

برآورد مقدار کدورت آب خلیج گرگان با استفاده از تصاویر LISS-III ماهواره IRS

حسین عقیقی^{۱*}، عباس علیمحمدی^۲، محمدرضا سراجیان^۳، داوود عاشورلو^۴

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، سازمان فضایی ایران

۲- استادیار گروه GIS، دانشکده مهندسی ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- دانشیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

۴- مربی گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی

دریافت: ۸۶/۶/۳

پذیرش: ۸۷/۶/۹

چکیده

بررسی کیفیت آبهای ساحلی از نظر زیست محیطی و کاربردی، اهمیت ویژه‌ای دارد. مطالعه کیفیت آب در روشهای سنتی، کاری زمان‌بر و پرهزینه است و منجر به تولید اطلاعات نقطه‌ای می‌شود. سنجش از دور می‌تواند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقش مهمی در این مطالعات ایفا کند. هدف از این مطالعه، بررسی کارایی تصاویر سنجنده LISS-III ماهواره IRS در برآورد Secchi depth در خلیج گرگان است. به همین منظور، همزمان با گذر ماهواره، ۴۲ نمونه از منطقه به روش سیستماتیک - تصادفی گرفته شد، سپس یک مدل تجربی آماری - ریاضی بین داده‌های جمع‌آوری شده در عملیات میدانی و داده‌های پردازش شده تصاویر سنجنده LISS-III برازش شد. تجزیه و تحلیل آماری نتایج، بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین پارامترها در سطح ۹۹ درصد است که نشان‌دهنده ارتباط قوی بین مقدار Secchi depth و رادینس رسیده به سنجنده ($R^2 = 0.77$) می‌باشد. لذا مدل برازش یافته را می‌توان برای برآورد Secchi depth در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود و روش مورد استفاده کارایی زیادی برای برآورد رسوب دارد.

کلیدواژه‌ها: کیفیت آب، کدورت آب، سنجش از دور، خلیج گرگان.

E-mail: hossein.aghighi@gmail.com

* نویسنده مسؤول مقاله:



۱- مقدمه

امروزه کیفیت آب یکی از مسائل مورد علاقه سازمانهای زیست محیطی، صنایع شیمیایی، شیلات و سایر سازمانهای مرتبط است. این توجه همه جانبه به دلیل ارتباط تنگاتنگ کیفیت آب با سلامت محیط و کیفیت زندگی است. آبهای ساحلی کاربردهای زیادی دارند که بیشتر آنها وابسته به وجود داده های محیطی از منطقه است. معمولاً مطالعه کیفیت آب در روشهای سنتی با نمونه برداری انجام می شود که به صورت نقطه ای، گرانقیمت و زمان بر است. به علاوه نتایج حاصل از این نقاط نمی تواند معرف خوبی برای تمام منطقه باشد، در این صورت استفاده از اطلاعات واسط و پیوسته از کل سطح ضروری به نظر می رسد. سنجش از دور اپتیک با تکنیکها و روشهای پیچیده در جمع آوری اطلاعات از نواحی بزرگ، می تواند برای نظارت بر اکوسیستمهای آبی استفاده شود. پیچیدگی زیاد شرایط محیطی و ترکیبات عناصر موجود در آبهای داخلی و سواحل، باعث نفوذ و بازتاب متفاوت نور در نقاط مختلف می شود، بنابراین بررسی پهنه های آبی بدون اندازه گیریهای مکانی غیرممکن است.

در سالهای اخیر مطالعات زیادی در مورد استفاده از تصاویر ماهواره ای در مطالعه پارامترهای کیفیت آب انجام شده است. دکر^۱ با استفاده از سنجنده های CASI و CAESAR به مطالعه Secchi depth پرداخت و یک رابطه نمایی بین رادیانس و کدورت آب در طول موجهای مختلف ارائه کرد. نتایج نشان داد که همبستگی بالایی بین کدورت آب و بازتاب در باندهای مذکور وجود دارد [۱].

یانگ و همکاران^۲ از تصاویر SPOT XS برای مطالعه کیفیت آب در بخشی به طول ۱۴۰۰ کیلومتر از رودخانه Ta-chia استفاده کرده، نتیجه گرفتند که کانالهای طیفی برای مطالعه تغییرات خصوصیات کیفیت آب مناسب است و شاخصهایی را برای مطالعه Secchi depth، کلروفیل و فسفر با استفاده از درجات روشنایی پیشنهاد کردند [۲]. عقیقی و همکاران با مطالعه کدورت آب در بخشی از سواحل جنوبی دریای خزر نتیجه گرفتند که امکان تخمین کمی کدورت آب با تصاویر MODIS وجود دارد [۳].

از سایر پارامترهای مرتبط و مؤثر بر کدورت آب می توان به مواد معلق و کلروفیل اشاره

1. Dekker

2. Yang, M. D. et al.

کرد. این پارامترها بر عمق نفوذ نور در آب تأثیر گذاشته، باعث تغییر در مقدار Secchi depth می‌شوند. ضیائیان و همکاران با بررسی کارایی تصاویر LISS-III در پایش ذرات معلق آب نتیجه گرفتند که با افزایش بازتاب در طول موجهای مرئی و مادون قرمز نزدیک، غلظت مواد معلق نیز افزایش پیدا می‌کند [۴]. کارایی تصاویر سنجنده SPOT به‌وسیله لاتروپ و همکاران [۵]، سنجنده NOAA-AVHRR به‌وسیله وس و همکاران [۶] و تصاویر سنجنده MSS به‌وسیله استامپف [۷] در برآورد کل مواد معلق بررسی شده است. همچنین می‌توان به مطالعات لاتروپ و همکاران [۵]، زیا [۸]، لیل ساند [۹]، ریتچی و همکاران [۱۰] و عبدالله و همکاران [۱۱] درباره کاربرد تصاویر سنجنده TM در برآورد کل رسوبات معلق اشاره کرد. نتایج حاصل از این مطالعات حاکی از امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در برآورد پارامترهای کیفیت آب موجود در پهنه‌های آبی است. ارائه مدل‌های مختلف به‌وسیله این محققین، گویای منطقه‌ای بودن این روابط است، در این صورت لازم است برای هر منطقه به‌صورت جداگانه مدلسازی و سپس مدل‌ها به مناطق مشابه تعمیم داده شوند.

دریافت مستقیم تصاویر سنجنده LISS-III به‌وسیله سازمان فضایی ایران امکان استفاده از این تصاویر را در مطالعه کیفیت آب فراهم می‌کند، در این صورت هدف از این مطالعه بررسی کارایی این تصاویر در برآورد مقدار کدورت آب و مدلسازی Secchi depth در خلیج گرگان است.

۲- مواد و روشها

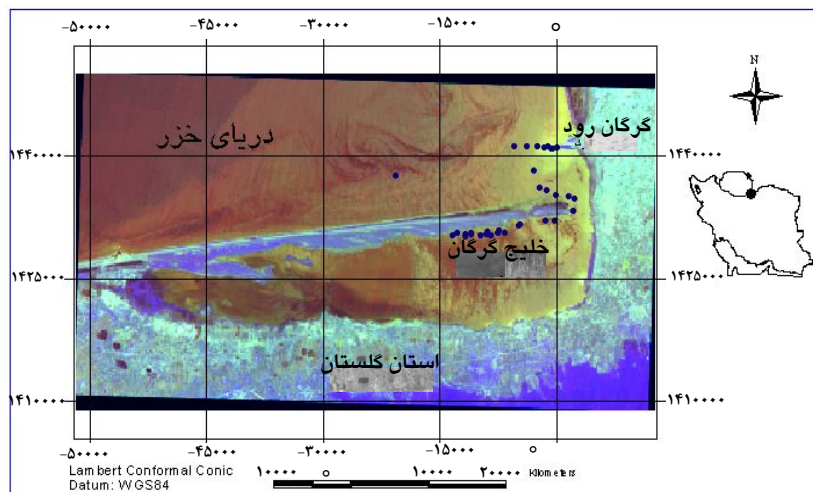
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

خلیج گرگان در بخش جنوب شرقی دریای خزر واقع شده است. عرض دهانه بزرگ خلیج گرگان ۲۵۰۳ متر است که از طریق آن با دریای خزر در ارتباط است. این خلیج در محدوده

1. Lathrop et al.
2. vos et al.
3. Stumpf
4. Xial
5. Lillesand
6. Ritchie et al.



مختصات ($36^{\circ}52'52''$ و $53^{\circ}23'27''$) تا ($36^{\circ}46'21''$ و $54^{\circ}03'17''$) قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱ منطقه مورد مطالعه

۲-۲- پردازش تصاویر ماهواره‌ای

تصویر ماهواره‌ای استفاده شده در این تحقیق مربوط به سنجنده LISS-III می‌باشد که به وسیله سازمان فضایی ایران دریافت شده است. این سنجنده در طول موجهای مرئی^۱ و مادون قرمز نزدیک^۲ تصویربرداری می‌کند، که با توجه به یافته‌های سایر محققان، از این داده‌ها می‌توان در مطالعه آبهای سطحی استفاده کرد. ضمن هماهنگی با سازمان فضایی ایران، تقویم زمانی - مکانی مربوط به گذر ماهواره IRS از فراز ایران تهیه شده و با استعلام پیش‌بینی وضعیت جوی منطقه از سازمان هواشناسی کشور و اداره هواشناسی گرگان، روز هجدهم خرداد ماه سال ۱۳۸۲ به عنوان یک زمان دارای آسمان صاف و بدون ابر انتخاب و

1. Visible

2. Near infrared

ضمن اخذ تصویر، به نمونه برداری از منطقه انجام شد. تصویر دریافت شده، با استفاده از پارامترهای مداری و ضرایب کالیبراسیون دستگاهی به ترتیب تصحیح هندسی و رادیومتریکی شده است. سپس تصاویر تولید شده با استفاده از نقشه های ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری تصحیح هندسی شده است. زوایای مربوط به آزمون و زینت ماهواره و خورشید و ارتفاع خورشید از Header فایل استخراج و با استفاده از مدل ATCOR نرم افزار PCI Geomatica اقدام به تصحیح اتمسفریک تصاویر مذکور شده است.

