

Assessment of the Relationship Between the Prevalence of Dental Fluorosis and Groundwater Fluoride Levels in Southeastern Iran

Fatemeh Najminouri¹, Morteza Tavalaei^{2*}, Pedram Esmaeelpour³

¹*Social Determinants on Oral Health Research Center, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran.*

²*Department of Public Health, Case Western Reserve University, Cleveland, OH, USA*

³*General Dentist, Kerman, Iran*

Received: 28 May 2025, Accepted: 20 September 2025

Background: Fluoride plays a dual role in oral health; it enhances enamel resistance to decay by forming fluorapatite, yet chronic ingestion of high levels (>1 ppm) during tooth development can lead to dental fluorosis. Groundwater is the primary source of fluoride intake. This study utilized Geographic Information Systems (GIS) to examine the spatial distribution of dental fluorosis and its correlation with groundwater fluoride levels across 13 regions of Kuhbanan County in southeastern Iran.

Methods and Materials: In this cross-sectional analytical study, 20 water samples were collected from drinking water sources in residential areas. Fluoride levels were determined using a DR2010 Hach Spectrophotometer. Concurrently, 216 individuals aged 7-40 years were examined for dental fluorosis using Dean's Index. The prevalence of fluorosis and the distribution of fluoride concentrations were mapped using GIS.

Results: The majority of examined individuals were male (54.6%) and aged 7-15 years (48.1%). Severe dental fluorosis was observed in 24 individuals (11.1%), with the highest prevalence in areas with elevated fluoride concentrations. Water fluoride levels ranged from 0.07 ppm to 1.54 ppm (Salman Shahr: 1.54 ppm; Ghanat Gohan: 0.07 ppm), with only Salman Shahr exceeding the recommended limit (1 ppm).

Conclusion: GIS mapping revealed a clear positive correlation between the prevalence and severity of dental fluorosis and groundwater fluoride levels in southeastern Iran. This approach can be valuable for predicting fluorosis risks in other regions and guiding preventive public health interventions.

Keywords: Fluoride, Dental Fluorosis, Geographic Information Systems, Southeast Iran

***Corresponding Authors:** morteza.tavallaie@gmail.com

➤ **Please cite this paper as:** Najminouri F, Tavalaei M, Esmaeelpour P. Assessment of the relationship between the prevalence of dental fluorosis and groundwater fluoride levels in southeastern Iran. *J Mashhad Dent Sch* 2025; 49(3):343-54.

➤ **DOI:** [10.22038/jmds.2025.26698](https://doi.org/10.22038/jmds.2025.26698)



بررسی ارتباط شیوع فلئوروزیس دندانی و میزان فلوراید آب های زیرزمینی در جنوب شرق ایران

فاطمه نجمی نوری^۱، مرتضی تولایی^{۲*}، پدram اسامیل پور^۳

^۱مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت دهان و دندان، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران
^۲دپارتمان بهداشت عمومی، دانشگاه کیس وسترن رزرو، کلیولند، اوهایو، ایالات متحده آمریکا
^۳دندانپزشک عمومی، کرمان، ایران

تاریخ ارائه مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۰۷ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۹

چکیده

مقدمه: فلوراید به عنوان یک عنصر دوگانه در سلامت دهان و دندان عمل می کند؛ از یک سو با تشکیل فلوروآپاتیت موجب افزایش مقاومت مینای دندان در برابر پوسیدگی می شود و از سوی دیگر، مصرف مزمن مقادیر بیش از ۱ ppm طی دوره تشکیل دندان ها می تواند منجر به فلوروزیس دندانی گردد. آب های زیرزمینی را می توان اصلی ترین منبع فلوراید دانست. هدف این مطالعه، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با هدف بررسی الگوی توزیع فضایی فلوروزیس دندانی برای بررسی ارتباط مکانی میزان فلوراید آب های زیرزمینی با شیوع میزان فلوروزیس در ۱۳ منطقه شهرستان کوهبنان در جنوب شرق ایران بود.

مواد و روش ها: در این مطالعه مقطعی-تحلیلی، ۲۰ نمونه آب از ۱۳ منطقه جنوب شرق ایران از آب شرب مناطق مسکونی جمع آوری گردید. آنالیزهای شیمیایی با دستگاه Spectrophotometer uv/DR2010 Hach انجام گرفت. سطح فلوراید در آب به وسیله نمونه های جمع آوری شده از مناطق، تعیین شد. همزمان ۲۱۶ نفر در محدوده سنی ۷ تا ۴۰ سال با استفاده از شاخص Dean تحت معاینه دهان و دندان قرار گرفتند. شیوع فلوروزیس و توزیع غلظت فلوراید آب نیز در مناطق مختلف، بر روی نقشه GIS ترسیم گردید.

یافته ها: اکثر افراد معاینه شده در این مطالعه شامل مردان (۵۴٪/۶) و در رده ی سنی ۷ تا ۱۵ سال (۴۸٪/۱) بودند. شیوع فلوروزیس شدید در ۲۴ نفر (۱۱٪/۱) و بیشترین موارد در مناطق با غلظت بالاتر فلوراید مشاهده شد. نتایج نشان داد که غلظت فلوراید آب در محدوده ۰/۰۷ تا ۱/۵۴ ppm متغیر بود (سلمان شهر ۱/۵۴ ppm و قنات کهن ۰/۰۷ ppm) و تنها منطقه سلمان شهر از حد مجاز (۱ ppm) فراتر رفته بود.

