

## بررسی اثر الگوهای دورپیوند بر خشکسالیهای فراگیر زمستانه استان سیستان و بلوچستان

### چکیده:

هدف این نوشتار بررسی دلایل نوسانات بارش و شدت خشکسالیهای زمستانه استان سیستان و بلوچستان در ارتباط با الگوهای دورپیوند نیمکره شمالی است. در این جهت ابتدا داده‌های اقلیمی ایستگاههای هواشناسی منطقه جمع آوری شد و با استفاده از آنها شاخص استاندارد بارش زمستانه (SPI) محاسبه و با استناد به آن شدت و گستره خشکسالیهای شدید زمستانه منطقه تعیین شد. شاخصهای دورپیوند فعال نیمکره شمالی در فصل زمستان و همچنین شاخص چند متغیره انسو (MEI) با شاخص (SPI) مقایسه گردید. با استفاده از آزمونهای همبستگی و مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره گام به گام و عقب‌رو مشخص گردید. این الگوها در مجموع ۵۵ درصد از تغییرات شاخص (SPI) را تبیین می‌نمایند و الگوی اسکاندیناوی که معنی‌دارترین همبستگی را با شاخص (SPI) دارد، به عنوان مؤثرترین الگوی تبیین کننده شدت خشکسالی تعیین شد. در شرایط خشکسالی نیز الگوی آرام شمالی (NP) مؤثرترین الگو شناخته شد. آزمونهای فرض (T، U و ویلکاکسون) تفاوت بارش طی فازهای مثبت و منفی الگوهای قطبی - اورآسیا (POL)، اسکاندیناوی و حاره‌ای نیمکره شمالی (TNH) معنی‌دار نشان داد. مدلها نشان می‌دهد که با کاهش هر واحد از شاخصهای قطبی - اورآسیا (POL) و اسکاندیناوی به ترتیب حدود ۱۸ و ۲۲ درصد بر شدت خشکسالی افزوده می‌شود.

از طریق نقشه‌های ترکیبی و مقاطع طولی و عرضی در برابر ارتفاع جو، الگوهای سینوپتیک حاکم در نیمکره شمالی همزمان با شرایط ترسالی و خشکسالی شدید بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده تغییر مسیر مشخص در مسیرهای سیکلونی، رودبادها و مراکز فشار همزمان با بروز خشکسالیهای سیستان و بلوچستان در مقیاس سینوپتیکی نیمکره شمالی است.

**کلمات کلیدی:** خشکسالی فراگیر، ارتفاع ژئوتانسیل، مدل رگرسیونی گام به گام، الگوی اورآسیا، الگوی اسکاندیناوی، شاخص چندمتغیره انسو، شاخص استاندارد بارش

### درآمد:

در محیط خشک استان سیستان و بلوچستان وقوع خشکسالیهای هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیک و حتی قحط سالی، پدیده‌ای ناشناخته نیست. وقوع خشکسالیهای متعدد و مکرر باعث آسیب رسیدن به اکوسیستم حساس و شکننده استان شده و در طول تاریخ بارها زمینه نابودی آبادیها و مهاجرتهای گسترده، حتی در قرن اخیر، را باعث شده است. وقوع و تداوم خشکسالی بی سابقه اخیر، که حداقل در رکوردهای ثبت شده هواشناسی منحصر به فرد است، یکی از انگیزه‌های نگارنده در پرداختن به این موضوع بوده است.

مقایسه میزان محصولات زراعی سالانه استان در دو دوره زمانی ۷۶-۱۳۷۵ (ترسالی شدید) و ۸۰-۱۳۷۹ (خشکسالی شدید) نشاندهنده کاهش شدید میزان تولید زراعی است. محصولات باغی عمده استان شامل پرتقال، لیمو شیرین از نظر سطح کشت و تولید تا بیش از ۵۰ درصد کاهش نشان می‌دهند. محصول هندوانه، که بخصوص در ایرانشهر و زابل یکی از محصولات عمده تولیدی بوده است، در سال ۷۶-۱۳۷۵ با ۹۲۴۶ هکتار مجموعاً بیش از ۲۲۴ هزار تن تولید داشته است. در حالی که با وقوع خشکسالی در سال ۸۰-۱۳۷۹، این مقدار به ۶۳۷ هکتار، با تولید ۹۶۳۵ تن، کاهش داشته است. یونجه به عنوان علوفه، سازگاری بسیار مناسبی را با شرایط اقلیمی استان سیستان و بلوچستان دارد و براساس آمار سطح زیر کشت آن از ۱۸ هکتار در سال ۷۷-۱۳۷۶ به کمتر از ۹۸۲۰ هکتار در سال ۸۰-۱۳۷۹ کاهش یافته است.

میانگین ریاضی مجموع بارش سالانه ایستگاههای مورد مطالعه در این پژوهش، ۱۱۲/۵۱ میلی متر برآورد شده که این میزان کمتر از نصف بارش میانگین کشور است و این نشاندهنده خشکی بیش از حد محیط طبیعی در استان سیستان و بلوچستان است. بارشهای زمستانه با حدود ۷۴ میلی متر بیش از ۶۶ درصد بارش سالانه را تشکیل می‌دهد. این موضوع نشان از اهمیت بارش فصل سرد دارد، که معمولاً با افت نسبی دما و پایین بودن تبخیر و تعرق همراه است و می‌تواند با ذخیره در منابع آبهای زیرزمینی برخی از نیازهای آبی فصل خشک را جبران نماید. به همین دلیل بروز هرگونه خشکسالی زمستانه سهم قابل ملاحظه‌ای در شروع و تداوم بحرانهای خشکسالی سالانه بازی می‌کند.

در ارتباط با وقوع خشکسالیها از دیدگاه اقلیمی، دلایل این تغییر پذیری اقلیمی که منجر به این آسیب محسوس و مزمن طبیعی می شود، از نهایت اهمیت برخوردار است. استقرار همزمان یک سری الگوهای اقلیمی و هواشناسی در مقیاس وسیع در نیمکره شمالی که در این پژوهش آنها را الگوهای دورپیوند نیمکره شمالی (NHTP)<sup>۱</sup> می نامیم، در این میان می توانند به عنوان یکی از کلیدهای معمای خشکسالی به حساب آیند. واژه الگوی دورپیوند به وقوع و تداوم الگوی بزرگ مقیاسی از ناهنجاریهای چرخش و فشار گفته می شود که در محدوده های جغرافیایی وسیع گسترش یافته اند. این الگوها همچنین رفتارنوسانی کم بسامد (بلند مدت) هستند.

هر چند این الگوها معمولاً چند هفته تا چند ماه طول می کشند، ولی گاهی اوقات ممکن است برای سالیان متوالی تداوم یابند، بنابراین منعکس کننده بخش مهمی از تغییر پذیری سالانه و دهه چرخش اتمسفری هستند. بسیاری از الگوهای دورپیوند در مقیاس سیاره ای به وقوع می پیوندند و سراسر حوضه های اقیانوسی و قاره ای را دربرمی گیرند؛ برای مثال برخی الگوها سراسر حوضه اقیانوس آرام شمالی را شامل است، در حالی که بقیه از شرق آمریکای شمالی تا اروپای مرکزی را فرا می گیرند. برخی نیز تقریباً تمام اورآسیا را در می نوردند. تمامی الگوهای دورپیوند جنبه هایی از سیستم جوئی تغییر پذیر کره زمین هستند و می توانند منعکس کننده پویایی درونی جو باشند.

الگوهای دورپیوند منعکس کننده تغییرات در مقیاس وسیع در امواج اتمسفری و موقعیت رود بادهای بوده و بر درجه حرارت، بارش، مسیر طوفانها و موقعیت و شدت رود باد در مناطق وسیعی تأثیر می گذارند. بنابراین آنها اغلب مسؤول وقوع الگوهای هوایی ناهنجاری هستند که به طور همزمان در مناطق دورتری اتفاق می افتد.

## 1. North Hemisphere Teleconnection Patterns

مرکز پیش بینی اقلیمی. (CPC) الگوهای دورپیوند اساسی را برای بررسی سهم و درک نقش آنها در سیستم اقلیم سیاره ای شناسایی نموده است. (CPC-2004)

بسیاری از این الگوها در چند ساله اخیر شناسایی و معرفی شده‌اند. این گونه مطالعات در سطح جهانی نیز مراحل اولیه سیر تکاملی خود را سپری می‌نمایند. طی چند سال اخیر، مطالعات متعددی با استفاده از این الگوها در نواحی مختلف دنیا انجام شده است. برخی از جدیدترین و مهمترین این مطالعات توسط افرادی همچون: کولن<sup>۲</sup>، کوارینگک<sup>۳</sup>، یین<sup>۴</sup>، سایچی<sup>۵</sup>، برادبوری و همکاران<sup>۶</sup>، رودینو و اسل<sup>۷</sup>، گنگک<sup>۸</sup>، آیزن و همکاران<sup>۹</sup>، کوردری و همکار<sup>۱۰</sup>، بارلو و همکاران<sup>۱۱</sup>، نصرالله و همکاران<sup>۱۲</sup>، دایانا و لمب<sup>۱۳</sup>، زهرایی و کارآموز<sup>۱۴</sup>، ریبیل و همکاران<sup>۱۵</sup> و کروودی و همکار<sup>۱۶</sup> انجام شده است.

