سعید جهانبخش: استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز
معصومه عدالت دوست: دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز
معصومه تدینی: عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان

S. Jahanbakhsh
M. Adalatdost
M. Tadayoni

Email:jahanbakhshsaeed@yahoo.com

شماره مقاله: ۸۰۱
شماره صفحه پیاپی ۱۶۶۸۴-۱۶۶۵۶

دریاچه ارومیه، شاخصی کلاسیک از ارتباط بین لکه‌های خورشیدی و اقلیم در شمال غرب ایران

چکیده

دریاچه ارومیه سومین دریاچه فوق شور در جهان است و به دلیل اهمیت اقلیمی، اقتصادی، اکولوژیک و زیست محیطی از نواحی جغرافیایی قابل توجه و مطرح در ایران به شمار می رود. سطح آب این دریاچه نیز همانند سایر دریاچه‌های بزرگ جهان طی سال‌های مختلف، دارای نوسان‌های دوره‌ای مشخص بوده است. چنین به نظر می‌رسد که می‌توان از این نوسان‌های دوره‌ای به عنوان مدرکی معتبر و تاریخی از تغییرات طبیعی اقلیم در ایران بهره گیری کرد. در سال‌های اخیر، کاهش قابل ملاحظه سطح آب، مشکلاتی را برای محیط زیست دریاچه و ساکنان آن به همراه داشته است. بروز این مشکلات، توجه و ارزیابی نوسان‌های سطح آب این دریاچه را با استفاده از روش‌های علمی و مناسب، اجتناب ناپذیر می‌سازد. بر این اساس، در پژوهش حاضر با ارزیابی تغییرات دراز مدت نوسان‌های سطح آب دریاچه و پارامترهای مؤثر در این نوسان‌ها در ارتباط با فعالیت لکه‌های خورشیدی (عامل عمده کنترل کننده تغییرات طبیعی اقلیم) بر اساس دو روش آنالیز موجک پیوسته و متقاطع، مشخص گردید که سطح آب دریاچه ارومیه دارای نوسان‌های دوره‌ای معنی دار و منفی ۸-۱۱ ساله است. این واقعیت حاکی از وجود همبستگی منفی معنی‌دار بین این نوسان‌ها در ارتباط با لکه‌های خورشیدی است. بر

اساس یافته‌های تحقیق، فعالیت‌های خورشیدی، احتمالا تنها فاکتور طبیعی مؤثر در نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه و پارامترهای مربوطه، در درازمدت محسوب می گردند.

واژه‌های کلیدی: لکه‌های خورشیدی، دریاچه ارومیه، آنالیز موجک پیوسته(CWT)، آنالیز موجک متقاطع(XWT).

۱- مقدمه

دریاچه‌ها مخازن بزرگ آب در کره زمین بوده، تغییرات بستر و حوضه آنها شواهدی از فعالیت‌های زمین شناسی و اقلیمی دوران گذشته محسوب می‌گردد (کادی اوقلو و همکاران[1]،۱۹۹۷).

در اکثر نواحی، دریاچه‌ها به عنوان باران سنج‌های طبیعی در نظر گرفته می‌شوند. بدیهی است که بارندگی در سطح کره زمین دارای تغییرات زمانی و مکانی زیاد است. به علت تغییرپذیری زمانی و مکانی زیاد بارش‌ها، باران سنج‌ها همیشه قادر نخواهند بود نتیجه واقعی پراکنش ناحیه‌ای بارش‌ها را در یک محل نشان دهند. لذا ارزیابی دقیق بارندگی‌ها در یک مکان، مستلزم وجود ایستگاه‌های باران سنجی متراکم و زیاد است، در حالی که چه در گذشته و چه هم اکنون در برخی مناطق، این امکان فراهم نبوده و نیست. در چنین شرایطی، دریاچه‌ها با ویژگی‌های منحصر به فرد خود مناسب‌ترین پدیده‌های طبیعی برای تخمین دقیق نوسان‌های بارش‌ها در یک محل محسوب می‌گردند. لذا، می‌توان دریاچه‌ها را به عنوان باران سنج‌های قدیمی در نظر گرفت که نوسان‌های سطح آب آنها از نوسان‌های بارش در آن مکان حکایت دارند. نوسان سطح آب دریاچه‌ها با عوامل متعددی در ارتباط است که از جمله مهمترین آن‌ها می‌توان به میزان تبخیر سطحی، ورود جریان‌های رودخانه‌ای و روا ناب‌ها، درجه حرارت و بارندگی اشاره نمود. بطوری که تغییرات این عوامل در نوسان سطح آب دریاچه‌ها منعکس می‌گردد (هویت و

1 - Kadioglu

اسـچتن[۲]، ۱۹۹۷). کلیـه پارامترهـای مـذکور کـه مهمتـرین عناصـر اصـلی اقلیمـی و هیدرولوژیک محسوب می‌گردند انرژی مورد نیاز خود را از خورشـید تـامین مـی‌کننـد. خورشید منبع اصلی انرژی برای کلیه تحولات اقلیمی و هیدرولوژیک است که در سـطح کره زمین صورت می‌گیرد. انرژی از خورشید به زمین منتقل گردیده و گرمای حاصل از آن موجب مبادله آب در سیکل هیدرولوژی می شود (علیزاده، ۱۳۸۰). لـذا، دریاچـه‌هـا پدیده‌های هیدرولوژیکی بسیار انعطاف پذیری هستند که می توان بـا بررسـی تغییـرات سطح آب آن‌ها، تغییرپذیری بارش‌ها و سایر پارامترها را در یک مکان به طـرز صـحیح مدلسازی کرد. به عبارت دیگر، نوسان‌های سطح آب دریاچه‌ها شواهدی غیـر مسـتقیم از تاثیرگذاری خورشید بر اقلیم آن محل محسوب مـی‌گردنـد. اولـین گـام در شـناخت و بررسی نوسان‌های سطح آب دریاچه‌ها، شـناخت تئـوری‌هـای موجـود در زمینـه علـت تغییرپذیری سطح آب دریاچه‌هاست. در این رابطه تئوری‌های متعـددی از قبیـل رسـوب گذاری در دریاچه‌ها، جابجایی ژئوتکتونیکی، شاخص‌هـای ژئومورفولوژیـک و بـالاخره آثار تغییرات اقلیمی و لکه‌های خورشیدی مطرح هستند (کادی اوقلو و همکاران،۱۹۹۷).

وجود حجم عظیمی از شواهد و مدارک روزافزون نشان می‌دهند که وقوع رخـدادهای زودگذر و شدید سطح خورشید در شرایط جوی کره زمین و وقوع تغییرات بلندمـدت در مقدار خروجی انرژی خورشید در شرایط اقلیمی کره زمین بسیار مـؤثر و تعیـین کننـده هستند. شناخت و کشف هر چه بیشتر ارتباط بین خورشید و کـره زمـین، توجیـه علـل فیزیکی و چگونگی تاثیرگذاری و واکنش بین این دو پارامتر را امکان پذیر مـی‌سـازد. زمانی که این ارتباط مشخص شود، علم به اساسی‌ترین ابزار جهـت پـیش بینـی شـرایط اقلیمی و جوی تبدیل خواهد شد(یوسف[۳]، ۲۰۰۰). مفهوم اصلی ارتباط بین خورشید و جو بر اساس تغییرات در شرایط جوی و اقلیمی استوار شده است. از جمله شواهد و مـدارکی

2 - Hoyt and schatten
3 - Yousef

که در این رابطه وجود دارند، می‌توان به پژوهش‌هایی که توسط جاکوب[۴] (۱۹۹۸)، گلیسنرو همکاران [۵](۲۰۰۳)، کاخلین و تانگ[۶] (۲۰۰۳)، کاخلین و تانگ(۲۰۰۴)، اشمیت و همکاران[۷] (۲۰۰۶)، هویت و اسچتن(۱۹۹۷)، آرایا و همکاران[۸](۲۰۰۰)، یوسف(۲۰۰۰)، لابیتزک (۲۰۰۱)،تسیرپولا[۹](۲۰۰۲)، آلمدا و همکاران[۱۰] (۲۰۰۴) انجام گرفته‌اند، اشاره کرد.

جهانبخش و عدالت دوست (۱۳۸۷) نیز در مطالعه‌ای با عنوان تاثیر فعالیت‌های خورشیدی بر بارندگی‌های سالانه ایران، موضوع تاثیرگذاری خورشید بر اقلیم را در ایران بررسی کرده و نشان دادند که رابطه منفی و معکوس بین بارش‌های سالانه و لکه‌ها وجود دارد.

فعالیت‌های متعدد سطح خورشید، از قبیل شراره‌ها، انفجارها و بادهای خورشیدی به افزایش جابه جایی پلاسما و در پی آن افزایش شدت تابش منجر می‌گردند (لی و همکاران[۱۱]، ۲۰۰۹). نوسان‌ها و تغییرات اقلیمی مرتبط با این فعالیت‌ها، نقش عمده‌ای را در شرایط زندگی و حیات در کره زمین بر عهده دارند. بر همین اساس، شناخت، پیش بینی و نمایش تغییرپذیری تابش خورشید و تاثیرات آن بر شرایط اقلیمی، جوی و هیدرولوژیک کره زمین بسیار حایز اهمیت است. پژوهشگران بی شماری در مطالعات خود به بررسی تغییرات دوره‌ای فعالیت‌های خورشیدی و تاثیرات آن بر پارامترهای مختلف اقلیمی پرداخته اند که از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

لسن و کریستن سن[۱۲](۱۹۹۵)، بییر و همکاران[۱۳] (۲۰۰۰)، کریووا و سولانکی[۱۴] (۲۰۰۲)، زائو و همکاران[۱۵] (۲۰۰۴)، هیرمس[۱۶] (۲۰۰۶)، لند سچید (۲۰۰۷). نتایج حاصل

4 - Jacobi
5 - Gleisner
6 - Coughlin and Tung
7 - Schmidt
8 - Araya
9 - Tsiropoula
10 - Almeda
11 - Li
12 - Lassen and Friis-Christensen

از پژوهش‌ها، حاکی از این واقعیت است که ارزیابی تاثیر فعالیت‌های چرخه‌ای خورشید بر شرایط اقلیمی کره زمین به دو روش مستقیم و غیرمستقیم صورت می گیرد. اثبات شده است که تغییرات چرخه‌ای اقلیم کره زمین با فرکانس زمانی منظم و چرخه‌ای فعالیت لکه‌های خورشیدی در ارتباط تنگاتنگ هستند. در زمینه تاثیرگذاری غیرمستقیم خورشید بر اقلیم کره زمین نیز پژوهش‌های مشابه دیگری بر مبنای ارزیابی تغییرات فاکتورهایی از قبیل تغییر جریان‌های رودخانه ای، میزان رواناب‌ها و بالاخره نوسان سطح آب دریاچه‌ها نسبت به فعالیت‌های خورشیدی انجام گرفته‌اند که از جمله این مطالعات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

لابیتزک و ون لون[17] (۱۹۹۳)، کادی اوقلو و همکاران(۱۹۹۷)، رزماکین و همکاران[18](۲۰۰۶)، خیائو و همکاران[19](۲۰۰۶)، سلینجر و همکاران[20](۲۰۰۷).

در پژوهش حاضر، ارزیابی ارتباط خورشید و اقلیم در منطقه مورد مطالعه بر مبنای روش غیرمستقیم تاثیرگذاری خورشید بر اقلیم؛ یعنی بررسی نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه استوار شده است. به طوری که می توان نوسان‌های سطح آب این دریاچه را به عنوان شاخص غیرمستقیم از ارتباط خورشید و اقلیم در شمال غرب ایران در نظر گرفت. البته، قابل ذکر است که تاکنون نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه از دیدگاه‌های مختلف بررسی شده است.

دریاچه ارومیه در تاریخچه حیات خود به لحاظ دارا بودن ویژگی‌های اقتصادی، اجتماعی، اکولوژیک و زیست - محیطی از اهمیت زیادی برخوردار بوده است. اخیراً به واسطه وقوع خشکسالی‌های شدید، سطح آب آن به شدت کاهش پیدا کرده است؛ به

---

13 - Beer
14 - Krivova and Solanki
15 - Zhao
16 - Hiremath
17 - Labitzke and Vanloon
18 - Ruzmaikin
19 - Xiao
20 - Sellinger

طوری که این مسأله با ایجاد تغییرات نامطلوب در شرایط زیست - محیطی، باعث بروز مشکلات زیادی شده است. وجود این مسائل، ارزیابی نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه و شناسایی عامل اصلی کنترل کننده این تغییرات را به روش علمی و بر مبنای پیش بینی درازمدت ذخایر آبی آن، بسیار ضروری و اجتناب ناپذیر می‌سازد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

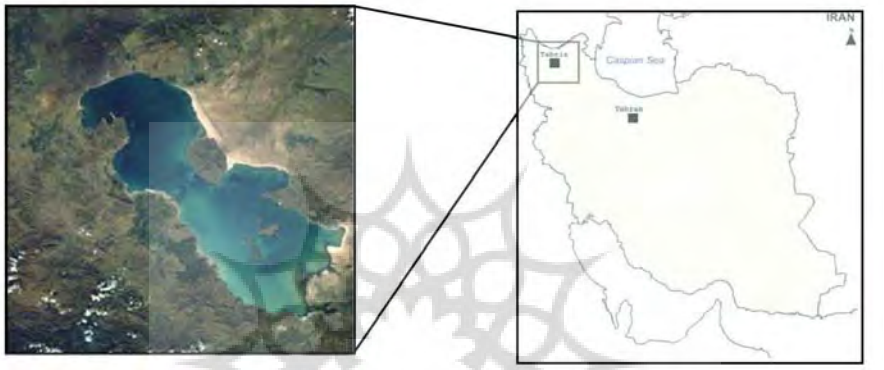
داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل دو سری داده هستند ۱- داده‌های سطح آب دریاچه ارومیه و پارامترهای مؤثر بر نوسان‌های سطح آب آن؛ ۲- داده‌های لکه‌های خورشیدی.

نوسان سطح آب دریاچه ارومیه به متغیرهای شاخص دیگری، از قبیل: بارندگی، درجه حرارت، تبخیر و روا ناب‌های ورودی به آن و نهایتا داده‌های مربوط به مساحت دریاچه طی سال‌های ۱۹۶۵ الی۲۰۰۶ وابسته است. لذا به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر، داده‌های مربوط به این متغیرها نیز در محاسبات گنجانده شده است. داده‌های مذکور از سازمان منابع آب استان آذربایجان شرقی(۲۰۰۹) تهیه گردید. طول دوره آماری مورد استفاده جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها دوره ۴۱ ساله از سال ۱۹۶۵ الی ۲۰۰۶ بوده و عمدتا از میانگین سالانه داده‌ها استفاده شده است.

لکه‌های خورشیدی مهم ترین شاخص تغییرپذیری تابش خورشیدی هستند؛ به طوری که در اکثر مطالعات برای تجزیه و تحلیل تغییرات لکه‌های خورشیدی عمدتاً از تعداد نسبی لکه‌ها استفاده می‌گردد. در تحقیق حاضر نیز از میانگین سالانه لکه‌های خورشیدی طی دوره آماری ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۶ استفاده گردید. داده‌های مربوط به لکه‌ها از سازمان ژئوفیزیک آمریکا(NGDC)[۲۱] تهیه شده است.

21 - ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/stp/solar_data/sunspot_numbers/yearly

منطقه مورد مطالعه شامل دریاچه ارومیه با عرض جغرافیایی ۳۰ - 37^{o} و طول جغرافیایی ۰۸ - 46^{o} شرقی و شمالی است. این دریاچه یکی از مهمترین دریاچه‌های فوق شور در جهان بوده و در شمال غرب ایران واقع شده است (شکل ۱). وسعت آن حدود ۵۵۰۰ کیلومتر مربع است و شامل ۲۱ رودخانه اصلی و ۳۹ رودخانه فرعی است (قاهری و همکاران[۲۲]، ۱۹۹۹).



شکل ۱: محدوده دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- آنالیز موجک

امروزه استفاده از تکنیک آنالیز موجک[۲۳] به عنوان یک روش معمول و اساسی در تجزیه و تحلیل لکه‌های خورشیدی ، پارامترهای اقلیمی و پارامترهای ژئوفیزیکی زمین مطرح بوده، در ارزیابی ارتباط بین این متغیرها نیز کاربرد دارد.

کومار و فئوفئولا[۲۴](۱۹۹۷) ، تورنس و کمبو[۲۵] (۱۹۹۸) و گرینستد و همکاران[۲۶](۲۰۰۴) از جمله پژوهشگرانی هستند که تحقیقات جامعی را در زمینه کاربرد روش

22 - Ghaheri
23 - Wavelet Analysis
24 - Kumar & foufoula-Georgio
25 - Torrence and Compo
26 - Grinsted

تبدیل موجک و انواع آن انجام داده اند. آنالیز موجک به واسطه تجزیه سری‌های زمانی غیرخطی به فرکانس‌های زمانی، ابزاری توانمند و کارآمد در یافتن فرکانس غالب تغییرات پدیده‌ها در طول زمان محسوب می‌گردد.

در پژوهش حاضر، برای تجزیه و تحلیل داده‌های سطح آب دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی و همچنین بررسی رابطه بین این دو متغیر از دو نوع تبدیل موجک، تبدیل موجک پیوسته[۲۷] و تبدیل موجک متقاطع[۲۸] استفاده گردید.

آنالیز موجک پیوسته، روش مناسب جهت مطالعه نوسان‌های زمانی زودگذر و معین در سری‌های زمانی مرتبط با هم مطرح است (گرینستد و همکاران، ۲۰۰۴). یکی از مهمترین روش‌های آنالیز موجک پیوسته، آنالیز موجک مورلت است که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

(۱)

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-\frac{1}{2}\eta^2}.$$

در رابطه فوق ω_0 فرکانس بی بعد و η زمان بی بعد هستند.

ایده ای که پشت تحلیل موجک پیوسته نهفته است بر مبنای به کارگیری موجک‌ها به عنوان فیلترهای میان گذر در سری‌های زمانی مختلف استوار شده است. موجک‌ها هم زمان با تغییر در مقیاس پدیده‌ها (s) در محدوده زمان (t) کشیده شده، باعث بارزتر شدن تغییرات موجود در پدیده‌ها می گردند پس: $\eta =$ s.t .

آنالیز موجک پیوسته مورلت[۲۹] تناسب بسیار خوبی را بین زمان و فرکانس ایجاد می‌کند و بدین ترتیب، استخراج تغییرات موجود در پدیده‌ها به سهولت امکان پذیر می‌شود (مور و همکاران[۳۰]، ۲۰۰۶). آنالیز موجک متقاطع در بررسی میزان و نحوه همبستگی بین متغیرهای مختلف در مقیاس‌های سالانه کاربرد دارد. در این روش مناطقی

27- Continuous Wavelet analysis
28 - Cross Wavelet analysis
29 - Morlet Analysis
30 - Moore

که دارای قدرت هم بستگی بالایی هستند (بیشتر از ۵٪) بوسیله خطوط پررنگ از نـواحی فاقد همبستگی جدا شده و بدین ترتیب محدوده تاثیرگذاری پدیده‌ها بر یکدیگر مشخص می‌گردد. نحوه همبستگی بین متغیرها نیز بر اساس جهت پیکان‌های موجـود در تصـویر قابل بررسی است. بدین ترتیب پیکان‌هایی که به سمت راست اشاره می‌کنند، نشان دهنده هم بستگی(فاز) مثبت و پیکان‌هایی که به سمت چـپ اشـاره مـی‌کننـد، نشـان دهنـده همبستگی (فاز) منفی بین دو متغیر هستند (کیسر و همکاران[۳۱]، ۲۰۰۸). در این جا منظور از فاز مثبت (هم زمانی بین دو متغیر) و منظور از فاز منفی (عدم تطـابق زمـانی بـین دو متغیر) مد نظر است.

آنالیز موجک متقاطع بین دو سری زمانی x_n و y_n به صورت زیر محاسبه می‌شود : (۲)

$$W_n^{xy}(s) = W_n^{x}(s) W_n^{y*}(s)$$

در رابطه فوق x, y به عنوان سری‌های زمانی مورد نظر هستند؛

$W_n^{x}(s), W_n^{y}(s)$ تبدیل موجک سری‌های زمانی مورد نظر و $W_n^{y^*}(s)$ به عنوان تبدیل موجک مرکب تبدیل $W_n^{y}(s)$ محسوب می‌شود. قدرت همبستگی بین دو متغیر نیز به صورت $\left|W_n^{xy}(s)\right|$ مشخص و تعریف می‌شود.

قابل ذکر است که آنالیز موجک متقاطع بیشترین کوواریانس موجود بـین دو سـری زمانی را نشان می‌دهد (تورنس و کمبو[۳۲]، ۱۹۹۸). در ایـن روش تعیـین زاویـه تفـاوت فازی(میزان همبستگی) بین مولفه‌های دو سری زمانی، مستلزم تشخیص میـانگین زاویـه فازی موجک متقاطع و تخمین فواصل معنی داری از تفاوت فازی است. به همین منظـور از میانگین چرخشی فازها برای شناسایی و تعیین چگونگی ارتباط فازی استفاده می‌شود.

میانگین چرخشی مجموعه‌ای از زوایا $(a_i, i = 1....n)$ از رابطه زیر قابل محاسبه است:

31 - Keisser
32 - Torrence and Compo

(۳)

$$a_m = \arg(x, y).$$

در رابطه فوق مقدار x از رابطه $x = \sum_{i=1}^{n} \cos(a_i)$ و مقدار y از رابطه $y = \sum_{i=1}^{n} \sin(a_i)$ برآورد می شوند. جهت محاسبه نحوه پراکنش زوایا نسبت به حالت میانگین (انحراف معیار چرخشی زوایا) نیز از رابطه زیر استفاده می شود:

(۴)

$$S = \sqrt{-21n(R / n}$$

به طوری که R برابر است با:

$$.R = \sqrt{(x^2 + y^2)}$$

چرخش استاندارد مشابه انحراف معیار خطی استاندارد است که میزان آن بین صفر تا بی نهایت تغییر می کند. زمانی که توزیع زوایا در محدوده نزدیک به میانگین قرار گرفته باشد، نتایج این روش با نتایج حاصل از انحراف معیار خطی استاندارد یکسان خواهد بود. محاسبه میانگین زوایای فازی برای هر مقیاسی با هدف و منظور معینی صورت می‌گیرد، بطوری که حتی می‌توان زوایای فازی را به عنوان تعداد سال‌های مورد بررسی در نظر گرفت (گرینستد و همکاران، ۲۰۰۴). لذا، در پژوهش حاضر با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد روش‌های مختلف آنالیز موجک و تناسب این روش‌ها با ویژگی داده‌های متغیرهای مورد مطالعه، جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده از این روش‌ها مناسب شناخته شد.

۳- بحث و نتایج

قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، در جدول شماره (۱) میانگین سالانه پارامترهای مورد بررسی ارائه شده است. در جدول مذکور برای سهولت مطالعه دوره حداکثر فعالیت لکه‌های خورشیدی هم زمان با تغییرات پارامترهای مورد بررسی با فونت بزرگتر و

علامت ستاره مشخص شده است. قابل ذکر است که تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آنالیز موجک، دوره‌های هم‌زمانی، مثبت و یا منفی بودن ارتباط بین متغیرهای مورد نظر را با لکه‌های خورشیدی بهتر و بیشتر آشکار می‌سازد. جدول (۱) صرفاً جهت اطلاع از مشخصات داده‌های مورد استفاده است.

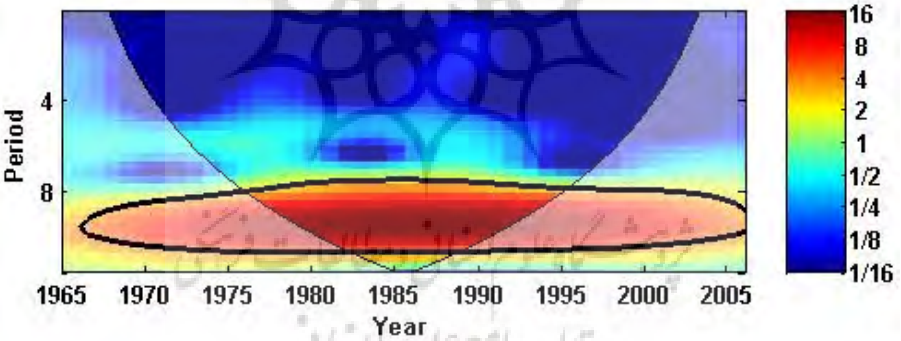
جدول شماره ۱: مشخصات داده‌های مورد بررسی و دوره‌های هم‌زمانی آن‌ها با لکه‌های خورشیدی

دوره آماری	میانگین تبخیر سالانه	میانگین ارتفاع سطح آب سالانه	میانگین مساحت سالانه (کیلومتر مربع)	تعداد لکه‌های خورشیدی
۱۹۶۵	۱۱۱۰/۷	۱۲۷۴/۰۸	۴۹۱۹/۲۰	۱۵/۱
۱۹۶۶	۱۰۶۴	۱۲۷۳/۹۸	۴۸۶۰/۹۱	۴۷
***۱۹۶۷**	**۱۰۷۴/۵**	**۱۲۷۴/۲۵**	**۵۱۴۳/۱۵**	**۹۳/۸**
***۱۹۶۸**	**۸۱۳/۷**	**۱۲۷۵/۵۱۷**	**۵۸۰۵/۸۱**	**۱۰۵/۹**
***۱۹۶۹**	**۱۱۲۳**	**۱۲۷۶/۶۵**	**۶۱۸۰/۰۸**	**۱۰۵/۵**
***۱۹۷۰**	**۱۱۵۹/۹**	**۱۲۷۶/۰۹۵**	**۶۲۲۶/۱۰**	**۱۰۴/۵**
۱۹۷۱	۱۰۷۵/۴	۱۲۷۵/۹۸۵	۶۱۶۷/۸۱	۶۶/۶
۱۹۷۲	۱۱۱۳	۱۲۷۶/۴۲۵	۶۲۸۴/۳۹	۶۸/۹
۱۹۷۳	۱۰۶۳/۸	۱۲۷۶/۴۵۵	۶۴۳۷/۷۸	۳۸
۱۹۷۴	۱۲۱۷	۱۲۷۶/۴۰۷	۶۴۰۰/۹۷	۳۴/۵
۱۹۷۵	۱۱۳۴/۶	۱۲۷۶/۰۹۱	۶۲۴۴/۵۱	۱۵/۵
۱۹۷۶	۱۰۲۴/۴	۱۲۷۶/۱۲۴	۶۲۰۷/۶۹	۱۲/۶
۱۹۷۷	۱۱۶۰/۳	۱۲۷۶/۰۶۸	۶۰۶۶/۵۷	۲۷/۵
***۱۹۷۸**	**۱۱۴۷**	**۱۲۷۵/۸۸۴**	**۶۰۶۰/۴۴**	**۹۲/۵**
***۱۹۷۹**	**۱۱۹۶**	**۱۲۷۵/۶۱۸**	**۵۹۲۵/۴۵**	**۱۵۵/۴**
***۱۹۸۰**	**۱۱۳۰/۵**	**۱۲۷۵/۴۲**	**۵۷۸۴/۳۳**	**۱۵۴/۶**
***۱۹۸۱**	**۱۱۶۸/۳**	**۱۲۷۵/۴۶۳**	**۵۸۰۵/۸۱**	**۱۴۰/۴**
***۱۹۸۲**	**۱۱۶۵**	**۱۲۷۵/۸۱۳**	**۶۰۱۷/۴۹**	**۱۱۵/۹**
۱۹۸۳	۱۲۰۳/۴	۱۲۷۵/۷۳۹	۵۹۸۳/۷۴	۶۶/۶
۱۹۸۴	۱۰۹۷/۴	۱۲۷۵/۷۲۵	۵۹۷۴/۵۴	۴۵/۹

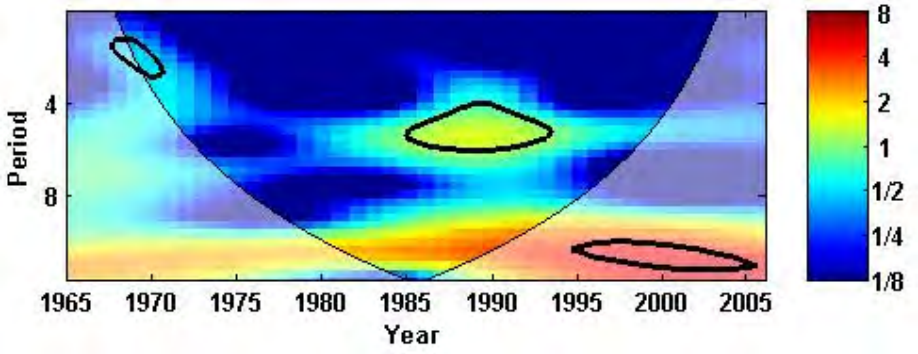
ادامه جدول شماره ۱: مشخصات داده‌های مورد بررسی و دوره‌های هم‌زمانی آن‌ها با لکه‌های خورشیدی				
دوره آماری	میانگین تبخیر سالانه	میانگین ارتفاع سطح آب سالانه	میانگین مساحت سالانه (کیلومتر مربع)	تعداد لکه‌های خورشیدی
۱۹۸۵	۱۱۱۷/۵	۱۲۷۵/۷۶۹	۶۰۰۸/۲۸	۱۷/۹
۱۹۸۶	۱۱۴۹	۱۲۷۵/۶۱۸	۶۲۱۰/۷۶	۱۳/۴
۱۹۸۷	۱۰۰۴/۹	۱۲۷۶/۰۸۲	۶۰۷۲/۷۱	۲۹/۴
***۱۹۸۸**	**۱۱۹۴/۸**	**۱۲۷۶/۴۷۸**	**۶۳۶۴/۱۶**	**۱۰۰/۲**
***۱۹۸۹**	**۱۱۱۵/۱**	**۱۲۷۶/۰۲۸**	**۶۱۵۸/۶۱**	**۱۵۷/۶**
***۱۹۹۰**	**۱۲۰۲**	**۱۲۷۵/۵۲۹**	**۵۸۶۷/۱۶**	**۱۴۲/۶**
***۱۹۹۱**	**۱۰۵۱**	**۱۲۷۵/۵۳۳**	**۵۸۹۷/۸۴**	**۱۴۵/۷**
***۱۹۹۲**	**۹۴۵**	**۱۲۷۶/۴۴**	**۶۲۹۰/۵۳**	**۹۴/۳**
۱۹۹۳	۹۳۲	۱۲۷۷/۳۵۴	۶۶۹۵/۴۸	۵۴/۶
۱۹۹۴	۹۹۲	۱۲۷۷/۸۶۶	۷۲۷۲/۲۴	۲۹/۹
۱۹۹۵	۱۲۷۶	۱۲۷۷/۸۷	۷۳۰۵/۹۹	۱۷/۵
۱۹۹۶	۱۲۹۵	۱۲۷۷/۸۶	۷۰۶۶/۶۹	۸/۶
۱۹۹۷	۱۲۵۰	۱۲۷۷/۴۸	۶۹۲۲/۵۰	۲۱/۵
۱۹۹۸	۱۱۱۵	۱۲۷۷/۲۳	۶۳۳۶/۵۴	۶۴/۳
***۱۹۹۹**	**۱۱۳۰**	**۱۲۷۶/۴۱**	**۵۶۴۰/۱۴**	**۹۳/۳**
***۲۰۰۰**	**۱۲۰۰**	**۱۲۷۵/۴۴**	**۵۰۴۴/۹۸**	**۱۱۹/۶**
***۲۰۰۱**	**۱۱۷۰**	**۱۲۷۴/۳۶**	**۴۷۱۶/۷۲**	**۱۱۱**
***۲۰۰۲**	**۱۱۷۴**	**۱۲۷۳/۷۶**	**۴۷۰۱/۳۸**	**۱۰۴**
۲۰۰۳	۱۲۶۸/۳	۱۲۷۳/۶۲	۴۷۱۷/۹۰	۶۳/۷
۲۰۰۴	۱۲۰۱/۸	۱۲۷۳/۷۳	۴۵۱۱/۲۰	۴۰/۴
۲۰۰۵	۱۴۵۴/۹	۱۲۷۳/۵۷	۴۳۴۵/۱۰	۲۹/۸
۲۰۰۶	۱۲۰۷	۱۲۷۳/۱۷	۴۲۹۶/۵۰	۱۵/۴

۳-۱- بررسی ارتباط نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی:

شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب نشان دهندهٔ آنالیز موجک پیوسته مورلت از لکه‌های خورشیدی و نوسان‌های سطح آب دریاچه است. در این شکل‌ها ویژگی مشترک (ارتباط) هر دو متغیر طی چرخه‌های زمانی ۸ تا ۱۱ساله کاملا مشخص است. چرخه بارز ۸ تا ۱۱ساله لکه‌های خورشیدی در محدوده کلیه سال‌های مورد بررسی (۲۰۰۶- ۱۹۶۵) وجود دارد، در حالی که چرخه بارز ۸ تا ۱۱ساله در نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه عمدتا طی سال‌های ۲۰۰۵- ۱۹۹۵ و چرخه‌های فرعی دیگر ۴ تا ۶ ساله و ۲ تا ۳ ساله به ترتیب در محدوده سال‌های ۱۹۸۵- ۱۹۹۵ و ۱۹۷۰-۱۹۶۵ قابل مشاهده هستند. خطوط ضخیم و پررنگ نشان دهنده سطح معنی داری بیش از ۵٪ بوده و محدوده تاثیرگذاری اصلی را با رنگ قرمز از محدوده‌های بی تاثیر جدا می سازد. بر این اساس، میزان تشابه (همبستگی) بین الگوهای نمایش داده شده در این چرخه‌های زمانی کاملا بالا بوده، در سطح معنی داری بیش از ۵٪ قرار می‌گیرند.

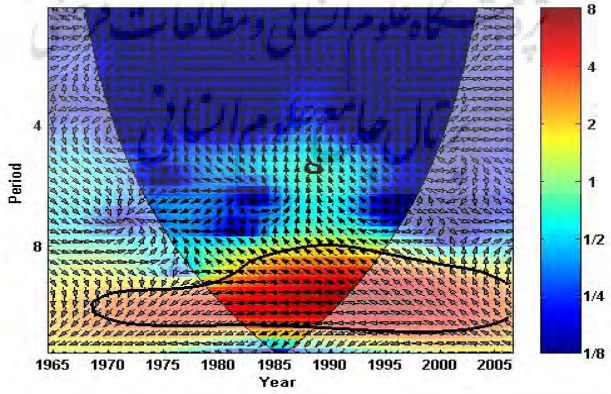


شکل ۲: آنالیز موجک پیوسته تعداد نسبی لکه‌های خورشیدی (Rz)



شکل ۳: آنالیز موجک پیوسته نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه

در شکل۴، تبدیل موجک متقاطع بین سطح آب دریاچه ارومیه و تعداد نسبی لکه‌های خورشیدی نمایش داده شده است. آنالیز موجک متقاطع مشخص می‌سازد که ویژگی مشترک و تشابه زمانی بین دو متغیر در محدوده تاثیر بالاتر از ۵٪ سطح معنی داری و در کلیه سال‌های مورد بررسی از چرخه زمانی ۸ تا ۱۱ ساله برخوردار است. بررسی علایم و جهت پیکان‌ها هم چنین نشان می‌دهند که سطح آب دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی در کلیه سطوح معنی دار و دارای فاز (هم بستگی) منفی هستند. به طوری که هم‌زمان با افزایش تعداد لکه‌ها از سطح آب دریاچه کاسته می‌شود. لذا می‌توان چنین نتیجه گیری کرد که نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه به نوعی منعکس کننده تاثیر فعالیت‌های خورشیدی محسوب می‌شوند؛ همچنان که آنالیز موجک متقاطع آن را به نمایش گذاشت.



شکل ۴: تبدیل موجک متقاطع بین نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی

۳-۲- نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه

دریاچه ارومیه حوضه‌ای بسته در آذربایجان است (موحد دانش، ۱۳۸۲). نوسان‌های سطح آب، به ویژه در دریاچه‌هایی که دارای حوضه بسته هستند به شدت تحت تاثیر ۳ فاکتور اصلی است:

۱- عناصر اقلیمی مؤثر در منطقه که عمدتا شامل بارش و درجه حرارت است.

۲- عناصر هیدرولوژیک از قبیل تبخیر از سطح آب و جریان‌های رودخانه‌ای (رواناب‌ها) که به سمت دریاچه جریان می‌یابند.

۳- ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوضه آبریز که شامل اندازه، شکل و بالاخره تغییرپذیری خطوط ساحلی که در نهایت نشان گر نوسان سطح آب می باشند.

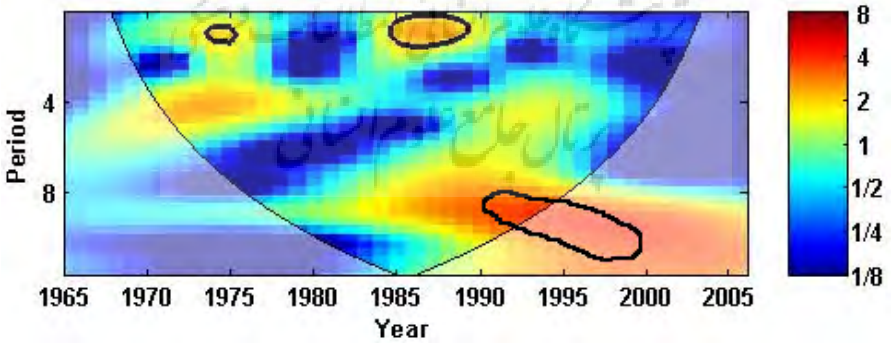
بدیهی است که واکنش متقابل بین فاکتورهای مذکور در نوسان‌های سطح آب دریاچه منعکس می‌گردد. همان طور که اشاره شد، بین نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی طی چرخه‌های زمانی ۸ تا ۱۱ ساله رابطه منفی و معکوس برقرار است. از آنجا که نوسان‌های سطح آب دریاچه معلول عوامل اقلیمی، هیدرولوژیکی و ژئوموفولوژی است لذا انتظار می‌رود هر گونه تغییر در این عوامل که به نوبه خود تحت کنترل فعالیت‌های خورشیدی هستند، در این نوسان‌ها منعکس گردد. شایان به ذکر است که عوامل مؤثر در نوسان سطح آب دریاچه ارومیه تنها محدود به عوامل فوق الذکر نبوده بلکه عوامل متعدد دیگری چون میزان انحلال مواد در آب دریاچه، میزان رسوب گذاری رودخانه‌ها و همچنین حجم موجودات زنده موجود در آب دریاچه، نیز در نوسان سطح آب آن دخالت دارند. اما نکته قابل توجه این است که اندازه گیری و سنجش دقیق این عوامل امکان پذیر نیست در حالی که اندازه گیری و ثبت عوامل اقلیمی، هیدرولوژیک و ژئوموفولوژی به سهولت انجام می‌پذیرند (کادی اوقلو و همکاران، ۱۹۹۷). جهت به تصویر کشیدن نتیجه نهایی تاثیرگذاری لکه‌های خورشیدی در سطح آب دریاچه ارومیه، در نهایت، نحوه تغییرپذیری وسعت دریاچه طی چرخه فعالیت لکه‌های خورشیدی بررسی گردید.

۳-۲-۱- بررسی ارتباط بین عوامل اقلیمی مؤثر در نوسان سطح آب دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی:

دما و بارش مهمترین پارامترهای طبیعی اقلیمی هستند که نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه را تحت تاثیر قرار می‌دهند. بر همین اساس، واکنش این دو پارامتر به عنوان شاخص‌های اقلیمی مؤثر در نوسان سطح آب دریاچه نسبت به فعالیت لکه‌های خورشیدی بررسی می‌شود.

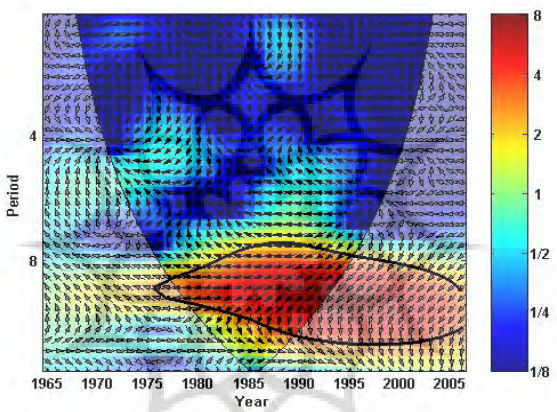
۳-۲-۱-۱- ارتباط بارش‌های سالانه دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی:

شکل ۵ نشان دهندهٔ آنالیز موجک پیوسته از بارش‌های سالانه دریاچه ارومیه است. این شکل به خوبی روشن می‌سازد که بارش‌های سالانه در دریاچه ارومیه طی سال‌های۲۰۰۵- ۱۹۸۵از چرخه ۸ تا ۱۱ ساله لکه‌های خورشیدی تبعیت می کنند. بارش‌های سالانه همچنین طی سال‌های ۱۹۹۹-۱۹۸۵ دارای چرخه فرعی ۲ ساله هستند. میزان تشابه و ارتباط بین لکه‌ها و بارش‌ها طی دوره‌های مذکور کاملاً بالا و در سطح معنی داری بالاتر از ۵٪ قرار می گیرند؛ به طوری که می‌توان گفت این دو متغیر بر هم منطبق هستند. آنالیز موجک متقاطع جزئیات بیشتری را در رابطه با نحوه این همبستگی نشان می‌دهد.



شکل ۵: آنالیز موجک پیوسته نوسان‌های بارش‌های سالانه دریاچه ارومیه

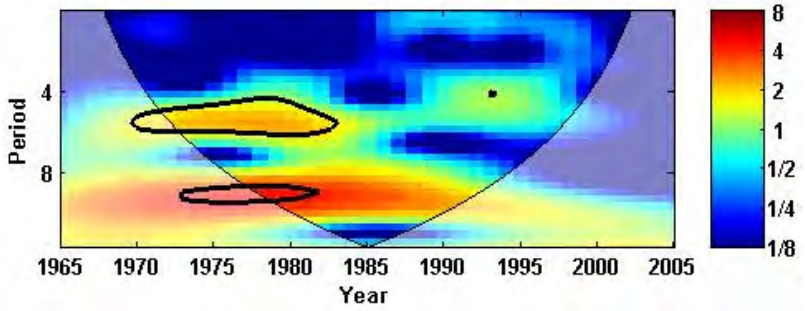
نتیجه حاصل از آنالیز موجک متقاطع بین بارش‌ها و لکه‌های خورشیدی در شکل ۶ ارائه شده است. همان طور که مشخص است، ویژگی مشترک (همبستگی) بین دو متغیر طی سال‌های ۲۰۰۶ - ۱۹۷۵در چرخه‌های ۸ تا ۱۱ ساله کاملا معنی‌دار و بارز است. همچنین سمت و جهت پیکان‌ها حاکی از وجود همبستگی منفی معنی‌دار بین دو متغیر در کلیه محدوده‌های تحت تاثیر است. لذا چنین نتیجه‌گیری می‌شود که همبستگی قوی منفی بین تغییرات بارش‌های سالانه دریاچه و تغییرات لکه‌های خورشیدی وجود دارد و افزایش شدت فعالیت لکه‌ها با کاهش بارش‌ها در این دریاچه همراه است.



شکل ۶: تبدیل موجک متقاطع بین نوسان‌های بارش‌های سالانه دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی

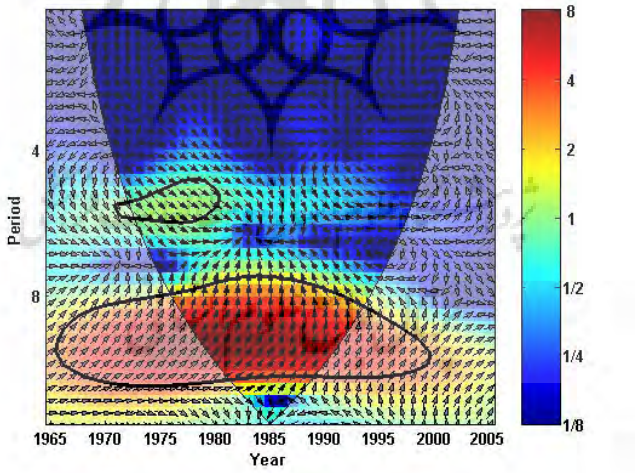
۳-۲-۱-۲- ارتباط درجه حرارت سالانه دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی:

شکل ۷ آنالیز موجک پیوسته درجه حرارت سالانه دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد. تغییرات درجه حرارت دریاچه و لکه‌های خورشیدی طی سال‌های ۱۹۸۵-۱۹۷۵ در چرخه‌های زمانی ۸ تا ۱۱ ساله همبستگی معنی داری را نشان می دهند. همچنین همبستگی معنی‌دار دیگری نیز در چرخه‌های زمانی ۴ تا ۵ ساله و در حوالی سال‌های ۱۹۸۵-۱۹۷۰ در درجه حرارت دریاچه قابل مشاهده است. روشن است که چرخه‌های زمانی مذکور با چرخه‌های اصلی و فرعی لکه‌های خورشیدی کاملا هماهنگ هستند.



شکل ۷: آنالیز موجک پیوسته درجه حرارت سالانه دریاچه ارومیه

آنالیز موجک متقاطع بین درجه حرارت سالانه دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی در شکل ۸ ارائه شده است. در این جا نیز بارزترین محدوده‌های معنی داری طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۶۵ و در حوالی چرخه‌های زمانی ۸ تا ۱۱ ساله و همچنین طی سال‌های ۱۹۸۰-۱۹۷۰ در حوالی چرخه‌های ۴ تا ۶ ساله ظاهر می گردد. چنانکه از بررسی نحوه ارتباط بین دو متغیر بر می‌آید همبستگی بین درجه حرارت دریاچه و لکه‌های خورشیدی کاملاً همفاز و مثبت است.



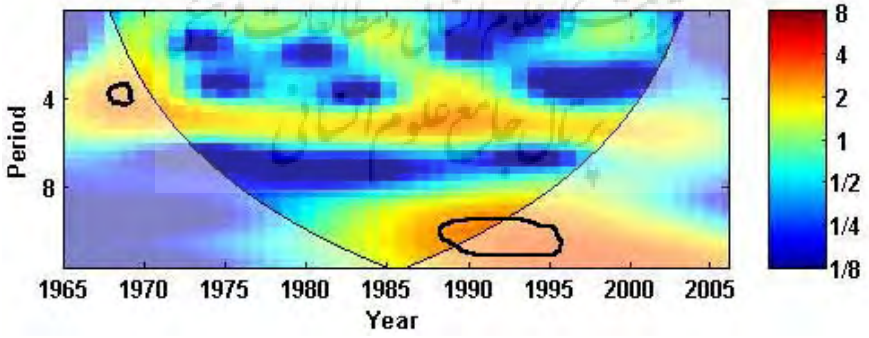
شکل۸: تبدیل موجک متقاطع بین نوسان‌های درجه حرارت سالانه دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی

۳-۲-۲- بررسی ارتباط بین عوامل هیدرولوژیک مؤثر در نوسان سطح آب دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی:

از مهمترین عناصر هیدرولوژیک که نقش مؤثری در نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه ایفا می‌کند، می‌توان به مقدار تبخیر از سطح دریاچه و همچنین مقدار رواناب‌های جاری به سمت این دریاچه اشاره کرد. بدیهی است که بسیاری از عناصر هیدرولوژیک، تحت کنترل عناصر و متغیرهای اقلیمی هستند. لذا در این جا نحوه ارتباط بین تغییرات هیدرولوژیک دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی بررسی می‌گردد.

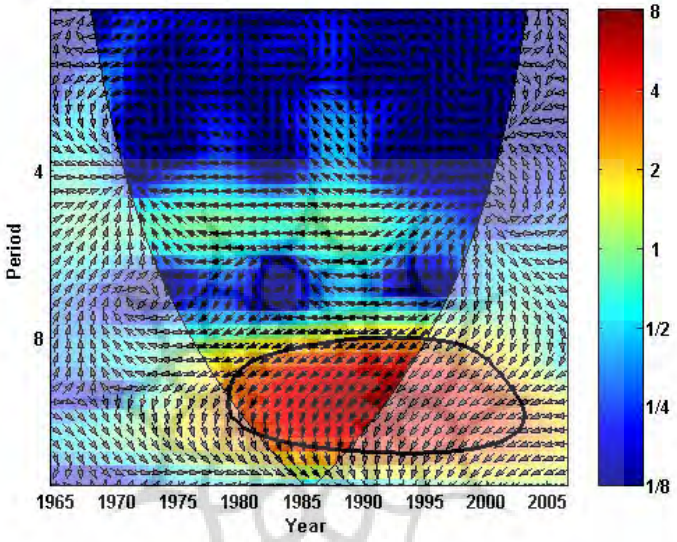
۳-۲-۲-۱- ارتباط بین حجم رواناب‌های سالانه ورودی به دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی

آنالیز موجک پیوسته از حجم رواناب‌ها در شکل ۹ نشان داده شده است. همان طور که مشخص است، حجم جریان رواناب‌ها طی سال‌های ۱۹۹۷-۱۹۸۸ و سال‌های ۱۹۶۹-۱۹۶۸ به ترتیب از چرخه‌های زمانی ۸ تا ۱۱ ساله و ۴ ساله تبعیت می کنند که با چرخه‌های فعالیت لکه‌های خورشیدی هماهنگ هستند. میزان تشابه بین دو متغیر در دوره‌های مذکور با توجه به این که در محدوده‌های تاثیر بالاتر از سطح معنی‌داری ۵٪ واقع شده است، بسیار بالاست.



شکل ۹: آنالیز موجک پیوسته حجم سالانه رواناب‌های ورودی به سمت دریاچه ارومیه

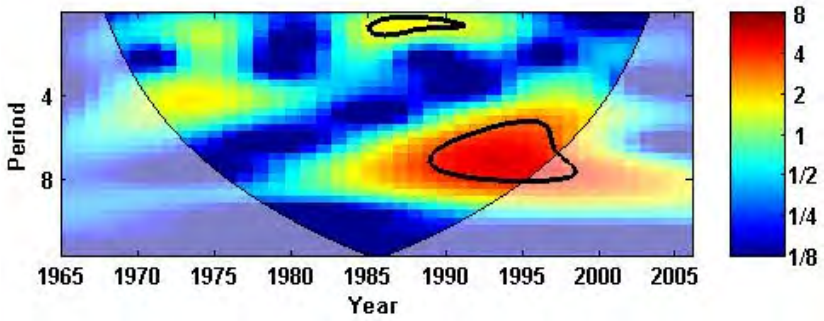
براساس شکل حاصله از آنالیز موجک متقاطع رواناب‌ها و تعداد لکه‌هـای خورشـیدی (شکل۱۰) ویژگی مشترک و ارتباط بین دو متغیر در حوالی چرخه‌های زمـانی ۸ تـا ۱۱ ساله و در محدوده سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۰ آشکارتر مـی‌گـردد. ایـن دو متغیـر در کلیـه بخش‌های دارای همبستگی معنی‌دار، از فاز منفی(همبستگی منفی) برخوردار است.



شکل ۱۰: تبدیل موجک متقاطع بین حجم سالانه رواناب‌های ورودی به دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی

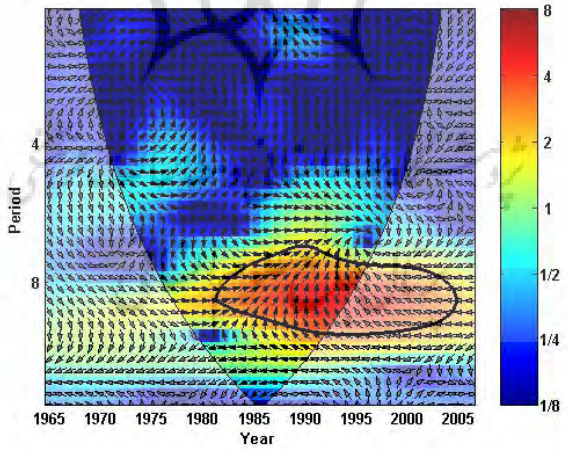
۳-۲-۲-۲- ارتبـاط بـین میـزان تبخیـر سـالانه از سـطح دریاچـه ارومیـه و لکـه‌هـای خورشیدی:

آنالیز موجک پیوسته میزان تبخیر سالانه دریاچه ارومیه در شکل ۱۱ ارائه شده اسـت. ویژگی مشترک و ارتباط معنی دار بین میزان تبخیر سالانه و لکه‌هـای خورشـیدی طـی چرخه‌های زمانی ۶ تا ۸ ساله و ۲ تا ۳ ساله و در محدوده سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۰و ۱۹۹۰-۱۹۸۵ ظاهر می‌گردد.



شکل ۱۱: آنالیز موجک پیوسته میزان تبخیر سالانه از سطح دریاچه ارومیه

شکل ۱۲ آنالیز موجک متقاطع بین دو متغیر را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این آنالیز حاکی از وجود همبستگی معنی‌دار بین میزان تبخیر و تعداد لکه‌های خورشیدی در حوالی چرخه‌های زمانی ۷ تا ۱۱ ساله طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۰ است. بر خلاف تغییرپذیری حجم رواناب‌های دریاچه نسبت به لکه‌های خورشیدی در این جا تغییرپذیری میزان تبخیر از دریاچه نسبت به لکه‌ها از فاز مثبت و یا به عبارت دیگر، از همبستگی مثبت برخوردار است؛ بدین ترتیب که با افزایش فعالیت لکه‌ها طی دوره‌های زمانی ۸ تا ۱۱ ساله بر میزان و شدت تبخیر از سطح دریاچه نیز افزوده می‌شود.



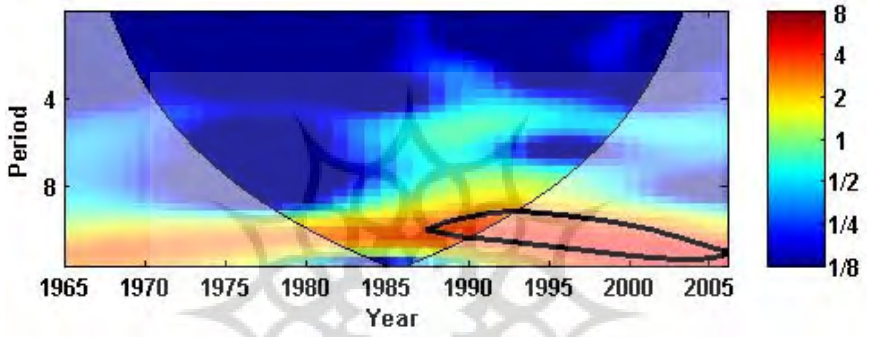
شکل ۱۲: تبدیل موجک متقاطع بین میزان تبخیر سالانه از سطح دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی

۳-۲-۳- ارتباط بین تغییرپذیری ویژگی‌های ژئومورفولوژیک دریاچه ارومیه و تعداد لکه‌های خورشیدی:

بیلان آب در دریاچه ارومیه به طور کلی تحت تاثیر پدیده‌های طبیعی، از قبیل تغییرات اقلیمی و تاثیرات هیدرولوژیک منطقه است. بدیهی است که تغییرپذیری این دو فاکتور که به نوبه خود متاثر از همدیگر و از همه مهمتر متأثر از فعالیت‌های خورشیدی هستند، نهایتاً در نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه منعکس می‌گردد. به عبارت دیگر، نوسان‌های سطح آب دریاچه عمدتاً حاصل تغییرپذیری این دو متغیر است که هرکدام از پارامترهای متعدد دیگر تشکیل شده‌اند. نوسان سطح آب در ویژگی‌های ژئومورفولوژیک دریاچه تاثیر گذاشته، تغییراتی را در برخی از ویژگی‌های بارز آن یعنی در اندازه، شکل و بالاخره مساحت دریاچه (خطوط ساحلی) به وجود می‌آورد. بر همین اساس، می‌توان تغییرات ژئو.مورفولوژیک دریاچه را به عنوان مدل و تصویر ساده‌ای در نظر گرفت که نه تنها نتیجه کلیه این تغییر و تحولات در آن ظاهر می گردد بلکه به سهولت در طبیعت برای همه قابل مشاهده است. ویژگی‌های ژئومورفولوژیک دریاچه ارومیه مدل مصوری از تغییرپذیری آن محسوب می‌گردد. لذا بررسی نحوه تغییرپذیری این ویژگی‌ها و شناسایی عامل اصلی ایجاد کننده تغییرات در آنها، در حقیقت اساس تحقیق حاضر را تشکیل می‌دهد. چرا که این بخش در بر گیرنده و نتیجه کلیه تغییرات و تحولات به وقوع پیوسته در فعالیت‌های خورشیدی، عوامل مؤثر بر نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه و نهایتاً تغییر مساحت دریاچه است. در این جا نیز همانند بخش‌های قبل، برای روشن‌تر شدن این موضوع ارتباط بین مساحت سطح آب دریاچه ارومیه نسبت به لکه‌های خورشیدی بررسی می‌شود.

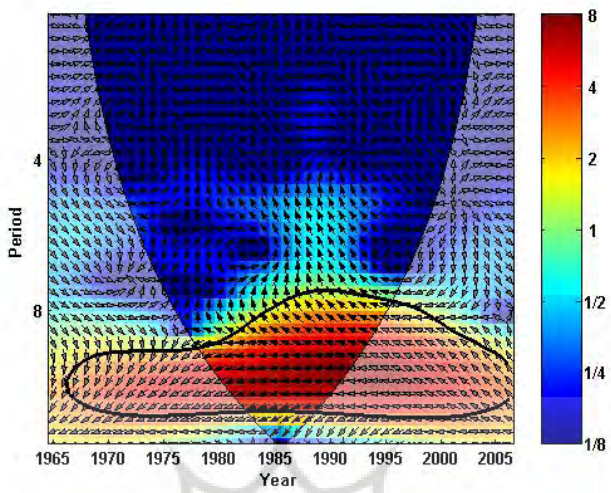
۳-۲-۳-۱- ارتباط بین تغییرپذیری مساحت سطح آب دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی:

شکل۱۳ آنالیز موجک پیوسته از مساحت سطح آب دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد. همان طور که انتظار می‌رفت، ویژگی مشترک (ارتباط) بین مساحت سطح آب دریاچه و لکه‌های خورشیدی در چرخه‌های زمانی ۸ تا ۱۱ ساله و در طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۶ کاملا آشکار و معنی‌دار است.



شکل ۱۳: آنالیز موجک پیوسته مساحت سطح دریاچه ارومیه

آنالیز موجک متقاطع دو متغیر نیز در شکل ۱۴ نمایش داده شده است. نتایج حاصل از این آنالیز نشان دهنده وجود ارتباط و همبستگی قوی بین مساحت سطح آب دریاچه و لکه‌های خورشیدی در چرخه‌های زمانی ۷ تا ۱۱ ساله و در محدوده کلیه سال‌های تحت مطالعه ۲۰۰۶-۱۹۶۵ است. بررسی ارتباط فازی بین دو متغیر نیز مشخص می‌سازد که همبستگی بین این دو متغیر طی چرخه‌های زمانی ۸ تا ۱۱ ساله منفی و معکوس بوده، با افزایش فعالیت لکه‌های خورشیدی به دلیل کاهش میزان آب دریاچه، مساحت سطح آب دریاچه (مساحتی که زیر پوشش آب قرار می‌گیرد) کاهش می‌یابد. این امر به نوبه خود تغییرات در خطوط ساحلی دریاچه را به دنبال دارد.



شکل ۱۴: تبدیل موجک متقاطع بین میزان مساحت سطح دریاچه ارومیه و لکه‌های خورشیدی

۴- بحث و نتیجه گیری

مسأله ارتباط بین نوسان‌های سطح آب و فعالیت لکه‌های خورشیدی در بسیاری از دریاچه‌های جهان مشاهده شده است. شواهد و مدارک ثبت شده از ارتباط بین چرخه لکه‌های خورشیدی و فاکتورهای مؤثر در نوسان سطح آب دریاچه‌ها، از قبیل مقادیر بارش و درجه حرارت در نقاط مختلف جهان به نتایج متفاوتی اشاره دارند؛ به طوری که در برخی نواحی این ارتباط مثبت و در نواحی دیگر منفی و حتی خنثی است (سلینجر و همکاران[۳۳]، ۲۰۰۷).

در این بررسی نیز با استفاده از روش‌های آنالیز موجک پیوسته، آنالیز متقاطع و داده‌های دراز مدت دریاچه ارومیه تغییرپذیری نوسان سالانه سطح آب دریاچه و همچنین متغیرهای شاخص مؤثر در این نوسان، از قبیل بارش و درجه حرارت به عنوان فاکتورهای

33 - Sellinger

اقلیمی، تبخیر و حجم رواناب‌ها به عنوان فاکتورهای هیدرولوژیک و نوسان وسعت و مساحت سطح آب دریاچه ارومیه به عنوان فاکتور ژئومورفولوژیک، در ارتباط با لکه‌های خورشیدی مطالعه شد.

بر اساس نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها، مشخص گردید سطح آب دریاچه ارومیه دارای نوسان‌های چرخه‌ای منفی و معنی دار کاملا آشکار طی چرخه‌های ۴ تا ۶ و ۸ تا ۱۱ساله می باشد که با فعالیت چرخه‌ای لکه‌های خورشیدی هم آهنگ هستند. لکه‌های خورشیدی دارای فعالیت‌های چرخه‌ای مشخص طی دوره‌های ۵، ۸، ۱۱ و ۲۲ ساله هستند. لذا تاثیرگذاری فعالیت لکه‌ها در نوسان‌های سطح آب دریاچه نیز عمدتاً در دوره‌های زمانی مشابه یعنی دوره‌های ۴ تا ۶ و ۸ تا ۱۱ ساله آشکار می‌گردد.

با استفاده از آنالیز موجک متقاطع، شناخت بیشتری از ارتباط بین دو متغیر و چگونگی این همبستگی فراهم گردید. نتایج حاصل از این تحلیل بخوبی نشان داد که ارتباط و همبستگی منفی معنی‌داری بین لکه‌ها و نوسان‌های سطح آب دریاچه وجود دارد. این نتایج همچنین نشان دادند که کاهش قابل ملاحظه سطح آب دریاچه، عمدتا در چرخه‌های زمانی اصلی ۸ تا ۱۱ ساله و چرخه‌های فرعی ۴ تا ۶ ساله اتفاق می افتند که همزمان با افزایش فعالیت لکه‌های خورشیدی هستند. نتایج به دست آمده از بررسی ارتباط بین تک تک متغیرهای مؤثر در نوسان سطح آب دریاچه ارومیه نسبت به فعالیت لکه‌ها، نیز وجود این ارتباط را هر چه بیشتر تایید می‌کنند؛ بدین مفهوم که با توجه به همبستگی منفی بین نوسان‌های سطح آب دریاچه و لکه‌ها انتظار می‌رفت که متغیرهای شاخص و مؤثر در نوسان سطح آب دریاچه نیز مطابق و متناسب با این نتیجه باشند. لذا ارزیابی این متغیرها نشان داد که در دوره‌های حداکثر فعالیت لکه‌های خورشیدی (دوره ۸ تا ۱۱ ساله) میزان درجه حرارت هوا در این دریاچه افزایش می‌یابد. بر اساس این واقعیت که درجه حرارت هوا نقش اساسی در میزان تبخیر ایفا می‌کند، لذا در پی افزایش درجه حرارت هوا دریاچه ارومیه طی چرخه‌های زمانی ۸ تا ۱۱ ساله بر میزان تبخیر از سطح آب آن نیز در همین دوره‌ها افزوده می شود، در حالی که، سایر فاکتورهای مؤثر

بر نوسان‌های دریاچه که شامل بارش و حجم رواناب‌های ورودی و وسعت و مساحت سطح دریاچه است، در همین دوره‌های زمانی مشابه، کاهش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. نتایج بررسی تغییرات درجه حرارت ، بارش‌ها، حجم رواناب‌ها و مساحت دریاچه در ارتباط با لکه‌ها نتیجه فوق را تایید می کنند.

نتایج به دست آمده مشخص می کنند که فعالیت لکه‌های خورشیدی با کنترل متغیرهای متعدد اقلیمی، هیدرولوژیک و نهایتا ژئومورفولوژیک، احتمالا مهمترین فاکتور طبیعی عمده در هدایت و کنترل بیلان آب دریاچه ارومیه محسوب می‌شود. به این ترتیب، می‌توان با استفاده از فعالیت‌های چرخه ای معین و مشخص آن در جهت شناخت، پیش‌بینی و مدیریت هر چه بهتر نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه بهره برداری نمود.

منابع

۱- جهانبخش، سعید و معصومه عدالت دوست. (۱۳۸۷). «تاثیر فعالیت‌های خورشیدی بر تغییرات بارندگی‌های سالانه ایران»، **فصلنامه تحقیقات جغرافیایی**، سال بیست و سوم، ش ۱.

۲- علیزاده، امین. (۱۳۸۰) **اصول هیدرولوژی کاربردی**، انتشارات آستان قدس رضوی.

۳- موحد دانش، علی اصغر. (۱۳۸۲) **هیدرولوژی آب‌های سطحی ایران**، انتشارات سمت.

4- Almeida A., Gusev A., Mello M.G.S., Martin I.M., Pugacheva G., Pankov V.M., Spjeldvik W.N., and Schuch N.J. (2004): Rainfall cycles with bidecadal period in Brazilian region , Geofisica International , vol.43,No.2, pp.271-279.

5- Araya E., Bonatti J. and Fernandez W. (2000): Solar activity and climate in Central America, Geofisica International, vol.39, No.1, pp.97-101.

6- Beer J., Mender W., Stellmacher R. (2000): The Role of the Sun in Climate Forcing, (QSR) Quaternary Science Reviews 19, 403-415.

7- Coughlin K. and Tung K.K. (2004): Eleven-Year Solar Cycle signal throughout the lower atmosphere, J.Geophysical Research, vol.109, D21105, published 6 November,USA.

8- Coughlin K. and Tung K.K. (2003): 11-year solar cycle in the stratosphere extracted by the empirical mode decomposition method, Advances in Space Research 34,323-329,published by Elsevier Ltd.

9- Gleisner H. and Thejll P. (2003): Patterns of Tropospheric response to solar variability, Geophysical Research Letters, vol.30, 13-1711.

10- Grinsted, A., Moore, J.C., and Jevrejeva, S., (2004): Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series, Nonlinear Processes in Geophysics, 11:561-566.

11- Ghaheri, M., Baghal-Vayjooee, M.H., and Naziri, J.,(1999): Lake Urmia, Iran: A summary review, International Journal of Salt Lake Research, 8: 19-22, Kulwer Academic Publishere, printed in the Netherlands.

12- Hiremath K.M. (2006): The influence of solar Activity on the Rainfall over India: Cycle-to-Cycle Variations, J.Astrophys.Astr.27, 367-372.

13- Hoyt, D.V. and Schatten, k., (1997): The role of the sun in climate change, Oxford University Press.
14- Jacobi C. (1998): On the Solar Cycle dependence of winds and planetary wares as seen from mid-latitud D1 LF mesopause region wind measurements, Ann.Geophysica 16, 1534-1543, EGS-Springer-Verlag 1998.
15- Krivova N.A. and Solanki S.K. (2002): The 1.3-year and 156-day periodicities in sunspot data: wavelet analysis suggests a common origin, A&A 394,701-706.
16- Kumar, P., and Foufoula-Georgiou, E., (1997): Wavelet analysis for geophysical applications, Ameroican Geophysical Union, 35(4):385-412.
17- Keisser, K., davrath, LR. And Akselrod, S., (2008): wavelet transform coherence estimates in cardiovascular analysis: Error analysis and feasibility study, Computers in cardiology, 35:461-464.
18- kadioglu, M., Sen, Z., and Batur, M.,(1997): The great test soda-water lake in the world and how it is influenced by climatic change, Ann Geophysicae 15, 1489-1497, Springer Verlag.
19- Landscheidt T. (2007): Solar Activity: a dominant factor in climate dynamics, Nova Scotia, Canada.
20- Labitzke, K., and Van Loon, H., (1993): Some recent studies of probable connections between solar and atmospheric variability, Annales Geophysicae, 11, 1084-1094.
21- Labitzke K. (2001): The global signal of the 11-yaer sunspot cycle in the stratosphere: Differences between solar maxima and minima, Meteorological Zeitschrift, vol.10, No.2, 83-90.
22- Li, C.H., Yang,Z.F., Huang, G.H., and Li, Y.P.,(2009): Identification of relationship between sunspots and natural runoff in the Yellow River based on discrete wavelet analysis, Expert Systems with Applications, 36, PP: 3309-3318, Elsevier Ltd.
23- Lassen, K., and Friis-Christensen, E., (1995): Variability of the solar cycle length during the past five centuries and the apparent association with terrestrial climate, J. Atmos. Sol. Terr. Phys., 835.
24-Moore, J., Grinsted, A., and Jevrejeva, S., (2006): Is there evidence of sunspot forcing of climate of multi-year and decadal periods?, Geophyysical Research Letters, Vol.33.
25- Ruzmaikin, A., feyman, J., and Yang, Y., (2006): Does the Nile reflect solar variability? Proceedings Solar Activity and its Magnetic Origin, Proceeding IAU Symposium, No.233, international Astronomical union.
26- Schmidt H. and Brasseur G.P. (2006): The Response of Middle Atmosphere to Solar Cycle Forcing in the Hamburg Model of the Neutral and ionized Atmosphere , Space Science Reviews 1-12, printed in the Netherlands.
27- Sellinger, C.A., Stow, C.A., Lamon, E.C., and Qian, S.S., (2007): Recent water level declines in the Lake Michigan-Huron system, Environ, Sci, technol, XXXX American Chemical Society.
28- Tsiropoula G. (2003): Signatures of Solar Activity Variability in Meteorological Parameters, J. Atmospheric and Solar – Terrestrial Physics 65, 469-482, Elsevier Science Ltd.
29- Torrence, C., Compo, G.P., (1998): A practical guide to wavelet analysis, Bull, AM.Meteorol.Soc. 79, PP: 61-78.
30- Xiao, S., Li, A., Liu, J.P., Chen, M., Xie, Q., Jiang, F., Li, T., Xiang, R., and Chen, Z.,(2006): Coherence between solar activity and the East Asian winter monsoon variability in the past 8000 years from Yangtze River- derived mud in the East China Sea, Palaeogeography, Palaeoclimatology, palaeoecology, 237, PP: 293-304.
31- Yousef, S.M.,(2000): The solar Wolf-Gleissberg cycle and its influence in the earth, The International Conference for Environmental Hazards Mitigation ICEHM2000, Cario University, Sept2000,PP: 267-293.
32- Zhao, J., Han, Y.B., Li, Z.A., (2004): The Effect of Solar Activity on the Annual Precipitation in the Beijing Area, China, J. Astron. Astrophys, vol.4, No.2,180-197.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی