The Share of Iran's Water Resources from Atmospheric Systems

Zahra Pakzad [1], Mohammad Hosein Ramesht [2*], Amir Gandom Kar [3]

[1] PhD Student, Department of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
[2] Professor, Department of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, and Faculty of Geography and Planning of Isfahan University, Isfahan, Iran
[3] Assistant Professor, Department of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Abstract

Although many researchers believe the dominating climatic systems in Iran in the past cold and warm eras are similar to our contemporary era, but all believe that the their operating domain and their shares in supplying water resources in Iran have been under extensive changes and fluctuations. It is said that these fluctuations in our age are mostly due to human performance, and its consequences have already become weaker. In this paper, it has been tried to determine the contribution of Iran's atmospheric precipitation to Mediterranean systems - Caspian, Sudanese - Persian Gulf and Monsoon - Omani by means of analyzing the average rainfall data of Iran during a 50-year statistical period. The findings of this study, which are the result of a research project at Najafabad Islamic Azad University, show that: of the 415 billion cubic meters of precipitation, Iran has the highest moisture contribution for the Mediterranean-Caspian Sea system with 240 cubic meters. Then the contribution of the Sudanese-Persian Gulf system to 152 cubic meters, and only 22.5 cubic meters of these precipitation is related to humidity injected from the Sea of Oman and monsoon systems. Ups and downs in Iran not only have changed the distribution of atmospheric water resources in Iran, but also controlled the historical management of water resources in Iran. The heating of Iran's temperature in the next few decades would be assumed to be unaffected by the blue contribution of atmospheric atmospheric systems. It can be said with certainty that the capacity of natural water storage in Iran's territorial zone will be reduced to a one-thirds increase in temperature, and these changes will put civilian presence in central Iran at serious risk.

Key words: Iran's water resources, climate change, Sudanese-Gulf system, global warming.

* mh.raamesht@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir

جغرافیـــا و برنامـــه‌ریـــزی محیطـــی
ســال ۲۹، پیــاپی ٦۹، شــماره ۱، بهــار ۱۳۹۷

سهم منابع آبی ایران از سامانه‌های جوّی

زهرا پاکزاد، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

محمدحسین رامشت، استاد ژئومرفولوژی، گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
و دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

امیر گندم‌کار، استادیارمرکز تحقیقات گردشگری، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

وصـول: ۱۳۹۵/۰۲/۰۷ پـذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۲۵، صص ١٦٤-۱۵۳

چکیده

بسیاری از پژوهشگران معتقدند سامانه‌های جوّی حاکم بر ایران در دوران سرد و گرم گذشته با زمان ما یکی بوده است؛ ولی همگی به این واقعیت اذعان دارند که حوزهٔ عملکرد و سهم آنها در تأمین منابع آب جوّی ایران به‌شدت دستخوش تغییر و نوسان بوده است. گفته می‌شود این تغییرات و نوسانات در عصر ما بیشتر ناشی از عملکرد بشری است و پیامدهای آن از هم‌اکنون دامنگیر ما شده است. براساس پژوهش‌های متعدد، میزان تغییرات دما در ایران رشدی بسیار بیش از متوسط جهانی دارد. در این مقاله سعی شده است ضمن تعیین سهم نزولات جوّی ایران از سامانه‌های مدیترانه‌ای – خزری، سودانی – خلیج فارس و موسمی – عمانی با روش تحلیل داده‌های متوسط بارش ایران در طول یک دورهٔ آماری ۵۰ ساله، سهم منابع آبی ایران از سامانه‌های جوّی نشان داده شود. یافته‌ها نشان می‌دهد: از ٤۱۵ میلیارد متر مکعب بارش ایران، بیشترین سهم رطوبتی واردشده مربوط به سامانهٔ مدیترانه‌ای – خزری با ۲٤۰ متر مکعب، سپس سامانهٔ سودانی– خلیج فارس با ۱۵۲ متر مکعب و فقط ۲۲/۵ متر مکعب بارش‌ها مربوط به رطوبت تزریق‌شده از دریای عمان و سامانه‌های موسمی است. ناهمواری‌ها، چکادها و چاله‌ها در ایران توزیع سرمایه‌های آب جوّی را دستخوش دگرگونی و مدیریت تاریخی منابع آبی را نیز کنترل کرده است. گرمایش دمای ایران در چند دههٔ آینده اگر بر سهم آبی سامانه‌های جوّی بی‌تأثیر فرض شود، قطعا میزان ظرفیت ذخیره‌سازی طبیعی آب در پهنهٔ سرزمین ایران در برابر افزایش دما تا یک‌سوم فعلی کاهش خواهد یافت و این تغییرات، موجودیت مدنی را در ایران مرکزی با خطری جدی روبرو خواهد ساخت.

واژه‌های کلیدی: منابع آبی ایران، تغییرات اقلیمی، سامانهٔ سودانی – خلیج فارس، گرمایش جهانی.

*نویسنده مسؤول: mh.raamesht@gmail.com

مقدمه

طرح مسئله و اهداف پژوهش

منابع آبی، سرمایه‌های طبیعی هر سرزمین، نقش عمده‌ای در چرخش اقتصادی و محیطی دارند و از این رو همواره توجه برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران را جلب کرده‌اند. نحوهٔ ارزیابی این سرمایه‌های طبیعی برحسب نوع و الگوی آنها در مناطق مختلف جغرافیایی متفاوت است؛ به طوری که برنامه‌ریزان در مقیاس ملی براساس الگوی بارشی، سیاست‌های کلی بسیاری از برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و ملی را بر این اساس طراحی و تقریر می‌کنند. الگوهای بارشی، زمان بارش و مقدار بارش تقریباً به سامانه‌های جوّی و موقعیت‌های سیاره‌ای مناطق بستگی دارد؛ بنابراین بررسی این ویژگی‌ها ازجمله عناوین عمدهٔ ارزیابی سرمایهٔ منابع طبیعی آبی محسوب می‌شود.

