

جغرافیا و توسعه شماره ۳۷ زمستان ۱۳۹۳

وصول مقاله : ۱۳۹۱/۴/۲۶

تأیید نهایی : ۱۳۹۲/۲/۱۴

صفحات : ۱۶۵ - ۱۸۰

## ارتباط پدیده‌ی النینو - نوسان جنوبی (ENSO) با تغییرات اُزون کلی در ایران

دکتر عباسعلی آروین<sup>۱</sup>

### چکیده

تغییر در لایه اُزون که تحت عنوان نوسان اُزون کلی سنجش و اندازه‌گیری می‌شود بخشی از دغدغه‌های بشر امروزی به عنوان یکی از علل و یا اثرات تغییر اقلیم است. در این پژوهش نوسانات اُزون کلی در گستره‌ی ایران مرتبط با پدیده‌ی ENSO مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور متوسط ماهانه اُزون کلی از سایت ماهواره‌ای پایگاه نقشه‌سازی طیف‌سنجی اُزون کلی (TOMS) از پایگاه داده‌ای NASA/GSFC در گرّه‌های با فاصله  $1 \times 1/25$  درجه جغرافیایی و نیز متوسط ماهانه شاخص SOI به عنوان تعریف‌کننده شرایط وقوع النینو/لانینا استفاده شد. نتایج نشان داد تغییرات مقدار اُزون کلی نسبت به شاخص SOI با مدل رگرسیونی درجه سوم بهترین برازش را دارد و در سطح اطمینان ۹۹٪ می‌توان با استفاده از این مدل نسبت به برآورد اُزون کلی اقدام کرد. ارتباط بین مقادیر اُزون برآورد شده توسط مدل و شاخص SOI در سه مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه در تمام گستره‌ی ایران بجز ناحیه کوچکی در شمال غرب در ماه جولای معکوس، قوی و در سطح اطمینان ۹۹٪ معنادار است. قوی‌ترین ضرایب همبستگی در ناحیه‌ی مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی کشور و ضعیف‌ترین روابط در شمال و شمال غرب کشور به‌دست آمد. بر اساس نتایج این تحقیق مقدار اُزون کلی در گستره‌ی ایران در زمان وقوع النینو/لانینا، افزایش/کاهش می‌یابد. مقدار اُزون کلی از جنوب به شمال زیاد می‌گردد که شیب خط در زمان وقوع النینو بیشتر است.

کلیدواژه‌ها: ایران، مدل درجه سه، شاخص نوسان جنوبی، انسو، النینو و لانینا.

## مقدمه

مطالعه تغییرات اُزون کلی به سبب اثر قابل توجهی که بر سلامت انسان و موجودات زنده دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

برطبق نظرات (K. Kita et al, 2000; Volker Grewe, 2007; Valeriy N. Khokhlov, 2011)

تغییرات مقدار اُزون کلی از طرفی تحت تأثیر عوامل جوی در سطوح زیرین استراتوسفر و از طرف دیگر از طریق الگوهای پیوند از دور با شاخص‌های اقلیمی ارتباط می‌یابد. با عنایت به اینکه تغییر در الگوهای اقلیمی (تغییرات در مکانیزم‌های بارش و دما) از جمله پیامدهای تغییر اقلیم است و از سویی دیگر تغییرات اُزون کلی بعنوان محافظ زیست محیط و بشر از تشعشعات ماوراء بنفش تحت تأثیر فعالیت جو در سطوح زیرین استراتوسفر است و از دیگر سو بر اساس تحقیقات (خوش‌خلاق، ۱۳۷۷؛ عزیزی، ۱۳۷۹؛ غیور و خسروی، ۱۳۸۰؛ ناظم‌السادات، ۱۳۸۷؛ خورشیددوست و همکاران، ۱۳۸۷؛ خداقلی و همکاران، ۱۳۹۰) ارتباط پدیده‌های جوی با شاخص‌های پیوند از دور در سایر تحقیقات تأیید شده لذا بر آن شدیم تا ارتباط بین تغییرات اُزون کلی در گستره‌ی ایران با شاخص‌های پیوند از دور را مطالعه کنیم. از این رو در این پژوهش در نظر است تغییرات اُزون کلی در گستره‌ی ایران مورد مطالعه قرار گرفته تا در وهله اول بر توزیع زمانی- مکانی اُزون در گستره‌ی ایران وقوف یافت و نواحی متراکم و کم تراکم گاز اُزون را در سال‌های مختلف تشخیص داد و در وهله دوم پیوند از دور پدیده النینو-نوسان جنوبی (ENSO) بر تغییرات زمانی- مکانی اُزون کلی را در ایران بازشناخت. تا کنون به ارتباط بین تغییرات اُزون کلی و شاخص‌های ENSO توجهی نشده و مطالعه‌ی صورت نپذیرفته است و بیشتر تحقیقات مربوط به تحقیقات خارج از کشور است برای مثال کا کیتا و همکاران مشاهده کردند یک افزایش قابل توجه در مقدار اُزون در جزایر اندونزی در خلال حوادث

النینوی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۷ اتفاق افتاده است (K. Kita et al, 2000:2688). آرام دورتی و همکاران زون تروپوسفری و انسو را مطالعه کرده و نشان دادند مقدار اُزون تروپوسفری در مرکز و شرق اقیانوس آرام کاهش و در غرب اقیانوس آرام/ اندونزی در پاسخ به تغییرات گردشی و همرفتی در خلال حواث النینو افزایش می‌یابد (R. M. Doherty et al, 2006: 1)

سی‌کاگنازو و همکاران واکنش اُزون استراتوسفری را به انسو با مدل شیمی اقلیم (CCMs) تحلیل کرده و به این نتیجه رسیدند که گرمایش غیرمعمول با افزایش دینامیکی غیر معمول اُزون کلی در شمال ۷۰ درجه شمالی و با کاهش قابل توجه در اُزون ناحیه حاره همراهی می‌شود. همچنین نشان دادند روند افزایشی اُزون با افزایش فعالیت گردشی در خلال فعالیت انسو مطابقت دارد (C. Cagnazzo et al, 2009:8935).

ویلیام جی راندل و همکاران اثر انسو را بر تغییرات منطقه‌ای اُزون در استراتوسفر پایینی مناطق حاره مطالعه کردند و با استفاده از مدل شیمی- اقلیم که اثر تغییرات درجه حرارت سطح آب دریا را نیز لحاظ می‌کند، نشان دادند حوادث النینو نوسان جنوبی (انسو) با تغییرات در میانگین مداری درجه حرارت و اُزون تحت تأثیر نوسان بالایی حاره‌ای پیوند می‌خورد (William J. Randel et al, 2009: 5). ال‌ال‌هود و همکاران تغییرات دهه‌ای اُزون و درجه حرارت استراتوسفر پایینی را که رابطه‌ی مثبت با فعالیت سیکل یازده ساله خورشید دارد؛ مطالعه کردند و نشان دادند که انسو بر اُزون و درجه حرارت استراتوسفر پایینی نیز اثر دارد (L. L. Hood et al, 2010: 16).

جی‌آر زیمک و همکاران با استفاده از داده‌های اُزون کلی ماهواره‌های نیمبوس ۷ و ارت پول و نیز داده‌های ایستگاه‌های زمینی‌سنجش اُزون کلی و داده‌های تشعشع سنجی در نواحی حاره، شاخص جدید انسو- اُزون را استخراج کردند. این شاخص به عنوان شاخص

و نشان دادند همبستگی بین شاخص‌های اساسی انسو و سری‌های زمانی بارش در منطقه و ایستگاه‌های اصلی، ارتباط مشخصی بین بارش‌های تابستانه و پاییزه و فازهای مختلف انسو نشان می‌دهد. تاثیر فازهای گرم در فصل تابستان با کاهش میزان بارش و خشکی تابستانی و در پاییز با افزایش بارش پاییزه همراه است (عیور و خسروی، ۱۳۸۰: ۱۷۱). ناظم‌السادات تأثیر پدیده‌ی النینو- نوسان جنوبی بر بارندگی پاییزه ایران را بررسی کرد و نشان داد وقوع النینو با فاز گرم در بیشتر موارد مبنای افزایش بارندگی پاییزه در مناطق مختلف ایران می‌شود که در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی، کردستان، زنجان، اردبیل، مرکزی، سمنان و تهران اثر بیشتری دارد (ناظم‌السادات، ۱۳۸۷: ۲۵۶).

خورشیددوست و همکاران در مقاله‌ای اثر انسو را بر تغییرپذیری بارش‌های فصلی استان آذربایجان شرقی را مطالعه کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری بین بارش زمستانی و پدیده‌ی انسو وجود ندارد ولی بارش‌های پاییزی ارتباط معنی‌داری با پدیده‌ی انسو دارند.

خداقلی و همکاران (۱۳۹۰) پیوند از دور شاخص ENSO را با نوسانات بارندگی در استان اصفهان بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که بارندگی در ایستگاه‌های فریدونشهر، فزیدن، خوانسار گلپایگان و میمه واکنش معنی‌داری نسبت به شاخص‌های ENSO نشان می‌دهد. یعنی با افزایش مقادیر شاخص SOI میزان بارندگی در استان اصفهان کاهش می‌یابد (خورشیددوست و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۴).

عزیزی به بررسی اثر النینو بر دوره‌های خشکسالی و ترسالی ایران پرداخته و نشان دادند رخداد النینو با ترسالی در ایران همراه است (عزیزی، ۱۳۷۹: ۸۳).

روغنی و سلطانی جریان فصلی ورودی سد زاینده‌رود را با استفاده از شاخص نوسان جنوبی پیش‌بینی کردند

انسو- آزون<sup>۱</sup> (OEI) تعریف شده است. (OEI) می‌تواند بطور مستقیم از آزون کلی بجای آزون استراتوسفری استنتاج گردد و تغییر شاخص‌های اقلیمی بر تغییرات آزون کلی را رصد کند. برای مثال +۱ درجه کلون تغییر در شاخص نینو ۳/۴ باعث می‌شود +۲/۹ دابسون مقدار (OEI) افزایش یابد در حالی که +۱ هکتوپاسکال تغییر در شاخص SOI موجب کاهش ۱/۷- دابسون در شاخص (OEI) می‌گردد

(J. R. Ziemke et al, 2010: 3711)

ال‌دی‌اومان و همکاران پاسخ آزون تریوسفری حاره‌ای را به انسو مطالعه کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند پاسخ آزون کلی به انسو با تغییر در گردش واکر همراه است. ایشان حساسیت آزون هموار شده به تغییرات انسو را با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی استنتاج کردند (L. D. Oman et al, 2011:6). به سبب اثر الگوهای پیوند از دور بر بسیاری از پارامترهای اقلیمی و کاربردی که می‌تواند در پیش‌بینی تغییرات این پارامترها داشته باشد مطالعات بسیاری در این زمینه در کشور صورت گرفته که هر یک می‌تواند در بازشناسایی قوانین حاکم بر طبیعت و تأثیری که زندگی انسان از آن می‌پذیرد مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال خوش اخلاق پدیده‌ی انسو و تأثیر آن بر بارش ایران را مطالعه کرده است و نشان داده تقریباً ۶۵٪ و بیشتر موارد خشکسالی‌های کشور با شاخص بالا (لانینا) و ۳۵٪ و کمتر با شاخص پایین (النینو) همراه بوده است (خوش‌اخلاق، ۱۳۷۷: ۱۳۳). عزیزی به بررسی اثر النینو بر دوره‌های خشکسالی و ترسالی ایران پرداخته و نشان دادند رخداد النینو با ترسالی در ایران همراه است (عزیزی، ۱۳۷۹: ۸۳).

عیور و خسروی تأثیر شدید انسو بر بارش تابستانی و پاییزی منطقه‌ی جنوب شرق ایران را مطالعه کرده‌اند

(TEXT) در گرهای با فاصله  $1 \times 1/25$  درجه موجود است که برای محدوده ایران انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت.

در مرحله‌ی دو میانگین ماهانه داده‌های اُزون کلی در گستره‌ی ایران در گرهای به فاصله‌ی  $1 \times 1/25$  درجه جغرافیایی (۱ درجه عرض و  $1/25$  درجه طول جغرافیایی) در ماه‌هایی که شاخص SOI پایین‌تر/ بالاتر از آستانه تعریف شده (فاز النینو  $(SOI < -5)$  و فاز لانینا  $(SOI > +5)$ ) برای سال‌های وقوع النینو/لانینا محاسبه شد. لذا سال‌های ۱۹۸۲، ۱۹۸۳، ۱۹۸۷، ۱۹۹۲، ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸ که در آن شاخص SOI دارای پایین‌ترین مقادیر منفی بود به عنوان سال‌های وقوع النینو و سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۸۹، ۱۹۹۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ که در آن شاخص SOI دارای بالاترین مقادیر مثبت بود به عنوان سال وقوع لانینا انتخاب شد و تحلیل‌ها بر روی ۱۲۱ ماه از سال‌های موجود صورت پذیرفت (شکل ۱). در مرحله‌ی سوم داده‌ها بررسی و از روش همبستگی پیرسون برای تحلیل روابط تغییرات اُزون کلی و شاخص SOI استفاده شد. علت انتخاب روش پارامتری پیرسون این بود که داده‌های مورد استفاده از نوع کمی و دارای توزیع نرمال بودند. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو ویلک مورد سنجش قرار گرفت. این آزمون‌ها نرمال بودن داده‌ها را در سطح اطمینان ۹۵ درصد تأیید می‌کنند. نمونه‌ای از نتایج این دو آزمون در جدول شماره ۱ آورده شده است. همچنین هیستوگرام و خط نرمال داده‌ها در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.

و نشان دادند با استفاده از شاخص SOI می‌توان حدود ۴ الی ۶ ماه زودتر این جریان را در فصل زمستان و تابستان پیش‌بینی کرد. میزان حجم جریان ورودی در دو فصل زمستان و تابستان معمولاً هنگام فاز لانینا و فاز النینو به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد (روغنی و سلطانی، ۱۳۹۰). هدف این تحقیق بررسی ارتباط بین شاخص ENSO و تغییرات اُزون کلی در گستره‌ی ایران به منظور آگاهی بر قانونمندی حاکم بر آن است که البته تاکنون در ایران تحقیقی در این خصوص صورت نپذیرفته است.

### داده‌ها و روش‌شناسی

در این پژوهش روش تحقیق از نوع همبستگی و تحلیل مکانی است که چند مرحله را شامل می‌گردد. مرحله‌ی اول تشکیل پایگاه داده‌ای است که بر این اساس دو دسته داده مورد استفاده قرار گرفت:

۱- داده‌های مربوط به شاخص SOI برحسب هکتوپاسکال از سایت داده‌های اقلیمی استخراج شد و سال‌های وقوع النینو/لانینا مشخص گردید. شکل ۱ تغییرات شاخص SOI و روند نزولی آن (وقوع و تکرار بیشتر پدیده‌ی النینو) را نشان می‌دهد.

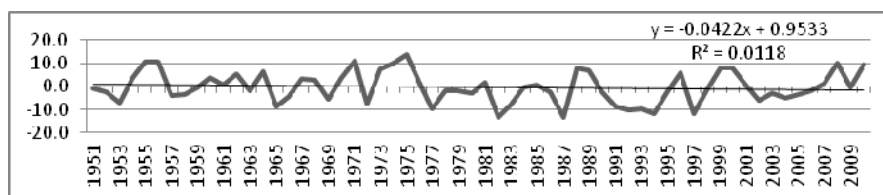
۲- متوسط ماهانه داده‌های اُزون کلی برحسب دابسون در گستره‌ی ایران از سایت پایگاه داده‌ای NASA/GSFC استفاده شد. این داده‌ها توسط پایگاه نقشه‌سازی طیف‌سنجی اُزون کلی<sup>۱</sup> (TOMS) توسط ماهواره‌ای نیمبوس<sup>۲</sup> (۱۹۷۸/۱۱/۱) تا ۱۹۹۳/۵/۶ و متئور<sup>۳</sup> (۱۹۹۳/۸/۲۲ تا ۱۹۹۴/۱۱/۲۴) و ارت پول<sup>۴</sup> از ۱۹۹۶/۷/۲۲ تاکنون) از سال ۱۹۷۸ تا سال ۲۰۱۱ اندازه‌گیری و ثبت می‌گردد. داده‌های مذکور به صورت ماهانه و روزانه برای کل کره‌ی زمین با فرمت متن

1-Total Ozone Mapping Spectrometer

2-Nimbus

3-Meteor

4-Earth Probe



شکل ۱: روند تغییرات روبه پایین (منفی تر شدن) شاخص SOI از ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

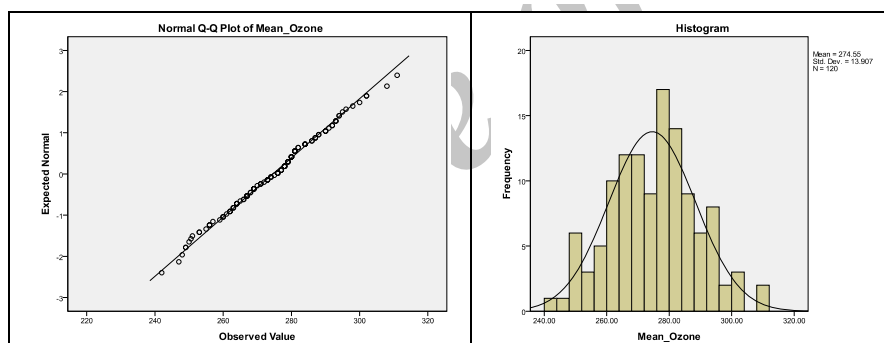
جدول ۱: نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو ویلک بر روی داده‌ها

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Mean_Ozone	.055	120	.200*	.994	120	.860

a. Lilliefors Significance Correction

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

\*. This is a lower bound of the true significance.



شکل ۲: سمت راست: هیستوگرام و سمت چپ: نمودار خط نرمال آزون کلی

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

بین مقادیر آزون برآورد شده توسط مدل و شاخص SOI محاسبه گردید.

رابطه ۱:

$$OZ = Z_0 + b_1S + b_2S^2 + b_3S^3$$

در این رابطه:

$-OZ$  - مقدار آزون برآورد شده توسط مدل

$-Z_0$  - فاصله از مبدأ

$b_3, b_2, b_1$  - ضرایب معادله

$S$  - مقادیر ماهانه شاخص SOI

در مرحله‌ی چهارم روابط بین تغییرات آزون کلی و شاخص SOI با استفاده از مدل‌های مختلف رگرسیون مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جدول شماره ۲ آورده شده است. برازش مدل‌های مختلف رگرسیون نشان داد که به ترتیب مدل درجه ۳، مدل درجه ۲ و مدل خطی بالاترین ضریب تبیین و معنی‌داری را دارا هستند. با توجه به برازش بهتر مدل درجه سوم نسبت به سایر مدل‌ها، مقدار آزون کلی با استفاده از رابطه شماره ۱ برای ۲۸۹ گره برآورد شد و ضرایب همبستگی

نرم افزار Surfer ترسیم شد. در ترسیم نقشه‌ها از روش درون‌یابی کریجینگ<sup>۱</sup> استفاده شد. برتری این روش نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی این است که اولاً این روش یک روش درون‌یابی زمین آماری است و ثانیاً در این روش مقادیر درون‌یابی شده نه فقط تابع فاصله نقاط بلکه به ساختار فضایی نقاط معلوم نیز بستگی دارد.

در مرحله پنجم به ترسیم نقشه‌های توزیع اُزون کلی در گستره‌ی ایران برای ماههایی که مواجه با وقوع النینو/ لانینا بوده مبادرت شد. همچنین ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص SOI با متوسط ماهانه اُزون کلی بر روی هر گره به فاصله  $1 \times 25$  درجه جغرافیایی در گستره‌ی ایران محاسبه و نقشه‌های سالانه، فصلی و ماهانه ضرایب همبستگی در گستره‌ی ایران در

جدول ۲: برازش مدل‌های مختلف رابطه متوسط اُزون کلی بر گستره‌ی ایران و شاخص SOI

Dependent Variable: Mean\_Ozone

Equation	Model Summary				
	R Square	F	df1	df2	Sig.
Linear	0.343	5.307	1	119	0.013
Logarithmic <sup>a</sup>	.	.	.	.	.
Inverse	0.022	2.648	1	119	0.106
Quadratic	0.561	50.445	2	118	0.000
Cubic	0.581	36.106	3	117	0.000
Compound	0.238	4.651	1	119	0.023
Power <sup>a</sup>	.	.	.	.	.
S	0.021	2.520	1	119	0.115
Growth	0.238	4.651	1	119	0.023
Exponential	0.238	4.651	1	119	0.023
Logistic	0.238	4.651	1	119	0.023

The independent variable is SOI. a. The Logarithmic and Power models cannot be calculated.

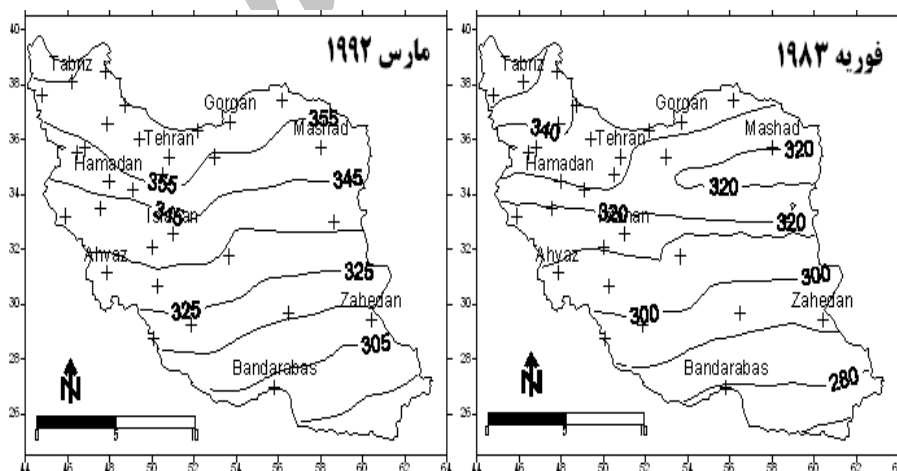
## بحث و نتایج

## النینو

به منظور بررسی اثر پدیده‌ی النینو متوسط ماهانه مقدار اُزون کلی در هفتاد و دو ماه سال‌های ۱۹۸۲، ۱۹۹۷، ۱۹۹۲، ۱۹۸۷، ۱۹۸۳ و ۱۹۹۸ که شاخص ماهانه SOI پایین‌ترین مقدار را داشت بررسی و نقشه‌های آن تحلیل شد. بالاترین متوسط ماهانه مقدار اُزون کلی در گستره‌ی ایران با ۳۳۲/۱۹ دابسون در طول دوره آماری در مارس ۱۹۹۲ اتفاقی افتاده که مقدار شاخص SOI در همین ماه ۲/۲۴- بوده است. با این حال پایین‌ترین شاخص SOI در کل سال‌های ثبت داده‌ها ۳/۳۳- در فوریه ۱۹۸۳ بوده که در این ماه متوسط ماهانه اُزون کلی در گستره‌ی ایران ۳۱۲/۸ دابسون بوده است. بررسی نقشه توزیع ماهانه اُزون کلی نشان می‌دهد در ماه‌هایی که شاخص SOI دارای مقادیر منفی بالایی است مقدار اُزون کلی در پهنه ایران افزایش می‌یابد (شکل ۳). بررسی این نقشه‌ها نشان می‌دهد مقدار اُزون کلی با افزایش عرض جغرافیایی افزایش و با

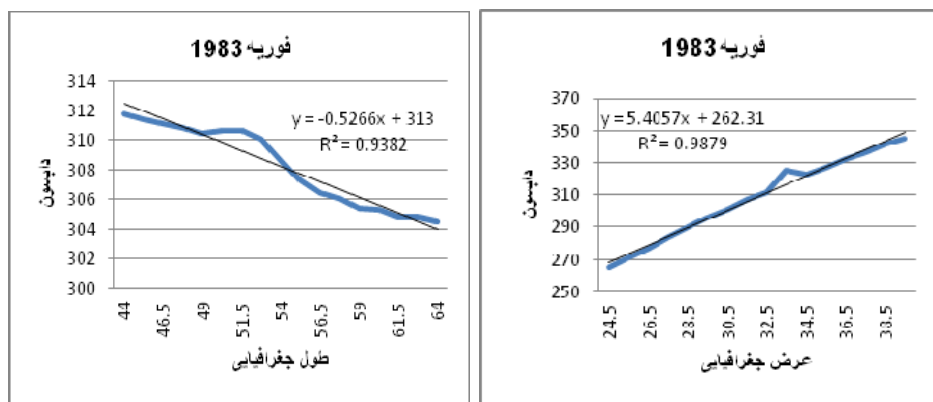
افزایش طول جغرافیایی کاهش می‌یابد. روند تغییرات متوسط اُزون کلی در امتداد طول و عرض جغرافیایی ایران بعنوان نمونه برای فوریه ۱۹۸۳ در شکل ۴ نشان داده شده است.

ضرایب رگرسیون در ماه فوریه ۱۹۸۳ برای عرض جغرافیایی  $R=0/994$  و طول جغرافیایی  $R=-0/968$  است که نشانگر ارتباط مستقیم معنی‌دار با عرض و معکوس معنی‌دار با طول جغرافیایی است. این ضرایب برای ماه مارس ۱۹۹۲ افزایش مقدار اُزون کلی نسبت به عرض جغرافیایی  $R=0/986$  و نسبت به طول جغرافیایی  $R=-0/865$  می‌باشد. در همه ماه‌هایی که شاخص SOI دارای مقادیر منفی زیر حد وقوع النینو بوده با افزایش عرض جغرافیایی مقدار اُزون افزایش داشته و با منفی‌تر شدن شاخص شیب خط نیز بیشتر شده است اما در ۷۶ درصد ماه‌های مزبور مقدار اُزون از غرب به شرق کاهش داشته است در ۸ درصد از ماه‌ها روند افزایشی بود و در ۱۶ درصد موارد روند معینی مشاهده نشد.



شکل ۳: توزیع اُزون کلی در گستره‌ی ایران در فوریه ۱۹۸۳ و مارس ۱۹۹۲

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



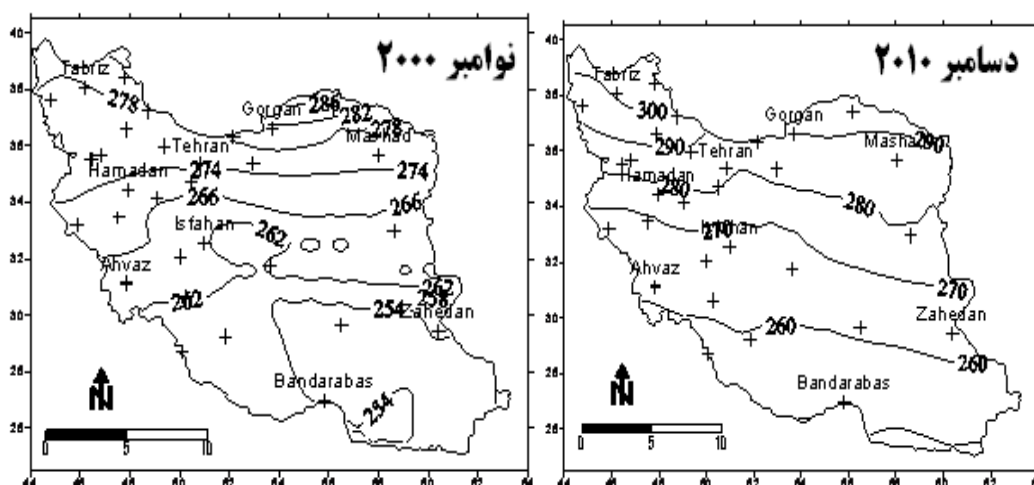
شکل ۴: روند تغییرات عرضی و طولی متوسط آزون کلی در گستره‌ی ایران در ماه فوریه ۱۹۸۳  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

