

## بازسازی شرایط اکوزئومورفولوژی دیرینه و عهد حاضر دریاچهی زیروار بر اساس ویژگی‌های دیاتومه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای

حسین نظم‌فر<sup>۱</sup>، \* امید رحیمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی  
<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی  
تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۹

### چکیده

رسوبات دریاچه زیروار واقع در استان کردستان با پوشش دوره‌ی زمانی تقریباً ده هزار ساله برای نوع دانه‌بندی رسوبات و مقادیر دیاتومه‌ها، آزمایش شده است. بازسازی تغییرات در سطح آب دریاچه، میزان تغییرات در اندازه‌ی دانه‌های رسوبی و شوری از مغزه‌ی رسوبی ۶۸۸ سانتی‌متری برداشته شده از نزدیک ساحل غربی دریاچه، توالی از تغییرات آب و هوا و تغییرات محیطی را نشان می‌دهد. دو مرحله کاهش و تغییر در سطح آب دریاچه در ۶۸۷۰-۵۵۰۰ و ۳۱۷۰-۱۳۰۰ سال قبل به همراه مقادیر بالای ذرات ماسه، کاهش در میزان ذرات سیلت و کاهش گونه‌های دیاتومه‌های آب شیرین و کاهش شکل‌های الیگوتروفنتیک دریاچه به همراه پیک مشخصی از افزایش گونه‌های آب شور و افزایش در اشکال مزوتروفنتیک دریاچه و افزایش گونه‌های *Cymbellaehrenbergii* رخ داده است. بیش‌ترین افزایش در گونه‌های آب شور مربوط به گونه *Anomooneis Sphaerophora* در ۶۰۰۰ سال قبل است. دو مرحله افزایش سطح آب دریاچه در ۶۸۷۰-۵۵۰۰ و ۳۱۷۰-۱۳۰۰ سال قبل به همراه افزایش در میزان سیلت، کاهش میزان ماسه، افزایش میزان گونه‌های دیاتومه‌های آب شیرین و درصد کم یا ناپدید شدن تقریبی گونه‌های آب شور شامل *A. Sphaerophora* و افزایش در گونه‌های *Cymbellaleptoceros* همراه با افزایش در شکل‌های الیگوتروفنتیک و کاهش شکل‌های ائوتروفنتیک دریاچه است. هدف دیگر این مطالعه، بررسی تغییرات خط ساحلی و سطح آب دریاچه با استفاده از چهار دوره تصویر ماهواره‌ای است که نتایج به‌دست آمده با استفاده از تکنیک GIS، آماده‌سازی، پردازش و طبقه‌بندی، حاکی از کاهش شدید سطح آب دریاچه از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ از ۲۱/۷۱ کیلومتر مربع به ۱۳/۰۴ کیلومتر مربع، یعنی از دست رفتن ۳۹/۹۵ درصد کل سطح دریاچه در مدت هشت سال است.

**واژه‌های کلیدی:** دیاتومه، تغییرات محیطی، کواترنر، دریاچه‌ی زیروار.

### مقدمه و بیان مسأله

سریعاً در پاسخ به تغییرات محیطی تغییر می‌کنند. گونه‌های مخصوصی از دیاتومه‌ها، ارتباط نزدیکی با PH تمرکز مواد غذایی و شوری آب دریاچه‌ها دارند. تکنیک‌های سنجش از دور، نقش و وظیفه بسیار مهمی در دستیابی به داده‌های مکانی از دیدگاه اقتصادی دارند (Ozemesi & Bauer, 2002: 381). ایران بیش‌تر مطالعات پایشی دریاچه‌ها برای شناسایی تغییرات سطح آب به‌واسطه‌ی تغییرات آب و هوایی و

دیاتومه‌ها یکی از تعداد جلبک‌های شاخص در رسوبات دریاچه‌ای هستند که برای بازسازی تغییرات محیط‌های گذشته، استفاده‌ی گسترده‌ای از آن‌ها شده است (Smol&Cumming, 2000: 986). تعداد هزاران گونه دیاتومه‌ها وجود دارد که هر کدام قدرت تحمل محیطی و شرایط مطلوبی دارند و انباشته‌های آن‌ها

ناهمواری شاهو (قربانی و دیگران، ۱۳۸۹) و شواهد ژئومورفولوژی مانند پادگانه‌های قدیمی و لاگون‌ها در بخش جنوبی خزر (جعفربیگلو و دیگران، ۱۳۹۱؛ عمادالدین، ۱۳۹۲) بازسازی شده است.

### مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

دریاچه‌ها، مخازن آبی و زمین‌های مرطوب دارای آب شیرین در شرایط آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی متفاوت با همدیگر اختلاف دارند و نسبت به تغییرات در شرایط آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی در طی زمان پاسخ‌های متفاوتی دارند. آنها همانند مجموعه‌ای از فرایندهای که در اجزای حوضه‌های آبریز اتفاق می‌افتد، عمل می‌کنند و از شاخص‌های حساس تغییرات محیطی به شمار می‌روند. در مقیاس‌های خیلی کوچکتر (کمتر از ۰/۱ کیلومتر مربع) دریاچه‌ها با زمین‌های مرطوب ترکیب می‌شوند، که بیشتر در بین عناصر چشم‌اندازهای خیلی موقتی قرار می‌گیرند. در گذشته دریاچه‌ها به طور مداوم همانند یک جهان کوچک<sup>۲</sup> مورد بررسی و رسیدگی قرار گرفته‌اند. یعنی مکانیسم‌های درون دریاچه‌ها فرایندهای تولیدات، هیدرودینامیک و رسوب گذاری را تعیین می‌کنند. هر چند ترکیبات تمام حوضه‌های زهکشی مربوط به هم هستند و دریاچه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند به خاطر این ارتباط نزدیک فرایندها و حساسیت این سیستم‌ها به تغییرات می‌باشد که رسوبات دریاچه‌ای در هم برهم نشان داده می‌شود اما تفسیراتشان پر از اهمیت و سودمندی می‌باشد.

رسوبات دریاچه‌ای مخازن و منابعی برای موادی که تاریخچه‌ی دریاچه‌ها و حوضه‌هایشان را منعکس می‌کند به شمار می‌روند. این مخازن ته‌نشستی و رسوب‌گذاری شده می‌توانند بوسیله دیرینه اکولوژیست<sup>۳</sup> برای تهیه اطلاعات و داده‌ها برای مثال در زمینه‌های پوشش گیاهی، جانورشناسی، خاک‌شناسی،

فعالیت‌های انسانی، از تکنیک‌های سنجش از دور استفاده کرده‌اند، مانند دریاچه‌ی ارومیه (Jaafari et al., 2007; Rasoli et al., 2013). هدف از این مقاله، بازسازی شرایط اکوژئومورفولوژی دیرینه و عهد حاضر دریاچه‌ی زریوار بر اساس ویژگی‌های دیاتومه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای و مقایسه آن با کارهای انجام شده در دریاچه‌ی زریوار است.