الگوهای دورپیوند فعال در فصل زمستان که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته‌اند<sup>۱۷</sup> عبارت‌اند از: شاخص چندمتغیره انسو<sup>۱۸</sup> الگوی اطلس شرقی<sup>۱۹</sup> الگوی آرام غربی<sup>۲۰</sup> الگوی قطبی - اورآسیا<sup>۲۱</sup> الگوی آرام شرقی<sup>۲۲</sup> نوسان اطلس شمالی<sup>۲۳</sup> الگوی حاره‌ای - نیمکره شمالی<sup>۲۴</sup> الگوی شاخص نوسان شمالی<sup>۲۵</sup> - الگوی اسکاندیناوی<sup>۲۶</sup> الگوی حاره‌ای اطلس شمالی<sup>۲۷</sup> - الگوی حاره‌ای جنوب اقیانوس اطلس<sup>۲۸</sup> الگوی قطب شمال<sup>۲۹</sup> الگوی آرام / آمریکای شمالی<sup>۳۰</sup> الگوی آرام شمالی<sup>۳۱</sup> - الگوی رود باد اطلس شرقی<sup>۳۲</sup> - الگوی اطلس شرقی / روسیه غربی<sup>۳۳</sup> - الگوی نوسانات دهه‌ای اقیانوس آرام<sup>۳۴</sup> - الگوی استخر گرم نیمکره غربی<sup>۳۵</sup>

1. Climate Prediction Center

2. Cullen-etal-2002:315

3. Quiring-etal-2000:23

4. Yin-1999:947

5. Saji-etal-2003

6. Bradbury-2002:1287

7. Rodionov and Assel-2000:601

8. Gong-2000:13

9. Aizen-etal-2001:535

10. Cordery-etal-2000:763

11. Barlow et al-2002:697

12. Nasrallah et al 2001

13. Dayana and Iambb-2005

14. Zaheraie and Karamouz-2003

15. Raible et al.,2004

16. Croderly and Mc call 2000

۱۷- جهت شناخت مکانیسم این الگوها به ماخذهای شماره ۱ و ۹ مراجعه گردد.

18. MEI

19. EA

20. WP

21. P/E یا POL

22. EP

23. NAO

24. TNH

25.

NOI

26. SCAND

27. TNA

28. TSA

29. AO

30. PNA

31. NP

32. EA- JET

33. EATL/ WURS

34. PDO

35. WHWP

### مواد و روش شناسی:

ابتدا میزان بارش و دمای فصل زمستان ایستگاهها (ژانویه تا مارس JFM) که در این مطالعه به عنوان فصل زمستان در نظر گرفته شده است) محاسبه و با استفاده از میانگین گیری حسابی از حداکثر تعداد ایستگاههایی که امکان استفاده از آنها مقدور بوده، شاخص بارش و دمای منطقه ای محاسبه گردید. داده های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده های بارش و دمای ایستگاههای سینوتیک و کلیماتولوژی و داده های بارش ایستگاههای باران سنجی استان سیستان و بلوچستان است. دوره آماری مورد استفاده در این مقاله ۲۰۰۰-۱۹۵۷ میلادی است. شاخص استاندارد بارش (SPI) زمستانه برای ایستگاهها و منطقه محاسبه گردید. براساس شاخص SPI دوره های ترسالی و خشکسالی زمستانه و شدت آنها تعیین گردید و از سوی دیگر شاخصهای اصلی سیگنالهای نیمکره شمالی فعال در فصل زمستان و همچنین شاخص چند متغیره انسو (MEI) نیز تهیه و به صورت قابل مقایسه با داده ها SPI تنظیم شد. در ارتباط با بررسی رابطه بین شاخصها و شدت خشکسالی منطقه ای، تحلیلهای متفاوتی صورت گرفته است. مؤلفه های اساسی سریهای زمانی شامل میانگین، حداکثر، حداقل، انحراف معیار الگوهای دورپیوند در شرایط خشکسالیهای شدید، متوسط شرایط عادی، ترسالیها و ترسالیهای شدید محاسبه شد. با استناد به محاسبات بالا امکان تعیین این که در زمان وقوع شرایط خشکسالی چه شرایطی به لحاظ استقرار شاخصهای دور پیوند وجود داشته، فراهم آمده است.

ضرایب همبستگی شاخص ها با SPI ایستگاهها و منطقه در افق زمانی تحقیق و همچنین طی شرایط خشکسالیها برای پی بردن به تأثیر شدت هر یک از شاخص ها محاسبه شده است. معنی داری آزمون همبستگی پیرسون در سطح خطای ۰/۰۱ و ۰/۰۵ بر آورد و در تحلیل ها بر وجود همبستگیهای معنی دار تأکید شده است.

بخش اساسی تحلیل ها در این مقاله بر تجزیه و تحلیل معادلات رگرسیون چندگانه بوده است. براین اساس شاخص SPI به عنوان متغیر وابسته و الگوهای دورپیوند به عنوان متغیرهای مستقل وارد مدلهایی گردید.

در این خصوص برای هر ایستگاه و شاخص متوسط استان محاسباتی انجام شد. مدلهای رگرسیون چندگانه، گام به گام و عقب رو برای تعیین الگوهایی، که بیشترین نقش در توجیه تغییرات شاخص شدت خشکسالی را به عهده دارند، به کار گرفته شد.

در مدل رگرسیون چند متغیره تغییرات یک متغیر وابسته (در این مطالعه SPI) به وسیله تعدادی از متغیرهای پیش‌بینی کننده مشخص می‌شود. مفهوم حداقل مربعات برای به دست آوردن بهترین برازش سطحی در خلال فضاهای چند بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. (Shaw, Wheeler-1994:124)

در این بررسی شاخص شدت خشکسالی استان و ایستگاههای مختلف (SPI) در قالب مدل‌های رگرسیون چند گانه به عنوان متغیر وابسته و الگوهای دورپیوند فعال در هر فصل به عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل گردیده و با توجه به پیچیدگی محاسبات از یک مدل رایانه‌ای برای انجام محاسبات استفاده شد. ابتدا کلیه متغیرهای مستقل وارد مدل گردید و مقادیر رگرسیون ( $R$ ) و مجذور آن ( $R^2$ ) به دست آمد. هر یک از محاسبات بالا جهت هر ایستگاه و کل منطقه تهیه و نتایج استخراج شد. سپس نتایج روی نقشه‌ها ترسیم و پهنه‌بندی صورت گرفت. مقادیر  $R$  و  $R^2$  که بین صفر و یک تغییر می‌کند، نشان‌دهنده میزان توجه تغییرات شاخص SPI به وسیله الگوهای دورپیوند است. در این میان مقدار  $R^2$  مهمتر است، زیرا نیکویی برازش برای هر مدلی به وسیله آن اندازه گیری می‌شود و نشان‌دهنده مقداری از تغییرات توجه شده متغیر وابسته به وسیله متغیرهای مستقل است. هر چند مقدار آن به یک نزدیک باشد نشان‌دهنده درصد بالاتری از تغییرات توجه شده به وسیله مدل می‌باشد. افزایش تعداد متغیرهای پیش‌بینی (مستقل) در مدل، تنها می‌تواند مقدار  $R^2$  را افزایش دهد و در صورت خارج کردن برخی متغیرها مقدار آن بدون تغییر بماند.

برای بررسی آن که کدامیک از متغیرها بیشترین نقش را در توجه تغییرات SPI دارند، از مدل رگرسیون گام به گام<sup>۱</sup> نیز استفاده شده است. روش رگرسیون گام به گام یک روش عینی جهت آزمون کارایی ورود متغیرهایی است که بتوانند بیشترین نقش را در توجه متغیر وابسته ایفا نمایند. در این الگو تمامی متغیرهای پیش‌بینی (مستقل) در هر مرحله مجدداً مورد آزمون قرار گرفته تا از ورود متغیرهای غیر ضروری (کم اثر) جلوگیری شود و نهایتاً مؤثرترین متغیرها مشخص شوند. در هر مرحله داخل شدن و خارج شدن با توجه به سطوح معنی‌داری انتخاب شده صورت می‌گیرد (Shaw and Wheeler-1994) در این جهت از آزمون F استفاده شده است. معمولاً سطح معنی‌دار ۰/۰۵ و کمتر جهت ورود و احتمال F در سطح ۰/۱ و بیشتر جهت خروج متغیرها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

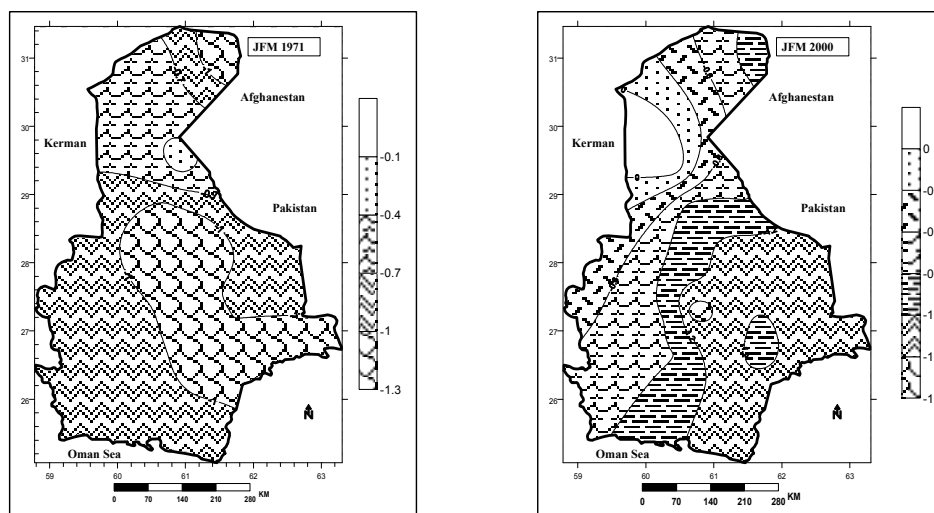
همچنین یک مدل رگرسیون عقب رو<sup>۱</sup> برای حذف روبه عقب متغیرهای کم تأثیرتر تا رسیدن به تأثیر گذارترین الگوها دور پیوند استفاده شده است. نتایج در طول دوره مورد مطالعه (۱۹۵۷-۲۰۰۰) و همچنین شرایط خشکسالیهای فراگیر و ترسالیهای عمده محاسبه و به صورت نقشه‌هایی ترسیم شد. در واقع در حذف روبه عقب از مدل رگرسیونی شروع نموده‌ایم که تمام الگوهای دور پیوند (متغیرهای مستقل) را شامل شود. در هر قدم الگویی را از مدل خارج نموده‌ایم که کمترین تغییر را در مقدار  $R^2$  ایجاد نموده است. این تغییر در  $R^2$  بایستی به اندازه‌ای باشد که نتوانیم این فرضیه را رد کنیم که مقدار واقعی برابر صفر باشد. خارج کردن متغیرها از مدل را هنگامی متوقف نموده‌ایم که خارج کردن هر کدام از متغیرهای باقیمانده از مدل تغییر معنی داری در  $R^2$  ایجاد کند.

برای بررسی استقرار همزمان الگوهای دور پیوند در سطح زمین، سطوح استاندارد ارتفاع جو و همچنین در مقطع طول و عرض جغرافیایی نیمکره شمالی در شرایط خشکسالیهای فراگیر استان سیستان و بلوچستان از داده‌های آرشیو مراکز تحقیقاتی NCEP/NCAR به صورت ترکیبی استفاده شد. اهمیت این تحلیلها از آن جهت اهمیت دارد که عوامل سینوپتیکی مؤثر بر خشکسالیها، مانند بادهای مداری و نصف‌النهاری سطوح مختلف جوئی، سمت و سرعت بادهای ارتفاع ژئوپتانسیل رطوبت نسبی، تغییرات فشار و آب قابل بارش نه به صورت موردی بلکه در قالب تحلیلی ترکیبی در طی وقوع رویدادهای خشکسالیهای فراگیر تهیه و ترسیم شده و با شرایط ترسالی مقایسه شده است. بدیهی است این داده میانگین شرایط طی وقوع رویدادها را به صورت ترکیبی فراهم آورده است.

با بررسی این نقشه‌ها و مقاطع امکان بررسی فعل و انفعالاتی که همزمان با وقوع خشکسالیهای فراگیر استان در سایر نواحی نیمکره شمالی (از نصف النهار صفر تا ۱۲۰ درجه شرقی) رخ می‌دهد، فراهم شد. از سوی دیگر با توجه به این که این نقشه‌ها امکان نمایش ناهنجاریها ایجاد شده را فراهم می‌نماید، نشانه‌ها و کلیدهای اساسی دور پیوند الگوها را از طریق تحلیل این ناهنجاریها فراهم آمده است. برای مثال می‌توان با استفاده از اطلاعات فراهم آمده در قالب این نقشه‌ها بررسی نمود همزمان با خشکسالیها یا ترسالیهای فراگیر استان کدام نواحی نیمکره شمالی با خشکسالی یا ترسالی، ناهنجاریهای ارتفاع، تغییر در سمت و سرعت باد، کاهش یا افزایش رطوبت نسبی نه تنها در سطح زمین بلکه در سطوح مختلف جوئی می‌شود.

### بررسی الگوهای فضایی خشکسالیهای زمستانه سیستان و بلوچستان

عموماً با توجه به سهم بالای بارشهای زمستانه از مجموع بارش خشکسالیهای این فصل موجب بروز خشکسالیهای سالانه می‌شود. در رویداد خشکسالی فراگیر سال ۱۹۷۱ با توجه به شکل شماره ۱ بخش اعظم استان خشکسالی شدیدی را تجربه نموده است. بیش از ۳۵ درصد سطح استان با خشکسالی بسیار شدید روبرو بوده و کمترین شدت آن مربوط به مناطق کوهستانی اطراف زاهدان است. شاخص متوسط خشکسالی استان  $(-۱/۳۴)$  بوده است. در سال ۲۰۰۰ با شدت متوسط SPI حدود  $(-۱/۲۹)$  مناطق شرقی استان از حداکثر شدت خشکسالی برخوردار بوده‌اند، در نواحی غربی شدت خشکسالی کمتر بوده است (شکل شماره ۱) در خشکسالی زمستانه ۱۹۶۲ شدت خشکسالی از دو رویداد قبلی کمتر بوده است. در حالی که میانگین شدت به  $(-۱/۲۸)$  می‌رسد، مناطق مرکزی و شرقی از حداکثر شدت برخوردار بوده است و بیش از ۵۰٪ از سطح استان با خشکسالی شدید روبرو بوده است. طی خشکسالی زمستان ۱۹۸۵ با شدت متوسط  $(-۱/۰۶)$  برخلاف خشکسالی قبلی مناطق غربی شدت بالاتر را نشان می‌دهند و مناطق خشک شرقی شدت کمتری را نشان می‌دهند. حداکثر شدت در نواحی مرکزی و غربی استان مشاهده می‌شود. حدود ۳۰ درصد سطح استان با خشکسالی بسیار شدید روبرو بوده است.



شکل شماره ۱: تغییرات شدت و گستره شاخص خشکسالی استان سیستان و بلوچستان طی زمستان ۲۰۰۰ (۱) و ۱۹۷۱ (۲)  
(خشکسالی شدید)



### پیوندهای الگوهای دور پیوند فعال زمستانه با شاخص SPI

فصل زمستان که منطقه بیشترین بارش خود را دریافت می کند، اکثر الگوهای دورپیوند در اوج فعالیت خود به سر می برند. براساس نتایج جدول شماره ۱، با وجود فعال بودن بیشتر الگوهای دورپیوند، الگوهای معدودی به طور معنی دار با شاخص خشکسالی استان ارتباط دارند. در برخی از ایستگاههای جنوبی تعداد این الگوها به صفر می رسد.

براساس شاخص خشکسالی متوسط استان، الگوی اسکاندیناوی به طور معنی داری بانوسانات این شاخص ارتباط دارد. واقعیتی که در برخی از ایستگاههای دیگر نظیر زاهدان، ایرانشهر، خاش، نیز تأیید می شود.

فازهای مثبت این الگو با ترسالی و فازهای منفی با افزایش شدت خشکسالی همراه اند. به نظر می رسد فازهای مثبت با ایجاد پرفشارهای مانع در مسیر بادهای غربی روی اروپای مرکزی باعث هدایت مسیرهای سیکلونی به عرض های پایین جغرافیایی و همزمان تغییر مکان فرود بلند بادهای غربی به شرق مدیترانه همراه است مجموع این عوامل با مناسبتر شدن چرخش اتمسفری لازم برای انتقال رطوبت به عرض های جغرافیایی پایین کشور و استان سیستان و بلوچستان می شود. در حالی که در فازهای منفی بادهای غربی اصولاً عرض های جغرافیایی بالاتر و فرودهای کم عمقتر را ترجیح می دهند. نتیجه این شرایط تشدید خشکسالی و تداوم آن در سطح استان خواهد بود.

جدول شماره ۱: نتایج محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص استاندارد بارش SPI و دمای STI زمستانه استان سیستان

و بلوچستان و برخی الگوهای دورپیوند (\* معنی داری در سطح ۰/۰۵، \*\* معنی داری در سطح ۰/۰۱)

شاخص	AO	NAO	SCAND	TNH	POL
SPI	۰/۱۲۱	۰/۰۴۴	۰/۳۵۹*	۰/۲۶۳	۰/۲۶۲
STI	-۰/۴۸۶**	-۰/۴۴۸**	-۰/۳۵۱*	-۰/۳۲۲*	-۰/۴۵۱**

علاوه بر الگوهای اسکاندیناوی الگوهای NP، POL و TNH در برخی ایستگاهها روابط معنی داری را با

نوسانات شاخص خشکسالی نشان می دهند. (جدول شماره ۱)

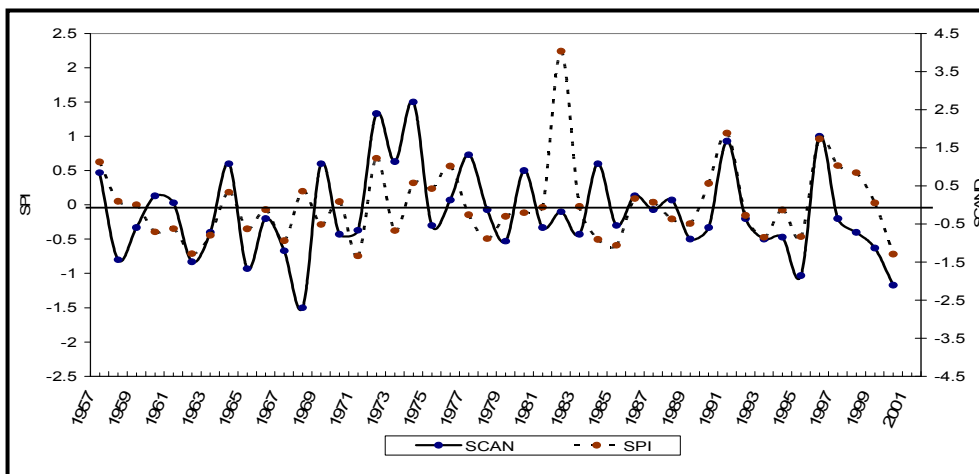
الگوی حاره‌ای نیمکره شمالی (TNH) ضمن آن که با ایستگاههای بارش زمستانی قابل ملاحظه مانند گوشه، میرآباد و زاهدان همبستگی معنی دار دارد، در شرایط بروز خشکسالیهای زمستانه نیز حضوری محسوس دارد. میزان ضرایب همبستگی طی شرایط خشکسالی در برخی ایستگاهها مثل زاهدان، زابلی و بمپور قابل ملاحظه است. از سوی دیگر نکته مهمی که طی شرایط خشکسالی در برخی ایستگاهها نظیر آشورجانف بروز می نماید، معنی دار شدن همبستگی با الگوهای اطلس شمالی (NAO) و قطب شمال (AO) است همبستگی منفی نشاندهنده تشدید بحران خشکسالی طی فازهای مثبت این الگوها است که با مهاجرت سیستم‌های سیکلونی و مسیر رودباد به سمت شمال و محروم ماندن منطقه از دریافت بارشهای قابل ملاحظه همراه است. شاخص چند متغیره انسو (MEI) نیز طی شرایط خشکسالی همبستگیهای معنی دار قابل ملاحظه‌ای را با شاخص خشکسالی منطقه و برخی از ایستگاهها نظیر بمپور، ایرانشهر، سفیدابه نشان می دهد که اهمیت نوسانات جنوبی را در تشدید خشکسالیها نشان می دهد فازهای مثبت که با شرایط لائینا همزمان است در افزایش شدت خشکسالیهای استان مؤثر است.

الگوی قطبی - اور آسیا (POL) با توجه به ارتباطات منطقه‌ای با هجوم توده‌های هوای سرد قطبی روی اورپا و تأثیر بر پرفشار سیری می تواند اثرات مهمی در شدت خشکسالیهای منطقه بگذارد. همزمان بودن شدیدترین خشکسالی زمستانه استان با شروع شدیدترین فاز منفی این الگو مؤید این نکته است. در فازهای قوی که با تقویت ورتکس قطبی و ارتفاع بیش از حد نرمال در اروپا و آسیای شرقی همراه است، معمولاً هدایت سیستم‌های باران زا و سیکلونهاى مدیترانه‌ای به مسیرهای جنوبی تر تسهیل شده و الگوی مناسب گردش مداری و نصف النهاری جهت ریزشهای مناسب در منطقه فراهم می شود. قویترین رابطه‌ها با این الگو در مناطق مرکزی استان از دامنه‌های شمالی تفتان تا جنوب ایرانشهر و دره بمپور مشاهده می شود که همبستگی‌ها در ایستگاههای خاش، میرآباد، گوشه و ایرانشهر در سطح ۰/۰۵ معنی دار است. همچنین در جنوب شرقی استان ضریب همبستگی افزایش می یابد، ولی به سطح معنی داری نمی رسد در سایر نقاط همبستگی‌ها ضعیف است. همچنین در ایستگاه چابهار علی ر غم نبود همبستگی مناسب با این الگو طی شرایط خشکسالی رابطه معنی داری بین افزایش شدت خشکسالی و فازهای منفی الگو پدیدار می شود.

الگوی بسیار مؤثر اسکاندیناوی، چه از نظر شدت ضریب همبستگی و چه از نظر پراکندگی فضایی و گستره همبستگی‌ها، از سایر الگوها بارز تر ظاهر می شود. حداکثر ضرایب مربوط به مناطقی است که حداقل

ضریب تغییر پذیری بارش را دارند در ایستگاههای چابهار، میرآباد و گوشه همبستگی در سطح ۰/۰۱ و در زاهدان، خاش، ایرانشهر، کارواندر و میرجاوه در سطح ۰/۰۵ ضرایب همبستگی معنی دار است. در مجموع اگر از ۲ تا ۳ ایستگاه فرعی چشم‌پوشی کنیم، در تمام سطح استان یک روند همبستگی مناسب بین شاخص خشکسالی و این الگو وجود دارد. (شکل شماره ۲)

ضرایب همبستگی الگوها با سریهای زمانی درجه حرارت منطقه به مراتب قویتر از شاخص SPI است. همبستگی منفی قوی با الگوهای AO، NAO، POL و SCAND بیانگر آن است، که درجه حرارت استان سیستان و بلوچستان به شدت از این الگوها تأثیر می‌پذیرد. بدون شک الگوی نوسان قطبی و نوسان اطلس شمالی همانند سایر نواحی خاورمیانه بر درجه حرارت تمامی ایستگاههای مورد بررسی استان نقش بارزتری دارند. ضرایب همبستگی درجه حرارت استان با AO و NAO به ترتیب (-۰/۴۹۶) و (-۰/۴۴۸) است که در سطح ۰/۰۱ معنی داری باشد. این بدان معنی است که با گرایش این الگوها به سمت فاز مثبت درجه حرارت استان کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند. فازهای منفی که عموماً با دماهای بالاتر از معمول در استان همراه است. معمولاً با شرایط ترسالی توأم است و فازهای مثبت عموماً با سردی و خشکسالی همراه می‌باشد. این شرایط در ارتباط با الگوهای اسکاندیناوی و قطبی- اورآسیا (POL) نیز صادق است. عموماً در شرایط خشکسالی در برخی ایستگاهها مثل زاهدان اهمیت الگوها در تبیین تغییرات دما کم اهمیت تر می‌شود.



شکل شماره ۲: نمودار نوسانات شاخص SPI زمستانه استان سیستان و بلوچستان و الگوی اسکاندیناوی

### تحلیل فضایی نتایج مدل‌های رگرسیونی

از شانزده الگوی وارد شده در مدل با توجه به نتایج جدول شماره ۲ ضریب رگرسیون چند متغیره ۰/۷۴ حدود ۵۵ درصد از خشکسالی‌های زمستانه به وسیله این الگوها تبیین می‌شوند. با وجود این که بسیاری از این الگوها در این فصل حداکثر فعالیت خود را دارند، اما این میزان توجه در شرایط خشکسالی کمتر از شرایط سالانه است. با این وجود تفاوت بین مقادیر توجه شده به وسیله مدل و باقیمانده‌ها معنی‌دار است (جدول شماره ۳) با توجه به تفاوت‌های جغرافیایی و توزیع بارش در سطح استان تفاوت‌های منطقه‌ای در سطح استان زیاد است. به گونه‌ای که حداکثر مقادیر توجه شده به وسیله مدل مربوط به پربارانترین مناطق استان یعنی دامنه‌های تفتان (گوشه ۶۴ درصد، میرآباد ۶۶ درصد) و همچنین بلوچستان مرکزی (ایران‌شهر و سرباز) و حداقل آن مربوط به مناطق خشک شمالی (نصرت‌آباد ۳۰/۵ درصد) می‌باشد. (شکل شماره ۳)

الگوی بسیار تأثیرگذار اسکاندیناوی (SCAND) بر اساس نتایج حاصل از مدل رگرسیون گام به گام به عنوان مؤثرترین الگوی دورپیوند در تغییرات شدت خشکسالی زمستانه استان انتخاب شده است که به تنهایی حدود ۱۳ درصد تغییرات SPI را توجه می‌نماید (جدول شماره ۴) در اکثر ایستگاه‌ها این الگو توسط مدل انتخاب گردیده و پس از آن الگوهای همچون POL، WHWP و NP در برخی ایستگاه‌ها به وسیله مدل معرفی شده‌اند.

در ایستگاه‌های سرباز، میرآباد، گوشه و آشادکتر تعداد الگوها به وسیله مدل انتخاب شده‌اند و در برخی ایستگاه‌ها نظیر چابهار، باهو کلات، بمپور، نیکشهر و زابل هیچ‌یک از الگوها به سطح معنی‌داری جهت انتخاب نرسیده‌اند در شرایط خشکسالی (جدول شماره ۶) الگوی آرام شمالی (NP) به عنوان تأثیرگذارترین الگو به وسیله مدل انتخاب شده که به تنهایی حدود ۶۰ درصد از تغییرات شاخص خشکسالی را توجه می‌نماید و سطح معنی‌داری آن نیز مطلوب است. (جدول شماره ۶) در سطح استان علاوه بر الگوی مزبور الگوی متفاوت دیگری توسط مدل در شرایط خشکسالی انتخاب شده‌اند که الگوهای AO، EP، MEI از بقیه مهمتر هستند. عدم انتخاب هیچ‌یک از الگوها توسط مدل طی شرایط ترسالی، نشان از اهمیت ظهور الگوهای شرایط بروز خشکسالی است.

جدول شماره ۲: نتایج حاصل از کاربرد مدل رگرسیون چند گانه بین شاخص خشکسالی زمستانه استان سیستان و بلوچستان و الگوهای دورپیوند نیمکره شمالی

مدل	ضریب رگرسیون چند متغیره	درصد تغییرات تبیین شده	خطای استاندارد برآورد
	۰/۷۴۰	۵۵	۰/۸۴۸۱

جدول شماره ۳: آنالیز واریانس بین پراکندگی SPI زمستانه استان سیستان و بلوچستان که به وسیله مدل توجیه می شوند و مقادیری که توجیه نمی شوند (باقیمانده‌ها) - سطح معنی داری آزمون ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است.

	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ضریب F	سطح معنی داری (P)
رگرسیون	۲۳/۵۷۷	۱۶	۱/۴۷	۲/۰۴۸	۰/۰۴۹
باقیمانده‌ها	۱۹/۴۲۳	۲۷	۰/۷۱۹		
مجموع	۴۳	۴۳			

جدول شماره ۴: نتایج حاصل از کاربرد مدل رگرسیون گام به گام در تعیین تأثیر گذارترین الگو در تبیین شاخص خشکسالی زمستانه استان سیستان و بلوچستان

الگوی اسکاندیناوی	ضریب رگرسیون چند متغیره	درصد تغییرات تبیین شده	خطای استاندارد برآورد		
	۰/۳۵۹	۱۲/۹	۰/۹۴۴۶		
	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ضریب F	سطح معنی داری (P)
رگرسیون	۵/۵۲۷	۱	۵/۵۲۷	۶/۱۹۵	۰/۰۱۷
باقیمانده‌ها	۳۷/۴۷۳	۴۲	۰/۸۹۲		
مجموع	۴۳	۴۳			

جدول شماره ۵: نتایج حاصل از کاربرد مدل رگرسیون عقب رو و حذف الگوهای با تأثیر کمتر در شدت خشکسالیهای

زمستانه استان سیستان و بلوچستان

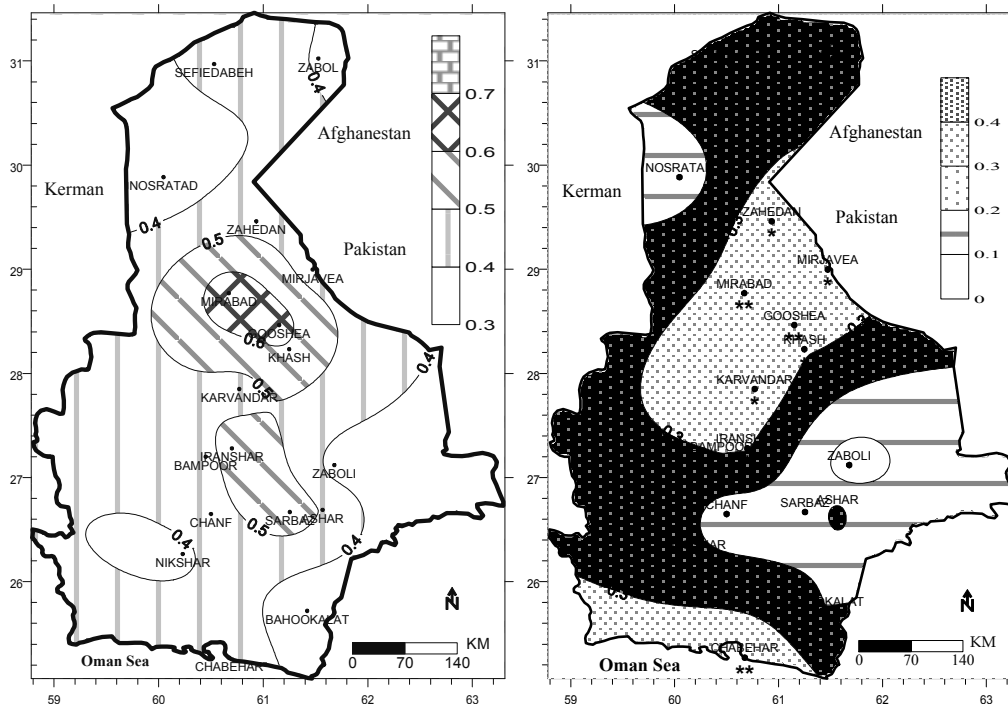
ضریب رگرسیون چندمتغیره R	درصد تبیین شاخص SPI	
۰/۷۴۰	۵۴/۸	کل الگوها
۰/۶۲۵	۴۲/۵	موثرترین الگوها*
* =EP, SCAND, NP, TSA, TNH, WHWP, AO		

جدول شماره ۶: نتایج حاصل از کاربرد مدل رگرسیون گام به گام در تعیین تأثیر گذارترین الگو در تبیین شاخص

خشکسالی زمستانه استان سیستان و بلوچستان طی شرایط خشکسالی

الگوی آرام	ضریب رگرسیون چندمتغیره		درصد تغییرات تبیین شده		خطای استاندارد برآورد
شمالی NP	۰/۷۷۱		۵۹/۴		۰/۱۶۹۸
	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ضریب F	سطح معنی داری P
رگرسیون	۰/۵۴۸	۱	۰/۵۴۸	۱۹	۰/۰۰۱
باقیمانده‌ها	۰/۳۷۵	۱۳	۰/۰۲۹		
مجموع	۰/۹۲۳	۱۴			

نتایج حاصل از مدل رگرسیون عقب رو و حذف تدریجی الگوهای کم اثرتر بر شرایط شدت خشکسالی زمستانه استان سیستان و بلوچستان در جدول شماره ۵ نشان داده شده است. از بین شانزده الگوی دورپیوند مورد بررسی در این فصل طی ده مرحله نهایتاً الگو در EP, SCAND, NP, TSA, TNH, WHWP, AO به عنوان هفت الگویی که بیشترین تغییرات SPI را توجیه می‌کنند، انتخاب شده‌اند. این هفت الگو در مجموع ۴۲/۵ درصد از مجموع ۵۵ درصد تغییرات توجیه شده توسط کل الگوها را پوشش می‌دهند. و ۹ الگوی دیگر تنها ۱۲/۵ درصد تغییرات را توجیه می‌نمایند.



شکل شماره ۱: مقادیر توجیه شده شاخص زمستانه SPI استان سیستان و بلوچستان در مدل رگرسیون چندگانه

شکل شماره ۲: ضریب همبستگی شاخص SPI استان سیستان و بلوچستان و الگوی اسکاندیناوی (SCAND)-

سطح معنی داری با ستاره مشخص شده است.

### بررسی تأثیر فازهای مثبت و منفی الگوهای تأثیر گذار بر بروز خشکسالی و ناهنجاریهای دما

در این بخش جهت بررسی تأثیر تفاوت فازهای مؤثرترین الگوهای دورپیوند در بروز خشکسالی یا ترسالی، آزمونهای فرض تفاوت میانگین و میانه نمونه‌های مقادیر SPI طی شرایط فاز مثبت و منفی با یکدیگر مقایسه شده است.

برای بررسی معنی دار بودن میانگین و میانه‌ها از آزمونهای T (استیودنت) و U (Man. Whitney) و در مواردی از آزمون ویلکاکسون استفاده شده است. سطح معنی داری ۰/۰۵ و ۰/۰۱ در نظر گرفته شده و مقادیر P-Value آزمونها ملاک قضاوت راجع به معنی دار بودن تفاوت نمونه‌ها بوده است. نتایج در مورد سریهای فصل زمستان محاسبه و نتایج کلی به شرح زیر استخراج گردیده است.

**نوسان قطب شمال AO:** با وجود آن که طی فازهای منفی میزان بارش حدود ۵ میلی متر از فازهای مثبت کمتر است، اما تفاوت معنی دار نیست. لذا خشکسالی زمستان هم در فازهای مثبت و هم منفی به وقوع می پیوندد. فازهای مثبت با میانگین دمای ۱۴/۵۴ به طور معنی دارتری از فازهای منفی (۱۵/۳ درجه) سردتر می باشد. ( $P=0/011$ )

**نوسان اطلس شمالی NAO:** همانند الگوی AO تفاوت معنی داری بین میانگین بارش طی دو فاز وجود ندارد. حتی در صورت استفاده از الگوی جونز (NAO-JONES) نیز این تفاوت به سطح معنی داری نمی رسد، اما تفاوت دما بین دو فاز در سطح ۰/۰۵ معنی دار است. بخصوص بر مبنای شاخص جونز فازهای مثبت عموماً بسیار سردتر از فازهای منفی هستند.

**الگوی POL:** همانند بارش سالانه تفاوت میانگین بارش طی فازهای مثبت (با ۸۳ میلی متر) و فازهای منفی (با ۵۶ میلی متر) کاملاً معنی دار است ( $P=0/02$ ) تفاوت دما طی دو فاز نیز در سطح بسیار بالایی معنی دار است. ( $P=0/0008$ ) فازهای مثبت به طور میانگین یک درجه سانتیگراد سردتر از فازهای منفی هستند، لذا فازهای مثبت، هوایی سردتر و بسیار مرطوبتر از فازهای منفی در سطح استان به همراه می آورند. خشکسالیها عموماً در فازهای منفی به وقوع می پیوندد.

**الگوی اسکاندیناوی (SCAND):** همان گونه که قبلاً نیز اشاره شد، در فصل زمستان یکی از تأثیر گذارترین الگوها بر ناهنجاریهای بارش محسوب می شود. با وجود سردتر بودن نسبی دما طی فازهای مثبت تفاوت دما طی دو فاز بر اساس آزمونهای تأیید نمی شود، اما تفاوت بارش طی دو فاز با توجه به آزمونهای  $T$  ( $p=0/03$ ) و  $U$  ( $p=0/044$ ) تأیید می شود. بارش در فازهای مثبت با ۸۶/۵ میلی متر از فازهای منفی (۵۲ میلی متر) به مراتب بیشتر است. لذا فازهای منفی که با مسیر شمالی تر جهت سیکلونها همراه است، خشکسالی را در منطقه تشدید می کند.

**الگوی TNH:** با وجود بالاتر بودن بارش فازهای مثبت (۹۲/۱ میلی متر) نسبت به فازهای منفی (۶۵/۴ میلی متر) تفاوت بارش دو فاز در سطح ۰/۱ معنی دار است و تفاوت دما طی دو فاز تأیید نمی شود. فازهای منفی امکان گسترش خشکسالی را فراهم می آورند.



### مقایسه سلسله مراتبی میزان و رتبه الگوهای تأثیر گذار دورپیوند طی خشکسالیهای فراگیر

در این قسمت سریهای زمانی شاخص SPI فصلی و سالانه متوسط استان سیستان و بلوچستان در برابر تأثیر گذارترین الگوها به صورت نزولی، صعودی مرتب شد. براساس نتایج حاصله از این محاسبات ده مورد از شدیدترین خشکسالی استان براساس رتبه در برابر مقادیر متناظر الگوها مرتب و رتبه الگوها در طی دوره مورد مطالعه (۴۴ سال) در برابر هر یک از رویدادهای ده گانه مشخص گردید. همچنین رویدادهای خشکسالی مورد مطالعه از نظر حداقل، حداکثر، میانگین، تعداد موارد مثبت، منفی و خشی الگوها مورد مقایسه قرار گرفت.

طی ده رویداد شدید خشکسالی زمستانه استان، که میانگین شاخص SPI حدود (۱-) می باشد، متوسط رتبه الگوی اسکاندیناوی ۱۴/۶ است. هر چند تغییرات رتبه بین ۲ تا ۳۷ در تغییر است، اما تعداد رتبه‌های منفی به مراتب بیشتر است در مجموع در هشت مورد شاخص منفی به یک مورد مثبت و یک مورد هم خشی (نزدیک صفر) بوده است.

الگوی اقیانوس آرام شمالی (NP) به عنوان دومین الگوی مهم در تعیین خشکسالیهای استان رتبه متوسط ۱۴/۴ را داراست، تغییرات بین ۶ تا ۲۵ می باشد. و این نشاندهنده آن است که هیچ یک از خشکسالی مورد بررسی استان با فازهای مثبت این الگو همراه نیست. در مجموع ۹۰ درصد موارد بررسی شده با بروز مقادیر منفی این الگو و ده درصد دیگر نیز الگو در حالت خشی بروز نموده است.

متوسط رتبه الگوی MEI نیز ۱۶/۹۰ است که نشاندهنده همراهی فازها سردانسو (لاینا) با بخش بیشتری از خشکسالیهای استان است (جدول شماره ۷) در الگوی قطبی اورآسیا (POL) میانگین رتبه ۲۱/۳۰ را نشان می دهد. تغییرات رتبه بین ۵ تا ۴۴ بوده اگر رویدادهای ۱۹۹۳ و ۱۹۹۵ را که الگوی POL در حداکثر شدت خود بوده حذف کنیم. در مجموع همراهی فازهای منفی با خشکسالی بیشتر مشهود است. (۵ مورد منفی، ۲ مورد خشی و ۳ مورد مثبت) در مورد الگوهای AO و NAO نتایج حکایت از بروز خشکسالی در هر دو فاز است. در شرایط ترسالی تقریباً بیشتر الگوهای تأثیر گذار در فاز مثبت بوده اند. شاخصهای POL و NAO جونز با ۷ و ۸ مورد مثبت بهترین هماهنگی را با شاخص ترسالی نشان می دهند. هر چند الگوی اسکاندیناوی و NP نیز با درجات ضعیف تری این روند را نشان می دهند.

الگوی بسیار مهم اسکاندیناوی در این فصل به تنهایی حدود ۱۳ درصد از تغییرات بارش و شاخص SPI را توجیه می نماید، به طور کلی با افزایش هر واحد این الگو حدود ۲۱/۷ میلی متر بارش منطقه افزایش می یابد. با

توجه به حدود اطمینان ۰/۹۵ معادله رگرسیون این رقم بین حداقل ۳۹/۳ تا ۴/۱ میلی متر در تغییر خواهد بود. میزان افزایش یا کاهش شاخص SPI به ازای تغییرات این الگو ۰/۵۵۳ است.

الگوی قطبی اورآسیا (POL) با دامنه تغییرات ۳/۵ حدود ۷٪ از تغییرات شاخص SPI تعیین می‌کند. به ازای هر واحد افزایش آن به طور متوسط ۱۳/۲ میلی متر میزان بارش و ۰/۳۳۷ شاخص SPI افزایش می‌یابد، هر چند تغییرات بارش با توجه به حدود اطمینان ۰/۹۵ بین صفر تا ۲۸ میلی متر متغیر خواهد بود. به عبارت دیگر به ازای هر واحد کاهش شاخص POL شدت خشکسالی ۱۸٪ تشدید می‌شود.

الگوی حاره‌ای نیمکره شمالی (TNH) با توجه حدود ۷٪ از تغییرات SPI یکی دیگر از الگوهای تأثیرگذار بر شدت خشکسالیهای زمستانه محسوب می‌شود. دامنه تغییرات این الگو در دوره مورد مطالعه ۴/۴۰ است. با کاهش هر واحد این الگو ۹/۴ میلی متر از بارش زمستانه استان (حدود ۱۳٪) کاسته و بر شدت خشکسالی افزوده می‌شود. اگر شرایط خشکسالی زمستانه را در نظر بگیریم، الگوهای دیگری ظاهر می‌شوند که مهمترین آنها شاخص چند متغیره آنسو (MEI) است. در شرایط خشکسالی هر واحد کاهش این شاخص ۷/۵ میلی متر از مقدار بارش زمستان می‌کاهد و شاخص SPI را ۰/۱۸۹ به سمت ارقام منفی گرایش می‌دهد. طی این شرایط الگوی MEI به تنهایی ۴۱ درصد تغییرات شاخص SPI را توجه می‌نماید. روند روبه لایننا این شاخص با کاهش بارش‌ها زمینه شدت خشکسالی را فراهم می‌آورند.

الگوی اقیانوس آرام شمالی (NP) که زمینه ظهور آن در شرایط خشکسالی زمستانی فراهم می‌آید، با حدود ۶٪ توجه تغییرات شاخص SPI در شرایط بروز خشکسالی اهمیت فراوانی دارد. با افزایش هر واحد منفی این الگو حدود ۹/۴۵ میلی متر به طور میانگین (۱۲/۱۴ تا ۴/۷۷ م) از بارش زمستانه می‌کاهد و شاخص SPI را ۰/۲۴۱ کاهش می‌دهد. الگوی اسکاندیناوی نیز در این شرایط با ۲۵/۱٪ از توجه تغییرات بارش باعث کاهش ۸/۴ میلی متر بارش منطقه همراه با کاهش هر واحد الگو می‌شود.

جدول شماره ۷: رتبه بندی شدت موثرترین الگوهای دورپیوند بر اساس ده مورد از شدیدترین خشکسالیهای زمستانه

سیستان و بلوچستان (RSPI) رتبه سلسله مراتبی شاخص SPI را نشان می دهد)

سال	WHWP	TSA	TNH	SCAND	POL	NP	NAO	MEI	EP	EAWR	AO	RSPI
1971	4	22	29	17	29	7	11	2	44	1	16	1
2000	31	34	29	2	27	16	42	5	39	41	34	2
1962	14	18	36	5	14	6	12	7	6	32	19	3
1985	13	34	38	22	5	16	15	12	29	15	12	4
1967	18	30	23	7	18	25	33	8	26	25	40	5
1984	37	43	29	37	23	18	40	18	41	12	18	6
1978	3	6	13	28	7	10	18	36	14	12	13	7
1993	23	15	7	11	44	16	38	35	2	42	42	8
1995	39	40	1	3	37	21	32	37	3	2	33	9
1963	26	24	42	16	11	10	16	9	23	40	9	10
Mean	20.75	26.40	24.45	14.60	21.30	14.30	25.55	16.90	22.60	22.05	23.60	5.50
Median	20.50	26.75	28.50	13.00	20.25	16.00	24.75	10.50	24.25	19.75	18.50	5.50
Minimum	3	6	1	2	5	6	11	2	2	1	9	1
Maximum	39	43	42	37	44	25	42	37	44	42	42	10

### تحلیل مؤلفه‌های سینوپتیکی نیمکره شمالی و ارتباط فضایی آنها با خشکسالیهای استان

طی چهار رویداد خشکسالی بسیار شدید زمستانی منطقه سیستان و بلوچستان به طور میانگین در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ناهنجاریهای ارتفاع ژئوپتانسیل در نیمکره شمالی نشاندهنده یک قطب مثبت بالای ۳۵ متر در شرق اقیانوس اطلس و شمال شرق روسیه است که با وجود یک الگوی منفی تا (۲۵-) متر در شمال اورپای مرکزی همراهی می شود. همچنین روی خاورمیانه نیز یک الگوی ضعیف منفی تا (۷-) متر مشاهده می شود، منطقه بین منحنی (۶-) تا (۸-) متر قرار دارد.

در طی هفت رویداد ترسالی شدید زمستانی با وجود عدم تغییر محسوس الگو روی منطقه، در سطح نیمکره شمالی تغییرات قابل ملاحظه‌ای ایجاد می شود. الگوی منفی تا (۲۰-) متر در شرق اقیانوس اطلس و الگوی مثبت با ۳۰ متر در روی شمالی اروپا و اسکاندیناوی و الگوی منفی تا (۲۰-) متر در شمال سیبری مشاهده می شود.

در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال الگوهای اساسی استقرار یک قطب بسیار قوی ناهنجاری منفی (۵۰-) متر در مرکز اسکاندیناوی، یک قطب منفی شدید در شرق اقیانوس اطلس با (۴۵-) متر می باشد. در روی سیبری

الگوی مثبت قوی که کشور ما را نیز در گرفته است، مستقر است. شدت هسته مرکزی با ۲۴ متر در روی سبیری و منطقه مشهود است. در شمال اسکاندیناوی ارقام حدود ۴۲ متر تقریباً به صورت یک مرکز قوی مثبت مشاهده می‌شود که بخش اعظم اروپا را دربر می‌گیرد.

در بررسی سه بعدی مقاطع طول جغرافیایی نیمکره شمالی نیز یک هسته ۲۰+ متر در طول ۱۰ تا ۲۰ درجه شرقی روی مدیترانه در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال، که تا سطح زمین نیز ناهنجاریهای مثبت آن ادامه دارد، مشاهده می‌شود. در محدوده طولهای بین ۶۰ تا ۷۰ درجه شرق و بخصوص سطوح فوقانی آن هسته ناهنجاریهای منفی تا حداکثر (۳۵-) متر قابل مشاهده است که تا سطح منطقه نیز ادامه دارد و به‌طور کلی بین ۴۵ تا ۱۰۰ درجه شرقی، که منطقه را نیز شامل می‌شود، در معرض بروز ناهنجاری منفی طی شرایط ترسالی قرار دارد.

در شرایط خشکسالی یک مرکز ناهنجاری منفی تا طول جغرافیایی ۷۰ درجه شرقی حاکم است که حداکثر شدت آن در سطوح فوقانی طول ۲۰ تا ۳۰ درجه شرقی است و در شرق طول ۷۰ درجه ناهنجاریهای مثبت که حداکثر شدت آن با ۱۵ متر در سطوح فوقانی طول ۷۰ تا ۸۰ درجه است مشاهده می‌شود.

در مقاطع عرض جغرافیایی در شرایط خشکسالی منطقه وجود یک الگوی ناهنجاری مثبت در سطوح فوقانی عرض ۲۰ تا ۳۰ درجه در سطح ۲۰۰ هکتوپاسکال نشان از تقویت جت استریم جنب حاره‌ای در سطوح فوقانی منطقه و در نتیجه کاهش شانس بارش ناشی از بادهای غربی رابه دنبال دارد. وجود یک ناهنجاری دوقطبی روی سطوح فوقانی ۶۰ درجه (بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ هکتوپاسکال) با هسته مرکزی (۱۴-) و هسته غربی (۸-) متر در همین ارتفاع در عرض جغرافیایی ۴۰ تا ۵۰ درجه از شرایط عمومی نیمکره شمالی در امتداد عرض در جغرافیایی همزمان با شرایط بروز خشکسالیهای سیستان و بلوچستان است.

طی دوره ترسالی الگوی منفی کاملاً متضاد با هسته مرکزی (۱۸-) متر در سطح فوقانی عرضهای ۲۰ تا ۳۰ درجه جغرافیایی و الگوی منفی دیگری با هسته (۷-) متر در سطوح ۳۰۰ تا ۴۰۰ هکتوپاسکال در ۵۰ تا ۶۰ درجه که به وسیله یک الگو ناهنجاری مثبت سطوح فوقانی بالای ۱۰۰ هکتوپاسکال (۵۰+ متر) از هم جدا شده است.

## رطوبت و پتانسیل بارش

یکی از اثرات الگوهای دورپیوند همزمانی معنی دار وقوع ترسالی یا خشکسالیهای در نواحی مختلف کره زمین است، که بررسی آنها در ارتباط با استقرار و آرایش الگوها می تواند کلیدهای مفیدی برای پیش بینی وقوع خشکسالیها باشد. در این ارتباط مؤلفه اساسی از طریق تفسیر نقشه‌های ترکیب یافته مورد بررسی قرار گرفته اند.

نقشه‌های ناهنجاری مقادیر آب ستونی قابل بارش در سالهای ترسالی و خشکسالی شدید استان در سطح نیمکره شمالی تهیه و ناهنجاری مثبت و منفی آب قابل بارش، که امکانات بالقوه ایجاد ترسالی و خشکسالی هستند، با هم مقایسه شده‌اند.

ترسالی استان سیستان و بلوچستان به لحاظ زمانی با وقوع ترسالی‌های نسبتاً شدید در روی جنوب شبه جزیره عربستان و شرق آفریقا همراه است. در حالی که در نواحی جنوبی اقیانوس هند، شرق اقیانوس اطلس ناهنجاری منفی مشاهده می شود. وقوع خشکسالی در مرکز آفریقا نیز قابل مشاهده است، ولی با توجه به شدت ناهنجاریهای مثبت جنوب ایران و شبه جزیره عربستان بیشترین نشانه‌های یک ترسالی شدید در سطح منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

در چهار رویداد خشکسالی زمستانی استان، که حداکثر شدت ناهنجاری منفی آب قابل بارش سطح نیمکره شمالی در جنوب عربستان با (۴-) کیلوگرم در متر مربع قابل مشاهده است، تقریباً تمامی بخشهای استان ناهنجاریهای قابل ملاحظه‌ای را نشان می دهند. وقوع این شرایط با سه قطب ناهنجاری منفی در شمال اسکانندیناوی، غرب آفریقا و منطقه آزور هماهنگی دارد و در عین حال با وقوع ناهنجاریهای مثبت شدید در شرق اقیانوس هند، جنوب شرقی آسیا، شمال خزر و منطقه ساحل همزمان است.

مقایسه نقشه‌های بازتاب طول موج بلند زمینی (OLR) همزمانی بروز ترسالیهای منطقه با بروز خشکسالیهای زمستانه جنوب شبه قاره هند و شرق اقیانوس هند و همچنین غرب آفریقا و منطقه ساحل را نشان می دهد و این در حالی است خشکسالی استان سیستان و بلوچستان که طی سنوات مورد بررسی به طور میانگین شدیدترین شرایط خشکسالی در نیمکره شمالی را نشان می دهد با وقوع ناهنجاریهای منفی OLR در شرق اقیانوس هند و جنوب شرقی آسیا هماهنگ است.

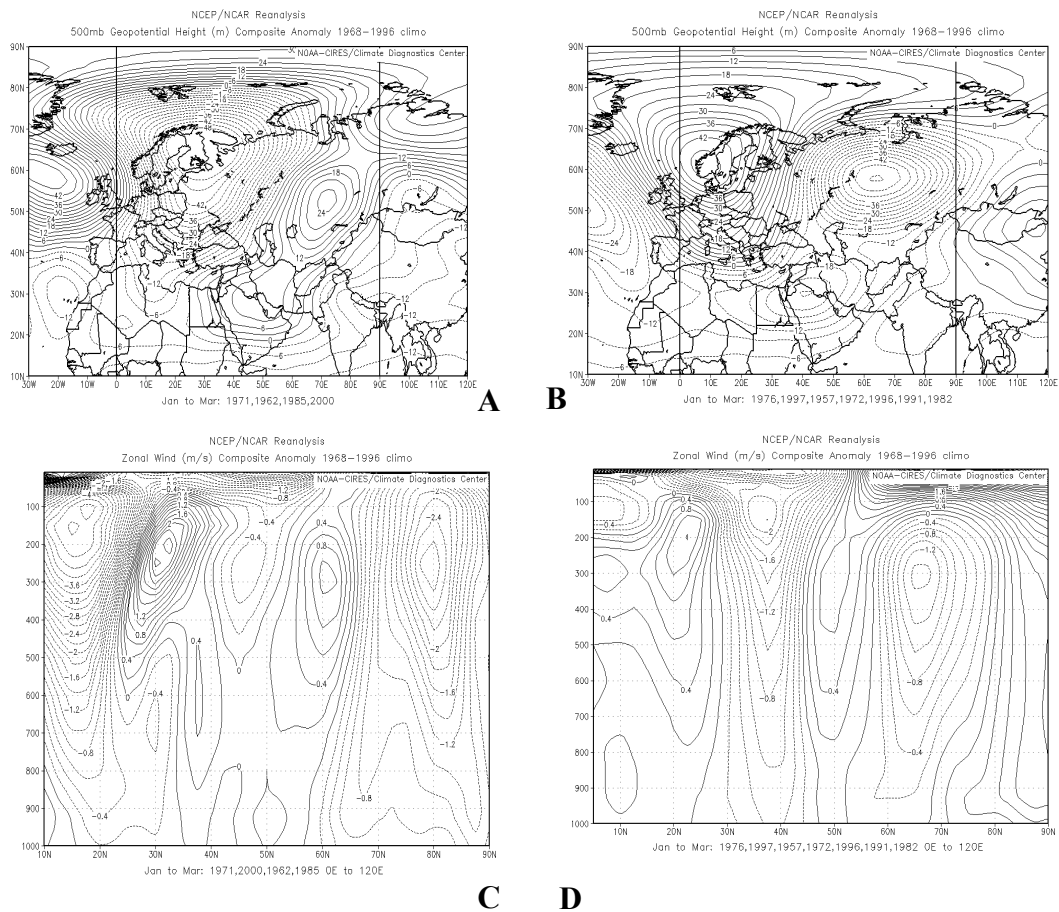
نقشه‌های رطوبت نسبی در سه سطح ۵۰۰، ۸۵۰ و ۵۰۰ سطح زمین طی دو شرایط بالا مورد ارزشیابی قرار گرفته است. تغییرات رطوبت نسبی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال کاملاً با شرایط بالا هماهنگی دارد و در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال طی شرایط ترسالی وجود مازاد تا ۶٪ بالاتر از شرایط نرمال رطوبت با کمبود رطوبت نسبی در اروپای غربی و روسیه شرقی هماهنگی دارد.

در شرایط خشکسالی بخش اعظم نواحی کشور با کمبود رطوبت نسبی در این سطح روبرو بوده اند که این شرایط با کاهش رطوبت نسبی در بخش اعظم آسیای میانه شمال چین و غرب هند همراه است. در حالی که قطب‌های ناهنجاری مثبت در غرب آفریقا و بخصوص شرق اقیانوس هند کاملاً چشمگیر است.

نقشه‌های رطوبت سطحی، سطح زمین الگوهای ساده‌تری را نشان می‌دهند که وقوع خشکی محیط در ایران، افغانستان، پاکستان و شمال هند بارزترین چهره ناهنجاری نیمکره شمالی است. در حالی که در شمال اقیانوس اطلس و نواحی قطبی شمالی اسکاندیناوی و شمال روسیه افزایش قابل ملاحظه رطوبت نسبی مشاهده می‌شود.

تفسیر مقاطع رطوبت نسبی که تا سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال در امتداد طول و عرض جغرافیایی نیمکره شمالی ترسیم و تفسیر شده، نشان می‌دهند که افزایش قطب ناهنجاری مثبت در طول جغرافیایی ۴۰ تا ۷۰ درجه شرقی تا سطح ۴۵۰ هکتوپاسکال همزمان با وقوع ناهنجاری منفی رطوبت در تمام طولهای جغرافیایی دیگر و سایر سطوح ارتفاعی جوی همراه است.

به هر حال خشکسالی استان، که با کاهش رطوبت نسبی شدید تقریباً در تمام عرصه مورد مطالعه از نصف‌النهار صفر تا ۱۲۰ درجه شرقی توأم است، در سطوح میانی جو بین ۸۵ تا ۱۲۰ درجه شرقی ناهنجاری مثبت رطوبتی مشهود است.



شکل شماره ۴: ناهنجاریهای ارتفاع ژئوپتانسیل زمستانه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نیمکره شمالی نسبت به میانگین (۱۹۶۵-۱۹۹۶) همزمان با میانگین شرایط خشکسالی شدید (A) و ترسالی شدید (B) استان سیستان و بلوچستان و ناهنجاریهای بادهای مداری زمستانه مقطع عرض جغرافیایی نیمکره شمالی نسبت به شرایط میانگین همزمان با خشکسالیها (C) و ترسالیهای شدید (D) استان سیستان و بلوچستان

## بادهای مداری

با توجه به تفسیر مقاطع ناهنجاری وزش بادهای مداری در جهت عرض جغرافیایی نیمکره شمالی در شرایط خشکسالی و ترسالی استان، می‌توان به نکات زیر اشاره نمود:

در شش حادثه خشکسالی شدید زمستانی، دو روند کاملاً کاهشی در سطوح مختلف جوئی عرضهای زیر ۳۰ درجه شمالی (سلول هدلی) و بالای ۶۰ درجه (سلول قطبی) مشهود است. این در حالی است که در عرضهای میانه بین ۵۰ تا ۶۰ درجه در سطوح میانی و فوقانی جو یک قطب ناهنجاری مثبت ضعیف و در سطوح فوقانی عرض ۳۵ درجه نیز یک قطب مثبت تا ۳ متر مشاهده می‌شود، در مجموع کندتر بودن جریانات مداری بالای نیمکره شمالی و محدوده مورد مطالعه کاملاً مشهود است.

در شرایط ترسالی الگوی متضادی در سلولها مشاهده می‌شود و در تمام سطوح عرضهای ۳۰ تا ۴۵ درجه شمالی ناهنجاری منفی وجود دارد در عرضهای ۶۰ تا ۷۰ درجه بخصوص سطوح فوقانی الگوی منفی ناهنجاری حاکم است، ولی در عرضهای قطبی تقویت جریانات مداری مشهود است.

نیمرخ طول جغرافیایی وزش بادها بسیار منظم‌تر است. در شرایط خشکسالی تقریباً در تمام سطوح، وزش مداری بادها تضعیف شده که در سطوح فوقانی (بالای ۲۰۰ هکتوپاسکال) شدیدتر است.

## جهت وزش بادها

برای تعیین هسته سرعت رودبادها و تعیین الگوهای موافق و مخالف ورود رطوبت به منطقه نقشه وزش بادها و هسته‌های سرعت آنها در سطوح مختلف جوئی طی شرایط خشکسالی و ترسالی استان ترسیم شده است.

در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال در شرایط ترسالی هسته سرعت حد اکثر ۵۰+ متر در غرب خلیج فارس مستقر است و در حالی که در شرایط ترسالی این هسته به ۴۵+ متر کاهش سرعت داده و به سمت مرکز کشور گسترده می‌شود، که نشان از تغییر مسیر شمالی تر رود باد جنب حاره‌ای به‌طور متوسط نسبت به شرایط ترسالی دارد. در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال طی شرایط خشکسالی یک هسته بسیار قوی سرعت روی جنوب کشور از دریای سرخ تا مرزهای شرقی استان مشاهده می‌شود، که انتقال رطوبت از منابع تأمین کننده آن در مدیترانه و



دریای سرخ را تسهیل می‌نماید. در همین حال هسته سرعت اقیانوس اطلس شمالی انتقال جریانات به سوی شرق و جنوب شرقی را تقویت نموده و جهت آسیای شرقی نیز بسیار قوی است. در شرایط خشکسالی جهت جریانات حاکم بر منطقه شمالی تر می‌شود. در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال جهت جریانات طی شرایط خشکسالی موافق انتقال رطوبت از منابع مجاور منطقه همچون خلیج فارس و دریای عمان نیست، در حالی که در شرایط ترسالی الگوهای موافق جنوب غربی جهت انتقال رطوبت سطوح پایین جو فراهم است.

الگوهای سطح زمین جریان بادها علی‌رغم پیچیدگیهای ظاهری حداقل نشان دهنده یک الگوی میانگین گردش سیکلونی در روی دریای عمان و کشور عمان طی شرایط ترسالی است که انتقال رطوبت از جنوب غربی را ممکن می‌سازد. در حالی که در شرایط خشکسالی چرخش آنتی سیکلونی حاکم بر همین منطقه و همچنین بخش اعظم مرکز و جنوب غربی کشور نشان‌دهنده ظهور خشکسالی است.

### نتایج:

در این نوشتار با توجه به بررسی تغییرات زمانی و فضایی خشکسالی زمستانه استان مشخص شد، سیگنالهای دورپیوند نیمکره شمالی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در گسترش و وقوع خشکسالیها مؤثراند. مؤثرترین الگو در این فصل اسکاندیناوی (SCAND) است. در مجموع الگوهای دورپیوند ۵۵٪ از تغییرات شاخص شدت خشکسالی را تبیین می‌نمایند. در شرایط خشکسالی الگوی آرام شمالی (NP) نمود مشهودی در ظهور خشکسالی دارد و به تنهایی حدود ۶۰٪ از تغییرات شدت خشکسالی را توجیه می‌نماید. بیشترین تبیین شاخص خشکسالی مربوط به پربارانترین بخشهای استان است. تفاوت شاخص SPI طی فازهای مثبت و منفی الگوهای قطبی / اور آسیا (POL) اسکاندیناوی (SCAND) و حاره‌ای نیمکره شمالی (TNH) معنی دار است. به ازای کاهش هر واحد الگوی POL و SCAND به‌طور متوسط ۱۳ و ۲۲ میلی‌متر از بارش زمستانه کاسته شده و بر شدت خشکسالی افزوده می‌شود.

خشکسالیهای زمستانه استان با وقوع خشکسالی در شمال اسکاندیناوی، غرب آفریقا و آזור و ترسالی در شرق اقیانوس هند، جنوب شرق آسیا، شمال خزر و منطقه ساحل به لحاظ زمانی هماهنگی دارد. در طی رویدادهای اساسی خشکسالی تقویت و هدایت بادهای مداری به عرض‌های بالاتر از منطقه و تضعیف آنها در

عرض‌های پایین مشهود است. الگوی مثبت جریانات نصف‌النهاری روی جنوب خلیج فارس طی این شرایط مانع از جریان مناسب نصف‌النهاری مسیرهای سیکلونی و تأثیر فرایند چرخندگی بادهای غربی جهت ایجاد بارش مناسب در سطح استان شده و با توجه به استقرار دو قطب منفی این جریانات در شمال شرقی هند و شرق آفریقا، انحراف مسیرهای سیکلونی از روی منطقه را به دنبال دارد. آرایش الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل نیز تغییرات عمده‌ای را در نیمکره شمالی همزمان با کم‌بارشی زمستانه استان نشان می‌دهد.

### منابع و مآخذ

- ۱- خسروی. محمود، ۱۳۸۳، نقش الگوهای ارتباط از دور نیمکره شمالی در گستره و شدت خشکسالیهای فراگیر استان سیستان و بلوچستان، طرح پژوهشی، حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان، پاییز.
- ۲- خسروی. محمود، نگارش، حسین، ۱۳۷۹، بررسی اقلیم کشاورزی استان سیستان و بلوچستان، معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان، طرح پژوهشی، مهر ۱۳۷۹، ص ۲۱۵.
- ۳- خسروی. محمود، ۱۳۸۱، پدیده انسو و تغییر پذیری اقلیم جنوب شرق ایران، پایان نامه دوره دکتری، دانشگاه اصفهان، گروه جغرافیا، اردیبهشت ۱۳۸۱.
- ۴- سازمان مدیریت و برنامه ریزی ۱۳۸۲، پایگاه اطلاع رسانی استان سیستان و بلوچستان.
- ۵- مقدم. حسین، خسروی، محمود، ۱۳۸۰، پایش خشکسالی بر اساس نمایه SPI، دهکها و نرمال در استان سیستان و بلوچستان، مقاله ارائه شده در اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل ۱۸ و ۱۹، ۸۰مجموعه مقالات کنفرانس، جلد سوم.
- 6- Aizen. M and others, 2001, Precipitation and Atmospheric circulation pattern at Mid-latitudes of Asia – International Journal of Climatology – Vol. 21 No. 5 - April 2001 pp 535-556
- 7- Barlow. M and Cullen. H and Lyon. B, 2002, Drought in Central and Southwest Asia: La Nina, the Warm Pool, and Indian Ocean Precipitation. Journal of Climate. 15: 697–700.
- 8-Bradbury. J.A and others, 2002, New England drought and relations with large scale atmospheric circulation patterns-Journal of the American Water Resources Association – (submitted may 2002)- (In press)
- 9-CPC 2004: <http://www.cpc.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.html>
- 10- Croderly I and Mc call M, 2000, A model forecasting drought from teleconnections-Water Resources Research-36(3):pp763-768
- 11- Cullen, H, And Others 2002, Impacts of the North Atlantic Oscillation on Middle Eastern climate and streamflow-Climate Change:55-PP315-338
- 12- Dayana Uri, Lambb, 2005, Dennis-Global and synoptic-scale weather patterns controlling wet atmospheric deposition over central Europe- Atmospheric Environment 39, 521–533
- 13- Gong . D, 2000, Arctic Oscillation and Climate of China in Winter – Advances in Atmospheric sciences-Advances in Atmospheric Sciences-Aug 2000-PP 1-2
- 14- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, Proceeding pp 179-184.
- 15- Nasrallah, H. A Balling, R. C. Selove Jr-, N. J, 2001, Development of a seasonal forecast model for Kuwait winter precipitation–Journal of Arid Environments 48: 233–242

- 16- Nicolls. N, and Katz, R.W, 1991, Teleconnections and their implications for long-range forecasts' Glantz, M. H. (ed) Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies New York:Cambridge University Press pp973-976-
- 17- OCHA / GVA 2000, Iran-Drought OCHA siltuation Report No 5-2000 / 0227-13 December 2000
- 18- Qiring, S.M. and D. Blair, 2000, The Utility of Global Teleconnection Indices for Long-Range Crop Forecasting on the Canadian Prairies, Geographical Essays v.3, 23-61. Winnipeg: University of Manitoba.
- 19- Radionov S and Assel R, 2000, Atmospheric teleconnection patterns and severity of winters in the Laurentian Great Lakes Basin-Atmosphere Oceane 38(4) 2000 pp 601-635
- 20- Raible,C Luksch,U Fraedrich,K, 2004,- Precipitation and Northern Hemisphere regimes- Atmospheric Science Letters 5 (2004) 43-55
- 21- Raible,C Blender,R- Northern Hemisphere midlatitude cyclone variability in GCM simulations with different ocean representations- Climate Dynamics (2004) 22: 239-248
- 22- Radionov S and Assel R, 2000, Atmospheric teleconnection patterns and severity of winters in the Laurentian Great Lakes Basin-Atmosphere Oceane 38(4) 2000 pp 601-635
- 23- Saji,N.H and Yamagata.T, 2003, Interference of teleconnection patterns generated from the Tropical Indian and Pacific oceans-Climate Research-2003(In press)
- 24- Shardul, A.,Barlow, M, and others, 2001, The Drought and Humanitarian Crisis in Central and Southwest Asia ,A climate prespective- IRI Special Report , No. 01-11 pp 13,14,15
- 25- Shaw G and Wheeler D, 1994, Statistical techniques in geographical analysis 2nd ed. London: Fulton
- 26- Thompson, D. W. J, and J. M. Wallace, 1998, The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. Geophys. Res. Lett., 25, 1297-1300
- 27- Zahraie.B-Karamouz,M, 2003, Seasonal Precipitation using large scale climate signals-  
6<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYDROINFORMATICS -21 24 june 2004 singapor
- 28- UPPENBRINK, J, 1997, Seasonal climate prediction' Science 277: 1952
- 29- Yin,Z, 1994, Moisture condition in the southeastern USA and teleconnection Patterns- International Journal of Climatology 14(9):pp947-967