیک تالاب اثرگذار بوده است. بررسی‌های کرده شناسی و توالی رسوبات در مغزه‌های برداشت شده نشان دهنده تغییرات اقلیمی از حدوده ۱۵۰۰ سال پیش تا به امروز، از آب و هوای گرم و مرطوب به گرم و خشک تغییر کرده است. این تغییرات عمدتاً تحت تأثیر عوامل طبیعی همچون بارش، خشکسالی و نیز دخالت‌های انسانی مانند سدسازی و بهره‌برداری‌های کشاورزی و نفتی قرار داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: پالینولوژی، تغییرات اقلیمی، رسوبگذاری، آنالیز سن‌سنجی به روش کربن ۱۴، تالاب هورالعظیم

## مقدمه

تالاب‌ها یکی از پیچیده‌ترین و پویاترین زیست‌بوم‌های جهان به‌شمار می‌آیند که از نظر اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی اهمیت بسیار بالایی دارند. این اکوسیستم‌ها به‌عنوان «کلیه‌های زمین» عمل کرده و از طریق پالایش آب، کنترل سیلاب‌ها، تنظیم چرخه‌های هیدرولوژیکی و ذخیره‌سازی کربن، نقش غیرقابل انکاری در پایداری محیط زیست ایفا می‌کنند (دیناروند، ۲۰۲۲). علاوه بر این، تالاب‌ها به‌عنوان یکی از زیستگاه‌های کلیدی تنوع زیستی، مأمن میلیون‌ها پرنده مهاجر، ماهیان، دوزیستان و گونه‌های گیاهی منحصربه‌فرد بوده و به همین دلیل از دیدگاه جهانی و منطقه‌ای، ارزش حفاظتی فوق‌العاده‌ای دارند. در ایران نیز تالاب‌ها بخش مهمی از سرمایه‌های طبیعی به‌شمار می‌روند؛ به‌طوری که تاکنون ۲۲ تالاب این کشور در کنوانسیون رامسر به ثبت رسیده است.

در میان تالاب‌های ایران، تالاب هورالعظیم (هورالهویزه) جایگاهی ویژه دارد. این تالاب که در غرب استان خوزستان و در مرز ایران و عراق واقع شده است، بخشی از حوضه پایین‌دست رودخانه کرخه بوده و با مساحتی بیش از ۱۱۸ هزار هکتار، یکی از بزرگ‌ترین تالاب‌های آب شیرین در منطقه بین‌النهرین به‌شمار می‌رود (موسویان و همکاران، ۲۰۱۹). هورالعظیم علاوه بر اهمیت زیستگاهی، نقش بسزایی در معیشت جوامع محلی از طریق صید و شکار، چرای دام، کشاورزی و بهره‌برداری‌های سنتی ایفا می‌کند. این تالاب همچنین به دلیل موقعیت جغرافیایی استراتژیک خود در مرز ایران و عراق، از نظر سیاسی و اقتصادی نیز اهمیتی دوچندان دارد. با این حال، در دهه‌های اخیر تحت تأثیر فشارهای متعددی همچون تغییرات اقلیمی، خشکسالی‌های پی‌درپی، کاهش آورد رودخانه‌ها بر اثر سدسازی، بهره‌برداری‌های نفتی و کشاورزی ناپایدار قرار گرفته است (ظهوریان پوردل و همکاران، ۲۰۱۷). این عوامل موجب کاهش چشمگیر مساحت و کیفیت زیستگاهی تالاب و تهدید تنوع زیستی آن شده‌اند. شناخت تغییرات اقلیمی گذشته تالاب‌ها ابزاری کلیدی برای درک پویایی‌های محیطی و ارائه راهکارهای مدیریت پایدار است (چترنور و همکاران، ۱۴۰۳). در این میان، رسوبات عمقی تالاب‌ها به‌عنوان بایگانی‌های طبیعی، اطلاعات ارزشمندی از تاریخچه اقلیمی و زیستی هر منطقه در خود ثبت کرده‌اند. لایه‌های رسوبی دربردارنده بقایای آلی و معدنی متعددی از جمله گرده‌های گیاهی، دانه‌ها، فسیل‌های میکروسکوپی و مواد شیمیایی هستند که هر یک می‌توانند بازتابی از شرایط اقلیمی و زیست‌محیطی زمان رسوب‌گذاری باشند. در این میان، پالینولوژی یا گرده‌شناسی، یکی از دقیق‌ترین و پرکاربردترین ابزارها برای بازسازی تغییرات پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی گذشته است. گرده‌های گیاهی به دلیل مقاومت بالای دیواره خارجی خود (اسپوراپولینین) در برابر تجزیه و فرسایش، قادرند هزاران سال در رسوبات باقی بمانند. هر گونه گیاهی نیز در محدوده مشخصی از شرایط اقلیمی قادر به زیست است؛ از این‌رو شناسایی و شمارش گرده‌های موجود در رسوبات می‌تواند به‌طور غیرمستقیم اطلاعات دقیقی از دما، بارش و تغییرات رطوبتی در گذشته فراهم کند. مطالعات متعدد در نقاط مختلف جهان نشان داده‌اند که تحلیل گرده‌های رسوبی، ابزاری کارآمد برای بازسازی نوسانات کوتاه‌مدت و بلندمدت اقلیمی در بازه‌های زمانی چند صد تا چند هزار ساله است.

