



مهندسی سازه‌های آبی

**رساله دکتری**

**تحلیل طیفی سری زمانی تراز دریاچه ارومیه و تاثیر  
متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بر آن**

**نگارش**

شیدا جلیلی

**استاد راهنما**

دکتر سعید مرید

پاییز 1389



مهندسی سازه‌های آبی

**رساله دکتری**

**تحلیل طیفی سری زمانی تراز دریاچه ارومیه و تاثیر  
متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بر آن**

**نگارش**

شیدا جلیلی

**استاد راهنما**

دکتر سعید مرید

**اساتید مشاور**

دکتر احمد بناکار    دکتر رضا نامدار قنبری

پاییز 1389

به نام خدا





بسمه تعالی  
تاییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

خانم شیدا جلیلی رساله ۱۸ واحدی خود را با عنوان "تحلیل طیفی سری زمانی تراز دریاچه ارومیه و تاثیر متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بر آن" در تاریخ ۸۹/۹/۲۹ ارائه کردند.  
اعضای هیأت داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده است و پذیرش آن را برای تکمیل درجه دکتری پیشنهاد می کنند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیأت داوران
	دانشیار	دکتر سعید مرید	۱- استاد راهنمای اصلی
	-	-	۲- استاد راهنمای دوم
	استادیار	دکتر احمد بناکار	۳- استاد مشاور اول
	استادیار	دکتر رضا نامدار قنبری	۴- استاد مشاور دوم
	استاد	دکتر بهرام ثقفیان	۵- استاد ناظر
	دانشیار	دکتر رضا کراچیان	۶- استاد ناظر
	استاد	دکتر جمال محمدولی سامانی	۷- استاد ناظر
	استادیار	دکتر علی باقری	۸- استاد ناظر
	دانشیار	دکتر سیدعلی ایوب زاده	۹- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی





بسمه تعالی

## آیین نامه چاپ رساله‌های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی-پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

**ماده ۱** در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اطلاع دهد.

**ماده ۲** در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

” کتاب حاضر، حاصل رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی سازه‌های آبی است که در سال ۱۳۸۹ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر سعید مرید، مشاوره جناب آقای دکتر احمد بناکار و مشاوره جناب آقای دکتر رضا نامدار قنبری از آن دفاع شده است“

**ماده ۳** به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

**ماده ۴** در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

**ماده ۵** دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

**ماده ۶** اینجانب شیدا جلیلی دانشجوی رشته مهندسی سازه‌های آبی مقطع دکتری تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: شیدا جلیلی

تاریخ و امضاء:





## بسمه تعالی

آیین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس مقدمه: با عنایت به سیاست های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسان ها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح در مورد نتایج پژوهش های علمی که تحت عناوین پایان نامه، رساله و طرح های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

**ماده ۱** حق نشر و تکثیر رساله و درآمدهای حاصل از آن ها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

**ماده ۲** انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی می باید به نام دانشگاه بوده و با تأیید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات باشد. ولی مسولیت علمی مقاله مستخرج از رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی به صورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از رساله منتشر می شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

**ماده ۳** انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه حاصل از نتایج رساله و تمامی طرح های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آیین نامه های مصوب انجام شود.

**ماده ۴** ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره های ملی، منطقه ای و بین المللی که حاصل نتایج مستخرج از رساله و تمامی طرح های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

**ماده ۵** این آیین نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۱۳۸۷/۴/۲۳ در هیات رئیسه دانشگاه به تأیید رسیده و در جلسه مورخ ۱۳۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

اینجانب شیدا جلیلی دانشجوی رشته مهندسی سازه های آبی مقطع دکتری تعهد فوق و ضمانت اجرایی

آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم. نام و نام خانوادگی: شیدا جلیلی

تاریخ و امضاء:



تقدیم به :

آنان که مهاجرت کردند تا وطن داشته باشند



## با تشکر از :

جناب آقای دکتر سعید مرید که راهنمایی این رساله را به عهده گرفتند.

جناب آقای دکتر احمد بناکار و جناب آقای دکتر رضا نامدار قنبری مشاوران محترم این رساله

پدر عزیزم مهندس بهروز جلیلی که تجربیات سال‌ها فعالیت ایشان در خصوص دریاچه ارومیه در انجام این رساله بسیار راهگشا بود.

اساتید ارجمندم در انستیتو هواشناسی دانشگاه برلین و موسسه علوم و تکنولوژی آب سویس (Eawag):

Dr. David M. Livingstone, Prof. Rolf Kipfer, Dr. Ingo Kirchner, Prof. Ulrich Cubasch,

خانواده گرامی و دوستان خوبم :

دیبا جلیلی، دکتر رامین کیانی، لیدا فضلی، سوسن قاسمی، بهداد باراندوزی،

Loic Decrey, Gilles Pasquelle, Yama Tomonaga, Lars Maechler, Stephan Huxol, Dr. Matthias Brennwald, Simon Figura, Sangeeta, Annette, Edi, Ines, Janina, Evelin,

## چکیده

دریاچه ارومیه به عنوان یکی از پیکره های آبی مهم ایران، نقش مهمی در اقتصاد و اکولوژی شمال غرب ایران دارد. مطالعات دیرینه‌شناسی و آمار ثبت شده نشان می‌دهد که به دلایل مختلف، دریاچه نوسانات زیادی را در تراز سطح آب تجربه نموده است. در مورد علل غالب این تغییرات، دلایل متفاوتی ارائه شده ولی بررسی‌های کتابخانه‌ای نشان داد که این دلایل عمدتاً "گمانه‌زنی بوده و کم‌تر حاصل یک مطالعه تحلیلی می‌باشند. در این تحقیق سعی شد تا رویکردی سیستماتیک و با اتکا به روش‌های آماری و طیفی به‌روز، الگوهای تدریجی و ناگهانی تراز دریاچه ارومیه و همچنین دوره‌های نوسانی تراز دریاچه استخراج و مقایسه آن با رفتار متغیرهای اقلیمی محلی و جهانی انجام گردد. همچنین بررسی مقایسه‌ای این دریاچه با دریاچه وان در ترکیه با این رویکرد و در محدوده فرکانس و بررسی تقدم و تاخر فاز نوسانات آنها از دیگر مواردی می‌باشد که تحقیق به آن پرداخته است. با بررسی روند سری‌های زمانی اقلیمی و هیدرولوژیکی مشخص گردید که روند کاهشی تراز دریاچه ارومیه از روند تغییر شاخص‌های اقلیمی متاثر است. در خصوص کاربرد روش‌های طیفی، تحلیل طیفی سری زمانی تراز دریاچه ارومیه با روش‌های آنالیز طیف تکین (Singular Spectral Analysis) SSA و چند کاهنده (Multi Taper Method) MTM، وجود دوره‌های نوسانی بین سالی 1/2، 1/4، 1/8، 2/4 و 4/5 ساله را نشان داد. بازسازی تراز دریاچه از مولفه‌های دوره‌ای بدست آمده، توانست 30% تغییرات تراز دریاچه را شبیه سازی نماید. علاوه بر این شدیدترین تغییر رژیم تراز دریاچه مربوط به سال 1999-2000 و به صورت کاهشی با تاخیری تقریباً یکساله با تغییر رژیم بارندگی و دما اتفاق افتاده است. نتایج تحلیل وابستگی نشان داد که علاوه بر تاثیر بارندگی، دما و رواناب در دوره‌های درون‌سالی و بین‌سالی این تغییرات با تغییرات شاخص‌های اقلیم جهانی در دوره‌های بین سالی مرتبط می‌باشند. همچنین بررسی خاص طیف سری زمانی تراز دریاچه قبل و بعد از تغییرات اخیر تراز دریاچه نشان داد که پیک‌هایی که بالای سطح معنی‌دار قرار گرفته بودند، در سری دوم نسبت به دوره قبل کم‌تر شده است که می‌تواند ناشی از فعالیت‌های بشری باشد.

مقایسه تراز و بارندگی در حوضه دریاچه ارومیه با دریاچه وان نشان داد که دو دریاچه رژیم‌های مشابهی را تجربه نموده‌اند و تغییرات تراز - بارندگی در هر دو دریاچه ارتباط مشابهی در رژیم‌های متفاوت دارند. تحلیل وابستگی بین تراز دریاچه‌ها ارتباط معنی‌داری بین این دو را در دوره‌های درون و بین‌سالی

نشان داد . این ارتباط در دوره‌های کوتاه‌مدت با تقدم و تاخر همراه بوده، ولی در دوره‌های بلندمدت، عکس‌العمل دو دریاچه تقریباً " همزمان می‌باشد.

کلمات کلیدی: دریاچه ارومیه، آنالیز طیفی، تغییر رژیم، تحلیل روند، دریاچه وان ، شاخص‌های اقلیمی  
بزرگ‌مقیاس



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	<b>فصل اول - کلیات</b>
2	1-1- مقدمه
3	2-1- سوالات تحقیق
4	3-1- اهداف
4	4-1- نوآوری تحقیق
5	5-1- فرضیه‌ها
5	5-1- شرح فصل‌های رساله
7	<b>فصل دوم - سابقه تحقیقات</b>
8	1-2- مقدمه
9	2-2- بررسی نوسانات تراز دریاچه‌ها
8	1-2-2- رویکردهای کلی ارزیابی سری زمانی تراز دریاچه‌ها
10	2-2-2- بررسی تغییر رژیم
12	3-2- تاثیر اقلیم بر دریاچه‌ها
15	1-3-2- بررسی تاثیر الگوی گردش هوا
16	1-2-3-2- کاربرد مدل‌های اقلیمی
18	2-3-2- کاربرد داده‌های شبکه‌ای جهانی
19	4-2- تاثیر عوامل انسانی بر دریاچه‌ها
20	5-2- کاربرد روش‌های طیفی
21	1-5-2- بررسی خصوصیات طیفی سری‌های زمانی
22	2-5-2- بررسی ارتباط تراز دریاچه‌ها با متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی
26	6-2- تحقیقات انجام شده روی دریاچه ارومیه
27	7-2- جمع‌بندی سوابق تحقیقاتی

30	<b>فصل سوم - مواد و روشها</b>
31	1-3-1- مقدمه
32	2-3-2- روش های آنالیز فرکانس
37	3-2-1- کاهش نویز (روش آنالیز طیف تکین)
42	3-2-2- تخمین طیفی
44	3-2-2-1- پنجره های هموارکننده
45	3-2-2-1-1- پنجره <i>Hanning</i>
47	3-2-2-2- روش چند کاهنده
49	3-2-3- تحلیل هارمونیک
51	3-2-4- بازسازی سیگنال
52	3-2-5- آنالیز وابستگی
54	3-2-6- تابع فاز
55	3-3- تحلیل روند
56	3-4- تحلیل تغییر رژیم
60	3-5- استخراج نوع گردش هوا
62	3-6- معرفی نرم افزارها
63	<b>فصل چهارم - محدوده مطالعاتی و منابع داده ها</b>
64	4-1- مقدمه
64	4-2- منطقه مطالعاتی
65	4-2-1- مدیریت منابع
66	4-3- داده های ایستگاهی
66	4-3-1- تراز دریاچه ارومیه
69	4-3-2- دمای اتمسفر و بارندگی

70	..... 3-3-4- تبخیر از سطح دریاچه
71	..... 4-3-4- رواناب ورودی به دریاچه
74	..... 4-4- داده‌های جهانی
75	..... 1-4-4- داده‌های GPCP بارندگی
76	..... 2-4-4- داده‌های ERA-40 (دمای اتمسفر و فشار سطح دریا)
77	..... 3-4-4- بررسی قابلیت استفاده از داده‌های شبکه‌ای به‌جای مشاهدات ایستگاهی
81	..... 4-4-4- شاخص SOI و شاخص NAO و تعداد لکه‌های خورشیدی
83	..... 5-4- دریاچه وان
86	..... 6-4- سناریوهای اقلیمی
89	..... <b>فصل پنجم - نتایج</b>
90	..... 1-5- مقدمه
91	..... 2-5- بررسی روند داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی
91	..... 1-2-5- بارندگی
91	..... 2-2-5- دما
93	..... 3-2-5- رواناب
94	..... 4-2-5- شاخص‌های اقلیمی جهانی
96	..... 1-5-2-5- روند خطی تراز دریاچه ارومیه
96	..... 2-5-2-5- روند غیر خطی تراز دریاچه ارومیه
97	..... 6-2-5- نتایج بررسی روند سری‌های زمانی
98	..... 3-5- تحلیل طیفی سری‌های زمانی تراز دریاچه ارومیه
98	..... 1-3-5- کاهش نویز
102	..... 2-3-5- استخراج طیف
103	..... 3-3-5- استخراج تغییرات دوره‌ای



108	..... 4-3-5- نتایج تحلیل طیفی تراز دریاچه ارومیه
109	..... 4-5- بررسی تغییر رژیم در متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی
109	..... 1-4-5- تغییر رژیم تراز دریاچه ارومیه
112	..... 2-4-5- تغییر رژیم بارندگی
113	..... 3-4-5- تغییر رژیم دمای هوا
113	..... 4-4-5- تغییر رژیم رودخانه‌ها
117	..... 5-4-5- نتایج تغییرات رژیم متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی
117	..... 5-5- تحلیل وابستگی
118	..... 1-5-5- وابستگی متغیرهای هیدرولوژیکی و تراز دریاچه
119	..... 1-1-5-5- وابستگی رواناب و تراز دریاچه
120	..... 2-5-5- وابستگی اقلیم محلی و تراز دریاچه
120	..... 1-2-5-5- وابستگی بارندگی و تغییرات تراز دریاچه
124	..... 2-2-5-5- وابستگی دمای اتمسفر و تغییرات تراز
125	..... 3-5-5- وابستگی متغیرهای اقلیمی بزرگ‌مقیاس و تراز دریاچه
126	..... 1-3-5-5- شاخص SOI
127	..... 2-3-5-5- شاخص NAO
129	..... 3-3-5-5- تعداد لکه‌های خورشیدی
130	..... 4-5-5- نتایج وابستگی متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی
131	..... 6-5- بررسی تاثیر رواناب ورودی بر تراز دریاچه
133	..... 1-6-5- بررسی تغییرات زمانی رواناب ورودی به دریاچه
139	..... 2-6-5- بررسی تغییر طیف تراز دریاچه، قبل و بعد از تغییر رژیم
141	..... 7-5- بررسی ارتباط نوع گردش هوا بر تراز دریاچه
142	..... 1-7-5- استخراج نوع گردش هوا

143	..... 2-7-5- تاثیر نوع گردش هوا بر اقلیم محلی و تراز دریاچه
147	..... 3-7-5- ارزیابی قابلیت سناریوهای اقلیمی
148	..... 8-5- بررسی مقایسه‌ای تراز دریاچه ارومیه با تراز دریاچه وان
152	..... 1-8-5- بررسی تغییر رژیم تراز دریاچه وان
154	..... 2-8-5- بررسی ارتباط بارندگی با تغییرات تراز در رژیم‌های متفاوت
158	..... 3-8-5- نتایج بررسی ارتباط تراز دریاچه ارومیه و تراز دریاچه وان
159	..... 9-5- جمع‌بندی فصل
161	..... <b>فصل ششم - نتیجه‌گیری و پیشنهادات</b>
162	..... 1-6- مقدمه
162	..... 2-6- نتیجه‌گیری
162	..... 1-2-6- متغیرهای اقلیمی محلی
163	..... 2-2-6- متغیرهای بزرگ مقیاس
164	..... 3-2-6- متغیرهای هیدرولوژیکی
165	..... 4-2-6- تراز دریاچه ارومیه
166	..... 5-2-6- دریاچه وان
167	..... 3-6- پیشنهادها
168	..... <b>فصل هفتم - منابع</b>
169	..... 1-7- منابع

## فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

- شکل 1-2-1- شاخص تغییر رژیم برای شاخص‌های (PDO با اندیس a، w و s به ترتیب نمایانگر سالانه، زمستان و تابستان، ALPI، NPI<sub>CPC</sub>، PNA، AO، EPI، AI) (Rodionov and Overland, 2005) ..... 11
- شکل 2-2- طیف سری‌های زمانی تراز دریاچه Naivasha قبل و بعد از افزایش مصرف آب ( Tarafdar and ..... 20
- ..... (Harper, 2008) ..... 20
- شکل 2-3- بررسی مستقیم و غیرمستقیم تاثیر شاخص SOI بر تراز دریاچه Ontario ( Namdar Ghanbari, ) ..... 24
- ..... (2007) ..... 24
- شکل 2-4- طیف سری زمانی تراز دریاچه Michigan/ Huron از روش MTM و تراز معنی‌دار پیک‌ها در سطح 99% (Hanrahan et al., 2009) ..... 25
- ..... 25
- شکل 3-1- روش‌های مورد استفاده در تحلیل سری‌های زمانی ..... 31
- ..... 31
- شکل 3-2- نمایش دوره، دامنه و فاز در یک سری زمانی سینوسی ..... 32
- ..... 32
- شکل 3-3- (a) یک سری زمانی سینوسی (b) سری سینوسی با فرکانس دوبرابر و دامنه نصف سری قبلی (c) سری زمانی مجموع (a، b، d، e) و (f) طیف‌های مربوط به سری‌های زمانی نشان داده شده به ترتیب در a، b و c ..... 34
- ..... (<http://www.yale.edu/itg>) ..... 34
- شکل 3-4- (a) نویز سفید، طیف و دامنه آن (b) نویز قرمز، طیف و دامنه آن (<http://www.yale.edu/itg>) ..... 35
- ..... 35
- شکل 3-5- (a) فرآیند بازسازی سیگنال (b) فرآیند بررسی ارتباط دو سری زمانی در محدوده فرکانس ..... 37
- ..... 37
- شکل 3-6- مقادیر تکی مرتب شده برای سری زمانی شاخص SOI (Namdar Ghanbari, 2007) ..... 40
- ..... 40
- شکل 3-7- (a تا c) بردارهای مشخصه و (d تا f) مولفه‌های اصلی متناظر برای سری زمانی شاخص SOI ( Ghil ) ..... 41
- ..... (et al., 2002) ..... 41
- شکل 3-8- (a) سری زمانی سینوسی (b) طیف سری سینوسی بدون نشت طیفی (c) طیف سری سینوسی با نشت طیفی ..... 43
- ..... 43

شکل 3-9- a) سری زمانی اولیه، b) سری زمانی پس از کاربرد پنجره، c) طیف اولیه، d) طیف پس از کاربرد پنجره	45
شکل 3-10- نمودار پنجره‌ی Hanning به صورت a) تابعی از زمان b) تابعی از فرکانس	47
شکل 3-11- نمونه‌ای از سه کاهنده مورد استفاده در روش چندکاهنده (Ghil et al., 2002)	48
شکل 3-12- a) سری زمانی فرضی اولیه (خط کمرنگ) با سری زمانی حاصل از ترکیب سری‌های تجزیه شده (خط پررنگ)، b) سری زمانی فرضی تجزیه شده به روند، سری با فرکانس پایین و سری با فرکانس بالا (Ghil et al., 2002)	51
شکل 3-13- تابع وابستگی سری زمانی شاخص NAO و تراز دریاچه Superior در آمریکا (Namdar et al., 2007)	53
شکل 3-14- دو سری زمانی سینوسی با اختلاف فاز 90 درجه	54
شکل 3-15- تغییر رژیم در سری زمانی شاخص نوسانات شمالی (Arctic Oscillation Index) با تغییر طول برش (Rodionov and Overland, 2005)	60
شکل 3-16- شبکه‌بندی روش Jenkinson و Collison (1977)	61
شکل 4-1- موقعیت دریاچه ارومیه، حوضه آبریز آن (ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب با علامت دایره و ایستگاه اندازه‌گیری تراز آب با علامت مثلث نشان داده شده است)	65
شکل 4-2- آمار ماهانه تراز دریاچه ارومیه از ژانویه سال 1966 تا دسامبر 2008 میلادی	67
شکل 4-3- سری زمانی سالانه سطح دریاچه ارومیه از سال 1992 تا 2005 (آمار از احمدزاده، 1385)	68
شکل 4-4- رابطه سطح- تراز دریاچه ارومیه (آمار از احمدزاده، 1385)	68
شکل 4-5- تبخیر ماهانه اندازه‌گیری شده در ایستگاه گل‌مانخانه از اکتبر 1989 تا سپتامبر 2007	71
شکل 4-6- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده در تحقیق	73
شکل 4-7- شبکه‌بندی داده‌های جهانی GPCP و ERA-40 در محدوده‌ی دریاچه ارومیه	74
شکل 4-8- شمای کلی پروژه GPCP ( <a href="http://www.gewex.org/gpcp.html">http://www.gewex.org/gpcp.html</a> )	75

76	.....	شکل 4-9- سری زمانی بارندگی ماهانه GPCP از ژانویه 1979 تا آوریل 2006 در محدوده حوضه دریاچه ارومیه
77	.....	شکل 4-10- دمای ماهانه ERA-40 از ژانویه 1960 تا دسامبر 2001 برای محدوده حوضه دریاچه ارومیه
79	.....	شکل 4-11- a تا f سری زمانی سالانه GPCP و بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک (1979 تا 2005)، g تا l داده-های سالانه GPCP در مقابل داده‌های ایستگاهی متناظر
80	.....	شکل 4-12- a تا f سری زمانی سالانه ERA-40 و بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک (1979 تا 2005)، g تا l داده‌های سالانه ERA-40 در مقابل داده‌های ایستگاهی متناظر
82	.....	شکل 4-13- مقادیر ماهانه شاخص SOI در سال‌های 1966 تا 2008
83	.....	شکل 4-14- سری زمانی ماهانه NAO از سال 1966 تا 2008
83	.....	شکل 4-15- سری زمانی سالانه تعداد لکه‌های خورشیدی از سال 1966 تا 2004
84	.....	شکل 4-16- موقعیت دریاچه وان و حوضه آبریز آن نسبت به دریاچه ارومیه
85	.....	شکل 4-17- آمار تراز ماهانه دریاچه وان از اکتبر 1943 تا دسامبر 2009
86	.....	شکل 4-18- سری زمانی داده‌های بارندگی ماهانه GPCP از ژانویه 1979 آوریل 2006 برای محدوده حوضه دریاچه وان
87	.....	شکل 4-19- جهت‌گیری عمده سناریوهای IPCC به نام‌های A1، A2، B1 و B2
87	.....	شکل 4-20- شمای از مدل‌های اقلیمی (Roeckner et al., 2009)
91	.....	شکل 5-1- فرآیند بررسی ارتباط متغیرها با تراز دریاچه ارومیه
97	.....	شکل 5-2- سری نرمال CDM تراز دریاچه ارومیه
99	.....	شکل 5-3- درصد تغییرات سری زمانی به ازای مقادیر مشخصه به ازای طول پنجره 51
100	.....	شکل 5-4- نتیجه آزمون میله‌های خطا برای طول پنجره 51

- 101 شکل 5-6- سیگنال بازسازی شده توسط مولفه‌های SSA در مقابل سری زمانی اولیه .....
- 102 شکل 5-7- طیف اولیه سری زمانی تراز دریاچه ارومیه .....
- شکل 5-8- متوسط گیری طیف اولیه سری زمانی تراز دریاچه ارومیه با استفاده از (a 2 باند، b 3 باند، c 6 باند،  
103 (d 12 باند .....
- شکل 5-9- طیف سری زمانی تراز دریاچه ارومیه از روش MTM با (a 1 کاهنده، b 3 کاهنده، c 5 کاهنده،  
105 (d 7 کاهنده .....
- شکل 5-10- سری زمانی تراز دریاچه ارومیه (خط چین) و سری‌های زمانی تراز دریاچه ارومیه با دوره تناوب  
107 (a 21/5 ساله، b 4/5 ساله، c 2/4 ساله، d 1/8 ساله، e 1/4 ساله، f 1/2 ساله، g 1 ساله .....
- شکل 5-11- سری زمانی اولیه تراز دریاچه بعد از حذف نویز توسط SSA و سری زمانی بازسازی شده نوسانی  
108 تراز دریاچه ارومیه توسط MTM .....
- شکل 5-12- a تا c نتایج تغییر رژیم تراز دریاچه ارومیه به ترتیب به ازای طول برش 5، 8، 10، d تا f مقادیر  
111 شاخص تغییر رژیم تراز دریاچه ارومیه به ازای طول برش‌های متناظر .....
- شکل 5-13- نتایج تغییر رژیم بارندگی GPCP به ازای طول برش (a 5 و b 8) - مقادیر شاخص تغییر رژیم  
112 بارندگی GPCP به ازای طول برش (c 5 و d 8) .....
- شکل 5-14- نتایج تغییر رژیم دمای هوا ERA-40 به ازای طول برش (a 8 و b 10) - مقادیر شاخص تغییر  
113 رژیم دمای هوا ERA-40 به ازای طول برش (c 8 و d 10) .....
- شکل 5-15- خلاصه شاخص تغییر رژیم سری‌های زمانی دبی از سال 1987 تا 2007 با طول برش 5، a) برای  
115 ایستگاه‌های بالادست، b) برای ایستگاه‌های پایین‌دست .....
- شکل 5-16- سری زمانی نرمال مجموع دبی ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانه‌های مهم حوضه دریاچه ارومیه از  
118 اکتبر 1986 تا سپتامبر 2007 .....
- 119 شکل 5-17- وابستگی سری زمانی مجموع دبی با تراز دریاچه ارومیه .....
- شکل 5-18- شکل 5-18- وابستگی سری زمانی تراز دریاچه ارومیه با سری زمانی بارندگی از a -GPCP -b  
122 ایستگاه سینوپتیک تبریز -c ایستگاه سینوپتیک ارومیه .....

- 124 ..... شکل 5-19- وابستگی بین سری زمانی دما از ERA-40 و تراز دریاچه ارومیه
- شکل 5-20- مقادیر تابع وابستگی بین سری زمانی تراز سطح آب و شاخص SOI و آستانه معنی‌دار بودن
- 126 ..... وابستگی در سطح 5%
- شکل 5-21- مقادیر تابع وابستگی بین سری زمانی تراز سطح آب و شاخص NAO و آستانه معنی‌دار بودن
- 128 ..... وابستگی در سطح 5%
- 130 ..... شکل 5-22- تابع وابستگی بین سری زمانی تراز دریاچه ارومیه و سری زمانی تعداد لکه‌های خورشیدی
- 135 ..... شکل 5-23- شبیه‌سازی تراز دریاچه ارومیه با استفاده از معادله بیلان دریاچه
- شکل 5-24- ضریب رواناب ماهانه حوضه دریاچه ارومیه (a) از اکتبر 1989 تا دسامبر 1998 (b) از ژانویه 1999 تا سپتامبر 2005 (مقدار متوسط در هر دوره با خط ممتد نشان داده شده است)
- 136 ..... شکل 5-25- سری زمانی ماهانه و تغییرات متوسط (a) بارندگی (b) تبخیر (c) رواناب (d) دما (e) تراز سطح آب دریاچه ارومیه، از اکتبر 1989 تا دسامبر 1998 و ژانویه 1999 تا سپتامبر 2005
- 138 ..... شکل 5-26- طیف سری زمانی تراز دریاچه ارومیه (a) از 1966 تا 1999 (b) از 1999 تا 2008
- 140 ..... شکل 5-27- ضریب همبستگی بین فرکانس نوع گردش هوای فصلی و (a) GPCP فصلی، (b) دمای فصلی ERA-40، (c) تغییرات فصلی تراز دریاچه ارومیه (حدود بالا و پایین حدود معنی‌دار بودن در سطح احتمال 95% در تمام شکل‌ها نشان داده شده است)
- 145 ..... شکل 5-28- فرکانس وقوع درازمدت (a) CWT‌های مرطوب-سرد، (b) CWT‌های خشک-گرم، (c) داده-های GPCP، (d) داده‌های دما ERA-40، (e) تغییرات فصلی تراز دریاچه ارومیه
- 146 ..... شکل 5-29- متوسط فرکانس وقوع دو گروه CWT با سناریوهای اقلیمی و داده‌های ERA-40
- 147 ..... شکل 5-30- سری زمانی نرمال ماهانه تراز دریاچه ارومیه و تراز دریاچه وان بعد از حذف اثر فصلی و روند خطی
- 149 ..... شکل 5-31- تابع وابستگی بین سری زمانی تراز دریاچه ارومیه و تراز دریاچه وان
- 150 ..... شکل 5-32- تابع فاز بین تراز دریاچه وان و تراز دریاچه ارومیه در فرکانس‌های متفاوت
- 151