# بررسی روابط شاخص نوسان جنوبی و دمای سطح آب اقیانوس‌های آرام و هند با بارش فصلی و ماهانه ایران

ربانه روغنی، سعید سلطانی* و حسین بشری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۱۸)

## چکیده

**شاخص نوسان جنوبی (Southern Oscillation Index, SOI) و الگوهای دمای سطح آب اقیانوس (Sea Surface Temperature, SST) بر بارش بسیاری از مناطق جهان تأثیرگذار است. در این پژوهش، روابط میان بارش ماهانه و فصلی ایران با SOI و SST اقیانوس‌های آرام و هند بررسی شد. برای این منظور، از داده‌های ماهانه بارش ۵۰ ایستگاه سینوپتیک در ایران استفاده شد. به کمک نرم‌افزار Rainman سری فصلی و ماهانه بارش هر ایستگاه با چهار روش (میانگین SOI، فازهای SOI، فازهای SST اقیانوس آرام و فازهای SST اقیانوس هند) با در نظر گرفتن زمان‌پیشی (Lead-time) صفر الی سه ماه، به گروه‌های مختلف تقسیم گردید و اختلافات میان گروه‌های بارش به کمک آزمون‌های آماری ناپارامتری کروسکال- والیس و کلموگروف- اسمیرنف تحلیل شد. صحت استفاده از روابط معنی‌دار در پیش‌بینی احتمالی بارش ایران به کمک آزمون LEPS (Linear Error in Probability Space) برآورد شد. نتایج نشان داد که شاخص SOI در فصل تابستان (ژوئیه - سپتامبر) به‌طور غیرهمزمان با بارش‌های ماه اکتبر (مهر) و پائیزه (اکتبر- دسامبر) در نواحی غرب و شمال‌غرب ایران و سواحل غربی دریای خزر رابطه معنی‌دار و پایداری دارد. به‌طوری‌که فازهای النینو (منفی) و لانینا (مثبت) اغلب به‌ترتیب با افزایش و کاهش بارش در این نواحی همراه هستند. استفاده از میانگین SOI جهت پیش‌بینی بارش نواحی ذکر شده مناسب است، اما الگوهای SST اقیانوس‌های آرام و هند به‌دلیل رابطه ضعیف با بارش ایران و یا ناپایداری روابط، جهت پیش‌بینی بارش‌های ایران مناسب به نظر نمی‌رسند. بنابراین به دلیل این‌که بارش‌های ایران در تمامی فصول تنها در ارتباط با شاخص SOI و SST اقیانوس‌های آرام و هند نمی‌باشند، نرم‌افزار Rainman به عنوان ابزاری جامع برای مدیریت منابع آب ایران در کلیه فصول سال به شمار نمی‌آید. پیشنهاد می‌شود تأثیر دور سایر نوسانات اقیانوسی- اتمسفری با بارش ایران بررسی شود و براساس شاخص‌های نوسانات مؤثر بر بارش ایران، مدلی شبیه Rainman برای پیش‌بینی بارش ایران تهیه شود.**

**واژه‌های کلیدی: پدیده انسو، شاخص نوسان جنوبی، دمای سطح آب، Rainman**

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ssoltani@cc.iut.ac.ir



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]

**مقدمه**

در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران تغییرپذیری زمانی و مکانی بارش بسیار بالاست (۱۶). بنابراین شناخت عوامل مؤثر بر بارش ایران اهمیت ویژه‌ای دارد. در صورت آگاهی صحیح از عوامل تأثیرگذار بر بارش ایران، می‌توان صحت پیش‌بینی‌های بارش را افزایش داد و متعاقباً مدیریت ریسک در زمینه‌های کشاورزی، مرتعداری و منابع آب را بهبود بخشید (۱۳، ۴۳ و ۴۴). نوسانات اقیانوسی- اتمسفری، مانند پدیده النینو نوسان جنوبی (انسو)، به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر بارش شناخته شده است (۹، ۲۰، ۲۷ و ۳۷). انسو حاصل گرم و سردشدن دوره‌ای دمای سطح آب اقیانوس آرام جنوبی در ناحیه حاره است؛ که براساس گرادیان فشار سطح آب و یا انحراف میانگین دمای سطح آب در امتداد شرقی- غربی ناحیه اقیانوس آرام جنوبی دارای فازهای مختلفی است (۶ و ۴۲). سه فاز النینو (گرم)، خنثی و لانینا (سرد) از اصلی‌ترین فازهای انسو است. این فازها به کمک شاخص‌های مربوط به پدیده انسو مانند شاخص نوسان جنوبی (Southern Oscillation Index, SOI) و یا دمای سطح آب (Sea Surface Temperature, SST) ناحیه اقیانوس آرام قابل تشخیص است (۳۲). پدیده انسو، علاوه بر اقلیم حوزه آرام مرکزی بر بارش دیگر مناطق جهان تأثیرگذار بوده است. روپلوسکی و هالپرت (۳۵) نشان دادند که بارش مناطقی از استرالیا، جنوب و شمال آمریکا، شبه قاره هند، آفریقا و آمریکای مرکزی با پدیده انسو همبستگی معنی‌داری دارد. البته نحوه تأثیر این پدیده بر بارش تمام مناطق مذکور یکسان نبوده است (۳۶).

دائویی و شائوو (۱۴) ارتباط میان بارندگی جهان و پدیده انسو را براساس آزمون مربع کای مورد تحلیل قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که مقادیر متوسط سالانه بارش جهان به هنگام النینو به‌طور معنی‌داری کاهش، و به هنگام لانینا افزایش یافته است. ارتباط پدیده انسو و بارش بعضی از مناطق واقع در نیمکره شمالی معنی‌دار و معمولاً با تأخیر زمانی همراه بوده است (۳۵). در نپال، میان بارش مونسون و شاخص SOI ارتباط مستقیم و معنی‌داری مشاهده شد؛ به‌طوری‌که این بارش‌ها در فازهای النینو و لانینا به‌ترتیب کاهش و افزایش یافته است (۳۸). با این‌حال، در ترکیه، ارتباط معکوسی میان فازهای پدیده انسو و دوره‌های مرطوب مناطق شرق و غرب آناتولی گزارش شده است (۲۵). بنابراین پدیده انسو بر بارش هر منطقه تأثیر متفاوتی دارد و لازم است تأثیر این پدیده در هر منطقه بررسی شود. تاکنون، مطالعاتی نیز به همبستگی شاخص SOI و بارش‌های ایران در مقیاس‌های زمانی متفاوت اشاره کرده‌اند. در مقیاس زمانی ماهانه، همبستگی میان بارش‌های ماه اکتبر (مهر) ایران و شاخص SOI به‌صورت غیرهمزمان معنی‌دار بوده است (۱ و ۳). اما این ارتباطات در مقیاس زمانی فصلی بیشتر مورد توجه محققین بوده است. ناظم‌السادات و کوردری (۳۰) همبستگی متوالی میان بارندگی پائیزه ایران و شاخص SOI را ارزیابی نمودند و به این نتیجه رسیدند که بارش‌های پائیزه مناطق دامنه جنوبی البرز، شمال‌غربی و مرکزی ایران به هنگام فازهای النینو و لانینا تابستانه به‌ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد.

ناظم‌السادات و قاسمی (۳۱) با بررسی صدک‌های بارش در فازهای مختلف انسو نشان دادند که طی فازهای النینو شدت و احتمال وقوع خشک‌سالی پائیزه نسبت به فاز خنثی به‌ویژه در بخش‌های جنوبی ایران کاهش می‌یابد. دزفولی و همکاران (۱۵) همبستگی معنی‌دار و منفی میان بارش‌های پائیزه جنوب‌غربی ایران و شاخص SOI را نشان داده‌اند. تمامی مطالعات انجام گرفته به ارتباط منفی میان بارش‌های پائیزه بعضی از مناطق ایران و شاخص SOI اشاره داشته‌اند. اما این ارتباط در فصل زمستان دچار تغییر شده و بر خلاف پائیز، روابط مستقیمی میان بارش زمستانه و SOI برقرار می‌شود (۵، ۱۵ و ۳۱). در برخی مطالعات، استفاده از شاخص SOI برای پیش‌بینی بارش‌های پائیزه ایران پیشنهاد شده است (۷ و ۳۰). اما براساس نتایج مطالعه رضئی و همکاران (۳۴) میان خشک‌سالی هواشناسی مناطق غرب ایران و فازهای النینو و لانینا ارتباط مشخصی وجود ندارد. بنابراین لازم است وجود این روابط با استفاده از داده‌های طولانی مدت‌تر و با به‌کارگیری روش‌های آماری



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]

متفاوت مورد بررسی بیشتری قرار گیرد. هم‌چنین صحت پیش‌بینی‌های بارش انجام گرفته براساس روابط معنی‌دار میان انسو و بارش‌های ایران ارزیابی شود. در مطالعات انجام گرفته، تنها شاخص SOI را در فازهای النینو، خنثی و لانینا طبقه‌بندی نموده و ارتباط این سه فاز با بارش ایران بررسی شده است. استون و آئلیسمیز (۳۹) با به‌کارگیری آنالیز خوشه‌ای روی داده‌های دو ماه متوالی SOI روش دیگری جهت طبقه‌بندی این شاخص ارائه نموده‌اند. در این روش، شاخص SOI در پنج فاز (صعودی، مثبت، خنثی، منفی و نزولی) طبقه‌بندی می‌شود. جهت مطالعه بیشتر می‌توان ارتباط فازهای پنج‌گانه SOI با بارش ایران را نیز بررسی نمود و هم‌چنین از دیگر شاخص‌های معرف پدیده انسو مانند دمای سطح آب اقیانوس (SST) آرام نیز بهره گرفت. برای این منظور نرم‌افزار Rainman (۱۱) می‌تواند مفید باشد.

