جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱٤۰۳، دوره٦، شماره٤، صص٦۰٥-٥٧٤

تحلیل روش‌های سن‌سنجی مورد استفاده در مطالعات دیرینه اقلیم‌شناسی

مهری اکبری[۱]، نیلوفر محمدی[۲*]

۱-دانشیار، گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۲- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱٤۰۳/۰۱/۰۲ تاریخ پذیرش:۱٤۰۳/۰۱/۲۳

چکیده

این پژوهش به تحلیل روش‌های سن‌سنجی مورد استفاده در مطالعات دیرینه اقلیم‌شناسی پرداخته است. روش‌کار به‌صورت مروری، اسنادی و کتابخانه‌ای بوده است. جامعه آماری مورد مطالعه از بین ۲۵۷۹ آثار علمی معتبر، بین سال‌های ۲۰۲۳-۱۹۷٤ در بازه زمانی ٤۹ ساله بوده، که از این بین ۱۰۸ منبع علمی مرتبط با روش‌های سن‌سنجی در ایران و سطح بین‌الملل شناسایی و تحلیل شده است. مقالات از پایگاه‌های داخلی (ایرانداک، نورمگز، علم‌نت، مگ‌ایران، انسانی، SID) و پایگاه‌های بین‌الملل (Google Scholar, Semantic Scholar) دریافت شده است. کلمات کلیدی مورد جستجو در این پایگاه‌های داده شامل بازسازی اقلیمی، سن‌یابی و کواترنری بوده است. نتایج این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین روش‌های سن‌سنجی در مطالعات دیرینه اقلیم شناسی به ترتیب کربن ۱٤، ایزوتوپ اکسیژن، گاه‌شناسی درختی و لومینسانس بوده و بیش‌ترین مطالعات سن‌یابی، با روش کربن ۱٤ انجام شده است. از نظر توزیع فضایی مطالعات انجام شده؛ در ایران بیش‌تر مطالعات به نوسانات تراز دریاچه ارومیه، و در سطح بین‌الملل در کشور چین (فلات تبت) پرداخته‌اند. بر اساس بررسی منابع اولین منطقه مورد مطالعه اقلیم دیرینه در ایران دریاچه زریبار و در سال ۱۹٦۱ انجام شده است. تمرکز بیش‌تر مطالعات از نظر موضوعی روی مباحث تغییر اقلیم، دوره‌های ترسالی و خشکسالی؛ و از نظر مقیاس زمانی به هولوسن و کواترنری است. بر اساس مطالعات مورد بررسی در این پژوهش، اقلیم ایران از دوره کرتاسه از اقلیم گرم و مرطوب به اقلیم معتدل تغییر یافته و در دوره پلیئستوسن دوره‌های خشک را در مناطق فلات مرکزی تجربه کرده است. از آن‌جا که تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی از دوره کواترنری شدت گرفته است، بنابراین بهره‌گیری از روش‌های سن‌سنجی برای مطالعات اقلیم دیرینه می‌تواند تا حدودی در امر برنامه‌ریزی و مدیریت ریسک با توجه به اقلیم جدید و پیش‌روی جهان مناسب باشد.

کلیدواژه: آب و هوای دیرینه، بازسازی، دوره‌های آب و هوایی، سن‌یابی، کواترنری.

شاپا الکترونیکی:645-3851 doi 10.22034/GAHR.2024.449473.2075

مقدمه

از زمان ظهور تمدن‌ها، آب و هوا موضوعی مهم از منظر زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی بوده است. رشد و نابودی تمدن‌های گوناگون، آغاز کشاورزی، مهاجرت مردم و جوامع، رشد سکونتگاه‌های شهری همه به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با تغییرات شرایط اقلیمی مرتبط است (Singhvi and Kale, 2010). طی دهه‌های اخیر تغییر و تحولات اقلیم، اثرات نامطلوبی در تاریخ بشر را داشته است، به‌طوری‌که هنوز هم این پیامدها از گذشته ناشناخته باقی مانده و هم‌چنان یک چالش جهانی، محسوب می‌شود. اما امروزه می‌توان با استفاده از داده‌های علم دیرینه اقلیم شناسی و باستان‌شناسی این چالش را حل کرد (Manning et al., 2023؛ حسینی، ۱۳۸۹). دیرینه اقلیم‌شناسی[1] مطالعه اقلیم‌های گذشته است. از آنجایی که امکان بازگشت به گذشته برای دیدن شرایط آب و هوایی وجود ندارد، دانشمندان از روش‌هایی که برای بازسازی آب و هوای گذشته ایجاد شده‌اند، به نام پروکسی[2]، برای تحلیل و تفسیر اقلیم دیرینه استفاده می‌کنند. علاوه بر این‌که علم دیرینه اقلیم شناسی برای مسائل گذشته، حال و آینده مهم است و به شناختن اقلیم گذشته کمک می‌کند تا نهایتاً به شناسایی روند ایجاد اکوسیستم‌های فعلی کمک می‌کند. بنابراین، دیرینه اقلیم‌شناسی داده‌هایی را ارائه می‌دهد که می‌توان از آن‌ها برای مدل‌سازی و پیش‌بینی سناریوهای فعلی و شبیه‌سازی آینده تغییرات اقلیمی استفاده نمود (Bruckner, 2022؛ Kiessling et al., 2023). در واقع پروکسی‌ها داده‌های جایگزین و از نوع داده‌های غیر مستقیم[3] بوده، که با هدف تکمیل خلاء اطلاعاتی سازماندهی شده و معمولاً به بازه زمانی بلند مدت که داده‌های مشاهداتی در آن مقطع زمانی وجود ندارد را فراهم می‌سازد (جعفری، ۱۴۰۱). بنابراین می‌توان گفت دیرینه اقلیم‌شناسی امکان ارزیابی سیستماتیک از گذشته را فراهم نموده است (Kiessling et al., 2023؛ Yu et al., 2022). زمینه مطالعات علمی دیرینه اقلیم‌شناسی در اوایل قرن نوزدهم شکل گرفت و علاوه بر این‌که اکتشافات در مورد دوران‌های یخچالی و تغییرات طبیعی، در آب و هوای گذشته زمین به درک اثر گلخانه‌ای کمک کرد، موجب آگاهی از این موضوع شد که افزایش بیش از حد سوخت‌های فسیلی طی ۲۰۰ سال گذشته به‌ویژه در دهه‌های پایانی قرن بیستم، موجب بالا رفتن غلظت گاز دی اکسید کربن[4] بیش‌تر از حد طبیعی شده است (Alverson et al., 2003: 144؛ دسترنج و رستمی خلج، ۱۳۹۹). با توجه به این موضوع در قرن بیستم بود که دیرینه اقلیم‌شناسی به یک رشته علمی واحد در آمد؛ پیش از آن، جنبه‌های مختلف تاریخ آب و هوای زمین، توسط رشته‌های مختلف مورد مطالعه قرار می‌گرفت (Wu et al., 2012). بدین جهت در پایان قرن بیستم، تحقیقات تجربی در مورد اقلیم‌های دیرینه زمین با مدل‌های کامپیوتری با پیچیدگی فزاینده بازسازی شد. دیرینه اقلیم‌شناسی از روش‌ها و تکنیک‌های متنوعی برای تجزیه و تحلیل اقلیم گذشته بهره می‌گیرد و کاربست این تکنیک‌ها بستگی به این دارد که کدام متغیر و با چه روشی، روش‌هایی برای بازسازی بهره

[1] Paleoclimatology
[2] proxies
[3] Indirect Data
[4] carbon dioxide

گرفته شود (McCarroll, 2015). بدین‌گونه که بهره گرفتن از پروکسی‌های مختلف بازسازی‌های اقلیم‌های گذشته، نشان داده است که تغییرات زیادی در دما و بارش در تاریخ زمین‌شناسی رخ داده است؛ و تقریباً در تمام مقیاس‌های زمانی از دهه‌ها تا قرن‌ها و در مقیاس‌های مکانی از مناطق کوچک تا تقریبا کل کره زمین، تغییرات اقلیمی گسترده بوده است (Machare et al., 1990 ؛ Masson-Delmotte et al., 2013؛Singhvi and Kale, 2010). بنابراین مرور روش‌های سن‌سنجی در بازه زمانی بیش از ۵۰۰ سال گذشته و بازسازی رخداد تغییرات اقلیمی را در چند صد سال اخیر را می‌توان به‌عنوان یک موضوع دانشگاهی با دیدی سیستماتیک در نظر گرفت، زیرا امروزه انسان از تغییرات چرخه کربن که نظم طبیعی را برهم زده، آگاه است. پرداختن به مطالعات دیرینه و به ویژه روش‌های سن‌سنجی، موجب آگاهی از حیات گذشته زمین و تغییر اقلیم و اثراتی نامطلوبی که ممکن است در آینده اکوسیستم‌های طبیعی و محیط‌زیستی با آن مواجه شوند، می‌شود. از آن‌جا که دوره کواترنری جدیدترین و نزدیک‌ترین دوران به عصر حاضر است؛ از جنبه‌های مختلف حائز اهمیت است و علاوه بر این‌که تغییراتی در مناطق مختلف جهان داشته است، در ایران هم با توجه موقعیت خشک و نیمه خشک و اقلیم شکننده آن شاهد تغییراتی بوده است (Singhvi and Kale, 2010؛ Kehl, 2009؛ Rabassa, 1990؛ زندی‌فر، ۱۳۹۹؛ درویشی خاتونی، ۱۳۹۵؛ نظری سامانی، ۱۳۹۰؛ حسین‌خان‌ناظر، ۱۳۹۰؛ سیاه‌پوش، ۱۳۵۲؛ صبوری و علی‌محمدیان، ۱۳۹۲). در طول این مدت زمان کوتاه تغییرات متعددی رخ داده است اما بزرگی هیچ کدام به اندازه تغییرات اقلیمی که در دوران دوم زمانی زمین‌شناسی (**مزوزوئیک**) و پیدایش دوره‌های یخچالی و بین یخچالی نبوده است. آثار این تغییرات، نوسان محدوده و مرزهای مختلف اقلیمی در طول دوره کواترنری است. در نتیجه تغییرات اقلیمی که از دوره کواترنری در ایران وجود داشته و به دلیل ارزش به‌سزای منابع آبی در ایران بعنوان کشوری با اقلیم نیمه خشک و شکننده، برنامه‌ریزی‌های بلند مدت و میان مدت برای مدیریت منابع آب موجود بسیار حیاتی است (درویشی خاتونی، ۱۳۹۵؛ نظری سامانی، ۱۳۹۰؛ صمدزاده، ۱۳۸٦؛ Newnham et al., 1999). برای مطالعات مواجهه و مقابله با خشکسالی و بیابان‌زدایی، بازسازی وضعیت اقلیمی گذشته ایران ضروری است. از آن‌جا که سن‌یابی نقشی مهمی در تعیین سن فعالیت رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، رسوبات آبی، بادی در مطالعات دیرینه اقلیم‌شناسی دارد، ضرورت انجام این مطالعه و مطالعاتی برای یافتن اقلیم‌های مشابه دیرینه که می‌تواند اطلاعاتی در مورد تغییرات اقلیمی کنونی ارائه دهد؛ ضرورت دوچندانی می‌یابد. زیرا اطلاعاتی که از این بررسی‌ها حاصل می‌شود، همراه با سن‌سنجی‌های دقیق قادر است رخدادهای اقلیمی (در مقیاس سده و فراتر) و اثرات زیست محیطی را نشان دهد (شیخ‌بیکلو اسلام، ۱٤۰۱). به‌عبارتی دیگر با داشتن دیدگاه بلندمدت در زمینه تغییرپذیری اقلیم زمین؛ می‌توان بیش‌تر ارتباط بین چرخه‌های مداری و نقش اثر گلخانه‌ای در طی بازه زمانی طولانی مدت تا دوران صنعتی شدن پی برد (Alverson et al., 2003). از آن‌جا که شناسایی آب وهوای گذشته با استفاده از روش‌های سن‌سنجی گوناگون از گذشته تا به حال، برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی آب وهوای آینده برای برنامه‌ریزی صحیح، امری ضروری بوده است و به‌ویژه این مطالعات در مورد کشور ایران و مناطقی از جهان که در اکثر نقاط آن با کمبود آب مواجه است، دارای اهمیت

دوچندان می‌باشد. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته تاکنون مطالعه‌ای جامع و مروری در حیطه روش‌های سن‌سنجی در ایران و سطح بین‌الملل پرداخته نشده یا اگر شده، به‌صورت پراکنده و موردی بوده است و پاسخ‌گوی انواع مطالعات روش‌های سن‌سنجی و کارایی عملکرد آنها نبوده است. لذا عنایت به فقدان مطالعات جامع در این زمینه در ایران ضروری به‌نظر می‌رسد که اطلاعات موجود قبل از (۱۳۵۲) و جدیدتر از لحاظ روش‌های سن‌سنجی به‌صورت سیستماتیک مرور شود. با توجه به این که روش‌های سن‌سنجی دقت لازم را برای مطالعات دیرینه اقلیم ایجاد می‌کنند، هدف پژوهش‌گران در این مطالعه، شناسایی و تحلیل انواع مطالعات روش‌های سن‌سنجی در اقلیم دیرینه به‌صورت جامع می‌باشد.