#### شاخص لانینا

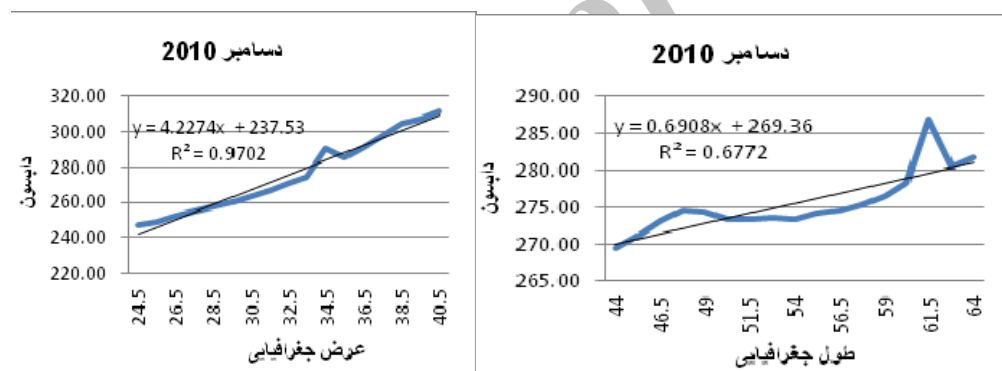
۲۰۰۰ با شاخص SOI با رقم مثبت ۲۲/۴ یکی از موارد وقوع لانینا بوده است. متوسط آزون کلی در گستره‌ی ایران در این ماه ۲۷۱/۴ دبسون بوده است. مقدار آزون کلی در این ماه نیز از جنوب به شمال و از غرب به شرق افزایش داشته است. در این ماه ارتباط بین مقدار آزون کلی با عرض جغرافیایی با ضریب  $R=0/972$  در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌دار است. ولی اگرچه با افزایش طول جغرافیایی مقدار آزون کلی افزایش می‌یابد ولی ارتباط بین طول جغرافیایی و مقدار آزون کلی با ضریب همبستگی  $R=0/24$  و ضریب تبیین  $R^2=0/062$  بسیار ضعیف و معنی‌دار نیست. در مجموع در ۴۳ درصد ماه‌ها با افزایش طول جغرافیایی مقدار آزون افزایش در ۴۰ درصد موارد کاهش و در ۱۷ درصد موارد روند معینی از غرب به شرق دیده نمی‌شود.

یکی از سال‌هایی که در آن لانینا مشاهده شد و از سال ۱۹۵۱ تا کنون بالاترین شاخص SOI را دارد ماه دسامبر ۲۰۱۰ با شاخص مثبت ۲۷/۱ است. متوسط آزون کلی در گستره‌ی ایران در ماه دسامبر ۲۰۱۰ به رقم ۲۷۵/۲ دبسون می‌رسد. با این حال حداقل متوسط ماهانه در طول دوره‌ی آماری با مقدار ۲۶۰ دبسون در زمانی اتفاق افتاده که شاخص SOI دارای مقدار عددی ۴/۲ بوده است. در شکل ۵ توزیع آزون کلی در ایران نشان داده شده است. که مانند ماه‌های النینو روند افزایشی را با عرض جغرافیایی نشان می‌دهد ولی بر خلاف سال‌های وقوع النینو با افزایش طول جغرافیایی کاهش می‌یابد (شکل ۶) که روند افزایشی آزون با عرض جغرافیایی و کاهش آن با طول جغرافیایی در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار هستند. ماه نوامبر سال





شکل ۵: توزیع اُزون کلی در گستره‌ی ایران در دسامبر ۲۰۱۰  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۶: روند تغییرات عرضی و طولی متوسط اُزون کلی در گستره‌ی ایران در دسامبر ۲۰۱۰  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

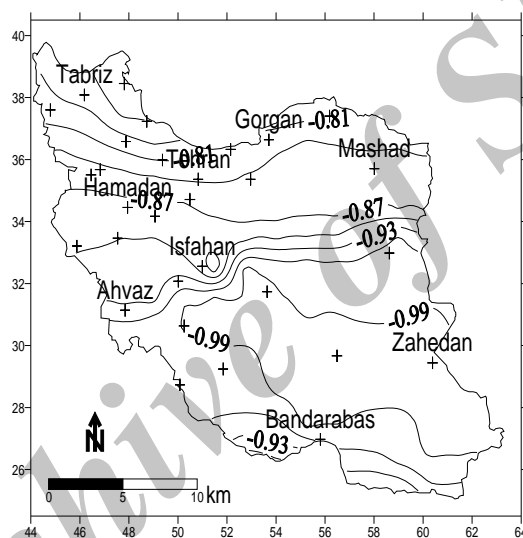
اُزون کلی اثر معکوس دارد بدین مفهوم که با افزایش شاخص مقدار اُزون کلی کاهش می‌یابد. لذا در سال‌هایی که مواجه با وقوع النینو هستیم مقدار اُزون کلی در گستره‌ی ایران افزایش می‌یابد و بر عکس. با این حال بررسی این نقشه نشان می‌دهد اثر شاخص SOI بر میزان اُزون کلی در تمام کشور یکنواخت نیست و بهترین ارتباط در منطقه‌ی ایران مرکزی بر روی استان‌های فارس و کرمان و سیستان و بلوچستان بدست می‌آید و خط هم‌بستگی  $R = -0.99$  مناطق جنوبی استان اصفهان و یزد، شرقی استان

### روابط میزان اُزون کلی با شاخص SOI

ارتباط شاخص SOI و مقدار اُزون کلی در ۱۲۰ ماه در سال‌های وقوع النینو و لانینا (۶ سال النینو و ۴ سال لانینا) که مقادیر این شاخص در حداکثر/حداقل بود بررسی و برای سنجش ارتباط میزان اُزون کلی با شاخص SOI به تعیین ضریب همبستگی پیرسون در گستره‌ی ایران در گرّه‌های به فواصل  $1/5 \times 1$  درجه جغرافیایی اقدام شد و نقشه توزیع ضریب همبستگی در گستره‌ی ایران ترسیم شد (شکل ۷). بررسی اولیه نشان می‌دهد در مجموع شاخص SOI بر روی میزان

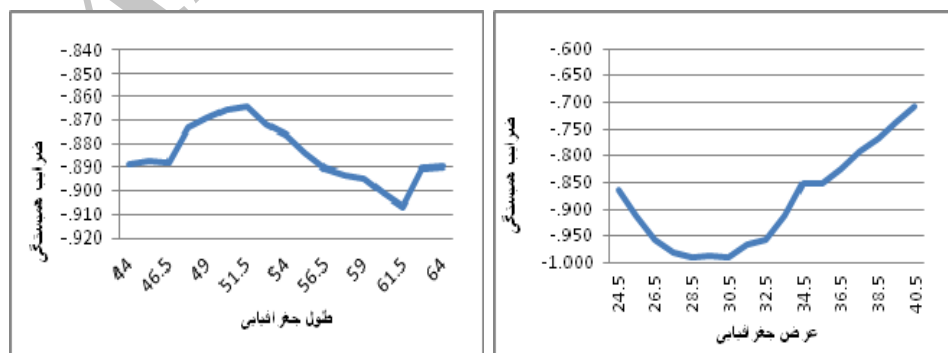
مرکز به سمت شمال کاملاً مشخص است اما تغییرات در امتداد طول جغرافیایی ضرایب همبستگی خیلی مشهود نیست (شکل ۸ چپ) ولی در مناطق شرقی تر ضرایب قوی تر هستند. قوی ترین روابط در مناطق جنوب و جنوب شرقی ایران مشاهده می گردد. لازم به توضیح است ارتباط مقدار ازون کلی با شاخص SOI در تمام گستره ی ایران در سطح ۰/۰۱ درصد با مدل رگرسیونی درجه سوم معنی دار است.

کهکیلویه و بویراحمد و مناطق شمالی استان فارس و بخش عمده ای از استان ها کرمان و سیستان و بلوچستان را دور می زند. بررسی ارتباط میانگین عرضی ازون کلی و شاخص SOI نشان می دهد بهترین رابطه در عرض ۲۸/۵ تا ۳۰/۵ درجه جغرافیایی بدست می آید (شکل ۸ راست). با این حال تغییرات عرضی متوسط ضرایب همبستگی کاملاً مشهود و مشخص است و شیب تند کاهشی از جنوب تا عرض ۲۸/۵ درجه و شیب آرام از



شکل ۷: توزیع ضرایب همبستگی در گستره ی ایران و در شکل سمت چپ توزیع ضرایب سطح معنی داری همبستگی مقادیر ازون کلی و شاخص SOI

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

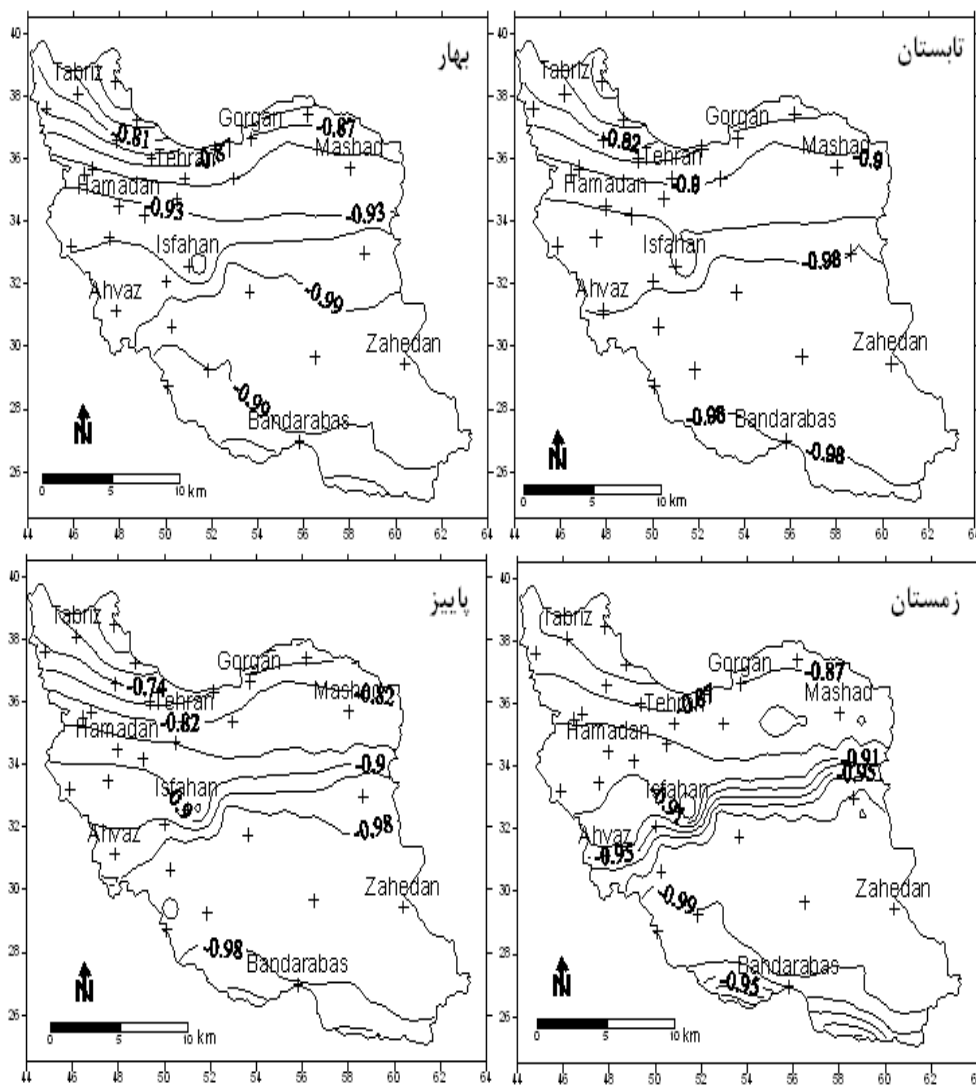


شکل ۸: متوسط روند تغییرات ضرایب همبستگی در امتداد عرض و طول جغرافیایی

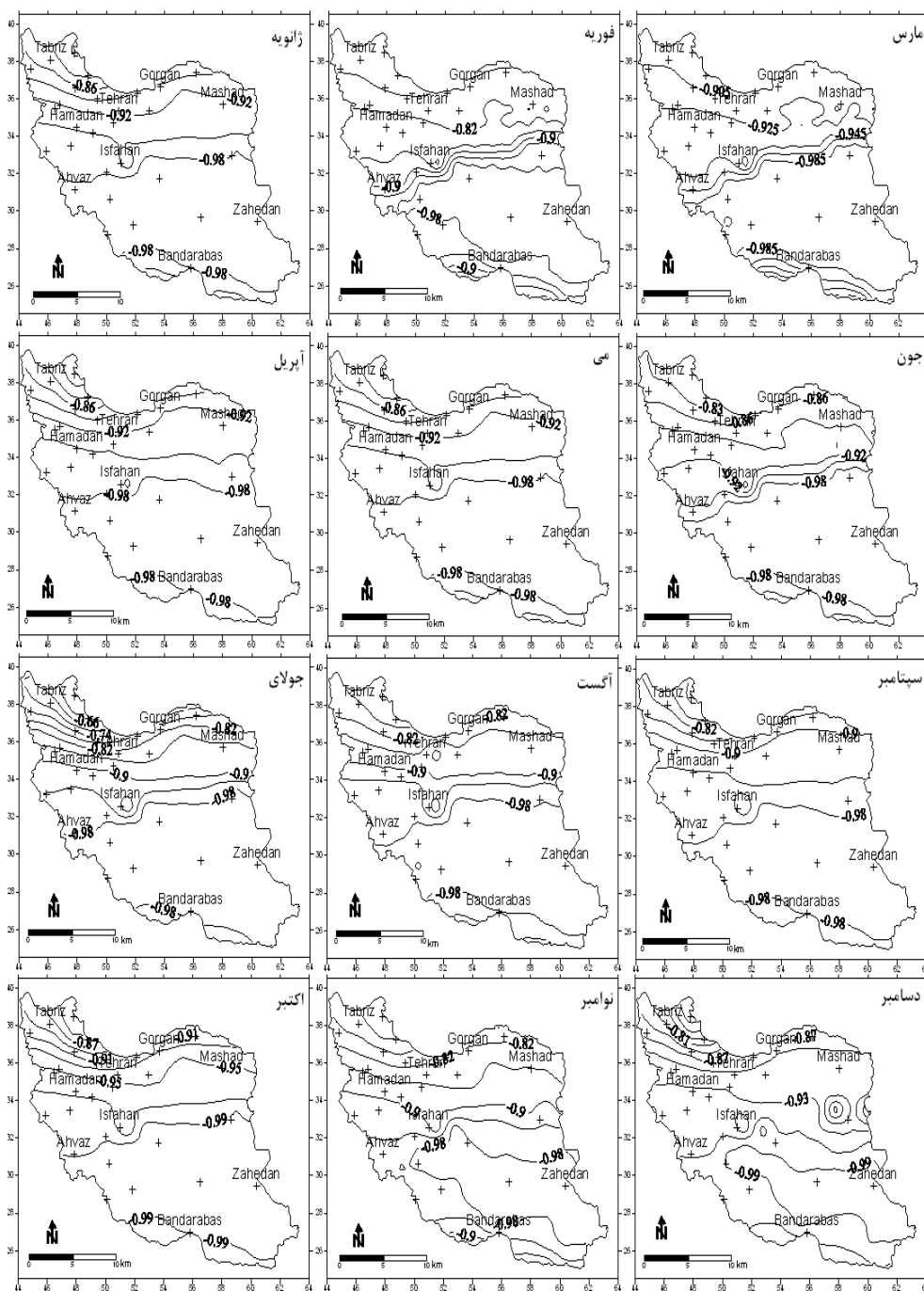
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

۱۰ و ۱۱). از نظر زمانی اختلاف بین قوی‌ترین همبستگی با ضریب  $R = -0/947$  در ماه اکتبر و ضعیف‌ترین همبستگی با ضریب  $R = -0/867$  در ماه فوریه تفاوت زیادی وجود ندارد. بررسی نمودار شکل ۱۱ نشان می‌دهد در تمام ماه‌های سال ارتباط بین شاخص SOI با مقدار اُزون کلی در گستره‌ی ایران منفی و قوی بوده است و این نشانگر این است که تابع درجه سوم می‌تواند در تمام ماه‌های سال در پیش‌یابی اُزون کلی با اطمینان بالایی در تمام نقاط کشور مورد استفاده قرار گیرد که در نواحی مرکزی، جنوب و جنوب شرقی کشور از اعتبار بسیار بالاتری برخوردار است. همانطور که در شکل ۱۰ می‌بینیم خط همبستگی  $R = -0/98$  نواحی مرکزی شرقی و جنوب شرقی و جنوب غرب کشور، شمال استان خوزستان، استان چهارمحال و بختیاری، غرب استان اصفهان و استان لرستان و ایلام را دور می‌زند که البته گستره‌ی خط مزبور در ماه جولای بخش بسیار بزرگتری از جنوب و جنوب شرق کشور را در برمی‌گیرد. توزیع مکانی ارتباط شاخص SOI با مقادیر اُزون کلی تحت پیش‌یابی مدل درجه سه، ضعیف‌ترین روابط را در نواحی شمال و شمال غرب کشور در همه ماه‌های سال نشان می‌دهد که در این ناحیه از کشور این رابطه در ماه جولای نسبت به سایر ماه‌ها ضعیف‌تر است.

بررسی روابط شاخص SOI با مقادیر اُزون کلی در مقیاس فصلی نشان داد در تمام کشور روابط مقدار اُزون کلی با شاخص SOI هم در مقیاس مکانی و هم زمانی تقریباً یکنواخت است (شکل ۹). بطوری که متوسط ضرایب همبستگی در گستره‌ی ایران در فصول زمستان  $R = -0/917$ ، بهار  $R = -0/887$ ، پاییز  $R = -0/871$  و تابستان  $R = -0/910$  تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. با این حال مقدار اُزون کلی در گستره‌ی ایران قوی‌ترین رابطه را با شاخص SOI در فصل زمستان دارد. ارتباط بین شاخص SOI و مقادیر اُزون کلی در نواحی مرکزی و جنوب شرقی ایران قوی‌تر است و هرچه به سمت جنوب و جنوب شرق می‌رویم این رابطه قوی‌تر می‌گردد. در فصل تابستان خط همبستگی  $R = -0/98$  در جنوب و جنوب شرق گستره‌ی بزرگتری از ایران را در بر می‌گیرد و در این ناحیه ارتباط اُزون کلی با شاخص SOI در مقایسه با سایر فصول قوی‌تر است. در همه فصول ضعیف‌ترین ضرایب همبستگی در شمال و شمال غرب کشور مشاهده می‌شود که در فصل پاییز این روابط در شمال غرب از بقیه فصول ضعیف‌تر است. توزیع زمانی- مکانی ضرایب همبستگی در مقیاس ماهانه نیز تقریباً یکنواخت است و این نشانگر این است که در بیشتر نقاط ایران ضرایب همبستگی شاخص SOI با میزان اُزون اختلاف زیادی با هم ندارند (شکل

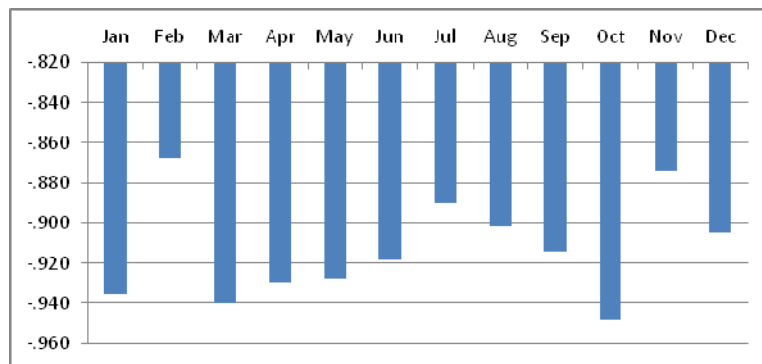


شکل ۹: توزیع ضرایب همبستگی پیرسون در گستره‌ی ایران در فصول مختلف سال  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۱۰: توزیع ماهانه ضرایب همبستگی پیرسون در گستره‌ی ایران

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۱۱: نمودار ضرایب همبستگی در ماه‌های مختلف سال در گستره‌ی ایران  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

SOI رابطه معکوس قوی دارد. بدین سان با افزایش مقادیر شاخص SOI مقدار آزون کلی کاهش می‌یابد. لذا در ماه‌هایی که شاخص SOI دارای مقادیر بالایی است (لانیئا) مقدار آزون کاهش و در ماه‌هایی که شاخص SOI منفی است، مقدار آزون کلی افزایش می‌یابد. اگرچه حداکثرها/ حداقل‌های مقادیر آزون بر مقادیر حدی حداقل‌ها/ حداکثرهای شاخص SOI کاملاً منطبق نیست ولی حداکثرها/ حداقل‌های آزون در ماه‌های وقوع النینو/ لانیئا اتفاق افتاده است. ارتباط شاخص SOI با مقدار آزون کلی هم در مقیاس زمانی و هم مکانی تقریباً یکنواخت است و اختلاف چندانی بین قوی‌ترین و ضعیف‌ترین ضرایب ماهانه و فصلی در گستره‌ی ایران مشاهده نمی‌شود. با این حال قوی‌ترین روابط در فصل زمستان و ماه ژانویه بخصوص در نواحی مرکزی و جنوب‌شرقی وجود دارد، اما در فصل تابستان روابط شاخص SOI با مقدار آزون کلی در نواحی جنوب شرقی قوی‌تر و گستره‌ی بزرگتری دارد. در همه ماه‌ها و فصول ارتباط آزون کلی با شاخص SOI در شمال و شمال غرب ضعیف و در ماه جولای به ضعیف‌ترین میزان خود می‌رسد.

## نتیجه

تغییر در لایه‌ی آزون بخشی از دغدغه‌های بشر امروزی است که بعضاً در محافل عمومی برخی از نابسامانی جوی را به عنوان یکی از علل و یا اثرات تغییر اقلیم بدان نسبت می‌دهند. بررسی ما در این تحقیق نشان داد نه تنها مقدار آزون کلی، بلکه توزیع و تغییرات آن نیز در ایران با پدیده‌ی النینو/ لانیئا ارتباط می‌یابد. اثر پذیری تغییرات آزون کلی نه بصورت علی بلکه به واسطه اثری است که تغییرات SOI بر روی پدیده‌های جوی از جمله تغییر در ارتفاع ژئوپتانسیل و الگوهای فشار و باد و جابجایی فرود و فرازاها در سطوح میانی و فوقانی لایه تروپوسفر دارد. لذا نوسانات شاخص SOI بر روی الگوهای جوی و الگوهای جوی بر روی تغییرات آزون اثر می‌گذارند که این امر باعث می‌گردد با تغییر در شاخص SOI مقدار آزون کلی تغییر یابد. نتایج تحلیل رگرسیون نشان داد ارتباط تغییرات مقدار آزون کلی با شاخص SOI با مدل درجه سوم بهترین برازش را دارد و با استفاده از این مدل می‌توان با اطمینان ۹۹٪ نسبت به تخمین آزون کلی از روی شاخص SOI مبادرت کرد. نتایج تحلیل همبستگی بین آزون کلی برآورد شده توسط مدل و شاخص SOI نشان داد مقدار آزون کلی در گستره‌ی ایران با شاخص

- K. Kita, M. Fujiwara, S. Kawakami (2000). Total ozone increase associated with forest fires over the Indonesian region and its relation to the El Niño-Southern oscillation Atmospheric Environment 34.
- J. R. Ziemke, S. Chandra, L. D. Oman, and P. K. Bhartia (2010). A new ENSO index derived from satellite measurements of column Ozone, Atmos. Chem. Phys.
- D. Oman, J. R. Ziemke, A. R. Douglass, D. W. Waugh, C. Lang, J. M. Rodriguez, and J. E. Nielsen (2011). The response of tropical tropospheric ozone to ENSO, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, Vol. 38.
- L. L. Hood, B. E. Soukharev, and J. P. McCormack (2010). Decadal variability of the tropical stratosphere: Secondary influence of the El Niño-Southern Oscillation, JOURNAL of geophysical Research, Vol. 115.
- R. M. Doherty, D.S. Stevenson, C.E. Johnson, W. J. Collins and M. G. Sanderson (2006). Tropospheric ozone and El Niño-Southern Oscillation: Influence of atmospheric dynamics, biomass burning emissions, and future climate change. Unknown.
- Valeriy N. Khokhlov, Anna V. Romanova (2011). NAO-induced spatial variations of total ozone column over Europe at near-synoptic time scale, Atmospheric Environment.
- Volker Grewe (2007). Impact of climate variability on tropospheric ozone, Science of the Total Environment.
- William J. Randel, Rolando R. Garcia, Natalia Calvo, and Dan Marsh (2009). ENSO influence on zonal mean temperature and ozone in the tropical lower stratosphere geophysical Research Letters, Vol 36.

### منابع

- خدافل، مرتضی؛ لیلا یغمایی؛ راضیه صبوحی (۱۳۹۰). بررسی ارتباط از دور سیکنال هواشناسی ENSO با نوسان بارندگی در استان اصفهان، مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری. گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان.
- روغنی، ربانه؛ سعید سلطانی (۱۳۹۰). پیش‌بینی تغییرات جریان فصلی ورودی سد زاینده رود با استفاده از شاخص نوسان جنوبی، مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ۷ و ۸. گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- غیور، حسنعلی؛ محمود خسروی (۱۳۸۰). تأثیر پدیده‌ی انسو بر ناهنجاری‌های بارش تابستانی و پاییزی منطقه جنوب شرق ایران. تحقیقات جغرافیایی. شماره پیاپی ۶۲.
- ناظم‌السادات، محمدجعفر (۱۳۸۷). تأثیر پدیده‌ی النینو- نوسان جنوبی (ENSO) بر بارندگی پاییزه ایران، مجموعه مقالات دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم. تهران.
- خورشیددوست، محمدعلی؛ یوسف قویدل رحیمی؛ برومند صلاحی (۱۳۸۷). ارتباط نوسان‌های گردش جوی - اقیانوسی اطلس شمالی با خشکسالی‌های آذربایجان شرقی، پژوهش‌های جغرافیایی. دوره ۳۹. شماره ۸.
- خوش‌اخلاق، فرامز (۱۳۷۷). پدیده‌ی انسو و تأثیر آن بر رژیم بارش ایران، تحقیقات جغرافیایی. شماره پیاپی ۵۱.
- عزیزی، قاسم (۱۳۷۹). النینو و دوره‌های خشکسالی و ترسالی در ایران، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۳۸.
- Cagnazzo, E. Manzini, N. Calvo, A. Douglass, H. Akiyoshi, S. Bekki, M. Chipperfield, M. Dameris, M. Deushi, A. M. Fischer, H. Garny, A. Gettelman, M. A. Giorgetta, D. Plummer, E. Rozanov, T. G. Shepherd, K. Shibata, A. Stenke, H. Struthers, and W. Tian (2009). Northern winter stratospheric temperature and ozone responses to ENSO inferred from an ensemble of Chemistry Climate Models, Atmos. Chem. Phys, Vol. 9.