نتیجه گیری: نقشه GIS واضحاً ارتباط مثبتی بین شیوع و شدت فلوروزیس و سطح فلوراید آب منطقه جنوب شرق ایران را نشان داد که می تواند جهت پیشگویی خطرات فلوروزیس در سایر مناطق برای برنامه های پیشگیری منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: فلوراید، فلوروزیس، سامانه اطلاعات جغرافیایی، جنوب شرق ایران

مجله دانشکده دندانپزشکی مشهد / سال ۱۴۰۴ / دوره ۴۹ / شماره ۳: ۳۴۳-۵۴

* مؤلف مسؤول، نشانی: دانشگاه کیس وسترن رزرو، کلیولند، اوهایو، ایالات متحده آمریکا

مقدمه

فلوراید در زمان تشکیل مینای دندانی با تبدیل هیدروکسی آپاتیت به فلورو آپاتیت که از حلالیت کمتری در اسید برخوردار است، باعث استحکام دندان ها می گردد. از طرفی مصرف طولانی مدت آب حاوی مقادیر بالای فلوراید (بیش از ۱ ppm) در دوره تشکیل دندان، باعث ایجاد فلئوروزیس دندانی می شود. سازمان بهداشت جهانی، میزان فلوراید مطلوب برای کاهش پوسیدگی دندانی بدون خطر ایجاد فلئوروزیس را ۰/۷ ppm اعلام نموده است.^(۱) آلودگی فلوراید در آبهای زیرزمینی می تواند نتیجه عوامل متعددی همچون ژئوشیمی منطقه، pH، دما، انحلال پذیری سنگ های فلئوردار و تمرکز یون های کلسیم و بیکربنات باشد. از آنجا که آبهای زیرزمینی را میتوان اصلی ترین منبع تأمین فلوراید دانست،^(۲،۳) غلظت های بیش از حد آن در این منابع می تواند از طریق آب آشامیدنی به سیستم مواد غذایی هم برسد. عواملی مانند رژیم غذایی، کمبود کلسیم، آب و هوای گرم و مصرف نوشابه ها می توانند از علل تشدید کننده فلوروزیس دندانی باشند.

اولین بار Dean و همکاران^(۴)، رابطه معکوس بین غلظت بهینه فلوراید آب و کاهش پوسیدگی دندانی را نشان دادند.^(۵) با این حال، میزان مازاد آن زیان بخش بوده و موجب کدر شدن مینای دندان و در موارد شدید، تغییر رنگ آن به زرد، قهوه ای و لکه های سیاه در قالب فلئوروزیس دندانی می گردد.^(۶،۷) شاخص Dean به عنوان یک روش استاندارد برای اندازه گیری و ثبت فلوروزیس دندانی معرفی شده است.^(۸،۹)

مطالعات در ایران حاکی از تغییرات گسترده غلظت فلوراید در آب آشامیدنی در مناطق مختلف است که از جمله بالاترین سطوح مربوط به استان کرمان گزارش شده است.^(۵) منطقه کوهبنان در استان کرمان، به دلیل ویژگی های

زمین شناسی معدن خیز، از جمله مناطقی است که سطح فلوراید آب آشامیدنی در آن، اغلب بیش از حد مجاز است.^(۵،۱۰) و مردم آن از شیوع بالای فلئوروزیس دندانی رنج می برند.^(۱۱،۱۲)

در حالی که مطالعات متعددی از جمله پژوهش Derakhshani و همکاران^(۱۲)، در منطقه مجاور زرنند کرمان به بررسی ارتباط فلوراید آب و فلوروزیس پرداخته اند، یک مطالعه جامع و مرجع توسط Dahrazma و همکاران^(۱۳)، بر اساس داده های مطالعه Derakhshani و همکاران^(۱۲)، با حجم نمونه ۵۵۰ نفر از ساکنین منطقه کرمان انجام شد. این تحقیق به بررسی همبستگی قوی بین غلظت فلوراید در آب های زیرزمینی و شیوع فلوروزیس دندانی پرداخت و نقش اصلی زمین شناسی منطقه را در انتشار فلوراید تأیید کرد.

مطالعه حاضر با اذعان به یافته های بنیادی مطالعه Derakhshani و همکاران^(۱۲)، از چند جهت به گسترش دانش در این حوزه کمک می کند. اولاً، این تحقیق به صورت ویژه بر روی منطقه کوهبنان به عنوان یک کانون بحرانی جدید در جنوب شرق ایران با ویژگی های زمین شناسی منحصر به فرد متمرکز بود. در ثانی، از روش های پیشرفته تر میان یابی فضایی برای تهیه نقشه پراکندگی فلوراید استفاده شد. به علاوه، اگرچه حجم نمونه این مطالعه (۲۱۶ نفر) کمتر از مطالعه فوق است، اما استراتژی نمونه برداری بر اساس تقسیم بندی های دقیق تر جغرافیایی طراحی شد تا امکان تحلیل دقیق تری از الگوی توزیع بیماری فراهم گردد. همچنین، در این مطالعه از دستگاه اسپکتروفتومتر UV/DR ۲۰۱۰ Hach^(۱۴) به عنوان یک روش مقرون به صرفه، با دقت قابل قبول و قابل اجرا در شرایط میدانی استفاده شد.

اطلاعات مربوط به منبع آب آشامیدنی آن‌ها ثبت گردید. در گام بعدی معاینه دندان‌ها به جهت بررسی شیوع و شدت فلوروزیس بر اساس شاخص دین (Dean's Index) انجام شد که شدت فلوروزیس را در ۶ درجه طبقه‌بندی می‌کند: طبیعی، مشکوک، بسیار خفیف، خفیف، متوسط و شدید.^(۱۳) آنالیزهای آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام گرفت. برای تحلیل داده‌های کیفی از آزمون کای-دو (Chi-Square) و برای داده‌های کمی از آزمون t مستقل و آنالیز واریانس یکطرفه استفاده شد. سطح معناداری برای تمامی آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

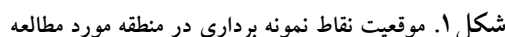
بخش دوم این مطالعه با الهام از پروتکل استاندارد مطالعات اپیدمیولوژیک فلوروزیس^(۱۲)، اما با اصلاحاتی انجام شد. از ۲۰ نمونه آب‌های زیرزمینی، از ۱۳ منطقه کوهبنان نمونه‌برداری شد. (شکل ۱) سپس محتوای فلوراید آن آنالیز گردید. نمونه‌برداری آب با بطری‌های یک لیتری پلی‌اتیلنی انجام گرفت. به منظور جلوگیری از هرگونه آلودگی، بطری‌ها مطابق با پروتکل استاندارد، ابتدا به مدت ۲۴ ساعت در محلول اسید نیتریک ۱۰٪ خیسانده شده و سپس به طور کامل با اسید هیدروکلریک رقیق و در نهایت با آب مقطر شستشو داده شدند. این پروتکل شستشو مشابه روش به کار گرفته شده در مطالعه Derakhshani و همکاران^(۱۳)، در منطقه زرنده است. هر بطری قبل از نمونه‌گیری نهایی، سه بار با آب همان منبع شستشو داده شد تا از آلودگی متقاطع جلوگیری شود. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، انجام آنالیزهای شیمیایی فلورور با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل DR۲۰۱۰، Hach)^(۱۴) بر اساس روش استاندارد SPADNS انجام شد که دقت آن در مطالعات متعدد تأیید شده است.^(۱۵)

لذا مطالعه حاضر باهدف بررسی سطح فلوراید آب منطقه کوهبنان، استان کرمان (محدوده مختصات: ۵۸°۲۵' تا ۳۵°۵۸' شرقی و ۳۰°۰۵' تا ۳۰°۱۵' شمالی) و تطبیق آن با شیوع فلوروزیس دندانی انجام شد.

موارد و روش‌ها

این مطالعه یک پژوهش مقطعی-تحلیلی بود، که پس از کسب مجوز از کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی کرمان با شماره REC.KMU.IR۱۳۹۶.۲۴۶۰ در دو فاز همزمان انجام شد: فاز اول بررسی اپیدمیولوژیک فلوروزیس و فاز دوم سنجش فلوراید آب.

حجم نمونه مورد نیاز برای بخش اپیدمیولوژیک با توجه به شیوع گزارش شده فلوروزیس در مطالعات مشابه در منطقه (حدود ۶۰٪)، با استفاده از فرمول کوکران، با در نظر گرفتن خطای نوع اول ($\alpha = 5\%$ و دقت مطلوب d برابر ۶۰٪)، ۲۱۶ نفر برآورد شد. در بخش اول پراکندگی جغرافیایی موارد فلوروزیس با استفاده از مختصات GPS مراکز جمعیتی هر منطقه ثبت گردید. این داده‌ها همراه با اطلاعات دموگرافیک در نرم‌افزار ArcGIS ۱۰/۸ (Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA) ذخیره و تحلیل شدند. در این مرحله حجم نمونه مطالعه شامل ۲۱۶ فرد در گروه سنی ۷ تا ۴۰ سال بودند که به صورت نمونه‌گیری خوشه‌ای از بین خانوارهای ساکن در هر منطقه انتخاب شدند. معیارهای خروج از مطالعه شامل عدم همکاری، بی‌دندانی، افراد دارای بیماری سیستمیک شدید و افراد تحت درمان ارتدنسی یا زیبایی با روکش دندان بود. از کلیه داوطلبان شرکت‌کننده در مطالعه یا والدین آن‌ها رضایت‌نامه کتبی گرفته شد. سپس اطلاعات دموگرافیک و



جدول ۳، پارامترهای اندازه گیری شده در محل نمونه برداری آب، به همراه محلهای مختلف نمونه برداری در منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. در نمونه برداری برخی از پارامترها در محل نمونه برداری اندازه گیری شد که این پارامترها شامل دمای آب، منبع نمونه برداری و مختصات محل بود. اکثر مناطق مورد بررسی از آب لوله کشی و

یافته ها

در جدول ۲، درصد شیوع فلئوروزیس در افراد مورد بررسی و در مناطق منتخب نشان داده شده است. بر طبق

جدول ۱. نتایج توصیفی ویژگی‌های جمعیت شناختی نمونه مورد بررسی

ویژگی	تعداد	درصد
جنس	زن	۹۸
	مرد	۵۴/۶
	کل	۲۱۶
سن	زیر ۷ سال	۱
	۷ - ۱۵ سال	۱۰۴
	۱۶ - ۲۵ سال	۶۴
	۲۶ - ۳۵ سال	۳۰
	۳۶ - ۴۵ سال	۱۴
	۴۶ سال و بالاتر	-
	بدون پاسخ	۳
	کل	۲۱۶
		۱۰۰