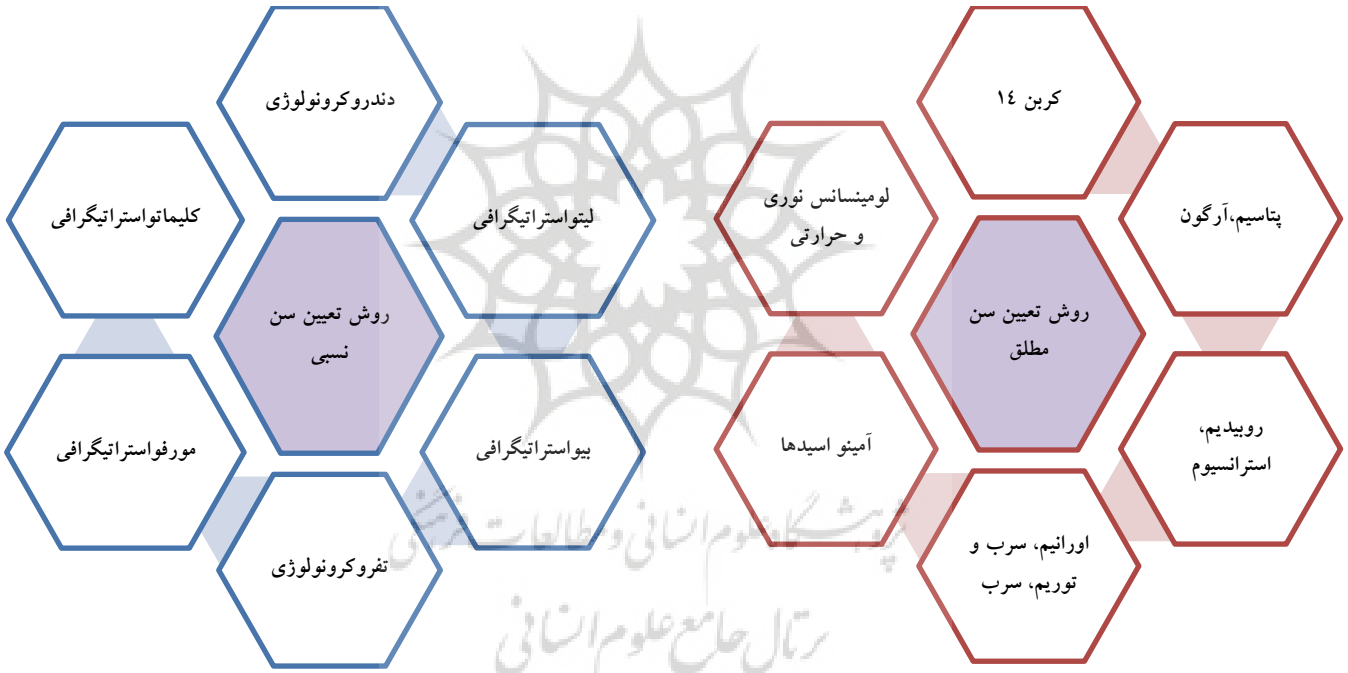
مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به دو بخش مطالعاتی پرداخته است. ابتدا تاریخ زمانی تحولات اقلیمی دوره‌های اقلیمی گذشته شناسایی شده است؛ سپس در بخش دوم به بررسی و مرور منابع پرداخته شده است. بدین‌گونه که روش مطالعه به‌صورت مروری_توصیفی، اسنادی و کتابخانه‌ای انجام شده است. جامعه آماری و منابع علمی مورد استفاده از بین ۲۵۷۹ آثار علمی، مقاله علمی و پژوهشی، پایان‌نامه (دکتری، کارشناسی‌ارشد)، کتاب، گزارش بین سال‌های ۲۰۲۳-۱۹۷٤، در بازه زمانی ٤۹ ساله، که از این بین ۱۰۸ منابع علمی معتبر مورد استفاده در حیطه روش‌های سن‌سنجی در دیرینه اقلیم‌شناسی در ایران و سطح بین‌الملل شناسایی، انتخاب، مطالعه و تحلیل شده است (جدول ۱). روش پژوهش مروری حاضر با جستجو مقالات با کلید واژه‌های فارسی و به برگردان لاتین مشابه؛ شامل آب و هوای دیرینه، بازسازی، دوره‌های آب و هوایی، سن‌یابی، کواترنری؛ از پایگاه‌های داخلی (ایرانداک، نورمگز، علم‌نت، مگ ایران، انسانی، Sid) و در سطح بین‌الملل (Google Scholar, Semantic Scholar) است. سپس پژوهش‌های شامل روش‌های سن‌سنجی استخراج و دسته‌بندی شده‌اند. در ادامه به بررسی انواع روش‌های سن‌سنجی و مقایسه آنها پرداخته شده است. از آن‌جا که مبحث سن‌سنجی مورد توجه علوم مختلف بوده و به مطالعات دیرینه اقلیم‌شناسی محدود نمی‌شود، بیش‌ترین مطالعات دیرینه اقلیم‌شناسی که با این روش‌ها نگارش و بررسی شده بود، انتخاب و تحلیل شدند. اغلب جهت تسهیل مطالعات دیرینه‌شناسی، تاریخ سن زمین به دو دوره تقسیم می‌شود که شامل دوره اول، قبل از پیدایش حیات، که طی آن حیات به‌وجود نیامده است، یا حداقل نشانه‌ای از وجود حیات در آن موجود نیست؛ و دوره دوم بعد از پیدایش حیات است؛ این پژوهش صرفاً به مطالعات دوره دوم پرداخته است. شایان ذکر است که اطلاعات موجود راجع به دوره اول تاریخ زمین ناچیز بوده و تقسیم‌بندی بین‌المللی مدون و روشنی راجع به آن به عمل نیامده است. اما دوره دوم تاریخ زمین بر مبنای موجودات زنده و حرکات کوه‌زایی به چند دوران، که هر دوران به چند دوره، هر دوره به چند دور تقسیم شده است. این پژوهش به مرور دوره‌های زمانی اخیر کواترنری (هولوسن و پلیستوسن) و با توجه به بیش‌ترین منابعی که در دسترس بوده، پرداخته است.

جدول ۱-تعداد پایان‌نامه، مقاله‌ها و کتاب.

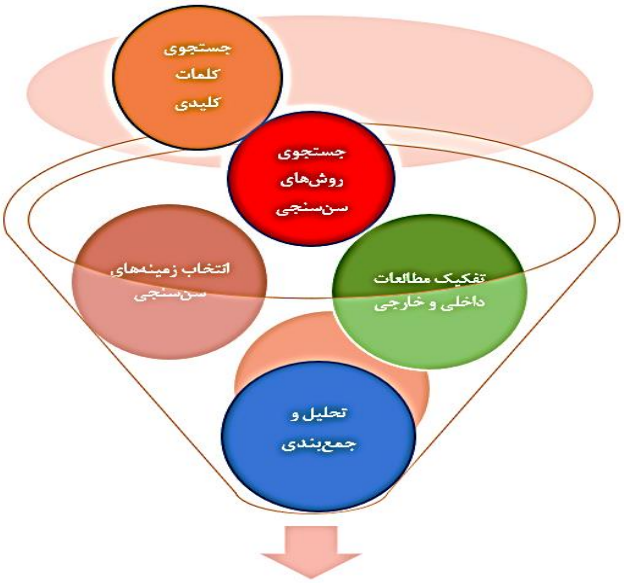
دوره	پایان‌نامه/رساله	کتاب لاتین	مقاله لاتین	کتاب داخلی	مقاله داخلی
کواترنری (هولوسن و پلیستوسن)	۳	٤	٤٤	٥	٥۱

در بررسی منابع روش‌شناسی سن‌سنجی، پژوهشگرانی بودند که از روش‌های سن‌سنجی متفاوتی برای مطالعات خود بهره گرفته بودند. به‌عنوان نمونه در مطالعات دیرینه جهت تعیین سن از دو دسته (مطلق و نسبی) بهره گرفته می‌شود. در روش سن مطلق، زمان وقوع یک پدیده را نسبت به زمان حال مشخص می‌نماید و زمان را با اعداد دقیق بیان می‌کند. اما در روش تعیین سن نسبی، نسبت، توالی، تقدم و تاخر و تقارن پدیده‌ها مشخص می‌شود (شکل ۱)، (مقصودی، ۱۳۹۸).



شکل ۱- روش‌های سن‌سنجی مطلق و نسبی

از آنجایی مطالعات صورت گرفته بر اساس روش‌های گوناگونی بوده است، با توجه به جامعیت موضوعات و روش‌های سن‌سنجی به‌صورت مختلف دسته‌بندی و به تعاریف مختلف در مورد چگونگی بهره‌گیری این روش‌ها پرداخته شد. در شکل (۲) شماتیک اجرای مراحل این مطالعه آورده شده است.



شکل ۲- مراحل اجرای پژوهش

یافته‌های پژوهش

مطالعات انجام شده در دوره هولوسن با روش‌های سن‌سنجی، با تفکیک زمانی بالا از آرشیوهای دیرینه طی دهه‌های گذشته نشان می دهد که این دوره اقلیم پایدار نبوده و تغییراتی را طی بازه زمانی ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ سال گذشته در مناطقی از عرض‌های جغرافیایی بالا و عرض‌های جغرافیایی پایین تجربه کرده است. خاورمیانه یک منطقه گذرا بین سامانه‌های آب و هوایی (آفریقا، اوراسیا و آسیا) است و بر همین اساس منطقه مناسب و مستعدی برای مطالعات اقلیم دیرینه می‌باشد (صفایی‌راد، ۱۳۹۷). شواهد باستان‌شناسی نشان می دهد که پیدایش نخستین جوامع بشری در فلات ایران، ناحیه میان رودان (بین‌النهرین) و غرب دریای مدیترانه که به آن لقب گهواره تمدن داده‌اند و شامل نواحی (بخشی از منطقه آسیای جنوب غربی از دریای مدیترانه تا پاکستان که شبه جزیره عربستان) است؛ به ۱۲ هزار سال پیش باز می‌گردد. مناطق روستایی در این ناحیه حدود هفت هزارسال پیش شکل گرفت و نخستین هسته‌های شهری و تمدن‌های اولیه حدود پنج هزار سال پیش پدیدار شده است. با توجه به این‌که ارکان اصلی ساکنان فلات ایران بر پایه کشاورزی، دامداری و صادرات چوب و الوار استوار بوده است، احتمال این‌که این مناطق مستعد اثرات تغییر اقلیم باشند، دور از ذهن نیست (مرکز پژوهش‌های ایرانی و اسلامی، ۱۳۹٤). در دهه‌های اخیر، اولین یافته‌های دوران پارینه سنگی در فلات ایران کخ توسط زمین‌شناسانی که بررسی‌های میدانی را در اوایل قرن نوزدهم انجام دادند؛ گزارش داده است که به دنبال کاوش‌های گاه به گاه در منطقه تا دهه ۱۹۵۰ از لحاظ زمانی، زاگرس با کشف فسیل‌های نئاندرتال در کانون توجه قرار گرفته است. این اکتشافات فسیلی علاقه محققان بین المللی که بر روی رشته کوه‌های زاگرس متمرکز بودند، را برانگیخت (Shoaee et al.,

2023). از آنجا که ایران کشوری باستانی است و مطالعه آثار به جای مانده و بازسازی آن‌ها و تعیین زمان آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، تعیین سن مطلق تمدن‌ها و یافته‌های دیرینه اقلیمی، نقش اساسی در مطالعات دارد. ایران سرزمینی کوهستانی است،که طی ادوار گذشته زمین‌شناسی، در اواخر دوران سوم و در عرض‌های جغرافیایی جنب حاره شکل گرفته است (محمودی، ۱۳٦۷؛ سیاه‌پوش، ۱۳۵۲) و از لحاظ اقلیمی تا به امروز شاهد دگرگونی‌های بی‌شماری از نظر تغییرات آب وهوایی و حیاتی مواجه بوده است. هر تغییری در پارامترهای اقلیمی موجب بروز حوادثی نو گردیده است. آب و هوای ایران در دوره پره‌کامبرین گرم و مرطوب، در دوره پالئوزوئیک (دوران اول) هوای سرد و یخبندان شدید حاکمیت داشته است. بنابراین کارکرد دوره‌های یخچالی در این سرزمین نسبت به نواحی شمالی‌تر و پیرامون دو قطب (مثل شمال آمریکا، اروپا، سیبری و آلاسکا) تا حدود زیادی متفاوت است (محمودی، ۱۳٦۷؛ سیاه‌پوش، ۱۳۵۲). ایران در دوران مزوزوئیک (دوران دوم) دارای اقلیمی معتدل بوده، اما در دوره تریاس، سرد شده و در دوره ژوراسیک آب و هوای ایران گرم و مرطوب بوده و کم‌کم حالت معتدل را به خود گرفته است. در نهایت در دوره کرتاسه بدلیل استقرار دریای تتیس در جنوب غربی و جنوب شرقی ایران، در معرض آب و هوای اقیانوسی تتیس قرار گرفته و کم‌کم از حالت اقلیم گرم و مرطوب به معتدل در آمده است (سیاه‌پوش، ۱۳۵۲). ناگفته نماند گاهی قسمت‌های شمال شرق و جنوب غربی ایران تحت تاثیر سیکلون‌های گرم و مرطوب قرار داشته، که شامل تمام بخش‌های ایران نبوده است. از لحاظ آب و هوایی، بر اساس شواهد تاریخی در دوره پلئیستوسن، ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی و شکل ناهمواری‌ها تحت اثر نوسانات شدید اقلیمی قرار نداشته است. اما از لحاظ شواهد دوره‌های خشک در این دوره، قسمت وسیعی از فلات مرکزی ایران اقلیم خشک و نیمه خشک را تجربه کرده است (سیاه‌پوش، ۱۳۵۲، حسین‌خان‌ناظر، ۱۳۹۰). از طرفی طی شواهد تاریخی در دوره کواترنری در دوره‌های یخچالی ایران، دمای هوا بین ۸ تا ۱۸ درجه خنک‌تر از امروز بوده است و پوشش گیاهی فراوانی در سطح زمین وجود داشته است، که حتی در مناطق جنوبی ایران با دمای بالای هوا قابل توجه بوده است، بیش‌تر بخش‌های ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است؛ که با توجه به خصوصیات توپوگرافی و تغییرات فصلی طی دوران‌های تاریخی با خشکسالی و ترسالی‌هایی مواجه بوده است (اکبری و صیاد، ۱٤۰۰؛ اصغری مقدم، ۱۳۸۹؛ محمودی، ۱۳٦۷؛ حسین‌خان‌ناظر، ۱۳۹۰). شرایط الگوی اتمسفری فلات ایران، شدت، تغییرات اقلیمی و سیستم‌های هیدرولوژیکی از دوران پلئیستوسن مشهود بوده است (زندی‌فر، ۱۳۹۹) و از آنجایی که سوابق ابزاری تنها بخش کوچکی از تاریخ زمین را در بر می‌گیرد، بازسازی آب و هوای دیرینه برای درک تغییرات طبیعی و تکامل آب و هوای فعلی مهم است. دیرینه اقلیم‌شناسی از انواع روش‌های علوم زیستی و زمین شناسی برای به دست آوردن داده‌هایی استفاده می‌کند، که قبلاً در سنگ‌ها، رسوبات، صفحات یخی، حلقه‌های درختان، مرجان‌ها، صدف‌ها و میکروفسیل‌ها حفظ شده‌اند (شعبانیان، ۱۳۹٤). بر اساس تکنیک‌هایی که با تعیین سن وضعیت اقلیم گذشته زمین را نشان می‌دهد (Shaltami et al., 2020)؛ تغییرات محیطی در دوره کواترنری به دفعات رخ داده است و اثرات اقلیمی و ژئومورفولوژیکی متفاوتی به جا گذاشته است. ایران

