

اثر الگوی بزرگ مقیاس گردش جوی - اقیانوسی «انسو» بر تغییرپذیری فصلی اقلیم در ایران: آثار «ال نینو» و «لانینا» بر تغییرپذیری بارشهای بهاری در آذربایجان شرقی

یوسف قویدل رحیمی*

کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

پذیرش: ۸۳/۱۱/۲۴

دریافت: ۸۳/۶/۱۸

چکیده

با استفاده از «شاخصهای دمای سطح آب» نقش پدیده جوی - اقیانوسی انسو در تغییرپذیری بارشهای بهاری استان آذربایجان شرقی مطالعه شده است. نتایج حاصل از به‌کارگیری روش تحلیل همبستگی «پیرسون» بیانگر ارتباط معنادار مثبت بین شاخصهای $Nino_{1+2}$ و $Nino_3$ و بارشهای بهاره ایستگاههای آذربایجان شرقی است. این امر به معنای افزایش میزان بارشهای بهاری به هنگام ال نینو (فاز مثبت یا گرم) و بر عکس آن، یعنی کاهش بارشها در فاز منفی یا لانینا (فاز سرد) است. در بین ایستگاههای مطالعه شده بیشترین میزان همبستگی بارش بهاری با شاخصهای انسو در ایستگاه میانه و مراغه است و کمترین میزان همبستگی در ایستگاه سراب محاسبه شده است. مقادیر ضریب همبستگی محاسبه شده بین بارش و شاخصهای انسو بیانگر نقش عوامل جغرافیایی در میزان تأثیرپذیری از پدیده انسو می‌باشد؛ به این معنا که در استان آذربایجان شرقی از غرب به شرق و از شمال به جنوب بر میزان همبستگی یا به عبارت دیگر بر میزان تأثیرپذیری بارش از پدیده انسو افزوده می‌شود که اوج این افزایش در ایستگاه میانه قابل مشاهده است.

کلید واژه‌ها: الگوی بزرگ مقیاس گردش جوی - اقیانوسی انسو، ال نینو، لانینا، تغییرپذیری بارش بهاری، آذربایجان شرقی.

E-mail: neuralclimate@Yahoo.Co.Uk

*نویسنده مسؤول مقاله:

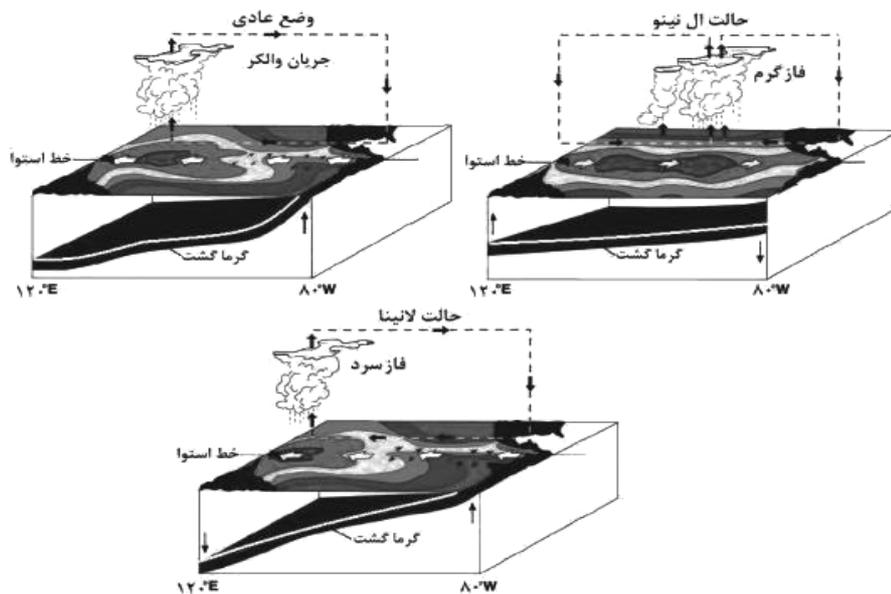
یوسف قویدل رحیمی  اثر الگوی بزرگ مقیاس گردش جوی- اقیانوسی...

۱- مقدمه

تغییرات فصلی اقلیم کره زمین بر اثر تغییراتی است که الگوهای بزرگ مقیاس گردش جوی - اقیانوسی اعمال می‌کنند. پدیده انسو یکی از مهمترین عوامل تغییردهنده اقلیم در مقیاس جهانی است که با به‌وجود آوردن پدیده‌های ال‌نینو و لانینا تغییراتی را در اقلیم مخصوصاً توزیع زمانی- مکانی بارش به‌وجود می‌آورد. ال‌نینو از منظر اقلیم‌شناسان به جریان آب نسبتاً ضعیف و گرمی که در حوالی کریسمس در جهت جنوب و در سواحل جنوبی اکوادور و سواحل شمالی پرو واقع در شرق اقیانوس آرام روی می‌دهد، اطلاق می‌شود. در برخی سالها این جریان تشدید می‌شود و ثابت شده است، زمانی که دمای آب ۳/۵ درجه سانتیگراد افزایش پیدا می‌کند، بارش شدید و وقوع سیل حتمی است که این فرایند نیز آشفتگیهای محیطی را به همراه خواهد آورد. از منظر تغییرات اقلیمی، ال‌نینو چیزی بیشتر از یک جریان آب گرم ناگهانی در سواحل پرو است؛ زیرا ال‌نینو علاوه بر داشتن توانایی در بالا بردن دمای ناحیه وسیعی از منطقه استوایی اقیانوس آرام می‌تواند عامل تغییراتی در جهت باد و جریان آب نیز باشد. در واقع ال‌نینو می‌تواند عامل یک نوسان در فشار هوا در ناحیه وسیعی از اقیانوس آرام باشد. در نتیجه اقلیم‌شناسان ال‌نینو را به‌عنوان یک پدیده منفرد در نظر نمی‌گیرند و از «ال‌نینو- نوسان جنوبی» صحبت می‌کنند. شایان ذکر است که به دلیل ارتباط و هم‌زمانی ال‌نینو با شاخص نوسان جنوبی، این دو پدیده باهم ادغام و «انسو» نامیده می‌شود که مانند پاندولی بین ال‌نینو یا حالت گرم شدن آب (فاز گرم) و «لانینا» یا حالت سرد شدن آب (فاز سرد) نوسان می‌کند. نوسانهای جنوبی (که به‌عنوان نمایه پدیده انسو در نظر گرفته می‌شوند) در سال ۱۸۹۷م. شناسایی شدند و تحقیقات واکر وجود آن را ثابت کرد (از این بابت به فرایندهای همرفتی انسو «جریان واکر» نیز می‌گویند). زمان بالای شاخص نوسان جنوبی، موجب تشدید جریان واکر و ظهور لانینا و زمان شاخص پایین نوسان جنوبی، موجب وقوع پدیده ال‌نینو می‌شود. حالت بینابین جریان واکر نیز شرایط نرمال انسو را به‌وجود می‌آورد (شکل ۱).

