

ارزیابی و مدل سازی پارامترهای مؤثر بر میزان سمیت فلوراید در محیط های آبی به روش زیست آزمونی

حمیدرضا شمس الهی¹؛ هادی اسدی²؛ امیر حسین محوی^{1*}؛ زهرا ذوالقدر³

چکیده

زمینه: فلوراید به اشکال گوناگون در طبیعت و منابع آب حضور دارد. افزایش فلوراید در منابع آب به دلیل تخلیه پساب های صنعتی می تواند منجر به بروز مسمومیت برای ارگانیسم های آبی شود. برای جلوگیری از بروز مسمومیت، تعیین حداکثر سمیت فلوراید و سپس تعیین حدود مجاز تخلیه پساب ها ضروری است. هدف از این پژوهش تعیین حداکثر سمیت فلوراید و سپس تعیین نحوه تأثیر فاکتورهای مؤثر بر آن و ارایه یک مدل برای تعیین حدود مجاز تخلیه پساب ها می باشد. روش ها: برای سنجش حداکثر سمیت فلوراید از زیست آزمونی با دافنیا مگنا بدون حضور فاکتورهای مداخله گر استفاده شد. سپس جهت تعیین اثر فاکتورهای مداخله گر (سختی، دما و زمان مواجهه) زیست آزمونی در حضور این عوامل تکرار گردید. یافته ها: LC50 فلوراید بدون حضور فاکتورهای مداخله گر در 24، 48 و 72 ساعت پس از مواجهه به ترتیب 4/9، 46/5 و 38/7 میلی گرم در لیتر بود. همچنین تأثیر فاکتورهای مداخله گر با آنالیز مقادیر LC50 به دست آمده در حضور این عوامل، توسط نرم افزار minitab معنادار تشخیص داده شد.

نتیجه گیری: افزایش سختی آب باعث کاهش سمیت فلوراید و افزایش دما و زمان مواجهه سبب افزایش سمیت آن در محیط های آبی می شود. لذا در تعیین حد مجاز تخلیه پساب ها از نظر غلظت فلوراید، برای جلوگیری از بروز سمیت در منابع آب پذیرنده، توجه به تأثیر فاکتورهای مداخله گر بر سمیت فلوراید ضروری است.

کلیدواژه ها: زیست آزمونی، دافنیا مگنا، سمیت فلوراید، مدل سازی

«دریافت: 1392/8/20 پذیرش: 1392/11/29»

1. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

2. گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

3. گروه آمار زیستی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

*عهده دار مکاتبات: تهران، خیابان 16 آذر، خیابان پورسینا، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط، تلفن:

Email: ahmahvi@yahoo.com

021 - 88954914

مقدمه

دما و سختی آب وابسته است (2). در منابع آب غیرآلوده، غلظت فلوراید معمولاً بین 0/01-0/3 میلی گرم در لیتر است هرچند که غلظت های بالاتر نیز در آب های مناطقی که از زمین های آتشفشانی عبور می کنند قابل مشاهده است (3 و 4). علاوه بر این فعالیت های انسانی از طریق تخلیه فاضلاب صنعتی مانند کارخانه های ذوب آلومینیوم، تولید سرامیک و شیشه، تولیدات مواد شیمیایی و تولیدکنندگان کود فسفات می تواند باعث افزایش غلظت

فلوئور الکترولیت های عنصر در بین سایر عناصر است که می توان آن را به شکل ترکیبات آلی (فریون ها) و ترکیبات غیرآلی مانند فلوریت (CaF_2)، فلوروآپاتیت ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) و کریولیت (Na_3AlF_6) مشاهده کرد (1). همچنین فلوئور از طریق انحلال نمک های آن در آب نیز می تواند حضور داشته باشد. غلظت و ماندگاری یون فلوراید در آب به چندین پارامتر محیطی از جمله pH،