تاکنون کم‌تر در مطالعات ژئوموفولوژیکی از روش‌های سن‌سنجی بهره گرفته است و نبود امکانات کافی و هزینه‌بر بودن روشهای سن سنجی از عواملی بوده است که کم‌تر از این روش‌ها در این‌گونه مطالعات استفاده شده است (مقصودی، ۱۳۹۸). ایران با داشتن آب‌گیرها، دریاچه‌ها، پلایاهای بسیار یکی از مناطق مستعد برای شناسایی رخدادهای اقلیمی، ثبت دوره‌های ترسالی و خشکسالی دیرینه است. دریاچهٔ زریبار در کردستان از نخستین مکان‌های مطالعه شده از نظر دیرینهٔ آب و هواشناسی در خاورمیانه بوده است، این دریاچه از مهم‌ترین سایت‌های دیرینه‌شناسی در زاگرس و خاورمیانه است. مغزه‌های رسوبی گرفته شده از این منطقه تغییرات اقلیمی بیش از ٤٠٠٠٠ سال گذشته را نشان داده است؛ که با بهره گرفتن از پروکسی‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (زندی‌فر، ۱۳۹۹؛ صفایی‌راد، ۱۳۹۷، عزیزی و همکاران، ۱۳۹٦). با این‌که بسیاری از مطالعات در مورد اقلیم دیرینه ایران فاقد سن‌سنجی است (عزیزی، ۱۳۹٦)؛ اما بررسی منابع نشان می‌دهد تعداد مطالعات در زمینهٔ بررسی روش‌های سن‌سنجی طی سال‌های اخیر در داخل و سطح بین‌الملل به شدت افزایش داشته است و از لحاظ روش‌شناسی به چندین دسته تقسیم می‌شوند. نخستین مطالعات سن‌سنجی در ایران به اوایل قرن بیستم میلادی و با حضور باستان‌شناسان فرانسوی بر می‌گردد. تا قبل از سال ۱۳۵۷، عمده‌ترین بررسی‌های پیش از تاریخ توسط پژوهش‌گران خارجی از کشورهای مختلف مانند کانادا، دانمارک، فرانسه، بریتانیا، آمریکا و ایتالیا انجام شده است (طاهری، ۱۳۸٦). اگرچه محققان داخلی نیز سهمی در این بررسی‌ها داشته‌اند؛ اما اغلب انتشار نتایج توسط پژوهش‌گران خارجی صورت گرفته است. در دهه هفتاد شمسی مطالعات پیش از تاریخ به عنوان روشی نظام‌مند توسط بیگلری و همکاران در منطقه غرب کشور به اوج رسید. با تاسیس بخش پارینه سنگی موزه ملی ایران، این مطالعات در قالب پژوهش‌های پیش از تاریخ ادامه پیدا کرد. در این میان همکاری‌های دکتر مرجان مشکور از موزه تاریخ طبیعی فرانسه و دکتر کامیار عبدی از دانشگاه میشیگان برای بهره‌گیری از روش‌های نوین تحقیقاتی مانند کربن‌سنجی و باستان استخوان‌شناسی (نمونه‌ای از روش‌های کربن ١٤) نیز قابل ذکر می‌باشد (طاهری، ۱۳۸٦). دکتر مهدی یزدی نخستین زمین‌شناس است که با مقاله‌ای در مورد پیش از تاریخ یکی از محوطه‌های پارینه سنگی اصفهان، مطالعات پیش از تاریخ را در سازمان زمین‌شناسی کشور ارائه کرد. در ادامه بررسی‌های فریدون بیگلری، پرکارترین باستان‌شناس پیش از تاریخ ایران، است که در گسترش روش‌های سن زمین باستان‌شناسی در غرب ایران موثر بوده است (شایان، ۱۳۸۳؛ طاهری، ۱۳۸٦؛ بیگلری، ۱۳۷۹؛ بیگلری ۱۳۷۷). اولین مطالعات در حیطه منابع طبیعی در دوره کواترنری، سال ۱۳٥٤ به مدت سه سال در حوزه آبخیز طالقان توسط دکتر حسن احمدی با همکاری پروفسور رنال، استاد دانشگاه استراسبورگ فرانسه صورت گرفت. در سال ۱۳۸٦ مرتضی فتاحی آزمایشگاه ملی سن‌سنجی به روش لومینسانس نوری در ایران را بنیان‌گذاری نمود. به گزارش سایت موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران[1]، فرایند سن‌سنجی در آزمایشگاه فوق بدین گونه بوده که نمونه‌ها پس از آماده‌سازی به‌منظور تعیین سن، به

[1] https://geophysics.ut.ac.ir/%D8%A8%D8%AE%D8%B4-%D9%BE%DA%98%D9%88%D9%87%D8%B4%DB%8C-%D8%B3%D9%86-%DB%8C%D8%A7%D8%A8%DB%8C

آزمایشگاه دانشگاه آکسفورد منتقل و در آنجا در هر دوره طی حدود ٦ ماه سن‌سنجی می‌شدند. در سال ۱۳۹۵ با خرید دستگاه اندازه‌گیری لومینسانس[1] توسط فتاحی امکان اندازه‌گیری لومینسانس تحریک شده با نور فراهم شد. سن‌سنجی با روش لومینسانس نه‌تنها، تاریخ وقایع گذشته را مشخص می‌نماید، بلکه به تعیین زمان وقوع حوادث آینده کمک می‌کند. از آنجا که حوادث طبیعی به‌صورت تناوبی رخ می‌دهند، مرتضی فتاحی اولین فردی است که از این روش برای مطالعات مقابله با خشکسالی و بیابان‌زدایی، بازسازی وضعیت آب وهوایی گذشته ایران بهره گرفته است و با استفاده از سن رسوبات آبی (رودخانه‌ها و دریاچه‌ها) و بادی که توسط روش لومینسانس نوری سن‌سنجی شده بودند، آب و هوای منطقه شرق ایران، از ۳۰ هزار سال پیش تا زمان حاضر، بازسازی نمود. با استفاده از این روش مشخص شد دریاچه شرق ایران حدود ۹۰۰۰ هزار سال پیش پر آب بوده و هزاران سال پیش در شرق ایران منابع آبی زیرزمینی، شکل گرفت و اجداد ایرانی بودند که اولین‌بار برای مدیریت منابع آب قنات را اختراع کردند، تا منابع آب برای نسل‌های بعدی باقی بماند و با این روش پس از خشکسالی ۵۰۰۰ سال پیش در مناطق شرق و مرکزی ایران، موجب نجات اجداد ما طی هزاران سال گذشته شدند. نخستین بار در دنیا قنات توسط مرتضی فتاحی در آزمایشگاه سن‌سنجی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران سن‌سنجی شد و روش سن‌سنجی قنات (OSL) در سال ۲۰۱۵ در مجله بین‌المللی Archeological science منتشر شد. اولین بار روش سن‌سنجی قنات در شمال شرقی ایران توسط فتاحی (۲۰۱۵) با روش لومینسانس صورت گرفت. در تحقیقات بعدی اولین مطالعه روش سن‌سنجی پادگانه‌های کواترنری در ایران توسط معینی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از روش ترمولومینسانس در ۱۰۰ کیلومتری شمال غرب تهران صورت گرفت، که نشان داد روش لومینسانس برای سن‌سنجی رسوبات پادگانه‌ای مناسب‌تر است. ترمولومینسانس یکی از روش‌های رایج در تعیین فعالیت گسل‌ها، بررسی رسوبات در دوره کواترنری است و بدین جهت صداقت و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش سن‌سنجی ترمولومینسانس به بررسی نهشته‌های رسوبی دوره ۱۹۰ هزار ساله در سد بهشت آباد در زاگرس پرداختند. مطالعه بعدی تعیین سن رسوبات لسی در اطراف شهر میبد در دوره کواترنری توسط فتاحی و مهرشاهی (۱۳۹۷) با استفاده از روش لومینسانس نوری صورت گرفت، در این مطالعه، این روش به‌عنوان ابزاری مناسب برای تاریخ‌نگاری نهشته‌های لسی شناخته شد. اولین مطالعات گرده‌شناسی در منطقه زاگرس در غرب کشور در اوایل دهه ٦۰ میلادی آغاز شد. از مهم‌ترین این بازسازی‌های اقلیمی، مربوط به دریاچه زریبار در استان کردستان بود که امکان بازسازی تغییرات اقلیمی در قسمت‌هایی از زاگرس طی ۵۰ هزار سال گذشته را فراهم کرد (Van Zeist and Bottema, 1977؛ زوار و همکاران، ۱۳۹٦). از قدیمی‌ترین مطالعات ایرانی در زمینه گرده‌شناسی را می‌توان در مطالعه جمالی و همکاران (۲۰۰۸) نسبت داد؛ در این مطالعه تغییرات اقلیمی و پوشش گیاهی شمال غرب ایران را طی ۲۰۰ هزار سال گذشته بازسازی شده است. زوار و همکاران (۱۳۹٦) با استفاده از روش گرده‌شناسی در اواخر هولوسن به‌وسیله سن‌سنجی رادیو کربن جهت سن‌یابی مغزه گرده‌ها و هاگ‌ها پرداختند. جهت بررسی افزایش دمای محیط

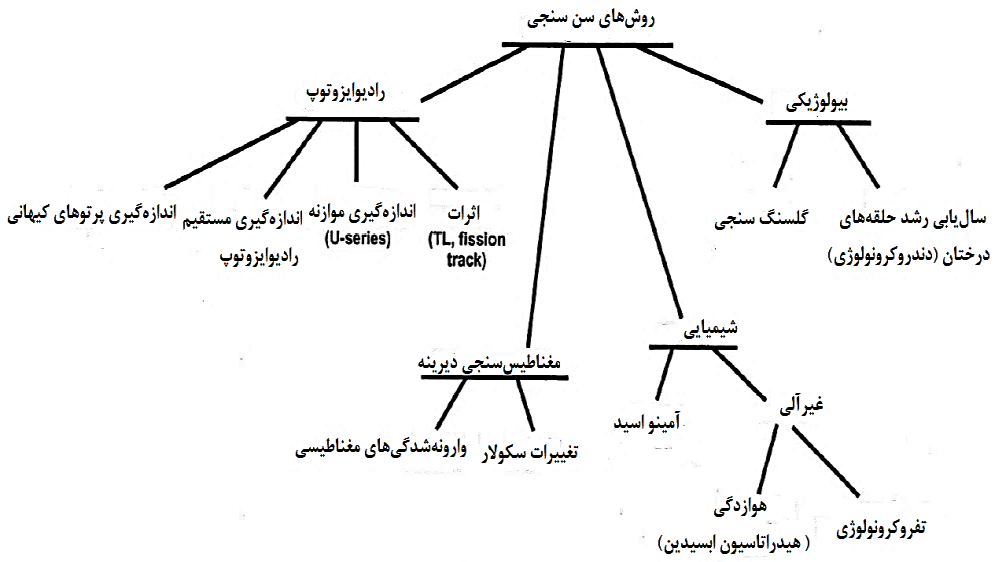
[1] lexsygsmart

ناشی از تغییر اقلیم شارمد و همکاران (۱۳۹۱) از روش ایزوتوپ‌های پایدار کربن و اکسیژن طی دوره ۱۲۰ ساله بهره گرفتند. از مطالعات دوره هولوسن جهت ردیابی دوره‌های سرد و گرم توسط سبک‌خیز و همکاران (۱۳۹۸) به روش سن‌سنجی تلفیقی ژئوشیمی و ایزوتوپی صورت گرفته است. در ادامه لشکری و همکاران (۱۳۹۲) و عمادالدین و همکاران (۱۳۹۳) جهت بررسی اقلیم‌های گذشته طبق رسوبات دریاچه‌ای در دوره هولوسن از روش سن‌سنجی کربن ۱٤[1] بهره گرفتند. جهت بازسازی محیطی و شرایط گردوغبار ۳۰۰۰۰ سال گذشته مربوط به دوره (پلئیستوسن و هولوسن)، رستمی و همکاران (۱۳۹۸) از روش چندپروکسی[2] (سن‌سنجی، ژئوشیمی، پذیرفتاری مغناطیسی، جرم‌کاهی گرمایشی) مغزه‌های رسوبی زاگرس مرکزی را مورد بررسی قرار دادند. بررسی منابع در سطح بین‌الملل، نشان می‌دهد برای تعیین سن مطلق به روش اورانیوم در سال ۱۸۹٦، نخستین بار هانری بکرل فیزیکدان فرانسوی، کشف کرد که اورانیوم اشعه‌هایی از خود ساطع می‌کند که در تاریکی بر روی عکاسی اثرگذار بوده است. بکرل این خاصیت را پرتوزایی نام گذاشت. از قابلیت پرتوزایی عناصر می‌توان در سن‌یابی مطلق که مبتنی بر ایزوتوپ‌های رادیو اکتیو است، در زمینه تعیین سن سنگ و علوم زمین مورد استفاده قرار داد (مقصودی، ۱۳۹۸). جرارد دی‌گیر در سال ۱۹۳۱ اولین شخصی بود که نخستین تکنیک سن‌سنجی در دوره کواترنری را در اسکاندیناوی ارائه کرد (Walker, 2005:3). از آن‌جا که نمونه‌های دریایی یکی از منابع مهم برای تخمین سن‌سنجی در مطالعات دیرینه هستند، تعیین دما از اجزا اسکلتی کربنات‌های دیرینه دریایی با نسبت ایزوتوپ اکسیژن برای نخستین بار توسط یوری در سال ۱۹٤۷ و سپس توسط همکارانش (امیلیانی، ۱۹٥٤؛ اپستاین، ۱۹٥۳) معرفی و اکنون پس از تغییراتی در سطح وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش شوری آب دریا در حد نرمال در نظر گرفته می‌شود که معمولا هم مقادیر ایزوتوپ اکسیژن در آب‌های گرم سبک‌تر بوده است. اما آب‌های سرد سنگین‌تر بوده و لذا ین این روش برای تعیین دمای دیرینه برای محاسبه صحیح‌ترین دما پیشنهاد می‌شود (شارمد و همکاران، ۱۳۹۱). ویلیام موریس دیویس، اولین جغرافی‌دان است که از روش سن‌سنجی برای تعیین سن کواترنری در سال ۱۹٤۹ بهره گرفت، او به مطالعه روش سن‌سنجی *یخچال* خومبو در اورست پرداخت (Huggett, 2011). لیبی از پیشگامان روش سن‌سنجی با کربن ۱٤ در اواخر دهه ٤۰ میلادی بود (لیبی، ۱۹٦۷). کربن ۱٤ از کاربردی‌ترین و دقیق‌ترین ابزار سن‌یابی در زمینه‌های باستان‌شناسی، زمین‌شناسی، دیرینه هواشناسی و دیرینه لرزه‌شناسی تاکنون بوده است. یک منبع ارزشمند روش سن‌سنجی که قدمت آن به سال ۱۷۰۰ در اروپا و سال ۱۸۰۰ در ایالات متحده می‌رسد، مطالعات گاهشناسی درختی (دندروکرونولوژی) است، که قابلیت ثبت سن درخت و شرایط آب و هوایی را دارد. سن‌یابی درختی را از آثار لئوناردو داوینچی هم می‌توان یافت. اما اصول اولیه حلقه‌های درختی توسط ستاره‌شناس آمریکایی ارائه شد؛ اندرو داگلاس، اولین کسی بود که به اصول دندروکرونولوژیکی ساده پرداخت و در واقع نخستین محققی بود که دندروکرنولوژی را پایه‌گذاری کرد (Walker, 2005:5).

[1] C14
[2] Multi Proxies

از طرفی تحقیقات تاریخی و اقلیم‌شناسی با این روش، توسط ادموند شولمن آغاز شد، وی آزمایشگاه مشهور جهانی برای تحقیقات حلقه درختان را در دانشگاه آریزونا در سال ۱۹۳۷ را تاسیس کرد (Walker, 2005:5). بریفا در سال ۱۹۹٤ نشان داد که هر حلقه درختی با توجه به دوره زمانی صدها و هزاران سال، قادر است هم‌زمان با رشد، تغییرات آب و هوا را نیز ثبت کند. اما در ایران اولین مطالعه گاه‌شناسی درختی توسط پورطهماسبی در سال ۱۳۸۰ صورت گرفت. پورطهماسبی با استفاده از حلقه‌های درختی و داده‌های اقلیمی و هواشناسی در دامنه شمالی البرز، به بررسی سن‌سنجی گونه ارس پرداخت (ولی‌پور، ۱۳۹۹). از روش‌های دیگر سن سنجی که توسط ایمبری و کیپ در سال ۱۹۷۱ صورت گرفت و برای نخستین بار الگوریتمی برای بازسازی عناصر زیست محیطی بر اساس پروکسی‌های بیولوژیکی ارائه کردند. در واقع آنها برای اولین بار در پالئواکولوژی کواترنری، با استفاده از گرده فسیل جمع‌آوری شده تغییرات اساسی ایجاد کردند (مرادی مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). از آن‌چه تشریح شد، توجه به روند فعالیت‌های سده گذشته سرآغازی بر گرم شدن جهانی زمین بوده است، علاوه بر این غلظت دی اکسیدکربن جو از حدود ۸ هزار سال پیش شروع و رو به افزایش بوده است، که به موجب این سیکل تغییرات منظم دچار اختلال شده است. طی میلیون‌ها سال گذشته این تغییرات به ظاهر نامحسوس، اثرات شدیدی بر افزایش و کاهش غلظت دی اکسیدکربن و متان داشته است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۸). مطالعات دیرینه پاسخی به تغییراتی است که در گذشته رخ داده است و می‌توان گفت گذشته کلید درک آینده است. درک تغییرات اقلیمی گذشته می‌تواند تا حدود زیادی به درک و مدل‌سازی تغییرات اقلیمی آینده کمک نماید (عزیزی و داودی ، ۱۳۹۸). طی نیم قرن گذشته، پژوهش‌های وسیعی در حیطه روش‌های سن‌سنجی توسط دانشمندان کواترنری نگارش شده است که از لحاظ تکنیک و روش‌شناختی به‌صورت سیستماتیک و کاربردی بوده است (Walker, 2005؛ Alverson et al., 2003؛ Yu et al., 2022). روش‌های اصلی سن‌سنجی که امروزه به‌طور گسترده در مطالعات کواترنری استفاده می‌شود، جزئیات بیش‌تری را از اقلیم گذشته نمایان می‌سازد (Bradley, 2015). در شکل (۳) روش‌های اصلی سن‌سنجی مورد استفاده در تحقیقات دیرینه اقلیم شناسی نشان داده شده است.