اندازه‌ی دانه‌ها و تغییرات لایه‌بندی آن‌ها اغلب به‌عنوان شاخصی برای ارتباط تغییرات محیطی گذشته و حال، در مطالعات رسوبات دریاچه‌های جهان بسیار استفاده شده است (Halfman & Thomas, 1984; Zhai et al., 2006; Naiang Wang et al., 2009). اندازه دانه‌های رسوبات دریاچه‌ها عمدتاً به وسیله فاصله مکان مغزه از خط ساحلی، انرژی جنبشی جریان دریاچه و منبع رسوبات کنترل می‌شود. مطالعات اخیر در پالیمنولوژی دریاچه‌ها نشان می‌دهد که تحلیل‌های کمی و کیفی رسوبات، فرایندهای رسوب‌شناسی و تشخیص تغییرات محیط‌های گذشته را امکان‌پذیر می‌سازد. براساس مطالعات وان‌زیست و رایت<sup>۱</sup> (۱۹۶۳) و تعیین سن رسوبات دریاچه، رسوبات دریاچه‌ی زریوار، تغییرات آب و هوایی بیش‌تر از ۴۰۰۰۰ سال را در خود ثبت نموده است (Wasylikowa et al., 2006) که موضوع بررسی‌های علوم مختلف بوده که درچندین نشریه گزارش داده شده است، شامل شیمی رسوبات (Hutchinson & Cowgill, 1963)، ماکروفسیل گیاهی (Wasylikowa & Walanus, 2005, 1967; Wasylikowa, 2004)، دیاتومه‌ها (Snyder & et al., 2001)، ایزوتوپ‌های پایدار (Stevens et al., 2001)، دریاچه‌شناسی دیرینه (Wasylikowa et al., 2006). شرایط اکوژئومورفولوژی و اقلیمی گذشته با استفاده از اطلاعات پدیده‌های ژئومورفولوژیکی موجود (مختاری و دیگران، ۱۳۸۶)، بررسی‌های کتابخانه‌ای در طول کواترن (علیجانی، ۱۳۷۴؛ مقیمی، ۱۳۷۸؛ مهرشاهی، ۱۳۸۱، ۱۳۸۰)، شواهد ژئومورفولوژیکی مانند فروچاله‌های کارستی در

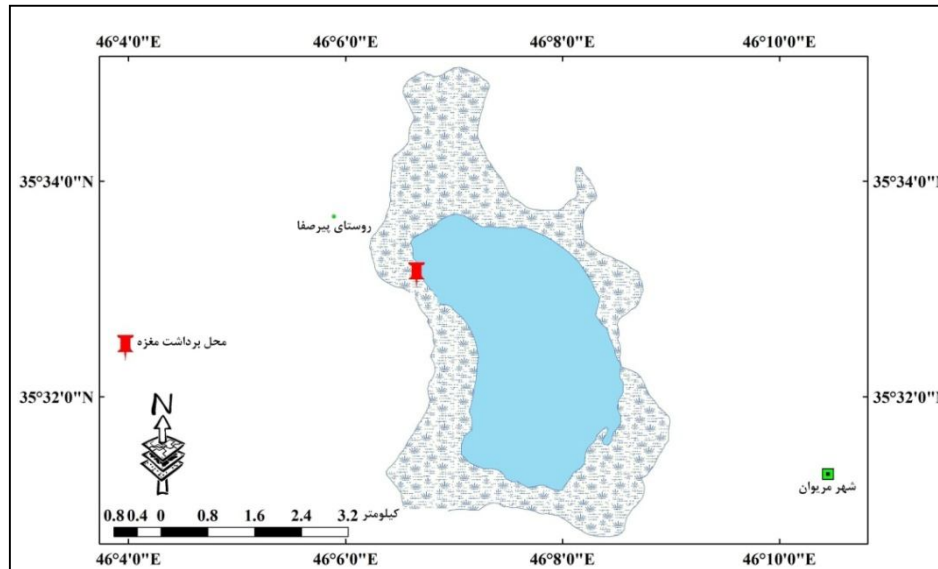
2- Microcosm  
3- Palaeocologist

1- Van Zeist & Wright

کارهای میدانی و نمونه برداری: مغزه‌ای به طول ۶۸۸ سانتی‌متر با استفاده از دستگاه مغزه‌گیر روسی با طول ۵۰ سانتی‌متر و قطر ۵ سانتی‌متر از ضلع غربی دریاچه (شکل ۱) برداشته شد.

فرسایش، هیدرولوژی، آلودگی و تاریخچهی آب و هوا به کار گرفته شوند.

### روش تحقیق



شکل ۱- محل و موقعیت برداشت مغزه‌ی روسی

انتخاب شد (شکل ۲) و مورد آزمایش‌های رسوب شناسی قرار گرفت.

سپس در طول مغزه‌ها با توجه به تغییرات در رنگ، اندازه‌ی ذرات و رخساره‌ها تعداد ۴۳ نمونه



شکل ۲- مغزه‌های ۵۰ سانتی‌متری برداشت شده با استفاده از نمونه بردار مغزه‌گیر روسی از دریاچهی زیروار

شش اندازه دو میلی‌متر، یک میلی‌متر، ۵۰۰ میکرون، ۲۵۰ میکرون، ۱۲۵ میکرون و ۶۳ میکرون عملیات دانه‌بندی به روش فولک و وارد<sup>۱</sup> (۱۹۵۷) و تاکر<sup>۲</sup> (۱۹۸۸) انجام شد. نمونه‌های زیر ۶۳ میکرون با

**دانه‌بندی رسوبات:** ابتدا برای برداشت مواد آلی از نمونه‌ها از محلول آب اکسیژنه ۳۰ درصد استفاده شد. برای جداسازی کامل نمونه‌ها از یکدیگر، نمونه‌ها به مدت ده دقیقه در داخل حمام التراسونیک قرار داده شد. نمونه‌های بالای ۶۳ میکرون با استفاده از الک شیکر به روش مرطوب به مدت میانگین سی دقیقه در

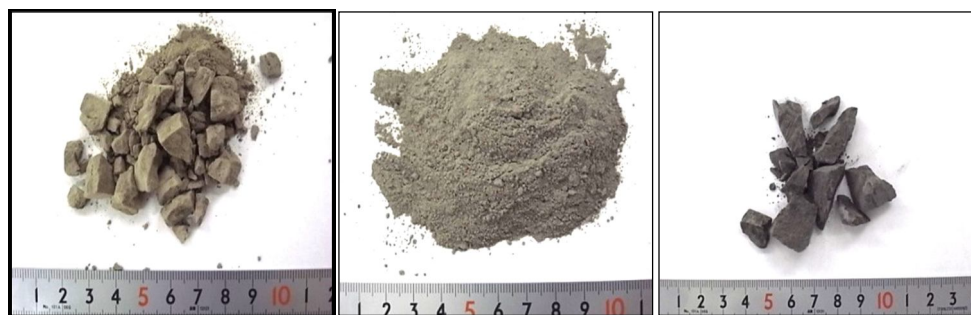
1- Folk & Ward  
2- Tucker

۲۰۰۰ میکرون (۱- تا ۴ فی)، سیلت ۳/۹-۶۳ میکرون (۴ تا ۸ فی)، رس ۰/۱-۳/۹ میکرون (۸ تا ۱۰ فی) استفاده شده است (جدول ۱).