۲-۳- وسایل مورد استفاده در عملیات میدانی

Secchi disk صفحه ای مدور است که اولین بار به وسیله Fr. Pietro Angelo Secchi ابداع شد و برای اندازه گیری شفافیت آب دریای مدیترانه در روز ۲۰ ماه آوریل سال ۱۸۶۵ به کار برده شد. با توجه به اینکه به تعداد کافی از این وسیله در اختیار نبود، پس از استخراج استاندارد شکل ظاهری آن از منابع، این وسیله ساخته شد.

این وسیله از دوایر آهنی به ضخامت ۴ میلیمتر و قطر ۲۰ سانتیمتر تهیه شده و در مرکز آن یک دسته برای نصب طناب حامل نصب شد. تعداد ۲۷ سوراخ به قطر ۱۰ میلیمتر و با پراکنش متقارن روی آن تعبیه شد تا امکان گذر آب و نفوذ افقی وسیله به داخل آب به وجود آید. سپس هر صفحه به ۴ قسمت تقسیم شده و هر دو قطاع مقابل هم به صورت سفید و سیاه رنگ آمیزی شدند [۱۲].

در این تحقیق از دو دستگاه GPS دستی مدل Garmin eTrex، به منظور ثبت موقعیت مکانی نقاط نمونه برداری، استفاده شده است.

۲-۴- نمونه برداری

گسترده گی خلیج گرگان و وجود تغییرات در میزان رسوبات آب در مقیاس زمان و مکان، انجام نمونه برداری های فراوان را ایجاب می کند. فرض بر این بود که اگر بتوان محدوده وسیعی از تغییرات کدورت آب را نمونه برداری کرد، به گونه ای که معرف تغییر پذیری میزان کدورت در تمام نواحی ساحلی باشد، دیگر نیاز به نمونه برداری از کل سواحل نیست. عملیات



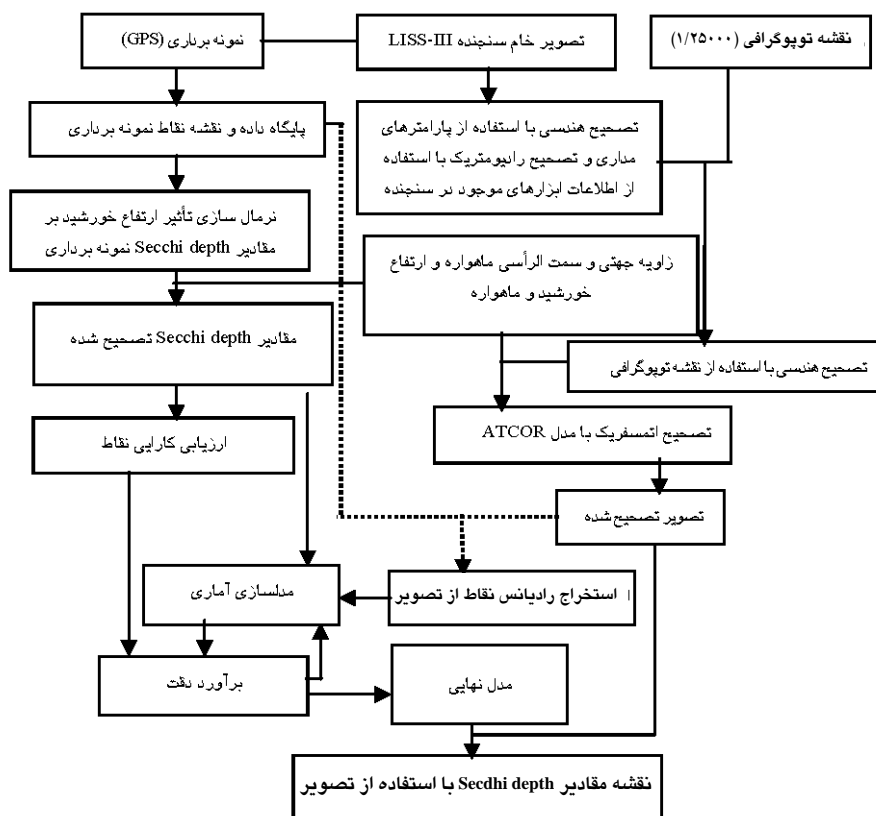
در بازه زمانی ۴ ساعته انجام شد، پس گردآوری این داده‌ها تقریباً همزمان با گذر ماهواره از فراز ایران بود.

مصب گرگان‌رود یک ناحیه پررسوب و با کدورت بالا بوده و با دور شدن از مصب میزان گل‌آلودگی و رسوب کاهش می‌یابد، بنابراین این ناحیه می‌تواند به‌عنوان یک ناحیه گذار از پررسوب به کم‌رسوب به‌کار گرفته شود. بدین ترتیب تعداد ۴۲ نمونه به شیوه سیستماتیک - تصادفی از منطقه برداشت شد. این نمونه‌ها از مصب گرگان‌رود (به‌عنوان یک منطقه پررسوب و با کدورت بالا) و خلیج گرگان جمع‌آوری شده است (شکل ۱). اطلاعات این نمونه‌ها و سایر اطلاعات محیطی برداشت شده به محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی وارد شد و در مراحل مدل‌سازی به‌کار برده شد.

طی گذر اشعه نوری از یک محیط به محیط دیگر، پدیده شکست نور به‌وجود می‌آید. وقوع این پدیده بر تشخیص عمق، به‌وسیله فردی که در بالای محیط آبی قرار گرفته، تأثیر می‌گذارد، پس با استفاده از روابط فیزیکی مقادیر Secchi depth تصحیح شد [۱۳]. با اعمال این تصحیحات بر مقادیر Secchi depth در نقاط نمونه‌برداری شده، تأثیر تغییرات زاویه زنیت و آزمون خورشید طبیعی شده است، بنابراین این داده‌ها تحت تأثیر تغییرات زوایای خورشید در طول فصلهای مختلف نیست.

۲-۵- روش انجام کار

مدلسازی ریاضی - آماری در سنجش از دور نیازمند استفاده از داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای است. دقت مدل ارائه شده باید ارزیابی شود و نتایج حاصل از مدل، با اطلاعات واقعی دریایی مقایسه شود. تعداد کل نقاط برداشت شده زمینی ۴۲ نقطه بود و از آنها باید به دو منظور مدلسازی و برآورد دقت مدل، استفاده شود. بنابراین به‌منظور افزایش دقت مدلسازی از ۷۵ درصد از نقاط برای مدلسازی و از ۲۵ درصد از آنها برای برآورد دقت مدل استفاده شده است [۱۵ و ۱۴]. بدین ترتیب با روش سیستماتیک - تصادفی، تعداد ۳۲ نمونه برای مدلسازی با استفاده از رگرسیون چند متغیره و ۱۰ نمونه برای اعتبارسنجی استفاده شد. مراحل اجرایی کار در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲ مراحل انجام تحقیق

۳- تجزیه و تحلیل

۳-۱- بررسی آماری داده‌ها

جدول ۱ خلاصه‌ای از خصوصیات آماری رادیانس باندهای مختلف تصویر (به‌عنوان پارامترهای مستقل) و اطلاعات Secchi depth (به‌عنوان پارامتر وابسته) مورد استفاده در مدلسازی را نشان می‌دهد.



جدول ۱ خصوصیات آماری پارامترهای مستقل و وابسته نقاط مورد استفاده در تحقیق
(X_1 ، X_2 و X_3 به ترتیب باندهای ۱، ۲ و ۳ سنجنده LISS-III و Y مقدار Secchi depth)

متغیر	باند ۱	باند ۲	باند ۳	Secchi depth
تعداد نقاط	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲
نقاط نامناسب	۰	۰	۰	۰
مقدار حداکثر	۴۳	۱۵۰	۱۰۳	۱۶۲
مقدار حداقل	۳۴	۴۴	۱۵	۵۵
دامنه	۹	۱۰۶	۸۸	۱۰۷
میانگین	۳۷/۷۱۸۷۵	۷۲/۲۵	۳۴/۵۳۱۲۵	۱۱۵/۹۰۶۲۵
انحراف معیار	۲/۱۲۸۶۷۳۲۹۶	۲۵/۲۵۷۳۸۴۷۴	۱۶/۹۷۶۲۳۴۵۷	۲۹/۵۰۷۰۸۹۷۷

در مرحله بعد اقدام به تهیه ماتریس همبستگی بین رادینس اطلاعات نقاط نمونه برداری در باندهای مختلف با مقادیر Secchi depth شد (جدول ۲).