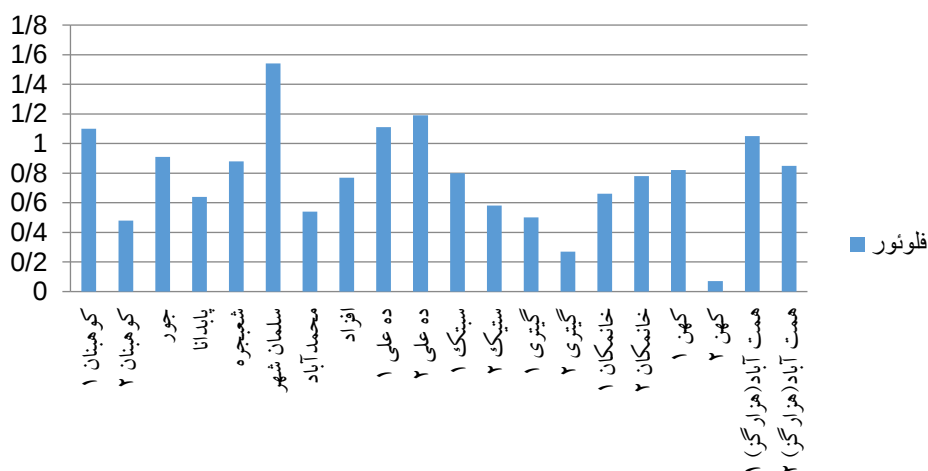
جدول ۲. توزیع فراوانی نمونه‌های تحت مطالعه از نظر وضعیت فلونوروزیس دندانی

نام محل	خیلی خفیف	خفیف	متوسط	شدید	کل
	تعداد	تعداد	تعداد	تعداد	
	درصد	درصد	درصد	درصد	
کوهستان (۱،۲)	۲۶	۴	۲۲	۱۲	۶۴
	۴۰/۶	۶/۳	۳۴/۴	۱۸/۸	
جور	۶	۶	۸	۱	۲۱
	۲۸/۵	۲۸/۵	۳۸	۵	
پابدا نا	۸	۴	۵	۱	۱۸
	۴۴	۲۲	۲۸	۶	
شعبجره	۵	۵	۳	۰	۱۳
	۳۸/۵	۳۸/۵	۲۳		
سلمان شهر	۳	۳	۴	۱	۱۱
	۲۷/۳	۲۷/۳	۳۶/۴	۹	
محمدآباد	۰	۳	۵	۲	۱۰
		۳۰	۵۰	۲۰	
افزار	۳	۲	۱	۱	۷
	۴۳	۲۹	۱۴	۱۴	
ده علی (۱،۲)	۴	۲	۶	۰	۱۲
	۳۳	۱۷	۵۰		
سبتک (۱،۲)	۳	۴	۶	۱	۱۴
	۲۱/۵	۲۸/۵	۴۳	۷	
گیتری (۱،۲)	۰	۴	۴	۱	۹
		۴۴/۵	۴۴/۵	۱۱	
خانمکان (۱،۲)	۴	۳	۴	۰	۱۱
	۳۶/۴	۲۷/۲	۳۶/۴		
کهن	۲	۳	۵	۱	۱۱
	۱۸/۲	۲۷/۳	۴۵/۵	۹	
همت آباد (هزارگز (۱،۲)	۲	۳	۶	۳	۱۴
	۱۴	۲۱/۵	۴۳	۲۱/۵	

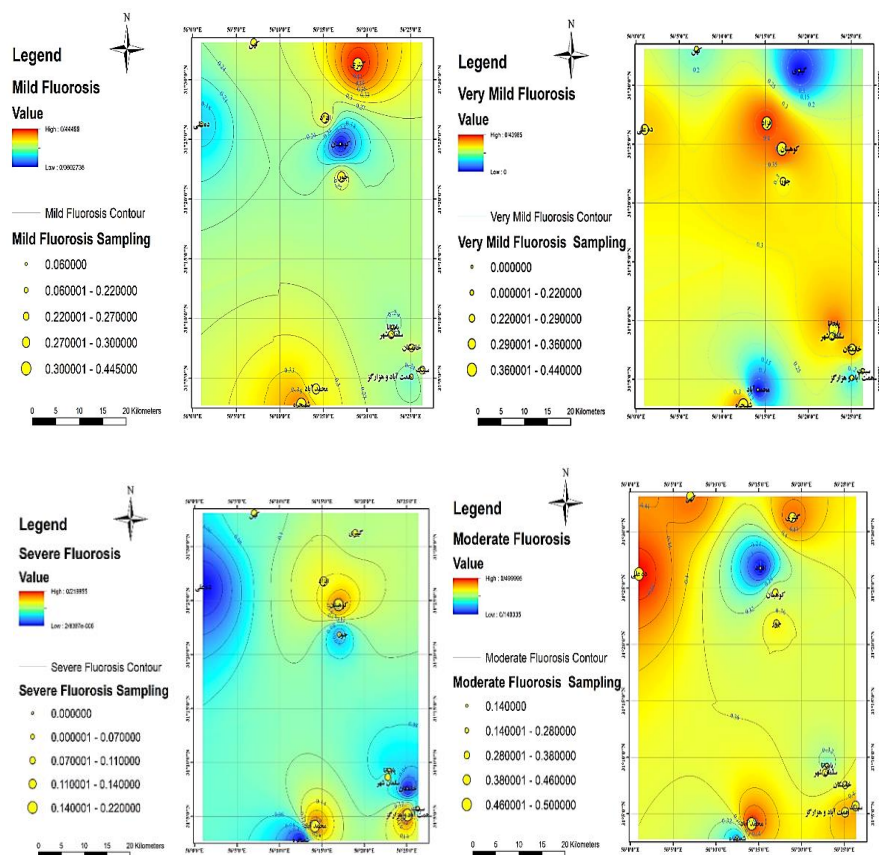
جدول ۳. مقادیر و پارامترهای اندازه گیری شده آب در محل های نمونه برداری