در حقیقت، همین مقدار اندک از رسوبگذاری در طول بازه‌های زمانی صدها تا هزاران سال منجر به تشکیل توالی رسوبی ضخیمی می‌شود که می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره تاریخچه تغییرات محیطی و اقلیمی در اختیار قرار دهد. رسوبات تالابی به‌عنوان یک بایگانی طبیعی، بازتاب‌دهنده تغییرات متعددی هستند که از طریق فرآیندهای هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و زیست‌محیطی در حوضه بالادست و خود تالاب رخ داده است (میرزاپور و همکاران، ۱۳۹۹). نرخ رسوبگذاری به‌طور مستقیم تحت تأثیر میزان آورد رودخانه‌ای، شدت فرسایش خاک در بالادست، پوشش گیاهی منطقه و شرایط بارندگی قرار دارد (زینل زاده و همکاران، ۱۴۰۱). بنابراین، محاسبه و تحلیل این نرخ، نه‌تنها اطلاعاتی درباره وضعیت کنونی تالاب ارائه می‌دهد، بلکه امکان بازسازی تغییرات اقلیمی گذشته را نیز فراهم می‌سازد. در شرایط اقلیمی مرطوب‌تر، بارندگی‌های شدید و وقوع سیلاب‌ها معمولاً به افزایش

چشمگیر آورد رسوبی و بالا رفتن نرخ رسوبگذاری منجر می‌شود. در مقابل، در دوره‌های خشک‌سالی یا کاهش بارش‌های فصلی، جریان رودخانه‌ها کاهش یافته و میزان رسوب ورودی به تالاب نیز به حداقل می‌رسد (محسنی و همکاران، ۱۳۹۸). یکی از الزامات چنین پژوهش‌هایی، تعیین دقیق سن لایه‌های رسوبی است. در این زمینه، تاریخ‌گذاری رادیوکربن (14C) روشی استاندارد و پرکاربرد برای سن‌سنجی رسوبات ارگانیکی به‌شمار می‌آید. این روش با اندازه‌گیری نسبت ایزوتوپ رادیواکتیو کربن (14C) به ایزوتوپ‌های پایدار C12 و C13 امکان تخمین سن مواد ارگانیک تا حدود ۵۰ هزار سال گذشته را فراهم می‌کند. بدین ترتیب می‌توان با ترکیب داده‌های سن‌سنجی رادیوکربن و آنالیز گرده‌های گیاهی، بازسازی دقیقی از تغییرات اقلیمی در بازه‌های زمانی مشخص ارائه داد (گلتنیک و همکاران، ۲۰۲۲).

تالاب هورالعظیم با توجه به موقعیت جغرافیایی ویژه و شرایط هیدرولوژیکی منحصربه‌فرد خود، نمونه‌ای ایده‌آل برای بررسی چنین تغییراتی محسوب می‌شود. این تالاب در منطقه‌ای قرار دارد که طی قرون متمادی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و نوسانات منابع آبی قرار گرفته است (میاحی و همکاران، ۲۰۲۱). بررسی رسوبات عمقی این تالاب و تاریخ‌گذاری آن‌ها با روش کربن ۱۴ این امکان را فراهم می‌آورد که تغییرات اقلیمی در یک بازه زمانی بازسازی شود. تحلیل گرده‌های گیاهی موجود در این رسوبات نیز چشم‌انداز روشنی از تغییرات پوشش گیاهی و سازگاری‌های زیستی در پاسخ به نوسانات اقلیمی ارائه خواهد داد. اهمیت این مطالعه در آن است که تاکنون پژوهش‌های محدودی به بازسازی تغییرات اقلیمی در جنوب غرب ایران پرداخته‌اند و بیشتر مطالعات موجود بر داده‌های کوتاه‌مدت اقلیمی یا مشاهدات میدانی اخیر متمرکز بوده‌اند. در نتیجه، دانش ما از تغییرات اقلیمی بلندمدت در این منطقه، به‌ویژه در ارتباط با تالاب‌های حیاتی همچون هورالعظیم، با خلأهای جدی روبه‌روست. پژوهش حاضر با هدف پر کردن این شکاف دانشی، بازسازی تغییرات اقلیمی هورالعظیم طی ۱۵۰۰ سال گذشته را بر اساس تحلیل گرده‌های گیاهی و تاریخ‌گذاری رادیوکربن دنبال می‌کند. نتایج این تحقیق می‌تواند نه تنها درک بهتری از تاریخچه محیطی منطقه ارائه دهد، بلکه به‌عنوان مبنایی علمی برای مدیریت پایدار منابع آب و تنوع زیستی در شرایط تغییرات اقلیمی جهانی مورد استفاده قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

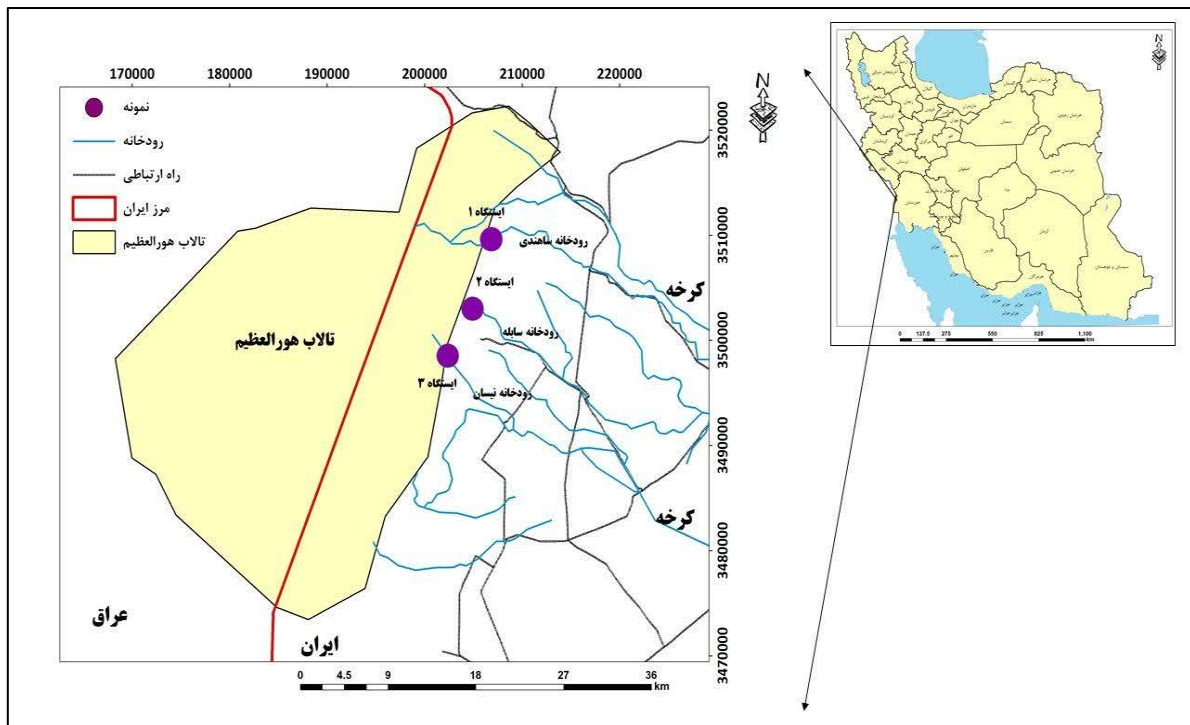
هورالعظیم در غرب استان خوزستان در ۴۷ درجه ۵۸ دقیقه تا ۴۷ درجه ۱۶ دقیقه ۳۰ ثانیه طول شرقی و از ۳۱ درجه ۵۳ دقیقه تا ۴۱ درجه عرض شمالی قرار دارد. از چذابه شمال غرب بستان شروع و تا نزدیک خرمشهر امتداد دارد. تالاب‌های بین‌النهرین متشکل از سه منطقه اصلی هورالعظیم (هورالهیویز) هور الحماره و تالاب مرکزی به وسعت تقریبی ۸۹۲۶ کیلومتر مربع می‌باشد. یکی از بزرگترین تالاب‌های بین‌النهرین تالاب هورالعظیم است که در نواحی مرزی ایران و عراق قرار گرفته است. این تالاب بیش از ۱۲۵ هزار هکتار مساحت داشته که عمدتاً پوشیده از نیزارهای بلند و انبوه و دارای آب شیرین است. حداکثر عمق آب تالاب از نیم الی یک و نیم متر در فصول کم تا حداکثر ۳ متر در فصول پرآب می‌رسد (ساتیاروند و همکاران، ۱۴۰۳).