نرم‌افزار Rainman در استرالیا به علت ارتباط قوی اقلیم استرالیا و انسو، تهیه شده است. در این نرم‌افزار، با توجه به روابط معنی‌دار پدیده انسو و اقلیم استرالیا و یا هر منطقه دیگر از جهان، پیش‌بینی‌های احتمالی بارش و یا جریان رودخانه ارائه می‌شود. استفاده از این پیش‌بینی‌ها در جهت بهبود مدیریت کشاورزی، دامداری و منابع آب در کشورهای استرالیا، هند، اندونزی و زیمبابوه مفید بوده است (۱۰). با توجه به مطالب ذکر شده مطالعه حاضر با اهداف زیر انجام گرفت:

الف) بررسی بیشتر ارتباط پدیده انسو و بارش‌های ماهانه و فصلی ایران: برای این منظور از داده‌های طولانی مدت‌تر بارش و آزمون‌های آماری متفاوت بهره گرفته شد. هم‌چنین این ارتباط به روش‌های مختلف (میانگین SOI، فازهای پنج‌گانه SOI و فازهای SST اقیانوس‌های آرام و هند) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ب) بررسی صحت پیش‌بینی‌های بارش انجام گرفته براساس روابط معنی‌دار پدیده انسو و بارش: پس از آزمون صحت، می‌توان مناطقی از ایران که بارش ماهانه و یا فصلی آنها تحت تأثیر احتمالی پدیده انسو قرار دارند را مشخص نمود. ج) ارزیابی قابلیت نرم‌افزار Rainman در تخمین میزان احتمالی بارش ایران و استفاده از آن در جهت بهبود مدیریت کشاورزی و منابع طبیعی.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

کشور ایران با مساحت ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع در جنوب غربی آسیا و تقریباً میان عرض‌های جغرافیایی ۴۰-۲۵ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۶۴-۴۴ درجه شرقی واقع شده است (۴ و ۲۹). متوسط بارش سالانه آن ۲۶۰ میلی‌متر (۲۸) و ضریب تغییرات آن از ۱۸٪ در شمال تا ۷۵٪ در جنوب‌شرقی متغیر است (۱۶). البرز و زاگرس دو رشته کوه مهم ایران، به‌ترتیب در امتداد شمال‌غربی- شمال‌شرقی و شمال‌غربی- جنوب‌شرقی گسترش یافته و نقش مهمی در توزیع غیریکنواخت بارش در کل کشور ایفا می‌کنند. در نیمه شرقی ایران، اراضی بایر دشت کویر و دشت لوت، با وسعت بیش از نیمی از کشور، مستعدترین منطقه از لحاظ خشک‌سالی محسوب می‌شوند (۱۹و ۲۴) (شکل ۱). اقلیم ایران، به استثنای اراضی ساحلی شمالی و بخش‌های غرب کشور، خشک و نیمه‌خشک است (۳۴). الگوهای بارش ایران به واسطه سیستم‌های بادهای مختلف (۸، ۲۱ و ۲۶) و وجود دو رشته کوه البرز و زاگرس بسیار پیچیده است. توزیع مکانی میانه بارش در فصول مختلف در شکل ۲ نمایش داده شده است. در زمستان، پائیز، بهار و تابستان به‌ترتیب متوسط میانه بارش در ایران ۱۲۲، ۱۱۲، ۵۵ و ۳۲ میلی‌متر می‌باشد. به‌طور کلی، ۷۰ درصد بارش کشور در فصول پاییز (اکتبر- دسامبر) و زمستان (ژانویه-مارس) رخ می‌دهد. در این هنگام، مناطق شمالی، جنوب‌غربی و غرب کشور نسبت به مناطق مرکزی، شرقی و جنوب‌شرق بارش بیشتری دریافت می‌کنند (شکل‌های ۲- الف و ب). در بهار (آوریل- ژوئن) میزان بارش در نیمه جنوبی ایران نسبت به نیمه شمالی کمتر است (شکل ۲- ج). هنگام تابستان، کل ایران به جز سواحل دریای خزر کاملاً خشک است (شکل ۲- د).



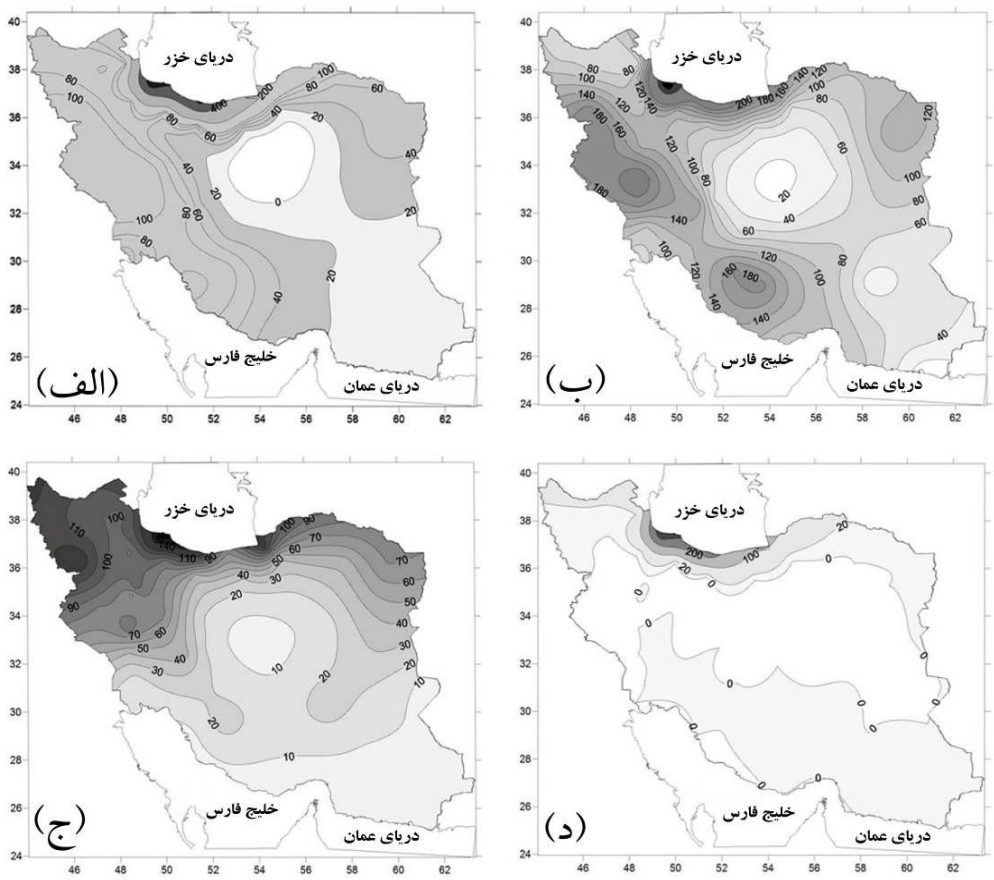
[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]




۱- اراک (۵۳)
۲-اردبیل (۳۰)
۳-ارومیه (۵۶)
۴-اصفهان (۵۷)
۵-اهواز (۵۳)
۶- ایرانشهر (۴۳)
۷- آبادان (۵۷)
۸- آباده (۳۱)
۹- بابلسر (۵۷)
۱۰- بجنورد (۳۰)
۱۱- بم (۵۱)
۱۲- بندرانزلی (۵۷)
۱۳- بندرعباس (۵۱)
۱۴- بندرلنگه (۴۲)
۱۵- بوشهر (۵۶)
۱۶- بیرجند (۵۲)
۱۷- تبریز (۵۷)
۱۸- تربت حیدریه (۴۸)
۱۹- تهران مهرآباد (۵۷)
۲۰- جاسک (۳۳)
۲۱- جزیره کیش (۳۱)
۲۲- چابهار (۴۲)
۲۳- خرم آباد (۵۵)
۲۴- خوی (۴۷)
۲۵- دزفول (۴۴)
۲۶- رامسر (۵۲)
۲۷- رشت (۵۲)
۲۸- زابل (۴۵)
۲۹- زاهدان (۵۵)
۳۰- زنجان (۵۲)
۳۱- سبزوار (۵۳)
۳۲- سقز (۴۶)
۳۳- سمنان (۴۳)
۳۴- سنندج (۴۸)
۳۵- شاهرود (۵۷)
۳۶- شرق‌اصفهان (۳۱)
۳۷- شهرکرد (۵۲)
۳۸- شیراز (۵۶)
۳۹- طبس (۴۲)
۴۰- فسا (۴۰)
۴۱- قزوین (۴۹)
۴۲- کاشان (۴۲)
۴۳- کرمان (۵۷)
۴۴- کرمانشاه (۵۶)
۴۵- گرگان (۵۵)
۴۶- مشهد (۵۷)
۴۷- نوشهر (۳۱)
۴۸- همدان‌فرودگاه (۳۱)
۴۹- همدان نوژه (۵۵)
۵۰- یزد (۵۵)

**شکل۱. نام، موقعیت و طول دوره آماری ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه، اعداد داخل پرانتز طول دوره آماری (سال) استفاده شده تا سال ۲۰۰۷ را نشان می‌دهد.**




**شکل۲. توزیع مکانی میانه بارندگی فصل (الف) پائیز، (ب) زمستان، (ج) بهار و (د) تابستان در ایران**



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]

**داده‌های مورد استفاده**

**داده‌های بارش**

داده‌های ماهانه بارندگی ۵۰ ایستگاه سینوپتیک در ایران با حداقل ۳۰ سال طول دوره آماری تا سال ۲۰۰۷ استفاده شد. این داده‌ها از سازمان هواشناسی ایران (۴۷) تهیه گردید. موقعیت، نام و طول دوره آماری ایستگاه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به این‌که میزان داده‌های بارندگی مفقود در این ایستگاه‌ها بسیار اندک بود، تجزیه و تحلیل‌ها تنها براساس داده‌های بارندگی موجود (صرف نظر از داده‌های مفقوده) انجام گرفت. آزمون تابع خود همبستگی (Autocorrelation Function, ACF) نشان داد که ضریب خودهمبستگی در تمامی ایستگاه‌ها، حدود اطمینان در هر سطح معنی‌دار مورد نظر را قطع نمی‌کند. بنابراین تصادفی بودن داده‌های بارش تأیید شد. با کمک آزمون ران تست (Run Test)، همگنی داده‌های بارش بررسی گردید. داده‌ها در تمامی ایستگاه‌ها همگن بودند. سری‌های سه‌ماهه بارندگی (ژانویه/فوریه/مارس)، (آوریل/می/ژوئن)، (ژوئیه/اوت/سپتامبر) و (اکتبر/نوامبر/دسامبر) به‌ترتیب به عنوان سری فصلی زمستان، بهار، تابستان و پاییز در نظر گرفته شد.

