محیط‌شناسی، سال سی و سوم، شماره ۴۱، بهار ۱۳۸۶، صفحه ۳۷-۳۱

منشأ غلظت بالای فلوئوراید در آب‌های زیرزمینی گدازه‌های بازالتی دشت‌های بازرگان – پلدشت و تأثیر نامطلوب آن بر سلامتی اهالی منطقه

اصغر اصغری‌مقدم[۱]* رحیم جمیری[۲]، عباس محمدی[۳]

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه تبریز

۲- مربی گروه زمین‌شناسی

۳- کارشناس ارشد آب‌شناسی، سازمان آب منطقهٔ استان آذربایجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۸٤/۰۵/۱۰، تاریخ تصویب: ۱۳۸۵/۰۸/۱۶)

چکیده

گدازه‌های بازالتی منطقه ماکو از گسترده‌ترین بازالت‌های کواترنری منطقه شمال غرب ایران است که توسط جریان گدازه‌های بازالتی مربوط به جدیدترین مرحلهٔ آتشفشانی کوه‌های آرارات تشکیل یافته است. مهم‌ترین بخش این گدازه‌ها از دامنه‌های شرقی و جنوبی آرارات وارد بستر رودخانه ساری سو شده و به دشت بازرگان رسیده است، که بعد از پوشانیدن قسمت عمده‌ای از این دشت، مسیر خود را تغییر داده و از طریق دره غرب شهرستان ماکو وارد مسیر رودخانهٔ زنگمار شده و از طریق این رودخانه وارد دشت پلدشت گردیده است. این سنگ‌های سخت غیر کربناته در اکثر مناطق دشت روی آبرفت مسیل‌ها و رودخانه‌های قدیمی را پوشانیده و با همدیگر آبخوان خوبی را تشکیل داده‌اند. غلظت فلوئوراید اندازه‌گیری شده در آب این آبخوان بیش از حد مجاز جهانی (۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد. تمامی اهالی روستاها و شهرهایی که آب آشامیدنی آنها فقط از چشمه‌ها و چاه‌های بازالتی منطقه تأمین می‌شود به بیماری فلوئورسیس دندان و احتمالاً به فلوئورسیس اسکلتی مبتلا هستند. در این تحقیق جهت تعیین منشأ فلوئوراید بالا در آب زیرزمینی مناطق بازالتی علاوه بر تهیه ۱۱ عدد مقطع نازک از گدازه‌های بازالتی منطقه و مطالعه میکروسکوپی آنها، در سه نوبت نمونه‌های آب از چشمه‌های بازالتی و از رودخانه‌ها (در محل ورود به منطقه) تهیه و مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفته‌اند. از بررسی این آنالیزهای شیمیایی و پتروگرافی مقاطع نازک بازالت‌ها چنین نتیجه‌گیری می‌شود که فلوئوراید با غلظت بالا از طریق مسیر رودخانه ساری سو از خاک ترکیه وارد منابع آب منطقه می‌شود.

کلید واژه

آب زیرزمینی، بازالت، فلوئوراید، فلوئورسیس، پلدشت

سرآغاز

در بین سازندهای سخت غیر کربناته، معمولاً بازالت‌ها از نفوذپذیرترین آنهاست. اگرچه بازالت‌های جلگه‌ای سفره‌های خوبی را در نقاط مختلف جهان از جمله در کشورهای آمریکا، آفریقای جنوبی، برزیل، روسیه و هند تشکیل می‌دهند ولی پراکندگی آنها خیلی کم و تعداد اینگونه سفره‌ها در جهان انگشت شمار است (Peterson, 1972; Singhal and Gupta, 1999). در ایران نیز سفره‌های بازالتی فقط در شمال غرب کشور و در گدازه‌های بازالتی کواترنری منطقه پلدشت و ماکو تشکیل شده است. در داخل منطقه مذکور بازالت‌ها بیشتر در دامنه قله‌های آرارات بزرگ (۵۱۵۰ متر)، آرارات کوچک (۳۹۰۲ متر)، مسیل‌ها و رودخانه‌های قدیمی جای گرفته‌اند. مساحت کل منطقه مورد مطالعه ۲۳۰۰ کیلومتر مربع است که بیش از ۶۵۰ کیلومتر مربع آن توسط گدازه‌های بازالتی پوشیده شده است. شکل شماره ۱ موقعیت بازالت‌ها و راه‌های ارتباطی منطقه را نشان می‌دهد.

منطقه مورد مطالعه از شمال و شمال شرق به رودخانه‌های قره‌سو و ارس و از جنوب و جنوب شرق به رودخانه زنگمار محدود شده است. کوه‌های بلند آیبک با ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر با روند شمال غربی – جنوب شرقی، هم امتداد با آرارات بزرگ و کوچک، بازالت‌های منطقه را به دو بخش تقسیم کرده است. مناطق مرتفع این ناحیه توسط سازندهای آهکی، دولومیتی، شیلی و شیستی پوشیده شده است. در ناحیه جنوبی دو افتادگی اساسی وجود دارد که یکی از آنها مسیر رودخانهٔ ساری سو و دیگری مسیر زنگمار را تشکیل می‌دهد. بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه توسط گدازه‌های بازالتی مربوط به جدیدترین مرحلهٔ آتشفشانی کوه‌های آرارات پوشیده شده است (Yilmaz et al., 1998).

