

تحلیل ناهنجاری بارش پاییزه بر مبنای انتقال فازهای ENSO در مقیاس حوضه‌های آبخیز ایران

جلیل هلالی^۱، توران حسین زاده^۲، ابراهیم اسعدی اسکویی^{۳*}، فاطمه ربانی^۴، حسن بختیاری نجات^۵، حسام گلبداغی^۶

۱- گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشکده شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳- استادیار، پژوهشکده اقلیم‌شناسی و تغییر اقلیم، مشهد، ایران.

۴- گروه زبان انگلیسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، همدان، ایران.

۵ و ۶- سازمان زیباسازی و منظر، شهرداری همدان، همدان، ایران.

چکیده

هدف این پژوهش بررسی تاثیر انتقال فازهای ENSO بر ناهنجاری بارش پاییزه در حوضه‌های آبخیز ایران در یک دوره ۶۰ ساله از ۱۹۶۰-۲۰۱۹ است. به این منظور تفکیک دوره‌های انتقال فاز ENSO با استفاده از شاخص نینوی اقیانوسی (ONI) انجام شد. نتایج نشان داد بیشترین و کمترین ناهنجاری بارش در ماه اکتبر به ترتیب در فازهای انتقالی خنثی-لانینا و النینو-خنثی به ترتیب با مقادیر $+۳۸/۰$ و $-۲۰/۲$ درصد، ماه نوامبر در فازهای انتقالی خنثی-النینو و خنثی-لانینا با مقادیر $+۲۸/۰$ و $-۱۶/۱$ درصد، و ماه دسامبر در فازهای انتقالی خنثی-النینو و خنثی-لانینا با مقادیر $+۳۷/۳$ و $-۶۵/۹$ درصد رخ داده است. همچنین بیشترین و کمترین ضریب تغییرات بارش در ماه اکتبر در فازهای انتقالی النینو-خنثی و خنثی-لانینا، ماه نوامبر در فازهای انتقالی لانینا-النینو و خنثی-لانینا، و ماه دسامبر در فازهای انتقالی لانینا-النینو و لانینا-خنثی است. براساس نتایج فراوانی زیرحوضه‌های دارای ناهنجاری مثبت یا منفی در ماه‌های مختلف تحت فازهای انتقالی ENSO تغییر می‌کند. نتیجه نهایی این مطالعه نقش مهم فاز خنثی را در وضعیت انتقال فازی ENSO بر ناهنجاری و ضریب تغییرات بارش فصل پاییز حوضه‌های آبخیز ایران مشخص کرد. نتیجه نهایی نشان داد ناهنجاری و ضریب تغییرات بارش در حوضه‌های دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک فلات مرکزی و مرز شرقی شدیدتر است.

کلید واژه‌ها: انتقال فاز ENSO، ناهنجاری بارش، ضریب تغییرات، حوضه آبخیز.

مقدمه

(al., 2021; Ahmadi et al., 2022; Dong et al., 2024 استفاده شود. به عنوان نمونه Mahjoobi et al. (2021) تاکید می‌کنند که مهمترین الگوهای دورپیوندی موثر بر بارش ایران به ویژه بارش‌های پاییزه و زمستانه غرب ایران شاخص‌های SOI، NAO و گروه Nino هستند (تاثیر شاخص‌های SOI بیشتر است) که تاثیر آن‌ها با تاخیر زمانی می‌باشد. همچنین Jamshidi Khezeli et al. (2022) نشان دادند بارش‌های حدی پاییزه و زمستانه ایران زمانی رخ می‌دهند که النینو در شدت‌های متوسط تا شدید، MJO در فاز بحرانی و شدید و NAO در فاز مثبت باشد که دلیل سینوپتیکی این پدیده تاثیر همزمان سه الگوی کم‌فشار و یک الگوی پرفشار می‌باشد. همچنین Ahmadi et al. (2022) نشان دادند پیش‌بینی متغیرهای بارش منطقه ایران با استفاده از الگوهای دورپیوندی مقیاس جهانی و ترکیبی از شاخص‌های جهانی-منطقه‌ای دقت بالاتری نسبت به شاخص‌های منطقه‌ای و ENSO دارد. به عقیده محققان تاثیرگذاری ENSO بر بارش‌های ایران می‌تواند از طریق فازهای مختلف (Helali et al., 2020a; Alizadeh and Mousavizadeh, 2025)، شدت‌های مختلف هر فاز (Helali et al., 2020b; 2021b; Bahrami et al., 2021) و یا فازهای انتقالی ENSO (Bahrami et al., 2020; 2021; Mokhov & Timazhev, 2022; Builes-Jaramillo et al., 2023) باشد. در وضعیت‌های انتقال فازی ENSO به دلیل تغییرات دینامیکی مقادیر ناهنجاری بارش نسبت به مقادیر بارش در فازها و شدت‌های مختلف ENSO نوسان بیشتری خواهد داشت (Bahrami et al., 2020, 2021; Builes-Jaramillo et al., 2023; Alizadeh & Mousavizadeh, 2025). در واقع این گونه می‌توان بیان کرد اثرگذاری این پدیده بر متغیرهای هیدرواقلمی به فاز، شدت و تغییر فازهای آن ارتباط زیادی دارد (Helali et al., 2020a,b; 2021b, 2022; Bahrami et al., 2020, 2021) به عنوان نمونه، مطالعه Helali et al. (2020 a,b, 2021b) نشان داد که ناهنجاری بارش حوضه‌های آبخیز درجه ۲ ایران در شدت‌های مختلف انسو شدیدتر از فازهای مختلف آن است در حالی که Bahrami et al. (2021) مشخص کردند در فازهای انتقالی ENSO ناهنجاری بارش فصل پاییز ایران رفتار متفاوتی دارد به طوری که با تضعیف الگوهای کم‌فشار ایسلند و پرفشار آزور در فازهای انتقالی النینو به لائینا و تقویت هر دو آنها در فاز انتقالی لائینا به النینو اختلاف بارش معناداری وجود خواهد داشت. همچنین مطالعه Bahrami et al.

بارش مهمترین متغیر اقلیمی و هیدرولوژیکی است که اهمیت بسیاری در مدیریت منابع آب، کشاورزی و محیط زیست دارد و تغییرات آن می‌تواند تاثیر بسزایی در مناطق خشک و نیمه-خشک جهان از جمله ایران داشته باشد. در این میان، کشور ایران به عنوان منطقه‌ای با اقلیم خشک و نیمه‌خشک تحت تاثیر نوسانات شدید بارش قرار دارد به طوری که متوسط بارش سالانه آن حدود ۲۵۰ میلیمتر بوده و عمدتاً در فصول سرد سال رخ می‌دهد (Helali et al., 2020 a,b). از آنجایی که در مطالعات منابع آب، سال آبی از اول مهرماه شروع می‌شود نقش بارش‌های پاییزه در کشت دیم و همچنین تغذیه منابع آب زیرزمینی بعد از تابستان که فصل خشک مناطق مختلف ایران است بسیار مهم خواهد بود. با توجه به این موارد لزوم مطالعات و پیشگیری بارش‌های پاییزه موضوع با اهمیتی است. از دیدگاه منابع آب بهتر است حوضه‌های آبخیز مقیاس مطالعات قرار گرفته و بر اساس آن برنامه‌های مدیریتی انجام شوند (Goudarzi et al., 2015). یکی از مهمترین عوامل موثر بر بارش مناطق مختلف ایران شاخص‌های دورپیوندی از جمله نوسانات جنوبی النینو (ENSO)، مادن جولیان (MJO)، نوسانات آتلانتیک شمالی (NAO) و شاخص چندمتغیره ENSO (MEI) می‌باشد (Helali et al., 2020 a,b). الگوهای دورپیوندی به تغییرات دمایی یا فشاری در ترازهای مختلف اتمسفر بین اقیانوس‌ها با یکدیگر یا اقیانوس-خشکی‌ها اتلاق می‌شود (Hartman et al., 2016; Ahmadi et al., 2022; Dong et al., 2024) که می‌تواند به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده بارش مورد استفاده قرار گیرند (Hartman et al., 2016; Helali et al., 2023; Dong et al., 2024; Mohammadi et al., 2024). مهمترین الگوی دورپیوندی موثر بر بارش پاییزه ایران از دیدگاه محققان شاخص‌های مرتبط با ENSO بوده است (Nazemosadat & Cordery, 2000; Helali et al., 2020 a,b; Mahjoobi et al., 2021; Ahmadi et al., 2019, 2022, 2025; Ghasemifar et al., 2022; Jamshidi Khezeli et al., 2022; Kheyruri et al., 2024; Alizadeh and Mousavizadeh, 2025). در این مطالعات تلاش شده است ارتباط بین ENSO با متغیرهای هیدرواقلمی از دیدگاه‌های مختلف شامل بررسی ناهنجاری (anomaly) (Helali et al., 2020a,b; Bahrami et al., 2020, 2021) و ترکیب الگوهای مختلف (Mahjoobi et

و ضروری است. لذا با توجه به اهمیت موضوع در این پژوهش مراحل بررسی میانگین، ناهنجاری و ضریب تغییرات بارش پاییزه حوضه‌های آبخیز درجه ۳ ایران در فازهای انتقالی ENSO مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