جدول ۲ ماتریس همبستگی بین کلیه پارامترهای مستقل و وابسته

	باند ۱	باند ۲	باند ۳	Secchi depth
باند ۱	۱	۰/۷۲۳۷۳۲۷۷۵	۰/۶۸۵۳۷۰۵۳۳	-۰/۷۹۵۴۴۵۶۷۳
باند ۲	۰/۷۲۳۷۳۲۷۷۵	۱	۰/۹۴۰۵۴۴۵۴۵	-۰/۸۰۲۰۹۹۵۳۳
باند ۳	۰/۶۸۵۳۷۰۵۳۳	۰/۹۴۰۵۴۴۵۴۵	۱	-۰/۸۰۷۵۷۳۶۹۹
Secchi depth	-۰/۷۹۵۴۴۵۶۷۳	-۰/۸۰۲۰۹۹۵۳۳	-۰/۸۰۷۵۷۳۶۹۹	۱

با توجه به همبستگی بالای بین رادینس باندهای مختلف و مقادیر Secchi depth مدل‌های مختلف ریاضی - آماری بررسی شد که تعداد سه مدل از بهترین مدل‌های برآزش داده شده در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳ مدل‌های برازش داده شده بین رادیانس تصاویر و مقدار Secchi depth

ردیف	مدل	StdError	Residual Sum	Residual Avg.	RSS	R ²	Ra ²	RMSE
۱	$\exp(a \cdot x_1 + b \cdot x_2 + c \cdot x_3 + d)$	۱۴/۸۳	-۰/۱۳۱۲۳۱۷۵۸	-۰/۰۰۴۱۰۰۹۹۲	۶۱۴۸/۵۲	۰/۷۷	۰/۷۵	۱۳۲/۵۷
۲	$a \cdot x_1 + b \cdot x_2 + c \cdot x_3 + d$	۱۵/۱۲	۲/۸۴۲۱۷E-۱۴	۸/۸۸۱۷۸E-۱۶	۶۳۹۷/۳۳	۰/۷۶	۰/۷۴	۱۸۸/۵۷
۳	$a \cdot x_1 + b \cdot x_2 + c \cdot x_3$	۲۲/۶۸	۲۲/۳۴۹۳۶۰۴۸	۰/۶۹۸۴۱۷۵۱۵	۱۴۹۲۲/۴۴	۰/۴۵	۰/۴۱	۴۷۴/۸۴

* در جدول فوق، StdError انحراف معیار، Residual Sum مجموع مانده‌ها، Residual Avg میانگین مانده‌ها، RSS مجموع توانهای دوم مانده‌ها، R² ضریب تعیین چندمتغیره تعدیل شده و RMSE ریشه میانگین توانهای دوم خطا است.

با توجه به پارامترهای آماری مدل‌های ارائه شده (جدول ۳) به نظر می‌رسد که مدل شماره ۱ نسبت به سایر مدل‌ها مناسبتر است، بنابراین ضرایب این مدل در جدول ۴ آمده است (در سطح ۹۹٪ معنی‌دار است).

جدول ۴ ضرایب و خصوصیات آماری ارائه شده برای مدل رگرسیون فرمول ۱

متغیر	مقادیر	Standard Error	t-ratio	Prob(t)
a	-۴/۲۸۱۸۸E-۰۲	۱/۸۴۹۴۶E-۰۲	-۲/۳۱۵۱۹	۰/۰۲۸۱۵
b	۴/۰۵۴۸۷E-۰۴	۳/۶۶۰۲۹E-۰۳	۰/۱۱۰۷۸	۰/۹۱۲۵۸
c	-۱/۱۴۵۷۰E-۰۲	۵/۷۳۰۷۹E-۰۳	-۱/۹۹۹۲۱	۰/۰۵۵۳۸
d	۶/۷۰۵۵۴	۰/۶۱۷۲۵	۱۰/۸۶۳۴۷	۰/۰

با توجه به این که مقایسه میانگینهای بیش از دو نمونه، مورد نظر است پس باید علاوه بر مقایسه بین میانگینها (بطور یکجا و با یک دقت)، آزمون معنی‌دار بودن بین واریانسهای آنها را نیز موردنظر قرار داد. بنابراین واریانس داده‌های مورد استفاده، تجزیه می‌شود (جدول ۵).



جدول ۵ تجزیه واریانس برآورد مقدار Secchi depth برای مدل رگرسیون فرمول ۱

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجات آزادی	منابع تغییر
۳۱/۶۳۸	۶۹۴۷/۳۹۹۳	۲۰۸۴۲/۱۹۷۸	۳	بین گروه‌ها
	۲۱۹/۵۹۰۱	۶۱۴۸/۵۲۱	۲۸	داخل گروه‌ها (خطا)
		۲۶۹۹۰/۷۱۸۸	۳۱	کل

به منظور تجزیه واریانس از آزمون F استفاده می‌شود. در این مورد فرضیات آزمون به شرح زیر می‌باشد:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

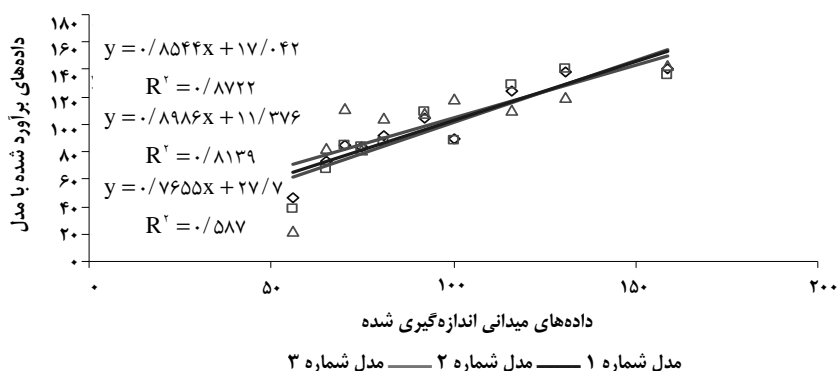
در جدول فوق F، نسبت میانگین مربعات بین گروه‌ها به میانگین مربعات داخل گروه‌ها است که بیانگر میزان بزرگی اختلاف بین گروه‌ها در مقایسه با خطا می‌باشد. با توجه به این که F جدول برای درجه آزادی ۳ و ۲۸ و احتمال ۰/۰۱ برابر ۴/۵۷ می‌باشد، بنابراین:

$$F_c = 31/638 > F_{(3,28), 0.01} = 4/57 \quad (\text{رابطه ۱})$$

در نتیجه فرض H_0 رد می‌شود و به احتمال ۹۹ درصد، میانگین‌ها با یکدیگر دارای تفاوت معنی‌داری هستند.

۳-۲- ارزیابی دقت

به منظور بررسی دقت مدل‌های ارائه شده در جدول شماره ۳، از این مدل‌ها برای تولید نقشه‌های کدورت آب از تصویر مربوط، استفاده شد. مقادیر Secchi depth محاسبه شده نقاطی که برای واسنجی مدل‌ها انتخاب شده بودند، استخراج شد. در مرحله بعد نمودار پراکنش مقادیر عددی داده‌های اندازه‌گیری شده در مقابل داده‌های برآورد شده به وسیله مدل‌ها ترسیم شده است (شکل ۳).



شکل ۳ پراکنش مقادیر عددی داده‌های اندازه‌گیری شده در مقابل داده‌های برآورد شده به وسیله مدل‌های شماره‌های ۱، ۲ و ۳

۴- نتیجه‌گیری

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مقادیر رادیانس در باندهای مختلف با همدیگر دارای همبستگی مثبت، ولی مقادیر Secchi depth با مقادیر رادیانس در باندهای مختلف دارای همبستگی منفی هستند. این مطلب نشان می‌دهد که با افزایش Secchi depth مقادیر رادیانس کاهش می‌یابد. با افزایش رسوبات معلق، فیتوپلانکتون، کلروفیل و مواد محلول در آب، کدورت آب افزایش یافته و در نتیجه عمق نفوذ نور^۱ در آب کاهش می‌یابد، بنابراین مقدار Secchi depth کاهش یافته و باعث افزایش مقدار بازتاب در نواحی پرتسوب می‌شود. به عبارت دیگر، کدورت آب و مقدار Secchi depth برآیندی از ترکیبات موجود در آب است. با توجه به دلایل فوق می‌توان درجات روشنایی بیشتر را در تصاویر ماهواره‌ای سواحل رسوبی توجیه کرد. با توجه به همبستگی بالای مقادیر رادیانس با Secchi depth می‌توان نتیجه‌گیری کرد که امکان استفاده از هر سه باند و یا ترکیبی از آنها در مدلسازی وجود دارد. نتایج مدلسازی در جدول ۳ آمده است.

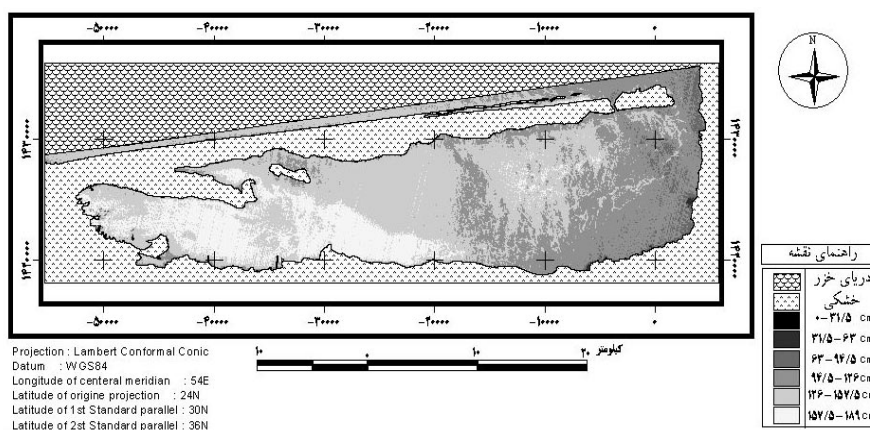
1. Depth of penetration



شکل ۳ پراکنش مقادیر عددی داده‌های اندازه‌گیری شده را در مقابل داده‌های برآورد شده برای نقاطی که به منظور واسنجی مدل در نظر گرفته شده است نشان می‌دهد. ضریب همبستگی توابع برازش داده شده بر این نقاط، بیانگر همبستگی بالاتر در مدل شماره ۱ است. با توجه به جدول ۳ و شکل ۳ مدل شماره ۱ که دارای R^2 و Ra^2 بیشتری و RMSE کمتری نسبت به سایر مدلها می‌باشد، به عنوان مدل نهایی انتخاب شد. بدین ترتیب مدل انتخابی جهت برآورد مقدار کدورت آب خلیج گرگان با استفاده از تصاویر LISS-III به صورت زیر می‌باشد:

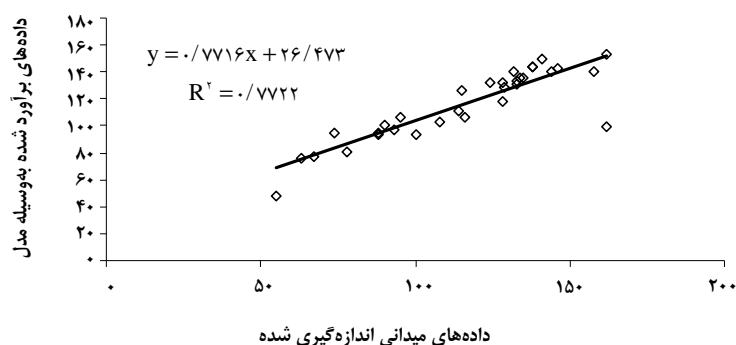
$$SD_{(cm)} = \exp[(a * La_{band1}) + (b * La_{band2}) + (c * La_{band3}) + d] \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این فرمول La_{bandi} رادیانس تصحیح شده برای باند i و ضرایب رابطه ۱ در جدول ۳ تشریح شده است. با استفاده از فرمول ۱ نقشه Secchi depth تهیه شد (شکل ۴).



شکل ۴ نقشه Secchi depth حاصل از فرمول شماره ۱

در ادامه نمودار پراکنش مقادیر عددی داده‌های اندازه‌گیری شده در مقابل داده‌های برآورد شده به وسیله مدل ترسیم شد (شکل ۵).



شکل ۵ پراکنش مقادیر عددی داده‌های اندازه‌گیری شده در مقابل داده‌های برآورد شده به وسیله فرمول ۱ برای داده‌های مورد استفاده در مدلسازی

با توجه به شکل ۵ مقدار ضریب همبستگی بین دو پارامتر ۰/۷۷۲۲ است. با توجه به این که این نمودار برای نقاطی ترسیم شده که از آنها در مدلسازی استفاده شده است، تفاوت‌های عددی مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر حاصل از برآورد مدل بررسی شد که نتایج آن در شکل ۶ ارائه شده است.

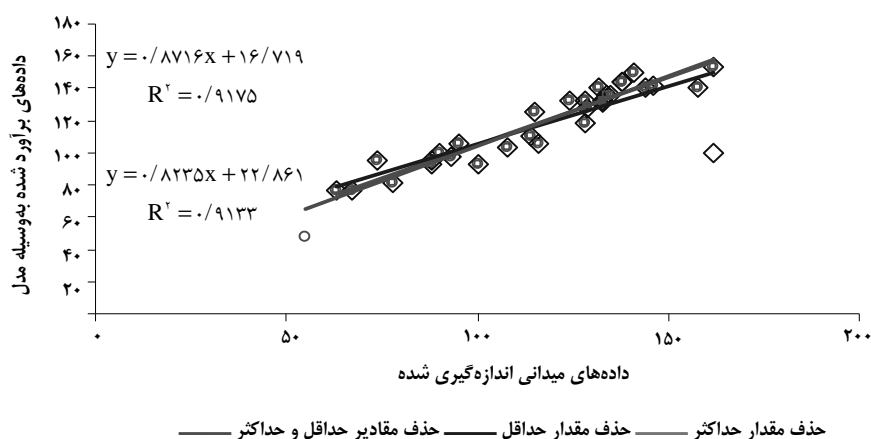


شکل ۶ مقادیر اختلاف بین داده‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده به وسیله فرمول ۱



همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود یکی از منحنیها بیانگر مقدار تغییرات Secchi depth اندازه‌گیری شده در مطالعات میدانی است که با استفاده از همین نقاط، اقدام به مدلسازی شد و این مدل روی رادینس پیکسلهای همان نقاط، اجرا شد تا مقادیر محاسباتی Secchi depth برای همان نقاط به‌دست آید. مقادیر محاسبه شده را می‌توان در منحنی دوم مشاهده کرد. اختلاف فاصله بین دو خط و نقاط روی خط بیانگر اختلاف داده‌های محاسباتی و واقعی است. در شکل ۵ دو نقطه با Secchi depth های اندازه‌گیری شده ۵۵ و ۱۶۲ سانتیمتر مشاهده می‌شود که نسبت به خط برازش یافته، فاصله دارد. این نقاط در شکل ۶ با شماره‌های ۲ و ۸ مشاهده می‌شود. این نقاط به ترتیب حداقل و حداکثر مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد، در نتیجه این فرضیه مطرح می‌شود که آیا این مدل در برآورد Secchi depth محدودیت دارد؟ به‌منظور بررسی این فرضیه برای مشخص شدن محدودیت عمقی مدل برازش داده شده به‌ترتیب زیر عمل شد:

- ۱- حذف نقطه شماره ۵ که به‌مفهوم حذف مقادیر حداکثر است (شکل ۷).
- ۲- حذف نقطه شماره ۲ که به‌مفهوم حذف مقادیر حداقل است (شکل ۷).
- ۳- حذف نقاط شماره ۲ و ۵ که به‌مفهوم حذف مقادیر حداقل و حداکثر است (شکل ۷).



شکل ۷ پراکنش مقادیر عددی داده‌های اندازه‌گیری شده در مقابل داده‌های برآورد شده به‌وسیله فرمول ۱ همراه با حذف نقاط حداقل، حداکثر و حداقل - حداکثر

با بررسی مقادیر R^2 در شکل ۷ که در جدول شماره ۵ آمده، مشاهده می‌شود که مدل برازش داده شده دارای محدودیت در دنباله مقادیر حداکثر است، به طوری که با حذف مقادیر حداکثر، مقدار R^2 نسبت به حالت اولیه افزایش و RMSE کاهش می‌یابد (نمودار حذف مقدار حداکثر شکل ۷).

جدول ۵ مقادیر R^2 حاصل از حذف مقادیر حداقل و حداکثر

حذف نقاط حداقل و حداکثر	حذف نقطه حداکثر	حذف نقطه حداقل	تمامی نقاط	
۰/۹۱۳۳	۰/۹۱۷۵	۰/۷۳۷۷	۰/۷۷۲۲	R^2
۷۲/۷۳	۶۹/۶۷	۱۹۰/۶۶	۱۳۲/۵۷	RMSE

این محدودیت در دنباله مقادیر حداقل مشاهده نمی‌شود، زیرا با حذف مقادیر حداقل، مقدار R^2 کاهش و مقدار RMSE افزایش می‌یابد (نمودار حذف مقدار حداقل شکل ۷). در صورتی که مقادیر حداقل و حداکثر به صورت همزمان حذف شود (نمودار حذف مقدار حداقل و حداکثر شکل ۷) مقدار R^2 نسبت به حالتی که هر دو سری اعداد وجود دارند، افزایش یافته است، اما نسبت به حالتی که فقط مقادیر حداکثر حذف شده است، کاهش می‌یابد. این وضعیت برای RMSE نیز وجود دارد، به طوری که مقدار آن هم کاهش یافته، اما نسبت به حالتی که فقط مقادیر حداکثر حذف شده، افزایش یافته است (جدول ۵).

بنابراین به نظر می‌رسد که این مدل در مناطق دارای Secchi depth بیشتر از ۱۶۰ سانتیمتر، محدودیت عملکرد دارد، بنابراین تصاویر سنجنده LISS-III قابلیت برآورد کدورت آب را دارد و از مدل مذکور (رابطه ۱) می‌توان برای برآورد Secchi depth های با عمق کمتر از ۱۶۰ سانتیمتر در خلیج گرگان استفاده کرد. در نهایت پیشنهاد می‌شود که این مدل با نمونه‌های دارای Secchi depth های بیشتر از ۱۶۰ سانتیمتر بررسی و در صورت نیاز تدقیق شود. با توجه به طبیعی سازی تأثیر زوایای خورشید بر تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده، احتمالاً از این مدل بتوان برای برآورد مقدار Secchi depth در فصلهای مختلف سال استفاده کرد. با این وجود انجام تحقیقات و بررسیهای بیشتر ضروری است و توصیه می‌شود که دقت این مدل در سایر زمانهای سال و مکانهای دیگر جغرافیایی



بررسی شود. نتایج این تحقیق می‌تواند برای مدیران منابع آب، شیلات و محیط زیست در ارائه راهکارهای نوین مدیریت سواحل، حفاظت زیست محیطی و حمایت از زیستگاه آبزیان سودمند باشد.

۵- تشکر و قدردانی

در پایان از همکاریهای سازمان فضائی ایران، سازمان هواشناسی کشور، اداره هواشناسی گرگان و اداره شیلات استان گلستان که در انجام این تحقیق نقش مهمی داشته‌اند، قدردانی می‌شود.

