

دوفصلنامه کواترنری ایران (علمی-پژوهشی)، دوره ۷، شماره ۲ و ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۰

ص ۱ تا ۱۸

رخدادهای خشک اقلیمی هولوسن میانی و پسین در زاگرس مرکزی

هما رستمی؛ دکتری آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، دبیر و عضو هیئت مدیره انجمن کواترنری ایران

قاسم عزیزی*؛ استاد آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، عضو هیئت مدیره انجمن کواترنری ایران

حجت دارابی؛ دانشیار گروه باستان شناسی، دانشگاه رازی کرمانشاه، ایران

مهران مقصودی؛ دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

سحر ملکی؛ دکتری آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، عضو هیئت مدیره انجمن کواترنری ایران

جواد درویشی خاتونی؛ دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

چکیده

پژوهش حاضر با هدف شناسایی و ارائه اطلاعات دقیق از رخدادهای خشک اقلیمی هولوسن میانی و پسین در زاگرس مرکزی انجام شده است. بررسی داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی، سن سنجی و حساسیت مغناطیسی بر روی ۲۲۰ سانتی متر مغزه رسوبی برداشت شده از تالاب هشیلان، امکان بازسازی شرایط اقلیمی ۶۰۰۰ سال گذشته در منطقه زاگرس میانی را فراهم نمود. نتایج این مطالعات نشان دهنده افزایش طوفان‌های گرد و غبار در دوره‌های خشک بود که در دوره‌های زمانی ۵۲۰۰-۵۴۰۰، ۴۸۵۰-۴۷۰۰، ۳۷۰۰-۴۲۰۰، ۳۲۵۰-۳۴۰۰، ۲۱۰۰-۲۳۰۰ و ۱۵۰۰-۱۷۰۰ سال قبل در منطقه رخ داده‌اند. بیشترین نوسانات و رخدادهای اقلیمی کوتاه مدت در منطقه متعلق به هولوسن پسین بوده است. همچنین نتایج آنالیزهای ژئوشیمی، پذیرفتاری مغناطیسی و جرم کاهی گرمایشی، بررسی تغییرات عناصر و نسبت‌های عنصری رسوبات محیط تالاب نشان‌دهنده مطابقت رخدادهای خشک به همراه طوفان‌های گردوغبار با رخدادهای سرد هولوسن در نیمکره شمالی بود.

واژه‌های کلیدی: رخدادهای خشک اقلیمی، زاگرس میانی، مغزه رسوبی، تالاب هشیلان.

مقدمه

اقلیم، به عنوان میانگین دما یا بارش در یک دوره طولانی مدت، به طور مداوم در حال نوسان و تغییر بوده است ارتباط پیچیده ای بین تغییر اقلیم و واکنش‌های زیستی و فرهنگی انسان وجود دارد (Weeks and Petrie, 2018). افزایش شرایط خشکی در نواحی جنب حاره‌ای یکی از عواقب و آثار ناشی از تغییر اقلیم می باشد که توسط مدل‌های مختلف، پیش بینی شده است. وقوع دوره‌های خشک طولانی مدت در ایران و جهان مربوط به عصر حاضر نبوده و در گذشته نیز همواره تکرار شده است. با این وجود مدل‌های کنونی گردش عمومی جو نمی توانند به درستی وسعت، دامنه، زمان وقوع و خاتمه دوره های خشک اقلیمی را پیش بینی کنند (Sutherland, 2003). برای کمک به شناخت بهتر رخداد‌های اقلیمی حال حاضر لازم است از نتایج بررسی های آب و هواشناسی دیرینه استفاده شود. زیرا این دانش براساس شواهد و واقعیت های به جا مانده از گذشته به بازسازی شرایط اقلیمی و سامانه های جوی دیرینه و تغییرات محیطی ناشی از آن ها می‌پردازد و به نتایجی صحیح و غیرقابل انکار دست می یابد. استفاده از اطلاعات و داده های دستگاهی اقلیمی با توجه به کوتاه بودن دوره برداشت (حداکثر حدود ۶۰ سال در ایران) برای مدل های پیش بینی طولانی مدت، دچار خطا خواهد بود (Solotchina et al., 2014). در حالی که استفاده از نتایج آرشیوهای مختلف دیرینه اقلیم می تواند شرایط آب و هوای چند هزار سال گذشته را بازسازی کند و پیش بینی های دقیق تری برای آینده ارائه نماید. با توجه به اینکه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات توان فوق‌العاده‌ای در ثبت وقایع اقلیمی و محیطی با حساسیت و وضوح بالا و میزان تفکیک‌پذیری بسیار زیاد دارند، لذا استفاده از نتایج ژئوشیمی رسوبی در شناسایی و بازسازی اثرات رخداد‌های اقلیمی خشک یکی از متداول‌ترین روش‌ها است (Sai, 2004). تغییرات آنومالی عناصر و نسبت‌های عنصری، شاخص مناسبی برای بررسی تغییرات اقلیمی و محیطی، شناسایی وقایع خاص ساختاری و اقلیمی، میزان و نوع هوازدگی و فرسایش مرتبط با آب و هوای گذشته، نوسانات سطح آب، حجم مواد آواری حمل شده به حوضه، شرایط دیاژنزی حاکم برحوضه و ارائه نتیجه در مورد تکوین هواکره، آب‌کره و زیست‌کره به شمار می‌آیند (Roy et al., 2008; Gallala et al., 2009; Saha et al., 2010). در این راستا، حوضه های بسته، به دلیل حساسیت بسیار زیاد به بیلان تبخیر و بارش، مناسبترین سیستم جهت بررسی های آب و هوای دیرینه هستند. دریاچه هاو تالاب ها، اسناد و مدارکی با حساسیت و وضوح بالا فراهم می آورند که برای مطالعه تغییرات اقلیمی و محیط های رسوبی در سطح جهانی مورد نیاز است. نهشته های بادی موجود در محیط های دریاچه ای، به دلیل ثبت دوره های خشکسالی و طوفان های گرد و غبار، بایگانی های ارزشمندی از شرایط محیطی دیرینه اند (Asouti and Kabukcu 2014). بررسی این رسوبات اطلاعات باارزشی در خصوص ماهیت، شدت، فراوانی، عوامل تغییرات، و ایجاد بلایای طبیعی در طول دوره های گذشته در اختیار قرار می دهد (Wasylikowa et al. 2008). اکثر محیط های رسوبی تولیدکننده گرد و غبار و رسوبات بادی عهد حاضر و قدیمی در محیط هایی با اقلیم خشک واقع شده اند (پرسپرو ۱ و همکاران ۱۳۳۱؛ واشینگتون ۹۳ و همکاران). فرسایش بادی و طوفان های گرد و غبار در فازهای خشک و سرد و یخچالی پلیستوسن بسیار شدیدتر از حال بوده است؛ به گونه ای که شواهد آن از رسوبات اقیانوسی، دریاچه ای، پیت ها، و نیز مغزه های یخی قابل مشاهده است (Wasylikowa et al. 2008). در زمینه بازسازی شرایط دیرینه اقلیم و شناسایی رخداد‌های خشک آب و هوایی، مطالعات بسیاری در جهان انجام شده است، برای نمونه می توان به تحقیقات بوزانو و همکاران (۲۰۰۲)