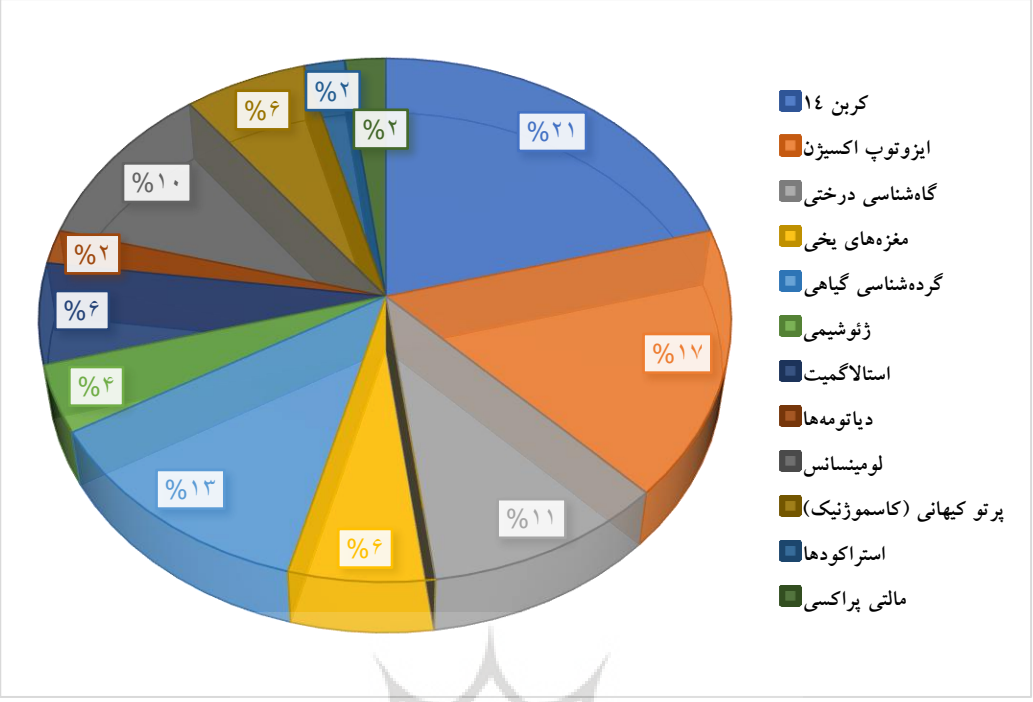
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



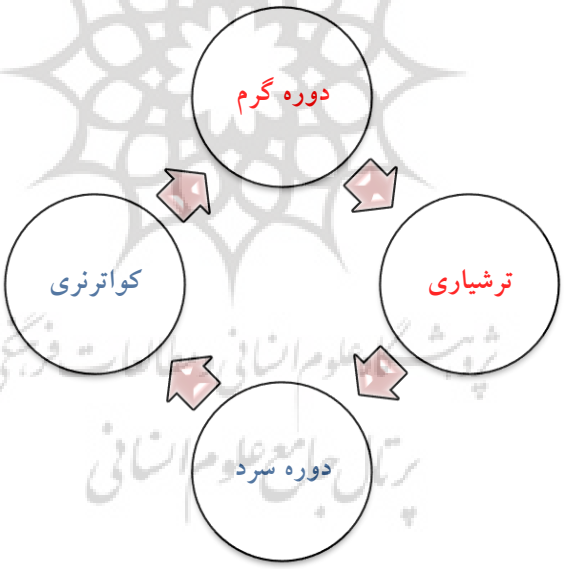
شکل ۳- روش‌های مورد استفاده در تحقیقات اقلیم دیرینه، (Bradley, 2015)

بر اساس مرور منابع به‌منظور استفاده دیگر محققان، در شکل (٤) بیش‌ترین روش‌های سن‌سنجی استفاده شده در مطالعات به‌صورت اطلاعات استخراج و نشان داده شده است. جهت بررسی تقسیم‌بندی دمایی در مطالعات دیرینه، شکل (٥) دوره دمایی سنوزوئیک را نشان داده است. در دوره ترشیاری گرما به‌حدی بوده است که قطبین امروزی پوشیده از جنگل‌های خزان کننده بوده است. ایجاد منطقه گرم بین عرض‌های ٤٠-٥٠ درجه شمالی و جنوبی و دو منطقه معتدل با پوشش درختی تا قطبین، یخچال‌ها در قلل برخی کوه‌ها مثل راکی دوران پالئوسن و تا آلئوسن وجود آمد. از دلایل گرما در مقیاس جهانی می‌توان افزایش CO_2، گسترش سریع پهنه‌های اقیانوسی، فرورانش قاره‌ای و کاهش در انحراف زاویه محور زمین در آئوسن میانی ذکر کرد. اما در مقیاس محلی جا به جایی موقعیت برخی مناطق نسبت به امروز می‌توان اشاره داشت (اکبریان، ١٤٠١).

پرتال جامع علوم انسانی



شکل ٤- بیش‌ترین روش‌های منتخب سن‌سنجی در مطالعات دیرینه



شکل ٥- دوره‌های دمایی سنوزوئیک

تقسیم‌بندی روش‌ها و پروکسی‌های سن‌سنجی با توجه به مقیاس زمانی در مطالعات دیرینه

تعیین سن با کربن۱٤ در دیرینه اقلیم‌شناسی

کربن ١٤ از مشهورترین و شناخته‌ترین روش‌ها برای تعیین سن مواد آلی و حاوی کربن است. اشعه‌های کیهانی با برخورد با مولکول‌های گاز نیتروژن موجود در هوا، ذرات بدون بار نوترون را ایجاد می‌کنند. این ذرات با ایزوتوپ نیتروژن کربن ١٤ شکل می‌گیرد، کربن ١٤ با اکسیژن ترکیب شده و دی‌اکسیدکربن را ایجاد می‌کند. دی‌اکسیدکربن در اتمسفر جریان پیدا می‌کند و در آب اقیانوس حل می‌شود و سپس توسط گیاهان و جانوران در سطح زمین جذب می‌شود، موجودات زنده و گیاهان نسبت ثابتی از کربن ١٤ و ١٢ را دارند که پس از مرگ، نیمه عمر گیاه نسبت به سایر جانداران ۵۷۳۰ سال است. با ابزار و وسائل دقیق رادیواکتیویته می‌توان این نسبت را در بقایای گیاهی تعیین کرد. مقیاس زمانی کربن ١٤ در حال حاضر از ۳۰۰ سال تا بین ۷۵۰۰۰–٤۰۰۰۰ سال است، که در برخی مطالعات گستره ی سنی قابل کاربرد این روش در بازه زمانی ۳۰۰–۵۵۰۰۰ سال ذکر کرده‌اند. در این روش از بقایای ارگانیسم‌ها، استخوان‌ها یا کلسیت صدف‌ها، کانی‌ها، کربنات‌ها، چوب و دی‌اکسیدکربن محبوس شده در یخ‌ها به سن کم‌تر از ۵۰۰۰۰ سال بهره گرفته شده است. امروزه این روش در مطالعات ژئومورفولوژی، زمین باستان‌شناسی و بسیاری از مطالعات دیگر کاربرد دارد (عقبایی، ۱۳۸۵؛ مقصودی، ۱۳۹۸؛ Bradley, 2015؛ Moine et al., 2017). به‌عنوان نمونه از این روش در مطالعات دریاچه ارومیه، که مرتفع‌ترین دریاچه ایران است پرداخته شده است (خاماچی، ١٣٦٧). بر اساس شواهد سطوح بالاتر آب مربوط به عصر یخچالی وورم بوده و سن‌سنجی رسوبات این دریاچه با استفاده از کربن ١٤، ضخامت چهار هزار متری و با عمر مربوط به ۹۰۰۰ سال قبل نشان داده است است. در آن زمان در ایران شرایط پلایایی با اقلیم سرد در این منطقه حاکم بوده و از حدود ۹۰۰۰ سال تا ۷۵۰۰ سال پیش رخساره‌های آبی نشان از افزایش انرژی در محیط دریاچه‌ای شور ته‌نشین می‌شده است. این شواهد نشان می‌دهد که دوره‌ای از پسروی و کاهش آب در ابتدای هولوسن نمایان شده اما مطالعه ماکروفسیل‌های گیاهی در ۱۸ متر بالایی رسوبات، عمق آب این دریاچه را بین ۲۲۵۰۰ سال تا ١٤٠٠٠ سال پیش، بیش از این نشان داده است (مهرشاهی، ۱۳۸۱). شواهدی دیگر از دریاچه ارومیه با روش کربن ١٤ تغییرات فراوانی پلت آرتمیا اورمیانا در بستر تغییرات تراز دریاچه ارومیه با توجه به رویکرد اقلیمی، بازسازی شده است. نتایج این مطالعه نشان داد وجود پلت‌های دفعی آرتمیس در دریاچه ارومیه حداقل از ابتدای هولوسن وجود دارد که با افزایش عمق دریاچه از تعداد رسوبات پلت کاسته می‌شود. افزایش میزان پلت با دوره‌های مرطوب بین یخچالی در آفریقا و جنوب آسیا که معادل ٤ الی ١٠ هزار سال قبل بوده مطابقت خوبی را نشان داده است (درویشی‌خاتونی، ۱۳۹۵). از مناطق دیگری که با روش کربن ١٤ برای سن سنجی مورد مطالعه قرار گرفته است، نوسانات سطح آب دریای کاسپین بوده است. شواهد اقلیمی و ژئومورفولوژیک تغییرات سطح دریای کاسپین در دوره کواترنری پسین، نشان دهنده شرایط پیشروی دریا بوده و بعد از آن دریا در شرایط پسروی قرار

گرفته که موجب تشکیل پادگانه‌های دریایی شده است. تعیین دمای دیرینه این دریاچه مربوط به ۱۲۰ سال پیش حدود C° ۲۱ بوده که که به‌نظر می‌رسد تغییرات عمده اقلیمی خاصی نسبت به زمان حال مشاهده نمی‌شود (عمادالدین، ۱۳۹۳، شارمد و همکاران، ۱۳۹۱). از دیگر مطالعات دیرینه اقلیم در ایران مربوط به دریاچه دشت ارژن با استفاده از کربن ١٤ است. این مطالعه نوسانات شدید دمایی را در زمان‌های مختلف نمایان کرده است. بررسی‌ها نشان داد که اقلیم دشت ارژن دارای نوسانات طبیعی طی ۱۱ هزار سال پیش بوده است و اقلیم این منطقه گرم‌تر و شورتر از دوره‌های بعد بوده است. اما در دوره‌های بعد تا حدود ۲۰۰۰ سال پیش اقلیم این ناحیه با وجود نوسانات رو به سردی رفته که نشانی از وجود رخداد تغییر اقلیم به صورت خیلی آرام است که به‌طور کلی اقلیم این منطقه طی دوره هولوسن رو به گرمی و خشکی رفته است (لشکری و همکاران، ۱۳۹۲). بین ٥٧٤٥ الی ٥٤٦٤ سال قبل، در غرب کردستان اقلیم گرم و مرطوب، بین ٥٤٦٤ الی ۱۱۳۱ سال پیش اقلیم گرم و خشک، و دوره‌ی ناهنجاری اقلیمی سده‌ی میانی آب و هوای گرم و مرطوب و عصر یخبندان کوچک اقلیم سرد و مرطوب بازسازی شده است (رحیمی، ۱۳۹۷). ثبت شرایط اقلیمی محیط پیرامون غار از اهمیت ویژه‌ای دارا است و بر همین اساس با روش کربن ١٤ و مطالعه‌ای که در دیواندره، کردستان صورت گرفته است، نشان داد که این منطقه دو دوره آب و هوایی خشکسالی، ترسالی را تجربه کرده است (امین رسولی و همکاران، ١٤٠٠). از طرفی بررسی اقلیم دیرینه در پلایای جازموریان، شواهدی از اواخر دوران پلیستوسن در رسوبات این منطقه با استفاده از کربن ١٤ نشان داد که در این دوره اقلیم خشک تا نیمه خشک با دوره‌های کوتاه مدت همراه بوده است؛ از طرفی در دوره هولوسن در همین منطقه اقلیم گرم و مرطوب اما همراه با طوفان‌های گرد و غبار را تجربه کرده است (شریفی یزدی و همکاران، ۲۰۲۲). در بازسازی اقلیمی که توسط (حسینی و همکاران، ۱۳۹۲؛ حسینی و همکاران، ۱۳۹۷) در دشت ارژن فارس در بازه زمانی ۱۵۰۰۰ سال گذشته انجام شده، نشان می دهد که این منطقه را می‌توان به ٥ ناحیه آب و هوایی تقسیم نمود. که با یک دوران بین یخچالی آغاز می‌شود و سپس یک دوران گرم‌تر و خشک‌تری را تجربه کرده است که از لحاظ اقلیمی مانند الگوی امروزی بوده است.

پس از مرور مطالعات داخلی با روش کربن ١٤، مطالعات سطح بین‌الملل با این روش نشان داد که کوه دایون در چین، در اوایل هولوسن شرایط آب و هوایی نیمه گرمسیری و مرطوب‌تر و گرم‌تر از زمان حال حاضر داشته است (Zhao et al., 2017). مطالعات زمین‌شناسان انسیتوی اقیانوس‌شناسی وودزهال در مورد تمدن سرخ‌پوستان مایا (در مکزیک)، که در جنوب شرقی مکزیک و شمال آمریکای مرکزی زندگی می‌کردند، دوره‌های خشکسالی شدید طی دوره ۸۰۰–۹۵۰ پیش از میلاد را تجربه کرده‌اند و اثر تغییر اقلیمی و خشکسالی یک‌صد ساله موجب فروپاشی این تمدن شده است. مطالعه رسوبات منطقه کاریکو در جنوب ونزوئلا با استفاده از روش کربن ١٤، شواهدی از یک دوره خشکسالی طولانی در سراسر کارائیب را نشان می‌دهد. که از اوایل قرن هفتم آغاز شده و بیش از یکصد سال به طول انجامیده است. در این دوره

خشکسالی‌هایی وجود داشته که هیچ بارانی در منطقه نباریده است و در طی این سال‌های بسیار بسیار خشک، تمدن مایا دستخوش ضعف شده و سرانجام سقوط کرده است. مطالعات زمین‌شناسی رسوبات منطقه کاریکو حاکی از آن است که در طی دوران خشکسالی سه دوره ۹، ٦ و۳ ساله وجود داشته که عملا هیچ بارانی در این منطقه نباریده و شرایط بسیار بسیار خشکی در این سه دوره بر منطقه حاکم بوده است. منطقه کاریکو در جنوب کارائیب قرار دارد و مایاها بالغ بر یک هزار سال با جمعیت یک میلیون نفری، در منطقه یوکاتان واقع در شمال غربی کارائیب زندگی کرده‌اند. طبق مطالعات باستان‌شناسی پس از زوال تمدن مایا، بسیاری از سرخپوستان مایا در قرن هشتم شهرهای خود را رها کرده و به نقطه نامعلومی نقل مکان کردند (Douglas et al., 2016).