ایران از نظر سامانه‌های جوّی متنوع است و ویژگی‌های منحصربه‌فردی دارد؛ ولی آنچه به این تنوع هویت اقلیمی بخشیده، تأثیر ناهمواری‌ها و به‌ویژه چکادها و چاله‌های سرزمینی است؛ به طوری که چکادها و چاله‌ها در ایران تأثیرات خاصی بر سرمایهٔ منابع ملی آب دارند و خود ازجمله عناصر به‌وجودآورندهٔ چرخندها و سامانه‌های اقلیمی در مقیاس ناحیه محسوب می‌شوند (یمانی، ۱۳۹۲: ۱۲۱). در مطالعهٔ سرمایهٔ ملی آب در ایران سهم‌گذاری سامانه‌های جوّی ضرورت می‌یابد. این سرمایه در جوّ شکل و توزیع خاصی دارد و به محض آنکه بر پهنهٔ سرزمینی نزول می‌کند، سرنوشت و فرایند توزیع دیگری می‌یابد. همین موضوع سبب شده است راهبرد کلی مدیریت منابع آب در ایران در فرایند توسعه، به مسائل مرتبط با دو عامل کمبود و کیفیت منابع آبی معطوف شود (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۹). در این میان پیش‌زمینه‌های اجتماع، درجهٔ توسعه‌یافتگی و تغییرات یا نوسانات عناصر اقلیمی در پرداختن مدیران به این مسئله مؤثر است. در این رهگذر نکتهٔ جالب توجه، راهبردهای تاریخی مدیریت منابع آبی ایران است؛ به گونه‌ای که مناطق مختلف ایران در برابر دو مسئلهٔ کمبود و کیفیت آب، یک راهبرد یا الگو را دنبال نمی‌کرده‌اند.

این مقاله برگرفته از طرحی پژوهشی در دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد است. هدف آن، تعیین سهم منابع آب جوّی ایران از سامانه‌های آب‌وهوایی، تحلیل نقش ناهمواری‌ها در توزیع سرزمینی و برآورد تأثیر تغییر دمای متوسط سالیانه ایران در چند دههٔ آتی بر سرمایهٔ آبی در پهنهٔ سرزمینی است.

پیشینهٔ پژوهش

پژوهشگران متعددی در زمینهٔ سامانه‌های آب‌وهوایی ایران پژوهش‌های ارزشمندی ارائه داده‌اند:

فرج‌زادهٔ اصل و همکاران (۱۳۸۸) معتقدند به علت قرارگیری ایران در منطقهٔ جنب حاره، آب‌وهوای آن از سامانه‌های عرض‌های میانه در فصل سرد سال و سامانه‌های حاره‌ای در فصل گرم سال متأثر می‌شود.

موحدی و همکاران (۱۳۹۰) دریافتند رژیم بارش غالب در کشور همچنان زمستانه است؛ ولی رژیم‌های جدید بارش محلی نیز در بعضی از نقاط کشور دیده می‌شود.

طبری و همکاران[1] (۲۰۱٤) دریافتند ناهنجاری چشمگیری در بیشینهٔ بارش در مناطق شمال غربی و جنوب شرقی ایران به‌ویژه در فصل بهار وجود دارد.

مسعودیان و کاویانی (۱۳۸٦) دریافتند الگوهای زمانی و مکانی بارش و تغییرات دما نقش بسیار مهمی در آب‌وهوا و چرخهٔ آب در فلات ایران دارند.

کلارک[2] (۲۰۰۳) نشان داد بارش، عنصری غیرترمودینامیک است و تغییرات زمانی و مکانی چشمگیری به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک و خشک در پی دارد.

در شار رطوبت بارش‌های ایران کریمی و فرج‌زاده (۱۳۹۰) بیان می‌کنند پرفشار شرق شبه‌جزیرهٔ عربستان (غرب دریای عرب) و پرفشار شمال آفریقا، تزریق‌کنندهٔ اصلی رطوبت به داخل ایران هستند؛ در حالی که از نظر اسمیت و همکاران[3] (۲۰۰۳) منابع رطوبت بارش‌های مناطق کوهستانی البرز و زاگرس به ترتیب دریای خزر و خلیج فارس بیان شده‌اند.

در بررسی سامانه‌های مؤثر بارشی ایران، محمدی (۱۳۸۸) کم‌فشار عربستان – عراق را عامل اصلی فراهم‌کردن شرایط لازم در سطح زمین برای رخداد بارش‌های سنگین و فراگیر ایران معرفی کرده است. وی با مطالعهٔ سامانه‌های کم‌فشار سودان نشان داده است بیش از سه‌چهارم وسعت کشور مستقیماً از بارش‌های این سامانه متأثر است و نقش این سامانه در مطالعات بارش‌های ایران گسترش یافته است (لشکری، ۱۳۸۲: ۱۳۳ و ۱۳۸۱: ۱؛ مفیدی، ۱۳۸۳: ۷۱؛ مفیدی و زرین، ۱۳۸٤: ۱۱۳)؛ به طوری که در الگوی موج بارشی سنگین منطقهٔ جنوب و جنوب غرب کشور، کم‌فشار سودانی بر روی جنوب غرب دریای سرخ استقرار و دامنهٔ آن به صورت مورب از جنوب غرب به سوی شمال شرق امتداد یافته و بر مناطق جنوبی و جنوب غربی ایران تأثیر گذاشته است (لشکری و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۷).

از سویی مسعودیان و کارساز (۱۳۹۳: ۱۵) در تحلیل همدید الگوهای ضخامت بارش‌های سنگین ناحیهٔ زاگرس جنوبی نشان دادند چهار الگوی اصلی ضخامت در فراهم‌کردن شرایط مناسب بارش‌های سنگین و فراگیر ناحیهٔ زاگرس جنوبی مؤثرند که در همهٔ آنها فرود منتهی‌الیه شرق دریای مدیترانه با کمی تغییر موقعیت دیده شده است.

مسعودیان و جعفری شندی (۱۳۹۳) در بررسی رابطهٔ سامانه‌های همدید در بارش‌های سنگین پهنهٔ کم‌بارش شمالی ایران نشان دادند واچرخند سیبری، واچرخند سیاه، فرود دریای مدیترانه و فرود خلیج فارس، دلیل اصلی این‌گونه بارش‌ها هستند.

همزه[4] و همکاران (۲۰۱٦) تغییرات هیدرولوژیکی هولوسن را در حوضهٔ سیستان (SE ایران) به‌منزلهٔ منطقهٔ گذار بین منطقهٔ بارش موسمی تابستان از جنوب آسیا و منطقهٔ بارش زمستان مدیترانه‌ای از فلات ایران بررسی کردند.

روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش به منظور تعیین درصد مشارکت سطوح آبی در تأمین رطوبت بارش‌های ایران، از

[1] Tabari & et al
[2] Clark
[3] Smith & et al
[4] Hamzeh

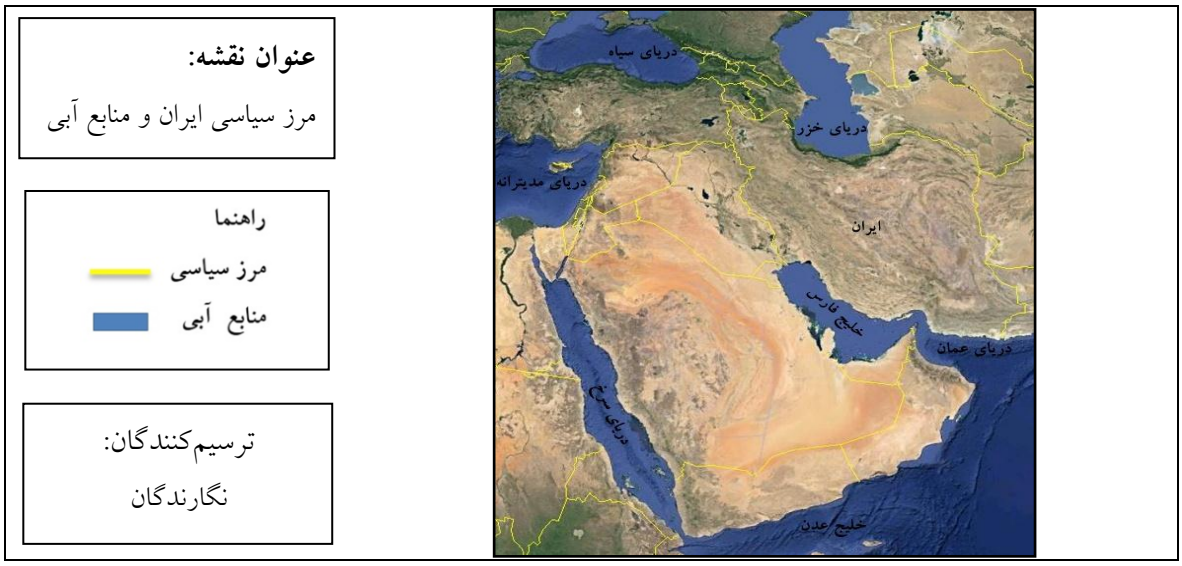
الگو سالانهٔ شار رطوبتی سامانه‌های جوّی و داده‌های دو بار واکاوش‌شدهٔ تولیدشدهٔ ERA-٤٠[1] به وسیلهٔ مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا (ECMWF) با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی و قدرت تفکیک زمانی ٦ساعته (ساعات ۰۰، ۰٦، ۱۲، ۱۸ استاندارد جهانی) در ۹ سطح (۱۰۰۰، ۹۲۵، ۸۵۰، ۷۷۵، ۷۰۰، ٦۰۰، ۵۰۰، ٤۰۰، ۳۰۰ هکتوپاسکال) در پژوهش کریمی و فرج‌زاده (۱۳۹۰) استفاده شده است. سپس با بهره‌گیری از داده‌های روزانهٔ بارش ۳۳۳ ایستگاه همدید، اطلاعات اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی کشور طی دوره‌ای ٤۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹٦۱) با طول دورهٔ دست‌کم بیست سال گردآوری شده است. در ادامه متوسط بارش هریک از این ایستگاه‌ها برای هرسال به دست آمد (٤۵×۳۳۳). به کمک این ماتریس نقشهٔ بارش سالانهٔ ایران با یاخته‌های حدود ۱۸×۱۸ کیلومتر و به روش کریجینگ محاسبه شد. یغمایی[2] و همکاران (۲۰۰۹) روش زمین آمار کریجینگ[3] را برای تبدیل داده‌های ایستگاه‌ها به داده‌های پهنه‌ای مناسب دانسته‌اند. این ماتریس که نمایندهٔ رفتار مکانی بارش کشور در هر سال است، اساس داوری‌ها دربارهٔ بارش ایران قرار گرفت. از مجموع داده‌ها و تحلیل‌های شار رطوبت محیطی، به تفکیک سهم منابع رطوبتی واردشده به ایران مبادرت و در سه طیف مدیترانه - خزری، سودانی - خلیج فارس، موسمی - عمان نقشهٔ آن ترسیم شده است؛ سپس با توجه به تحلیل داده‌های بارشی در ایران در هر طیف، سهم آب به‌دست‌آمده از سامانه‌ها به طور مشخص تعیین شد. با توجه به داده‌های اقلیمی به‌دست‌آمده نسبت به برآورد شرایط گرمایش ۲/۵ تا ۳ درجه متوسط افزایش دمای سالیانهٔ ایران در ۵ دههٔ آینده و میزان متوسط افت آهنگ دما در ایران برای تحلیل وضعیت ظرفیت نگهداری آب در محیط ایران اقدام شده است.[4]

محدودهٔ پژوهش

گسترهٔ پژوهش، مرزهای سیاسی کشور ایران با مختصات ۲۵ تا ٤۰ درجه عرض شمالی و ٤٤ تا ٦٤ درجه طول شرقی است. سامانه‌های آب‌وهوایی کمتر از چنین مرزهایی پیروی می‌کند؛ ولیکن عملکرد آنها بر قلمرو جغرافیایی ایران تأثیر می‌گذارد و بیشتر متأثر از سطوح آبی دریاهای اطراف ایران است. بدون تردید دریای مدیترانه، خزری، سرخ و عمان، ازجمله کانون‌های آبی هستند که بیشتر رطوبت جوّی را در پهنهٔ سیاسی ایران تأمین می‌کنند (شکل ۱).

[1] ECMWF Reanalysis 40-Year
[2] Yaghmaei
[3] Kriging

[4] $\text{درصد یخ تولید شده} = \frac{\text{بارش جامد}}{\text{بارش کل دریافتی}} \times 100$

