

## بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های خشکسالی دوره آبی با کاربرد مدل گردش عمومی جو HadCM3 (مطالعه موردی: شمال غربی ایران)

- ❖ امین صالح پور جم: دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ محسن محسنی ساروی\*: استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ❖ جواد بذرافشان: استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران
- ❖ شهرام خلیقی سیگارودی: استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

### چکیده

بررسی رخداد خشکسالی، به منزله حادثه‌ای محیطی، از جایگاه ویژه‌ای در مدیریت منابع طبیعی و نیز برنامه‌ریزی‌های مرتبط با مدیریت منابع آبی برخوردار است. در این تحقیق به بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های خشکسالی در ایستگاه‌های منتخب سینوپتیکی شمال غربی ایران با کاربرد مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوی A2 اقدام گردید. بدین منظور، با بهره‌گیری از مدل کوچک مقیاس‌کننده آماری<sup>۱</sup> SDSM 4.2.9، ریزمقیاس‌نمایی آماری با کاربرد داده‌های مشاهداتی روزانه، پیش‌بینی‌کننده‌های مشاهداتی، و نیز پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس مشتق از مدل گردش عمومی جو همراه با صحت‌سنجی مدل‌ها به‌انجام رسید. سپس، به محاسبه نمایه استاندارد شده بارش<sup>۲</sup> (SPI) در مقیاس‌های زمانی مختلف ۳، ۱۲، ۲۴، و ۴۸ ماهه در دوره مشاهداتی (۱۳۵۶ - ۱۳۸۵) و سه دوره شبیه‌سازی شده آبی (مشتق بر دوره‌های ۱۳۸۶ - ۱۴۱۵، ۱۴۱۶ - ۱۴۴۵، و ۱۴۴۶ - ۱۴۷۵) اقدام گردید. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده کاهش بارش متوسط سالانه در دوره‌های شبیه‌سازی شده آبی نسبت به دوره مبنا در ایستگاه‌های اردبیل، خوی، و ارومیه و نیز افزایش بارش متوسط سالانه در دوره‌های شبیه‌سازی شده آبی نسبت به دوره مبنا در ایستگاه تبریز است. این در حالی است که ایستگاه اردبیل با کاهش ۹۷ میلی‌متری (۳۲ درصدی) بارش متوسط سالانه در دوره چهارم نسبت به دوره مبنا بیشینه مقادیر کاهش را به خود اختصاص داده است. همچنین، نتایج این تحقیق نشان‌دهنده امکان رخداد خشکسالی‌هایی با شدت، مدت، و فراوانی بیشتر در دوره‌های شبیه‌سازی شده آبی است. همچنین، مقایسه نتایج حاصل از ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد که ایستگاه اردبیل در مقیاس‌های زمانی ۳، ۱۲، و ۲۴ ماهه شدیدترین دوره خشکی را مبتنی بر بیشینه شدت تجمعی دوره‌های خشکی در میان ایستگاه‌های مختلف داراست. در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه نیز ایستگاه ارومیه با دارا بودن شدت تجمعی SPI برابر ۹۲/۷۸- (دوره ۴۹ ماهه خشکی واقع در دوره دوم) شدیدترین دوره خشکی را در میان ایستگاه‌های مختلف به خود اختصاص داده است.

واژگان کلیدی: ایستگاه اردبیل، تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی آماری، مدل HadCM3، ویژگی‌های خشکسالی، SPI.

## مقدمه

دوره‌ها<sup>۳</sup> به کلیه سازمان‌های هواشناسی و آب‌شناسی توصیه کرده است. در ایران گروه پژوهشی اقلیم‌شناسی بلایای جوی پژوهشکده اقلیم‌شناسی و در سایر کشورها، از جمله ایالات متحده آمریکا، مراکز متعددی نظیر مرکز اقلیمی کلرادو<sup>۴</sup>، مرکز اقلیمی منطقه غرب<sup>۵</sup>، و مرکز ملی تعدیل خشکسالی<sup>۶</sup> این نمایه را برای پایش خشکسالی‌ها به کار می‌برند. همچنین، مؤسسه بین‌المللی تحقیقات اقلیم و جامعه<sup>۷</sup> پایش جهانی نمایه استاندارد شده بارش را انجام داده و به صورت برخط<sup>۸</sup> ارائه شده است. در پژوهشی [۱۲]، با مطالعه شاخص‌های مختلف خشکسالی در استان تهران، شاخص‌های SPI و EDI<sup>۹</sup> مناسب‌ترین شاخص‌ها برای پایش خشکسالی معرفی شد.

امروزه، کاربرد مدل‌های گردش عمومی جو در تصویرسازی اقلیم آتی بسیار گسترده شده است؛ از آن جمله می‌توان به مطالعات صورت گرفته برخی محققان [۱، ۲، ۳، ۷، ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۵] اشاره کرد. محققان در مطالعه‌ای [۱۰] به بررسی بارش و دمای ایران با استفاده از مدل MAGICC SCENGEN اقدام نمودند. نتایج تحقیق آنان نشان‌دهنده افزایش دما و کاهش بارش آتی در همه نقاط ایران است. پژوهشگران [۱] به بررسی تغییرات دما و بارش آتی ایران پرداختند و بیان کردند که نتایج حاصل از الگوی HadCM2 نشان‌دهنده کاهش بارش ایران تا دهه ۲۱۰۰ به میزان ۲/۵ درصد است. در مطالعه‌ای [۸]، با بررسی آثار تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی در یونان، با بهره‌گیری از مدل CGCM2 و نمایه استاندارد شده بارش، افزایش شدت خشکسالی را در

امروزه، مشخص شده است که تغییر اقلیم و پیامدهای آن، به منزله تهدیدی برای کره زمین، محیط‌های طبیعی و انسان‌ساخت را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. تولید روزافزون گازهای گلخانه‌ای و اثر گلخانه‌ای مربوطه گرمایش جهانی زمین و تغییر اقلیم را به دنبال دارد. طبق گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۱</sup> [۵]، طی دوره صدساله منتهی به سال ۲۰۰۵، دمای متوسط جهانی به میزان ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. طبق چهارچوب انجمن تغییر اقلیم سازمان ملل متحد<sup>۲</sup>، تغییر اقلیم مستقیم یا غیرمستقیم به فعالیت انسانی نسبت داده شده، که با تغییر در ترکیب هوا کره جهانی تغییرپذیری اقلیم طبیعی را طی دوره زمانی قابل مقایسه سبب شود.

