

کوروش احترامیان

مری گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان

علیرضا شهاب‌فر

کارشناس ارشد مهندسی عمران-آب، اداره کل هواشناسی خراسان شمالی

دکتر امین علیزاده

استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

ارزیابی اثرات پدیده ENSO بر رژیم بارش در استان خراسان

چکیده

یکی از مهمترین نشانه‌های هواشناسی که در مقیاس جهانی بر فراسنجهای آب و هوایی در مناطق مختلف کره زمین تأثیر می‌گذارد، پدیده ENSO یا النینو-نوسانات جنوبی است. نوسانات این پدیده باعث ایجاد نوسانات معنی‌داری در وضعیت بارش و دمای برخی نقاط کره زمین می‌شود. در این پژوهش به منظور بررسی میزان ارتباط تغییر آب و هوا با پدیده ENSO و ارتباط آن با تغییرات فراسنجهای آب و هوایی و امکان پیش‌بینی وقوع خشکسالی در استان خراسان، ابتدا با استفاده از رابطه همبستگی سالانه و فصلی شاخص نوسانات جنوبی (SOI) با داده‌های بارش به دست آمده و سپس به منظور مطالعه دقیقتر نحوه تأثیر پدیده ENSO بر نحوه تغییرات بارش مناطق مختلف استان خراسان، نقشه‌های پهنه‌بندی مربوط ترسیم شد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت بارش کلیه مناطق استان (به‌ویژه نوار مرکزی و تا حدودی شمالی) نسبت به پدیده ENSO واکنش معنی‌داری نشان می‌دهند. به عبارت دیگر میانگین ضرایب همبستگی بارش با مقادیر SOI به طور سالانه و فصلی منفی است، یعنی با افزایش مقادیر SOI، مقادیر بارش در سطح استان خراسان در فصول و سالهای مختلف کاهش می‌یابد. بنابراین در مناطق مختلف استان خراسان در زمان فعالیت فاز منفی ENSO (شرایط النینو)، تغییرات بارش به صورت افزایشی می‌باشد و این شرایط را می‌توان با دگرگونی الگوی وقوع پدیده ENSO در سطح جهان مرتبط دانست.

کلید واژه‌ها: تغییر آب و هوا، انسو، النینو، رژیم بارش، استان خراسان.

درآمد

در گذشته تصور آب و هواشناسان بر تغییر ناپذیری آب و هوا استوار بود، ولی از اواسط قرن بیستم میلادی دیدگاه پویایی و تغییرات آب و هوا مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است. با وقوع انقلاب صنعتی در قرن هیجدهم، تشدید فعالیت‌های بشری و استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی، میزان تزریق گازهای گلخانه‌ای به جو زمین افزایش یافته و با تجمع بیش از حد این گازها، تخریب منابع طبیعی و محیط زیست در موازنه انرژی در جو باعث اختلال زمین شده است. اختلال در موازنه و بیلان انرژی ورودی و خروجی از سطح زمین نیز باعث تغییر الگوهای کنترل کننده فراسنجهای آب و هوایی (نظیر بارندگی، دما، فشار و غیره) شده و در نهایت موجب تشدید و دوام مقادیر فرین (بیشینه‌ها و کمینه‌ها) این فراسنجهای در مناطق مختلف زمین گردیده است. یکی از عوامل تأثیرگذار بر نحوه وقوع فراسنجهای آب و هوایی، نشانه‌های هواشناسی است. یکی از قویترین نشانه‌های طبیعی که در مقیاس جهانی بر پدیده‌های هواشناسی در اکثر مناطق کره زمین تأثیر می‌گذارد، پدیده انسو^۱ است. پدیده انسو از دو پدیده النینو^۲ و نوسانات جنوبی تشکیل شده و در ابتدا تصور بر این بود که این دو پدیده به‌طور جداگانه و مستقل از هم عمل می‌کنند، اما از اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی پریستلی (۱۹۶۶) و تروپ (۱۹۶۵) نشان دادند که این دو پدیده ارتباط تنگاتنگی با هم داشته و وقوع آنها جدا از یکدیگر نیست.

از سوی دیگر به دلیل واقع شدن ایران در کمربند پرفشار نیمکره شمالی، اکثر مناطق کشور (از جمله خراسان) دارای آب و هوایی گرم خشک تا نیمه خشک و نیمه مرطوب می‌باشد. بنابراین پیش‌بینی و پایش دراز مدت شرایط آب و هوایی در هر منطقه می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با عوارض ناگوار تغییرات آب و هوایی (خشکسالی، سیل و غیره) باشد (استانداری خراسان، ۱۳۸۱). در این ارتباط پایش بارش (به‌عنوان مهمترین عناصر آب و هوایی) و عوامل تأثیرگذار بر این پدیده‌ها (نظیر پدیده ENSO)، نقش مؤثری در جهت تعیین آب و هوا و تغییرات آن ایفا خواهد کرد. النینو در زبان اسپانیولی به معنی پسریچه بوده و به جریانات ضعیفی از آب