۶- منابع

- [1] Dekkler, A.G.; Detection of optical water quality parameters for eutrophic water by high resolution remote sensing; Ph.D. Dissertation, Universitit Amsterdam, 1993.
- [2] Yang, M.D., Merry S.M.; Adaptive short_term water quality forecasts using remote sensing and GIS; RWRA symposium on GIS and water resources research center symposium proceedings, september 22-26, 1996, Fort Lauderdale Florida, pp. 109-118, 1996.
- [۳] عقیقی ح.; ارزیابی تصاویر سنجنده MODIS برای تهیه نقشه کدورت آب در سواحل جنوبی دریای خزر؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، تهران: دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۲.
- [4] Zeaiean Firouzabadi P., Krishnamoorthy, R., Raimohan N., Ramchandran S.; Remote sensing: an effective tool for monitoring suspended particles in harbour waters; The second international conference on coasts, ports and marine structures, ICOPMAS, Dec., Tehran, Iran, 1996.
- [5] Lathrop R., Lillesand T.M. and Yandell B.S.; Testing the utility of simple multi-date thematic mapper calibration algorithms for monitoring turbid

- inland waters; International Journal of Remote sensing, No.12(10), pp. 2045-2063, 1991.
- [6] Vos R.J. and Schuttelaar, M.; RESTWAQ, Data assessment, data-model integration and application to the southern North Sea. BCRS Report 19-95, Delft, The Netherlands, 1995.
- [7] Stumpf R.P., Pennock; Calibration of a general optical equation for remote sensing of suspended sediments in a moderately turbid estuary; J. Geophys. Res., Vol. 94, No. c10, PP. 14-363-14-371, 1991.
- [8] Xia L.; A United model for quantitative remote sensing of suspended sediment concentration; Int., R. Remote sensing, Vol. 14, No. 14, PP. 665-2676, 1993.
- [9] Lillesand T.M.; combining satellite remote sensing and volunteer secchi disk measurement for lake transparency monitoring; Environmental Remote sensing center, University of wisconsin, 1225 W. Dayton st., Madison, WI53706 USA, 2001.
- [10] Ritchie J. C., Charles M. C. and schiebe F. R.; The relationship of MSS and TM digital data with suspended sediments, chlorophyll and temperature in moon lake, Mississippi, remote sensing of Environment, No. 33, PP.137-148, 1990.
- [11] Abdullah K., Din, Z.B., Mahamod, Y., Rainis, R., Matjafri, M.Z.; Remote sensing of total suspended solids in penang coastal waters; Malaysia, 2000. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ps3/ps312pf.htm>.
- [12] Carlson B.; The secchi disk and the volunteer monitor; Lake Line, N. Am. Lake, Manage. Soc. No.15(1), pp. 28-29, 35-37, 1995.
- [13] Verschuur, G.L.; Transparency measurements in Garner Lake, tennessee: The relationship between secchi depth and solar altitude and a suggestion for normalization of Secchi depth data; Lake and Reserve, Manage. No.13(2), PP. 142-153, 1997.

[۱۴] هومن ح.ع؛ تحلیل چندمتغیری در پژوهش رفتاری، تهران: نشر پارسا، ۱۳۸۰.

[۱۵] ابریشمی ح؛ محمدی ت؛ کاربرد تحلیل رگرسیونی، تهران: انتشارات دانشگاه

تهران، ۱۳۷۴.

وضعیت پوشش گیاهی و جانوری محوطه باستانی ولیران دماوند در عصر اشکانی براساس داده‌های دیرینه‌تغذیه‌شناسی

فرهنگ خادمی ندوشن^{۱*}، طاهره عزیزی‌پور^۲، رضا شعبانی^۳

۱- دانشیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشجوی دکتری باستان‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

۳- استاد گروه تاریخ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

دریافت: ۸۶/۶/۱۴

پذیرش: ۸۷/۲/۲۵

چکیده

محوطه باستانی ولیران در حومه شهر دماوند و در شرق تهران قرار گرفته است. براساس منابع باستان‌شناسی در این محوطه، استقرارهایی در دوره‌های اشکانی و ساسانی وجود داشته است. کشف قبوری از دوره اشکانی در ولیران، و به دست آمدن بقایای دانه‌های گیاهی و نیز بقایای جانوری در منطقه مذکور، آن را محلی مناسب برای بررسی پوشش گیاهی کهن با تکیه بر مطالعات دیرینه‌تغذیه‌شناسی نموده است. ما در این پژوهش برآنیم تا با تجزیه عناصر غیرایزوتوپی اسکلت‌های انسانی به دست آمده با استفاده از دستگاه طول موج اشعه مجهول فلورسنس، به بررسی وضعیت غذایی ساکنان محوطه باستانی ولیران در دوره اشکانی که نشان‌دهنده وضعیت جغرافیایی منطقه در دوره مزبور است، بپردازیم.

کلیدواژه‌ها: دیرینه‌تغذیه‌شناسی، دوره اشکانی، ولیران دماوند، روش طیف‌سنجی اشعه مجهول.



۱- مقدمه

بررسی وضعیت جغرافیایی طبیعی ایران در دوره‌های گذشته، یکی از مهمترین موضوعات پژوهشی در ایران و جهان به شمار می‌آید. نبود منابع نوشتاری، فعالیت محققین را برای انجام چنین بررسیهایی محدود به فعالیتهای آزمایشگاهی کرده است. یکی از این فعالیتهای مطالعات دیرینه‌تغذیه‌شناسی است. از آنجایی که بشر از حیوانات و گیاهانی که در محدوده محل زندگی وی هستند، برای تغذیه استفاده می‌کند، انجام مطالعات دیرینه‌تغذیه‌شناسی کمک فراوانی به روشن شدن وضعیت پوشش گیاهی یک منطقه در دوره‌های گذشته می‌کند.

دیرینه‌تغذیه‌شناسی دانشی است که با مطالعه بقایای گیاهی، جانوری و انسانی بازمانده از جوامع باستانی، به بررسی وضعیت غذایی و تغذیه‌ای این جوامع می‌پردازد که البته انجام چنین مطالعاتی با مشکلات فراوانی همراه است. انسان یک موجود همه‌چیزخوار است، بنابراین می‌تواند غذاهای متنوعی را از بین غذاهای گیاهی و غذاهای جانوری در طول زندگی خود مصرف کند.

ترکیبات عناصر استخوانهای باستانی، اطلاعات ارزشمندی را در مورد وضعیت غذایی و زیست‌محیطی جوامع کهن فراهم می‌کند، میزان کلسیم و فسفری که فرد در طول زندگی از طریق تغذیه مصرف می‌کند، تأثیر مستقیمی بر استخوان او می‌گذارد. همچنین اختلاف غلظت عناصری همچون استرانسیوم، باریوم، مس، روی، انادیم و آهن می‌تواند برای مطالعه نوع غذا به‌کار رود [۸، ص ۷۸۵]. از بین عناصر مذکور استرانسیوم بیشترین اهمیت را در مطالعات دیرینه‌تغذیه‌شناسی به خود اختصاص داده و این موضوع به این علت است که بیش از ۹۹ درصد استرانسیوم بدن، در استخوان قرار گرفته است.

چنان‌که گذشت یک روش علمی برای فهم وضعیت گیاهی و جانوری یک منطقه در دوره‌های گذشته، تجزیه عناصر کمیاب اسکلت‌های باستانی و انجام مطالعات دیرینه‌تغذیه‌شناسی است. برای انجام چنین پژوهشهایی مطالعه دندانها نسبت به دیگر بخشهای اسکلت سودمندتر است. پژوهشگران بر این اعتقادند که مینای دندان نسبت به استخوان خلل و فرج کمتری داشته و بنابراین در برابر تغییرات پس از مرگ بیشتر مقاوم است [۲، ص ۷۸].

در این پژوهش اسکلت‌های به‌دست‌آمده در محوطه باستانی ولیران دماوند که متعلق به دوره اشکانی بود، بررسی شدند.

ژوستین، پارتیان را مهاجرانی از منطقه اسکیت‌ها می‌داند، استرابو نیز با ژوستین هم‌عقیده بوده و ارشک، بنیانگذار حکومت اشکانی را مردی سکایی از قبیله نیمه‌بیابانگرد پارتی می‌داند. غالب محققان سال ۲۴۷ ق.م. را سال شروع حکومت اشکانیان می‌دانند. این قوم بیش از ۴۵۰ سال بر ایران، نواحی شرقی آن و بخش عظیمی از بین‌النهرین حکومت کردند. در نهایت، این سلسله در سال ۲۲۴ م. به دست اردشیر ساسانی منقرض شد.

۲- پیشینه تحقیق

تاکنون در سراسر دنیا پژوهشگران بسیاری با استفاده از روش تجزیه غیرایزوتوپی نمونه‌های استخوانی باستانی، با تکیه بر عناصر کمیاب، درصد داده‌اند تا درباره وضعیت غذایی جوامع کهن اطلاعاتی به دست آورند.

کلپینگر، تجزیه ایزوتوپی استخوانها و دندانهای انسانی باستانی را راهی سودمند برای پی بردن به وضعیت غذایی جوامع کهن می‌داند [۲، ص ۷۹].

اسکوتکسکس و هرمن نیز در مقاله‌ای، با تکیه بر عناصر نادر به تجزیه ایزوتوپی نمونه‌های استخوانی انسانی و حیوانی به‌جامانده از محوطه قرون وسطی‌یی وینگرین در جنوب غربی آلمان پرداخته‌اند [۳، صص ۶۸۵-۶۷۵]. این دو محقق بر آن بودند که نتایج حاصل از فعالیتهای آزمایشگاهی خود را با اشیاء دفن‌شده در قبور - که موقعیت اجتماعی و اقتصادی شخص را در زمان حیات نشان می‌داد - تطبیق دهند. آنان از این طریق نشان دادند که ترکیبات شیمیایی استخوانهای ساکنان مرفه این محوطه، به‌علت دستیابی به نظام تغذیه بهتر، با ترکیبات شیمیایی استخوانهای مردم عادی جامعه تفاوت دارد. آنان در مطالعه خود بر میزان عنصر کلسیم تکیه کرده و آنگاه نتیجه گرفتند که احتمالاً در نظام تغذیه‌ای خانواده‌های مرفه از لبنیات استفاده می‌شده است.