مهم‌ترین بخش این گدازه‌ها از دامنه‌های شرقی و جنوبی آرارات وارد بستر رودخانه ساری سو شده و به دشت بازرگان رسیده‌اند، که بعد از پوشانیدن قسمت عمده‌ای از این دشت، مسیر خود را عوض کرده و از راه دره غرب شهرستان ماکو وارد مسیر رودخانهٔ زنگمار شده و از طریق بستر

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۳۳۹۲۷۳۱-۰۴۱۱

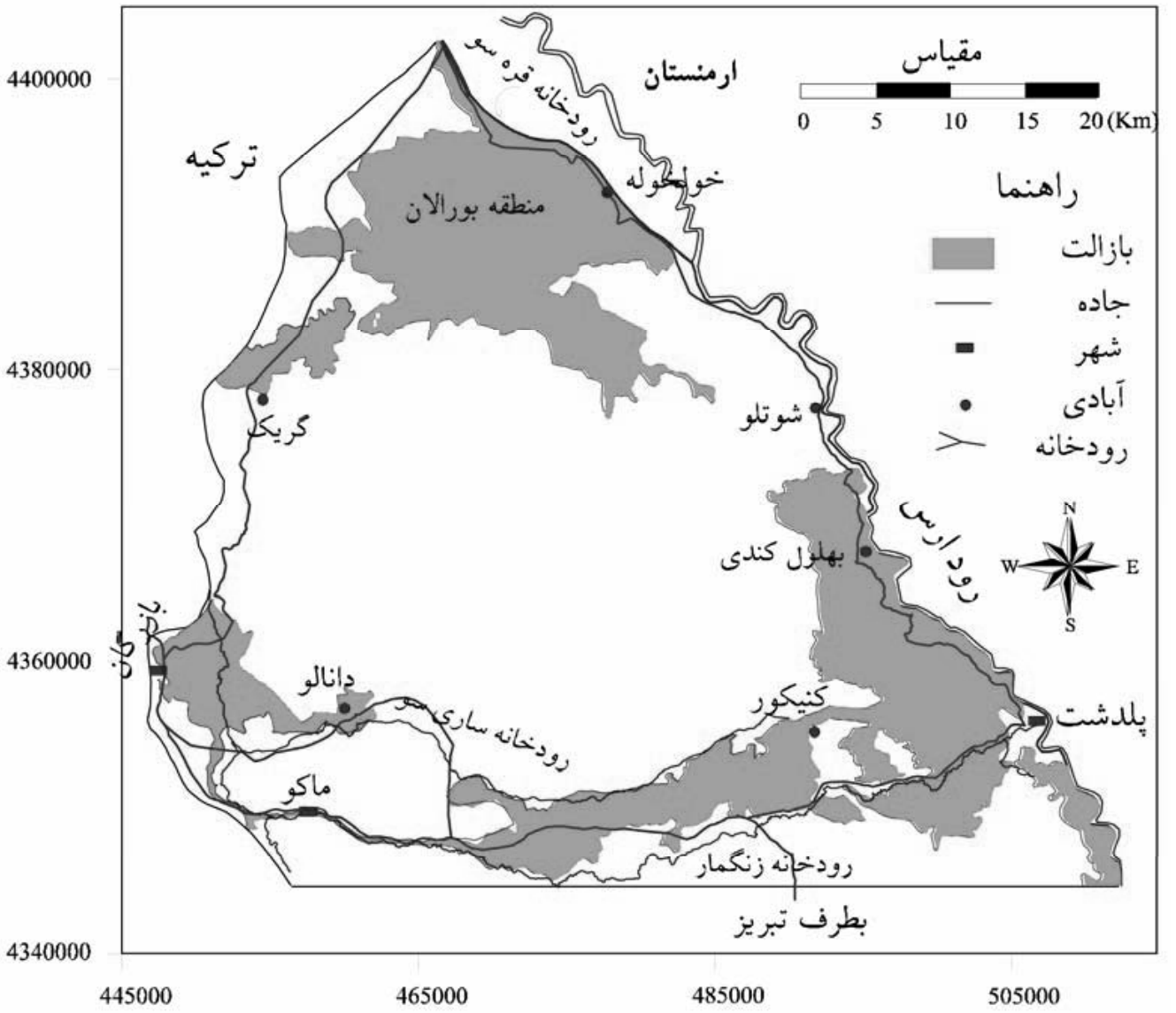
e-mail: aasgharimoghaddam@gmail.com

این رودخانه وارد دشت پلدشت گردیده و بعد از پوشانیدن قسمت‌های زیادی از این دشت، به علت کاهش شیب بستر و برخورد با آب رودخانه ارس از حرکت باز ایستاده و سرد شده است. جریان گدازه در مسیر ساری سو فقط تا روستاهای تخته دوز و دانالو (شمال ماکو) ادامه یافته است و بعد از آن مسیر این رودخانه تا رسیدن مجدد به بازالت‌های مسیر زنگمار با رسوبات آبرفتی پوشیده شده است بخش دیگری از این گدازه‌ها در شمالی‌ترین قسمت منطقه مورد مطالعه بعد از جریان یافتن از دامنه‌های شمال شرقی آرارات تا محل ورود رودخانه ارس به مرز ایران و جمهوری آذربایجان حرکت کرده‌اند (شکل شمارهٔ ۱). گدازه‌های مذکور در حاشیه شمالی ارس مشاهده نمی‌شوند. شاید رودخانه ارس باعث سرد شدن این گدازه‌ها شده و به این ترتیب مانع حرکت آنها شده است. مناطق مرتفع منطقه مورد مطالعه نیز عمدتاً با سازندهای شیستی (پرکامبرین)، آهکی و دولومیتی (دونین و پرمین)، شیلی (تریاس) و سازند قم و قرمز بالایی (اولیگو میوسن) پوشیده شده است.