بر اساس پیش‌بینی آتی مبتنی بر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، از یک سو، افزایش دما و تأثیر آن بر نیاز آبی محیط و، از سوی دیگر، کاهش محتمل بارش در برخی مناطق سبب توجه جدی به مقوله خشکسالی شده است. با توجه به اینکه پیش‌بینی بارش آتی و پیش‌آگاهی از ویژگی‌های خشکسالی محتمل آتی نقش مهمی در مدیریت مربوطه و اتخاذ روش‌هایی در راستای کاهش آثار خشکسالی دارد، در این تحقیق به بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های خشکسالی در ایستگاه‌های منتخب سینوپتیکی شمال غربی ایران با کاربرد مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوی A2 و نمایه استاندارد شده بارش (SPI) اقدام گردید.

نمایه استاندارد شده بارش [۹] با هدف تعریف و پایش خشکسالی ارائه شد. سازمان جهانی هواشناسی لزوم بهره‌گیری از نمایه SPI را برای پایش خشک

3. Dry Spells  
4. The Colorado Climate Center  
5. The Western Regional Climate Center  
6. The National Drought Mitigation Center  
7. The International Research Institute for Climate and Society  
8. on-line  
9. Effective Drought Index

1. Intergovernmental Panel on Climate Change  
2. United Nations Framework Convention on Climate Change

(واقع در ۱۷° ۴۸' شرقی و ۱۵° ۳۸' شمالی و ارتفاع ۱۳۳۲ متری از سطح دریا)، خوی (واقع در ۵۸° ۴۴' شرقی و ۳۳° ۳۸' شمالی و ارتفاع ۱۱۰۳ متری از سطح دریا)، ارومیه (واقع در ۵° ۴۵' شرقی و ۳۲° ۳۷' شمالی و ارتفاع ۱۳۱۶ متری از سطح دریا) و تبریز (واقع در ۱۷° ۴۶' شرقی و ۵° ۳۸' شمالی و ارتفاع ۱۳۶۱ متری از سطح دریا) مطالعه شد (شکل ۱). دما و بارش متوسط سالانه (مبتنی بر آمار سی ساله منتهی به سال ۲۰۰۶)، به ترتیب ۹٫۰ درجه سانتی‌گراد و ۳۰۳ میلی‌متر در ایستگاه اردبیل، ۱۱٫۹ درجه سانتی‌گراد و ۲۹۳ میلی‌متر در ایستگاه خوی، ۱۱٫۵ درجه سانتی‌گراد و ۳۴۱ میلی‌متر در ایستگاه ارومیه، و ۱۲٫۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۸۹ میلی‌متر در ایستگاه تبریز به ثبت رسیده است. در سال‌های اخیر استان‌های شمال غربی کشور تحت تأثیر خشکسالی و پیامدهای آن قرار داشته، به طوری که از این میان می‌توان به افت آب دریاچه ارومیه و خسارات وارد به بخش‌های کشاورزی و منابع طبیعی منطقه و نیز فرارگیری استان اردبیل در فهرست هشت استان با بیشترین خسارات خشکسالی اشاره کرد.

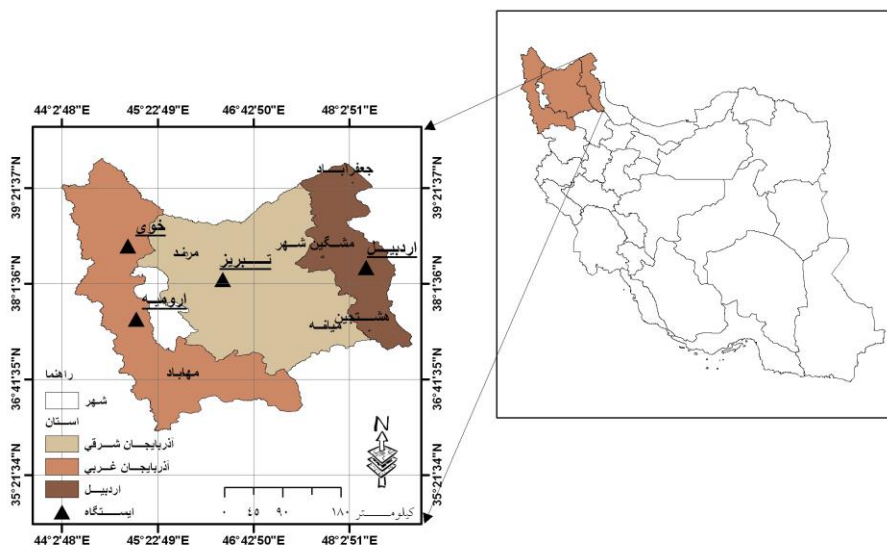
نتیجه تحقیقات خویش ارائه نمودند. محققان در مطالعه‌ای [۴]، تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره‌سو را تحت تأثیر تغییر اقلیم با کاربرد مدل HadCM3 و نمایه SPI در دوره ۱۴۱۹ - ۱۴۴۸ بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده کاهش فراوانی و نیز شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه ۱۳۵۰ - ۱۳۷۹ است و علت آن افزایش بارش آبی منطقه بیان شده است.