نام محل	PH آب	دما (درجه)	منبع آب	فلئور (ppm)
کوهبنان ۱	۷/۷۵	۳۰	لوله کشی	۱/۱
کوهبنان ۲	۷/۹۳	۲۷	تصفیه	۰/۴۸
جور	۷/۷۳	۲۵	لوله کشی	۰/۹۱
پابدانا	۷/۹۳	۲۶	لوله کشی	۰/۶۴
شعبجره	۷/۸۳	۳۲	لوله کشی	۰/۸۸
سلمان شهر	۸/۱۶	۳۱	لوله کشی	۱/۵۴
محمدآباد	۷/۸۵	۲۹	لوله کشی	۰/۵۴
افزاد	۸	۲۹	لوله کشی	۰/۷۷
ده علی ۱	۸/۰۷	۳۱	منبع	۱/۱۱
ده علی ۲	۸/۱	۲۸	لوله کشی	۱/۱۹
سبتک ۱	۷/۵۸	۳۱	لوله کشی	۰/۸
سبتک ۲	۸/۰۴	۳۵	تانکر	۰/۵۸
گیتری ۱	۸/۱۴	۲۷	تانکر و چشمه	۰/۵
گیتری ۲	۷/۷۷	۲۳	قنات	۰/۲۷
خانمکان ۱	۷/۸۶	۱۸	چشمه	۰/۶۶
خانمکان ۲	۷/۷۷	۲۸	لوله کشی	۰/۷۸
کهن ۱	۷/۹۲	۳۵	لوله کشی و تانکر	۰/۸۲
کهن ۲	۸/۰۸	۱۵	قنات فثقتات	۰/۰۷
همت آباد (هزارگز) ۱	۷/۷۳	۲۷	لوله کشی	۱/۰۵
همت آباد (هزارگز) ۲	۸/۱۶	۳۰	تانکر	۰/۸۵

فلئور



نمودار ۱. نمودار تغییرات (افزودگی و کاهش) فلئور در آب منطقه مورد مطالعه



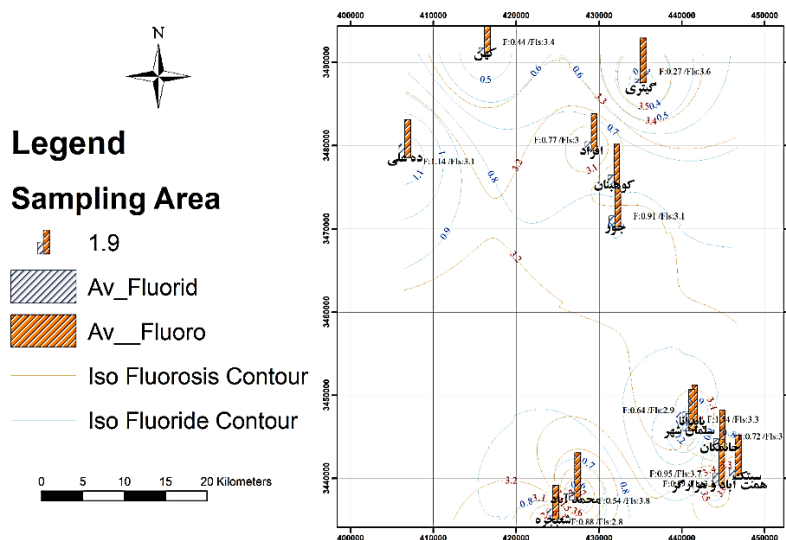
شکل ۲. نقشه توزیع فضایی فلئوروزیس دندانی بر اساس شاخص دین (Dean's Index) همراه با غلظت فلوراید آب (ppm)

تجزیه و تحلیل رگرسیون لجستیک نشان داد که به ازای هر ۱ ppm افزایش فلوراید آب، احتمال ابتلا به فلوروزیس متوسط تا شدید ۱/۸ برابر افزایش می‌یابد (OR=۱/۸; ۹۵% CI: ۱/۴-۲/۳). همچنین، ساکنان مناطق با ارتفاع بالاتر (بیش از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا) ۲/۳ برابر بیشتر در معرض خطر فلوروزیس شدید بودند (OR=۲/۳; ۹۵% CI: ۱/۷-۳/۱).

شکل ۲، نمای کلی توزیع فضایی شیوع فلوروزیس دندانی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین شیوع در مناطق مرکزی (کوهبنان ۱ و ۲)

بقیه مناطق از آب قنات و تانکر استفاده می‌کردند. PH آبهای نمونه برداری شده نیز بین ۷/۵ تا ۸/۲ در مناطق مختلف بود و در محدوده مطلوب قرار داشت. بیشترین میزان فلئور در سلمان شهر با غلظت ۱/۵۴ ppm بود و کمترین میزان فلئور در منطقه کهن با آب قنات با غلظت فلئور ۰/۰۷ ppm بود.