اشاره نمود که با استفاده از شاخص ها و نسبت های ژئوشیمی، افزایش مقادیر آهن را شاخصی برای شناسایی افزایش طوفان های گرد و خاک در مراکش معرفی نموده و به این نتیجه رسید منشأ طوفان های گرد و خاک در دوره های خشک از بیابان صحرا و ساحل بوده است. مولیتزا و همکاران (۲۰۰۸) افزایش مقادیر پتاسیم را نشان دهنده افزایش طوفان های گرد و خاک در یک دوره خشک در سنگال معرفی کرد. همچنین ایشان از نسبت Fe/K جهت شناسایی رسوبات حاصل از فعالیت های سیلابی و بادی در سنگال استفاده نموده و دریافتند که مقادیر بالای این نسبت نشان دهنده افزایش مواد و ذرات معلق در رودخانه بوده است که توسط باد وارد منطقه شده اند. زابل و همکاران (۲۰۰۱) با مطالعاتی که بر روی رسوبات دریاچه ای مناطق خشک آفریقا داشتند به این نتیجه رسیدند که در رسوبات دریاچه ای، K از فلدسپارپتاسیم یا ایلیت مشتق می شود که شاخصه نواحی خشک و دارای هوازدگی فیزیکی بالاست. مورنو و همکاران (۲۰۰۹) از نسبت Si/Al جهت شناسایی تغییرات ذرات کوارتز وارد شده به حوضه کاناری ناشی از تغییر شدت فعالیت طوفان های گرد و خاک دیرینه استفاده نموده و به این نتیجه رسیدند افزایش این نسبت نشان دهنده افزایش ذرات گرد و غبار بسیار ریزی است که توسط طوفان های گرد و خاک در دوره های خشک از فواصل دور به منطقه حمل شده است. از پژوهش های انجام شده در زمینه شناسایی و بررسی تغییرات اقلیمی هولوسن میانی و پسین در ایران نیز می توان به بررسی رسوبات دریاچه نئور در شمال غرب ایران اشاره کرد. نتایج بررسی های ژئوشیمی و رسوب شناسی نشان داد که در طول هولوسن میانی و پسین رخدادهای اقلیمی سرد و خشک به طور ناگهانی در طول یک دوره مرطوب رخ داده اند (شریفی و همکاران، ۲۰۱۵). مطالعه انجام شده توسط لک (۱۳۸۶) بر روی رسوبات دریاچه مهارلو نشان دهنده وجود دو فاز خشکی در رسوبات دریاچه طی ۵ هزار سال گذشته است. مطالعه مغزه های رسوبی براساس نتایج ژئوشیمیایی بریست و همکاران (۲۰۱۸) بر روی دریاچه مهارلو نشان داد که در ۲۰۰۰-۳۸۰۰ سال قبل مقدار بار رسوبی حمل شده به دریاچه افزایش داشته و در ۳۶۵۰-۳۷۰۰، ۳۴۵۰-۳۵۰۰ و ۳۲۵۰-۳۴۰۰ سال قبل به بیشترین مقدار خود رسیده است. نتایج آنالیز کانی رسی انجام شده بر روی مغزه های رسوبی دریاچه بختگان نشان دهنده وجود دو دوره آب و هوای گرم و معتدل، دو دوره آب و هوای سرد و معتدل یا خشک، دو دوره آب و هوای سرد و معتدل و پنج دوره آب و هوای گرم و خشک در طول هولوسن پایانی بوده است (لشکری و همکاران، ۱۳۸۹). صفایی راد و همکارانش (۱۳۹۳) با استفاده از شواهد گرده شناسی به بازسازی شرایط اقلیمی منطقه زاگرس مرکزی پرداخته و شرایط آب و هوایی پلستوسن پایانی را سرد و خشک و اقلیم دوره هولوسن را گرم و مرطوب معرفی نمود. با این وجود، مطالعات دقیق همراه با سن سنجی های کافی در زمینه رخدادهای اقلیمی هولوسن در ایران بسیار اندک می باشد. اکثر مطالعات انجام شده دارای بازه های گسترده زمانی بیش از ده هزار سال بوده و عملاً شناسایی رخدادهای اقلیمی کوتاه مدت (۳۰۰-۱۰۰ سال) در آنها امکان پذیر نبوده و یا دارای دقت کافی نمی باشد. با توجه به این که شناسایی و بازسازی دقیق رخدادهای ناگهانی اقلیمی به ویژه رخدادهای خشک و اثرات آن ها، به پیش بینی احتمال وقوع این رخدادهای در آینده کمک نموده و موجب افزایش و ارتقاء دانش در زمینه کاهش اثرات زیان بار و خسارات اقتصادی اجتماعی ناشی از این رخدادهای طبیعی می شود، همچنین نتایج حاصل از آن در مطالعات میان رشته ای نظیر باستان شناسی، زمین باستان شناسی و محیط شناسی دیرینه نیز کاربرد خواهد داشت. این پژوهش با هدف شناسایی رخدادهای خشک اقلیمی هولوسن میانی و پایانی و بازسازی آب و هوای دیرینه زاگرس مرکزی انجام شد. در این پژوهش، رخدادهای خشک اقلیمی با استفاده از نتایج ژئوشیمی، مغناطیس سنجی و

جرم کاهی گرمایشی با دقت و وضوح بالا مورد بازسازی قرار گرفت. قدرت تفکیک و اندازه گیری در آنالیز ژئوشیمی ۱ میلیمتر، در مغناطیس سنجی ۵ میلیمتر و در جرم کاهی گرمایشی ۵ سانتی متر بوده است. همچنین از نتایج هفت نمونه جهت سن سنجی کربن ۱۴ استفاده گردید.

منطقه مورد مطالعه

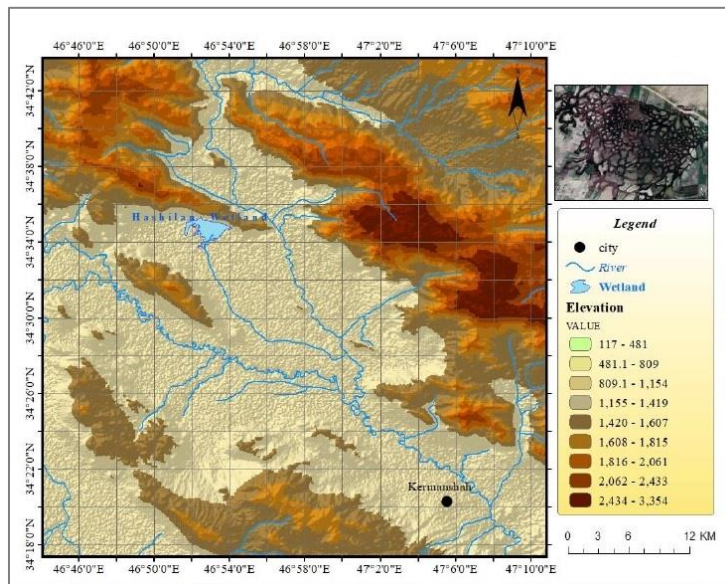
تالاب هشیلان در موقعیت $34^{\circ} 34'$ عرض شمالی و $46^{\circ} 52'$ طول شرقی قرار گرفته است. ارتفاع این تالاب از تراز دریاهای آزاد 1307 متر و مساحت آن نزدیک به 450 هکتار است. این تالاب در فاصله 36 کیلومتری شمال غربی شهر کرمانشاه و در دشت الهیارخانی قرار دارد که از شمال و غرب توسط کوهستان خورین و از جنوب توسط کوهستان ویس احاطه شده است (شکل ۱). مهم ترین سرچشمه تأمین کننده آب تالاب هشیلان، چشمه سبزعلی است که در حاشیه شمالی تالاب و در پایکوه کوهستان خورین قرار دارد. طبق داده‌های میانگین ماهانه بارش و دمای ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه (دوره آماری $1988-2019$) که با فاصله‌ای نزدیک به 36 کیلومتر از تالاب، نزدیک ترین ایستگاه هواشناسی به شمار می‌آید، متوسط بارش سالانه حدود 400 میلی‌متر است. ماه مارس (اسفند) با $71/7$ میلی‌متر و جولای (تیر) با بارشی کمتر از 1 میلی‌متر به ترتیب پربارش ترین و کم بارش ترین ماه‌های سال می‌باشند. متوسط دمای سالانه $15/5$ درجه سلسیوس است. ژانویه (دی) با 2 درجه سلسیوس و جولای (تیر) با $29/3$ درجه سلسیوس به ترتیب سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سال در منطقه مورد مطالعه می‌باشند (صفایی راد و همکاران، 1393). فصل خشک در منطقه مورد مطالعه پنج ماه و از می (اردیبهشت) تا اکتبر (مهر) طول می‌کشد. آب تالاب از طریق چشمه سبزعلی تأمین می‌شود. چشمه سبزعلی یک چشمه کارستی است که توسط آبخوان کارستی خورین تغذیه می‌شود. این آبخوان در آهک توده‌ای بیستون شکل گرفته است (باقری سیدشکری، 1394). این تالاب بر روی سنگ آهک بیستون (TRKubl) توسعه یافته است. همچنین در اطراف این تالاب ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع ($Qft2$) نیز وجود دارد. در حوضه آبریز تالاب هیچ گونه سازند با نهشته‌های تبخیری وجود ندارد (صفایی راد و همکاران، 1393).