وقوع ال‌نینو به‌عنوان فاز گرم انسو حالت عادی سلولهای «هدلی» را مختل و جریان زناری واکر را معکوس می‌کند؛ این تغییر محرک بسیاری از سوانح محیطی است. از پدیده انسو می‌توان به‌عنوان یک گردش جوی- اقیانوسی بسیار قوی که با شدت و ضعفهایی در کل کره

زمین دارای تأثیراتی است، یاد کرد. میزان اثر انسو در عرضهای جغرافیایی میانی (دو طرف خط استوا) قویتر است و به این دلیل ال نینو و لانینا را فرزندان مدارات می نامند [۲].



شکل ۱ مدل ریزنمایی شده سازوکارها و فازهای مختلف الگوی بزرگ مقیاس گردش جوی - اقیانوسی انسو [۱]

«زیر» حساسیت و تغییرات دبی رود «ماهولی» در سریلانکا را به پدیده انسو مورد تحقیق قرار داد و ثابت کرد که کاهش دبی رودخانه ماهولی و آثار منفی زیست محیطی ناشی از آن (مثل کاهش توان خودپالایی رودها، افزایش آلودگی آب و مرگ آبزیان) در فاز ال نینو روی می دهد [۲]. «هارلو»^۱ و همکاران او، اثر پدیده انسو بر ظهور و گسترش بیماری مالاریا را در «بروندی» بررسی کردند. آنها ارتباطی قوی را بین فاز ال نینو (به علت فراهم شدن وضعیت مساعد اقلیمی برای تکثیر پشه ناقل مالاریا) و کثرت تعداد مبتلایان به بیماری مالاریا دریافتند [۴].

1. Harlow

با وجود اینکه آثار پیوند از دور الگوهای بزرگ مقیاس گردش جوی - اقیانوسی از مدتها قبل به صورت یک روش پیشرفته برای بیان علل بارش و نوسانهای آن به کار می‌رود، اما اخیراً به ارتباط این الگوها با بارشهای ایران توجه شده است. مثلاً «مدرس پور» اثر پدیده انسو بر ناهنجاریهای اقلیمی ایران را با تأکید بر نوسانهای دما بررسی کرد. تحقیق وی یک کار پایه و اساسی در شناخت پدیده انسو و آثار آن بر اقلیم ایران محسوب می‌شود که ابعاد فیزیکی و اقیانوس‌شناسی پدیده انسو را بیشتر مد نظر قرار داده است [۵]. «خوش اخلاق» آثار پدیده انسو بر رژیم بارش ایران را به صورت غیر مستقیم و از طریق دگرگون‌سازی الگوهای گردش عمومی جو و آثار آن بر میزان بارش و خشکسالیها و ترسالیهای ایران مطالعه کرده و نقش آن بر رژیم بارش نواحی مختلف ایران را تنها در فصل پاییز (در جنوب شرقی و شرق ایران در هر چهار فصل) مهم و پرتأثیر دانسته است [۶]. «ناظم السادات» با توجه به همبستگی منفی که بین شاخص نوسانهای جنوبی و بارندگی پاییزه در مناطق مختلف ایران محاسبه کرده، معتقد است که ال‌نینو در ایران بویژه در مناطق جنوب شرقی، غالباً با افزایش بارش پاییزه و وقوع لایننا اکثرراً با خشکسالیهای پاییزی دارای ارتباط و همزمانی هستند [۷]. «غیور» و «خسروی» نیز تأثیر پدیده انسو را بر نوسانهای بارش پاییزه و تابستانی جنوب شرق ایران تجزیه و تحلیل کرده‌اند. آنها ثابت کردند که حداکثر بارشهای پاییزه در ناحیه مطالعه شده با قویترین ال‌نینوها، یعنی در سالهای ۱۹۸۲ و ۱۹۹۷ م. مطابقت دارند. افزایش بارش پاییزه در فازهای گرم نسبت به فازهای نرمال و سرد و حالت معکوس آن در تابستان (خشکی در فاز گرم و افزایش بارش در فاز سرد) نیز از دیگر نتایج تحقیق مذکور می‌باشد [۸]. ناظم السادات معتقد است که اثر انسو بر بارشهای زمستانی همانند اثر پاییزی آن که موجب افزایش بارش در فاز گرم (ال‌نینو) و کاهش آن در فاز سرد (ل‌نینا) می‌شود، است [۹]. مطالعات بعدی که در مقیاس استانی انجام گرفته است، وجود ارتباط بین بارشهای زمستانی آذربایجان شرقی و پدیده انسو را رد و ثابت کرده است که در زمستان اقلیم و به تبع آن بارش آذربایجان شرقی بشدت متأثر از یک الگوی بزرگ مقیاس جوی - اقیانوسی دیگر به نام «نوسانهای اطلس شمالی» است [۱۰]. قویدل رحیمی با استفاده از شاخصهای متعدد (Nino1+2, Nino3, Nino3/4, Nino4, SOI) میزان تأثیرپذیری

