

# بررسی غلظت یون فلوراید در منابع سطحی تأمین آب شرب شهر تهران

- \* دکتر علی اکبر عظیمی  
 \*\* دکتر غلامرضا نبی بید هندی  
 \*\*\* مهندس سید حسین هاشمی  
 \*\*\*\* مهندس یونس مهام

## چکیده

در حال حاضر آب شرب شهر تهران عمدتاً از منابع آب سطحی شامل رودخانه‌های کرج و جاجرود تأمین می‌شود. در مورد غلظت یون فلوراید در منابع مختلف تأمین آب شرب شهر تهران، اطلاعات دقیق و مستندی وجود ندارد. این تحقیق به منظور تعیین غلظت یون فلوراید در منابع اصلی تأمین آب شرب شهر تهران انجام شده است. به این دلیل ۸ ایستگاه در رودخانه کرج و ۵ ایستگاه در رودخانه جاجرود انتخاب گردید و در یک دوره ۸ ماهه در چهار مقطع زمانی ۲ ماهه در هر ایستگاه نمونه‌برداری انجام گرفت و در آزمایشگاه به روش اسپادنس (SPADNS) مقدار یون فلوراید در آنها اندازه‌گیری شد. داده‌های به دست آمده نشان می‌دهد که غلظت یون فلوراید در آب رودخانه‌های جاجرود و کرج به ترتیب در محدوده ۰/۲۸ تا ۰/۵۲ و ۰/۱۵ تا ۰/۳۵ میلی‌گرم در لیتر بوده است. غلظت بهینه فلوراید به شرایط آب و هوایی و مقدار آب مصرفی بستگی دارد. براساس استاندارد آب ایران، مقدار بهینه آن در ماههای سرد سال ۱/۲ میلی‌گرم بر لیتر و در ماههای گرم سال ۰/۷ میلی‌گرم بر لیتر است. بر این اساس مقدار کمبود یون فلوراید در رودخانه‌های کرج و جاجرود به ترتیب در ماههای گرم سال حدود ۰/۴۵ و ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر و در ماههای سرد سال حدود ۱ و ۰/۸۵ میلی‌گرم در لیتر است. بدین ترتیب تنظیم غلظت یون فلوراید آب شرب در حد استاندارد یا تأمین فلوراید مورد نیاز بدن به روشهای دیگر (خوراندن قطره فلوراید به کودکان) ضرورت دارد.

## کلید واژه

آب آشامیدنی، یون فلوراید، منابع آب سطحی، رودخانه کرج، رودخانه جاجرود، شهر تهران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۱/۵/۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۲/۳/۳

- \* استادیار گروه مهندسی عمران محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران.  
 \*\* استادیار گروه مهندسی عمران محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران.  
 \*\*\* دانشجوی دوره دکتری مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران.  
 \*\*\*\* دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران.

## سر آغاز

فلوراید حدود ۰/۰۳ درصد از پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. مقدار روزانه فلوراید دریافتی به ناحیه جغرافیایی و رژیم غذایی بستگی دارد. همچنین آلودگی هوا و استفاده از خمیر دندان‌های حاوی فلوراید می‌توانند مقدار فلوراید دریافتی را افزایش دهند. مقدار فلوراید دریافتی از طریق آب آشامیدنی به شرایط طبیعی آب بستگی دارد. به طور معمول غلظت فلوراید در آبهای سطحی کمتر از ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر است، اما غلظت آن در آبهای زیرزمینی به دلیل عبور آب از نواحی غنی از فلوراید ممکن است به چندین میلی‌گرم در لیتر نیز برسد. فلوراید محلول بلافاصله پس از ورود به سیستم هاضمه جذب بدن می‌شود (Towrt et al., 2000).