جدول۲- ویژگی نمونه‌های مورد استفاده در سن‌سنجی کربن ١٤ باتوجه به دوره حیات، (عقبایی، ۱۳۸۵)

چوب	چوب به‌طور مستقیم نشانگر CO_2 ثابت در جو بوده و چوب درخت، قادر است حیات بیش از صدسال را نشان دهد. بهترین شاخص برای اندازه‌گیری و پایش تغییرات اقلیمی در زمان رشد و نمو درخت در مطالعات دیرینه است.
ماکرو فسیل‌ها (استراکودها)	از جمله دارای دوره حیات کوتاه مدت که طی یک یا چند سال شکل می‌گیرند و سپس نابود می‌شوند (برگ‌ها، دانه‌ها، ریشه‌ها) هستند. و شاخصی مناسب برای تعیین اقلیم‌های گذشته است.
ذغال چوب	از مناسب‌ترین مواد قابل سن‌سنجی چوب‌ها، که شامل ذراتی از مواد آوری و نابرجا می‌باشد.
استخوان	از این نمونه می‌توان کربن موجود در خاک و آب‌های زیرزمینی را محاسبه کرد.
خاک‌های آلی	خاک‌های انباشته شده از مواد آلی نهشته‌های دریاچه‌ای یا تالاب‌ها، از جمله مواردی است که در مطالعات دیرینه بهره گرفته می‌شود.
دیرینه خاک‌ها	این خاک‌ها حاوی ذرات ماکروفسیل‌ها است و در اعماق آبرفت‌های با سن ۱ الی ۵/۱ میلیون سال مشاهده می‌شود.
خاک‌های کربناته	این نمونه برای سن‌سنجی با توجه به وابستگی آن به عوامل گوناگون کمی دشوار بوده و باید دارای حجم خاصی باشد.

تعیین سن با لومینسانس در دیرینه اقلیم‌شناسی

لومینسانس، یک روش تعیین سن مطلق است که مستقیما سن آخرین زمانی که یک نمونه در اثر یک مخاطره طبیعی (زلزله، آتشفشان، سیل، سونامی) یا یک مخاطره انسانی (ساخت دیوار، سد، خشت، آجر) در معرض تابش نور قرار داشته و یا در دمای بیش از ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد داغ شده را نشان می‌دهد. این روش به دسته لومینسانس نوری[1] و حرارتی تقسیم می‌شود. روش لومینسانس نوری مستقیما زمان آخرین نورخوردگی و یا گرم شدگی را تعیین می‌کند. روش لومینسانس حرارتی مستقیما زمان آخرین گرم شدگی و به‌صورت غیرمستقیم می‌تواند زمان آخرین نورخوردگی را تعیین کند اما امکان دارد زمان آخرین نورخوردگی را بیش از واقعیت نشان دهد. یکی از مزیت‌های این روش، افزایش محدوده زمانی سن سنجی و تا ۲۰۰ هزار سال است. از این روش می‌توان در بسیاری از اشکال ژئومورفولوژی استفاده کرد. سن‌سنجی پادگانه‌های دوره کواترنری با قابلیت استفاده در کشاورزی، آبخوان‌داری، منابع طبیعی و توسعه شهرها از جمله ویژگی‌های

[1] OSL

این روش است. سن‌سنجی بر اساس لومینسانس نوری به‌دلیل موقعیت خشک و نیمه‌خشک ایران روش مناسبی برای سن‌سنجی خاک و رسوبات در علوم طبیعی است. زیرا ابتدا خاک و رسوبات سن‌سنجی شده و سپس محدوده سنی آن برخلاف رادیو کربن در دوره کواترنری را پوشش می‌دهد (مقصودی، ۱۳۹۸؛ Bradley, 2015؛ Walker, 2005). به عبارت دیگر سن‌سنجی به روش لومینسانس زمان آخرین نورخوردگی رسوب و صفر شدن سیگنال لومینسانس در رسوب را به طور مستقیم تعیین می‌کند، و به ابزاری اصلی برای تعیین قدمت رسوبات تبدیل شده است. تا اواخر ۱۹۸۰ بیش‌ترین مطالعات در سن‌سنجی لومینسانس بر مسائل بنیادی و کاربردش برای انباشت‌های داغ با منشا آتشفشانی و نهشته‌های رسوبی متمرکز بوده است (صداقت و قاضی‌فرد، ۱۳۹۵؛ Aitken, 1985). اما امروزه این روش در جهان جایگاهی ویژه در علوم کواترنری پیدا کرده است. در ایران این روش کاربردهای وسیعی داشته و به مرور، استفاده از آن جهت تعیین زمان وقوع زلزله‌های دیرین، نرخ لغزش گسل‌ها، دوره بازگشت زلزله، دوران‌های گذشته اقلیمی (خشکسالی و مرطوب) گسترش یافته است. هرچه دقت سن‌سنجی بیش‌تر باشد، دقت تفسیرهای ناشی از سن نیز بیش‌تر خواهد شد. با راه‌اندازی آزمایشگاه ملی سن‌سنجی به روش لومینسانس نوری در موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۸، پژوهشگران بیش‌تری اقدام به نمونه رسوبی برای سن‌سنجی کردند (فتاحی، ۱٤۰۰؛ صداقت و قاضی‌فرد، ۱۳۹۵). در سن‌سنجی رسوبات دریاچه‌ای هی‌های در غرب چین با بهره‌گیری از این روش نشان داده است که این منطقه یک دوره ترسالی را تجربه کرده است و علت این امر، وزش بادهای موسمی شرق آسیا و هند است که هر دو در افزایش این رطوبت و رخداد دوره ترسالی موثر بوده‌اند. (An et al., 2018).

تعیین سن با گاه‌شناسی درختی در دیرینه اقلیم‌شناسی

طی سال‌های اخیر، استفاده از حلقه‌های درختی در مطالعات سن‌سنجی، تغییر اقلیم و سایر علوم از جمله ژئومورفولوژی کاربرد بسیاری پیدا کرده است. رشد سالانه درختان به‌صورت حلقه های درختی امکان ردیابی در مطالعات دیرینه را دارد. برخی از گونه‌های درختی به دو بخش رشد سالانه، شامل سلول‌های چوب بهاری و تابستانی تقسیم می‌شوند. زمانی‌که درختان در یک منطقه اقلیمی مشخص به‌طور مشابه تحت اثر تغییرات سالانه اقلیم قرار گیرند، حلقه‌های آن‌ها را می‌توان باهم مقایسه کرد. به‌طوری که یک حلقه مشخص را می‌توان به یک سال تقویمی نسبت داد، گاهی یک دوره زمانی درون یک‌سال را هم می‌توان تشخیص داد، این حلقه‌ها منبع بسیاری خوبی برای واسنجی رادیوکربن هستند. در واقع از این روش برای تحلیل حلقه‌های درختی از داده‌های مشاهداتی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محل رویش درخت در سال‌هایی که داده مشاهداتی ثبت شده؛ استفاده می‌شود و ارتباط آماری حاصل از آن را به حلقه درختی سال‌های پیشین و در واقع قبل از تاسیس ایستگاه هواشناسی تعمیم می‌دهند. از این روش برای بازسازی داده‌های بارش، دما و رطوبت استفاده می‌شود (جعفری، ۱٤۰۱؛ نیک‌رای و همکاران، ۱۳۹٦). از دیگر موارد استفاده از روش حلقه‌های درختی تعیین سن وقوع سیلاب‌های قدیمی است؛ سیلاب‌ها سبب ایجاد خوردگی در تنه درخت، کج‌شدگی و ناهنجاری‌های حلقه رشد درخت می‌شوند. با شمارش حلقه رویش‌های جدید، می‌توان زمان وقوع سیلاب یا رسوب‌گذاری ناشی از سیلاب را تعیین

کرد. در مطالعات جدیدتر از حلقه‌های درختی برای برآورد میزان فرسایش هم بهره گرفته می‌شود. فرسایش ورقه‌ای که از درختان سرخدار و زربین به‌دست آمده نشان داده که این گونه درختان نسبت به بلوط از کارایی بهتری در برآورد میزان فرسایش داشته و حلقه‌های واضح‌تر و قابل شمارش شدنی‌تری را دارند. از آن‌جا که تمامی درختان در شرایط اقلیمی یکسانی رشد می‌کنند، توالی یکسانی هم داشته و باتوجه به الگوی رشد درخت پیر و جوان می‌توان با هم‌پوشانی تا سال‌های آتی را بررسی کرد (حکیم‌زاده، ۱۳۸۳؛ مقصودی، ۱۳۹۸؛ Walker, 2005؛ Wilhelm et al., 2022). در ایران بررسی اقلیم در قالب حلقه‌های درختی سابقه چندانی ندارد، اما طی مطالعات سالیان گذشته بر اثر عناصر اقلیمی بر رویش گونه آزاد در شمال ایران حاکی از آن بود کاهش بارش موجب کاهش رویش حلقه‌های درختی گونه آزاد شده است (قدس‌خواه دریایی و همکاران، ۱٤۰۰). مطالعات اقلیم دیرینه در جوانرود کرمانشاه برای تخمین خشکسالی طی دو قرن گذشته با حلقه‌های درختی نشان داده است، در این منطقه خشکسالی‌های شدید طی سال‌های ۱۸۲۷–۱۸۳۰ و ۱۹٦۰–۱۹٦۳ تجربه شده است. نتایج این تحقیق تطابق خوبی با گزارشات خشکسالی‌های ایران و نتایج سایر تحقیقات در سطح بین‌الملل کشورهای چین و ترکیه نشان داده است (نادی و همکاران،۱۳۹٤). نتایج این مطالعه‌ای مشابه برای بازسازی بارش و خشکسالی در قرون گذشته در منطقه لاین (شمال شرق ایران) با استفاده از درختان اُرس نشان داد سه دوره خشکسالی شدید در دهه ۱۸۷۰ و اوایل قرن بیستم و ۱۹۱۵–۱۹۱۹ به وقوع پیوسته است و بازسازی بارش طی ۱۵۰ سال گذشته، نشان داد کم‌ترین مقدار بارش در سال ۱۹۱۷ در این منطقه باریده است (نادی و پورطهماسبی، ۱۳۹۵). بنابراین بر اساس آنچه که تاکنون تشریح گردید هر درخت سالیانه یک حلقه رویشی به مجموع حلقه‌های سالیانه خود اضافه می‌کند که با شمارش این حلقه‌ها نه تنها می‌توان سن درخت را تشخیص داد، بلکه با اندازه‌گیری پارامترهای هر حلقه رویشی شرایط محیطی تاثیر گذار بر تشکیل آن حلقه سالیانه را هم می‌توان بازسازی کرد. بر همین اساس پژوهشی دیگر در زمینه بازسازی تغییرات دمای بیشینه در استان کرمانشاه نشان داده است که پایین‌ترین دمای بیشینه بازسازی شده در سال‌های (۱۸٤۲، ۱۸٤۸، ۱۵۸۵، ۱۸۷٤، ۱۸٦٤، ۱۸۷٦، ۱۸۸۵، ۱۸۹۰، ۱۹٤۰، ۱۹۵۰، ۱۹۵۷، ۱۹۷۳، ۱۹۸۲ و ۱۹۹۲) رخ داده است؛ اما بالاترین دمای بیشینه در طول دوره بازسازی با حداقل یک درجه سلسیوس اختلاف نسبت به میانگین در سال‌های (۱۸٤۷، ۱۸۷۱، ۱۹٤٤، ۱۹٤۸، ۱۹٦۰، ۱۹۸٤ و ۲۰۰۹) تجربه شده است (ارسلانی و همکاران، ۱۳۹۱). بازسازی اقلیم گذشته بر مبنای تغییرات الگوی درجه حرارت از روی حلقه‌های درختی بلوط در گلستان نشان داده است که تغییرات دمایی در فصل رشد در استان گلستان طی ۱۷۰ سال گذشته، شش چرخهٔ عمده نوسانی دارد؛ هم‌چنین مشخص شد، دوره ٤۰ساله اخیر (۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰) در قیاس با سه دورهٔ چهل ساله پیش از خود، تغییرات عمده‌ای در میانگین و میانهٔ دمایی دارد (قانقرمه و همکاران، ۱۳۹۸). در مطالعه‌ای ارتباط رشد درختان کهنسال و حساس به شرایط آب و هوایی هم‌چون درختان اُرس در لرستان (الیگودرز) با استفاده از گاه‌شناسی درختی نشان داده که درختان این منطقه به دلیل قرارگیری در منطقه

مرتفع و مرطوب، اثر معناداری در متغیرهای رطوبتی نداشته و کاهش دمای چند ماه قبل و ماه ابتدایی رشد عامل محدود کننده رشد درختان ارس در این منطقه به شمار آمده است (علی‌پور فرد و همکاران، ۱۳۹۵).