نمودار ۱ نیز تغییرات فلئور نسبت به مقدار مجاز را در مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر این اساس فلئور در مناطق نمونه برداری غلظتی کمتر از حد مجاز داشت و فقط در منطقه سلمان شهر غلظت بالاتر از حد مجاز بود (۱/۵۴ ppm).



نمودار ۲. نمودار GIS تطابق غلظت فلوراید و شیوع فلوروزیس در منطقه مورد مطالعه

با شیوع فلوروزیس دندانی مشخص و مشهود است. نقشه‌های GIS در این مطالعه نه تنها ابزاری برای نمایش داده‌ها، بلکه برای شناسایی "نقاط داغ" (Hot Spots) فلوروزیس بودند. این یافته‌ها اهمیت استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار را در مدیریت بهداشت عمومی مناطق اندمیک فلوروزیس برجسته می‌سازد. به طور کلی در مناطق مورد بررسی، همان طور که در نتایج آورده شده است، افراد دارای درجه ای از فلوروزیس بر اساس شاخص اندازه گیری Dean بودند و در میان آن‌ها ۱۱/۱ درصد هم دارای فلوروزیس شدید بودند. همچنین بر اساس تحلیل و بررسی آب منطقه مورد مطالعه مشخص شد که اکثر مناطق مورد بررسی از آب لوله کشی و بقیه مناطق از آب قنات و تانکر استفاده می‌کردند. Ph آبهای نمونه برداری شده نیز بین ۷/۵ تا ۸/۲ در مناطق مختلف بود و در محدوده مطلوب قرار داشت. بیشترین میزان فلوروزیس در سلمان شهر با غلظت ۱/۵۴ ppm بود و کمترین میزان فلوروزیس در منطقه کهن با آب قنات با غلظت فلوروزیس ۰/۰۷ ppm بود. بر این اساس فلوروزیس در مناطق نمونه برداری غلظتی پایین تر از حد مجاز داشت و فقط در منطقه سلمان شهر فلوروزیس با میزان ppm

و شمالی (سلمان شهر) متمرکز است که با مناطق دارای غلظت بالاتر فلوراید در آب (بیش از ۱ ppm) مطابقت دارد. نمودار ۲، تطابق میزان غلظت فلوراید و میزان شیوع فلوروزیس را به صورت لایه‌های همپوشان GIS نشان می‌دهد و همپوشانی دقیق‌تری از غلظت فلوراید آب (خطوط کانتور) با نقاط شیوع فلوروزیس (نقاط رنگی) ارائه می‌دهد. مناطق با رنگ قرمز (غلظت فلوراید $< 1 \text{ ppm}$) با مناطق با نقطه چین قرمز (شیوع فلوروزیس $< 30\%$) همپوشانی قابل توجهی دارند. این همپوشانی فضایی با ضریب کاپای ۰/۷۳ (۰/۸۱-۰/۶۵) (۹۵٪ CI) معنی‌دار بود که نشان‌دهنده ارتباط قوی بین دو متغیر در سطح جغرافیایی است.

بحث

هدف اصلی مطالعه حاضر بررسی میزان پراکندگی فلوروزیس بر روی نقشه GIS و نمایش ارتباط آن با میزان فلوروزیس آب آشامیدنی در منطقه کوهبنان بود. همانطور که نتایج تحقیق در حوزه نقشه GIS و ضریب همبستگی نشان داد، ارتباط مستقیم میان میزان غلظت فلوروزیس موجود در آب

در منطقه جنوب شرق ایران وجود لایه های ماسه سنگ، سیاتستون و رس سنگ با میان لایه های زغال و همچنین لایه های دولومیتی، آهکی، شیلی و تراس های آبرفتی ناشی از آن ها موجب انحلال ترکیبات فلئور در آب های عبوری از آن ها و ورود آن به آب های زیرزمینی و آشامیدنی منطقه گردیده است. با توجه به اینکه مقدار فلوراید آب آشامیدنی در کوهبنان $2/38$ میلی گرم در لیتر و ارتفاع آن 2000 متر بالاتر از سطح دریا است، به نظر می رسد ارتفاع یک عامل تأثیرگذار بر روی شیوع و شدت فلوروزیس دندانی باشد.^(۹،۱۲)

نتایج نقشه های GIS مطالعه حاضر نشان می دهد که بین فلئور موجود در آب با میزان شیوع فلئوروزیس دندانی در منطقه مورد مطالعه رابطه وجود دارد، به طوریکه با افزایش میزان فلئور موجود در آب، شیوع فلئوروزیس دندانی نیز گسترش می یابد.

در مطالعه Derakhshani و همکاران^(۱۲)، از طریق نقشه های GIS در منطقه زرنند در استان کرمان رابطه بین غلظت فلوراید آب مصرفی و فلوروزیس دندانی تایید گردید. مطالعه Taghipour و همکاران^(۱۹)، نشان داد که مقدار فلوراید آب های سطحی با فلئوروزیس دندانی ارتباط معناداری دارد. Maleki و همکاران^(۲۰)، به اندازه گیری میزان فلئور در منابع آب آشامیدنی شهر سنندج پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میزان فلوراید آب آشامیدنی شهر سنندج کم می باشد. مطالعه Poureslami و همکاران^(۲۱)، نشان داد که در دندان های شیری کودکان کوهبنان، هم شیوع فلئوروزیس و هم فلوراید موجود در آن دندان ها نسبتاً زیاد است. Mandinic و همکاران^(۲۲)، در کانادا ارتباط فلئوروزیس دندانی با آب آشامیدنی را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که مقادیر فلئور در آبهای مورد مطالعه کمتر از حد استاندارد توصیه شده می باشد که این کمبود