منشأ فلوراید در آب و تأثیر آن بر سلامتی انسان

در بازالت‌های منطقه مورد مطالعه بیش از ۱۲ چشمه با دبی بالا (از ۲۰ تا ۴۰۰۰ لیتر بر ثانیه) وجود دارد که چند تا از این چشمه‌ها در فواصل کم از همدیگر قرار گرفته‌اند و از آنها به عنوان چشمه‌سارهای آن منطقه یاد شده است. چشمه‌ها اکثراً در مناطقی با سطح آب زیرزمینی بالا و از افتادگی‌های توپوگرافیکی با اختلاف ارتفاع نسبتاً کم ظاهر شده‌اند. بیشترین آب شرب و کشاورزی منطقه از منابع آبی موجود در بازالت‌ها تأمین می‌شود.

با توجه به داده‌های تجزیه شیمیایی، تیپ آب چشمه‌ها عمدتاً از نوع بیکربنات، سدیم و پتاسیم می‌باشد. ترکیب آب زیرزمینی عمدتاً تحت تأثیر



شکل شمارهٔ ۱– نقشه موقعیت بازالت‌ها و راه‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه

جدول شمارهٔ ۱– کانی‌ها و سنگ‌های دربردارنده فلوئوراید (Hussain et al. 2004)

نام کانی	ترکیب شیمیایی	سنگ‌های دربردارنده این کانی‌ها
۱- فلوئوریت (فلوئوراسپار)	CaF_2	نهشته‌های پگماتیت پنومتولیتیک به عنوان نهشته رگه‌ای
۲- فلوئورآپاتیت (آپاتیت)	$Ca_5(F,Cl)PO_4$	آهک پگماتیت و دگرگون شده
۳- میکاها الف: بیوتیت ب: موسکویت	$K(MgFe^{2+})_3(AlSi_3)O_{10}(OHF)_2$ $KAl_2(AlSi_3O_{10})OHF)_2$	بازالت‌ها پگماتیت‌ها، آمفیبولیت‌ها
۴- آمفیبول‌ها الف: هورنبلند ب: ترمولیت اکتینولیت	$NaCa_2(MgFe^{2+})_4(AlFe_3+)(SiAl)_8O_{22}(OHF)_2$ $Ca_2(MgFe^{2+})_5(Si_8O_{22})(OHF)_2$	گنایس، شیست، شیل رس، سنگ‌های قلیایی و غیره
۵- توپاز	$Al_2SiO_4(OHF)_2$	سنگ‌های آذرین اسیدی، شیست‌ها، گنایس و غیره
۶- فسفات	$NaCa_2(MgFe^{2+})_4(AlFe^{3+})(SiAl)_8O_{22}(OHF)_2$	سنگ آهک و غیره

سازندهای کربناته، سیلیکاته، تعویض یونی و آب‌های نفوذی از باتلاق‌ها و سازندهای غیر آهکی قرار گرفته است (Hounslow, 1995). مقدار هدایت الکتریکی (EC) این آب‌ها از ۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ میکروموس بر سانتیمتر است که در مقایسه با منابع آبی موجود در بازالت‌های سایر نقاط مختلف جهان از مواد محلول بسیار بالایی برخوردار است. غلظت فلوئوراید در تمامی چشمه‌ها به جز دو چشمه منطقه بورالان، بیشتر از حد مجاز آب شرب است و غلظت آن در آب در طول مسیر جریان آب زیرزمینی از نقطه ورودی رودخانه ساری سو به ایران تا منطقه پلدشت (صنم بلاغی) کاهش می‌یابد. سنگ‌های بازالتی منطقه نسبت به آب زیرزمینی موجود در داخل آنها از فلوئوراید کمتری برخوردار هستند.

همانند سایر عناصر، فلوئوراید نیز می‌تواند از طریق آب، هوا و غذا وارد بدن انسان شود. وجود فلوئوراید به مقدار محدود در داخل آب (۰/۵ تا ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر) برای سلامتی انسان مفید است (Gupta et al. 2005). در حالت کلی دندان‌ها از کانی کلسیت‌دار هیدروکسلی آپاتیت[1] تشکیل می‌شوند و در صورت وجود فلوئوراید، این عنصر وارد ساختمان بلور کانی شده و تشکیل فلوئورا آپاتیت[2] می‌دهد که از هیدروکسلی آپاتیت مستحکم‌تر است. از طرف دیگر فلوئوراید با افزایش تبلور مجدد و به عنوان عامل ضد باکتری با کاهش اسید ایجاد شده توسط آنها از پوسیدگی دندان‌ها جلوگیری می‌کند. قرص‌های فلوئوراید به عنوان عامل ضد سرطان‌زایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Fordyce and Hope, 2002).

