



Modeling the Impact of Watershed Physical Attributes on Surface Water Quality and Uncertainty Assessment of the Models Using the Monte Carlo Simulation

Sh. Karimi¹, B. Jabbarian Amiri^{2*} and A. Malekian³

Abstract

Modeling of the relationship between physical characteristics of a catchment and water quality parameters plays a significant role in integrated watershed management. There is always an inevitable level of uncertainty in the process of such modeling caused by errors in the input data, parameters, and the structure of the model. Therefore, quantifying the uncertainty in the output of the model is essential in order to reach certain forecasts in modeling. In this research, water quality data, land use/land cover, land suitability map and geological map of catchments discharging to hydrometric stations located in the western part of the Caspian Sea were used. The modeling was done using Multiple Linear Regression Stepwise Method, while the model uncertainty analysis was examined using Monte Carlo simulation. Based on the results of the correlation and regression analyses, it could be concluded that all these parameters have a strong positive correlation with a variety of human activities such as agriculture and urban development. This indicated that an increase in agricultural land or a decline in forest areas will ultimately lead to a decline in water quality. The results of the Monte Carlo simulation showed that although some models had high R-squared values, the possibility of negative outputs ($Pr < 0$) generated by the model was also approximately high (merely positive values make sense regarding the water quality variables). Moreover, the visual assessment of the CDF curves implied that models of Ca^{2+} , Mg^{2+} and EC had higher uncertainty in predictability compared to Na^+ .

Keywords: Modeling, Uncertainty Analysis, Linear Regression, Monte Carlo Simulation.

Received: August 17, 2017

Accepted: May 12, 2018

مدل‌سازی اثر خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز بر روی کیفیت آب‌های سطحی و تحلیل عدم قطعیت این مدل‌ها با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو

شیرین کریمی^۱، بهمن جباریان امیری^{۲*} و آرش ملکیان^۳

چکیده

مدل‌سازی ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی حوزه آبخیز و شاخص‌های کیفیت آب نقش مهمی در مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز بازی می‌کند. در فرآیند مدل‌سازی همواره نااطمینانی به‌طور ذاتی و اجتناب‌ناپذیری وجود دارد که به سبب وجود عدم قطعیت و خطا در داده‌های ورودی مدل، پارامترها و ساختار مدل است؛ بنابراین به کمیت درآوردن میزان عدم قطعیت در خروجی مدل‌ها برای رسیدن به پیش‌بینی‌های مطمئن در مدل‌سازی امری اجتناب‌ناپذیر است. در این تحقیق از داده‌های کیفیت آب، کاربری/پوشش سرزمین، نقشه‌ی قابلیت سرزمین و زمین‌شناسی مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در حوزه‌ی غربی دریای خزر استفاده شد. مدل‌سازی با استفاده از رگرسیون خطی با رهیافت گام‌به‌گام انجام شد و تحلیل عدم قطعیت مدل‌ها نیز با شبیه‌سازی مونت کارلو بررسی شد. نتایج تحلیل همبستگی و رگرسیون نشان داد تمامی این شاخص‌ها دارای همبستگی قوی مثبت با انواع کاربری‌های انسانی مانند کشاورزی و توسعه‌ی شهری هستند. این نشان می‌دهد که افزایش در زمین‌های کشاورزی یا کاهش در مناطق جنگلی در نهایت منجر به افت کیفیت آب خواهد شد. نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو نشان داد که اگرچه ضریب تبیین برخی از مدل‌ها نسبتاً بالا است ولی احتمال تولید خروجی‌های منفی توسط مدل نیز بالاست؛ با توجه به این واقعیت که فقط مقادیر مثبت را می‌توان به متغیرهای کیفیت آب نسبت داد. علاوه بر این، ارزیابی بصری منحنی‌های تابع توزیع تجمعی نشان داد که مدل‌های Ca^{2+} ، Mg^{2+} و EC عدم قطعیت بالاتری از لحاظ پیش‌بینی در مقایسه با مدل Na^+ دارند.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی، تحلیل عدم قطعیت، رگرسیون خطی، شبیه‌سازی مونت کارلو.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۵/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۲/۲۲

1- M.Sc. Graduate in Environmental Engineering, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2- Associate Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: Jabbarian@ut.ac.ir.

3- Associate Professor, Department of Watershed Science and Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه محیط زیست، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۷ امکان‌پذیر است.

۱- مقدمه

رابطه باکیفیت آب رودخانه‌ها استفاده از تجزیه و تحلیل‌های مکانی و مدل‌های رگرسیونی است. در فرآیند مدل‌سازی همواره ناطمینانی به‌طور ذاتی و اجتناب‌ناپذیری وجود دارد که به سبب وجود عدم قطعیت و خطا در داده‌های ورودی مدل، پارامترها و ساختار مدل است؛ بنابراین به کمیت درآوردن میزان عدم قطعیت در خروجی مدل‌ها برای رسیدن به پیش‌بینی‌های مطمئن در مدل‌سازی امری اجتناب‌ناپذیر است (Shafiei et al., 2014).

هدف اصلی تحلیل عدم قطعیت، تعیین خصوصیات آماری خروجی یک مدل به‌عنوان تابعی از پارامترهای ورودی احتمالاتی است (Bozorg Haddad and Seifollahi-Aghmiuni, 2013)؛ بنابراین با ارزیابی و تخمین عدم قطعیت مدل‌ها، تصمیم‌گیرندگان با تصویری واقعی از خروجی‌های ممکن روبه‌رو می‌شوند (Burgman, 2005; Kitanidis and Bras (1980). Power and McCarty, 2006). برای اولین بار به بررسی عدم قطعیت یک مدل مفهومی غیرخطی پرداختند و پس از آن (Beven and Binley (1992) روش تابع درست‌نمایی تعمیم‌یافته^۱ را به‌منظور واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل‌های توزیعی بارش-رواناب ارائه دادند. روش مونت کارلو یکی از مرسوم‌ترین و مورد استفاده‌ترین روش‌ها برای تحلیل عدم قطعیت در مدل‌های هیدرولوژیکی است.

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره گردید، یکی از کمبودهای موجود در پژوهش‌های قبلی نادیده گرفتن نقش مهم خصوصیات خاک‌شناسی و زمین‌شناسی حوزه‌ی آبخیز در کیفیت آب‌های سطحی و همچنین تجزیه و تحلیل عدم قطعیت مدل‌های توسعه‌یافته می‌باشد؛ بنابراین هدف از این مطالعه (۱) بررسی ارتباط بین خصوصیات فیزیکی حوزه‌ی آبخیز (طبقات کاربری/پوشش سرزمین، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و کلاس‌های نفوذپذیری زمین‌شناسی) و شاخص‌های کیفیت آب توسط مدل رگرسیون خطی (۲) تجزیه و تحلیل عدم قطعیت این مدل‌ها با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مطالعاتی

منطقه‌ی مورد مطالعه با وسعت ۱۵۲۳۰ کیلومتر و طول جغرافیایی ۳۶/۴۳-۳۶/۱۱ و عرض جغرافیایی ۵۱/۱۸-۴۸/۵۳ شرقی و غربی دریاچه خزر است که دربرگیرنده‌ی استان‌های گیلان، تهران و قزوین می‌باشد. ارتفاع متوسط منطقه ۱۳۹۴ متر از سطح دریا و شیب متوسط آن ۳۸ درصد می‌باشد. بر اساس تجزیه و تحلیل‌های مکانی، متوسط مساحت زیرحوزه‌ها ۲۹۷/۹۳ کیلومتر مربع

کیفیت آب‌های سطحی تحت تأثیر فاکتورهای طبیعی و انسانی زیادی هستند که ممکن است این منابع آلوده‌کننده به‌صورت گسترده یا نقطه‌ای باشند (Ahearn et al., 2005). اندازه‌گیری آلودگی‌ها از منابع نقطه‌ای به‌مراتب آسان‌تر است اما نسبت دادن این آلودگی‌ها به منابع غیر نقطه‌ای کاری دشوار است (Baker, 2005). به‌طورکلی کیفیت آب‌های سطحی مرتبط با انواع کاربری و پوشش زمین در حوزه‌ی آبخیز است و این خود باعث انجام مطالعات زیادی در زمینه‌ی ارتباط بین کاربری و کیفیت آب شده است (Amiri et al., 2012; Mirzaei et al., 2017; Sangani et al., 2015; Zampella et al., 2007). بیشتر این مطالعات به این نتیجه دست یافتند که مواد غذایی آب‌های سطحی نظیر نیترات (Amiri and Nakane, 2009)، فسفر کل (Amiri et al., 2012) و نمک‌های محلول و مواد جامد معلق (Kiesel et al., 2009) تحت تأثیر کاربری‌ها و پوشش سرزمین هستند. همچنین، نتایج بسیاری از مطالعات حاکی از وجود ارتباط قوی بین زمین‌های کشاورزی و کیفیت آب‌های سطحی هستند (Arheimer and Liden, 2000; Pang et al., 2015; Parris, 2011; Solgi and Sheikhzadeh, 2016).

علاوه بر این خصوصیات دیگر حوزه‌ی آبخیز نظیر نوع خاک، بافت، عمق و مواد معدنی و ویژگی‌های زمین‌شناسی بر روی پتانسیل تشکیل رواناب اثر گذاشته که منجر به تغییر در خصوصیات شیمیایی آب‌های سطحی می‌شوند (Fatehi et al., 2015). Yang and Jin (2010) در پژوهشی به نقش مهم ویژگی‌های هیدرولوژیکی خاک در جابه‌جایی مواد غذایی توسط آب‌های سطحی پرداخته است. بر اساس مرور منابع انجام شده تعداد کمی از مطالعات ویژگی‌های خاک‌شناسی و سنگ‌شناسی را در مدل‌سازی‌ها لحاظ کرده‌اند (Haidary et al., 2013; Hartmann et al., 2014; Sangani et al., 2015).

رودخانه‌ها و تالاب‌های حوزه‌ی آبریز خزر، خدمات قابل‌توجهی ارائه می‌کنند که عبارتند از: ماهیگیری، آبیاری، کشاورزی، آب خانگی، دفع پساب و گردشگری که این خدمات مفید توسط تغییرات سریع پوشش و کاربری تهدید می‌شوند. علاوه بر کاهش سطح دریاچه‌ها، تغییر کاربری روی کیفیت آب رودخانه که به درون دریاچه‌ها تخلیه می‌شوند اثر گذاشته و موجب نگرانی حامیان حیات وحش شده است. مدل‌سازی این تأثیرات، جهت ارزیابی اثرات تغییر در وضعیت پوشش سرزمین بر کیفیت رواناب‌های سطحی امری ضروری است. یکی از روش‌های مناسب به‌منظور شناسایی و کاهش اثرات نامطلوب انسانی و طبیعی در

داده‌های بعضی از ایستگاه‌های هیدرومتری استان گیلان، تعدادی از ایستگاه‌ها برای افزایش هماهنگی حذف گردیده و به‌طور کلی ۴۸ ایستگاه برای انجام مدل‌سازی انتخاب شدند. خلاصه‌ی آماری داده‌های کیفیت آب در جدول ۲ آمده است. نقشه‌ی پوشش و کاربری زمین مربوط به سال ۲۰۰۲ و با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه شد. نقشه‌ی رقومی زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ از سازمان زمین‌شناسی کشور (www.gsi.ir) تهیه گردید. علاوه بر آن به‌منظور به دست آوردن گروه‌های هیدرولوژیک خاک منطقه‌ی مطالعاتی از نقشه‌ی قابلیت سرزمین در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه‌شده از مؤسسه‌ی آب‌و‌خاک (www.swri.ir) استفاده شد. خصوصیات فیزیکی حوزه‌ی آبخیز و مشخصات آماری آن در جدول ۳ نشان داده‌شده است.

۲-۳- روش کار

جهت بستن مرز حوزه‌های بالادست ایستگاه‌های کنترل کیفیت آب منطقه، از مختصات جغرافیایی نقاط ایستگاه‌های کیفیت آب و نقشه مدل رقومی ارتفاع استان با بهره‌گیری از نرم‌افزار ArcMap 9.3 استفاده شد.

می‌باشد که بیشترین مساحت منطقه‌ی مطالعاتی مربوط به پوشش مرتع متوسط (۳۱/۸۹٪) می‌باشد و پس از آن کاربری جنگل متراکم با ۲۶/۶۹ درصد در جایگاه دوم قرار دارد. در این منطقه همچنین گروه C هیدرولوژی خاک و زمین‌شناسی با کلاس تراوایی کم به ترتیب با گسترش ۵۴/۴۸ و ۶۰/۴۸ درصد درکل زیرحوزه‌ها دارای بیشترین پراکنش بوده است. آب‌وهوای منطقه‌ی مطالعاتی معتدل و مرطوب می‌باشد که ناشی از تأثیر آب‌وهوای کوهستانی البرز و دریای خزر است. جدول ۱ ویژگی‌های فیزیکی رودخانه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

از مدل رقومی ارتفاع آ با دقت ارتفاعی ۳۰ متر که از پایگاه داده‌ی USGS تهیه شد، جهت استخراج زیرحوزه‌های منطقه‌ی مطالعاتی با توجه به جریان و زهکش حوزه استفاده گردید. داده‌های کیفیت آب (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- , SAR, TDS, EC) از شرکت مدیریت منابع آب ایران دریافت گردید که به‌صورت ماهانه مطابق استانداردها و آیین‌نامه‌ها نمونه‌برداری، آنالیز، اندازه‌گیری و سپس ثبت می‌گردند که در این پژوهش از میانگین پنج ساله‌ی داده‌ها (۱۳۸۱-۱۳۷۷) استفاده گردید. همچنین، به دلیل ناکافی بودن اطلاعات و

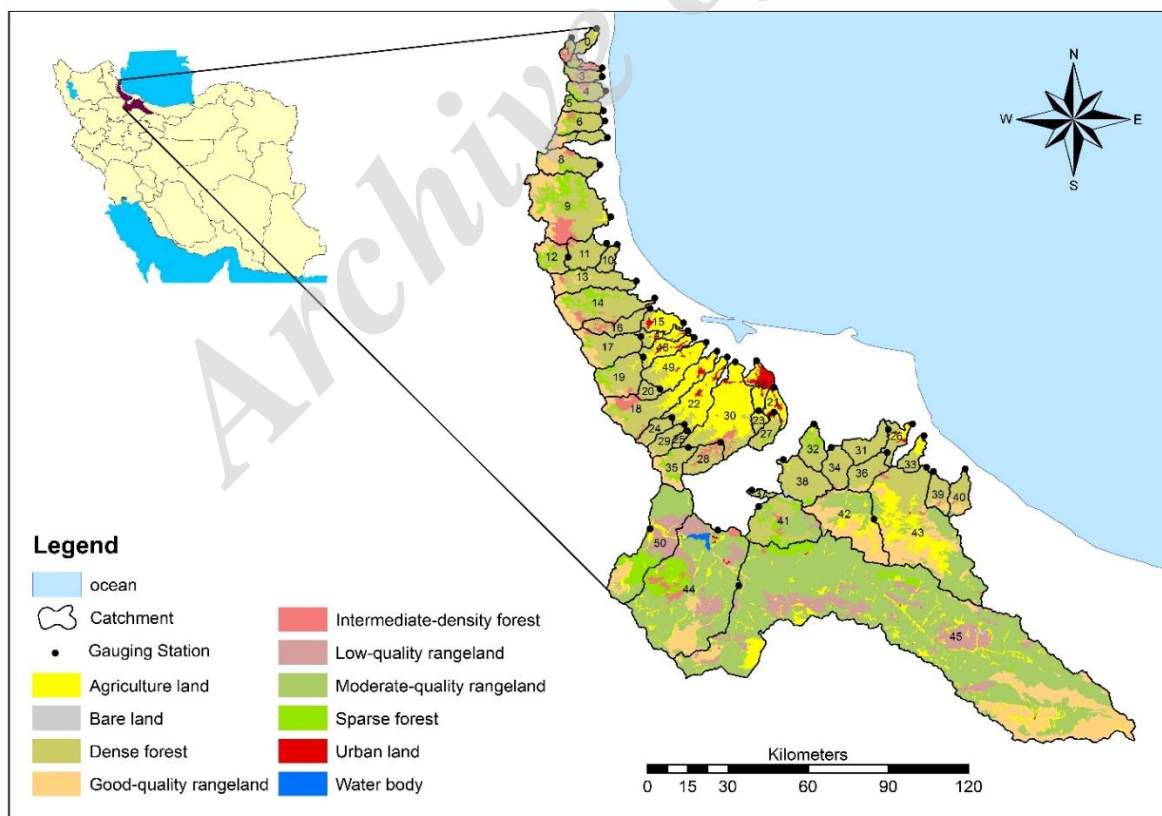


Fig. 1- Geographical location of the study area

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

تحقیقات منابع آب ایران، سال چهاردهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷

Volume 14, No. 3, Fall 2018 (IR-WRR)

Table 1- Physical characteristics of the rivers in the study area

جدول ۱- مشخصات فیزیکی رودخانه‌های منطقه‌ی مطالعات

Basin No.	River	Catchment area (km ²)	Elevation (m)	Mean slope (%)	River area (km ²)
0	Molla Hadi	37.4	291	34	0.129
1	Baharestan	33.8	829	44	0.094
2	Lavandevil	36.7	679	39	0.216
3	Chelavand	63.6	746	42	0.233
4	Lamir	51	818	42	0.380
5	Chubar	69.7	1036	49	0.205
6	Haviq	125.7	1207	46	0.489
7	Shir-Abad	82.8	1489	41	0.474
8	Lisar	175.6	1806	38	0.626
9	Gorganrud	526	1418	39	2.164
10	Khaleh Sara	47	597	41	0.212
11	Navrood	274	1047	41	0.485
12	Navrood	125	1771	44	0.372
13	Dinachal	206	1271	42	0.816
14	Shafarood	345.5	1242	41	1.412
15	Baham Bar	97	78	7	0.313
16	Chafrood	126	1010	41	0.629
17	Morghak	234.7	1362	48	0.864
18	Masoole Roodkha	379	883	32	1.284
19	Khalkayi	222	1332	49	0.672
20	Palang Var	60	847	51	0.080
21	Siahrood	119	28	1	0.677
22	Shakhrooz	250	102	8	2.069
23	Gowharrud	29	128	12	0.030
24	Gasht-e Rudkhan	75	1174	52	0.271
25	Rudkhan Castle	107	838	48	0.446
26	Shalmanrood	391.9	205	20	0.642
27	Siahrood	82.4	223	16	0.356
28	Emamzadeh Ebrahim Shrine	167	758	42	0.286
29	Rudkhan Castle	174	1241	51	0.315
30	Pasikhan	486	115	10	2.194
31	Bargilirood	136	466	32	0.571
32	Disham	123	358	28	0.506
33	Kiarood	43	338	26	0.234
34	Shemrood	131	1002	40	0.546
35	Siah Mazgi	144	1568	48	0.422
36	Shalmanrood	135	1179	44	0.383
37	Kharashk	15.4	748	34	0.418
38	Zilkyrood	231	942	42	0.898
39	Samosh	102	1448	48	0.363
40	Khoshkrud	101	1532	48	0.285
41	Tutkabon	437	1409	33	1.092
42	Chakrood	481	1788	25	1.302
43	Polrood	1574	1944	42	4.040
44	Sefidrood	56200	1303	27	6.472
45	Shahrud	4864	1920	35	17.114
46	Pir bazar	118	3	1	0.193
47	Morghak	72	142	13	0.427
48	Khalkayi	108	120	11	0.576
49	Kal Sar	220	139	13	2208920
50	Qizil Üzan	51454	1373	32	5608736

Table 2- Descriptive statistics of water quality parameters

جدول ۲- خصوصیات آماری شاخص‌های کیفیت آب

	Min.	Max.	Mean	Median	SD	CV
Na ⁺	0.12	17.46	1.0819	0.3165	2.65134	2.4507
Mg ²⁺	0.43	4.60	1.0791	0.8900	0.71247	0.6602
Ca ²⁺	1.08	5.63	2.3327	2.2741	0.93373	0.4002
EC	171.85	3015.01	464.25	340.74	451.7022	0.9729

Table 3- Statistical features of physical attributes of catchments

جدول ۳- خصوصیات آماری ویژگی‌های فیزیکی حوزه آبخیز

	Min.	Max.	Mean	Median	SD	CV
Agriculture	0.00	84.39	13.26	2.74	20.59	1.55
Good quality rangeland	0.00	51.87	9.80	5.35	12.35	1.26
Moderate quality rangeland	0.00	65.51	6.67	0.00	17.10	2.25
Low quality rangeland	0.00	71.03	3.95	0.00	14.30	3.62
Dense forest	0.00	99.66	54.82	61.46	31.62	0.58
Intermediate-density forest	0.00	48.16	4.58	0.77	9.97	2.18
Sparse forest	0.00	26.62	5.47	2.50	7.07	1.29
Urban land	0.00	20.21	1.39	0.00	3.82	2.76
Water body	0.00	0.36	0.01	0.00	0.05	6.60
Bare land	0.00	3.18	0.07	0.00	0.45	6.68
A hydrologic soil group	0.00	79.37	5.90	0.00	14.75	2.50
B hydrologic soil group	0.00	100.00	46.55	51.03	40.72	0.87
C hydrologic soil group	0.00	100.00	42.78	27.45	40.18	0.94
D hydrologic soil group	0.00	56.41	4.77	0.00	13.05	2.74
Low geological permeability	0.01	100.00	62.96	67.75	31.55	0.50
Average geological permeability	0.00	99.36	31.35	23.09	29.38	0.94
High geological permeability	0.00	90.90	5.70	0.00	15.30	2.69

نرمال بودن مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نسبت به قبل بهبود یافت؛ اما همچنان متغیرها غیر نرمال بودند. از این رو با استفاده از تبدیل داده کاکس باکس، نرمال کردن متغیرهای کیفیت آب انجام شد.

همچنین، رابطه‌ی بین متغیرهای فیزیکی حوزه‌ی آبخیز و شاخص‌های کیفیت آب با استفاده از آزمون همبستگی اسپیرمن مورد ارزیابی قرار گرفت. در آخر شاخص‌های کیفیت آب به‌عنوان متغیر وابسته و خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل‌سازی شدند. در این مطالعه از رگرسیون خطی ساده با رهیافت گام‌به‌گام^۳ به‌منظور به دست آوردن ارتباط بین متغیرها بهره گرفته شد.

۲-۳-۱- تحلیل عدم قطعیت

از آنجا که در بررسی عدم قطعیت نیاز به تعداد تکرارهای زیادی جهت به دست آوردن توزیع متغیرها وجود دارد، بنابراین در این مطالعه از روش شبیه‌سازی مونت کارلو^۴ یکی از روش‌های رایج بررسی عدم قطعیت است، استفاده گردید.

نقشه‌ی کاربری/ پوشش سرزمین به ده طبقه کاربری کشاورزی، مرتع خوب، مرتع متوسط، مرتع ضعیف، جنگل متراکم، جنگل متوسط، جنگل کم تراکم، نواحی شهری، پهنه‌های آبی و کاربری سرزمین بدون پوشش هستند، طبقه‌بندی شد. یکی از فاکتورهایی که می‌تواند بر پتانسیل ایجاد رواناب تاثیرگذار باشد، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک هستند؛ بنابراین نقشه‌ی قابلیت سرزمین به چهار گروه هیدرولوژیکی خاک A, B, C و D طبقه‌بندی شد. گروه A خاک دارای کمترین پتانسیل و گروه D خاک دارای بیشترین پتانسیل ایجاد رواناب در منطقه است. نقشه‌ی زمین‌شناسی به سه کلاس نفوذپذیری (کم، متوسط و زیاد) طبقه‌بندی شد که در ارتباط با ویژگی‌های متعدد سازه‌های زمین‌شناسی از جمله تخلخل مؤثر، نوع و اندازه حفره‌ها و نحوه‌ی اتصال آن‌ها به هم، تراکم سنگ، گرادیان فشار و خصوصیات مایع مثل ویسکوزیته‌ی آن است.

تمام داده‌های مورداستفاده در تحقیق از نظر توزیع نرمال بودن توسط آزمون شاپیرو-ویلک و کولموگروف-اسمیرنوف مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان داد که همه متغیرها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. سپس داده‌های پرت شناسایی و حذف گردید و دوباره از نظر

۳- نتایج تجزیه و تحلیل آماری

آزمون شاپیرو-ویلک و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. از آنجایی که داده‌ها نرمال نبودند از تبدیل کاکس-باکس برای نرمال سازی داده‌ها استفاده شد. نتایج آزمون‌های مذکور در جدول ۸ مشخص شده‌اند.

نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ بین متغیرهای کاربری سرزمین، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، کلاس‌های نفوذپذیری و کیفیت آب رودخانه به صورت زیر می‌باشد:

Na^+ دارای همبستگی مثبت با درصد پوشش کشاورزی ($p < 0/01$), $r = 0/57$ ، شهری ($r = 0/59$, $p < 0/01$)، گروه A خاک ($r = 0/59$, $p < 0/01$)، می‌باشد؛ و دارای همبستگی منفی با جنگل متراکم ($r = 0/59$, $p < 0/01$)، سازندهای زمین‌شناسی با تراوایی کم ($r = 0/39$, $p < 0/01$)، می‌باشد.

Mg^{2+} دارای همبستگی مثبت با درصد پوشش کشاورزی ($p < 0/01$), $r = 0/58$ ، مرتع متوسط ($r = 0/38$, $p < 0/01$)، مرتع ضعیف ($r = 0/41$, $p < 0/01$)، شهری ($r = 0/69$, $p < 0/01$)، گروه A خاک ($r = 0/58$, $p < 0/01$)، و دارای همبستگی منفی با جنگل متراکم ($r = -0/55$, $p < 0/01$)، می‌باشد.

در مرحله‌ی اول ابتدا بهترین توزیع احتمالی متغیرهای مستقل مدل با استفاده از آزمون نیکوئی برازش کولموگروف-اسمیرنوف به دست آمد (شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵). خصوصیات آماری مناسب‌ترین توزیع‌های برازش داده‌شده مربوط به متغیرهای مستقل و شاخص‌های کیفیت آب در جدول‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ آورده شده است.

مرحله‌ی دوم: تعداد ۱۵۰۰۰ داده‌ی تصادفی به صورت نمونه برداری پی‌درپی با استفاده از خصوصیات توزیع احتمالی متغیرها تولید شد به این صورت که یک مقدار تصادفی از توزیع اختصاصی مربوط به هر متغیر انتخاب شد و سپس این عدد به کمک تابع توزیع احتمال و با توجه به میانگین و واریانس آن به مقدار احتمالی متغیر تبدیل شد.

مرحله‌ی سوم: مدل‌های رگرسیون خطی با استفاده از داده‌های تولید شده در مرحله‌ی قبل اجرا شد و در نهایت منتج به ایجاد ۱۵۰۰۰ نتیجه مستقل شد که هر کدام نمایشگر یک آینده احتمالی برای سیستم هستند.

مرحله‌ی چهارم: تابع چگالی احتمالی^۵ خروجی مدل تعیین شد و سپس تحلیل عدم قطعیت بر اساس رفتار مدل با توجه به تابع توزیع تجمعی^۶ مدل انجام گرفت. حد آستانه برای پذیرش مقادیر قابل قبول خروجی‌های مدل، بزرگ‌تر از صفر می‌باشد.

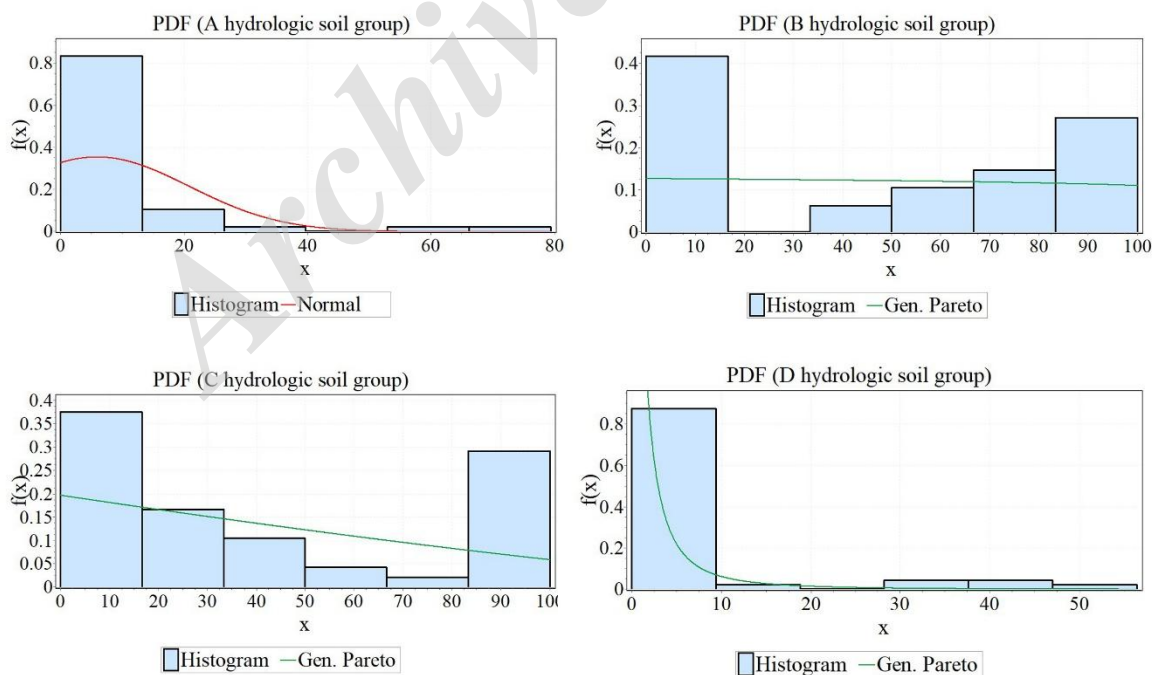


Fig. 2- Probability density function of hydrological soil groups

شکل ۲- توابع چگالی احتمال گروه‌های هیدرولوژیکی خاک

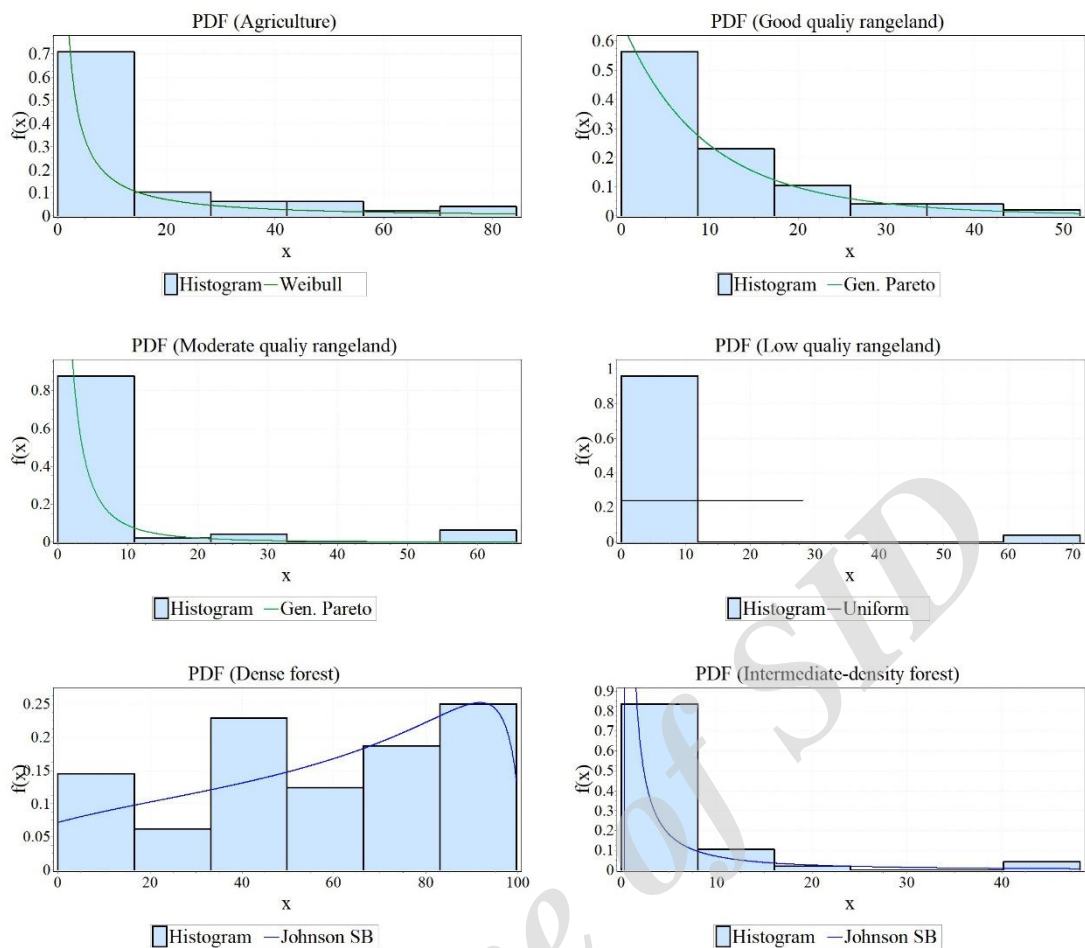


Fig. 3- Probability density function of land use/land cover variables

شکل ۳- توابع چگالی احتمال متغیرهای پوشش کاربری سرزمین

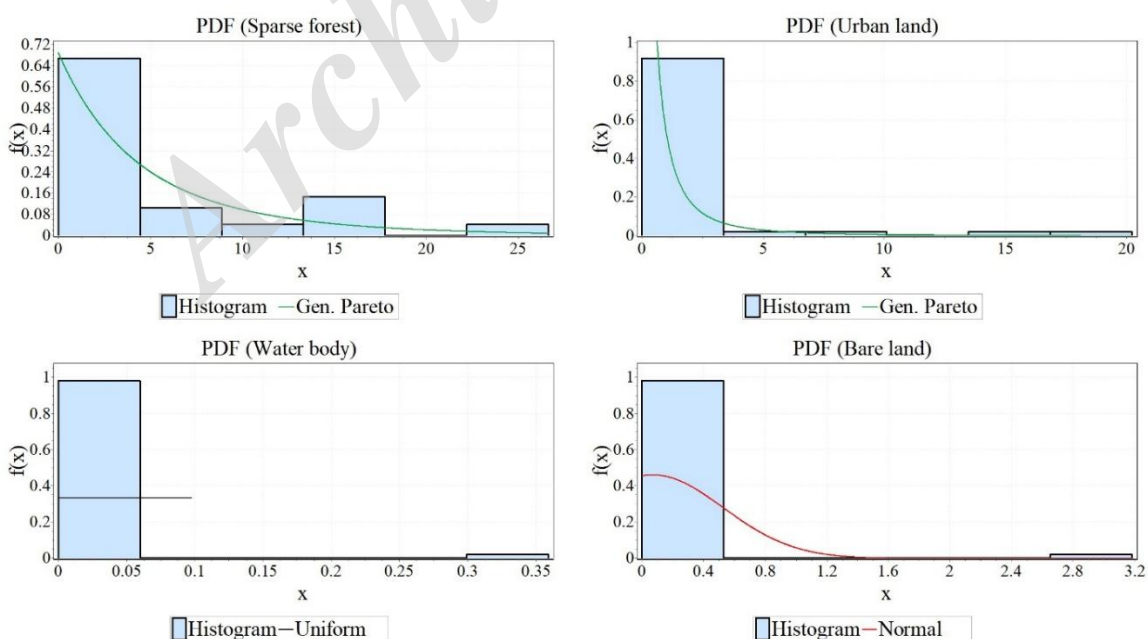


Fig. 4- Probability density function of land use/land cover variables

شکل ۴- توابع چگالی احتمال متغیرهای پوشش کاربری سرزمین

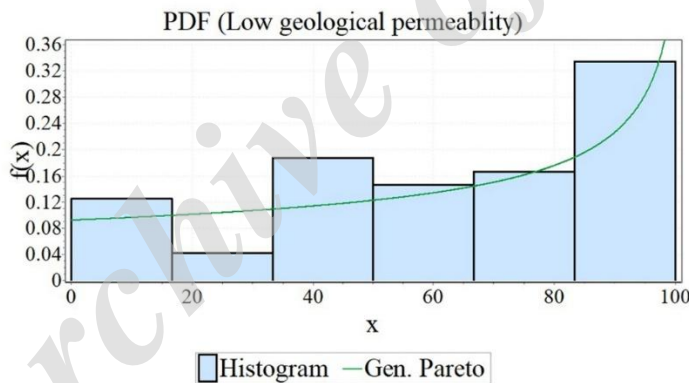
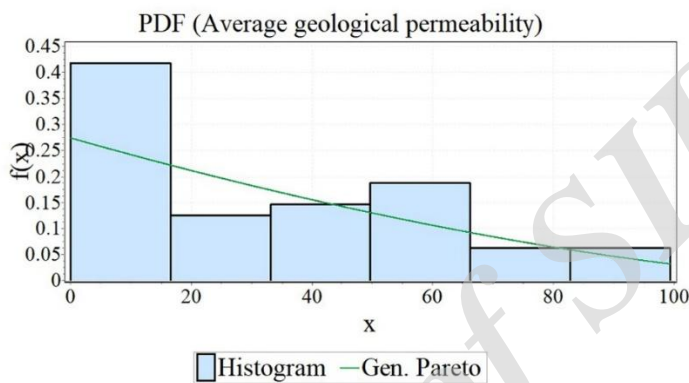
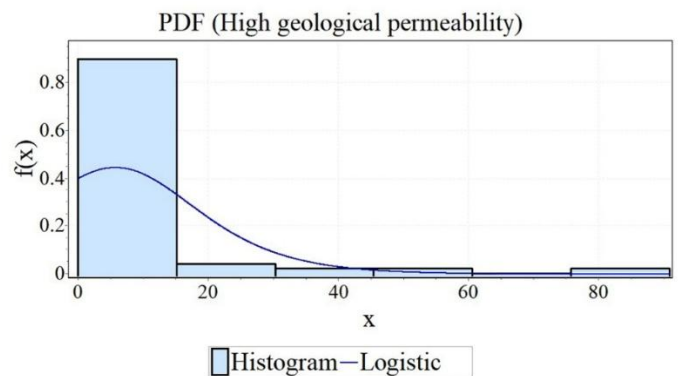


Fig. 5- Probability density function of geological permeability groups

شکل ۵- توابع چگالی احتمال گروه‌های نفوذپذیری زمین‌شناسی

Table 4- The results of statistical distribution fitting with the water quality data

جدول ۴- نتایج حاصل از برازش توزیع‌های آماری با داده‌های کیفیت آب

Kolmogorov Smirnov Test			PDF Statistics
Type	Statistic		
Na ⁺	Wakeby	0.08066	$\alpha=58.087$ $\beta=28.774$ $\gamma=2.8541$ $\delta=-0.59187$ $\xi=-5.1401$
Mg ²⁺	Wakeby	0.05709	$\alpha=3.2051$ $\beta=11.766$ $\gamma=1.4547$ $\delta=-0.88967$ $\xi=-1.1863$
Ca ²⁺	Wakeby	0.07502	$\alpha=2.2919$ $\beta=3.0436$ $\gamma=0.14256$ $\delta=0.05216$ $\xi=-0.00101$
EC	Log-Logistic	0.07854	$\alpha=418.94$ $\beta=1.2965$

Table 5- The results of statistical distribution fitting with the hydrological soil group data

جدول ۵- نتایج حاصل از برازش توزیع‌های آماری با داده‌های گروه‌های خاک‌شناسی

Kolmogorov Smirnov Test			
	Type	Statistic	PDF Statistics
S _a	Normal	0.34449	$\sigma=14.751$ $\mu=5.9037$
S _b	Wakeby	0.16326	$\alpha=123.47$ $\beta=0.87609$ $\gamma=0$ $\delta=0$ $\xi=-19.264$
S _c	Wakeby	0.14682	$\alpha=81.09$ $\beta=0.46935$ $\gamma=0$ $\delta=0$ $\xi=-12.408$
S _d	Uniform	0.39453	$a=-17.842$ $b=27.381$

Table 6- The results of statistical distribution fitting with the geological permeability group data

جدول ۶- نتایج حاصل از برازش توزیع‌های آماری با داده‌های گروه‌های نفوذپذیری

Kolmogorov Smirnov Test			
	Type	Statistic	PDF Statistics
G _i	Wakeby	0.0883	$\alpha=184.52$ $\beta=1.7433$ $\gamma=0$ $\delta=0$ $\xi=-4.3068$
G _a	Gen.Extreme Value	0.1396	$k=0.02713$ $\sigma=23.295$ $\mu=17.262$
G _h	Logistic	0.33811	$\sigma=8.4331$ $\mu=5.6952$

Table 7- The results of statistical distribution fitting with the land use/cover data

جدول ۷- نتایج حاصل از برازش توزیع‌های آماری با داده‌های پوشش و کاربری

Kolmogorov Smirnov Test			
	Type	Statistic	PDF statistics
A _g	Phased Bi-Weibull	0.12245	$\alpha_1=0.36988$ $\beta_1=1$ $\gamma_1=0$ $\alpha_2=0.28049$ $\beta_2=5/1032$ $\gamma_2=0.00601$
R _g	Wakeby	0.18853	$\alpha=0$ $\beta=0$ $\gamma=11.104$ $\delta=0.08939$ $\xi=-2.1664$
R _m	Kumaraswamy	0.10171	$\alpha_1=0.07709$ $\alpha_2=1.3226$ $a=2.0262E^{-15}$ $b=151.91$
R _i	Uniform	0.43446	$a=-20.62$ $b=29.285$
F _d	Wakeby	0.08538	$\alpha=175.12$ $\beta=1.8628$ $\gamma=4.0957$ $\delta=0.046$ $\xi=-11.124$
F _i	Power Function	0.19728	$\alpha_1=0.06487$ $\alpha_2=0.53861$ $a=1.2412E^{-16}$ $b=56.537$
F _s	Gen.Extreme Value	0.18354	$k=0.36919$ $\sigma=3.5829$ $\mu=1.9153$
U	Wakeby	0.35106	$\alpha=0$ $\beta=0$ $\gamma=0.3825$ $\delta=0.75773$ $\xi=-0.14054$
W	Uniform	0.48252	$a=-1.1184$ $b=1.3336$
Br	Gumbel Max	0.47785	$\sigma=0.74203$ $\mu=-0.24173$

EC دارای همبستگی مثبت با درصد پوشش کشاورزی ($p < 0.01$)، مرتع متوسط ($r = 0.59$ ، $p < 0.01$)، مرتع ضعیف ($r = 0.38$ ، $p < 0.01$)، گروه A خاک ($r = 0.65$ ، $p < 0.01$)، شهری ($r = 0.38$ ، $p < 0.01$)، سازندهای زمین‌شناسی با تراوایی زیاد ($r = 0.63$ ، $p < 0.01$) و دارای همبستگی منفی با جنگل متراکم ($r = 0.38$ ، $p < 0.01$) و سازندهای زمین‌شناسی با تراوایی کم ($r = 0.57$ ، $p < 0.01$) و سازندهای زمین‌شناسی با تراوایی کم ($r = 0.45$ ، $p < 0.01$) می‌باشد.

Ca²⁺ دارای همبستگی مثبت با درصد پوشش کشاورزی ($p < 0.01$)، مرتع متوسط ($r = 0.39$ ، $p < 0.01$)، شهری ($r = 0.52$ ، $p < 0.01$)، گروه A خاک ($r = 0.57$ ، $p < 0.01$)، سازندهای زمین‌شناسی با تراوایی زیاد ($r = 0.35$ ، $p < 0.05$) و دارای همبستگی منفی با جنگل متراکم ($r = 0.52$ ، $p < 0.01$) و سازندهای زمین‌شناسی با تراوایی کم ($r = 0.43$ ، $p < 0.05$) می‌باشد.

$$EC = 1.555 Ag + 0.0001352 R_m - 0.000031 S_b + 1.295 \quad (4)$$

$$R^2 = 0.59$$

که در آنها،

Ag: مساحت زمین‌های کشاورزی (%)

R_m: مساحت زمین‌های مرتعی دارای پوشش توسط (%)

S_c: گروه هیدرولوژیک C خاک (%)

G_n: مساحت سنگ‌های دارای تراوایی زیاد (%)

R_l: مساحت زمین‌های مرتعی دارای پوشش ضعیف (%)

W: مساحت پهنه‌های آبی (%)

R_g: مساحت زمین‌های مرتعی دارای پوشش خوب (%)

S_b: گروه هیدرولوژیک B خاک (%)

در مدل رگرسیونی سدیم (رابطه ۱)، ۷۲ درصد از تغییرات یون سدیم وابسته به تغییرات درصد متغیرهای مستقل می‌باشد. به طوری که متغیر پهنه‌های آبی بیشترین و متغیر مرتع خوب کمترین تأثیر را بر میزان سدیم آب رودخانه دارند. این موضوع با مطالعه‌ی (Amiri and Nakane, 2009) که در آن متغیر پهنه‌های آبی و درصد پوشش جنگل با غلظت کل نیتروژن تغییر یافته دارای رابطه‌ی مستقیم است مطابقت دارد. پس از آن کاربری‌های کشاورزی، مرتع متوسط، مرتع خوب و گروه تراوایی زیاد تقریباً به طور یکسانی بر افزایش غلظت سدیم به صورت مستقیم مؤثر هستند. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده، مرتع ضعیف و گروه هیدرولوژیکی C خاک به صورت معکوس باعث افزایش غلظت سدیم می‌شوند. به منظور تعیین احتمال خروجی‌های کمتر از صفر ($Pr(\text{output}) < 0$) مدل Na^+ منحنی توزیع تجمعی برای خروجی شبیه‌سازی شده‌ی این مدل برازش داده شد. نتایج برازش توزیع مناسب و همچنین آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که خروجی این مدل از توزیع Wakeby پیروی می‌کند. همچنین با توجه به بالا بودن ضریب تبیین این مدل ($r^2 = 0.72$ ، $p < 0.01$) احتمال تولید خروجی‌های منفی توسط مدل ۴۰٪ است.

بنابر مدل رگرسیونی منیزیم (رابطه ۲)، کاربری کشاورزی در رتبه‌ی اول و پس از آن مرتع متوسط به طور مستقیم با افزایش غلظت منیزیم در ارتباط هستند. (Zampella et al. 2007) به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین متغیر پیش‌بینی کننده مقادیر کلسیم و منیزیم کاربری کشاورزی است. نتایج برازش توزیع مناسب و همچنین آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که خروجی این مدل از توزیع Burr (4P) پیروی می‌کند. همچنین، با توجه به بالا بودن ضریب تبیین این مدل ($r^2 = 0.5$ ، $p < 0.01$) احتمال تولید خروجی‌های منفی توسط مدل ۹۰٪ است. این ویژگی مدل توسعه یافته باعث کاهش قابلیت اعتماد

به منظور به دست آوردن رابطه‌ی بین طبقات کاربری پوشش زمین، گروه‌های هیدرولوژیک خاک و نفوذپذیری سازندهای زمین‌شناسی با شاخص‌های کیفیت آب، از رگرسیون خطی چند متغیره با رویکرد گام به گام استفاده شد. (Atkinson et al. 2009) به منظور توسعه‌ی مدل‌های پیش‌بینی مواد فعال سطحی، کیفیت آب و زیستگاه‌های آبی، از رگرسیون چند متغیره خطی با رهیافت گام به گام استفاده کردند.

همچنین، (Sangani et al. 2015) از رویکرد گام به گام رگرسیون چند متغیره، جهت بررسی ارتباط بین خصوصیات حوزه آبخیز و متغیرهای کیفیت آب استفاده نموده‌اند. جدول ۹ مدل‌های ارائه شده به همراه ضرایب تشخیص مدل‌ها و سایر پارامترهای آماری را نشان می‌دهد. بررسی معنی‌داری رابطه رگرسیونی هریک از متغیرهای کیفیت آب به کمک آزمون تجزیه واریانس در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ انجام شد. همچنین، برای بررسی معنی‌داری ضرایب متغیرهای مستقل در مدل‌های رگرسیونی از آزمون تی استفاده شد. مقادیر عامل تورم واریانس (VIF) برای شناسایی هم خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل محاسبه شد. همان‌طور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود مقادیر عامل تورم واریانس برای متغیرهای مستقل در همه مدل‌های رگرسیونی کمتر از یک است که حاکی از عدم وجود هم خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل است. همچنین، مدل نیکویی برازش با استفاده از نمودار نقطه‌ای و رگرسیون خطی ساده بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده به کار گرفته شد (شکل ۶).

به منظور روشن‌سازی عملکرد مدل‌های توسعه یافته زمانی که برای پیش‌بینی شاخص‌های کیفیت در منطقه‌ی مطالعاتی اعمال می‌شوند، از تحلیل عدم قطعیت به روش شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شد. (Amiri et al. 2016) از روش مونت کارلو برای تحلیل عدم قطعیت مدل‌های رگرسیونی استفاده نمودند. در این مطالعه از تابع توزیع تجمعی به منظور تعیین احتمال اینکه آیا خروجی مدل کمتر از صفر است یا خیر استفاده شد؛ زیرا در مدل‌های کیفیت آب فقط مقادیر مثبت را می‌توان به خروجی مدل نسبت داد. در ادامه نتایج مدل‌سازی و تحلیل عدم قطعیت هر یک از مدل‌ها به تفصیل آورده شده است. معادلات رگرسیونی به دست آمده و توضیحات هر یک از مدل‌ها به صورت زیر است:

$$Na = 0.034 Ag + 0.023 R_m - 0.012 S_c + 0.025 G_n - 0.02 R_l + 6.141 W + 0.022 R_g - 1.81 \quad (1)$$

$$R^2 = 0.72$$

$$Mg = 0.013 Ag + 0.014 R_m - 0.431 \quad (2)$$

$$R^2 = 0.5$$

$$Ca = 0.01 Ag + 0.007 R_m + 0.003 S_c + 0.427 \quad (3)$$

$$R^2 = 0.52$$

هدایت الکتریکی آب‌های سطحی منطقه‌ی مطالعاتی است. پس از آن کاربری سرزمین مرتعی متوسط تا حدی سبب افزایش هدایت الکتریکی به صورت مستقیم می‌شوند؛ اما در مقابل افزایش گروه هیدرولوژیکی B خاک سبب کاهش هدایت الکتریکی آب‌های سطحی می‌شود. به منظور تعیین احتمال خروجی‌های کمتر از صفر ($Pr(\text{output}) < 0$) مدل EC، منحنی توزیع تجمعی برای خروجی شبیه‌سازی شده‌ی این مدل برازش داده شد. نتایج برازش توزیع مناسب و همچنین آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که خروجی این مدل از توزیع Lognormal (3P) پیروی می‌کند. همچنین، با توجه به شکل ۷، احتمال تولید خروجی‌های نزدیک به صفر برای این مدل ۹۰٪ پیش‌بینی شده است. این ویژگی مدل توسعه‌یافته باعث کاهش قابلیت اعتماد این مدل برای پیش‌بینی مقدار هدایت الکتریکی در منطقه مطالعاتی شده است.

این مدل برای پیش‌بینی غلظت منیزیم در منطقه مطالعاتی شده است (شکل ۷).

نتایج حاصل از مدل‌سازی شاخص کلسیم (رابطه ۳) نشان داد، کاربری کشاورزی بیشترین سهم را در افزایش غلظت این یون در آب‌های سطحی دارا است. همچنین کاربری مرتع متوسط و گروه هیدرولوژیکی C خاک نیز به طور تقریباً یکسانی در افزایش غلظت کلسیم به طور مستقیم مشارکت دارند. نتایج برازش توزیع مناسب و همچنین آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که خروجی این مدل از توزیع Burr (4P) پیروی می‌کند. همچنین با استناد به شکل ۷ می‌توان دید که خروجی‌های مدل بزرگ‌تر از صفر هستند و دامنه‌ی پیش‌بینی این مدل در محدوده‌ی ۰/۳ تا ۹۰ میلی‌گرم بر لیتر است.

بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی هدایت الکتریکی (رابطه ۴)، کاربری سرزمین کشاورزی مهم‌ترین و اثرگذارترین متغیر بر روی

Table 8- Results of normality test for transformed water quality variables

جدول ۸- نتایج حاصل از آزمون بررسی نرمال بودن متغیرهای تغییر یافته‌ی کیفیت آب

Dependent Variables	lambda coefficient	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Na ⁺	-0.505	0.100	49	0.200*	0.974	49	0.349
Mg ²⁺	-0.522	0.075	49	0.200*	0.977	49	0.451
Ca ²⁺	-0.115	0.107	49	0.200*	0.978	49	0.477
EC	-0.762	0.095	49	0.200*	0.979	49	0.537

Table 9- Results of multiple linear regression analysis based on stepwise approach

جدول ۹- نتایج رگرسیون خطی چند معیاره با رویکرد گام‌به‌گام

Variable	Statistics							
	Dependent	Independent	Coefficient	S.E	R2	t	Significance	VIF
EC	Constant		1.295	0.001		1493	0.00	
	Ag		1.55	0.00	0.59	6.36	0.00	1.012
	R _m		0.00013	0.00		4.404	0.00	1.033
	S _b		-0.000031	0.00		-2.484	0.017	1.033
Ca ²⁺	Constant		0.427	0.62		6.9	0.00	
	Ag		0.01	0.002	0.52	5.62	0.00	1.11
	R _m		0.07	0.002		3.327	0.002	1.081
	S _c		0.03	0.001		2.804	0.008	1.191
Mg ²⁺	Constant		-0.431	0.066		-6.479	0.00	
	Ag		0.013	0.003	0.5	5.215	0.00	1.008
	R _m		0.014	0.003		4.539	0.00	1.008
Na ⁺	Constant		-1.818	0.208		-8.748	0.00	
	Ag		0.034	0.006		5.979	0.00	1.157
	R _m		0.023	0.008		2.873	0.006	1.485
	S _c		-0.012	0.003	0.72	-3.862	0.00	1.339
	G _h		0.025	0.007		3.481	0.001	1.04
	R _l		-0.02	0.008		-2.53	0.015	1.027
	W		6.141	2.472		2.485	0.017	1.374
	R _g		0.022	0.01		2.231	0.031	1.308

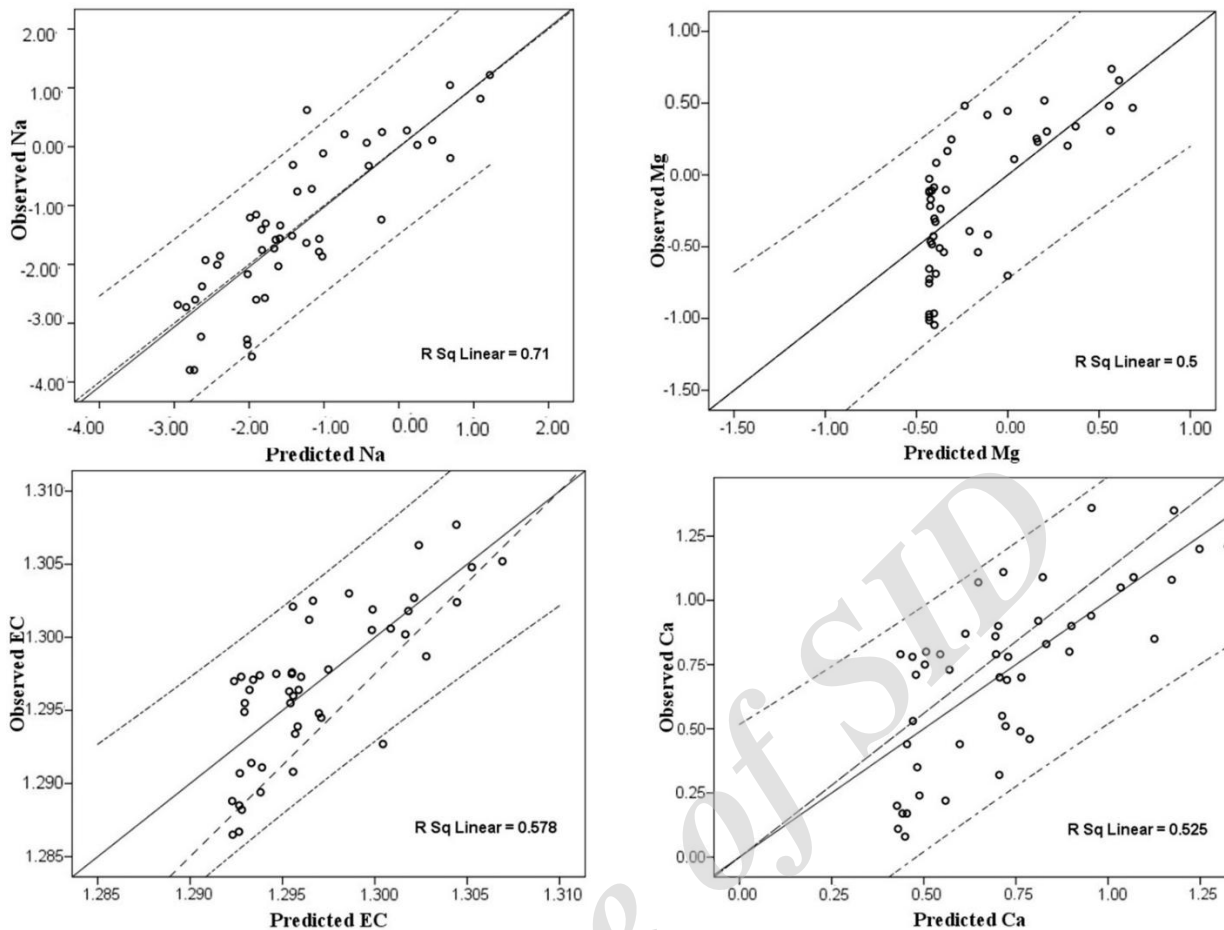


Fig. 6- Observed values versus the predicted values
 شکل ۶- مقادیر پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر مشاهده شده

پوشش‌های جنگلی بر کیفیت آب و همچنین نقش کنترلی جنگل در حرکت نیتروژن تأکید نمودند. این تحقیق همچنین با به‌کارگیری روش مونت‌کارلو، بر روی ارزیابی عدم قطعیت مرتبط با قابلیت پیش‌بینی مدل‌های رگرسیونی متمرکز شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که مدل‌های EC، Mg^{2+} و Ca^{2+} از عدم قطعیت‌های بالایی در پیش‌بینی مقادیر این شاخص‌ها برخوردار هستند؛ که نشان‌دهنده قابلیت اطمینان پایینی در پیش‌بینی کیفیت آب منطقه‌ی مورد مطالعه هستند.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Generalized Likelihood Uncertainty Estimation
- 2- Digital Elevation Model
- 3- Stepwise Multiple Linear Regression
- 4- Monte-Carlo simulation
- 5- Probability Density Function
- 6- Cumulative Distribution Function

۴- نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد کاربری کشاورزی و شهری اثرات قابل‌توجهی بر روی کیفیت آب منطقه مطالعه دارد. به‌عبارت دیگر حوزه‌های آبخیزی که دارای زمین‌های مرتعی و کشاورزی بیشتری باشند، بار آلودگی آب‌های سطحی بالاتر است.

Chessman and Townsend (2010) نیز دریافتند که فعالیت‌های انسانی نظیر کشاورزی و توسعه‌ی شهری عامل مهمی در تغییر ویژگی‌های شیمیایی آب رودخانه از جمله شوری و مواد مغذی محسوب می‌شوند. این در حالی است که متغیر درصد پوشش جنگل متراکم دارای رابطه‌ی قوی و منفی با تمامی شاخص‌های کیفیت آب است.

به‌عبارت دیگر با افزایش پوشش‌های جنگلی غلظت این عناصر در آب‌های سطحی کاهش پیدا می‌کند که این موضوع هم‌راستا است با یافته‌های (Amiri and Nakane 2006) که بر تأثیر مثبت

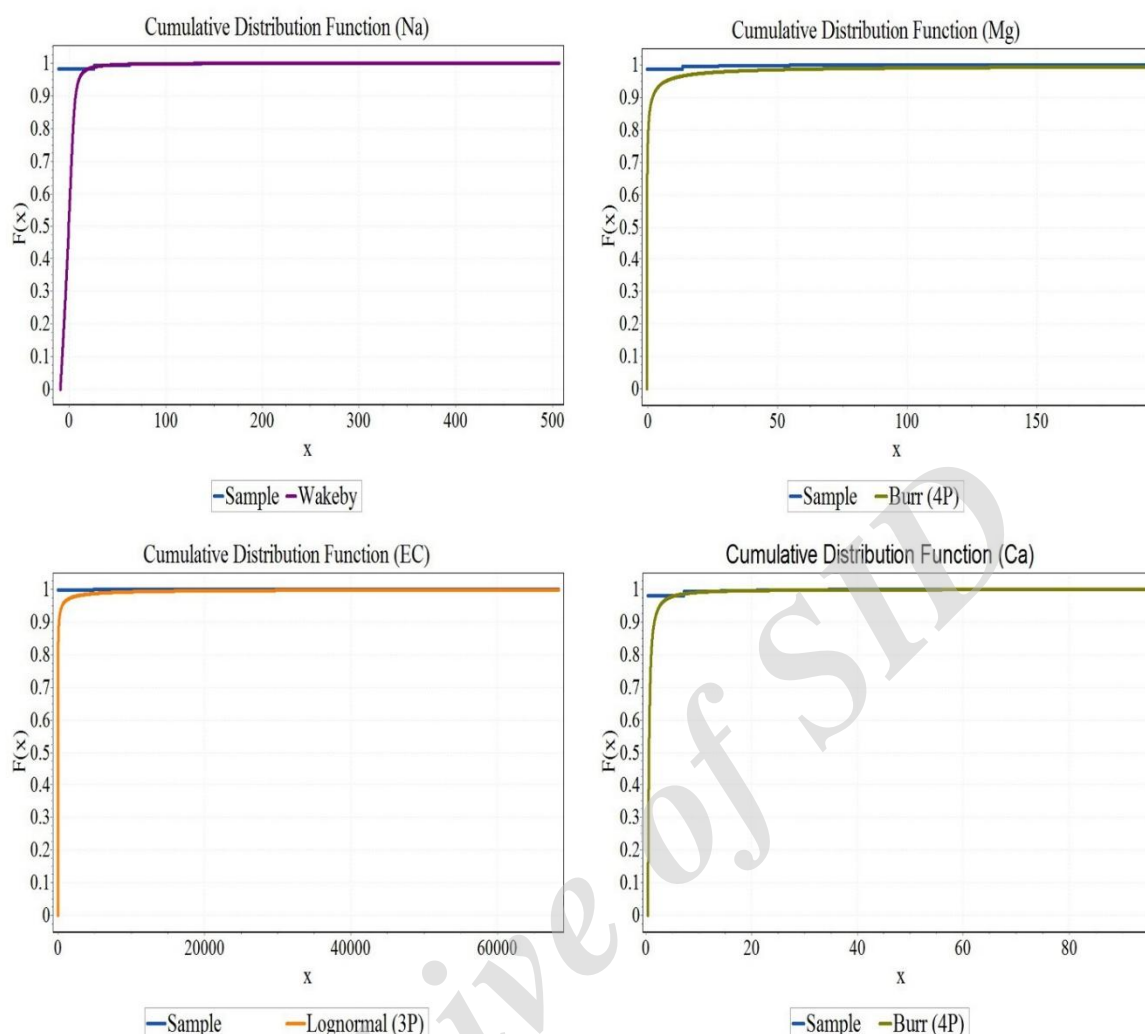


Fig. 7- Cumulative density function for the simulated outputs of water quality models

شکل ۷- تابع توزیع تجمعی مربوط به خروجی شبیه‌سازی شده‌ی مدل‌های کیفیت آب

- Chugoku district, Japan: an ANN approach. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 60(1):33-44
- Amiri BJ, Fohrer N, Cullmann J, Hörmann G, Müller F, Adamowski J (2016) Regionalization of tank model using landscape metrics of catchments. *Water Resources Management* 30(14):5065-5085
- Arheimer B, Liden R (2000) Nitrogen and phosphorus concentrations from agricultural catchments-influence of spatial and temporal variables. *Journal of Hydrology* 227(1-4):140-159
- Atkinson SF, Johnson DR, Venables BJ, Slye JL, Kennedy JR, Dyer SD, Price BB, Ciarlo M, Stanton K, Sanderson H, Nielsen A (2009) Use of watershed factors to predict consumer surfactant risk, water quality, and habitat quality in the upper Trinity River, Texas. *Science of the Total Environment* 407(13):4028-4037
- Ahearn DS, Sheibley RW, Dahlgren RA, Anderson M, Johnson J, Tate KW (2005) Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California. *Journal of Hydrology* 313(3):234-47
- Amiri BJ, Nakane K (2009) Comparative prediction of stream water total nitrogen from land cover using artificial neural network and multiple linear regression. *Polish Journal of Environmental Studies* 18(2):151-60
- Amiri BJ, Nakane K (2006) Modeling the relationship between land cover and river water quality in the Yamaguchi prefecture of Japan. *Journal of Ecology and Environment* 29(4):343-52
- Amiri B, Sudheer K, Fohrer N (2012) Linkage between in-stream total phosphorus and land cover in

۶- مراجع

- Mirzaei M, Solgi E, Salman Mahini A (2017) Effect of land use on phosphorous, nitrogen, dissolved solids, and suspended solids concentrations and its presentation in GIS (Case study: Zayandehroud Basin). *Iran-Water Resources Research* 13:191-198 (In Persian)
- Pang Y, Xiang S, Chu ZS, Xue LQ, Ye BB (2015) Relationship between agricultural land and water quality of inflow river in Erhai lake basin. *Huan Jing Ke Xue=Huanjing Kexue* 36(11):4005-4012
- Parris K (2011) Impact of agriculture on water pollution in OECD countries: Recent trends and future prospects. *International Journal of Water Resources Development* 27(1):33-52
- Power M, McCarty LS (2006) Environmental risk management decision-making in a societal context. *Human and Ecological Risk Assessment* 12(1):18-27
- Sangani MH, Amiri BJ, Shabani AA, Sakieh Y, Ashrafi S (2015) Modeling relationships between catchment attributes and river water quality in southern catchments of the Caspian Sea. *Environmental Science and Pollution Research* 22(7):4985-5002
- Shafiei M, Ghahraman B, Saghafian B, Davary K, Vazifedoust M (2014) Calibration and uncertainty assessment of SWAP model using GLUE. *Water Research on Agriculture* 28(25):909-917 (In Persian)
- Solgi E, Sheikhzadeh H (2016) Technical note; study of water quality of aras river using physico-chemical variables. *Iran-Water Resources Research* 12:207-213 (In Persian)
- Yang X, Jin W (2010) GIS-based spatial regression and prediction of water quality in river networks: a case study in Iowa. *Journal of Environmental Management* 91(10):1943-1951
- Zampella RA, Procopio NA, Lathrop RG, Dow CL (2007) Relationship of land-use/land-cover patterns and surface-water quality in the Mullica River Basin. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 43(3):594-604
- Baker A (2005) Land use and water quality. *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, 3456p
- Beven K, Binley A (1992) The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction. *Hydrological Processes* 6(3):279-98
- Bozorg Haddad O, Seifollahi-Aghmiuni S (2013) An introduction to uncertainty analysis in water resources systems. University of Tehran, 217p (in Persian)
- Burgman M (2005) Risks and decisions for conservation and environmental management. Cambridge University Press, 504p
- Chessman BC, Townsend SA (2010) Differing effects of catchment land use on water chemistry explain contrasting behaviour of a diatom index in tropical northern and temperate southern Australia. *Ecological Indicators* 10(3):620-626
- Fatehi I, Amiri BJ, Alizadeh A, Adamowski J (2015) Modeling the relationship between catchment attributes and in-stream water quality. *Water Resources Management* 29(14):5055-5072
- Haidary A, Amiri BJ, Adamowski J, Fohrer N, Nakane K (2013) Assessing the impacts of four land use types on the water quality of wetlands in Japan. *Water Resources Management* 27(7):2217-2229
- Hartmann J, Moosdorf N, Lauerwald R, Hinderer M, West AJ (2014) Global chemical weathering and associated P-release- The role of lithology, temperature and soil properties. *Chemical Geology* 363:45-163
- Kiesel J, Schmalz B, Fohrer N (2009) SEPAL—a simple GIS-based tool to estimate sediment pathways in lowland catchments. *Advances in Geosciences* 21:25-32
- Kitanidis PK, Bras RL (1980) Real-time forecasting with a conceptual hydrologic model: 2. Applications and results. *Water Resources Research* 16(6):1034-1044