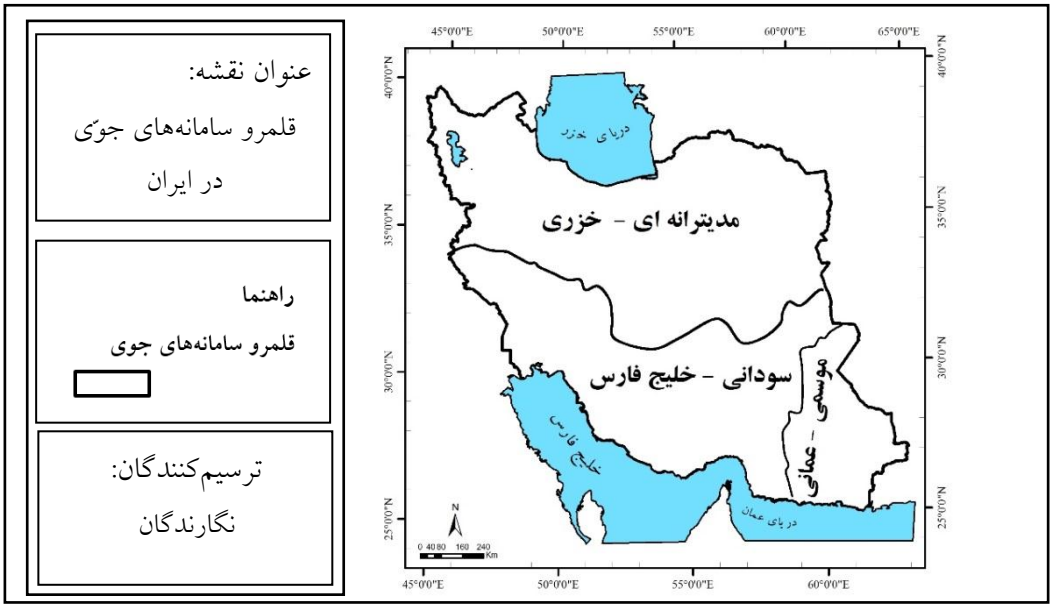


شکل ۱. مرز سیاسی ایران و منابع آبی مجاور تأثیرگذار بر آن

(دریای خزر، دریای عمان، خلیج فارس، خلیج عدن، دریای سرخ، دریای مدیترانه، دریای سیاه)

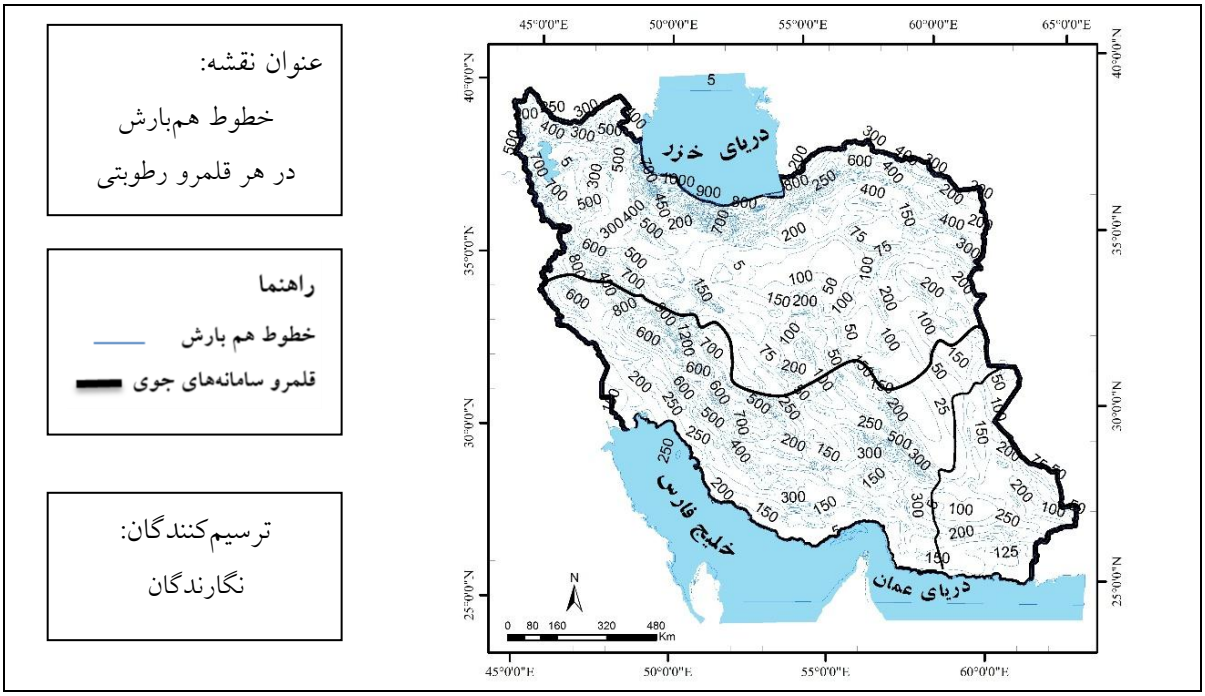
یافته‌های پژوهش

تعیین درصد مشارکت سطوح آبی در تأمین رطوبت بارش‌های ایران به‌دست‌آمده از الگو سالانهٔ شار رطوبتی سامانه‌های جوّی نشان می‌دهد ایران با توجه به قلمرو سامانه‌های جوّی به سه قلمرو رطوبتی تفکیک‌شدنی است. با توجه به سامانه‌های مؤثرتر در هر قلمرو، قلمروها نام‌گذاری و تعریف شده‌اند. این قلمروها با توجه به مساحت پوششی‌شان از بزرگ به کوچک عبارت‌اند از: قلمرو «مدیترانه‌ای – خزری» با مساحت ۹۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع، قلمرو «سودانی – خلیج فارس» دومین قلمرو رطوبتی با مساحت ۵۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع و قلمرو «موسمی – عمانی» با مساحت ۱۸۰۰۰۰ کیلومتر مربع، سومین قلمرو و کوچک‌ترین مساحت نسبت به دو قلمرو دیگر (شکل ۲).



شکل ۲. قلمرو سامانه‌های جوّی در ایران

حال با تلفیق نقشهٔ قلمرو رطوبتی با نقشهٔ خطوط هم‌بارش ایران که از آمار ۳۳۳ ایستگاه در پهنهٔ ایران به دست آمده است، میزان آب باریده‌شده بر روی هر قلمرو حساب شده است (شکل ۳).



شکل ۳. خطوط هم‌بارش در هر قلمرو رطوبتی

جدول ۱. قلمروهای رطوبتی و مشخصات آنها (مساحت، بارش)

قلمرو	مساحت	حجم بارش	متوسط بارش
	کیلومتر مربع	میلیارد متر مکعب در سال	میلیمتر در سال
مدیترانه‌ای – خزری	۹۰۰۰۰۰	۲۴۰	۲۶۶
سودانی – خلیج فارس	۵۵۰۰۰۰	۱۵۲	۲۷۵
موسمی – عمانی	۱۸۰۰۰۰	۲۲/۵	۱۲۵
کل	۱۶۳۰۰۰۰۰	۴۱۵۰۰۰۰۰۰۰	–

چنانچه از یافته‌های حجم بارش این سه قلمرو (جدول ۱) متوسط بارش آنها محاسبه شود، متوسط بارش بر روی قلمرو مدیترانه‌ای- خزری حدود ۲۶۶ میلیمتر و در قلمرو سودانی- خلیج فارس، دومین قلمرو رطوبتی حدود ۲۷۵ میلیمتر و در سومین قلمرو «موسمی- عمانی» حدود ۱۲۵ میلیمتر است. محاسبات نشان می‌دهد سامانه‌های مدیترانه‌ای مساحت بیشتری از ایران را زیر پوشش قرار می‌دهند؛ اما میزان آب دریافتی از سامانه‌های سودانی بیشتر است؛ به بیان دیگر میزان بارش دریافتی در هر منطقه با میزان رطوبت واردشده در آن منطقه متفاوت است. اکنون باید به این موضوع توجه کرد که این میزان آب باریده‌شده وقتی در سطوح ارضی سرزمینی قرار می‌گیرد، چه تأثیر محیطی از خود به جا می‌گذارد.