استفاده از دستگاه لیزر دانه‌بندی ذرات در آزمایشگاه مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی دانه‌بندی شد. برای تعیین دانه‌بندی مقیاس (فولک و وارد، ۱۹۵۷) به صورت گرانول<sup>۲</sup> ۲ میلی‌متر، ماسه ۶۳-

جدول ۱- فرمول‌های مورد استفاده در محاسبه پارامترهای تغییرات دانه‌های رسوبی براساس فرمول فولک و وارد (۱۹۵۷)

پارامترها	فرمول فولک و وارد
میانگین	$Mz = (\phi 16 + \phi 50 + \phi 84)/3$
انحراف معیار	$\sigma 1 = (\phi 84 - \phi 16)/4 + (\phi 95 - \delta 5)/6.6$
چولگی	$Sk1 = (\phi 16 + \phi 84 - 2\phi 50)/2(\phi 84 - 2\phi 50) + (\phi 5 + \phi 95 - 2\phi 50)/2(\phi 95 - \phi 5)$
کشیدگی	$KG = (\phi 95 - \phi 5)/2.44(\phi 75 - \phi 25)$



شکل ۳- نمونه‌های تعیین سن شده در مؤسسه تعیین سن شیراکاوا کشور ژاپن

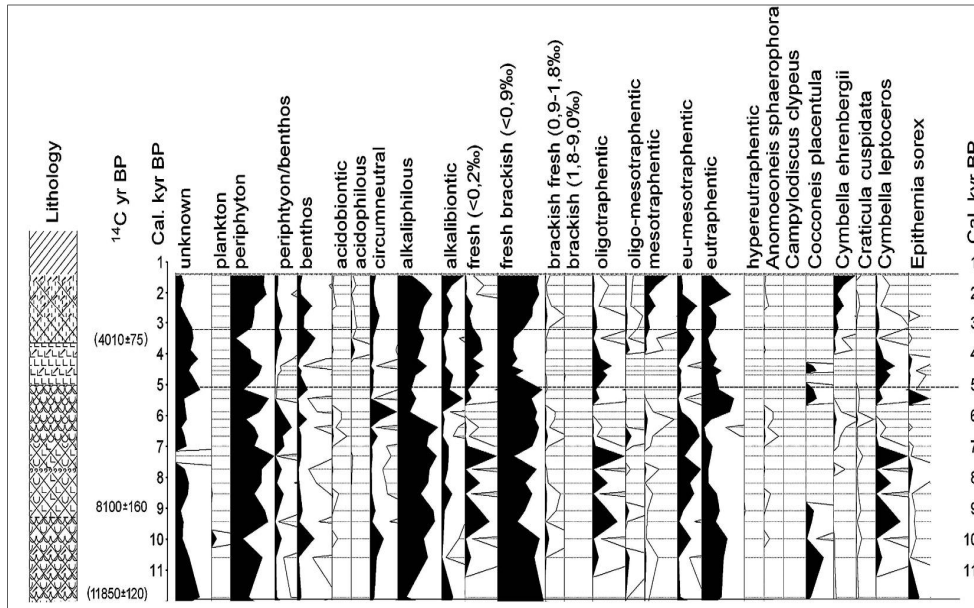
شناسی لایه‌ها به همراه سن کربن ۱۴ و سن کالیبره شده با توجه به عمق لایه‌ها ترسیم گردید.

#### دیاگرام و تحلیل دیاتومه‌ها

کازیمیرز واسیلیک (۱۹۷۵)، شمارش دیاتومه‌های موجود در دریاچه‌ی زریوار را انجام داده است. در این کار، از نتایج کارهای او استفاده شده است. هم‌چنین فهرست دیاتومه‌ها به روز شده و تعدادی از مشکلات طبقه‌بندی گونه‌ها شناسایی شده است. نتایج اساسی به کار گرفته شده برای دیاگرام دیاتومه‌ها، توزیع عمودی از گروه‌های اکولوژیکی دیاتومه‌های مختلف را نشان می‌دهد. معیارهای که برای گروه دیاتومه‌ها استفاده شده، شامل بوم‌شناسی، شوری، مواد مغذی و PH است. شمارش دیاتومه‌ها با استفاده از میکروسکوپ نوری (LM) و پردازش آن‌ها با نرم‌افزار OMNIDIA v.3.2 توسط لکوینت و همکاران (۱۹۹۳) انجام شده است (شکل ۴).

تعیین سن رادیوکربن: تعداد سه نمونه از رسوبات دریاچه‌ای شامل یک نمونه باقیمانده‌ی بزرگ گیاهی<sup>۱</sup> (مربوط به عمق ۴۱۶ سانتی‌متری) و دو توده رسوبی<sup>۲</sup> (شکل ۳) پس از آسیاب کردن (عمق ۳۷۳ و ۴۶۸ سانتی‌متری) در موسسه‌ی تحلیل شتاب‌دهنده ال تی دی<sup>۳</sup> واقع در شیراکاوا<sup>۴</sup> ژاپن به روش رادیو کربن ۱۴ و طیف‌سنج جرمی شتابنده (AMS) تعیین سن شد (شکل ۳). تمام سن کربن ۱۴ به دست آمده با اصطلاح یک انحراف معیار خطا (احتمال ۰/۶۸/۲) یا دو انحراف معیار خطا (احتمال ۰/۹۵/۴) با استفاده از برنامه‌ی OxCal v.4.1 (Bronk & Ramsey, 2009) و بر اساس پایگاه داده‌های IntCal09 (Reimer & et al., 2009) کالیبره شد. پس از به دست آوردن نتایج ناشی از تعیین سن و نتایج دانه‌بندی، اعداد به دست آمده در نرم‌افزار لاگ‌پلات<sup>۵</sup> هفت وارد شد که ستون چینه

1 - Plant macroremains  
2- Bulk sediment  
3- Institute of Accelerator Analysis Ltd  
4- Shirakawa  
5- Log Plot7



شکل ۴- دیاگرام دیاتومه‌ها از مغزه گرفته شده از ساحل غربی دریاچهی زیروار به همراه توزیع گروه‌های اکولوژیکی دیاتومه‌ها و طبقه‌های انتخاب شده

استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ با استفاده از روش حداکثر همسایگی تصحیح هندسی، سپس تصحیح رادیومتریک (Chander & Markham, 2003) و در نهایت تصحیح اتمسفری (Chavez, 1988) شد. برای طبقه‌بندی تصاویر از روش طبقه‌بندی نظارت نشده و الگوریتم K-means استفاده شد. سپس با توجه به اهداف مورد مطالعه، دو کلاس پوشش سطح زمین شامل تعیین منابع آب و دیگر عوارض (Anderson & et al., 1976) در نرم‌افزار ENVI 4.7 تعیین شد.

تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های کامپیوتری برای تغییرات عهد حاضر: از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های سنجش از دور به‌عنوان داده‌های اطلاعاتی شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده TM (۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱) و تصاویر سنجندهی ETM<sup>+</sup> ماهواره لندست مربوط به سال ۲۰۰۳ برای تعیین گسترش مکانی دریاچه زیروار استفاده شده است (جدول ۲). سپس هر یک از تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده با استفاده از نرم‌افزار ENVI 4.7 و

جدول ۲- ویژگی‌های اساسی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده برای بررسی تغییرات سطح آب دریاچه زیربار

زمان	ماهواره/سنجنده	قدرت تفکیک مکانی (m)	قدرت تفکیک زمانی
۰۴-۰۵-۲۰۰۳	Landsat-ETM <sup>+</sup>	۳۰*۳۰	۸
۲۳-۰۵-۲۰۰۷	Landsat-TM	۳۰*۳۰	۷
۱۵-۰۷-۲۰۰۹	Landsat-TM	۳۰*۳۰	۷
۲۲-۰۸-۲۰۱۱	Landsat-TM	۳۰*۳۰	۷

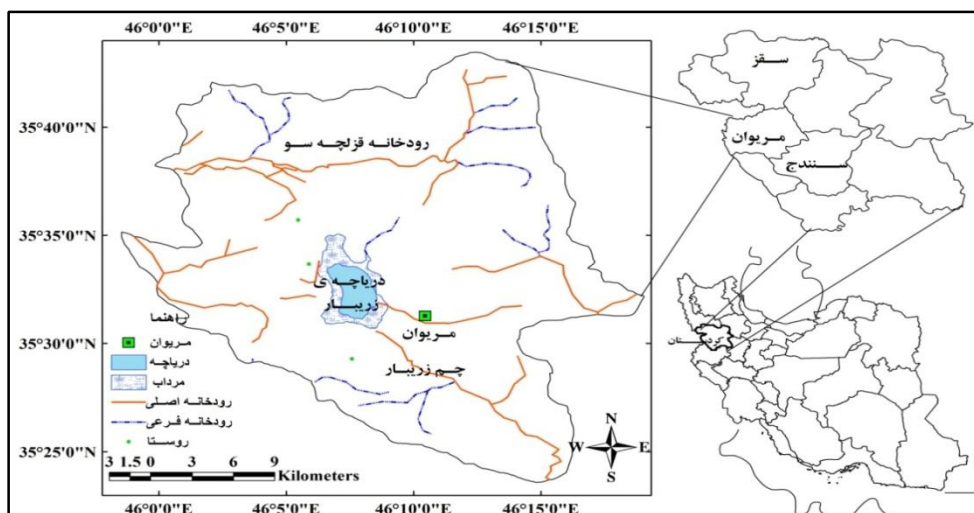
این دریاچه در طول جغرافیایی ۴۶°۰۷' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵°۳۳' شمالی و ارتفاع ۱۲۸۵ متری بالاتر از سطح دریا واقع شده است. از نظر ویژگی‌های آب و هوایی، تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد دارد. بر اساس آمار سی ساله، میانگین دما برابر با ۱۲/۸

### محدوده و قلمرو پژوهش

دریاچه آب شیرین زیربار در فاصله سه کیلومتری شمال غربی شهر مریوان، در کوه‌های زاگرس در استان کردستان و از طرف غرب به کشور عراق منتهی شده است. آب آن از تعدادی چشمه کفجوش و چشمه‌های بخش غربی دریاچه و بارش تأمین می‌شود.

فروافتادگی را می‌توان به طور قطعی یک فروزمین نامید (نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) (شکل ۵)

درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالیانه ۸۸۷/۴ میلی‌متر با تعداد ۹۹ روز یخبندان است. از نظر زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی، دریاچه‌ی زیربار در بخش مرکزی یک فروافتادگی جای گرفته که این



شکل ۵- محدوده مورد مطالعه.

مغزه به ترتیب برابر با  $4010 \pm 30$  سال،  $4450 \pm 30$  سال و  $5010 \pm 30$  سال قبل از زمان حال حاضر است. سن کالیبره شده برای سه نمونه در جدول (۳) نشان داده شده است.

#### بحث اصلی بحث

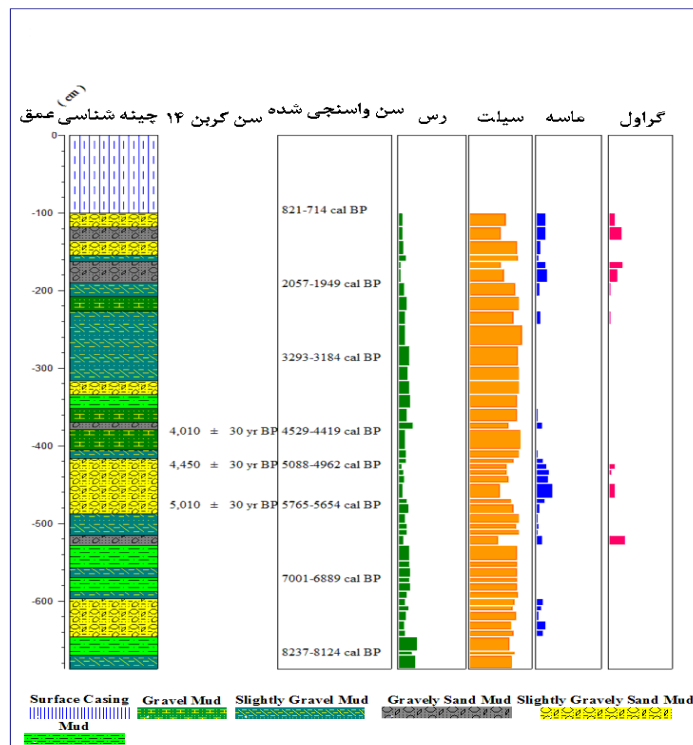
چینه‌شناسی لایه‌ها و تعیین سن رسوبات: سن کربن ۱۴ مربوط به سه نمونه در اعماق ۳۷۳- سانتی‌متری، ۴۱۶- سانتی‌متری و ۴۶۸- سانتی‌متری

جدول ۳- نتایج سن کربن ۱۴ و سن کالیبره شده مربوط به نمونه‌های مغزه دریاچه‌ی زیربار

شماره آزمایشگاه	عمق مغزه (cm)	سن لیبی (yr BP)	سن واسنجی شده (1σ)	سن واسنجی شده (2σ)
IAAA-111765	-۳۷۳	$4010 \pm 30$	۴۵۱۹ - ۴۴۶۳calBP	۴۵۲۹ - ۴۴۱۹calBP
IAAA-111763	-۴۱۶	$4450 \pm 30$	۵۰۱۸ - ۴۹۷۵calBP	۵۰۸۸ - ۴۹۶۲calBP
IAAA-111764	-۴۶۸	$5010 \pm 30$	۵۷۵۰ - ۵۷۰۸calBP	۵۷۶۵ - ۵۶۵۴calBP

نیمه عمر<sup>۱</sup> لیبی ۵۵۶۸ سال برای محاسبه سن کربن ۱۴ استفاده شده است.