کاروالهو با تکیه بر میزان عناصری همچون فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، مس، روی، باریوم، استرانسیوم و سرب در دندانهای به‌دست آمده در یک محوطه باستانی در لیسبون (پرتغال) به مطالعه وضعیت غذایی ساکنان منطقه مذکور در عصر کلکولتیک



پرداخت [۴، صص ۵۶۵-۵۵۹]. همین محقق در پژوهشی دیگر به‌منظور انجام مطالعات دیرینه‌تغذیه‌شناسی، غلظت عناصر کمیاب را در دو استخوان فیمور بررسی کرد. این دو استخوان که یکی متعلق به یک مرد و دیگری متعلق به یک زن بودند، در یک گور باستانی در جنوب کشور پرتغال (۱۲۰۰-۱۳۰۰ م.) به دست آمدند [۵، صص ۱۲۵۷-۱۲۵۱].

گزالیس و همکاران او از دیگر محققینی هستند که به انجام مطالعات دیرینه‌تغذیه‌شناسی پرداخته‌اند. این محققان استخوانهای مختلف ساکنان اولیه جزایر قناری را مطالعه کرده و براساس دو عنصر استرانسیوم و باریوم، به بحث درباره وضعیت دیرینه‌تغذیه‌شناسی انسانهای این منطقه پرداخته‌اند. آنان با آزمایش نمونه‌های استخوانی انسانی و مشاهده درصد بالای استرانسیوم و باریوم در آن، به بیان این موضوع می‌پردازند که تأثیر زیست‌محیط بر این استقرارهای کشاورزی باعث گردیده است تا استفاده از منابع گیاهی میان ساکنان مرکزی و استفاده از منابع دریایی بین ساکنان ساحلی این جزایر رواج داشته باشد. محققین مذکور همچنین بر این اعتقادند که ساکنان این منطقه از سبزیجات خاصی بیشتر استفاده می‌کرده‌اند [۶، صص ۲۲۰-۲۱۵].

جینگوا و زلاتوا با استفاده از دستگاه پلاسمای جفت‌القایی - طیف‌سنجی جرمی به بازسازی وضعیت غذایی یک جامعه باستانی مربوط به قرن چهارم ق.م. در بلغارستان پرداختند. این دو پژوهشگر دستگاه مذکور را وسیله‌ای مناسب برای تجزیه عنصری دانسته و با استفاده از آن، عناصری همچون آلومینیوم، آرسنیک، منگنز، منیزیم، سرب، استرانسیوم، وانادیوم، زیرکونیوم و روی را تجزیه کردند که البته با استفاده از روش اخیر تعیین میزان مس و آهن ممکن نیست [۸، صص ۷۸۹-۷۸۵].

وب و همکارانش با استفاده از دستگاههای پلاسمای جفت‌القایی - طیف‌سنجی جرمی و پلاسمای جفت‌القایی - نشر اتمی غلظت عناصری همچون سرب، روی و استرانسیوم را روی دندانهای شیری کودکان امروزی بررسی کردند. آنها مقدار این غلظت را با غلظت همین عناصر در دندانهای متعلق به عصر برنز مقایسه کردند. این پژوهشگران غلظت روی و استرانسیوم را در دندان، بازتابی از وضعیت غذایی فرد در طول زندگی وی می‌دانند [۷، صص ۲۰۸-۲۰۱].

در پژوهشی دیگر که ترومن و دیگران درباره عناصر تشکیلدهنده دندان و استخوانهای فسیلی انجام دادند، تأثیر عناصر نادر زمینی که در اثر نوشیدن آبهای آشامیدنی بر استخوان انسان به وجود می آید، بررسی شد [۸، صص ۴۳۵۵-۴۳۴۳].

تجزیه عنصری استخوانها برای فهم عاداتهای غذایی گذشته تنها منحصر به استخوانهای انسانی نبوده است. در این مورد گاه استخوانهای جانوری نیز بررسی شده اند. اسپانهیم از محققانی است که به چنین مطالعاتی پرداخت [۹، صص ۱۵۶-۱۴۷].

زاپاتا و دیگر محققان اسپانیایی نیز درباره استخوانهای اواخر عصر رومی به مطالعه پرداختند. آنان دریافتند که در استخوانهای مذکور نیز، استرانسیوم درصد بالایی از عناصر استخوان را تشکیل می دهد. پژوهشگران مذکور این موضوع را این گونه تفسیر کردند که ساکنان منطقه مذکور در نظام غذایی خود به میزان زیادی از مواد گوشتی استفاده می کرده اند [۱۰].

۳- درباره محوطه مطالعه شده

شهرستان دماوند در منطقه ای به وسعت تقریبی ۲۶۰۰ کیلومتر مربع واقع شده است. این محوطه از طرف شمال به استان مازندران، از مشرق به فیروزکوه، از جنوب به ورامین و گرمسار و از جنوب غرب به لواسانات شمیران و تهران محدود است.

این شهرستان در بخش میانی دارای اقلیم نیمه استپی سرد و در ارتفاعات، دارای اقلیم کوهستانی است. این منطقه، به دلیل وجود ارتفاعات بلندی همچون سیاه چال و چنگیز چال در شمال و قله باشکوه دماوند در فاصله بیست و پنج کیلومتری شمال آن، منابع زیرزمینی آب و چشمه های متعددی دارد.

روستای ولیران واقع در بخش مرکزی شهرستان دماوند بوده و جزء دهستان تارود محسوب می شود. این روستا در ۱/۵ کیلومتری جنوب شهر دماوند و در فاصله ۵۰۰ متری شرق جاده آسفalte گیلاوند به دماوند قرار گرفته است که شکل ۱ نشانگر نمایی عمومی از این محوطه تاریخی است.

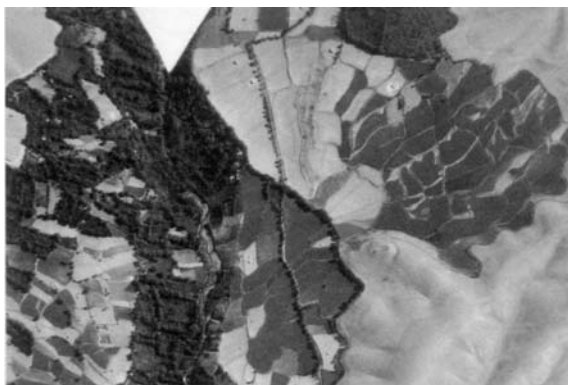


شکل ۱ نمای عمومی محوطه تاریخی ولیران [۱۸]

محوطه تاریخی ولیران در فاصله ۱/۵ کیلومتری جنوب روستای ولیران، بر تپه ماهورهای میان روستای ولیران در سمت شمال روستای شلمبه و در حاشیه شرقی رودخانه تار قرار دارد که در شکل‌های ۲ و ۳ مشخص است.

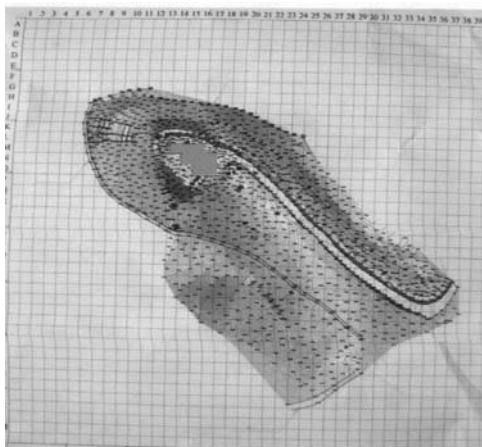


شکل ۲ موقعیت محوطه تاریخی ولیران [۱۸]



شکل ۳ عکس هوایی محوطه تاریخی ولیران [۱۱]

این محوطه باستانی در ۲۵ درجه و ۳ دقیقه و ۲۴۲ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۰۳ ثانیه عرض جغرافیایی قرار دارد. موضع‌نگاری این محوطه در شکل ۴ آمده است.



شکل ۴ موضع‌نگاری محوطه تاریخی ولیران

این محوطه در تیرماه سال ۱۳۸۵ طی یک عملیات خاکبرداری که دانشگاه علم و صنعت در منطقه انجام می‌داد، کشف شد [۱۱، صص ۲۹-۲۳]. پس از آن این منطقه در طول ماههای مرداد و شهریور همان سال حفاری شد. در این کاوش گورستانی متعلق به دوره اشکانی و بقایای یک سایت معماری متعلق به دوره ساسانی به دست آمد. شکل ۵ یک گور متعلق به دوره اشکانیان و شکل ۶ بقایای معماری دوره ساسانیان را نشان می‌دهد.