اهمیت وجود فلوراید در آب آشامیدنی به عنوان یکی از موارد ضروری برای تأمین رشد طبیعی، براساس مطالعات و بررسی‌های متعدد انجام شده توسط مراکز علمی معتبر به اثبات رسیده است. غلظت بهینه فلوراید به شرایط آب و هوایی و مقدار آب مصرفی بستگی دارد. علت مسئله تغییر سرانه مصرف آب شرب در ماههای گرم و سرد سال بیان شده است. سازمان‌های مختلف محدوده‌های مختلفی برای غلظت بهینه فلوراید در آب آشامیدنی ارائه کرده‌اند. سازمان بهداشت جهانی مقدار ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر را به عنوان یک مقدار راهنما بیان کرده است (WHO, 1995) که مشابه مقدار پیشنهادی کمیسیون جامعه اروپاست (CEC, 1998) سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده امریکا حداکثر مقدار مجاز در آب آشامیدنی را به منظور جلوگیری از فلوروزیس استخوانی، ۴ میلی‌گرم در لیتر تعیین کرده است (USEPA, 1985). این سازمان غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر را به عنوان حداکثر غلظت ثانویه که بیش از آن موجب بروز فلوروزیس دندان می‌شود تعبیر کرده است.

مصرف آب با غلظت بالای فلوراید موجب بروز فلوروزیس دندان طی چند سال می‌شود. غلظت‌های بسیار بالای آن می‌تواند منجر به بروز فلوروزیس استخوانی شود.

در ایران مطالعاتی در زمینه غلظت یون فلوراید در منابع

آب آشامیدنی انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به مقایسه پوسیدگی دندانی بین کودکان دبستان‌های مشهد و سبزوار، با در نظر گرفتن فلوراید و کلسیم در آب آشامیدنی (سبزواری و حیدری، ۱۳۵۰)، فلوراید و بهداشت دندان در بررسی شیمیایی آب بوشهر و برازجان (ایماندل، ۱۳۵۲)، تعیین فلوراید در آبهای آشامیدنی ایران و بررسی امکان فلوریداسیون آنها (ادریسی، ۱۳۵۴)، تحقیق و بررسی مقدار فلوراید آبهای آشامیدنی تهران (مغاک و توکلی، ۱۳۵۴)، تعیین مقدار فلوراید آبهای آشامیدنی دهستان گلچرات و قه‌قیون شهرستان ماکو (نجفی، عرب عصار و حیدری، ۱۳۵۸)، تعیین میزان فلوراید در آبهای آشامیدنی استان اصفهان و رابطه آن با D. M. F در کودکان ۱۲-۷ ساله (جهانشاهی، ۱۳۶۹)، بررسی میزان فلوراید در آبهای آشامیدنی استان کرمان (میرزایی و نوروزیان، ۱۳۷۱)، اندازه‌گیری میزان فلوراید در منابع آب آشامیدنی استان اصفهان (مرتضوی و فیروز، ۱۳۷۲)، شناخت منابع فلوراید آب منطقه پلدشت و ارائه روش اقتصادی و مناسب حذف فلوراید (اسماعیلی و نامورگیان، ۱۳۷۴)، بررسی میزان فلوراید آب آشامیدنی شهرستان رفسنجان (اسماعیلی، ۱۳۷۶)، بررسی میزان فلوراید در منابع آب آشامیدنی شهر بابل و ارتباط آن با شاخص SMFT در دانش‌آموزان دوره راهنمایی (مهدی نیاجوبی و محوی، ۱۳۷۷)، بررسی میزان فلوراید در آب آشامیدنی شهر کرمانشاه و اهمیت بهداشتی آن (پیرصاحب، عزیزی و پاسدار خشکناز، ۱۳۷۵) اشاره کرد.

تنها مطالعه انجام شده در زمینه اندازه‌گیری و تعیین غلظت یون فلوراید در منابع آب آشامیدنی تهران با عنوان «تحقیق و بررسی مقدار فلوراید آبهای آشامیدنی تهران» توسط مغاک و توکلی در سال ۱۳۵۴ در دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام شده است.

نامشخص بودن غلظت یون فلوراید در منابع تأمین آب شهر تهران در حال حاضر، اختلاف نظر در مورد نحوه تنظیم غلظت آن در آب شرب شهر تهران و مبهم بودن نتیجه اقدام‌های اولیه‌ای که در سالهای اخیر برای خوراندن یون فلوراید به کودکان دبستانی تهران انجام شده است، موجب شد تا این

**جدول شماره (۱): غلظت یون فلوراید در رودخانه جاجرود در سال ۱۳۷۹**

انحراف معیار	محدوده تغییرات غلظت میلی گرم در لیتر	میانگین غلظت میلی گرم در لیتر	تعداد نمونه‌ها	بازه زمانی
۰/۰۴۶	۰/۲۸-۰/۴	۰/۳۴	۶	اردیبهشت- خرداد
۰/۰۵۹	۰/۳۶-۰/۵۲	۰/۴۳	۶	تیر- مرداد
۰/۰۲۸	۰/۳۵-۰/۴۲	۰/۳۷	۵	شهریور- مهر
۰/۰۳۴	۰/۳۲-۰/۴	۰/۳۶	۵	آبان- آذر

**جدول شماره (۲): غلظت یون فلوراید در رودخانه کرج در سال ۱۳۷۹**

انحراف معیار	محدوده تغییرات غلظت میلی گرم در لیتر	میانگین غلظت میلی گرم در لیتر	تعداد نمونه‌ها	بازه زمانی
۰/۰۱۷۳	۰/۳۱-۰/۳۵	۰/۳۳۵	۴	اردیبهشت- خرداد
۰/۰۴۷	۰/۱۹-۰/۳۳	۰/۲۷	۸	تیر- مرداد
۰/۰۳۹	۰/۱۸-۰/۲۹	۰/۲۳	۱۱	شهریور- مهر
۰/۰۲۷۸	۰/۱۵-۰/۲۳	۰/۱۹	۸	آبان- آذر

### بحث و نتیجه‌گیری

استانداردهایی که برای غلظت یون فلوراید در آب آشامیدنی از سوی سازمان‌های مختلف ارائه شده، متفاوت اند. این مقادیر در استانداردهای مختلف بستگی به تغییرات فصلی دارند. منطق حاکم بر این موضوع وجود رابطه مستقیم بین دمای هوا و مصرف سرانه آب است. به عبارت دیگر در ماههای گرم سال مقدار مصرف آب آشامیدنی نسبت به ماههای سرد سال افزایش می‌یابد. بنابراین با فرض ثابت بودن غلظت یون فلوراید

پروژه در زمینه تعیین غلظت یون فلوراید در منابع تأمین آب شرب تهران تعریف و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران در دانشکده محیط‌زیست اجرا شود.

### روش کار

#### انتخاب ایستگاههای نمونه‌برداری: برای بررسی

وضعیت غلظت یون فلوراید در رودخانه‌های کرج و جاجرود ۸ ایستگاه بر روی رودخانه کرج و ۵ ایستگاه بر روی رودخانه جاجرود انتخاب شد. ایستگاههای نمونه‌برداری به گونه‌ای انتخاب شد که معرف تمام محدوده مورد مطالعه باشد.

#### روش اندازه‌گیری غلظت یون فلوراید: برای

تعیین غلظت یون فلوراید در نمونه‌های آب از روش 500-FD. SPANDS کتاب روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب استفاده شد. این روش بر واکنش زیر کانیوم اسپادنس با یون فلوراید که رنگ قرمز ایجاد می‌کند، استوار است. شدت رنگ قرمز متناسب با غلظت یون فلوراید بوده و با استفاده از اسپکتروفتومتر ناحیه مرئی قابل اندازه‌گیری است (AWWA, 1995a).

#### نمونه‌برداری و نگهداری نمونه‌ها: نمونه‌های

برداشت شده براساس توصیه کتاب روش‌های استاندارد در ظروف پلی اتیلنی نگهداری و بر روی آنها تاریخ، ساعت، محل نمونه‌برداری و دمای آب به هنگام نمونه‌برداری ثبت و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شد (AWWA, 1995b).

#### تعداد و زمان نمونه‌برداری: نمونه‌برداری در فاصله

مانی اردیبهشت ماه تا آذر ماه سال ۱۳۷۹ انجام گردید. در این مدت در مجموع تعداد ۵۳ نمونه آب از دو رودخانه برداشت و لظت یون فلوراید در آن اندازه‌گیری شد.

### ایچ

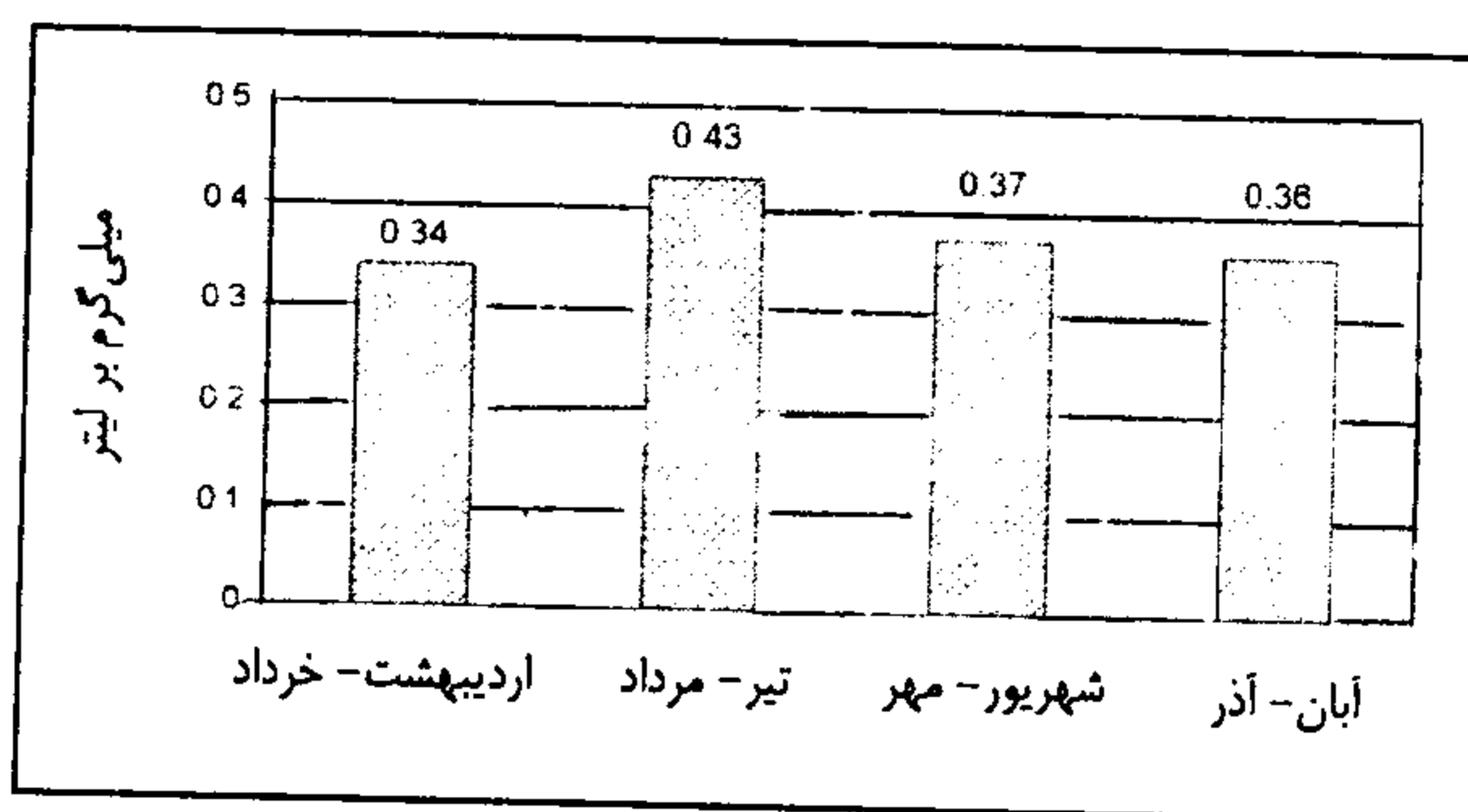
خلاصه نتایج اندازه‌گیری غلظت یون فلوراید در آب دخانه‌های جاجرود و کرج در طول دوره تحقیق به ترتیب در اول شماره (۱ و ۲) و نمودارهای شماره (۱ و ۲) آمده است:

در منابع سطحی تأمین آب شرب تهران حداقل ۱ میلی گرم در لیتر کمتر از مقادیر توصیه شده است. مقایسه غلظت فلوراید در رودخانه‌های کرج و جاجرود نشان می‌دهد که به طور متوسط غلظت فلوراید در رودخانه جاجرود، ۴۴ درصد بیش از رودخانه کرج می‌باشد. این مسئله باعث افزایش غلظت یون فلوراید در آب آشامیدنی مناطق شرقی تهران که از رودخانه جاجرود تأمین می‌شود، شده است.