شبیه‌سازی بارش آبی در ایستگاه‌های منتخب سینوپتیکی استان‌های شمال غربی ایران و به تبع آن پیش‌آگاهی از وضعیت و ویژگی‌های خشکسالی (شدت، مدت، و فراوانی) در دوره‌های شبیه‌سازی شده آبی با کاربرد نمایه استاندارد شده بارش و داده‌های کوچک مقیاس شده حاصل از مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوی A2 از اهداف اصلی این تحقیق است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق ایستگاه‌های منتخب سینوپتیکی شمال غربی کشور مشتمل بر ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب

کاربرد نرم‌افزارهای AutoCAD 2012 و ArcGIS 10 ترسیم شد (شکل ۲).

### کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها

در این مرحله به بررسی فایل‌های ورودی از نظر داده‌های مفقوده<sup>۴</sup> یا مقادیر مشکوک<sup>۵</sup> اقدام گردید. با توجه به اینکه ایستگاه‌های اردبیل و سقز دارای داده‌های مفقوده در دوره آماری ۱۳۵۵ - ۱۳۸۰ هستند، کد ۹۹۹- برای داده‌های مفقوده در مرحله آماده‌سازی داده‌های مشاهداتی در نظر گرفته شد تا مدل بتواند، ضمن تشخیص آن‌ها، پرش لازم را در هنگام مواجهه به‌انجام رساند. همچنین، در این تحقیق، از تبدیل ریشه چهارم<sup>۶</sup> داده‌های پیش‌بینی‌شونده در فرایند کوچک مقیاس‌سازی بارش بهره گرفته شد.

### ریز‌مقیاس‌نمایی بارش و ارزیابی

#### پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس

در این مرحله، ریز‌مقیاس‌نمایی آماری پس از گزینش متغیرهای بزرگ مقیاس پیش‌بینی‌کننده‌ای که به‌طور معنی‌داری از همبستگی با داده‌های مشاهداتی مرتبط با هر ایستگاه برخوردارند، به‌انجام رسید. در این تحقیق، دوره زمانی ۱۳۵۵-۱۳۸۰ به‌عنوان دوره پایه در نظر گرفته شد. بر این اساس، واسنجی و صحت‌سنجی مدل، به‌ترتیب طی دوره‌های ۱۳۵۵-۱۳۷۴ و ۱۳۷۵-۱۳۸۰ مبتنی بر داده‌های کوچک مقیاس شده حاصل از پیش‌بینی‌کننده‌های مشاهداتی صورت گرفت. همچنین، صحت‌سنجی مدل گردش عمومی جو در دوره پایه (۱۳۵۵-۱۳۸۰) مبتنی بر کوچک مقیاس‌سازی پیش‌بینی‌کننده‌های HadCM3 تحت سناریوی A2 انجام شد. ارزیابی مدل‌ها مبتنی بر

### روش تحقیق

در این تحقیق با بهره‌گیری از مدل کوچک مقیاس‌کننده آماری SDSM 4.2.9، ریز‌مقیاس‌نمایی آماری با کاربرد داده‌های مشاهداتی روزانه (به عبارت دیگر، پیش‌بینی‌شونده<sup>۱</sup>)، پیش‌بینی‌کننده‌های مشاهداتی و نیز پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس مشتق از مدل‌های گردش عمومی<sup>۲</sup> (GCMs) جو، پس از آماده‌سازی داده‌های مشاهداتی و کنترل کیفیت مربوطه به‌انجام رسید. ورودی‌های ریز‌مقیاس‌نمایی آماری مشتمل‌اند بر مقادیر پیش‌بینی‌شونده و پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس مشاهداتی و مشتق از مدل گردش عمومی جو HadCM3.

### آماده‌سازی داده‌های پیش‌بینی‌شونده و برگیرش پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس

در این مرحله، به‌چیدمان ترتیبی داده‌های روزانه بارش هر ایستگاه مبتنی بر توالی زمانی مربوطه اقدام گردید. چیدمان سری داده‌های روزانه بارش مرتبط با هر ایستگاه برای دوره آماری ۱۳۵۵-۱۳۸۰ به صورت تک‌ستونه صورت پذیرفت. در این چیدمان، کد ۹۹۹- برای داده‌های مفقوده (در صورت عدم حضور داده) در نظر گرفته شد.

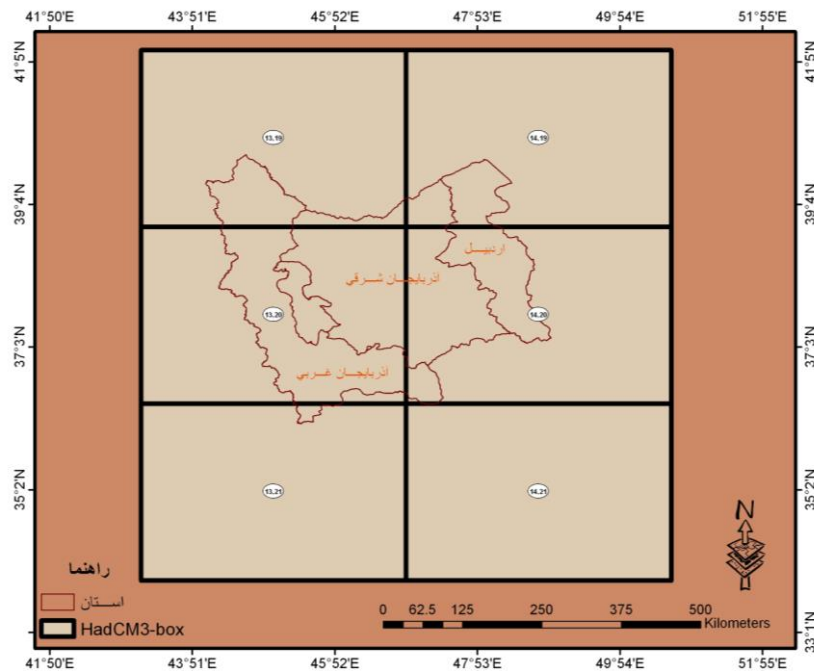
به منظور برگیرش پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس NCEP و نیز HadCM3، نخست به انتخاب سلول‌های پوشش‌دهنده منطقه مورد مطالعه در شبکه مشبک جهانی ارائه‌شده در سایت CCCSN<sup>۳</sup> اقدام گردید. بدین منظور، با در نظر گرفتن مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها و مراکز سلول‌های شبکه، نقشه شبکه مشبک پوشش‌دهنده منطقه مورد مطالعه با

4. missing data  
5. suspect values  
6. fourth root transformation

1. Predictand  
2. General Circulation Models  
3. Canadian Climate Change Scenarios Network

ارزیابی مدل‌ها مبتنی بر آماره‌های مربوطه نشان‌دهنده قابلیت مناسب مدل‌ها در شبیه‌سازی داده‌های روزانه بارش است.