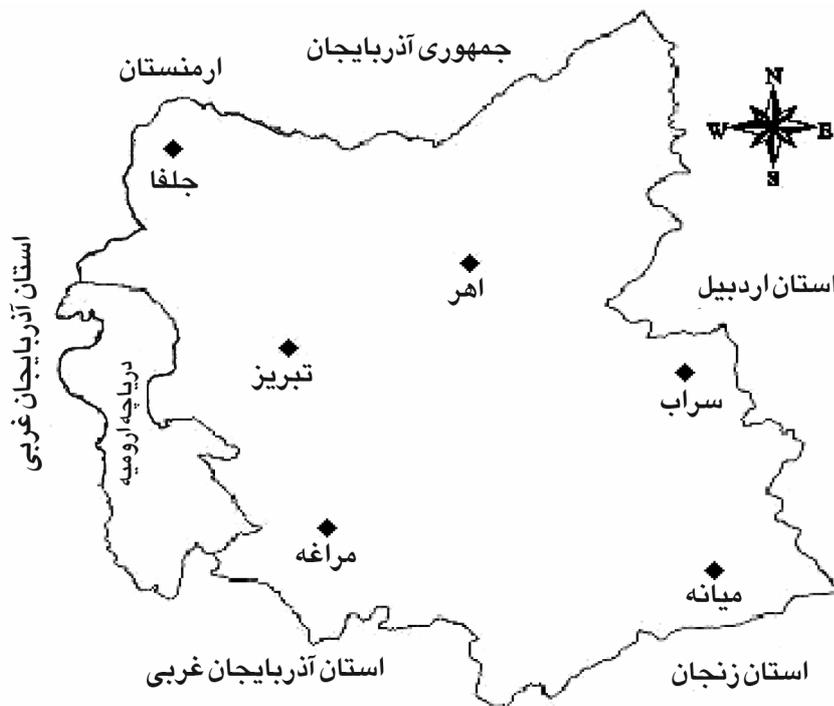
1. SOI: Southern Oscillation Index

بارشهای پاییزی ایستگاههای آذربایجان شرقی از پدیده انسو را مطالعه کرده و معتقد است که همبستگی معناداری بین پدیده انسو و نوسانهای بارش پاییزی قابل مشاهده است. او اثر پدیده انسو بر بارش در فاز گرم (النینو) را مثبت و توأم با افزایش و در فاز سرد انسو (لانینا) منفی و همراه با وقوع خشکسالیهای پاییزی ارزیابی کرده است [۱۱]. بنابراین این عمل یافته‌ها نتایج کار او را در خصوص آثار النینو بر بارشهای ایران با سطح اطمینان بیشتری مورد تأیید قرار داده است [۱۲]. تحقیقات نشان داده است که بخش عمده‌ای از بارشهای بهاری ناحیه آذربایجان مخصوصاً آذربایجان شرقی مربوط به سیستمهای بارشزای مدیترانه‌ای، دریای سیاه و همرفت وزشی در دامنه‌های آفتابگیر رو به باد هستند [۱۳]. در کل در مطالعات پیوند از دور (در ایران) به منشأ و ارتباط بارشهای بهاره با الگوهای کلان مقیاس اقلیمی خصوصاً با استفاده از سنج‌های دمای آب توجه چندانی نشده است. این پژوهش درصدد است با استفاده از شاخصهای دمای سطح آب و روشهای آماری، نقش و آثار الگوی بزرگ مقیاس گردش جوی - اقیانوسی انسو (النینو و لانینا) بر تغییرپذیری بارشهای بهاری آذربایجان شرقی را (که تا به حال در مقیاس استانی مطالعه نشده است) مطالعه و بررسی کند.

۲- داده‌ها و روشها

داده‌های ماهانه بارش بهاری شش ایستگاه استان آذربایجان شرقی شامل: تبریز، اهر، مراغه، میانه، سراب، جلفا در طول یک دوره آماری ۴۳ ساله از ماه آوریل (فروردین) سال ۱۹۶۰م. تا ژوئن (خرداد) سال ۲۰۰۲م. (به مدت ۱۲۹ ماه برای هر ایستگاه) برای مطالعه انتخاب شد. توزیع فضایی ایستگاههای مطالعه شده در شکل ۲ و مشخصات آنها در جدول ۱ نشان داده شده است. پس از ایجاد پایگاه داده‌ها به منظور آماده سازی و کنترل کیفی داده‌ها (داده‌سازی، تی تست، اف تست و آزمون جرم مضاعف برای سنجش همگنی داده‌ها) از نرم‌افزار Data Tester، برای داده‌پردازی و ترسیم مؤلفه روند سریهای بارش و الگوهای پیوند از دور از نرم‌افزار InStat+۷۳/۲۰، برای محاسبه ضرایب همبستگی پیرسون از نرم‌افزار NCSS، به منظور محاسبه مقادیر همبستگی ناهمزمان (توأم با تأخیر) از نرم‌افزار Time Series و برای نرمال کردن داده‌ها از نرم‌افزار MiniTab استفاده شد.

الگوهای پیوند از دور، معیارها یا سنجه‌هایی هستند که به وسیله آنها تغییرات زمانی شدت و تغییرات مکانی الگوهای گردش جوی - اقیانوسی زمین (یا بخشهایی از آن) اندازه‌گیری می‌شود؛ به عبارت دیگر با تعریف این نوع شاخصها وضعیت، کیفیت و در نهایت توان یک الگوی گسترده سینوپتیک در یک معیار عددی خلاصه می‌شود [۱۴]. الگوهای سینوپتیک و شاخصهای آن از ضرورت‌های اساسی تحلیل‌های کمی و فضایی در اقلیم‌شناسی سینوپتیک محسوب می‌شوند.