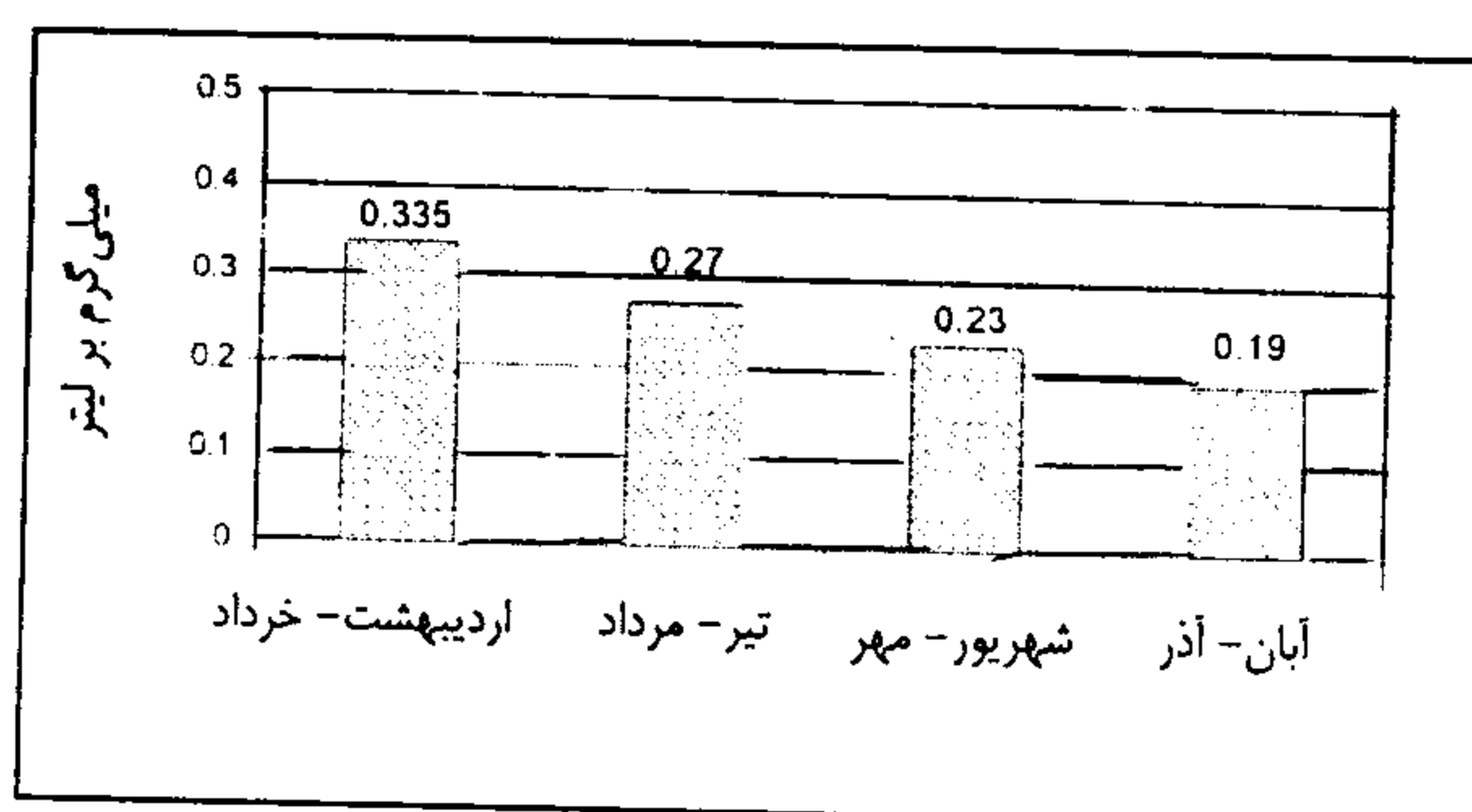
بر اساس استاندارد جاری کیفیت آب آشامیدنی ایران و سرانه آب شرب مصرفی در ماههای مختلف سال، رابطه‌ای بین دمای هوای شهر تهران و غلظت یون فلوراید در آب آشامیدنی شهر به دست آمد. میانگین دمای هوای تهران در زمستان ۵ درجه سانتی‌گراد و در تابستان ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (جدول شماره ۳).

مقایسه غلظت یون فلوراید در منابع اصلی تأمین کننده آب آشامیدنی شهر تهران (رودخانه‌های کرج و جاجرود) با استاندارد ثانویه سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا (۲/۰ میلی گرم در لیتر)، نشان می‌دهد که کمبود یون فلوراید در این رودخانه‌ها به ترتیب ۱/۷۷ - ۱/۶۷ و ۱/۶۶ - ۱/۵۷ میلی گرم در لیتر می‌باشد. در مقایسه با استاندارد آب آشامیدنی ایران، میانگین مقدار کمبود یون فلوراید در رودخانه‌های کرج و جاجرود به ترتیب در ماههای گرم سال حدود ۰/۴۵ و ۰/۳ میلی گرم در لیتر و در ماههای سرد سال حدود ۱ و ۰/۸۵ میلی گرم در لیتر است.

با توجه به اینکه این دو رودخانه از منابع اصلی تأمین آب شرب شهر تهران می‌باشند باید به منظور جبران کمبود یون فلوراید در آب شرب، برنامه‌ای برای تنظیم آن در سطح گسترده و فراگیر تدارک دیده شود. این برنامه می‌تواند شامل فلوریداسیون در تصفیه‌خانه‌های آب تا تنظیم فلوراید از طریق رژیم غذایی، یا مصرف فلوراید خوراکی را در بر گیرد.



نمودار شماره (۱): میانگین غلظت یون فلوراید در رودخانه جاجرود در سال ۱۳۷۹



نمودار شماره (۲): میانگین غلظت یون فلوراید در رودخانه کرج در سال ۱۳۷۹

در آب، افراد در ماههای گرم سال مقدار فلوراید بیشتری دریافت می‌کنند. براساس استاندارد آب آشامیدنی ایران غلظت بهینه فلوراید آب آشامیدنی در ماههای گرم سال ۰/۷ میلی گرم بر لیتر و در ماههای سرد سال ۱/۲ میلی گرم بر لیتر می‌باشد.

غلظت یون فلوراید در آب رودخانه‌های کرج و جاجرود که منابع اصلی تأمین کننده آب آشامیدنی تهران می‌باشند، به ترتیب در محدوده ۰/۳۵ - ۰/۱۵ و ۰/۵۲ - ۰/۲۸ میلی گرم در لیتر قرار دارد. نمودارهای شماره ۱ و ۲، میانگین غلظت فلوراید را در رودخانه‌های کرج و جاجرود نشان می‌دهند. مقایسه این مقادیر با معیارهای سازمان بهداشت جهانی (WHO, 1990)، استاندارد جاری ایالات متحده امریکا (USFed. Reg. 1985) و جامعه اروپا (CEC, 1998) بیانگر این است که میانگین غلظت فلوراید

جدول شماره (۳): میانگین درجه حرارت ماهانه در سال ۱۳۷۸ و استانداردهای یون فلوراید

استاندارد ثانویه سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (میلی گرم بر لیتر)	استاندارد آب آشامیدنی ایران (میلی گرم بر لیتر)	ایستگاه شمیرانات °C	ایستگاه مهرآباد °C	ماه
۲	۱/۰ - ۱/۱	۱۲/۹	۱۶	فروردین
۲	۰/۸ - ۰/۹	۱۹/۶	۲۲/۵	اردیبهشت
۲	۰/۷ - ۰/۸	۲۵	۲۷/۶	خرداد
۲	۰/۷	۲۶/۸	۲۹/۲	تیر
۲	۰/۷	۲۷/۱	۳۰/۶	مرداد
۲	۰/۷ - ۰/۸	۲۵/۹	۲۹	شهریور
۲	۰/۸ - ۰/۹	۱۹/۴	۲۲/۶	مهر
۲	۱/۱ - ۱/۲	۱۰	۱۲/۶	آبان
۲	> ۱/۲	۵/۹	۸/۲	آذر
۲	> ۱/۲	۴/۷	۶/۶	دی
۲	> ۱/۲	۳/۲	۵/۵	بهمن
۲	> ۱/۲	۶/۸	۹/۲	اسفند

### منابع مورد استفاده

پیرصاحب، مقداد؛ عزیزی، محمد و پاسدار خشکناز، یحیی. ۱۳۷۵. بررسی میزان فلوراید در آب آشامیدنی شهر کرمانشاه و اهمیت بهداشتی آن. کنگره سراسری بهداشت آب.