مراحل انجام این پژوهش شامل جمع‌آوری اطلاعات، آمار منتشر شده، داده‌های اقلیمی، بررسی‌های دورسنجی، عملیات صحرائی و مغزه‌گیری، عملیات آزمایشگاهی، پردازش داده‌ها و سپس تفسیر و نتیجه‌گیری می‌باشد. به منظور بررسی‌های اقلیم دیرینه، تغییرات رخساره‌های رسوبی مغزه‌ها براساس شواهد ماکروسکوپی (نوع سطوح لایه بندی، فرم هندسی رسوبات، ساخت‌های رسوبی، آثار و محتویات فسیلی، بقایای گیاهی، رنگ و تغییرات آن) و نیز شرایط محیط رسوبگذاری، اقدام به برداشت تعداد ۳ مغزه رسوبی دست‌نخورده با بیشینه عمق ۱ متر از ۳ ایستگاه شد (جدول ۱ و شکل ۱). با توجه به اهداف این پژوهش که بر پایه

نمونه‌برداری از رسوبات و انجام آزمون‌های مرتبط با آن استوار بود، برای برداشت مغزه های رسوبی از تالاب هورالعظیم، از دستگاه مغزه‌گیر نوع فلجر<sup>۱</sup> استفاده شد. این دستگاه امکان برداشت مغزه‌های رسوبی با طول یک متر و قطر داخلی ۲ اینچ بصورت دست نخورده در داخل لوله‌ای از جنس PVC را فراهم می‌کند. پس از تهیه مغزه های رسوبی دست نخورده در عملیات صحرائی، اقدام به انتقال مغزه‌ها به آزمایشگاه در دمای ۴ درجه و بازکردن مغزه‌های رسوبی به صورت برش طولی شد. موقعیت مغزه‌های برداشت‌شده در تالاب هورالعظیم و شاخه‌های رودخانه کرخه در مصب هورالعظیم در جدول ۱ و شکل ۱ قابل مشاهده است. از مغزه‌های برداشت‌شده با دوربین عکاسی دیجیتالی عکس تهیه شد. توصیف مغزه‌ها و رخساره‌های رسوبی با دقت نوشته شد و سپس نمونه‌برداری از داخل مغزه‌گیر برای آنالیزهای مربوطه با توجه به تغییر رخساره و نوع رسوبات صورت گرفت (شکل ۴).

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های برداشت مغزه های رسوبی در تالاب هورالعظیم

شماره ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	۳۱-۴۳-۵۲/۴	۵۱-۴۷-۴۴/۸
۲	۳۱-۳۹-۴۶	۵۲-۴۷-۲۲/۷
۳	۳۱-۳۶-۴۸	۵۲-۴۷-۰۳



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

<sup>1</sup>- Pheleger

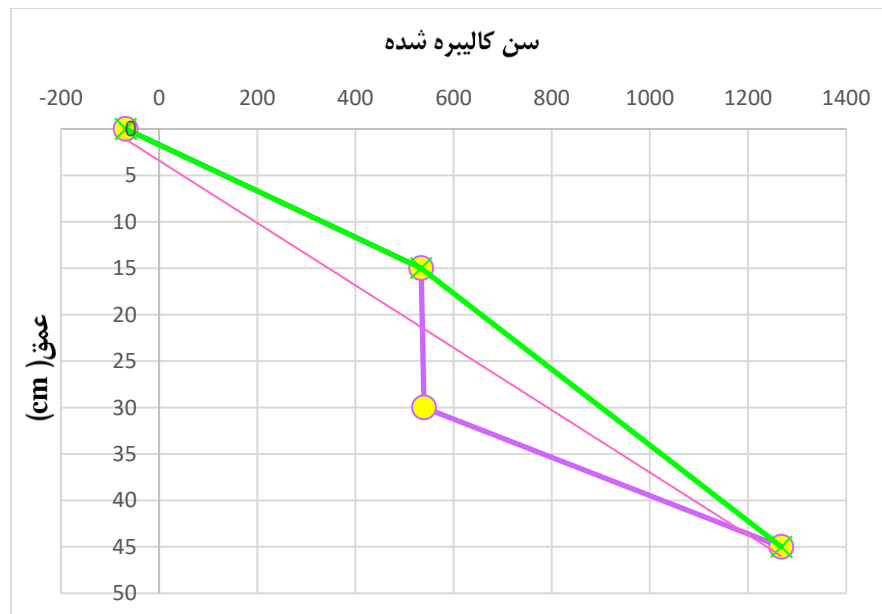
از توالی رسوبات مغزه‌های برداشت شده برای بررسی تغییرات رخساره‌های رسوبی استفاده شد، همچنین تعداد ۱۱ نمونه رسوبی از مغزه شماره ۱ (رودخانه ساهندی) جهت انجام مطالعات پالینولوژی، سه نمونه از مغزه شماره ۳ برای انجام آنالیز تعیین سن مطلق به روش کربن ۱۴ برداشت شد. برای محاسبه نرخ رسوب‌گذاری، سه نمونه از مغزه ۳ (عمق‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی متر) برداشت و به آزمایشگاه رادیوکربن پوزنان (لهستان) ارسال گردید. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی به روش طیف‌سنجی شتاب‌دهنده (AMS) مورد سن‌سنجی رادیوکربن ۱۴ قرار گرفتند. داده‌های به‌دست‌آمده با خطای یک انحراف معیار (۲/۶۸٪) و دو انحراف معیار (۴/۹۵٪) واسنجی شدند. برای این منظور نرم‌افزار OxCal 4.2 و پایگاه داده IntCal20 مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های برداشت شده جهت انجام مطالعات پالینوژی در ظروف کوچک استریل‌شده (پس از شستشو با محلول اسید نیتریک ۳۵ سی‌سی در یک لیتر آب مقطر و غوطه‌وری به مدت ۲۴ ساعت) نگهداری شدند. بسیاری از نمونه‌ها بوی مشخص سولفید هیدروژن داشتند که بیانگر رسوب‌گذاری در شرایط احیایی است (توکر، ۲۰۰۱). نمونه‌های رسوب از تعدادی مقاطع انتخاب و تعدادی ظروف کوچک منتقل گردید. ظروف مورد نظر که حاوی رسوبات مقاطع مختلف بودند، در مراحل مختلف اسیدهای کلریدریک، فلوریدریک و برومات روی به آن اضافه و پس از هضم کامل، از نمونه‌ها لام تهیه شده است. سپس لام‌ها به زیرمیکروسکوپ انتقال و پس از شناسایی اولیه، عکس‌های میکروسکوپی الکترونی از نمونه‌ها به صورت سه بعدی تهیه شد (لوپس و مک کونچی، ۱۹۹۴). کلیه مراحل فوق در آزمایشگاه دانشکده زمین شناسی دانشگاه خوارزمی تهران انجام شده است.

### یافته‌های پژوهش

در سه مغزه مورد مطالعه، رخساره‌های رسوبی اصلی شناسایی شد. رخساره‌ها غالباً دارای رسوبات رس، سیلت، ماسه، گراول، و رسوبات بینابینی همراه بقایای گیاهی و صدفی هستند که در بیشتر موارد تناوب در رسوبات یادشده به‌کرات دیده می‌شود. تغییرات در اندازه ذرات بین رس تا گراول با توجه به تغییرات فرایند، انرژی محیط، میزان ورودی رودخانه، و تغییر رنگ رسوبات با توجه به شرایط رسوب‌گذاری، حضور ماده آلی، میزان pH، تغییرات شوری و دما، و وقوع خشک‌سالی‌ها در طول مغزه‌ها بوده است (لک و همکاران ۱۳۹۰). در رسوبات مغزه‌های مورد مطالعه در مجموع رخساره‌ها نشان‌دهنده سه محیط رسوبی، تحت تأثیر رسوبات تالابی و رودخانه‌ای هستند. رخساره‌های محیط رودخانه‌ای با رسوبات گلی و گل سیلتی معمولاً سفت، فاقد ماده آلی و رنگ قهوه‌ای، رخساره تالابی با رسوبات خاکستری تا سبز روشن (مشخصه محیط‌های احیایی) گلی و دانه‌ریز همراه با ماده آلی، پوسته‌های نرم‌تنان، دارای رطوبت بالا همراه لامینه‌های نازک، با میان‌لایه‌های رسوبات دانه‌درشت‌تر (سیلتی) مشخص شد. گفتنی است شرایط امروزی آب‌آلو محیط تالابی است.

تعیین سن نمونه‌ها از مواد آلی موجود در رسوبات صورت گرفت و داده‌ها پس از کالیبراسیون با خطای دو سیگما اصلاح شدند. برای این منظور از نرم‌افزار Reimer (OxCal) با سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. در تمامی مراحل، تنها از نمونه‌های بالک شامل مواد آلی همراه با ماتریس سیلتی-رسی استفاده گردید. استفاده از این نوع نمونه‌ها احتمال ایجاد خطا در سن‌های محاسبه‌شده (قدیمی‌تر یا جوان‌تر از مقدار واقعی) را افزایش می‌دهد. به‌ویژه در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک منطقه که پوشش گیاهی محدود بوده و پایداری مواد آلی در اثر شرایط اکسیداسیون پایین است. با توجه به فقدان اطلاعات کافی از سن پوسته‌ها، تنها نتایج حاصل از مواد آلی بالک مد نظر قرار گرفت (ریمر و همکاران، ۲۰۱۳). با بهره‌گیری از نتایج کربن ۱۴، مدل سن-عمق، ترسیم گردید (شکل ۲). برای رسم این مدل، از عمق‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر استفاده شد. به این ترتیب، با امتداد هر خط به

نمودار، سن متناظر با آن عمق به دست آمد. در برخی نقاط مانند عمق‌های ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر، سن‌های مشابه (۵۳۴ و ۵۴۰ سال) مشاهده گردید که می‌تواند ناشی از رسوب‌گذاری سریع فصلی یا پدیده بیوتوربیشن (اختلاط لایه‌ها بر اثر فعالیت جانداران) باشد. در این روش، عمق صفر به سال ۲۰۲۵ میلادی نسبت داده شده است. پس از کالیبراسیون، این سال معادل با ۷۵- در مقیاس رادیوکربن تعیین گردید. بنابراین سال ۱۹۵۰ میلادی به عنوان مبنای صفر مطلق در نظر گرفته شد. براساس مدل سن-عمق ارائه شده انتهای مغزه شماره ۱ در منطقه مورد نظر سنی برابر ۱۴۶۲ سال قبل دارد. با فرض ثبات نرخ در تمام لایه‌ها، می‌توان نرخ میانگین رسوب‌گذاری در این تالاب را براساس همین بازه زمانی محاسبه نمود. نرخ رسوب‌گذاری در منطقه هورالعظیم برابر ۰/۳۴ میلی‌متر در سال برآورد شد. در پژوهش حاضر سن رسوب ۱۵۰۰ سال تخمین زده شد و در دوره هولوسن بالایی قرار می‌گیرد.