1- Half-life



شکل ۶- ستون چینه‌شناسی لایه‌ها و درصد دانه‌های رسوبی به همراه سن کربن ۱۴ و سن کالیبره شده در مغزه گرفته شده

شرایط انرژی را نشان می‌دهد. از نظر میانگین ذرات، حداکثر میزان میانگین اندازه‌ی ذرات در مغزه‌های مورد مطالعه در دریاچه‌ی زیروار برابر با ۲/۸۱۷ فی مربوط به عمق ۱۶۳ تا ۱۷۲ سانتی‌متری و کم‌ترین میزان میانگین اندازه ذرات برابر با ۶/۴۵۸ فی مربوط به عمق ۶۷۰ تا ۶۸۸ سانتی‌متری است.

**اکوزئومورفولوژی دریاچه، استنباط شده از چینه-شناسی دیاتومه‌ها:** براساس تغییر در میزان گونه‌های دیاتومه‌ها، دیاگرام و تغییرات محیطی در طول کوتاه‌تر پسین به سه زون تقسیم‌بندی شد.

۵۰۰۰-۱۰۰۰۰ سال قبل: به‌طور کلی جوامع دیاتومه‌های این دوره زمانی عمدتاً افزایش گونه‌های آب شیرین و درصد بسیار کم گونه‌های آب شور را شامل می‌شود. میزان مشخصی از ظهور گونه‌های مربوط به آب شور در ۶۰۰۰ سال قبل وجود دارد که در ارتباط با کاهش فراوانی گونه‌های مربوط به آب شیرین است. فراوانی *A. sphaerophora* کم‌تر و در بسیاری از نمونه‌ها، این گونه‌ها هرگز ثبت نشده‌اند.

با توجه به نتایج ناشی از تعیین سن و نتایج دانه بندی، ستون چینه‌شناسی لایه‌ها به همراه سن کربن ۱۴ و سن کالیبره شده با توجه به عمق لایه‌ها ترسیم شد (شکل ۶). با توجه به دیاگرام مثلثی<sup>۱</sup> و ارتباط بین سه ترکیب اصلی رسوب، چه از نظر اندازه و چه از نظر جنس و نسبت درصد هر یک از عناصر اصلی بر اساس روش فولک<sup>۲</sup> (۱۹۷۴)، رسوبات مربوط به هر لایه نام گذاری شد. مغزه‌ی به‌دست آمده از دریاچه، شامل پنج نوع رسوب گل، گل گراولی، گل با کمی گراول، گل ماسه گراولی و گل ماسه‌ای با کمی گراول است (شکل ۶).

#### آنالیزهای آماری پراکندگی ذرات

اندازه میانگین: میانگین ذرات در رسوبات به نوع منبع رسوب، نوع عامل حمل و شرایط رسوب‌گذاری بستگی دارد. میانگین ذرات متوسط دانه‌های رسوبی و شاخص

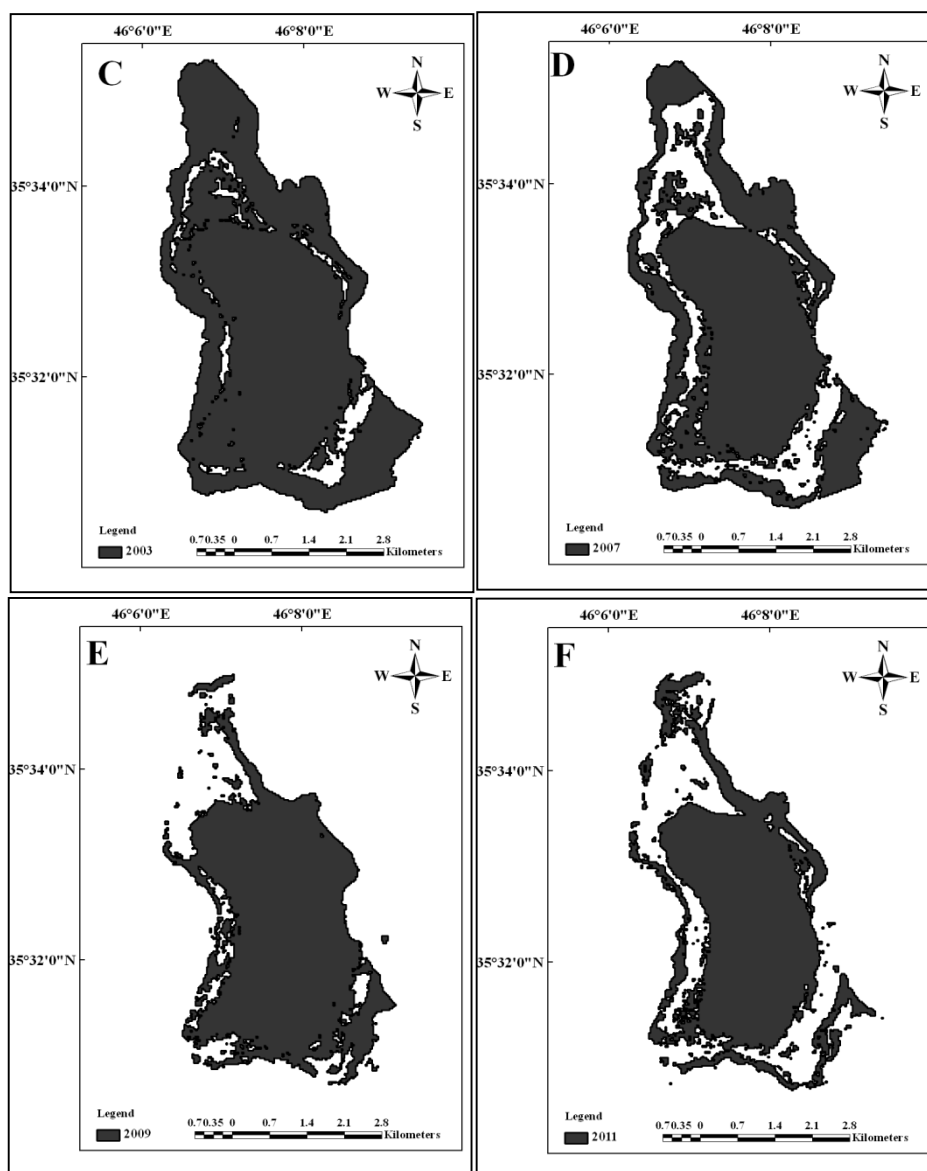
1- Triangular diagram  
2- Folk

فراوان است ( Snoeijs et al., 1993, 1994; Krammer et al., 1988). در منطقه مورد مطالعه افزایش زیادی در گونه‌های ائوتروفیک بین ۶۰۰۰ و ۵۰۰۰ سال قبل قابل ملاحظه است (شکل ۵).