شکل ۵ گورستان اشکانی ولیران [۱۱]



شکل ۶ بقایای معماری عصر ساسانی [۱۱]

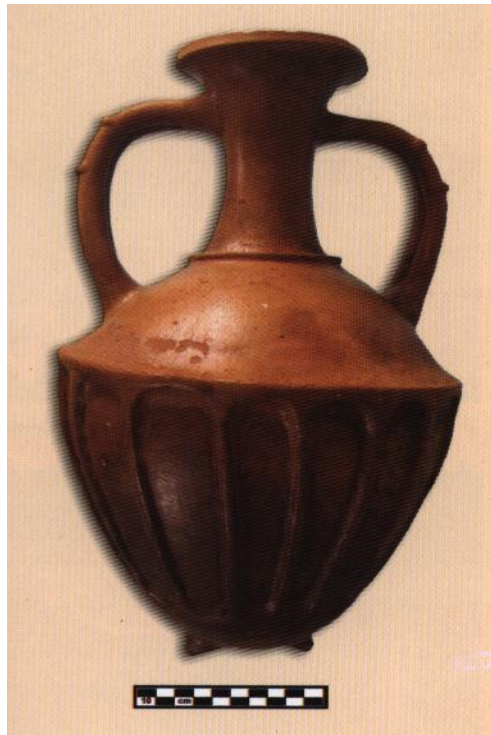
از گورهای دوره اشکانی ولیران، چهار ریتون سفالی، یک نمونه آمفورا و هفت سکه نقره از دوره‌های مهرداد دوم، سنتورک، ارد اول و اردوان دوم به دست آمده که به ترتیب در شکل‌های ۷ تا ۹ آمده است.



شکل ۷ نمایی از پشت و روی یکی از ریتون‌های گور زاغه اشکانی در محوطه تاریخی ایران [۱۸]



شکل ۸ نمایی از پشت و روی یکی از ریتون‌های گور زاغه اشکانی در محوطه تاریخی ولیران



شکل ۹ آمفورا از گور زاغه دوره اشکانی در ولیران

از بقایای عصر ساسانی نیز، سکه‌هایی از دوره خسرو دوم و سفال‌نوشته‌هایی به زبان پهلوی ساسانی به دست آمده است.

۴- روش پژوهش

در این تحقیق، اسکلت‌های به‌دست‌آمده از محوطه باستانی ولیران که در محدوده زمانی دوره اشکانی می‌گنجد، در این پژوهش بررسی شد. از آنجا که عناصر تشکیل‌دهنده دندان نسبت به دیگر بخش‌های اسکلت در تغییرات پس از مرگ نفوذپذیری کمتری از خود نشان می‌دهد، برای انجام مطالعات دیرینه‌تغذیه‌شناسی سودمندتر است. ما در این پژوهش هفت نمونه

دندانی و یک نمونه از مجسمه سر آزمایش کردیم. این نمونه‌ها به‌طور تصادفی و بدون توجه به سن و جنس، از تدفینهای مختلفی در محوطه مطالعه انتخاب شد، به گونه‌ای که هر دندان متعلق به یک اسکلت جداگانه بود، نمونه‌های مطالعه شده به‌شدت مضطرب و پوسیده بود. البته استخوانهای دراز غالباً سالم بود و این پوسیدگی شامل دندانها و مجسمه‌ها می‌شد که شکل ۱۰ نشانگر این وضعیت است.



شکل ۱۰ پوسیدگی اسکلت‌های اشکانی محوطه ولیران

نمونه‌های مطالعه شده ابتدا با یک بروس نرم و ضربه ملایم آب مقطر شسته شدند تا گرد و غبار از آنها زدوده شود سپس در هوای معمولی اتاق قرار گرفتند تا خشک شوند. در آزمایشگاه طیف‌سنجی اشعه مجهول، نمونه‌ها به پودر تبدیل شده و به‌صورت قرص در آمدند. آنگاه آنها در آب گرم شسته و در محیط بسته حرارتی خشک شدند و سپس به‌وسیله دستگاه طیف‌سنج اشعه مجهول، تجزیه شدند.

برای آماده‌سازی نمونه‌ها برای انجام آزمایشهای طیف‌سنجی دو راه وجود دارد. یکی این‌که نمونه را با استفاده از اره‌های مخصوص، لایه‌لایه کرده و آنگاه هر لایه را جداگانه آزمایش کرد.



در این صورت می‌توان تأثیرات محل تدفین را نیز بر شکلگیری ترکیبات استخوانی و دندانی بررسی کرد. اما استفاده از این روش یک عیب بزرگ دارد و آن این است که ترکیبات فلزی اره‌ای که از آن برای لایه‌لایه کردن نمونه مطالعه شده استفاده می‌شود، ممکن است که ساختار شیمیایی نمونه مطالعه شده را تحت تأثیر قرار داده و بنابراین نتایج به‌دست‌آمده را با درصدی از خطا همراه سازد.

راه دوم این است که نمونه‌ها را به‌صورت پودر درآورده و سپس پودر حاصل شده را آزمایش کرد. در این روش از آنجا که بخش درونی و بخش بیرونی نمونه استخوانی و یا دندانی با هم پودر می‌شوند، دیگر نمی‌توان اطلاعاتی درباره تأثیرات محل تدفین بر نمونه‌های مطالعه شده به دست آورد.

با این حال روش اخیر این مزیت بزرگ را دارد که ترکیبات شیمیایی نمونه، به علت استفاده از اره - که برای لایه‌لایه کردن نمونه استفاده می‌شود - تغییر نمی‌کند. درمجموع به‌نظر می‌رسد که استفاده از روش دوم یعنی پودر کردن نمونه‌ها بهتر از روش اول است. ما نیز در این پژوهش از همین روش استفاده کرده‌ایم.

۵- یافته‌های پژوهش و بحث

روش استفاده‌شده، طیف‌سنجی اشعه مجهول، برای مطالعه میزان غلظت عناصر در استخوان یک روش سودمند است؛ چرا که میزان کمی از استخوان برای انجام چنین آزمایشهایی کفایت می‌کند. بعلاوه تعیین غلظت تقریباً تمامی عناصر تشکیل‌دهنده بافت استخوانی با استفاده از روش مذکور ممکن است.

در پژوهش حاضر غلظت عناصر تشکیل‌دهنده دندانها و یک تکه جمجمه از طریق روش تجزیه عنصری اشعه مجهول به دست آمد. میزان این عناصر در جدول ۱ تعیین شده است.

جدول ۱ نتایج به دست آمده از طیف سنجی با اشعه مجهول بر نمونه های استخوانی باستانی

نمونه	sr	Ba	Ca	Fe203	Mno	Mgo	Zn	Pb	Cu
	(ppm)	(ppm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
۷۰۷-۱*	۳۳۱	۱۷۰	۴۹,۷۳۵	>>	۰,۰۰۹	۰,۱۵۳	۲۹۲	۱۴۷	۱۵
۷۰۷-۲	۲۳۳	۳۳	۵۲,۳۱۱	>>	۰,۰۰۷	۰,۲۶۶	۳۱۷	۲۶۴	۴۹
۷۰۷-۳	۲۹۵	۳۸	۴۹,۸۲	>>	۰,۰۵۷	۰,۲۸۱	۳۰۴	۳۰۳	۱۸
۷۰۷-۴	۲۵۸	۱۹۴	۴۳,۴۲۲	>>	۰,۰۰۱	۰,۳۴۷	۲۴۵	۲۴۴	۱۳
۷۰۷-۵	۲۳۹	۲۶۸	۴۲,۱۰۷	۰,۰۴	۰,۰۰۱	۰,۳۳۳	۱۹۱	۳۸۰	۱۸
۷۰۷-۶	۳۱۲	۲۲۶	۴۵,۸۳۶	۰,۰۹	۰,۰۰۱	۰,۲۵۴	۲۵۰	۲۱۲	۱۵
۷۰۷-۷	۲۷۷	۲۸۵	۴۲,۱۷۸	۰,۰۷	>>	۰,۳۳۷	۲۴۵	۲۳۴	۱۴
۷۰۷-۸	۳۱۱	۱۱۳	۴۱,۷۸	۰,۰۹	۰,۰۰۱	۰,۳۵۳	۲۶۳	۲۳۲	۱۸

* نمونه ۷۰۷-۱ از جمجمه و دیگر نمونه ها از دندان گرفته شده اند.

در جدول ۱ میزان بعضی از عناصر به صورت واحد در هزار و بعضی به صورت درصد بیان شده اند. جدول فوق بیان کننده غلظت فلزاتی مانند فلور، مس، باریوم، کلسیم، استرانسیوم، آلومینیوم، آهن، منگنز، سرب و روی است.

چنانکه پیش از این نیز ذکر شد، اسکلت های باستانی محوطه ولیران بسیار مضطرب و پوسیده بود. به نحوی که هنگام برداشتن آنها تعدادی از آنها می شکست و یا این که پودر می شد. کلسیم و فسفر جزء عناصری هستند که منجر به حفظ مواد تشکیل دهنده استخوان می شوند، بنابراین با توجه به وضعیت پوسیدگی استخوانها این احتمال وجود داشت که درصد کلسیم و فسفر استخوانها کم باشد. اما نتایج به دست آمده چنین فرضیه ای را منتفی کرد. باتوجه به این که منطقه ولیران یک منطقه مرطوب است، می توان پذیرفت که پوسیدگی



اسکلت‌های باستانی منطقه ولیران احتمالاً به دلیل رطوبت خاک بوده است. درجه رطوبت خاک به حدی بود که موقع باز شدن گور به راحتی می‌شد با لمس خاک، رطوبت آن را حس کرد. میزان کلسیم در نمونه‌های به دست آمده به حدی بود که می‌توان گفت فرآورده‌های لبنی بخش قابل توجهی از غذاهای مصرفی مردم این منطقه در دوره اشکانی بوده است. سطح باریوم چه در نمونه‌های باستانی و چه در نمونه‌های امروزی در فرآورده‌های غذایی دریایی بسیار پایین و در حیواناتی که در خشکی زندگی می‌کنند، در حد بالایی است، اما غلظت استرانسیوم در نمونه‌های دریایی نسبت به نمونه‌های خشکی بیشتر است.