فلوراید سنجیده شده‌اند و بیانگر شدیدترین حالت سمیت فلوراید نیستند. از این‌رو استفاده از این مقادیر برای اهداف گوناگون به‌ویژه جهت تعیین حدود مجاز تخلیه پساب‌ها، در شرایط محیطی تشدیدکننده سمیت می‌تواند منجر به بروز مسمومیت‌های شدید در محیط‌های آبی شود. لذا اهداف پژوهش حاضر ابتدا تعیین شدیدترین حالت سمیت فلوراید در محیط‌های آبی بدون حضور عوامل مداخله‌گر و سپس تعیین چگونگی برهم‌کنش و نوع تأثیر عوامل مداخله‌گر و مؤثر بر سمیت فلوراید و مدل‌سازی آن به‌منظور ایجاد یک مدل کاربردی جهت پیش‌بینی بروز سمیت فلوراید در آب‌های پذیرنده پساب‌های صنعتی به‌منظور تعیین مقادیر مجاز تخلیه پساب و تعیین نوع و میزان تصفیه مورد نیاز روی پساب‌ها جهت رسیدن به استاندارد تخلیه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی مورد استفاده شامل $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ، NaF ، EDTA ، $\text{NH}_4 \text{Cl}$ دهیدراته و اریوکروم بلک تی (EBT)، از شرکت مرک آلمان خریداری شدند. دستگاه اسپکتروفوتومتر DR 5000 برای تعیین غلظت فلوراید در محلول‌های استاندارد آماده‌شده استفاده گردید. برای اندازه‌گیری سختی در محلول‌های آماده‌شده از روش استاندارد استفاده شد (12).

در این پژوهش برای انجام آزمایشات زیست‌آزمونی از دافنیا مگنا استفاده شد (12). دافنیا مگنا یک پلانکتون آب‌های شیرین از خانواده کرستاسه‌ها است که برای مطالعات زیست‌آزمونی و تعیین میزان سمیت به‌کار گرفته می‌شود. ارگانسیم‌های استفاده‌شده برای این مطالعه از محیط آبی جمع‌آوری و تحت شرایط استاندارد تکثیر شد (12). بعد از 8 هفته، خزانه حاوی تعداد مورد نیاز از دافنیا مگنا حاصل گردید.

برای تعیین حداکثر میزان سمیت فلوراید (LC_{50})، محلول مادر (استوک) از یون فلوراید با حل کردن 2/21 گرم پودر NaF (با خلوص 99/99%) در یک لیتر از آب

فلوراید در آب‌های پذیرنده شوند (3-6).

فلوراید در آب آشامیدنی در محدوده 0/8-1/2 میلی‌گرم در لیتر مانع از پوسیدگی دندان می‌شود اما دریافت بیش از میزان بهینه آن باعث عوارض مزمنی مانند فلوروزیس اسکلتی و دندانی و همچنین باعث آسیب به کلیه، کبد و مغز می‌شود (7).

در محیط‌های آبی نیز غلظت‌های بالای فلوراید می‌تواند اثرات سمی مزمن و حاد بر روی ارگانسیم‌های آبی مانند جلبک‌ها، گیاهان، ماهی‌ها و سخت‌پوستان دریایی در پی داشته باشد. این اثرات شامل کاهش رشد و یا مرگ ارگانسیم‌های آبی است (2). سمیت ترکیبات گوناگون و همچنین یون فلوراید در آب را می‌توان توسط زیست‌آزمونی (Bioassay) مورد سنجش قرار داده و LC_{50} فلوراید را تعیین نمود.

مطالعات گوناگونی از روش‌های زیست‌آزمونی با ارگانسیم‌های آبی متفاوت برای تعیین سمیت فلوراید استفاده کرده‌اند. در پژوهشی در این زمینه از یک کرستاسه آب‌های شیرین به نام *Penaeus indicus* برای زیست‌آزمونی فلوراید در آب دریا و در حضور عوامل مداخله‌گر استفاده و LC_{50} 96 ساعته فلوراید، 302 ± 118 میلی‌گرم در لیتر تعیین شد (3، 9). در پژوهشی مشابه، دافنیا مگنا برای زیست‌آزمونی فلوراید در دما و در مقدار سختی ثابت در محیط‌های آبی استفاده شد و LC_{50} 24 ساعته 308 و 48 ساعته، 156 میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد (10). همچنین سمیت فلوراید در حضور مقادیر ثابت سختی (169/3 میلی‌گرم در لیتر کلسیم کربنات) و در سه سطح دمایی 15، 20 و 25 درجه سانتی‌گراد، اندازه‌گیری و مقادیر LC_{50} فلوراید در 48 ساعت به ترتیب 304، 251 و 200 میلی‌گرم در لیتر گزارش شد (11).