**شاخص نوسان جنوبی (SOI)**

در این مطالعه، SOI به عنوان یکی از شاخص‌های معرف پدیده انسو استفاده شد. این شاخص اختلاف استاندارد شده فشار هوای سطح آب در تاهیتی (واقع در نواحی مرکزی اقیانوس آرام) و داروین (واقع در شمال استرالیا) می‌باشد. مقادیر ماهانه SOI (۲۰۰۷-۱۹۵۰) از سایت هواشناسی استرالیا (۴۵) اخذ شد و طی دو روش «میانگین SOI» و «فازهای پنج‌گانه SOI» به گروه‌های مختلف طبقه‌بندی گردید:

الف) میانگین SOI: مقادیر ماهانه SOI در سه گروه کمتر از ۵- (النینو)، بین ۵- و ۵+ (خنثی) و بیش از ۵+ (لانینا) طبقه‌بندی شد. ب) فازهای پنج‌گانه SOI: براساس مطالعه استون و آئلیسمیز (۳۹) و با توجه به مقادیر SOI هر ماه و ماه قبل آن و به‌کارگیری آنالیز خوشه‌ای، شاخص ماهانه SOI در پنج فاز نزولی (Falling)، منفی(Negative)، خنثی (Zero)، مثبت (Positive) و صعودی (Rising) طبقه‌بندی شد. شکل ۳ حدود مرزی این فازهای براساس مقادیر SOI هر ماه (محور عمودی) و ماه قبل آن (محور افقی) را نشان می‌دهد. در این مطالعه، فازهای پنج‌گانه SOI در دوره زمانی (۲۰۰۷-۱۹۵۱) به کمک ابزاری در نرم‌افزار Rainman تشخیص داده شد.

**شاخص دمای سطح آب اقیانوس آرام ($SST_1$) و اقیانوس هند ($SST_2$)**

از دیگر شاخص‌های مربوط به پدیده انسو، دمای سطح آب اقیانوس آرام ($SST_1$) و اقیانوس هند ($SST_2$) در محدوده جغرافیایی ۵۵°S تا ۶۰°N و ۶۰°W تا ۳۰°E می‌باشد (۱۸). مقادیر ماهانه این شاخص‌ها از سایت هواشناسی استرالیا (۴۶) اخذ گردید. در این مطالعه، براساس نتایج دروسدوسکی (۱۷)، مقادیر $SST_1$ و $SST_2$ هر کدام در سه گروه: گرم‌تر از معمول (SST > ۰/۴۱۴)، نرمال و یا نزدیک به نرمال (۰/۳۹۴<SST<۰/۴۱۴-) و سردتر از معمول (SST<-۰/۳۹۴) طبقه‌بندی شد.

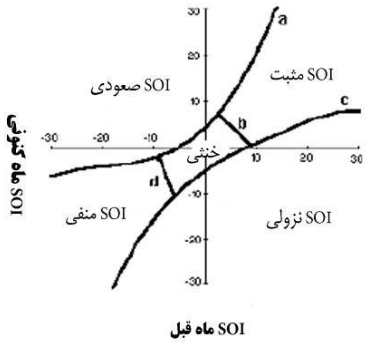
**روش مطالعه**

ارتباط میان بارندگی هر ماه (و یا هر فصل) در ایستگاه‌ها با مقادیر میانگین SOI، فازهای پنج‌گانه SOI، فازهای SST اقیانوس آرام و اقیانوس هند در حالات همزمان و غیرهمزمان با دوره بارندگی بررسی شد. ارتباط همزمان تنها در روش میانگین SOI قابل بررسی بود. مطالعه ارتباطات غیرهمزمان با اعمال زمان‌پیشی (Lead-time) صفر الی سه ماه انجام گرفت. زمان‌پیشی در واقع، اختلاف زمانی میان پایان دوره SOI (یا SST) با آغاز دوره بارندگی است. برای این منظور، با درنظر گرفتن زمان‌پیشی معین، سری ماهانه و یا فصلی بارندگی ایستگاه‌ها در چهار روش زیر به گروه‌های مختلف تقسیم شد: الف) روش میانگین SOI: با توجه به مقدار میانگین SOI، سری



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]




**شکل ۳. حدود فازهای پنج‌گانه SOI (۳۹)**

زمانی بارندگی در سه گروه النینو، خنثی و لانینا طبقه‌بندی شد. ب) روش فازهای پنج‌گانه SOI: با توجه به فازهای SOI، سری زمانی بارندگی در پنج گروه با فاز SOI نزولی، منفی، خنثی، مثبت و صعودی طبقه‌بندی شد. ج و د) روش فازهای SST اقیانوس آرام (هند): با توجه به مقادیر $SST_1$ ($SST_2$)، سری زمانی بارندگی در سه گروه سرد، خنثی و گرم طبقه‌بندی شد. در هر روش پس از گروه‌بندی سری زمانی بارندگی، اختلافات توزیع آماری گروه‌های بارندگی به کمک آزمون‌های ناپارامتری کروسکال- والیس (Kruskal- Wallis, KW) مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس، در صورت وجود اختلاف آماری معنی‌دار، با استفاده از نتایج آزمون کلموگروف- اسمیرنف ( Kolmogorov Smirnov, KS) گروه‌های بارندگی با توزیع آماری متفاوت شناسایی شد. کنور (۱۲)، جزئیات محاسبه آماری مقادیر احتمال KW و KS را شرح داده است. سطح معنی‌داری مقادیر احتمال KW و KS، ۰/۹ در نظر گرفته شد.

در هر روش، تغییرات بارندگی گروه متفاوت، با تحلیل مقادیر درصد احتمال میانه بارندگی بررسی شد. در گروه‌هایی که مقادیر احتمال میانه بارندگی بیشتر از ۵۰ درصد باشد، بارندگی افزایش یافته است. درحالی‌که مقادیر احتمال میانه کمتر از ۵۰ درصد، کاهش بارندگی در هرگروه را نشان می‌دهد. در نهایت، صحت پیش‌بینی احتمالی بارش براساس توزیع احتمال گروه‌های معنی‌دار، به کمک آزمون LEPS برآورد گردید. نحوه محاسبه امتیاز LEPS برای ارزیابی صحت پیش‌بینی‌ها توسط فولاند و همکاران (۲۰) و پتز و همکاران (۳۳) معرفی شده است. در این آزمون ابتدا نماد S برای هر سال محاسبه می‌شود (رابطه ۱). نماد S، در واقع فاصله مکانی توابع توزیع تجمعی مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهدات است که به عنوان خطای پیش‌بینی در نظر گرفته می‌شود. هنگامی‌که اختلاف زیادی بین این دو باشد، امتیاز LEPS کاهش می‌یابد.

$$S = ۳(۱-\left|P_f - P_v\right| + P_f^{۲} - P_f + P_v^{۲} - P_v) - ۱ \qquad [۱]$$

$P_f$ میزان احتمال بارندگی پیش‌بینی شده است. میانه بارندگی در گروه موردنظر (برای مثال النینو) به عنوان بارندگی پیش‌بینی شده در نظر گرفته می‌شود؛ سپس با توجه به توزیع احتمال در کل سال‌های بارندگی، احتمال وقوع این میزان بارندگی (میانه) به عنوان $P_f$ محاسبه می‌شود. $P_v$ میزان احتمال بارندگی واقعی است. برای محاسبه $P_v$ احتمال وقوع میزان بارندگی مشاهده شده در هر سال با توجه به توزیع احتمالی کل سری زمانی بارندگی محاسبه می‌شود. امتیاز LEPS از رابطه ۲ به‌دست می‌آید:

$$SK = \frac{\sum ۱۰۰S}{\sum S_m} \qquad [۲]$$

SK امتیاز LEPS است. $S_m$ همانند نماد S برای حالتی فرضی $P_v=P_f$ محاسبه می‌شود. امتیازات LEPS بیش از ۷/۶ در سطح ۰/۹ معنی‌دار است. (۲۰ و ۳۳). یعنی در صورتی‌که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه یک منطقه، امتیاز LEPS کمتر از ۷/۶ باشد، استفاده از روابط SOI (یا SST) و بارندگی جهت



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]

پیش‌بینی احتمالی بارندگی این منطقه و یا حتی یک ایستگاه آن، پیشنهاد نمی‌گردد. در تحقیق حاضر، داده‌های بارندگی ماهانه ایستگاه‌ها وارد نرم‌افزار Rainman گردید و نتایج آماری (مقادیر احتمال KW، KS، درصد احتمال میانه بارندگی و امتیاز LEPS) هر یک از روش‌ها به کمک این نرم‌افزار به‌دست آمد. سپس نقشه‌های توزیع مکانی نتایج آزمون آماری در نرم‌افزار Surfer (version 8) تهیه گردید. بدین ترتیب روابط به‌صورت منطقه‌ای بررسی شد و روابطی که در اکثر ایستگاه‌های یک منطقه (نه یک ایستگاه) معنی‌دار بودند، مشخص شد.