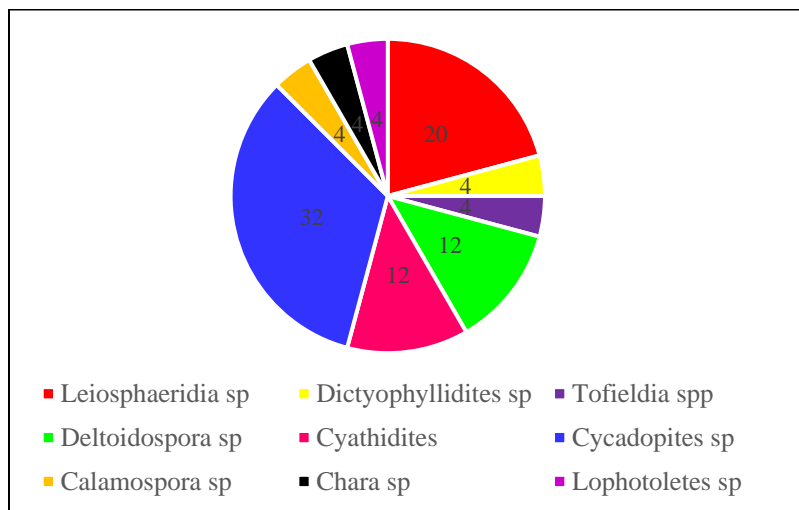


شکل ۲: مدل سن- عمق نمونه های سن سنجی شده تالاب هورالعظیم

شناسایی گرده‌ها در رسوبات تالاب هورالعظیم در تعیین شرایط اقلیمی و تغییرات آن در حوزه آبخیز این تالاب در زمان‌های گذشته می‌تواند مفید واقع شود. در بین ایستگاه‌های محل برداشت مغزه‌ها، ایستگاه شماره یک که در خروجی رودخانه ساهندی واقع شده است، بدلیل آورد رسوبات حوزه آبخیز و احتمال تنوع بیشتر گیاهان، مناسب‌ترین محل برای شناسایی گرده‌های گیاهان می‌باشد. با توجه به بررسی و شناسایی گرده‌های گیاهی توسط میکروسکوپ، گرده‌های موجود در رسوبات مغزه‌های رسوبی تالاب هورالعظیم غالباً از نوع گیاهان پست مانند سرخس‌ها و جلبک‌ها بودند جدول ۲ و شکل ۳ درصد فراوانی گونه‌های شناسایی شده را نشان می‌دهد.

جدول ۲: اسامی هاگ و دانه های گرده شناسایی شده در رسوبات مغزه تالاب هورالعظیم

نام گونه	نام خانواده
Leiosphaeridia sp	Prasinophyta
Dictyophyllidites sp	Dipteridaceae
Tofieldia spp	Tofieldiaceae
Deltoidospora sp	Dipteridaceae
Cyathidites	Cyatheaacea
Cycadopites sp	Cycadophyta
Calamospora sp	Uncertain
Chara sp	characeae
Naphar sp	Cystopterida

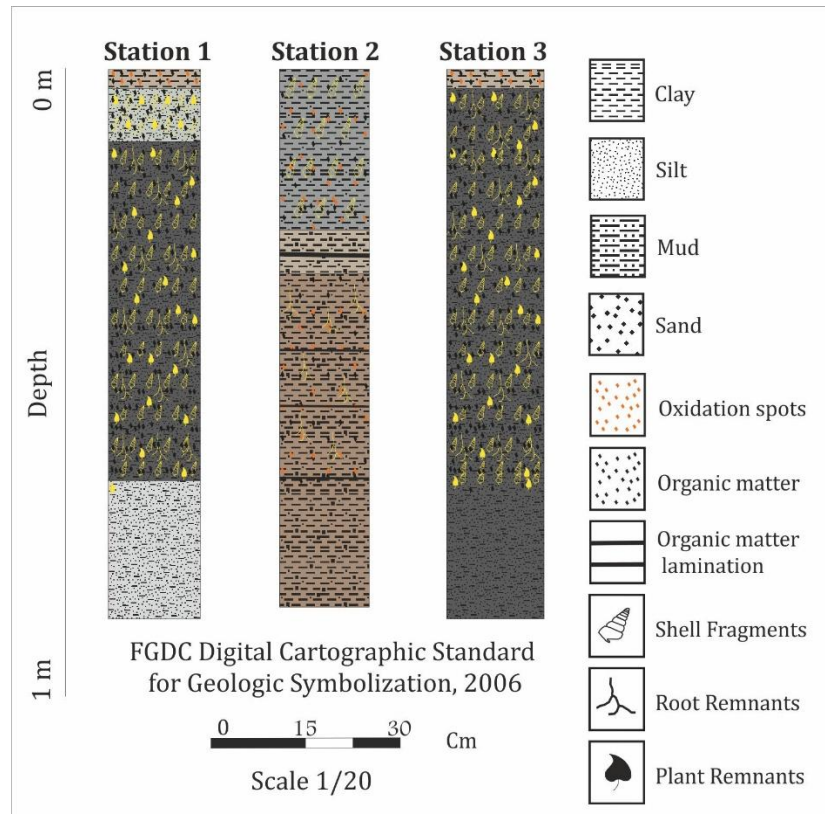


شکل ۳: درصد فراوانی هاگ و دانه های گرده شناسایی شده در رسوبات مغزه تالاب هورالعظیم

## بحث

حوضه‌های بسته و دریاچه‌ها به دلیل حساسیت بالای خود نسبت به تغییرات آب‌وهوایی، از بهترین شاخص‌ها برای بازسازی و ثبت نوسانات اقلیمی گذشته محسوب می‌شوند. تغییرات تراز آب دریاچه‌ها در نتیجه نوسانات آب‌های ورودی (مانند بارش و رواناب) و آب‌های خروجی از حوضه (به‌ویژه تبخیر) رخ می‌دهد (اسپنسر و همکاران، ۱۹۸۵؛ لک و همکاران، ۱۳۹۰). از این رو، نوسانات سطح آب ارتباط مستقیمی با شرایط اقلیمی دارند. با توجه به اینکه مناطق مختلف جهان به‌طور متفاوتی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرند، واکنش دریاچه‌های هر منطقه نیز در برابر این تغییرات متمایز است. در این میان، دریاچه‌های واقع در آفریقا و جنوب آسیا به دلیل برخورداری از الگوهای اقلیمی مشابه، تغییرات آب‌وهوایی را به شیوه‌ای نسبتاً همسان ثبت می‌کنند (کوهن، ۲۰۰۳).