$1/54$ دارای غلظت بیشتر از حد مجاز بود. غلظت بالای فلوراید در سلمان شهر ($1/54\text{ppm}$) که از حد مجاز (1ppm) فراتر رفته، با شیوع $36/4\%$ فلوروزیس متوسط و 9% موارد شدید در این منطقه مطابقت دارد. این الگو در مناطق دیگر نیز مشاهده شد، اگرچه در برخی موارد مانند گیتی عوامل مداخله گر مانند تغذیه ممکن است نقش داشته باشند. براساس مطالعات انجام شده مقدار یون فلوراید تقریباً در اکثر استانهای ایران کمتر از حد مطلوب برای پیشگیری از پوسیدگی است، اما در مناطق کمی از ایران، مانند کوهبنان، بندرلنگه، ماکو و بهاباد، به طور طبیعی مقدار فلوراید آب آشامیدنی بالاتر از مقدار حداکثر مجاز می باشد. شهر های مختلف ایران هر کدام با توجه به آب و هوای خود به یک برنامه ی علمی و دقیق برای فلوریداسیون آب آشامیدنی نیاز دارند.^(۱۷،۱۸) نتایج نقشه های GIS تأیید می کند که الگوی پراکندگی فلوروزیس از توزیع غلظت فلوراید آب تبعیت می کند. این یافته با مطالعه Derakhshani و همکاران^(۱۲)، در زرنند همخوانی دارد، اگرچه در آن پژوهش از روش کریجینگ استفاده شده بود. یافته های این مطالعه در مقایسه با نتایج مطالعه Derakhshani و همکاران^(۱۲)، در منطقه زرنند بدین صورت می باشد: شیوع فلوروزیس شدید در مطالعه حاضر ($11/1\%$) کمتر از منطقه زرنند ($15/3\%$) بود که می تواند ناشی از غلظت متوسط پایین تر فلوراید در آب های مورد بررسی باشد. الگوی توزیع فضایی در کوهبنان پراکنده تر بود که احتمالاً به دلیل ویژگی های زمین شناسی خاص منطقه شامل لایه های ماسه سنگی و رسوبات آبرفتی است. برخلاف مطالعه زرنند که از روش کریجینگ استفاده کرده بود، در این پژوهش روش IDW با دقت بالاتر ($\text{RMSE}=0/12$) برای ترسیم نقشه ها به کار رفت. این تفاوت ها نشان می دهد که اگرچه اصول روش شناختی مشابه بوده، اما شرایط محلی و بهبودهای روش شناسی، نتایج متمایزی ارائه کرده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نقشه GIS و بررسی نمای کلی از پراکندگی فلوروزیس دندانی در ارتباط با غلظت فلوراید آب، به طور واضح ارتباط مثبتی بین شیوع و شدت فلئوروزیس و سطح فلوراید آب منطقه‌ی جنوب شرق ایران نشان داده شد. نتایج حاصل از مطالعه حاضر می‌تواند با هدف پیشگویی و پیشگیری از خطرات فلئوروزیس در این منطقه برای طراحی و اجرای سیاست‌ها و برنامه‌های پیشگیری‌کننده در مناطق پرخطر مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کرمان جهت همکاری در اجرای پژوهش حاضر تقدیر و تشکر بعمل می‌آید. مطالعه حاضر مستخرج از پایان‌نامه با کد ۹۶۰۱۰۹۱ می‌باشد که در کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی کرمان مورد تصویب قرار گرفته است.

تضاد منافع

نویسندگان مطالعه هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

ارتباط معنی‌داری با پوسیدگی‌های دندانی در کودکان منطقه مورد مطالعه داشت.

با توجه به یافته‌های مطالعه حاضر که نشان‌دهنده ارتباط معنادار بین غلظت فلوراید آب و شیوع فلوروزیس دندانی است، اجرای پروتکل‌های پیشگیرانه در مناطق پرخطر ضروری به نظر می‌رسد. این اقدامات شامل:

توزیع خمیردندان‌های بدون فلوراید یا با غلظت پایین فلوراید (۶۰۰-۵۰۰ ppm) در مناطق با غلظت بالای فلوراید آب^(۲۳)

آموزش بهداشت دهان و دندان به جامعه محلی با تأکید بر کاهش مصرف آبهای زیرزمینی با فلوراید بالا استفاده از منابع آب جایگزین یا سیستم‌های تصفیه آب مانند اسمز معکوس یا جاذب‌های آلومینای فعال شده در مناطق بحرانی^(۲۴) محدود کردن استفاده از وارنیش فلوراید در برنامه‌های بهداشت مدرسه در این مناطق^(۲۵) می‌باشد.