تأثیر ویژگی‌های توپوگرافیک بر ظرفیت نگهداری آب محیطی

محاسبهٔ ظرفیت نگهداری محیطی آب در سه قلمرو سامانه‌های جوّی متفاوت است و این شاخص دیگر به حجم آب دریافتی معطوف نیست؛ بلکه به قدرت یخ‌سازی سرزمینی وابسته است؛ بدین معنی که هرکدام از این حوزه‌ها ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متری داشته باشند، قدرت نگهداشت آب یا ظرفیت یخ‌سازی بیشتری خواهند داشت؛ به طوری که اگر وضعیت بارش جامد در قلمرو مدیترانه‌ای – خزر در ارتفاع ۲۵۰۰ متری با دو سامانهٔ دیگر مقایسه شود، نتیجهٔ دیگری به دست می‌آید (جدول ۲). همان‌گونه که در این جدول دیده می‌شود سامانهٔ مدیترانه‌ای – خزری از ۲٤۰ میلیارد آب دریافتی ۱٦ میلیارد متر مکعب از آن را به صورت یخ در کوهستان‌های خود ذخیره می‌کند و این بدان معناست که ٦/۷ درصد از آب دریافتی را در محیط نگهداری کرده است؛ حال آنکه این میزان برای سامانهٔ سودانی – خلیج فارس ۱٤ میلیارد متر مکعب از ۱۵۲ میلیارد آب دریافتی است و به بیانی معادل ۹/۲ درصد از آب دریافتی خود را در محیط نگهداشته است. در این میان قدرت یخ‌سازی یا ظرفیت نگهداشت آبی وسعت زیر سیطرهٔ سامانهٔ عمانی – موسمی نزدیک به صفر است؛ زیرا مساحت‌های بیش از ۲۵۰۰ متر در این ناحیه بسیار اندک است و به چشم نمی‌آید.

جدول ۲. قدرت یخ‌سازی آب باریده‌شده در اراضی تحت حاکمیت سامانه‌های جوّی

قلمرو	مساحت کل (S)	بارش دریافتی(P)	یخ تولیدی (G)	G/S	P/S	P/G
	کیلومتر مربع	میلیارد متر مکعب	میلیارد متر مکعب	متر	متر	%
مدیترانه‌ای – خزری	۹۰۰۰۰۰	۲٤۰	۱٦	۱۸۰۰۰	۲۷۰۰۰۰	٦/۷
سودانی – خلیج فارس	۵۵۰۰۰۰	۱۵۲	۱٤	۲۵۵۰۰	۲۲۷۰۰۰	۹/۲
موسمی – عمانی	۱۸۰۰۰۰	۲۲/۵	–	–	–	–

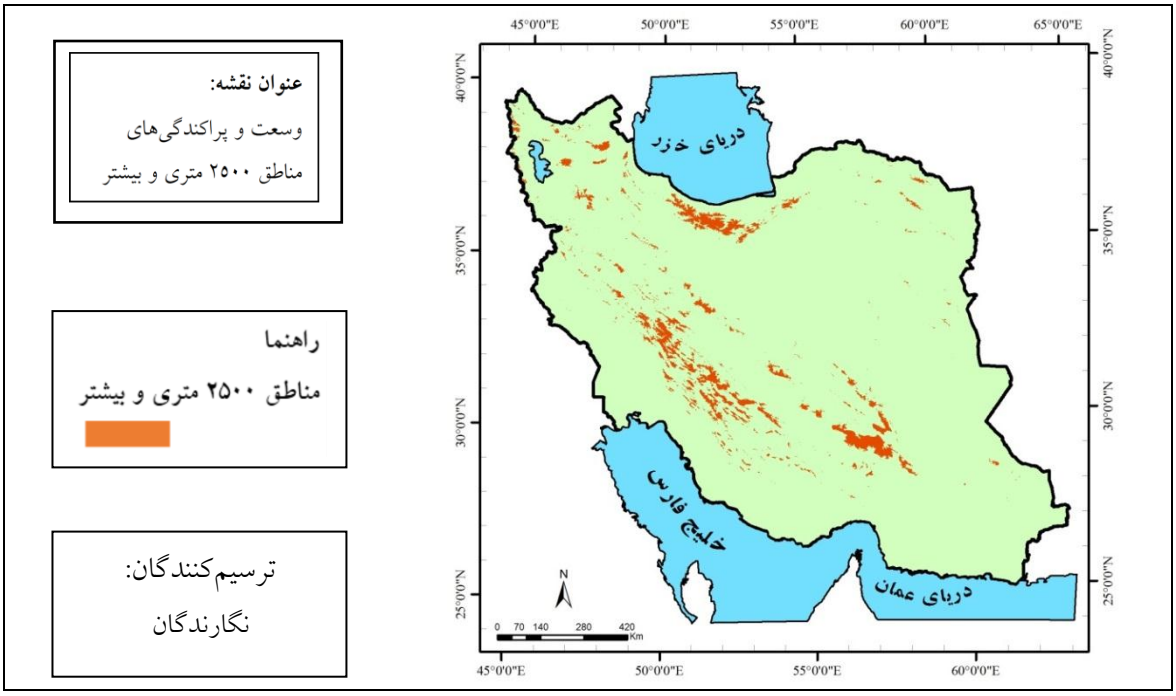
تأثیر تغییر دمای متوسط سالیانهٔ ایران در چند دههٔ آتی بر سرمایهٔ آبی در پهنهٔ سرزمینی ایران

حال اگر ظرفیت نگهداشت محیطی ایران را در ۵ دههٔ آینده براساس سناریوی گرمایش زمین برآورد کنیم، در مقایسهٔ تأثیر این پدیده با وضعیت فعلی سرمایه‌های آبی، میزان آسیب‌پذیری ایران در حوزهٔ ظرفیت نگهداشت محیطی آب به دست می‌آید. آمار و برآوردهای اقلیمی از مواجههٔ ایران با افزایش میزان متوسط دما در چند دههٔ آینده خبر می‌دهد و همین بررسی‌ها علت این امر را به افزایش کمینهٔ دمای شبانه نسبت داده است (کاویانی و عساکره، ۱۳۸۰: ۱۹، مسعودیان، ۱۳۸۳: ۸۹، مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸٦: ۱۷۹، عطایی و فنایی، ۱۳۹۲: ۱٦۷). این برآوردهای اقلیمی ارقام متفاوتی را ارائه می‌دهند، ولی به طور کلی در خوش‌بینانه‌ترین حالت افزایش ۳ تا ۳/۵ درجه دما برای پنجاه سال آینده پذیرفتنی است. این افزایش در ایران با توجه به میزان متوسط افت آهنگ دما بدین معناست که ظرفیت ذخیرهٔ آبی محیط (بارش‌های جامد) از ارتفاع ۲۵۰۰ متر به ۲۹۰۰ متر تغییر خواهد یافت[1] و به بیان دیگر ظرفیت تولید یخ، تضمینی برای ماندگاری آب در محیط، از ٦۲۰۰۰ کیلومتر مربع فعلی به ۱۷۵۰۰ کیلومتر مربع کاهش خواهد یافت[2]؛ به این

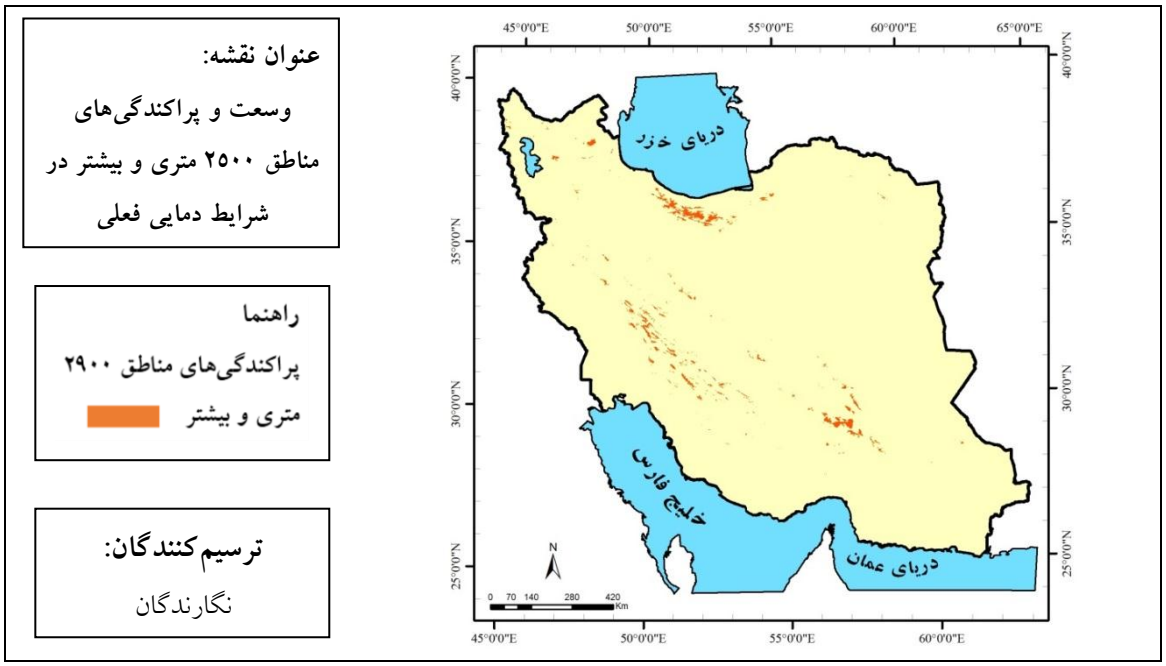
[1] با این فرض که میزان بارش در پنج دههٔ آینده تغییر چشمگیری نداشته باشد.

[2] نقشه‌ها با استفاده از DEM ۹۰ متری ایران سازمان فضایی کشور تهیه شده است.

ترتیب قطعا میزان ظرفیت ذخیره‌سازی طبیعی آب در پهنهٔ سرزمینی ایران در برابر افزایش دما تا یک‌سوم فعلی کاهش خواهد یافت (شکل ٤ و ٥).



شکل ٤. وسعت و پراکندگی‌های مناطق ۲۵۰۰ متری و بیشتر در شرایط دمایی فعلی (مناطق یخ‌ساز فعلی)



شکل ٥. وسعت و پراکندگی‌های مناطق ۲۹۰۰ متری و بیشتر با افزایش متوسط ۳ درجه‌ای دمای آیندهٔ ایران (مناطق یخ‌ساز آینده)

با پذیرفتن سناریوی ۳ درجه افزایش دمای ایران وضعیت بارش جامد در ایران تغییرات عمده‌ای از خود نشان می‌دهد؛ به طوری که وضعیت بارش جامد در قلمرو مدیترانه‌ای – خزری با تغییر ارتفاع از ۲۵۰۰ متر به ۲۹۰۰ متر حجم بارش جامد از ۱۶ میلیارد متر مکعب در سال به ۵ میلیارد متر مکعب کاهش خواهد یافت و به بیانی از ۲۴۰ میلیارد متر مکعب آب دریافتی این قلمرو فقط ۲/۱ درصد آن به یخ تبدیل می‌شود.

در قلمرو سودانی – خلیج فارس نیز به این صورت است که از حجم بارش جامد آنکه معادل ۱۴ میلیارد متر مکعب است و ۹/۲ درصد بارش این قلمرو را تشکیل می‌دهد، این تغییر ارتفاع خط برف از ۲۵۰۰ متر به ۲۹۰۰ متر حجم بارش جامد را به ۶ میلیارد متر مکعب کاهش می‌دهد که معادل ۴ درصد ۱۵۲ میلیارد متر مکعب قلمرو است (جدول ۳). این یافته‌ها حاکی است ضریب پایداری محیطی آب به‌دست‌آمده از بارش‌های سودانی– خلیج فارس بیش از ضریب پایداری منابع آبی ناشی از سامانه‌های مدیترانه‌ای– خزری تغییر خواهد کرد و از پدیدهٔ گرمایش زمین تأثیر خواهد پذیرفت و از آنجایی که سامانه‌های سودانی– خلیج فارس بیشترین آب مناطق مرکزی ایران را تأمین می‌کنند، جمعیت ساکن در ایران مرکزی با مخاطرهٔ جدی‌تری روبرو خواهد بود.