مواد و روش‌های مطالعه

جهت شناسایی و بازسازی رخدادهای خشک هولوسن میانی و پسین از یک مغزه رسوبی 2 متری برداشت شده از بخش میانی تالاب هشیلان استفاده گردید. عمل مغزه‌گیری با استفاده از مغزه‌گیر روسی^۱ انجام شد. از مغزه‌های برداشت شده عکس تهیه شد و سپس به درون لوله‌های پولیکای برش داده شده نیم متری منتقل و مشخصات هر یک بر روی لوله‌های پلاستیکی و پوشش‌ها درج شد، روی نمونه‌ها با پوشش پلاستیکی و فویل پوشانیده و به آزمایشگاه پالئوکلیمای دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران و سپس به مرکز ژئوژنتیک دانشگاه کپنهاگ دانمارک ارسال شدند (شکل ۲). در ابتدا مشخصات ظاهری مغزه‌ها بر اساس شواهد ماکروسکوپی شامل نوع، جنس و رنگ رسوبات، بقایای گیاهی، آثار و محتویات فسیلی مورد بررسی قرار گرفت. ستون چینه‌شناسی با استفاده از نرم افزار کورل و سدلاگ ترسیم شد. اولین آنالیز انجام شده بر روی نمونه‌ها به دلیل لزوم حفظ دست نخوردگی رسوبات

1 Russian split corer

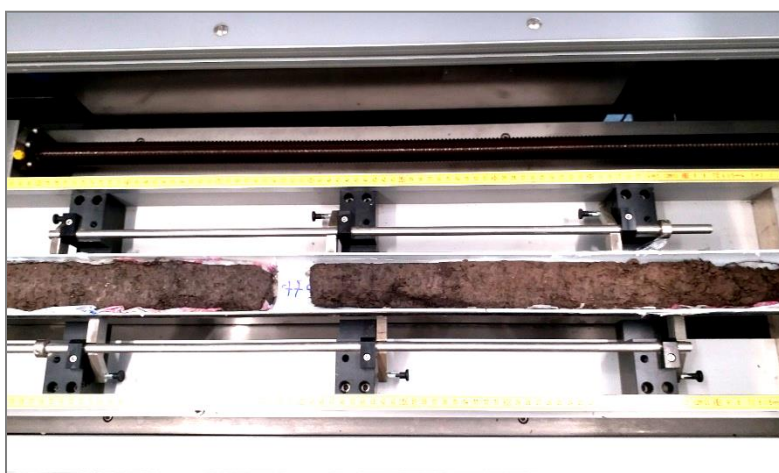
شامل آنالیز ژئوشیمی و پذیرفتاری مغناطیسی بود. سنجش حساسیت مغناطیسی نمونه ها و اندازه گیری با دقت ۵ میلیمتر با استفاده از اسکنر COX Itrax CS37 دستگاه مغناطیس سنج MS2C بارتینگتون در آزمایشگاه ژئوژنتیک موزه زمین شناسی کپنهاگ دانمارک انجام شد. جهت انجام آنالیز XRF کلیه نمونه های رسوبی از پوشش پلاستیکی خارج شده و سطح آنها بطور بسیار ملایم و بادقت مسطح گردید تا در اندازه گیری ها خطایی رخ ندهد سپس روی نمونه ها با سلفون نازک پوشانیده شد و در هر نوبت تعداد سه مغزه نیم متری در دستگاه اسکنر COX Itrax CS37 قرار گرفت. در ابتدا اسکن سطحی و توپوگرافی مغزه ها ترسیم شد و پس از آن مغزه ها با دقت ۱ میلی متر مورد آنالیز XRF قرار گرفت (شکل ۳). پس از آن زیرنمونه هایی با فواصل ۵-۱۰ سانتی متر جهت انجام آنالیز جرم گاهی گرمایشی برداشت شد. برداشت زیرنمونه و انجام آنالیز بر اساس روش مرسوم Dean (1974) و (Heiri et al. 2001) انجام شد. بدین ترتیب که حجم نمونه برداشت شده ۱ سانتی متر مکعب بوده و نمونه ها در بوته های چینی که از قبل وزن خالی آنها اندازه گیری شده بود قرار داده شده و به منظور تیخیر کل رطوبت موجود، برای مدت ۲۴ ساعت در کوره با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. پس از آن وزن مواد خشک باقی مانده اندازه گیری شد. جهت اندازه گیری وزن مواد آلی، زیرنمونه ها در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. در این دما، کلیه مواد آلی از بین می رود. پس از آن بوته ها مجدداً وزن شده و در مرحله آخر جهت سوزاندن کربنات کلسیم موجود، زیر نمونه ها در کوره با دمای ۹۵۰ درجه قرار گرفتند. کلیه مراحل انجام این آنالیز در آزمایشگاه ژئوژنتیک دانشگاه کپنهاگ و با استفاده از کوره Nabertherm Controller C6 انجام شد. جهت انجام آنالیز سن سنجی تعداد هفت نمونه بقایای زغالی به موسسه فیزیک و نجوم دانشگاه آرهوس دانمارک ارسال شد. از آنجایی که نتایج سن سنجی نمونه های بقایای گیاهی و بالک حوضه های دارای کربنات کلسیم غالباً با خطا همراه است از چنین نمونه هایی استفاده نگردید. نتایج سن سنجی کربن ۱۴ با استفاده از نرم افزار OxCal در محدوده خطای ۲ سیگما و ضریب اطمینان بالای ۹۵ درصد (Bronk Ramsey and Lee, 2013) کالیبره شد.



شکل ۱: نقشه سطوح ارتفاعی و شبکه زهکشی آب های جاری مجاور تالاب هشیلان



شکل ۲: برداشت مغزه رسوبی، یادداشت کردن مشخصات مغزه برداشت شده، بسته بندی مغزه ها

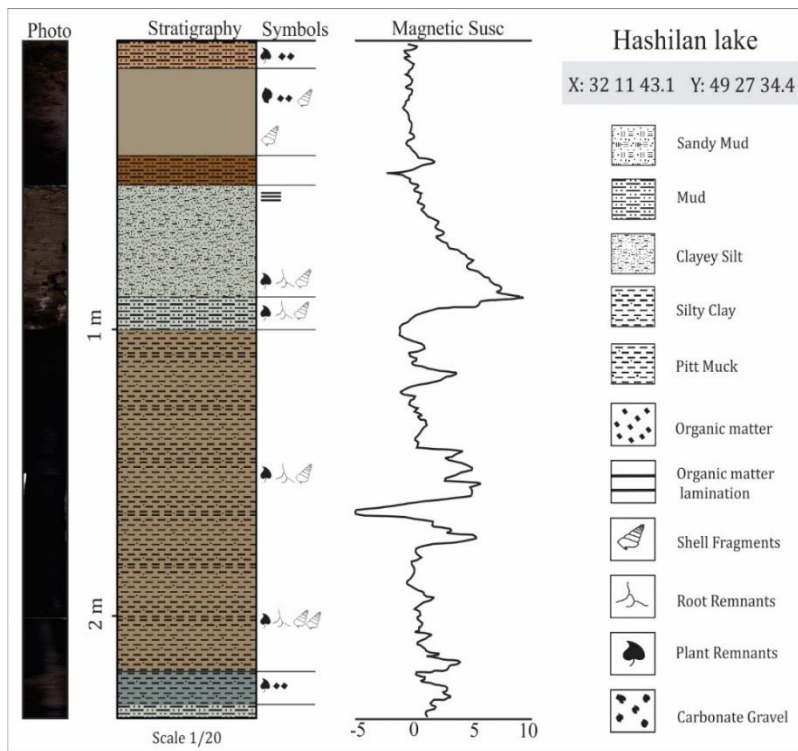


شکل ۳: نحوه قرارگیری مغزه های رسوبی در دستگاه Core Scanner Itrax

یافته های پژوهش

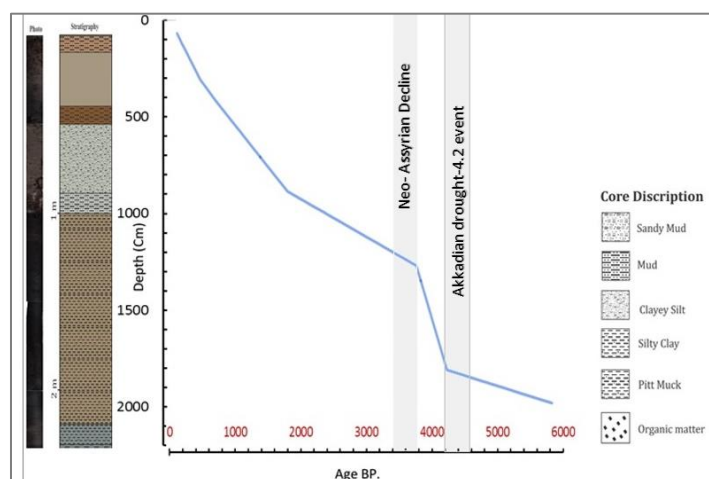
به طور کلی نتایج حاصل از بررسی های رسوب شناسی نشان دهنده آن بود که بخش اول مغزه (۵۰-۰ سانتی متر) که جوانترین بخش رسوبات مورد مطالعه می باشد، دارای گل قهوه‌ای رنگ، به همراه لکه های ماده آلی، بقایای صدفی و در بخش بالایی مغزه ذرات آهکی در حد گراول و بقایای گیاهی و خاک تکامل نیافته بوده و شواهدی از شرایط خشک و سیلابی در آن مشاهده شد. در عمق ۵۰-۱۰۰ سانتی متری، غلبه با رخساره سیلت رسی به همراه مواد آلی، بقایای گیاهی و صدفی بود. از عمق ۵۰ سانتی متری گل و سیلت رسی سبز رنگ جایگزین گل قهوه ای شد که این توالی در مغزه مورد مطالعه نشان دهنده محیط پرآب تالابی است. بخش سوم و چهارم مغزه (۱۰۰-۲۰۰ سانتی متر) دارای رخساره گل قهوه‌ای تا سیاه رنگ، به همراه مواد آلی و بقایای خرده صدف‌ها و ریشه ها بود. لایه بندی منظم و تناوبی سیلت و ماسه زرد رنگ در این بخش قابل مشاهده بود. بخش انتهایی (۲۲۰

سانتی متری) مغزه مورد مطالعه رسوبات گلی خاکستری دارای لکه های سیاه رنگ به همراه بقایای صدفی و گیاهی می باشد (شکل ۴).