تعیین سن با استالاگمیت در اقلیم‌شناسی دیرینه

یکی از اَشکال رایج غارسنگ، استالاگمیت است که لایه‌های آن منبعی برای اطلاعات و داده‌های اقلیمی به حساب می‌آید (همه‌زاده و همکاران، ۱٤۰۱؛ Genty and Quinif., 1996). استالاگمیت نوع دیگری از رسوبات ستونی شکل هستند که بر کف غارهای آهکی شکل می‌گیرد و با چکیدن قطرات حاوی مقدار زیادی مواد معدنی محلول و ته‌نشین شدن و رسوب کردن کلسیم کربنات به‌وجود می‌آیند. در هنگام بازدید از غارهای حاوی استالاگمیت‌ها از بازدیدکنندگان درخواست می‌شود به دیواره‌ها و سنگ‌ها دست نزنند که دلیل این موضوع به طور کلی ادامه داشتن رشد تشکیل سنگ‌ها و استالاکتیت‌هاست. از آن‌جا که شکل گرفتن سنگ‌ها به دلیل رسوب مواد معدنی محلول در آب بر سنگ‌های قدیمی می‌باشد، لذا دست زدن به سنگ‌ها موجب تخریب بستر رسوب‌گذاری و از بین رفتن رشد طبیعی آن‌ها می‌شود. هر لایه رشد استالاگمیت شرایط اقلیمی زمان تشکیل آن را نشان می‌دهد. ضمن این که استالاگمیت‌ها در زمانی که رسوب می‌کنند، می‌توانند معیاری برای سنجش اقلیم دیرینه باشند. اصولاً روش استالاگمیت برای سن‌سنجی با دو محدودیت مواجه است: (۱) روش مذکور تنها تا ۵۰ هزار سال، قادر به سن‌یابی است. (۲) به‌دلیل اثرات به جا مانده از آب روی بستر، محاسبه سن استالاگمیت با خطا مواجه خواهد شد، به‌دلیل این‌که این سن می‌تواند با سن سنگ بستر ارتباط داشته باشد. در مطالعه‌ای که در بازسازی دیرینه اقلیم بارش در زاگرس مرکزی با این روش صورت گرفت، نشان داد که اقلیم منطقه در طول ۵۵۰ هزار سال گذشته به سمت خشکی و کاهش بارش پیش رفته است (همه‌زاده و همکاران، ۱٤۰۱؛ White., 2007). در مقابل، بازسازی محیط‌های دیرینه در غرب کردستان نشان داده است این منطقه بین سال ٥٧٤٥ الی ٥٤٦٤ سال قبل، اقلیم گرم و مرطوب داشته، اما در بازه زمانی ٥٤٦٤ تا ۱۱۳۱ سال قبل، به اقلیم گرم خشک تغییر کرده است (رحیمی، ۱۳۹۷). در سطح بین‌الملل در تحقیقی که با این روش در اسکاتلند صورت گرفته، بررسی تغییرات محیطی برای ۳۰۰۰ سال گذشته، انطباق قابل قبول و خوبی از آب و هوای محلی و دمای سطح دریا را نشان داده است (Proctor et al., 2002). تغییرات محیطی در دوره هولوسن در رودخانه یانگ‌تسه تغییراتی را در سطح تراز رودخانه با توجه به شواهد ظهور و سقوط تمدن‌ها، کشاورزی و رخداد تغییرات اقلیمی در این ناحیه نشان داده شده است (Wu et al., 2012). توصیه‌ای که اغلب برای کاهش خطای استالاگمیت می‌شود، این است از روی سری‌های زمانی طولانی مدت در غارسنگ‌ها بهره گرفته شود (رحیمی، ۱۳۹۷).

تعیین سن با ایزوتوپ‌های اکسیژن در دیرینه اقلیم‌شناسی

عناصر اکسیژن و هیدروژن از عنصرهای اصلی سیستم‌های هیدروژئولوژی، اقلیم‌شناسی، زمین‌شناسی و بیولوژیکی هستند؛ طی سال‌های اخیر مطالعات در زمینه عناصر ایزوتوپ‌های پایدار اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. هیدروژن دارای یک ایزوتوپ پایدار H_2 و یک ایزوتوپ ناپایدار H_3 می‌باشد. اکسیژن هم دارای سه ایزوتوپ پایدار اکسیژن معمولی O^{16} اکسیژن نیمه‌سنگین O^{17} و اکسیژن سنگین O^{18} است. نسبت ایزوتوپ‌های آب $(^{18}o/^{16}o - 2H/1H)$ رابطه معناداری با هم دارند. چگونگی تاثیر اقلیم منوط به درک درستی از این نسبت‌ها است. از آنجا که همبستگی زیادی بین دما و نسبت ایزوتوپی بارش در سراسر جهان وجود دارد، بنابراین ایزوتوپ‌های پایدار را می‌توان برای بازسازی اقلیم گذشته به‌کار برد. از ایزوتوپ‌های پایدار به‌خصوص ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن اطلاعات با ارزشی در زمینه دمای دیاژنتیکی، دمای محیط رسوب‌گذاری و تفکیک کربنات‌ها در نواحی شور می‌توان یافت. از کاربردهای مهم ایزوتوپ اکسیژن برای تعیین دمای تشکیل در کربنات‌ها است. معمولاً سبک‌ترین ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ برای دمای دیاژنیکی و سنگین‌تر برای دمای محیط رسوبی می‌باشد (شارمد و همکاران، ۱۳۹۱؛ Emiliani, 1954؛ Epstein et al., 1953؛ Cohen et al., 2000؛ Urey, 1947). در پژوهش سبک‌خیز و همکاران (۱۳۹۸) بازسازی تغییرات اقلیمی دریاچه مهارلو از دوره هولوسن تا عهد حاضر نشان داده شده که وجود لس‌های یخبندان و نبود بقایای جانوری و گیاهی حاکمیت دوره سرد و خشک در فاز پایانی دریاس (اواخر دیریخبندان) در دریاچه مهارلو است، در حالی که دوره هولوسن تحتانی حدود ۱۰۲۰۰ سال گذشته، ابتدا سرد و خشک بوده و بعد از آن دوران گرم و خشک حاکم شده است. اما در هولوسن میانی حدود ٤۰۰۰ سال قبل، با شروع فعالیت چشمه‌ها دوره بهینه اقلیم گرم و مرطوب با نشانه‌هایی از خشک‌شدگی کوتاه مدت این دریاچه تجربه کرده است. با استفاده از O^{18} در هولوسن پیشین رسوبات دریاچه‌ای زریبار در زاگرس مرکزی شرایط اقلیمی خشک‌تری داشته است و از دلایل اصلی این امر کاهش بارش‌های بهاره در هولوسن پیشین بوده است (رستمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ مرادی مقدم و همکاران، ۱۳۹۹).

تعیین سن با گرده‌شناسی در دیرینه اقلیم‌شناسی

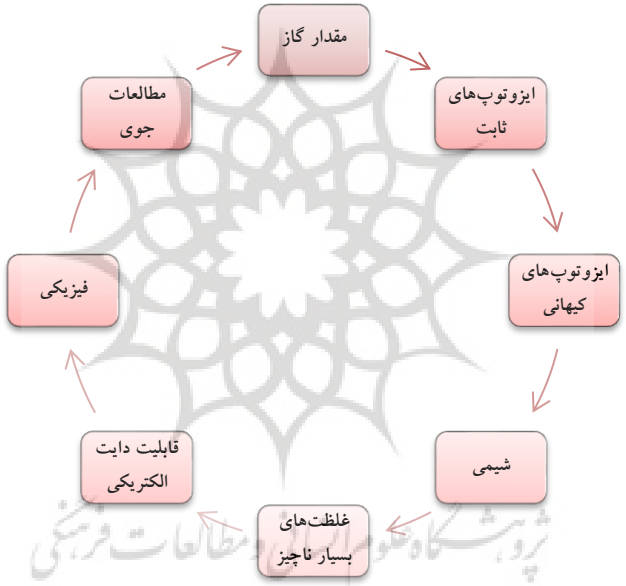
آنالیز گرده‌شناسی نقش به‌سزایی در مطالعات تغییراقلیم کواترنری دارد (صفایی‌راد، ۱۳۹۷). گرده‌شناسی یک روش علمی است که به کمک آن دانه‌های گرده و هاگ گیاهان، به بازسازی پوشش گیاهی و اقلیم گذشته پرداخته می‌شود. از این روش می‌توان برای بازسازی تغییرات آب و هوایی گذشته زمین، هم‌چنین برای پیش‌بینی هوای آینده بهره گرفت (Bradley, 2015؛ زوار و همکاران، ۱۳۹٦). از آن‌جا که پراکندگی گیاهان برای بازسازی اقلیم دیرینه متاثر از عناصر اقلیمی (دما و بارش) است، بنابراین داده‌های گرده گیاهان برای بازسازی در مقیاس‌های منطقه‌ای تا قاره‌ای مناسب می‌باشند، این داده‌ها شامل ماکروفسیل‌های گیاهی و گرده‌گیاهی هستند که مستندات خوبی برای بازسازی اقلیم گذشته به شمار می‌روند (مرادی

مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). بازسازی اقلیم گذشته در خاورمیانه بر مبنای گرده‌شناسی بوده و گیاهان غالب مناطق عمدتا شاخص‌هایی از تغییرات دما و رطوبت را نشان دهند؛ اقلیم و محیط‌های گذشته را می‌توان با گرده‌شناسی رسوبات دریاچه‌ای نیز بازسازی نمود، محیط‌های دریاچه‌ای بایگانی‌های طبیعت هستند که رخدادهای آب و هوایی مانند خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها را ثبت می‌نمایند (عبدللهی و همکاران، ۱٤۰۰). یکی از محدوده‌های مطالعاتی با این روش در ایران دریاچه نئور است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹٦). مطالعه‌ای دیگر جهت بررسی منطقه زاگرس (محدوده جنگل‌های بلوط) در دوره هولوسن پیشین در بازه زمانی ۱۱۷۰۰ تا ۷۸۰۰، نشان داده که این منطقه دارای اقلیم گرم و خشک و گرد و غباری بوده و در هولوسن میانی اعتدال شرایط اقلیمی، جنگل‌های بلوط به مرور گسترش یافته که در این بین از میزان گرد و غبار کاسته شده که نشان از افزایش رطوبت در زاگرس از ٦۰۰۰ هزار سال پیش تاکنون است (صفایی‌راد، ۱۳۹۷). در مطالعه‌ای با استفاده از روش گرده‌شناسی در اسپانیا نشان داده شده که در بازه زمانی ۸۵۰۰ سال گذشته این کشور تحت تاثیر آب و هوا و فعالیت‌های انسانی یک دوره آتش‌سوزی را تجربه کرده و شواهدی در اوایل دوره هولوسن از آغاز رخداد تغییر اقلیم در این کشور نمایان شده است (Mighall et al., 2023). سن‌یابی اقلیم دیرینه در شمال غربی روسیه در اواخر دوران یخبندان و هولوسن به بازسازی اقلیم گذشته این منطقه با استفاده از گرده‌های درختان توسکا و صنوبر در بازه زمانی ۷٦۷۰ سال گذشته در طول یخبندان پسین و هولوسن پرداخته است (Arslanov et al., 2001).

تعیین سن با مغزه‌های یخی در دیرینه اقلیم‌شناسی

این روش از نوع سن‌سنجی مطلق و بر اساس شمارش لایه‌های صفحات یخی بزرگ محسوب می‌شود (Hammer et al., 1986). مغزه‌های یخی مانند حلقه‌های یخی یا لایه‌های رسوبی دارای اطلاعات اقلیمی فراوان بوده به‌طور مستقیم وقایع مهم سیستم زمین را ثبت می‌کنند. نحوه حفاری و بازیابی مغزه یخی کار ساده‌ای نیست، زیرا یخ باید از عمق و تحت فشارهای بسیار زیاد به‌دست آید. تمامی مغزه های یخی برابر نبوده است و تغییرات بستگی به عرض جغرافیایی و عمق حفاری دارد، علی‌رغم مشکلاتی که برداشت نمونه دارد؛ اما استفاده از هسته‌های یخی با توجه به عرض جغرافیایی بالا، چشم‌اندازهای متفاوتی از نوسانات آب و هوایی را نمایان می‌نماید. به عبارت دیگر برف هنگام بارش ترکیباتی (گردوغبار، فلزات و سولفات) که در آن لحظه در جو وجود داشته را با خود حمل می‌کند، در نتیجه برف یک‌سال روی برف‌های ذوب نشده (مناطق قطبی یا عرض‌های بالاتر) انباشته می‌شود و با این روش است که با حفاری عمق بیش از ۸۰ متر می‌توان به تاریخ و گذشته موجود در جو طی سالیان گذشته دست یافت (صمدی و جوی‌زاده، ۱۳۸۵؛ Robin, 1977؛ Eichler et al., 2000). در شکل (٦) ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری در مطالعات مغزه‌های یخی به تصویر کشیده شده است. مطالعه‌ای که توسط Tandong and Thompson (1992) در کوه کیلیان حاشیه شمال شرقی فلات تبت با استفاده از روش سن‌سنجی مغزه‌های یخی با دمای ^{o}C ۷.۳- در عمق ۱۰ متری و ^{o}C ٤.۷- در پایین کلاهک یخی صورت گرفته، شواهد

جالبی را ارائه کرده است؛ با شمارش لایه‌ها مشخص شده که می‌توان تا مقیاس زمانی بیش‌تر از ٤٥٥٠ سال گذشته را با روش فوق بازسازی کرد. هم‌چنین در ۱۲۰ متری بالای مغزه نشان داده که دما در ٥٠٠٠ گذشته دارای نوساناتی که ناشی از تغییرات اقلیمی در این منطقه بوده است، نمایان شده و گرم‌ترین دوره نسبت به زمان کنونی بین بازه زمانی ۳۰۰۰–٤۱۰۰ سال گذشته بوده است. هسته‌های یخی نشان داده که این منطقه یک دوره عصر یخبندان کوچک طی دوره‌های سرد که در بازه زمانی ٥۰۰ تا ٤٥۰۰ سال گذشته را تجربه کرده است. روش سن‌سنجی با هسته‌های یخی در ۱۰۹ متری در یخچال‌های طبیعی آلپ در بازه زمانی ٦۷۸ ساله قابلیت بازسازی شواهد محیطی و اقلیمی را داشته است (Shao et al., 2020) یافته‌های مطالعه‌ای دیگر نشان داده است که یخبندان و سرما در گرینلند شمالی به مدت ۱٦۰/٥ سال در بازه زمانی ۸۲۰۰ سال پیش تداوم داشته است، و آنومالی‌هایی در حدود ۸۲۰۰ سال گذشته در آرشیو دیرینه اقلیم در سرتاسر کره زمین مشاهده شده است (صفایی‌راد، ۱۳۹۷).



شکل ٦- ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری در مطالعات هسته یخی، (Wallace and Gutzler, 1981).

تعیین سن با ژئوشیمی در دیرینه اقلیم‌شناسی

از آن‌جا که میزان عناصر و ترکیب رسوبات به شرایط محیطی حساسند؛ برخی از این عناصر می‌توانند نشانگر شرایط محیطی خاصی در گذشته باشند. ژئوشیمی یکی از عناصر مهم برای تعیین میزان شرایط دیاژنزی بر محیط و شرایط تشکیل رسوب است و با استفاده از روش‌های ژئوشیمی رسوبی می‌توان در شناسایی و بازسازی اثرات رخدادهای آب و هوایی خشک بهره گرفته شود (بیات و همکاران، ۱٤۰۱؛ رستمی و همکاران، ۱٤۰۰). مطالعه مغزه‌های رسوبی با این روش در دریاچه مهارلو نشان داده است که طی ۲۰۰۰–۳۸۰۰ سال گذشته مقدار بار رسوبی حمل شده به دریاچه افزایش یافته است

(Brisset et al., 2018). مطالعات نهشته‌های گوانوی غار کرفتو در دیواندره استان کردستان نشان داده است که این منطقه سه دوره اقلیمی خشکسالی و ترسالی را تجربه کرده است (امین‌رسولی و همکاران، ۱٤۰۰). تغییرات هیدرولوژیکی و اقلیمی دریاچه هامون طی دوران هولوسن شرایط پیچیده‌ای را تجربه کرده است؛ این حوضه در اواخر عصر یخبندان به‌صورت غیرمستقیم تحت تاثیر رطوبت قرار گرفته اما در اوایل دوره هولوسن بارش افزایش یافته و در اواخر دوره سطح این دریاچه نوسانات بیش‌تری داشته است. تغییرات اقلیم کواترنری در پلایای جازموریان، دو دوره خشک را در حدود ٤۲۰۰ و ۸۲۰۰ سال پیش تجربه کرده است (بیات و همکاران، ۱٤۰۱). در سطح بین‌الملل در زمینه بازسازی شرایط محیطی و اقلیمی دوره هولوسن در جنوب اسپانیا نشان داده که این منطقه طی چند دوره از تغییرات اقلیم (دوره گرم و خشک و کاهش شدید دما) را تجربه کرده است (Schröder et al., 2018).

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه با کمک دیرینه اقلیم‌شناسی می‌توان به مطالعه و بازسازی اقلیم‌های گذشته پرداخت. از آنجا که امکان بازگشت به گذشته برای دیدن شرایط آب و هوایی وجود ندارد؛ دانشمندان با کمک تکنیک‌هایی به نام پروکسی به بررسی آب و هوای گذشته پرداخته و آب و هوای گذشته را تفسیر می‌کنند. اقلیم‌های گذشته از انواع آرشیوهای زمین‌شناسی و بیولوژیکی بازسازی می‌شوند که از اقلیم‌ها یا شواهدی از آب و هوا و محیط گذشته محافظت می‌کنند. نمونه‌هایی از این بایگانی‌ها رسوبات زمینی یا آبی، هسته‌های یخی از یخچال‌های طبیعی و صفحات یخی، حلقه‌های درختی، مرجان‌ها، ماکروفسیل‌ها را شامل می‌شوند. این بایگانی‌ها حاوی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی هستند که اطلاعاتی را در مورد آب و هوا و محیط گذشته همچون سطح دریا، دمای هوا و اقیانوس، ترکیب اتمسفر، و بارش ارائه می‌دهند. از آنجا که اکوسیستم‌ها، در دسترس بودن آب، چرخه کربن، بالا آمدن سطح دریا، گردش اقیانوس‌ها و اسیدی شدن اقیانوس‌ها، همگی با سیستم آب و هوایی تعامل دارند و به تغییرات اقلیمی پاسخ می‌دهند؛ مطالعات اقلیم دیرینه چشم اندازی ضروری برای ارزیابی اثرات بالقوه آب و هوا در آینده بر سیستم‌های طبیعی و افرادی که به آنها متکی هستند، می‌باشد. از آنجایی که سوابق ابزاری، تنها بخش کوچکی از تاریخ زمین را شامل می‌شود، بازسازی آب و هوای باستانی برای درک تغییرات طبیعی و تکامل آب و هوای فعلی مهم است. بدین جهت است که آب و هوای گذشته را می‌توان با استفاده از ترکیبی از انواع مختلف رکوردهای پروکسی بازسازی کرد. سپس این رکوردها را می‌توان با مشاهدات آب و هوای حاضر زمین ادغام نمود و در یک مدل کامپیوتری برای استنتاج گذشته و هم‌چنین پیش‌بینی آب و هوای آینده قرار داد. نتایج حاصل از این پژوهش از بین ۱۰۸ منبع معتبر علمی-پژوهشی در بازه زمانی ٤۹ ساله، (۱۹۷٤-۲۰۲۳) نشان داد که:

۱) بیش‌ترین مطالعات صورت گرفته در داخل و سطح بین‌الملل با روش‌های سن‌سنجی به ترتیب به کربن ۱٤، ایزوتوپ اکسیژن، گاه‌شناسی درختی و لومینسانس تعلق دارد. که از این بین بیش‌ترین مطالعات سن‌یابی به کربن

۱٤ و بیش‌ترین محدوده و قلمرو مکانی در ایران به نوسانات دریاچه ارومیه پرداخته شده است. بیش‌ترین قلمرو مکانی و محدوده مورد مطالعه در سطح جهان در کشور چین (فلات تبت) انجام شده است.

۲) بیش‌ترین موضوع مورد پژوهش در مطالعات داخل و سطح بین‌الملل مربوط به مباحث بازسازی تغییر اقلیم و دوره‌های ترسالی و خشکسالی است.

۳) از نظر مقیاس زمانی بیش‌ترین مطالعات سن‌سنجی مربوط به دوره کواترنری و به‌ویژه هولوسن است.

٤) اولین منطقه منتخب مورد مطالعه در ایران با بهره‌گیری از روش سن‌سنجی به مناطق غربی و کردستان (زریبار) با قابلیت بازسازی اقلیم گذشته بیش از ٤۰۰۰۰ سال، تعلق دارد و رسوبات دریاچه‌ای غرب ایران (لُس) نشان داد که آرشیو خوبی برای مطالعات تغییرات اقلیم هستند.

۵) ایران از دوره کرتاسه از حالت اقلیم گرم و مرطوب به معتدل درآمده و در دوره پلیئستوسن دوره‌های خشکی را در مناطق فلات مرکزی تجربه کرده است.

به‌طور کلی و بر مبنای نتایج مطالعات صورت گرفته توسط پژوهش‌گران، می‌توان گفت که تغییرات اقلیمی از دوران کواترنر شدت گرفته است، پس گذشته در آینده جاری است. بنابراین شکی نیست که بیش‌ترین مطالعات سن‌سنجی انجام شده در دوره‌های هولوسن و کواترنر نشان این امر بوده است که بسیاری از الگوها و بزرگی تغییرات آب و هوایی گذشته هم‌چنان از گذشته در حال تغییر بوده است. روش‌های سن‌سنجی و مدل‌های اقلیمی تنها ابزار ما برای بازسازی تغییرات آب و هوایی در گذشته و آینده هستند. با کمک گرفتن از تکنیک‌های سن‌سنجی و آشنایی با اقلیم گذشته، بشر در امر مدیریت و برنامه‌ریزی زیست محیطی یاری خواهد گرفت. اگر نتوان تغییرات آینده را با توجه به شواهد اقلیم گذشته پیش‌بینی کرد؛ با افزایش میانگین دما، در مقیاس جهانی و منطقه‌ای درگیر تغییرات دما یا سایر شرایط آب و هوایی و محیطی خواهیم بود، که زندگی بشر نیز با مخاطرات گوناگون مواجه خواهد شد؛ و ممکن است تغییرات محیطی را تجربه کند که می‌توانست با مطالعه بیش‌تر اقلیم‌های گذشته، آن‌ها را تا حدودی کنترل و مدیریت نماید.

منابع

ارسلانی، محسن؛ عزیزی، قاسم و خوش اخلاق، فرامرز (۱۳۹۱)، بازسازی تغییرات دمای حداکثر استان کرمانشاه با استفاده از حلقه های درختی. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱(۱)، صص ۹۷-۱۱۰.

امین رسولی، هادی؛ حقیقت جو، نسیم و مرادی، مهدی. (۱٤۰۰)، ژئوشیمی و سن‌سنجی C_{14} نهشته‌های گوانوی غار کرفتو، دیواندره، استان کردستان. علوم زمین، ۳۱(۱۲۰)، صص ۲۱-۳۰.

اصغری مقدم، محمدرضا (۱۳۸۹)، نگرشی دیگر بر شرایط آب و هوایی ایران دوره یخچالی کواترنر. جغرافیا، ٤(۱۳)، صص ۲۱۱-۲۲۸.

اکبری، مهری و صیاد، وحیده (۱٤۰۰)، تحلیل مطالعات تغییر اقلیم در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی, ۵۳(۱)، صص ۳۷-۷٤.

اکبریان، محمد (۱٤۰۱)، روش‌های آب و هواشناسی دیرینه، دانشگاه هرمزگان.

بیگلری، فریدون (۱۳۷۹)، گزارش مکان‌های نویافته دیرینه سنگی در بیستون، باستان شناسی و تاریخ، ۱٤(۲)، صص ٦۰ – ۵۰.

بیگلری، فریدون (۱۳۷۷)، غار شکارچیان و کهن‌ترین بقایای انسانی کشف شده در ایران، اطلاعات علمی، ۱۲(۸)، صص ۳۵ – ۳٤.

بیات، مقصود؛ فتوحی، صمد؛ نگارش، حسین و محمدی، علی (۱٤۰۱)، ژئوشیمی‌رسوبی به عنوان شاخص تغییرات اقلیم کواترنری پایانی در پلایای جازموریان. فصلنامه کواترنری ایران. ۸ (۱ و ۲)، صص ۱۱٤۸-۱۱۷۲.

جعفری، مصطفی (۱٤۰۱)، نقش دوایر رویشی درخت در تولید داده‌های جایگزین در مطالعات تغییر اقلیم. طبیعت ایران، ۷(۳)، صص ۱۱٦-۱۱٦.

حسین خان ناظر، ناصر (۱۳۹۰)، زمین‌شناسی کواترنری، رشد آموزش زمین‌شناسی، ٦٦، صص ۱٤-۱۸.

حکیم‌زاده، سارا (۱۳۸۳)، تعیین سن به روش مطالعات درختی، زمین‌شناسی، ۱۰(۲).

حسینی، زهراسادات؛ امیرزاده، ماریا و لشکری، حسن (۱۳۹۲)، تحلیل دیرینه اقلیم حوضه آبریز دریاچه دشت ارژن با تاکید بر فراوانی استراکودها. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲٤(۳)، صص ۱۵-۲٤.

حسینی، زهراسادات؛ خالدی، شهریار و نادری بنی، عبدالمجید (۱۳۹۷)، باز سازی اقلیمی حوضه دشت ارژن فارس با استفاده از مطالعات رسوب شناختی. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، ۱۸(٤۹)، صص ۱۸۷-۱۹۸.

حسینی، مهرداد؛ ملکی، ناصر و مطلبی‌فر، فرخ (۱۳۸۹)، روند تغییر و تحولات اقلیم‌شناسی دیرینه تا امروز. اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۱۹(۷٤)، صص ۸٦-۹۰.

خاماچی، بهروز (۱۳٦۷)، جغرافیای دریاچه ارومیه. رشد آموزش جغرافیا، -(۱٦)، صص ۲۷-۳۱ .

درویشی خاتونی، جواد (۱۳۹۵)، تغییرات فراوانی پلت آرتمیا اورمیانا در رسوبات بستر دریاچه ارومیه با نگرشی بر اقلیم دیرینه. اکوبیولوژی تالاب (تالاب)، ۸(۲۸)، صص ٤۷-٦۱.

دسترنج، علی و رستمی، محمد (۱۳۹۹)، ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات اقلیم در دهه‌های آینده با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs). *جغرافیا و روابط انسانی*. ۳(۱)، صص ۲۵۲-۲۶۸.

رستمی، هما؛ عزیزی، قاسم؛ بازگیر، سعید؛ دارابی، حجت؛ مقصودی، مهران و متیوس، راجر جان (۱۳۹۸)، بازسازی اقلیم و محیط دیرینه زاگرس میانی، کواترنری ایران، ۵(٤)، صص ٤٤٧-٤٢٣.

رستمی، هما؛ عزیزی، قاسم؛ دارابی، حجت. مقصودی، مهران؛ ملکی، سحر و درویشی‌خاتونی، جواد (۱٤۰۰)، رخدادهای خشک اقلیمی هولوسن میانی و پسین در زاگرس مرکزی، کواترنری ایران، ۷(۲)، صص ٦۲۸-٦۱۱.

رحیمی، امید (۱۳۹۷)، بازسازی محیطهای دیرینه غرب کردستان با استفاده از غارسنگ‌ها و لندفرم‌های یخچالی در کواترنری پسین، محقق اردبیلی.

زوار، افسانه؛ رمضانی، الیاس؛ نقی نژاد، علیرضا و ژوستن، هانس (۱۳۹٦)، بررسی گرده‌شناختی تغییرات پوشش گیاهی و آب و هوایی ماندا‌ب گانلی گول ارومیه در اواخر هولوسن. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۵(۱)، صص ۸۲-۹٤.

زندی‌فر، سمیرا (۱۳۹۹)، گرد و غبار دیرینه و اقلیم‌شناسی. *طبیعت ایران*، ۵(۱)، صص ۱۳-۲۰.

سیاه‌پوش، محمدتقی (۱۳۵۲)، پیرامون آب و هوای باستانی فلات ایران، ابن‌سینا، تهران.

سبک‌خیز، سیف عبداله؛ رامشت، محمد و جمالی، مرتضی (۱۳۹۸)، بازسازی تغییرات اقلیمی دریاچه مهارلو از هولوسن تا عهد حاضر با تاکید بر ردیابی دوره‌های گرم و سرد. کواترنری ایران، ۵(۲)، صص ۱٤۳-۱٦۱.

شایان، سیاوش (۱۳۸۳)، شواهد ژئومورفولوژیکی در سن‌سنجی زمین لغزه بزرگ سیمره (کبیرکوه) زاگرس، جنوب غربی ایران. مدرس علوم انسانی، ۳۲(۸)، صص ٤۵-۷۰.

شیخ بیکلو اسلام، بابک (۱٤۰۱)، ضرورت انجام مطالعات رسوب‌شناسی محیطی در محوطه‌های باستانی. پژوهه باستان‌سنجی; ۸ (۱)، صص ۲۰۷-۲۱۰.

شعبانیان، رحیم (۱۳۹٤)، سنگ چینه‌نگاری یا لیتواستراتیگرافی، انتشارات پیام‌نور.

شارمد، ترانه؛ آدابی‌کرباسی، عبدالرضا و باقری، حسین (۱۳۹۱)، بررسی تغییرات عمده اقلیمی، سن یابی و تعیین نوع دیاژنز در سواحل جنوبی دریای خزر در طی صده گذشته با استفاده از ایزوتوپ های پایدار کربن و اکسیژن. فصلنامه علوم محیطی، ۹(۳).

صداقت، مرتضی؛ شیرانی، کوروش و قاضی فرد، اکبر (۱۳۹۵)، بررسی فعالیت گسل‌ها در محل ساختگاه سد بهشت‌آباد به کمک نهشته‌های کواترنر. کواترنری ایران، ۲(۲)، صص ۱۳۵-۱٤۲.

صفایی‌راد، رضا (۱۳۹۷)، الگوی تغییرات آب و هوایی و محیطی زاگرس و جنوب‌شرقی ایران در هولوسن، رساله دکتری، دانشگاه تهران.

صمدزاده، رسول (۱۳۸٦)، بررسی تغییرات آب وهوایی کواترنر پسین با استفاده از شواهد ژئومورفولوژیک در حوضه‌ی دریاچه نئور، جغرافیایی سرزمین، ٤(۱٦)، صص ۳٦-۱۹.

صمدی، سیده زهرا؛ و جوی زاده، سعید (۱۳۸۵)، مغزه‌های یخی رمزگشای رازهای اقلیم گذشته. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، ۵(۷-٦)، صص ٦۳-۸۹.

صبوری، جعفر و علی محمدیان، حبیب (۱۳۹۲)، کاربرد دیاتومه‌ها در تعبیر و تفسیر دیرین بوم شناسی کواترنر و اولین گزارش وجود دیاتومه‌ها در بیابان لوت. همایش انجمن کواترنری ایران.

طاهری، کمال (۱۳۸٦)، تاریخچه بررسی‌های زمین باستان‌شناسی در ایران، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین. https://gsi.ir/fa/articles

عقبایی، شیوا (۱۳۸۵)، تعیین سن زمین‌شناسی به روش رادیوکربن، رشد جغرافیا، ۱(۱۲).

عزیزی، قاسم و داوودی، محمود (۱۳۹۸)، تغییرات اقلیمی ایران در دوره هولوسن. فصلنامه کواترنری ایران، ۵(۱)، صص ۲۵-۱.