جدول ۳. وضعیت ضریب نگهداشت آب در سامانه‌های جوّی ایران در حالت افزایش ۳ درجه‌ای متوسط دمای ایران

قلمرو	مساحت کل (S)	بارش دریافتی (P)	یخ تولیدی (G)	G/S	P/S	P/G
	کیلومتر مربع	میلیارد متر مکعب	میلیارد متر مکعب	متر	متر	%
مدیترانه‌ای – خزری	۹۰۰۰۰۰	۲۴۰	۵	۵۵۵۰	۲۶۷۰۰۰	۲/۱
سودانی – خلیج فارس	۵۵۰۰۰۰	۱۵۲	۶	۱۱۰۰۰	۲۷۶۰۰۰	۴
موسمی – عمانی	۱۸۰۰۰۰	۲۲/۵	–	–	–	–

اگر اعداد ستون آخر جداول یک و دو با یکدیگر مقایسه شود، درخواهیم یافت گرمایش زمین بر قلمرو سامانه‌های جوّی یکسان تأثیر نمی‌گذارد و در حالی که تأثیرات گرمایش زمین برای سامانه‌های عمانی – موسمی تقریباً قابل چشم‌پوشی است، بر قلمروهای دیگر سامانه‌های جوّی (خزری و سودانی) هم یکسان نیست و تفاوت فاحشی را نشان می‌دهد. در این رهگذر بیشترین تأثیر گرمایش بر سامانهٔ سودانی است؛ به طوری که گرمایش جهانی ظرفیت یخ‌سازی را از ۹/۲ به ۴ درصد و همین میزان افزایش دما بر قلمرو سامانهٔ خزری ظرفیت نگهداری آبی را از ۶/۷ به ۲/۱ درصد کاهش خواهد داد و در قلمرو موسمی – عمانی به دلیل آنکه در حال حاضر هم بارش جامد زیادی دریافت نمی‌کند، آسیب چندانی از گرمایش جهانی متوجه آن نخواهد بود.

نتیجه‌گیری

برمبنای تصویر اقلیمی آینده‌ای که برای ایران داده می‌شود، در دهه‌های آینده با فرض آنکه میزان بارش تغییر نکند، ایران با کاهش شدید ظرفیت ذخیرهٔ طبیعی آب بیش از زمان حال روبرو خواهد بود؛ از این رو با توجه به تحلیل‌های بیان‌شده در متن بیشترین آسیب متوجه مناطقی است که مساحت ارتفاعات ۲۹۰۰ متری کمتری خواهند داشت و در این رهگذر قلمرو

سودانی - خلیج فارس بیشترین آسیب را از نظر ظرفیت نگهداری آب در محیط متحمل خواهد شد.

سوابق تاریخی نیز نشان می‌دهد در دوره‌های خشک‌تر از امروز جمعیت بخش‌هایی از ایران مرکزی دست به مهاجرت‌های دسته‌جمعی زده‌اند و به نواحی کلکتهٔ هندوستان رفته‌اند و ده‌ها شهر تدفین‌شده در زیر شن‌های روان در این ناحیه همه حکایت از وقوع چنین حوادثی در ایران داشته است. در بخش‌های فارس و لامرد در برابر چنین خشکسالی‌های طولانی نیز مهاجرت‌های عمومی به سمت زنگبار آفریقا، شاهدی بر این مدعاست. در این میان راهبردهای تاریخی مدیریت منابع آب ایران نشان می‌دهد در برابر دو مسئلهٔ کمبود و کیفیت آب، یک راهبرد یا الگوی خاص دنبال نمی‌شده است. در ایران مرکزی سیاست ذخیره‌سازی در مسیر روان‌آب‌ها، انبارکردن آب در سازه‌های دست‌ساز مسقف، انبارکردن آب در سفره‌های طبیعی زیرزمینی (آبگورها) و تکنیک استخراج تعادلی (قنات)، محور اصلی راهبرد مدیریت منابع آبی در این ناحیه بوده است. این راهبردها در قلمرو خزری به ذخیره‌سازی روباز آب در آب‌بندها و در جنوب ایران به ایجاد آب‌انبارهای سرپوشیده و در جنوب شرق کشور به ایجاد هوتک‌ها و خوشآب‌ها و در مناطق کوهستانی و مرتفع به انبار آب در استخرهای دست‌ساز خلاصه شده است. هریک از این روش‌ها خود سازمان مدیریتی و فنی در معماری و فن سازه‌ای، مدیریت حفاظت از سازه‌ها و مدیریت نحوهٔ بهره‌برداری از آنها داشته است؛ برای نمونه در سازهٔ آب‌انبارها معماران خاصی با اسلوب ویژهٔ خود، آب‌انبارها و یخچال‌ها را در چند تیپ و الگوی خاص طراحی و اجرا می‌کرده‌اند و مسائلی مانند عمق دسترسی در آب‌انبار، تعیین موقعیت و تدارک مخزن‌ها به گونه‌ای که امکان بهره‌مندی از روان‌آب‌های فصلی وجود داشته باشد، مسئلهٔ کنترل تبخیر و تهویه و گندزدایی این سازه‌ها در صدر اصول کاری آنها قرار داشته است. از سوی دیگر سازمان مدیریتی خاصی برای حفاظت و مراقبت دوره‌ای از سازه‌ها و کنترل کیفیت آب آب‌انبارها با روش‌های شیمیایی و حیاتی وجود داشته و از همه مهم‌تر برای تأمین منابع مالی، آموزش‌های نقلی با کدهای ارزشی (وقف و...) در سطح عام صورت می‌گرفته است.

نگاهی گذرا به پهنهٔ ایران نشان می‌دهد مردم ایران با توجه به تجربهٔ تاریخی خود راهبرد ذخیره‌سازی را به‌منزلهٔ اصلی کلی با الگوهای مختلف و گوناگون برگزیده‌اند و این بدان معناست که دردسترس‌نبودن پیوستهٔ آب برای آنها، مسئله‌ای عمومی بوده است.

با توجه به توسعهٔ روزافزون سرانهٔ مصرف آب و جمعیت در این ناحیه از کشور، نظریهٔ Cadillac desert[1] دربارهٔ ایران صدق نمی‌کند و فقط می‌توان سیاست‌های راهبردی مدیریت آب را دربارهٔ تنوع الگوهای ذخیره‌سازی آب با تأمل بیشتر در تجارب تاریخی نواحی مختلف ایران تدوین کرد.

منابع

عطایی، هوشمند، فنایی، راضیه، (۱۳۹۲). **بررسی روند تغییرات زمانی - مکانی دمای شبانهٔ استان اصفهان**، فصلنامهٔ پژوهش‌های جغرافیایی، دورهٔ ۲۸، شمارهٔ ٤، ۱۸۲-۱٦۷.

[1] این نظریه‌ای است که ذخیره‌سازی آب در الگوی سدسازی نتایج زیان‌بار محیطی به‌دنبال دارد و دربارهٔ آن باید بازنگری شود.

فرج‌زادهٔ اصل، منوچهر، کریمی احمدآبادی، مصطفی، قائمی، هوشنگ و مباشری، محمدرضا، (۱۳۸۸). **چگونگی انتقال رطوبت در بارش زمستانهٔ غرب ایران (مطالعهٔ موردی: بارش ۳-۷ ژانویهٔ ۱۹۹۶)**، فصلنامهٔ مدرس علوم انسانی، دورهٔ ۱۳، شمارهٔ ۱، ۲۱۷-۱۳۹.

کاویانی، محمدرضا و عساکره، حسین، (۱۳۸۰). **بررسی و مدل‌سازی روند دما طی سدهٔ گذشته (مطالعهٔ موردی: ایستگاه جاسک)**، مجلهٔ علمی‌پژوهشی دانشکدهٔ علوم انسانی دانشگاه اصفهان، دورهٔ ۲، شمارهٔ ۲۶ و ۲۷، ۳۸-۱۹.

کریمی، مصطفی و فرج‌زاده، منوچهر، (۱۳۹۰). **شار رطوبتی و الگوهای فضایی- زمانی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران**، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیا، دورهٔ ۱۹، شمارهٔ ۲۲، ۱۲۷-۱۰۹.

لشکری، حسن، (۱۳۸۱). **مسیریابی سامانه‌های کم‌فشار سودانی ورودی به ایران**، مدرس علوم انسانی، دورهٔ ٦، شمارهٔ ۲، ۱۵٦-۱۳۳.

لشکری، حسن، (۱۳۸۲). **مکانیسم تکوین و تقویت و توسعهٔ مرکز کم‌فشار سودان و نقش آن بر روی بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران**، پژوهش‌های جغرافیایی، دورهٔ ٦، شمارهٔ ٤٦، ۱۸-۱.

لشکری، حسن، قائمی، هوشنگ و پرک، فاطمه، (۱۳۹۲). **تحلیل رژیم بارندگی منطقهٔ جنوب و جنوب غرب کشور**، سپهر، دورهٔ ۲۵، شمارهٔ ۸۵، ۶۳-۵۷.

محمدی، بختیار، (۱۳۸۸). **تحلیل همدید بارش‌های ابرسنگین ایران**، پایان‌نامهٔ دکتری اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، استاد راهنما: مسعودیان، سید ابوالفضل و کاویانی، محمدرضا، دانشگاه اصفهان، دانشکدهٔ ادبیات.

مسعودیان، ابوالفضل، (۱۳۸۳). **بررسی روند دمای ایران در نیم سدهٔ گذشته**، جغرافیا و توسعه، دورهٔ ۱۸، شمارهٔ ۳، ۱۰٦-۸۹.

مسعودیان، سید ابوالفضل و کاویانی، محمدرضا، (۱۳۸٦). **اقلیم‌شناسی ایران**، جلد اول، چاپ اول، اصفهان، انتشارات دانشگاه اصفهان، ۱۷۹.

مسعودیان، سید ابوالفضل و جعفری شندی، فاطمه، (۱۳۹۳). **بررسی رابطهٔ سامانه‌های همدید مؤثر در بارش‌های سنگین پهنهٔ کم‌بارش شمالی ایران**، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دورهٔ ۱۸، شمارهٔ ۵۰، ۳۰۵-۳۳۱.

مسعودیان، سید ابوالفضل و کارساز، سکینه، (۱۳۹۳). **تحلیل همدید الگوهای ضخامت بارش‌های سنگین ناحیهٔ زاگرس جنوبی**، جغرافیا و توسعه، دورهٔ ۱٤، شمارهٔ ۳۷، ۲۸-۱۵.

مفیدی، عباس، (۱۳۸۳). **اقلیم‌شناسی سینوپتیکی بارش‌های سیل‌زا با منشأ منطقهٔ دریای سرخ در خاورمیانه**، تحقیقات جغرافیایی، دورهٔ ۲۳، شمارهٔ ۷۵، ۹۳-۷۱.

مفیدی، عباس و زرین، آذر، (۱۳۸٤). **بررسی سینوپتیک تأثیر سامانه‌های کم‌فشاری سودانی**

در وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران، تحقیقات جغرافیایی، دورهٔ ۲۰، شمارهٔ ۷۷، ۱۳٦-۱۱۳.

موحدی، سعید، عساکره، حسین، سبزی‌پرور، علی‌اکبر، مسعودیان، ابوالفضل و مریانجی، زهره، (۱۳۹۰). **بررسی تغییرپذیری رژیم بارش در ایران**، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دورهٔ ۲۵، شمارهٔ ٦، ۱٤٤۷- ۱٤۳٤.

یوسفی، علی، خلیلیان، صادق و بلالی، حسن، (۱۳۹۰). **بررسی اهمیت راهبردی منابع آب در اقتصاد ایران با استفاده از الگوی تعادل عمومی**، نشریهٔ اقتصاد و توسعهٔ کشاورزی، دورهٔ ۲۵، شمارهٔ ۱، ۱۲۰-۱۰۹.

یمانی، مجتبی، (۱۳۹۲). **سیکلون حرارتی لوت و تأثیر آن در لندفرم‌های بادی**، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دورهٔ ۲۵، شمارهٔ ۱، ۱٤۰-۱۲۱.

Clark, T. S., (2003). **Regional Climate Change: Trends Analysis of Temperature and Precipitation Series at Canadian Sites**, Canadian Journal of Agricultural Economics, 48 (1), 27-38.

Evans, J., R. Smith, and R. Oglesby., (2003). **Precipitation processes in the Middle East, Proceedings International Congress on Modeling and Simulation**, MODSIM03, D. Post (ed.) Jupiter's Hotel and Casino, Townsville, Australia, 14-17.

Hamzeh, M. A., M. H., Mahmudy Gharaie, H., Alizadeh Ketek Lahijani, M. Djamali, R. Moussavi Harami, and A. Naderi Beni., (2016). **Holocene hydrological changes in SE Iran, a key region between Indian Summer Monsoon and Mediterranean winter precipitation zones, as revealed from a lacustrine sequence from Lake Hamoun**, Quaternary International,1-7.

Marc Reisner., (2013). Penguin Books. 582p

Smith, R., J. Evans, and R. Oglesby., (2003). **Mountain Precipitation and Hydrology in the Middle East, International Conference Alpine Meteorology**, Brig, Switzerland, May 19-23.

Tabari, H., A. AghaKouchak, and P. Willems., (2014). **A perturbation approach for assessing trends in precipitation extremes across Iran**, Journal of Hydrology, 519, 1420-1427.

Xu, X. D., Q. Miao, J. Wang, and X. Zhang., (2003). **The water vapor transport model at the regional boundary during the meiyu period**, Advances in Atmospheric Science, 20 (3), 333-342.

Yaghmaei, L., S. Soltania, and M. Khodagholi., (2009). **Bioclimatic classification of Isfahan province using multivariate statistical methods**, International Journal of Climatology, 29, 1850–1861.