

شبیه سازی انتقال عناصر سنگین در آبخوان شهرک صنعتی بزرگ شیراز

مریم گودرزی، نوذر سامانی

بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

عطا شاکری

گروه زمین شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۴

samani@susc.ac.ir

چکیده

بر اساس مطالعات پیشین انجام شده در شهرک صنعتی بزرگ شیراز، غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی مقادیر بالاتری را نسبت به استاندارد جهانی نشان می‌دهد. در این تحقیق ابتدا مدل جریان آب زیرزمینی آبخوان این شهرک با استفاده از کد MODFLOW در شرایط پایدار و ناپایدار تهیه و واسنجی شد. با استفاده از ضرایب هیدرودینامیکی بهینه سازی شده و میدان سرعت به دست آمده از مدل جریان، مدل انتقال آلاینده با استفاده از نرم افزار MT3DMS تهیه گردید. سپس مدل برای فلزات سنگین که در یک بازه زمانی ۸ ماهه غلظت آنها اندازه گیری شده بود اجرا گردید. با در نظر گرفتن فرآیندهای همرفت، پراکنش هیدرودینامیکی و جذب در روند پاکسازی طبیعی، برای هر عنصر، مدل انتقال واسنجی و نرخ جذب برای هر عنصر برآورد گردید. به منظور پیش بینی پتانسیل پاکسازی طبیعی آبخوان در سالهای آتی مدل با نرخ جذب بدست آمده برای هر عنصر اجرا گردید. در نهایت نمودار تغییرات غلظت این عناصر تا رسیدن به غلظت استاندارد مجاز نسبت به زمان رسم شد و معادله مربوط به هر عنصر تعیین گردید. این معادلات می تواند ابزار ساده ای برای پیش بینی تغییرات طبیعی غلظت این عناصر با زمان در دست کارشناسان باشد.

کلمات کلیدی: شهرک صنعتی بزرگ شیراز، شبیه سازی عددی جریان و انتقال، فلزات سنگین، پاکسازی طبیعی

مقدمه

آسماری آبخوان سبزپوشان) و همچنین آب دریاچه مهارلو که در حال حاضر پذیرنده انواع پسابها می‌باشد، بشدت مورد تهدید قرار خواهد گرفت و صدمات جبران ناپذیری به چرخه محیط زیست وارد خواهد گردید. شناخت تغییرات مکانی و زمانی غلظت فلزات سنگین به عنوان شاخص آلودگی آب‌های زیر زمینی در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ و پیش بینی حرکت ابر آلودگی، تحت تنش-های هیدولوژیکی هدف مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی شهرک صنعتی بزرگ شیراز می‌باشد. در این تحقیق کد MODFLOW (Harbaugh et al, 2000) برای شبیه سازی سه بعدی جریان آب زیرزمینی انتخاب شد و از نرم افزار GMS 6.5 که یک رابط گرافیکی برای این کد و رابطی برای اطلاعات پایگاه GIS به حساب می‌آید استفاده گردیده است. دلیل استفاده از GMS این است که این نرم افزار مجموعه ای از ابزارهای مفید برای وارد کردن و مدیریت داده ها را فراهم می کند. با استفاده از نتایج حاصله از مطالعه مدل جریان (ضرایب هیدرودینامیکی بهینه سازی شده و میدان سرعت به دست آمده) مدل انتقال آلاینده این آبخوان با استفاده از نرم افزار MT3DMS (Zheng and Wang, 1999) تهیه گردید. مدل MODFLOW در ایران و جهان بطور گسترده با

شهرک صنعتی بزرگ شیراز با مساحت 5.4 کیلومتر مربع در دشت قره-باغ در جنوب غرب شیراز واقع شده است و دارای عرض جغرافیایی $28^{\circ} N$ تا $29^{\circ} N$ و طول جغرافیایی $52^{\circ} E$ تا $54^{\circ} E$ می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده در این شهرک (Shakeri et al. 2009) غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیر زمینی مقادیر بالاتری را نسبت به استاندارد جهانی (WHO) نشان می‌دهد که در دراز مدت می تواند مشکلاتی برای محیط زیست به وجود آورد. منشأ این آلودگی ها فعالیت های انسانزاد (صنایع چوبی، فلزی، رنگ، پلاستیک، فرش، شیمی و پتروشیمی، پلیمر، غذایی، آرایشی و مصالح ساختمانی) می‌باشد. با در نظر گرفتن این نکته که شهرک صنعتی بزرگ شیراز در مرحله توسعه و استقرار صنایع مختلف قرار دارد، در صورت عدم رعایت ملاحظات زیست محیطی مانند عدم مدیریت صحیح پسماند و پساب برای صنایع، در دراز مدت منابع آب زیرزمینی و کارستی منطقه (آهک

زیرزمینی شهرک صنعتی بزرگ شیراز در سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ و تحلیل این نقشه ها، سطح تراز آب زیرزمینی در شهریور ماه ۱۳۸۶ برای شبیه سازی جریان در حالت ماندگار انتخاب گردید. سپس مدل اجرا و با تنظیم هدایت هیدرولیکی واسنجی شد و مقدار هدایت هیدرولیکی برای محدوده مورد مطالعه تعیین گردید (شکل ۲). شکل ۲ شبکه تفاضلات محدود نیز نشان می دهد. شکل (۳) برازش سطح آب زیرزمینی مشاهده شده و شبیه سازی شده در پیژومترها در پایان فرایند واسنجی در شرایط پایدار را نشان می دهد. اختلاف بار آبی اندازه گیری شده و شبیه سازی شده در پیژومترها کمتر از ۰.۰۵ متر می باشد. پس از واسنجی مدل در شرایط پایدار مدل برای ۸ ماه از مهر ۱۳۸۶ تا اردیبهشت ۱۳۸۷ در شرایط ناپایدار اجرا و واسنجی گردید. مهمترین پارامتری که در طی واسنجی در شرایط ناپایدار تغییر داده شد تغذیه ناشی از بارش و آبهای سطحی بود. پس از پایان فرایند واسنجی میزان خطا در اکثر پیژومترها و در ۸ دوره تنش کمتر از ۰.۰۲ متر بود. شکل ۴ هیدروگراف اندازه گیری شده و شبیه سازی شده که از دقت بالایی برخوردار است را برای ۸ پیژومتر (پیژومترهای شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲) نشان می دهد.

طراحی مدل انتقال: همانطور که گفته شد جهت تهیه مدل جریان از داده های سطح آب مشاهده ای مربوط به شهریور ۸۶ تا اردیبهشت ۸۷ استفاده شد. بنابراین نمونه برداری کیفی برای هر یک از فلزات سنگین به ۸ ماه فوق تعمیم داده شد، و از شهریور ۸۶ تا اردیبهشت ۸۷ جهت ساخت مدل انتقال آبخوان در نظر گرفته شد.