شکل ۴: ستون چینه شناسی مغزه رسوبی برداشت شده از تالاب هشیلان و تغییرات حساسیت مغناطیسی در عمق های مختلف.

مدل سن عمق که با توجه به نتایج سن سنجی ، رسوب شناسی و استفاده از نرم افزار OxCal ترسیم شد نشان دهنده آن بود که متوسط نرخ رسوبگذاری در منطقه (۲/۱ سانتی متر در قرن) بوده و به طور کلی رسوبگذاری به کندی در منطقه صورت گرفته است. بارزترین تغییرات مشاهده شده در این نمودار مربوط به ۴۲۰۰ (با نرخ رسوبگذاری ۱/۱ سانتی متر در قرن) و ۳۲۰۰ سال قبل بوده است (شکل ۵). این قسمت ها دارای بیشترین مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی بوده همچنین رسوبات سیلتی و ماسه ای زرد رنگ نیز در این قسمت ها افزایش داشته است (شکل ۴).



شکل ۵: مدل سن-عمق تالاب هشیلان، دو رخداد خشک اقلیمی که با تغییر ناگهانی نرخ رسوبگذاری در محیط همراه بودند با نوار خاکستری نشان داده شده است.

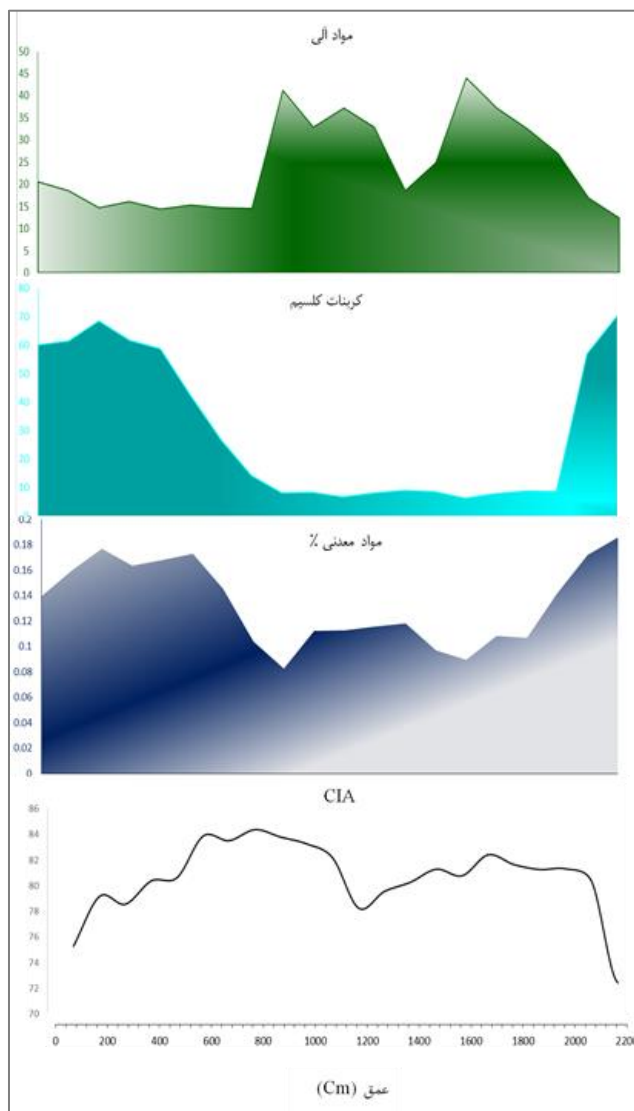
در این مطالعه بیش از ۲۵۰۰ نقطه اطلاعاتی از مغزه مورد مطالعه مورد مغناطیس سنجی قرار گرفت. اندازه گیری های انجام شده نسبت به حجم یک متر مکعب صورت گرفته است، بنابراین حساسیت پذیری مغناطیسی به دست آمده بدون واحد می باشد (Ellwood et al., 2006). حساسیت مغناطیسی معمولاً نشان دهنده مقدار غلظت حجم کانیهای مغناطیسی موجود در نمونه است. مقدار حساسیت پذیری مغناطیسی ارتباط مستقیمی با تمرکز ترکیبات آهن دار در رسوبات و در نتیجه افزایش مواد آواری به درون حوضه نشان داد. به طوری که بالا بودن مقدار آهن در رسوبات، میزان حساسیت پذیری مغناطیسی را افزایش داد. در محیط های تالابی و دریاچه ای، افزایش پذیرفتاری یا حساسیت مغناطیسی نشان دهنده آن است که رسوبات دارای کانی های مغناطیسی در حوضه افزایش داشته است. از آنجایی که منطقه مورد مطالعه یک تالاب بسته بوده و هیچ رودی از آن نمی گذرد و تنها منبع تغذیه کننده تالاب، یک چشمه آهکی می باشد و با توجه به این که کربنات کلسیم هم پذیرفتاری مغناطیسی را افزایش نمی دهند می توان نتیجه گرفت عامل اصلی افزایش ترکیبات آهن دار و رسوبات آواری به منطقه، طوفان های گرد و غبار و یا سیلاب هایی بوده که مواد رسوبی را از دامنه کوه ها به محیط تالاب منتقل نموده است. بیشترین مقادیر حساسیت مغناطیسی کاملاً و یا تا اندازه ای منطبق بر نمونه هایی بود که حاوی مقادیر بالای سیلت و یا ماسه بوده و رسوبات ریز دانه تر و یا رسوبات دارای درصد بالای رس با مقادیر پایین حساسیت مغناطیسی همراه بود. ارتباط میان مواد آلی و مقادیر حساسیت مغناطیسی در منطقه مورد بررسی معکوس بود. با افزایش مواد آلی مقادیر حساسیت مغناطیسی کاهش یافته و در بخش های دارای مواد آلی اندک و یا فاقد مواد آلی که غالباً رسوبات سیلتی و ماسه ای را شامل می شد مقدار حساسیت مغناطیسی افزایش داشت. بیشترین مقادیر حساسیت مغناطیسی متعلق به عمق های ۸۰، ۴۰، ۷۰، ۱۱۰، ۱۳۰، ۱۴۰، ۱۶۰، ۱۸۰ سانتی متری بود و کمترین مقادیر به عمق های ۵۰ و ۱۵۰ سانتی متری تعلق داشت.

ژئوشیمی رسوبی به عنوان شاخص اقلیم دیرینه

جهت شناسایی فرایندهای هوازدگی از شاخص CIA استفاده شد. این شاخص که «شاخص شیمیایی تغییر»^۲ یا CIA نامیده می‌شود توسط نسبیت و یانگ در ۱۹۸۲ معرفی شد که میزان هوازدگی شیمیایی و رطوبت موثر را نشان می‌دهد.

$$CIA = \frac{Al_2O_3}{(Al_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO^*)} \times 100 \quad (\text{معادله ۱})$$

مقادیر اکسیدها باید به مول محاسبه شود، همچنین CaO^* مقدار CaO موجود در سیلیکات‌ها می‌باشد. CIA مقداری از هوازدگی کانی‌های فلدسپار و هیدراسیون آن‌ها به تشکیل کانی‌های رسی است. با افزایش مقدار رس، Al هم افزایش می‌یابد. در عوض مقادیر K، Ca و Na کاهش پیدا می‌کند که به بالا رفتن مقادیر CIA منجر می‌شود. تغییرات CIA در طول هوازدگی می‌تواند بسیار زیاد و یا اندک باشد. در حالت کلی در آب و هوای گرم و مرطوب شاخص CIA افزایش یافته و در شرایط خشک، کاهش پیدا می‌کند. بررسی مقادیر CIA نشان دهنده افزایش آن در عمق‌های ۶۰ تا ۱۰۰ سانتی متری بود. همچنین کمترین مقادیر در رسوبات متعلق به عمق‌های ۱۶۰ و ۱۲۰ سانتی متری بود که به ترتیب با ۴۲۰۰ و ۳۶۰۰ سال قبل مطابقت زمانی دارند. افزایش مواد آلی در رسوبات تالاب نشان دهنده وجود شرایط مناسب جهت رویش گیاهان درون تالاب می‌باشد. بدین معنا که در اثر افزایش دما عمق تالاب کاهش یافته و به دلیل وجود شرایط مرطوب، رشد گیاهان درون تالاب افزایش داشته است. بیشترین مواد آلی مربوط به ۴۰۰۰ سال قبل بوده است. روند افزایش مواد آلی از ۵۰۰۰ سال قبل شروع شده و تقریباً پس از یک هزاره به بیشترین مقدار خود رسیده است. پس از آن مقدار مواد آلی روند کاهشی یافته که بیشترین مقدار کاهش مربوط به ۳۲۰۰ سال قبل می‌باشد. در هولوسن پسین مقدار مواد آلی در بازه زمانی ۳۰۰۰ تا ۱۴۰۰ سال قبل تقریباً افزایش داشته و پس از آن کاهش چشمگیری نشان می‌دهد که نشان دهنده افزایش شدت خشکی اقلیمی است. به طور کلی بیشترین مقادیر مواد آلی مربوط به ۵۰۰۰ تا ۱۴۰۰ سال قبل بوده که منطبق بر کمترین مقادیر کربنات کلسیم می‌باشد.