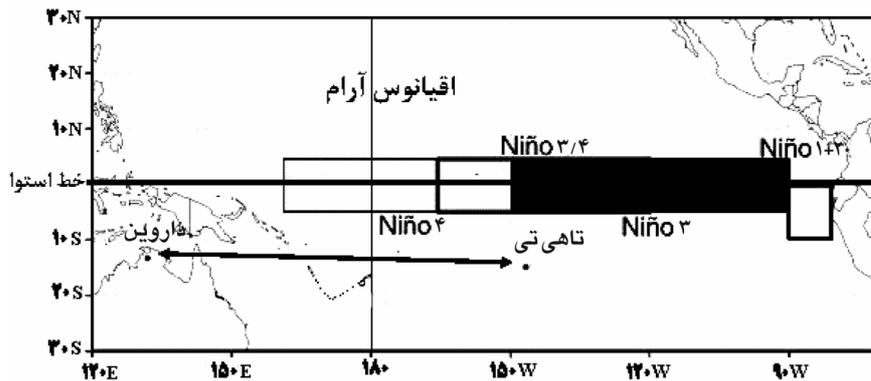
شکل ۲ توزیع فضایی ایستگاههای مطالعه شده در سطح استان آذربایجان شرقی

جدول ۱ مشخصات ایستگاههای سینوپتیک مطالعه شده در استان آذربایجان شرقی

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام حوضه آبریز	ارتفاع (متر)	درصد بارش بهاره از بارش سالیانه
تبریز	۴۶/۱۷°	۳۸/۰۵°	دریاچه ارومیه	۱۳۶۱	۳۳
اهر	۴۷/۰۳°	* ۳۸/۲۶°	ارس	۱۳۹۰	* ۴۰/۷
جلفا	* ۴۵/۴۰°	۳۸/۴۵°	ارس	* ۷۳۶	۳۶/۷
سراب	۴۷/۳۲°	۳۷/۵۶°	دریاچه ارومیه	* ۱۶۸۲	۳۶/۶
مراغه	۴۶/۱۶°	۳۷/۲۴°	دریاچه ارومیه	۱۴۷۶	* ۳۱/۸
میانه	* ۴۷/۴۲°	* ۳۶/۲۰°	قزل اوزن	۱۱۱۰	۳۴

* از نکات مهم

الگوی بزرگ مقیاس جریان انسو از طریق شاخصهای دمای سطح آب در اقیانوس آرام در محدوده شکل ۳ به شرح ذیل تجزیه و تحلیل می‌شود [۱۵]:



شکل ۳ مناطق مختلف اندازه‌گیری شاخصهای دمای سطح آب اقیانوس آرام برای ارزیابی نقش پدیده انسو [۱۶]

- ۱- شاخص Niño ۱+۲: شاخص مذکور از سنجه‌های اصلی پدیده انسو می‌باشد و بیانگر نوسانهای درجه حرارت سطح دریا در شرقی‌ترین بخش اقیانوس آرام مداری (حدفاصل صفر تا ۱۰ درجه جنوبی و ۱۶۰ درجه شرقی تا ۱۵۰ درجه غربی) است.
 - ۲- شاخص Niño ۳: این شاخص نمایانگر اختلاف درجه حرارت سطح دریا در طرف شرقی، بخش مداری اقیانوس آرام بین دو منطقه (۵ درجه شمالی و ۵ درجه جنوبی تا حوالی ۱۵۰ و ۹۰ درجه غربی) است.
 - ۳- شاخص Niño ۳/۴: بیان‌کننده اختلاف دمای سطح دریا در دو ناحیه در بخش داخلی قسمت شرق آرام مداری (۵ درجه شمالی و ۵ درجه جنوبی تا حوالی ۱۲۰ و ۱۷۰ درجه غربی) است.
 - ۴- شاخص Niño ۴: این شاخص بیانگر اختلاف درجه حرارت سطح دریا در دو ناحیه مرکزی بخش حاره‌ای اقیانوس آرام (در ۵ درجه شمالی و ۵ درجه جنوبی تا حوالی ۱۶۰ درجه شرقی و ۱۵۰ درجه غربی) است.
- منبع اخذ داده‌های مذکور «مرکز پیش‌بینی‌های اقلیمی» اداره ملی آب و هوا وابسته به «ناسا» و «مرکز تشخیص اقلیمی» وابسته به دانشگاه ایالتی «بولدر» در کلرادو آمریکا است.

روشهای استفاده شده در این پژوهش عبارت از: روش تحلیل رگرسیون ساده و ناهمزمان (با تأخیر)، ماتریس همبستگی و مؤلفه‌های روند خطی، نمایی و پولی نومینال سریهای زمانی است.

۳- نتایج

نتایج حاصل از داده‌پردازی مقادیر بارش ایستگاهها در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ خصوصیات آماری بارش در ایستگاههای آذربایجان شرقی (بارش به میلیمتر)

ایستگاه	میانگین	میانه	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	دامنه	ضریب تغییر
تبریز	۹۵	۹۵	۴۷/۹	* ۴۱	۲۳۹/۲	* ۱۹۸/۲	* ۴۳/۶۷
اهر	* ۱۲۶/۴	* ۱۲۶	۵۰/۸	۳۶/۳	۲۶۱/۷	۲۲۵/۴	۴۱
جلفا	* ۸۰	* ۸۰	۴۶	* ۱۴/۴	۲۱۷	۲۰۲/۶	* ۵۱/۳
سراب	۹۳/۲	۹۳/۲	۴۷/۲	۳۳/۹	۲۶۳/۱	۲۲۹/۲	۴۷/۸۵
مراغه	۱۲۳/۶	۱۲۴	* ۵۶/۳	۲۶/۶	* ۲۷۸/۵	* ۲۵۱/۹	۴۶/۶۹
میانه	۹۳	۹۳	* ۴۴/۲	۲۳/۸	* ۲۱۶/۹	۱۹۳/۱	۴۶/۹

* مهمترین نتایج حاصل از پردازش داده‌های خام بارش بهاره ایستگاههای آذربایجان شرقی

به منظور بررسی وجود ارتباط و همبستگی بین متغیرهای اقلیمی بارش ایستگاهها و شاخصهای دمای سطح آب در اقیانوس آرام (مرکز عمل پدیده انسو) ماتریس همبستگی متغیرها به شرح جدول ۳ و همبستگی ناهمزمان (با تأخیر) به شرح جدول ۴ محاسبه شده است.

جدول ۳ ماتریس همبستگی محاسبه شده بین متغیرهای بارش ایستگاهها و شاخصهای دمای سطح آب در اقیانوس آرام

عامل	Nino ^۳	Nino ^{۳.۴}	Nino ^۴	سراز	مؤلفه	مؤلفه	مؤلفه	مؤلفه
تبریز	۰.۷	**/۲۵۴	**/۳۹	**/۶۴	**/۷۸۲	**/۶۲۳	**/۶۹۱	**/۶۸۳
اهر	۰.۸	**/۱۸۷	**/۲۲۳	**/۵۸	**/۷۱۲	**/۴۳۵	**/۶۰۵	**/۶۸۳
جلفا	۰.۲	**/۲۷۳	**/۳۷۱	**/۵۳۱	**/۶۴۲	**/۴۸۴	۱	**/۶۹۱
مراغه	۰.۱	**/۳۲	**/۳۷۶	**/۴۸۸	**/۵۹۳	۱	**/۴۸۴	**/۶۲۳

**/۷۸۲	**/۷۱۲	**/۶۴۲	**/۵۹۲	۱	**/۶۱۱	**/۴	**/۳۰۸	#/۱۹	میانه
**/۶۴	**/۵۸	**/۵۳۱	**/۴۸۸	**/۶۱۱	۱	*/۱۷۷	*/۱۷۷	/۰۹	سراب
**/۳۹	**/۲۲۳	**/۳۷۱	**/۳۷۶	**/۴	*/۱۷۷	۱	**/۸۵۷	**/۵۱۲	Nino۱+۲
**/۲۵۴	*/۱۸۷	**/۲۷۳	**/۳۲	**/۳۰۸	*/۱۷۷	**/۸۵۷	۱	**/۸۳	Nino۳
/۰۷	/۰۸	/۰۲	/۱	*/۱۹	/۰۹	**/۵۱۲	**/۸۳	۱	Nino۳/۴

*همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۵

**همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۱

جدول ۴ مقادیر ضریب همبستگی غیر همزمان بین سریهای بارش و شاخصهای معرف انسو

(دمای سطح آب)

Lag۳			Lag۲			Lag۱			تأخیر
Nino۳/۴	Nino۳	Nino۱+۲	Nino۳/۴	Nino۳	Nino۱+۲	Nino۳/۴	Nino۳	Nino۱+۲	شاخص
-/۰۱۱	/۰۰۶	/۰۳	-/۰۶۱	-/۰۱۳	/۱	/۰۶	-/۰۰۲	*/۱۸۵	تبریز
/۰۴	/۰۸	-/۰۴	/۰۷	-/۰۰۵	/۰۹	/۰۴	-/۰۱۳	*/۱۷۳	اهر
-/۰۵	/۰۴۳	-/۰۵	-/۰۱۶	-/۰۱۱	/۰۵۵	/۰۵	-/۰۱	*/۱۵	جلفا
/۰۱۷	/۰۳۳	/۰۱۲	/۰۹	-/۰۱۹	/۱۱	/۰۰۳	-/۰۰۷	**/۲۲	مراغه
/۰۲۱	/۰۰۸	/۰۷۱	-/۰۸۲	-/۰۹	/۱۳	/۰۰۸	-/۰۲	**/۲۴۵	میانه
-/۰۹	/۰۷	-/۰۴۹	/۰۴۳	-/۰۰۸	/۰۸۹	/۰۹	-/۰۹	**/۲	سراب

*همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۵

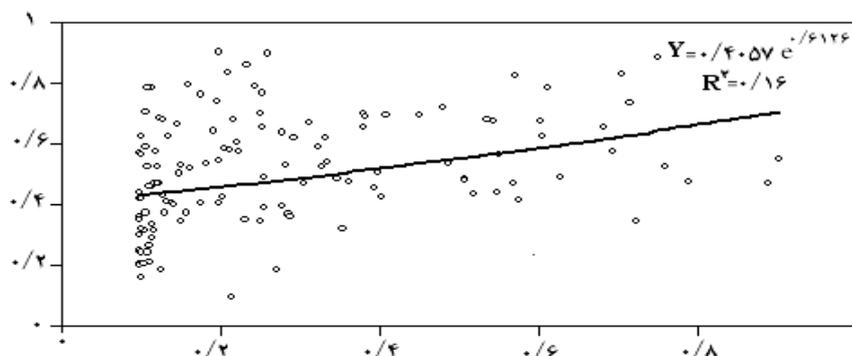
**همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۱

همانگونه که از جدول ۳ استنباط می شود، حداکثر همبستگی بارش ایستگاهها با شاخص Nino۱+۲ که بیانگر نوسانهای دمای آب در شرقی ترین قسمت اقیانوس آرام است، محاسبه شده است. همبستگی بارش کل ایستگاهها با شاخص مذکور معنادار است؛ زیرا بیشترین همبستگی را بارش ایستگاه میانه و کمترین همبستگی را بارش ایستگاه سراب نشان می دهد. همچنین بارش بهاره کل ایستگاهها با شاخص Nino۳ معنادار است که بیشترین مقدار این همبستگی در ایستگاه مراغه و کمترین آن در ایستگاه سراب محاسبه شده است. از میان ایستگاههای مطالعه شده فقط بارش بهاری مراغه با شاخص Nino۳/۴ دارای همبستگی ضعیف، اما معناداری است. بارش بهاری هیچ یک از ایستگاههای آذربایجان شرقی با شاخص Nino۴، همبستگی معناداری را نشان نمی دهد که به این دلیل از جدول ماتریس همبستگی حذف شد. با توجه به جدول ۳ و شکل ۳ می توان نتیجه گیری کرد: همانطور که از غرب به شرق اقیانوس آرام بر میزان همبستگی بارش بهاری ایستگاههای آذربایجان شرقی با نوسانهای دمای سطح آب اقیانوس آرام افزوده می شود، در محدوده جغرافیایی استان

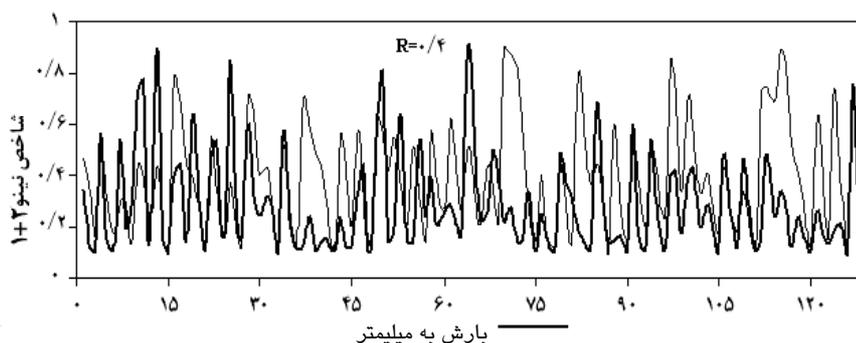
آذربایجان شرقی نیز از غرب به شرق و از شمال به جنوب بر میزان تأثیرپذیری از پدیده انسو افزوده می‌شود. احتمالاً همبستگی ضعیف سراب که از ایستگاههای شرقی استان است، به دلیل ارتفاع زیاد و موقع خاص بادپناهی آن (سبلان و دیگر ارتفاعات مانع تأثیر پدیده انسو بر بارش سراب می‌شوند) است.