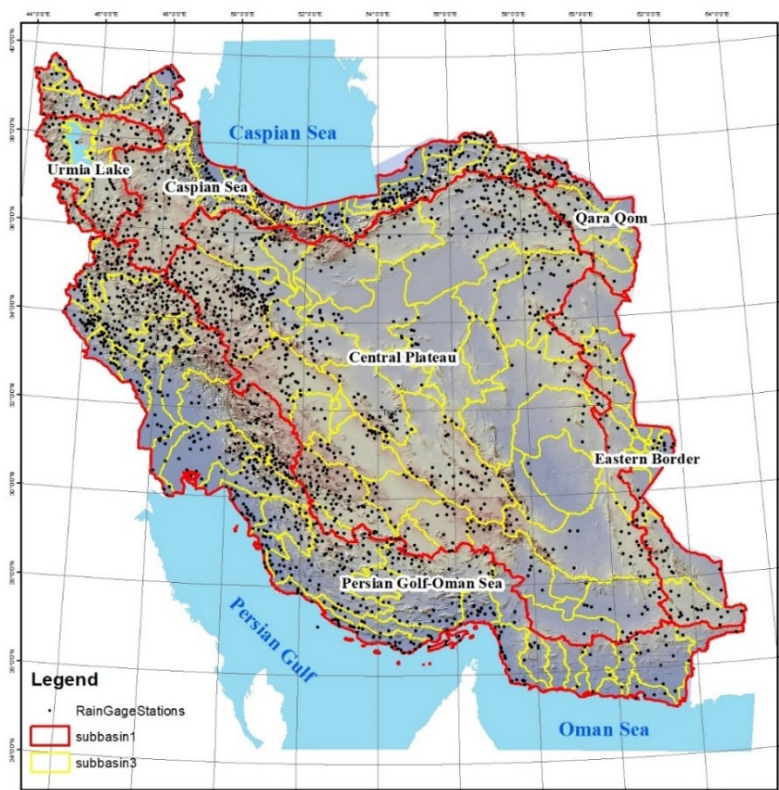
منطقه مورد پژوهش حوضه‌های آبخیز درجه ۱ (اصلی) و درجه ۳ ایران است (شکل ۱). محدوده مورد مطالعه از ۶ حوضه درجه ۱ یا اصلی شامل حوضه‌های آبخیز دریاچه کاسپین (CS)، خلیج فارس-دریای عمان (PG)، دریاچه ارومیه (UL)، فلات مرکزی (CP)، مرز شرقی (EB) و قره‌قوم (QQ) تشکیل شده است که دربرگیرنده ۱۳۵ زیرحوضه درجه ۳ می‌باشد (شکل ۱ و جدول ۱). تعداد زیرحوضه‌های درجه ۳ در حوضه‌های آبخیز اصلی دریاچه کاسپین، خلیج فارس-دریای عمان، دریاچه ارومیه، فلات مرکزی، مرز شرقی و قره-قوم به ترتیب ۲۹، ۳۶، ۷، ۴۳، ۱۴ و ۶ زیرحوضه (در جدول ۱ به ترتیب ردیف ۱ تا ۲۹، ۳۰ تا ۶۵، ۶۶ تا ۷۳، ۷۴ تا ۱۱۵، ۱۱۶ تا ۱۲۹ و ۱۳۰ تا ۱۳۵) می‌باشند. دلیل انتخاب این نوع طبقه‌بندی حوضه‌های آبخیز بررسی ناهنجاری بارش در مقیاس‌های مکانی مختلف (حوضه درجه ۱ و ۳) می‌باشد. در این مطالعه ۱۲۰۰ ایستگاه شامل ایستگاه‌های باران‌سنجی وزرات نیرو، ایستگاه‌های باران‌سنجی و همدید سازمان هواشناسی در دوره آماری ۱۹۶۰-۲۰۱۹ مورد استفاده قرار گرفت که همگن و بدون خلاء آماری بودند. میانگین بارش هر حوضه آبخیز درجه ۱ و ۳ نیز با روش تیسن انجام و استخراج گردید.

(2020) نشان داد در خاورمیانه اختلاف بارش پاییزه در فازهای انتقالی ENSO معنادار است. این مطالعه صرفاً تأکید بر فازهای انتقالی النینو به لائینا و بالعکس متمرکز بوده و اثرات فازهای انتقالی خنثی به لائینا (لائینا-خنثی) و خنثی به النینو (النینو-خنثی) را در نظر نگرفته است. Mokhov & Timazhev (2022) نشان داده‌اند در بخش اروپایی روسیه شرایط خشکسالی و دماهای بالای ماه‌های بهار-تابستان در سال‌های شروع النینو و تغییر فاز آن به لائینا در آخر سال اتفاق افتاد است در حالی که در بخش آسیایی روسیه بزرگترین فراوانی دماهای بالا در شرایط النینو اتفاق می‌افتد. همچنین تأثیر فازهای انتقالی ENSO در بخش شمالی آمریکای جنوبی نشان داده است فازهای انتقالی ENSO تغییرات سرعت عمودی باد مرتبط با سلول‌های والکر در بخش شرق دور اقیانوس آرام را کاهش می‌دهد که به طور تدریجی موجب افزایش (کاهش) شتاب‌های پایین‌سوی باد در طی فاز انتقالی النینو-لائینا (لائینا-النینو) و افزایش (کاهش) شتاب بالاسوی آنها در بخش شمالی آمریکای جنوبی می‌گردد (Builes-Alizadeh and Jaramillo et al., 2023). مطالعه Mousavizadeh (2025) نشان می‌دهد در فاز النینو بارش‌های حدی پاییز، زمستان و بهار در جنوب غرب آسیا افزایش می‌یابد در حالی که در لائینا برعکس می‌شود. این در حالی است که در بخش جنوبی خاورمیانه در فصل تابستان مقادیر بارش حدی در فاز النینو کاهش و در لائینا افزایش خواهد یافت.

بررسی ناهنجاری بارش در فازهای انتقالی ENSO اطلاعات بیشتری در مورد پیچیدگی دینامیکی این پدیده و اثر آن بر بارش نشان می‌دهد (Builes-Jaramillo et al., 2023; Bahrami et al., 2020, 2021) به طوری که در فاز انتقالی النینو به لائینا عمده مناطق ایران بارش کمتر از نرمال دریافت کرده‌اند در صورتی که در فاز انتقالی لائینا به النینو بارش بالاتر از نرمال بوده است (Bahrami et al., 2020, 2021; Alizadeh & Mousavizadeh, 2025). در این مطالعات صرفاً فاز انتقالی النینو با لائینا مورد مطالعه قرار گرفته و فاز انتقالی خنثی با لائینا و النینو مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین از دیدگاه آماری، مقایسه میانگین بارش به تنهایی قادر به ارائه جزئیات تغییرات بارش نخواهد بود، بنابراین استفاده از شاخص‌های ناهنجاری و همچنین ضریب تغییرات نیز لازم

جدول ۱- لیست حوضه‌های آبخیز اصلی (درجه ۱) و درجه ۳ ایران

حوضه اصلی	ردیف	حوضه درجه ۳	ردیف	حوضه اصلی	حوضه درجه ۳	ردیف	حوضه اصلی
دریای کاسپین	۱	شرق دره‌رود	۴۶	خلیج فارس-دریای عمان	۹۱	جنوب جازموریان	فلات مرکزی
	۲	دره‌رود	۴۷		۹۲	بمپور	
	۳	ارس میانی	۴۸		۹۳	شمال جازموریان	
	۴	قطورچای	۴۹		۹۴	محدوده جازموریان	
	۵	شرق زنگمار	۵۰		۹۵	محمودآباد-عباس آباد	
	۶	زنگمار-ساری‌سو	۵۱		۹۶	بیابان طبس	
	۷	بالادست ارس	۵۲		۹۷	حمید-بهباد	
	۸	تالش	۵۳		۹۸	بیرجند-سرچنگل	
	۹	تالاب انزلی	۵۴		۹۹	غرب لوت	
	۱۰	سفیدرود	۵۵		۱۰۰	کهورک چاه غیب	
	۱۱	قزل اوزن	۵۶		۱۰۱	شرق لوت	
	۱۲	شاهرود	۵۷		۱۰۲	لورک شتران	
	۱۳	دریاچه سد سفیدرود	۵۸		۱۰۳	محدوده لوت	
	۱۴	شرق گیلان	۵۹		۱۰۴	حبله رود-شوراب	
	۱۵	رامسر-چالوس	۶۰		۱۰۵	غرب بیابان مرکزی	
	۱۶	نوشهر-نور	۶۱		۱۰۶	شرق بیابان مرکزی	
	۱۷	هراز	۶۲		۱۰۷	درونه-دستگردان	
	۱۸	بابل رود-تالار	۶۳		۱۰۸	بیابان بجنستان	
	۱۹	تجن	۶۴		۱۰۹	تهرود-خارنوران	
	دریای کاسپین	۲۰	نکا-داراب کلا		۶۵	دریاچه ارومیه	
۲۱		خلیج گرگان	۶۶	۱۱۱	دق سرخ		
۲۲		قره سو	۶۷	۱۱۲	بیابان سیاه کوه		
۲۳		گورگانرود	۶۸	۱۱۳	ریگ زرین		
۲۴		پایین دست اترک	۶۹	۱۱۴	بیابان درنجیر		
۲۵		سومبار	۷۰	۱۱۵	بیابان ساغند		
۲۶		اترک میانی ۱	۷۱	۱۱۶	نمکزار خواف		
۲۷		اترک میانی ۲	۷۲	۱۱۷	دق پترکان		
۲۸		اترک میانی ۳	۷۳	۱۱۸	دق تندی		
۲۹		بالادست اترک	۷۴	۱۱۹	قارقراری		
خلیج فارس- دریای عمان	۳۰	زاب کوچک	۷۵	فلات مرکزی	۱۲۰	غرب صابری	
	۳۱	سیروان	۷۶		۱۲۱	حسین آباد	
	۳۲	هواسان-الوند	۷۷		۱۲۲	غرب هامون	
	۳۳	سومار-صالح آباد	۷۸		۱۲۳	شور نهبندان	
	۳۴	گونجان چم-چنگوله	۷۹		۱۲۴	جنوب غرب هامون	
	۳۵	میمه-دوریج	۸۰		۱۲۵	شیله	
	۳۶	کرخه	۸۱		۱۲۶	هیرمند	
	۳۷	کاشان	۸۲		۱۲۷	محدوده دریاچه هامون	
	۳۸	سیمره	۸۳		۱۲۸	جَلق-تلخاب	
	۳۹	پایین دست کارون	۸۴		۱۲۹	مُشکلی	
دریای کاسپین	۴۰	کارون	۸۵	قره‌قوم	۱۳۰	درونگر-چهچه	
	۴۱	دز	۸۶		۱۳۱	پایین دست هریرود	
	۴۲	جراحی	۸۷		۱۳۲	کشف رود	
	۴۳	زهره	۸۸		۱۳۳	هریرود میانی ۱	
	۴۴	غرب حله	۸۹		۱۳۴	جمرود	
	۴۵	حله	۹۰		۱۳۵	هریرود میانی ۲	



شکل ۱- حوضه‌های آبخیز درجه ۱ (اصلی) و درجه ۳ ایران و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی

جدول ۲- تفکیک فازها، شدت‌ها و فازهای انتقالی مختلف ENSO بر مبنای شاخص ONI

انتقال فاز	دوره آماری
خنثی به النینو (NE)	۲۰۰۳-۲۰۰۱-۰۲، ۱۹۹۶-۹۷، ۱۹۹۳-۹۴، ۱۹۹۰-۹۱، ۱۹۸۵-۸۶، ۱۹۸۱-۸۲، ۱۹۷۸-۷۹، ۱۹۶۲-۶۳ ۲۰۱۴-۱۵، ۲۰۰۸-۰۹، ۲۰۰۵-۰۶، ۰۴
النینو به خنثی (EN)	۲۰۰۹-۱۰، ۲۰۰۴-۰۵، ۲۰۰۲-۰۳، ۱۹۹۱-۹۲، ۱۹۷۹-۸۰، ۱۹۷۷-۷۸، ۱۹۶۵-۶۶
خنثی به لانینا (NL)	۲۰۱۰-۱۱، ۱۹۶۶-۶۷
لانینا به خنثی (LN)	۲۰۱۲-۱۳، ۲۰۰۷-۰۸، ۲۰۰۰-۰۱، ۱۹۹۵-۹۶، ۱۹۸۸-۸۹، ۱۹۸۴-۸۵
لانینا به النینو (LE)	۲۰۱۷-۱۸، ۱۹۷۵-۷۶، ۱۹۷۱-۷۲، ۱۹۶۷-۶۸، ۱۹۶۴-۶۵
النینو به لانینا (EL)	۲۰۰۶-۱۹۹۷-۹۸، ۱۹۸۷-۸۸، ۱۹۸۲-۸۳، ۱۹۷۲-۷۳، ۱۹۶۹-۷۰، ۱۹۶۸-۶۹، ۱۹۶۷-۶۸، ۱۹۶۳-۶۴ ۲۰۱۵-۱۶، ۰۷

ENSO در کشورها و مناطق مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Bahrami et al., 2021; Glantz et al., 2020)، بنابراین در این مطالعه هم از آن استفاده شد که در جدول ۲ دوره‌های انتقالی خنثی به النینو (NE)، النینو به خنثی (EN)، خنثی به لانینا (NL)، لانینا به خنثی (LN)، لانینا به النینو (LE) و النینو به لانینا (EL) ارائه شده است.

تفکیک فازهای انتقالی ENSO

برای تفکیک فازهای انتقالی ENSO سنجه‌های مختلفی وجود دارند که شامل شاخص‌های Oceanic Nino Index (ONI)، Southern Oscillation Index (SOI)، Trans Nino Index (TNI) و Multivariate ENSO Index (MEI) می‌باشند. از آنجایی که شاخص ONI به وسیله مرکز پیش بینی اقلیم اداره اتمسفری و اقیانوسی ملی ایالات متحده توسعه یافته و به عنوان یک شاخص معتبری از

مشخصات آماری

در این مطالعه میانگین، ناهنجاری و ضریب تغییرات بارش پاییزه شامل ماه‌های اکتبر (مهرماه)، نوامبر (آبان‌ماه) و دسامبر (آذرماه) حوضه‌های آبخیز درجه ۳ در فازهای انتقالی ENSO مورد محاسبه قرار گرفت. ضریب تغییرات بر اساس معادله زیر استخراج شد:

$$CV = \left(\frac{StDev}{\bar{P}} \right) \times 100 \quad (1)$$

که در آن CV ضریب تغییرات (درصد)، StDev انحراف معیار (میلیمتر) و \bar{P} میانگین بارش ماهانه در هر انتقال فاز ENSO می‌باشد. در ادامه ناهنجاری نیز با معادله زیر محاسبه گردید (Bahrami et al., 2020, 2021):

$$PA = \left(\frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \right) \times 100 \quad (2)$$

که در آن PA ناهنجاری بارش (درصد)، P بارش در فازهای انتقالی ENSO و \bar{P} میانگین بارش بلندمدت ۶۰ ساله می‌باشد.

نتایج و بحث

تحلیل میانگین، ناهنجاری و ضریب تغییرات در ماه اکتبر (مهرماه)

تحلیل میانگین (الف)، ناهنجاری (ب) و ضریب تغییرات (ج) در اکتبر در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد مقادیر حداکثر و حداقل بارش اکتبر در فازهای انتقالی خشتی-النینو، خشتی-النینو، خشتی-الانینا، لانینا-خشتی، لانینا-النینو و النینو-خشتی، خشتی-الانینا، لانینا-خشتی، لانینا-النینو و النینو-خشتی بین ۰/۲ تا ۱۱۱/۶، ۰/۰ تا ۱۰۳/۴، ۰/۰ تا ۱۳۵/۴، ۰/۱ تا ۱۱۷/۱، ۰/۰ تا ۱۱۳/۲ و ۰/۲ تا ۹۶/۵ میلیمتر تغییر می‌کند (میانگین به ترتیب ۱۰/۸، ۹/۷، ۱۴/۵، ۹/۸، ۱۰/۳ و ۹/۷ میلیمتر). بنابراین بیشترین و کمترین بارش ماه اکتبر به ترتیب در فازهای انتقالی خشتی-الانینا و النینو-الانینا رخ داده است (شکل ۲-الف). در همین ماه مقادیر حداکثر و حداقل ناهنجاری بارش در فازهای انتقالی خشتی-النینو، النینو-خشتی، خشتی-الانینا، لانینا-خشتی، لانینا-النینو و النینو-خشتی بین ۱۲۸/۸ تا ۹۱/۴، ۱۰۶/۱ تا ۱۰۰، ۱۷۳/۴ تا ۹۲/۶ تا ۳۰۸، ۹۸/۵ تا ۱۴۵/۶ و ۷۵/۴ تا ۱۸۶/۱ درصد تغییر می‌کند (میانگین به ترتیب ۱۶/۴، ۲۰/۲، ۳۸/۰، ۱۹/۹، ۱۹/۱ و ۴/۸ درصد). بنابراین بیشترین و کمترین ناهنجاری

ماه اکتبر به ترتیب در فازهای انتقالی خشتی-الانینا و النینو-خشتی (به ترتیب ۳۸/۰+ و ۲۰/۲- درصد) رخ داده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد به طور متوسط در فازهای خشتی-النینو، خشتی-الانینا و النینو-الانینا ناهنجاری مثبت دیده می‌شود در حالی که در فازهای انتقالی النینو-خشتی، لانینا-خشتی و لانینا-النینو ناهنجاری منفی است (شکل ۲-ب). بررسی متغیر ضریب تغییرات بارش در فازهای انتقالی خشتی-النینو، النینو-خشتی، خشتی-الانینا، لانینا-خشتی، لانینا-النینو و النینو-الانینا بین ۲۲/۴ تا ۲۴۱/۲، ۳۵/۵ تا ۲۴۳/۶، ۰/۰ تا ۱۴۱/۴، ۲۸/۵ تا ۲۳۸/۸، ۳/۴ تا ۲۲۳/۶ و ۳۲/۵ تا ۲۳۹/۹ درصد تغییر می‌کند (میانگین به ترتیب ۱۲۷/۴، ۱۳۱/۶، ۹۸/۶، ۱۱۳/۴ و ۱۱۳/۱ و ۱۱۷/۷ درصد). بنابراین بیشترین و کمترین ضریب تغییرات متعلق به فازهای انتقالی النینو-خشتی و خشتی-الانینا (به ترتیب با مقادیر ۹۸/۶ و ۱۳۱/۶ درصد) خواهد بود (شکل ۲-ج).

تحلیل فراوانی ناهنجاری‌های مثبت و منفی نیز نشان دهنده تغییرات زیاد در فازهای انتقالی ENSO می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد در حالی که در فازهای انتقالی خشتی-النینو و خشتی-الانینا به ترتیب ۹۱ و ۱۰۳ حوضه آبخیز ناهنجاری مثبت داشته‌اند ولی در فازهای انتقالی النینو-خشتی، لانینا-خشتی و لانینا-النینو به ترتیب ۱۰۹، ۱۰۹ و ۹۷ حوضه آبخیز ناهنجاری منفی رخ داده است. این در حالی است که در فاز انتقالی النینو-الانینا ناهنجاری‌های مثبت و منفی به ترتیب در ۶۲ و ۷۳ زیرحوضه دیده می‌شود.

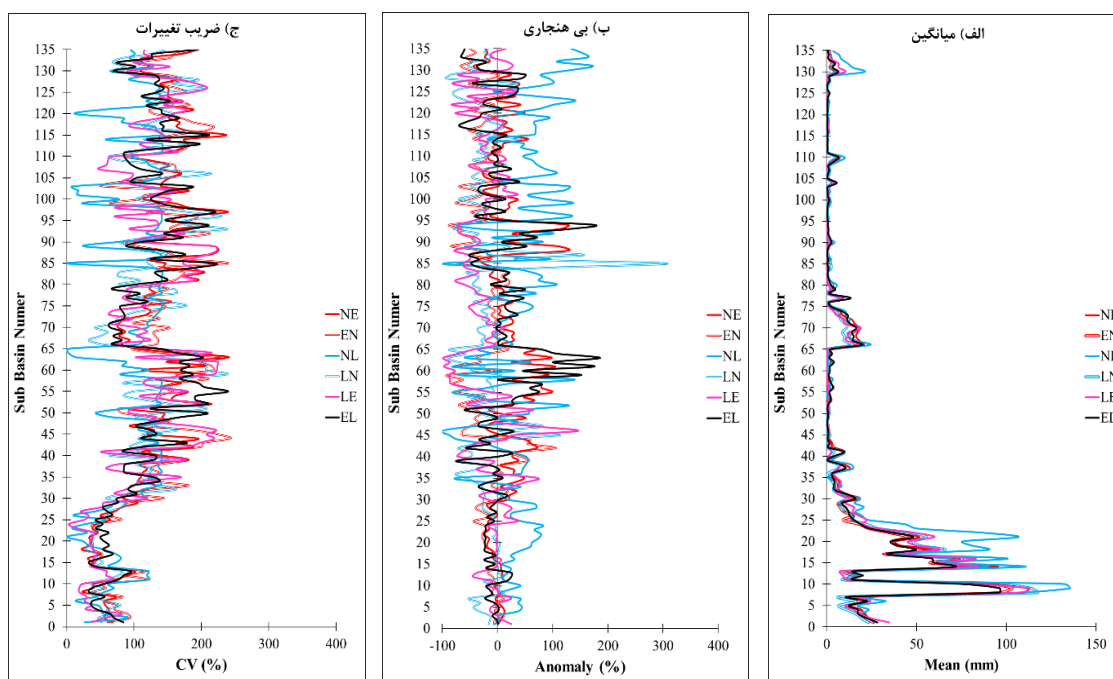
تحلیل میانگین، ناهنجاری و ضریب تغییرات در ماه نوامبر (آبان‌ماه)

تحلیل میانگین (الف)، ناهنجاری (ب) و ضریب تغییرات (ج) در نوامبر در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد مقادیر حداکثر و حداقل بارش نوامبر در فازهای انتقالی خشتی-النینو، النینو-خشتی، خشتی-الانینا، لانینا-خشتی، لانینا-النینو و النینو-الانینا بین ۰/۶ تا ۱۱۷/۶، ۰/۶ تا ۱۰۴/۲، ۰/۰ تا ۱۰۲/۱، ۰/۲ تا ۸۸/۶، ۰/۵ تا ۸۲/۰ و ۰/۴ تا ۷۷/۷ میلیمتر تغییر می‌کند (میانگین به ترتیب ۲۱/۷، ۱۷/۹، ۱۷/۱، ۱۷/۵، ۱۷/۵ و ۱۷/۵ میلیمتر). بنابراین بیشترین و کمترین بارش ماه نوامبر به ترتیب در فازهای انتقالی خشتی-النینو و النینو-الانینا رخ داده است (شکل ۳-الف). در همین ماه مقادیر حداکثر و

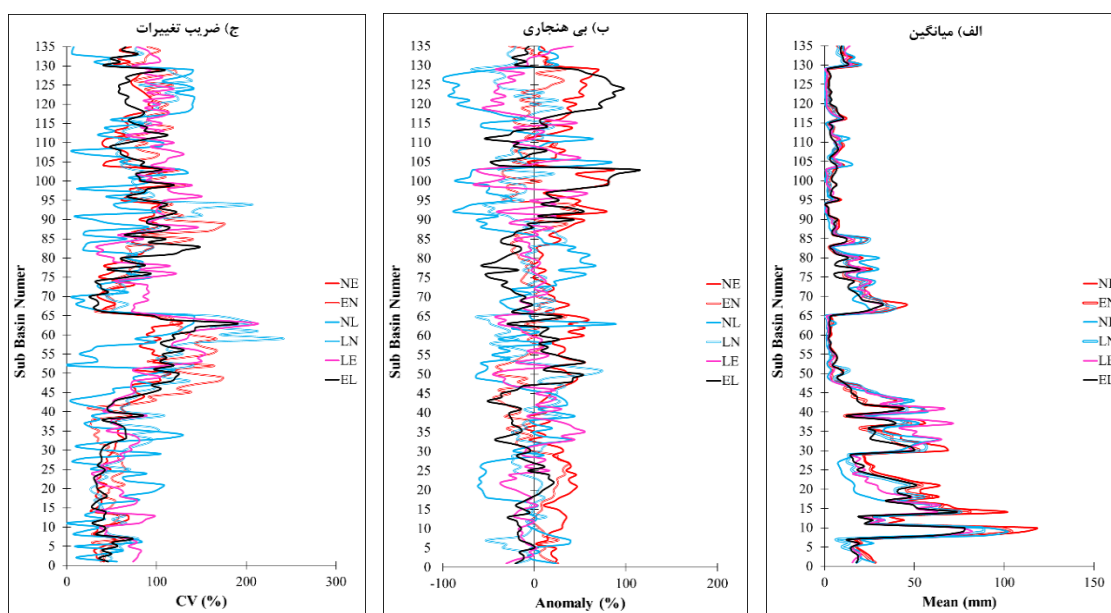
۲۳/۵ تا ۱۷۵/۳، ۰/۱ تا ۱۴۱/۴، ۲۶/۴ تا ۲۴۱/۶، ۲۸/۰ تا ۲۱۲/۵ و ۲۵/۵ تا ۱۹۰/۵ درصد تغییر می‌کند (میانگین به ترتیب ۶۷/۵، ۸۴/۶، ۶۳/۵، ۸۴/۶، ۸۷/۴ و ۷۲/۶ درصد). بنابراین بیشترین و کمترین ضریب تغییرات متعلق به فازهای انتقالی لائینا-لائینا و خشتی-لائینا (به ترتیب با مقادیر ۸۷/۴ و ۶۳/۵ درصد) خواهد بود (شکل ۳-ج).

تحلیل فراوانی ناهنجاری‌های مثبت و منفی نیز نشان دهنده تغییرات زیاد در فازهای انتقالی ENSO در ماه نوامبر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد تنها در فاز انتقالی خشتی-لائینا در اکثر زیرحوضه‌ها ناهنجاری مثبت رخ داده است (۱۲۸ خشتی-لائینا، لائینا-خشتی، لائینا-لائینا و لائینا-خشتی به ترتیب ۷۱، ۸۴، ۸۸، ۸۴ و ۸۰ زیرحوضه ناهنجاری منفی داشته‌اند.

حداقل ناهنجاری بارش در فازهای انتقالی خشتی-لائینا، لائینو-خشتی، خشتی-لائینا، لائینا-خشتی، لائینا-لائینو و لائینو-لائینا بین ۱۰/۳- تا ۸۶/۶+، ۴۵/۰- تا ۴۷/۵+، ۹۸/۹- تا ۸۹/۱+، ۶۹/۱- تا ۷۳/۷+، ۶۵/۳- تا ۵۶/۶+ و ۵۷/۴- تا ۱۱۳/۲+ درصد تغییر می‌کند (میانگین به ترتیب ۲۸/۰+، ۱/۶-، ۱۶/۱-، ۷/۹-، ۵/۹- و ۳/۳+ درصد). بنابراین بیشترین و کمترین ناهنجاری ماه نوامبر به ترتیب در فازهای انتقالی خشتی-لائینو و خشتی-لائینا (به ترتیب ۲۸/۰+ و ۱۶/۱- درصد) رخ داده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد به طور کلی در ماه نوامبر در عمده فازهای انتقالی ENSO ناهنجاری منفی وجود خواهد داشت (به جز خشتی-لائینو و لائین-لائینا) (شکل ۳-ب). بررسی متغیر نوسانات ضریب تغییرات بارش در فازهای انتقالی خشتی-لائینو، لائینو-خشتی، خشتی-لائینا، لائینا-خشتی، لائینو-لائینو و لائینو-لائینا بین ۲۷/۲ تا ۱۲۸/۵،



شکل ۲- بررسی وضعیت بارش در ماه اکتبر (مهرماه) در فازهای انتقالی ENSO: الف) میانگین (میلیمتر)، ب) ناهنجاری (درصد)، ج) ضریب تغییرات (درصد) در حوضه‌های آبخیز درجه ۳ ایران

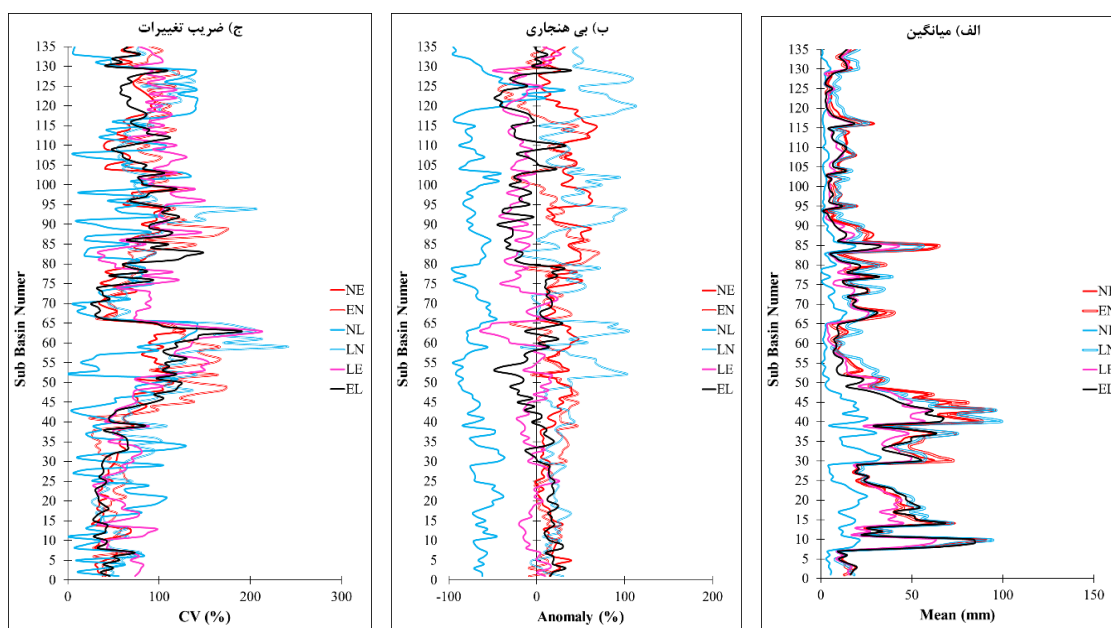


شکل ۳- بررسی وضعیت بارش در ماه نوامبر (آبان ماه) در فازهای انتقالی ENSO: الف) میانگین (میلیمتر)، ب) ناهنجاری (درصد)، ج) ضریب تغییرات (درصد) در حوضه‌های آبخیز درجه ۳ ایران

رخ داده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد ناهنجاری منفی در فازهای انتقالی خنثی-لانینا، لانینا-لانیو و النینو-لانیو و ناهنجاری مثبت در فازهای انتقالی خنثی-لانیو، النینو-خنثی و لانینا-خنثی رخ داده است (شکل ۴-ب). بررسی متغیر نوسانات ضریب تغییرات بارش در فازهای انتقالی خنثی-لانیو، النینو-خنثی، خنثی-لانیو، لانینا-خنثی، لانینا-لانیو و النینو-لانیو لانیو بین ۲۶/۸ تا ۱۱۸/۹، ۲۵/۳ تا ۱۷۵/۶، ۱/۴ تا ۱۴۱/۴، ۱۷/۰ تا ۱۲۰/۷، ۱۷/۶ تا ۱۸۴/۳ و ۱۷/۶ تا ۱۵۲/۴ درصد تغییر می‌کند (میانگین به ترتیب ۶۵/۵، ۷۴/۷، ۷۳/۲، ۵۷/۱، ۸۰/۷ و ۶۸/۳ درصد). بنابراین بیشترین و کمترین ضریب تغییرات متعلق به فازهای انتقالی لانینا-لانیو و لانینا-خنثی (به ترتیب ۸۰/۷ و ۵۷/۱ درصد) خواهد بود (شکل ۴-ج). تحلیل فراوانی ناهنجاری‌های مثبت و منفی نیز نشان می‌دهد در فازهای انتقالی خنثی-لانیو، النینو-خنثی و لانینا-خنثی عمده حوضه‌های آبخیز شاهد ناهنجاری مثبت بوده‌اند (به ترتیب ۱۳۴، ۱۱۱ و ۱۲۸ زیرحوضه)، در حالی که در فازهای انتقالی خنثی-لانیو و لانینا-لانیو فراوانی زیرحوضه‌های با ناهنجاری منفی وضعیت غالب خواهد بود (به ترتیب ۱۳۳ و ۹۹ زیرحوضه). در فاز انتقالی النینو-لانیو فراوانی ناهنجاری‌های منفی و مثبت نزدیک به یکدیگر بوده است (ناهنجاری منفی در ۶۹ زیرحوضه، ناهنجاری مثبت ۶۶ زیرحوضه).

تحلیل میانگین، ناهنجاری و ضریب تغییرات در ماه دسامبر (آذر ماه)

تحلیل میانگین (الف)، ناهنجاری (ب) و ضریب تغییرات (ج) در دسامبر در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد مقادیر حداکثر و حداقل بارش دسامبر در فازهای انتقالی خنثی-لانیو، النینو-خنثی، خنثی-لانیو، لانینا-خنثی، لانینا-لانیو و النینو-لانیو بین ۲/۸ تا ۹۰/۶، ۲/۷ تا ۹۵/۷، ۰/۴ تا ۳۳/۱، ۴/۹ تا ۹۸/۳، ۱/۷ تا ۶۲/۹ و ۱/۶ تا ۸۴/۷ میلیمتر تغییر می‌کند (میانگین به ترتیب ۲۵/۹، ۲۵/۹، ۷/۴، ۲۷/۵، ۱۹/۵ و ۲۱/۷ میلیمتر). بنابراین بیشترین و کمترین بارش ماه دسامبر به ترتیب در فازهای انتقالی لانینا-خنثی و خنثی-لانیو رخ داده است (شکل ۴-الف). در همین ماه مقادیر حداکثر و حداقل ناهنجاری بارش در فازهای انتقالی خنثی-لانیو، النینو-خنثی، خنثی-لانیو، لانینا-خنثی، لانینا-لانیو و النینو-لانیو بین ۱/۸ تا ۶۷/۸، ۴۳/۰ تا ۷۰/۲، ۹۶/۰ تا ۳۲/۱، ۲۱/۰ تا ۱۱۳/۳، ۶۴/۴ تا ۲۷/۲ و ۴۸/۰ تا ۳۹/۳ درصد تغییر می‌کند (میانگین به ترتیب ۲۵/۹، ۱۶/۱، ۶۵/۹، ۷۳/۳، ۱۰/۷ و ۲/۶ درصد). بنابراین بیشترین و کمترین ناهنجاری ماه دسامبر به ترتیب در فازهای انتقالی خنثی-لانیو و خنثی-لانیو (به ترتیب ۳۷/۳ و ۶۵/۹ درصد)



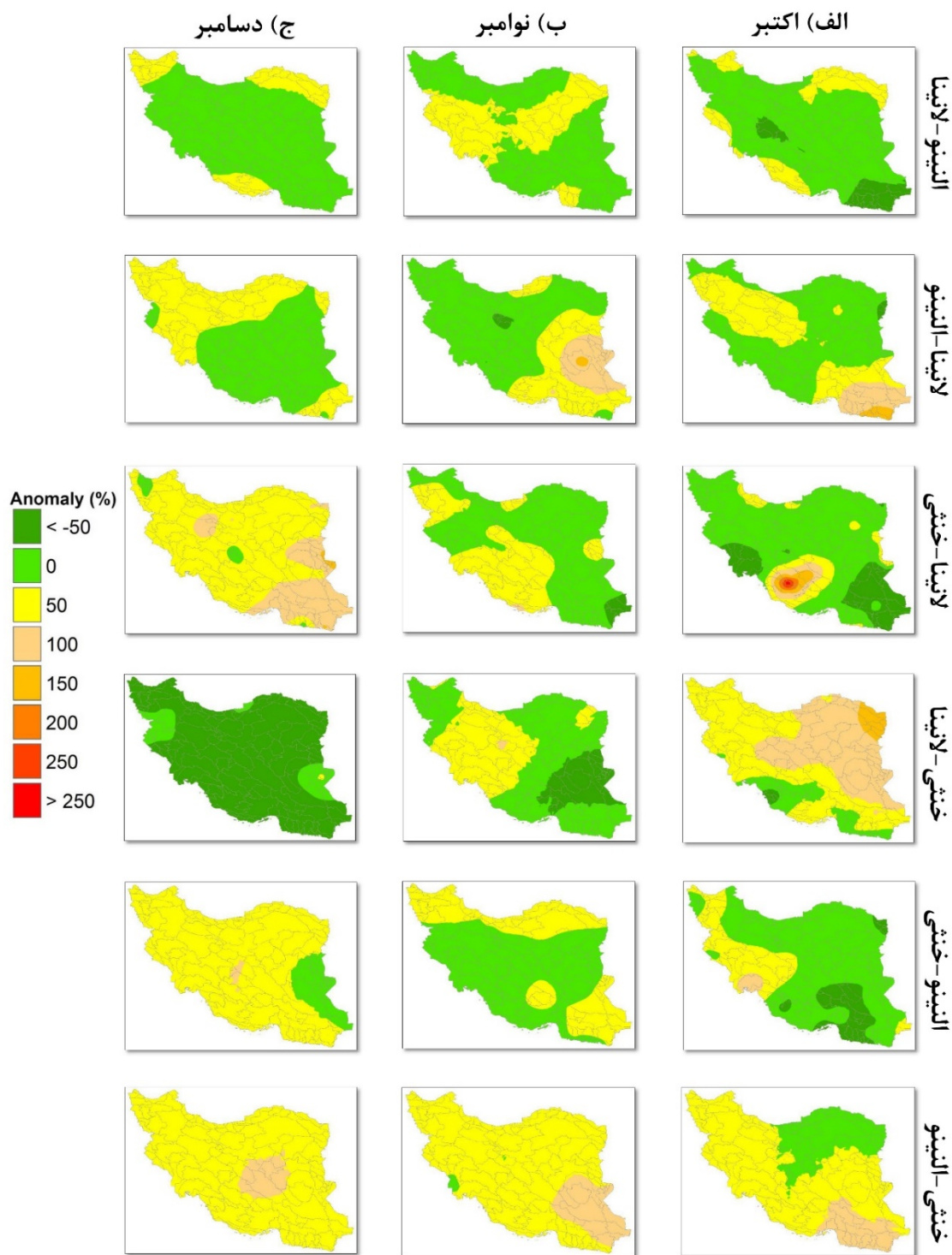
شکل ۴- بررسی وضعیت بارش در ماه دسامبر (آذر ماه) در فازهای انتقالی ENSO: الف) میانگین (میلیمتر)، ب) بی‌هنجاری (درصد)، ج) ضریب تغییرات (درصد) در حوضه‌های آبخیز درجه ۳ ایران

تحلیل فضایی- مکانی ناهنجاری‌ها

تحلیل تغییرات مکانی-فضایی ناهنجاری در فازهای انتقالی ENSO در ماه‌های اکتبر (شکل ۵-الف)، نوامبر (شکل ۵-ب) و دسامبر (شکل ۵-ج) ارائه شده است. بررسی نتایج در ماه اکتبر نشان می‌دهد در فازهای انتقالی النینو به لائینا عمده مناطق ایران ناهنجاری منفی تا ۵۰ درصد (به جز شمال شرق و جنوب غرب)، لائینا به النینو ناهنجاری منفی تا ۵۰ درصد (به جز شمال غرب و جنوب شرق)، لائینا به خشتی ناهنجاری منفی تا ۵۰ درصد (به جز بخش جنوب غرب با ناهنجاری مثبت تا ۱۵۰٪)، و النینو به خشتی با ناهنجاری منفی تا ۵۰ درصد (به جز شمال غرب و غرب) دیده می‌شود. در فاز انتقالی خشتی به لائینا عمدتاً ناهنجاری مثبت تا مثبت ۱۰۰ درصد (به جز بخش جنوب غرب و شمال دریای عمان) و خشتی با النینو دارای ناهنجاری مثبت بین ۵۰-۱۰۰ درصد (به جز بخش شمال شرق) دیده می‌شود. بنابراین در ماه اکتبر در اکثر فازهای انتقالی ناهنجاری منفی تا ۵۰ درصد و بیشتر رخ داده است (به جز فازهای انتقالی خشتی به لائینا و خشتی به النینو). بنابراین در فازهای انتقالی ENSO تغییرات مکانی ناهنجاری‌ها دیده می‌شود (شکل ۵-الف). نتایج به دست آمده در شکل ۵-ب نشان می‌دهد در ماه نوامبر نیز عمدتاً ناهنجاری‌های منفی ۵۰ درصدی و گاهی کمتر از منفی ۵۰

درصد در فازهای انتقالی النینو به لائینا (به جز نوار مرکزی ایران)، لائینا به النینو (به جز حوضه‌های شرقی و جنوبی شرقی)، لائینا به خشتی (به جز بخش‌هایی از شمال غرب، بخش غربی فلات مرکزی، و جنوب غرب)، خشتی به لائینا (به جز بخش‌هایی از شمال غرب و غرب)، النینو به خشتی (نوار شمالی و جنوب شرقی) قابل مشاهده است. این در حالی است که ناهنجاری‌های مثبت در فاز انتقالی خشتی به النینو در کل کشور وضعیت غالب می‌باشد که تا ۱۰۰ درصد نیز رسیده است. این نتایج نشان دهنده تغییرات مکانی ناهنجاری‌های مثبت و منفی در فازهای انتقالی ENSO در ماه نوامبر می‌باشد. بررسی نتایج در ماه دسامبر نشان دهنده آنومالی منفی تا ۵۰ درصد تنها در فاز انتقالی النینو به لائینا و خشتی به لائینا در عمده مناطق ایران است در حالی که در سایر فازهای انتقالی ناهنجاری مثبت بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد وضعیت غالب کل کشور می‌باشد (شکل ۵-ج).

جمع‌بندی نتایج تغییرات مکانی-فضایی ناهنجاری بارش در ماه‌های مختلف فصل پاییز در فازهای انتقالی ENSO نشان دهنده رفتار متفاوت آنها می‌باشد. بنابراین تحلیل ناهنجاری بارش ماهانه فصل‌های پاییز در مقیاس حوضه‌های آبخیز درجه ۳ ایران از الگوی همگنی پیروی نمی‌کند.



شکل ۵- الگوی تغییرات مکانی ناهنجاری بارش ماه‌های پاییز در مقیاس حوضه‌های آبخیز درجه ۳ ایران

ختی-النیو در بخش‌های شمالی و شمال‌غربی (۲۰ تا ۸۰ درصد) و بیشترین مقدار آن در بخش جنوب شرقی (۱۰۰ تا ۱۶۰ درصد) مشاهده می‌شود. در فاز انتقالی النیو-ختی بیشترین مقادیر ضریب تغییرات در بخش‌های میانی، جنوب غربی و شمال شرقی فلات مرکزی و همچنین جنوب شرق

تحلیل فضایی- مکانی ضریب تغییرات

بررسی ضریب تغییرات بارش ماهانه در فصل پاییز در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج به دست آمده در اکتبر نشان می‌دهد پراکنش مکانی ضریب تغییرات در فازهای انتقالی ENSO همگن نیست به طوری که کمترین مقدار آن در فاز انتقالی

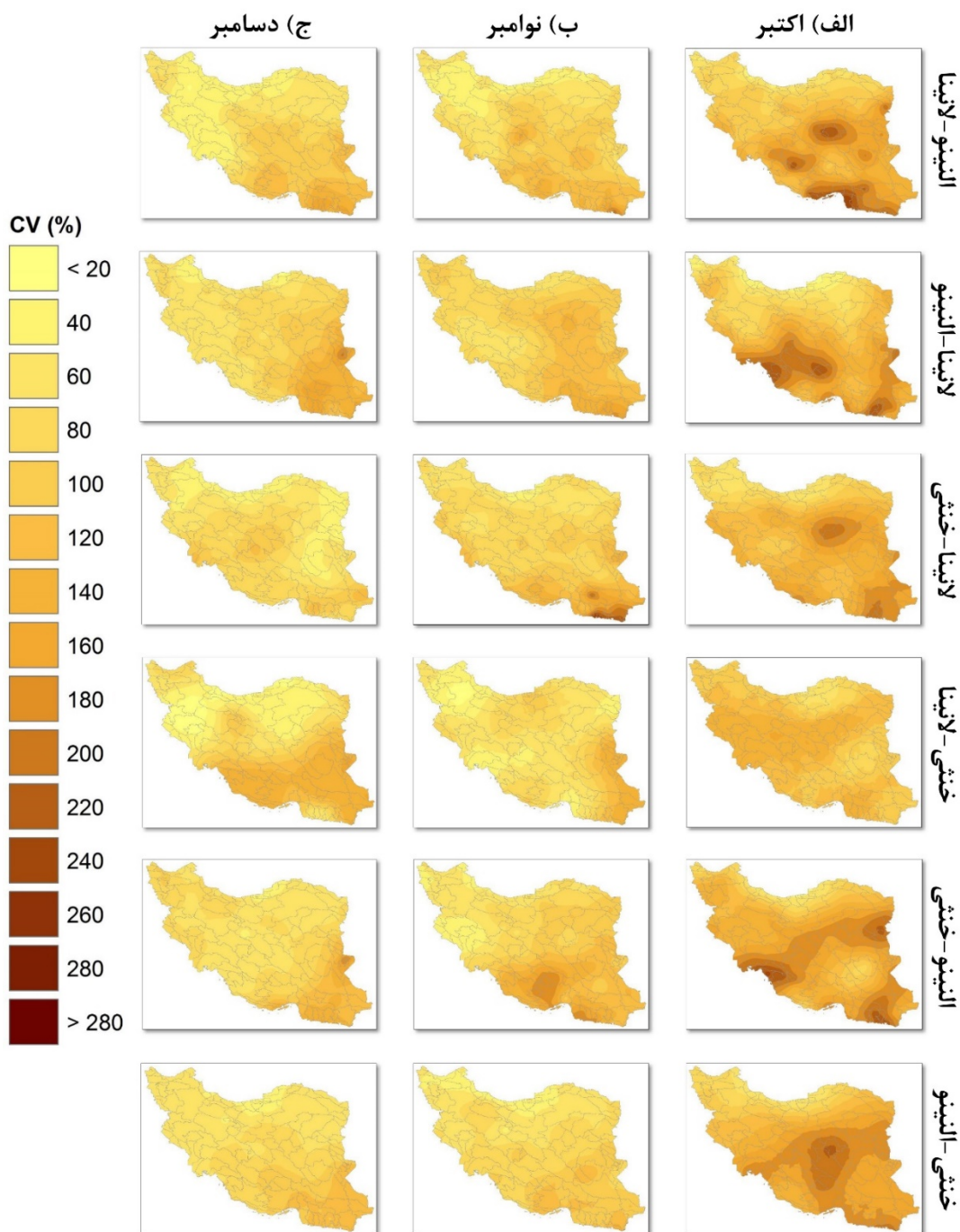
شرقی، و بخش شرقی حوضه فلات مرکزی). بنابراین در راستای شمال‌غربی-جنوب شرقی بر ضریب تغییرات بارش در فازهای انتقالی افزوده می‌شود. این امر نشان دهنده نوسانات زیاد بارش ماه نوامبر در مناطق جغرافیایی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد.

تحلیل ضریب تغییرات بارش دسامبر در فازهای انتقالی ENSO در شکل ۶-ج ارائه شده است. نتایج کلی نشان می‌دهد وسعت مناطق دارای ضریب تغییرات بالاتر (۴۰ تا ۱۰۰ درصد) در فازهای انتقالی خنثی-لانینا، لانینا-لانیو و لانیو-لانیو بیشتر است در حالی که در فازهای انتقالی دیگر این مقادیر کمتر است. از نظر پراکنش مکانی-فضایی نیز بالاترین ضریب تغییرات بارش ماه دسامبر در فازهای انتقالی خنثی-لانیو، لانیو-خنثی و لانیو-خنثی متعلق به زیرحوضه‌های مرز شرقی (۱۰۰ تا ۱۴۰ درصد)، و در فازهای انتقالی خنثی-لانیو، لانیو-لانیو و لانیو-لانیو زیرحوضه‌های مرز شرقی، و بخش‌های مرکزی، جنوبی و شرقی فلات مرکزی می‌باشد (۱۰۰ تا ۱۲۰ درصد).

جمع‌بندی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد در بین ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر بالاترین مقادیر ضریب تغییرات متعلق به ماه اکتبر و کمترین مقادیر نیز متعلق به دسامبر می‌باشد. این نتیجه مشخص کرد در ماه‌های انتهایی پاییز ضریب تغییرات کاهش می‌یابد که به دلیل شروع بارش‌ها در سال آبی می‌باشد. نتیجه دیگر نیز مشخص کرد مناطق دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک ضریب تغییرات بالاتری از مناطق غیرخشک دارند به طوری که بیشترین ضریب تغییرات متعلق به حوضه‌های جنوب شرقی و فلات مرکزی بوده است در حالی که کمترین مقادیر آن متعلق به مناطق شمالی، شمال غربی و غربی است.

حوضه مرز شرقی مشاهده می‌شود (۱۰۰ تا ۱۴۰ درصد) در حالی که کمترین مقادیر آن در بخش شمال‌غربی، شمالی و جنوب شرق فلات مرکزی (کمتر از ۴۰ درصد) دیده می‌شود. در فاز انتقالی خنثی-لانیو مقادیر ضریب تغییرات در کل حوضه‌های آبخیز در محدوده ۲۰ تا ۴۰ درصد نوسان می‌کند. در فاز انتقالی لانیو-خنثی عمده حوضه‌های آبخیز ضریب تغییرات کمتر از ۸۰ درصد داشته‌اند (به استثناء جنوب شرق و بخش میانی فلات مرکزی بین ۱۰۰ تا ۱۴۰ درصد). در فاز انتقالی لانیو-لانیو بیشترین مقادیر ضریب تغییرات در بخش جنوب غربی و جنوب شرقی ایران دیده می‌شود (بیشتر از ۱۸۰ درصد) در حالی که در نیمه شمالی و غربی کمترین مقادیر قابل مشاهده است (کمتر از ۴۰ درصد). در فاز انتقالی لانیو-لانیو بیشترین مقادیر ضریب تغییرات به صورت منطقه‌ای دیده می‌شود (بخش میانی و جنوب‌غربی فلات مرکزی و حاشیه شمالی دریای عمان و خلیج فارس به مقادیر ۱۶۰ تا ۲۰۰ درصد). به طور کلی در ماه اکتبر پراکنش مکانی-فضایی ضریب تغییرات با تغییر الگوی انتقال فاز ENSO تغییر خواهد کرد به طوری که مقادیر آن در زیرحوضه‌های دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک بیشتر از زیرحوضه‌های با اقلیم مدیترانه‌ای و مرطوب خواهد بود.

تحلیل ضریب تغییرات بارش در ماه نوامبر در کلیه فازهای انتقالی وضعیت همگنی نشان می‌دهد (شکل ۶-ب). با این حال، کمترین ضریب تغییرات در فاز انتقالی خنثی-لانیو (۲۰ تا ۶۰ درصد) و بیشترین مقدار در فازهای انتقالی لانیو-لانیو و لانیو-لانیو (۸۰ تا ۱۲۰ درصد) دیده می‌شود. از نظر موقعیت مکانی-فضایی بیشترین ضریب تغییرات در بخش جنوب شرقی و فلات مرکزی دیده می‌شود (در حوضه مرز



شکل ۶- الگوی تغییرات مکانی ضریب تغییرات بارش ماه‌های پاییز در مقیاس حوضه‌های آبخیز درجه ۳ ایران

(Bahrami et al., 2020; 2021; Mokhov & Timazhev, 2022; Builes-Jaramillo et al., 2023 مورد بررسی قرار گرفته است. در وضعیت انتقال فاز ENSO تغییرات دینامیکی موجب تغییرات ناگهانی مقادیر بارش و در نهایت ناهنجاری بارش می‌شود (Bahrami et al., 2020; 2021; Builes-Jaramillo et al., 2023; Alizadeh and Mousavizadeh, 2025). نتایج به دست آمده در ایران موید

نتیجه‌گیری

تحلیل مقادیر بارش بر مبنای الگوهای دورپیوندی به خصوص ENSO موضوع مطالعات متعددی بوده است که در آن‌ها ناهنجاری بر مبنای فازها (Nazemosadat and Cordery, 2000; Helali et al., 2020 a,b; Alizadeh Helali et al.,)، شدت‌ها (and Mousavizadeh, 2025) و انتقال فاز (2020b, 2021a; Bahrami et al., 2021

مقادیر $+28/0$ و $-16/1$ درصد می‌باشد به طوری که در عمده فازهای انتقالی ENSO ناهنجاری منفی وجود دارد. همچنین بیشترین و کمترین ضریب تغییرات متعلق به فازهای انتقالی لائینا-لنینو و خنثی-لائینا با مقادیر $87/4$ و $63/5$ درصد بوده است. فراوانی ناهنجاری‌های مثبت و منفی نشان داد تنها در فاز انتقالی خنثی-لنینو در اکثر زیرحوضه‌ها ناهنجاری مثبت دیده می‌شود (۱۲۸ زیرحوضه) در حالی که در فازهای انتقالی لنینو-خنثی، خنثی-لائینا، لائینا-خنثی، لائینا-لنینو و لنینو-لائینا به ترتیب 71 ، 84 ، 88 ، 84 و 80 زیرحوضه ناهنجاری منفی داشتند. تحلیل فضایی-مکانی در ماه نوامبر نشان‌دهنده ناهنجاری‌های منفی در اکثر زیرحوضه‌ها و فازهای انتقالی ENSO است (به استثناء فاز انتقالی خنثی-لنینو). نتایج نشان می‌دهد بیشترین ضریب تغییرات در بخش جنوب شرقی و فلات مرکزی دیده می‌شود به طوری که در راستای شمال-غربی-جنوب شرقی بر ضریب تغییرات بارش در فازهای انتقالی افزوده می‌شود. این امر نشان‌دهنده نوسانات زیاد بارش ماه نوامبر در مناطق جغرافیایی با اقلیم خشک و نیمه-خشک می‌باشد.

بررسی‌ها نشان داد در ماه دسامبر بیشترین و کمترین ناهنجاری به ترتیب در فازهای انتقالی خنثی-لنینو و خنثی-لائینا با مقادیر $37/3+$ و $65/9-$ درصد رخ داده است در حالی که بیشترین و کمترین ضریب تغییرات متعلق به فازهای انتقالی لائینا-لنینو و لائینا-خنثی با مقادیر $80/7$ و $57/1$ درصد می‌باشد. فراوانی حوضه‌های دارای ناهنجاری مثبت و منفی نشان داد در فازهای انتقالی خنثی-لنینو، لنینو-خنثی و لائینا-خنثی عمده حوضه‌های آبخیز شاهد ناهنجاری مثبت هستند (به ترتیب 134 ، 111 و 128 زیرحوضه)، در حالی که در فازهای انتقالی خنثی-لائینا و لائینا-لنینو ناهنجاری منفی در 133 و 99 زیرحوضه وضعیت غالب است.

نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر تغییر ناهنجاری‌های بارش پاییزه با تغییر فازهای انتقالی ENSO و همچنین نوسانات زیاد بارش بر حسب مولفه ضریب تغییرات است. در حالی که در مطالعات دیگر، وضعیت بارش فازهای انتقالی ENSO تنها محدود به فازهای لنینو و لائینا بوده است (Bahrami et al., 2020; 2021; Mokhov & Timazhev, 2022; Builes-Jaramillo et al., 2023) ولی مطالعه کنونی نقش فاز خنثی را نیز بارزتر می‌کند. همچنین نتایج نشان‌دهنده

تاثیرگذاری پدیده ENSO بر بارش پاییزه است (Goudarzi et al., 2017; Nazemosadat and Cordery, 2000; Helali et al., 2020a). مطالعات ناهنجاری بارش بر اساس طبقه‌بندی حوضه آبخیز می‌تواند به کارشناسان منابع آب راهکار مدیریتی بهینه‌ای ارائه نماید. بنابراین در این مطالعه تلاش شد ناهنجاری بارش پاییزه حوضه‌های آبخیز ایران با در نظر گرفتن ضریب تغییرات در فازهای انتقالی ENSO مورد بررسی قرار گیرد. یکی از خلاءهای مطالعات پیشین در زمینه انتقال فاز ENSO بر دو فاز لنینو و لائینا متمرکز بوده است در حالی که باید تاثیر فاز خنثی نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

نتایج حاصله نشان داد در ماه اکتبر بیشترین و کمترین بارش در فازهای انتقالی خنثی-لائینا و لنینو-لائینا رخ داده است در حالی که بیشترین و کمترین ناهنجاری به ترتیب در فازهای انتقالی خنثی-لائینا و لنینو-خنثی با مقادیر $38/0+$ و $20/2-$ درصد رخ داده است. در این ماه مشخص شد بیشترین و کمترین ضریب تغییرات متعلق به فازهای انتقالی لنینو-خنثی و خنثی-لائینا با مقادیر $98/6$ و $131/6$ درصد خواهد بود. نتایج نشان می‌دهد در فازهای انتقالی خنثی-لنینو و خنثی-لائینا به ترتیب 91 و 103 حوضه آبخیز ناهنجاری مثبت داشتند ولی در فازهای انتقالی لنینو-خنثی، لائینا-خنثی و لائینا-لنینو به ترتیب 109 ، 109 و 97 حوضه آبخیز ناهنجاری منفی دارند. تحلیل تغییرات مکانی-فضایی ناهنجاری در فازهای انتقالی ENSO در ماه اکتبر نشان می‌دهد در فازهای انتقالی لنینو-لائینا، خنثی-لنینو و لنینو-خنثی عمده حوضه‌های آبخیز شاهد ناهنجاری منفی در حدود $0/0$ تا $50/0-$ و کمتر از $50/0-$ درصد هستند ولی در فازهای انتقالی لائینا-لنینو، لائینا-خنثی و خنثی-لائینا همراه با ناهنجاری‌ها مثبت تا $100+$ درصد در بخش کوچک فلات مرکزی می‌باشد. همچنین نتایج نشان‌دهنده پراکنش مکانی ناهنگن ضریب تغییرات در فازهای انتقالی ENSO است. به طور کلی در ماه اکتبر پراکنش مکانی-فضایی ضریب تغییرات با تغییر الگوی انتقال فاز ENSO تغییر خواهد کرد به طوری که مقادیر آن در زیرحوضه‌های دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک بیشتر از زیرحوضه‌های با اقلیم مدیترانه‌ای و مرطوب خواهد بود.

تحلیل نتایج در ماه نوامبر نشان داد بیشترین و کمترین ناهنجاری در فازهای انتقالی خنثی-لنینو و خنثی-لائینا با

- Southwest Asia. *Global and Planetary Change*, 244, 104645.
- 5- Bahrami, F., Saadatabadi, A.R., Krakauer, N.Y., Mesbahzadeh, T. & Sardoo, F.S. (2021). Synoptic-Dynamic Patterns Affecting Iran's Autumn. *Climate*, 9, 106.
 - 6- Bahrami, F., Saadatabadi, A.R., Meshkatee, A.H. & Kamali, G. (2020). The Impact of ENSO Phase Transition on the Atmospheric Circulation, Precipitation and Temperature in the Middle East Autumn. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 56, 439-453.
 - 7- Builes-Jaramillo, A., Valencia, J., & Salas, H. D. (2023). The influence of the El Niño-Southern Oscillation phase transitions over the northern South America hydroclimate. *Atmospheric Research*, 290, 106786.
 - 8- Dong, C., Peings, Y., & Magnusdottir, G. (2024). How do forecast model biases affect large-scale teleconnections that control Southwest US precipitation? Part I: S2S models. *Journal of Climate*, 37(21), 5409-5426.
 - 9- Dong, H., Huang, S., Wang, H., Shi, H., Singh, V. P., She, D., Huang, Q., Leng, G., Gao, L., Wei, X. & Peng, J. (2024). Effects of interaction of multiple large-scale atmospheric circulations on precipitation dynamics in China. *Science of the Total Environment*, 923, 171528.
 - 10- Ghasemifar, E., Irannezhad, M., Minaei, F., & Minaei, M. (2022). The role of ENSO in atmospheric water vapor variability during cold months over Iran. *Theoretical and applied climatology*, 148(1), 795-817.
 - 11- Glantz, M.H., & Ramirez, I.J. (2020). Reviewing the Oceanic Niño Index (ONI) to Enhance Societal Readiness for El Niño's Impacts. *Int. J. Disaster Risk Sci.*, 11, 394-403.
 - 12- Goudarzi, M., Salahi, B. & Hoseini, S. A. (2015). Study on Effects of Climate Changes on Surface Runoff Changes Case Study: Urmia Lake Basin. *Journal of Ecohydrology*, 2(2), 175-189.
 - 13- Goudarzi, M., Ahmadi, H. & Hoseini, S. A. (2017). Examination of relationship between teleconnection indexes on temperature and precipitation components (Case Study: Karaj Synoptic Stations). *Iranian journal of Ecohydrology*, 4 (3), 1-25.
 - 14- Hartman, H., Snow, J. A., Stein, S., Su, B., Zhai, J., Jiang, T., Valentina, K. and Zbigniew, W., 2016. Predictors of precipitation for improved water resources management in the tarim river basin creating a seasonal forecast
- نوسانات بیشتر ناهنجاری بارش در ماه اکتبر در زیرحوضه‌های بیشتری است به طوری که این نوسان در زیرحوضه‌های با اقلیم خشک و نیمه‌خشک به خصوص بخش‌های عمده فلات مرکزی و مرز شرقی شدیدتر است. این امر لزوم توجه بیشتر به این امر را در مدیریت حوضه‌های منابع آب و همچنین مدیریت کشت دیم در بخش شمال‌غربی، شمال‌شرقی و نیمه غربی می‌طلبد. با توجه به تغییرات دینامیکی شدید در وضعیت‌های انتقال فازی ENSO لزوم بررسی ناهنجاری بارش در سایر فصول و ماه‌ها بر مبنای ضریب تغییرات در مقیاس حوضه‌های آبخیز و همچنین تحلیل ناهنجاری بارش در فازها و شدت‌های مختلف ENSO و مقایسه آن با وضعیت‌های مختلف انتقال فازی ENSO در مطالعات آتی ضروری است. همچنین به نظر می‌رسد تحلیل ناهنجاری بارش در فازهای انتقالی ENSO می‌تواند در مقیاس‌های زمانی (زیرفصلی، فصلی و سالانه) و مکانی مختلف (منطقه‌ای یا جهانی) هم مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی ناهنجاری بارش بر مبنای شاخص دورپیوندی ENSO در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

- 1- Ahmadi, M., Kamangar, M., Salimi, S., Hosseini, S. A., Khamoushian, Y., Heidari, S., Moghim, G.M., Saecidi, V., Bakhshi, I., & Yarmoradi, Z. (2022). A new approach in evaluation impacts of teleconnection indices on temperature and precipitation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(1), 15-33.
- 2- Ahmadi, M., Salimi, S., Hosseini, S. A., Habibi, M., Hosseinzadeh, T., & Yarmoradi, Z. (2025). Introduction to New Synoptic Teleconnection Indexing and their relation to other global forcings and the climate of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 156(4), 1-24.
- 3- Ahmadi, M., Salimi, S., Hosseini, S. A., Poorantiyosh, H., & Bayat, A. (2019). Iran's precipitation analysis using synoptic modeling of major teleconnection forces (MTF). *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 85, 41-56.
- 4- Alizadeh, O. & Mousavizadeh, M. (2025). Impact of ENSO on extreme precipitation in

- 20- Helali, J., Salimi, S., Lotfi, M., Hosseini, S.A., Bayat, A., Ahmadi, M. and Naderizadeh, S. (2020b). Investigation of the effect of large-scale atmospheric signals at different time lags on the autumn precipitation of Iran's watersheds, *Arabian Journal of Geoscience*, 13(18), 1-24.
- 21- Jamshidi Khezeli, T., Ranjbar Saadat Abadi, A., Nasr-Esfahany, M. A., Tajbakhsh Mosalman, S., & Mohebalhojeh, A. R. (2022). Autumn and Winter Extreme Precipitation Events and their Relationship with ENSO, NAO and MJO Phases over the West of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 47(4).
- 22- Kheyruri, Y., Sharafati, A., & Neshat, A. (2023). Predicting agricultural drought using meteorological and ENSO parameters in different regions of Iran based on the LSTM model. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 37(9), 3599-3613.
- 23- Mahjoobi, E., Bakhshesh Robot, S., & Hosseinpour, M. (2021). A Review of Studies on the Effect of Teleconnections on Precipitation in Iran from 2004 to 2018. *Nivar*, 45(112-113), 28-43.
- 24- Mohammadi, R., Karami, M., Kashki, A., & Ahmadi, M. (2024). Investigating the predictability of precipitation in northeastern Iran with a teleconnection approach and using the analysis of changes in sea level pressure patterns on a planetary scale. *Journal of Climate Research*, 1402(56), 191-206.
- 25- Mokhov, I.I.; & Timazhev, A.V., (2022). Seasonal Temperature Extremes in the North Eurasian Regions Depending on ENSO Phase Transitions. *Atmosphere* 13, 249.
- 26- Nazemosadat, M.J. & Cordery, I., (2000). On the relationships between ENSO and autumn rainfall in Iran. *International Journal of Climatology*, 20, 47-61.
- model. *Journal of Arid Environments*, 125, 31-42.
- 15- Helali, J., Ghaleni, M. M., Hosseini, S. A., Siraei, A. L., Saeidi, V., Safarpour, F., Mirzaei, M. & Lotfi, M. (2022). Assessment of machine learning model performance for seasonal precipitation simulation based on teleconnection indices in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(15), 1343.
- 16- Helali, J., Momenzadeh, H., Oskouei, E. A., Lotfi, M., & Hosseini, S. A. (2021a). Trend and ENSO-based analysis of last spring frost and chilling in Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133(4), 1203-1221.
- 17- Helali, J., Momenzadeh, H., Salimi, S., Hosseini, S. A., Lotfi, M., Mohamadi, S. M., Moghim, G.M., Pazhoh, F. & Ahmadi, M. (2021b). Synoptic-dynamic analysis of precipitation anomalies over Iran in different phases of ENSO. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(22), 2322.
- 18- Helali, J., Nouri, M., Mohammadi Ghaleni, M., Hosseini, S. A., Safarpour, F., Shirdeli, A., Paymard, P. & Kalantari, Z. (2023). Forecasting precipitation based on teleconnections using machine learning approaches across different precipitation regimes. *Environmental Earth Sciences*, 82(21), 495. doi.org/10.3390/cli9070106
- 19- Helali, J., Pishdad, E., Alidadi, M., Loukzadeh, S., Asadi Oskouei, E., & Norooz Valashedi, R. (2020a). Investigating the relationship between climate teleconnection indices and autumnal rainfall in Iran watersheds. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(8), 1921-1936.