سمیت یون فلوراید برای ارگانسیم‌های آبی تابعی از فاکتورهای محیطی مؤثر بر آن است. مقادیر گزارش‌شده برای سمیت فلوراید در مطالعات مختلف با شرایط محیطی ثابت و در حضور عوامل مداخله‌گر بر سمیت

ظرف شاهد حاوی آب مقطر در نظر گرفته شد. تعداد مرگ دافنیاها در 24، 48 و 72 ساعت بعد از مواجهه به صورت تجمعی ثبت شد. هر 12 ساعت کاهش حجم محلول (به دلیل تبخیر) با استفاده از آب مقطر Milli Q جبران شد. همچنین تنظیم دمای محلولها به وسیله تنظیم دمای محیطی، در آزمایشگاه انجام شد. مقدار LC_{50} در هر یک از این زمانها مطابق روش استاندارد توسط نرم افزار SPSS محاسبه گردید. در ادامه به منظور بررسی و مدل کردن تأثیر تغییرات همزمان فاکتورهای محیطی بر سمیت فلوراید، مقادیر LC_{50} به دست آمده تحت تأثیر فاکتورهای سه گانه (دما، سختی و زمان مواجهه) به وسیله نرم افزار minitab تحت آنالیز ANOVA سه طرفه با 3 فاکتور و 3 اثر همزمان قرار گرفت.

یافته ها

برای تعیین سمیت فلوراید، شاخص LC_{50} در 24، 48 و 72 ساعت بعد از مواجهه با محلول فلوراید فاقد سختی تعیین شد (جدول 1).

مقادیر LC_{50} رابطه مستقیم بین زمان مواجهه و میزان سمیت فلوراید در محیطهای آبی را نشان می دهد (جدول 1). در ادامه سمیت فلوراید که در حضور سطوح متفاوت سختی و دما و در 3 زمان مواجهه اندازه گیری شد (جدول 2) مقادیر LC_{50} به وسیله آنالیز Probit محاسبه گردید.

همچنین نحوه و روند تأثیر هر یک از فاکتورهای محیطی تأثیرگذار بر روی LC_{50} فلوراید توسط نرم افزار minitab ارزیابی شد. روند اثرات این پارامترها بر روی سمیت فلوراید در تصویر 1 نشان داده شده است. در ادامه با استفاده از نرم افزار minitab اثرات متقابل بین پارامترهای مؤثر و محدوده اثرات آنها بر روی سمیت فلوراید بررسی شد. اثرات متقابل بین فاکتورهای تأثیرگذار بر سمیت فلوراید در تصویر 2 نشان داده شده است.

مقادیر LC_{50} به دست آمده تحت آنالیز ANOVA سه طرفه با سه متغیر قرار گرفتند.

مقطر Milli Q آماده شد. مقادیر مختلفی از محلول استوک در 100 میلی لیتر از آب مقطر Milli Q حل شد و ده محلول فلوراید با غلظت های مورد نظر به دست آمد. مطابق روش استاندارد، برای هر غلظت، سه ظرف شامل یک ظرف شاهد حاوی آب مقطر و دو ظرف آلوده شده حاوی محلول فلوراید در نظر گرفته شد (12).

مطابق روش استاندارد، به هر یک از ظروف حاوی محلول فلوراید و نیز ظروف شاهد، 10 عدد دافنیا مگنا اضافه شد. تعداد مرگ دافنیاها در 24، 48 و 72 ساعت بعد از مواجهه به صورت تجمعی ثبت گردید (12). مرگ دافنیاها از طریق تغییر رنگ از قهوه ای به سفید، ته نشین شدن در ظروف و عدم تحرک احراز گردید. همچنین به منظور اطمینان از مرگ، دافنیاهای مرده از محلولها جداسازی شده و در آب رقیق سازی قرار گرفتند. پس از حضور در آب رقیق سازی و عدم تحرک دافنیاها مرگ آنها با قطعیت ثبت گردید. جهت تعیین LC_{50} فلوراید تعداد مرگها توسط نرم افزار SPSS و با استفاده از آزمون های آنالیز رگرسیون و probit mode مورد تحلیل قرار گرفت و مقدار LC_{50} در هر 3 زمان 24، 48 و 72 ساعت تعیین گردید. مقدار pH همه محلولها بین 5/65-6/12 بود.