Anomooneis Sphaerophora یک نوع نمونه از گونه‌های جهانی برای آب‌های با هدایت متوسط تا بالا است، اما همچنین در آب‌های شور داخلی و آب‌های شور مرداب‌های واقع در امتداد سواحل دریای بالتیک

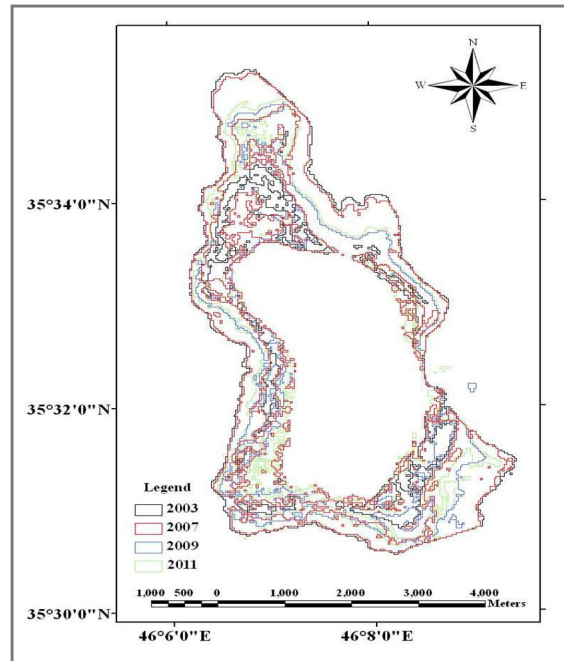
جدول ۴- تغییرات سطح آب دریاچه زیربار از سال ۲۰۰۳ تا سال ۲۰۱۱ به کیلومتر مربع

سال	۲۰۰۳	۲۰۰۷	۲۰۰۹	۲۰۱۱
مساحت	۲۱/۷۱	۱۷/۵	۱۴/۶	۱۳/۰۴



شکل ۷- نقشه تغییرات سطح آب دریاچه‌ی زیربار برای سال ۲۰۰۳ (C)، ۲۰۰۷ (D)، ۲۰۰۹ (E) و ۲۰۱۱ (F).





شکل ۸- تغییرات خط ساحلی دریاچه زیریوار طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ برای بازسازی اکوتومورفولوژی عهد حاضر

ماهواره‌ای، تغییرات عمده‌ای را در طول دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۷ و جدول ۴). شکل (۳)، تغییرات سطح آب دریاچه را از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ نشان می‌دهد. در تمام این دوره‌های زمانی، سطح دریاچه روبه کاهش است؛ به طوری که سطح آب دریاچه از ۲۱/۷۱ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۳ به حدود ۱۳/۰۴ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۱ رسیده است. نتایج نشان می‌دهد که دریاچه زیریوار ۳۹/۹۵ درصد از کل مساحت خود را طی مدت هشت سال از دست داده است (شکل ۸).

**اکوتومورفولوژی دریاچه، استنباط شده از دانه بندی رسوبات:** همه رسوبات ثبت شده از مغزه ۶۸۸ سانتی‌متری به دست آمده از دریاچه زیریوار بر اساس درصد میزان رس کمتر از ۲ میکرون، سیلت بین ۲-۶۳ میکرون و ماسه بزرگ‌تر از ۶۳ میکرون به چهارزون ۶۸۷۰-۸۹۵۰ سال قبل، ۵۵۰۰-۶۸۷۰ سال قبل، ۳۱۷۰-۵۵۰۰ سال قبل، ۱۳۰۰-۳۱۷۰ سال قبل تقسیم‌بندی شد.

۶۸۷۰-۸۹۵۰ سال قبل: رسوبات بین ۶۸۸ و ۵۲۸ سانتی‌متری عمدتاً گل، گلی ماسه همراه با کمی

۳۹۰۰-۵۰۰۰ سال قبل: این دوره‌ی زمانی تقریباً با ناپدید شدن گونه‌ها و شکل‌های آب شور شامل *A. sphaerophora* و مقادیر نسبتاً بالای گونه‌های آب شیرین همراه است. افزایش اشکال آلكالی بیونتیک در این دوره زمانی حاکی از تغییرات در میزان شیمی آب است. گونه‌های مربوط به مزوتروفنتیک در ابتدای این دوره وجود ندارد؛ فقط در انتهای این دوره، افزایش گونه‌های مزوتروفنتیک قابل مشاهده است. افزایش گونه *Cymbella leptoceros*، کاهش گونه *Cymbella ehrenbergii* و افزایش الیگوتروفنتیک در این دوره‌ی زمانی قابل تشخیص است (شکل ۵).

۳۹۰۰-۰ سال قبل: تغییرات در شیمی آب از کاهش شدید گونه‌های مربوط به آب شیرین و افزایش قابل تشخیص در اشکال مزوتروفنتیک، آلكالی بیونتیک و افزایش گونه‌های آب شور در این دوره زمانی استنباط می‌شود. این دوره همراه با افزایش گونه *Cymbella ehrenbergii* و کاهش *Cymbella leptoceros* و اشکال الیگوتروفنتیک است (شکل ۵).

تغییرات محیطی دریاچه، استنباط شده از تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای: نتایج تحلیل تصاویر

ماسه به میزان ۱۰/۵ درصد و گراول به میزان ۸/۹ درصد و کاهش در ذرات ریز دانه رس به میزان ۱۰/۷ درصد و سیلت به میزان ۶۹/۸۶ درصد است (شکل ۶). نتایج به دست آمده از مطالعات در دریاچه زریوار نشان می‌دهد که در ۵۵۰۰ تا ۶۸۷۰ و ۱۳۰۰ تا ۳۱۷۰ سال قبل، افزایش ذرات درشت دانه (کشیدگی منفی) از جمله ذرات ماسه و گرانول و کاهش میزان سیلت و ذرات ریز دانه به همراه افزایش قابل تشخیص در اشکال مزوتروفنتیک، آلكالی بیونتیک و افزایش گونه‌های آب شور در این دوره زمانی که بیشترین میزان مربوط به گونه‌ی *Anomoeoneis* در *Sphaerophora* ۶۰۰۰ سال قبل، افزایش گونه *Cymbellaehrenbergii* و کاهش اشکال الیگوتروفنتیک در این دوره زمانی حاکمیت شرایط انرژی زیاد تولید رسوب یا حمل رسوبات و غلبه‌ی فرایندهای فرسایشی بالا که ناشی از کاهش بارش‌های بهاری و رطوبت قابل دسترس و وجود شرایط آب و هوایی گرم و خشک، که منجر به کاهش سطح آب و کاهش عمق دریاچه‌ی زریوار شده است. در دوره‌های زمانی ۶۸۷۰ تا ۸۹۵۰ و ۳۱۷۰ تا ۵۵۰۰ سال قبل، افزایش در میزان سیلت و ذرات ریز دانه (کشیدگی مثبت) و کاهش ذرات درشت دانه از جمله ذرات ماسه و گرانول (تا یک درصد) به همراه ناپدید شدن گونه‌ها و شکل‌های آب شور شامل *A.sphaerophora* و مقادیر نسبتاً بالای گونه‌های آب شیرین، افزایش اشکال آلكالی بیونتیک، نبود گونه‌های مزوتروفنتیک، افزایش گونه *Cymbellaehrenbergii* و افزایش الیگوتروفنتیک در این دوره‌های زمانی، حاکمیت شرایط انرژی کم تولید رسوب یا حمل رسوبات را نشان می‌دهد که ناشی از شرایط آب و هوایی نسبتاً گرم و مرطوب و افزایش در میزان بارش‌های بهاری، افزایش میزان رطوبت قابل دسترس است که منجر به افزایش سطح آب دریاچه زریوار و بالا آمدن سطح آب و افزایش عمق آن شده است.