مطالعات نشان داده‌اند که اجرای چنین برنامه‌های پیشگیرانه می‌تواند شیوع فلوروزیس را تا ۴۰٪ در مناطق اندمیک کاهش دهد.^(۲۶-۲۳)

منابع

1. US Department of Health and Human Services Federal Panel on Community Water Fluoridation. US Public Health Service recommendation for fluoride concentration in drinking water for the prevention of dental caries. Public Health Rep 2015;130(4):318-31.
2. Halder D, Duarah P, Purkait MK. MOFs for the treatment of arsenic, fluoride and iron contaminated drinking water: A review. Chemosphere 2020;251:126388.
3. Keramati H, Ghorbani R, Fakhri Y. Fluoride in Iranian drinking water resources: A systematic review, meta-analysis and non-carcinogenic risk assessment. Biol Trace Elem Res 2019;188(2):261-73.
4. Solanki YS, Agarwal M, Gupta AB, Gupta S, Shukla P. Fluoride occurrences, health problems, detection, and remediation methods for drinking water: A comprehensive review. Sci Total Environ 2022;807:150601.
5. Kamyab N, KhajehHosseini S, Mobini M. Survey of fluoride concentration in drinking water in rural areas of Rafsanjan from April to September 2015: A short report. J Rafsanjan Univ Med Sci 2016;15(7):675-82.
6. Medina-Solis CE, Pontigo-Loyola AP, Maupome G. Dental fluorosis prevalence and severity using Dean's index based on six teeth and on 28 teeth. Clin Oral Invest 2008;12(3):197-202.
7. Poureslami HR, Khazaeli P, Noori GR. Fluoride in food and water consumed in Koohbanan (Kuh-e Banan), Iran. Fluoride 2008;41(3):216-9.

8. Zarei MR, Asgari G, Leili M. Non-carcinogenic health risk assessment and Monte Carlo simulation of nitrite, nitrate, and fluoride in drinking water of Yasuj, Iran. *Int J Environ Anal Chem* 2024;104(18):6339-57.
9. Ashrafi SD, Kamani H, Jaafari J. Monitoring and health risk assessment of fluoride in drinking water of East Azerbaijan Province, Iran. *Int J Environ Anal Chem* 2023;103(1):1-15.
10. Qasemi M, Farhang M, Morovati M. Investigation of potential human health risks from fluoride and nitrate via water consumption in Sabzevar, Iran. *Int J Environ Anal Chem* 2022;102(2):307-18.
11. Mohammadpour A, Amini H, Khodabakhshi A. Concentration, distribution and probabilistic health risk assessment of exposure to fluoride in drinking water of Hormozgan province, Iran. *Stoch Environ Res Risk Assess* 2022;36(1):1-13.
12. Derakhshani R, Tavallaie M, Raoof M, Mohammadi TM, Abbasnejad A, Haghdoost AA. Occurrence of fluoride in groundwater of Zarand region, Kerman province, Iran. *Fluoride* 2014;47(2):133-8.
13. Dahrazma B, Khandabi KA. Investigation of the relationship between fluoride in drinking water and dental fluorosis in the city of Kerman, Iran. *Fluoride* 2017;50(3):343-50.
14. American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Washington, DC: APHA; 2017.P.90.
15. Hach Company. DR 2010 Spectrophotometer Procedures Manual. Loveland, CO: Hach Company; 2018.P.1-4.
16. Li J, Heap AD. A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors. *Ecol Inform* 2011;6(3-4):228-41.
17. Yousefi M, Ghoochani M, Mahvi AH. Association of hypertension, body mass index, and waist circumference with fluoride intake; water drinking in residents of fluoride endemic areas, Iran. *Biol Trace Elem Res* 2018;185(2):282-8.
18. Yousefi M, Dehghani MH, Nasab SM. Northwest of Iran as an endemic area in terms of fluoride contamination: a case study on the correlation of fluoride concentration with physicochemical characteristics of groundwater sources in Showt. *Desalination Water Treat* 2019;155:183-9.
19. Taghipour N, Amini H, Mosaferi M, Yunesian M, Pourakbar M, Taghipour H. National and sub-national drinking water fluoride concentrations and prevalence of fluorosis and of decayed, missed, and filled teeth in Iran from 1990 to 2015: a systematic review. *Environ Sci Pollut Res Int* 2016;23(6):5077-98.
20. Maleki A, Bakhtiarvand SN, Safari M, Rezaee R. Determination of fluoride in Sanandaj drinking water resources. *Jundishapur J Health Sci* 2011;3(1):19-27.
21. Poureslami HR, Khazaeli P, Faryabi A, Mahvi AH. Fluoride levels and dental fluorosis in deciduous teeth of students residing in Koohbanan, Iran, a city with high-fluoride water and food. *Fluoride* 2013;46(4):224-9.
22. Mandinic Z, Curcic M, Antonijevic B. Fluoride in drinking water and dental fluorosis. *Sci Total Environ* 2010;408(17):3507-12.
23. Wong MC, Glenny AM, Tsang BW, Lo EC, Worthington HV, Marinho VC. Topical fluoride as a cause of dental fluorosis in children. *Cochrane Database Syst Rev* 2010;(1):CD007693.
24. Mohapatra M, Anand S, Mishra BK, Giles DE, Singh P. Review of fluoride removal from drinking water. *J Environ Manage* 2009;91(1):67-77.
25. American Dental Association Council on Scientific Affairs. Professionally applied topical fluoride: Evidence-based clinical recommendations. *J Am Dent Assoc* 2006;137(8):1151-9.
26. Soleimani S, Jafari A, Mohtasham N. Comparison of the effect of MI varnish (fluoride varnish containing amorphous casein phosphopeptide calcium sulfate) and V varnish (fluoride varnish containing tricalcium phosphate and xylitol) on the fluoride uptake of primary tooth enamel. *J Mashhad Dent Sch* 2025;49(2):198.(Persian)