با توجه به هماهنگی تغییرات بارش بهاری ایستگاههای مطالعه شده با تغییرات دمای سطح آب در مناطق Nino₁₊₂ و Nino₃ و با توجه به اینکه مقادیر بالاتر شاخصهای دمای سطح آب نشانگر وقوع ال نینو و مقادیر کمتر نشانگر لانینا هستند، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بارش بهاری به هنگام وقوع ال نینو در ایستگاههای آذربایجان شرقی افزایش می‌یابد و در فاز سرد یا لانینا که با کاهش دمای سطح آب همراهی می‌شود، بارش کاهش پیدا کرده و در صورت تداوم و تشدید افت دمای سطح آب (تشکیل پرفشار یا فراپار) در ایستگاههای مطالعه شده خشکسالی به وقوع می‌پیوندد.

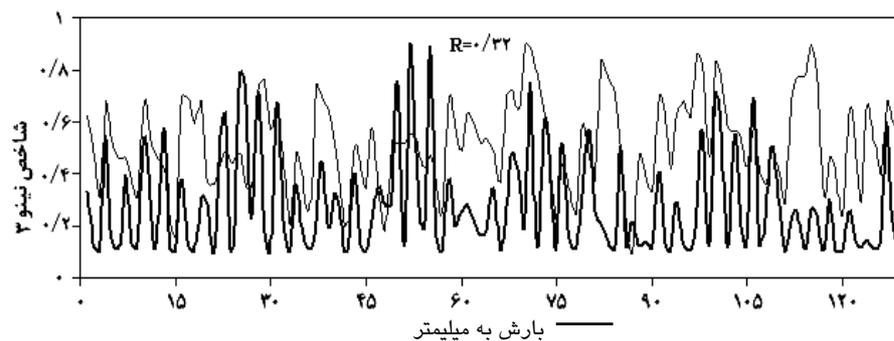
در شکل ۴ میزان همبستگی بارش ایستگاه میانه با شاخص Nino₁₊₂ به همراه خط برازش (مؤلفه روند نمایی) آن و در شکل ۵ میزان تغییرات زمانی و حساسیت بارش بهاره به نوسانهای دمای سطح آب در منطقه Nino₁₊₂ برای ایستگاه میانه که ضریب تعیین آن ۱۶ درصد محاسبه شده است، قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۴ مدل رگرسیون نمایی تغییرات بارش به نسبت تغییرات دمای سطح آب در منطقه Nino₁₊₂ در ایستگاه میانه (برای نمایش بهتر تغییرات در نمودار، مقادیر بارش و شاخص Nino₁₊₂ بین صفر و یک نرمال شده‌اند).



شکل ۵ در نمودار بالا تغییرات زمانی بارش بهاری و تغییرپذیری آن به نسبت تغییرات دمای سطح آب در منطقه Nino1+2 در ایستگاه میانه مشاهده می‌شود (مقادیر شاخص Nino1+2 برای نمایش بهتر تغییرات بین صفر و یک نرمال شده است). مدل نوسانهای سریهای زمانی بارش و نوسانهای دمای سطح آب در منطقه Nino3 که در شکل ۶ نشان داده شده است، حساسیت و تأثیرپذیری بارش بهاره ایستگاه مراغه را به فازهای گرم (ال نینو) و سرد (لانینا) نشان می‌دهد.



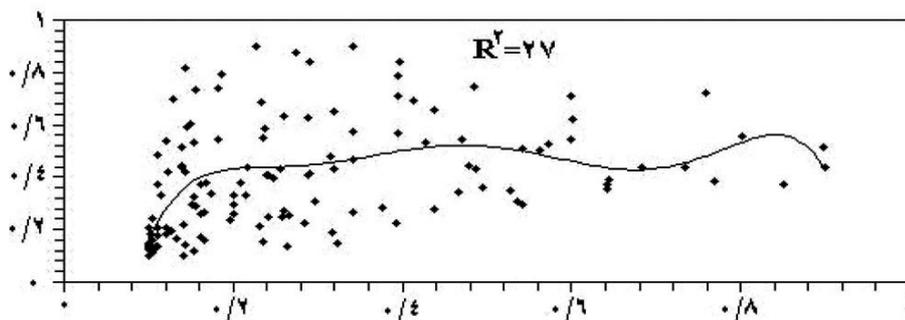
شکل ۶ میزان تأثیرپذیری سری زمانی بارش از نوسانهای دمای سطح آب در منطقه Nino3 برای ایستگاه مراغه در شکل ۶ نشان داده شده است (مقادیر شاخص Nino3 بین صفر و یک نرمال شده است).

به منظور آگاهی از آثار ناهمزمان انسو بر بارشهای بهاری، مقادیر ضریب همبستگی غیر همزمان بین سریهای بارش ایستگاهها و شاخصهای دمای سطح آب با تأخیر ۱ الی ۳ ماهه محاسبه و نتایج آن در جدول ۴ درج شد.

با توجه به ضرایب همبستگی غیر همزمان محاسبه شده معلوم شد که ضریب همبستگی حاصل بین بارش بهاری ایستگاههای مطالعه شده و شاخص Nino1+2 با تأخیر یک

(Lag γ) فقط معنادار بوده است و سایر ضرایب همبستگی معنادار نیستند. مقدار و سطح معناداری ضریب همبستگی حاصل با تأخیر یک (که براساس شاخص Nino $\gamma+2$ محاسبه شده است) نسبت به ضرایب همبستگی محاسبه شده و همزمان در جدول ۳ بسیار کمتر است. معنادار بودن ضرایب همبستگی غیر همزمان با تأخیر یک (تأخیر یک ماهه) بین شاخص Nino $\gamma+2$ و بارش بهاره ایستگاهها به این معنا است که دمای سطح آب در محدوده Nino $\gamma+2$ علاوه بر تأثیرات همزمان می تواند با یک ماه تأخیر نیز موجب تغییراتی در بارش بهاری ایستگاهها شود. تفسیر ساده تر همبستگی با تأخیر یک برای نوسانهای بارش در مقابل نوسانهای درجه حرارت سطح آب این است که: نوسانهای دمای سطح آب در منطقه Nino $\gamma+2$ در آوریل موجب تغییرات بارش ماه می و نوسانهای دمای سطح آب در ماه می موجب تغییرات بارش در ماه ژوئن می شود البته لازم به ذکر است که میزان تأثیرات ناهمزمان مذکور از همبستگی و آثار همزمان پدیده انسو بر بارشهای بهاری کمتر می باشد.

اقلیم شناسان با تأکید بر پیچیدگیهای سیستم اقلیمی معتقدند: ارتباط بین پدیده های اقلیمی بر خلاف تصور اغلب محققان، همیشه خطی نیست؛ همچنین معتقدند در بررسی ارتباطات اقلیمی بویژه در ارزیابی آثار پیوند از دور باید در کنار روشهای خطی به روشهای نیمه خطی و غیر خطی مثل «شبکه های عصبی فازی» نیز توجه شود [۱۸، ۱۷]. برای آزمون صحت نظریه مذکور در خصوص ارتباط بارشهای بهاره ایستگاهها با پدیده انسو با استفاده از روش رگرسیون پولی نومیال درجه ۶ که روشی نیمه خطی است، ضرایب همبستگی بارش ایستگاه میانه با شاخص Nino $\gamma+2$ محاسبه شده است و همانگونه که در شکل ۷ مشاهده می شود، میزان ضریب همبستگی و ضریب تعیین حاصل از روش رگرسیون پولی نومیال بیشتر از روش نمایی است (شکل ۴ را با شکل ۷ مقایسه کنید). بر این اساس روشهای نیمه خطی و غیر خطی می توانند تحلیلهای دقیقتری از ارتباط بارشهای بهاری با پدیده انسو را ارائه کنند.



شکل ۷ الگوی همبستگی پولی نومیال درجه ۶ بین بارش بهاری ایستگاه میانه و شاخص $Nino_{1+2}$ با ضریب همبستگی $0.516 / (R=0.516)$ و ضریب تعیین ۲۷ درصد (داده‌های شاخص و بارش بین صفر و یک نرمال شده‌اند).

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات انجام گرفته در خصوص پدیده انسو و آثار آن بر اقلیم ایران به نظر می‌رسد که علت اصلی افزایش بارش در فاز ال نینو انتقال رودباد جنب حاره‌ای در نیمکره شمالی به عرضهای پایینتر می‌باشد. این انتقال موجب می‌شود که جانب شمالی سلول هدلی در موقعیتی نزدیکتر به استوا قرار گیرند. بنابراین در چنین وضعیتی پرفشار آنتی سیکلونها‌ی جنب حاره‌ای خاورمیانه به عرضهای پایینتر منتقل شده و امکان نفوذ موج بادهای غربی را به منطقه مدیترانه و دریای سرخ افزایش می‌دهند [۱۹]. نتیجه این ساز و کار جوی- اقیانوسی افزایش بارشهای فراگیر ایران (و بخش وسیعی از خاورمیانه) در سالهای توأم با ال نینو است. حالت معکوس ساز و کار مذکور با ایجاد فاز سرد (لانینا) انسو زمینه لازم برای بروز خشکسالی در خاورمیانه و ایران را فراهم می‌آورد.

با توجه به تحلیلهای آماری بویژه ضرایب همبستگی معنادار بارش بهاره ایستگاهها با شاخصهای مربوط به پدیده انسو می‌توان وجود ارتباط پیوند از دور و همزمان بین پدیده جوی- اقیانوسی انسو و بارشهای بهاری را تأیید کرد. ضرایب همبستگی و ضرایب تعیین محاسبه شده از طریق روش رگرسیون معلوم می‌کنند که اثر پیوند از دور انسو بر بارش بهاره آذربایجان شرقی چندان قوی نیست و حداکثر تأثیر آن بر بارش ایستگاههای مطالعه شده از ۱۶ درصد در ایستگاه میانه تا ۳/۱۲ درصد در ایستگاه سراب (مقادیر محاسبه شده از سنجه $Nino_{1+2}$) تغییر دارد.

این مطالعه نشان می‌دهد که تأثیر جریان جوی- اقیانوسی انسو بر بارشهای بهاری آذربایجان شرقی به طور دقیق مثل آثار پاییزی آن است. به این معنا که در فاز گرم یا به هنگام ال نینو (که دمای سطح آب افزایش پیدا می‌کند) و مسیر جریان واکر رطوبت ناشی از تبخیر آب اقیانوس آرام را به سوی ایران و آذربایجان شرقی هدایت می‌کند و این امر با تولید بارش موجب بالا رفتن بارش و گاهی اوقات ترسالی می‌شود. در حالت عکس یا فاز

لانینا به علت افت دمای سطح آب مجموعه عوامل جوی- اقیانوسی مثل جریان واکر و انحراف مسیر بادهای تجاری از شرق به غرب (در فاز نرمال و ال نینو مسیر وزش این بادهای از غرب به شرق است) موجب ایجاد جو آرام و پایدار در منطقه می شود که بر اثر آن میزان بارش کاهش پیدا می کند و احتمال اینکه آثار منفی لانینا افزایش یافته و موجب ایجاد خشکی بهاری و حتی خشکسالی شود، افزایش پیدا می کند. با توجه به نتایج این مطالعه و نتایج مطالعات قبلی می توان نتیجه گرفت که اثر عمده پدیده انسو در تغییرپذیری بارشهای آذربایجان شرقی در فصول انتقالی (پاییز و بهار) متمرکز است. نکته جالب توجه در خصوص اثر انسو بر بارش آذربایجان شرقی این است که در بهار مناطق $Nino_{1+2}$ و $Nino_3$ (دمای سطح آب در شرق اقیانوس آرام) و در پاییز مناطق $Nino_{3/4}$ و $Nino_4$ (دمای سطح آب در غرب اقیانوس آرام) بیشترین تأثیر را بر بارشهای استان آذربایجان شرقی می گذارند.

مقایسه ضرایب همبستگی همزمان و غیر همزمان و سطح معناداری آنها مبین این واقعیت است که بین تغییرات پدیده کلان مقیاس گردش جوی- اقیانوسی انسو و بارشهای ایستگاههای آذربایجان شرقی در فصل بهار ارتباطی مستقیم (مثبت) و همزمان وجود دارد و تغییرات مذکور که از طریق شاخصهای دمای سطح آب دیده بان شده اند، کمابیش موجب نوسانهای (افزایش در فاز گرم و کاهش در فاز سرد) در بارش بهاری آذربایجان شرقی می شوند. مقایسه ضریب همبستگی و ضریب تعیین حاصل از روشهای خطی و نیمه خطی نیز بیانگر افزایش میزان همبستگی و ضریب تعیین در روش پولی نومیال نسبت به روشهای رگرسیون خطی و نمایی است. بنابراین توصیه می شود در مطالعات پیوند از دور در کنار ارتباط خطی به ارتباط غیر خطی بین پدیده های اقلیمی نیز توجه کافی مبذول شود. با توجه به اینکه بهار فصل رشد و دوره نیاز گیاهان به آب است و با در نظر گرفتن اینکه بخش عمده ای از محصولات زراعی در منطقه به صورت دیم و به امید بارش باران کاشته می شود، باید آثار پدیده انسو را از ابعاد کشاورزی، محیطی و اقتصادی- اجتماعی پر اهمیت قلمداد کرد و در برنامه ریزیها توجه کافی به آن مبذول داشت.

۵- تشکر و قدردانی

از مساعدت و همکاری صمیمانه خانم دکتر «کتی اسمیت» مسؤول کنترل کیفی در بخش آمار

«مرکز تشخیص اقلیمی»^۱ و داوران محترم نشریه وزین «علوم انسانی مدرس» که با پیشنهادات مفید و انتقادات سازنده خود زمینه بهبود و غنای کیفی متن نهایی این مقاله را فراهم کردند، تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

۶- منابع

- [1] McPhaden, M.; Evolution of the 2002/03 El Nino; *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2004.
- [2] Trenberth, K. E.; "The Definition of El Nino"; *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997.
- [3] Zubair, L.; El Nino-Southern oscillation influence on the Mahaveli stream flow in seri lanka; *Int. J. Climatol*, 2003.
- [4] Harlow, J., P.Votava, S. Running; "Monitoring and prediction of Malaria. Outbreaks". *Int. J. Climatol*, 2003.
- [۵] مدرس پور، آ.؛ «ناهنجاریهای اقلیمی ایران و ENSO»؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه فیزیک دریا؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال تهران، ۱۳۷۳.
- [۶] خوش اخلاق، ف.؛ «پدیده انسو و تأثیر آن بر رژیم بارش ایران»؛ فصلنامه تحقیقات جغرافیایی؛ ش ۵۱، ۱۳۷۷.
- [۷] ناظم السادات، م، ج.؛ بررسی تأثیر پدیده ال‌نینو- نوسانات جنوبی (ENSO) بر بارندگی پاییزه ایران؛ دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی کشور و مرکز ملی اقلیم‌شناسی؛ تهران، ۱۳۷۸.
- [۸] غیور، ح. و م. خسروی؛ «تأثیر پدیده انسو بر ناهنجاریهای بارش تابستانی و پاییزی جنوب شرق ایران»؛ فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۶۲، ۱۳۸۰.
- [9] Nazemosadat, M. J.; "Winter drought in Iran: Associations with ENSO"; *Drought Network News*, 2001.
- [۱۰] نیکجو، م، ر. و ی. قویدل رحیمی؛ اثر الگوهای بزرگ مقیاس گردش جوی بر نوسانات بارش ایران؛ نمونه مطالعاتی: اثر نوسانهای اطلس شمالی بر تغییرپذیری بارشهای زمستانی در آذربایجان شرقی، ارسال شده به نشریه دانش کشاورزی، ۱۳۸۳.

1. climatic diagnostics center

- [۱۱] قویدل رحیمی، ی.؛ «ارتباط پیوند از دور بین پدیده ENSO و ناهنجاریهای بارش پاییزی در آذربایجان شرقی»؛ ارسال شده به مجله محیط‌شناسی دانشگاه تهران، ۱۳۸۳.
- [۱۲] عزیزی، ق.؛ «ال‌نینو و دوره‌های خشکسالی و ترسالی در ایران»؛ پژوهشهای جغرافیایی دانشگاه تهران. ش ۳۸، ۱۳۷۹.
- [۱۳] قویدل رحیمی، ی.؛ «تجزیه و تحلیل نوسانهای بارش و محاسبه دوره‌های مرطوب و خشک در آذربایجان شرقی»؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی؛ دانشگاه تبریز، ۱۳۸۱.
- [۱۴] علیجانی، ب.؛ اقلیم‌شناسی سینوپتیک؛ انتشارات سمت، تهران: ۱۳۸۱.
- [15] Hurrell, J. W. & K. E. Trenberth; "Global sea surface temperature analyses: Multiple problems and their implications for climate analysis, modeling, and reanalysis"; *Bull. Amer. Meteor. Soc*, 1999.
- [16] Moron, V, G. Plaut; "The impact of ENSO upon weather regimes over Europe and the North Atlantic during Boreal winter"; *Int. J. Climatol*, 2003.
- [17] Vazquez, P; R. Fortis, T. Pescador., El Nino-southern oscillation events and associated European winter precipitation anomalies; *Int. J. Climatol*, 2005.
- [18] Wu, A, Hsieh.W.; The nonlinear association between ENSO and the Euro-Atlantic winter sea level pressure; *Climate Dynamics*, 2004.
- [19] Price, S.; "A possible link between El Nino and precipitation in Israel"; *Geoph. Res. Lett*, 1998.