گراول و گلی کمی گراول را شامل می‌شود. لایه خاکستری تیره شامل کانی‌های سیلیکاته کوارتز، آمفیبول، فلدسپار و گروه میکا است. میانگین ذرات، سیلت متوسط تا سیلت ریز (۵ - ۶/۴ فی) را شامل می‌شود. در این واحد، غلبه بیش‌تر با ذرات سیلت ریز است. میزان رس در این واحد برابر با ۱۸/۴۴ درصد، سیلت ۷۴/۸ درصد، ماسه ۶/۳۳ درصد و گراول ۰/۴۲ درصد است (شکل ۶).

۵۵۰۰-۶۸۷۰ سال قبل: رسوبات بین ۵۲۸ و ۴۲۳ سانتی‌متری عمدتاً گلی ماسه‌ای با کمی گراول و گلی با کمی گراول را شامل می‌شود. لایه‌ی خاکستری سفید و تاریک همراه با کانی‌های سیلیکاته کوارتز و آمفیبول و کانی کربناته کلسیت است. میانگین ذرات ماسه خیلی ریز، سیلت متوسط (۳/۱-۵/۷ فی) را شامل می‌شود. در این واحد، غلبه بیش‌تر با ذرات ماسه خیلی ریز است. میزان رس در این واحد برابر با ۱۲/۴۴ درصد، سیلت ۶۷/۱۸ درصد، ماسه ۱۴ درصد و گراول ۶/۴ درصد است. این دوره دارای کم‌ترین میزان رس و سیلت و بیش‌ترین میزان ماسه و گراول در بین واحدهای دیگر است (شکل ۶).

۳۱۷۰-۵۵۰۰ سال قبل: رسوبات بین ۴۲۳ و ۲۴۴ سانتی‌متری عمدتاً گل همراه با کمی گراول، گل ماسه ای همراه با کمی گراول و گل گراولی را شامل می‌شود و همراه با لایه‌های متناوب رسی سیلنی، خاکستری روشن و تاریک است. کانی‌های تشکیل دهنده، کانی‌های سیلیکاته کوارتز و فلدسپار و کربناته دولومیت را شامل می‌شود. میانگین ذرات، سیلت متوسط (۵/۵ فی) را شامل می‌شود. در این واحد، غلبه بیش‌تر با ذرات سیلت متوسط است. میزان رس در این واحد برابر با ۱۵/۶۴ درصد، سیلت ۷۷/۴ درصد، ماسه ۵/۷ درصد و گراول ۱/۲ درصد است. مقدار میانگین و میانه به پایین‌ترین میزان رسیده است (شکل ۶).

۱۰۰۰-۳۱۷۰ سال قبل: رسوبات بین ۱۰۰ و ۲۴۴ سانتی‌متری، لایه‌ی گلی ماسه‌ای گراولی، خاکستری سفید، کانی‌های سیلیکاته کوارتز و فلدسپار را شامل می‌شود. در این دوره‌ی زمانی، افزایش در ذرات درشت دانه

## جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعات رسوب‌شناسی، میزان تغییرات در اندازه دانه‌های رسوبی و تغییرات در میزان شوری و مواد مغذی در دریاچه با توجه به تغییر در گونه‌ها و اشکال دیاتومه‌ها از مغزه‌ی رسوبی ۶۸۸ سانتی‌متری برداشته شده از ساحل غربی دریاچه توالی از تغییرات آب و هوایی و اکوتومورفولوژی دیرینه رابه همراه کاهش یا افزایش سطح دریاچه نشان می‌دهد؛ به طوریکه وجود مقدار بالای ذرات ماسه و کاهش در میزان سیلت به همراه کاهش شدید در گونه‌های آب شیرین و افزایش قابل تشخیص در اشکال مزوترافنتیک، آلكالی بیونتیک و افزایش گونه‌های آب شور از جمله *Sphaerophora Anomoeoneis*، افزایش گونه‌ی *Cymbellaehrenbergii*، کاهش اشکال الیگوتروفنتیک *Cymbellaleptoceros* و کاهش سطح آب و عمق دریاچه را طی ۶۸۷۰-۵۵۰۰، ۱۳۰۰-۳۱۷۰ سال قبل، همراه با شرایط آب و هوایی گرم و خشک، فرسایش سطحی زیاد، کاهش در بارش های بهاری و رطوبت قابل دسترس را نشان می‌دهد. افزایش در میزان سیلت و کاهش میزان ماسه همراه با ناپدید شدن گونه‌ها و شکل‌های آب شور شامل *A.sphaerophora* و مقادیر نسبتاً بالای گونه‌های آب شیرین، افزایش اشکال آلكالی بیونتیک، نبود گونه‌های

مزوتروفنتیک، افزایش گونه‌ی *Cymbellaleptoceros*، کاهش گونه *Cymbellaehrenbergii* و افزایش الیگوتروفنتیک، افزایش سطح و عمق آب دریاچه را در ۶۸۷۰-۸۹۵۰، ۳۱۷۰-۵۵۰۰ سال قبل، ناشی از وجود شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب، افزایش بارش، افزایش در رطوبت قابل دسترس را نشان می‌دهد.

همچنین نتایج حاصل از داده‌های سنجش از دور مربوط به عهد حاضر نشان می‌دهد که سطح آب دریاچه از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱، از ۲۱/۷۱ کیلومتر مربع به ۱۳/۰۴ کیلومتر مربع رسیده است؛ یعنی در مدت هشت سال، ۳۹/۹۵ درصد مساحت خود را از دست داده است. نتایج حاکی از این است که تغییرات سطح آب دریاچه بیش تر ناشی از عوامل و فعالیت‌های انسانی از جمله افزایش سریع جمعیت در اطراف دریاچه، در نتیجه مصارف بیش تر آب در بخش مواد غذایی و کشاورزی، حفر متعدد چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در حوضه‌ی آبریز دریاچه، احداث سد روی رودخانه‌ی قزلچه‌سو است. در نهایت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تکنیک‌های سنجش از دور، دانه‌بندی رسوبات و تحلیل دیاتومه‌ها، اطلاعات بسیار بارزتری را در زمینه بررسی اکوتومورفولوژی دیرینه و عهد حاضر دریاچه زریوار در اختیار قرار می‌دهد.