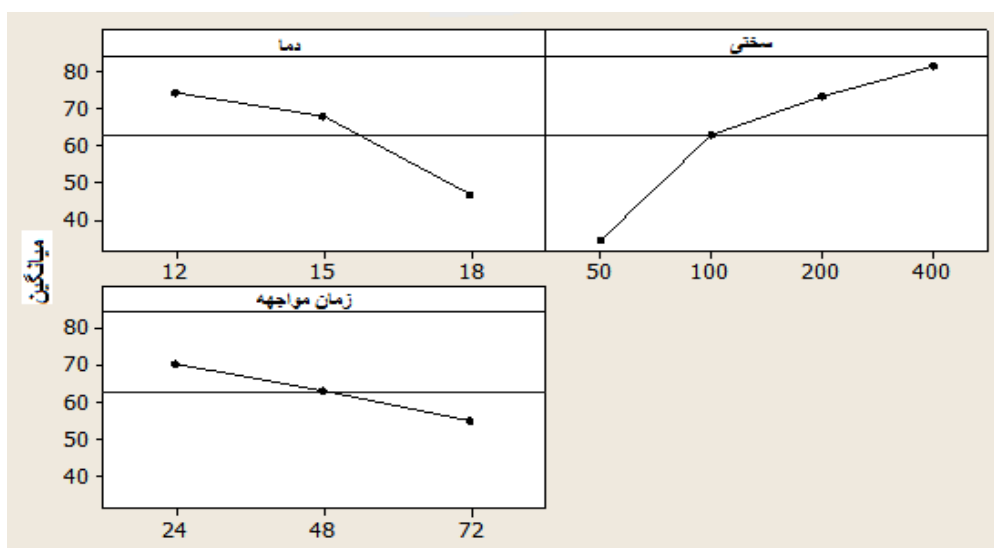
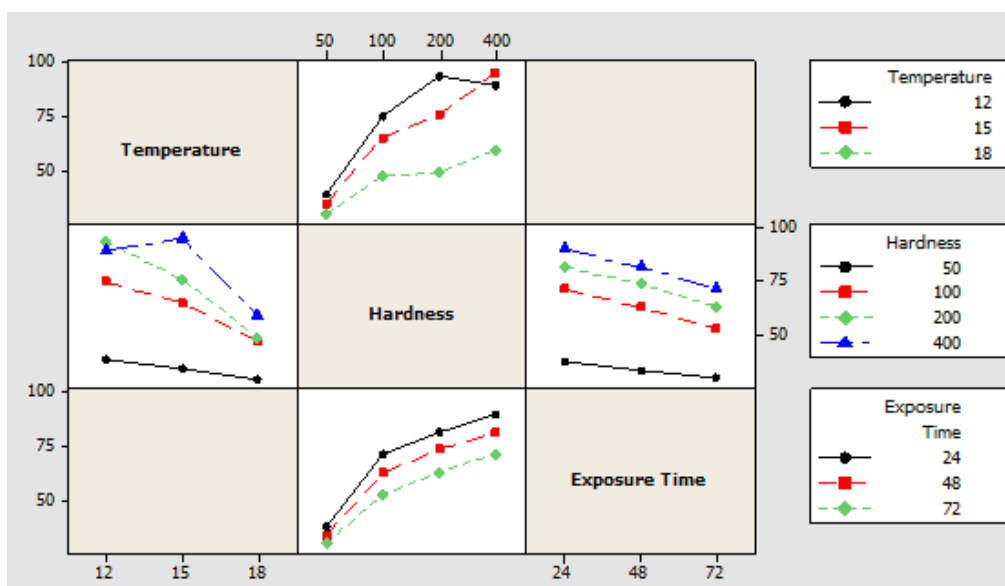
تست سمیت برای تعیین رابطه بین افزایش سختی آب و تغییرات دما بر روی سمیت فلوراید در حضور غلظت های مختلف سختی شامل 50، 100، 200 و 400 میلی گرم بر لیتر ($CaCO_3$) تکرار شد. برای آماده کردن مقدار مطلوب سختی در ظرفها، محلول استوک سختی با غلظت 2 گرم بر لیتر کربنات کلسیم تهیه شد و سپس مقادیر مورد نیاز به ظرفها اضافه شد. این آزمایشات در سه سطح دما شامل 12، 15 و 18 درجه سانتی گراد تکرار گردید. مقادیر سختی به گونه ای انتخاب شد که دربرگیرنده تمام انواع آبها از نظر تقسیم بندی سختی باشد. حجم محلول هر ظرف 100 میلی لیتر شامل یون فلوراید و سختی بود. هر ظرف حاوی 10 عدد دافنیا مگنا بود و برای هر غلظت 3 ظرف شامل 2 ظرف آلوده و یک

جدول 1- LC50 محاسبه‌شده برای فلوراید در شرایط عدم حضور پارامترهای مداخله‌گر

زمان مواجهه			میزان سمیت LC ₅₀ (میلی گرم بر لیتر)
72 ساعت	48 ساعت	24 ساعت	
38/7	46/5	54/9	