یافته‌های این پژوهش بر مبنای سن‌سنجی رادیوکربن (C۱۴) نشان داد که نرخ رسوبگذاری در تالاب هورالعظیم به طور میانگین برابر با ۰.۳ میلی‌متر در سال است. این مقدار گرچه ممکن است در مقایسه با نرخ‌های گزارش شده از برخی دریاچه‌ها و تالاب‌های مناطق پربارش جهان اندک به نظر برسد، اما در چارچوب شرایط اقلیمی نیمه‌خشک و خشک منطقه بین‌النهرین و جنوب غرب ایران، عددی معنادار و شاخص محسوب می‌شود. چنین نوساناتی در داده‌های رسوبی مغزه‌های برداشت شده از هورالعظیم نیز به وضوح قابل مشاهده است و نشان‌دهنده نقش کلیدی تغییرات اقلیمی در کنترل فرآیند رسوبگذاری است. نتایج به دست آمده از مغزه‌ها حاکی از آن است که رسوبات تالاب هورالعظیم حامل شواهدی از دوره‌های متناوب ترسالی و خشکسالی هستند.



شکل ۴: توالی رسوبات بستر تالاب هورالعظیم در محل برداشت مغزه های رسوبی

در بخش‌هایی از مغزه‌ها حضور لایه‌های غنی از مواد آلی، بقایای گیاهی و دانه‌بندی نسبتاً درشت‌تر مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده افزایش سطح آب و پوشش گیاهی تالاب است؛ شرایطی که معمولاً با اقلیم مرطوب‌تر و افزایش بارندگی در ارتباط است. در مقابل، بخش‌هایی با رسوبات ریزدانه‌تر، فقیر از مواد آلی و غنی از کربنات‌ها دیده می‌شود که به احتمال زیاد بازتاب‌دهنده کاهش جریان‌های ورودی و افزایش تبخیر در دوره‌های خشک‌تر است. مطالعه فراهانی و سجادی (۱۳۹۵) پیرامون پالینومورف‌های خشکی در جنوب شرقی مراغه، با توجه به قرابت میوسپوره‌های موجود به گیاهان والد آنها، و فراوانی سرخس‌های حقیقی، ژینکوفیتا، مخروطیان، لیکوفیتا و سیکادوفیتا اقلیم منطقه را آب و هوای معتدل تا گرم و مرطوب در نظر گرفته‌اند. فلمینگ و بارون (۲۰۰۶)، با مطالعه گرده‌های رسوبات، به بررسی تغییرات اقلیمی دریای خزر پرداختند و گروه‌های گیاهی غالباً از مناطق استپی تا نیمه بیابانی نیز ارائه دادند.

گرچه تغییرات اقلیمی مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده رسوبگذاری در گذشته‌های دور بوده است، اما در سده‌های اخیر نقش فعالیت‌های انسانی نیز به‌طور فزاینده‌ای نمایان شده است. احداث سدها و بندها بر روی رودخانه‌های کرخه و دجله، تغییر کاربری گسترده اراضی به نفع کشاورزی، و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب، سبب تغییر در رژیم جریان‌های ورودی به تالاب شده است. این تغییرات علاوه بر کاهش یا افزایش غیرطبیعی دبی آب، بر بار رسوبی ورودی نیز اثر گذاشته و باعث تغییر در روند رسوبگذاری طبیعی شده‌اند. به‌عنوان مثال، کاهش آورد رسوبی در برخی سال‌ها می‌تواند ناشی از حبس رسوبات پشت سدها باشد، در حالی که افزایش بار رسوبی در سال‌های دیگر احتمالاً ناشی از فرسایش خاک به دلیل تخریب پوشش گیاهی و شخم‌زدن اراضی بالادست است (سیفی و همکاران، ۱۴۰۰). نرخ رسوبگذاری ۰.۳ میلی‌متر در سال از یک سو نشان‌دهنده پایداری نسبی تالاب در مقیاس بلندمدت است، اما از سوی دیگر یادآور این نکته است که تالاب هورالعظیم به شدت نسبت به تغییرات اقلیمی و انسانی حساس است. هرگونه تغییر در ورودی آب یا بار رسوبی می‌تواند تعادل اکولوژیکی تالاب را بر هم زند. افزایش رسوبات ممکن است منجر به پرشدگی سریع‌تر بستر تالاب و کاهش عمق آب شود که در نهایت زیستگاه گونه‌های آبی و پرندگان مهاجر را تهدید می‌کند. کاهش رسوبگذاری نیز معمولاً همراه با کاهش آورد آبی است و می‌تواند سبب خشکی و نابودی بخش‌هایی از تالاب گردد. این نتایج پیام روشنی برای برنامه‌ریزان و مدیران منابع آب دارد: مدیریت پایدار تالاب هورالعظیم نیازمند در نظر گرفتن نقش همزمان تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی است. بدون چنین نگاهی، احتمال از دست رفتن این اکوسیستم ارزشمند در آینده نزدیک بسیار بالاست. در نهایت باید تأکید کرد که تالاب هورالعظیم تنها یک زیست‌بوم طبیعی نیست، بلکه به‌عنوان یک آرشیو اقلیمی نیز ارزشمند است (الباجی و همکاران، ۱۴۰۱).