## منابع

۱. جعفری‌گللو، منصور، محمدحسین زمان‌زاده، مجتبی یمانی و سمیه عمادالدین. ۱۳۹۱. شواهد ژئومورفولوژیک تغییرات سطح اساس دریای خزر طی کواترنری پسین در محدوده گرگان‌رود، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۲، صص ۳۳-۵۰.
۲. علیجانی، بهلول. ۱۳۷۴. آب و هوای ایران، انتشارات پیام نور، تهران.
۳. عمادالدین، سمیه. ۱۳۹۲. بررسی تغییر سطح اساس نکارود تحت تأثیر نوسانات سطح آب دریای خزر و زمین ساخت البرز، مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال سوم، صص ۶۳-۷۹.
۴. قربانی، محمدصدیق، فرج‌اله محمودی، مجتبی یمانی و ابراهیم مقیمی. ۱۳۸۹. نقش تغییرات اقلیمی کواترنر در تحول ژئومورفولوژیکی فروچاله‌های کارستی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، صص ۱-۱۶.
۵. مختاری، داود، مجیدزاهدی، مریم بیاتی خطیبی و فریبا کرمی. ۱۳۸۶. پژوهشی در ژئومورفولوژی و تغییرات آب و هوایی هولوسن در دامنه شمالی کیامکی داغ (شمال غرب ایران)، گزارش طرح تحقیقاتی دانشگاه تبریز.
۶. مقیمی، ابراهیم. ۱۳۷۸. مطالعه تطبیقی تغییرات اقلیمی با تغییرات ژئومورفولوژی معاصر (مورد ایران)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۷، صص ۷۵-۸۷.

۷. مهرشاهی، داریوش. ۱۳۸۰. آشنایی با پژوهش‌های دیرینه‌ی محیطی کواترنر در دریاچه زریوار کردستان، رشد آموزش جغرافیا، شماره ۵۷، صص ۴-۸.
۸. ----- ۱۳۸۱. تشخیص تغییرات اقلیمی اواخر دوران چهارم در ایران از طریق اطلاعات حاصل از مطالعه دریاچه‌ها، فصل‌نامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی پیاپی ۶۳ و ۶۴، صص ۱۳۳-۱۴۸.
9. Anderson, J.R., Hady, E., Roach, E.J., Wetter, T. and Richard, E. 1976. Lands cover classification system for use with remote sensor data. United States Government Printing Office, Washington, pp: 80-85.
10. Bronk, Ramsey, C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates, *Radiocarbon* 51(1), 337-360.
11. Chander G., and Markham B. 2003. Revised Landsat5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41:2674-2677.
12. Chavez P.S. 1998. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multi-spectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24: 459-479.
13. Folk, R.L. and Ward M.C. 1957. Brazos River bar (Texas): a study in the significance of grain size parameters, *J. Sediment. Petrol.*, 27(1): 3-27.
14. Hutchinson, G.E. and Cowgill, U.M. 1963. Chemical examination of a core from Lake Zeribar. *Iran. Science* 140: 67-69.
15. Halfman, D., and Thomas, C. 1984. Enhanced atmospheric circulation over North America during the early Holocene: evidence from Lake Superior. *Science*, 224: 61-63.
16. Jaafari SH., Alizadeh Shabani, A., and Danehkar, A. 2013. Investigation of coastline change of the Urmia Lake using remote sensing and GIS. *International Journal of Aquatic Biology* 1(5): 215-220.
17. Krammer, K., and Lange-Bertalot, H. 1988. Bacillariophyceae: 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., Mollenhauer, D. (Eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa: 2*. G. Fischer, Stuttgart and New York.
18. Lecointe, C., Coste, M., and Prygiel, J. 1993. "Omnidia": software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia*, 269/270, 509-513.
19. Naiang Wang, Y., Morill, C., Cheng, H., Long, H., and Zhao, Q. 2009. Environmental change Implied by the relationship between pollen assemblages and grain-size in N.W. Chineselake sediments since the late Glacial.
20. Ozesmi, S.L. and Bauer E.M. 2002. Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands Ecology and Management* 10: 381-402.
21. Rasoli, A., Abasian, Sh. |and Jahanbakhsh, S. 2007. Monitoring of Uremia Lake water level fluctuations using multi-temporal satellite images processing. *Journal of Modares*. 12: 53-71.
22. Reimer, P.J. et al. 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP, *Radiocarbon*, 51(4): 1111-1150.
23. Smol, J.P., and Cumming, B.F. 2000. Tracking long-term changes in climate using algal indicators in lake sediments. *Journal of Phycology*, 36: 986-1011.
24. Snoeijis, P. 1993. Intercalibration and distribution of diatom species in the Baltic Sea. *The Baltic Marine Biologist Publication*, 1. 16a. Opulus Press, Uppsala.
25. Snoeijis, P., and Vilbaste, S. 1994. Intercalibration and distribution of diatom species in the Baltic Sea. *The Baltic Marine Biologist Publication*, 2. 16b. Opulus Press, Uppsala.
26. Snyder, J.A., Wasylik, K., Fritz, S.C., and Wright Jr, H.E. 2001. Diatom-based conductivity reconstruction and palaeoclimatic interpretation of a 40-ka record from Lake Zeribar, Iran, *The Holocene*. 11: 737-745.
27. Stevens, L.R., Wright Jr. H.E., and Ito, E. 2001. Proposed Changes in seasonality of climate during the Late-glacial and Holocene at Lake Zeribar, Iran, *The Holocene*, 11: 747-755.
28. Tucker, M.E. 1988. *Techniques in sedimentology*. Blackwells, Oxford, 394pp.
29. Van Zeist, W., and Wright Jr. H.E. 1963. Preliminary pollen studies at Lake Zeribar, Zagros Mountains and Southwestern Iran. *Science*, 140: 65-67.
30. Wasylik, K. 1975. Notes on the freshwater algae of Iran. *FragmentaFloristicaetGeobotanica* 21: 369-397.
31. Wasylikowa, K., Witkowski, A., Walanus, A., and Hutorowicz, A. 2006. Palaeolimnology of Lake Zeribar, Iran, and its climatic implications. *Quaternary Research*. 66: 477-493.

32. Wasylikowa, K. 1967. Late Quaternary plant macrofossils from Lake Zeribar, western Iran. Review of palaeobotany and palynology. 2, 313-18.
33. Wasylikowa, K., and Walanus, A. 2004. Timing of aquatic and marsh-plant successions in different parts of Lake Zzeribar, Iran, during the Late Glacial and Holocene. Acta Palaeobotanica. 44: 129-140.
34. Wasylikowa, K; 2005. Paleoecology of Lake Zeribar, Iran, in the Pleniglacial, Lateglacial and Holocene, reconstructed from plant macrofossils. The Holocene 15:720-735.
35. Zhai, Q., Gue, Z., Li, Y., and Li, R. 2006. Annually laminated lake sediments and environmental changes in Bashang Plateau, North China. Palaeogeography, Palaeoclimatology Palaeoecology. 241: 95-102.