میزان باریوم در نمونه‌های به دست آمده از ولیران بیش از نیمی از میزان استرانسیوم است. این درصد بالای باریوم را تنها جینگوا و همکارانش از یکمحوطه باستانی مربوط به قرن چهار ق.م در بلغارستان به دست آورده‌اند. وی این میزان را دلیلی بر استفاده از غذاهای گیاهی می‌داند و از آنجا که منطقه مطالعه شده وی در امتداد ساحل دریا قرار دارد، وی معتقد است که در منطقه یاد شده از غذاهای دریایی نیز - البته به میزان کم - استفاده می‌کرده‌اند [۱، صص ۷۸۶-۷۸۵].

در مورد ساکنان منطقه ولیران می‌توان گفت که آنان در رژیم غذایی خود هم از غذاهای گیاهی و هم از غذاهای گوشتی استفاده می‌کرده‌اند و البته غذاهای دریایی نیز بخش اندکی از رژیم غذایی آنان را تشکیل می‌داده است.

اگر چه میزان استرانسیوم به حدی است که استفاده از غذاهای گیاهی را تأیید می‌کند، اما این میزان از استرانسیوم آن قدر نیست که بتوان گفت از غذاهای گیاهی بیش از غذاهای گوشتی استفاده می‌شده است. به خصوص که اندک بودن میزان منگنز و منیزیوم نیز به درست بودن فرضیه اخیر کمک می‌کند. درواقع غلظت دو عنصر اخیر در غذاهای گیاهی بیش از غذاهای گوشتی است، اما در نمونه‌های مطالعه شده، درصد دو عنصر اخیر به‌طور قابل توجهی بالا نبود. به علاوه درصد استرانسیوم در نمونه‌های به دست آمده در حدی است که می‌توان نتیجه گرفت که ساکنان منطقه ولیران بیش از آن که از گیاهان گوشتی استفاده کنند، از گیاهان علفی استفاده می‌کرده‌اند.

در نمونه‌های به دست آمده از منطقه ولیران میزان باریوم در حد بسیار بالایی قرار داشت، به گونه‌ای که میزان باریوم حدود ۰/۵۸ استرانسیوم بود. این میزان از باریوم به درستی

مشخص می‌کند که جانوران آبی به میزان بسیار کمی در این منطقه مصرف می‌شده‌اند. نتایج به دست آمده اختلاف معناداری را از نظر غلظت باریوم در برخی نمونه‌ها به دست می‌دهد. به گونه‌ای که میزان باریوم در نمونه‌های ۷۰۷-۲ و ۷۰۷-۳ بسیار پایین و در نمونه‌های ۷۰۷-۵، ۷۰۷-۶ و ۷۰۷-۷ در حد بالایی قرار دارد (جدول ۱). از آنجا که عوض شدن ترکیبات استخوانهای انسان به حداقل ده سال زمان احتیاج دارد و در مورد دندانها، این ترکیبات بعد از شکلگیری در دوره جوانی دیگر تغییر نمی‌کنند، می‌توان گفت که ساکنان منطقه مذکور، ولیران را به عنوان یک گذرگاه می‌شناخته‌اند، نه منطقه‌ای که سکونت‌گاه دائمی آنها باشد. این منطقه احتمالاً مرکز تجاری و یا پادگان نظامی بوده است.

میزان سرب در نمونه‌های مطالعه شده در حد بسیار بالایی قرار دارد. این میزان در نمونه شماره ۷۰۷-۵ بیش از دیگر نمونه‌ها بوده و رقم ۳۸۰ را نشان می‌دهد. این در حالی است که چنین میزانی از سرب به ندرت در اسکلت‌های انسانی (چه نمونه‌های جدید و چه نمونه‌های باستانی) دیده شده است.

بیش از ۹۰٪ سرب بدن در استخوان قرار دارد. اگرچه جایگزینی سرب به آهستگی انجام می‌شود، اما به طور کلی دوره تأثیرگذاری سرب محیط بر استخوان، فاصله زمانی ۲۷-۱۶ سالگی را دربرمی‌گیرد.

توزیع سرب در بخشهای مختلف اسکلت انسان به طور یکنواخت انجام نمی‌شود، بنابراین میزان سربی که از دندانهای یک اسکلت به دست می‌آید، تفاوت معناداری با میزان سرب در دیگر بخشهای اسکلت دارد. البته میزان سرب در اسکلت‌های انسان ارتباطی با سن او ندارد. مشابه میزان سربی را که در دندانهای محوطه باستانی ولیران به دست آمد، تا کنون چندین محقق گزارش کرده‌اند. مارکوس و همکاران او به بررسی میزان سرب در دندان انسانهای بیمار امروزی پرداختند. این محققان میزان بالای سرب را در دندانهای مطالعه شده، ناشی از بیماریهای کبدی می‌دانند [۱۲، صص ۱۶۸۰-۱۶۷۵].

زاپاتا روی استخوانهای دراز اسکلت‌های انسانی دوره رومی (قرن چهارم تا قرن ششم میلادی) پیدا شده از یکی از مناطق ساحلی جنوب شرق اسپانیا، به تجزیه عنصری پرداخته و میزان سرب بسیار زیادی را حتی بیشتر از نمونه‌های ولیران، گزارش می‌دهد. وی این میزان



زیاد سرب در اسکلت‌های انسانی را بازتابی از تغییرات پس از مرگ و نیز وجود سرب در آبهای آشامیدنی ساکنان محوطه مطالعه شده در طول زندگی می‌داند [۸۰، زیر چاپ]. گارسیا محقق دیگری است که به همراه همکاران خود در تجزیه عنصری که روی دندانهای انسانی انجام داد، مشابه میزان سربی را گزارش داد که ما از دندانهای محوطه باستانی ولیران به دست آورده‌ایم. این محققان بخشهای مختلف اسکلت‌های انسانی را از چندین دوره مختلف (از دوره نوسنگی تا زمان حال)، به‌طور جداگانه آزمایش کردند. آنان معتقدند که میزان سرب در اسکلت انسان، هم می‌تواند برگرفته از محیط زندگی شخص در طول حیاتش باشد و هم می‌تواند بازتابی از آن مواد غذایی باشد که وی مصرف می‌کرده است [۱۳، صص ۷۲-۵۱].

با توجه به آنچه گذشت، می‌توان گفت که میزان بالای سرب در نمونه‌های بررسی شده، می‌تواند ناشی از تغییراتی باشد که پس از مرگ در عناصر تشکیل‌دهنده استخوان رخ داده است. البته از آنجا که میزان سرب در هر یک از نمونه‌های بررسی شده - که همه از یک محوطه برداشته شده‌اند - تفاوت معناداری را با هم نشان می‌دهند، پذیرش فرضیه اخیر اندکی مشکل می‌نماید. وجود بیماریهای کبدی میان همه ساکنان محوطه مطالعه شده نیز چندان منطقی نیست، اما این فرضیه که سرب از طریق تغذیه و نوشیدن آب به بدن اسکلت‌های بررسی شده، منتقل می‌شده است، قابل قبولتر است.

۶- نتیجه‌گیری

نتایج آزمایشگاهی به‌دست آمده، نشان می‌دهد که در دوره اشکانی حیوانات زیادی در منطقه ولیران وجود داشته و مردم این منطقه از گوشت آنها برای تغذیه خود استفاده می‌کرده‌اند. غذاهای گیاهی نیز از میان گیاهانی که در منطقه ولیران می‌رویده، انتخاب و مصرف می‌شده‌اند. در حین کاوش در محوطه باستانی ولیران بقایای گردو نیز به‌دست آمد. با توجه به این که گردو امروزه نیز در منطقه دماوند می‌روید، می‌توان پذیرفت که پوشش گیاهی منطقه مطالعه شده از دوره اشکانی تا روزگار حاضر تغییر چندانی نداشته است. بالا بودن میزان سرب در اسکلت‌های بررسی شده، نشان می‌دهد که آب مصرفی ساکنان این منطقه، درصد بالایی از سرب را داشته است. وجود چشمه‌های آب معدنی فراوان در

محدوده دماوند، این فرضیه را بیشتر به واقعیت نزدیک می‌کند.
چنان‌که گذشت، ساکنان منطقه ولیران از گوشت و مواد لبنی در تغذیه خود استفاده می‌کرده‌اند، بنابراین می‌توان پذیرفت که ساکنان این منطقه بیشتر به دامپروری اشتغال داشته‌اند. منطقه ولیران به دلیل وضعیت جغرافیایی مساعد خود امکانات لازم را برای استقرار انسانی در دوره اشکانی فراهم می‌کرده است.

۷- سپاسگزاری

آقای محمد صفاری تجزیه عناصر دندانی را برای این پژوهش انجام داد، با سپاس از لطف وی.

۸- منابع

- [1] Djingova R. & etc.; "On the possibilities of inductively coupled plasma mass spectrometry for analysis of archaeological bones for reconstruction of pale diet"; Talanta, Vol. 63, Issue 3. , pp. 785-789, 2004.
- [2] Klepinger L.; "Nutritional assessment from bone"; Anthropology, Vol. 13 , pp. 75-95, 1984.
- [3] Schutkowski H., Herrmann B.; "Diet, status and decomposition at Weingarten: trace element and isotope analyses on early mediaeval skeletal material"; Journal of Archeological Science, No.26, pp. 675-685, 1999.
- [4] Carvalho M.L. & etc.; Analysis of human teeth and bones from the Chalcolithic period by X-ray spectroscopy; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B., No. 168, pp. 559-565, 2000.
- [5] Carvalho M.L. & etc.; "Trace elements distribution and post- Mortem intake in human bones from middle age by total reflection X ray fluorescence"; Spectrochimica Acta, Part B, No. 59, pp.1551-1557, 2004.
- [6] Gonzalez R.E. & etc.; Palaeonutritional analysis of the pre-Hispanic