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده بر روی ستون چینه‌شناسی رسوبات بستر تالاب هورالعظیم در ایستگاه‌های برداشت مغزه رسوبی، می‌توان نتیجه گرفت که حدود کمتر از ۱۵۰۰ سال پیش، شرایط اقلیمی و رسوبی منطقه تحت تأثیر عمده جریان‌های رودخانه کرخه بوده است. در این دوره، رسوبات ورودی از رودخانه کرخه در یک محیط رسوبی دلتایی در محل ورود رودخانه به تالاب هورالعظیم ته‌نشین شده است. این محیط رسوبی دلتایی، به‌ویژه در نواحی نزدیک به دهانه رودخانه، حاکی از جریان‌های آبی و بارش‌های بالا در این دوره است که تا حدود ۸۰۰ سال پیش ادامه داشته است. در حدود ۸۰۰ سال پیش با تغییر مسیر رودخانه و جابجایی کانال‌های آن در طول زمان، شرایط رسوبی منطقه تغییر کرده و این تحولات موجب تغییرات در ساختار و نوع رسوبات شده است.

این تغییرات در رسوبات، که در مغزه‌های مختلف مشاهده می‌شود، نشانه‌هایی از تحولات اقلیمی و زیست‌محیطی در طول زمان است. تغییر تدریجی شرایط اقلیمی در حدود ۸۰۰ سال پیش از گرم و مرطوب به گرم خشک رخ داده است که این روند به آرامی در منطقه اتفاق افتاده است. بررسی‌های انجام‌شده بر روی بقایای گیاهی، مواد آلی و بقایای جانوری موجود در رسوبات این منطقه نشان‌دهنده این است که پوشش گیاهی در آن دوره‌ها بیشتر شامل گونه‌های مرطوب‌پسند بوده است. همچنین، وجود بقایای جانوری خاص که نشان‌دهنده آب‌وهوای مرطوب هستند، نشان می‌دهد که این منطقه در گذشته دارای آب‌وهوای مناسب برای رشد پوشش گیاهی متنوع و پرجمعیت بوده است. در حدود ۲۰۰ سال گذشته رسوبات سطحی به‌ویژه رسوبات قهوه‌ای رنگ که دارای رگه‌های اکسیدی هستند، نشان‌دهنده شرایط اقلیمی خشک‌تر و کمتر بارش است. این تغییرات در رنگ و ترکیب رسوبات به‌ویژه در نواحی بالادست تالاب هورالعظیم قابل مشاهده است. اکسیدهای آهن موجود در این رسوبات می‌تواند نشانه‌ای از شرایط گرم و خشک کنونی منطقه باشد که در آن تبخیر بیشتر از بارش است.

براساس مطالعات کرده‌شناسی گرده‌های گیاهی انجام‌شده در مغزه شماره یک در خروجی رودخانه ساهندی، شواهدی از تغییرات اقلیمی از شرایط گرم و مرطوب به شرایط گرم و خشک مشاهده می‌شود. در این مغزه، ترکیب گرده‌های گیاهی نشان‌دهنده این است که در گذشته، منطقه تحت تأثیر پوشش گیاهی متنوعی بوده که به شرایط مرطوب و آب‌وهوای گرم مناسب برای رشد این

گونه‌ها مرتبط است. اما با حرکت به سمت دوره‌های جدیدتر، این ترکیب‌گردها تغییر کرده و بیشتر به گونه‌های مقاوم‌تر به خشکی و کم‌آبی میل پیدا کرده‌اند. این تغییرات در گرده‌ها به‌وضوح با تغییرات زیست‌محیطی و اقلیمی هماهنگ است. جابه‌جایی گونه‌های گیاهی و تغییرات در پوشش گیاهی منطقه نشان‌دهنده روند گذار از یک محیط مرطوب به یک محیط خشک‌تر است که با کاهش بارش و افزایش دما همراه بوده است.

این تغییرات اقلیمی نه تنها تأثیرات زیست‌محیطی عمیقی در منطقه داشته است بلکه پیامدهایی برای فعالیت‌های انسانی نیز به همراه داشته است. تغییرات در منابع آبی و کاهش بارش‌ها، به‌ویژه در نواحی نزدیک به رودخانه‌ها و تالاب‌ها، می‌تواند تأثیرات زیادی بر کشاورزی، تأمین آب شرب و اکوسیستم‌های محلی داشته باشد. از سوی دیگر، تغییرات اقلیمی موجب تغییر در نوع و پراکندگی گونه‌های گیاهی و جانوری شده است که این خود بر تعادل اکولوژیکی منطقه تأثیر گذاشته است. با توجه به این تغییرات، بررسی‌های بیشتر در زمینه مدیریت منابع آبی و حفاظت از تالاب‌ها ضروری است تا از تبعات منفی این تحولات بر جوامع انسانی و محیط‌زیست جلوگیری شود.

### نتیجه گیری

این پژوهش با هدف تعیین نرخ رسوبگذاری در تالاب هورالعظیم به روش کربن-۱۴ انجام شد و نتایج نشان داد که میانگین نرخ رسوبگذاری برابر با ۰.۳ میلی‌متر در سال است. این مقدار در عین پایین بودن، در مقیاس زمانی بلندمدت به انباشت چشمگیری از رسوبات منجر شده و تالاب را به یک آرشیو طبیعی تغییرات اقلیمی تبدیل کرده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از بررسی‌های رسوب‌شناسی، گرده‌شناسی و سایر مطالعات زیست‌محیطی در منطقه تالاب هورالعظیم و خروجی رودخانه ساهندی، می‌توان به‌طور واضح نتیجه‌گیری کرد که تغییرات اقلیمی و تحولات رسوبی عمده‌ای در طول ۱۵۰۰ سال گذشته در این منطقه اتفاق افتاده است.

در ابتدا، حدود ۱۵۰۰ سال پیش، شرایط اقلیمی و رسوبی منطقه تحت تأثیر جریان‌های رودخانه کرخه قرار داشته که باعث تشکیل محیط‌های دلتایی در محل ورود رودخانه به تالاب هورالعظیم شد. این شرایط به‌ویژه در دوره‌های گرم و مرطوب با بارش‌های بالا، از ویژگی‌های برجسته آن دوره‌ها بوده و تا حدود ۸۰۰ سال پیش ادامه داشت. با تغییر مسیر رودخانه و جابجایی کانال‌های آن، در حدود ۸۰۰ سال پیش، شرایط اقلیمی به تدریج به سمت وضعیت گرم و خشک تغییر کرد که این تغییرات به‌طور مشخص در رسوبات منطقه، به‌ویژه در رسوبات قهوه‌ای رنگ با رگه‌های اکسیدی، قابل مشاهده است. همچنین، یافته‌های گرده‌شناسی از مغزه‌ها نشان می‌دهند که در گذشته پوشش گیاهی متنوعی از گونه‌های مرطوب‌پسند در این منطقه وجود داشته که در طی گذر زمان به گونه‌های مقاوم‌تر به خشکی تبدیل شده‌اند. همچنین، شواهد به‌دست‌آمده بیانگر آن است که در سده‌های اخیر، علاوه بر تغییرات طبیعی، دخالت‌های انسانی نظیر احداث سدها و تغییر کاربری اراضی نیز نقش پررنگی در تغییر روند رسوبگذاری ایفا کرده‌اند. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که تالاب هورالعظیم علاوه بر ارزش‌های اکولوژیک، یک بایگانی ارزشمند برای بازسازی تاریخچه اقلیمی منطقه محسوب می‌شود و حفاظت و مدیریت پایدار آن برای درک بهتر پویایی‌های اقلیمی و زیست‌محیطی ضروری است.

## منابع

- الباجی، ل.، سبزیلیپور، س.، عسکری ساری، ا.، پاینده، خ.، و محمدی روزبهانی، م.، (۱۴۰۱). ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات، آب و ماکروبتوتوزهای تالاب هورالعظیم (خوزستان). اقیانوس شناسی. ۱۳ (۵۲)، ۲۹-۴۷.
- چترنور، م.، مرادی مجد، ن.، دلسوز خاکی، ب.، نویدی، م.ن.، و دواتگر، ن. (۱۴۰۳). استفاده از مدل چندگانه خطی SDSM به منظور پیش بینی دما (مطالعه موردی: تالاب های هورالعظیم و میانگران). فصلنامه علوم محیطی، ۲۲(۱): ۱۶۵-۱۴۴.
- دیناروند، م.، (۱۴۰۱). تالاب مرزی هورالعظیم، اکوسیستمی با ارزش و با تنوع زیستی بالا. نشریه طبیعت ایران، ۷(۲)، ۱۰۹-۱۲۳.
- زینل زاده، هنرمند، ج.، پرهام، س.، و رضایی پرتو، ک.، (۱۴۰۱). بررسی نرخ های رسوب گذاری و فرونشست در دشت گرگان با استفاده از مدل سازی حوضه. نشریه پژوهش نفت، ۳۲(۱۲۶)، ۱۴۶-۱۳۹.
- ساتیاروند، م.، ورشوساز، ک.، اورک، ن.، چراغی، م.، و مبارک حسن، ا.، (۱۴۰۳). ارزیابی ریسک سیالن چاه نفت در تالاب هورالعظیم با روش تجزیه و تحلیل حالت شکست و اثرات آن (FMEA) و آنالیز درخت خطای فازی (FFTA). مجله اکوبیولوژی تالاب، ۱۶(۶۰)، ۲۷-۱۵.
- سیفی، س.، خدشناس، س.ر.، و مساعدی، ا.، (۱۴۰۰). پیش بینی تغییرات رسوب ورودی به مخزن سد با استفاده از مدل بارش-رواناب IHACRES تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم (مطالعه موردی: سد طرق). مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲(۱۰)، ۲۵۵۳-۲۵۳۹.
- محسنی، م.، سامانی جمال، م.و.، ایوب زاده، و س.ج.، (۱۳۹۸). برآورد ضرایب انتشار و نرخ رسوبگذاری در کانال مرکب با وجود پوشش گیاهی در سیلابدشت. مجله پژوهش آب ایران، ۱۳(۴)، ۶۱-۵۱.
- میرزاپور، ب.، لک، ر.، آل علی، س.م.، جمالی، م.، و شهبازی، ر.، (۱۳۹۹). رسوب شناسی و محیط های رسوبی تالاب های جنوب و جنوب غرب دریاچه ارومیه. فصلنامه علوم زمین، ۲۹(۱۱۶)، ۲۶۴-۲۵۳.
- Fleming, R. F., & Barron, J. A., (2010). Evidence of Pliocene north of Agus in Antractic from Pliocene marine sedimentary deposits. *Mar. Micropaleontol*, 27, 227-236.
- Goltnik, T., Burger, J., Kranjc, I., Turšič, J., Zuliani, T., (2022). Potentially toxic elements and Pb isotopes in mine-draining Meža River catchment (NE Slovenia). *Water*, 14(7), 998.
- Joorabian Shooshtari, Sh., & Jahanishakib, F., (2024). Estimating the severity of landscape degradation in future management scenarios based on modeling the dynamics of Hoor Al-Azim International Wetland in Iran-Iraq border. *Scientific Reports*, 14, 11877.
- Lewis, D.W. & McConchie, D., (1994). *Analytical Sedimentology*, Chapman and Hall. New York, London, 197
- Mayahi, J., Eskandari dameneh, H. & Zarasvandi, A., (2021). Assessments land cover change effects on soil erosion trend in Hoor al-Azim wetland, Southwestern of Iran. *J. Nat. Environ. Hazards*, 10(27), 107-122.
- Moosavian, S.M., Karbassi, A., Sabzalipour, S., Amirnezhad, R., & Daneshian, J., (2019). Determination of sedimentation rate of Hoor-Al-Azim wetland by carbon-14 method and analysis of its past climate using element geochemistry. *Environmental Earth Sciences*, 78, 658.

- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P., Buck, C., .... & Plicht, J., (2013). IntCal13 and marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55(5), 1869–1887.
- Tucker, M.E., (2001). *Sedimentary petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks* (3rd ed.). Blackwell Science.
- Zare Khosh Eghbal, M., Ghazban, F., Sharifi, f., (2013). Using C14 isotope in determining sedimentation rate in non-turbulent aquatic environment. *Annals of Biological Research*, 4 (1), 219-225.
- Zohoorian-Pordel, M., Zalaki, N., Bornaa, R., Neisi, H., Eslamian, S., Ostad Askari, A., Singh, V., Daleziosm, N., Ghane, M., & Matouq, M., (2017). Assessment of Anthropogenic Influences on the Micro-Climate of Wetland Ecosystems: The Case of Hoor-Alazim Wetland in Iran. *International Journal of Mining Science*, 3(4), 34-51.