۱. El Niño-Southern Oscillation (ENSO)

۲. El Niño

گرم در ایام کریسمس (ژانویه) در امتداد سواحل پرو که از شمال به سمت جنوب جریان می‌یابد، گفته می‌شود (ترنبرس ۱۹۹۷). در واقع النینو عبارت است از گرم شدن بیش از حد آب‌های شرقی و مرکزی اقیانوس آرام حاره‌ای که از دوام و پایداری زمانی کافی برخوردار باشد. در شرایط النینو الگوی فشار هوا و حرکت باد در عرضهای استوایی اقیانوس آرام دچار اغتشاشاتی شده و از حالت طبیعی و معمول خود خارج می‌شود (ناظم‌السادات، ۱۳۸۰).

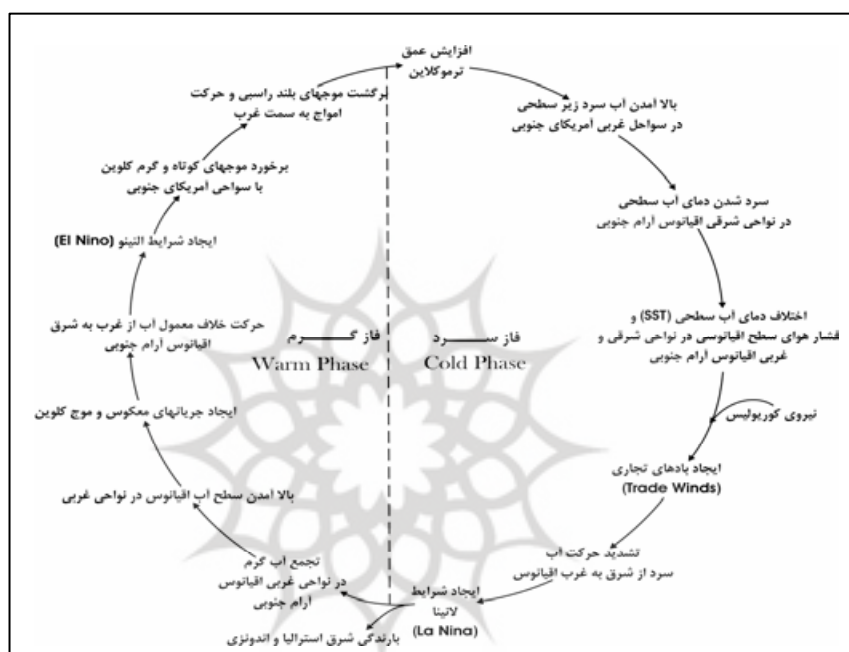
پدیده نوسانات جنوبی نشاندهنده تغییرات فشار هوا بین نواحی شرقی و غربی اقیانوس آرام (به صورت نوسان الاکلنگی) می‌باشد. در زمان وقوع این پدیده هنگامی که فشار هوای سطح اقیانوس آرام در نواحی شرقی (سواحل شیلی و پرو) بیش از معمول می‌باشد، در نواحی غربی این اقیانوس (سواحل شرقی استرالیا و اندونزی) کمتر از میانگین دراز مدت می‌باشد (ناظم‌السادات، ۱۳۸۰).

اختلاف دمای سطح اقیانوس^۱ یکی از عوامل به وجود آورنده فازهای گرم و سرد ENSO می‌باشد. فاز گرم ENSO همان پدیده النینو و فاز سرد آن به لائینا^۲ موسوم است. تحت شرایط لائینا حرکت معمولی آب از شرق اقیانوس آرام جنوبی (سواحل غربی آمریکای جنوبی) به سمت غرب آن (سواحل شرقی استرالیا و اندونزی) از شدت بیشتری برخوردار شده و بارشهای بیش از حد معمولی در استرالیا و اندونزی به وقوع می‌پیوندد. جهت تعیین شدت، نوع و نحوه تأثیر پدیده ENSO شاخصی به نام شاخص نوسانات جنوبی^۳، که بیانگر شدت تغییرات فشار در امتداد شرقی - غربی اقیانوس آرام جنوبی می‌باشد، ارائه شد. این شاخص مشخص کننده ویژگیهای پدیده ENSO بوده و براساس تفاضل مقادیر استاندارد شده فشار هوای سطح آب در شهر بندری داروین (در شمال استرالیا) و جزیره تاهیتی (در نواحی مرکزی اقیانوس آرام جنوبی) محاسبه می‌شود.

۱. Sea Surface Temperature (SST)

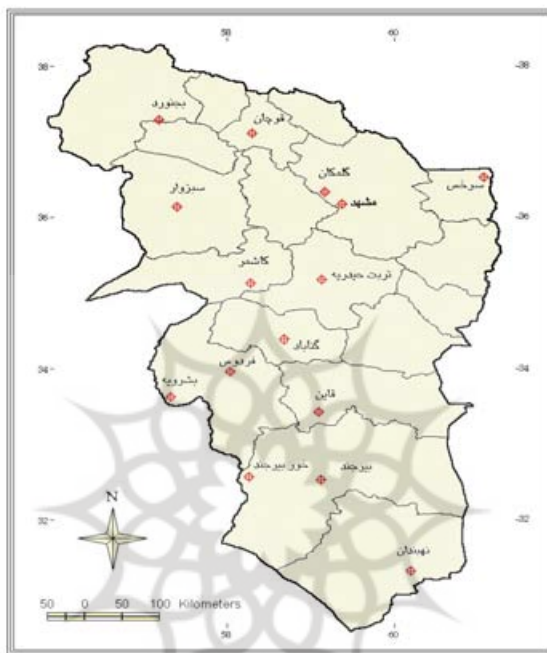
۲. La Nina

۳. Southern Oscillation Index (SOI)



شکل ۱- چرخه وقوع فازهای گرم و سرد پدیده ENSO در اقیانوس آرام جنوبی

با توجه به تغییر الگوی وقوع فازهای گرم و سرد پدیده ENSO هدف از اجرای این پژوهش بررسی ارتباط میان پدیده ENSO و فراسنجهای آب و هوایی در استان خراسان از یک سو و پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از نحوه تأثیر پدیده ENSO بر بارش ایستگاههای هم‌مدیدی استان خراسان می‌باشد.



شکل ۲- موقعیت ایستگاههای هم‌مدیدی استان خراسان

مواد و روشها

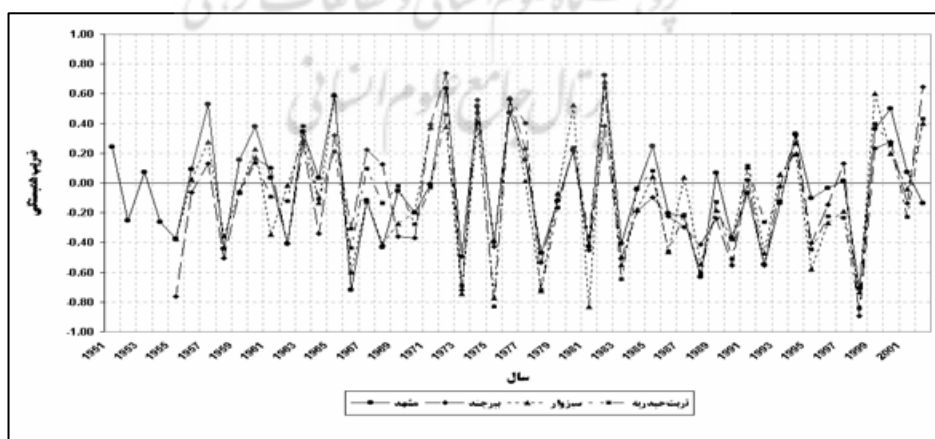
جهت پایش و بررسی خشکسالی و ارزشیابی اثرات پدیده ENSO بر شرایط آب و هوایی و فراسنجهای آب و هوایی در استان خراسان (از جمله بارش) مورد مطالعه قرار گرفت. استان خراسان با وسعتی بالغ بر ۲۹۴۹۷۲ کیلومتر مربع در محدوده عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی واقع شده است. در این استان ۱۶ ایستگاه هم‌مدیدی وجود داشته که نحوه پراکنش برخی از این ایستگاهها در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. در این راستا ابتدا آمار دراز مدت بارش ایستگاههای هم‌مدیدی استان تهیه گردیده و پس از حذف آمار مشکوک،

جهت بالا بردن ضریب اطمینان داده‌ها، آزمون همگنی و یکنواختی انجام پذیرفت. در این مرحله آمار روزانه بارش در جداولی تنظیم شده و آنگاه بارش بر حسب ماه، فصل و سال و در طول دوره آماری هر ایستگاه محاسبه گردید. در این مطالعه به منظور برآورد میزان و نحوه تأثیر پدیده ENSO بر نوسانات بارش استان خراسان، رابطه همبستگی میان بارش و ENSO به طور سالیانه و فصلی در طول دوره آماری هر ایستگاه محاسبه شده و نتایج به صورت نمودار و نقشه در محیط Excel و Arc/view نمایش داده شد.

نتایج و بحث

۱) ارتباط پدیده ENSO با بارش سالانه در سطح استان خراسان

جهت بررسی نحوه ارتباط پدیده ENSO با میزان بارش سالانه ایستگاههای استان، پس از تهیه و تنظیم میانگین سالانه بارش در ایستگاههای همدیدی موجود در سطح استان خراسان و اطمینان از همگن بودن داده‌ها، همبستگی میانگین سالانه بارش شاخص SOI برای سالهای دارای آمار هر ایستگاه انجام شد. حدود دامنه همبستگی میان مقادیر SOI و بارندگی سالانه در کلیه ایستگاهها از $+0/75$ در سال ۱۹۹۸ در ایستگاه قوچان تا $-0/۹۷$ در سال ۱۹۹۷ در ایستگاه قاین متغیر بود. به منظور مطالعه دقیقتر روند تأثیر پدیده ENSO بر بارش سالانه در سطح استان نمودار همبستگی مقادیر SOI سالانه با مقادیر بارش سالانه در تمامی ایستگاههای همدیدی استان به دست آمد که در این رابطه در شکل ۳ منحنی تغییرات ضرایب همبستگی بارش و SOI سالانه در ۴ ایستگاه با قدمت بالای استان (مشهد، بیرجند، سبزوار و تربت حیدریه) به صورت نمودار توأم نشان داده شده است.

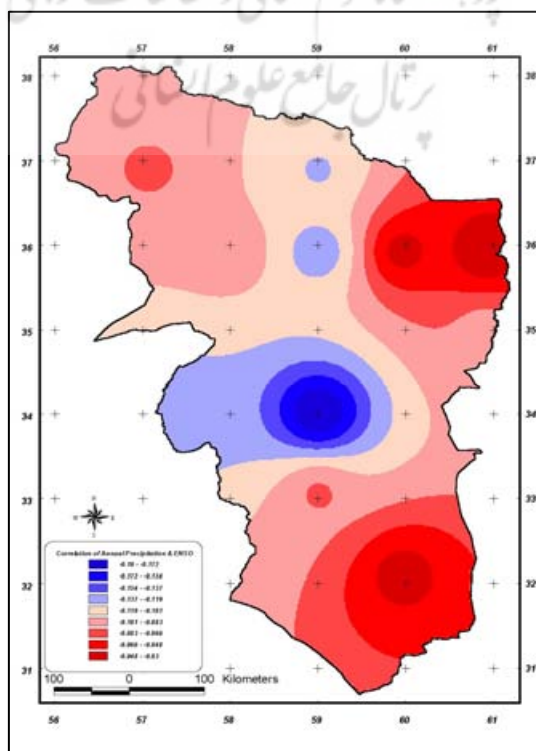


شکل ۳- نمودار توام ضرایب همبستگی های بارش سالانه و پدیده ENSO

در ایستگاههای مشهد، بیرجند، سبزوار و تربت حیدریه

با توجه به این نمودار می توان دریافت که نحوه تغییرات ضرایب همبستگی بارش سالانه ایستگاههای مختلف و شاخص SOI، در طول سالهای مختلف و در ۴ ایستگاه، تقریباً یکنواخت و هماهنگ است. به عبارت دیگر نه تنها پدیده ENSO بر بارش سالانه این ایستگاهها تأثیر گذار بوده، بلکه با ملاحظه روند دراز مدت تغییرات ضریب همبستگی سالانه بارش و SOI در ایستگاههای مذکور، می توان دریافت پدیده ENSO بر بارش سالانه این ایستگاهها با یک الگوی مشخص تأثیر گذاشته است. نحوه تغییرات همبستگی بارش سالانه و SOI ایستگاههای مختلف از سال ۱۹۵۹ میلادی تا سال ۱۹۸۵ تقریباً دارای تواتر یکنواختی بوده، ولی از این سال تا سال ۲۰۰۱ تواترها غیر یکنواخت شده اند، به طوری که از سال ۹۸ تا ۲۰۰۱ روند این همبستگی در هر ایستگاه نسبت به سایر ایستگاهها متمایز شده است.

برای بررسی دقیقتر نحوه همبستگی سالانه بارش با پدیده ENSO در سطح استان، اقدام به تهیه نقشه های پهنه بندی میانگین همبستگی سالانه بارش و SOI در خراسان گردید (شکل ۴).



شکل ۴ - نقشه پهنه‌بندی میانگین ضرایب همبستگی بارش سالانه و پدیده ENSO در استان خراسان برای تهیه این نقشه‌ها ابتدا میانگین همبستگی بارش و SOI در هر سال و در طول دوره آماری هر ایستگاه به دست آمده و سپس نقشه‌های پهنه‌بندی ترسیم شد. با توجه به شکل ۴ ملاحظه می‌شود به‌طور کلی در نواحی مرکزی شمال شرقی و جنوب شرقی استان الگوهای مشخص تری از میانگین همبستگی بارش سالانه و ENSO وجود دارد. به عبارت دیگر بارشهای سالانه در این نواحی تأثیر معنی‌دار بیشتری نسبت به سایر مناطق استان از پدیده ENSO گرفته است. میانگین همبستگی سالانه بارش و SOI در سطح استان منفی است که نشان‌دهنده آن است که با کاهش مقادیر SOI (منفی شدن SOI) یا به عبارت دیگر فعال شدن فاز گرم ENSO میزان بارش در سطح استان (به‌ویژه نوار مرکزی) افزایش می‌یابد.

۲) ارتباط پدیده ENSO با بارش فصلی در سطح استان خراسان

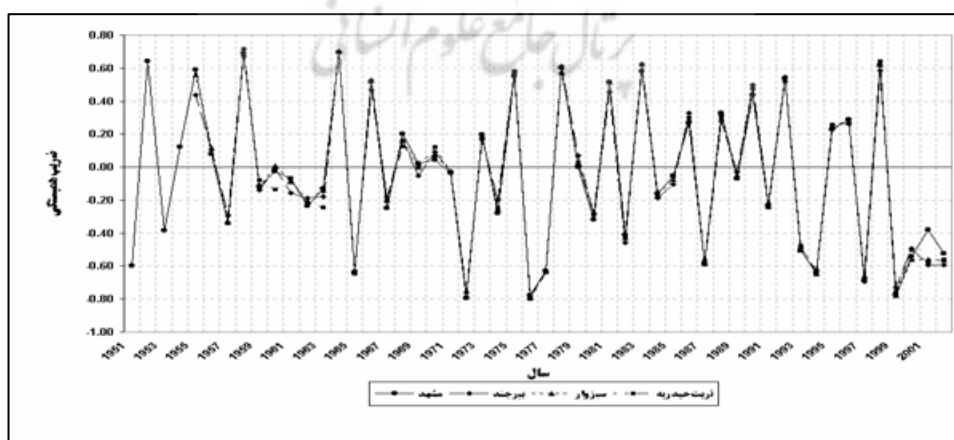
جهت برآورد تأثیر پدیده ENSO بر بارش فصلی مناطق مختلف استان، ابتدا مقادیر بارش برای هر ایستگاه به صورت فصلی محاسبه گردید. پس از مرتب کردن آمار فصلی بارش در طول دوره آماری هر ایستگاه

همبستگی این داده‌ها به‌طور جداگانه با داده‌های نظیر SOI فصلی به‌دست آمد. برای بررسی دقیقتر نحوه ارتباط فراسنج بارش در هر فصل با SOI فصلی در ایستگاههای همدیدی استان نقشه‌های پهنه‌بندی میانگین ضرایب همبستگی بارش و SOI فصلی در سطح استان رسم گردید. در این رابطه نمودارهای میانگین ضرایب همبستگی بارش فصلی با پدیده ENSO به‌طور جداگانه برای هر ایستگاه همدیدی خراسان به‌دست آمد. در این مرحله ۴ ایستگاه مشهد، بیرجند، سبزوار و تربت حیدریه به‌عنوان مبنای انتخاب و نمودارهای توأم بارندگی در هر فصل با مقادیر مشابه فصلی SOI در شکل‌های ۵ الی ۸ نشان داده شد.

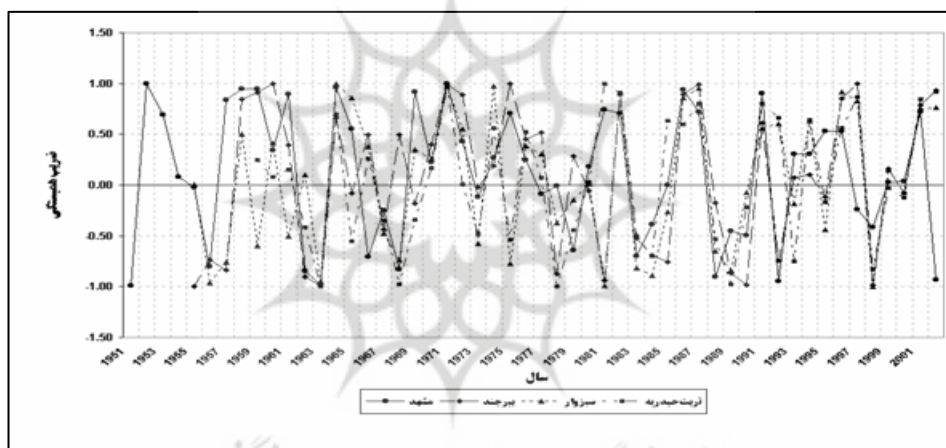


پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

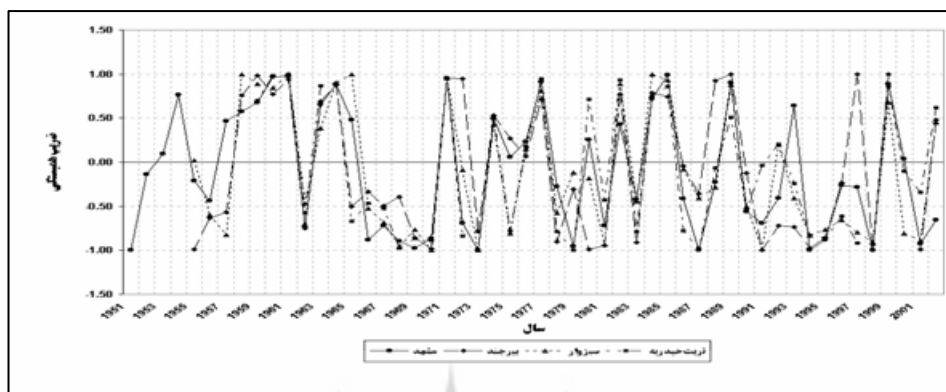
سال جامع علوم انسانی



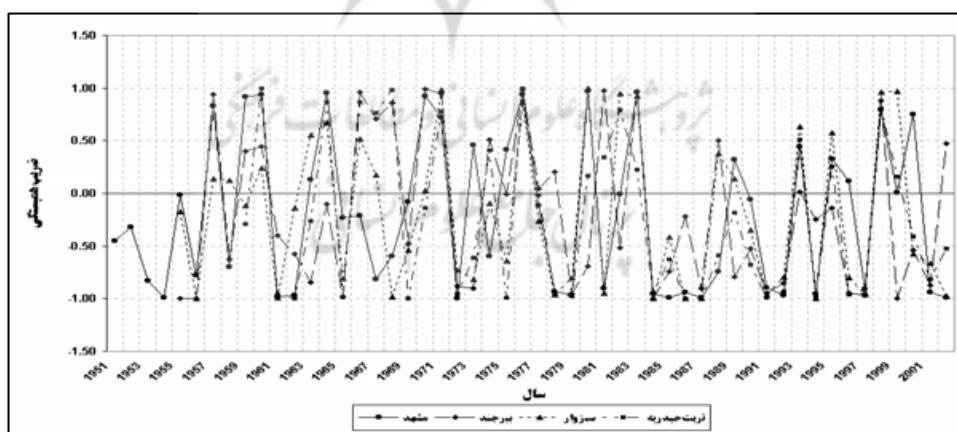
شکل ۵- نمودار توأم ضرایب همبستگی های بارش بهاره و پدیده ENSO در ایستگاههای همدیدی مشهد، بیرجند، سبزوار و تربت حیدریه



شکل ۶- نمودار توأم ضرایب همبستگی های تابستانه بارش و پدیده ENSO در ایستگاههای همدیدی مشهد، بیرجند، سبزوار و تربت حیدریه



شکل ۷- نمودار توأم ضرایب همبستگی‌های پائیزه بارندگی و پدیده ENSO در ایستگاه‌های همدیدی مشهد، بیرجند، سبزوار و تربت حیدریه

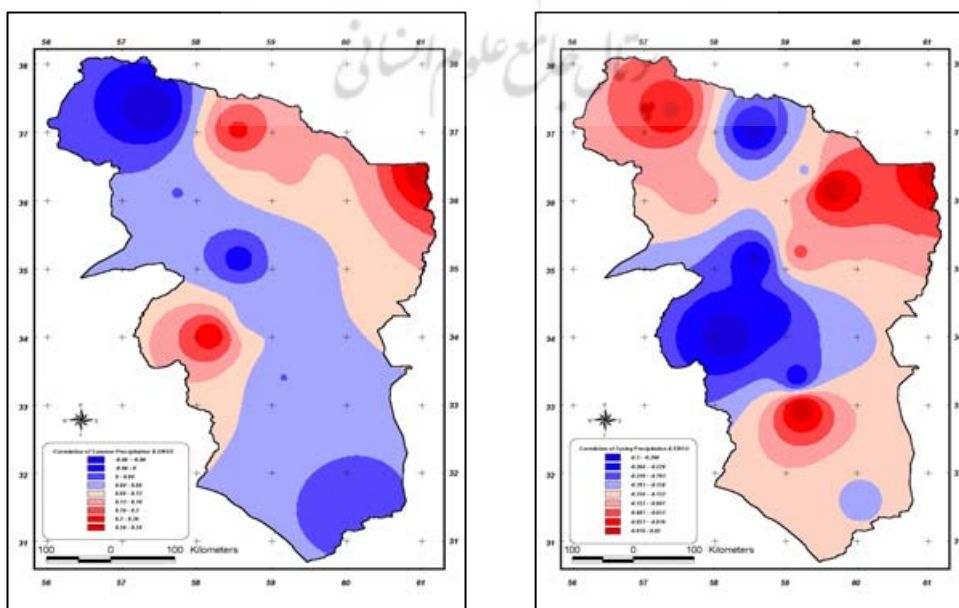


شکل ۸- نمودار توأم ضرایب همبستگی‌های زمستانه بارش و پدیده ENSO

در ایستگاه‌های همدیدی مشهد، بیرجند، سبزوار و تربت حیدریه

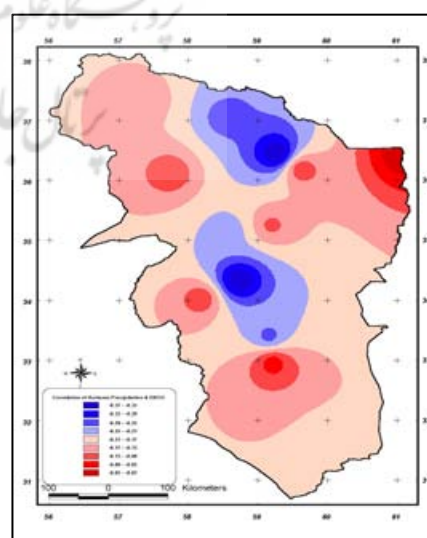
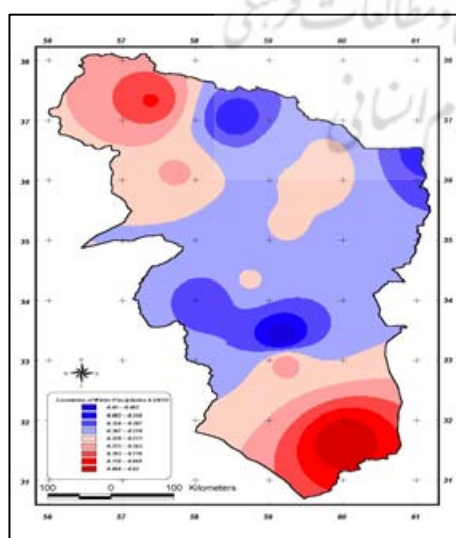
با ملاحظه این نمودارها می‌توان دریافت که نحوه تغییرات و نوسانات ضرایب همبستگی فصلی بارش با مقادیر SOI در فصول مختلف و در این ایستگاه‌ها دارای روندی تقریباً همسان بوده و وقوع فازهای گرم و سرد پدیده ENSO تأثیر مشابهی بر بارش فصلی هر ۴ ایستگاه گذاشته و معنی‌دار بودن این همبستگیها در فصول پاییز و زمستان بیشتر مشهود است. با توجه به بالا بودن دوره آماری این ایستگاه‌ها می‌توان نتایج حاصله را به سایر ایستگاه‌ها و مناطق استان بسط داد. جهت نشان دادن تأثیر پدیده ENSO بر بارش فصلی در کلیه مناطق استان و در فصول مختلف، نقشه پهنه‌بندی میانگین ضرایب همبستگی بارش فصلی با مقادیر مشابه SOI فصلی در ارتباط با کلیه ایستگاه‌های همدیدی استان تهیه شد (شکل‌های ۹ تا ۱۲).

مطابق این شکلها مشخص است که اولاً میانگین ضرایب همبستگی بارش با SOI در کلیه ایستگاه‌های استان و در تمامی فصول (بجز در ارتباط با بارش تابستانه) به‌طور کلی منفی بوده و نشان‌دهنده تأثیر گذاری فاز منفی ENSO بر بارش در کل استان می‌باشد. ثانیاً الگوهای منظمی از همبستگی ENSO با بارش مناطق مرکزی و جنوبی استان در طول فصول مختلف وجود دارد.



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی ضرایب همبستگی‌های بارش تابستانه و پدیده ENSO در ایستگاههای همدیدی خراسان

شکل ۹- نقشه پهنه‌بندی ضرایب همبستگی‌های بارش بهاره و پدیده ENSO در ایستگاههای همدیدی خراسان



شکل ۱۱- نقشه پهنه‌بندی ضرایب همبستگی های بارش پاییزه و پدیده ENSO در ایستگاههای همدیدی خراسان
 شکل ۱۲- نقشه پهنه‌بندی ضرایب همبستگی های بارش زمستانه و پدیده ENSO در ایستگاههای همدیدی خراسان

نتیجه‌گیری

با بررسی میزان تغییرات ضرایب همبستگی بارش با مقادیر سالانه SOI در طول سالهای مختلف و در هر ایستگاه همدیدی استان می‌توان دریافت که نوسانات این ضرایب در طول سالهای مختلف و در ایستگاههای مختلف همسان و مشابه است، به عبارت دیگر با افزایش یا کاهش ضرایب همبستگی بارش با مقادیر SOI سالانه در یک ایستگاه، این افزایش و یا کاهش در کلیه ایستگاههای استان نیز ملاحظه می‌شود که حتی در برخی از سالها این همبستگیها دقیقاً منطبق بر هم نیز می‌باشند. از سوی دیگر با مقایسه شکل ۳ (نمودارهای توأم ضرایب همبستگی بارش سالانه با پدیده ENSO) ملاحظه می‌شود که روند تغییرات ضرایب همبستگی در دو نمودار در سالهای مشابه تقریباً یکسان است. در این نمودارها در دهه ۱۹۹۰ اغتشاشاتی در میانگین ضرایب همبستگی دیده می‌شود که می‌توان آن را به تغییرات آب و هوایی و تأثیر آن بر نحوه وقوع پدیده ENSO نسبت داد.

با مطالعه نقشه‌های پهنه‌بندی میانگین ضرایب همبستگی بارش سالانه ایستگاههای استان نسبت به مقادیر SOI سالانه نیز مشخص می‌شود، که به‌طور کلی در ارتباط با بارش سالانه اکثر مناطق استان دارای همبستگی بالایی نسبت به پدیده ENSO می‌باشند. به‌هر حال همان‌گونه که در شکل ۳ نیز مشخص است در نواحی مرکزی استان همبستگی میان بارش با پدیده ENSO خیلی معنی‌دارتر از سایر نواحی استان می‌باشد. مقایسه ضرایب همبستگی بارش ایستگاههای مختلف در فصول مختلف با مقادیر SOI فصلی نیز مؤید تأثیرپذیری

پدیده بارش از ENSO می‌باشد. با ملاحظه نقشه‌های پهنه‌بندی همبستگی بارش فصلی با ENSO (شکل‌های ۹ تا ۱۲)، مشخص است که اولاً الگوهای منظمی از تغییرات ضرایب همبستگی و SOI در نواحی شمال غرب و مرکزی استان ملاحظه می‌شود، ثانیاً دامنه تغییرات میانگین این ضرایب در سطح استان و در فصول مختلف از $+0.25$ (در تابستان) تا -0.4 (در زمستان) متغیر است. ثالثاً بجز در فصل تابستان (شکل ۱۰) که میانگین همبستگی بارش ایستگاههای مختلف با SOI تا حدودی مثبت است، در بقیه فصول سال میانگین ضرایب همبستگی مذکور در کلیه مناطق استان منفی است.

از سوی دیگر بارش در قسمتهای جنوبی استان همبستگی منفی کمتری نسبت به پدیده ENSO داشته و قویترین همبستگی فصلی بارش و SOI در نواحی شمالی (به صورت الگوهای مشخص در طی چهار فصل) وجود داشته در نواحی مرکزی استان نیز همبستگیهای قوی بین دو پدیده مذکور طی فصول مختلف ملاحظه می‌شود. به هر حال به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت بارش کلیه مناطق استان (بخصوص نوار مرکزی و تا حدودی شمالی) نسبت به پدیده ENSO واکنش معنی‌داری نشان می‌دهند. به عبارت دیگر میانگین ضرایب همبستگی بارش با مقادیر SOI به طور سالانه و فصلی منفی است، یعنی با افزایش مقادیر SOI، مقادیر بارش در سطح استان خراسان در فصول و سالهای مختلف کاهش می‌یابد. به بیان دیگر با فعال شدن شرایط النینو یا فاز گرم پدیده ENSO میزان بارش سالانه و فصلی در سطح استان خراسان به نحو معنی‌داری افزایش می‌یابد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مساعدتها و نظرات ارزنده آقای دکتر سید محمد جعفر ناظم السادات دانشیار محترم بخش آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز که در تهیه این مقاله مورد استفاده واقع شده است، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱. استانداری خراسان، گزارش پروژه مطالعاتی پایش خشکسالی در استان خراسان، ۱۳۸۱.
۲. ناظم‌السادات س.م.ج. آیا باران می‌بارد؟ خشکسالی و بارندگی مازاد در ایران و ارتباط آنها با پدیده النینو-نوسانات جنوبی، انتشارات دانشگاه شیراز، ۱۳۸۰.
۳. ناظم‌السادات، س.م.ج. استفاده از روش تلفیقی شاخص‌های النینو-نوسانات جنوبی جهت بررسی تأثیر این پدیده بر خشکسالی و بارندگی مازاد زمستانه استان‌های فارس و خوزستان، مجموعه مقالات بیمه محصولات کشاورزی، امنیت و سرمایه‌گذاری، ۱۳۸۰.
۴. Nazemosadat, M.J., I. Cordery and S. Eslamian. The Impact of presian Gulf Sea Surface Temperature on Iranian Rainfall Proceedings of the Iranian Water Resources Management Conference, Esfahan, Iran. P, ۸۰۹-۸۱۹.
۵. Priestley, C.H. B., and A.J. Truup. ۱۹۶۰. Droughts wet proid and their association with Sea Surface Temperature. Australian J. of Science. ۲۹: ۷۶-۵۷.
۶. Shahabbar, A., Hunang, Higuchick. J. ۲۰۰۱. The relationship between the wintertime North Atlantic Oscillation and blocking episode in the North Atlantic, "International Journal of Climatology. ۲۱: ۳۵۵-۳۶۹.
۷. Trenberth, K.E. ۱۹۹۷ the definition of El Niño. Bull Amer. Meteor. Soc. ۹۱: ۴۹۰-۵۰۶.
۸. Troup, A.J. ۱۹۶۵. The Southern Oscillation. Q.J.R. Meteorol Soc. ۹۱: ۴۹۰-۵۰۶.