در این تحقیق پتانسیل آلودگی ۷ عنصر سنگین شامل: Co, Ni, Mo, Cu, Pb, Fe, Al و شبیه سازی شده است. غلظت هر یک از این عناصر، هدایت الکتریکی (EC) و اسیدنگی (pH) نمونه های آب زیرزمینی برای چهار دوره اندازه گیری در جداول (۱) تا (۴) ارائه شده است. میانگین pH آب زیرزمینی ۷/۵ و گستره آن از ۶/۷۵ تا ۸/۳ تغییر می کند که نشاندهنده ماهیت قلیایی بیشتر نمونه های آب است. هدایت الکتریکی در نمونه های آب زیرزمینی از ۱۸۸۴۲ تا ۱۶۷۲۸۷ با میانگین ۶۹۰۱۰ میکرو زیمنس بر سانتی متر تغییر می کند (شاکری ۱۳۸۸).

معرفی بسته های همرفت و پراکنش: در این تحقیق جهت شبیه سازی کیفی آب زیرزمینی از بسته نرم افزاری MT3DMS استفاده شده است (Zheng and Wang, 1999). این بسته های نرم افزاری با نگرش تلفیقی اولرین لاگرائزین، حرکت ذره محلول در آب را شبیه سازی می نماید. پدیده همرفت (Advection) در این بسته های نرم افزاری از روش های مختلف شبیه سازی می شود که در این مطالعه روش Third order TVD scheme (ULTIMATE) مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر پدیده همرفت، پدیده پراکنش (Dispersion) نیز بر انتقال آلاینده ها موثر می باشد بنابراین به منظور شبیه سازی ترم پراکنش در حرکت آلاینده ها با برآورد ضریب پراکنش از طریق روابط تجربی و با استفاده از نوع دانه بندی و مقادیر هدایت هیدرولیکی برآورد شده توسط مدل جریان ضریب پراکنش تعیین گردید (گودرزی ۱۳۸۹، جودوی و سامانی ۱۳۹۰).

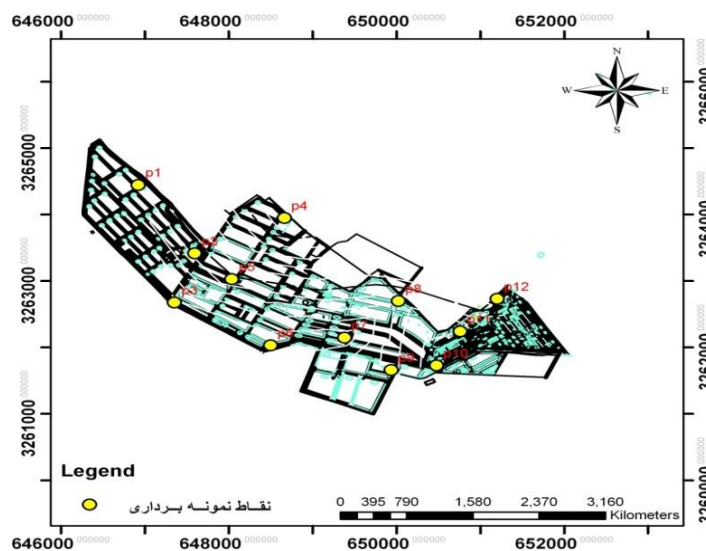
معرفی بسته واکنشهای شیمیایی: به منظور بررسی واکنشهای شیمیایی در منطقه مورد مطالعه از بسته واکنش های شیمیایی (Chemical reaction)

اهداف مختلف از جمله برای شبیه سازی جریان آب زیرزمینی در مقیاس منطقه ای، برآورد پارامترهای آبخوان و مولفه های بیلان هیدرولوژی بکار گرفته شده است. در ایران در دو دهه گذشته پایان نامه های کارشناسی ارشد متعددی با استفاده از مدل MODFLOW نگارش و نتایج آنها در همایشهای ملی به ویژه همایشهای سالانه انجمن زمین شناسی و سازمان زمین شناسی ارائه و در مجموعه مقالات این همایشها چاپ شده است. که ذکر آنها از حوصله این مقاله خارج است. در اینجا تنها به تحقیقاتی که در مجلات علمی معتبر به چاپ رسیده بسنده می شود. آبخوان سروستان واقع در استان فارس با MODFLOW توسط Samani and Gohari (1995) شبیه سازی و توزیع مکانی پارامترهای آبگذری و ضریب ذخیره آن تعیین گردید. وقوع پدیده ماسه روان در چاههای دهانه گشاد و نحوه پیشگیری آن با طراحی ابعاد و دبی پمپاژ چاه توسط Kompani-Zare et al (2008) به کمک MODFLOW مطالعه گردید. با پیشنهاد روشی موسوم به LSM، Samani et al (2004) نسخه جدیدی از مدل MODFLOW برای شبیه سازی جریان شعاعی تدوین نمودند. برای صحت سنجی مدلهای تحلیلی چاههایی که فقط از کف آبرگیری می کنند (Behrooz-Kohenjani et al (2011, 2012) از مدل MODFLOW استفاده کردند. مدل MT3DMS اول بار در ایران توسط یزداندوست (۱۳۸۶) برای بررسی آسیب پذیری آبخوان زرقان در استان فارس در مقابل آلاینده هایی از جمله فرمالین، بنزن و نیترات بکار گرفته شد. آذری و سامانی (۱۳۸۹) انتقال آلاینده های نفتی ناشی از نشت آنها از مخازن شرکت پخش و توزیع مواد نفتی ساری به آبخوان ساری شبیه سازی و غلظت TPH در محل نشت و زمان آغاز نشت تخمین زدند. انتقال و تکامل ابر آلودگی فلز کروم ناشی از یک نشت اتفاقی توسط Andrews & Neville (2003) با استفاده از مدل MT3DMS شبیه سازی و فرایندهای کنترل کننده انتقال این فلز سنگین بررسی و نقش آن به عنوان ردیاب در شناسایی دینامیک جریان آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، ارزیابی نمودند. روش تحقیق: در محدوده مورد مطالعه از ۱۲ حلقه چاه پیژومتری (شاکری، ۱۳۸۸) به عنوان چاه مشاهده ای استفاده شده است. آمار برداری از سطح آب زیرزمینی و نمونه برداری از آن در چهار دوره شهریور، آبان، بهمن ۸۶ و اردیبهشت ۸۷ انجام شده است. موقعیت چاه های مشاهده ای بر اساس موقعیت نقشه زون بندی صنایع مستقر در شهرک صنعتی انتخاب گردیده است. در تمام مراحل نمونه برداری آب زیرزمینی، استاندارد ها مد نظر قرار گرفته است و قبل از برداشت هر نمونه آب راکد چاه تخلیه و سپس از زیر سطح ایستایی نمونه برداری شده است. در شکل (۱) موقعیت چاه های مشاهده ای نشان داده شده است (شاکری، ۱۳۸۸).