شاخص‌های ضریب تعیین ( $R^2$ ) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) در ایستگاه‌های سینوپتیکی منتخب انجام گرفت (جدول ۱). نتایج حاصل از



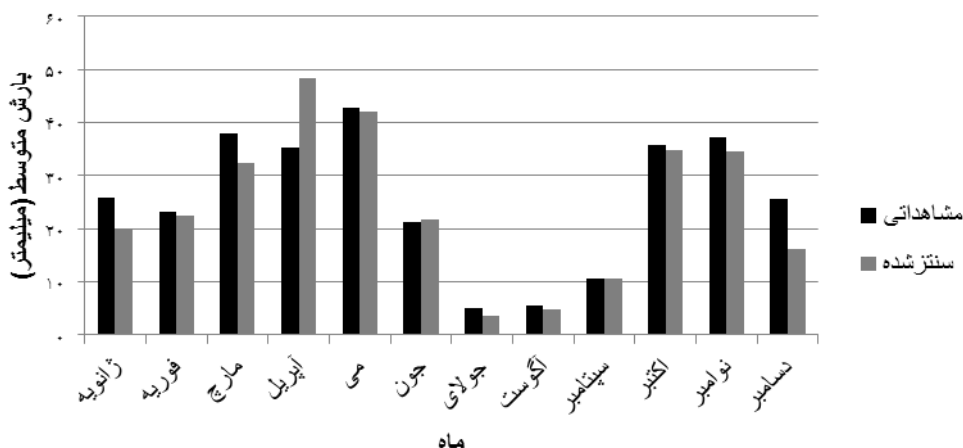
شکل ۲. شبکه مشبک HadCM3 پوشش دهنده منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. شاخص‌های ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی‌کننده در ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب

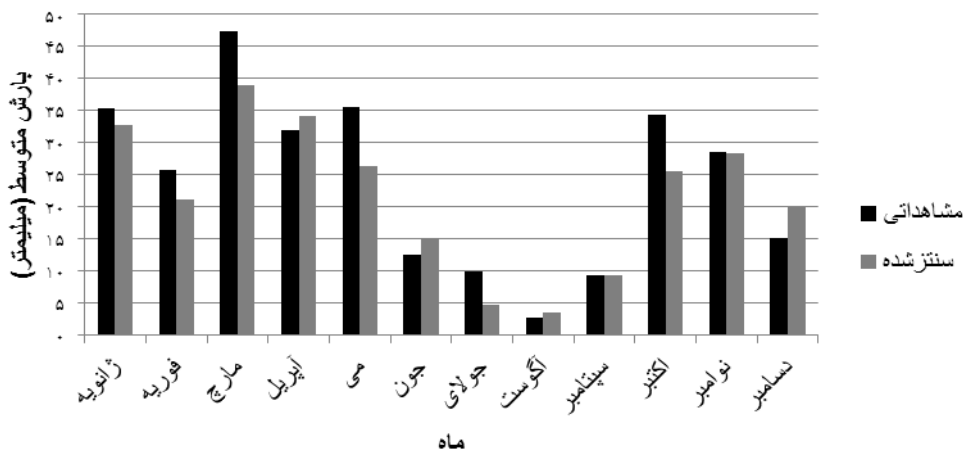
HadCM3 - A2		NCEP		ایستگاه
$R^2$	RMSE	$R^2$	RMSE	
۰٫۸۶	۳٫۱۲	۰٫۸۹	۲٫۵۶	اردبیل
۰٫۸۷	۲٫۸۱	۰٫۸۴	۲٫۰۵	خوی
۰٫۸۵	۳٫۵۲	۰٫۷۰	۲٫۴۳	ارومیه
۰٫۸۴	۲٫۷۷	۰٫۸۹	۲٫۰۱	تبریز

ارائه شده است. در این ایستگاه، تورم واریانس‌های اعمال‌شده در تولید داده‌های کوچک مقیاس‌شده بارش حاصل از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مشاهداتی NCEP و نیز متغیرهای پیش‌بینی‌کننده HadCM3 به ترتیب ۱۷ و ۸ است.

به طور نمونه، مقایسه میان مقادیر متوسط ماهانه بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه اردبیل طی دوره‌های ۱۳۷۵ - ۱۳۸۰ و ۱۳۵۵ - ۱۳۸۰ به ترتیب مرتبط با پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس مشاهداتی و مشتق از مدل گردش عمومی جو در اشکال ۳ تا ۴



شکل ۳. مقایسه مقادیر متوسط ماهانه بارش مشاهده‌ای و سننژ شده از NCEP (ایستگاه اردبیل - دوره ۱۳۷۵ - ۱۳۸۰)



شکل ۴. مقایسه مقادیر متوسط ماهانه بارش مشاهده‌ای و سننژ شده از HadCM3-A2 (ایستگاه اردبیل - دوره ۱۳۵۵ - ۱۳۸۰)

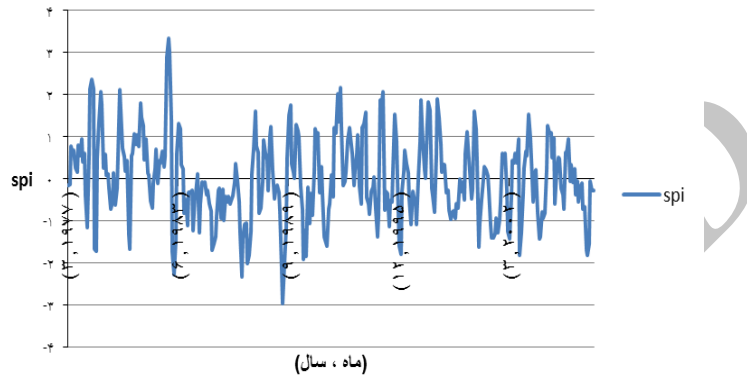
کاربرد نرم‌افزارهای DIP و ReDIM اقدام شد. بدین منظور، به ایجاد فایل متنی مورد نیاز ورودی با کاربرد فایل اکسلی مبدل داده‌های بارش روزانه به ماهانه و تنظیمات مرتبط با چیدمان ترتیبی زمانی داده‌ها و تنظیمات مربوطه در ارتباط با هر یک از دوره‌ها اقدام شد. همچنین، بازسازی نواقص داده‌های بارش ایستگاه‌های اردبیل و سقز با کاربرد روش رگرسیونی به ترتیب مبتنی بر ایستگاه‌های گیلانده و پل سردشت - بریسو به‌انجام رسید. به طور نمونه، نمودار نمایه استاندارد شده بارش ایستگاه اردبیل در دوره

## محاسبه نمایه استاندارد شده بارش و تحلیل‌های مربوطه

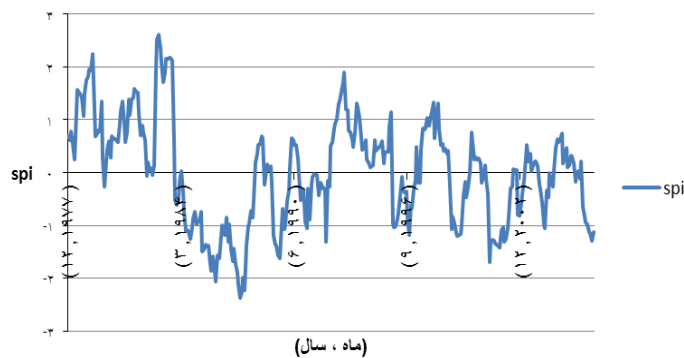
در این تحقیق به محاسبه نمایه استاندارد شده بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف ۳، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه، مبتنی بر داده‌های ماهانه بارش ایستگاه‌ها، مرتبط با دوره مشاهده‌ای (۱۳۵۶ - ۱۳۸۵) و سه دوره شبیه‌سازی شده آتی (داده‌های کوچک مقیاس شده حاصل از پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس HadCM3 تحت سناریوی A2، مشتمل بر دوره‌های ۱۳۸۶ - ۱۴۱۵، ۱۴۱۶ - ۱۴۴۵ و ۱۴۴۶ - ۱۴۷۵) با

$SPI \geq -1,49$ ، خشکسالی متوسط ( $-1,49 \leq SPI \leq -1$ )، نزدیک به نرمال ( $-0,99 \leq SPI \leq 0,99$ )، ترسالی متوسط ( $1 \leq SPI \leq 1,49$ )، ترسالی شدید ( $1,49 \leq SPI \leq 1,99$ )، و ترسالی بسیار شدید ( $SPI \geq 2$ ) صورت پذیرفت.

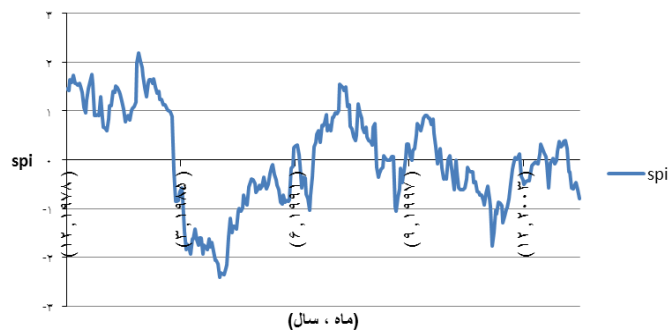
مشاهداتی در اشکال ۵ تا ۸ ارائه شده است. سپس، طبقه‌بندی خشکسالی مبتنی بر مقادیر محاسبه‌شده SPI و حدود طبقات ارائه‌شده توسط «مرکز ملی تعدیل خشکسالی» مشتمل بر طبقات خشکسالی بسیار شدید ( $SPI \leq -2$ )، خشکسالی شدید ( $-1,99$



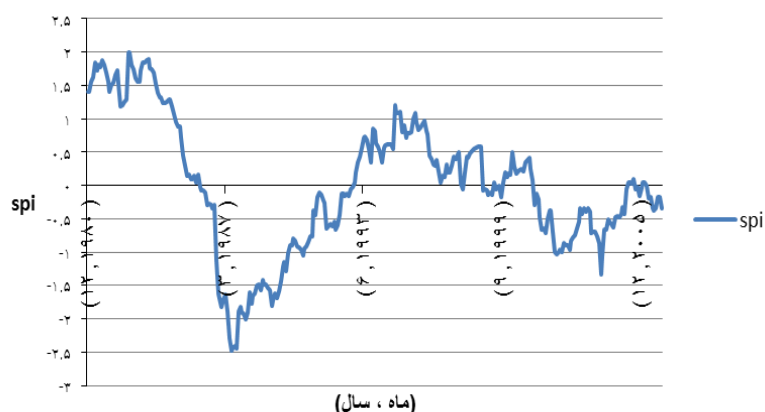
شکل ۵. نمودار نمایه استاندارد شده بارش ۳ ماهه در دوره مشاهداتی



شکل ۶. نمودار نمایه استاندارد شده بارش ۱۲ ماهه در دوره مشاهداتی



شکل ۷. نمودار نمایه استاندارد شده بارش ۲۴ ماهه در دوره مشاهداتی

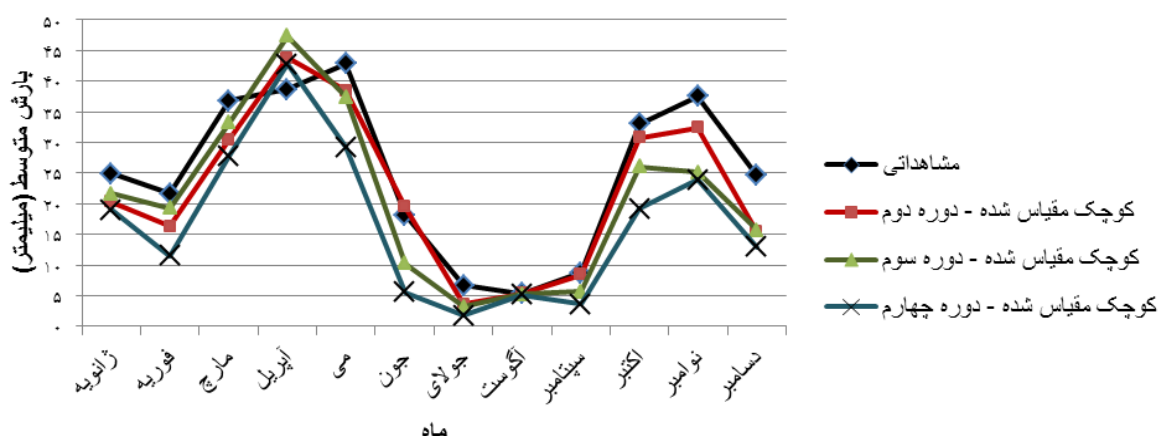


شکل ۸. نمودار نمایه استاندارد شده بارش ۴۸ ماهه در دوره مشاهداتی

نسبت به دوره مبنا بیشینه مقادیر کاهش را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که در ایستگاه تبریز، بارش متوسط سالانه در دوره‌های شبیه‌سازی شده آتی نسبت به دوره مبنا افزایش یافت، به طوری که دوره‌های چهارم و دوم به ترتیب با افزایش ۲۵ میلی‌متر (۱۰ درصد) و ۴ میلی‌متر (۱ درصد) نسبت به دوره مبنا بیشینه و کمینه مقادیر افزایش را به خود اختصاص داده‌اند (اشکال ۹ تا ۱۲).

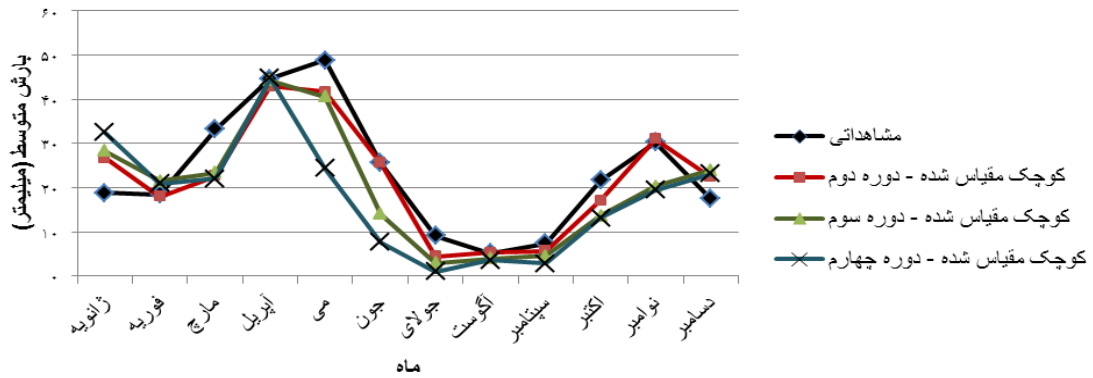
## نتایج

نتایج حاصل از بررسی داده‌ها در دوره‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده آتی تحت سناریوی A2 نشان‌دهنده کاهش بارش متوسط سالانه در دوره‌های شبیه‌سازی شده آتی نسبت به دوره مبنا در ایستگاه‌های اردبیل، خوی، و ارومیه بوده، به طوری که در ایستگاه‌های اردبیل، خوی، و ارومیه دوره چهارم به ترتیب با کاهش ۹۷ میلی‌متر (۳۲ درصد)، ۶۵ میلی‌متر (۲۳ درصد)، و ۲۴ میلی‌متر (۷ درصد)

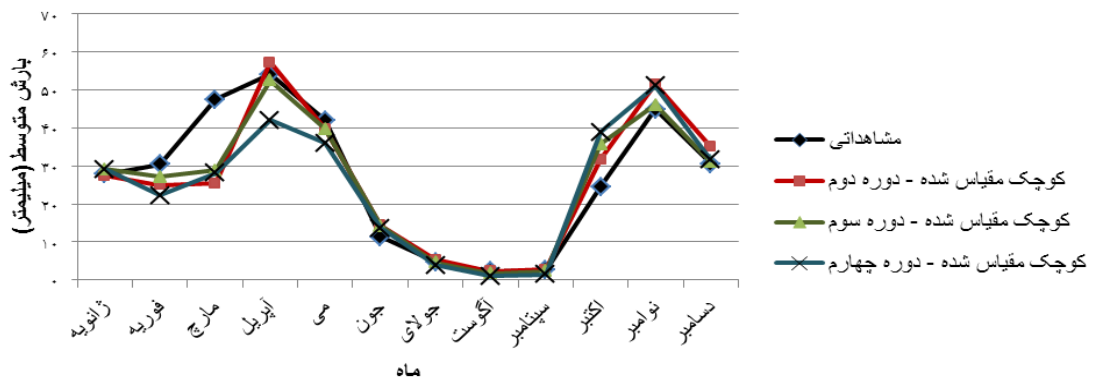


شکل ۹. نمودار تغییرات بارش متوسط ماهانه دوره‌های مبنا و شبیه‌سازی شده آتی (ایستگاه اردبیل)

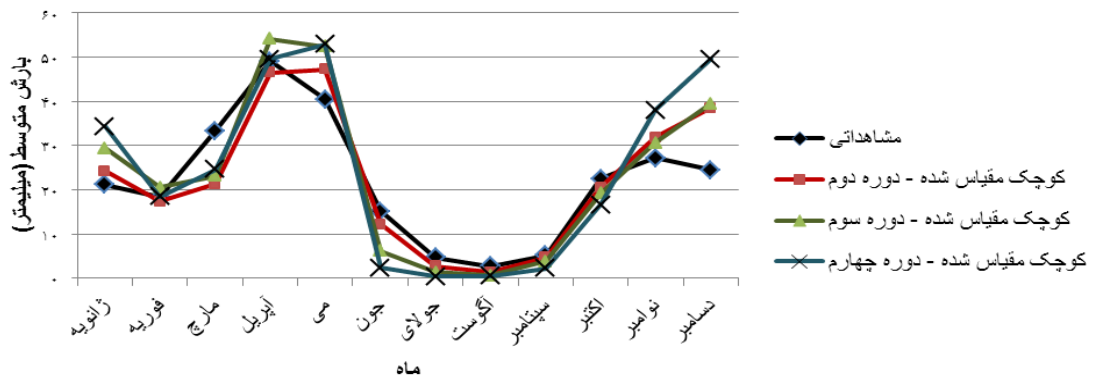




شکل ۱۰. نمودار تغییرات بارش متوسط ماهانه دوره‌های مینا و شبیه‌سازی شده آتی (ایستگاه خوی)



شکل ۱۱. نمودار تغییرات بارش متوسط ماهانه دوره‌های مینا و شبیه‌سازی شده آتی (ایستگاه ارومیه)



شکل ۱۲. نمودار تغییرات بارش متوسط ماهانه دوره‌های مینا و شبیه‌سازی شده آتی (ایستگاه تبریز)

زمانی در هر دوره اقدام گردید. جدول ۲ ارائه‌دهنده بیشینه مقادیر ویژگی‌های خشکسالی در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در دوره‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده آتی است.

در این مرحله، پس از محاسبه نمایه استاندارد شده بارش در مقیاس‌های زمانی ۳، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه، مبتنی بر داده‌های ماهانه بارش هر یک از ایستگاه‌ها در دوره‌های مینا و شبیه‌سازی شده آتی، به تعیین ویژگی‌های خشکسالی هر یک از مقیاس‌های

جدول ۲. بیشینه مقادیر ویژگی‌های خشکسالی دوره‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده آتی

مقیاس زمانی	ایستگاه	سناریو	SPI ≤ -1			SPI ≤ -1/5			طول‌ترین دوره خشکی		شدیدترین دوره خشکی	
			دوره	تعداد	درصد	دوره	تعداد	درصد	دوره	ماه	شدت تجمعی	ماه
۳	اردبیل	-	۴	۵۹	۱۶,۴۸	۳ و ۲	۲۷	۷,۵۴	۲	۲	۲۵,۲۰	۱۲
	خوی	-	۱	۶۶	۱۸,۴۴	۳	۳۳	۹,۲۲	۴	۸	۱۱,۸۴	۸
	ارومیه	A2	۴	۶۲	۱۷,۳۲	۳ و ۴	۳۰	۸,۳۸	۲	۸	۱۳,۶۵	۶
	تبریز	-	۳ و ۴	۵۶	۱۵,۶۴	۲	۲۳	۶,۴۲	۲ و ۳ و ۴	۶	۱۵,۶۹	۶
۱۲	اردبیل	-	۱	۶۸	۱۹,۴۸	۳ و ۲	۲۶	۷,۴۵	۳ و ۲	۱۸	۴۲,۳۲	۱۸
	خوی	-	۱	۷۲	۲۰,۶۳	۳	۲۸	۸,۰۲	۳	۱۸	۳۱,۰۹	۱۸
	ارومیه	A2	۱	۶۴	۱۸,۳۴	۲	۳۳	۹,۴۶	۱	۲۶	۴۰,۳۸	۲۶
	تبریز	-	۴	۶۵	۱۸,۶۲	۴	۲۹	۸,۳۱	۲	۲۴	۴۱,۷۶	۲۴
۲۴	اردبیل	-	۳	۵۶	۱۶,۶۲	۳	۳۳	۹,۷۹	۱	۳۸	۶۶,۰۲	۳۸
	خوی	-	۱	۷۵	۲۲,۲۶	۳	۳۸	۱۱,۲۸	۳	۳۰	۴۹,۲۳	۳۰
	ارومیه	A2	۳	۷۸	۲۳,۱۵	۲	۳۴	۱۰,۰۹	۱	۳۸	۶۲,۹۵	۳۸
	تبریز	-	۱ و ۳	۶۴	۱۸,۹۹	۲ و ۴	۲۳	۶,۸۲	۳	۴۰	۵۷,۴۳	۴۰
۴۸	اردبیل	-	۳ و ۴	۶۱	۱۹,۴۹	۳	۳۸	۱۲,۱۴	۳	۴۶	۸۳,۶۷	۴۶
	خوی	-	۱	۶۰	۱۹,۱۷	۳	۳۶	۱۱,۵۰	۱	۵۸	۸۹,۸۳	۵۳
	ارومیه	A2	۳	۶۹	۲۲,۰۴	۲	۴۱	۱۳,۱۰	۲	۴۹	۹۲,۷۸	۴۹
	تبریز	-	۴	۶۵	۲۰,۷۷	۲	۳۲	۱۰,۲۲	۴	۵۹	۹۲,۰۶	۵۹

### بحث و نتیجه‌گیری

افزایش ۲۵ میلی‌متری (۱۰ درصدی) بارش متوسط سالانه در دوره چهارم نسبت به دوره مبنا همراه است. همچنین، نتایج نشان می‌دهد اگرچه بارش متوسط سالانه در ایستگاه تبریز نسبت به دوره مبنا افزایش یافته است، شاهد کاهش بارش متوسط ماهانه در دوره‌های شبیه‌سازی شده آتی نسبت به دوره مبنا در ماه‌های مارچ، جون، جولای، آگوست، سپتامبر، و اکتبر (در تمامی دوره‌ها) و فوریه و آپریل (دوره دوم تحت سناریوهای A2) هستیم. این نتیجه با نتایج برخی محققان [۱، ۱۰] همخوان است.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان‌دهنده امکان رخداد خشکسالی‌هایی با شدت، مدت، و فراوانی بیشتر در دوره‌های شبیه‌سازی شده آتی است؛ به

نتایج بررسی داده‌ها در دوره‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده آتی تحت سناریوی A2 نشان‌دهنده کاهش بارش متوسط سالانه در دوره‌های شبیه‌سازی شده آتی نسبت به دوره مبنا در ایستگاه‌های اردبیل، خوی، و ارومیه و نیز افزایش بارش متوسط سالانه در دوره‌های شبیه‌سازی شده آتی نسبت به دوره مبنا در ایستگاه تبریز است. این در حالی است که ایستگاه اردبیل با کاهش ۹۷ میلی‌متری (۳۲ درصدی) بارش متوسط سالانه در دوره چهارم نسبت به دوره مبنا بیشینه مقادیر کاهش را به خود اختصاص داده است. همچنین، ایستگاه تبریز با

مقیاس‌های زمانی ۳، ۱۲، و ۲۴ ماهه شدیدترین دوره خشکی را مبتنی بر بیشینه شدت تجمعی دوره‌های خشکی در میان ایستگاه‌های مختلف داراست. همچنین، در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه، ایستگاه ارومیه با دارا بودن شدت تجمعی SPI برابر ۹۲/۷۸- (دوره ۴۹ ماهه خشکی واقع در دوره دوم) شدیدترین دوره خشکی را در میان ایستگاه‌های مختلف به خود اختصاص داده است.

### سپاسگزاری

از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های ارزشمند دکتر مجید حبیبی نوخندان، دکتر سعید مرید، دکتر ایمان بابائیان، مهندس میثم ابراهیم‌پور، و کادر آموزش دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران بسیار سپاسگزاریم.

طوری که با نتایج برخی مطالعات [۶، ۸] همخوان است. این در حالی است که محققان [۴]، با بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره‌سو با کاربرد مدل HadCM3 و نمایه SPI در دوره ۱۴۱۹ - ۱۴۴۸، کاهش فراوانی و نیز شدت خشکسالی را نسبت به دوره پایه ۱۳۵۰ - ۱۳۷۹ به علت افزایش بارش آتی منطقه بیان نموده‌اند. همچنین، فراوانی ماه‌های خشک مبتنی بر طبقات خشکسالی شدید و بسیار شدید ( $SPI \leq -1/5$ ) در ایستگاه‌های مختلف در دوره مینا و دوره‌های شبیه‌سازی شده آتی نشان می‌دهد که بیشینه فراوانی ماه‌های خشک در همه مقیاس‌های زمانی در دوره‌های شبیه‌سازی شده آتی رخ داده است (جدول ۳). همچنین، مقایسه نتایج حاصل از ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد که ایستگاه اردبیل در

Archive

## References

- [1] Abbasi, F. and Asmari, M. (2011). Forecasting and assessment of climate change over Iran during future decades using MAGICC-SCENGEN model, *Water and Soil*, 25, 70-83.
- [2] Bootsma, A., Gameda, S. and McKenney, D.W. (2005). Impacts of potential climate change on selected agroclimatic indices in Atlantic Canada, *Canadian Journal of soil science*, 85, 329-343.
- [3] Dastorani, M.T., Massah Bavani, A.R., Poormohammadi, S. and Rahimian, M.H. (2011). Assessment of potential climate change impacts on drought indicators (case study: Yazd Station, Central Iran), *Desert*, 16, 159-167.
- [4] Golmohammadi, M. and Massah Bavani, A. (2011). Investigation of climate change impact on drought intensity and duration, *Water and Soil*, 25, 315-326.
- [5] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007). *Summary for policy makers. In: IPCC. Climate change: The physical Science basic, Contribution of working group first to the Fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Cambridge university press, 450p.
- [6] Labedzki, L. (2006). Estimation of local drought frequency in central Poland using the standardized precipitation Index (SPI), *Irrigation and Drainage*, 56, 67-77.
- [7] Lazar, B. and Williams, M. (2008). Climate change in western ski areas: potential changes in the timing of wet avalanches and snow quality for the Aspen ski area in the years 2030 and 2100, *Cold regions science and technology*, 51, 219-228.
- [8] Loukas, A., Vasiliades, L. and Tzabiras, J. (2008). Climate change effects on drought severity, *Advances in Geosciences*, 17, 23-29.
- [9] McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, *8th conference on applied climatology*, Anaheim, USA.
- [10] Mohammadi, H., Moghbel, M. and Ranjbar, F. (2010). The study of Iran's precipitation and temperature changes using MAGICC-SCENGEN model, *Journal of Geography*, 25, 125-142.
- [11] Mohammadi, H. and Taghavi, F. (2005). Trend of extreme indices of temperature and precipitation in Tehran, *Geography researches*, 53, 151-172.
- [12] Morid, S., Moghaddam, M., Paymozd, Sh. and Ghaemi, H. (2005). *Design of Tehran province drought monitoring system*, Final Report, Water Resources Management Co. (WRMC-Iran), 196p.
- [13] Sayari, N., Alizadeh, A., Bannayan, M., Farid Hossaini, A. and Hesami Kermani, M.R. (2011). Comparison of two GCM models (HadCM3 and CGCM2) for the prediction of climate parameters and crop water use under climate change (case study: Kashafrud Basin), *Water and Soil*, 25, 912-925.
- [14] Schoof, J.T. and Pryor, S.C. (2001). Downscaling temperature and precipitation: A Comparison of regression-based methods and artificial neural networks, *International Journal of climatology*, 21, 773-790.
- [15] Wilby, R.L. and Wigley, T.M.L. (2000). Precipitation predictors for downscaling: Observed and general circulation model relationships, *International Journal of Climatology*, 20, 641-661.