## نتایج و بحث

در ادامه جهت اختصار، تنها به روابط معنی‌دار در هر روش اشاره می‌شود:

### بارش ایران و میانگین SOI

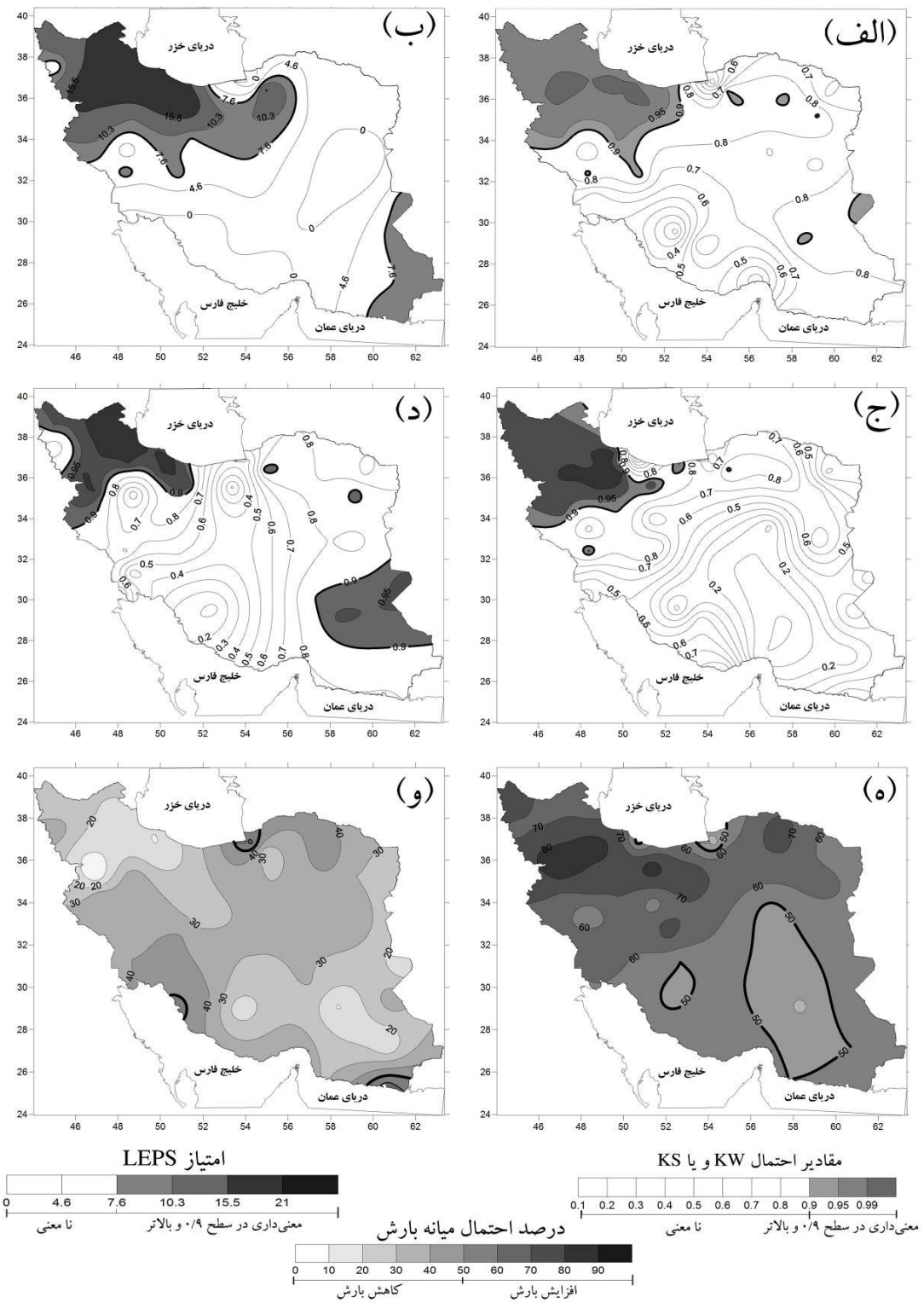
بررسی ارتباط همزمان میان بارش فصلی ایران و میانگین SOI نشان داد که مقادیر احتمال KW تنها در مورد بارش پائیزه برخی ایستگاه‌های واقع در شمال‌غربی و نیمه شرقی ایران و دامنه جنوبی البرز معنی‌دار است (KW ≥ ۰/۹). در این حالت، مقادیر احتمال KS فازهای النینو و لانینا به‌طور پراکنده در بعضی از ایستگاه‌ها شمال‌غربی معنی‌دار بود. ولی اغلب ایستگاه‌ها امتیاز LEPS معنی‌داری نداشتند. بنابراین، ارتباط همزمان میان بارش فصلی ایران و میانگین SOI تقریباً ضعیف است. این ارتباط ضعیف به‌طور مشابه در مقیاس ماهانه در مورد بارش ماه اکتبر (مهر) در این ایستگاه‌ها نیز مشاهده شد. در حالات غیرهمزمان، در ایستگاه‌های واقع در نواحی غرب و شمال‌غربی کشور (خوی، تبریز، ارومیه، سقز، سنندج و کرمانشاه)، سواحل غربی دریای خزر (بندرانزلی، رامسر و رشت) و دامنه جنوبی البرز (تهران و قزوین) مقادیر احتمال KW در مورد بارندگی پائیزه و میانگین SOI (ژوئیه- سپتامبر) معنی‌دار بود (شکل ۴-الف). این نتایج با یافته‌های مطالعه ناظم‌السادات و کوردری (۳۰) مطابقت دارد. با این تفاوت که در تحقیق حاضر بر خلاف مطالعه آنها، ارتباط معنی‌داری میان SOI و بارندگی پائیزه بخش‌های مرکزی ایران مشاهده نشد. امتیاز LEPS در این ایستگاه‌ها بیش از ۷/۶ بود (شکل ۴-ب). مقادیر معنی‌دار احتمال KS ایستگاه‌ها در فازهای النینو و لانینا دیده شد. ارتباط النینو با بارش ایران نسبت به لانینا قوی‌تر به‌نظر می‌رسد؛ زیرا در اکثر ایستگاه‌ها مقادیر احتمال KS در فاز النینو نسبت به فاز لانینا بیشتر است (شکل‌های ۴-ج و۴-د). احتمال میانه بارش پاییزه در فازهای میانگین SOI (ژوئیه-سپتامبر) بیانگر افزایش بارش در فاز النینو و کاهش آن در فاز لانینا است (شکل‌های ۴-ه و ۴-و). به‌طور مشابه، محققین دیگر با تحلیل همبستگی میان SOI و بارش، به افزایش بارش پائیزه ایران در فاز النینو و کاهش آن در فاز لانینا اشاره داشته‌اند (۲، ۲۲ و ۳۰). به علاوه، رابطه النینو و افزایش بارش در دیگر کشورهای منطقه نظیر ترکیه (۲۵)، شمال پاکستان، افغانستان، تاجیکستان و جنوب ازبکستان (۴۱) نیز گزارش شده است.

این رابطه با اعمال زمان‌پیشی بیشتر نیز برقرار است. مقادیر احتمال KW مربوط به بارندگی پائیزه ایستگاه تهران و مقادیر میانگین SOI در شکل ۵ نشان داده شده است. این مقادیر برای زمان‌پیشی‌های صفر تا سه ماه معنی‌دار بود. در سایر ایستگاه‌های مذکور هم چنین پایداری دیده شد. البته هر چه زمان‌پیشی بیشتر می‌شود، روابط ضعیف‌تر می‌شود و تعداد ایستگاه‌های کمتری دارای مقادیر KW و LEPS معنی‌داری هستند. در مقیاس ماهانه نیز روابط مشابه در مورد بارش ماه اکتبر (مهر) ایستگاه‌ها برقرار است. میانگین SOI (ژوئیه - سپتامبر) بر بارش سواحل غربی دریای خزر به‌صورت پایدارتری تأثیرگذار بود؛ زیرا با اعمال زمان‌پیشی سه ماه، مقادیر احتمال KW برای بارش زمستانه ایستگاه‌های بندرانزلی، رامسر و رشت معنی‌دار و به‌ترتیب برابر ۰/۹۷، ۰/۹۶ و ۰/۹۳ بود. اما به نظر می‌رسد مکانسیم تأثیر فازهای میانگین SOI بر بارش طی زمستان نسبت به پائیز دچار تغییراتی شده است. زیرا طبق مقادیر احتمال KS و درصد میانه بارش، فاز النینو و لانینا بر خلاف بارش پائیزه



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]

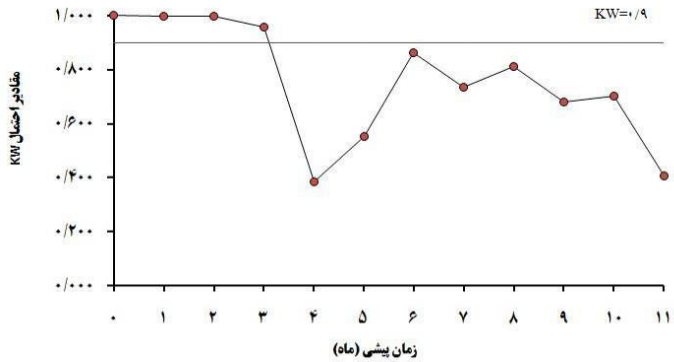



**شکل۴. توزیع مکانی نتایج آزمون‌های آماری میانگین SOI (ژوئیه-سپتامبر) و بارندگی پائیزه: (الف) احتمال KW، (ب) امتیاز LEPS، (ج) احتمال KS فاز النینو، (د) احتمال KS فاز لانینا، (ه) درصد احتمال میانه بارش در فاز النینو و (و) درصد احتمال میانه بارش در فاز لانینا**



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]




**شکل۵. مقادیر احتمال KW مربوط به میانگین SOI (جولای–سپتامبر) و بارندگی پائیزه ایستگاه تهران در زمان‌پیشی‌های مختلف (مقادیر احتمال KW بیش از ۰/۹ معنی‌دار می‌باشد)**

به‌ترتیب با کاهش و افزایش بارش زمستانه همراه بوده است. امتیاز LEPS در ایستگاه‌های بندرانزلی، رامسر و رشت به‌ترتیب برابر ۸/۷، ۸/۱ و ۳/۳ است. با توجه به مقادیر نسبتاً پایین امتیاز LEPS استفاده از این روابط جهت پیش‌بینی بارش زمستانه این نواحی پیشنهاد نمی‌شود. این ارتباط در مقیاس ماهانه در مورد بارش ماه مارس (اسفند) به‌طور مشابه برقرار بود.

### بارش ایران و فازهای پنج‌گانه SOI

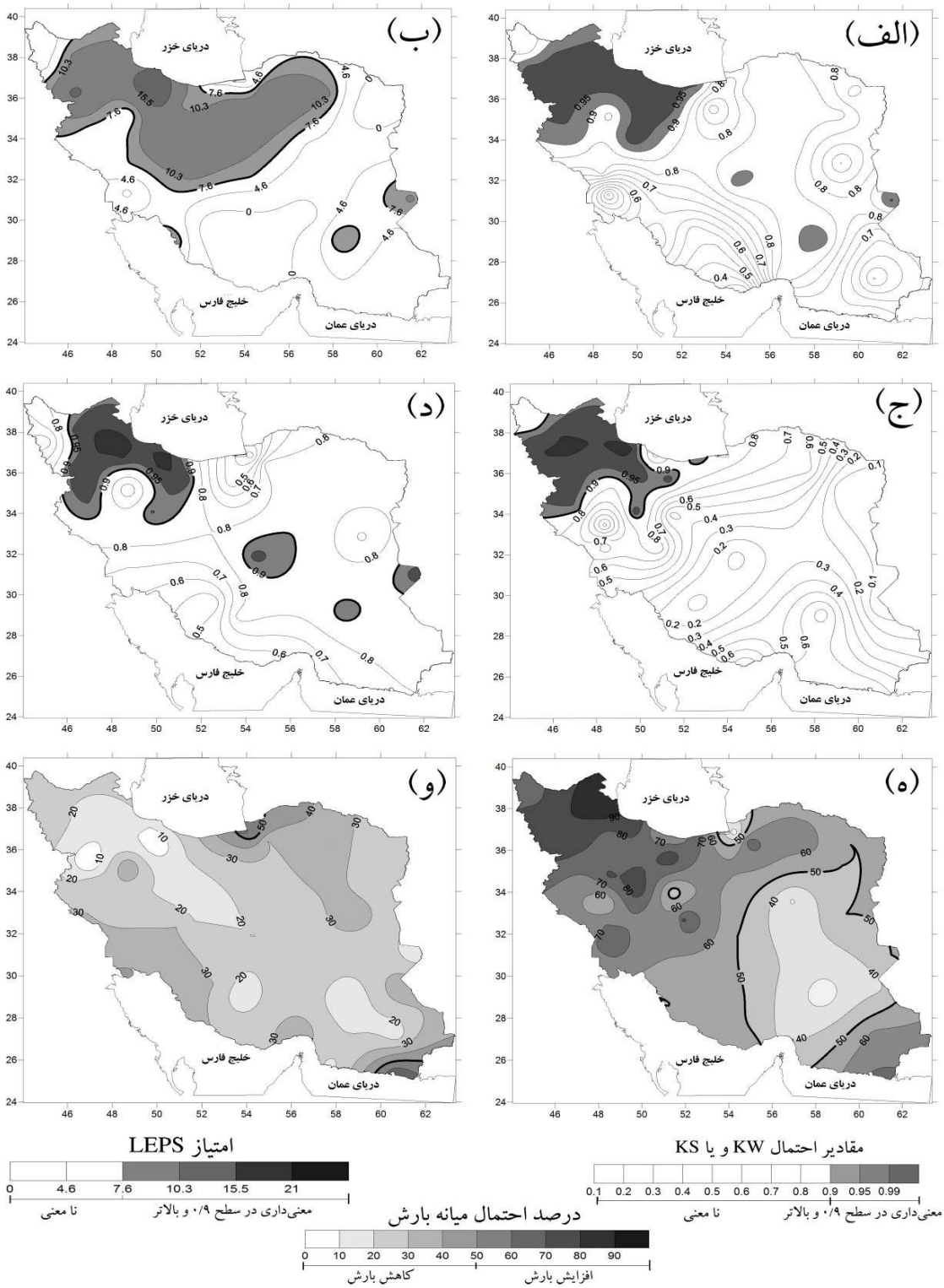
در حالت زمان‌پیشی صفر ماه، در ۳۰/۹ درصد از ایستگاه‌ها مقادیر احتمال KW مربوط به بارش پائیزه و فازهای SOI (اوت–سپتامبر) معنی‌دار بود. اما با اعمال زمان‌پیشی یک ماه این ارتباط قوی‌تر به‌نظر می‌رسد؛ زیرا مقادیر احتمال KW در اغلب ایستگاه‌ها افزایش یافته و درصد بیشتری از ایستگاه‌ها (۳۷/۳ درصد) دارای مقادیر احتمال KW معنی‌دار هستند. ایستگاه‌های معنی‌دار در مناطق غرب و شمال‌غربی کشور (تبریز، ارومیه، سقز، سنندج، کرمانشاه، زنجان و اراک) و سواحل غربی دریای‌خزر (بندرانزلی، رشت و رامسر) قرار دارند (شکل ۶–الف). امتیاز LEPS در این ایستگاه‌ها نیز معنی‌دار بود (شکل ۶–ب). براساس مقادیر احتمال KS در فازهای پنج‌گانه SOI (ژوئیه– اوت)، رابطه فازهای مثبت و منفی با بارش پاییزه این نواحی معنی‌دار است و در مورد سایر فازهای SOI (صعودی، نزولی و خنثی) رابطه معنی‌داری دیده نشد (شکل‌های ۶–ج و ۶–د). میزان احتمال میانه بارش در این فازها نشان می‌دهد که فازهای مثبت و منفی به‌ترتیب با کاهش و افزایش بارش پائیزه این نواحی همراه بوده است (شکل‌های ۶–ه و ۶–و). در استرالیا بر خلاف ایران، فازهای مثبت و منفی SOI معمولاً به‌ترتیب در ارتباط با افزایش و کاهش بارش بوده‌اند (۴۰). بدین ترتیب تأثیر متضاد پدیده انسو بر بارش ایران و نسبت به بارش استرالیا در این روش نیز تأیید می‌گردد.

در شکل ۷ پایداری رابطه بارش پاییزه و فازهای پنج‌گانه SOI با اعمال زمان‌پیشی‌های مختلف، برای مثال برای ایستگاه تهران نمایش داده شده است. این رابطه در زمان‌پیشی‌های صفر الی چهار ماه معنی‌دار بود. در مورد بارش ماه اکتبر در مقیاس ماهانه نیز روابط مشابهی دیده شد. مقادیر احتمال KW برای بارش زمستانه ایستگاه‌های بندرانزلی، رشت و رامسر و فازهای SOI (آگوست– سپتامبر) به‌ترتیب ۰/۹۶، ۰/۹۲ و ۰/۹۸ و معنی‌دار است. طبق مقادیر احتمال KS، تنها فاز منفی در ارتباط معنی‌دار با بارش این نواحی بود؛ ولی امتیاز LEPS در سطح معنی‌داری قرار نداشت. در مقیاس ماهانه در مورد بارش ماه‌های زمستان چنین رابطه‌ای دیده نشد. بنابراین با توجه به نتایج روش فازهای پنج‌گانه SOI و میانگین SOI می‌توان نتیجه گرفت که رابطه معنی‌دار در مورد بارش زمستانه نواحی غرب دریای‌خزر و SOI، که در این مطالعه همانند مطالعه انجام



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]

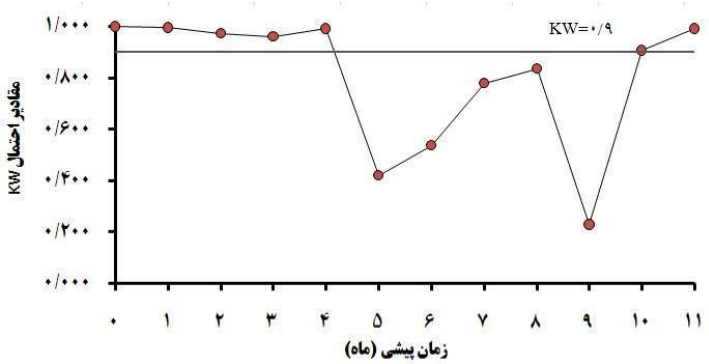



**شکل۶. توزیع مکانی نتایج آزمون‌های آماری فازهای SOI (جولای-آگوست) و بارندگی پائیزه: (الف) احتمال KW، (ب) امتیاز LEPS، (ج) احتمال KS فاز منفی، (د) احتمال KS فاز مثبت، (ه) درصد احتمال میانه بارش در فاز منفی و (و) درصد احتمال میانه بارش در فاز مثبت**



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]




**شکل۷. مقادیر احتمال KW مربوط به فازهای پنج‌گانه SOI (جولای-آگوست) و بارندگی پاییزه ایستگاه تهران در زمان‌پیشی‌های مختلف (مقادیر احتمال KW بیش از ۰/۹ معنی‌دار می‌باشد)**

گرفته (۶ و ۳۱) مشاهده شد، واقعی به‌نظر نمی‌رسد.به‌طورکلی نتایج دو روش میانگین SOI و فازهای پنج‌گانه SOI در مورد بارش ایران تقریباً مشابه است؛ به‌طوری‌که فاز النینو (لانینا) در روش میانگین SOI و به‌طور مشابه فاز منفی (مثبت) در روش فازهای SOI در ماه‌های جولای الی سپتامبر، با افزایش (کاهش) بارندگی ماه اکتبر در مقیاس ماهانه و پاییزه در مقیاس فصلی در بعضی مناطق ایران همراه بود. درودوسکی (۱۷) نیز فازهای منفی و مثبت SOI را به‌ترتیب در ارتباط با فازهای النینو و لانینا دانسته است. براساس نتایج این مطالعه، این ارتباط تأیید می‌گردد.

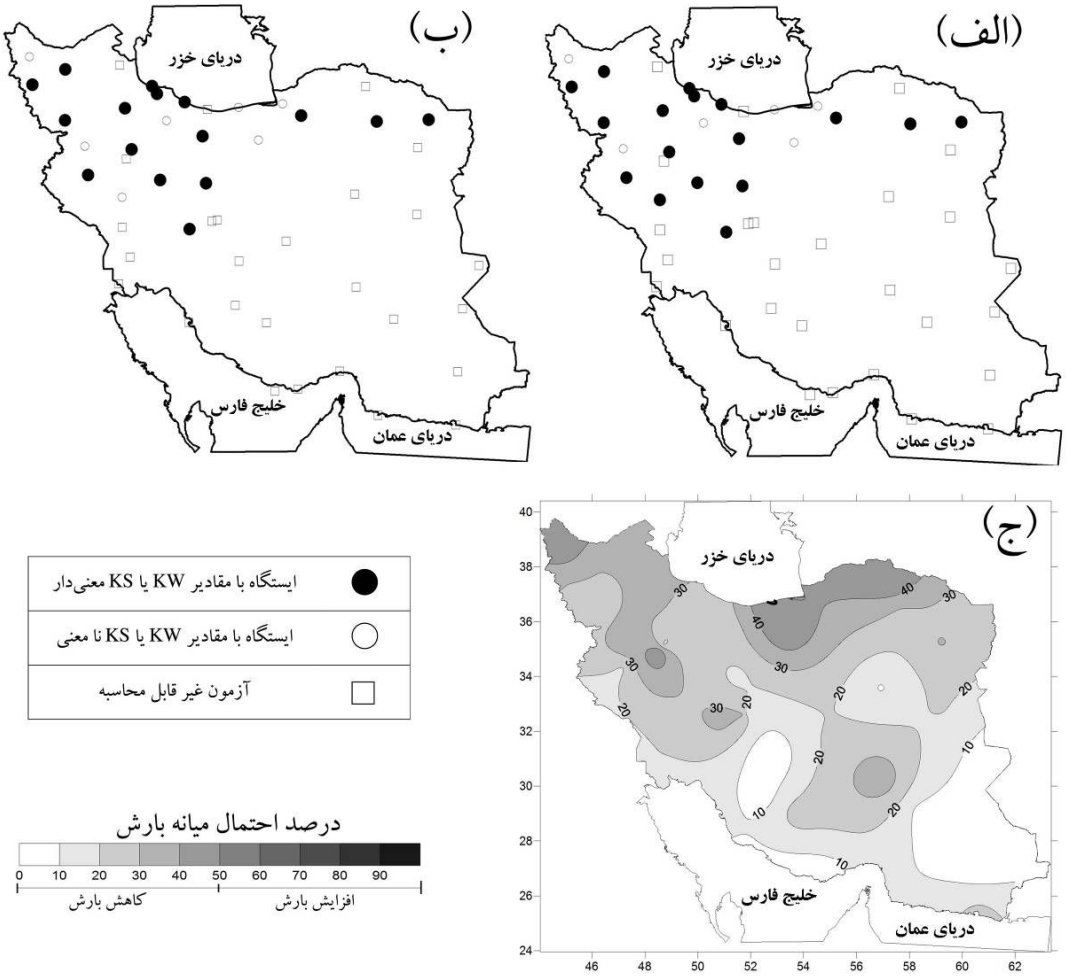
### بارش ایران و SST اقیانوس آرام

در مقیاس ماهانه در حالت زمان‌پیشی صفر ماه، مقادیر احتمال KW در مورد فازهای SST (سپتامبر) و بارندگی ماه اکتبر ایستگاه‌های (تبریز، ارومیه، سقز، زنجان، کرمانشاه، همدان نوژه، اراک، کاشان، شهرکرد، خرم‌آباد، شاهرود، سبزوار، مشهد رشت، رامسر و بندرانزلی) واقع در نواحی شمال‌شرقی و شمال‌غربی کشور و سواحل غربی دریای خزر معنی‌دار بود. در ایستگاه‌های مرکزی جنوب و جنوب‌شرقی در دوره زمانی مورد مطالعه در ماه اکتبر بارش ناچیز و یا صفر بوده است؛ و به علت کمبود داده بارش آزمون KW قابل محاسبه نبود (شکل ۸-الف). در نواحی شمال‌شرقی و شمال‌غربی کشور و سواحل غربی دریای خزر، مقادیر معنی‌دار احتمال KS تنها در مورد فازهای سرد اقیانوس آرام در ماه سپتامبر مشاهده شد (شکل ۸-ب)؛ به‌طوری‌که فاز سرد اقیانوس آرام در ماه سپتامبر معمولاً با کاهش بارندگی این نواحی در ماه اکتبر همراه بوده است (شکل ۸-ج). آزمون LEPS فقط در ایستگاه‌های بندرانزلی، رشت و رامسر (غرب دریای خزر) به‌ترتیب با امتیازات ۱۳/۱، ۱۰/۳ و ۱۳/۲نتایج معنی‌داری داشت. شکل ۹ پایدرای نسبتاً ضعیف این رابطه را برای ایستگاه رامسر برای مثال نشان می‌دهد؛ در نتیجه، استفاده از این رابطه جهت پیش‌بینی بارش توصیه نمی‌گردد. در مطالعه درودوسکی (۱۷) فازهای سرد و گرم اقیانوس آرام معمولاً به‌ترتیب همزمان با فاز لانینا و النینو عنوان شده است. در مطالعه حاضر، تغییرات نسبتاً مشابهی در مورد بارندگی ماهانه ایران در فازهای سرد SST اقیانوس آرام و لانینا دیده شد؛ اما بر خلاف النینو، فازهای گرم SST اقیانوس آرام رابطه معنی‌داری بر بارش ایران نداشتند. احتمالاً در دوره زمانی مورد مطالعه، ارتباط فاز النینو (SOI<-۵) و فازهای گرم SST اقیانوس آرام بسیار قوی نبوده است. در مقیاس فصلی، فازهای SST اقیانوس آرام با بارش ایران رابطهٔ معنی‌داری نداشتند. بنابراین شاخص SOI نسبت به SST رابطهٔ میان پدیده انسو و بارش ایران را بهتر نشان می‌دهد.

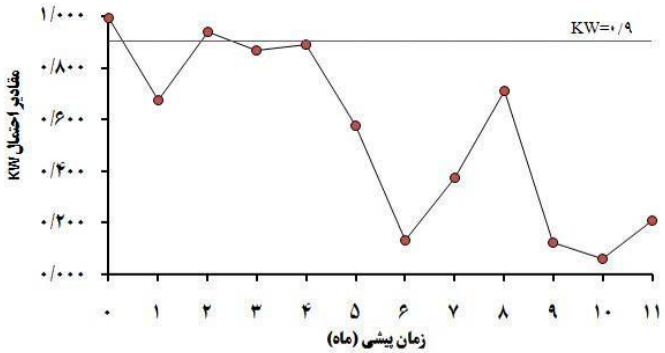


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]




**شکل ۸. توزیع مکانی نتایج آزمون‌های آماری فازهای SST اقیانوس آرام (سپتامبر) و بارندگی ماه اکتبر: (الف) احتمال KW، (ب) احتمال KS فاز سرد و (ج) درصد احتمال میانه بارش در فاز سرد**




**شکل۹. مقادیر احتمال KW مربوط به فازهای SST اقیانوس آرام (سپتامبر) و بارندگی ماه اکتبر ایستگاه رامسر در زمان‌پیشی‌های مختلف (مقادیر احتمال KW بیش از ۰/۹ معنی‌دار است.**



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]

**بارش ایران و SST اقیانوس هند**

به‌طورکلی، میان فازهای SST اقیانوس هند و بارندگی ماهانه ایران رابطه معنی‌داری دیده نشد. مقادیر احتمال KW در اکثر ایستگاه‌ها در تمامی حالات زمان‌پیشی به‌صورت منطقه‌ای معنی‌دار نبود. تنها بارش ماه اکتبر (مهر) و فوریه (بهمن) به‌ترتیب در مناطق شمال غربی و سواحل جنوبی با زمان‌پیشی صفر ماه با فازهای سرد SST اقیانوس آرام رابطهٔ ضعیفی داشتند؛ که در این موارد با توجه به مقادیر نامعنی امتیاز LEPS، استفاده از این روابط جهت پیش‌بینی بارش پیشنهاد نمی‌شود. در مقیاس فصلی در حالت زمان‌پیشی صفر ماه، روابط معنی‌داری میان بارندگی زمستانه سراسر ایران (به‌جز سواحل) و فازهای SST اقیانوس هند ماه دسامبر (آذر) مشاهده شد. در این حالت مقادیر احتمال KW در اغلب ایستگاه‌ها بیشتر و یا نزدیک به ۰/۹ بود(شکل ۱۰-الف). امتیاز LEPS نیز در اغلب ایستگاه‌ها به جز نواحی غربی کشور معنی‌دار بود (شکل ۱۰-ب). مقادیر احتمال KS در فازهای مختلف SST اقیانوس هند نشان داد که فازهای سرد اقیانوس هند در ماه دسامبر با بارندگی زمستانه ایران رابطه معنی‌داری دارد؛ رابطهٔ معنی‌دار میان فاز گرم اقیانوس هند و بارش در مناطق محدودی از ایران دیده شد (شکل‌های ۱۰-ج و ۱۰-د). براساس مقادیر احتمال میانه بارش زمستانه در هر یک از فازهای SST اقیانوس هند (دسامبر) مشخص گردید که فازهای سرد و گرم اقیانوس هند به‌ترتیب با افزایش و کاهش بارش همراه بوده است (شکل‌های ۱۰- هـ و ۱۰- و).

با افزایش فاصله زمانی میان دوره بارندگی و دوره فازهای SST اقیانوس هند، مقادیر KW در مورد بارندگی زمستانه ایستگاه‌ها و فازهای SST اقیانوس هند به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. در زمان‌پیشی صفر ماه حدود ۵۶ درصد از ایستگاه‌ها مقادیر KW معنی‌داری داشتند؛ ولی با افزایش زمان‌پیشی به یک ماه، تعداد ایستگاه‌های معنی‌دار به ۲۳ درصد کاهش یافت. بنابراین روابط میان فازهای SST اقیانوس هند و بارندگی زمستانه ایران پایدار نمی‌باشد و بهره‌گیری از این روابط جهت پیش‌بینی بارش زمستانه ایران پیشنهاد نمی‌گردد. قاسمی و خلیلی (۲۳) ارتباط احتمالی میان بارندگی زمستانه ایران و SST بخش‌های دیگری از اقیانوس هند در نیمکره شمالی را بررسی کردند. طبق نتایج آنها، شرایط مرطوب و خشک زمستانه ایران با تغییرات دمای نواحی شمال‌شرقی و جنوب‌غربی اقیانوس هند در ارتباط است. با این حال پایداری و صحت این روابط بررسی نشده است. احتمالاً استفاده از دمای نواحی شمال‌شرقی و جنوب‌غربی اقیانوس هند به علت نزدیک‌تر بودن به ایران، نسبت به دمای اقیانوس هند واقع در نیمکره جنوبی و منطقه برون‌حاره ($SST_2$)، جهت توجیه و پیش‌بینی بارش‌های زمستانه ایران منطقی‌تر می‌باشد.

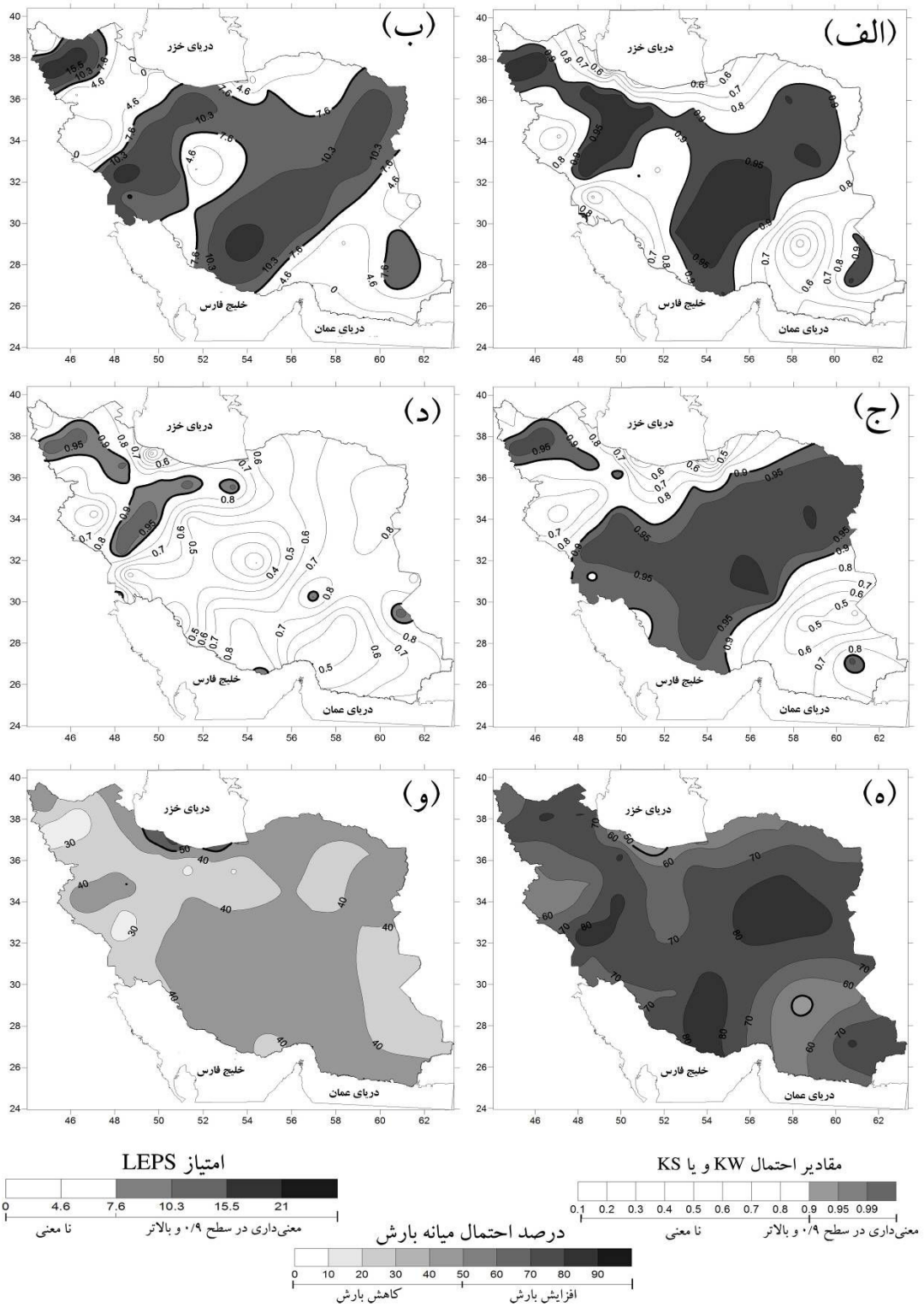
## نتیجه‌گیری

به‌طورکلی پدیده انسو در مقیاس فصلی نسبت به ماهانه بر بارش‌های ایران رابطه مشخص‌تری دارد. روابط میان بارش ماهانه ایران و انسو پیچیده است. نتایج روش‌های میانگین SOI و فازهای پنج‌گانه SOI نشان داد که شاخص SOI در فصل تابستان (ماه‌های ژوئیه- سپتامبر) به‌طور غیرهمزمان با بارش‌های ماه اکتبر (مهر) و پائیزه (اکتبر- دسامبر) نواحی غرب، شمال‌غرب ایران و سواحل غربی دریای خزر رابطه معنی‌داری و پایداری دارد. به‌طوری‌که فازهای النینو (منفی) و لانینا (مثبت) اغلب به‌ترتیب با افزایش و کاهش بارش در این نواحی همراه هستند. تأثیر فاز النینو (منفی) نسبت به فاز لانینا (مثبت) بر بارش‌های ایران قوی‌تر و پایدارتر است. استفاده از میانگین SOI جهت پیش‌بینی بارش نواحی ذکر شده مناسب است؛ اما فازهای SST اقیانوس‌های آرام و هند به دلیل رابطه ضعیف با بارش ایران و یا ناپایداری روابط، جهت پیش‌بینی بارش‌های ایران مناسب به نظر نمی‌رسند. با بهره‌گیری از امکانات نرم‌افزار Rainman و آزمون‌های آماری به‌کارگرفته در آن به خوبی می‌توان روابط میان پدیده انسو و بارندگی هر نقطه از جهان (از جمله ایران) را بررسی کرد. با این‌حال با توجه به این‌که روش‌های پیش‌بینی احتمالی بارش در Rainman، تنها بر پایه



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]




**شکل ۱۰. توزیع مکانی نتایج آزمون‌های آماری فازهای SST اقیانوس هند (دسامبر) و بارندگی زمستانه: (الف) احتمال KW، (ب) امتیاز LEPS، (ج) احتمال KS فازسرد، (د) احتمال KS فازگرم، (ه) درصد احتمال میانه بارش در فازسرد و (و) درصد احتمال میانه بارش در فاز گرم**



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]

روابط بارندگی و پدیده انسو قرار دارد و بارش‌های ایران تنها تحت تأثیر پدیده انسو قرار ندارند، نرم‌افزار Rainman به عنوان ابزاری جامع جهت مدیریت منابع آب ایران در کلیه فصول سال به شمار نمی‌آید. پیشنهاد می‌گردد تأثیر دور نوسانات اقیانوسی- اتمسفری (نظیر نوسان اطلس شمالی، نوسانات مدیترانه‌ای، الگوی دریای شمال- خزر و غیره) بر بارش ایران بررسی گردد. پس از اطمینان از وجود روابط واقعی میان نوسانات نوسانات اقیانوسی-اتمسفری و بارش ایران، نرم‌افزاری شبیه Rainman ولی براساس شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری مؤثر بر ایران تهیه گردد. با بهره‌گیری از پیش‌بینی‌های اقلیمی آن نرم‌افزار می‌توان مدیریت ریسک منابع آب، کشاورزی، مرتعداری و غیره در ایران را بهبود بخشید.

## سپاسگزاری

بدین‌وسیله از راهنمایی‌های آقای Ian Partridge در رابطه با نرم‌افزار Rainman قدردانی می‌گردد.

## منابع مورد استفاده


۱. استوارمیمندی، ا. ۱۳۷۹. النینو و رابطه آن با بارش‌های ایران. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس،

۲. خورشیددوست، ع.م. و ی. قویدل رحیمی. ۱۳۸۵. ارزیابی اثر پدیده انسو بر تغییرپذیری بارش‌های فصلی استان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص چند متغییره انسو. پژوهش‌های جغرافیایی ۱۵: ۲۶-۵۸.

۳. عزیزی، ق. ۱۳۷۹. النینو و دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی ایران. پژوهش‌های جغرافیایی ۷۱: ۳۸-۸۴.

۴. فرجی، ا. ۱۳۸۴. *هوا و اقلیم‌شناسی*. انتشارات دانشگاه هوایی نهاجا.

۵. کیانی پور، م. ۱۳۷۹. بررسی سینوپتیکی پدیده النینو و ارتباط آن با ناهنجاری بارش‌های جنوب و جنوب غرب کشور. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.

۶. ناظم‌السادات، م.ج. ۱۳۸۰. آیا باران می‌بارد؟ خشک‌سالی و بارندگی مازاد در ایران و ارتباط آنها با پدیده النینیو- نوسانات جنوبی. انتشارات دانشگاه شیراز.

۷. ناظم‌السادات، م.ج.، ا. انصاری بصیر و م.ر. پیشوایی. ۱۳۸۶. ارزیابی سطح معنی‌داری برای پیش‌بینی دوران خشک‌سالی و ترسالی فصل پائیز و شش ماهه سرد ایران براساس وضعیت فازهای تابستانه انسو. تحقیقات منابع آب ایران ۳: ۱۲-۲۴.

8. Alijani, B. 2002. Variation of 500 hPa flow patterns over Iran and surrounding areas and their relationship with the climate of Iran. Theoretical and Appl. Climatol. 72: 41-54.
9. Bronnimann, B., E. Xoplaki ,C. Casty, A. Pauling and J. Luterbacher. 2007. ENSO influence on Europe during the last centuries. Climate Dynamics 28: 181-197.
10. Clewett, J. F. 2002. Seasonal climate forecasts and decision support systems for drought-prone agriculture: A case study based on the development and application of the Rainman Climate Analysis Software. PP. 37-55. *In:* Yokoyama, S. and R. N. Concepcion (Eds.), Coping against El Niño for Stabilizing Rainfed Agriculture: Lessons from Asia and the Pacific. Proceedings of an International Workshop, Cebu, Philippines, Vol. 43, United Nations.
11. Clewett, J. F., O. S. Hwang, D. T. Owens, D. A. George and I. J. Partridge. 2002. Rainman International Version 4: an integrated software package of rainfall information for better management. Department of Primary Industries, Queensland.
12. Conover, W. J. 1971. Practical Non-Parametric Statistics. John Wiley and Sons Inc., New York.




[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]

13. Crane, T. A., C. Roncoli, J. Paz, N. Breuer, K. Broad, K. T. Ingram and G. Hoogenboom. 2010. Forecast skill and farmers' skills: seasonal climate forecasts and agricultural risk management in the southeastern United States. Weather, Climate, and Society 2: 44–59.
14. Daoyi, G. and W. Shaowu. 1999. Impacts of ENS0 on rainfall of global land and China. Chinese Sci. Bull. 44: 853-857.
15. Dezfuli, A. K., M. Karamouz and S. H. Araghinejad. 2010. On the relationship of regional meteorological drought with SOI and NAO over southwest Iran. Theoretical and Appl. Climatol. 100: 57-66.
16. Dinpashoh, Y., A. Fakheri-Fard, M. Moghadamnia, S. Jahanbakhsh and M. Mirnia. 2004. Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climate using multivariate methods. J. Hydrol. 297: 109-123.
17. Drosdowsky, W. 2002. SST phases and Australian rainfall. Aust. Meteorol. Magazine 15: 1-12.
18. Drosdowsky, W. and L. E. Chambers. 1998. Near global sea surface temperature anomalies as predictors of Australian seasonal rainfall. BMRC Research Report, Vol. 65, Bureau of Meteorology, Australia.
19. Faramarzi, M., K. C. Abbaspour, R. Schulin and H. Yang. 2009. Modelling blue and green water resources availability in Iran. Hydrol. Proc. 23: 486–501.
20. Folland, C., J. Owen, M. N. Ward and A. Colman. 1991. Prediction of seasonal rainfall in the sahel region using empirical and dynamical methods. J. Forecasting 10: 21-56.
21. Ganji, M. H. 1968. The land of Iran (Sec. 5: Climate), in Cambridge history of Iran. Vol. 1, *In:* PP. 212-249. Fisher, W. B. (Ed) Cambridge University Press, London.
22. Ghasemi, A. R. 2003. Meteorological drought in Iran and its association with the El Nino Southern Oscillation and Caspian Sea surface temperature. Department of Arid Region Managemen,. University of Shiraz.
23. Ghasemi, A. R. and D. Khalili. 2008. The association between regional and global atmospheric pattern and winter precipitation in Iran. Atmospheric Res. 88: 116-133.
24. Gunduz, M. and E. Ozsoy. 2005. Effects of the North Sea Caspian pattern on surface fluxes of Euro-Asian-Mediterranean seas. Geophys. Res. Letters 32: L21701.
25. Karabork, M. C. and E. Kahya. 2003. The teleconnection between the extreme phase of the southern oscillation and precipitation pattern over Turkey. Intl. J. Climatol. 23: 1607-1623.
26. Kehl, M. 2009. Quaternary climate change in Iran – the state of knowledge. Erdkunde 63: 1-17.
27. Kirono, D. G. C., F. H. S. Chiew and D. M. Kent. 2010. Identification of best predictors for forecasting seasonal rainfall and runoff in Australia. Hydrol. Proc. 24: 1237-1247.
28. Modarres, R. 2006. Regional precipitation climates of Iran. J. Hydrol. (New Zealand) 45: 13-27.
29. Modarres, R. and A. Sarhadi. 2009. Rainfall trends analysis of Iran in the last half of the twentieth century. J. Geophys. Res. 114: D03101.
30. Nazemosadat, M. J. and I. Cordery. 2000. On the relationship between ENSO and autumn rainfall in Iran. Intl. J. Climatol. 20: 47-61.
31. Nazemosadat, M. J. and A. R. Ghasemi. 2004. Quantifying the ENSO-related shifts in the intensity and probability of drought and wet periods in Iran. J. Climate 17: 4005-4018.
32. Partridge, I. J. 2001. Will it rain? : the effects of the Southern Oscillation and El Nino on Australia. Dept. of Primary Industries, Brisbane.
33. Potts, J. M., C. K. Folland, I. T. Jolliffe and D. Sexton. 1996. Revised LEPS scores for assessing climate model simulations and long-range forecasts. J. Climate 9: 34-53.
34. Raziei, T., P. Daneshkar-Arasteh and B. Saghafian. 2005. Annual Rainfall Trend in Arid and Semi-arid Regions of Iran. PP. 20-28. *In:* ICID 21st European Regional Conference, Frankfurt (Oder), Germany, and Słubice, Poland.
35. Ropelewski, C. F. and M. S. Halpert. 1987. Global andregional scale precipitation patterns associated with the El Niño/southern oscillation. Monthly Weather Rev. 115: 1606-1626.
36. Ropelewski, C. F. and M. S. Halper. 1989. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. J. Climate 2: 268-284.
37. Shabbar, A., B. Bonsal and M. Khandekar. 1997. Canadian precipitation patterns associated with the Southern Oscillation. J. Climate 10: 3016-3027.
38. Shrestha, M. L. 2000. Interannual variation of summer monsoon rainfall over Nepal and its relation to southern oscillation index. Meteorol. Atmospheric Physics 75: 21-28.
39. Stone, R. and A. Auliciems. 1992. SOI phase relationships with rainfall in eastern Australia. Intl. J. Climatol. 12: 652-636.
40. Stone, R. C. 1999. Seasonal rainfall in Australia: based on phases of the SOI / maps produced by Roger Stone and Torben Marcussen; Atlas compiled by Ian Partridge. Dept. of Primary Industries, Brisbane.
41. Syed, F. S., F. Giorgi, J. S. Pal and M. P. King. 2006. Effect of remote forcings on the winter precipitation of central southwest Asia, part 1: observations. Theoretical and Appl. Climatol. 86: 147-160.
42. Trenberth, K. E. 1997. The definition of El Niño. Bulletin of the American Meteorol. Soc. 78: 2771-2777.



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]

43. Troccoli, A., M. Harrison, M. Coughlan and J. B. Williams. 2008. Seasonal forecasts in decision making. Seasonal Climate: Forecasting and Managing Risk, Vol. 82, PP. 13-41. *In:* Troccoli, A., M. Harrison, D. L. T. Anderson and S. J. Mason (Eds.), Springer, The Netherlands.
44. Vogel, C. and K. Obrien. 2006. Who can eat information? Examining the effectiveness of seasonal climate forecasts and regional climate-risk management strategies. Climate Res. 33: 111-122.
45. www.bom.gov.au/climate. Accessed December 2009.
46. www.bom.gov.au/climate/ahead/sst_data_table.html. Accessed December 2009.
47. www.irimo.ir. Accessed December 2009.

[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.21.8 ]