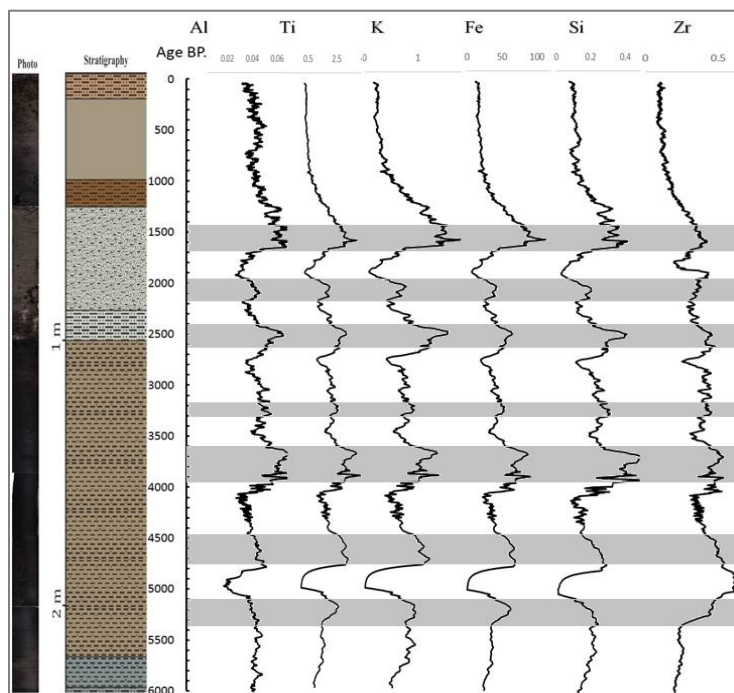


شکل ۶: تغییر مقادیر مواد آلی، درصد کربنات کلسیم، شاخص دانسیته و شاخص CIA در طول مغزه های رسوبی تالاب هشیلان.

یافته ها و بحث

بررسی مدل سن عمق نشان داد که ناگهانی ترین افزایش نرخ رسوبگذاری در محیط مربوط به هولوسن میانی و رخداد ۴۲۰۰ سال قبل با نرخ ۰/۱۱ میلی متر در سال بوده است (شکل ۵). نتایج آنالیز جرم کاهی گرمایشی نشان دهنده وجود رابطه عکس میان مقدار مواد آلی و کربنات کلسیم بود. به گونه ای که در عمق هایی که مقدار مواد آلی افزایش داشت کمترین مقادیر کربنات کلسیم مشاهده شد و در عمق های دارای کربنات کلسیم و مواد معدنی بالا مقدار مواد آلی بسیار اندک بود (شکل ۶). در نتایج آنالیز جرم کاهشی گرمایشی نسبت مواد آلی بین ۴/۵٪ تا ۴۳/۹٪ (میانگین ۱۹/۱٪) بود. در حالی که دامنه کربنات کلسیم بین ۴/۵-۷۰٪ (میانگین ۳۷/۲٪)

تغییر داشت. بیشترین مقدار مواد معدنی و کربنات کلسیم متعلق به عمق های ۲۱۰-۲۲۰ سانتی متری و ۱۰-۸۰ سانتی متری بود که با مقادیر اندک مواد آلی همراه بود. بیشترین مقادیر مواد آلی در عمق های ۱۳۰-۹۵ و ۲۰۰-۱۷۰ سانتی متری مشاهده شد. این امر نشان دهنده این است که شرایط محیطی برای رشد گیاهان در تالاب و اطراف آن فراهم بوده و همین امر موجب افزایش مقدار مواد آلی در رسوبات شده است. افزایش مقدار کربنات کلسیم نشان دهنده کاهش یافتن دما و رطوبت در محیط بوده و کاهش دمای آب و محیط را نشان می دهد که در افزایش مقدار رسوبگذاری کربنات کلسیم در آب تالاب موثر بوده است. در عمق ۱۴۰ سانتی متری که تقریباً متعلق به ۳۹۰۰ سال قبل است کاهش ناگهانی مواد آلی و افزایش کربنات کلسیم وجود داشت. همچنین مشاهده شد در عمق هایی که دارای افزایش مقادیر کربنات کلسیم و کاهش مواد آلی بودند شاخص CIA نیز افزایش داشته که به گونه ای نشان دهنده کاهش مقدار آب موجود در تالاب و افزایش هوازدگی شیمیایی در آن عمق ها است. تطابق میان تغییرات Fe و حساسیت مغناطیسی (MS) و Ti نشان دهنده این بود که بخش عمده آهن موجود در رسوبات، در اثر هوازدگی شیمیایی از دامنه های اطراف وارد محیط تالاب شده و متعلق به خود تالاب نبوده است. مطابقت K و دیگر کانی های رسی نشان داد اکثر رسوبات مینروژنیک نیز دارای منشأ خارج از تالاب بوده اند. شار رسوبات نابرجا زاد در تالاب هشیلان دارای همبستگی مثبت با یکدیگر بوده و با کربنات ها همبستگی منفی داشت که نشان می دهد زمانی که شار گرد و غبار و یا فرسایش فیزیکی افزایش داشته تجمع کربنات کلسیم کاهش یافته است. به عبارت دیگر واریانس نسبت مواد آلی با اینکه همبستگی منفی بالایی با رسوب کربنات کلسیم دارد، با حساسیت مغناطیسی یا مقادیر آهن، تیتانیوم و دیگر کانی های رسی ارتباط قوی نداشت. جهت بررسی دوره های سرد و خشک هولوسن میانی و پسین از نتایج تغییرات عناصری نظیر K, Al, Ti, Fe, Si, Zr استفاده شد. بیشترین مقادیر کلسیم در عمق های ۲۱۰، ۷۰، ۵۰، ۴۰، ۳۰، ۲۰ سانتی متری مشاهده شد و کمترین مقادیر آن در عمق های ۸۰ تا ۱۹۰ سانتی متری دیده شد. بیشترین مقادیر Al متعلق به عمق های ۸۰ - ۹۰، ۱۱۵ و ۱۳۵ - ۱۵۰ سانتی متری بود. البته در سایر عمق ها نیز نوساناتی از افزایش مقادیر آلومینیوم وجود داشت. کمترین مقادیر، متعلق به عمق ۱۶۰ تا ۱۸۰ سانتی متری بود. افزایش مقادیر K, Ti, Fe در عمق های ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۳۰، ۱۵۰، ۱۹۰ سانتی متری و بیشترین کاهش در عمق ۱۹۸ سانتی متری مشاهده شد. تغییرات مقادیر Si نیز مشابه روند تغییرات پتاسیم، آهن و تیتانیوم داشت که نشان دهنده افزایش مقادیر کوارتز و فیلسیلیکات ها در عمق های مذکور است. عناصر مذکور غالباً در اثر طوفان های گرد و خاک و یا فعالیت های سیلابی ناشی از افزایش انرژی محیط، انتقال می یابند. شکل ۵ نشان می دهد که روند افزایشی این عناصر در ۵۲۰۰-۵۴۵۰، ۴۸۰۰-۴۵۰۰، ۳۷۰۰-۴۱۰۰، ۳۲۰۰-۳۳۰۰، ۲۶۰۰-۲۴۵۰، ۲۲۰۰-۲۰۰۰ و ۱۴۰۰-۱۷۰۰ سال قبل بسیار زیاد بوده است. رابطه مقادیر مواد آلی و حساسیت مغناطیسی معکوس بود و در دوره های افزایش مواد آلی در رسوبات حوضه، مقدار حساسیت مغناطیسی کاهش داشته اما در دوره هایی که با ورود مواد آواری و کاهش مواد آلی در حوضه مطابقت داشته مقدار حساسیت مغناطیسی افزایش یافته است. بیشترین کاهش مقادیر مواد آلی مربوط به ۵۷۰۰-۵۵۰۰، ۴۷۵۰-۴۵۰۰، ۴۲۰۰-۳۷۰۰، ۲۷۵۰-۲۵۰۰، ۲۳۰۰-۲۱۰۰ و ۱۷۰۰-۱۵۰۰ سال قبل بوده است. وجود همبستگی میان عناصر Al, Fe, Si و Ti و همچنین افزایش آن ها در عمق های مذکور نشان دهنده تأثیر طوفان های گرد و خاک و شرایط اقلیمی خشک در حمل و انتقال آن ها به تالاب و افزایش شار رسوبات بادی است.



شکل ۴: تغییرات مقادیر K, Fe, Al, Si, Ti, Zr در رسوبات تالاب هشیلان در طی هولوسن میانی و پسین. دوره های سرد و خشک با نوارهای خاکستری نشان داده شده اند.

نتایج بررسی تغییرات مقادیر عناصر ژئوشیمی نشان دهنده این است که شرایط اقلیمی در هولوسن میانی گرم و مرطوب تر از هولوسن پیشین بوده است. در طول هولوسن میانی، رخداد خشکی در ۵۵۰۰ سال قبل در منطقه به وقوع پیوسته که تا ۵۲۰۰ سال قبل به طول انجامیده است. این رخداد خشک با طوفان های گرد و غبار همراه بوده است. در مقیاس نیمکره ای، در ۵۵۰۰ سال قبل شدت فعالیت سامانه های موسمی تابستانه آسیا کاهش یافته و این کاهش تا ۴۹۰۰ سال قبل تداوم داشته است (Butzer et al., 2012). رخداد خشک دیگری که در هولوسن میانی در منطقه به وقوع پیوسته از ۴۸۰۰ سال قبل شروع شده و در ۴۵۰۰ سال قبل خاتمه یافته است. این رخداد در ارتباط با رخداد باند ۳ و آنومالی های منفی دما در گرینلند، امریکای شمالی، افریقا و قطب جنوب می باشد. پس از آن شرایط اقلیمی به مدت ۳۰۰ سال گرم و مرطوب بوده اما با یک رخداد خشک اقلیمی در ۴۲۰۰ سال قبل متوقف شده است. در مقیاس نیمکره ای، در اواخر عصر نوسنگی و ابتدای عصر برنز یک رخداد سرد و بسیار خشک اقلیمی رخ داد که امروزه با عنوان رخداد ۴/۲ شناخته می شود (Carozza et al., 2015). در این دوره زمانی از ۴۲۰۰-۴۰۰۰ سال قبل در بسیاری از نواحی حوضه رود یانگ تسه و بین النهرین سکونتگاه ها تخلیه شده اند (Carozza et al., 2012). نتایج حاصل از بررسی های اقلیم شناسی دیرینه وقوع این رخداد خشک در شمال دریای سرخ (Arz et al., 1998) و ایتالیا (Drake et al., 2012) را تأیید نموده است. رخداد ۴۲۰۰ سال قبل به عنوان یک رخداد بسیار خشک شناخته شده است که تنش های محیطی زیادی را به همراه داشت.

این رخداد در عصر برنز موجب بروز دوره‌های خشکسالی ۳۰۰ ساله در بسیاری از نواحی شد. پژوهش‌ها نشان داده که وقوع این رخداد در منطقه مدیترانه و جنوب غرب آسیا موجب کاهش ۳۰ الی ۵۰ درصدی بارش شد. همزمان با وقوع این رخداد در ۴۳۰۰ تا ۳۹۵۰ سال قبل نوسان اطلس شمالی (NAO) در فاز منفی خود قرار داشت (Olsen et al., 2011). در بسیاری از نواحی وقوع این رخداد خشک بین دو دوره مرطوب در ۴۴۰۰ و ۳۸۰۰ سال قبل به ثبت رسیده است (Magny et al., 2013). این رخداد اقلیمی اثرات سیاسی و فرهنگی بسیاری بر روی جوامع آن زمان داشت. برای نمونه می‌توان به از بین رفتن تمدن هاراپان در شمال غربی دره ایندوس (Ghilardi et al., 2015) امپراتوری اکدی‌ان در بین‌النهرین، پادشاهی مصر باستان و تمدن‌های عصر برنز یونان و کرت اشاره نمود (Weiss, 2012). به طور قطع نمی‌توان نتیجه گرفت که وقوع این رخداد خشک علت اصلی از بین رفتن تمدن‌های مذکور بوده است. اما می‌توان آن را یکی از دلایل اصلی برشمرد. وقوع این رخداد در منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۳۶۵۰ تا ۴۱۰۰ سال قبل بوده که در ۴۲۰۰ سال قبل به بیشترین مقدار خود رسیده است. پس از آن در ۴۰۰۰ سال قبل شرایط اقلیمی مرطوب بوده و در تشکیل حکومت‌های هخامنشی و شکوفایی این تمدن موثر بوده است. در این دوره بیشترین پهنا تحت پوشش جنگلی دست کاشت در ایران وجود داشته است (Djamali et al., 2015). در زاگرس شمال غربی نیز نتایج مطالعات دریاچه آملالو نشان دهنده افزایش سطح کشت درختان دست کاشت به ویژه گردو بوده که نشان دهنده وجود شرایط اقلیمی مناسب جهت افزایش فعالیت‌های کشاورزی و باغداری است (Djamali et al., 2015).

بیشترین نوسانات و رخدادهای اقلیمی کوتاه مدت در منطقه متعلق به هولوسن پسین بوده است. از جمله رخدادهای خشک شناسایی شده در منطقه می‌توان به رخداد خشکی اشاره نمود که از ۳۳۰۰ سال قبل شروع شده و تا ۳۲۰۰ سال قبل به مدت یک قرن ادامه داشته اما پس از آن کاهش مقادیر عناصری چون Fe, K, Ti, Si, Zr و Al در ۲۹۰۰ سال قبل نشان دهنده کاهش نسبی شرایط خشکی است. رخداد خشک ۳۲۰۰ سال قبل یکی از خشک‌ترین رخدادهای هولوسن پسین در نیمکره شمالی می‌باشد. همزمان با وقوع این رخداد سرد و خشک در عرض‌های میانی، شرایط اقلیمی در عرض‌های بالا سرد و همراه با طوفان‌ها و بارش‌های شدید و گسترش صفحات یخچالی بوده است (Mayewski et al., 2004). رخداد ۳۲۰۰ سال قبل با رخداد باندا ۴۲ که موجب افزایش فرار آب‌های سرد قطبی به سمت آب‌های گرم مجاور قطبی اقیانوس اطلس شد همزمان بوده است (Bond et al., 2001). نتایج حاصل از بررسی آنالیزهای $\Delta^{14}C$ و B^{10} نشان دهنده کاهش فعالیت‌های خورشیدی در آن زمان می‌باشد. این رخداد خشک که در بسیاری از نواحی مدیترانه و غرب آسیا از ۳۲۰۰ تا ۲۸۵۰ سال قبل دوام داشته است (Mayewski et al., 2004). این دوره خشک در منطقه مورد مطالعه با ظهور ناگهانی یک دوره مرطوب در در ۲۹۰۰ سال قبل خاتمه یافت. اما پس از آن مجدداً دوره خشک اقلیمی دیگری در ۲۷۰۰ سال قبل در منطقه شروع شده و در ۲۴۰۰ سال قبل به حداکثر شدت خود رسیده است. وقوع و تداوم این رخداد خشک در منطقه با فروپاشی امپراتوری ایلام در ۲۸۰۰ سال قبل و مدس در ۲۵۰۰ سال قبل همزمان بوده است. رخداد خشک دیگری که در مغزه رسوبی مشاهده شد مربوط به ۲۰۰۰-۲۲۰۰ سال قبل است، این رخداد خشک با سقوط امپراتوری هخامنشیان در ۲۲۸۰ سال قبل همزمان بوده است. افزایش عناصر آواری و تخریبی نشان دهنده شدت یافتن طوفان‌های گرد و خاک و خشک بودن شرایط اقلیمی در این دوره اند. وقوع این رخداد خشک اقلیمی در

دریاچه نئور نیز شناسایی شده است (Sharifi *et al.* 2015). به طور کلی شرایط اقلیمی هولوسن میانی و پسین در زاگرس میانی را می توان در جدول زیر خلاصه نمود:

جدول ۱: رخدادهای اقلیمی هولوسن میانی و پسین در زاگرس میانی

شرایط اقلیمی منطقه	دوره زمانی (سال قبل از زمان حاضر)	رخدادهای اقلیمی عمده در جهان
گرم و مرطوب	۶۰۰۰-۵۵۰۰	
سرد و خشک	۵۵۰۰-۵۲۰۰	رخداد ۵/۲
گرم و نسبتاً مرطوب	۵۲۰۰-۴۸۰۰	نوسان پیورا ^۵
سرد و خشک	۴۸۰۰-۴۵۰۰	رخداد باند ۳
گرم و مرطوب	۴۵۵۰-۴۲۰۰	
سرد و خشک	۴۱۰۰-۳۶۵۰	رخداد ۴/۲
گرم و مرطوب	۳۶۰۰-۳۴۰۰	
سرد و خشک	۳۳۰۰-۳۱۵۰	رخداد باند ۲
گرم و نسبتاً مرطوب	۳۰۰۰-۲۷۰۰	
نسبتاً سرد و خشک	۲۶۵۰-۲۴۰۰	دوره سرد کمینه هومری ^۶
گرم و مرطوب	۲۴۵۰-۲۳۵۰	دوره گرم رومن ^۷
سرد و خشک	۲۲۰۰-۲۰۰۰	
گرم و مرطوب	۱۸۰۰-۲۰۰۰	
سرد و خشک	۱۷۵۰-۱۴۰۰	رخداد باند صفر- یخبندان کوچک

نتیجه گیری

بررسی رخدادهای اقلیمی شش هزار سال گذشته نشان دهنده نوسان اقلیم بین فازهای سرد و خشک و گرم مرطوب در منطقه مورد مطالعه (زاگرس مرکزی) بود که با رخدادهای اقلیمی نیمکره شمالی مطابقت داشت. به طور کلی شرایط اقلیمی منطقه، در هولوسن میانی گرم و مرطوب بوده است که با نتایج تحقیقات ون زایست (۲۰۰۸) که بیشترین فراوانی جنگل های بلوط را در این دوره معرفی نموده همخوانی دارد. همچنین بررسی دیرینه اقلیم دریاچه مهارلو (Djamali *et al.*, 2009) و دشت ارژن (حسینی و همکارانش، ۱۳۹۰) نیز نشان دهنده وجود شرایط گرم و مرطوب در این دوره بوده است. در ایران مرکزی نیز بقایایی از زیست بوم های تالابی که نشان دهنده شرایط اقلیمی مرطوب بوده اند شناسایی شده است (نظری و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین در هولوسن میانی سطح آب دریای خزر بالاتر از مقدار کنونی آن بوده است (Kakroodi *et al.*, 2012). با این وجود بررسی های ریزمقیاس دقیقی در زمینه شناسایی رخدادهای اقلیمی کوتاه مدت (بازه زمانی ۳۰۰-۱۰۰ ساله) در زاگرس صورت

5 Piora Oscillation

6 Homeric minimum

7 Roman Warm Period

نپذیرفته و تنها بررسی های جمالی و همکارانش (۲۰۰۹) نشان دهنده وقوع یک رخداد خشک در ۵۷۰۰ سال قبل در زاگرس جنوب غربی بوده است که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد. رخداد خشک شناسایی شده در منطقه در ۵۵۰۰ سال قبل شروع شده و در ۵۲۰۰ سال قبل به بالاترین شدت خود رسیده و پس از آن مجددا شرایط اقلیمی مرطوب بر منطقه حاکم شده است. وقوع رخداد خشکی که در منطقه از ۴۸۰۰ سال قبل شروع شده و در ۴۵۰۰ سال قبل خاتمه یافته است با رخداد خشک شناسایی شده در دریاچه آبزالو (درویشی خاتونی و همکاران، ۱۳۹۸) مطابقت دارد که یک دوره خشک اقلیمی در ۴۴۰۰ تا ۴۷۰۰ سال قبل را در زاگرس جنوبی شناسایی نموده اند، که با دلیل اندک بودن مقادیر نمونه سن سنجی با اغماض می توان گفت مطابقت دوره های شناسایی شده همخوان است. نتایج بررسی های این تحقیق نشان داد طوفان های گرد و غبار در دوره های زمانی ۵۴۰۰-۵۲۰۰، ۴۸۵۰-۴۷۰۰، ۴۲۰۰-۳۷۰۰، ۳۴۰۰-۳۲۵۰، ۲۳۰۰-۲۱۰۰ و ۱۵۰۰-۱۷۰۰ سال قبل در منطقه رخ داده اند که همزمان با دوره های خشک اقلیمی نیمکره شمالی بوده اند. طول دوره های خشک اقلیمی منطقه غالبا ۲۰۰ ساله بوده است. طولانی ترین دوره خشک شناسایی شده در منطقه به ۳۷۰۰-۴۲۰۰ سال قبل تعلق داشت.

تقدیر و تشکر:

بدین وسیله از زحمات و کمک های علمی و حمایت مالی رئیس محترم و اساتید دانشگاه کپنهاگ دانمارک جناب آقای دکتر ریشتر، دکتر روتر و سر کار خانم دکتر رازتو و همچنین جناب آقای دکتر حسن فاضلی نشلی استاد دانشگاه تهران سپاسگزاری و تشکر می شود.

منابع:

- لک، ر. (۱۳۸۶). «بررسی رسوب شناسی، هیدروشیمی و روند تکاملی شورابه دریاچه مهارلو شیراز»، رساله دکتری، دانشگاه تربیت معلم، استاد راهنما: فرج الله فیاضی، ۱۸۸ ص.
- باقری سیدشکری، س. (۱۳۹۴). تاثیر ژئومورفولوژی کارست بر ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان‌های کارستی حوضه رودخانه‌های قره‌سو و ووند در استان کرمانشاه. رساله دکتری، گرایش ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، استادان راهنما منصور جعفریگلو و مجتبی یمانی.
- درویشی‌خاتونی، ج.، فتوحی، ص.، نگارش، ح.، محمدی، ع. (۱۳۹۸). اقلیم و محیط دیرینه تالاب آبزالو در استان خوزستان با استفاده از مغزه های رسوبی در هولوسن پسین. فصلنامه کواترنری ایران، ۵ (۳): ۳۲۳-۳۴۷.
- صفایی‌راد، ر.، عزیزی، ق.، محمدی، ح.، علیزاده لاهیجانی، ح. (۱۳۹۳). «بازسازی تغییرات اقلیمی هولوسن و پلیستوسن منطقه زاگرس میانی با استفاده از شواهد گرده شناسی تالاب هشیلان»، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۳، شماره ۱۱، صص. ۱-۲۰.
- Arz, Helge W., Pätzold, Jürgen., Wefer, Gerold, m., 1998, Correlated millennial-scale changes in surface hydrography and terrigenous sediment yield inferred from last-glacial marine deposits off northeastern Brazil. *Quaternary Research*, 50(2), 124-135.
- Asouti, E. and Kabukcu, C. (2014). Holocene Semi-Arid Oak Woodlands in the Irano-Anatolian Region of Southwest Asia: Natural or Anthropogenic? *Quaternary Science Reviews* 90: 158–182.
- Berger J. F., Lespez L., Kuzucuoglu C., Glais A., Hourrani F., Guilaine J., 2016 Early to MidHolocene Neolithic/RCC interactions in center-eastern Mediterranean basin (Turkey, Cyprus, Greece). *Climate of the Past* (in press).
- Bond, G.C., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M.N., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I. & Bonani, G. (2001). Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*, 294, 2130–2136. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1065680> (80).
- Bottema S., Woldring H. (1984).Late Quaternary vegetation and climate of Southwestern Turkey. Part II. *Palaeohistoria* 26: 123-149.
- Brisset , E., Djamali, M., Bard, E., Borchneck, D., Gandouin, E., Garcia, M., Stevens, L., Tachikawa, K. (2018). Late Holocene hydrology of Lake Maharlou, southwest Iran, inferred from high-resolution sedimentological and geochemical analyses, <https://doi.org/10.1007>.
- Butzer, K.W., (2012).Collapse, environment, and society. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109, 3632-3639.
- Butzer, K.W. & Endfield, G. (2012). Critical perspective on historical collapse. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (10), 3628–3631. DOI: 10.1073/pnas.1114772109.
- Carozza, J.-M, Micu C., Mihail F., Carozza L. (2012). Landscape change and archaeological settlements in the lower Danube valley and delta from Early Neolithic to Chalcolithic time. *Quaternary International*, 261, 21-31.
- Carozza J.M., Llubas M., Danu M., Faure, M, Carozza L., David M., Manen C., (2016)Geomorphological evolution of the Mediterranean enclosed depressions during Pleistocene and Holocene: Example from Canohès (Roussillon, SE France), *Geomorphology* 273, 78-92.
- Carozza, L., Berger, J. F., Burens-carozza, A., Marcigny, C., (2015) Society and environment in Southern France from the 3rd millennium BC to the beginning of the 2nd millennium BC: 2200 BC a tipping point? 2200BC-A climatic breakdown as a cause for the collapse of the old world? In *Tagungen des Landesmuseum für vorgeschichte, Halle, Band 12*, p. 333-362.
- DeMenocal, P., (2001) Cultural responses to climate change during the Late Holocene. *Science* 292, 667-673.

- Djamali, M., Jones, M.D., Migliore, J., Balatti, S., Fader, M., Contreras, D., Gondet, S., Hosseini, Z., Lahijani, H., Naderi, A. and Shumilovskikh, L.S., (2016). Olive cultivation in the heart of the Persian Achaemenid Empire: new insights into agricultural practices and environmental changes reflected in a late Holocene pollen record from Lake Parishan, SW Iran. *Vegetation History and Archaeobotany*, 25(3), pp.255-269.
- Drake, B.L., (2012). The influence of climatic change on the Late Bronze Age collapse and the Greek Dark Ages. *Journal of Archaeological Science* 39, 1862-1870.
- Finné, M., Holmgren, K., Sundqvist, H.S., Weiberg, E. & Lindblom, M. (2011). Climate in the eastern Mediterranean and adjacent regions, during the past 6000 years - a review, *Archaeological science*, 38 (11), 3153–3173.
- Flohr, P., Fleitmann, D., Matthews, R., Matthews, W., Black, S., (2016). Evidence of resilience to past climate change in Southwest Asia: Early farming communities and the 9.2 and 8.2 ka events, *Quaternary Science Reviews*, 136, 23-39.
- Ghilardi M., Psomiadis D., Cordier S., Delanghe-Sabatier D., Demory F., Hamidi F., Paraschou T., Dotsika E., Fouache E., (2012). The impact of rapid early-to mid-Holocene palaeoenvironmental changes on Neolithic settlement at Nea Nikomideia, Thessaloniki Plain, Greece. *Quaternary International*, 266, 47-61.
- Ghilardi M., Cordier S., Carozza J. M., Psomiadis D., Guilaine J., Zomeni Z., Demory F., Delanghe-Sabatier D., Vella M.A., Bony G., Morhange C., (2015). The Holocene fluvial history of the Tremithos River (south central Cyprus) and its linkage to archaeological records. *Environmental Archaeology*, 20 (2), 184-201.
- Gilmartin, David (2020), [Blood and Water: The Indus River Basin in Modern History](#), Univ of California Press, pp. 210–211, [ISBN 978-0-520-35553-8](#)
- Glais A., Lopez-Saez J.-A., LESPEZ L., Davidson R., (2016). Climate and human–environment relationships on the edge of the Tenaghi-Philippou marsh (Northern Greece) during the Neolithization process. *Quaternary International*, 403, 237-250.
- Kuzucuoğlu C., (2012). Le rôle du climat dans les changements culturels, du Ve au 1er millénaire avant notre ère, en Méditerranée orientale. In: J-F. Berger (Ed.), *Des climats et des hommes*, Paris: 239-256.
- Kuzucuoğlu C., (2015). The rise and fall of the Hittite State in central Anatolia: how, when, where, did climate intervene? In: O. Henry, D. Beyer, A. Tibet (Eds), *Archaeological Research in southern Cappadocia*, IFEA-Varia Anatolica, Ege Yay., Istanbul: 17-41.
- Lespez L., Glais A., López-sáez J.-A., Le Drezen Y., Tsirtsoni Z., Davidson R., Birée L., Malamidou D., (2016). Mid-Holocene rapid environmental changes and human adaptation in Northern Greece. *Quaternary Research* 85, 2, 227-244.
- Magny, M., Combourieu Nebout, N., De Beaulieu, J. L., Bout-Roumazeilles, V., Colombaroli, D., Desprat, S., Francke, A., Joannin, S., Peyron, O., Revel, M., Sadori, L., Siani, G., Sicre M-A., S., Samartin, M. A., Simonneau, A., Tinner, W., Vannièrè, B., Wagner, B., Zanchetta, G., Anselmetti, F., Brugiapaglia, E., Chapron, E., Debret, M., Desmet, M., Didier, J., Essallami, L., Galop, D., Gilli, A., Haas, J. N., Kallel, N., Millet, L., Stock, A., Turon, J. L., Wirth, S., (2013). North–south palaeohydrological contrasts in the central Mediterranean during the Holocene: tentative synthesis and working hypotheses. *Climate of the Past* 9, 2043-2071.
- Mayewski, P.A., Rohling, E., Stager, J.C., Karlen, W., Maasch, K. A., Meeker, L.D., Meyerson, E.A., Gasse, F., Kreveld, S., Holmgren, K., Thorp, J.L., Rosqvist, G., Rack, F., Staubwasser, M., Schneider, R. & Steig, E. (2004). Holocene Climate Variability. *Quaternary Research*, vol. 6, 243–255.
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M. (1982) Early Proterozoic climate and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299, pp.715–717.
- Roberts, N., Reed, J.M., Leng, M.J., Kuzucuoğlu, C., Fontugne, M., Bertaux, J., Woldring, H., Bottema, S., Black, S., Hunt, E. and Karabiyikoğlu, M. (2001). The tempo of Holocene climatic change in the eastern Mediterranean region: new high-resolution crater-lake sediment data from central Turkey. *The Holocene*, 11(6), pp.721-736.

- Roberts, N. (2009). Holocene Climates. In: Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments. V. Gornitz, Ed., Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, 438-441.
- Schroll, E., 1975, Analytische geochemie, Band II, Grundlagen and anwendungen, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.
- Sharifi, A., Pourmand, A., Canuel, E. A., Ferer-Tyler, E., Peterson, L. C., Aichner, B., Feakins, S. J., Daryaei, T., Djamali, M., and Naderi-Beni, A. (2015). Abrupt climate variability since the last deglaciation based on a high-resolution, multi-proxy peat record from NW Iran: The hand that rocked the Cradle of Civilization? *Quaternary Science Reviews*, 123: 215-230.
- Sinha, A., Kathayat, G., Weiss, H., Li, H., Cheng, H., Reuter, J., Schneider, A.W., Berkelhammer, M., Adali, S.F., Stott, L.D., Edwards, R.L., 2019. Role of climate in the rise and fall of the Neo-Assyrian Empire. *Science Advances* 5, eaax6656. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax6656>.
- Solotchina, E. P., Sklyarov, E. V., Solotchin, P. A., Vologina, E. G., Sklyarova, O. A. (2014). Mineralogy and crystal chemistry of carbonates from the Holocene sediments of Lake Kiran (western Transbaikalia): connection with paleoclimate: *Russian Geology and Geophysics*, 55: 472-482.
- Stevens, L. R., Ito, E., Schwalb, A., Wright, Jr., H. E. (2006). Timing of atmospheric precipitation in the Zagros Mountains inferred from a multi-proxy record from Lake Mirabad, Iran, *Quaternary Research*, 66: 494-500.
- Tsirtsoni, Z. (Ed.), (2016). *The Human Face of Radiocarbon: Reassessing Chronology in Prehistoric Greece and Bulgaria, 5000–2000 cal BC*, Travaux de la Maison de l'Orient et de la Méditerranée, Lyon, 304p.
- Vannièrè B., Magny M., Joannin S., Simonneau A., Wirth S. B., Hamann Y., Chapron E., Gilli A., Desmet M., Anselmetti F. S., (2013). Orbital changes, variation in solar activity and increased anthropogenic activities: controls on the Holocene flood frequency in the Lake Ledro area, Northern Italy, *Clim. Past* 9, 1193-1209.
- Vannièrè B., Blarquez O., Rius D., Doyen E., Brücher T., Colombaroli D., Connor S., Feurdean A., Hickler T., Lemmen C., Leys B., Massa C., Olofsson J., (2016). 7000-year human legacy of elevation-dependent European fire regimes. *Quaternary Science Reviews* 132, 206-212.
- van Zeist, W. (2008). Late Pleistocene and Holocene Vegetation at Zeribar, in K. Wasylikova and A. Witkowski (eds). *The Palaeoecology of Lake Zeribar and Surrounding Areas, Western Iran, During the Last 48,000 Years*. Diatom Monographs 8. Gantner, Ruggell: 53–104.
- Wasylikowa, K., van Zeist, W., Wright, Jr., H.E., Stevens, L., Witkowski, A. & Walanus, A. (2008). The Lake Zeribar palaeoecology: a synthesis. In: Wasylikowa, K. & Witkowski, A. (ed.). *The palaeoecology of Lake Zeribar and surrounding areas, Western Iran, during the last 48,000 years*. Diatom Monographs 8, A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 303–321.
- Weiss, H., Courty, M. A., Wetterstrom, W., Guichard, F., Senoier, L., Meadow, R., Curnow, A., (1993). The genesis and collapse of third millennium North Mesopotamian civilization, *Science* 261, 995-1004.
- Weiss, H. (2012). Quantifying Collapse: The Late Third Millennium Khabur Plains". In: Weiss, H. (ed.). *Seven Generations since the Fall of Akkad (Studia Chaburensia 3)*, Wiesbaden, 1–24.
- Weninger, B., Clare, L., Gerritsen, F., Horejs, B., Krauss, R., Linstädter, J., Özbal, R., Rohling, E. J., (2014). Neolithisation of the Aegean and Southeast Europe during the 6600–6000 cal BC period of rapid climate change. *Documenta Praehistorica* 41, 1-31.