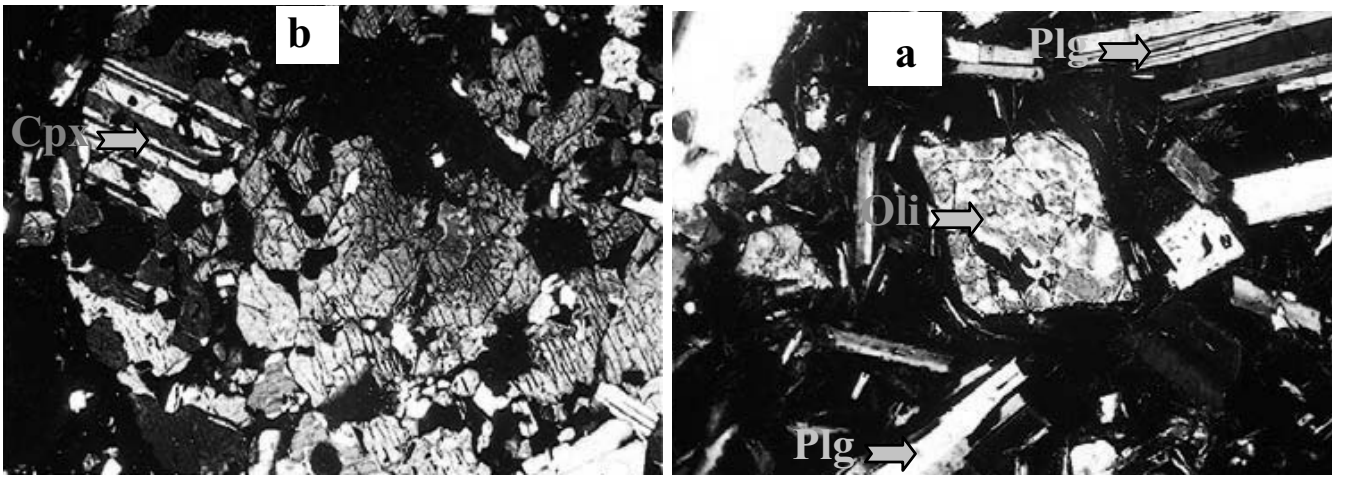
علیرغم مفید بودن فلوئوراید در مقدار کم برای سلامتی، وجود مقدار زیاد آن مشکلات جدی را برای سلامتی انسان‌ها به وجود می‌آورد. حسین و همکاران (Hussain et al. 2004) تأثیرات مضر فلوئوراید با غلظت بالا را به صورت زیر بیان داشته‌اند:

۱– ایجاد فلوئوروسیس دندان[3]

فلوئورسیس دندان در نتیجهٔ استفاده از فلوئوراید بیش از حد در دوران رشد دندان‌ها (از تولد تا ۸–۶ سالگی) به وجود می‌آید. این عارضه به رشد ناقص یا به تبلور کم مینا و عاج دندان گفته می‌شود که از زیادی فلوئوراید قابل دسترس در طی رشد ناشی شده است.

جدول شمارهٔ ۲– غلظت فلوئوراید در سنگ‌های مختلف

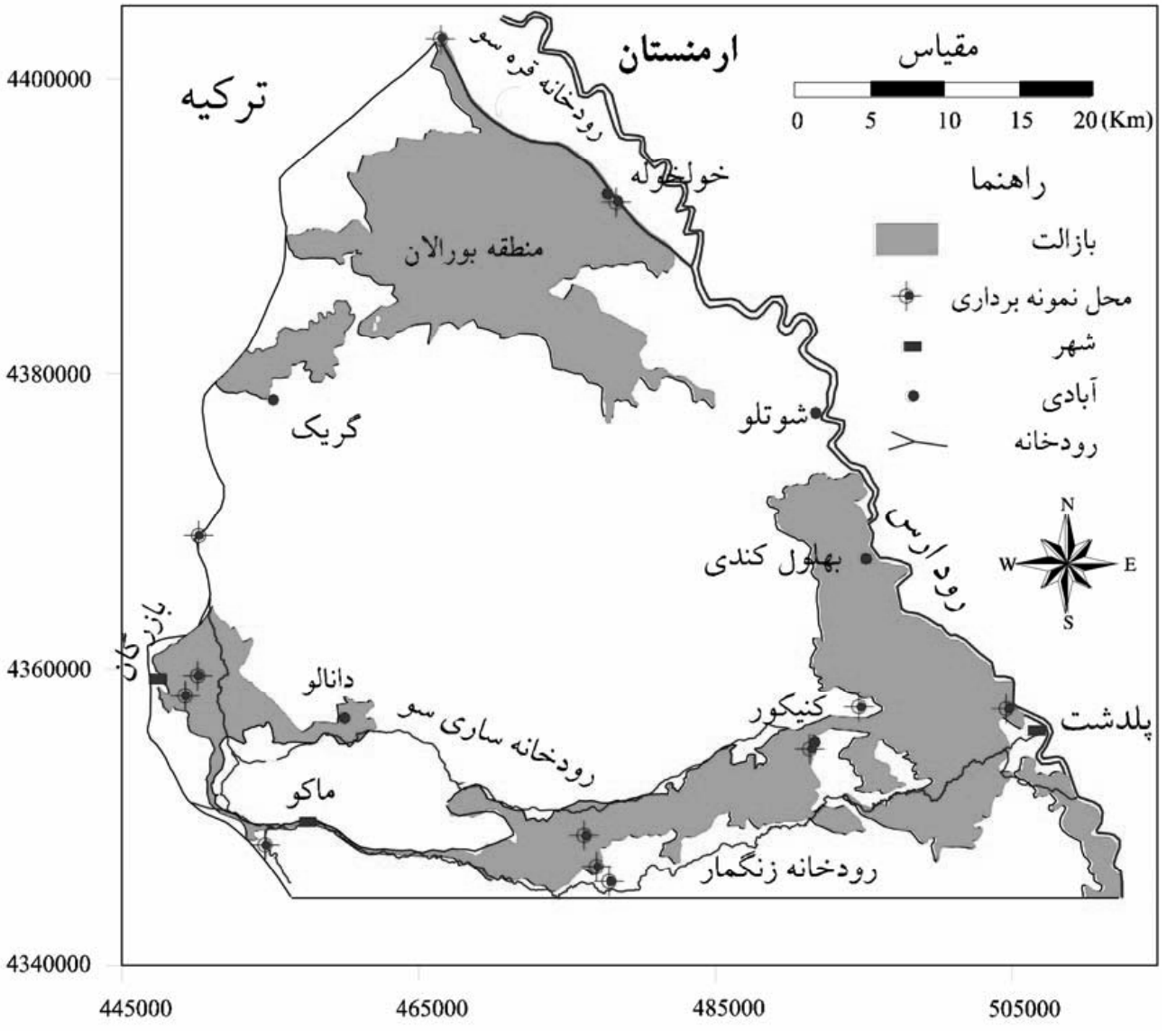
نوع سنگ	محدوده فلوئوراید (ppm)	متوسط فلوئوراید (ppm)
بازالت	۲۰–۱۰۶۰	۳۶۰
گرانیت و گنایس	۲۰–۲۷۰۰	۸۷۰
رس و شیل	۱۰–۷۶۰۰	۸۰۰
آهک‌ها	۰–۱۲۰۰	۲۲۰
ماسه سنگ‌ها	۱۰–۸۸۰	۱۸۰
فسفریت‌ها	۲۴۰۰۰–۴۱۵۰۰	۳۱۰۰۰
ذغال سنگ‌ها (خاکستر)	۴۰–۴۸۰	۸۰



شکل شمارهٔ ۲– تصاویری از مقاطع نازک بازالت‌های منطقه: a– **بافت هیالومیکرولیتی پورفریک با درشت بلور الیوین و پلاژیوکلاز** (x100- XPL)
b– **بافت کلومرو پورفیریک در بلورهای کلینوپیروکسن** (x40-XPL) Oli = **اولیوین،** Cpx= **کلینوپیروکسن و** Plg= **پلاژیوکلاز**

۲– شکنندگی و چگال‌تر شدن استخوان‌ها[۴]

وقتــی مقدار فلوئوراید در آب شــرب بیــش از ۴ میلی‌گــرم بر لیتر باشــد سبب شکنندگی و چگال‌تر شدن اســتخوان‌های بدن می‌شود، که Osteoporosis نامیده می‌شــود. ده‌ها میلیون نفــر از مردم جهان، به



شکل شمارهٔ ۳– موقعیت نقاط نمونه‌برداری از آب‌های سطحی و زیرزمینی

جدول شمارهٔ ۳– نتایج آنالیز شیمیایی فلوئوراید چشمه‌های بازالتی منطقه ماکو (تاریخ نمونه‌برداری ۱۱ و ۸۳/۱/۱۲)

ردیف	محل نمونه‌بردار	F- (mgl^{-1})	pH	EC ($\mu S\ cm^{-1}$) (25°C)
۱	سنک بلاغی	۴,۰۴	۷,۹۲	۱۴۶۵
۲	خلج کرد	۲,۸۵	۷,۴۵	۱۴۲۰
۳	گدای بلاغی	۲,۵۷	۷,۵۵	۱۴۱۲
۴	کنیکور	۳,۶۹	۸,۱۲	۱۴۸۸
۵	قره سوی بازرگان	۳,۳۲	۷,۵۸	۱۳۰۰
۶	قره سوی بازرگان (برداشت گمرک)	۳,۳۲	۷,۳۶	۱۲۸۰
۷	چشمه ثریا	۰,۲۶	۷,۸۵	۹۶۵
۸	چشمه خلخله	۰,۳۸۴	۸,۰	۱۲۵۵
۹	کولوس بلاغی	۳,۲۶	۷,۵	۱۵۵۰
۱۰	صنم بلاغی	۲,۷	۸,۲	۱۵۸۵

خصوص با سنی بیش از ۴۵ سال، از این مشکل رنج می‌برند (Fordyce and Hope, 2002).

۳– فلوئوروسیس اسکلت بدن

تأثیر مسمومیت‌های طولانی مدت فلوئوراید در سیستم اسکلت بدن از بعضی مناطـق جغرافیایی جهان از جمله هند، چین، ژاپن، عربسـتان سـعودی و ... به خاطر فلوئوراید طبیعی بیش از حد مجاز در آب شـرب گزارش شـده اسـت. در این نوع بیماری فلوئوراید جانشین هیدرواکسید شده و در استخوان‌ها انباشته می‌شود (Hussain et al. 2004).

۴– تأثیر در رگ‌های خونی[۵].

۵– آشفتگی روده‌ای و معده‌ای.

۶– تأثیر بر غدد درون ریز و پی.

۷– تأثیر بر رشد و تولید مثل.

۸– ایجاد اختلالات ژنتیکی.