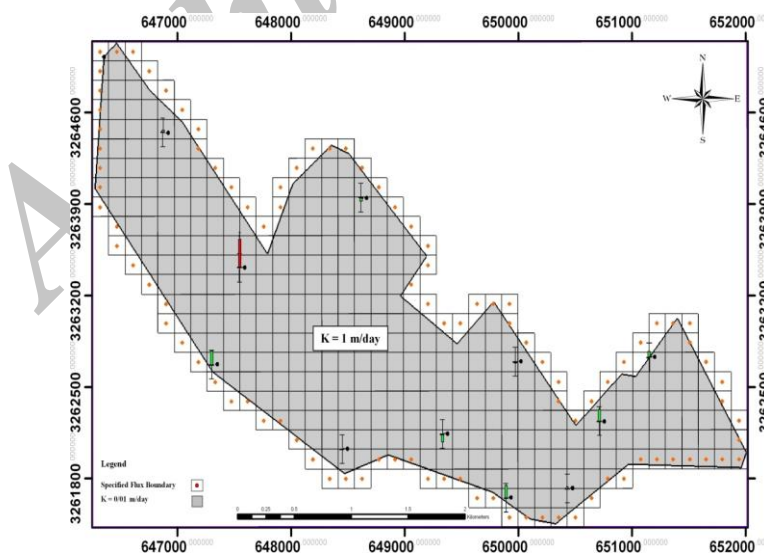
مدل سازی جریان در حالت پایدار و ناپایدار: پس از جمع آوری داده ها شبکه سه بعدی آبخوان در قالب تفاضلات محدود قابل استفاده در مدل مادفلو، ساخته شد. شبکه ساخته شده با سلولهایی به ابعاد ۱۴۸×۱۴۴ متر شامل ۴۰ سلول در جهت افقی X و ۲۵ سلول در جهت افقی Y و یک لایه در جهت عمودی Z می باشد. مرزهای مدل آبخوان شهرک صنعتی بزرگ شیراز به علت نوسانات کم سطح آب زیرزمینی در دوره های مختلف اندازه گیری شده، مرز با جریان مشخص در نظر گرفته شد. با بررسی منحنی های هم سطح آب

MT3DMS فعال و فاکتور تأخیر (Retardation factor) بعنوان پارامتر واسنجی در نظر گرفته شد. معمولاً فاکتور تأخیر با استفاده از روش جذب خطی (Linear Isotherm) و با استفاده از چگالی محیط متخلخل قابل اندازه گیری است (Fetter 2000; Zheng and Bennet 2002).

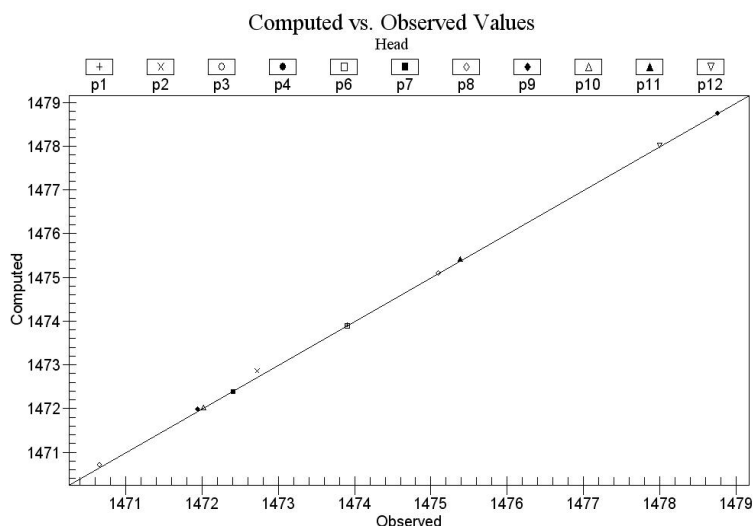
(package) استفاده شده است. بر اساس ویژگی های ماده آلاینده باید مشخص گردد که آیا این آلاینده با محیط واکنش می دهد یا نه. با توجه به رسی بودن بافت خاک منطقه مورد مطالعه و وجود کربن آلی در خاک و استعداد جذب عناصر سنگین توسط مواد رسی و کربن آلی، در این تحقیق فرایند جذب (Adsorption) بعنوان سومین فرایند انتقال و توزیع عناصر سنگین در مدل



شکل ۱. موقعیت نقاط نمونه برداری در محدوده شهرک صنعتی بزرگ شیراز



شکل ۲. شبکه تفاضلات محدود و مقدار هدایت هیدرولیکی واسنجی شده برای آیخوان شهرک صنعتی بزرگ شیراز



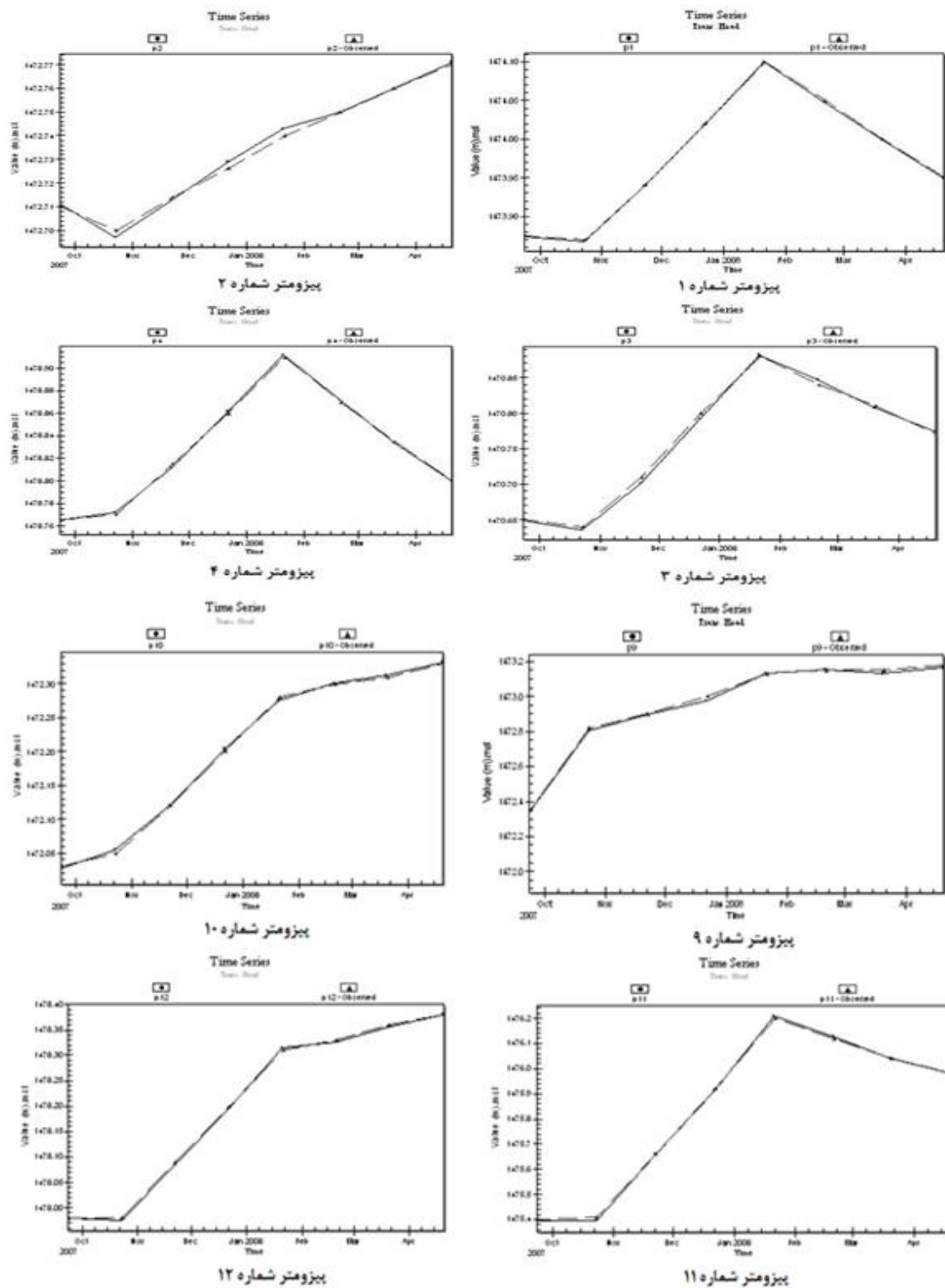
شکل ۳. دقت برازش مقادیر محاسباتی و مشاهداتی بار آبی در حالت پایدار

جدول ۱. غلظت یون‌های اصلی، فلزات سنگین، هدایت الکتریکی و اسیدیته نمونه‌های آب زیرزمینی در شهریور ۱۳۸۶ (شاکری، ۱۳۸۸)

	Fe	Al	As	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn	Na	K	Mg	Ca	SO4	HCO3	Cl	EC	pH
P1	650	8140	17.5	12.5	505.5	320.5	135	26	16.35	30452	33.15	1860	1400	9360	213.5	44375	85323	7.14
P2	413	8740	5.58	18.7	533.3	208.6	150	149	43.32	28635	42.9	2760	1600	8880	183	44730	122000	7.2
P3	1150	9030	42.6	13.7	323	145	150	34	40.3	30322	37	3475	1290	12220	292	4662	89980	7.4
P4	620	10490	25.4	17.3	303.5	146.2	110	161	24.71	19964	37.05	2880	900	13680	335.5	26625	64920	7.33
P5	1090	10560	23.8	14.5	303.3	119.2	145	242	16.04	21960	34.32	2400	1000	9504	244	33725	71412	7.27
P6	660	12810	25.4	16.7	591.5	56.5	160	32	30.3	30337	39	3480	1200	12240	244	45973	90888	7.86
P7	1240	9630	6.79	25.1	594.5	162.8	185	131	32.26	27462	46.8	2820	1200	7200	244	50588	102017	7.4
P8	1770	8550	22.6	15	199.9	87.7	125	71	48.33	11960	35.1	1344	800	6672	305	22188	54718	7.48
P9	2650	6950	20.7	44.7	159	63.4	180	13	60.58	9568	35.1	1380	1200	5328	366	17750	43590	7.5
P10	610	9150	18.9	9.06	175.4	31.9	125	79	18.79	10971	31.2	1740	800	5808	274.5	21300	51009	7.56
P11	310	5850	27	9.12	320.2	65.6	115	33	5.4	19320	35.88	780	1700	5856	183	30175	68630	7.87
P12	1720	6360	31	11.7	79	95.7	115	36	21.18	4491.9	25.35	1380	700	6720	335.5	8875	25041	7.84

جدول ۲. غلظت یون‌های اصلی، فلزات سنگین، هدایت الکتریکی و اسیدیته نمونه‌های آب زیرزمینی در آبان ۱۳۸۶ (شاکری، ۱۳۸۸)

	Fe	Al	As	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn	Na	K	Mg	Ca	SO4	HCO3	Cl	EC	pH
P1	430	9510	6.97	12.6	443.6	286.5	140	30	26.38	28948	156	3456	1500	12240	244	46150	81967	7.14
P2	360	11580	1.4	19.5	553	209.3	165	183	22.65	29447	175.5	4200	2000	10944	305	51475	115424	7.2
P3	1640	10880	39.7	11.7	326	150	135	53	25.29	30221	36	3469	1280	12200	279	4642	89890	7.4
P4	670	9980	22.9	18.5	260	151.3	120	98	14.84	21461	78	3696	1100	9600	274.5	33725	63567	7.33
P5	1930	7030	21	9.63	306.4	117.9	110	86	14.54	24955	136.5	2940	1600	12720	280.6	34968	66912	7.27
P6	360	11470	25.2	14.7	534.2	59	145	51	15.29	33939	156	3288	1520	11952	244	47038	108732	7.86
P7	1640	10880	4.34	22.9	490.5	114.8	175	45	10.52	26452	156	3996	1500	9600	183	44375	108732	7.4
P8	1640	9780	19.7	13.5	162.3	83.7	130	115	25.44	12178	117	3000	1000	13200	335.5	18638	52694	7.48
P9	520	9130	32.9	44.5	127.9	119.9	290	28	10.38	8185.2	179.4	2244	1760	4320	366	18034	43493	7.5
P10	1130	8070	24	9.83	137	31.4	130	349	3.61	12777	39	2184	1260	8400	305	19525	51021	7.56
P11	880	8620	27.7	9.67	268.9	63	125	29	1.36	33939	58.5	2100	1500	14112	305	27513	66076	7.87
P12	2120	6120	24.1	17.2	89	106.2	120	56	21.97	2295.9	31.2	1644	1260	5400	366	8591	25092	7.84



شکل ۴. هیدروگراف‌های اندازه گیری شده (خطوط منقطع) و شبیه سازی شده (خطوط پیوسته)

جدول ۳. غلظت یون‌های اصلی، فلزات سنگین، هدایت الکتریکی و اسیدینگی نمونه‌های آب زیرزمینی در بهمن ۱۳۸۶ (شاکری، ۱۳۸۸)

	Fe	Al	As	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn	Na	K	Mg	Ca	SO4	HCO3	Cl	EC	pH
P1	229	250	248	7	270	272	30	14	130	24449	45	3288	1520	9600	183	41713	89007	7.1
P2	160	290	235	17	275	192	45	74	140	23460	34.5	4056	2240	6240	335.5	47925	102620	6.87
P3	1007	60	157	7	160	156	46	3	180	15693	9.6	3360	2000	1680	213.5	44375	84819	7.38
P4	417	410	265	8	130	152	27	25	110	15693	11.7	3000	1000	9024	366	22188	62829	7.48
P5	870	70	134	5	140	77	28	9	120	8983.8	24.3	1860	2140	1320	366	25738	69112	7.25
P6	158	80	47	12	40	34	59	3	130	3992.8	9.6	456	1240	1536	732	8875	26179	7.36
P7	1019	70	186	8	150	72	27	8	140	18367	15	3060	400	1464	213.5	35429	77269	7.88
P8	1338	80	119	5	110	113	32	4	110	7985.6	33.9	2100	2000	6624	366	18638	56546	7.35
P9	320	140	93	38	70	34	109	3	150	6887.6	12.3	2100	2000	2880	671	17750	51310	6.75
P10	408	160	101	5	80	16	21	38	108	7386.7	9	2100	1000	2208	366	17750	47645	7.12
P11	113	390	50	2	30	24	14	17	106	3493.7	5.4	300	1000	2760	122	6212.5	18842	7.46
P12	1520	350	53	4	40	81	21	3	110	4393	6.6	17.7	650	5232	335.5	7029	26701	8.23

جدول ۴. غلظت یون‌های اصلی، فلزات سنگین، هدایت الکتریکی و اسیدینگی نمونه‌های آب زیرزمینی در اردیبهشت ۱۳۸۶ (شاکری، ۱۳۸۸)

	Fe	Al	As	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn	Na	K	Mg	Ca	SO4	HCO3	Cl	EC	pH
P1	328	1150	227	9	300	282	50	21	99	25300	10.2	3300	1500	10080	237.9	40825	80294	7.93
P2	258	1190	215	17.8	302	201	65	82	111	33419	10.5	4200	3000	10536	311.1	53250	167287	7.43
P3	1122	870	121	13	189	138	81	14	101	21761	9.9	3300	1500	5040	286.7	44375	76949	7.72
P4	520	1312	243	10	159	142	47	34	80	11454	10.5	1500	1500	7680	323.3	15975	58548	7.98
P5	960	972	113	7	171	88	49	16	90	16992	6.9	1500	1000	6720	359.9	26625	58966	7.82
P6	261	983	29	14	72	46	91	12	99	14359	9.9	1800	1500	7680	305	24850	51020	7.86
P7	1122	970	145	10.5	179	81	46	16	112	33635	12	2100	1500	13200	152.5	47925	117096	7.58
P8	1435	981	101	7.4	139	77	49	13	112	25369	6.6	1860	2500	9600	372.1	40825	78621	7.23
P9	414	1039	74	40	101	45	124	12	119	11058	12.9	1800	2000	3840	671	21300	46838	7.18
P10	502	1058	82	7	109	25	39	45	78	13576	4.2	2094	1250	7200	305	23075	50184	7.45
P11	214	1189	31	4	65	36	39	24	77	11960	3.9	1500	1500	5280	158.6	21300	43493	7.72
P12	1612	1150	33	6	68	89	35	12	81	7521	4.5	1200	1000	7296	518.5	10650	27183	8.3

اجرای مدل MT3DMS

نتیجه گیری

در این تحقیق پتانسیل انتقال و پتانسیل پاکسازی طبیعی عناصر سنگین ناشی از فعالیتهای صنعتی در منابع آب زیر زمینی محدوده شهرک صنعتی بزرگ شیراز شبیه سازی گردید. با توجه به رسی بودن بافت خاک منطقه مورد مطالعه و وجود کربن آلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم، مهمترین فرایندهای موثر در توزیع و گسترش ابر آلودگی و پاکسازی طبیعی علاوه بر فرایند همرفت و پراکنش هیدرودینامیکی به جذب سطحی منتسب شد، بخصوص که PH بازی است. در مورد عناصری چون مس، سرب، روی، نیکل و کبالت می توان گفت که این عناصر در نتیجه افزایش PH از محیط آبگین خارج شده و توسط کانی های رسی، کربن آلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم جذب سطحی شده اند. به نظر می رسد عناصری چون آهن و آلومینیوم در نتیجه افزایش PH یا توسط کانی های رسی جذب سطحی شده اند و یا اینکه به صورت اکسیدهای آهن و آلومینیوم رسوب کرده باشند. در میان عناصر شبیه سازی شده عنصر مولیبدن کمترین مقدار جذب را در منطقه مطالعاتی دارد که علت این امر می تواند PH محیط آبگین باشد که در دوره های نمونه برداری بین ۶/۷۵ تا ۸/۳ متغیر بوده است. در حالیکه مولیبدن در PH اسیدی از محیط آبگین خارج می شود. پتانسیل جذب این عناصر بصورت معادلات نمایی پیشنهاد گردید. معادلات پیشنهاد شده برای پاکسازی فلزات سنگین که بالقوه سمناک هستند می تواند ابزار ساده ای برای پیش بینی تغییرات طبیعی غلظت این عناصر با زمان در دست کارشناسان باشد. همچنین با مدل طراحی شده می توان هر سناریو تزریق و تخلیه آلاینده را شبیه سازی کرد.

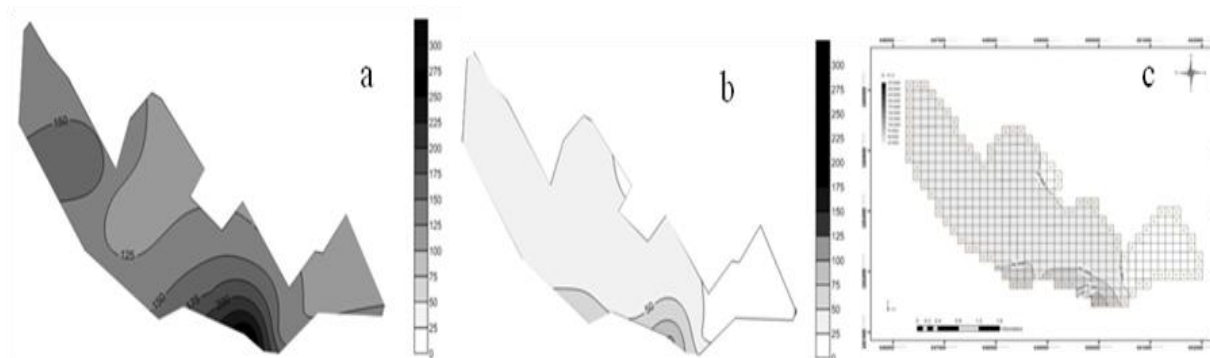
قدردانی

از سردبیر، هیات تحریریه مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته و نظرات سازنده داوران محترم کمال تشکر را داریم.

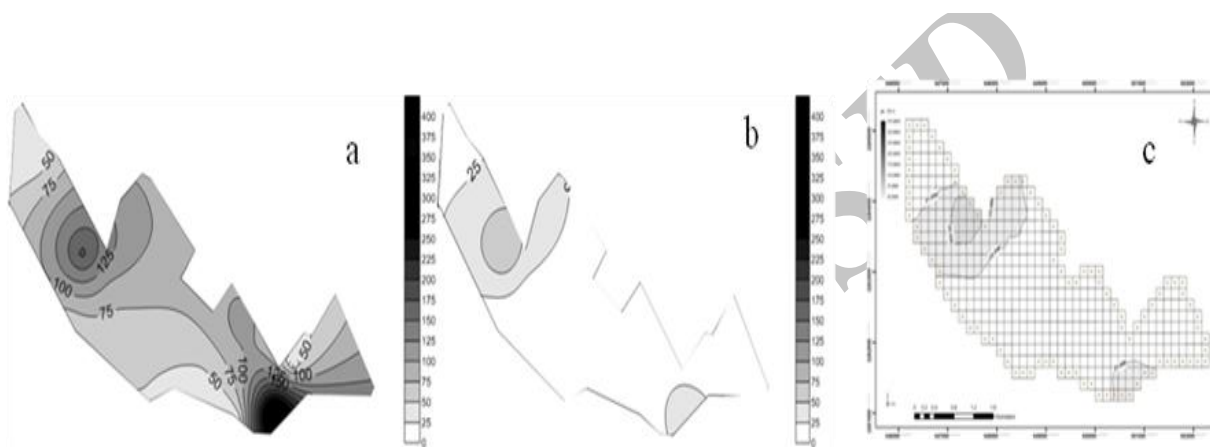
مدل آلودگی برای هر یک از عناصر FE, NI, CU, PB, MO, CO و AL اجرا شد و سپس با تغییر در نرخ جذب، ابر آلودگی هر یک از این عناصر در دوره نمونه برداری شبیه سازی و واسنجی شد. نقشه های هم غلظت A در شکل های ۵ تا ۱۱ برای همه عناصر نشاندهنده حداکثر غلظت مشاهده ای در ابتدای دوره نمونه برداری می باشد و نقشه های هم غلظت B نشاندهنده حداقل غلظت مشاهده ای می باشد که در نتیجه خودپالایی محیط در پایان دوره نمونه برداری حاصل و اندازه گیری شده است. حداقل غلظت مشاهده ای به عنوان غلظت اولیه به مدل اعمال شد. با تغییر در نرخ جذب فرایند واسنجی برای رسیدن به غلظت حداقل اجرا گردید. غلظت محاسبه شده نهایی توسط مدل در انتهای دوره واسنجی، در قسمت C شکلهای ۵ تا ۱۱ ارائه شده است. چنانکه ملاحظه می گردد غلظت مشاهده ای هر عنصر در قسمت B تطابق خوبی با غلظت محاسبه شده توسط مدل را نشان می دهد. جدول ۵ ضریب جذب عناصر مورد مطالعه که بهترین تطبیق را بین توزیع غلظت اندازه گیری شده و شبیه سازی شده بدست داده است را نشان می دهد.

پیش بینی

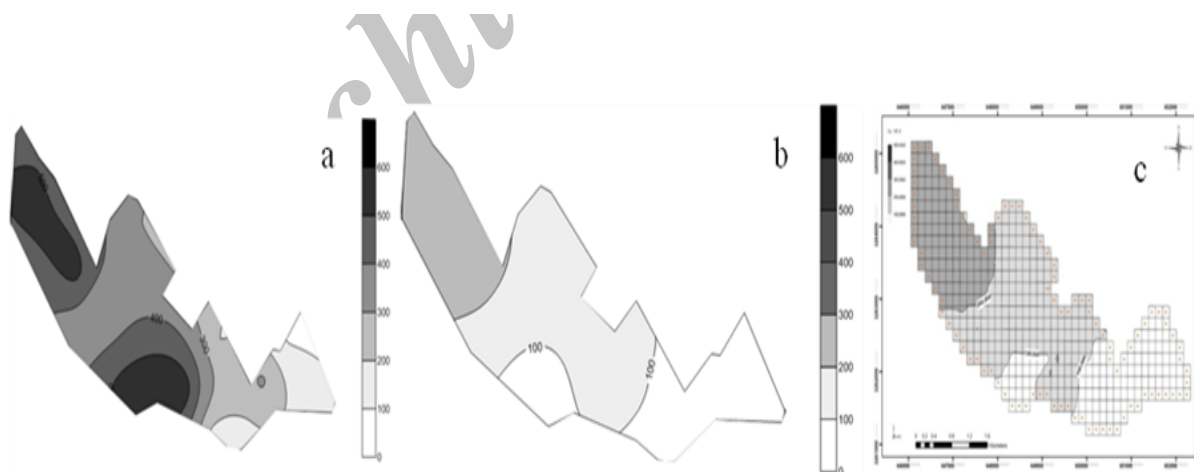
به منظور پیش بینی سرنوشت هر یک از فلزات سنگین در سال های آتی و تعیین پتانسیل خود پالایی آبخوان، مدل برای هر عنصر با غلظت اولیه ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر و نرخ جذب آن (بدست آمده در مرحله واسنجی) اجرا گردید (با فرض اینکه شرایط هیدرولیکی در آبخوان تغییر قابل ملاحظه ای نخواهد داشت). در نهایت نمودار تغییرات غلظت نسبی این عناصر نسبت به زمان تا رسیدن به غلظت مجاز در شکل ۱۲ رسم شده و معادله پاکسازی طبیعی مربوط به هر عنصر تعیین و در جدول (۶) ارائه شده است. در این جدول C غلظت در زمان T، C₀ غلظت اولیه و T زمان پاکسازی می باشد. شکل ۱۲ و معادلات جدول ۶ همگی بیانگر این موضوع هستند که سرعت خودپالایی آبخوان برای کلیه عناصر بصورت تابع نمایی نزولی است و این سرعت در غلظت های پایین بسیار کندتر می شود.



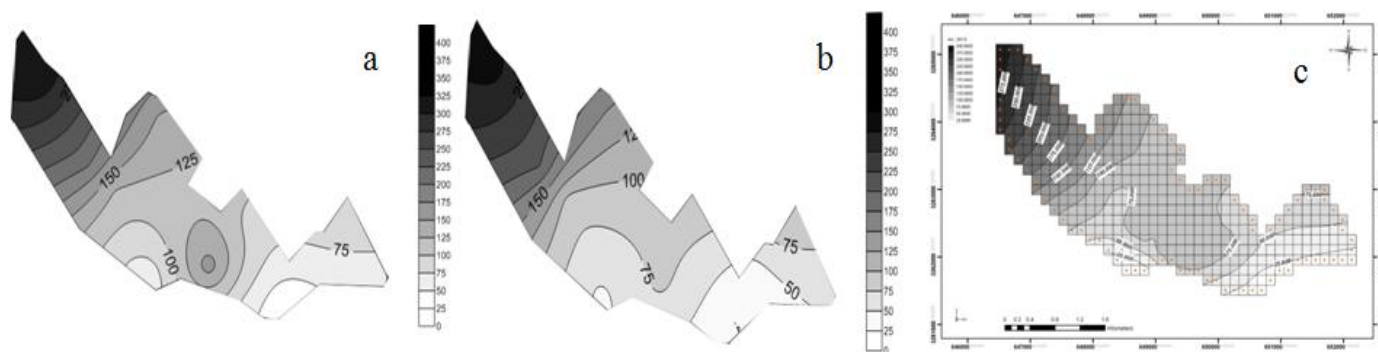
شکل ۵- a. غلظت اولیه نیکل در آبان ۱۳۸۶. b. غلظت مشاهده ای نیکل در بهمن ۱۳۸۶. c. غلظت محاسبه شده نیکل توسط مدل در بهمن ۱۳۸۶



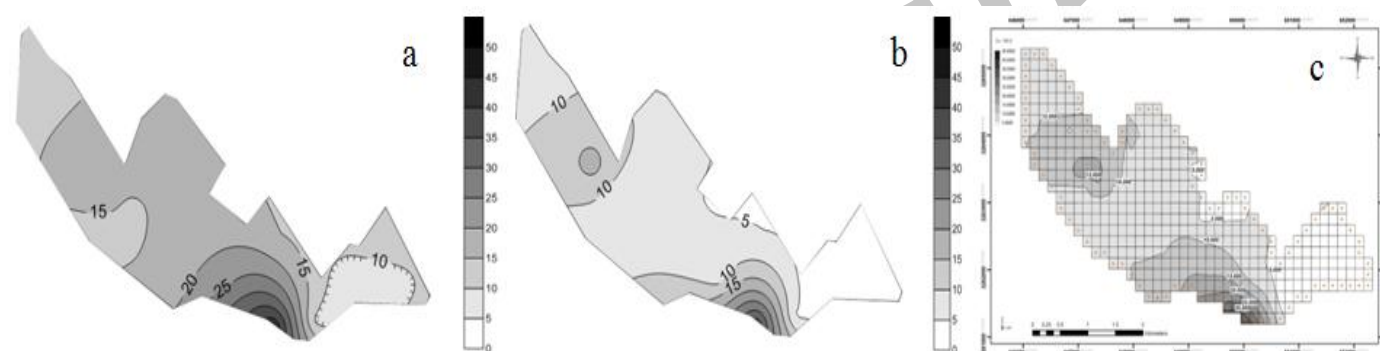
شکل ۶- a. غلظت اولیه سرب در آبان ۱۳۸۶. b. غلظت مشاهده ای سرب در بهمن ۱۳۸۶. c. غلظت محاسبه شده سرب توسط مدل در بهمن ۱۳۸۶



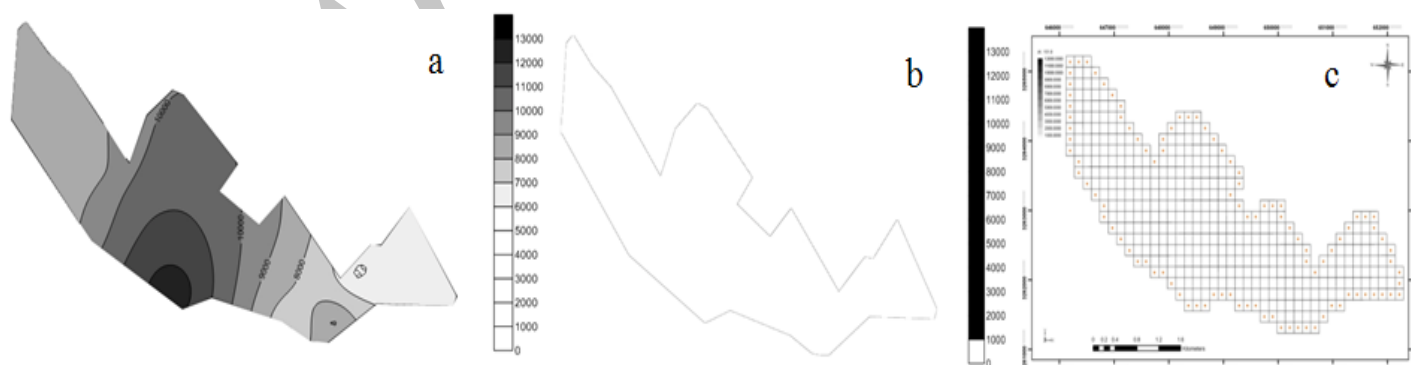
شکل ۷- a. غلظت اولیه مس در شهریور ۱۳۸۶. b. غلظت مشاهده ای مس در بهمن ۱۳۸۶. c. غلظت محاسبه شده مس توسط مدل در بهمن ۱۳۸۶



شکل ۸- a. غلظت اولیه مولیبدن در شهریور ۱۳۸۶. b. غلظت مشاهده ای مولیبدن در اردیبهشت ۱۳۸۷. c. غلظت محاسبه شده مس توسط مدل در اردیبهشت ۱۳۸۷



شکل ۹- a. غلظت اولیه کبالت در شهریور ۱۳۸۶. b. غلظت مشاهده ای کبالت در بهمن ۱۳۸۶. c. غلظت محاسبه شده کبالت توسط مدل در اردیبهشت ۱۳۸۶



شکل ۱۰- a. غلظت اولیه آلومینیوم در شهریور ۱۳۸۶. b. غلظت مشاهده ای آلومینیوم در بهمن ۱۳۸۶. c. غلظت محاسبه شده آلومینیوم توسط مدل در بهمن ۱۳۸۶



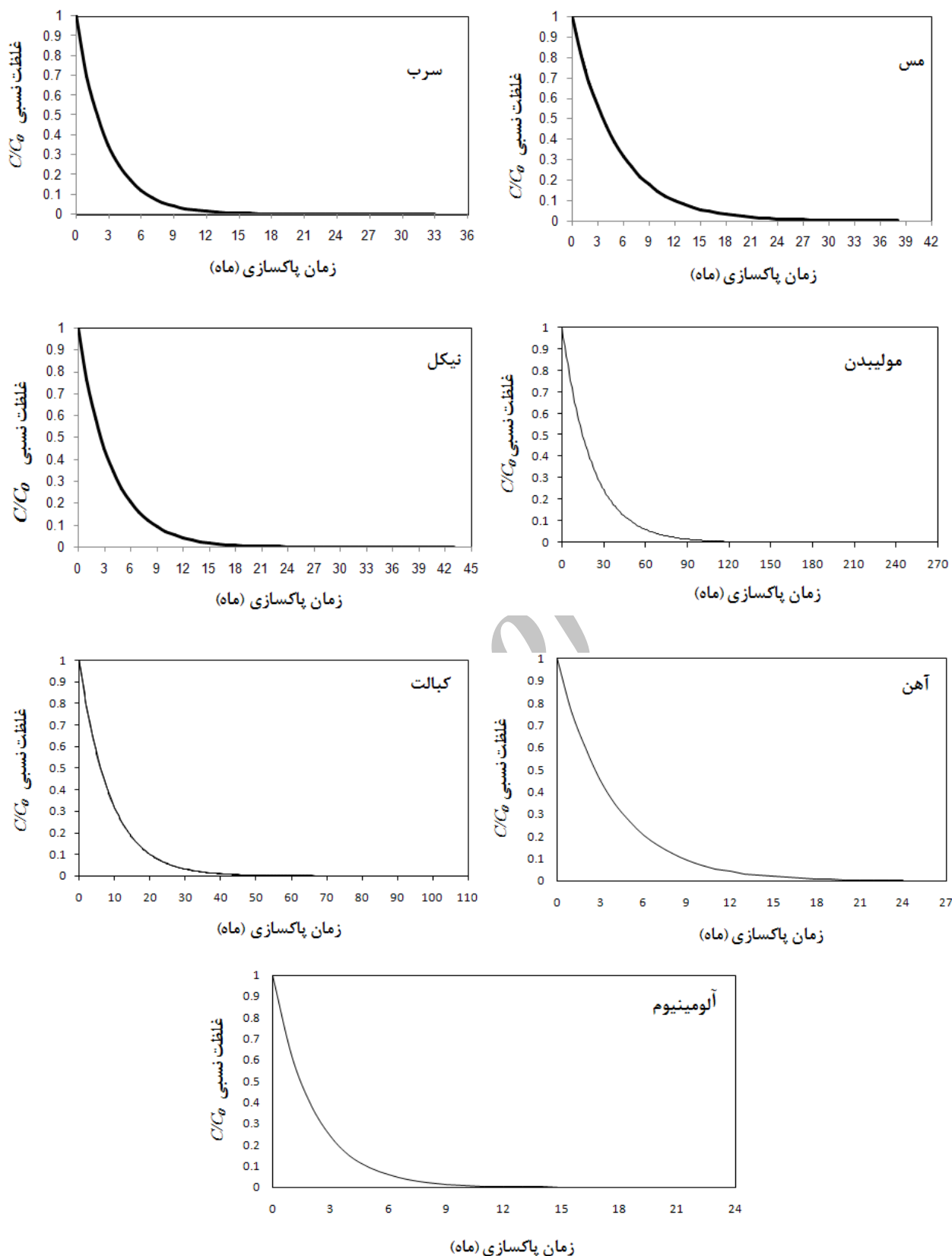
شکل ۱۱- a. غلظت اولیه آهن در شهریور ۱۳۸۶. b. غلظت مشاهده ای آهن در بهمن ۱۳۸۶. c. غلظت محاسبه شده آهن توسط مدل در بهمن ۱۳۸۶

جدول ۵. ضریب جذب بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم خاک

نام عنصر	ضریب جذب $\times 10^{-4}$ (mg/kg)
Mo	0.229
Ni	1.24
Co	0.496
Cu	0.874-1.25
Pb	2.21
Al	0.66
Fe	0.011-2.19

جدول ۶. معادله پاکسازی فلزات سنگین مورد مطالعه

نام عنصر	معادله پاکسازی
Mo	$C/C_0 = 1.003e^{-0.04t}$
Ni	$C/C_0 = 1.078e^{-0.27t}$
Co	$C/C_0 = 1.010e^{-0.11t}$
Cu	$C/C_0 = 1/006e^{-0/19t}$
Pb	$C/C_0 = 1/067e^{-0/36t}$
Al	$C/C_0 = 1.023e^{-0.47t}$
Fe	$C/C_0 = 1.006e^{-0.26t}$



شکل ۱۲. نمودار تغییرات غلظت نسبی عناصر Al و Fe, Ni, Cu, Pb, Mo, Co نسبت به زمان

منابع

- آذری طاهره، سامانی نوذر (۱۳۹۰) "بررسی آسیب پذیری آبخوان ساری توسط آلاینده های نفتی"، بیست و نهمین گردهمایی سازمان زمین شناسی ایران، تهران، بهمن ماه.
- جودوی عطاله، سامانی نوذر (۱۳۸۹) "مروری بر روشهای محاسبه پارامتر پراکندگی و تاثیر آن بر انتقال آلاینده های محلول" هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- شاگری، عطا (۱۳۸۸). "اثرات زیست محیطی شهرک صنعتی بزرگ شیراز بر منابع آب، خاک و رسوب دشت قرهباغ" پایان نامه دکتری، گرایش اقتصادی، دانشگاه شیراز.
- گودرزی مریم (۱۳۸۹) "شبیه سازی آلودگی صنعتی در آبخوان شهرک صنعتی بزرگ شیراز" پایان نامه کارشناسی ارشد، گرایش زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه شیراز.
- یزدان دوست پریسا(۱۳۸۷) "آسیب پذیری دشت زرقان از آلودگیهای صنعتی-شیمیایی" پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش هیدروژئولوژی، دانشگاه شیراز.
- Andrews C.B. Neville C.J. (2003), Flow in a desert basin: Challenges of simulating transport of dissolved chromium, *Ground Water*; V 41; N 2:p216-226.
- Behrooz-Kohenjani S., Samani N., Kopmani-Zare M. (2011), Maximum Steady Flow Rate to a Partially Penetrating Well in an Unconfined Aquifer, *Hydrogeology Journal* 19: 811–821.
- Behrooz-Kohenjani S, Samani N. Kompani-Zare M. (2012), Steady flow a partially blind-wall well, *Hydrological Processes*, DOI: 10.1002/hyp.9353
- Kompani-Zare M., Samani N., Behrooz-Kohenjani S. (2009), Parameters affecting the occurrence of quicksand and drying up of large diameter wells gaining water from the bottom, *Hydrogeology Journal*, 17: 1175–1187.
- Fetter C. W (2008), Contaminant Hydrogeology, 2nd ed. Waveland Press, Inc., USA.
- Harbaugh, A.W., Banta E.R., Hill, M.C., McDonald, M.G. (2000) MODFLOW-2000, the US Geological Survey modular ground-water model-user guide to modularization concepts and the ground water flow process. US Geol. Survey: Open File Report 00-92-2000.
- Samani N., Kompani-Zare M. D. A. Barry (2004) "MODFLOW Equipped with a New Method for the Accurate Simulation of Axisymmetric Flow" *Advances in Water Resources*, Vol. 27, p 31-45.
- Shakeri, A., and Moore, F., and Mohammadi, Z., and Raeisi, E., (2009) , Heavy Metal Contamination in the Shiraz Industrial Complex Zone Groundwater, South Shiraz, Iran. *World Applied Sciences Journal* 7 (4): 522-530.
- Zheng C., and Bennet D.G., (2002), Applied contaminant transport modeling, John Wiley & Sons, Inc.
- Zheng, C., and Wang, P.P. (1999). MT3DMS, a modular three dimensional multispecies transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems. VICKSBURG, Mississippi: Waterways experiment Station, US Army Crops of Engineers.