ادریسی، محمد. ۱۳۵۴. تعیین فلوراید در آبهای آشامیدنی ایران و بررسی امکان فلوریداسیون آنها، پلی تکنیک تهران. انستیتو مهندسی شیمی و پتروشیمی.

جهانشاهی، غلامرضا. ۱۳۶۹. تعیین میزان فلوراید در آبهای آشامیدنی استان اصفهان و رابطه آن با D.M.F در کودکان ۷-۱۲ ساله. دانشگاه علوم پزشکی اصفهان.

اسماعیلی، عباس. ۱۳۷۶. بررسی میزان فلوراید آب آشامیدنی شهرستان رفسنجان. دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان.

سبزواری، محمد و حیدری، مرتضی (راهنما). ۱۳۵۰. مقایسه پوسیدگی دندانی بین کودکان دبستانهای مشهد و سبزواری با در نظر گرفتن فلوراید و کلریم در آب آشامیدنی. پایان نامه دکتری. دانشگاه علوم پزشکی مشهد.

اسماعیلی، لطف‌الله و نامورگیان، رامیز (راهنما). ۱۳۷۴. شناخت منابع فلوراید آب منطقه پلدشت و ارائه روش اقتصادی و مناسب حذف فلوراید، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

فیروز، علیرضا و مرتضوی، باقر. ۱۳۷۲. اندازه‌گیری میزان فلوراید در منابع آب آشامیدنی استان اصفهان، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان.

ایماندل، کرامت‌الله. ۱۳۵۲. فلوراید و بهداشت دندان در بررسی سیمایی آب بوشهر و برازجان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

- Twort A. L. et al. 2000. Water Supply, 5<sup>th</sup> ed., Arnold Publishing Co., London.
- USEPA. 1985. Final Draft for the Drinking Water Criteria Document on Floride. Criteria and Standard Div. EPA. Washington D.C.
- US Fed. Reg. 1985. National Primary Drinking Water Regulations. Fed. Reg. 50:47142. Washington D.C.
- World Health Organization. 1990. Guidelines for Drinking Water Quality. Geneva.
- World Health Organization. 1995. Guidelines for Drinking Water Quality. Vol. 1, CEHA. Amman.
- مغاک، اقدس و توکلی، تیمور (راهنما). ۱۳۵۴. تحقیق و بررسی مقدار فلوراید آبهای آشامیدنی تهران، پایان نامه دکترا، دانشگاه علوم پزشکی.
- مهدی نیاچوبی، محمود و محوی، امیرحسین. ۱۳۷۷. بررسی میزان فلوراید در منابع آب آشامیدنی شهر بابل و ارتباط آن با شاخص SMFT در دانش آموزان دوره راهنمایی، دانشور، سال ۵، شماره ۲۰.
- میرزایی، محمد و ابراهیم، نوروزیان (راهنما). ۱۳۷۱. بررسی میزان فلوراید در آبهای آشامیدنی استان کرمان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، پنجمین سمینار شیمی تجزیه ایران.
- نجفی، محمود؛ عرب حصار، امیر و حیدری، مرتضی (راهنما). ۱۳۵۸. تعیین مقدار فلوراید آبهای آشامیدنی دهستان گلچرات و قه قیون شهرستان ماکو. پایان نامه دکتری، دانشگاه علوم پزشکی تبریز.
- American Water Work Association. 1995a. Water Fluoridation Principles and Practice, Manual M4, Denver, Colo.
- American Water Work Association. 1995b. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 19<sup>th</sup> ed. Washington D.C.
- Council of European Communities. 1998. Directive 98/83 on the Quality of Water Intended for Human Consumption. EC Official Journal L330/41.