بحث و بررسی

وجود فلوئورین در آب زیرزمینی عمدتاً یک پدیده طبیعی اسـت و از شرایط زمین‌شناسی منطقه‌ای و محلی متأثر است. کانی‌های فلوئوراید به راحتی در آب حل نمی‌شوند بنابراین وجود فلوئورین در آب زیرزمینی فقط وقتی امکان‌پذیر است که شرایط برای انحلال آن مناسب باشد. وقتی که کانی‌های غنی از فلوئوراید با آب قلیایی (با قلیائیت بالا) برخورد می‌کنند، فلوئوراید طی فرآیند هیدرولیز با جانشـینی هیدروکسیل (OH) به داخل آب زیرزمینی آزاد می‌شـود. منبع اصلی فلوئورین در آب زیرزمینی بیشتر کانی‌های تیره هسـتند که نام و سـنگ‌های در بردارنـده آنها در جدول شمارهٔ ۱ نشان داده شده است. غلظت فلوئوراید در انواع مختلف سنگ‌ها نیز در جدول شمارهٔ ۲ آورده شده است. علاوه بر این کانی‌ها، سنگ‌های

جدول شمارهٔ ۴– نتایج آنالیز شیمیایی فلوئوراید در آب‌های ورودی به مناطق بازالتی منطقه ماکو (تاریخ نمونه‌برداری ۱۸ و ۸۳/۴/۱۹)

ردیف	محل نمونه‌بردار	F- (mgl^{-1})	PH	EC ($\mu S\ cm^{-1}$) (25°C)
۱	ساری سو بغل پاسگاه	۵,۹۱	۶,۹۰	۱۱۳۵
۲	روستای قعله جوق آب رودخانه بارون	۰,۹۵	۸,۳۵	۵۸۰
۳	منطقه‌ای آواجق – پل روستای بدولی	۱,۸۱	۸,۲۱	۸۲۸
۴	چشمه بازالتی عرب دیزج (منطقه آواجق)	۱,۴۸	۷,۶۴	۵۷۴
۵	رودخانه آواجق پایین‌تر از بازالت‌های منشوری	۱,۰۵	۸,۵	۶۶۲
۶	چاه آب شرب شماره ۲ (بازرگان)	۴,۳۳	۷,۰۵	۱۲۳۳
۷	آب شرب روستای تخته دوزی	۴,۵۶	–	۱۳۳۱
۸	آب شرب شهرستان ماکو	۱,۷۶	–	۷۲۲

جدول شمارهٔ ۵– نتایج آنالیز شیمیایی فلوئوراید آب چشمه‌های بازالتی منطقه ماکو (تاریخ نمونه‌برداری ۱۱ و ۸۳/۹/۱۲)

ردیف	محل نمونه‌بردار	F- (mgl^{-1})	pH	EC ($\mu S\ cm^{-1}$) (25°C)
۱	قره سوی بازرگان (برداشت گمرک)	۴,۱۱	۷,۶۵	۹۱۰
۲	ساری سو بغل پل	۸,۹۸	۸,۲۷	۱۳۸۰
۳	آب شرب روستای تخته دوزی	۴,۳۰	۷,۸	۹۷۰
۴	کنیکور	۵,۶۳	۷,۸	۱۲۲۵
۵	خلج کرد	۳,۰۳	۷,۳۳	۱۰۲۵
۶	سنک بلاغی	۶,۸۷	۷,۹۳	۱۲۶۰
۷	چاه شماره ۲ (بازرگان)	۴,۰۳	۷,۵۰	۹۷۰
۸	صنم بلاغی	۳,۱۸	۷,۷۸	۱۳۱۲
۹	چشمه ثریا	۰,۵	۷,۵۸	۸۰۳
۱۰	چشمه خلخله	۰,۶۷	۷,۶۳	۱۰۳۰

قلیایی و محلول‌های هیدروترمال نیز ممکن است در وجود فلوئوراید با غلظت‌های بالا در آب زیرزمینی نقش داشته باشند (Hussain et al., 2004).

فرآیندهای آب‌شویی[۶] و هوازدگی، عمدتاً با حرکت و نفوذ آب، نقش مهمی را در انتشار فلوئوراید در آب زیرزمینی دارند. چگونگی آزاد شدن فلوئوراید به داخل آب توسط کانی‌های فلوئورایددار به ترکیب شیمیایی آب، وجود و قابل دسترس بودن کانی‌های فلوئوراید نسبت به آب و مدت زمان تماس بین آب و کانی، بستگی دارد.

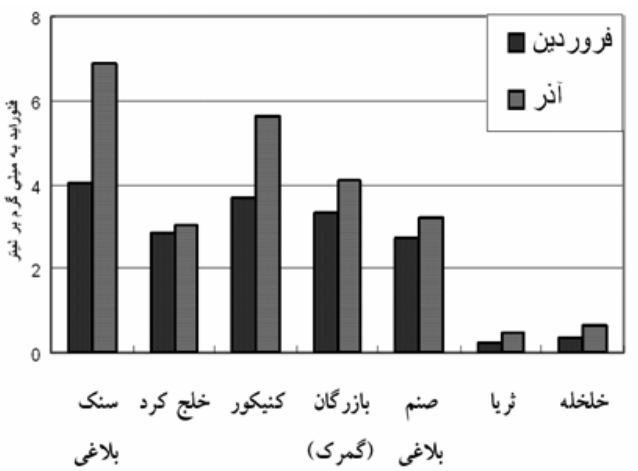
برای قضاوت در خصوص وجود کانی‌های فلوئورایددار در کل سنگ یا خاک، درجه هوازدگی و امکان آب‌شویی فلوئوراید[۷] در منطقه، خیلی مهم است. در مناطق خشک و نیمه خشک به خاطر هوازدگی سنگ‌ها یون فلوئوراید از کربنات خارج می‌شود. عواملی از قبیل pH محلول زهکشی شده، قلیائیت و مقدار CO_2 وجود در داخل خاک و حل شده در آب قابلیت شسته شدن[۸] فلوئوراید از کربنات و افق بالایی خاک را کنترل می‌کنند. علاوه بر این عوامل، اشکال توپوگرافیکی نیز با تأثیرگذاری بر سرعت جریان آب زیرزمینی نقش مهمی در کنترل مقدار فلوئوراید دارند. وجود بعضی دایک‌ها از قبیل نفوذی‌های دولوریتی معمولاً به عنوان یک مرز نفوذناپذیر نسبت به جریان آب زیرزمینی عمل کرده و مانع حرکت سریع آب زیرزمینی می‌شوند. در نتیجه آب زیرزمینی به مدت زیاد در فضاهای خالی و شکستگی‌های سنگ و خاک باقی می‌ماند و اگر آب حالت قلیایی داشته باشد، می‌تواند بیشترین فلوئوراید را از کانی‌های تیره فلوئورایددار حل بکند.