عزیزی، قاسم؛ ملکی، سحر؛ کریمی، مصطفی؛ شهبازی، رضا و رستمی، هما (۱۳۹٦)، تغییرات اقلیم و پوشش‌گیاهی هولوسن در ایران. فصلنامه کواترنری ایران. ۳ (۳)، صص ۲۰۵-۲۲۹

عمادالدین، سمیه؛ جعفربیگلو، منصور؛ زمان‌زاده، سیدمحمد و یمانی، مجتبی (۱۳۹۳)، بررسی تغییرات سطح آب دریای خزر در اواخر هولوسن بر اساس سن‌سنجی و مورفولوژی پادگانه‌ها در محدوده جنوب خلیج گرگان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، ۳(۱)، صص ۱۱٤-۱۲۷.

عبداللهی، بهار؛ رمضانی‌کاکرودی و یوستن، هانس (۱٤۰۰)، بازسازی گرده‌شناختی تاریخچه جنگل‌های راش (Fagusorientalis Lipsky) منطقه هیرکانی مرکزی در ۱٤۰۰ سال گذشته. پژوهش و توسعه جنگل، ۷(۱)، صص ۱۰۷-۱۲۱.

علی‌پور فرد، مریم؛ رائینی، محمود؛ پورطهماسی، کامبیز و نادی، مهدی (۱۳۹۵)، بررسی ارتباط متغیرهای اقلیمی با حلقه های سالانه درختان ارس در رویشگاه کیگوران (استان لرستان)،ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب.

فتاحی، مرتضی و مهرشاهی، داریوش (۱۳۹۷)، استفاده از روش لومینسانس نوری جهت تعیین سن رسوبات لسی اطراف شهر میبد و تفسیر شرایط تشکیل آنها. مجله فیزیک زمین و فضا، ٤٤(۲)، صص ۳۰۷-۳۱۹.

فتاحی، مرتضی (۱٤۰۰)، بررسی عوامل مؤثر در نمونه‌برداری جهت سن‌یابی به روش لومینسانس نوری. مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۵(۳)، صص ۲۷-٤٦.

قانقرمه، عبدالعظیم؛ روشن، غلامرضا و نه‌رنژاد، نورالدین (۱۳۹۸)، بازسازی اقلیم گذشته برمبنای تغییرات الگوی درجه‌حرارت از روی حلقه‌های درختی رویشگاههای بلوط در پهنهٔ استان گلستان. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۳۰(٤)، صص ۱۱۵-۱۳۸.

قدس‌خواه‌دریایی، مهرداد؛ قلندری، آهو و ترکمن، جواد (۱٤۰۰)، بررسی اثر متغیرهای اقلیمی بر الگوهای رشد درختان زربین (Cupressus sempervirens Var. Horizontalis (Mill.) Gord) در رویشگاه‌های نوشهر و رودبار. پژوهش‌های گیاهی، ۳٤(۳)، صص ٦٦۹-٦۸۱.

لشکری، حسن؛ امیرزاده، ماریا و حسینی، زهراسادات (۱۳۹۲)، تحلیل دیرینه اقلیم حوضه آبریز دریاچه دشت ارژن با تاکید بر فراوانی استراکودها. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲٤(۳)، صص ۱۵-۲٤.

معینی، ابوالفضل؛ احمدی، حسن؛ جعفری، محمد؛ فیض نیا، سادات و سرمدیان، فریدون (۱۳۸۸)، تعیین سن پادگانه‌های دوره کواترنر (مطالعه موردی حوزه آبخیز طالقان). جغرافیای طبیعی، ۲(۵)، صص ۳۹-٤۸.

محمودی، فرج اله (۱۳٦۷)، تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر. پژوهش‌های جغرافیایی، ۲۳(۰).

مهرشاهی، داریوش (۱۳۸۱)، تشخیص تغییرات اقلیمی اواخر دوران چهارم در ایران از طریق اطلاعات حاصل از مطالعه دریاچه‌ها: یافته‌ها و نظریات جدید و پیچیدگی‌های تفسیر شواهد موجود، تحقیقات جغرافیایی، ٦۳(۱٦)، صص ۱۳۳-۱٤۸.

مرادی مقدم، محمد امین؛ عزیزی، قاسم؛ محرابیان، احمدرضا؛ خوش اخلاق، فرامرز و شمسی پور، علی اکبر (۱۳۹۹)، آب و هوای گذشته بر اساس بازسازی کمی تعمیم روابط اقلیم گرده معاصر به روش MAT، کواترنری ایران، ٦(۱)، صص ۲۲-۱.

مقصودی، مهران (۱۳۹۸)، مقدمه‌ای بر روش‌ها و فنون میدانی و آزمایشگاهی در ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران.

مرکز پژوهش‌های ایرانی و اسلامی (۱۳۹٤)، گذشته چندهزار ساله فلات ایران، راهنمایی برای تصمیم‌گیری‌های آینده. https://www.cgie.org.ir/fa/news/70875/

نیک‌رای، سید جلال؛ امیدوار، اصغر؛ طبرسا، تقی؛ جلیلوند، حمید و اولادی، رضا (۱۳۹٦)، مطالعه اقلیم شناسی درختی درختان آزاد پارک جنگلی دلند استان گلستان. پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲٤(۱)، صص ۱٦۱-۱۷٤.

نظری سامانی، علی‌اکبر (۱۳۹۰)، سازندهای دوره کواترنر، دانشگاه‌تهران.

نادی، مهدی و پورطهماسی، کامبیز (۱۳۹۵)، بازسازی حلقه-درختی بارش شمال شرق ایران با استفاده از گاه‌شناسی درختان ارس منطقه لاین. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۵(۳)، صص ۱-۱٦.

نادی، مهدی؛ پورطهماسی، کامبیز؛ بذرافشان، جواد و براونینگ، آخیم (۱۳۹٤)، دو قرن بازسازی حلقه-درختی خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده چند متغیره (MSPI) در منطقه جوانرود کرمانشاه. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۲(٦)، صص ۹۹-۱۱٦.

ولی‌پور، طاهر (۱۳۹۹)، بررسی تغییرات عرضی رودخانه لاویج نور، مازندران بر اساس سن‌سنجی درختان حاشیه کانال و درون کانال، رساله دکتری تخصصی، دانشگاه شهید بهشتی.

همه‌زاده، پرستو؛ ترابی پوده، حسن؛ یونسی، میرزایی ارجنکی و زمانیان، حسن (۱٤۰۱)، بازسازی دیرینه اقلیم و تغییرات بارش با استفاده از ایزوتوپ‌های استالاگمیت در زاگرس مرکزی. کواترنری ایران، ۸(۱)، صص ۱۲٤۷-۱۲٦٤.

Reference

Alverson, K. D., Bradley, R. S., and Pedersen, T. F. (2003). Paleoclimate, global change and the future (Vol. 220). Berlin: Springer.

Aitken, M. J. (1985). Thermoluminescence Dating. Academic Press, New York, 259 p.

An, F., Lai, Z., Liu, X., Wang, Y., Chang, Q., Lu, B., and Yang, X. (2018). Luminescence chronology and radiocarbon reservoir age determination of lacustrine sediments from the Heihai Lake, NE Qinghai-Tibetan Plateau and its paleoclimate implications. Journal of Earth Science, 29, 695-706.

Arslanov, K. A., Savelieva, L. A., Klimanov, V. A., Chernov, S. B., Maksimov, F. E., Tertychnaya, T. V., and Subetto, D. (2001). New data on chronology of landscape-paleoclimatic stages in Northwestern Russia during the Late Glacial and Holocene. Radiocarbon, 43(2B), 581-594.

Briffa, K. (1994). Tress as indicators of climate change. https://crudata.uea.ac.uk/cru/people/briffa

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.

Bruckner, M., (2022). Paleoclimatology: How Can We Infer Past Climates, Montana State University.

https://serc.carleton.edu/microbelife/topics/proxies/paleoclimate.html

Bradley, B., (2015). Paleoclimatology, Reconstructing Climates of the Quaternary, Elsevier Science.

Cohen, A., Palacios-Fest, M., Negrini, R., Wigand, P., and Erbes, D. (2000). A paleoclimate record for the past 250,000 years from Summer Lake, Oregon, USA: II. Sedimentology, paleontology and geochemistry. Journal of Paleolimnology, 24(2), 151.

Douglas, P. M., Brenner, M., and Curtis, J. H. (2016). Methods and future directions for paleoclimatology in the Maya Lowlands. Global and Planetary Change, 138, 3-24.

Djamali, M., de Beaulieu, J.L., Shah Hosseini, M., Andrieu-Ponel, V., Amini, A., Akhani, H., Leroy, S.A.G., Stevens, L., Alizadeh, H., Ponel, P. and Brewer, S. (2008). A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, NW Iran. Quaternary Research, 69: 413-420.

Eichler, A., Schwikowski, M., Gäggeler, H. W., Furrer, V., Synal, H. A., Beer, J., and Funk, M. (2000). Glaciochemical dating of an ice core from upper Grenzgletscher (4200 m asl). Journal of Glaciology, 46(154), 507-515.

Emiliani, C. (1954). Depth habitats of some species of pelagic foraminifera as indicated by oxygen isotope ratio: Am. Jour. Sci. 252:149-158.

Epstein, S., R. Buchsbaum, H.A. Lowenstam and H.C. Urey (1953). Revised carbonate water isotopic temperature scale: Geol. Soc. Am. Bull., 64:1315-1326.

Fattahi, M. (2015). OSL dating of the Miam Qanat (KĀRIZ) system in NE Iran. Journal of Archaeological Science, 59, 54-63.

Genty, D., and Quinif, Y. (1996). Annually laminated sequences in the internal structure of some Belgian stalagmites; importance for paleoclimatology. Journal of Sedimentary Research, 66(1), 275-288.

Hammer, C. U., Clausen, H. B., and Tauber, H. (1986). Ice-core dating of the Pleistocene/Holocene boundary applied to a calibration of the 14C time scale. Radiocarbon, 28(2A), 284-291.

Huggett, R. (2011). Fundamentals of Geomorphology, Taylor & Francis.

Kiessling, W., Smith, J. A., and Raja, N. B. (2023). Improving the relevance of paleontology to climate change policy. Proceedings of the National Academy of Sciences, 120(7), e2201926119.

Kehl, M. (2009). Quaternary climate change in Iran the state of knowledge. Erdkunde, 1-17.

Libby, W. F. (1967). History of radiocarbon dating, American Chemical Society National Historic Chemical Landmarks, University of Chicago.
https://www.acs.org/education/whatischemistry/landmarks/radiocarbon-dating.html

Manning, S. W., Kocik, C., Lorentzen, B., and Sparks, J. P. (2023). Severe multi-year drought coincident with Hittite collapse around 1198–1196 bc. Nature, 1-6.

McCarroll, D. (2015). 'Study the past, if you would divine the future': a retrospective on measuring and understanding Quaternary climate change. Journal of Quaternary Science, 30(2), 154-187.

Machare, J. O. S. É., Veliz, Y. U. R. I., Ortlieb, L., and Dumont, J. F. (1990). A review of recent paleoclimatic studies in Peru. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, 8, 157-178.

Mighall, T. M., Martínez Cortizas, A., Silva-Sánchez, N., López-Costas, O., and López-Merino, L. (2023). Climate Change, Fire and Human Activity Drive Vegetation Change during the Last Eight Millennia in the Xistral Mountains of NW Iberia. Quaternary, 6(1), 5.

Moine, O., Antoine, P., Hatté, C., Landais, A., Mathieu, J., Prud'homme, C., and Rousseau, D. D. (2017). The impact of Last Glacial climate variability in west-European loess revealed by radiocarbon dating of fossil earthworm granules. Proceedings of the National Academy of Sciences, 114(24), 6209-6214.

Masson-Delmotte, V., Abe-Ouchi, A., and Anchukaitis, K. (2013). Information from Paleoclimate Archives 5. Notes, 21.
https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/information-from-paleoclimate-archives/

Masson-Delmotte, V., Schulz, M., Abe-Ouchi, A., Beer, J., Ganopolski, A., Gonzáles Rouco, J. F., and Timmermann, A. (2013). Information from paleoclimate archives, Intergovernmental Panel on Climate Change.

Newnham, R. M., Lowe, D. J., and Williams, P. W. (1999). Quaternary environmental change in New Zealand: a review. Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 23(4), 567–610.

Proctor, C., Baker, A., and Barnes, W. (2002). A three thousand year record of North Atlantic climate. Climate Dynamics, 19, 449-454.

Robin, G. D. Q. (1977). Ice cores and climatic change. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences, 280(972), 143-168.

Shoaee, M. J., Breeze, P. S., Drake, N. A., Hashemi, S. M., Nasab, H. V., Breitenbach, S. F., ... & Petraglia, M. D. (2023). Defining paleoclimatic routes and opportunities for hominin dispersals across Iran. Plos one, 18(3), e0281872.

Sharifi-Yazdi, M., Tavakoli, V., Salehi-Noparvar, S., Vaezi, A., Naderi Beni, A., Nazemi, M., ... and Routh, J. (2022). Influence of the Late Quaternary climate on sedimentology of the Jazmurian Playa, SE Iran. Journal of Paleolimnology, 68(2), 169-187.

Singhvi, A. K., and Kale, V. S. (2010). Paleoclimate studies in India: last ice age to the present. Indian National Science Acad.

Shao, L., Tian, L., Wu, G., Naftz, D., Cai, Z., Wang, C., and Palcsu, L. (2020). Dating of an alpine ice core from the interior of the Tibetan Plateau. Quaternary International, 544, 88-95.

Schröder, T., Hoff, J.V., López-Sáez, J.A., Melles, M., Viehberg, F., and Reicherter, K. (2018). Multi-proxy climate and environment reconstruction of the Holocene based on Lake Medina, southern Spain, Geophys Res Abs, Vol. 20, EGU2018-15, 207 p.

Shaltami, O., Artola, J., Cordoba, A., and Arconada, O. (2020). Conference 3rd International Symposium on Paleoclimatology Federal University of Goiás, Brazil

Tandong, Y., & Thompson, L. G. (1992). Trends and features of climatic changes in the past 5000 years recorded by the Dunde ice core. Annals of Glaciology, 16, 21-24.

Urey, H.C. (1947). The thermodynamic properties of isotopic substance: J. Chem.Soc. 562-581.

van Zeist, W. and Bottema, S. (1977). Palynological investigations in western Iran. Palaeohistoria, 19: 19-85.

Wilhelm, B., Amann, B., Corella, J. P., Rapuc, W., Giguet-Covex, C., Merz, B., and Støren, E. (2022). Reconstructing Paleoflood Occurrence and Magnitude from Lake Sediments. Quaternary, 5(1), 9.

Wu, L., Li, F., Zhu, C., Li, L., and Li, B. (2012). Holocene environmental change and archaeology, Yangtze River Valley, China: Review and prospects. Geoscience Frontiers, 3(6), 875-892.

Walker, M. (2005). Quaternary dating methods. John Wiley and Sons.

White, William B., " Cave sediments and paleoclimate " (2007). KIP Articles. 784.
https://digitalcommons.usf.edu/kip_articles/784

Wallace, J. M., and Gutzler, D. S. (1981). Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. Monthly weather review, 109(4), 784-812.

Yu, C., Zhang, L., Hou, M., Yang, J., Zhong, H., and Wang, C. (2022). Climate paleogeography knowledge graph and deep time paleoclimate classifications. Geoscience Frontiers, 101450.

Zhao, L., Ma, C., Leipe, C., Long, T., Liu, K. B., Lu, H., ... and Tarasov, P. E. (2017). Holocene vegetation dynamics in response to climate change and human activities derived from pollen and charcoal records from southeastern China. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 485, 644-660.

https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/dating-method

WWW.isna.ir/xdL7F9

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی