The 2nd National Conference on
Geospatial Information Technology (NCGIT)

K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering

18 January 2017

دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ دی ماه ۱۳۹۵

بررسی و مدل‌سازی تاثیر شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی بر روی تراز آب دریاچه ارومیه با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی و تصاویر ماهواره‌ای

میترا احمدی جمال [۱*]، مهدی حسنلو [۲]، پرهام پهلوانی [۳]

۱- کارشناسی ارشد ژئودزی-هیدروگرافی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
۲- استادیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
۳- استادیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

چکیده :

مطالعه پارامترهای هیدرولوژیکی دریاچه‌ها و در پی آن بررسی تغییرات تراز آنها به منظور اعمال مدیریت بر منابع آب حائز اهمیت است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی و مدل‌سازی تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه با توجه به تغییرات شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی که در روند تغییرات تراز و مساحت دریاچه موثرند. برای این منظور از تصاویر ماهواره‌ای لندست و هم‌چنین از داده‌های هیدرولوژیکی شامل ۳ متغیر مستقل بارش، تبخیر سطحی، دبی ورودی به دریاچه به صورت روزانه برای کل حوضه دریاچه طی دوره آماری ۱۳۸۹-۱۳۹۵ استفاده شده است. بر مبنای تحلیل سری زمانی که روی تک تک دیتاها به صورت مستقل انجام شد و روند پایداری که در پیش داشتند، برای مدل‌سازی تغییرات تراز از دو روش پلی‌نومیال ها و روش ترکیبی پلی‌نومیال ها به همراه رفتار پریودیک که بر مبنای روش کمترین مربعات انجام می‌گیرند در نرم‌افزار متلب استفاده شده است. در روش اول با استفاده از روش پلی‌نومیال ها یک چندجمله‌ای خطی چندمتغیره به دیتاها برازش دادیم و با تعیین مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و مجذور میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE) و ضریب همبستگی (R^2) به این نتیجه رسیدیم که می‌توان یک چند جمله‌ای درجه ۴ به دیتاها برازش داد که کمترین مقدار RMSE در حدود ۹ سانتی‌متر را دارا می‌باشد. در روش دوم از روش ترکیبی پلی‌نومیال ها و رفتار پریودیک جهت برآورد مدل تراز سطح آب استفاده کردیم که با انجام محاسبات آن دقت مدل خود را از ۹ سانتی‌متر به ۳ سانتی‌متر بهبود بخشیدیم.

واژه‌های کلیدی : مدل سازی، تغییرات تراز آب، پارامترهای هیدرولوژیکی، سری زمانی، دریاچه ارومیه

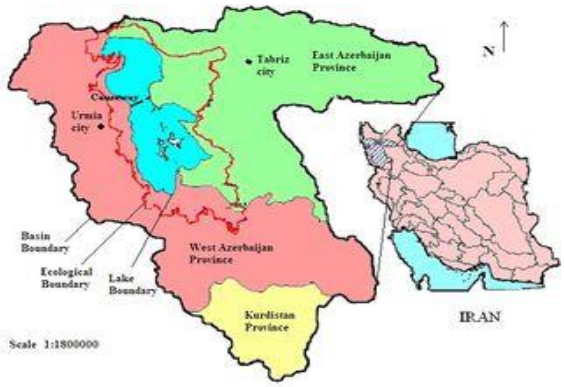
نویسنده مکاتبه کننده : میترا احمدی جمال
آدرس پستی :
تلفن :
آدرس پست الکترونیک : mitraahmadi@ut.ac.ir

۱- مقدمه

دریاچه ارومیه یکی از بزرگترین دریاچه های دائمی در شرق میانه با یک حوضه آبریز به مساحت ۵۱،۸۷۶ کیلومتر مربع است و متشکل از ۳ درصد از مساحت کشور و ۷ درصد از کل سطح آب در ایران می‌باشد[۱]. این دریاچه یکی از بزرگترین دریاچه های نمک در جهان از نظر مساحت سطح است. این دریاچه در گوشه شمال غربی ایران در نزدیکی ترکیه واقع شده و همچنین در قلب دو استان آذربایجان غرب و آذربایجان شرق دریاچه بین عرضهای جغرافیایی ′۴° ۳۷ و ′۱۷° ۳۸ عرض جغرافیایی و ′۱۳° ۴۵ و °۴۶ طول جغرافیایی واقع شده است [۲]. این دریاچه توسط جاده شهید کلانتری که در سراسر دریاچه برای تسهیل در ارتباط بین شرق (شهرستان تبریز) و غرب (شهرستان ارومیه) به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم شده است. مطالعه پارامترهای هیدرولوژیکی دریاچه‌ها و در پی آن بررسی تغییرات تراز آنها به منظور اعمال مدیریت بر منابع آب حائز اهمیت است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی و مدل‌سازی تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه با توجه به تغییرات شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی که در روند تغییرات تراز و مساحت دریاچه موثرند. دریاچه ارومیه یکی از ۶۱۰ ذخیره گاه زیست کره در ۱۱۷ کشور است که به رسمیت شناخته شده است [۳]. رسولی و همکاران [۴]، نوسان‌های سطح دریاچه ارومیه را با تصاویر ماهواره‌ای از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ مورد بررسی قرار دادند. نتیجه بررسی این محققین نشان داد که نوسان‌های دریاچه ارومیه در طی دوره زمانی مورد مطالعه باعث کاهش ۲۳ درصد از سطح دریاچه شده است. در این مطالعه به عوامل اصلی خشک شدن سطح دریاچه اشاره‌ای نشده است. حصاری و همکاران [۵]، تغییرات سطح دریاچه ارومیه و هم‌رفتاری آن با تغییرات سطح دریای خزر و دریاچه وان ترکیه و عوامل آب و هوایی منطقه را مورد بررسی قرار دادند. بررسی‌ها بر پایه داده‌های ماهانه سطح آب دریاچه ارومیه در طی سال‌های ۱۳۴۵-۱۳۸۸ به روشنی نشان داد که سطح دریاچه ارومیه در دراز مدت روند نزولی تا ۶ متر داشته است. نتایج وجود روند، وجود پرش و اختلاف میانگین و میانه از سال ۱۳۷۴ به بعد و تصادفی نبودن روند کاهش سطح دریاچه در سطح معنی‌داری ۱٪ تائید شد. رفتار دریاچه وان و تغییرات سطح آب زیرزمینی تطابق زیادی با تغییرات سطح آب دریاچه دارد و نشانگر وجود فشار زیاد بر آب‌های زیرزمینی منطقه است. عبدالهی و همکاران [۶]، اشاره کرده‌اند که عوامل کاهش آب دریاچه ارومیه را به می‌توان به دو گروه عوامل سطحی‌الارضی و تحت‌الارضی تقسیم نمود. عوامل سطحی بیش‌ترین تاثیر را دارند و عبارت از میزان بارش‌های جوی، تغییرات دبی آب رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه و تغییرات دمایی دراین حوضه می‌باشند. هم‌چنین عوامل تحت‌الارضی نظیر تغییرات رژیم جریان آب‌های زیرزمینی، تغییرات بستر دریاچه به واسطه احداث میان‌گذر دریاچه، انباشت نمک و توده‌های وسیع و غیر قابل نفوذ آن در بستر دریاچه و در تغییر سطح تراز آب دریاچه موثرند.

۲- منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه (شکل ۱)، واقع در شمال غربی ایران (′۴° ۳۷ و ′۱۷° ۳۸ عرض جغرافیایی و ′۱۳° ۴۵ و °۴۶ طول جغرافیایی ′۳۰°۳۷) بزرگترین دریاچه در شرق میانه و ششمین دریاچه شور جهان با مساحتی در حدود ۴۷۵۰-۶۰۰۰ کیلومترمربع می‌باشد که به ترتیب از سمت شمال – جنوب و شرق – غرب به اندازه ۱۴۰ کیلومتر و ۸۵ کیلومتر در طول دوره تاریخی بین سالهای ۱۹۶۵ و ۲۰۰۰ توسعه یافته است [۷ و ۸] که در شکل (۱) نشان داده شده است. حوضه دریاچه ارومیه به مساحت ۵۱،۸۷۶ کیلومترمربع است. از جمله کل جریانات سالانه دریاچه در حدود ۶.۹۰۰ کیلومترمکعب برآورد شده است ،که از رودخانه ها در حدود ۴.۹ کیلومترمکعب، آبهای سیل ۰.۵ کیلومترمکعب و بارش مستقیم بر روی دریاچه ۱.۵ کیلومترمکعب [۱ و ۷]. رودخانه‌های اصلی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در جدول (۱) آورده شده است. تنها خروجی دریاچه تبخیر از سطح آن می‌باشد [۹].



شکل ۱ : حوضه دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران [۱۰].

جدول ۱ : جریان رودخانه اصلی به دریاچه ارومیه [۹].

رودخانه ها	طول (km)	متوسط جریان(m^3/s)	مساحت زیر حوضه (km^2)
زرینه‌رود	230	45.8	11897
سیمینه‌رود	145	9.5	3656
باراندوزچای	70	8.3	1318
نازلوچای	85	7.87	2267
مهابادچای	80	6.5	1528
شهری‌چای	70	5.33	720
روضه‌چای	50	1.33	453
گادارچای	100	0.34	2123
زولی‌چای	84	-	2090

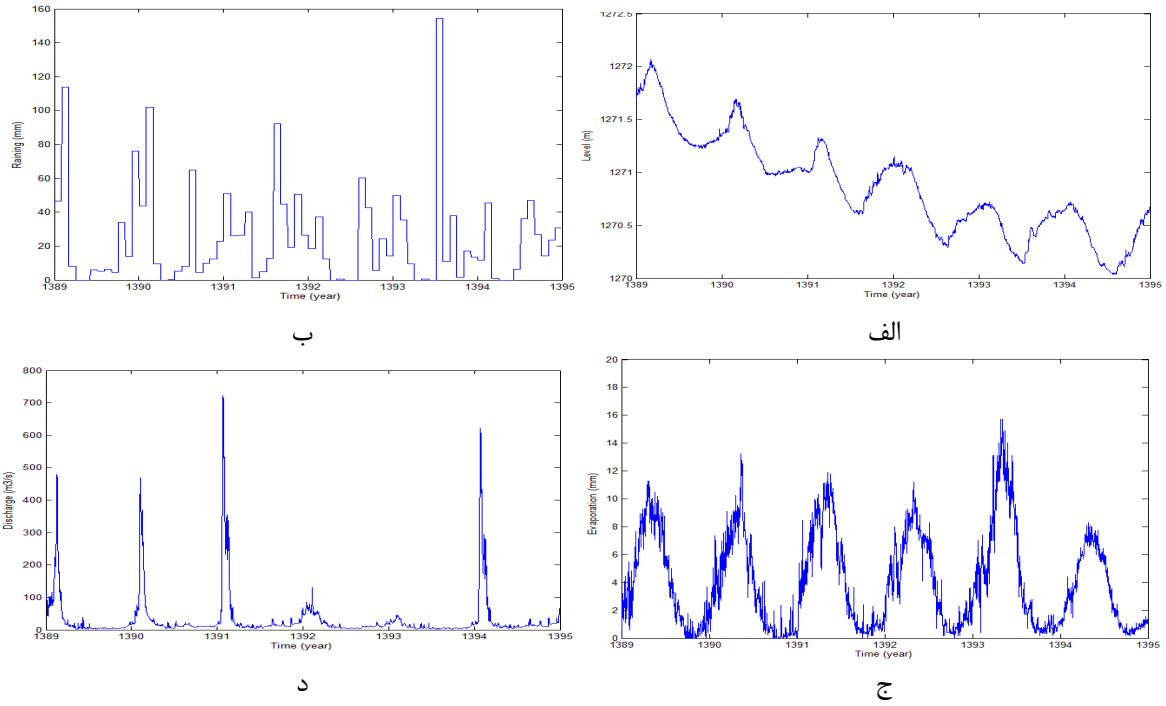
۳- مواد و روش‌ها

الف: بررسی تغییرات خط ساحلی دریاچه ارومیه: در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۰، ۱۳۹۱، ۱۳۹۲، ۱۳۹۳، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ برای بررسی تغییرات خط ساحلی دریاچه ارومیه و هم‌چنین از نرم‌افزارهای ENVI۴و ERDAS برای پردازش تصاویر استفاده شده است.مساحت دریاچه در هر یک از سال‌های مطالعه شده از روی تصاویر ماهواره‌ای اندازه‌گیری شد تا میزان تغییرات در سال‌های مورد بررسی مشخص شود.

ب: بررسی عوامل اصلی کاهش تراز آب دریاچه: داده‌های میدانی مورد استفاده در این قسمت که از سازمان آب منطقه‌ای ارومیه تهیه شده عبارت است از:

۱- میانگین بارش روزانه کل حوضه در دوره آماری ۱۳۸۹-۱۳۹۵ با استفاده از داده‌های ۸ ایستگاه سینوپتیک، باران سنجی و کلیماتولوژی مورد مطالعه در حوضه.
۲- میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه کل حوضه در دوره آماری ۱۳۸۹-۱۳۹۵ با استفاده از داده‌های ۶ ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی مورد مطالعه روش بلانی کریدل و تورنث وایت.
۳- دبی روزانه کل حوضه در دوره آماری ۱۳۸۹-۱۳۹۵.

روند تغییرات بارش، دبی و تبخیر را از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۵ را به صورت روزانه در شکل‌های (۲-ب، ج و د) نمایش داده شده است.



شکل ۲: نمودار تغییرات بین سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۵

الف) تراز سطح آب نسبت به زمان ، ب) بارش نسبت به زمان، ج) دبی نسبت به زمان و د)تبخیر نسبت به زمان.

تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در مقیاس سالانه از سال (۱۳۸۹ – ۱۳۹۴) قابل توجه است. با توجه به داده‌های در دسترس از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۵ و مطالعاتی که بر روی انواع روش‌های مدل‌سازی با استفاده از آنالیز سری‌های زمانی داشتیم مدل‌سازی خود را بر مبنای روش پلی‌نومیال‌ها و به روش کمترین‌مربعات انجام دادیم و به دقت ۳سانتی متر رسیدیم، همچنین با توجه به رفتار پریودیک تراز سطح آب روش پلی‌نومیال را با رفتار پریودیک ترکیب کرده و محاسبات خود را مبنی بر روش کمترین‌مربعات انجام داده و دقت خود را از ۹ سانتی‌متر به ۳ میلی‌متر بهبود یافت.در ادامه روند کار این دو استراتژی برای تعیین مدل تراز سطح آب دریاچه بیان شده است.

۳-۱- سناریو اول

در سناریو اول برای مدل تراز سطح آب دریاچه از آنالیز چند متغیره بر مبنای روش کمترین مربعات استفاده کردیم. از آنجایی که داده‌های بارش به دلیل روند ناپایداری که داشته و به صورت یک نویز در سری زمانی و مدل سازی عمل می‌کرد ما برای برقراری یک روند پایدار در مدل‌سازی از میانگین ماهانه داده‌های بارش ۸ ایستگاه باران‌سنجی استفاده کردیم و از دیتاهای تبخیر و دبی به همان شکل در محاسبات استفاده شده است. در واقع با استفاده از روش پلی‌نومیال‌ها معادلاتی را به داده‌ها برازش می دهیم و با تعیین RSME، NRSME، R^2 برای تک تک معادلات برازش داده شده، بهترین مدل را برای تراز سطح انتخاب می‌کنیم که کمترین مقدار RSME را داشته باشد. روش محاسبات ما به این صورت است که ۳۰ درصد دیتاها را به عنوان نقاط تست (Testing) در نظر گرفتیم و وارد محاسبات خود نکردیم و با ۷۰ درصد باقیمانده دیتاها (Training) برازش را انجام دادیم، چهار معادله به شرح زیر می‌باشد:

الف) چندجمله‌ای درجه ۱(روش M1)

رابطه (۱)
$$F(t,B,T,D) = a_1 + a_2 t + a_3 B + a_4 T + a_5$$

ب) چندجمله‌ای درجه ۲(روش M2)

رابطه (۲)
$$F(t,B,T,D) = a_1 + a_2 t + a_3 B + a_4 T + a_5 D + a_6 t^2 + a_7 B^2 + a_8 T^2 + a_9 D^2 + a_{10} tB + a_{11} tT + a_{12} tD + a_{13} BT + a_{14} BD + a_{15} TD$$

ج) چندجمله‌ای درجه ۳(روش M3)

رابطه(۳)
$$\begin{aligned} F(t,B,T,D) = {} & a_1 + a_2 t + a_3 B + a_4 T + a_5 D + a_6 t^2 + a_7 B^2 + a_8 T^2 + a_9 D^2 + a_{10} tB \\ & + a_{11} tT + a_{12} tD + a_{13} BT + a_{14} BD + a_{15} TD + a_{16} t^3 + a_{17} B^3 + a_{18} T^3 \\ & + a_{19} D^3 + a_{20} tB^2 + a_{21} tT^2 + a_{22} tD^2 + a_{23} Bt^2 + a_{24} BT^2 + a_{25} BD^2 \\ & + a_{26} Tt^2 + a_{27} TB^2 + a_{28} TD^2 + a_{29} Dt^2 + a_{30} DB^2 + a_{31} DT^2 + a_{32} tBT \\ & + a_{33} tBD + a_{34} tTD + a_{35} BTD \end{aligned}$$

د) چندجمله‌ای درجه ۴(روش M4)

رابطه(۴)
$$\begin{aligned} F(t,B,T,D) = {} & a_1 + a_2 t + a_3 B + a_4 T + a_5 D + a_6 t^2 + a_7 B^2 + a_8 T^2 + a_9 D^2 + a_{10} tB \\ & + a_{11} tT + a_{12} tD + a_{13} BT + a_{14} BD + a_{15} TD + a_{16} t^3 + a_{17} B^3 + a_{18} T^3 \\ & + a_{19} D^3 + a_{20} tB^2 + a_{21} tT^2 + a_{22} tD^2 + a_{23} Bt^2 + a_{24} BT^2 + a_{25} BD^2 \\ & + a_{26} Tt^2 + a_{27} TB^2 + a_{28} TD^2 + a_{29} Dt^2 + a_{30} DB^2 + a_{31} DT^2 + a_{32} tBT \\ & + a_{33} tBD + a_{34} tTD + a_{35} BTD + a_{36} t^4 + a_{37} B^4 + a_{38} T^4 + a_{39} D^4 \\ & + a_{40} tB^3 + a_{41} tT^3 + a_{42} tD^3 + a_{43} Bt^3 + a_{44} BT^3 + a_{45} BD^3 + a_{46} Tt^3 \\ & + a_{47} TB^3 + a_{48} TD^3 + a_{49} Dt^3 + a_{50} DB^3 + a_{51} DT^3 + a_{52} t^2 B^2 + a_{53} t^2 T^2 \\ & + a_{54} t^2 D^2 + a_{55} B^2 T^2 + a_{56} B^2 D^2 + a_{57} T^2 D^2 + a_{58} tBT^2 + a_{59} tBD^2 \\ & + a_{60} tTB^2 + a_{61} tTD^2 + a_{62} tDB^2 + a_{63} tDT^2 + a_{64} BTt^2 + a_{65} BDt^2 \\ & + a_{66} TDt^2 + a_{67} TDB^2 + a_{68} BDT^2 + a_{69} BTD^2 + a_{70} tBTD \end{aligned}$$

که در معادلات فوق پارامترهای استفاده شده در روابط به ترتیب B نماد بارش و T نماد تبخیر وD نماد دبی و t نماد زمان می‌باشد. نتایج برازش چهار رابطه ۱ تا ۴ در شکل ۳- الف، ب، ج، د نمایش داده شده است. همچنین برای سنجش دقت این روش‌ها از شاخص مجذور میانگین مربعات خطا و مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده و ضریب تعیین بر طبق روابط ۵ الی ۷ استفاده شده است.

رابطه(۵)
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_p - x_o\right)^2}{n}}$$

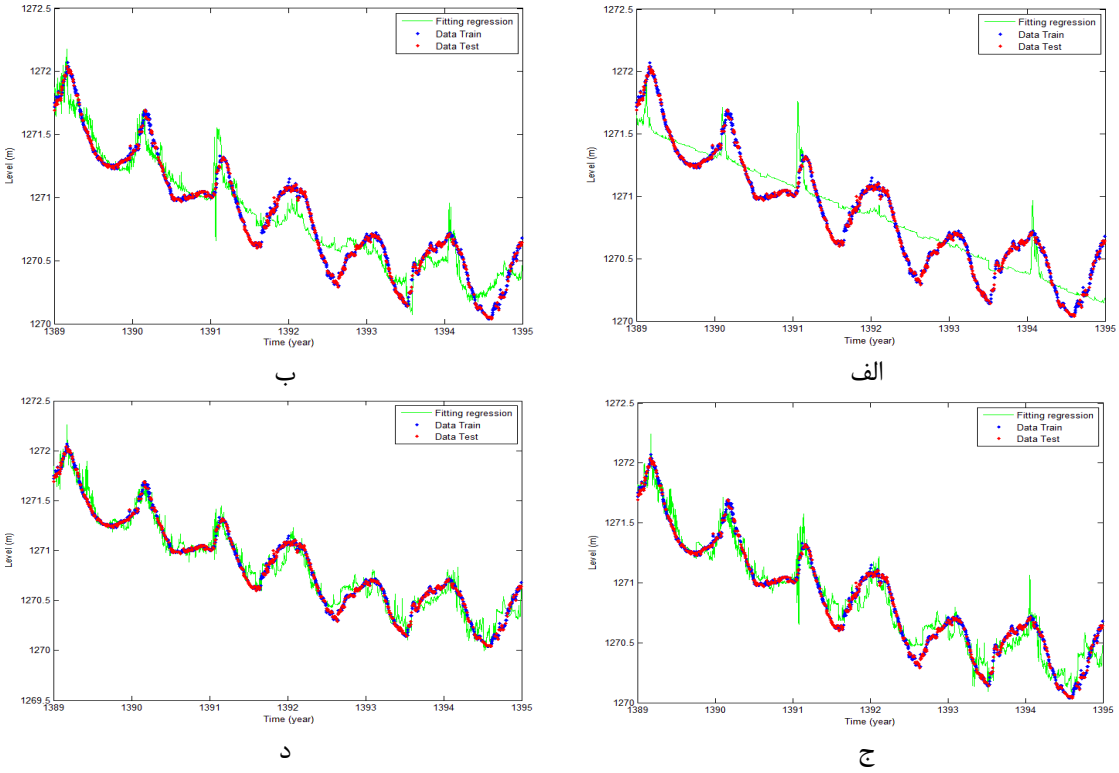
رابطه(۶)
$$NRMSE = \frac{RMSE}{x_{obs,max} - x_{obs,min}}$$

رابطه(۷)
$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

$$SSE = \sum_{i=1}^{n}\left(x_p - x_o\right)^2$$

$$SST = \sum_{i=1}^{n}\left(x_i - x_{mean}\right)^2$$

که در آن Xp مقادیر تخمینی، Xo مقادیر مشاهده‌ای و n تعداد مشاهدات می‌باشد. با استفاده از این شاخص‌ها بین مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای، مدل برتر انتخاب گردید. مقادیر این پارامترها را برای چهار روش M1, M2, M3, M4 محاسبه نمودیم، که در جدول ۲ آمده است.



شکل ۳: نمودار رگرسیون مدل‌های مختف سناریو اول. الف) مدل M1، ب) مدل M2، ج) مدل M3 د) مدل M4.

جدول ۲: نتایج سناریو اول

روش‌ها	RMSE		NRMSE		R^2	
	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست
M1	0.191818	0.1967859	0.0944917	0.0983929	0.8314051	0.8168075
M2	0.138240	0.1414672	0.0680989	0.0707336	0.9124338	0.9053259
M3	0.110724	0.1144366	0.0545441	0.0572183	0.9438237	0.9380488
M4	0.098137	0.1004326	0.0483435	0.0502163	0.9558700	0.9522835

با توجه به نمودارهای شکل ۳ و مقایسه مدل‌های ریاضی با هم و همچنین خروجی دقت مدل‌ها که در جدول شماره ۲ آورده شده است یه این نتیجه می‌رسیم که بهترین مدل ریاضی برازش داده شده بر روی دیتاها مدل ریاضی درجه ۴ می‌باشد چرا که این مدل دارای بالاترین ضریب همبستگی به میزان ۰.۹۵ و کمترین خطا به میزان ۹ سانتی‌متر می‌باشد.

۳-۲- سناریو دوم

در سناریو دوم بر روی همین دیتاها به دلیل روند سینوسی تراز آب دریاچه و پریودیک بودن وضعیت آن روشی ارائه دادیم تا بتوانیم دقت مدل‌سازی خود را بالا ببریم. برای تهیه مدل تراز سطح آب دریاچه از روش ترکیبی پلی‌نومیال و رفتار پریودیک که از حاصل جمع یک چند جمله ای از سیگنال‌های پریودیک در سری زمانی محاسبه می‌شود. در گام بعد همانند روش اول ۳۰ درصد دیتاها را وارد معادله نکردیم و ابتدا از ۷۰ درصد باقی‌مانده دیتاها در

محاسبات خود استفاده کرده و پس از بدست آمدن نتایج مابقی دیتاها را وارد و نتـایج را مقایسـه کنـیم. چهـار معادلـه به شرح زیر می‌باشد:

الف) چندجمله‌ای درجه ۱ + رفتار تناوبی (روش M5)

$$\begin{aligned} F(t,B,T,D) = {} & a_1 + a_2 t + a_3 B + a_4 T + a_5 D + b_1 \sin(\pi t) + b_2 \cos(\pi t) + b_3 \sin(2\pi t) \\ & + b_4 \cos(2\pi t) + b_5 \sin(4\pi t) + b_6 \cos(4\pi t) + b_7 \sin(6\pi t) + b_8 \cos(6\pi t) \\ & + b_9 \sin(8\pi t) + b_{10} \cos(8\pi t) + b_{11} \sin(10\pi t) + b_{12} \cos(10\pi t) \\ & + b_{13} \sin(12\pi t) + b_{14} \cos(12\pi t) + b_{15} \sin(14\pi t) + b_{16} \cos(14\pi t) \\ & + b_{17} \sin(16\pi t) + b_{18} \cos(16\pi t) + b_{19} \sin(18\pi t) + b_{20} \cos(18\pi t) \\ & + b_{21} \sin(20\pi t) + b_{22} \cos(20\pi t) + b_{23} \sin(22\pi t) + b_{24} \cos(22\pi t) \\ & + b_{25} \sin(24\pi t) + b_{26} \cos(24\pi t) \end{aligned}$$

رابطه(۸)

الف) چندجمله‌ای درجه ۲ + رفتار تناوبی (روش M6)

$$\begin{aligned} F(t,B,T,D) = {} & a_1 + a_2 t + a_3 B + a_4 T + a_5 D + a_6 t^2 + a_7 B^2 + a_8 T^2 + a_9 D^2 + a_{10} tB \\ & + a_{11} tT + a_{12} tD + a_{13} BT + a_{14} BD + a_{15} TD + b_1 \sin(\pi t) + b_2 \cos(\pi t) \\ & + b_3 \sin(2\pi t) + b_4 \cos(2\pi t) + b_5 \sin(4\pi t) + b_6 \cos(4\pi t) + b_7 \sin(6\pi t) \\ & + b_8 \cos(6\pi t) + b_9 \sin(8\pi t) + b_{10} \cos(8\pi t) + b_{11} \sin(10\pi t) \\ & + b_{12} \cos(10\pi t) + b_{13} \sin(12\pi t) + b_{14} \cos(12\pi t) + b_{15} \sin(14\pi t) \\ & + b_{16} \cos(14\pi t) + b_{17} \sin(16\pi t) + b_{18} \cos(16\pi t) + b_{19} \sin(18\pi t) \\ & + b_{20} \cos(18\pi t) + b_{21} \sin(20\pi t) + b_{22} \cos(20\pi t) + b_{23} \sin(22\pi t) \\ & + b_{24} \cos(22\pi t) + b_{25} \sin(24\pi t) + b_{26} \cos(24\pi t) \end{aligned}$$

رابطه(۹)

الف) چندجمله‌ای درجه ۳ + رفتار تناوبی (روش M7)

$$\begin{aligned} F(t,B,T,D) = {} & a_1 + a_2 t + a_3 B + a_4 T + a_5 D + a_6 t^2 + a_7 B^2 + a_8 T^2 + a_9 D^2 + a_{10} tB \\ & + a_{11} tT + a_{12} tD + a_{13} BT + a_{14} BD + a_{15} TD + a_{16} t^3 + a_{17} B^3 + a_{18} T^3 \\ & + a_{19} D^3 + a_{20} tB^2 + a_{21} tT^2 + a_{22} tD^2 + a_{23} Bt^2 + a_{24} BT^2 + a_{25} BD^2 \\ & + a_{26} Tt^2 + a_{27} TB^2 + a_{28} TD^2 + a_{29} Dt^2 + a_{30} DB^2 + a_{31} DT^2 + a_{32} tBT \\ & + a_{33} tBD + a_{34} tTD + a_{35} BTD + b_1 \sin(\pi t) + b_2 \cos(\pi t) + b_3 \sin(2\pi t) \\ & + b_4 \cos(2\pi t) + b_5 \sin(4\pi t) + b_6 \cos(4\pi t) + b_7 \sin(6\pi t) + b_8 \cos(6\pi t) \\ & + b_9 \sin(8\pi t) + b_{10} \cos(8\pi t) + b_{11} \sin(10\pi t) + b_{12} \cos(10\pi t) \\ & + b_{13} \sin(12\pi t) + b_{14} \cos(12\pi t) + b_{15} \sin(14\pi t) + b_{16} \cos(14\pi t) \\ & + b_{17} \sin(16\pi t) + b_{18} \cos(16\pi t) + b_{19} \sin(18\pi t) + b_{20} \cos(18\pi t) \\ & + b_{21} \sin(20\pi t) + b_{22} \cos(20\pi t) + b_{23} \sin(22\pi t) + b_{24} \cos(22\pi t) \\ & + b_{25} \sin(24\pi t) + b_{26} \cos(24\pi t) \end{aligned}$$

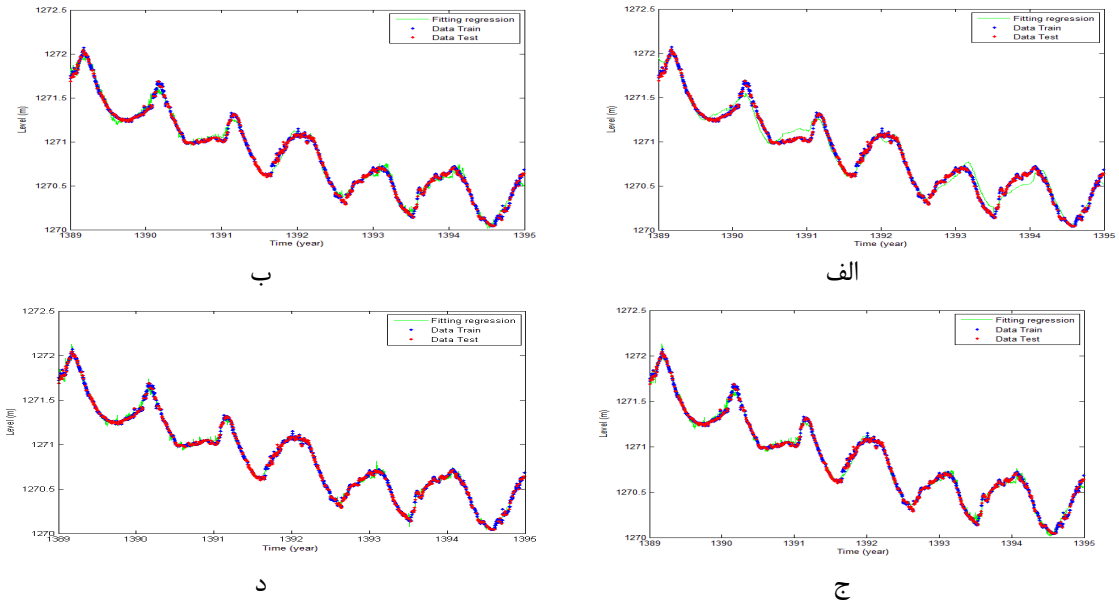
رابطه(۱۰)

الف) چندجمله‌ای درجه ۴ + رفتار تناوبی (روش M8)

$$\begin{aligned} F(t,B,T,D) = {} & a_1 + a_2 t + a_3 B + a_4 T + a_5 D + a_6 t^2 + a_7 B^2 + a_8 T^2 + a_9 D^2 + a_{10} tB \\ & + a_{11} tT + a_{12} tD + a_{13} BT + a_{14} BD + a_{15} TD + a_{16} t^3 + a_{17} B^3 + a_{18} T^3 \\ & + a_{19} D^3 + a_{20} tB^2 + a_{21} tT^2 + a_{22} tD^2 + a_{23} Bt^2 + a_{24} BT^2 + a_{25} BD^2 \\ & + a_{26} Tt^2 + a_{27} TB^2 + a_{28} TD^2 + a_{29} Dt^2 + a_{30} DB^2 + a_{31} DT^2 + a_{32} tBT \\ & + a_{33} tBD + a_{34} tTD + a_{35} BTD + a_{36} t^4 + a_{37} B^4 + a_{38} T^4 + a_{39} D^4 \\ & + a_{40} tB^3 + a_{41} tT^3 + a_{42} tD^3 + a_{43} Bt^3 + a_{44} BT^3 + a_{45} BD^3 + a_{46} Tt^3 \\ & + a_{47} TB^3 + a_{48} TD^3 + a_{49} Dt^3 + a_{50} DB^3 + a_{51} DT^3 + a_{52} t^2 B^2 \\ & + a_{53} t^2 T^2 + a_{54} t^2 D^2 + a_{55} B^2 T^2 + a_{56} B^2 D^2 + a_{57} T^2 D^2 + a_{58} tBT^2 \\ & + a_{59} tBD^2 + a_{60} tTB^2 + a_{61} tTD^2 + a_{62} tDB^2 + a_{63} tDT^2 + a_{64} BTt^2 \\ & + a_{65} BDt^2 + a_{66} TDt^2 + a_{67} TDB^2 + a_{68} BDT^2 + a_{69} BTD^2 + a_{70} tBTD \\ & + b_1 \sin(\pi t) + b_2 \cos(\pi t) + b_3 \sin(2\pi t) + b_4 \cos(2\pi t) + b_5 \sin(4\pi t) \\ & + b_6 \cos(4\pi t) + b_7 \sin(6\pi t) + b_8 \cos(6\pi t) + b_9 \sin(8\pi t) \\ & + b_{10} \cos(8\pi t) + b_{11} \sin(10\pi t) + b_{12} \cos(10\pi t) + b_{13} \sin(12\pi t) \\ & + b_{14} \cos(12\pi t) + b_{15} \sin(14\pi t) + b_{16} \cos(14\pi t) + b_{17} \sin(16\pi t) \\ & + b_{18} \cos(16\pi t) + b_{19} \sin(18\pi t) + b_{20} \cos(18\pi t) + b_{21} \sin(20\pi t) \\ & + b_{22} \cos(20\pi t) + b_{23} \sin(22\pi t) + b_{24} \cos(22\pi t) + b_{25} \sin(24\pi t) \\ & + b_{26} \cos(24\pi t) \end{aligned}$$

رابطه(۱۱)

نتایج برازش سناریو دوم و رابطه های (۸، ۹، ۱۰، و ۱۱) در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۴: نمودار رگرسیون مدل‌های مختف سناریو دوم. الف) مدل M5، ب) مدل M6، ج) مدل M7 د) مدل M8

حال مقادیر پارامترهای آماری را برای سناریو دوم محاسبه نمودیم که در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳: نتایج سناریو دوم

روش‌ها	RMSE		NRMSE		R^2	
	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست
M5	0.0712755	0.0716990	0.0351110	0.0358495	0.9767220	0.975681
M6	0.0444822	0.0433118	0.0219124	0.0216559	0.9909335	0.9911257
M7	0.0389119	0.0375867	0.0191684	0.0187933	0.9930620	0.9933167
M8	0.0298709	0.0292917	0.0147147	0.0146458	0.9959115	0.9959411

با توجه به نمودارهای شکل (۴) و مقایسه مدل‌های ریاضی با هم و همچنین خروجی دقت مدل‌ها که در جدول (۳) آورده شده است به این نتیجه می‌رسیم که بهترین مدل ریاضی برازش داده شده بر روی دیتاها مدل ریاضی درجه ۴ می‌باشد چرا که این مدل دارای بالاترین ضریب همبستگی به میزان ۰.۹۹ و کمترین خطا به میزان ۳ سانتی‌متر می‌باشد. همچنین باید این نکته را اضافه کرد که رفتار پریودیک تراز دریاچه طی این بازه زمانی در واقع روند مدل‌سازی ما را تعیین کرده و اضافه شدن پارامتر پریود زمان که از پریود دوسالانه تا پریود یک ماهه مورد بررسی قرار گرفته و در محاسبات ریاضی ما بکار رفته و همین امر باعث بهبود وضعیت مدل ریاضی تراز سطح شده است.

۴- نتایج و پیشنهادات

به منظور افزایش دقت نتایج برآورد شده از سری‌های زمانی در کاربردهای مختلف، تقریب و آنالیز صحیح سری‌ها امری واجب می‌باشد. در این تحقیق روشی به نام آنالیز چندمتغیره، جهت مدل‌سازی تغییرات تراز دریاچه با توجه به تغییر پارامترهای هیدرولوژیکی موثر بر آن ارائه شد. از آنجایی که ما از قبل، اطلاعی از صحت داده های خود در سری‌های زمانی واقعی نداریم، بنابراین جهت کسب اطمینان از روش ارائه شده، از یکسری از دیتاها صرف‌نظر کرده و با مابقی دیتاهای مشاهداتی در بازه زمانی سالانه با طول بازه یک سال استفاده شد که یکباراز آنالیز چند متغیره و بار دیگر از ترکیب آنالیز چند متغیره به همراه رفتار پریودیک متغیرها استفاده کردیم. گام اول آنالیز چندمتغیره برای مدل‌سازی تغییرات تراز آب استفاده شد و این کار برای ۴ سری زمانی بصورت مجزا اجرا و نتایج ارائه شد. از آنجایی که داده‌های بارش به دلیل روند ناپایداری که داشته و به صورت یک نویز در سری زمانی و مدل سازی عمل می‌کرد ما برای برقراری یک روند پایدار در مدل‌سازی از میانگین ماهانه داده‌های بارش ۸ ایستگاه باران‌سنجی

استفاده کردیم و از دیتاهای تبخیر و دبی به همان شکل در محاسبات استفاده شده است. با محاسبه پارامترهای آماری بهترین مدل ریاضی برازش داده شده بر روی این دیتاها مدل ریاضی درجه ۴ می باشد که مدل ما با ضریب همبستگی ۰.۹۵ دارای دقت ۹ سانتی‌متر می‌باشد. همچنین روی همین دیتاها به دلیل روند سینوسی تراز آب دریاچه و پریودیک بودن وضعیت آن روشی ارائه دادیم تا بتوانیم دقت مدل‌سازی خود را بالا ببریم. این روش یک روش ترکیبی از روش آنالیز چندمتغیره به همراه رفتار پریودیک است که از حاصل‌جمع یک چند جمله‌ای از سیگنال‌های پریودیک در سری زمانی استفاده شده است. نتایج حاصل از این روش مدل ما با ضریب همبستگی ۰.۹۹ به دقت ۳ سانتی‌متر رسید. در واقع رفتار پریودیک تراز دریاچه طی این بازه زمانی در واقع روند مدل‌سازی ما را تعیین کرده و اضافه شدن پارامتر پریود زمان که از پریود دوسالانه تا پریود یک ماهه مورد بررسی قرار گرفته و در محاسبات ریاضی ما بکار رفته و همین امر باعث بهبود وضعیت مدل ریاضی تراز سطح شده است. با مقایسه این دو روش و نتایج بدست آمده از محاسبات به این نتیجه رسیدیم که در مورد استفاده از دو مدل کلی آنالیزچند متغیره و آنالیز ترکیبی چند متغیره به همراه رفتار پریودیک در تمامی حالتهای ذکر شده، استفاده از آنالیز ترکیبی چند متغیره به همراه رفتار پریودیک دقت مدل‌سازی را بالاتر برده است. در روش آنالیز چندمتغیره مدل سازی ما با دقت ۹ سانتی متر انجام شده اما در روش آنالیز ترکیبی چند متغیره و رفتار پریودیک دقت مدل سازی ما را به ۳ سانتی‌متر رسانده است. هدف اصلی این تحقیق تست آنالیز چندمتغیره همراه با رفتار پریودیک بود که با توجه به نتایج، این تست با موفقیت انجام شده و نتیجه کامل‌تری را به‌همراه داشته است.

مراجع

[1] A. Eimanifar, and F. Mohebbi, Urmia Lake (Northwest Iran): a brief review, Saline Systems, 3(5),2007.

[2] UNESCO, 2001. MAB Biosphere Reserves Directory, Lake Oromeeh. [Online] Available at: http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?code=IRA+07&mode=all [Accessed 18 September 2012].

[3] UNESCO, 2012. Global list of Biosphere reserves. [Online] Available at: http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/sc_mab_BR2012.pdf [Accessed 18 September 2012].

[4] A.A. Rasouli, Sh. Abasian, S. Jahanbakhsh,"monitoring of Urmia Lake level fluctuation by multispectral and multi temporal satellite images process", Modarres Journal of human sciences, 2: 53-71, 2008.

[5] B. Hesari,, N.N. Tayefeh,,"investigation of Urmia Lake level changes and its relation with Caspian sea level changes and Van Lakes in Turkey and area climate factors", The secondary of national congress environmental crisis of Urmia Lakes, Naghadeh Payam noor University : 1-14, 2010.

[6] J. Abdollahi Sharif, A. Alipour, M. Mokhtarian Asl, "investigation of hydrological changes of urmia lake basin in recent decades and its effects on water of lake", the fourteenth of Iran Geology congress, Urmia university: 1-7, 2010.

[7] M. Ghaheri, M.H. Baghal-Vayjooee, and J. Naziri,"Lake Urmia, Iran: A summary Review", International Journal of Salt Lake Research, 8, pp.19-22, 1999.

[8] M.J Waiser, and R.D.Robarts,"Saline Inland Waters, In Encyclopedia of Inland Waters", edited by Gene E. Likens, Academic Press, Oxford, Pages 634-644, 2009.

[9] E. Hassanzadeh, M. Zarghami, and Y. Hassanzadeh,"Determining the Main Factors in Declining the Urmia Lake Level by Using Dynamics Modeling", Water Resources Management, Volume 26(1), pp. 129-145, 2011.

[۱۰] M. Abbaspour & A. Nazaridoust," Determination of environmental water requirement of Lake Urmia, Iran: an ecological approach", International Journal of Environmental Studies, Volume 64(2), pp. 161-169, 2007.