براساس مطالعه ۱۱ عدد مقطع نازک تهیه شده از گدازه‌های بازالتی منطقه با میکروسکوپ پلاریزان، سه کانی اصلی در آنها مشاهده می‌شود:

الف: بلورهای پلاژیوکلاز که مهم‌ترین کانی تشکیل‌دهنده سنگ می‌باشند و در اندازه‌های مختلف، هم به صورت فنوکریست و هم در زمینه دیده می‌شوند. پلاژیوکلازها حدود ۵۰ الی ۷۰ درصد مقطع را تشکیل می‌دهند.

ب: بعد از پلاژیوکلازها پیروکسن از تشکیل‌دهنده‌های اصلی بازالت است که عمدتاً دانه ریزتر از پلاژیوکلازها بوده، ولی بعضی اوقات فنوکریست‌های درشت‌تر از پلاژیوکلازها نیز در مقاطع دیده می‌شود.

ج: الیوین نیز در مقاطع به صورت بلورهای ریز و درشت دیده می‌شود. بلورهای درشت الیوین دارای شکستگی‌های فراوان است. در بعضی مقاطع الیوین بیش از ۸ درصد کل مقطع را تشکیل می‌دهد. در داخل نمونه‌های مطالعه شده هیچگونه کانی فلوئورایددار (به ویژه آپاتیت) مشاهده نشد. شکل شمارهٔ ۲ تصاویری از مقاطع نازک تهیه شده



شکل شمارهٔ ۴– تغییرات مقادیر فلوئوراید در فصول مختلف سال

از بازالت‌های منطقه را نشان می‌دهد.

بیشترین کار ما در خصوص پی بردن به منشأ فلوئوراید تأکید بر روی نمونه‌های آب است که در ۳ نوبت برداشت گردید. شکل شمارهٔ ۳ موقعیت نمونه‌های برداشتی را نشان می‌دهد. آنالیز نمونه‌های آب در آزمایشگاه آب‌شناسی گروه زمین‌شناسی با دستگاه‌ها و روش‌های زیر انجام گرفته است. مقادیر کاتیون‌های سدیم و پتاسیم با دستگاه نورسنج شعله‌ای و کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شده‌اند. از آنیون‌ها، کربنات و بیکربنات به روش تیتراسیون اسید – باز، کلراید با روش نقره‌سنجی یا تیتراسیون رسوبی و سولفات به طریقه تیتراسیون معکوس اندازه‌گیری شدند. فلوئور و سیلیس به روش رنگ‌سنجی با اسپکتروفتومتر آنالیز گردیدند. دقت آنالیز شیمیایی نمونه‌ها با محاسبه میلی‌اکی والان‌های آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و بالانس یونی مورد ارزیابی قرار گرفت. بیشترین خطای آنالیز کمتر از ۵ درصد است. در این تحقیق به خاطر تأکید بر غلظت فلوئوراید و عدم بحث از یون‌های دیگر، از آوردن آنها خودداری شده است.

نمونه‌برداری نوبت اول از ۱۰ چشمه مهم منطقه در ۱۱ و ۱۲ فروردین ماه ۱۳۸۳ انجام گرفت. نتایج این نمونه‌ها نشان می‌دهد که غلظت فلوئوراید در تمامی چشمه‌ها به جز دو چشمه منطقه بورالان (شکل شمارهٔ ۱)، بیشتر از ۲/۶ میلی‌گرم بر لیتر است و غلظت آن در آب در طول مسیر جریان آب زیرزمینی از نقطه ورودی رودخانه ساری سو به ایران تا منطقه پلدشت (صنم بلاغی) کاهش می‌یابد (جدول شمارهٔ ۳). این هم دلیل دیگری است که سنگ‌های بازالتی منطقه از فلوئوراید بیشتری برخوردار نیستند و بایستی منشأ فلوئوراید بالا جای دیگری باشد.

با این ایده، نمونه‌برداری نوبت دوم در ۱۸ و ۱۹ تیرماه ۱۳۸۳ از رودخانه‌هایی که آب آنها وارد منطقه می‌شود در محل ورود به منطقه انجام گرفت (جدول شمارهٔ ۴). بیشترین فلوئوراید مربوط به رودخانه ساری سو (۵/۹ میلی‌گرم بر لیتر) بوده و از دو رودخانه دیگر که از سرشاخه‌های رودخانه زنگمار می‌باشند کمترین فلوئوراید (کمتر از ۱ میلی‌گرم بر لیتر) وارد منطقه می‌شود. غلظت فلوئوراید در آب چشمه‌های آهکی موجود در منطقه که آنها نیز جزء مناطق تغذیه آبخوان‌های بازالتی تلقی می‌شوند خیلی کمتر از آب‌های زیرزمینی مناطق بازالتی گزارش شده است (فاطمی، ۱۳۷۶).