جدول 2- LC50 سنجش شده برای فلوراید در حضور فاکتورهای مداخله‌کننده

18 C°				15 C°				12 C°				دما LC ₅₀ (caco ₃) سختی
400	200	100	50	400	200	100	50	400	200	100	50	
66/45	55/92	58/09	31/71	103/86	86/10	72/5	38/54	99/88	103/45	83/65	43/78	24 ساعته
59/4	49/79	47/52	29/24	96/74	77/52	65/38	34/42	89/23	94/63	76/7	38/42	48 ساعته
52/97	42/46	37/23	27/37	85/13	65/08	58/36	30/52	78/37	83/56	64/33	33/86	72 ساعته

تصویر 1- نمودار اثرات دما، سختی و زمان مواجهه بر LC₅₀ فلوراید

تصویر 2- اثرات متقابل دما، سختی و زمان مواجهه بر سمیت فلوراید

خطی تأثیر تغییرات فاکتورها بر سمیت فلوراید به شکل فرمول 1 است:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + \beta_j + \gamma_k + (t\beta)_{ij} + (\beta\gamma)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

مقدار R^2 (adj) این مدل برابر 0/9932 است، به این معنی که 99/32 درصد از تغییرات داده‌ها با این مدل قابل

نتایج این آزمون نشان داد که به استثنای اثرات متقابل بین دما و زمان مواجهه، سایر اثرات متقابل با (Pvalue) کم‌تر از 0/05 معنادار هستند. بنابراین مدل خطی عمومی (GLM) در بردارنده 3 فاکتور اصلی و 2 اثر متقابل است که بر داده‌ها برازش داده می‌شوند (جدول 3). لذا مدل

جدول 3- نتایج آنالیز ANOVA سه جهته با سه فاکتور مستقل و اثرات متقابل بین آن‌ها

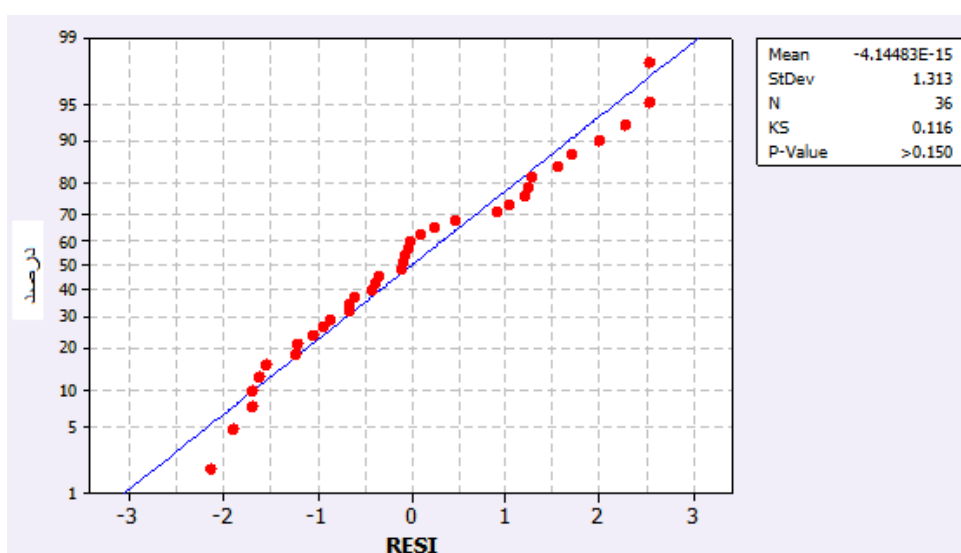
Pvalue	F	Adj MS	Adj SS	Seq SS	DF	منبع
0/011	6/95	3/10	37/19	5036/10	2	دما
0/002	14/77	3806/09	11418	11418/28	3	سختی
0/000	29/38	712/16	0/28	1428/31	2	زمان مواجهه
0/000	77/18	239/19	1424/31	1435/14	6	دما * سختی
0/181	1/87	5/79	1435/14	23/15	4	دما * زمان مواجهه
0/002	10/41	21/55	23/15	129/30	6	سختی * زمان مواجهه
		2518/05	129/30	37/19	12	خطا
			5036/10	19503/46	35	کل

جدول 4- مدل آزمون معناداری ضرایب

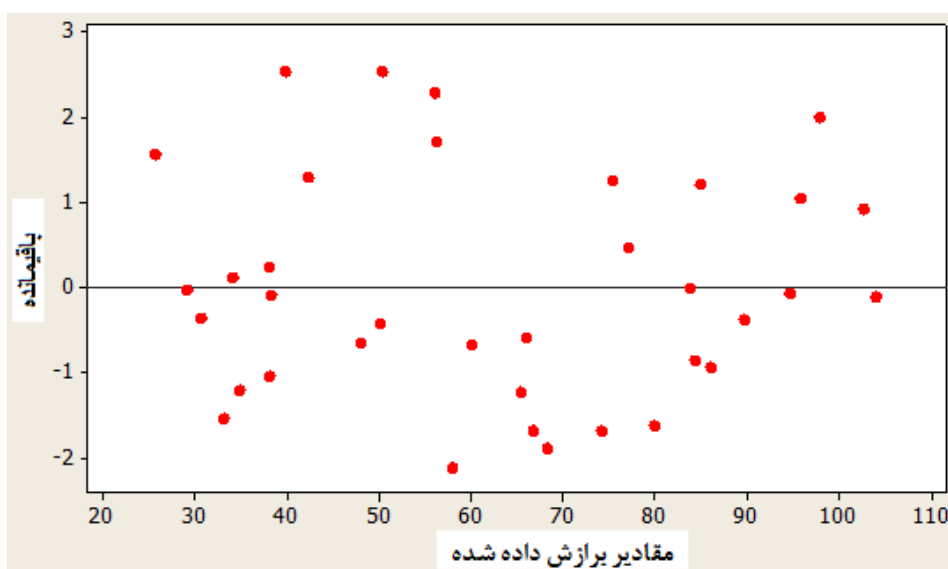
P	T	SE Coef	Coef	متغیر
0/00	194/16	0/3236	62/8378	ثابت
0/00	24/73	0/4577	11/3172	12
0/00	10/94	0/4577	5/0081	15
0/00	-51/08	0/5606	-28/6311	50
0/729	-0/35	-0/5606	-0/1978	100
0/00	18/43	0/5606	10/3300	200
0/00	16/36	0/4577	7/4897	24
0/382	0/90	0/4577	0/4114	48
0/00	-8/62	0/7928	-6/8372	12* 50
0/255	1/18	0/7928	0/9361	12* 100
0/00	11/85	0/7928	9/3950	12* 200
0/00	-5/96	0/7928	-4/7214	15 * 50
0/012	-2/82	0/7928	-2/2347	15 * 100
0/026	-2/45	0/7928	-1/9425	15 * 200
0/00	-4/65	0/7928	-3/6864	50 * 24
0/466	-0/75	0/7928	-0/5914	50* 48
0/125	1/62	0/7928	1/2836	100 * 24
0/854	0/19	0/7928	0/1486	100 * 48
0/161	1/47	0/7928	1/1658	200 * 24
0/620	0/51	0/7928	0/4008	200 * 48

همچنین نرمال بودن باقی‌مانده‌ها از جمله تفاوت‌ها بین LC50 اندازه‌گیری شده و LC50 تخمین زده شده توسط مدل مورد بررسی قرار گرفت (تصویر 3). در آزمون نرمال بودن داده‌ها، $P > 0/15$ بود، بنابراین فرضیه نرمال بودن داده‌ها رد نمی‌شود. همچنین داده‌ها دارای پراکندگی تصادفی‌اند بنابراین این مدل برای مدل کردن این داده‌ها مناسب است (تصویر 4).

توضیح است. این مدل دربردارنده اثرات دما (τ_i)، سختی (β_j)، زمان مواجهه (γ_k) و برهم‌کنش‌های معنادار می‌باشد که تغییر در میزان آن‌ها می‌تواند باعث تغییر معنادار در مقادیر LC₅₀ شود. برای اطمینان از معناداری فاکتورها و اثرات متقابل آن‌ها، اثر چندین سطح از فاکتورها و اثرات متقابل آنها توسط این مدل آزمون شد (جدول 4). این آزمایش با در نظر گرفتن سطح ماکزیمم فاکتورها و اثرات متقابل آن‌ها انجام شد.



تصویر 3 - نمودار احتمال نرمال برای باقیمانده‌های مدل



تصویر 4 - نمودار باقی‌مانده در برابر مقادیر برازش داده‌شده در مدل

بحث

کاهش یون‌های مؤثر فلوراید در حضور سختی می‌تواند به دلیل ایجاد ترکیب CaF_2 در محلول و کاهش غلظت مؤثر آنیون‌های فلوراید باشد.

همچنین در بررسی اثرات متقابل بین این پارامترها بر روی سمیت فلوراید به وسیله مدل ارائه شده در این مطالعه، نتایج نشان داد که سمیت یون فلوراید در بالاترین دما و پایین‌ترین سطح سختی آب، بالاترین مقادیر سنجش شده را نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت که حداکثر میزان سمیت فلوراید در منابع آب دارای سختی پایین و دماهای بالا نمایان می‌گردد. تأثیر افزایش دما در میزان سمیت فلوراید را در مطالعه Fieser نیز می‌توان مشاهده کرد. با این حال در مطالعه مذکور به نقش سختی در میزان سمیت فلوراید اشاره نشده است (11). همچنین حداقل میزان سمیت فلوراید نیز در آب‌های دارای سختی بالا و دماهای پایین قابل مشاهده است.

شناسایی شرایط لازم برای بروز حداکثر سمیت فلوراید در یک محیط خاص از دیگر توانایی‌ها و قابلیت‌های این روش است. این روش همچنین کیفیت و ابعاد اثرات متقابل بین فاکتورهای مؤثر بر میزان سمیت را نیز در بر می‌گیرد. در این مدل سمیت فلوراید با به‌کارگیری فاکتورهای مؤثر و اثرات متقابل آن‌ها تعیین می‌شود. همچنین سهم جزیی هر فاکتور در سمیت فلوراید می‌تواند با استفاده از این مدل تعیین شود. استفاده از این مدل برای سایت‌های تخلیه‌کننده فاضلاب به آب‌هایی که غلظت فلوراید بالایی دارند، مفید است. با علم به ویژگی‌ها و خصوصیات آب‌های دریافت‌کننده این فاضلاب‌ها به‌ویژه خصوصیات مؤثر بر سمیت فلوراید (مانند دما و سختی) می‌توان حد تخلیه فاضلاب را به‌صورت محلی تعیین و از هر بروز سمیت فلوراید جلوگیری کرد. همچنین بعضی از متغیرهای دوره‌ای مربوط به خصوصیات و ویژگی‌های منابع آب مانند تغییرات فصلی دما، می‌تواند باعث تغییرات مهم در میزان سمیت فلوراید در آب‌های دریافت‌کننده شود. لذا تغییر

در قسمت نخست این مطالعه، سختی آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مداخله‌گر از محلول آزمایش زدوده شد بنابراین میزان سمیت تعیین شده، نزدیک‌ترین مقدار به حداکثر سمیت واقعی فلوراید می‌باشد. سطح LC_{50} اندازه‌گیری شده برای فلوراید در محیط‌های آبی توسط زیست‌آزمونی در این پژوهش کم‌تر از مقادیر تعیین شده در مطالعات مشابه است (2). این تفاوت معنادار در میزان LC_{50} سنجش شده بیانگر تأثیر قابل توجه عوامل مداخله‌گر بر میزان سمیت فلوراید در محیط‌های آبی است (13 و 14). اغلب این مطالعات بر تعیین میزان تأثیر زمان مواجهه بر سمیت فلوراید تمرکز داشته‌اند، لذا غالباً سمیت فلوراید را در حضور عوامل مداخله‌گر گزارش نموده‌اند. از آن جمله می‌توان به مطالعه Dave و همکاران اشاره کرد که LC_{50} فلوراید را در حضور سختی، به ترتیب 308 و 154 میلی‌گرم در لیتر برای 24 و 48 ساعت مواجهه گزارش نموده‌اند (4). لذا با حذف این عوامل مداخله‌گر در قسمت اول این مطالعه، شدیدترین میزان سمیت فلوراید در محیط‌های آبی سنجش شد که می‌تواند در تعیین حد مجاز تخلیه پساب‌ها که یکی از اهداف آزمایشات زیست‌آزمونی است، به‌کار گرفته شود (12).

همچنین در بررسی نحوه تأثیر پارامترهای مداخله‌گر بر سمیت فلوراید، نتایج نشان داد که افزایش زمان مواجهه باعث افزایش سمیت فلوراید و کاهش مقادیر LC_{50} می‌شود. همچنین رابطه مستقیم بین دمای آب و سمیت فلوراید وجود دارد. این رابطه مستقیم می‌تواند به دلیل افزایش درجه تفکیک یونی سدیم فلوراید (α) در پی افزایش دما باشد. افزایش درجه تفکیک یونی در اثر افزایش دما می‌تواند غلظت مؤثر آنیون‌های فلوراید در محلول را افزایش داده و بنابراین می‌تواند سمیت فلوراید را افزایش دهد. همچنین در مطالعه حاضر رابطه معکوس بین سختی آب و سمیت فلوراید نشان داده شد. مقدار LC_{50} فلوراید با افزایش سختی آب، افزایش می‌یابد.

این پژوهش می‌تواند حد سمیت فلوراید در یک محیط آبی خاص با شرایط منحصر به فرد را تعیین و به تبع آن حدود مجاز تخلیه پساب‌ها به آب پذیرنده را معین نماید. پیشنهاد می‌شود که اثر pH بر روی سمیت فلوراید مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد. علاوه بر این تأثیرات، پارامترهای مورد نظر می‌تواند در یک مدل کامل‌تر مربوط به سمیت فلوراید فرموله شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دکتر امید حکمت از دانشگاه کپنهاگن به دلیل حمایت‌های علمی تشکر و قدردانی می‌کنند.

در میزان و حدود مجاز تخلیه فاضلاب‌ها از طریق تعیین میزان و نحوه اثر این متغیرها بر سمیت فلوراید امکان‌پذیر است.

نتیجه‌گیری

مقادیر سمیت بیان‌شده برای فلوراید در محیط‌های آبی و تحت تأثیر پارامترهای مداخله‌گر روی آن دارای قابلیت کاربرد برای تعیین حدود مجاز تخلیه پساب‌های صنعتی به آب‌های پذیرنده نیست لذا اندازه‌گیری سمی‌ترین حالت ممکن برای فلوراید و سپس دخیل کردن عوامل مؤثر بر آن از طریق مدل به‌دست آمده در

References

1. Barbier O, Arreola-Mendoza L, Del Razo LM. Molecular mechanisms of fluoride toxicity. *Chem Biol Interact.* 2010;188(2):319-33.
2. Camargo JA. Fluoride toxicity to aquatic organisms: a review. *Chemosphere.* 2003;50(3):251-64.
3. Dobaradaran S, Mahvi AH, Dehdashti S, Dobaradaran S, Shoara R. Correlation of fluoride with some inorganic constituents in groundwater of Dashtestan, Iran. *Fluoride.* 2009;42(1):50.
4. Mahvi A, Zazoli M, Younecian M, Nicpour B, Babapour A. Survey of fluoride concentration in drinking water sources and prevalence of DMFT in the 12 years old students in Behshar City. *International Journal of Medical Sciences.* 2006;6(4):658-61.
5. Dobaradaran S, Fazelinia F, Mahvi AH, Hosseini SS. Particulate airborne fluoride from an aluminium production plant in Arak, Iran. *Fluoride.* 2009;42(3):228.
6. Dobaradaran S, Mahvi AH, Dehdashti S, Ranjbar Wakil Abadi D. Drinking water fluoride and child dental caries in Dashtestan, Iran. *Fluoride.* 2008;41(3):220-6.
7. Mahvi AH, Zazoli MA, Younecian M, Esfandiari Y. Fluoride content of Iranian black tea and tea liquor. *Fluoride.* 2006;39(4):266.
8. Ochoa-Herrera V, Banihani Q, León G, Khatri C, Field JA, Sierra-Alvarez R. Toxicity of fluoride to microorganisms in biological wastewater treatment systems. *Water Res.* 2009;43(13):3177-86.
9. McClurg T. Effects of fluoride, cadmium and mercury on the estuarine prawn *Penaeus indicus*. *Water SA.* 1984;10(1):40-5.
10. LeBlanc GA. Acute toxicity of priority pollutants to water flea (*Daphnia magna*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* 1980;24(1):684-91.
11. Fieser A, Sykora J, Kostalos M, Wu Y, Weyel D. Effect of fluorides on survival and reproduction of *Daphnia magna*. *J Water Pollut. Control Fed.* 1986;58:82-6.
12. American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA). Standard methods for the examination of water and wastewater: APHA American Public Health Association; 20th ed. 1998; part 8010.
13. Leblanc GA. Interspecies relationships in acute toxicity of chemicals to aquatic organisms. *Environmental Toxicology and Chemistry.* 1984;3(1):47-60.
14. Hekman WE, Budd K, Palmer GR, MacArthur JD. Responses of certain freshwater planktonic algae to fluoride. *Journal of Phycology.* 1984;20(2):243-9.
15. Dave G. Effects of fluoride on growth, reproduction and survival in *Daphnia magna*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology.* 1984;78(2):425-31