بنابراین جهت پی بردن به منشأ فلوئوراید بایستی بیشترین تمرکز روی رودخانه ساری سو صورت گیرد. نمونه‌برداری نوبت سوم در ۱۱ و ۱۲ آذر ماه در فصل کم آبی از رودخانه ساری سو (در محل ورود به ایران) و چشمه‌های بازالتی منطقه انجام گرفت (جدول شمارهٔ ۵). در این مرحله به خاطر کاهش جریان‌های سطحی سریع، آب رودخانه ساری سو (با غلظت فلوئوراید ۸/۹۸ میلی‌گرم بر لیتر) و چشمه‌ها نیز در مقایسه با نمونه‌های فصل پر آبی از فلوئوراید بیشتری برخوردار هستند (شکل شمارهٔ ۴). بنابراین با اطمینان کامل می‌توان گفت که منشأ فلوئوراید از آب زیرزمینی و سطحی است که از مسیر رودخانه ساری سو وارد منطقه می‌شود. شاید یکی از علل وجود فلوئوراید بالا در منابع آب رودخانه ساری سو شیب کم این رودخانه، مسیر طولانی آن در خاک کشور ترکیه و وجود کانی‌های فلوراییددار در سرآب آن باشد.

اثرات بهداشتی فلوئوراید در منطقه

تمامی اهالی روستاهایی که آب آشامیدنی آنها فقط از چشمه‌ها و چاه‌های بازالتی منطقه تأمین می‌شود به بیماری فلوئورسیس دندان و احتمالاً به فلوئورسیس اسکلتی مبتلا هستند. آب شرب ۶۰ روستا با جمعیت کلی بیش از ۵۰۰۰۰ نفر و شهر پلدشت با جمعیتی بیش از ۹۵۰۰ نفر کلاً از آب زیرزمینی موجود در گدازه‌های بازالتی تأمین می‌شود. آب شرب شهرهای ماکو (بیش از ۶۰۰۰۰ نفر) و بازرگان (بیش از ۷۰۰۰ نفر) از این آبخوان و از منابع آبی دیگر منطقه گرفته می‌شود. از این روستاها می‌توان به خرمن‌یری، تخته‌دوز، تازه‌کند، سنگر، میلان، خلج عجم، خلج کرد، بولنجک، گدای، یولاگلدی، دیزج، عشق‌آباد، فتاح کندی، کنیکور، مرادلوی بالا، مرادلوی پایین، ساری سو، پورناک، آق‌اتلوق و غیره اشاره کرد. اهالی شهرهای بزرگی چون بازرگان و ماکو که از آب‌های با منشأ بازالتی و غیر بازالتی به صورت مخلوط استفاده می‌کنند کمتر به این مشکل مبتلا هستند.

نتیجه‌گیری

غلظت بیش از حد مجاز یون فلوئوراید در منابع آب منطقه بازالتی از مشکلات اساسی آب شرب ساکنین این منطقه است. پتروگرافی سنگ‌های بازالتی منطقه و آنالیز نمونه‌های آب از چشمه‌های موجود در سازندی‌های غیر بازالتی وجود فوئوراید بالا در آنها را نشان نمی‌دهد و همچنین آب ورودی از رودخانه‌ها به غیر از رودخانه ساری سو از فلوئوراید کمتری برخوردار هستند. بنابراین فلوئوراید موجود در آب زیرزمینی منطقه تنها از طریق جریانات سطحی و زیرزمینی رودخانه ساری سو وارد منطقه مورد مطالعه می‌شود. تأثیر غلظت بالای فلوئوراید بر دندان‌های اهالی منطقه به صورت لکه‌های سیاه کاملاً مشهود است.

یادداشت‌ها

1- hydroxlyapatite
2- Fluorapatite
3- Dental fluorosis
4- Osteoporosis
5- Cardiovascular effects
6- Leaching

7- leachable fluoride
8- leachability

منابع مورد استفاده

– فاطمـــی، س. ۱۳۷۶، مطالعـــه هیدروژئـــو شـــیمیایی منابع آب در ســـازندهای ســـخت (غیر کربناتـــه) در منطقه شـــمال ماکـــو. پایان‌نامه کارشناســـی ارشد، دانشـــگاه تهران، دانشـــکدهٔ علوم، گروه زمین‌شناسی، رسوب‌شناسی.

Fordyce, F. and Hope, B. 2002. Fluoride and Fluorosis in Central Europe. Earthwise, Geology and health, Issue 17.

Gupta S.K., et al. 2005. Origin of high fluoride in groundwater in the North Gujarat-Cambay region, India. Hydrogeology J. 13: 596-605.

Hounslow, A.W. 1995. Water quality data analysis and interpretation. Lewis publishers, New York, p.397.

Hussain J., Sharma K.C. and Hussain I. 2004 Fluoride in drinking water in Rajasthan and its ill effects on human health. Journal of Tissue Research Vol, 4 (2) pp 263-273.

Peterson F. L. 1972. Water development on tropic volcanic islands- type example: Hawaii, Groundwater, 10 50, pp.18-23.

Singhal B.B.S. and Gupta R.P.,1999. Applied hydrogeology of fractured rocks. Kluwer Academic Publishers.400 p.

Yilmaz Y., Guner Y. and Saroglu F. 1998. Geology of the quaternary volcanic centers of the east Anatolia. Journal of Volcanology and Geothermal Research 85 pp 173-210.