

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



**دانشکده مهندسی عمران**

**پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی**

**بررسی اثر مدل های چرخش عمومی هوا (AOGCM) بر چگونگی تخصیص منابع آب  
(مطالعه موردی: حوضه لتیان)**

**نگارنده: نگار قاسمی**

اساتید راهنما:

**دکتر احمد احمدی**

**دکتر سعید گلیان**

استاد مشاور:

**مهندس پژمان یآوری**

**شهریور ۱۳۹۵**

دانشگاه صنعتی شاهرود  
دانشکده مهندسی عمران  
گروه مهندسی آب و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم نگار قاسمی  
تحت عنوان: بررسی اثر مدل های چرخش عمومی هوا (AOGCM) بر چگونگی تخصیص  
منابع آب  
(مطالعه موردی: حوضه لتیان)

در تاریخ ۱۳۹۵/۰۶/۱۳ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و  
با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

| امضاء | استاد مشاور                                 | امضاء | استاد راهنما                             |
|-------|---------------------------------------------|-------|------------------------------------------|
|       | نام و نام خانوادگی:<br>مهندس پژمان<br>یاوری |       | نام و نام خانوادگی:<br>دکتر احمد احمدی   |
|       |                                             |       | نام و نام خانوادگی:<br>دکتر سعید گلپایان |

| امضاء | نماینده تحصیلات<br>تکمیلی            | امضاء | اساتید داور                              |
|-------|--------------------------------------|-------|------------------------------------------|
|       | نام و نام خانوادگی:<br>دکتر مهدی گلی |       | نام و نام خانوادگی:<br>دکتر رامین امینی  |
|       |                                      |       | نام و نام خانوادگی:<br>دکتر ایمان آقایان |

تقدیم بہ آنان کہ:

باہستی خویش، راہ را برایم کشوند...

پدرم، برپاس دست ہائش کہ فریاد رس است و نومیدی در پناہش بہ امید می گراید

مادرم، برپاس مہرش کہ عشق را در وجودم پروراند و داناش سجدہ گاہ مہربانی است

ہم سرم کہ خورشید محبتش را غروب نمیست...

## تقدیم پاس

پاس خدایی را که به قلم جان داد تا نوشتن بیاموزم، پاس پدری را که سایه بلندش را استوار داشت، پاس مادری را که آغوش پر مهرش را دینِ نداشت و پاس استادی را که مرابنده خویش ساخت.

امروز که بر شانه گذشتگان ایستاده ام و به افق های دانش می نگریم، بر خود واجب می دانم تا از زحمات تمامی عزیزانی که مراد عرصه علم آموزی یاری نمودند تقدیر کنم. ارادت خالصانه من تقدیم به اساتید گران قدرم جناب آقایان دکتر سعید گلیمان و مهندس پیرمان یآوری که برادرانه و دلسوزانه، نمود هایشان چراغ روشنی در مسیر این پژوهش بود. از سایر اساتید محترم گروه مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود از جمله جناب آقای دکتر احمد احمدی و جناب آقای دکتر سعید فضل الله ساغروانی که علی رغم کمبودها و دشواری های موجود، طی دوران تحصیل این جانب زحمات زیادی جهت ارتقاء سطح علمی دانشجویان این دانشکده کشیدند و از اساتید فرزانه و دلسوز؛ آقایان دکتر رامین امینی و دکتر ایمان آقایان که زحمات داورانی این پایان نامه را متقبل شدند؛ با تقدیر از ناینده محترم تحصیلات تکمیلی، جناب آقای دکتر مهدی گلکی که با انگیزایی این مسوولیت را پذیرفتند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم و در نهایت برای تمامی این عزیزان آرزوی تندرستی و توفیق الهی را از درگاه باری تعالی استدعی، بسم.

محار قاسمی

۱۳۹۵/۰۶/۱۳

# تعهدنامه

اینجانب **نگار قاسمی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی عمران - آب و سازه‌های هیدرولیکی** دانشکده **مهندسی عمران** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **بررسی اثر مدل‌های چرخش عمومی هوا (AOGCM) بر چگونگی تخصیص در حوضه لتیان** تحت راهنمایی **دکتر سعید گلیان** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.

- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج بانام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (بافته‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

## مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.



## چکیده:

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن جاری است. بنا بر اهمیتی که تغییر اقلیم بر ساختار محیطی کره زمین و ساکنان آن داشته است، تلاش به‌منظور شناخت هرچه بیش‌تر چگونگی رخدادهای اقلیمی امری مسلم و ضروری است. در این تحقیق، با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی حوضه حوضه آبریز لتیان بررسی شده است. به این منظور با به‌کارگیری مدل مولد اقلیمی SDSM، خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی هوا HadCM3 و Canesm2 برای داده‌های اقلیمی تحت سناریوهای A2 و B2 برای مدل HadCM3 و سناریوهای Rcp2.6 و Rcp8.5 برای مدل Canesm2 در دوره‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ ریزمقیاس شد. بر خلاف دما که در هر دو مدل افزایش را نشان می‌داد، متوسط سالانه‌ی رواناب در مدل Canesm2 افزایش و در مدل HadCM3 کاهش نشان می‌دهد. حداکثر افزایش در میانگین دمای بیشینه تا سال ۲۱۰۰ برابر با  $3/8$  درجه سانتی‌گراد در ماه اکتبر برای مدل Canesm2 می‌باشد. طی بدبینانه‌ترین حالت در سناریوی بدبینانه‌ی A2 در افق آینده دور شاهد کاهش ۲۱ میلیون مترمکعبی حجم رواناب سالانه نسبت به دوره‌ی پایه هستیم. در این پژوهش به‌منظور شبیه‌سازی شرایط بهره‌برداری از مخزن سد لتیان تحت تأثیرات تغییر اقلیم با کمک مدل WEAP روش بهره‌برداری واقعی در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی با فرض تغییر منابع تأمین و همچنین تغییر میزان تقاضا حاکی از کاهش متوسط درصد تأمین سالانه همه‌ی تقاضاها با افزایش افق‌های زمانی می‌باشد به طوری که در سناریوی بدبینانه‌ی A2 شدیدترین تغییرات اتفاق افتاده است. درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در همه‌ی سناریوها و افق‌های زمانی تقریباً صفر است و در ماه می فقط در افق آینده‌ی نزدیک به بالاترین سطح خود و حدود ۶۰٪ می‌رسد که به‌خوبی گویای اثر افق‌های زمانی مختلف به روی ذخیره مخزن و متعاقب آن تأمین تقاضا می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، HadCM3، Canesm2، SDSM، HEC-HMS، تخصیص منابع آب، WEAP



## لیست مقالات:

- قاسمی، ن.، گلیان، س.، یاوری، پ.، " شبیه سازی فرآیند بارش-رواناب در حوضه آبریز لتیان با استفاده از مدل HEC-HMS با روش تلفات SMA"، کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، ۷ خرداد ۱۳۹۵، تهران.
- قاسمی، ن.، گلیان، س.، یاوری، پ.، " بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص های اقلیمی با استفاده از مدل اقلیمی Canesm2"، دومین همایش ملی پژوهش های مهندسی عمران، ۲۸ مرداد ۱۳۹۵، تهران.

## فهرست مطالب

### فصل اول (مقدمه و کلیات) ..... ۱

۱-۱- مقدمه ..... ۲

۱-۲- ضرورت تحقیق ..... ۳

۱-۳- اهداف تحقیق ..... ۴

۱-۴- سوال‌های عمده تحقیق ..... ۵

۱-۵- مروری اجمالی بر مراحل انجام تحقیق ..... ۶

۱-۶- تفاوت و نوآوری‌های تحقیق ..... ۶

۱-۷- معرفی فصل‌های پایان‌نامه ..... ۶

### فصل دوم (مروری بر تحقیقات گذشته) ..... ۹

۲-۱- مقدمه ..... ۱۰

۲-۲- بررسی تأثیرات تغییر اقلیم ..... ۱۱

۲-۳- ریزمقیاس‌نمایی و مطالعات مرتبط ..... ۱۳

۲-۴- مدل بارش - رواناب HEC-HMS ..... ۱۷

۲-۵- مطالعه مدیریت منابع آب و یافتن الگوی تخصیص ..... ۲۰

### فصل سوم (داده‌ها و روش تحقیق) ..... ۲۵

۳-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه ..... ۲۶

۳-۲- تغییر اقلیم و اثرات آن ..... ۳۲

|    |                                                         |
|----|---------------------------------------------------------|
| ۳۲ | ..... AOGCM مدل‌های ۱-۲-۳                               |
| ۳۳ | ..... سناریوهای انتشار ۲-۲-۳                            |
| ۳۷ | ..... تئوری مدل‌ها و روش‌های مورد استفاده ۳-۳           |
| ۳۸ | ..... ریزمقیاس نمایی خروجی‌های مدل گردش عمومی هوا ۱-۳-۳ |
| ۳۹ | ..... SDSM 4.2.9 ساختار مدل ۲-۳-۳                       |
| ۴۳ | ..... بررسی کار آبی روش ریزمقیاس نمایی ۳-۳-۳            |
| ۴۴ | ..... مدل هیدرولوژی ۴-۳-۳                               |
| ۴۵ | ..... HEC-HMS معرفی مدل ۱-۴-۳-۳                         |
| ۴۶ | ..... قابلیت‌های مدل ۲-۴-۳-۳                            |
| ۴۷ | ..... HEC-HMS فرآیند مدل‌سازی هیدرولوژیکی در ۳-۴-۳-۳    |
| ۵۰ | ..... HEC-HMS ورودی مدل ۴-۴-۳-۳                         |
| ۵۱ | ..... واسنجی مدل و بهینه‌سازی نتایج ۵-۳-۳               |
| ۵۳ | ..... معرفی معیارهای کارایی و ارزیابی مدل ۶-۳-۳         |
| ۵۵ | ..... تخصیص منابع آب ۷-۳-۳                              |
| ۵۶ | ..... WEAP تشریح مدل ۱-۷-۳-۳                            |
| ۵۷ | ..... الگوریتم محاسباتی ۲-۷-۳-۳                         |
| ۵۸ | ..... WEAP رویکرد ۳-۷-۳-۳                               |

## فصل چهارم) نتایج ..... ۵۹

|    |                                       |
|----|---------------------------------------|
| ۶۰ | ..... مقدمه ۱-۴                       |
| ۶۰ | ..... بررسی اطلاعات اقلیمی منطقه ۲-۴  |
| ۶۲ | ..... بررسی تغییرات دمای حداکثر ۱-۲-۴ |
| ۶۶ | ..... بررسی تغییرات دمای حداقل ۲-۲-۴  |
| ۷۱ | ..... HEC-HMS استفاده از مدل ۳-۴      |

|     |                                                                                         |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| ۷۱  | ۴-۳-۱ - انتخاب دوره آماری و اجرای مدل                                                   |
| ۷۱  | ۴-۳-۱-۱ - واسنجی مدل                                                                    |
| ۷۳  | ۴-۳-۱-۲ - ارزیابی مدل                                                                   |
| ۷۵  | ۴-۳-۱-۳ - نتایج حاصل از تعیین مقادیر شاخص‌های کارایی مدل برای دوره‌های واسنجی و ارزیابی |
| ۷۵  | ۴-۳-۲ - شبیه‌سازی رواناب تحت تأثیر تغییر اقلیم                                          |
| ۸۱  | ۴-۴ - تخصیص منابع آب تحت تأثیر تغییر اقلیم                                              |
| ۸۳  | ۴-۴-۱ - شبیه‌سازی با فرض ثابت بودن منابع تأمین و متغیر بودن میزان تقاضا                 |
| ۸۴  | ۴-۴-۱-۱ - درصد تأمین نیازهای منطقه                                                      |
| ۸۷  | ۴-۴-۱-۲ - تغییرات ذخیره‌ی مخزن سد لتیان                                                 |
| ۸۸  | ۴-۴-۲ - شبیه‌سازی با فرض تغییر منابع تأمین و ثابت بودن میزان تقاضا                      |
| ۸۹  | ۴-۴-۲-۱ - درصد تأمین نیازهای منطقه                                                      |
| ۹۳  | ۴-۴-۲-۲ - تغییرات ذخیره‌ی مخزن سد لتیان                                                 |
| ۹۵  | ۴-۴-۳ - شبیه‌سازی با فرض تغییر منابع تأمین و همچنین تغییر میزان تقاضا                   |
| ۹۶  | ۴-۴-۳-۱ - درصد تأمین نیازهای منطقه                                                      |
| ۹۹  | ۴-۴-۳-۲ - تغییرات ذخیره‌ی مخزن سد لتیان                                                 |
| ۱۰۲ | ۴-۵ - جمع‌بندی                                                                          |

## فصل پنجم) نتیجه‌گیری و پیشنهادها ..... ۱۰۳

|     |                                             |
|-----|---------------------------------------------|
| ۱۰۴ | ۵-۱ - مقدمه                                 |
| ۱۰۴ | ۵-۲ - بحث پیرامون نتایج حاصل از تحقیق       |
| ۱۰۴ | ۵-۲-۱ - نتایج مربوط به تغییر اقلیم          |
| ۱۰۵ | ۵-۲-۲ - نتایج مربوط به مدل‌سازی بارش-رواناب |
| ۱۰۵ | ۵-۲-۳ - نتایج مربوط به تخصیص منابع آب       |

۵-۳- نتیجه گیری ..... ۱۰۸

۵-۴- پیشنهادها ..... ۱۰۹

**فهرست منابع ..... ۱۱۱**

**پیوست ..... ۱۲۳**

**پیوست الف- نتایج کامل تغییر اقلیم ..... ۱۲۴**

الف -۱- بررسی تغییرات دمای حداکثر ..... ۱۲۴

الف -۲- بررسی تغییرات دمای حداقل ..... ۱۲۸

**پیوست ب- نتایج کامل تخصیص منابع آب ..... ۱۳۲**

ب -۱- شبیه سازی با فرض ثابت بودن منابع تأمین و متغیر بودن میزان تقاضا ..... ۱۳۲

ب -۲- شبیه سازی با فرض تغییر منابع تأمین و ثابت بودن میزان تقاضا ..... ۱۳۴

ب -۳- شبیه سازی با فرض تغییر منابع تأمین و همچنین تغییر میزان تقاضا ..... ۱۳۹

## **فهرست اشکال**

شکل (۳-۱)- جایگاه حوضه لتیان در ایران و نقشه توپوگرافی زیر حوضه بالادست ایستگاه رودک ..... ۲۷

شکل (۳-۲)- نقشه شیب حوضه لتیان ..... ۲۷

شکل (۳-۳)- نقشه کاربری اراضی حوضه لتیان ..... ۲۸

شکل (۳-۴)- نقشه بافت خاک حوضه لتیان ..... ۲۹

شکل (۳-۵)- پیکربندی سیستم منابع و مصارف سد لتیان ..... ۳۰

شکل (۳-۶)- نقشه ی موقعیت ایستگاه های مورد استفاده در داخل حوضه آبریز لتیان ..... ۳۱

- شکل (۷-۳) - مراحل فرآیند ریزمقیاس نمایی توسط مدل SDSM ..... ۴۲
- شکل (۸-۳) - فلوجارت روند انجام تحقیق و آماده سازی مدل HEC-HMS ..... ۴۷
- شکل (۱-۴) - مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی RCP2.6 ..... ۶۳
- شکل (۲-۴) - مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی RCP8.5 ..... ۶۳
- شکل (۳-۴) - مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی A2 ..... ۶۴
- شکل (۴-۴) - مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی B2 ..... ۶۴
- شکل (۵-۴) - مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه بین سناریوهای RCP8.5 و A2 در افق زمانی آینده نزدیک ..... ۶۵
- شکل (۶-۴) - مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه بین سناریوهای RCP8.5 و A2 در افق زمانی آینده دور ..... ۶۶
- شکل (۷-۴) - مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی RCP2.6 ..... ۶۷
- شکل (۸-۴) - مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی RCP8.5 ..... ۶۷
- شکل (۹-۴) - مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی A2 ..... ۶۸
- شکل (۱۰-۴) - مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی B2 ..... ۶۸
- شکل (۱۱-۴) - مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه بین سناریوهای RCP8.5 و A2 در افق زمانی آینده نزدیک ..... ۶۹
- شکل (۱۲-۴) - مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه بین سناریوهای RCP8.5 و A2 در افق زمانی آینده دور ..... ۷۰
- شکل (۱۳-۴) - مقایسه جریان مشاهده ای و شبیه سازی شده روزانه حوضه لتیان در دوره واسنجی ..... ۷۲
- شکل (۱۴-۴) - مقایسه بین جریان مشاهده ای و شبیه سازی شده ماهانه حوضه لتیان در دوره واسنجی ..... ۷۳
- شکل (۱۵-۴) - مقایسه بین جریان مشاهده ای و شبیه سازی شده روزانه حوضه لتیان در دوره ارزیابی ..... ۷۴
- شکل (۱۶-۴) - مقایسه بین جریان مشاهده ای و شبیه سازی شده ماهانه حوضه لتیان در دوره ارزیابی ..... ۷۴
- شکل (۱۷-۴) - متوسط آبدی سالانه حوضه لتیان با استفاده از مدل اقلیمی Canesm2 ..... ۷۸
- شکل (۱۸-۴) - متوسط آبدی سالانه حوضه لتیان با استفاده از مدل اقلیمی HadCM3 ..... ۷۹
- شکل (۱۹-۴) - متوسط آبدی ماهانه ایستگاه آب سنجی رودک در مدل Canesm2 ..... ۸۰
- شکل (۲۰-۴) - متوسط آبدی ماهانه ایستگاه آب سنجی رودک در مدل HadCM3 ..... ۸۰
- شکل (۲۱-۴) - نمای شماتیک بهره برداری از رودخانه ی جاجرود ..... ۸۲
- شکل (۲۲-۴) - درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای افق های زمانی مختلف ..... ۸۵
- شکل (۲۳-۴) - درصد متوسط سالانه ذخیره مخزن سد لتیان ..... ۸۷
- شکل (۲۴-۴) - درصد متوسط ماهانه ی ذخیره مخزن سد لتیان در افق های زمانی مختلف ..... ۸۸
- شکل (۲۵-۴) - درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار B2 ..... ۹۱
- شکل (۲۶-۴) - درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار A2 ..... ۹۱
- شکل (۲۷-۴) - درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار Rcp2.6 ..... ۹۱

- شکل (۴-۲۸) - درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار Rcp8.5 ..... ۹۲
- شکل (۴-۲۹) - درصد متوسط سالانه ذخیره مخزن سد لتیان ..... ۹۳
- شکل (۴-۳۰) - درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی B2 ..... ۹۴
- شکل (۴-۳۱) - درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی A2 ..... ۹۴
- شکل (۴-۳۲) - درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی Rcp2.6 ..... ۹۴
- شکل (۴-۳۳) - درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی Rcp8.5 ..... ۹۵
- شکل (۴-۳۴) - درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار B2 ..... ۹۷
- شکل (۴-۳۵) - درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار A2 ..... ۹۷
- شکل (۴-۳۶) - درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار Rcp2.6 ..... ۹۸
- شکل (۴-۳۷) - درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار Rcp8.5 ..... ۹۸
- شکل (۴-۳۸) - درصد متوسط سالانه ذخیره مخزن سد لتیان ..... ۱۰۰
- شکل (۴-۳۹) - درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی B2 ..... ۱۰۰
- شکل (۴-۴۰) - درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی A2 ..... ۱۰۰
- شکل (۴-۴۱) - درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی Rcp2.6 ..... ۱۰۱
- شکل (۴-۴۲) - درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی Rcp8.5 ..... ۱۰۱
- شکل (الف-۱) - مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی RCP2.6 ..... ۱۲۵
- شکل (الف-۲) - مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی RCP8.5 ..... ۱۲۵
- شکل (الف-۳) - مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی B2 ..... ۱۲۵
- شکل (الف-۴) - مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی A2 ..... ۱۲۶
- شکل (الف-۵) - مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی RCP2.6 ..... ۱۲۶
- شکل (الف-۶) - مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی RCP8.5 ..... ۱۲۷
- شکل (الف-۷) - مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی B2 ..... ۱۲۷
- شکل (الف-۸) - مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی A2 ..... ۱۲۷
- شکل (الف-۹) - مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی RCP2.6 ..... ۱۲۸
- شکل (الف-۱۰) - مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی RCP8.5 ..... ۱۲۹
- شکل (الف-۱۱) - مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی B2 ..... ۱۲۹
- شکل (الف-۱۲) - مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی A2 ..... ۱۲۹
- شکل (الف-۱۳) - مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی RCP2.6 ..... ۱۳۰
- شکل (الف-۱۴) - مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی RCP8.5 ..... ۱۳۰

- شکل (الف-۱۵)- مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی B2 ..... ۱۳۱
- شکل (الف-۱۶)- مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی A2 ..... ۱۳۱
- شکل (ب-۱)- درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای افق‌های زمانی مختلف ..... ۱۳۲
- شکل (ب-۲)- درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای افق‌های زمانی مختلف ..... ۱۳۳
- شکل (ب-۳)- درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای افق‌های زمانی مختلف ..... ۱۳۳
- شکل (ب-۴)- درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار B2 ..... ۱۳۴
- شکل (ب-۵)- درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار A2 ..... ۱۳۴
- شکل (ب-۶)- درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار Rcp2.6 ..... ۱۳۵
- شکل (ب-۷)- درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار Rcp8.5 ..... ۱۳۵
- شکل (ب-۸)- درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار B2 ..... ۱۳۶
- شکل (ب-۹)- درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار A2 ..... ۱۳۶
- شکل (ب-۱۰)- درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار Rcp2.6 ..... ۱۳۶
- شکل (ب-۱۱)- درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار Rcp8.5 ..... ۱۳۷
- شکل (ب-۱۲)- درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار B2 ..... ۱۳۷
- شکل (ب-۱۳)- درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار A2 ..... ۱۳۸
- شکل (ب-۱۴)- درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار Rcp2.6 ..... ۱۳۸
- شکل (ب-۱۵)- درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار Rcp8.5 ..... ۱۳۸
- شکل (ب-۱۶)- درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار B2 ..... ۱۳۹
- شکل (ب-۱۷)- درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار A2 ..... ۱۴۰
- شکل (ب-۱۸)- درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار Rcp2.6 ..... ۱۴۰
- شکل (ب-۱۹)- درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار Rcp8.5 ..... ۱۴۰
- شکل (ب-۲۰)- درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار B2 ..... ۱۴۱
- شکل (ب-۲۱)- درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار A2 ..... ۱۴۱
- شکل (ب-۲۲)- درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار Rcp2.6 ..... ۱۴۲
- شکل (ب-۲۳)- درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار Rcp8.5 ..... ۱۴۲
- شکل (ب-۲۴)- درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار B2 ..... ۱۴۳
- شکل (ب-۲۵)- درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار A2 ..... ۱۴۳
- شکل (ب-۲۶)- درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار Rcp2.6 ..... ۱۴۳
- شکل (ب-۲۷)- درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار Rcp8.5 ..... ۱۴۴



## فهرست جداول

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| جدول (۳-۱) - اطلاعات ایستگاه‌های مورد استفاده در حوضه لتیان .....                                | ۳۱ |
| جدول (۴-۱) - معیارهای ارزیابی مدل SDSM در هریک از ایستگاه‌ها در دوره‌ی پایه در مدل Canesm2 ..... | ۶۱ |
| جدول (۴-۲) - معیارهای ارزیابی مدل SDSM در هریک از ایستگاه‌ها در دوره‌ی پایه در مدل HadCM3 .....  | ۶۱ |
| جدول (۴-۳) - مقادیر کالیبره شده پارامترهای مدل SMA .....                                         | ۷۲ |
| جدول (۴-۴) - مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در دوره واسنجی و ارزیابی .....                           | ۷۵ |
| جدول (۴-۵) - میزان تقاضای هریک از مصرف‌کننده‌ها از رودخانه‌ی جاجرود در آینده‌ی نزدیک .....       | ۸۳ |
| جدول (۴-۶) - میزان تقاضای هریک از مصرف‌کننده‌ها از رودخانه‌ی جاجرود در آینده‌ی دور .....         | ۸۴ |
| جدول (۴-۷) - درصد تأمین متوسط سالانه برای افق‌های زمانی مختلف .....                              | ۸۴ |
| جدول (۴-۸) - اطمینان‌پذیری تأمین نیاز هریک از مصرف‌کننده‌های جریان رودخانه‌ی جاجرود .....        | ۸۶ |
| جدول (۴-۹) - میزان تقاضای هریک از مصرف‌کننده‌ها از رودخانه‌ی جاجرود .....                        | ۸۹ |
| جدول (۴-۱۰) - درصد تأمین متوسط سالانه برای سناریوها و افق‌های زمانی مختلف .....                  | ۹۰ |
| جدول (۴-۱۱) - اطمینان‌پذیری تأمین نیاز هریک از مصرف‌کننده‌های جریان رودخانه‌ی جاجرود .....       | ۹۲ |
| جدول (۴-۱۲) - درصد تأمین متوسط سالانه برای سناریوها و افق‌های زمانی مختلف .....                  | ۹۶ |
| جدول (۴-۱۳) - اطمینان‌پذیری تأمین نیاز هریک از مصرف‌کننده‌های جریان رودخانه‌ی جاجرود .....       | ۹۹ |



# فصل اول

## مقدمه و کلیات

تغییر اقلیم<sup>۱</sup> یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های در پیش روی بشر است (T. Spickett; et al; 2011). آب‌وهوای زمین بسیار متغیر و در دوره‌های گذشته با گرمایش و سرمایش‌های متداول همراه بوده است. بر اساس محاسبات هیئت بین‌الدول تغییر اقلیمی<sup>۲</sup> دمای جهانی از اوایل دوران صنعتی روندی رو به افزایش را داشته و به دلیل تغییر در میزان گازهای گلخانه‌ای دمای کره‌ی زمین به میزان ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد در فاصله سال‌های ۲۰۰۵ - ۱۹۰۶ افزایش داشته که نتیجه‌ی آن ذوب شدن یخچال‌های طبیعی و بالا آمدن سطح آب دریاها به میزان ۷۰ سانتی‌متر بوده است (فرج زاده، ۱۳۹۱). بر اساس مطالعات صورت گرفته، دمای کره زمین در سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۱۰۰ با افزایشی ۱/۴ تا ۵/۸ درجه‌ای (در مقیاس سلسیوس) مواجه خواهد شد (IPCC، 2001).

بدون شک در دوره‌های آتی، فعالیت‌های بشری از حد کنونی بیشتر می‌شود و به واسطه آن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر نیز افزایش خواهد یافت. این افزایش باعث تشدید تغییرات در متغیرهای اقلیمی کره‌ی زمین خواهد شد که در دوره‌های آتی می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر سامانه‌های مختلف، از جمله منابع آب و کشاورزی، بگذارد (آشفته و حداد، ۱۳۹۳ الف). یکی از پیامدهای گرم شدن هوای کره زمین، کاهش بارندگی و در نتیجه کاهش منابع آب شیرین بوده و پیامد دیگر آن افزایش تبخیر و تعرق گیاهان و افزایش مصارف موجودات زنده دیگر می‌باشد. نگاهی به میانگین بارش جهانی و محدود بودن منابع آب شیرین قابل استحصال از یک‌سو و افزایش جمعیت کره زمین از سوی دیگر اهمیت مدیریت آب‌های شیرین را نمایان می‌سازد (جلوس حقی، ۱۳۸۹). با توجه به نقش مهم مخازن در تأمین نیازهای آبی در بخش‌های مختلف مصرف، بهره‌برداری بهینه از این سامانه‌ها در شرایط تغییر اقلیم دارای اهمیت است (آشفته و حداد، ۱۳۹۳ ب).

---

<sup>۱</sup> - Climate Change

<sup>۲</sup> - IPCC

تغییر اقلیم بیشترین اثرات منفی خود را در کشورهای فقیر و در حال توسعه نشان می‌دهد، زیرا این کشورها در مقایسه با دیگر کشورها بیشتر در تعامل با آب و هوا هستند و حیات آن‌ها محدود به منابع طبیعی و کشاورزی است؛ از دیگر سو، ظرفیت انطباقی این کشورها با محیط طبیعی کمتر است (فرج زاده، ۱۳۹۱).

جهت برآورد میزان عرضه و تقاضای آب در دوره‌های آتی، مستلزم داشتن آگاهی و تسلط کافی بر دانش مدیریت منابع آب و به‌طور ویژه بحث تخصیص منابع است. به عبارت بهتر تخصیص منابع آب اولویت‌های مصرف در هر بخش از قبیل شرب، صنعت یا کشاورزی را به ما گوشزد می‌کند. در این راستا، استفاده از راهکارهای سودمند و مؤثر جهت کمک به یافتن تخصیص اصولی منابع آب در بین فعالیت‌های مختلف انسانی و شبیه‌سازی و بهینه‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری در امر اولویت‌بندی برای توسعه و استفاده پایدار از منابع آب و خاک موجود، امری ضروری به نظر می‌رسد (شوریان و موسوی، ۱۳۹۰).

#### ۱-۲- ضرورت تحقیق

گرم شدن زمین یکی از عوامل تهدیدکننده‌ی زندگی ما بر روی کره‌ی زمین تلقی می‌شود و نباید اثرات آن در درازمدت بر جنبه‌های مختلف حیات بشر نادیده گرفته شود. بسیاری از کشورهای واقع در خاورمیانه پدیده‌هایی نظیر افزایش دمای هوا، افت بارش، کاهش پوشش گیاهی و تعدد بیش‌تر طوفان‌های همراه با گردوغبار را در سال‌های اخیر به شکل کاملاً محسوسی مشاهده کرده‌اند. از جمله اثرات تغییر اقلیم می‌توان به مواردی چون افزایش روزهای گرم و جریان‌های هوای داغ که افزایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مرگومیر موجودات را به دنبال دارد؛ افزایش بارش‌های شدید و در نتیجه افزایش سیلاب، رانش زمین، آلودگی آب و از بین رفتن اراضی کشاورزی؛ افزایش فراوانی خشکسالی که باعث کاهش منابع آب، کاهش سطح امنیت غذایی، افزایش پتانسیل مهاجرت و اختلاف بین مرزی می‌شود و همچنین ذوب منابع دائمی برف و یخ که از نگران‌کننده‌ترین تبعات تغییر اقلیم است، اشاره نمود.

با توجه به آن که آب یکی از منابعی است که در معرض خطرات ناشی از تغییرات اقلیم قرار دارد، بررسی تغییرات آن در سال‌های آینده می‌تواند راه‌گشای معضلاتی چون خشک‌سالی، سیلاب‌های ناگهانی، تبخیر زیاد و غیره باشد. لذا توجه به وضعیت اقلیمی و میزان منابع آبی کشور در آینده و بحث تخصیص اصولی این منابع محدود با در نظر گرفتن نیازهای آتی جوامع یا به عبارت بهتر با رویکرد توسعه پایدار امری ضروری است. با توجه به این مسئله انتظار می‌رود تا با مطالعه دقیق و تحقیقات موثر، برنامه‌ای مدون برای استفاده و برداشت بهینه از منابع در نظر داشته تا ضمن حفظ منافع ملی و منابع موجود، نیاز آیندگان را به مسئله تأمین آب سالم پاسخ گفت.

### ۱-۳- اهداف تحقیق

کشور ایران از نظر اقلیم یک کشور خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و در کمربندی خشک جهان قرار دارد. میانگین بارندگی آن بین ۲۴۰ تا ۲۵۶ میلی‌متر می‌باشد که حدود یک‌سوم میانگین بارش سالانه جهان و میزان متوسط تبخیر-تغرق آن ۳ برابر متوسط جهانی است. سرانه آب در ایران حدود ۱۵۰۰ مترمکعب در سال برای هر نفر برآورد شده است (پورمحمدی، ۱۳۸۸). امروزه سرانه آب تجدیدپذیر هر ایرانی به کمتر از ۱۷۰۰ مترمکعب در سال رسیده و پیش‌بینی می‌شود این رقم تا سال ۱۴۰۰ به کمتر از ۱۳۰۰ مترمکعب برای هر نفر در سال برسد. این رقم هشدار جدی برای متخصصین عرصه آب بوده و با توجه به رشد جمعیت و فرهنگ کنونی مصرف آب به‌زودی مشکلات موجود دوجندان خواهد شد، از این رو می‌باید با مطالعه دقیق و اصولی چاره‌ای بنیادین جهت استفاده هر چه بهتر از همین منابع محدود نمود (یاوری، ۱۳۹۴).

به این منظور، سعی بر آن است تا با ارائه سناریوهای مختلف انتشار، در این تحقیق ضمن ترسیم شرایط اقلیمی حوضه مورد مطالعه در آینده، وضعیت منابع آبی دوره‌های آتی نیز از طریق شبیه‌سازی مشخص شود و همچنین میزان آب سطحی در دسترس به ازای هر سناریو محاسبه گردد تا بر اساس

احتمال وقوع آورد رودخانه‌های موجود در حوضه، الگوی تخصیص مناسب به موارد مصرف متعدد به

دست آید؛ بنابراین اهداف این پژوهش به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

- بررسی شرایط اقلیمی حوضه مورد مطالعه تحت مدل‌ها و سناریوهای مختلف اقلیمی در آینده.
- شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه و تخمین میزان رواناب خروجی از آن برای دوره‌های مذکور.
- تعیین میزان کارایی مدل در پیش‌بینی هیدروگراف جریان حوضه آبریز لتیان.
- برآورد میزان منابع آب سطحی
- بررسی تأثیر تغییر اقلیم در دوره‌های آتی بر منابع آب سطحی در حوضه یاد شده.
- ارائه سناریوهای مختلف تخصیص، سازگار با تغییر اقلیم.
- تحلیل و ارزیابی سناریوهای مختلف تخصیص منابع آب.

#### ۱-۴- سؤال‌های عمده تحقیق

- ۱- آیا مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی پیوسته جریان حوضه آبریز لتیان مناسب است؟
- ۲- میزان کارایی مدل در پیش‌بینی هیدروگراف جریان در خروجی حوضه چقدر است؟
- ۳- مدل ریزمقیاس نمایی SDSM برای ریزمقیاس کردن خروجی GCM های مورد استفاده در این تحقیق کار آیی دارد یا خیر؟
- ۴- آیا تغییر اقلیم در دوره‌های زمانی آتی بر میزان منابع آب منطقه مورد مطالعه تأثیر می‌گذارد و این تأثیر به چه مقدار است؟
- ۵- با توجه به وضعیت منابع آب در آینده در منطقه مورد بحث، تخصیص منابع آب باید به چه ترتیبی باشد؟

## ۱-۵- مروری اجمالی بر مراحل انجام تحقیق

- ۱- اجرای مدل بارش رواناب و کالیبره کردن آن برای حوضه‌ی آبریز مورد مطالعه.
- ۲- اعمال سناریوهای تغییر اقلیم به روی داده‌های دما و بارش و ریزمقیاس نمایی خروجی‌های مدل تغییر اقلیم برای پیش‌بینی بلندمدت این پارامترها برای هریک از ایستگاه‌ها.
- ۳- اجرای مدل بارش رواناب با ورودی‌هایی که اثر تغییر اقلیم به روی آن‌ها اعمال شده است و برآورد میزان رواناب برای دوره‌های زمانی آتی.
- ۴- شبیه‌سازی چگونگی تخصیص منابع آب برآورد شده تحت تأثیر تغییر اقلیم و چگونگی ذخیره‌سازی در مخزن سد لتیان طی دوره‌های زمانی آتی.

## ۱-۶- تفاوت و نوآوری تحقیق

- ۱- استفاده از مدل پیوسته HEC-HMS جهت شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی حوضه.
- ۲- تغییر روش ریزمقیاس نمایی خروجی‌های مدل گردش عمومی هوا.
- ۳- استفاده از سری پنجم مدل‌های اقلیمی و مقایسه با سری چهارم
- ۴- مقایسه‌ی میزان رواناب و چگونگی تخصیص منابع آبی حاصل از آن در زمان حال و آینده تحت تأثیر اثرات تغییر اقلیم
- ۵- بررسی اثر تغییر اقلیم بر چگونگی تخصیص منابع آب در شرایط منابع و مصارف متغیر

## ۱-۷- معرفی فصل‌های پایان‌نامه

به مرور تحقیقات گذشته به‌عنوان یکی از بخش‌های مهم در هر تحقیق، در فصل دوم پرداخته خواهد شد. در این فصل به پژوهش‌های انجام گرفته در بحث مدل‌سازی و کاربرد مدل HEC-HMS در ایران و جهان در راستای تحقیق حاضر اشاره می‌گردد. همچنین به بررسی منابعی که در آن‌ها به بحث تغییر اقلیم و اثر سناریوهای مختلف آن و چگونگی ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های تغییر اقلیم پرداخته



می‌شود و در آخر به بررسی منابع مربوط به تحلیل سیستم‌های منابع آب و شبیه‌سازی تخصیص می‌رسیم.

در فصل سوم منطقه مورد مطالعه، داده‌های لازم برای انجام هریک از مراحل پژوهش و داده‌های حاصل از مدل‌های GCM تحت سناریوهای مختلف برای بررسی اثر تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفته شده است. در این فصل همچنین در مورد تغییر اقلیم و اثر سناریوهای مختلف آن در میزان منابع آب حوضه آبریز و چگونگی کوچک‌مقیاس کردن خروجی‌های مدل تغییر اقلیم بحث می‌شود. در ادامه روش اجرای فرآیند شبیه‌سازی بارش-رواناب بیان می‌شود و انواع معیارهای ارزیابی و چگونگی محاسبه مقادیر آن‌ها گفته می‌شود. در آخر هم در مورد مدل تخصیص به کار گرفته شده و چگونگی آماده‌سازی ورودی‌های آن برای امر تخصیص بحث شده است.

ارائه نتایج مطالعه حاضر در فصل چهارم، به صورت جداول، نمودار و نقشه‌های حاصل از مراحل کار بیان می‌گردد. ارزیابی معیارهای خطا در مورد نتیجه‌ی پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم به روی داده‌های دما و بارش برای هریک از ایستگاه‌ها، مقادیر شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولوژیکی توزیعی و بیلان آبی، نتایج اجرای مدل HEC-HMS و مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده با هیدروگراف‌های مشاهداتی و در نهایت ارائه‌ی نتایج امر تخصیص و بهترین حالت برای آن از مواردی است که در این فصل بدان پرداخته شده است.

پس از اخذ نتایج در فصل چهارم، در فصل پنجم، نتایج حاصله با توجه به اهداف و فرضیه در نظر گرفته شده بررسی و با نتایج تحقیقات مشابه مقایسه شده است. در نهایت جمع‌بندی کلی از نتایج و بحث به دست آمده صورت می‌گیرد. در پایان با توجه به نتایج تحقیق، پیشنهادهایی در جهت کمک به پژوهش‌های آینده ذکر می‌شود.



# فصل دوم

## مروری بر تحقیقات گذشته

اقلیم، میانگین شرایط آب و هوایی یک منطقه را در فاصله‌های زمانی طولانی در نظر می‌گیرد. منظور از منطقه ممکن است کره زمین، یک قاره، بخشی از یک ناحیه و حتی کوچک‌تر باشد و منظور از بازه‌های زمانی طولانی ممکن است چند دهه و چند صدسال و بیشتر باشد (ثبوتی، ۱۳۹۰).

اگر طی چند سال متمادی، در کمیت‌های برخی از عناصر هوا و رفتار پدیده‌های جوی تغییرات محسوسی مشاهده شود و یا اثرات عینی این تغییرات در طبیعت و جوامع بشری مشاهده گردد، در این صورت اصطلاح تغییر اقلیم را به کار می‌برند (کاظمی زاد، ۱۳۸۷). تغییر اقلیم عبارت است از تغییر برگشت‌ناپذیر در متوسط شرایط آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت شده در آن منطقه مورد نظر است (نظری و حسینی، ۱۳۹۱). تغییر هر کدام از عوامل اقلیمی شامل دما، رطوبت، باد، فشار هوا، ساعات آفتابی، تشعشع خورشید و زمین و یا ترکیبی احتمالی از آن‌ها مثل ریزش‌های مختلف (بارش، برف، تگرگ، مه و شبنم)، تبخیر، تعرق و تبخیر و تعرق می‌تواند منجر به تغییر اقلیم گردد (جلوس حقی، ۱۳۸۹). تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن جاری است. شواهد علمی نشان می‌دهند که اقلیم زمین به علت فعالیت‌های انسان به‌ویژه تولید گازهای گلخانه‌ای در حال تغییر است و به دلیل افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی توازن مقادیر گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین برهم خورده و مقدار آن‌ها زیاد شده که باعث گرم شدن کره‌ی زمین و ایجاد پدیده تغییر اقلیم گشته است (خالقی، ۱۳۹۴).

همان‌طور که در بالا اشاره گردید، نزدیک به دو دهه است که مبحث تغییر اقلیم به‌طور گسترده و بین‌المللی در سطح جهان مطرح است و پژوهشگران بسیاری اقدام به تحقیق در این مبحث نموده‌اند بدین منظور در ادامه این فصل به گزیده‌ای از مطالبی که شامل مباحث مرتبط با عنوان تحقیق پیش رو است اشاره می‌شود.

## ۲-۲- بررسی تأثیرات تغییر اقلیم

تغییر اقلیم امروز یک مسئله جهانی است که مورد توجه محققان می‌باشد، تغییر اقلیم بر بسیاری از پدیده‌ها، عناصر و محیط‌زیست اطراف ما همچون اقتصاد، انرژی، کشاورزی، منابع آب، زندگی شهری، حمل‌ونقل، بهداشت و سلامت مؤثر است (احمدی، ۱۳۹۴). انتظار می‌رود که تغییر در متوسط متغیرهای اقلیمی، به‌ویژه دما و بارندگی، تأثیر قابل توجهی بر منابع آب در دسترس آینده بگذارد (آشفته و حداد، ۱۳۹۲)؛ بنابراین مهم‌ترین انگیزه پژوهشگران از پیش‌بینی شرایط اقلیمی در آینده تعیین وضعیت منابع آبی است تا بتوان به کمک آن الگویی بهینه جهت تخصیص منابع آبی موجود یافت و موجب سازگاری با این بحران شد. بدین منظور پژوهشگران با استفاده از روند فوق اقدام به مطالعات متعددی در این زمینه نموده‌اند که در ادامه به گوشه‌ای از آن اشاره می‌شود:

محمدی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به بررسی روند روزهای یخبندان ایران در دوره ۲۰۱۲-۱۹۸۲ پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد در بیشتر ایستگاه‌های کشور روند روزهای همراه با یخبندان دارای شیب منفی است. همچنین نتایج نشان داد با وجود کاهش روزهای یخبندان در بیشتر ایستگاه‌ها، در برخی از ایستگاه‌ها نیز یک شیب ملایم مثبت در تعداد روزهای یخبندان وجود دارد. بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه سمنان با ۵ روز افزایش در هر سال می‌باشد.

احمدی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به بررسی ۱۶ شاخص حدی دما در منطقه خراسان بزرگ به منظور آشکارسازی تغییرات اقلیمی پرداختند. نتایج نشان داد، ایستگاه‌های محدودی از جمله قوچان و سبزوار در تعدادی از نمایه‌های حدی دما (CSDI, TR20, TNX, TN10P) روند کاهشی را نشان می‌دهند، در سایر ایستگاه‌ها در بیش از ۹۰ درصد دچار تغییرات دمایی از نوع افزایشی می‌باشند. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت خراسان بزرگ، تغییرات شدید دمایی را، از نوع گرمایشی طی ۲۵ سال اخیر تجربه کرده است و با توجه به رفتار سنجی شاخص‌ها شدت این نوع تغییرات در دهه‌های آتی افزایش بیشتری خواهد داشت.

احمدی و همکاران (۱۳۹۴) اثر تغییر اقلیم بر رواناب ناشی از ذوب برف در بالادست حوضه آبریز زاینده‌رود را مورد مطالعه قرار دادند. در این بررسی داده‌های خروجی مدل گردش عمومی HadCM3 تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2 را با استفاده از مدل آماری SDSM ریزمقیاس نمودند. نتایج نشان می‌دهد بارش در دهه‌های آینده روند کاهشی خواهد داشت. نهایتاً شبیه‌سازی بارش-رواناب برای دو بازه ۲۰۱۱-۲۰۴۰ (آینده نزدیک) و ۲۰۷۱-۲۰۹۰ (آینده دور) انجام گرفت که نتایج نشان‌دهنده‌ی کاهش حجم رواناب سالانه در زیر حوضه، کاهش شدید رواناب تولید شده در فصول بهار و تابستان و افزایش رواناب در فصول زمستان و پاییز می‌باشد.

داشخو و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند یک افزایش حدود ۱۵ روزه در ۵۰ سال گذشته در تعداد روزهای یخبندان کشور مغولستان رخ داده است.

ملکونیان (۲۰۱۵) با استفاده از مدل‌های GCM به بررسی آثار پدیده تغییر اقلیم بر منابع آب و عملکرد گیاهان در ارمنستان پرداخت. نتایج نشان داد نیاز آبی گیاهان زراعی تا سال ۲۰۴۰ نزدیک به دو برابر مقدار کنونی خود می‌رسد.

کانگ و همکاران (۲۰۱۵) تأثیرات تغییر اقلیم را بر شاخص‌های بهره‌وری آب و عملکرد ذرت دیم و آبی در حوضه موری دارلینگ (جنوب شرق استرالیا) بررسی کردند. پیش‌بینی‌های آن‌ها برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بیان‌کننده‌ی افزایش دمای هوا در همه سال‌ها و افزایش بارندگی تا سال ۲۰۲۰ و سپس کاهش آن تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بود.

فان‌دویور (۲۰۱۱) دماهای ۹ ایستگاه بلژیک طی دوره‌ی ۲۰۱۰-۱۹۵۰ را ارزیابی نمود و نشان داد که نرخ افزایش دمای بیشینه ۰/۴۶ و دمای کمینه ۰/۶۶ درجه در هر دهه بوده است.

دنیز و همکاران (۲۰۱۱) با مطالعه تغییرات مکانی شاخص‌های اقلیمی به وسیله بررسی ۲۹۹ ایستگاه در ترکیه و ارزیابی میانگین ماهانه دما و بارش در طول دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۶ دریافتند که تغییرات فصلی در ۲۵ درصد از سطح کشور چشمگیر بوده و بیشترین تغییرات در شرق آناتولی مشاهده شد. به طوری

که این موضوع منجر به گسترش واحدهای اقلیمی نیمه خشک در دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۶ نسبت به دوره پایه شده است.

ضرغامی و همکاران (۲۰۱۰) به مطالعه تغییر اقلیم و اثرات آن بر خشکسالی استان آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج مطالعات نشان دهنده‌ی افزایش دمای استان تا ۵ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارش سالانه تا ۶۰ میلی‌متر در سناریوی A2 و مدل HadCM3 در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ میلادی خواهد بود. این تغییرات باعث تغییر اقلیم استان از حالت نیمه خشک به حالت خشک خواهد شد.

عباسپور و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی با بررسی چشم‌انداز منابع آب ایران تحت تأثیر تغییر اقلیم، دریافتند که امکان دارد در بخش غربی ایران به ویژه در ناحیه رشته کوه زاگرس احتمال وقوع سیل به علت تغییر در الگوی بارش افزایش پیدا کند؛ به عبارت دیگر وقوع سیل‌هایی متناوب با شدت بیشتر در نواحی شمالی و غربی ایران افزایش خواهد یافت که این موضوع به طور مستقیم به نحوه الگوی بارش در آینده وابسته است.

## ۲-۳- ریزمقیاس نمایی و مطالعات مرتبط

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سامانه‌های مختلف استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های سه‌بعدی جفت شده جوی- اقیانوسی موسوم به AOGCM<sup>۳</sup> است. عمده‌ترین مسئله در استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM، بزرگ بودن مقیاس سلول‌های محاسباتی آن‌ها در مقایسه با منطقه مورد مطالعه و یا به عبارت دیگر کم بودن قدرت تفکیک مکانی آن‌هاست (اشرف و همکاران، ۱۳۹۳)؛ بنابراین باید خروجی آن‌ها قبل از استفاده در مطالعات تغییر اقلیم جهت تولید سناریوهای اقلیم منطقه‌ای، ریزمقیاس شوند (میشل، ۲۰۰۳).

مدل ریزمقیاس نمایی آماری، SDSM توسط ویلی و همکاران (۲۰۰۲)، به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس نمودن به روش آماری توسعه یافته است که بر اساس روش رگرسیون خطی چندگانه ارتباط

---

<sup>۳</sup> - Atmospheric Ocean General Circulation Model

آماري بين رفتارهاي بزرگمقياس و محلي را برقرار مي سازد. اين ارتباط، با فرض اينكه ريزمقياس نمايي آماري مستقل از زمان است، با استفاده از داده هاي مشاهداتي در ايستگاه هواشناسي و خروجي هاي مدل AOGCM در يك دوره مشترك ايجاد مي شود (ويلبي و كريستين، ۲۰۰۷). تاكنون در سراسر دنيا از اين مدل استفاده هاي بسياري صورت گرفته است كه در ادامه به بخشي از آنها اشاره مي شود:

رضايي و همكاران (۱۳۹۴) در پژوهشي به مقايسه روش هاي شبكهي عصبي مصنوعي و SDSM در ريزمقياس كردن اندازه ي بارش سالانه ي شبیه سازی شده با HadCM3 در ايستگاه هاي كرمان، راور و رابر، براي سه دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ ميلادي پرداختند. يافته ها بيانگر عملکرد بالاتر شبكهي عصبي در ايستگاه هاي كرمان و راور مي باشند. اندازه ي بارندگي سالانه در ايستگاه هاي كرمان، راور و رابر تا سال ۲۰۹۹، در شبكه عصبي به ترتيب ۱۲/۸۶، ۱۱/۶۸ و ۱۱/۳۹ درصد و در SDSM به ترتيب ۰/۸۹، ۱۸/۴۸ و ۱/۵۵ درصد نسبت به دوره ي پايه کاهش مي يابند.

سبحاني و همكاران (۱۳۹۴) در پژوهشي، نتايج دو الگوي ريزمقياس نمايي SDSM و مولد آب وهوايي LARS-WG را در حوضه آبريز درياچه اروميه با در نظر گرفتن تحليل عدم قطعيت روي بارش روزانه، كمينه و بيشينه دماي روزانه مقايسه كردند. پس از بررسي اوليه ي داده هاي روزانه، تحليل عدم قطعيت روي دو الگوي يادشده در دوره پايه انجام گرفت. نتايج كلي نشان داد الگوي SDSM در دو ايستگاه بررسي شده، براي كمينه و بيشينه دماي روزانه عملکرد بهتري نسبت به الگوي LARS-WG دارد؛ درحالي كه براي بارش روزانه نتايج عملکرد دو الگو تا حدودي در دو ايستگاه مشابه بود.

رضايي زمان و همكاران (۱۳۹۴) در تحقيقي، به ارزيابي اثرات تغييراقليم بر عملکرد محصولات و ارائه راهبرد تغيير الگوي كشت در حوضه سيمينه رود پرداختند. براي مدل سازي شرايط تغييراقليم در منطقه از خروجي هاي مدل گردش عمومي جوي- اقيانوسي HadCM3 تحت دو سناريو انتشار A2 و B2 بهره برده و خروجي ها را با استفاده از مدل SDSM ريزمقياس نمودند. نتايج حاكي از افزايش متوسط تنش آبي و دمائي و کاهش عملکرد محصولات بود. پس از ارزيابي اثرات تغييراقليم در حوضه، تغيير الگوي كشت به گندم و جو به عنوان راهبردي تطبيقی مورد ارزيابي قرار گرفت كه نشان دهنده ي



کاهش ۳۲ و ۲۴ درصدی تنش آبی تحت هر دو سناریو انتشار A2 و B2 نسبت به شرایط مدیریت فعلی (BAU) بود.

طائمی سمیرمی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی مدل آماری SDSM را در شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای بیشینه، کمینه و بارش در حوضه آبریز بار نیشابور با استفاده از دو روش آماری و ترسیمی مورد ارزیابی قرار دادند. برای اجرا مدل SDSM از خروجی‌های مدل HadCM3 و CGCM1 استفاده کردند. داده‌های روزانه دمای بیشینه، کمینه و بارش را برای دوره پایه ۱۹۷۰-۲۰۰۰ تحت سه سناریو A2، A1 و B1 شبیه‌سازی کردند. نتایج هر سه سناریو عموماً حاکی از افزایش دما و کاهش بارش در منطقه مورد مطالعه بود.

نوری و اعلم (۲۰۱۴) الگوی SDSM را برای داده‌های مشاهداتی دما و بارش روزانه از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۶ با استفاده از الگوی جهانی HadCM3 به کار بردند. مقدار شاخص PBIAS دمای ریزمقیاس شده، کمینه بوده (۰/۳- درصد)، شاخص NSE (۰/۸) و شاخص اصلاح‌شده‌ی تطابقی (۰/۸۳) بیشترین حد برای دمای حداکثر روزانه در ایستگاه سیلحت<sup>۴</sup> بنگلادش بوده است.

کاظمی و همکاران (۲۰۱۴) مدل SDSM را برای خروجی دمای روزانه‌ی الگوی جهانی ECHAM5 به کار بردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد داده‌های ریزمقیاس شده بسیار دقیق‌تر از داده‌های الگوی ECHAM5 است. ضریب همبستگی داده‌های ریزمقیاس شده با داده‌های مشاهده‌شده بین ۸۱ تا ۹۴ درصد است؛ درحالی‌که همین همبستگی برای داده‌های الگوی جهانی بین ۷۳ تا ۸۷ درصد است.

چیم‌ا و همکاران (۲۰۱۳) عملکرد روش ریزمقیاس‌نمایی SDSM را روی روند داده‌های کمینه دمای ایستگاه‌های کشور پاکستان در دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۱ ارزیابی کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، طبق آزمون من‌کندال روند افزایشی کمینه دمای سالانه معنادار است. علاوه بر آن، تحلیل‌ها نشان داد

---

<sup>۴</sup> - Sylhet

که تطابق خوبی بین داده‌های دمای الگو شده و داده‌های واقعی وجود دارد؛ ضمن آن که ضریب همبستگی پیرسن برای بیشتر نواحی بیش از نود درصد بود.

مینو و همکاران (۲۰۱۲) از یک الگوی هیدرولوژیکی (HEC-HMS 3.4) برای الگوبندی هیدرولوژیکی منطقه رودخانه تونگا- بهادرا در هندوستان و از روش ریزمقیاس نمایی SDSM برای ریزمقیاس نمایی دماهای کمینه و بیشینه و بارش روزانه در منطقه پژوهش استفاده کردند. نتایج بررسی بیلان آب، افزایش بارش و رواناب و کاهش تلفات تبخیر-تعرق واقعی را روی منطقه نشان داد. رجبی و شعبانلو (۲۰۱۲) از الگوی SDSM برای ارزیابی تغییرات اقلیم منطقه کرمانشاه در غرب ایران و اثر آن بر شاخص‌های اقلیمی همچون جانسن، کرنر و دومارتن استفاده کردند. در این پژوهش، با استفاده از الگوی گردش عمومی جو HadCM3 و با در نظر گرفتن سناریوهای انتشار A2 و B2 در دوره‌های زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۱، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۷ تغییرات شاخص‌های اقلیمی منطقه ارزیابی شد. نتایج نشان داد که اقلیم منطقه به‌خصوص در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۷ خشک‌تر خواهد شد و این تغییر برای سناریوی A2 محسوس‌تر خواهد بود.

فیس‌ها و همکاران (۲۰۱۲)، طی پژوهشی اقدام به مقایسه دو روش ریزمقیاس نمایی رگرسیون خطی SDSM و ریزمقیاس نمایی با استفاده از مدل لارس نمودند. در این مطالعه که از خروجی مدل HadCM3 استفاده شد، حوضه تیبر<sup>۵</sup> از توابع کشور ایتالیا تحت دو سناریو A2 و B1 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق حکایت از افزایش بارش با روش SDSM دارد، حال آن که روش آماری لارس بیانگر کاهش بارش تا سال ۲۱۰۰ می‌باشد. با این حال هر دو مدل در افزایش دمای حداقل و حداکثر نتایج مشابهی را ارائه می‌دهند.

---

<sup>۵</sup> -Tiber

## ۴-۲- مدل بارش - رواناب HEC-HMS

مدل‌ها ابزاری عملی هستند که می‌توان به کمک آن‌ها به درکی از واقعیت دست یافت. مدل‌های بارش-رواناب یکی از روش‌های تخمین رواناب و ابزاری مناسب برای مطالعه فرآیندهای هیدرولوژیکی و منابع آب می‌باشند. دو کاربرد مهم مدل‌های بارش-رواناب، شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی و پیش‌بینی سیلاب است. عکس‌العمل حوضه در برابر پدیده بارندگی به علت وجود عوامل هیدرولوژیکی گوناگون بسیار پیچیده است. رواناب به پوشش گیاهی، تیپ خاک و خصوصیات اقلیمی حوضه مانند بارش و دما بستگی دارد. تأثیر هریک از این عوامل در تولید رواناب غیر یکنواخت است (ناصری، ۱۳۹۳). تا به امروز مدل‌های بارش-رواناب فراوانی با قابلیت‌ها و پیچیدگی‌های متفاوت جهت شبیه‌سازی بارش-رواناب ساخته و به کار برده شده‌اند که از میان آن‌ها می‌توان به مدل HEC-HMS اشاره کرد که از قابلیت‌های خوبی برخوردار است و محققین زیادی از این مدل استفاده کرده‌اند که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود:

حسینی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی به پیش‌بینی سیلاب‌های تاریخی رودخانه کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل HEC-HMS دارای کارایی بالایی در شبیه‌سازی رواناب روزانه طی دوره ترسالی و همچنین در حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب به ازای دوره بازگشت‌های کمتر از ۳۰۰ سال را دارد. لذا به خوبی می‌توان از این مدل هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی رواناب روزانه و حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب به ازای دوره بازگشت‌های کوچک در حوضه مورد مطالعه استفاده نمود؛ اما به ازای دوره بازگشت‌های بالاتر از ۳۰۰ سال، باید ضریب اطمینان لازم را برای افزایش دقت مدل اعمال نمود.

کلهر و همکاران (۱۳۹۳) از مدل HEC-HMS جهت برآورد سیلاب حوضه آبریز خرم‌آباد استفاده نمودند. آنها پارامترهای مدل را بر اساس ۳ هیدروگراف مشاهده‌ای واسنجی و بر اساس یک هیدروگراف مشاهده‌ای اعتبارسنجی کردند و پارامترهای بهینه برای حوضه مشخص گردید. نتایج به دست آمده از این تحقیق حاکی از آن است که اختلاف دبی اوج شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در مرحله

اعتبار سنجی کمتر از ۷ درصد و اختلاف زمان رسیدن به دبی حداکثر کمتر از ۲ ساعت است که این میزان خطا قابل قبول است. در نتیجه مدل HEC-HMS جهت برآورد دبی پیک سیلاب مناسب بوده و می‌توان از نتایج آن برای پیش‌بینی سیلاب‌های احتمالی حوضه مورد نظر استفاده کرد.

شعبانی بازنشین و همکاران (۱۳۹۲) برای پیش‌بینی سیلاب حاصل از بارش در حوضه آبریز نکا واقع در استان مازندران، مدل HEC-HMS را استفاده کردند. بدین منظور از ۴ سری داده بارش-رواناب ثبت شده در حوضه مورد مطالعه استفاده شد و با به‌کارگیری مدل HEC-HMS به واسنجی و صحت سنجی مدل هیدروگراف واحد SCS و مدل تلفات شماره منحنی SCS پرداخته شد. نتایج به دست آمده حاکی از برازش مناسب دبی اوج، حجم رواناب و زمان وقوع پیک سیل، هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بود.

یوسفی میرهن و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی به ارزیابی و واسنجی پارامترهای مدل احتساب کننده رطوبت خاک (SMA) در حوضه آبریز زولاچای در استان آذربایجان غربی پرداختند. در این تحقیق با توجه به مقادیر مناسب شاخص‌های عملکرد مانند  $RMSE$  (۰/۵۶) و  $R^2$  (۱/۸۹) بین دبی‌های مشاهداتی و محاسباتی، توانایی مدل SMA HMS در حل مسائل هیدرولوژیکی نظیر شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب یا پیش‌بینی دبی این حوضه آبریز ثابت می‌گردد.

ذونعمت کرمانی و همکاران (۱۳۹۲) حوضه آبخشا واقع در بردسیر کرمان را مورد بررسی قرار دادند و با ۵ سیلاب تک رخداد با توجه به داده‌های شبیه‌سازی و مشاهده‌ای بارش، مقدار رواناب را با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS مدل‌سازی کردند و واسنجی مدل با به‌کارگیری روش چهار تابع هدف انجام پذیرفت؛ که با توجه به هیدروگراف‌های ترسیم شده و خطاهای محاسبه شده، مدل‌سازی با دقت قابل قبولی انجام شده بود.

کریمی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهش خود با عنوان شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب با استفاده از HEC-HMS در منطقه ليقوان، تعدادی واقعه بارش-رواناب را استخراج کرده و پارامترهای مدل را به روش شبیه‌سازی هیدرولوژیکی SCS مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی

هیدروگراف سیل نشان داد اختلاف پیش‌بینی زمان وقوع و اندازه حداکثر سیلاب اتفاق افتاده و محاسبه شده توسط مدل کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد لذا می‌توان به نتایج به دست آمده اطمینان کامل داشته و از آنها برای پیش‌بینی سیلاب‌های احتمالی بهره جست.

جو و همکاران (۲۰۱۴) برای دو حوضه باکیل و جانک‌پیونگ در کره جنوبی با استفاده از داده‌های تاریخی یک دوره آماری بین سال‌های (۲۰۰۹-۲۰۰۰)، ۸ سیلاب رخ داده در حوضه بوکیل و ۶ سیلاب در حوضه جانک‌پیونگ را با دو مدل هیدرولوژیکی ReFH و HEC-HMS شبیه‌سازی کردند. آنها یافته‌های دو مدل را مقایسه کردند و نهایتاً به این نتیجه رسیدند که مدل ReFH محدودیت در شبیه‌سازی جریان اوج را نشان می‌دهد در حالی که مدل HEC-HMS شبیه‌سازی خوبی در هر دو حوضه نشان داد.

چنگ و همکاران (۲۰۱۳) برای پیش‌بینی سیلاب‌های شدید در حوضه آبریز شیمین در تایوان از مدل هیدرولوژیکی HMS-HEC استفاده کردند. آنها با استفاده از داده‌های سه سیلاب خطرناک با دوره بازگشت‌های ۱ تا ۹۰ ساله رواناب حاصل از بارش‌های سیل‌آسا را در مدل HMS-HEC شبیه‌سازی کردند. آنها با توجه به رضایت‌بخش بودن یافته‌هایشان به این نتیجه رسیدند که مدل هیدرولوژیکی، کالیبره و تأییدشده HMS-HEC قادر به پیش‌بینی سیلاب‌های تاریخی می‌باشد.

گارسیا و همکاران (۲۰۰۸) در ۱۲ زیرحوضه آبریز در شمال اسپانیا از مدل یکپارچه HMS SMA برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی استفاده کردند. این زیرحوضه‌ها، با سطح کوچکی، کشیدگی نسبتاً کم، شیب تند و سنج‌های کمیاب هیدرولوژی مشخص شدند. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که مقادیر شبیه‌سازی جریان با مقادیر مشاهداتی دارای تطابق خوبی بوده و لذا پارامترها هیدرولوژیکی به خوبی واسنجی شده‌اند.

## ۲-۵- مطالعات مدیریت منابع آب و یافتن الگوی تخصیص

از اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی و به موازات پیشرفت تکنولوژی در علوم گوناگون، توجه به مدل سازی تخصیص منابع آب شدت گرفت. یکی از تعاریف سودمند در این زمینه عبارت است از تخصیص آب مجموعه‌ای از فعالیت‌هایی است که مصرف‌کنندگان را قادر می‌سازد تا آب را جهت مصارف موجه مطابق با قوانین و اولویت‌های مدنظر در منطقه مورد استفاده قرار دهند (یاوری، ۱۳۹۴). در دنیای امروز به نظر می‌آید که هر روز بر نیاز و تقاضای آب افزوده می‌شود. جمعیت در کشورهای در حال توسعه رو به افزایش است و هم‌زمان، میزان سرانه مصرف نیز افزایش می‌یابد. مصرف آب در بخش‌های صنایع، کشاورزی و آب شهری هر روز بیشتر گسترش می‌یابد. مجموعه‌ای از این دست مسائل و مشکلات باعث شده است تا بشر به فکر ارائه راهکارهایی بهتر برای مدیریت مصرف و عرضه‌ی منابع آب باشد. در طی دهه‌های گذشته چنین راهکارهایی در منابع آب جایگاه و کاربرد خود را در سطوح جهانی و محلی پیدا کرده است و هر روز نیز بر پیچیدگی‌های آن‌ها افزوده می‌شود. دلیل این پیچیدگی چیزی نیست جز دخالت عوامل و متغیرهای متعدد در برنامه‌ریزی منابع آب. توزیع غیر یکنواخت آب در طول مکان و زمان، وجود بیشترین تقاضای آب در زمان وقوع کمترین بارندگی، عدم توازن بین عرضه و تقاضای آب و خصوصاً افزایش تقاضای آب، محدودیت منابع آب، اتلاف زیاد آب در بخش کشاورزی و حتی در بخش شهری، مدیریت منابع آب کشور را پیچیده کرده است. با این مشکلات، یکی از اهداف بلندمدت مدیریت راهبردی آب کشور برقرار کردن تعادل بین تقاضای آب و منابع آب موجود با کمترین هزینه است (کاویان و همکاران، ۱۳۹۳). بهره‌برداری بهینه از نظام‌های منابع آب از یکسو، رسالت، حفظ و پیش‌بینی وضعیت آینده‌ی آن به منظور استفاده نسل‌های آینده از طرف دیگر، باعث گردیده است که در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های پیش‌بینی منابع آب مورد تأکید قرار گیرد (اعلمی و همکاران، ۱۳۹۳). از این رو، محققین بسیاری در سراسر جهان به شیوه‌های مختلف اقدام به توسعه مدل‌های گوناگون در زمینه‌های مرتبط با بحث تخصیص منابع آب نموده‌اند که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

کاویان و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای به برنامه‌ریزی منابع آب مخزن سد زیبا محمد در استان لرستان پرداختند و در این راستا از نرم‌افزار HEC-RESSIM استفاده کردند. در این تحقیق ضمن بررسی منابع آب ورودی به مخزن شامل رودخانه‌ها و منابع آب زیرزمینی، ۴ الگوی کشت پیشنهادی بر اساس مطالعات وضعیت آینده رودخانه و حجم مخزن سد در نظر گرفته شد. با انتخاب الگوی کشت مناسب و تراز نرمال مخزن، نیازهای آبی برای مصارف مختلف شامل کشاورزی، صنعت و زیست‌محیطی در طول ماه‌های سال ارزیابی و در بیش از ۹۲٪ مواقع نیاز آبی صد در صد تأمین شده و در ۸٪ مابقی کمترین تأمین مشاهده شده ۸۳٪ می‌باشد. همچنین سطح زیر کشت مطمئن از ۱۷۶۲ به ۲۳۹۵ هکتار افزایش می‌یابد.

فرج زاده و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای به بررسی اثر تغییر اقلیم بر سیستم تأمین آب حوضه آبریز کرخه، با استفاده از ۱۵ مدل GCMs پرداختند. ارزیابی وضعیت تخصیص آب با استفاده از مدل WEAP و به روش شبیه‌سازی انجام گرفت. همچنین سه استراتژی مدیریتی افزایش راندمان آبیاری، استفاده مجدد آب و تغییر الگوی کشت برای سازگاری با تغییر اقلیم ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که ساخت سدهای جدید به دلیل افزایش تخصیص آب در بالادست، می‌تواند اطمینان‌پذیری تأمین آب کشاورزی پایین‌دست سد کرخه را تا کمتر از ۷۰ درصد کاهش دهد. همچنین استفاده مجدد از آب، با اطمینان‌پذیری ۹۱ درصد، با عنوان مؤثرترین راهکار برای سازگاری با تغییرات اقلیمی شناخته شد.

رحیمی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی به بررسی اثر توسعه بر کشاورزی در حوضه رودخانه ماسوله با استفاده از سیستم برنامه‌ریزی و ارزیابی WEAP پرداختند. سناریوها در شرایط موجود ساخته و با استفاده از آن‌ها اثر فرضیات مختلف بر میزان دسترسی و مصرف آب برای ۵۲ سال (سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۵) بررسی گردید. نتایج به دست آمده از مدل نشان داد که در بین سه سناریوی طراحی شده (مرجع، استفاده مجدد از آب کشاورزی، تغییر اولویت منابع تأمین کننده نیاز)، سناریوی تغییر اولویت منابع تأمین کننده نیاز بیشترین اثر را بر کاهش نیاز تأمین نشده داشته و سناریوی استفاده مجدد در اولویت بعدی قرار می‌گیرد. بر اساس نتایج مدل برای حل ناهماهنگی عرضه و تقاضای آب، بهبود وضعیت

توزیع آب و استفاده از روش‌های نوین در بهره‌برداری منابع می‌تواند در کاهش نیاز تأمین نشده آبی مفید واقع گردد.

کرمانشاهی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای وضعیت منابع آب و تقاضاهای آبیاری دشت نیشابور را با استفاده از مدل WEAP مورد بررسی قرار دادند. برای ارزیابی اثرات راهبردهای مذکور، سناریوهایی با عناوین تغییر الگوی کشت، کاهش سطح زیر کشت و سناریوی ترکیبی (ترکیب این دو راهکار) مطرح شد و سپس برای یک دوره ۲۰ ساله شبیه‌سازی انجام گرفت. نتایج نشان دادند که با اعمال این سناریوها، میانگین سالانه نیاز آبیاری به ترتیب حدود ۹، ۱۰ و ۱۸ درصد کمتر خواهد شد و متعاقباً از رقم میانگین کسری سالانه مخزن به ترتیب ۱۳، ۸ و ۱۸ درصد کاسته می‌شود. به بیانی دیگر این راهبردها می‌توانند نقش بسزایی در کاهش تقاضای آب کشاورزی و در نتیجه کاهش برداشت از منابع آب منطقه داشته باشند.

صاحب دل و اکبرپور (۱۳۹۰) با استفاده از مدل WEAP به ارزیابی تخصیص آب حوضه آبریز قره‌سو در استان گلستان پرداختند. بر اساس سناریوهای این نرم‌افزار نتیجه گرفتند که با احداث سد (با توجه به اولویت مصارف شرب و کشاورزی) علاوه بر تأمین نقاط تقاضا می‌توان سالانه ۱۴ میلیون مترمکعب آب قابل تنظیم به شرب و ۵,۳ میلیون مترمکعب آب قابل تنظیم به کشاورزی اختصاص داد.

مقدسی و همکاران (۲۰۱۳) با مطالعه حوضه زاینده‌رود به توسعه مدلی جهت تخصیص بهینه منطقه-ای آب در بین کشت‌های مختلف و واحدهای گوناگون آبیاری اقدام نمودند. این مدل بهینه تخصیص با مدل عملکرد مخزن جفت گردید تا بر اساس مقدار معینی آب رابطه بین عرضه و تقاضا را ارضاء نماید. دروگرز و همکاران در سال ۲۰۱۲ در مقاله‌ای به بررسی منابع آبی و تخصیص آن‌ها در منطقه مناه پرداختند که از نتایج این بررسی به نکات زیر می‌توان اشاره کرد: تقاضای کلی به مقدار ۱۳۲ کیلومتر مکعب در سال افزایش خواهد یافت درحالی‌که تحت تغییرات اقلیمی کمبود آب به مقدار ۱۵۷ کیلومتر



مکعب در سال افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد تقاضا چیزی در حدود ۵۰٪ و تقاضای برآورد نشده نیز در حدود ۳۷۰٪ در حال افزایش است.

زارع زاده و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی بر روی حوضه قزل‌اوزن (رودخانه سفیدرود)، به بررسی تخصیص منابع آب تحت اثر تغییر اقلیم پرداختند. بر اساس این مطالعه که به کمک نرم‌افزار WEAP صورت گرفت، اطلاعات فعلی حوضه تحت سناریوهای مختلف به کمک مدل مذکور اجرا گردید و نتایج آن برای بالادست در دوره‌های آینده موردبررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که با توجه به تغییرات اقلیمی مورد انتظار در آینده آب‌بران در شهرستان‌های پایین‌دست، دچار آسیب‌پذیری بالایی خواهند شد. از این‌رو جهت کاهش پتانسیل منازعات پیش‌بینی‌شده، اقدام به ارائه روشی جهت تخصیص عادلانه نمودند.

موتیگا و همکاران (۲۰۱۰) طی پژوهشی در حوضه اواسونیرو در کنیا برای به حداقل رساندن تعارضات بر سر مصرف آب در حوضه، هماهنگی بین عرضه و تقاضای منابع آب را توسط مدل WEAP مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که بیشترین مقدار تقاضا و در نتیجه دلیل ایجاد این کشمکش‌ها مربوط به بخش کشاورزی بوده و پیشنهاد کردند برای حل این مشکل کشت دیم در منطقه توسعه یابد.

پورکی و همکاران (۲۰۰۸) در حوضه رودخانه ساکرامنتو در ایالت کالیفرنیا از مدل WEAP برای بررسی اثرات مدیریت آب کشاورزی تحت شرایط مختلف تغییر اقلیم در آینده استفاده نمودند. نتایج نشان دادند که اقدامات مدیریتی اثر مطلوبی بر منابع آب خواهد داشت.



فصل سوم

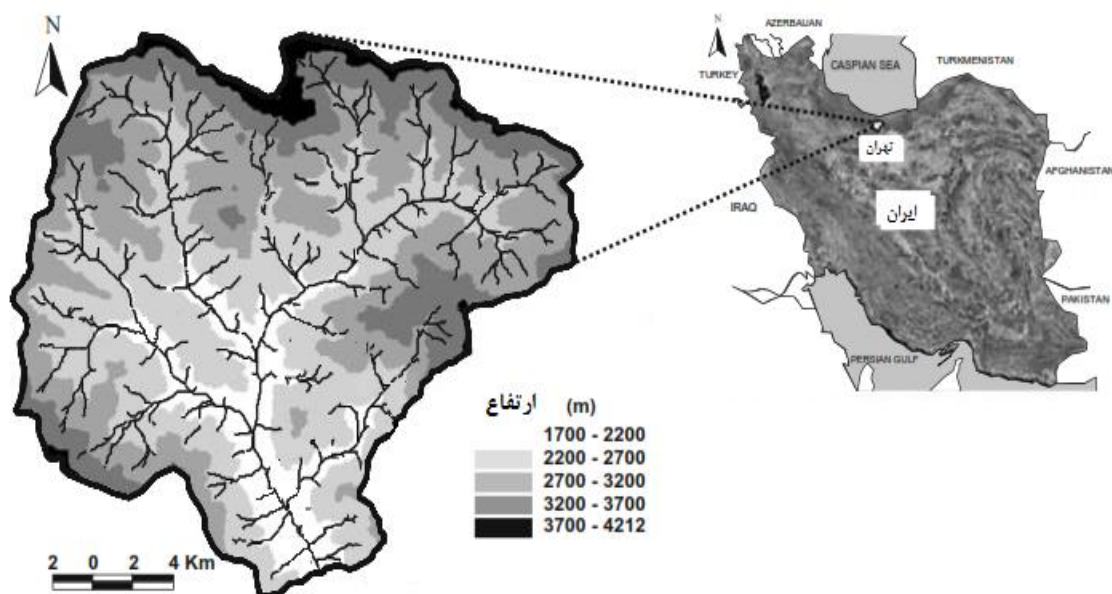
داده‌ها و روش تحقیق

در این فصل ابتدا به معرفی حوضه مورد مطالعه پرداخته خواهد شد، سپس با توجه به مراحل تحقیق، مبانی نظری مرتبط با هر بخش اعم از روش‌های ریزمقیاس نمایی خروجی‌های GCM، مدل ریزمقیاس نمایی SDSM، مدل بارش رواناب و همچنین مدل شبیه‌سازی تخصیص مورد استفاده در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۳-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

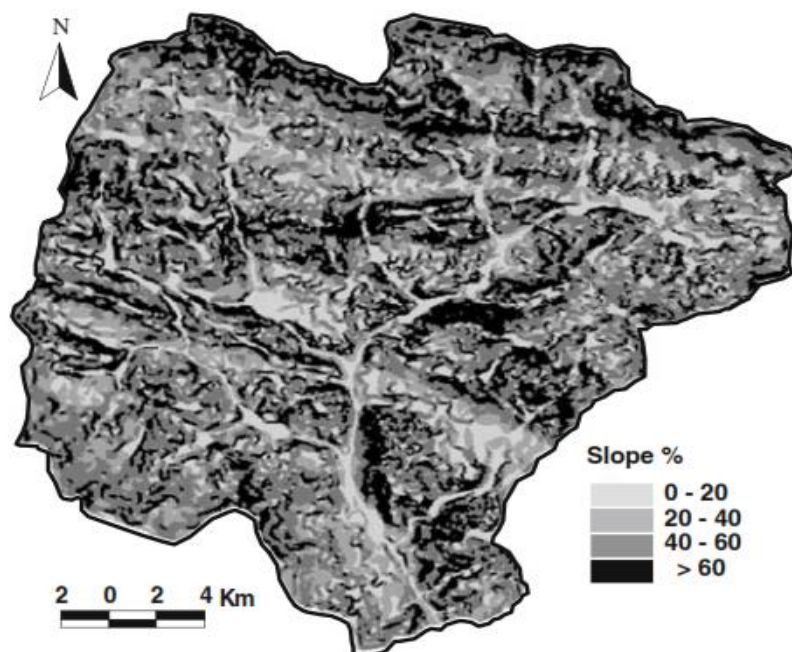
حوضه آبریز لتیان از لحاظ تقسیمات کشوری در شمال شرقی شهر تهران در حد فاصل طول‌های شرقی ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه و عرض‌های شمالی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه می‌باشد و به طور کامل در محدوده فرمانداری شهرستان شمیرانات است که با پنج شهرستان نور، آمل، دماوند، کرج و تهران مرز مشترک دارد و از دو بخش (لواسان و رودبار قصران) و سه دهستان (لواسان بزرگ- لواسان کوچک- رودبار قصران) تشکیل شده است. این حوضه از شمال به حوضه آبریز سد لار، از غرب به حوضه آبریز کرج، از جنوب به حوضه آبریز شمال تهران و از شرق به حوضه آبریز دماوند محدود می‌شود.

حوضه آبریز لتیان به عنوان یکی از زیر حوضه‌های سد لتیان در این تحقیق مدنظر قرار گرفته است. مساحت بالادست ایستگاه هیدرومتری رودک در ورودی مخزن سد لتیان، در حدود ۴۳۵/۵ کیلومترمربع می‌باشد. مدل رقوم ارتفاعی حوضه از نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ که توسط سازمان ملی جغرافیایی ایران در سال‌های ۱۹۸۰، ۱۹۸۷ و ۱۹۹۳ تهیه شده بود، به دست آمد. سپس به شبکه‌های ۵۰ متری در مقیاس DEM تبدیل شد. شکل (۳-۱) موقعیت حوضه لتیان در ایران و نقشه دقیق حوضه بالادست رودک، همراه با توپوگرافی و ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه و شبکه آبراهه‌های آن را نشان می‌دهد.



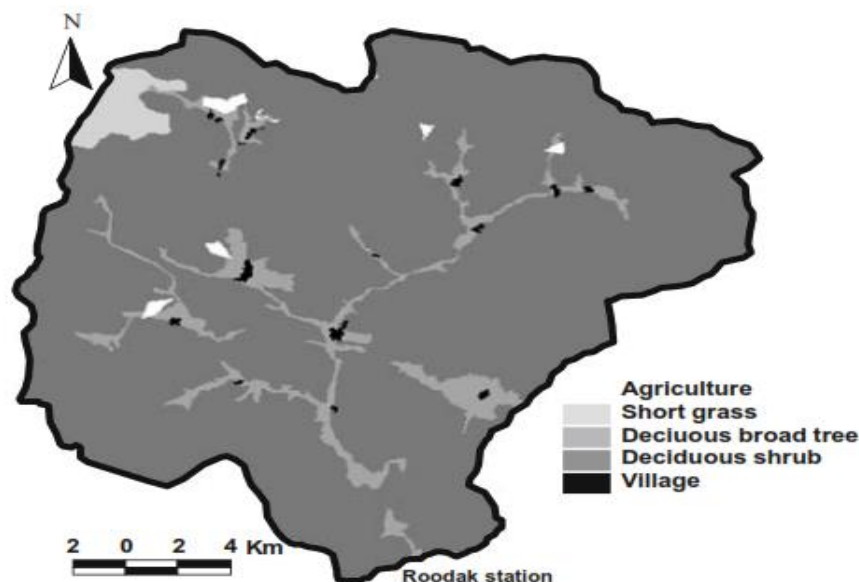
شکل (۱-۳) جایگاه حوضه لتیان در ایران و نقشه توپوگرافی زیر حوضه بالادست ایستگاه رودک (یاوری، ۱۳۹۴)

این حوضه کوهستانی است و ارتفاع آن از ۱۷۰۰ متر تا ۴۲۱۲ متر تغییر می‌کند. ارتفاع متوسط حوضه ۲۸۳۰ متر و شیب متوسط آن همان‌طور که در شکل توزیع شیب (۲-۳) نشان داده شده است در حدود ۴۵/۶٪ می‌باشد. طول بلندترین آبراهه در این حوضه ۳۲/۵ کیلومتر است (یاوری، ۱۳۹۴).



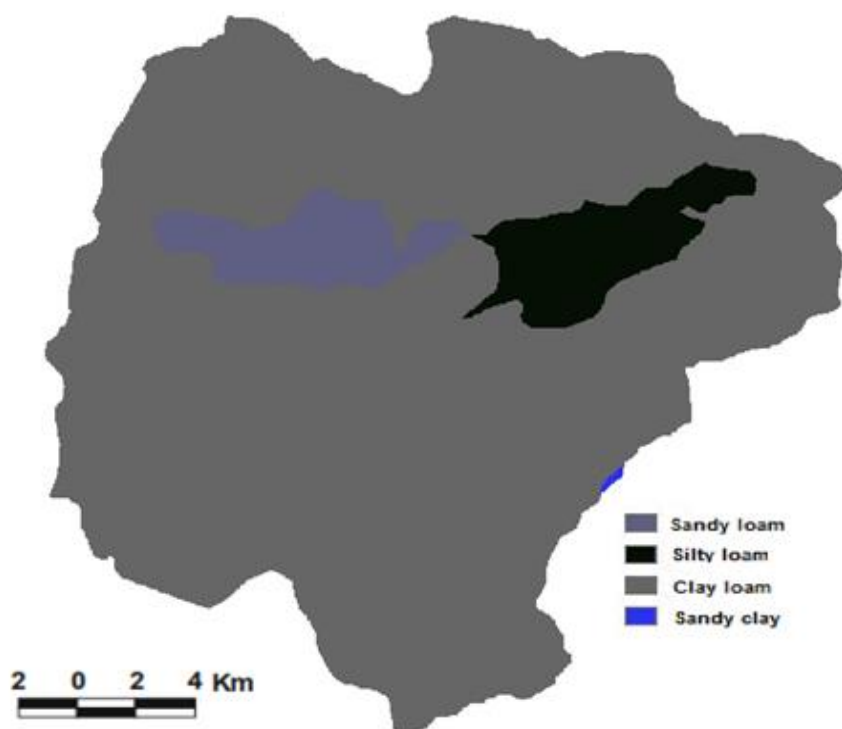
شکل (۲-۳) نقشه شیب حوضه لتیان (یاوری، ۱۳۹۴)

اطلاعات پوشش اراضی منطقه نیز از موسسه تحقیقات حفاظت خاک و مدیریت منابع آب ایران (SCWMRI) (۲۰۰۶) و اطلاعات فتاحی آرکادانی و همکاران (۲۰۰۰) تهیه شد. آخرین نقشه کاربری اراضی منطقه با شبکه‌های ۵۰ متری از ۵ گونه متفاوت پوشش اراضی تشکیل شده است. ۹۱٪ حوضه از درختچه‌های برگ‌ریز، ۶/۲٪ از درختان پهن‌اور برگ‌ریز، ۱/۸٪ از چمن کوتاه و ۱٪ باقی‌مانده نیز از زمین‌های کشاورزی و مناطق غیرقابل نفوذ که بیشتر شامل روستاها می‌باشد، پوشیده شده است. کاربری اراضی حوضه لتیان در شکل (۳-۳) نشان داده شده است.



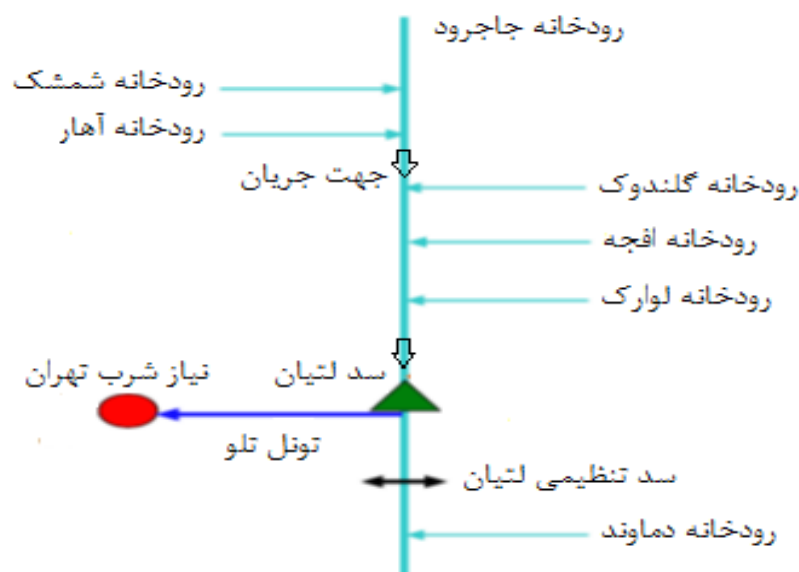
شکل (۳-۳) نقشه کاربری اراضی حوضه لتیان (یاوری، ۱۳۹۴)

با توجه به موجود نبودن نقشه خاک حوضه، با استفاده از نقشه کارایی اراضی و ارزیابی منابع (وزارت جهاد کشاورزی و منابع طبیعی ایران، موسسه علوم و حاصلخیزی خاک ۱۹۷۳)، نقشه خاک حوضه تهیه و سپس با استفاده از اطلاعات پروژه جامع آبخیزداری سد لتیان منظم شد (وزارت جهاد کشاورزی ایران، ۱۹۷۵). همان‌طور که در شکل (۳-۴) نشان داده شده، خاک حوضه مزبور از سه بافت عمده‌ی متفاوت تشکیل شده است. خاک غالب آن رسی لومی است که حدود ۸۹/۴٪ از سطح حوضه را پوشانده است، سیلتی لومی ۵/۶٪ و شنی لومی ۴/۸٪ از حوضه را در بر گرفته است (یاوری، ۱۳۹۴).



شکل (۳-۴) نقشه بافت خاک حوزه لتیان (یاوری، ۱۳۹۴)

علاوه بر رودخانه جاجرود، چندین جریان سرشاخه‌ای دیگر نیز به مخزن سد لتیان وارد می‌شود. سد لتیان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شهر تهران به شمار می‌آید. سد لتیان از نوع بتنی، وزنی و پایه‌دار و به‌منظور کنترل و مهار آب رودخانه جاجرود و لوارک بوده که در سال ۱۳۴۰ کار احداث آن آغاز و در اردیبهشت سال ۱۳۴۶ به بهره‌برداری رسید. اهداف ساخت این سد عبارت‌اند از: تأمین آب شرب، تأمین و تنظیم آب کشاورزی و تولید نیروی برق‌آبی. گنجایش دریاچه این سد در زمان احداث ۹۵ میلیون مترمکعب و حجم آن در حال حاضر ۷۳ میلیون مترمکعب است. دو واحد نیروگاه برق‌آبی به قدرت ۴۵ مگاوات نیز در محل سد احداث شده است. آب از طریق تونل تلو به قطر ۲/۷ متر با طول ۹ کیلومتر از سد لتیان به تصفیه‌خانه‌های شماره ۳ و ۴ تهران‌پارس انتقال می‌یابد و پس از تصفیه وارد شبکه آبرسانی شهری می‌گردد. پیکربندی سیستم منابع و مصارف آب سد لتیان در شکل ۳-۵ ارائه شده است.



شکل (۳-۵) پیکربندی سیستم منابع و مصارف سد لتیان (یاوری، ۱۳۹۴)

ارتفاع متوسط سد لتیان ۱۰۷ متر می‌باشد. طبق محاسبات اولیه، این سد قادر بوده است ۸۰ میلیون مترمکعب از آب مصرفی تهران و ۷۵ میلیون کیلووات ساعت برق و ۱۶۰ میلیون مترمکعب آب آبیاری دشت ورامین و گرمسار را تأمین نماید.

حوضه لتیان یکی از مهم‌ترین حوضه‌های آبریز تهران است و در حال حاضر آب موردنیاز بخش عظیمی از ساکنان تهران متکی به این حوضه است که با توجه به عواملی نظیر توسعه‌ی فزاینده و بدون کنترل تهران به سمت آبخیزها، گرایش به ویلا سازی در نقاط کوهستانی، از بن بست خارج شدن راه‌های ارتباطی حوضه نظیر راه آهار به شهرستانک، کوتاه شدن عمر مفید سد به علت میزان بالای رسوبات ورودی، اجرای طرح‌های گردشگری بدون توجه به ظرفیت و توان حوضه، چرای دام، وجود کارخانه‌های آلوده‌ساز نظیر کارخانه گچ تهران در مجاورت سد، معادن گچ و زغال سنگ و غیره شدیداً در معرض تهدید می‌باشد (یاوری، ۱۳۹۴).

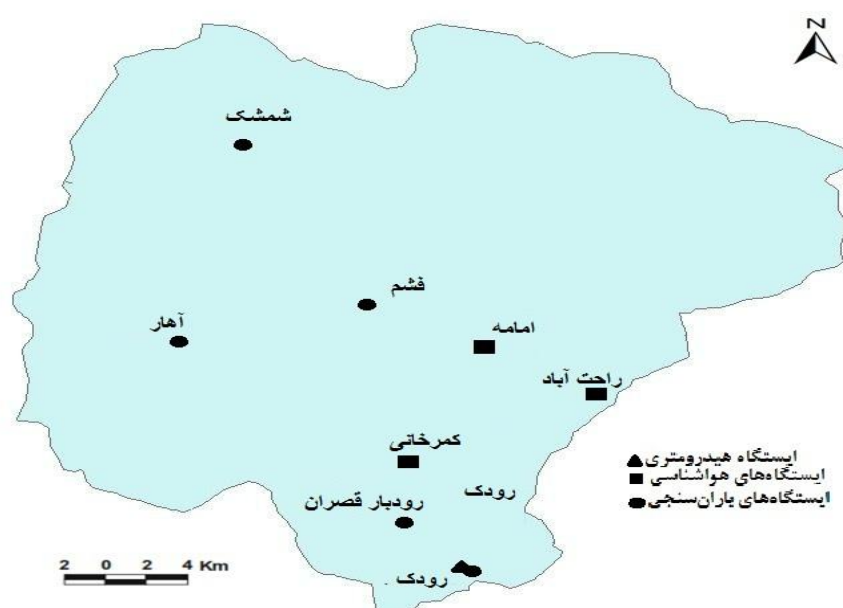
به‌منظور اجرای برنامه‌های مدیریتی مختلف داشتن چشم‌اندازی روشن بر منابع آب منطقه امری ضروری به شمار می‌رود. لذا، در این تحقیق سعی بر آن است تا با بررسی تغییر اقلیم در منطقه آینده



مورد مطالعه به تأثیر آن بر رواناب و موجودیت آب سطحی در دوره‌های آبی پرداخته شود و بر اساس این تغییرات، راهکارهای مدیریتی در بحث تخصیص منابع آب لحاظ گردد. در جدول (۳-۱) مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی استفاده شده در تحقیق مشاهده می‌شود که میانگین دما و بارش آورده شده در این جدول به صورت متوسط روزانه ۳۰ سال اخیر است. شکل ۳-۶ موقعیت ایستگاه‌ها در سطح حوضه را نشان می‌دهد.

جدول (۳-۱) اطلاعات ایستگاه‌های مورد استفاده در حوضه آبریز لتیان

| نام ایستگاه  | مختصات ایستگاه |               | نوع ایستگاه | ارتفاع ایستگاه (m) | میانگین دما روزانه (°C) | میانگین بارش روزانه (mm) | طول دوره آماری (سال) |
|--------------|----------------|---------------|-------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|
|              | عرض جغرافیایی  | طول جغرافیایی |             |                    |                         |                          |                      |
| امامه        | ۳۵-۵۴-۰۰       | ۵۱-۳۴-۰۰      | هواشناسی    | ۲۲۴۸               | ۱۰/۴۹                   | ۱/۸۲                     | ۴۴                   |
| کمرخانی      | ۳۵-۵۳-۰۰       | ۵۱-۳۲-۰۰      | هواشناسی    | ۱۹۰۰               | ۱۰/۹۲                   | ۱/۵۲                     | ۵۰                   |
| راحت آباد    | ۳۵-۵۴-۰۰       | ۵۱-۳۷-۰۰      | هواشناسی    | ۲۴۰۰               | ۹/۹۱                    | ۱/۸۷                     | ۴۲                   |
| رودک         | ۳۵-۵۰-۰۰       | ۵۱-۳۳-۰۰      | باران‌سنجی  | ۱۶۹۰               | ---                     | ۱/۵۸                     | ۴۴                   |
| رودبار قصران | ۳۵-۵۲-۰۰       | ۵۱-۳۲-۰۰      | باران‌سنجی  | ۱۸۹۹               | ---                     | ۱/۶۹                     | ۴۰                   |
| فشم          | ۳۵-۵۶-۰۰       | ۵۱-۳۲-۰۰      | باران‌سنجی  | ۱۹۴۰               | ---                     | ۱/۸۹                     | ۳۹                   |
| آهار         | ۳۵-۵۶-۰۰       | ۵۱-۲۸-۰۰      | باران‌سنجی  | ۲۱۰۰               | ---                     | ۱/۸۵                     | ۴۱                   |
| شمش          | ۳۶-۰۰-۰۰       | ۵۱-۳۰-۰۰      | باران‌سنجی  | ۲۷۰۰               | ---                     | ۱/۸۸                     | ۳۷                   |



شکل (۳-۶) نقشه‌ی موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده در داخل حوضه آبریز لتیان (یاوری، ۱۳۹۴)

به‌طور کلی در انجام این پژوهش به‌منظور بررسی تغییر اقلیم به داده‌های روزانه‌ی دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی برای ۳۰ سال دوره زمانی پایه و همچنین برای مدل‌سازی بارش رواناب به اطلاعات روزانه‌ی دمای متوسط، بارش، تبخیر و دبی و برای شبیه‌سازی تخصیص منابع برآورد شده به اطلاعات ماهانه‌ی تخصیص‌ها، آمار ورودی آبدهی، پارامترهای هیدرولوژی و روابط هندسی سد لتیان نیاز است.

### ۳-۲- تغییر اقلیم و اثرات آن

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن جاری است. بنا بر اهمیتی که تغییر اقلیم بر ساختار محیطی کره زمین و ساکنان آن داشته است، تلاش به‌منظور شناخت هرچه بیش‌تر چگونگی رخدادهای اقلیمی امری مسلم و ضروری است. از شروع نیمه دوم قرن نوزدهم، اقلیم کره زمین دستخوش تغییرات مهمی شد. به نحوی که جابجایی فراگیری در رژیم‌های بارندگی، الگوهای فشار و دمای سطح آب دریاها صورت گرفت که خود بر بخش‌های مختلف حیات تأثیرات مستقیم و غیرمستقیمی داشته است. از این بین، مهم‌ترین تأثیرات، فزونی درجه حرارت و تغییرات در بارش بوده است (گودرزی، ۱۳۹۰).

### ۳-۲-۱- مدل‌های AOGCM

امروزه بیشترین اطلاعات از وضعیت تغییر اقلیم در آینده با استفاده از شبیه‌سازی‌های صورت گرفته توسط مدل‌های جفت شده جوی-اقیانوسی (AOGCM) به دست می‌آید (IPCC، ۱۹۹۵). این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره طولانی‌مدت با استفاده از سناریوهای تأییدشده توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) مدل‌سازی نمایند (ویلی و داوسون، ۲۰۰۷). امروزه تهیه و استخراج داده‌های خروجی مدل‌های اقلیمی از طریق مراکز مختلف تحقیقاتی، امکان‌پذیر

است. یکی از معتبرترین مراکز ارائه‌دهنده این داده‌ها، سایت CCCSN<sup>۷</sup> که متعلق به سازمان محیط‌زیست کانادا است می‌باشد (CCCSN، ۲۰۱۶).

در این پژوهش از مدل‌های اقلیمی HadCM3 که توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیم Hadley انگلستان و مدل Canesm2 که توسط مرکز کانادا برای مدل‌سازی آب‌وهوا و تجزیه و تحلیل محیط‌زیست کانادا توسعه یافته، استفاده شده است.

### ۳-۲-۲- سناریوهای انتشار

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی، ورودی اصلی مدل‌های اقلیمی را تشکیل می‌دهد؛ اما با توجه به این که تعیین میزان انتشار این گازها به طور قطعی امکان پذیر نیست، سناریوهای مختلفی به نام سناریوهای انتشار<sup>۸</sup> که دربرگیرنده مؤلفه‌هایی است که تغییرات گازهای گلخانه‌ای مختلف در آینده را برآورد و تعیین می‌کنند، ارائه شده است. این سناریوها شامل عناصر مختلف فیزیکی، شیمیایی، اجتماعی و اقتصادی می‌باشند که به‌منظور هرچه نزدیک‌تر شدن خروجی مدل‌ها به شرایط واقعی، در آن‌ها منظور می‌شوند (IPCC، ۲۰۰۷).

هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود (Assessment Report 5, AR5) از سناریوهای جدید RCP به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوهایی RCP در سال ۲۰۱۰ توسط یک کمیته علمی و زیر نظر هیئت بین دول تغییرات اقلیمی باهدف مهیا نمودن مجموعه‌ای از اطلاعاتی که از نتایج آن بتوان عوامل اصلی تغییرات اقلیمی را ردیابی نمود و نتایج آن را بتوان برای مدل‌های اقلیمی اعمال کرد. مدل‌های اقلیمی از نتایج این سناریوها برای نشان دادن غلظت و انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌کنند. تغییر مهمی در قدرت تفکیک مکانی سری CMIP5 نسبت به CMIP4

---

<sup>۷</sup> - Canadian Climate Change Scenarios Network

<sup>۸</sup> - Emission scenarios

و CMIP3 رخ داده است و از حدود ۲/۵ در ۲/۵ درجه به حدود ۰/۵ در ۰/۵ ارتقاء یافته‌اند که پیشرفت بسیار بزرگی است. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 می‌باشند که بر اساس میزان واداشت

تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند که با مشخصات متفاوت سطح تکنولوژی، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، خط‌مشی‌ها در آینده است که در هر شرایطی می‌تواند منجر به سطح انتشار متفاوت گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی گردد. همچنین نتایج این سناریوها از سال ۱۸۵۰ تا پایان قرن ۲۱ را پوشش می‌دهد و همچنین تا سال ۲۳۰۰ فرموله شده است (وورن و همکاران، ۲۰۱۱).

نخستین مرحله در انتخاب سناریو، شناسایی متغیرهای اقلیمی موردنیاز و سپس تعیین سناریوهایی است که پاسخگوی نیازها باشند. پس از انجام این مرحله، چنانچه زمان استفاده از تمام سناریوها، جهت برآوردن نیازها موجود نباشد، می‌توان سناریویی را که بیان‌گر حداکثر و متوسط تغییرات است را برگزید. در این تحقیق نیز سعی بر آن است تا جای ممکن انتخاب سناریوها بر اساس مطالب فوق باشد که بتواند طیف وسیعی از تغییرات دوره‌های آتی را به‌خوبی منعکس نماید.

سناریوهای منتخب در این مطالعه عبارت‌اند از: A2 و B2 در گزارش چهارم و همچنین RCP2.6 و RCP8.5 در گزارش پنجم. گزینش این سناریوها و استفاده از آن‌ها به‌موازات یکدیگر، این امکان را فراهم می‌آورد تا عدم قطعیت ناشی از نتایج مدل را تحت تأثیر هر یک از سناریوها با یکدیگر مقایسه کرده و به تحلیل جدید از منابع عدم قطعیت دست‌یافت.

تعاریف سناریوهای انتشار مورد استفاده در این مطالعه شرح زیر می‌باشد:

### الف – سناریوی A2

یکی از مشخصات سناریوی A2 آن است که برخلاف سناریوی A1، در آن دنیا همگرا در نظر گرفته نمی‌شود:

۱- دنیایی که در آن کشورها به‌طور مستقل عمل کرده و به خود متکی هستند.

۲- جمعیت دنیا به طور پیوسته افزایش می یابد.

۳- توسعه اقتصادی، منطقه محور است.

### ب- سناریوی B2

در سناریوی B2 دنیا همانند سناریوی A2 واگرا بوده با این تفاوت که دوستدار محیط زیست در نظر

گرفته می شود. مشخصات این سناریو به شرح ذیل می باشند:

۱- جمعیت به طور پیوسته افزایش می یابد، اما سرعت رشد آن نسبت به A2 کمتر است.

۲- تأکید بر راه حل های محلی به جای راه حل های جهانی برای ثبات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی.

۳- توسعه اقتصادی در حد متوسط.

۴- تغییرات تکنولوژیکی سریع بوده اما نسبت به A1 و B1 کمتر و پراکنده تر خواهد بود (یاوری، ۱۳۹۴).

متغیرهای سناریوهای RCP عبارتند از: میزان انتشار و غلظت گازهای گلخانه ای (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, CFCs, SF<sub>6</sub>), میزان انتشار گازهای شیمیایی فعال و آئروسول ها، کربن سیاه (دوده)، SO<sub>2</sub>، کربن ارگانیک، CO، NO<sub>x</sub>، VOCs، NH<sub>3</sub>، میزان غلظت آئروسول ها و گازهای شیمیایی فعال (O<sub>3</sub>، آئروسول)، داده های کاربری اراضی و پوشش سطحی زمین (وورن و همکاران، ۲۰۱۱).

### ج- سناریوی RCP8.5

بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. این سناریو توسط گروه مدل سازی MESSAGE و موسسه IIASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در موسسه بین المللی آنالیز سیستم های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شد که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه ای است. در سناریوی RCP8.5، میزان غلظت CO<sub>2</sub> تا سال ۲۱۰۰، ۱۳۷۰ ppm تخمین زده

شده است و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی را تا ۸/۵ وات بر مترمربع تخمین زده است. میزان جمعیت در سال ۲۱۰۰ در سناریوی RCP8.5 حدود ۱۲ میلیارد نفر خواهد بود که این میزان، جمعیتی بین سناریوی A1 و A2 در سری SRES است. بر اساس سناریوی RCP8.5 میزان تولید ناخالص داخلی در کشورهای توسعه یافته به دلیل افزایش جمعیت و سطح پایین توسعه تکنولوژی پایین است. با توجه به میزان جمعیت در نظر گرفته شده در سناریوی RCP8.5 و نیاز

جمعیت ساکن در کره زمین به تأمین انرژی، استفاده از انواع انرژی (به‌جز انرژی زیستی) در این سناریو بیش از دیگر سناریوها در نظر گرفته شده است. همچنین بیشترین میزان انتشار مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای مؤثر بر وقوع تغییر اقلیم در سناریوی RCP8.5 است (ریاحی و همکاران، ۲۰۱۱) و (وورن و همکاران، ۲۰۱۱).

#### د- سناریوی RCP2.6

این سناریو توسط گروه مدل‌سازی IMAGE از موسسه ارزیابی‌های محیطی هلند طراحی شده است. این سناریو دربرگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل توجهی کاهش یابند. در سناریوی RCP2.6، میزان غلظت CO2 را تا سال ۲۱۰۰، ۴۹۰ ppm تخمین زده است. در سناریوی RCP2.6 میزان جمعیت را تا سال ۲۱۰۰ حدود ۷ میلیارد نفر پیش‌بینی کرده است. در این سناریو رشد تکنولوژی‌ها جدید نسبت به دیگر سناریوها بیشتر و به دلیل نرخ رشد جمعیت پایین و استفاده از انرژی‌های نو، میزان تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای پایین‌تر از دیگر سناریوها است (وورن و همکاران، ۲۰۱۱).

### ۳-۳- تئوری مدل‌ها و روش‌های مورد استفاده

در این قسمت با توجه به مراحل تحقیق، مبانی نظری مرتبط با هر بخش اعم از روش‌های ریزمقیاس نمایی خروجی‌های GCM، مدل ریزمقیاس نمایی SDSM، مدل بارش رواناب و همچنین مدل شبیه‌سازی تخصیص مورد استفاده در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مسئله گرم شدن کره زمین، تغییر اقلیم و پیرو آن اختلالات هیدرولوژیکی صورت گرفته نیازمند راهکارهای علمی و اصولی جهت مقابله با آن است. این امر نه تنها بسیار دشوار و پرهزینه است بلکه مستلزم اتحاد تمامی کشورها در سراسر کره زمین است که با توجه به شرایط موجود عملاً امکان‌پذیر نیست، لذا راه‌حل دیگر و منطقی‌تر سازگاری با شرایط موجود و تعیین برنامه‌هایی مدون و راهبردی برای دوره‌های آتی است. از این‌رو در این تحقیق به راه‌حل دوم یا سازگاری به کمک شیوه‌های مدیریتی پرداخته شده است.

در این تحقیق سعی بر آن است تا با مطالعه پدیده تغییر اقلیم، نگرشی از وضعیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه در شرایط فعلی و آتی به وجود آید و با برآورد معیارهای اقلیمی در این دوره‌ها الگویی جهت تخصیص منابع آب در آینده ارائه شود تا به کمک آن رویکردی جدید از مسئله توسعه پایدار این سرزمین در نتایج و پیشنهادها دخیل شوند. در گام نخست این پژوهش با انتخاب یک منطقه مناسب (از نظر موجود بودن اطلاعات پایه و پیشینه مطالعاتی) اقدام به جمع‌آوری اطلاعات پایه مدل‌های مورد نظر می‌شود. منظور از اطلاعات پایه در این تحقیق داده‌هایی نظیر توپوگرافی، کاربری اراضی، بافت خاک منطقه، بارش روزانه، حداکثر و کمینه دمای روزانه، تبخیر و تعرق روزانه، دبی روزانه، اطلاعات مربوط به چگونگی تخصیص منابع سطحی موجود در حوضه و غیره است که به عنوان داده‌های ورودی اصلی به مدل‌های مورد استفاده داده می‌شوند. این داده‌ها از ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی و سایر سازمان‌های مربوطه مانند اداره آب منطقه‌ای یا اداره منابع طبیعی منطقه مورد مطالعه قابل اخذ و دریافت است (یاوری و همکاران، ۱۳۹۴).

پس از تعیین منطقه مورد مطالعه اقدام به انتخاب مدل می‌نماییم، در ادامه ضمن معرفی مدل‌های مورد استفاده، روند تحقیق به طور اجمالی تشریح گردیده است.

### ۳-۳-۱- ریزمقیاس نمایی خروجی‌های مدل گردش عمومی هوا

اولین گام در مطالعات تغییر اقلیم استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM می‌باشد. مدل‌های گردش عمومی، شرایط توپوگرافی، پوشش سطحی و شرایط اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می‌گیرند، در حالی که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در محدوده‌ی مورد بحث کاملاً متفاوت باشد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸)؛ بنابراین یکی از مشکلات عمده در استفاده از نتایج این مدل‌ها، بزرگ بودن مقیاس مکانی سلول محاسباتی آن‌ها نسبت به مناطق مورد مطالعه و ساده‌سازی‌هایی است که برای فرآیندهای اقلیمی در نظر می‌گیرند، لذا برای فائق آمدن به ضعف قدرت تفکیک پایین لازم است خروجی این مدل‌ها پیش از استفاده در مطالعات، ریزمقیاس شوند. ریزمقیاس نمایی را می‌توان به دو روش دینامیکی و آماری انجام داد. در ریزمقیاس نمایی آماری می‌توان از روش‌های رایج آماری مانند رگرسیون و همچنین مدل‌های مولد هواشناسی استفاده نمود. در روش ریزمقیاس نمایی دینامیکی معادلات حاکم بر بسته‌هوا در شبکه‌های ریزتری از شبکه مدل گردش عمومی جو با استفاده از روش‌های تحلیل عددی از قبیل تفاضل محدود حل می‌شوند که در صورت به کار بستن این روش می‌توان به نقیصه دوم مدل‌های گردش عمومی جو، یعنی ساده‌سازی فرآیندهای جوی نیز فائق آمد. روش آماری ریزمقیاس کردن در مقایسه با روش‌های دینامیکی، به‌ویژه در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است (ناصری، ۱۳۹۳). روش آماری به زیرشاخه‌هایی نظیر مولدهای هواشناسی و مدل‌های رگرسیونی تقسیم می‌گردد. مدل‌های رگرسیونی اصولاً یا به صورت خطی و یا غیرخطی ارتباطات بین شبیه‌سازی شونده‌ها و شبیه‌سازی کننده‌ها را نشان می‌دهد. این روش شامل زیرمجموعه‌هایی مانند رگرسیون خطی، آنالیز همبستگی کانونی (CCA)، شبکه عصبی (رگرسیون



غیرخطی) و روش کریجینگ است. این روش‌ها اکثراً با ایجاد روابط رگرسیونی بین متغیرها، تعریف می‌شوند و درواقع معتبرترین ابزار جهت کوچک‌مقیاس کردن در کشور ما نیز می‌باشند (اسپانی، ۱۳۹۱). حال اگر بخواهیم یکی از زیرمجموعه‌های این روش را انتخاب کنیم، می‌توان به روش مولدهای هواشناسی اشاره کرد که مدل SDSM یکی از نرم‌افزارهایی است که بر این اساس کار می‌کند. برای انجام ریزمقیاس‌نمایی از داده‌های موسوم به NCEP استفاده می‌شود. این داده‌ها، داده‌های شبکه‌بندی شده خروجی مدل GCM هستند. با توجه به معیار توصیه شده توسط سازمان جهانی هواشناسی WMO2 دوره سی‌ساله ۱۹۶۱-۱۹۹۰ به عنوان دوره مرجع جهت پیش‌بینی‌ها در نظر گرفته می‌شود. در روش ریزمقیاس‌نمایی آماری از داده‌های هواشناسی (بارندگی و درجه حرارت) به عنوان متغیر وابسته استفاده می‌شوند (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). مدل به‌کاررفته در این تحقیق، مدل مولد اقلیمی SDSM می‌باشد، لذا در ادامه به معرفی این مدل پرداخته خواهد شد.

### ۳-۲-۳- ساختار مدل SDSM 4.2.9

این مدل نخستین بار در سال ۲۰۰۲ توسط ویلیبی و همکاران تحت عنوان نسخه ۲,۱ ارائه شد. در سال ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ به ترتیب نسخه ۲,۲، ۳,۳ و ۴,۲ که توسعه یافته نسخه ۲,۱ می‌باشند توسط ویلیبی و همکاران ارائه شد. در این مطالعه از آخرین نسخه‌ی این مولد (۴,۲,۹) استفاده شده است. مبنای این مدل رگرسیون چند متغیره می‌باشد و برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی چون بارش و دما در درازمدت با توجه به سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی (متغیرهای NCEP) استفاده می‌شود. از آنجا که در مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری ساخت داده‌های هواشناسی با استفاده از ترکیب دو روش احتمالاتی و رگرسیونی صورت می‌گیرد، لذا در طبقه‌بندی مدل‌های مختلف ریزمقیاس کردن، از جمله بهترین مدل‌ها می‌باشد. در این مدل برای هرماه از سال یک مدل رگرسیون خطی چند متغیره بین متغیرهای پیش‌بینی کننده بزرگ‌مقیاس منتخب (متغیرهای مستقل) و متغیر پیش‌بینی شونده (بارش یا دما)، به عنوان متغیر وابسته، تدوین می‌گردد. پیش‌بینی کننده‌های بزرگ‌مقیاس مناسب با استفاده

از تحلیل‌های همبستگی بین متغیرهای پیش‌بینی کننده، همبستگی جزئی بین پیش‌بینی کننده‌ها و پیش‌بینی شونده‌ها و همچنین با توجه به حساسیت فیزیکی میان پیش‌بینی کننده‌ها و پیش‌بینی شونده‌ها، در محدوده حوضه مطالعاتی، انتخاب می‌شوند. این مدل قادر است در هر مرحله‌ی اجرا، بین ۱ تا ۱۰۰ بار داده را شبیه‌سازی نماید. (ویلیبی و داوسون، ۲۰۰۸).

برای استخراج روابط کمی بین متغیرهای اتمسفری بزرگ‌مقیاس و متغیرهای محلی می‌بایست متغیرهای پیش‌بینی کننده از پایگاه NCEP، استخراج شوند. این داده‌ها شامل ۲۶ متغیر اتمسفری است که در شبکه‌هایی به ابعاد حدود ۲۵۰ در ۲۵۰ کیلومتر، که دارای ارزش یکسانی می‌باشند، قرار دارند. این آمار، داده‌های شبکه‌بندی شده می‌باشند که بر روی شبکه‌های GCM درون‌یابی شده و در روش ریزمقیاس نمایی به عنوان متغیر مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرند (رضایی و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به اینکه متغیرهای پیش‌بینی کننده‌ی NCEP، می‌توانند روابط مختلفی با داده‌های پیش‌بینی شونده داشته باشند لذا متغیرهایی برای انجام مطالعات حائز اهمیت هستند که دارای بالاترین ضریب همبستگی و پایین‌ترین واریانس خطا باشند. یکی از مهم‌ترین مراحل مدل ریزمقیاس نمایی آماری، انتخاب متغیرهای غالبی است که در مدل از آن‌ها استفاده می‌شود. اهمیت این بخش ناشی از این است که مشخصات مدل و نتایج، تحت تأثیر مستقیم متغیرهای مستقل انتخاب می‌شود. به متغیرهای مستقل انتخاب شده از بین متغیرهای موجود، متغیرهای غالب گفته می‌شود. متغیرهای غالب باید از نظر فیزیکی با متغیرهای وابسته مرتبط بوده و از نظر آماری همبستگی بالایی را با آن دارا باشند (تورینی و همکاران، ۲۰۱۱). پس از انتخاب این متغیر می‌توان از آن برای ریزمقیاس کردن داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های مطالعاتی به کار برد. مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در یک ایستگاه خاص در شرایط حال و آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم به کار می‌رود که داده‌های آن به صورت سری‌های زمانی روزانه برای یک سری از متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی، حداقل و حداکثر دما و سایر پارامترهای جوی می‌باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۴).

مراحل کار مدل به‌طور خلاصه شامل هفت بخش می‌باشد:

۱- تنظیم کیفیت و تبدیل داده‌ها: در این مرحله وضعیت داده‌های پیش‌بینی شونده (وابسته)، ایستگاه مطالعاتی از نظر تعداد، داده‌های بیشینه، کمینه و تعداد داده‌های مفقود مدیریت می‌گردد.

۲- انتخاب متغیرهای مستقل مناسب: ارتباط بین داده‌های دیدبانی (پیش‌بینی شونده) با داده‌های بزرگ‌مقیاس<sup>۹</sup> (پیش‌بینی کننده) دارای شدت و ضعف گوناگون می‌باشد. هدف از این مرحله کمک به یافتن پیش‌بینی کننده‌های (Predictant) با قوی‌ترین ارتباط با پیش‌بینی شونده‌ها (Predictor) می‌باشد.

۳- واسنجی مدل: در این گام مدل‌های آماری سالانه، فصلی و ماهانه مبتنی بر معادلات رگرسیون چندگانه با به‌کارگیری داده‌های پیش‌بینی شونده و پیش‌بینی کننده روزانه ساخته می‌شوند. مشخصات و پارامترهای مدل‌های آماری یادشده (مانند متا دیتا، دوره واسنجی، نوع مدل، پیش‌بینی کننده‌های به‌کاررفته در ساخت مدل و غیره) در فایل استاندارد با پسوند par. نگهداری می‌شوند.

۴- تولید داده‌های هواشناسی زمان حاضر با استفاده از متغیرهای مستقل مشاهداتی: عملگر تولید داده مجموعه‌ای از داده‌های روزانه پیش‌بینی شونده را با لحاظ سری داده‌های روزانه پیش‌بینی کننده‌ها و بر اساس معادلات رگرسیون پایه‌گذاری شده در بخش واسنجی، تولید می‌کند. این گام در مدل SDSM مسئولیت راستی آزمایی معادلات ریزمقیاس نمایی طراحی شده در گام واسنجی را به عهده دارد.

۵- تحلیل آماری داده‌های آماری مشاهده‌شده: آنالیز داده شامل بررسی میانگین، بیشینه، کمینه، واریانس، مقادیر آستانه، صدک‌ها، روزهای تر و خشک و غیره در مقیاس‌های گوناگون سالانه، فصلی و ماهانه، با به‌کارگیری گزینه Summary Statistics انجام می‌شود

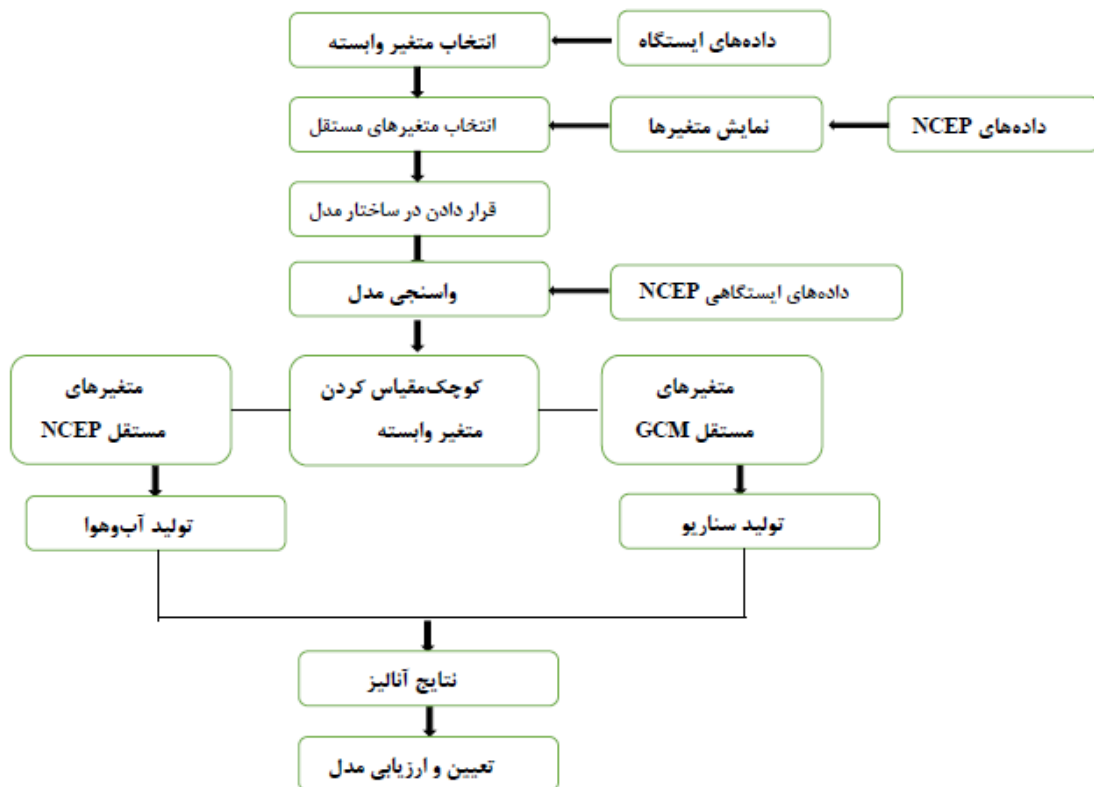
۶- نمایش هندسی خروجی مدل: گزینه آنالیز فراوانی امکان ترسیم توزیع‌های گوناگون را فراهم می‌کند.

---

<sup>9</sup> -Predictor

۷- تولید داده‌های هواشناسی آینده: در این مرحله با استفاده از معادلات ریزمقیاس نمایی ایجادشده در قسمت واسنجی (فایل با پسوند PAR) و داده‌های مدل گردش عمومی، داده‌های روزانه هواشناسی برای دهه‌های آینده تولید می‌شود (ویلی و داسون، ۲۰۰۸).

شکل (۷-۳) مراحل فرایند ریزمقیاس نمایی را نشان می‌دهد.



شکل (۷-۳) مراحل فرایند ریزمقیاس نمایی توسط مدل SDSM

از آنجاکه هدف این پژوهش مدل‌سازی دوره‌های آتی است، در ادامه به این بحث پرداخته می‌شود. به‌منظور مدل‌سازی دوره‌های آتی، مدل بایستی در ابتدا آگاهی و شناخت کافی از رفتار آماری دوره دیدبانی داشته باشد. این شناخت با فراخوانی داده‌های روزانه مشاهداتی به مدل در یک ستون تحت فرمت notepad صورت می‌گیرد.

ابتدا در مرحله غربالگری، مناسب‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌هایی که قوی‌ترین ارتباط معنی‌دار بین پیش‌بینی شونده (بارش و دما) و پیش‌بینی‌کننده را دارند، انتخاب می‌شوند. در مرحله واسنجی معادلات

ریزمقیاس نمایی بر مبنای معادلات رگرسیون چندگانه بر اساس داده‌های روزانه متغیر پیش‌بینی شونده (بارش و دما) و متغیرهای بزرگ‌مقیاس پیش‌بینی کننده جوی (داده‌های واکاوی NCEP) ساخته می‌شود. پارامترهای مدل وایازی شده به شیوه استاندارد PAR\* ذخیره می‌شوند. آخرین مرحله، تولید سناریوهای اقلیمی می‌باشد. در این مرحله با استفاده از معادلات ریزمقیاس نمایی ایجاد شده در قسمت واسنجی (فایل با پسوند PAR) و داده‌های مدل گردش عمومی، داده‌های روزانه متغیرهای پیش‌بینی شونده برای دهه‌های آینده تولید می‌شود (ویلیبی و داسون، ۲۰۰۸).

### ۳-۳-۳- بررسی کار آبی روش ریزمقیاس نمایی

عملگر تولید داده مجموعه‌ای از داده‌های روزانه پیش‌بینی شونده را با لحاظ سری داده‌های روزانه پیش‌بینی کننده‌ها و بر اساس معادلات رگرسیون پایه‌گذاری شده در بخش واسنجی، تولید می‌کند. این گام در مدل SDSM مسئولیت راستی آزمایی معادلات ریزمقیاس نمایی طراحی شده در گام واسنجی را به عهده دارد. با کلیک بر روی Weather Generator این مرحله شروع می‌شود. ابتدا فایل ورودی با پسوند par. به مدل معرفی می‌شود، سپس مسیر داده‌های پیش‌بینی کننده‌ها (داده‌های واکاوی NCEP) مشخص می‌شود. با کلیک بر روی گزینه View details می‌توان متغیرهای مربوط به معادله آماری را دید. نام فایل داده‌های تولیدشده را بایستی با استفاده از گزینه Select output file مشخص کرد. پسوند این داده‌ها out. می‌باشد و در محیط notepad دیده می‌شوند. به همراه این فایل، فایل دیگری با پسوند SIM. نیز ایجاد می‌شود که مشخصات اجرا و فایل داده‌های روزانه تولیدشده را نشان می‌دهند. با تنظیم گزینه Ensemble size، می‌توان حداکثر تا ۱۰۰ سری داده روزانه را در این مرحله تولید کرد. هیچ‌کدام از سری‌های تولیدی ارجحیتی بر یکدیگر ندارند. با کلیک بر روی گزینه synthesize سری‌های داده‌های روزانه پیش‌بینی شونده تولید می‌شوند (ویلیبی و داسون، ۲۰۰۸).

در نهایت به منظور ارزیابی و اطمینان از ریزمقیاس نمایی توسط SDSM آماره‌هایی ضریب تبیین، نش-ساتکلیف، میانگین خطای مطلق و ریشه میانگین مربعات خطا را با استفاده از میانگین داده‌های مشاهداتی ماهانه و میانگین داده‌های محاسباتی ماهانه، تخمین زده شده است و نتایج آن‌ها نیز در جداول (۴-۱) و (۴-۲) آورده شده است که همه‌ی این آماره‌ها حاکی از اطمینان بالای مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی داده‌های موردنظر ما می‌باشد.

مقادیر میانگین خطای مطلق و ریشه‌ی مربعات خطا معرف دقت در بسیاری از روش‌های آماری می‌باشد. هر چه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی دقت بالای مدل و مقدار صفر، نشان‌دهنده عدم وجود خطا در برآورد مدل است. شاخص ناش-ساتکلیف که میزان رابطه بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و مشاهداتی ماهانه را نشان می‌دهد در بازه صفر تا ۱ تغییر می‌کند، نزدیکی این شاخص به ۱ نشان‌دهنده رابطه قوی بین مقادیر پیش‌بینی و مشاهده شده است. همچنین برای یافتن بهترین نتایج پیش‌بینی باید مقدار ضریب تبیین به ۱ نزدیک باشد (طائمی سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۳).

پس از ریزمقیاس نمایی داده‌های دما و بارش تحت سناریوهای A2، B2 و همچنین RCP2.6 و RCP8.5 برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ داده‌های اولیه مدل شبیه‌سازی بارش-رواناب فراهم شد و جهت شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه مورد مطالعه و تخمین میزان آب سطحی طی دوره‌های آتی به مدل معرفی شدند. در ادامه توضیحاتی درباره مدل بارش رواناب انتخابی در این پژوهش آورده شده است.

### ۳-۴- مدل هیدرولوژی

با توجه به اهمیت و حساسیت امر مهار آب‌های سطحی و زیرسطحی خصوصاً در کشور ما که مسئله کم‌آبی در پهنه وسیعی از آن وجود دارد، شناسایی و به مدل درآوردن رفتار رودها و شریان‌های آبی جهت برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و استفاده بهینه از پتانسیل‌های آن‌ها امری لازم است. در

نتیجه شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب در حوضه آبریز از نقطه‌نظر درک بهتر مسائل هیدرولوژیکی، مدیریت منابع آب، مهندسی رودخانه، سازه‌های کنترل سیل و ذخیره سیلاب اهمیت ویژه‌ای دارد. مدل‌های بسیاری جهت ارزیابی هیدرولوژیکی حوضه وجود دارند که توسط محققین، مدیران منابع آب و تصمیم‌گیرنده‌ها استفاده می‌شوند. این مدل‌ها در تخمین و تعیین کیفیت اثر یک برنامه ویژه برای توسعه حوضه از اهمیت بسزایی برخوردار هستند (یاوری و همکاران، ۱۳۹۴).

مدل‌های هیدرولوژیکی به طور شفاف قوانین فیزیکی فرآیندها را لحاظ نکرده و تنها با تابع تبدیل ورودی را به خروجی ارتباط می‌دهند. علی‌رغم این ضعف در مدل‌های هیدرولوژیکی، این مدل‌ها در تفسیر و پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری بر روی جریان اهمیت بسیاری دارند (آندرسن و همکاران، ۲۰۰۱). مدل‌های پیوسته جریان علی‌رغم دشواری در کاربرد و زمان‌گیر بودن، می‌توانند درک بهتری از پاسخ هیدرولوژیکی حوضه آبریز در اثر تغییرات اقلیم و تغییر کاربری داشته باشند (خزایی و همکاران، ۲۰۱۱).

### ۳-۳-۴-۱- معرفی مدل HEC-HMS

سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS برای شبیه‌سازی فرآیندهای کامل آبی سیستم‌های حوضه دندریتیک طراحی شده است. این نرم‌افزار شامل بسیاری از روش‌های تجزیه و تحلیل آب از قبیل فرآیند نفوذ، هیدروگراف واحد و روند یابی جریان است. HEC-HMS همچنین شامل مراحل لازم برای شبیه‌سازی مستمر از جمله تبخیر-تعرق، ذوب برف و محاسبه رطوبت خاک می‌باشد. قابلیت‌های پیشرفته‌ای نیز برای شبیه‌سازی رواناب توزیعی با استفاده از توزیع شبه خطی تبدیل رواناب (ModClark) ارائه شده است. ابزار مکمل تجزیه و تحلیل برای برآورد پارامتر، تجزیه و تحلیل عمیق منطقه، پیش‌بینی جریان، فرسایش و انتقال رسوب و کیفیت مواد محلول آب در آن فراهم شده است.

ویژگی‌های محیط کار این نرم‌افزار به طور کامل یکپارچه طراحی شده است که در این میان می‌توان از جمله به یک پایگاه داده، بخش ورود اطلاعات، موتور محاسبات و ابزار نتایج گزارش کرد.

یک رابط یا واسط گرافیکی کاربر اجازه می‌دهد تا بدون مشکل کاربر بین بخش‌های مختلف از نرم‌افزار ارتباط برقرار نماید. نتایج شبیه‌سازی در HEC-DSS (سیستم ذخیره‌سازی داده‌ها) ذخیره می‌شود و می‌تواند در رابطه با نرم‌افزارهای دیگر برای مطالعه آب در دسترس، زهکشی شهری، پیش‌بینی جریان، تأثیر شهرنشینی در آینده، طراحی سرریز مخزن، کاهش آسیب سیل، طوفان و مقررات دشت سیلابی و عملیات سیستم حوضه استفاده شود. مدل HEC-HMS درواقع نسخه تحت ویندوز مدل HEC-1 است که در سال ۱۹۸۱ توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش ایالات متحده آمریکا برای تهیه هیدروگراف سیل ارائه شد و پس از آن اصلاحات زیادی روی آن صورت گرفت تا در سال ۱۹۹۸ به نام HEC-HMS و تحت ویندوز ارائه شد. HEC-HMS توسط ترکیبی از زبان‌های نوشته شده که بخش‌های گرافیکی توسط C++ و الگوریتم فرآیندهای هیدرولوژیکی آن در فورترن می‌باشد. این نرم‌افزار امکان شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب در حوضه‌های آبریز را فراهم می‌آورد (USACE, 2015).

### ۳-۴-۲- قابلیت‌های مدل

بسته نرم‌افزاری HEC-HMS قابلیت‌های متعددی دارد که نمونه‌های از آن عبارت‌اند از:

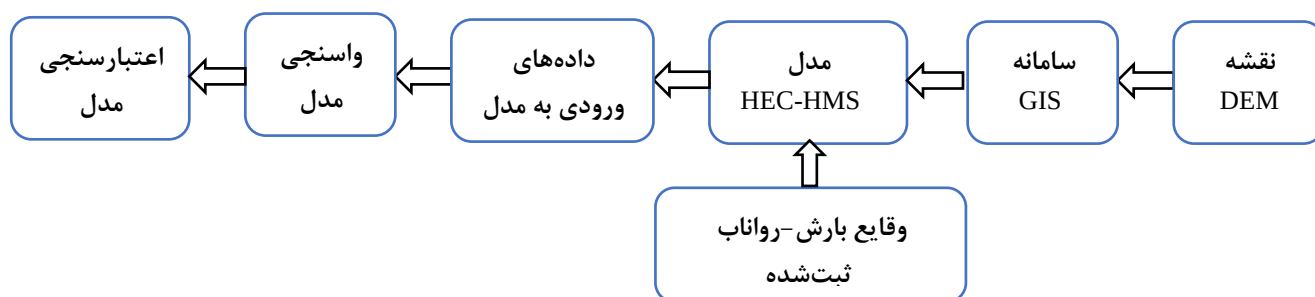
- استفاده از محیط گرافیکی بسیار قوی و آسان جهت شبیه‌سازی حوضه‌ها.
- امکان گزارش‌گیری از نتایج به صورت نموداری و جدولی.
- استفاده از محدوده بسیار وسیع روابط هیدرولوژیکی در محاسبات.
- قابلیت تحلیل هیدرولوژیکی پیوسته.
- قابلیت الحاق به سایر نرم‌افزارها همچون Arcview-GIS.
- امکان اعمال ضریب تغییر در داده‌های ورودی و مقایسه نتایج (USACE, 2015).



### ۳-۴-۳- فرآیند مدل سازی هیدرولوژیکی در HEC-HMS

در این تحقیق به منظور شبیه سازی فرایند بارش-رواناب از مدل HEC-HMS نسخه ۴,۱ استفاده گردیده است که برای شبیه سازی پاسخ رواناب سطحی یک حوضه آبریز نسبت به بارندگی های معین طراحی شده است. این مدل حوضه آبریز را به عنوان یک سیستم به هم پیوسته با مؤلفه های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نمایش می دهد. هر مؤلفه مدل یک جنبه از فرآیند بارش-رواناب را در داخل بخشی از حوضه که معمولاً به عنوان زیر حوضه در نظر گرفته می شود شبیه سازی می کند. در این مدل با وارد کردن اطلاعات مربوط به خصوصیات حوضه و اجزاء آن شبیه سازی به منظور تبدیل بارش به رواناب انجام می شود و هیدروگراف سیلاب حوضه تولید می شود (اصلان زاده و صفاری، ۱۳۹۲).

ساختار کلی فرآیند مدل سازی هیدرولوژیکی مطابق شکل (۳-۸) می باشد.



شکل (۳-۸) فلوچارت روند انجام تحقیق و آماده سازی مدل HEC-HMS

شبیه سازی حوضه آبریز در HEC-HMS توسط سه مؤلفه اساسی به نام های مدل حوضه، مدل هواشناسی و مشخصه های کنترل انجام می گیرد.

#### الف- مؤلفه های مدل حوضه:

خواص فیزیکی حوضه آبریز، زیر حوضه ها، رودخانه ها و تأسیسات وابسته به آن ها در مدل حوضه به نرم افزار معرفی می شود. همچنین جهت شبیه سازی شبکه درختی اتصالات حوضه آبریز از المان های هیدرولوژیکی مختلفی استفاده خواهد شد. المان های هیدرولوژیکی موجود در مدل حوضه مشتمل بر هفت المان است (USACE, 2015).

فرآیند محاسبات مربوط به تعیین میزان تلفات در حوضه، تبدیل بارش مازاد به رواناب، مقدار جریان پایه و شبیه‌سازی جریان در کانال‌ها و مخازن، همچنین روند یابی آن‌ها در مدل حوضه انجام می‌پذیرد.

#### الف-۱- روش‌های محاسبه تلفات در زیر حوضه‌ها:

پارامترهایی همچون برفاب، نفوذ، ذخیره آب در چاه‌های سطح زمین و پروفیل خاک و تبخیر و تعرق از جمله عواملی هستند که در یک حوضه سبب تلفات شده و مانع تبدیل مستقیم بارش به رواناب می‌شوند. HEC-HMS جهت محاسبه رواناب یک حوضه آبریز با شبیه‌سازی عوامل فوق، تفاوت را مد نظر قرار می‌دهد (USACE, 2015).

در این تحقیق از مدل پیوسته احتساب کننده رطوبت خاک (SMA) برای مدل‌سازی تلفات استفاده می‌شود. تنها مدل با قابلیت شبیه‌سازی پیوسته وقایع بارش-رواناب در HEC-HMS، مدل SMA می‌باشد که قادر است تغییرات مقدار رطوبت خاک را بین رویدادهای بارندگی در زمان‌های مختلف شبیه‌سازی کند. این مدل حرکت آب و ذخیره آن را در گیاهان، سطح خاک و عمق خاک و لایه‌های زیرزمینی شبیه‌سازی کرده و با داشتن مقدار بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل، مدل جریان سطحی و جریان آب زیرزمینی، تلفات ناشی از ET نفوذ را روی کل حوضه آبریز محاسبه می‌کند. نرخ جریان ورودی به حوضه، مقدار جریان خروجی از حوضه و ظرفیت هرکدام از لایه‌ها، عامل کنترل کننده حجم آب تلف‌شده یا اضافه گردیده به هریک از این مؤلفه‌هاست. میزان ذخیره در زمان کنونی، در خلال شبیه‌سازی در پروفیل خاک محاسبه می‌شود که به طور پیوسته بین دو رگبار در حال تغییر است. لایه‌های ذخیره کننده در مدل SMA شامل ذخیره سطحی، ذخیره برگابی، ذخیره چالابی، ذخیره پروفیل خاک و ذخیره آب زیرزمینی می‌باشد (یوسفی‌مهرن، ۱۳۹۲).

## الف-۲- روش محاسبه تبدیل بارش به رواناب

در این قسمت شبیه‌سازی فرآیند رواناب مستقیم از بارش مازاد در حوضه توصیف می‌شود که در HEC-HMS از آن به عنوان انتقال نام برده می‌شود (یوسفی‌مهرن، ۱۳۹۲). در این تحقیق برای تبدیل بارش اضافی به رواناب از روش هیدروگراف واحد کلارک استفاده می‌شود که ورودی‌های آن زمان تمرکز و ضریب ذخیره است.

## الف-۳- روش‌های محاسبه دبی پایه در زیر حوضه‌ها:

در این قسمت نیز چندین روش وجود دارد که به دلیل شبیه‌سازی جریان پایه توسط مخزن خطی در مدل SMA، روش مخزن خطی برای جداسازی جریان پایه انتخاب می‌شود (یوسفی‌مهرن، ۱۳۹۲).

## الف-۴- روند یابی رودخانه

در این پژوهش برای روند یابی رودخانه در ۵ مسیر اصلی حوضه، از روش شناخته شده و مشهور ماسکینگام به لحاظ سهولت عمل و نیاز به حداقل داده‌ها و همچنین کاربرد وسیع و جهانی آن استفاده شده است. دو پارامتر مورد نیاز برای روند یابی با این روش شامل  $K$  و  $X$  می‌باشد.  $X$  یک ضریب بدون بعد بوده و مشخص کننده تأثیر نسبی دبی‌های ورودی و خروجی در میزان ذخیره است و در نتیجه پایین افتادگی دبی اوج سیل را نشان می‌دهد. مقدار  $X$  برای انواع رودخانه‌ها از ۰ تا ۰/۵ تغییر می‌کند. مقادیر  $K$  در هر یک از بازه‌ها، از تقسیم طول بازه بر سرعت متوسط جریان در آن بازه به دست می‌آید (اصلان زاده و صفاری، ۱۳۹۲).

## ب- مؤلفه مدل هواشناسی

این بخش از مدل شامل مجموعه اطلاعات مورد نیاز برای تعیین بارش تاریخی است و با مدل حوضه در ارتباط است. داده‌های هواشناسی با مؤلفه مدل هواشناسی تحلیل می‌شود و این مؤلفه شامل اطلاعات بارندگی، تبخیر-تعرق و ذوب برف است (USACE, 2015). روش محاسبه بارندگی در این مطالعه، روش

هیتوگراف سفارشی است. برای شبیه‌سازی مقدار تبخیر و تعرق از روش ثابت ماهانه استفاده شد. میانگین ماهانه مقدار تبخیر اندازه‌گیری شده در هر منطقه از زیر حوضه‌های مدل تنها پارامتری است که جهت استفاده لازم می‌باشد. همچنین برای محاسبه ذوب برف از روش درجه-روز استفاده شد که در این روش باید اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های دماسنجی منطقه به مدل وارد شود.

### ج- مؤلفه شاخص کنترل

مشخصه‌ی کنترل در کنار مدل حوضه و مدل هواشناسی یکی دیگر از مؤلفه‌های لازم برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌ها در HEC-HMS می‌باشد. تاریخ و ساعت شروع و اتمام یک پروژه و همچنین دسته‌بندی زمان محاسبات که گام زمانی نامیده می‌شود در این بخش معرفی می‌شود. (USACE, 2015).

### ۳-۴-۳-۴- ورودی مدل HEC-HMS

ورودی‌های اصلی موردنیاز در مدل HEC-HMS، شامل نقشه‌های رستری (توپوگرافی، کاربری اراضی و بافت خاک) و آمار هواشناسی- هیدرولوژیکی منطقه می‌باشد.

### الف- اطلاعات رقومی

نقشه‌های رقومی توپوگرافی، کاربری اراضی و بافت خاک سه نقشه اصلی مورد استفاده در مدل می‌باشند و سایر پارامترهای هیدرولوژیکی موردنیاز در مدل بر اساس این سه نقشه تهیه می‌شوند (یاوری، ۱۳۹۴). در این تحقیق در ابتدا با به‌کارگیری الحاقیه‌های Arc Hydro، HEC-GeoHMS و با استفاده از نقشه رقوم ارتفاعی منطقه در محیط ArcGIS مرز زیر حوضه‌ها، شبکه آبراهه و سایر خصوصیات فیزیوگرافی حوضه تعیین و سپس این اطلاعات وارد مدل HEC-HMS شد.

## ب- آمار هیدرولوژیکی - هواشناسی

اطلاعات هواشناسی پایه موردنیاز شامل بارندگی و تبخیر می‌باشد که در صورت شبیه‌سازی ذوب برف، بایستی آمار درجه حرارت را نیز به مدل وارد نمود.

**بارش:** بارندگی یک عامل محرک پایه بوده و به‌عنوان یک ورودی کلیدی در اکثر فرایندهای هیدرولوژیکی محسوب می‌گردد. معمولاً مدل‌های بارش-رواناب نسبت به عامل بارندگی بسیار حساس بوده و هرگونه خطا در آن باعث تغییر شدید در شبیه‌سازی جریان می‌گردد.

**تبخیر:** آمار تبخیر به‌عنوان یکی از ورودی‌های موردنیاز مدل می‌باشد. میانگین ماهانه مقدار تبخیر اندازه‌گیری شده در هر منطقه از زیر حوضه‌های مدل تنها پارامتری است که مدل به آن نیاز دارد. **دبی:** به‌منظور واسنجی و ارزیابی مدل، آمار دبی مشاهده‌ای در خروجی حوضه موردنیاز می‌باشد که این آمار بایستی گام زمانی مشابه با سری بارندگی داشته باشند تا بتوان مقایسه چشمی و آنالیزهای آماری را انجام داد.

**دما:** آمار درجه حرارت زمانی موردنیاز است که تجمع و ذوب برف در حوضه وجود داشته باشد. به‌طورمعمول آمار درجه حرارت متوسط روزانه برای شبیه‌سازی فرایند برف کافی می‌باشد. آمار درجه حرارت نیز بایستی دارای گام زمانی مشابه با سری بارندگی باشد (یاوری، ۱۳۹۴).

### ۳-۳-۵- واسنجی مدل و بهینه‌سازی نتایج

واسنجی فرآیندی است که در طی آن مقادیر پارامترهای معرفی شده به مدل، با هدف دسترسی به نتایج همگون با داده‌های واقعی و طبیعی، تصحیح می‌شود. در شروع عملیات بهینه‌سازی لازم است برای تمام پارامترهای بکار رفته در مدل مقادیر اولیه‌ای اختیار گردد، عملیات بهینه‌سازی با حصول بهترین برازش بین هیدرو گراف‌های محاسبه‌ای و مشاهده‌شده به اتمام می‌رسد. فرایند واسنجی به دو صورت دستی (سعی و خطا) و خودکار انجام می‌پذیرد:

فرآیند واسنجی می‌تواند با استفاده از قضاوت مهندسی به روش تصحیح مکرر پارامترها و محاسبه بهترین برازش بین هیدروگراف‌های محاسبه شده و مشاهده شده انجام پذیرد. مقدار کمی بهترین برازش، همان تابع هدف خواهد بود. یک تابع هدف میزان تغییرات بین هیدروگراف‌های مشاهده شده و محاسبه شده را اندازه می‌گیرد. جهت کمینه کردن مقدار تابع و یافتن مقادیر بهینه پارامترها از روش‌هایی که به روش‌های جستجو معروف هستند استفاده می‌شود. کم‌ترین مقدار تابع هدف زمانی حاصل می‌شود که مقادیر پارامترهای بکار رفته در مدل، بهترین و نزدیک‌ترین هیدروگراف را به هیدروگراف مشاهده تولید کند. در این صورت پارامترهای به کار رفته در مدل دارای مقادیر بهینه خواهند بود (یاوری، ۱۳۹۴).

عملیات واسنجی مدل HEC-HMS به روش تصحیح مکرر مقادیر پارامترها انجام می‌شود. در شروع عملیات بهینه‌سازی لازم است برای تمامی پارامترهای به کار رفته در مدل مقادیر اولیه‌ای اختیار شود. جهت جلوگیری از استفاده مقادیر غیرمعمول برای پارامترها، حد بالا و پایین توسط مدل HEC-HMS در نظر گرفته خواهد شد. یک هیدروگراف در محل المان خاصی که به عنوان المان نشانه از آن یاد خواهد شد با در نظر گرفتن تمام المان‌های بالادست محاسبه می‌شود. المان نشانه باید دارای یک هیدروگراف مشاهده شده با پیوند بیشتر از زمانی که تابع هدف ارزیابی می‌شود باشد. در این صورت با استفاده از هیدروگراف‌های محاسبه و مشاهده شده مقدار تابع هدف در محل المان نشانه محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است فقط پارامترهای المان‌های بالادست المان نشانه قابلیت بهینه شدن مقادیر را دارا هستند. مقادیر پارامترها به روش جستجو، تصحیح شده سپس هیدروگراف و تابع هدف مجدداً برای المان نشانه محاسبه می‌شود. این روند تا زمانی که مقدار تابع هدف (میزان خطا) به اندازه کافی کوچک شده باشد، ادامه می‌یابد (USACE, 2015).

### ۳-۳-۶- معرفی معیارهای کارایی و ارزیابی مدل

به منظور ارزیابی کارایی مدل HEC-HMS در تولید هیدروگراف مشاهده‌ای، یک سری روش‌های آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر مقایسه چشمی، جهت ارزیابی بهترین برازش بین هیدروگراف‌های محاسبه شده و مشاهده‌ای، معیارهای ارزیابی زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این اندازه‌گیری‌های آماری، یک ارزیابی کمی از میزان برازش مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده ارائه داده و نمایانگر درجه انطباق مشاهدات و پیش‌بینی می‌باشد. بر مبنای نتایج حاصل از این تست‌ها، قابلیت پیش‌بینی مدل تعیین می‌گردد. در زیر به پاره‌ای از معیارهای ارزیابی اشاره می‌گردد:

#### الف- ضریب تبیین

ضریب تبیین یکی از شاخص‌های اعتبارسنجی می‌باشد که به وسیله ارزش ریشه ضریب همبستگی تعریف می‌شود و با  $R$  نمایش داده می‌شود،  $R$  بین صفر تا یک متغیر است؛ که هرچه به یک نزدیک‌تر باشد همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی بالاتر خواهد بود.

$$R = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_{oi})(Q_{si} - \bar{Q}_{si})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_{oi})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - \bar{Q}_{si})^2}} \right] \quad (1-3)$$

#### ب- ضریب نش-ساتکلیف

شاخص تأثیر که به روش نش-ساتکلیف معروف است در سال ۱۹۷۰ ارائه شده است و به صورت زیر می‌باشد. مقادیر آن نیز هرچه به یک نزدیک‌تر باشد شبیه‌سازی صورت گرفته دقیق‌تر می‌باشد.

$$CNS = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_{oi})^2} \right) \quad (2-3)$$

### ج- انحراف مدل

انحراف مدل را می‌توان به صورت تفاوت میانگین نسبی بین جریان مشاهده شده و پیش‌بینی شده در یک نمونه بزرگ شبیه‌سازی بیان نمود؛ که انعکاس‌دهنده قابلیت تعیین تعادل آب بوده و شاید در عمل مهم‌ترین عامل برای مقایسه کارایی مدل باشد. مقادیر MB پایین نشان‌دهنده برارزش بهتر و میزان صفر نمایانگر شبیه‌سازی کامل میزان جریان مشاهده‌ای می‌باشد.

$$MB = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{si} - Q_{oi})}{\sum_{i=1}^N Q_{oi}} \right] \quad (3-3)$$

### د- ریشه میانگین مربعات خطا

این شاخص نیز مانند انحراف مدل هرچه به مقدار صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برارزش بهتر بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است که به صورت معادله‌ی زیر بیان می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2}{n}} \quad (4-3)$$

طبق معادلات فوق  $Q_{oi}$ ,  $Q_{si}$ : جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در گام زمانی  $i$ ،  $N$ : تعداد گام های زمانی در طول دوره شبیه‌سازی،  $\bar{Q}_{oi}$  متوسط دبی مشاهده‌ای و  $\bar{Q}_{si}$  متوسط دبی شبیه‌سازی است (بهبودیان، ۱۳۸۴).



### ۳-۳-۷- تخصیص منابع آب

یکی از مشکلات و مباحث اساسی مدیریت منابع آب به‌ویژه در کشور ایران، موضوع برنامه‌ریزی صحیح منابع آب و تخصیص آب در شرایط بهینه است. در سال‌های اخیر، سعی شده است در مقایسه حوضه‌های آبریز به برنامه‌ریزی آب پرداخته شود و به همین دلیل موضوع مدیریت جامع و یکپارچه مطرح شده است. نگرش یکپارچه به سیستم‌های آبی، اصل اساسی برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آبی است. یکی از مهم‌ترین چالش‌های برنامه‌ریزی منابع آب، تعیین حق‌آبه‌ها و هم‌چنین سهم هر یک از مصرف‌کنندگان آب در آلودگی رودخانه در کل حوضه است (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۹).

پیچیدگی مسائل آب نیازمند روش‌های جدیدی است که دیدگاه‌های فنی، اقتصاد، زیست‌محیطی، اجتماعی و منطقی را در یک قالب به‌هم‌پیوسته گردآوری نماید در این زمینه نیاز به تلاش‌های ملی و بین‌المللی می‌باشد تا به منابع پایدار آب در سطوح ملی و جهانی دست‌یافته شود. مدیریت جامع منابع آب باید نیاز تمام بهره‌برداران آب را لحاظ کند و این امر نیازمند این است که مدیریت جامع منابع آب در سطح حوضه آبریز انجام گیرد. در مدیریت جامع منابع آب لازم است در ابتدا درک درستی از رفتار طبیعی سیستم منابع آب جهت رویدادهای طبیعی سیستم منابع آب وجود داشته باشد (یاوری، ۱۳۹۴). در دهه‌های گذشته با رشد قابلیت‌های نرم‌افزاری، امکان توسعه مدل‌های رایانه‌ای فراهم شده است که به‌نوبه خود نقش مؤثری در بهینه‌سازی و شبیه‌سازی منابع آب داشته است. این مدل‌ها در اواخر دهه ۱۹۴۰ و اوایل ۱۹۵۰ در عرصه‌ی مدیریت منابع آب ظاهر شدند و در حقیقت، مهم‌ترین پیشرفت در برآورد تأثیرات هیدرولوژیکی، اقتصادی، زیست‌محیطی و راهکارهای مختلف مدیریتی منابع آب محسوب می‌گردند. امروزه، مدل‌های شبیه‌سازی متعددی برای بررسی مسائل مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب وجود دارند که علاوه بر دارا بودن رابط کاربر گرافیکی، قابلیت استفاده برای اشتراک و مداخله کاربران را در امور منابع آب تسهیل می‌نمایند. در این میان، می‌توان به مدل‌های شناخته‌شده‌ای همچون RIBASIM، MIKEBASIN، WEAP و MODSIM اشاره کرد.

### ۳-۷-۱- تشریح مدل WEAP

مدل WEAP، یکی از ابزارهایی است که برای برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب استفاده می‌شود و چهارچوبی جامع، قابل‌انعطاف و کاربر دوست را برای تحلیل سیاست‌ها فراهم می‌کند. این نرم‌افزار در سال ۱۹۹۸ و باهدف تبدیل‌شدن به ابزاری برای برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر، جامع و شفاف به‌منظور ارزیابی پایداری تقاضاهای کنونی و الگوهای تأمین آب و ارزیابی سناریوهای بلندمدت مختلف، با هدف یکپارچه نگری در برنامه‌ریزی منابع آب توسعه یافت.

#### الف- دلایل انتخاب مدل

- وارد ساختن اجزای تشکیل دهنده این مدل بسیار ساده است.
- این مدل در عین جامع بودن، بسیار کاربر دوست است.
- استفاده از این مدل نیازی به آشنایی با سایر نرم‌افزارهای موجود ندارد.
- در این مدل، امکان تعریف تاریخ و گام‌های زمانی مختلف وجود دارد.
- این مدل، می‌تواند داده‌ها را هم به صورت مستقیم و هم از طریق فایل‌های متنی دریافت کند.

#### ب- قابلیت‌های مدل

- شماتیک طرح (شامل مناطق نیاز، منابع آب، خطوط انتقال، خطوط جریان بازگشتی و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب)
- اولویت‌بندی تخصیص آب
- شبیه‌سازی مؤلفه‌های کیفی آب
- قابلیت‌های زمانی مدل
- قابلیت مقایسه گزینه‌های مختلف
- قابلیت مدل‌سازی نیازها و بررسی کیفیت آب در نقاط نیاز

### ج- محدودیت‌های مدل

- عدم یکپارچگی با نرم‌افزارهای GIS
- عدم انتقال از مخزن به مخزن
- مدل‌سازی یک‌بعدی آلاینده‌ها
- عدم بررسی تأثیر مسائل اقتصادی و مدیریتی بر نیازها
- عدم قابلیت تنظیم مستقیم سد بالادست برای نیازهای پائین‌دست
- عدم امکان ارتباط با مدل‌های بهینه‌سازی
- عدم امکان شبیه‌سازی سرریزها و شروع سال پایه از ۱۹۰۰ به بعد (WEAP، ۲۰۱۲).

### ۳-۳-۲- الگوریتم محاسباتی

در WEAP معادلات بیلان جرم آب و آلودگی در هر گره و در تمام خطوط انتقال با گام زمانی مشخص شده صورت می‌گیرد. آب به تمام نقاط داخل رودخانه‌ها و کانال‌ها و نقاط مصرف انتقال می‌یابد و محدودیت‌هایی از قبیل اولویت‌های نیاز، اولویت‌های تخصیص، تعادل جرم و سایر قیود در شبیه‌سازی در نظر گرفته می‌شود. بارهای نقطه‌ای آلودگی و وضعیت پارامترهای کیفی مشخص شده آب نیز در صورت لزوم مورد محاسبه قرار می‌گیرند (WEAP، ۲۰۱۲).

### ۳-۷-۳-۳- رویکرد WEAP

تحلیلگر، سیستم را به صورت اجزای مختلف منابع تأمین، برداشت، انتقال، تجهیزات تصفیه فاضلاب، نیازهای اکوسیستم، نیازهای آبی و تولید آلودگی ارائه می دهد. ساختار داده ها و سطح جزئیات را می توان به سادگی به شکل دلخواه درآورد تا نیازهای یک تحلیل خاص را برآورده کرده و محدودیت های ناشی از کمبود داده ها را نشان دهند.

کار با WEAP معمولاً شامل چندین گام است. در تعریف مطالعه، چهارچوب زمانی، مرزهای مکانی، اجزای سیستم و تنظیمات مسئله انجام می شود. وضع موجود که از آن می توان به عنوان گام واسنجی مدل در شرایط توسعه استفاده کرد، یک تصویر کلی از نیازهای آبی واقعی، بارهای آلودگی، منابع و تأمین سیستم نشان می دهد. در شرایط موجود، فرضیات کلیدی برای بیان سیاست ها، هزینه ها و عواملی که بر نیاز، آلودگی، تأمین و هیدرولوژی مؤثرند، تعریف می شود. سناریوها در شرایط موجود ساخته می شوند و با استفاده از آن ها می توان اثر فرضیات یا سیاست های مختلف را بر میزان دسترسی و مصرف آب در آینده بررسی کرد. نهایتاً سناریوها با توجه به میزان آب، هزینه ها و سودها، سازگاری با اهداف زیست محیطی و حساسیت به عدم قطعیت در متغیرهای کلیدی ارزیابی می شوند (WEAP، ۲۰۱۲).

# فصل ہمارم

نتائج

#### ۴-۱- مقدمه

این مطالعه به بررسی موضوعاتی از قبیل تغییر اقلیم، مدل سازی بارش-رواناب و شبیه سازی تخصیص منابع آب برای دوره های آتی با رویکردی جدید، در حوضه آبریز لتیان پرداخته است. نتایج این پژوهش به ترتیب اشاره شده در فصل های قبل در ادامه بیان می شود، به این ترتیب که در ابتدا به مقایسه ی وضعیت اقلیمی منطقه در دوره های زمانی آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم پرداخته می شود، سپس نتایج واسنجی و ارزیابی مدل بارش-رواناب گزارش می شود و در نهایت درباره ی چگونگی تخصیص منابع آب با توجه به هریک از مدل های تغییر اقلیم و سناریوهای مربوط به آنها در دوره های زمانی 2020S و 2080S بحث می شود.

#### ۴-۲- بررسی اطلاعات اقلیمی منطقه

همان طور که اشاره شد در این تحقیق با به کارگیری مدل مولد اقلیمی SDSM (نسخه ۴,۲,۹) داده های اقلیمی از قبیل دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش ایستگاه های باران سنجی و هواشناسی به صورت جداگانه تحت سناریوهای A2 و B2 در مدل HadCM3 و همچنین سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 در مدل Canesm2 برای دوره های ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ ریزمقیاس گردیده است. در این راستا پس از بررسی های اولیه طول دوره آماری از نظر کفایت داده ها و پیش از اجرای مدل، نرمال بودن و همگنی مطابق آنچه در بخش ۳-۳-۳ بیان شد، مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بررسی های صورت گرفته در این مرحله در جدول های (۴-۱) و (۴-۲) ارائه شده است.

جدول (۱-۴) معیارهای ارزیابی مدل SDSM در هریک از ایستگاه‌ها در دوره‌ی پایه در مدل Canesm2

| ایستگاه      | نوع ایستگاه | RMSE | MAE  | R    | NS   |
|--------------|-------------|------|------|------|------|
| امامه        | تبخیرسنجی   | ۰/۸۲ | ۰/۵۵ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| آهار         | باران‌سنجی  | ۲/۳۷ | ۱/۸۱ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| راحت آباد    | تبخیرسنجی   | ۰/۸۲ | ۰/۶۲ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| رودبار قصران | باران‌سنجی  | ۳/۳۹ | ۲/۵۷ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| رودک         | باران‌سنجی  | ۲/۱۵ | ۱/۷۸ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| شمشک         | باران‌سنجی  | ۲/۸۳ | ۲/۱۸ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| فشم          | باران‌سنجی  | ۲/۴۷ | ۱/۷  | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| کمرخانی      | تبخیرسنجی   | ۰/۴۶ | ۰/۳۷ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |

جدول (۲-۴) معیارهای ارزیابی مدل SDSM در هریک از ایستگاه‌ها در دوره‌ی پایه در مدل HadCM3

| ایستگاه      | نوع ایستگاه | RMSE | MAE  | R    | NS   |
|--------------|-------------|------|------|------|------|
| امامه        | تبخیرسنجی   | ۰/۹۹ | ۰/۷  | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| آهار         | باران‌سنجی  | ۲/۹۹ | ۱/۹۸ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| راحت آباد    | تبخیرسنجی   | ۰/۸  | ۰/۶۴ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| رودبار قصران | باران‌سنجی  | ۳/۶  | ۲/۵۷ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| رودک         | باران‌سنجی  | ۱/۷۶ | ۱/۳۶ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| شمشک         | باران‌سنجی  | ۲/۴  | ۱/۴۷ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| فشم          | باران‌سنجی  | ۳/۹  | ۲/۴۶ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| کمرخانی      | تبخیرسنجی   | ۰/۶۲ | ۰/۵۲ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |

با توجه به نتایج جدول (۱-۴) و (۲-۴) و آنچه در بخش ۳-۳-۳ در مورد حدود آماره‌ها آمده است، کمترین مقدار آماره‌های MAE و RMSE در ایستگاه کمرخانی و در مدل Canesm2 به ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۴۶ می‌باشد و همچنین آماره‌های ضریب تبیین (R) و ناش-ساتکلیف (CNS) برای هردو مدل اقلیمی در تمامی ایستگاه مقدار بسیار خوب ۰/۹۹ به دست آمده است. دقت در مقدار آماره‌ها گویای نتایج عالی ریزمقیاس نمایی مدل SDSM به روی اطلاعات موردنظر در دوره‌ی زمانی پایه (۲۰۰۹-۱۹۸۰) در هردو مدل اقلیمی نامبرده است.

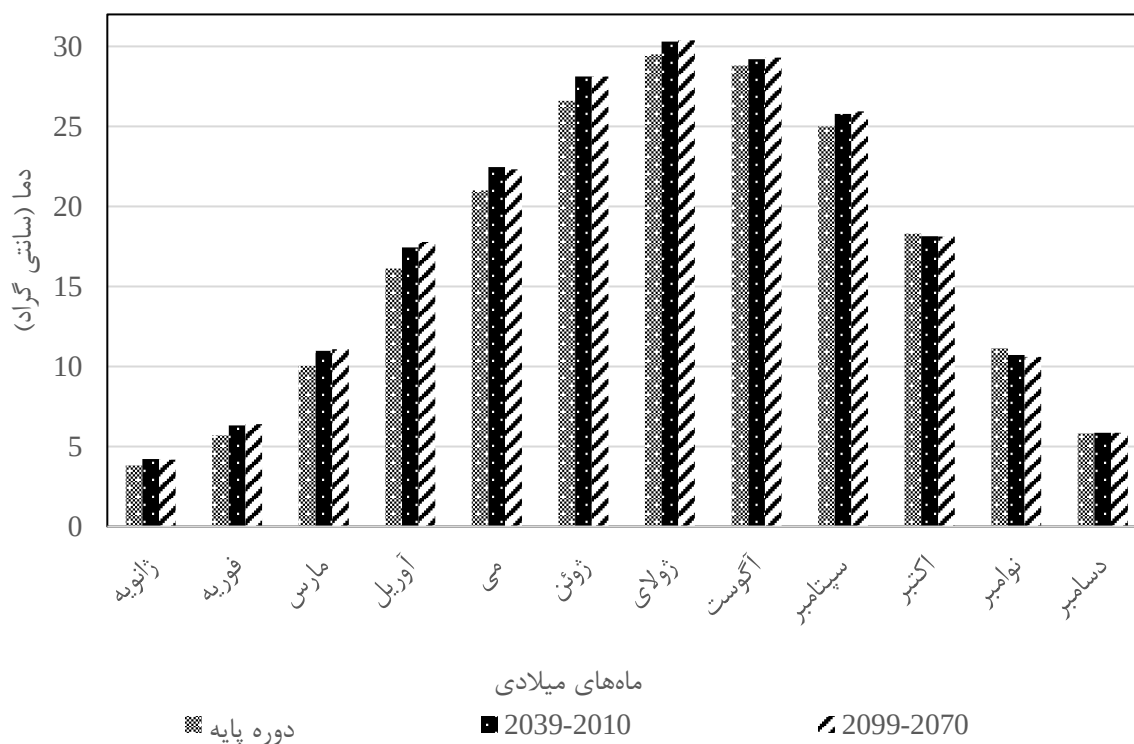
پس از ارزیابی مدل، دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش به صورت روزانه تحت سناریوهای یادشده برای دوره‌های ۳۰ ساله با استفاده از مدل HadCM3 و Canesm2 تخمین زده شده و با دوره پایه (۲۰۰۹-۱۹۸۰) مقایسه گردید. در این پژوهش دو شاخص اصلی میانگین حداقل و حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله که نمای کلی از وضعیت اقلیمی منطقه در آینده را نمایش می‌دهند استفاده شده است. با توجه به تعداد بالای ایستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش برای بالا بردن دقت مدل بارش-رواناب، نتایج اعمال سناریوهای تغییر اقلیم در بازه‌های زمانی مورد مطالعه تنها برای ایستگاه امامه که تقریباً در مرکز حوضه قرار دارد و به خوبی می‌تواند گویای وضعیت تغییرات اقلیمی حوضه باشد در متن پایان‌نامه آورده شده است و نتایج گرافیکی مربوط به سایر ایستگاه‌ها به همراه آنالیز آن‌ها در پیوست الف ارائه شده است.

#### ۴-۲-۱- بررسی تغییرات دمای حداکثر

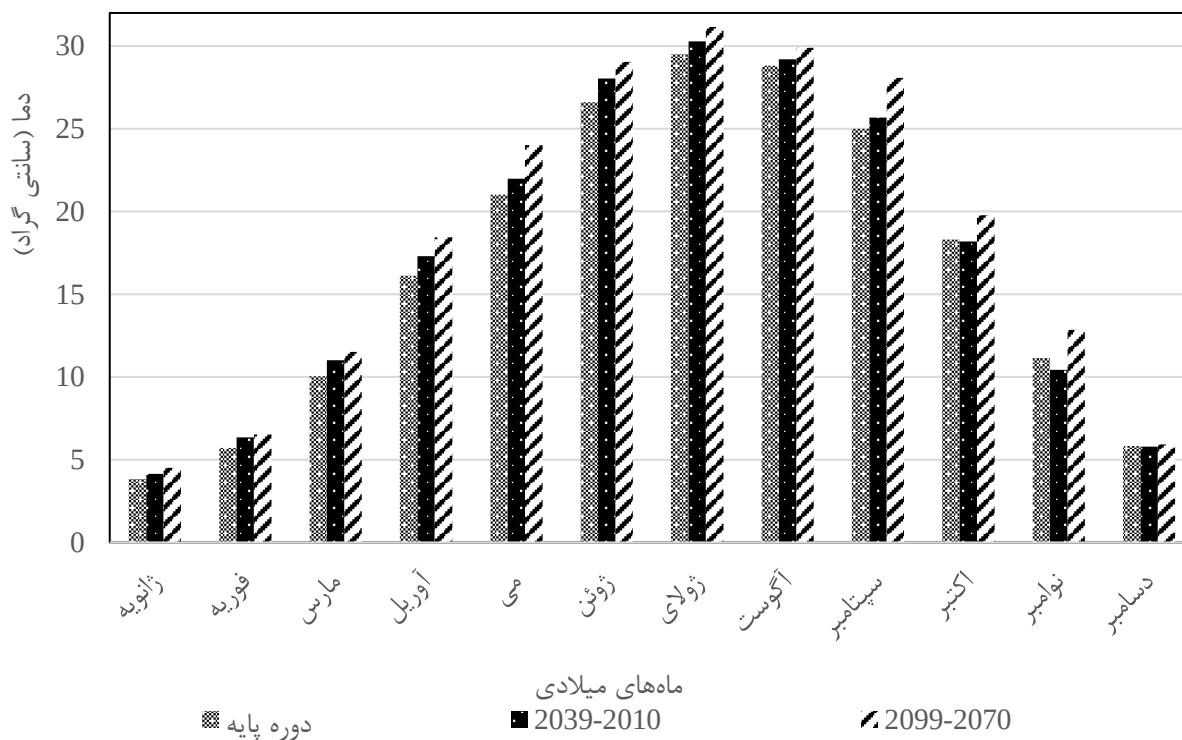
با توجه به شکل‌های (۴-۱) و (۴-۲)، می‌توان دریافت که بیشترین افزایش میانگین حداکثر دمای ماهانه در مدل Canesm2 به میزان  $3/08$  درجه سلسیوس نسبت به دوره‌ی پایه مربوط به ماه سپتامبر سناریوی RCP8.5 در دوره‌ی 2080s است و کمترین افزایش در این دوره زمانی برای ماه سپتامبر به سناریوی RCP2.6 به میزان  $0/93$  درجه سلسیوس مربوط می‌شود.

همچنین با توجه به شکل‌های (۴-۳) و (۴-۴)، می‌توان دریافت که بیشترین افزایش میانگین حداکثر دمای ماهانه در مدل HadCM3 به میزان  $2/08$  درجه سلسیوس نسبت به دوره‌ی پایه مربوط به ماه می و سناریوی A2 در دوره‌ی آینده‌ی دور می‌باشد و کمترین افزایش نسبت به دوره‌ی پایه در آینده‌ی دور به میزان  $0/12$  درجه سلسیوس در ماه دسامبر و در سناریوی B2 مشاهده می‌شود.

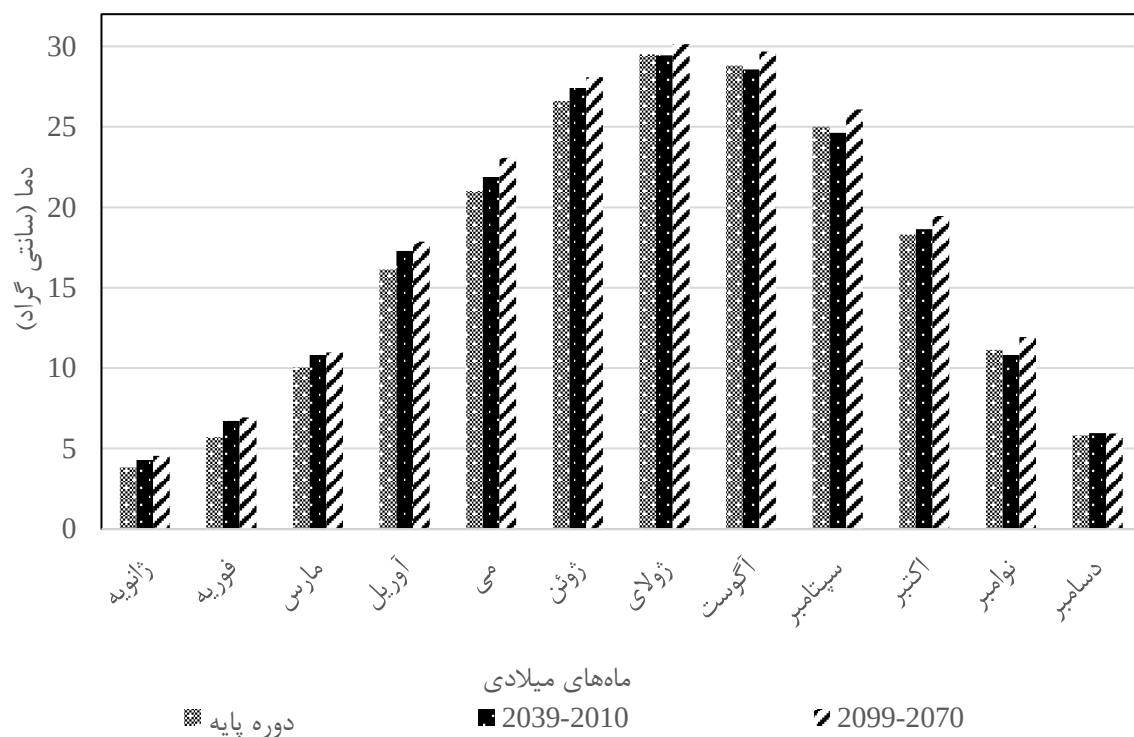




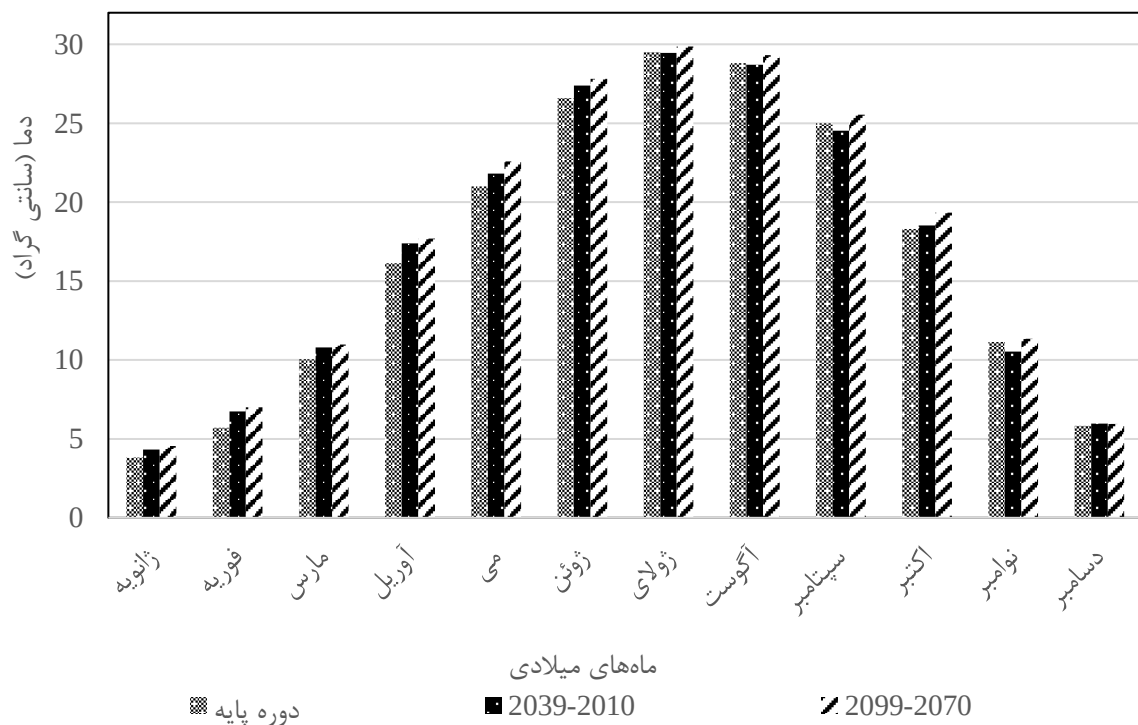
شکل (۱-۴) مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی RCP2.6



شکل (۲-۴) مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی RCP8.5



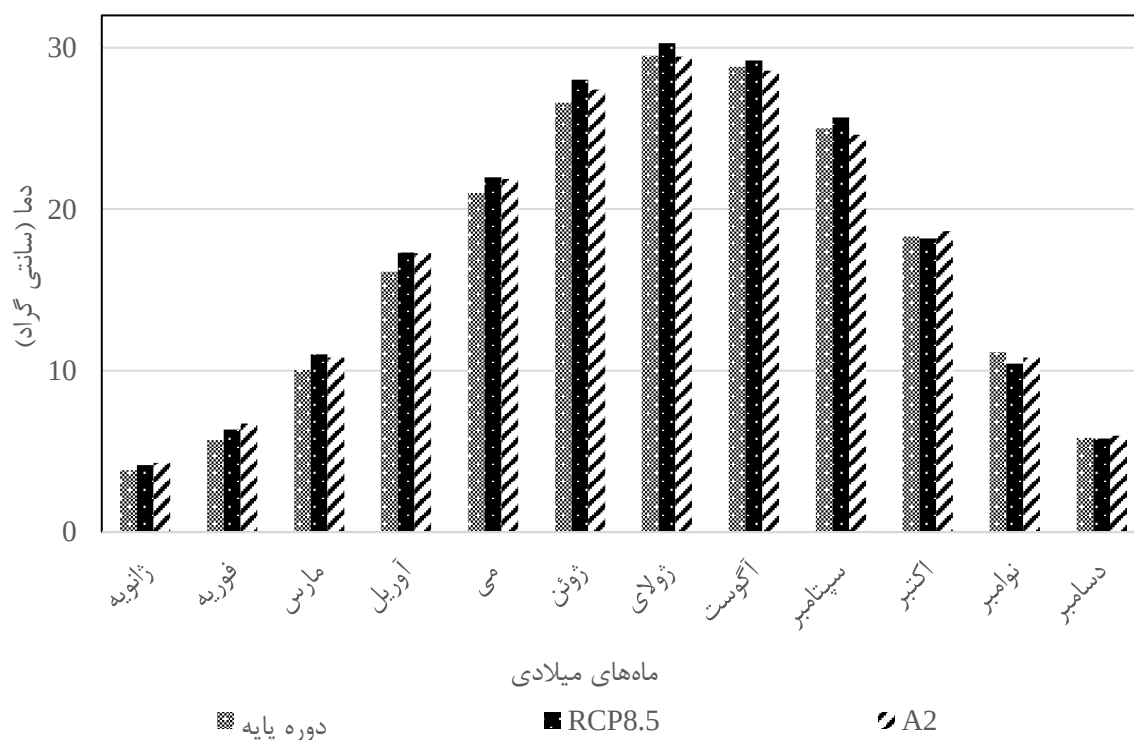
شکل (۳-۴) مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی A2



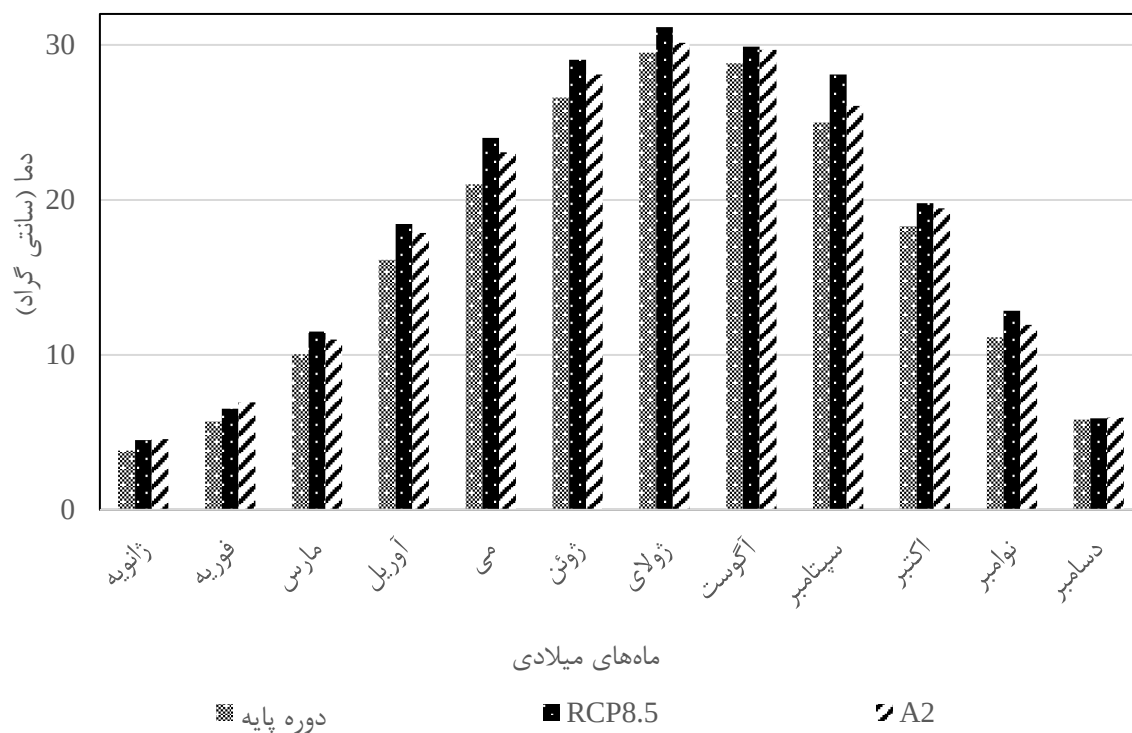
شکل (۴-۴) مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی B2

به طور کلی مقایسه‌ی دو مدل مذکور در سناریوها و افق‌های زمانی مشترک نشان دهنده‌ی بیشتر بودن افزایش میانگین حداکثر دمای ماهانه در مدل Canesm2 نسبت به مدل HadCM3 می‌باشد که در شکل‌های (۴-۵) و (۴-۶) این مقایسه بین سناریوهای بدبینانه‌ی RCP8.5 و A2 در افق‌های زمانی آینده نزدیک و دور در ایستگاه امامه نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل‌ها ملاحظه می‌شود بیشترین تفاوت بین نتایج دو مدل مذکور در برآورد میزان شاخص میانگین حداکثر دمای ماهانه در افق آینده‌ی نزدیک و دور در ماه سپتامبر و به میزان ۱/۰۶ و ۲/۰۱ درجه سلسیوس می‌باشد.



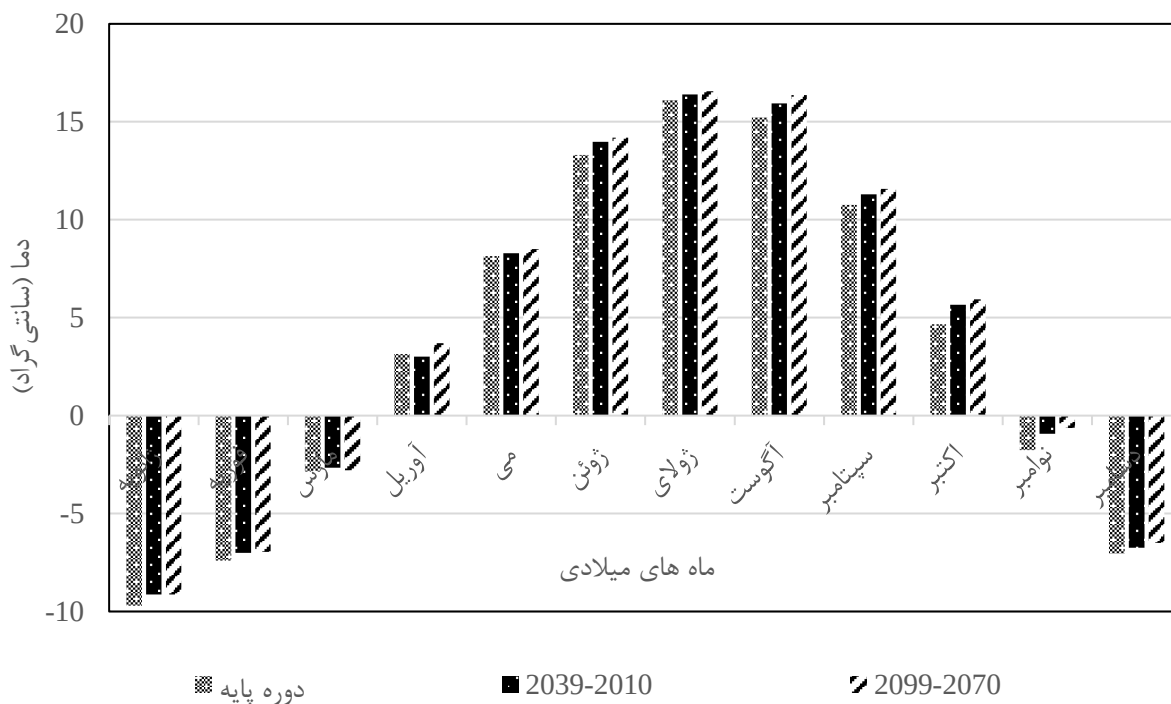
شکل (۴-۵) مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه بین سناریوهای RCP8.5 و A2 در افق زمانی آینده نزدیک



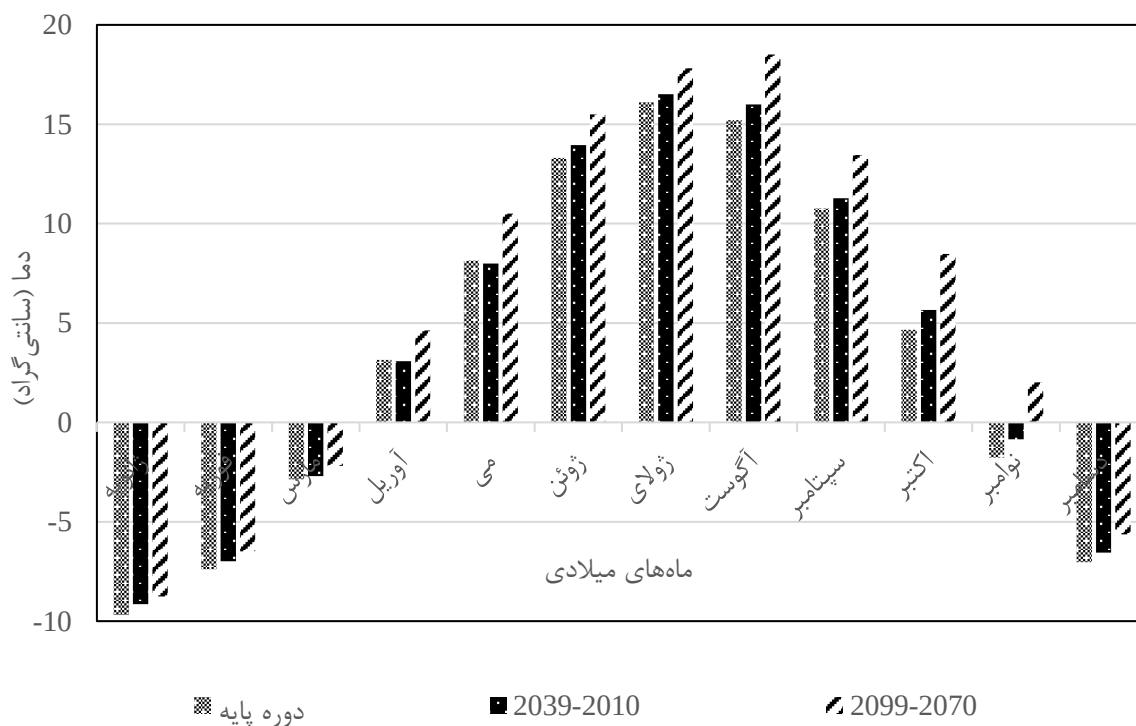
شکل (۴-۶) مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه بین سناریوهای RCP8.5 و A2 در افق زمانی آینده دور

#### ۴-۲-۲- بررسی تغییرات دمای حداقل

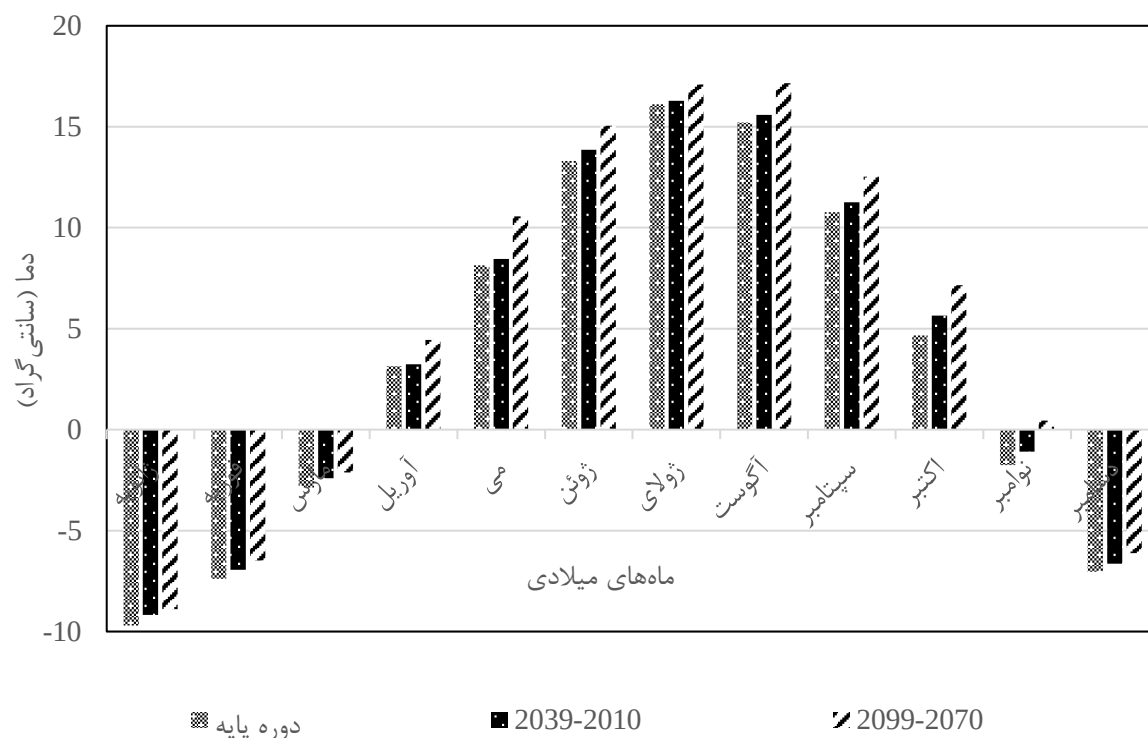
علاوه بر تغییرات میانگین دمای حداکثر، میزان تغییرات دمای حداقل نیز در دوره‌های آتی مورد تخمین و تحلیل قرار گرفت. شکل‌های (۵-۷) تا (۵-۱۰)، تغییرات حداقل دمای ماهانه برای هریک از سناریوهای مدنظر در ایستگاه امامه را نشان می‌دهند.



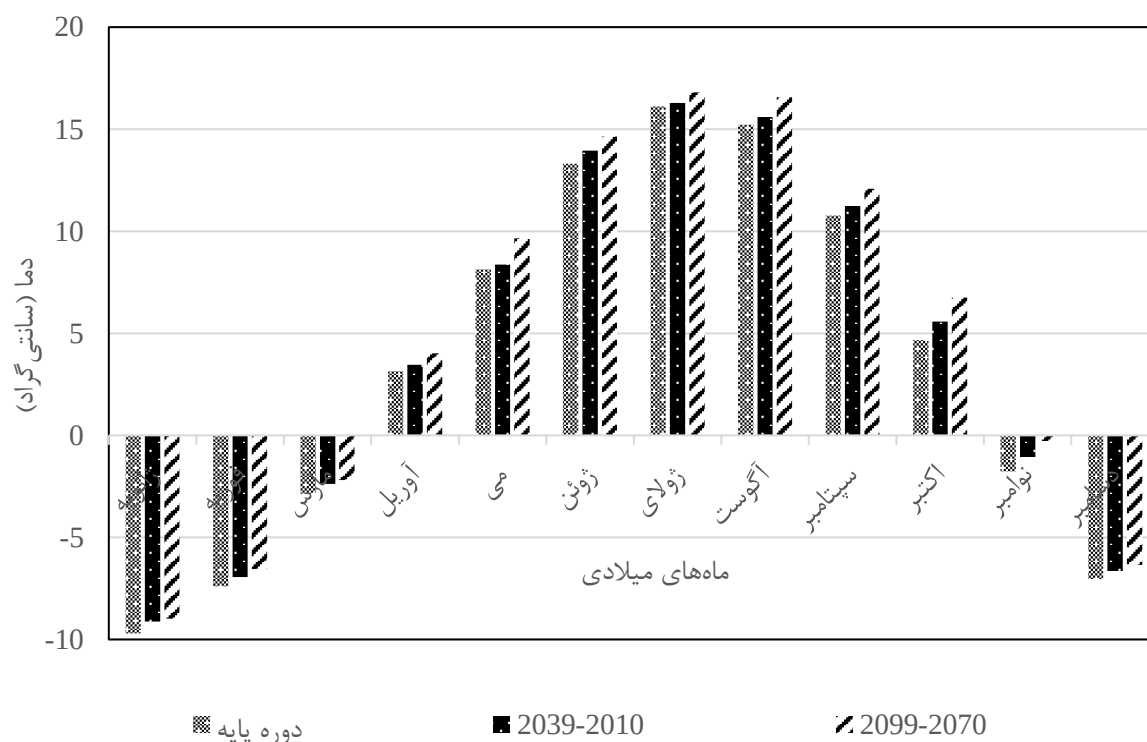
شکل (۷-۴) مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی RCP2.6



شکل (۸-۴) مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی RCP8.5



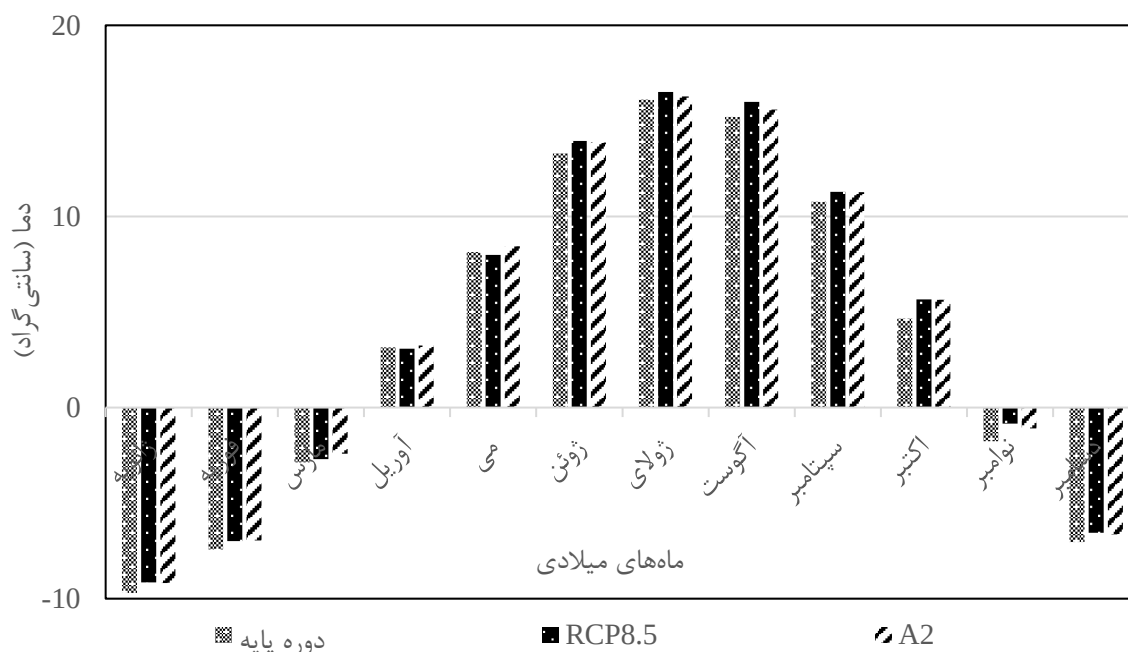
شکل (۹-۴) مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی A2



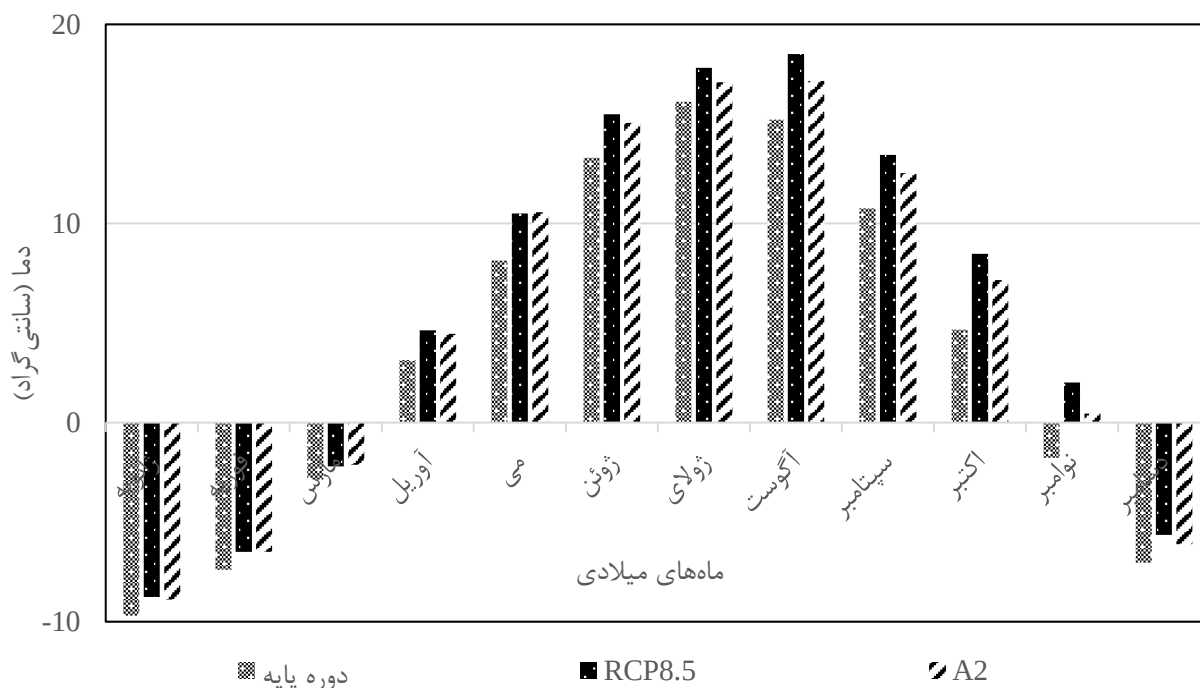
شکل (۱۰-۴) مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه امامه برای سناریوی B2

همان‌طور که مشاهده می‌شود در این شاخص نیز مانند دمای حداکثر در تمامی سناریوها با افزایش افق زمانی میزان دمای حداقل دچار افزایش معنی‌داری شده است و تمامی سناریوها افزایش میانگین دمای حداقل ماهانه را نمایش می‌دهند به‌طوری‌که بیشترین افزایش نسبت به دوره‌ی پایه مربوط به سناریوی RCP8.5 در دوره‌ی 2080s و به میزان  $3/82$  درجه سلسیوس برای ماه اکتبر است و کمترین افزایش در این دوره، تحت سناریوی RCP2.6 برای ماه مارس به مقدار  $1/12$  درجه سلسیوس اتفاق می‌افتد.

مقایسه‌ی دو مدل Canesm2 و HadCM3 در سناریوهای بدبینانه و افق‌های زمانی مشترک برای شاخص میانگین حداقل دمای ماهانه گویای بیشتر بودن افزایش این شاخص در مدل Canesm2 نسبت به مدل HadCM3 می‌باشد که در شکل‌های (۵-۱۱) و (۵-۱۲) این مقایسه بین سناریوهای بدبینانه‌ی RCP8.5 و A2 در افق‌های زمانی آینده نزدیک و دور در ایستگاه امامه نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۱) مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه بین سناریوهای RCP8.5 و A2 در افق زمانی آینده نزدیک



شکل (۴-۱۲) مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه بین سناریوهای RCP8.5 و A2 در افق زمانی آینده دور

همان‌طور که در شکل‌های بالا ملاحظه می‌شود بیشترین تفاوت بین نتایج دو مدل مذکور در برآورد میزان شاخص میانگین حداقل دمای ماهانه در افق آینده‌ی نزدیک در ماه آگوست به میزان ۰/۴۱ درجه سلسیوس و در افق آینده دور در ماه نوامبر به میزان ۱/۵۷ درجه سلسیوس می‌باشد.

ضمن مشاهده‌ی دو شاخص فوق به این نتیجه می‌رسیم که دما در اثر تغییر اقلیم همواره افزایش می‌یابد به‌طوری‌که در خوش‌بینانه‌ترین حالت (سناریوی B2) در ماه اکتبر شاهد افزایش ۵/۲۸ درصدی میانگین دمای حداکثر ماهانه و در بدبینانه‌ترین حالت (سناریوی RCP8.5) در ماه سپتامبر شاهد ۱۰/۹۷ درصد افزایش میانگین دمای حداکثر ماهانه تا سال ۲۱۰۰ هستیم؛ اما تغییرات در میزان میانگین دمای حداقل ماهانه به‌مراتب بیشتر است به‌طوری‌که در بدبینانه‌ترین حالت (سناریوی RCP8.5) در ماه اکتبر شاهد بیش از ۴۵ درصد افزایش میانگین دمای حداقل ماهانه و در خوش‌بینانه‌ترین حالت (سناریوی RCP2.6) در ماه اکتبر شاهد افزایش ۲۱/۴ درصدی میانگین دمای حداقل ماهانه تا سال ۲۱۰۰ می‌توان بود. این میزان افزایش دما در سال‌های آتی به‌نوبه‌ی خود حکایت از افزایش مصرف در حوضه‌های شرب، صنعت و کشاورزی دارد.



#### ۳-۴- برآورد رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS

پس از انجام تحقیق بر اساس روش و مراحل آورده شده در فصل قبل در این بخش نتایج به صورت مرتب و طبقه بندی شده ارائه شده است. نتایج اجرای مدل HEC-HMS و فرایند واسنجی و اعتبارسنجی جهت شبیه سازی جریان روزانه در این بخش آورده شده است.

#### ۳-۴-۱- انتخاب دوره آماری و اجرای مدل

پس از بررسی آمار هواشناسی موجود در شرکت آب منطقه ای استان تهران و بررسی شرایط حوضه آبریز لتیان سال های آبی ۲۰۰۲-۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲-۲۰۱۱ برای اجرای مدل انتخاب گردید که ۷ سال آبی متوالی (۲۰۱۲ تا ۲۰۰۵) برای واسنجی مدل و ۳ سال (۲۰۰۵ تا ۲۰۰۲) برای ارزیابی مدل در نظر گرفته شد.

آمار هواشناسی و هیدرومتری که از شرکت آب منطقه ای تهران و شرکت تماب برای اجرای مدل بارش-رواناب جمع آوری گشته اند عبارت اند از: آمار بارندگی روزانه در ۸ ایستگاه (رودک، رودبار قصران، فشم، آهار، شمشک، امامه، کمرخانی، راحت آباد)، تبخیر و دمای روزانه در ۳ ایستگاه (امامه، کمرخانی، راحت آباد) و دبی خروجی حوضه (برای دوره آماری موردنظر). مدل پس از جمع آوری اطلاعات اولیه مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفت.

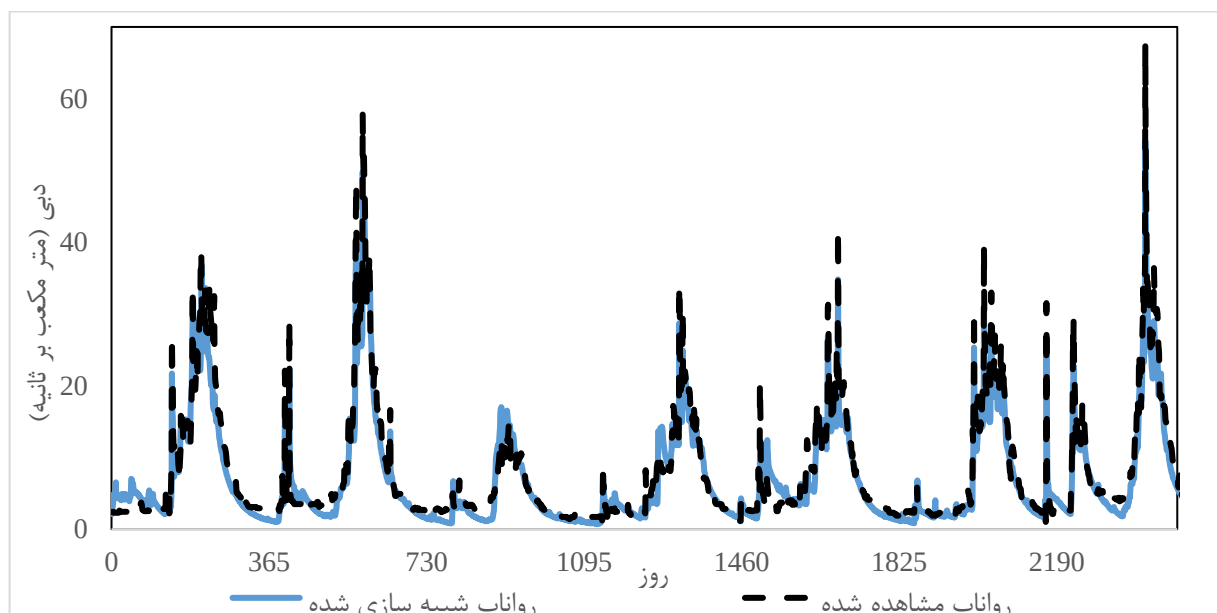
#### ۳-۴-۱-۱- واسنجی مدل

در این تحقیق برای واسنجی مدل از روش دستی (آزمون و خطا) استفاده شده است. در روش دستی، مدل با مقادیری انتخابی از پارامترهای اولیه اجرا شده و خروجی آن با داده های مشاهده ای مقایسه می گردد و این کار ادامه پیدا می کند تا بهترین تطبیق بین خروجی ها حاصل شود. طیف ۱۲ پارامتر مورد نیاز برای مدل SMA که در این شبیه سازی در نظر گرفته شده به همراه مقادیر واسنجی شده در جدول (۳-۴) ارائه شده است.

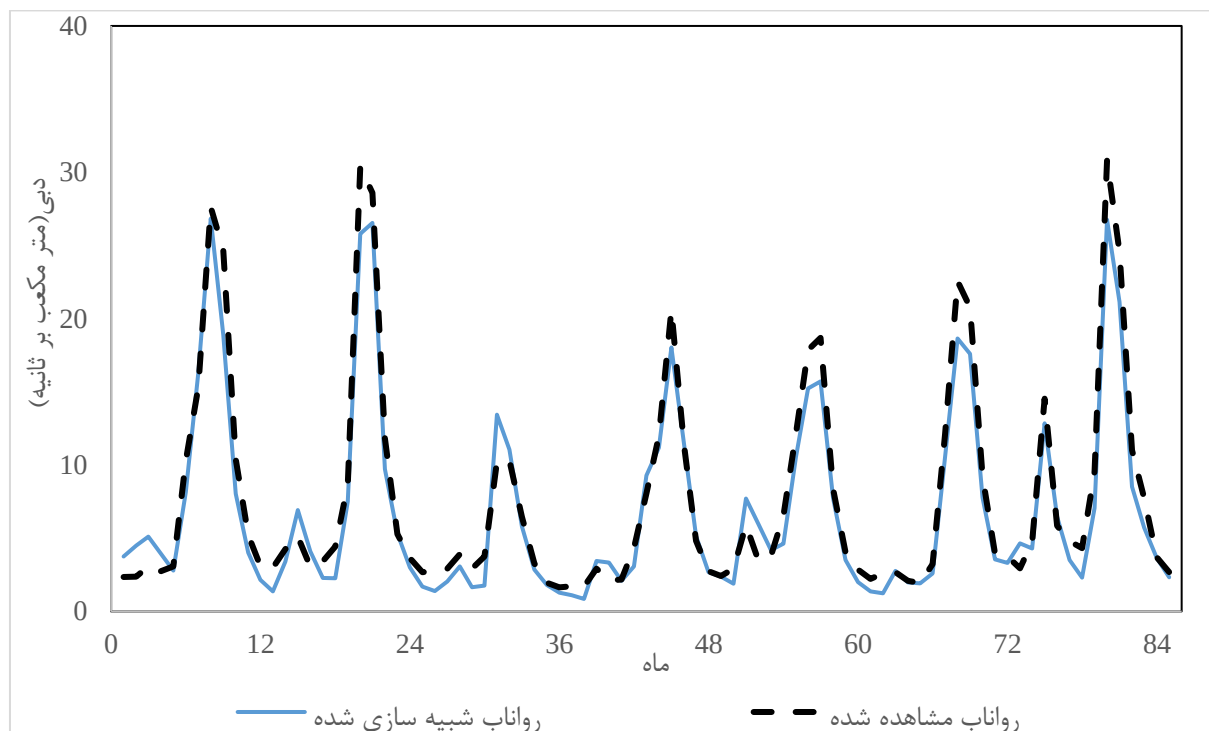
جدول (۳-۴) مقادیر کالیبره شده پارامترهای مدل SMA

| پارامترها                        | مقادیر واسنجی شده |
|----------------------------------|-------------------|
| Canopy-Storage-Capacity          | 1mm               |
| Surface-Storage-Maximum-Capacity | 4mm               |
| Soil-Storage-Capacity            | 150mm             |
| Soil-Tension-Storage-Capacity    | 50mm              |
| Soil-Maximum-Infiltration-Rate   | 4mm/hr            |
| Soil-Percolation-Rate            | 6mm/hr            |
| Groundwater1-Storage-Capacity    | 100mm             |
| Groundwater1-Percolation-Rate    | 2.5mm/hr          |
| Groundwater1-Storage-Coefficient | 174hr             |
| Groundwater2-Storage-Capacity    | 135mm             |
| Groundwater2-Percolation-Rate    | 0.01mm/hr         |
| Groundwater2-Storage-Coefficient | 700hr             |

پس از محاسبه و تخمین اولیه پارامترهای مدل SMA، شبیه‌سازی بارش-رواناب در مقیاس روزانه انجام پذیرفت. به منظور ارزیابی کارایی مدل HEC-HMS نتایج شبیه‌سازی با هیدروگراف مشاهده‌ای، به صورت گرافیکی مقایسه می‌شوند. در شکل‌های (۴-۱۳) و (۴-۱۴) مقایسه گرافیکی هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حوضه آبریز لتیان برای دوره‌ی واسنجی به صورت روزانه و ماهانه ارائه شده است.



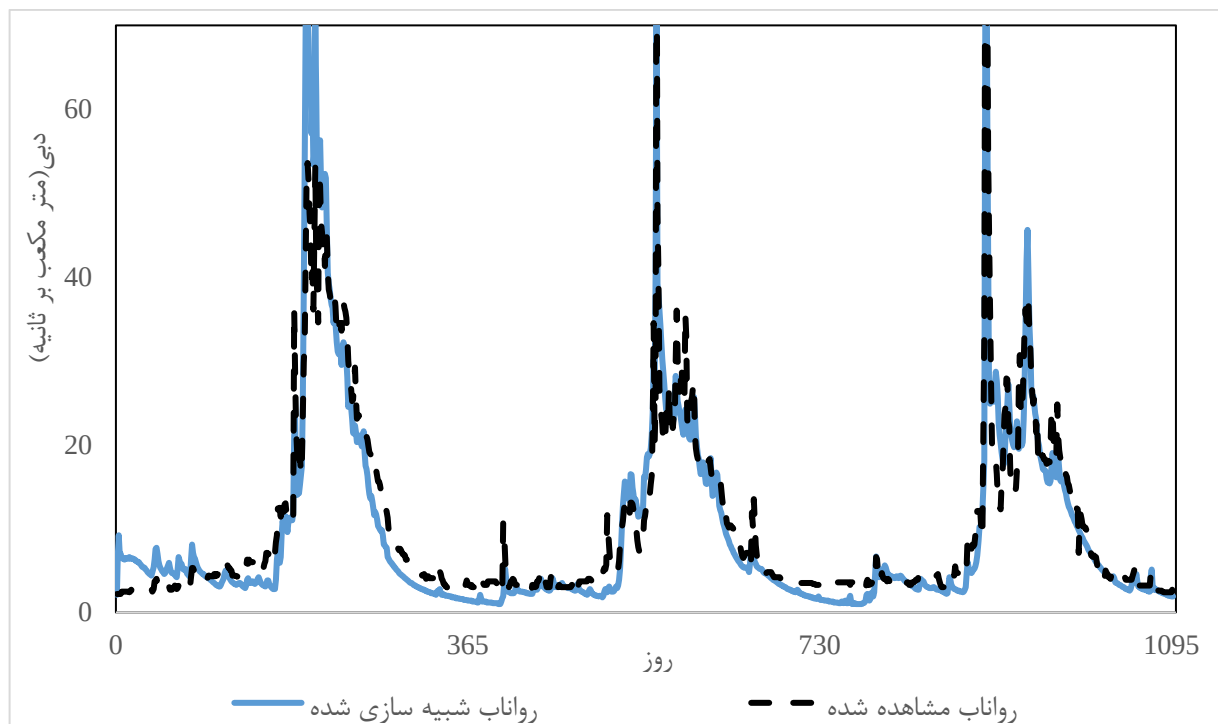
شکل (۴-۱۳) مقایسه جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده روزانه حوضه لتیان در دوره واسنجی



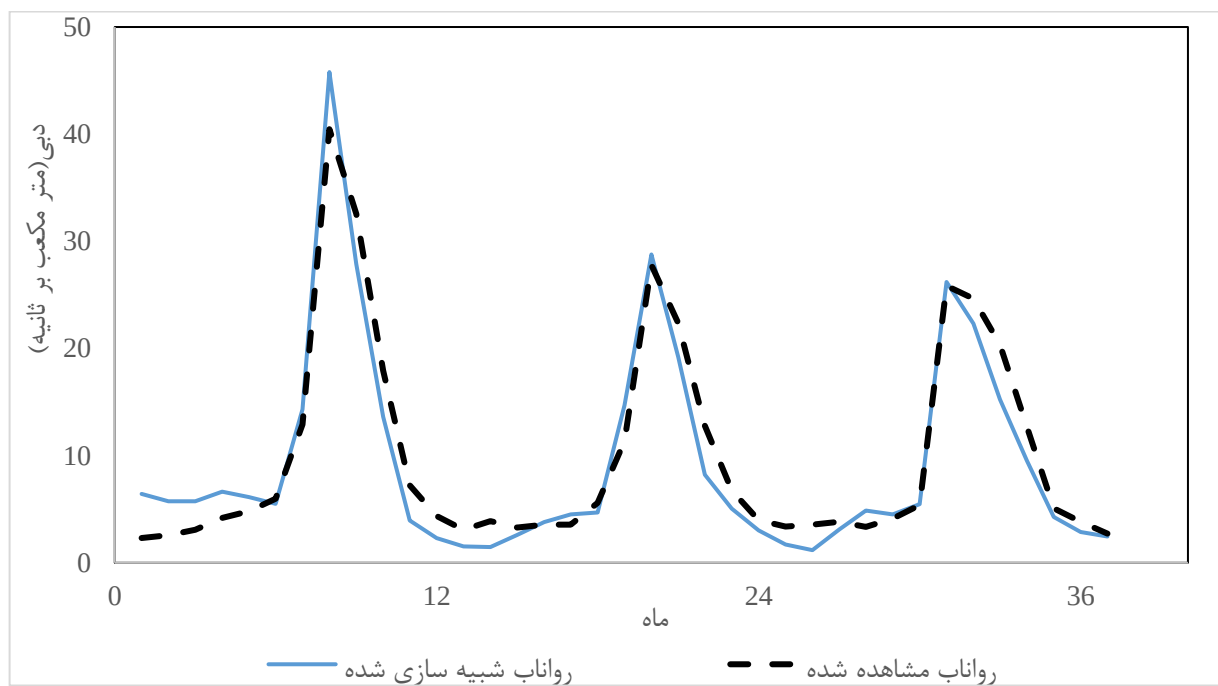
شکل (۴-۱۴) مقایسه بین جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده ماهانه حوضه لتیان در دوره واسنجی

#### ۴-۳-۱-۲- ارزیابی مدل

پس از واسنجی پارامترهای مدل SMA در مدت هفت سال، برای اطمینان از تخمین صحیح پارامترها باید اقدام به اعتبارسنجی مدل نمود. با ثابت نگه‌داشتن پارامترهای حاصل از دوره واسنجی، مدل برای سال‌های آبی ۲۰۰۲-۲۰۰۳ تا ۲۰۰۴-۲۰۰۵ اجرا شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در دوره ارزیابی در مقایسه با داده‌های دبی مشاهداتی موجود در شکل (۴-۱۵) و (۴-۱۶) نمایش داده شده است.



شکل (۴-۱۵) مقایسه بین جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده روزانه حوضه لتیان در دوره ارزیابی



شکل (۴-۱۶) مقایسه بین جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده ماهانه حوضه لتیان در دوره ارزیابی

#### ۴-۳-۱-۳- نتایج حاصل از تعیین مقادیر شاخص‌های کارایی مدل برای دوره‌های واسنجی و

##### ارزیابی

جهت اندازه‌گیری بهترین برازش بین هیدروگراف‌های محاسبه‌شده و مشاهده‌ای و بررسی کارایی کمی مدل، معیارهای ارزیابی مختلفی در مدل HEC-HMS وجود دارد که در بخش ۳-۳-۶ به آن‌ها اشاره شده است. جدول (۴-۴) مقادیر شاخص‌های کارایی مدل را در دوره واسنجی و ارزیابی نشان می‌دهد.

جدول (۴-۴) مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در دوره واسنجی و ارزیابی

| معیار ارزیابی                          | دوره‌ی واسنجی | دوره‌ی ارزیابی |
|----------------------------------------|---------------|----------------|
| انحراف معیار (R)                       | ۰/۹۶۱         | ۰/۹۴۸          |
| معیار نش-ساتکلیف (CNS)                 | ۰/۹۰۹         | ۰/۸۸۴          |
| انحراف مدل برای تعادل حجم جریان (Bias) | -۰/۱          | -۰/۰۶۸         |
| ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)         | ۲/۰۲۷         | ۲/۰۹۵          |

#### ۴-۳-۲- شبیه‌سازی رواناب تحت تأثیر تغییر اقلیم

پس از این‌که داده‌های اقلیمی برای دوره‌های آتی در مدل‌های HadCM3 و Canesm2 به کمک مدل SDSM ریزمقیاس گردید، باید مقادیر تبخیر و تعرق را برای ورود به مدل آماده کرد.

روش‌های بسیاری برای محاسبه‌ی شدت تبخیر و تعرق وجود دارد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به چهار روش فائو، پنمن-مانتیت، بلانی-کریدل و هارگریوز<sup>۱۰</sup>-سامانی اشاره کرد. روش هارگریوز-سامانی از جمله روش‌هایی است که به دو پارامتر درجه حرارت و تابش وابسته است و با توجه به

<sup>۱۰</sup> - Hargreaves

اینکه تعیین سایر پارامترهای اقلیمی مشکل می‌باشد، استفاده از این روش مناسب‌تر است و درصد خطای کمتری دارد (بورمن و پوچاپ<sup>۱۱</sup>، ۱۹۹۴).

هارگریوز و سامانی در تحقیقات خود برای منطقه‌ی آریزونا در سال ۱۹۸۲ نتیجه گرفته‌اند که روش پیشنهادی‌شان نسبت به روش پنمن، جنسن-هیز اصلاح شده و بلانی-کریدل-فائو نتایج بهتری را حاصل می‌سازد و با توجه به اینکه احتمال خطا در آن کمتر است؛ لذا استفاده از آن را توصیه می‌کنند (هارگریوز و سامانی<sup>۱۲</sup>، ۱۹۸۲). این مدل، توسط هارگریوز و همکارانش طی دو مقاله در سال ۱۹۸۵ توسعه داده شدند (هارگریوز و سامانی، ۱۹۸۵) (هارگریوز و همکاران، ۱۹۸۵). صراحت و قابلیت دسترسی به داده‌ها برای انجام مدل به همراه نتایج قابل اطمینان در این مدل، توسط آلن و همکارانش نیز تأیید شده است (آلن و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۱۹۹۸). سامانی هم در سال ۲۰۰۰ پس از بررسی‌های خود در نقاط مختلف بیان می‌کند، با توجه به آن که دسترسی به اطلاعات دقیق هواشناسی حاصل از ایستگاه‌های سینوپتیک در بسیاری از نقاط، دشوار است و رابطه‌ی پنمن-مانتیت به اطلاعات گوناگون هواشناسی، متکی است، از این رو بیشتر مطالعات در نقاط مختلف جهان به روش هارگریوز-سامانی، انجام شده است. دروگرز و آلن با اشاره به قابلیت اجرایی مدل برای اکثر ایستگاه‌ها در دنیا به اعتبار بالا و میزان خطای پایین محاسبه‌ی تبخیر و تعرق در این روش نسبت به روش پنمن-مانتیت اشاره کرده‌اند (دروگرز و آلن<sup>۱۴</sup>، ۲۰۰۲). لوپز و همکارانش هم در کار تحقیقاتی خود برای یک منطقه‌ی اقلیمی نیمه خشک در اسپانیا به درجه‌ی بالای درستی و صحت نتایج این مدل، اشاره کرده‌اند (لوپز و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۲۰۰۶).

ازجمله مطالعاتی که در ایران با کمک معادله هارگریوز-سامانی انجام شده می‌توان به مطالعات آقایان یآوری و همکاران ۱۳۹۴، رحمتی و همکاران ۱۳۹۲ اشاره کرد که برای مدل‌سازی بارش-رواناب با مدل

---

<sup>۱۱</sup> - Burman and Pochop

<sup>۱۲</sup> - Hargreaves and Samani

<sup>۱۳</sup> - Allen and et al

<sup>۱۴</sup> - Droogers and Allen

<sup>۱۵</sup> - Lopez and et al

و تسپا<sup>۱۶</sup> صورت گرفته است. طاووسی و همکاران ۱۳۹۱، از این روش برای ارزیابی تبخیر و تعرق برای ۴۸ ایستگاه سینوپتیک کشور استفاده کردند، نتایج نشان داد که در مقیاس فصلی و ماهانه، شدت تبخیر و تعرق، انطباق قابل قبولی با سیستم‌ها و توده‌های هوای حاکم بر ایران در طی فصول مختلف سال، نشان می‌دهد.

از آنجا که بسیاری از پارامترهای اقلیمی لازم برای محاسبه‌ی شدت تبخیر و تعرق به وسیله‌ی سایر روش‌ها در بسیاری از ایستگاه‌های سینوپتیک ایران، ثبت نمی‌گردد و همچنین نتایج بسیاری از تحقیقات، حاکی از خطای کمتر در روش هارگریوز-سامانی می‌باشد، در این پژوهش از این روش استفاده گردیده است.

به کمک معادله‌ی تجربی هارگریوز-سامانی که در معادله‌ی (۴-۱) آورده شده است برای هریک از دوره‌های زمانی و سناریوهای یادشده مقدار تبخیر و تعرق نیز به صورت روزانه محاسبه شد و به همراه اطلاعات ریزمقیاس شده‌ی بارش روزانه به عنوان ورودی‌های لازم برای برآورد رواناب به صورت سری زمانی ۳۰ ساله جهت معرفی به مدل HEC-HMS آماده شدند.

$$ET_o = 0.0023 R_a (T_{mean} + 17.8) (T_{max} - T_{min})^{0.5} \quad (4-1)$$

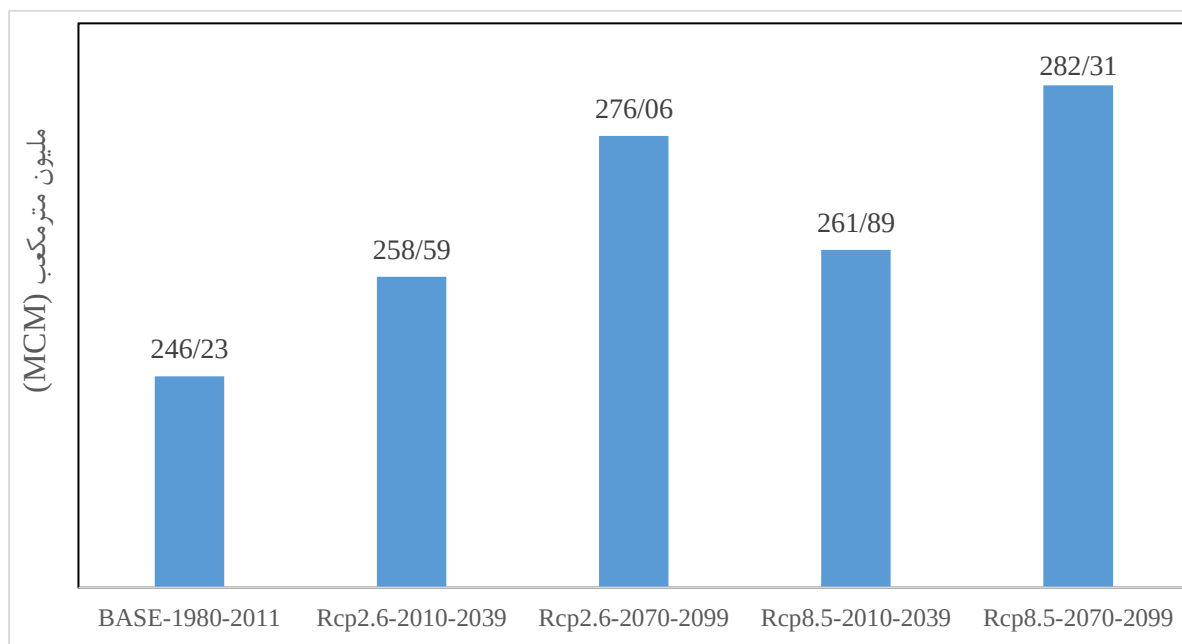
در رابطه‌ی بالا  $T_{min}$ : دمای حداقل،  $T_{max}$ : دمای حداکثر،  $T_{mean}$ : دمای متوسط و  $R_a$ : ساعات آفتابی می‌باشد.

در پایان برای اطمینان از صحت محاسبه تبخیر و تعرق با استفاده از معادله هارگریوز-سامانی، داده‌های تبخیر و تعرق واقعی موجود با داده‌های شبیه‌سازی شده توسط این مدل در مدت مشابه مقایسه گردیده و همبستگی قابل قبولی بین داده‌ها به دست آمده است که تاییدکننده توانایی این معادله در تخمین مقادیر تبخیر و تعرق روزانه می‌باشد.

---

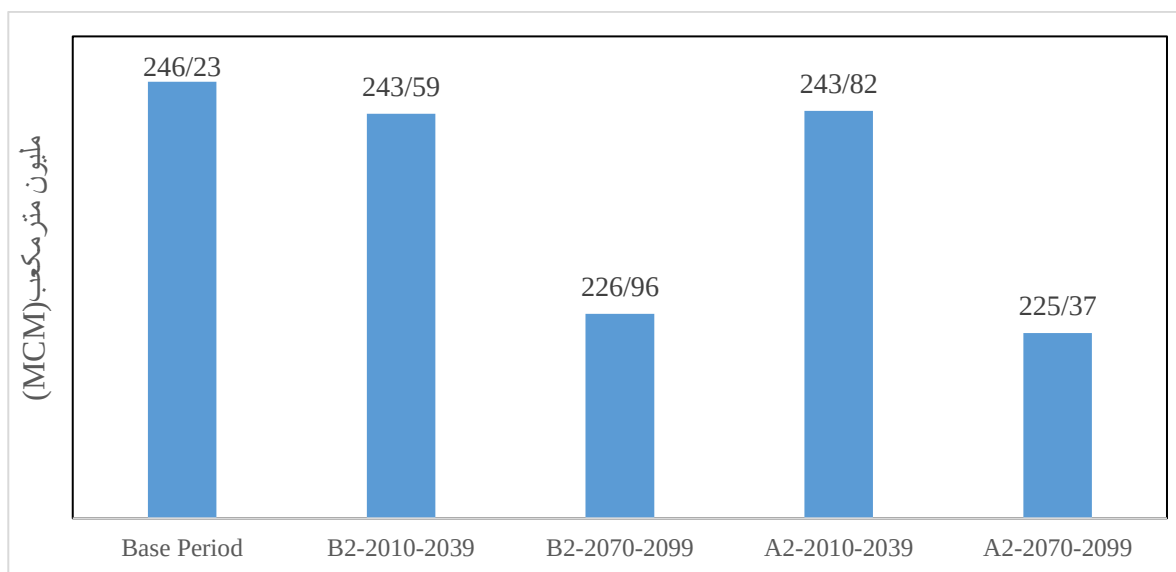
<sup>۱۶</sup> -Wetapa

میزان رواناب بر مبنای طول دوره پایه به صورت روزانه برای دوره‌های آتی تحت سناریوهای A2 و B2 در مدل HadCM3 و همچنین سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 در مدل Canesm2 شبیه‌سازی گردید. نمودار (۴-۱۷) و (۴-۱۸) اثرات تغییر اقلیم را بر میانگین سالانه رواناب برای ایستگاه هیدرومتری رودک تحت سناریوهای یادشده، طی دوره‌های (۲۰۱۰-۲۰۳۹) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) نشان می‌دهد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی، در مدل Canesm2 با بدبینانه شدن سناریوها و همچنین افزایش افق زمانی میزان رواناب شبیه‌سازی شده نسبت به دوره‌ی پایه افزایش نشان می‌دهد به گونه‌ای که در سناریوی بدبینانه Rcp8.5 در آینده دور ۳۶ میلیون مترمکعب افزایش نسبت به دوره‌ی پایه پیش‌بینی شده است. در مدل HadCM3 شرایط متفاوت است و با بدبینانه شدن سناریوها رواناب تغییر چندانی نمی‌کند ولی با افزایش افق زمانی کاهش چشمگیری در میزان رواناب شاهد هستیم به گونه‌ای که در سناریوی بدبینانه‌ی A2 در افق آینده دور شاهد کاهش ۲۱ میلیون مترمکعبی حجم رواناب هستیم.



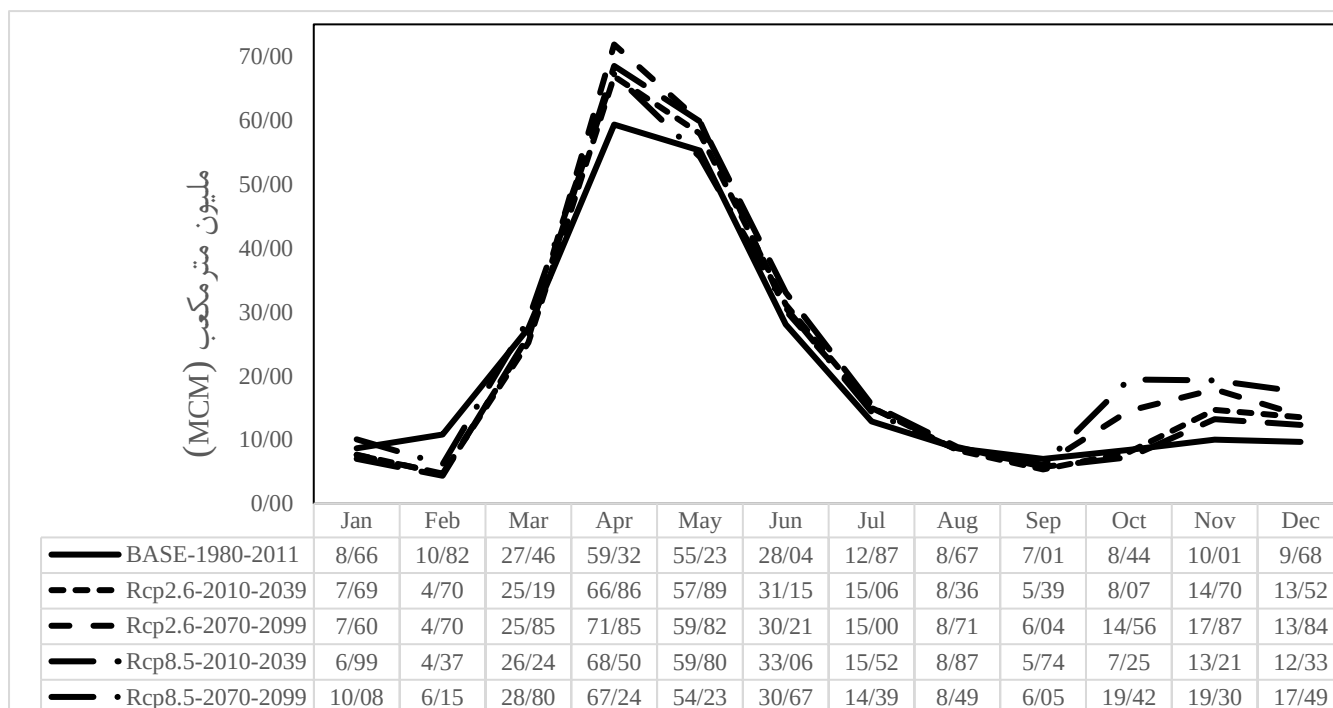
شکل (۴-۱۷) متوسط آبدهی سالانه حوضه لتیان با استفاده از مدل اقلیمی Canesm2



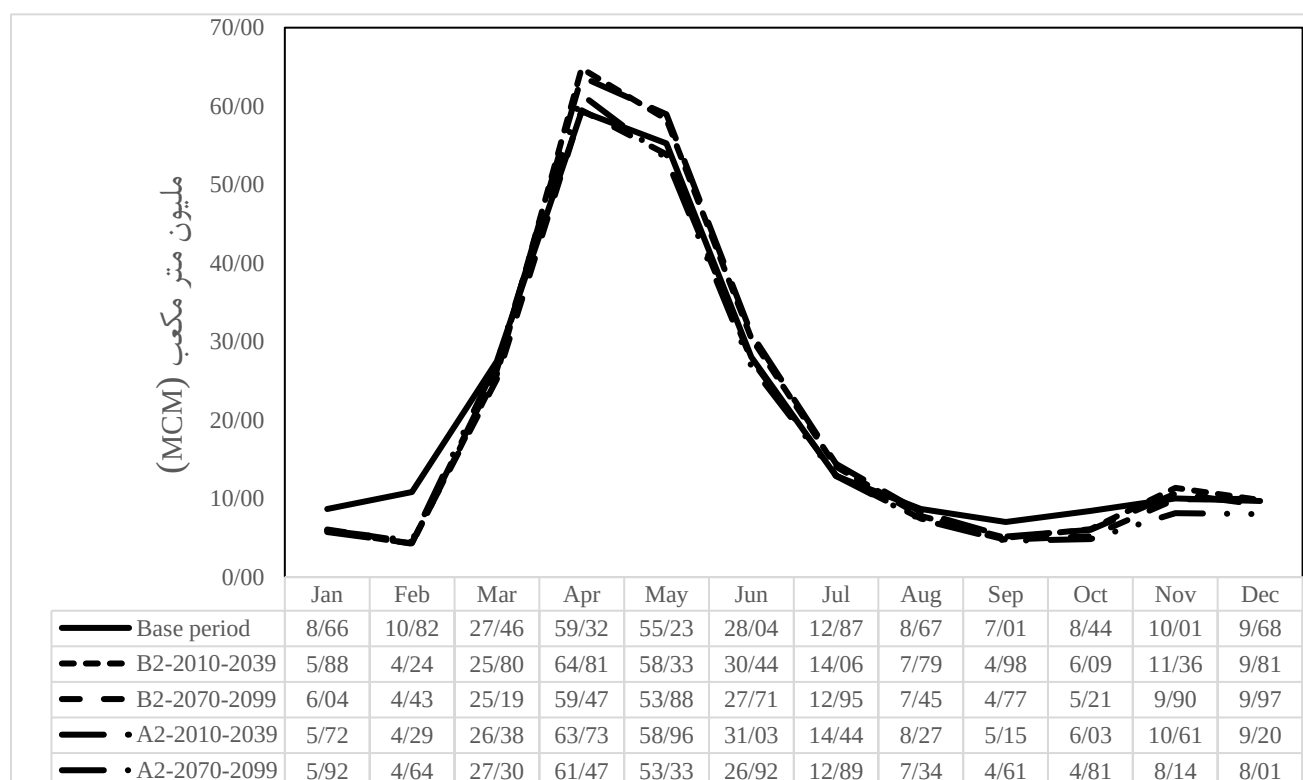


شکل (۴-۱۸) متوسط آبدهی سالانه حوضه لتیان با استفاده از مدل اقلیمی HadCM3

شکل‌های (۴-۱۹) و (۴-۲۰) نیز تغییرات جزئی در متوسط دبی ماهانه ایستگاه رودک را نشان می‌دهند. این نمودارها به صورت کلی روند مشابهی را ارائه می‌کنند، به گونه‌ای که در هر دو مدل سناریوی بدبینانه در افق آینده دور بیشترین سطح زیر نمودار را به خود اختصاص می‌دهند. در تمامی نمودارها در هر دو شکل حداکثر دبی به ترتیب در ماه‌های آوریل و می (فروردین و اردیبهشت) روی داده و در ماه‌های بعد به تدریج از میزان دبی کاسته شده و در ماه سپتامبر (شهریور) به حداقل خود می‌رسند. تمامی سناریوها تقریباً از روند مشابهی برخوردار بوده و با فاصله کمی از یکدیگر به صورت دسته‌ای از منحنی‌ها ظاهر شده‌اند و تنها تفاوت مشاهده شده در این دو شکل مربوط به سه ماهه‌ی پاییز (اکتبر، نوامبر و دسامبر) است که در مدل Canesm2 شاهد سیلاب‌هایی با افزایش افق زمانی هستیم، در صورتی که در مدل HadCM3 روند در همه سناریوها و افق‌های زمانی مشابه دوره‌ی پایه است.



شکل (۴-۱۹) متوسط آبدهی ماهانه ایستگاه آب‌سنجی رودک در مدل Canesm2



شکل (۴-۲۰) متوسط آبدهی ماهانه ایستگاه آب‌سنجی رودک در مدل HadCM3

پس از برآورد رواناب رودخانه تحت تأثیر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم نوبت به گام پایانی این پژوهش یعنی شبیه‌سازی چگونگی تخصیص منابع آبی محدود موجود در آینده بر اثر افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای است که در بخش بعدی به تفصیل به آن پرداخته شده است.

#### ۴-۴- تخصیص منابع آب تحت تأثیر تغییر اقلیم

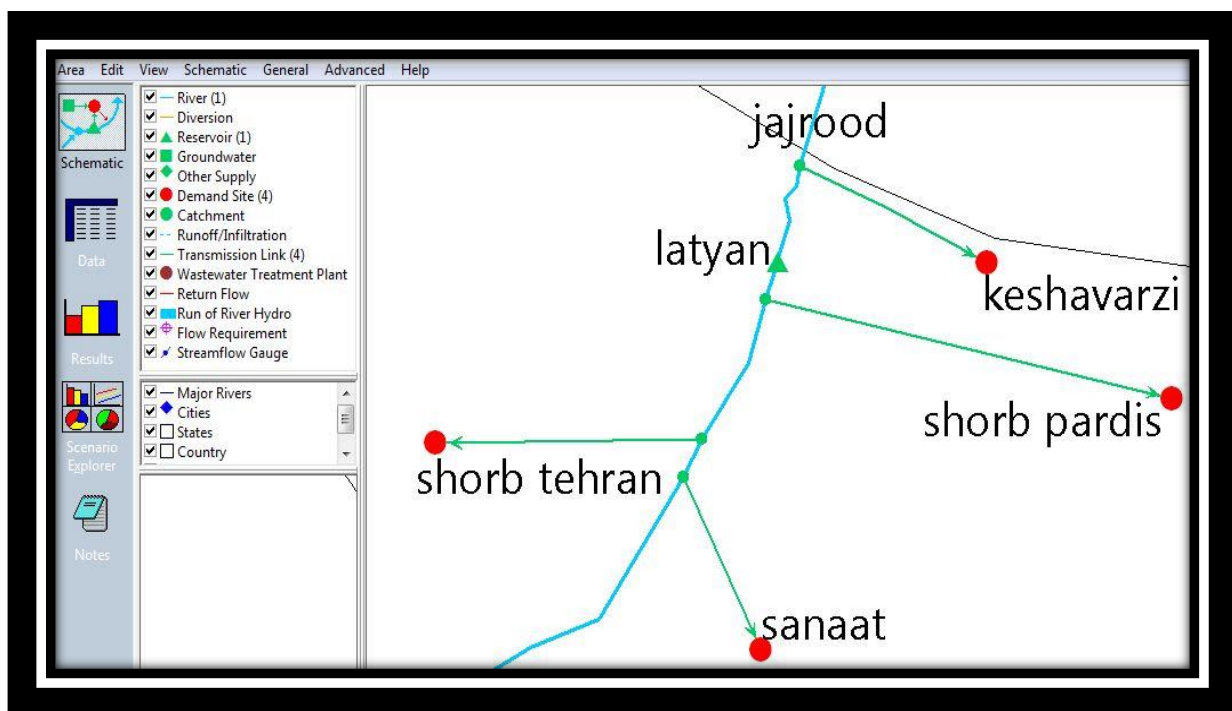
همان‌طور که گفته شد بهره‌برداری اصولی از منابع آب موجود، امری مهم و ضروری می‌باشد بخصوص در ایران که دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک و از لحاظ منابع آبی محدود می‌باشد. در این مطالعه به‌صورت موردی، چگونگی بهره‌برداری از مخزن سد لتیان تحت تأثیر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم موردبررسی قرار گرفته است و با اعمال شرایط بهره‌برداری واقعی، وضعیت تخصیص منابع آب به مصارف مختلف و همچنین تغییرات ذخیره مخزن موردبررسی قرار گرفته است. بهره‌برداری به روش واقعی یعنی، چنانچه آب کافی در دسترس باشد، خروجی مخزن کل نیازهای آبی را تأمین می‌نماید. اگر برای تأمین نیازها آب کافی در دسترس نباشد تمامی ذخیره مخزن رهاسازی شده و مخزن خالی می‌گردد. همچنین اگر بیش از اندازه آب در دسترس باشد مخزن پر شده و در صورت لزوم آب اضافی به‌صورت سرریز خارج می‌شود.

همان‌طور که در فصل سوم بیان شد، یک مدل شبیه‌سازی بر اساس اطلاعات ورودی نظیر جریان، بارندگی و تبخیر قادر به محاسبه نیازهای مختلف، حجم دریاچه و خروجی از آن در دوره‌های زمانی مختلف می‌باشد. محدودیت‌های فیزیکی سیستم شامل ظرفیت دریاچه، حجم خروجی‌ها، تأسیسات انتقال، همچنین محدودیت‌های قانونی نظیر رعایت حقآبه بران در مدل شبیه‌سازی لحاظ می‌شود.

علاوه بر پارامترهای فیزیکی و جریان‌های ورودی به مخازن که به‌عنوان اطلاعات ورودی به مدل داده می‌شود، سیاست بهره‌برداری از سیستم (مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها شامل نحوه تخصیص حجم ذخیره

مخازن به مصارف مختلف، چگونگی ذخیره یا تخلیه از مخازن یا میزان برداشت آب از نقاط مختلف سیستم)، به مدل داده شده است.

آنچه در مورد تأمین تقاضاها حائز اهمیت است، محل آنهاست. همان طور که در نمای شماتیک آماده شده در مدل WEAP (شکل ۴-۲۱) قابل مشاهده است به جز نیاز کشاورزی که از بالادست مخزن سد لتیان تأمین می شود باقی نیازها از محل مخزن برداشت می شوند که در نظر داشتن این نکته در چگونگی تفسیر نتایج بسیار مهم خواهد بود.



شکل (۴-۲۱) نمای شماتیک بهره برداری از رودخانه‌ی جاجرود

متغیرهای تصمیم‌گیری شامل خروجی از دریاچه سد، حجم ذخیره در دریاچه سد، میزان تأمین نیازها و غیره خروجی‌های مدل شبیه‌سازی می‌باشند. در این پژوهش شبیه‌سازی تخصیص در سه بخش و با انجام فرض‌های مختلف در مورد چگونگی تخصیص منابع آب صورت گرفته است که در ادامه و به اختصار در این بخش به برخی از نتایج آنها که بتوانند گویای تأثیر تغییر اقلیم بر چگونگی تخصیص منابع آب باشند پرداخته شده است.

#### ۴-۴-۱- شبیه‌سازی با فرض ثابت بودن منابع تأمین و متغیر بودن میزان تقاضا

در این بخش فرض بر این قرار داده شده است که میزان منابع آب موجود برای تأمین نیازهای منطقه در افق‌های زمانی مورد مطالعه ثابت است و فقط میزان تقاضاها با روند افزایش جمعیت تغییر می‌کند. با توجه به این‌که بیش از ۸۰ درصد از منابع آب موجود در این حوضه صرف تأمین نیاز شرب شهرهای تهران و پردیس می‌شود و مابقی برای صنعت و کشاورزی اختصاص می‌یابد، پارامتر افزایش جمعیت، معیار افزایش تقاضا در نظر گرفته شده است. با توجه به در اولویت ۲ و ۳ قرار داشتن تخصیص به کشاورزی و صنعت و همچنین نبودن اطلاعات کافی در مورد چگونگی تغییر آن‌ها در آینده این دو نقطه‌ی تقاضا ثابت فرض شده است. با استفاده از آمار سرشماری سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰، رشد جمعیت مناطقی از شهر تهران و شهر پردیس که از سد لتیان برای تأمین نیاز شرب استفاده می‌کنند در این پژوهش ۱/۴۴ درصد در نظر گرفته شده است.

در جدول‌های (۴-۵) و (۴-۶) متوسط ماهانه و سالانه‌ی هریک از تقاضاها که مدل شبیه‌سازی بر مبنای آن‌ها اجرا شده را در آینده‌های نزدیک و دور آورده شده است.

جدول (۴-۵) میزان تقاضای هریک از مصرف‌کننده‌ها از رودخانه‌ی جاجرود در آینده‌ی نزدیک

| مصرف‌کننده        | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | می   | ژوئن | ژولای | آگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر | سالانه (MCM) |
|-------------------|--------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|--------------|
| کشاورزی           | ۰      | ۰     | ۱    | ۱/۳   | ۱/۷  | ۱/۹  | ۲     | ۲     | ۱/۹     | ۱/۷   | ۱/۵    | ۱      | ۱۶           |
| صنعت              | ۰/۳۳   | ۰/۳۳  | ۰/۳۳ | ۰/۳۳  | ۰/۳۳ | ۰/۳۴ | ۰/۳۴  | ۰/۳۴  | ۰/۳۴    | ۰/۳۳  | ۰/۳۳   | ۰/۳۳   | ۴            |
| شرب پردیس         | ۳/۱    | ۳/۱   | ۳/۱  | ۳/۱   | ۳/۱  | ۳/۱  | ۳/۱   | ۳/۱   | ۳/۱     | ۳/۱   | ۳/۱    | ۳/۱    | ۳۷/۲         |
| شرب تهران         | ۲۶     | ۲۶    | ۲۶   | ۲۶    | ۳۲/۲ | ۳۱   | ۲۴/۸  | ۱۸/۶  | ۱۶/۱۲   | ۲۶    | ۱۸/۶   | ۲۱/۱   | ۲۹۲/۶        |
| کل نیازهای ماهانه | ۲۹/۵   | ۲۹/۵  | ۳۰/۵ | ۳۰/۸  | ۳۷/۴ | ۳۶/۳ | ۳۰/۲  | ۲۴    | ۲۱/۴۶   | ۳۱/۲  | ۲۳/۵   | ۲۵/۵   | ۳۴۹/۸        |

جدول (۴-۶) میزان تقاضای هریک از مصرف‌کننده‌ها از رودخانه‌ی جاجرود در آینده‌ی دور

| مصرف‌کننده        | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | می   | ژوئن | ژولای | آگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر | سالانه (MCM) |
|-------------------|--------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|--------------|
| کشاورزی           | ۰      | ۰     | ۱    | ۱/۳   | ۱/۷  | ۱/۹  | ۲     | ۲     | ۱/۹     | ۱/۷   | ۱/۵    | ۱      | ۱۶           |
| صنعت              | ۰/۳۳   | ۰/۳۳  | ۰/۳۳ | ۰/۳۳  | ۰/۳۳ | ۰/۳۴ | ۰/۳۴  | ۰/۳۴  | ۰/۳۴    | ۰/۳۳  | ۰/۳۳   | ۰/۳۳   | ۴            |
| شرب پردیس         | ۵/۷۸   | ۵/۷۸  | ۵/۷۸ | ۵/۷۸  | ۵/۷۸ | ۵/۷۸ | ۵/۷۸  | ۵/۷۸  | ۵/۷۸    | ۵/۷۸  | ۵/۷۸   | ۵/۷۸   | ۶۹/۳         |
| شرب تهران         | ۴۸/۵   | ۴۸/۵  | ۴۸/۵ | ۴۸/۵  | ۶۰/۱ | ۵۷/۸ | ۴۶/۲  | ۳۴/۷  | ۳۰/۰۴   | ۴۸/۵  | ۳۴/۷   | ۳۹/۳   | ۵۴۵/۴        |
| کل نیازهای ماهانه | ۵۴/۶   | ۵۴/۶  | ۵۵/۶ | ۵۵/۹  | ۶۷/۹ | ۶۵/۸ | ۵۴/۳  | ۴۲/۸  | ۳۸/۰۶   | ۵۶/۳  | ۴۲/۳   | ۴۶/۴   | ۶۳۴/۷۲       |

#### ۴-۴-۱-۱- درصد تأمین نیازهای منطقه

یکی از خروجی‌های اصلی شبیه‌سازی در WEAP، مقدار تأمین‌شده‌ی نیاز هریک از مصرف‌کننده‌ها است. برای گزارش بهتر و گویاتر از چگونگی وضعیت تخصیص از پارامتری به‌عنوان درصد تأمین استفاده شده است. درصد تأمین عبارت است از خارج قسمت تقسیم مقدار آب تأمین‌شده بر میزان تقاضای هر مصرف‌کننده.

#### ۱- درصد تأمین متوسط سالانه‌ی تقاضاها

برای به دست آوردن یک تصویر کلی از تغییرات میزان تأمین هریک از تقاضاها از پارامتر درصد تأمین سالانه که به کمک متوسط ۳۰ ساله‌ی داده‌های تأمین سالانه محاسبه شده است، کمک می‌گیریم. همانطور که در جدول (۴-۷) آورده شده است، با افزایش افق زمانی درصد تأمین متوسط سالانه به شدت کاهش می‌یابد به گونه‌ای که این مقدار در تقاضای صنعت در آینده‌ی دور به حدود ۱۱٪ رسیده است.

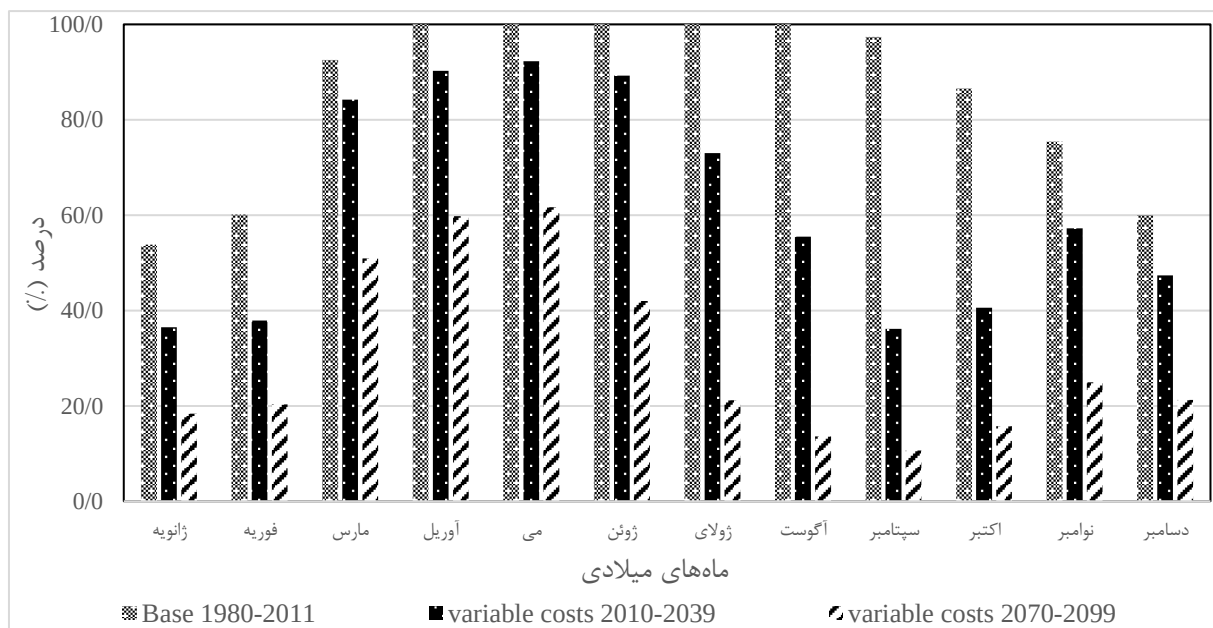
جدول (۴-۷) درصد تأمین متوسط سالانه برای افق‌های زمانی مختلف

| درصد تأمین متوسط سالانه | شرب تهران | شرب پردیس | کشاورزی | صنعت  |
|-------------------------|-----------|-----------|---------|-------|
| پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹)        | ۸۱/۳      | ۸۰/۵      | ۷۴/۷    | ۶۲/۸  |
| مصرف متغیر (۲۰۱۰-۲۰۳۹)  | ۶۹/۳      | ۶۷/۷      | ۵۷/۱    | ۴۶/۲۵ |
| مصرف متغیر (۲۰۷۰-۲۰۹۹)  | ۴۰/۲      | ۳۷/۵      | ۱۳/۴    | ۱۱/۲۵ |

## ۲- درصد تأمین متوسط ماهانه‌ی تقاضای شرب تهران

پارامتر درصد تأمین متوسط ماهانه برای هریک از مصرف‌کننده‌های آب رودخانه‌ی جاجرود به‌صورت ماهانه محاسبه شده است که با توجه به حجم زیاد مطالب مربوط به نیازهای شرب پردیس، کشاورزی و صنعت از آوردن نتایج درصد تأمین متوسط ماهانه آن‌ها در متن اصلی صرف‌نظر کرده و در پیوست ب آورده شده است.

همان‌طور که در شکل (۴-۲۲) ملاحظه می‌شود، در ماه‌های آوریل، می و ژوئن بیشترین میزان تأمین صورت گرفته است و کمترین میزان تأمین در ماه‌های اول سال آبی (ژانویه و فوریه) به علت خالی بودن مخزن اتفاق می‌افتد. بطور کل با افزایش جمعیت تقاضا افزایش یافته اما میزان تأمین به شدت کاهش یافته است.



شکل (۴-۲۲) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای افق‌های زمانی مختلف

### ۳- قابلیت اطمینان تخصیص تقاضاها

یکی دیگر از پارامترهایی که مدل WEAP در شبیه‌سازی منابع آب و در مورد تأمین تقاضاها محاسبه می‌کند قابلیت اطمینان است که نشان‌دهنده‌ی میزان درصد اطمینان از تأمین صورت گرفته (تخصیص صورت گرفته) برای هریک از تقاضاها است. به‌طور مثال در شبیه‌سازی‌هایی که بر روی جریان رودخانه‌ی جاجرود صورت گرفته است، همان‌طور که در جدول (۴-۸) آمده است در میان همه‌ی تقاضاها بالاترین درصد اطمینان تخصیص مربوط به نیاز کشاورزی است و دلیل آن این است که مقدار نیازهای آن در مقایسه با نیازهای شرب کمتر است و همچنین اینکه از بالادست سد و قبل از ورود جریان به سد تخصیص صورت می‌گیرد و تا جایی که جریان و اولویت تخصیص اجازه دهد نیاز آن تأمین می‌شود.

جدول (۴-۸) اطمینان‌پذیری تأمین نیاز هریک از مصرف‌کننده‌های جریان رودخانه‌ی جاجرود

| قابلیت اطمینان            | شرب تهران | شرب پردیس | کشاورزی | صنعت  |
|---------------------------|-----------|-----------|---------|-------|
| پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹)          | ۶۳/۶۱     | ۶۳/۶۱     | ۷۶/۳۹   | ۶۲/۵  |
| آینده‌ی نزدیک (۲۰۱۰-۲۰۳۹) | ۴۷/۲۲     | ۴۷/۲۲     | ۶۱/۳۹   | ۴۶/۱۱ |
| آینده‌ی دور (۲۰۷۰-۲۰۹۹)   | ۱۱/۹۴     | ۱۱/۹۴     | ۲۷/۷۸   | ۱۱/۱۱ |

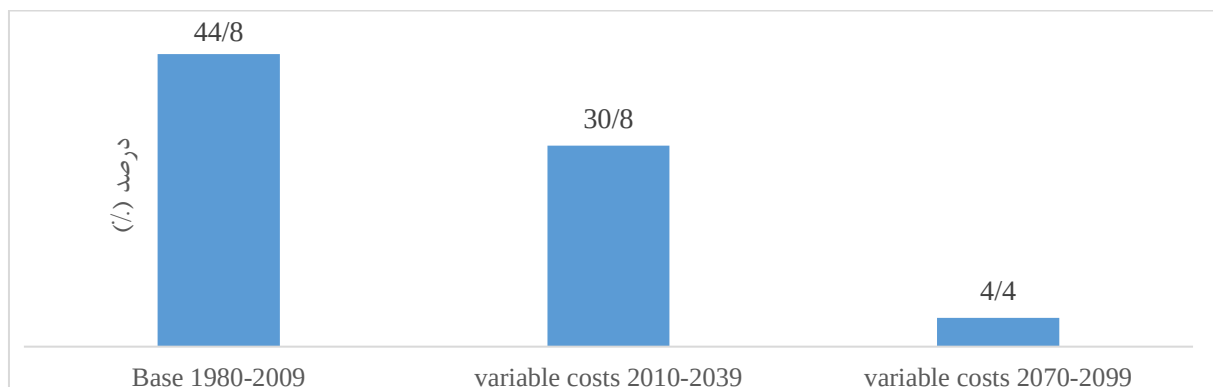
بالاترین میزان درصد اطمینان که در این شبیه‌سازی‌ها به آن رسیده شده است مربوط به تقاضای کشاورزی در دوره‌ی زمانی پایه و به میزان ۷۶/۳۹٪ است و کمترین میزان آن مربوط به تقاضای صنعت و در افق زمانی آینده‌ی دور به میزان ۱۱/۱۱٪ است که دلیل آن در اولویت سوم تخصیص قرار داشتن این تقاضا است.



#### ۴-۱-۲- تغییرات ذخیره‌ی مخزن سد لتیان

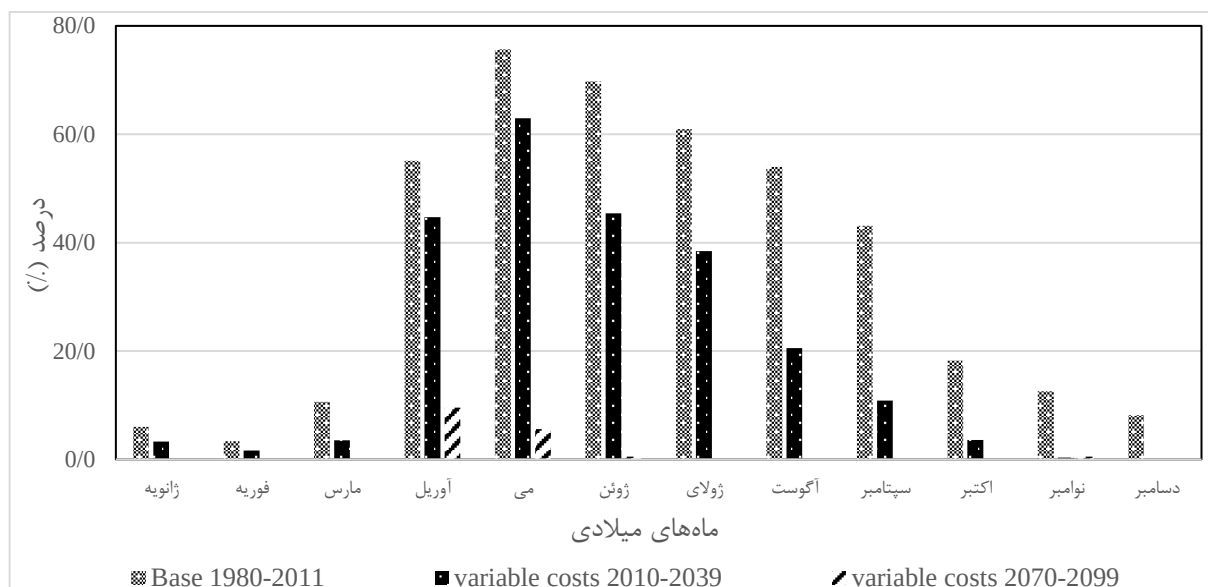
همان‌طور که در فصل سوم گفته شد گنجایش مخزن سد لتیان در زمان احداث ۹۵ میلیون مترمکعب و حجم آن در حال حاضر به علت انباشت رسوبات در حدود ۷۳ میلیون مترمکعب است که ما در شبیه‌سازی‌های انجام‌شده همه‌ی حجم را در نظر گرفته‌ایم.

نتایج شبیه‌سازی‌های صورت گرفته برای سد لتیان شامل تغییرات ذخیره مخزن است که مدل آن را به دو صورت سالانه و متوسط ماهانه گزارش می‌کند ولی برای گزارش آن‌ها در این پژوهش درصد ذخیره مخزن (حجم مخزن پر / حجم موجود در مخزن) به‌صورت متوسط ماهانه و سالانه گزارش شده است. تغییرات متوسط ۳۰ ساله ذخیره مخزن برای هریک از افق‌های زمانی در شکل (۴-۲۳) آورده شده است.



شکل (۴-۲۳) درصد متوسط سالانه ذخیره مخزن سد لتیان

بنا بر شکل بالا به ترتیب با افزایش افق زمانی میزان ذخیره مخزن کاهش می‌یابد به‌گونه‌ای که در دوره‌ی پایه درصد متوسط ذخیره‌ی سالانه تقریباً برابر با نیمی از حجم مفید مخزن است ولی در افق زمانی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به مقدار نازل ۴/۴٪ می‌رسد. در شکل (۴-۲۴) نیز تغییرات متوسط ماهانه‌ی درصد ذخیره‌ی مخزن به ترتیب افزایش افق زمانی آورده شده است.



شکل (۴-۲۴) درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در افق‌های زمانی مختلف

همان‌طور که در شکل بالا مشخص است مقدار ذخیره‌ی موجود در مخزن در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در افق‌های زمانی آینده نزدیک و دور تقریباً صفر است و در ماه‌های می و ژوئن در افق زمانی آینده نزدیک در بالاترین سطح خود قرار دارد و در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر به مقدار ذخیره‌ی نزدیک به صفر می‌رسد.

#### ۴-۴-۲- شبیه‌سازی با فرض تغییر منابع تأمین و ثابت بودن میزان تقاضا

در این بخش فرض بر این است که میزان منابع آب موجود برای تأمین نیازهای منطقه مورد مطالعه در سناریوها و افق‌های زمانی مختلف تحت تأثیر تغییر اقلیم نسبت به دوره‌ی پایه تغییر می‌کنند و میزان تقاضاها در همه حال ثابت خواهد بود.

در جدول (۴-۹) متوسط ماهانه و سالانه‌ی هریک از تقاضاها که مدل شبیه‌سازی بر مبنای آن‌ها اجرا شده آورده شده است.

جدول (۴-۹) میزان تقاضای هریک از مصرف‌کننده‌ها از رودخانه‌ی جاجرود

| مصرف‌کننده        | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | می   | ژوئن | ژولای | آگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر | سالانه (MCM) |
|-------------------|--------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|--------------|
| کشاورزی           | ۰      | ۰     | ۱    | ۱/۳   | ۱/۷  | ۱/۹  | ۲     | ۲     | ۱/۹     | ۱/۷   | ۱/۵    | ۱      | ۱۶           |
| صنعت              | ۰/۳۳   | ۰/۳۳  | ۰/۳۳ | ۰/۳۳  | ۰/۳۳ | ۰/۳۴ | ۰/۳۴  | ۰/۳۴  | ۰/۳۴    | ۰/۳۳  | ۰/۳۳   | ۰/۳۳   | ۴            |
| شرب پردیس         | ۲/۵    | ۲/۵   | ۲/۵  | ۲/۵   | ۲/۵  | ۲/۵  | ۲/۵   | ۲/۵   | ۲/۵     | ۲/۵   | ۲/۵    | ۲/۵    | ۳۰           |
| شرب تهران         | ۲۱     | ۲۱    | ۲۱   | ۲۱    | ۲۶   | ۲۵   | ۲۰    | ۱۵    | ۱۳      | ۲۱    | ۱۵     | ۱۷     | ۲۳۶          |
| کل نیازهای ماهانه | ۲۳/۸   | ۲۳/۸  | ۲۴/۸ | ۲۵/۱  | ۳۰/۵ | ۲۹/۷ | ۲۴/۸  | ۱۹/۸  | ۱۷/۷۴   | ۲۵/۵  | ۱۹/۳   | ۲۰/۸   | ۲۸۶          |

#### ۴-۲-۱- درصد تأمین نیازهای منطقه

این پارامتر برای متوسط ۳۰ ساله و همچنین متوسط ماهانه‌ی مقادیر تأمین‌شده در هریک از سناریوها به‌صورت جداگانه محاسبه شده است.

#### ۱- درصد تأمین متوسط سالانه‌ی تقاضاها

در جدول (۴-۱۰) درصد‌های تأمین سالانه برای هریک از سناریوهای مورد مطالعه در افق‌های زمانی آینده‌ی نزدیک و آینده‌ی دور در مقایسه با دوره‌ی زمانی پایه به‌صورت جداگانه آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تغییرات درصد تأمین همه‌ی تقاضاها مشابه تغییرات رواناب تحت تأثیر تغییر اقلیم می‌باشد، در مدل HadCM3 با بدبینانه شدن سناریوها و افزایش افق‌های زمانی متوسط درصد تأمین سالانه کاهش می‌یابد و در افق زمانی آینده‌ی دور (۲۰۷۰-۲۰۹۹) این کاهش شدیدتر است اما در مدل Canesm2 با بدبینانه شدن سناریوها و افزایش افق‌های زمانی با توجه به افزایش رواناب به دلیل افزایش بارش‌ها و همچنین افزایش ذوب برف، متوسط درصد تأمین سالانه افزایش می‌یابد.

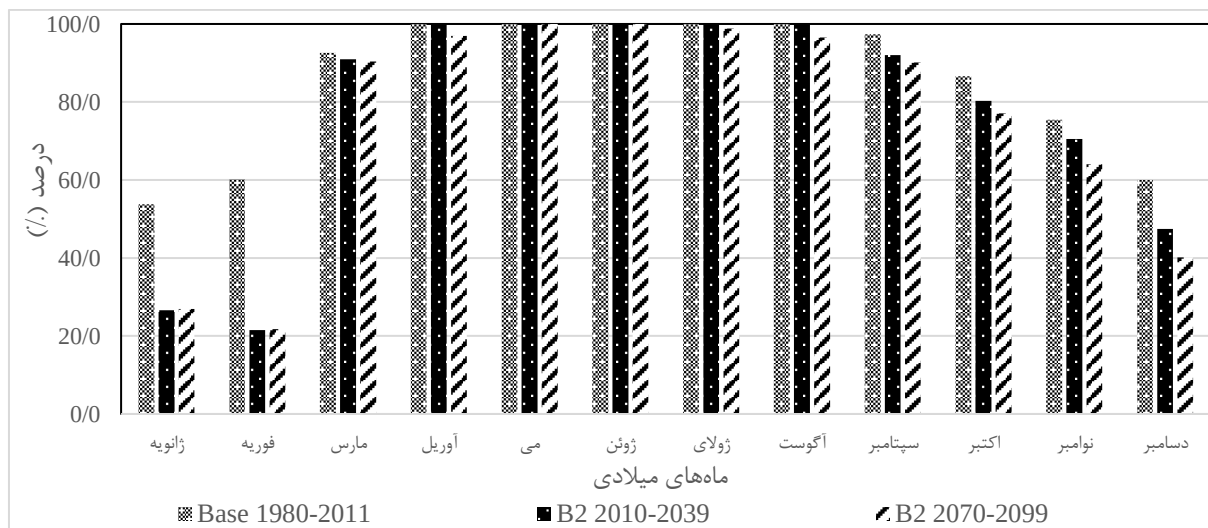
جدول (۴-۱۰) درصد تأمین متوسط سالانه برای سناریوها و افق‌های زمانی مختلف

| درصد تأمین متوسط سالانه | شرب تهران | شرب پردیس | کشاورزی | صنعت  |
|-------------------------|-----------|-----------|---------|-------|
| پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹)        | ۸۱/۳      | ۸۰/۵      | ۷۴/۷    | ۶۲/۸  |
| B2 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)          | ۸۰/۲      | ۷۹/۶      | ۷۴/۱    | ۶۱/۷۵ |
| B2 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)          | ۷۸/۴      | ۷۸/۲      | ۷۲/۴    | ۶۰/۳  |
| A2 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)          | ۷۹/۱      | ۷۸        | ۷۲      | ۶۱/۳  |
| A2 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)          | ۷۸/۱      | ۷۶/۶      | ۷۰/۴    | ۵۹/۲  |
| Rcp2.6 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)      | ۸۵/۶      | ۸۶/۱      | ۹۱/۹    | ۷۷    |
| Rcp2.6 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)      | ۸۸/۶      | ۸۹        | ۹۵/۱    | ۸۰/۱  |
| Rcp8.5 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)      | ۸۶/۶      | ۸۷/۱      | ۹۵/۴    | ۷۸/۸  |
| Rcp8.5 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)      | ۹۰        | ۹۰/۴      | ۹۶/۹    | ۸۰/۹  |

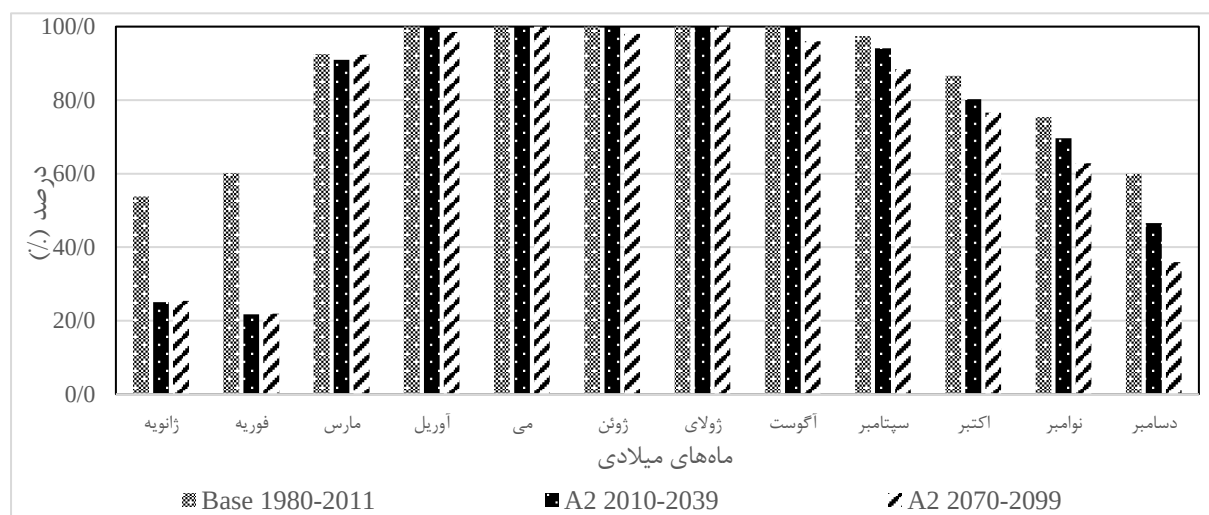
## ۲- درصد تأمین متوسط ماهانه‌ی تقاضای شرب تهران

پارامتر درصد تأمین متوسط ماهانه برای شرب شهر تهران به‌صورت جداگانه و تحت هر چهار سناریو و دو افق زمانی مورد مطالعه در این تحقیق محاسبه شده است و در شکل‌های (۴-۲۵) تا (۴-۲۸) مقادیر این پارامتر برای شرب تهران آورده شده‌اند.

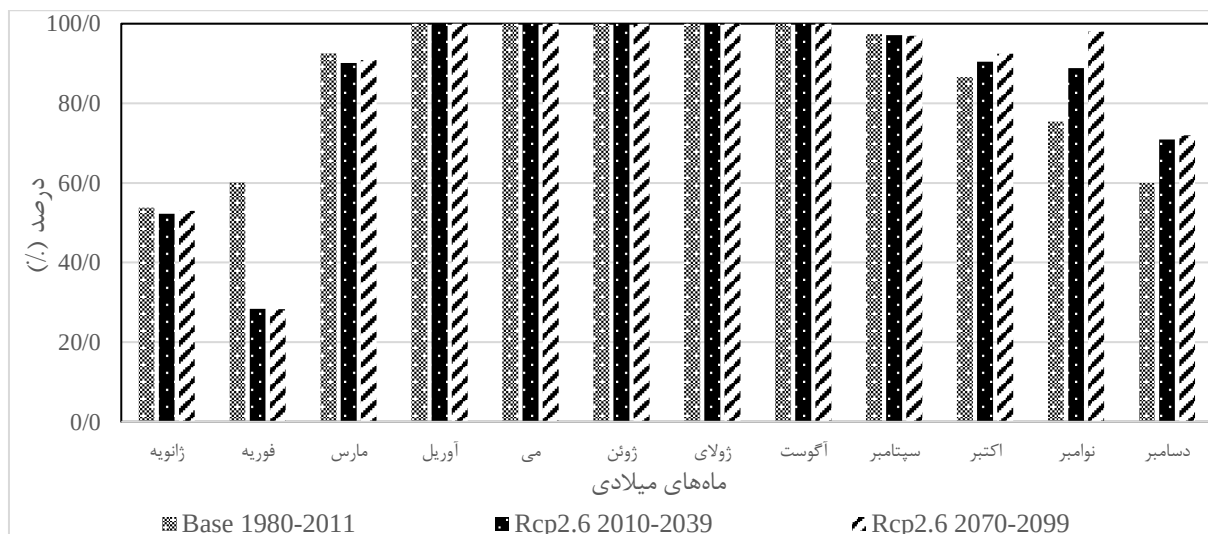
همان‌طور که در شکل‌ها ملاحظه می‌شود در ماه‌های آوریل، می و ژوئن تأمین به‌صورت کامل برای همه‌ی سناریوها و افق‌های زمانی انجام می‌شود و کمترین میزان تأمین در ماه‌های ژانویه و فوریه به علت خالی بودن مخزن اتفاق می‌افتد. کمترین میزان درصد تأمین متوسط ماهانه مربوط به ماه فوریه در سناریوی A2 می‌باشد که به حدود ۲۰٪ در افق زمانی آینده‌ی نزدیک می‌رسد. به طور کلی در مدل HadCM3 با افزایش افق زمانی درصد تأمین متوسط ماهانه کاهش و در مدل Canesm2 افزایش یافته است.



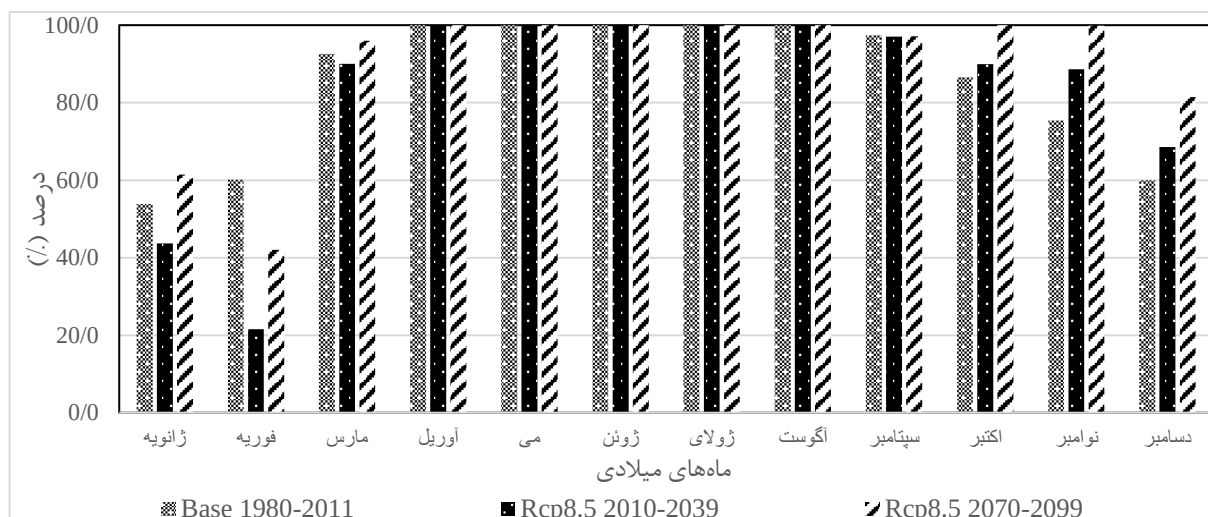
شکل (۴-۲۵) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار B2



شکل (۴-۲۶) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار A2



شکل (۴-۲۷) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار Rcp 2.6



شکل (۴-۲۸) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار Rcp 8.5

### ۳- قابلیت اطمینان تخصیص تقاضاها

در جدول (۴-۱۱) چگونگی تغییر اطمینان‌پذیری تأمین نیازها در شرایط تغییر منابع تأمین و ثابت بودن مقادیر تقاضاها نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول فوق قابل ملاحظه است، در مدل HadCM3 به ترتیب بدبینانه شدن سناریوها و افزایش افق‌های زمانی برای همه‌ی تقاضاها اطمینان-پذیری تأمین کاهش می‌یابد به گونه‌ای که کمترین درصد اطمینان مربوط به سناریوی A2 در افق زمانی آینده‌ی دور برای همه‌ی تقاضاها می‌باشد اما در مدل Canesm2 برای همه‌ی تقاضاها اطمینان‌پذیری تأمین افزایش می‌یابد و بیشترین اطمینان‌پذیری مربوط به دوره‌ی آینده دور سناریوی Rcp8.5 است.

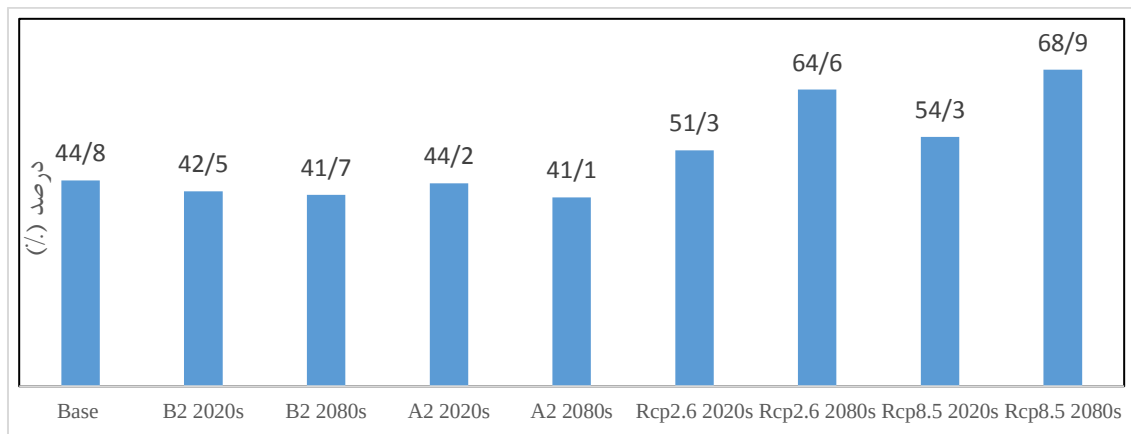
جدول (۴-۱۱) اطمینان‌پذیری تأمین نیاز هریک از مصرف‌کننده‌های جریان رودخانه‌ی جاجرو

| کشاورزی | شرب تهران | شرب پردیس | صنعت  |                    |
|---------|-----------|-----------|-------|--------------------|
| ۷۶/۴    | ۶۳/۶۱     | ۶۳/۶۱     | ۶۲/۵  | پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹)   |
| ۷۵/۷۸   | ۶۳/۰۶     | ۶۳/۰۶     | ۶۱/۳۹ | B2 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)     |
| ۷۲/۱۷   | ۶۰/۶۱     | ۶۰/۶۱     | ۵۸/۷۸ | B2 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)     |
| ۷۵/۱۸   | ۶۲/۵۶     | ۶۲/۵۶     | ۶۱/۰۲ | A2 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)     |
| ۷۱/۴    | ۶۰/۲۵     | ۶۰/۲۵     | ۵۸/۰۱ | A2 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)     |
| ۹۰/۸۳   | ۷۸/۶۱     | ۷۸/۶۱     | ۷۶/۳۹ | Rcp2.6 (۲۰۱۰-۲۰۳۹) |
| ۹۳/۶۱   | ۸۱/۶۷     | ۸۱/۶۷     | ۸۰/۵۶ | Rcp2.6 (۲۰۷۰-۲۰۹۹) |
| ۹۲/۱۷   | ۷۹/۷۲     | ۷۹/۷۲     | ۷۸/۰۶ | Rcp8.5 (۲۰۱۰-۲۰۳۹) |
| ۹۴/۷۸   | ۸۲/۷۷     | ۸۲/۷۷     | ۸۱/۹  | Rcp8.5 (۲۰۷۰-۲۰۹۹) |

بالاترین میزان درصد اطمینان که در شبیه‌سازی‌های صورت گرفته به آن رسیدیم مربوط به تقاضای کشاورزی در و سناریوی Rcp8.5 و دوره‌ی زمانی آینده‌ی دور به میزان ۹۴/۷۸٪ است و کمترین میزان آن مربوط به تقاضای صنعت و در سناریوی بدبینانه‌ی A2 در افق زمانی آینده‌ی دور به میزان ۵۸/۰۱٪ است که دلیل آن در اولویت تخصیص آخر قرار داشتن این تقاضا است.

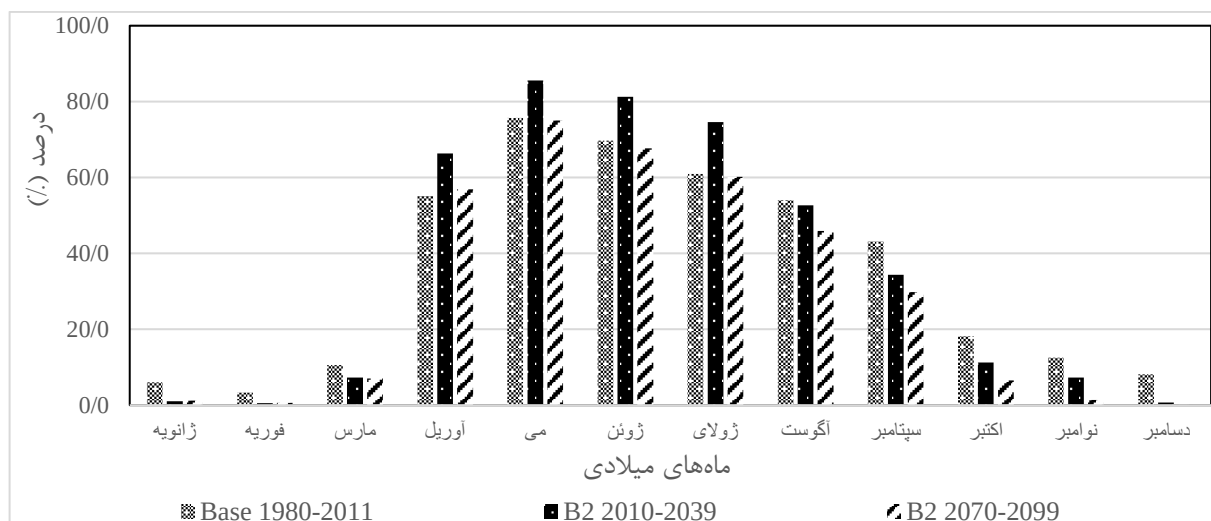
#### ۴-۲-۲- تغییرات ذخیره‌ی مخزن سد لتیان

در نتیجه شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، تغییرات متوسط ۳۰ ساله ذخیره مخزن سد لتیان برای هریک از سناریوها و افق‌های زمانی در شکل (۴-۲۹) آورده شده است.

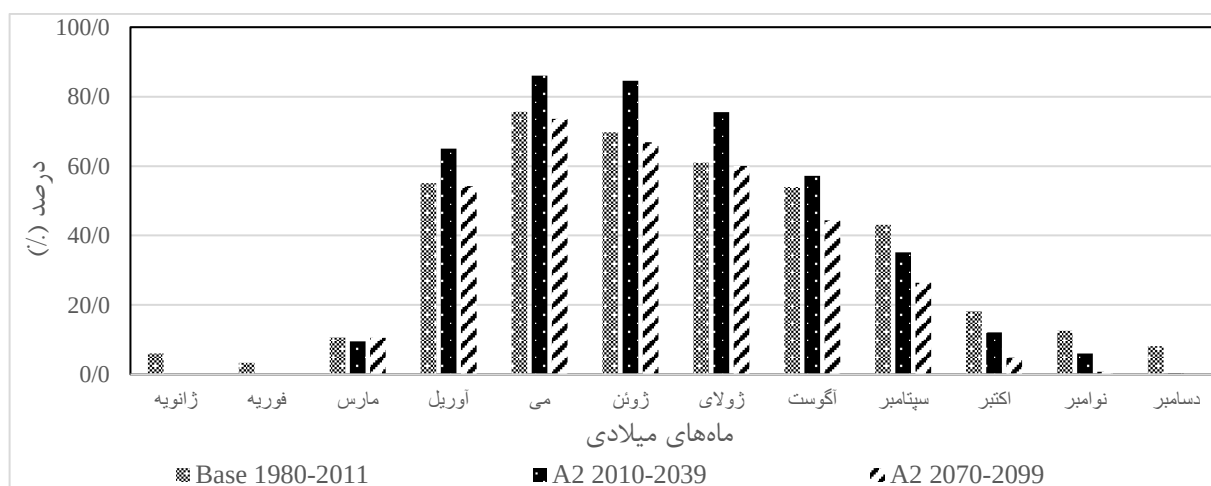


شکل (۴-۲۹) درصد متوسط سالانه ذخیره مخزن سد لتیان

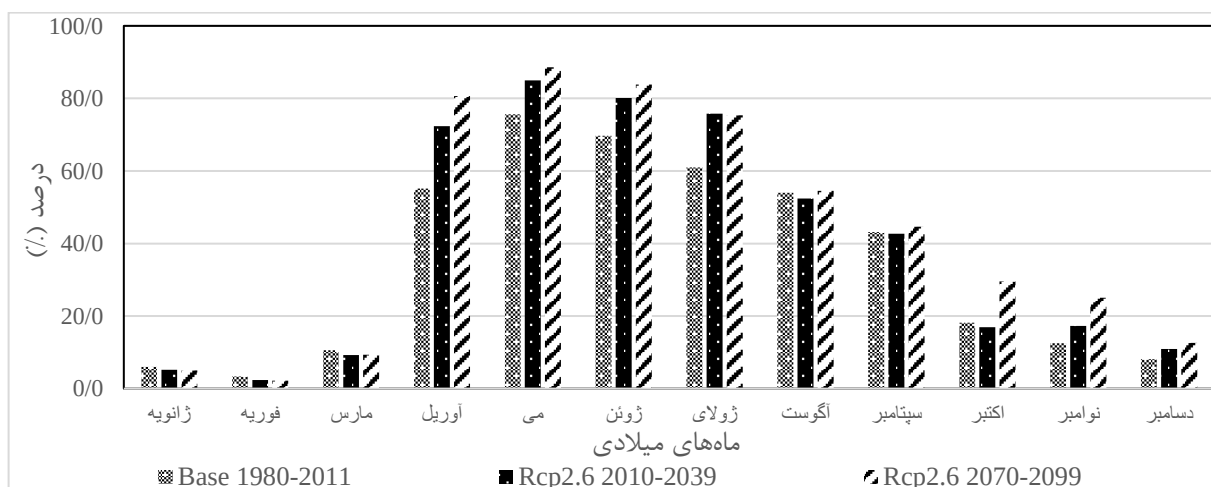
همان‌طور که در شکل فوق قابل مشاهده است به ترتیب با بدبینانه شدن سناریوها که افزایش جریان را هم در پی دارد میزان ذخیره مخزن نیز نسبت به دوره‌ی پایه افزایش می‌یابد ولی در مدل HadCM3 با افزایش افق زمانی در هر سناریو ذخیره مخزن کاهش می‌یابد درحالی که در مدل Canesm2 افزایش می‌یابد. در شکل‌های (۴-۳۰) تا (۴-۳۳) نیز تغییرات متوسط ماهانه‌ی درصد ذخیره‌ی مخزن به ترتیب سناریوها آورده شده است.



شکل (۴-۳) درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی B2

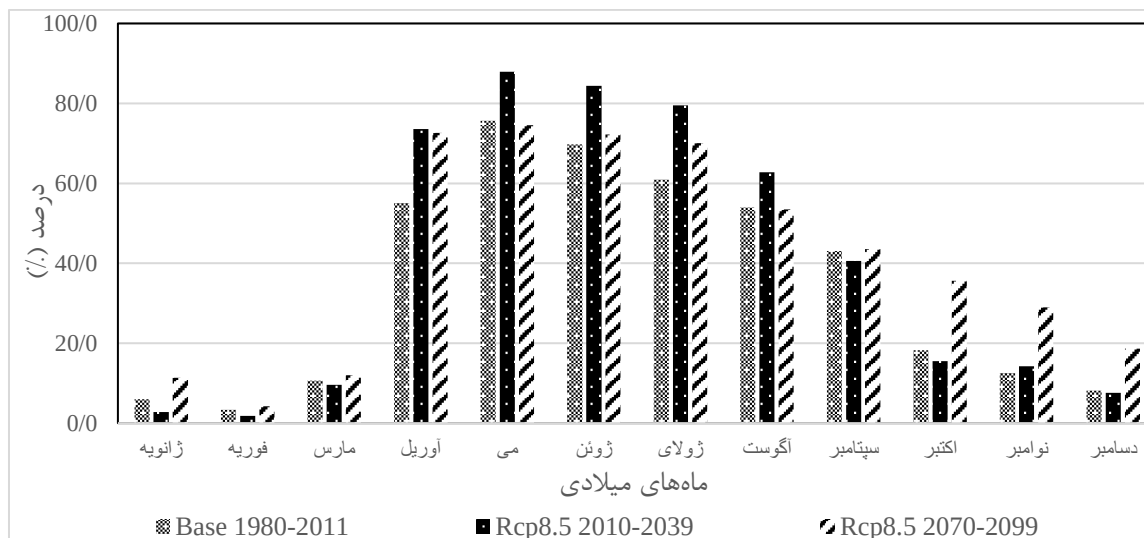


شکل (۴-۳۱) درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی A2



شکل (۴-۳۲) درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی Rcp 2.6





شکل (۴-۳) درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی Rcp 8.5

همان‌طور که در شکل‌های بالا مشخص است مقدار ذخیره‌ی موجود در مخزن در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در همه‌ی سناریوها و افق‌های زمانی زیر ۱۰٪ است و در ماه‌های می و ژوئن بسته به نوع سناریو و افق زمانی در بالاترین سطح خود قرار دارد. در ماه‌های نوامبر و دسامبر در سناریوهای مدل HadCM3 به مقدار ذخیره‌ی نازل زیر ۱۰٪ می‌رسد و در سناریوهای مدل Canesm2 مقدار ذخیره مخزن به علت بیشتر بودن رواناب ورودی به مخزن کمتر از ۲۰٪ است.

#### ۴-۴-۳- شبیه‌سازی با فرض تغییر منابع تأمین و همچنین تغییر میزان تقاضا

در آخرین و مهم‌ترین فرض، میزان منابع آب موجود برای تأمین نیازهای منطقه در سناریوها و افق‌های زمانی مختلف تحت تأثیر تغییر اقلیم دچار تغییراتی می‌شود و همچنین میزان تقاضاها نیز همان‌طور که در بخش ۴-۴-۱ توضیح داده شده، تغییر می‌کند.

مقادیر متوسط ماهانه و سالانه‌ی هریک از تقاضاها برای آینده‌های نزدیک و دور که مبنای شبیه‌سازی تخصیص هستند، مطابق با آنچه در جدول‌های (۴-۴) و (۴-۵) آمده است می‌باشد.

#### ۴-۳-۱- درصد تأمین نیازهای منطقه

مقادیر درصد تأمین برای متوسط ۳۰ ساله هریک از سناریوهای و افق‌های زمانی مورد مطالعه به صورت جدول و همچنین درصد متوسط ماهانه‌ی مقادیر تأمین‌شده در هریک از سناریوهای مدنظر در شکل‌های جداگانه گزارش شده است.

#### ۱- درصد تأمین متوسط سالانه‌ی تقاضاها

در جدول (۴-۱۲) درصد‌های تأمین سالانه برای هریک از سناریوها و افق‌های زمانی آینده‌ی نزدیک آینده‌ی دور به صورت جداگانه آورده شده است. همان‌طور که در جدول ملاحظه می‌شود و قابل پیش‌بینی بود تغییرات متوسط درصد تأمین سالانه همه‌ی تقاضاها با افزایش افق‌های زمانی کاهشی می‌یابد به طوری که در سناریوی بدبینانه‌ی A2 شدیدترین تغییرات اتفاق افتاده است و درصد‌های تأمین برای شرب تهران، شرب پردیس، صنعت و کشاورزی به ترتیب عبارت است از: ۳۶/۳، ۳۳/۴، ۱۰/۳ و ۹/۵.

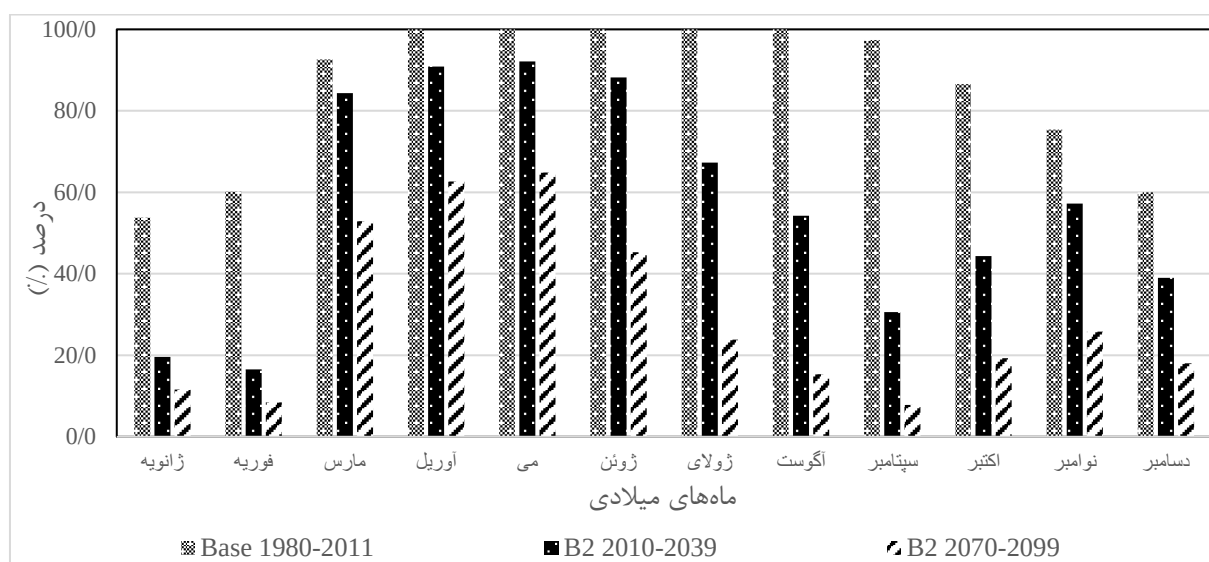
جدول (۴-۱۲) درصد تأمین متوسط سالانه برای سناریوها و افق‌های زمانی مختلف

| درصد تأمین متوسط سالانه | شرب تهران | شرب پردیس | کشاورزی | صنعت  |
|-------------------------|-----------|-----------|---------|-------|
| پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹)        | ۸۱/۳      | ۸۰/۵      | ۷۴/۷    | ۶۲/۸  |
| B2 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)          | ۷۰/۱      | ۶۸/۷      | ۶۳/۱    | ۴۹/۷۵ |
| B2 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)          | ۳۷/۱      | ۳۴/۲      | ۱۱/۱    | ۱۰    |
| A2 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)          | ۶۹/۷      | ۶۸        | ۶۲/۵    | ۴۹/۳  |
| A2 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)          | ۳۶/۳      | ۳۳/۴      | ۱۰/۳    | ۹/۵   |
| Rcp2.6 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)      | ۷۳/۱      | ۷۲/۶      | ۶۸/۴    | ۵۴/۳  |
| Rcp2.6 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)      | ۴۴/۶      | ۴۱/۶      | ۱۷/۳    | ۱۵    |
| Rcp8.5 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)      | ۷۴        | ۷۳/۲      | ۶۹/۴    | ۵۵    |
| Rcp8.5 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)      | ۴۵/۱      | ۴۲/۶      | ۱۷/۹    | ۱۵/۸  |

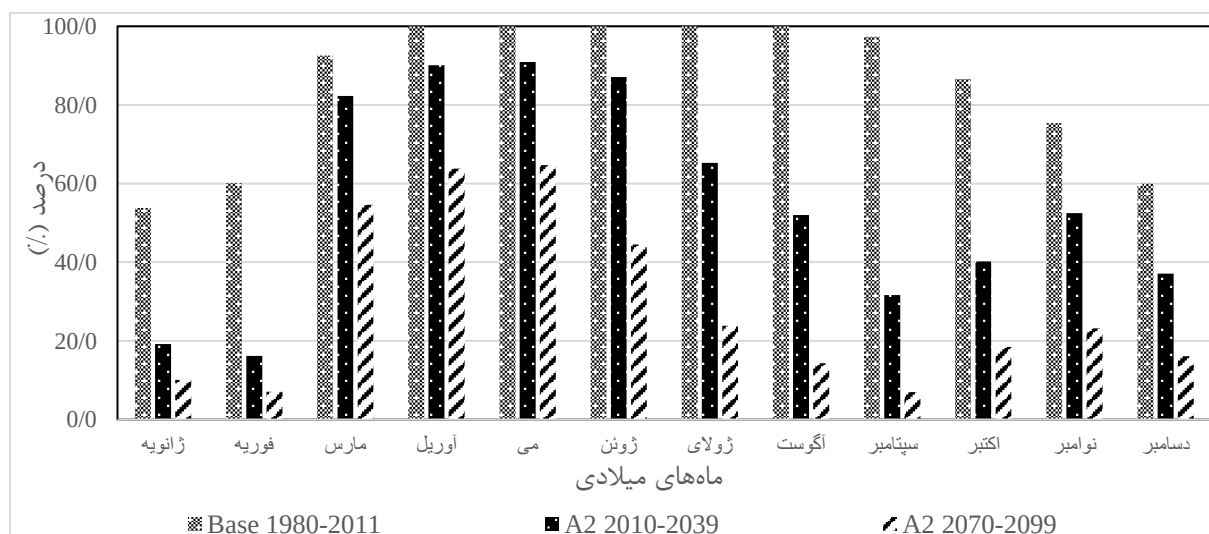
#### ۲- درصد تأمین متوسط ماهانه‌ی تقاضای شرب تهران

در شکل‌های (۴-۳۴) تا (۴-۳۷) مقادیر پارامتر درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای هریک از سناریوهای مورد مطالعه و دو افق زمانی آن‌ها آورده شده‌اند.

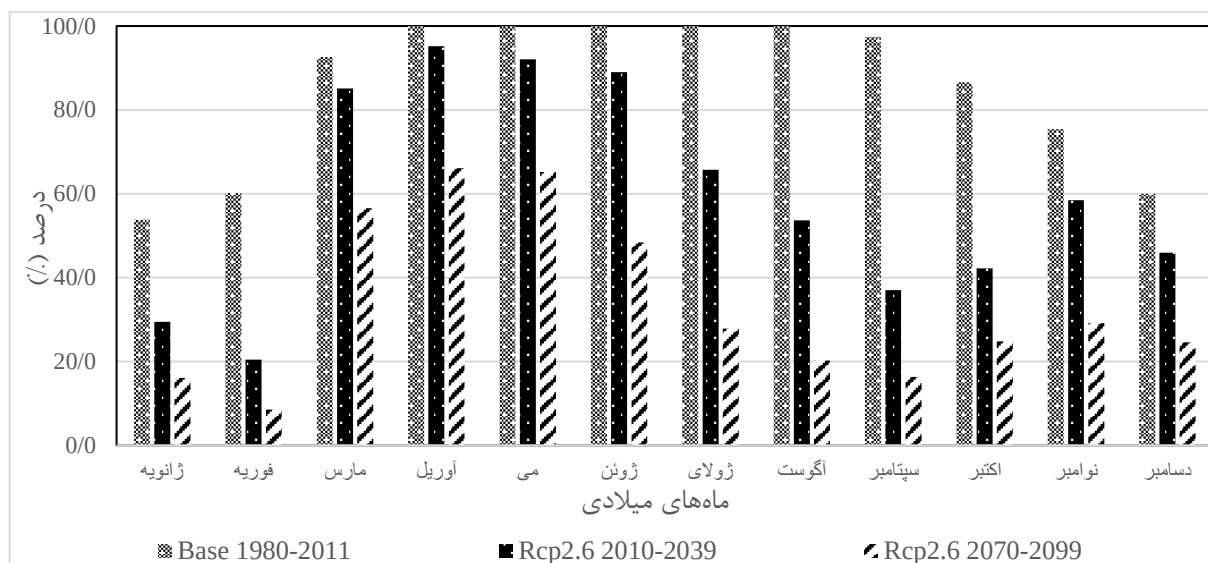
همان‌گونه که شکل‌ها گویا هستند در هیچ‌یک از افق‌های زمانی آینده نزدیک و دور تأمین ۱۰۰٪ انجام‌نشده است که با توجه به افزایش روزافزون جمعیت در شهر تهران قابل پیش‌بینی می‌باشد. بیشترین درصد تأمین‌ها مربوط به ماه‌های پرباران آوریل، می و ژوئن آن‌هم در آینده نزدیک می‌باشد که در حدود ۹۰٪ در سناریوهای مختلف در نوسان است. کمترین میزان درصد تأمین متوسط ماهانه بصورت مشترک در همه سناریوها مربوط به ماه فوریه می‌باشد و در سناریوی A2 به حدود ۷٪ در افق زمانی آینده‌ی دور می‌رسد.



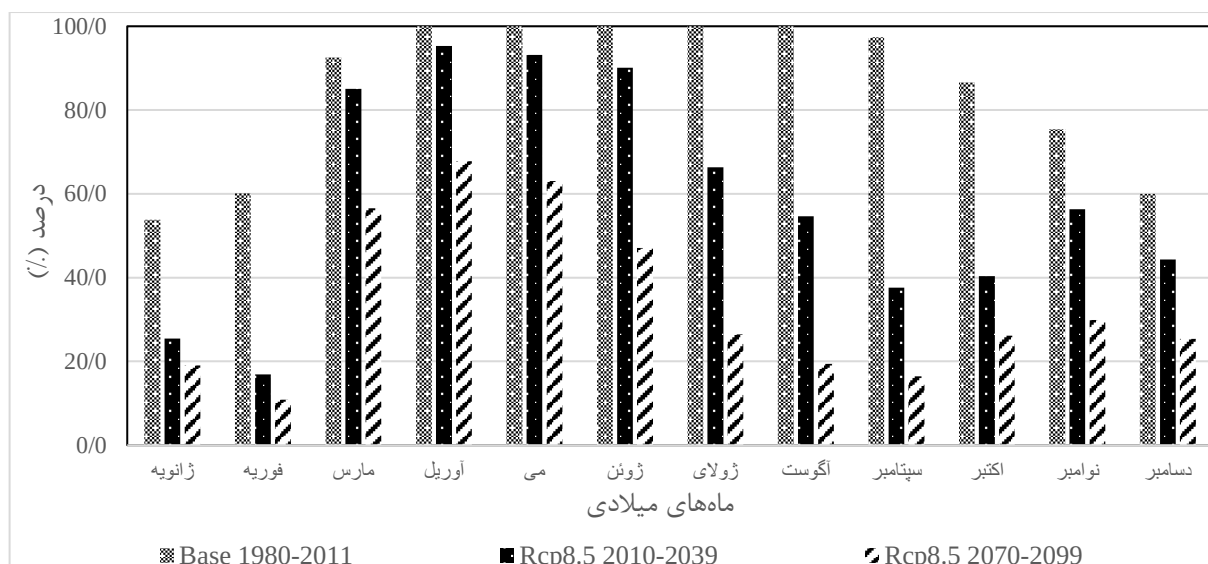
شکل (۴-۳۴) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار B2



شکل (۴-۳۵) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار A2



شکل (۴-۳۶) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار Rcp2.6



شکل (۴-۳۷) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب تهران برای سناریوی انتشار Rcp8.5

به‌طور کلی در شبیه‌سازی که در WEAP به کمک روابط خطی صورت می‌گیرد؛ تخصیص به ترتیب اولویت‌ها انجام می‌گیرد و تا زمانی که در یک روز خاص تقاضای دارای اولویت یک به‌صورت کامل تأمین نشود به تقاضاهای دارای اولویت‌های پایین‌تر تخصیصی صورت نمی‌گیرد.

همان‌طور که در متوسط سالانه نیز اتفاق افتاد به ترتیب افزایش افق‌های زمانی برای هریک از تقاضاها روند نزولی درصد تأمین اتفاق می‌افتد و در افق زمانی آینده‌ی دور برای همه‌ی سناریوها این تغییرات شدیدتر می‌شود.

### ۳- قابلیت اطمینان تخصیص تقاضاها

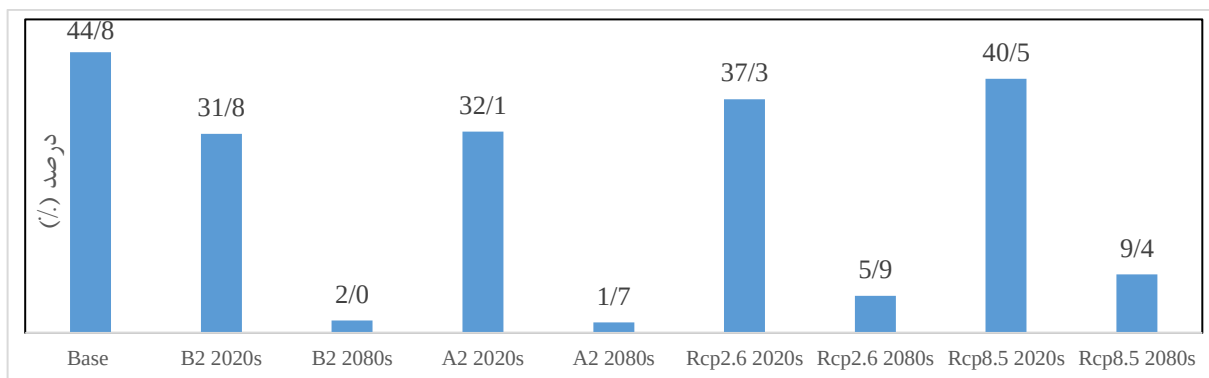
جدول (۴-۱۳) چگونگی تغییر اطمینان‌پذیری تخصیص تقاضاها را در سناریوها و افق‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد که در این میان بالاترین میزان درصد اطمینان که در شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در این بخش به آن رسیدیم مربوط به تقاضای کشاورزی در دوره‌ی زمانی پایه و به میزان ۷۶/۴٪ است و کمترین میزان آن مربوط به تقاضای شرب و در سناریوی بدبینانه‌ی A2 در افق زمانی آینده‌ی دور به میزان ۹/۱۴٪ است که دلیل آن بالا بودن مقدار این تقاضا است.

جدول (۴-۱۳) اطمینان‌پذیری تأمین نیاز هریک از مصرف‌کننده‌های جریان رودخانه‌ی جاجرود

| کشاورزی | شرب تهران | شرب پردیس | صنعت  |                    |
|---------|-----------|-----------|-------|--------------------|
| ۷۶/۴    | ۶۳/۶۱     | ۶۳/۶۱     | ۶۲/۵  | پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹)   |
| ۶۵/۵۶   | ۵۰/۲۸     | ۵۰/۲۸     | ۴۹/۰۴ | B2 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)     |
| ۲۶/۹۴   | ۱۰/۸۳     | ۱۰/۸۳     | ۱۰    | B2 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)     |
| ۶۵/۳۹   | ۴۸/۸۳     | ۴۸/۸۳     | ۴۷/۷۲ | A2 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)     |
| ۲۶/۱۱   | ۹/۱۴      | ۹/۱۴      | ۹/۴۴  | A2 (۲۰۷۰-۲۰۹۹)     |
| ۶۹/۴۴   | ۵۵/۵۶     | ۵۵/۵۶     | ۵۳/۸۹ | Rcp2.6 (۲۰۱۰-۲۰۳۹) |
| ۳۱/۹۴   | ۱۶/۱۱     | ۱۶/۱۱     | ۱۵    | Rcp2.6 (۲۰۷۰-۲۰۹۹) |
| ۷۰/۵    | ۵۶/۳۹     | ۵۶/۳۹     | ۵۴/۴۱ | Rcp8.5 (۲۰۱۰-۲۰۳۹) |
| ۳۲/۶۹   | ۱۶/۹۸     | ۱۶/۹۸     | ۱۵/۸۲ | Rcp8.5 (۲۰۷۰-۲۰۹۹) |

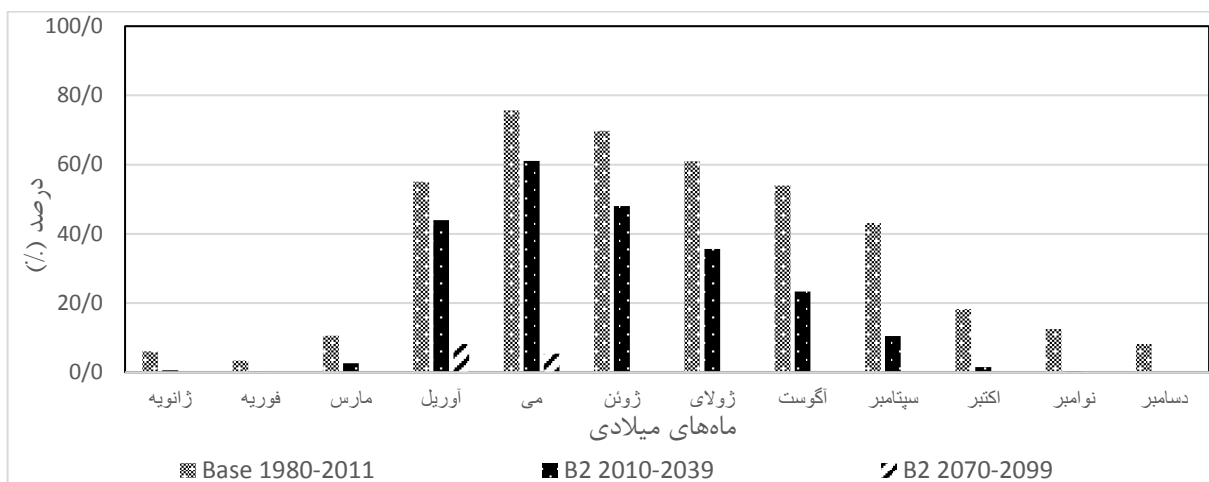
### ۴-۳-۲- تغییرات ذخیره‌ی مخزن سد لتیان

در شکل (۴-۳۸) تغییرات متوسط ۳۰ ساله ذخیره مخزن برای هریک از سناریوها و افق‌های زمانی نشان می‌دهد به ترتیب بدبینانه شدن سناریوها به دلیل وجود افزایش جریان ورودی به مخزن، میزان ذخیره در مخزن افزایش می‌یابد در حالی که با افزایش افق زمانی از آینده نزدیک به آینده دور به دلیل افزایش جمعیت ذخیره موجود در مخزن به شدت کاهش می‌یابد به گونه‌ای که در سناریوی A2 در بازه‌ی ۳۰ ساله‌ی آینده‌ی دور به مقدار ۱/۷٪ از حجم کل مخزن می‌رسد.

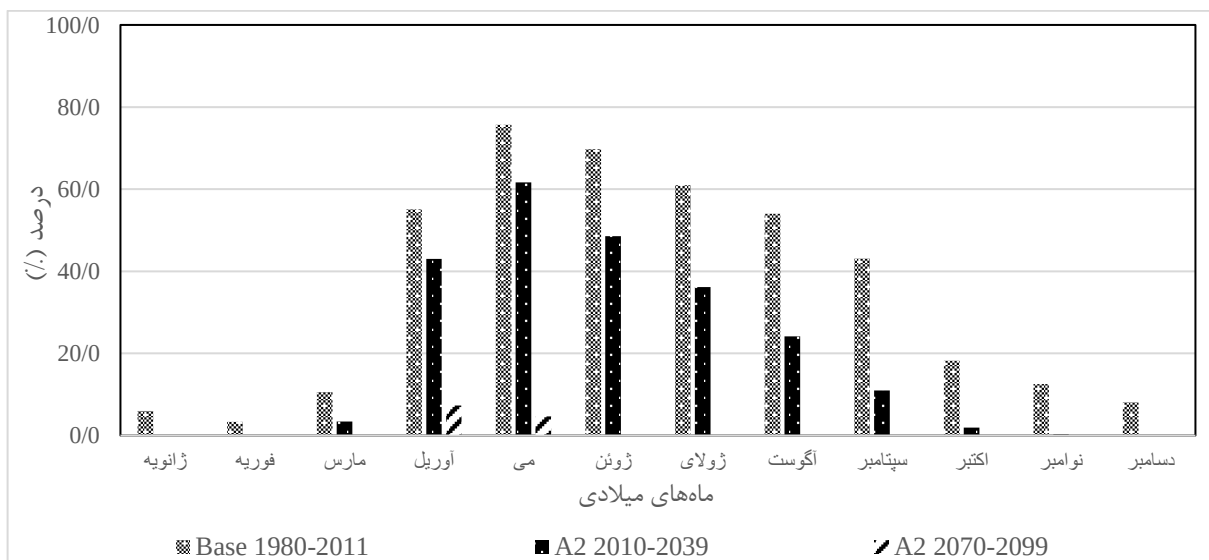


شکل (۴-۳۸) درصد متوسط سالانه ذخیره مخزن سد لتیان

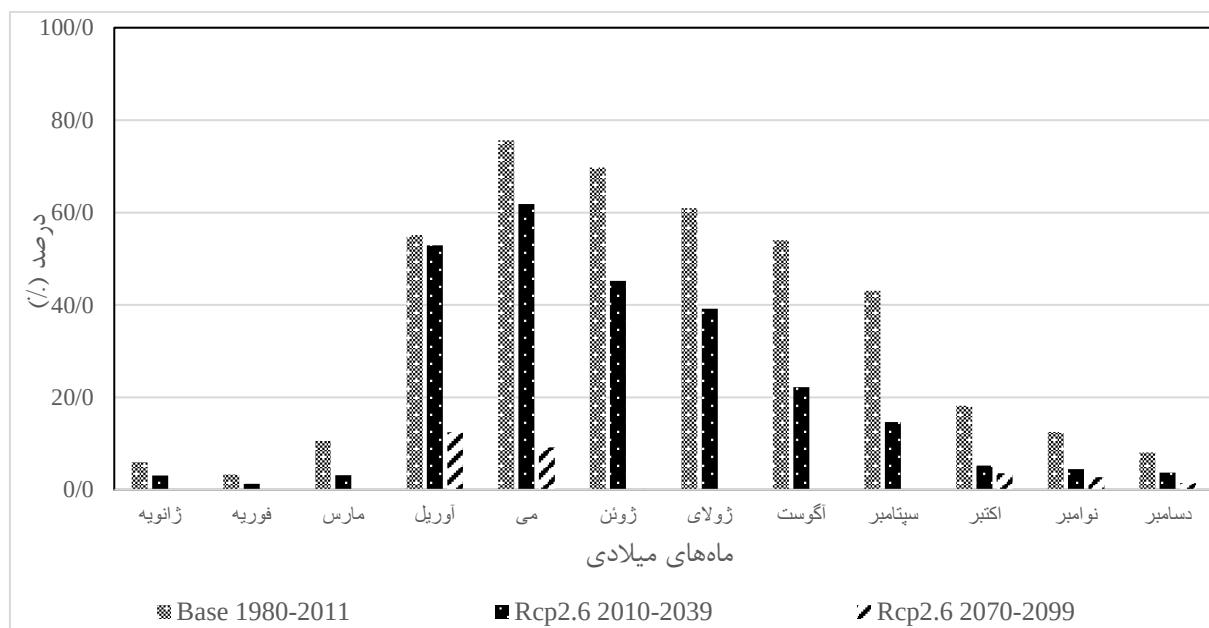
در شکل‌های (۴-۳۹) تا (۴-۴۲) نیز تغییرات متوسط ماهانه‌ی درصد ذخیره‌ی مخزن به ترتیب سناریوها آورده شده است.



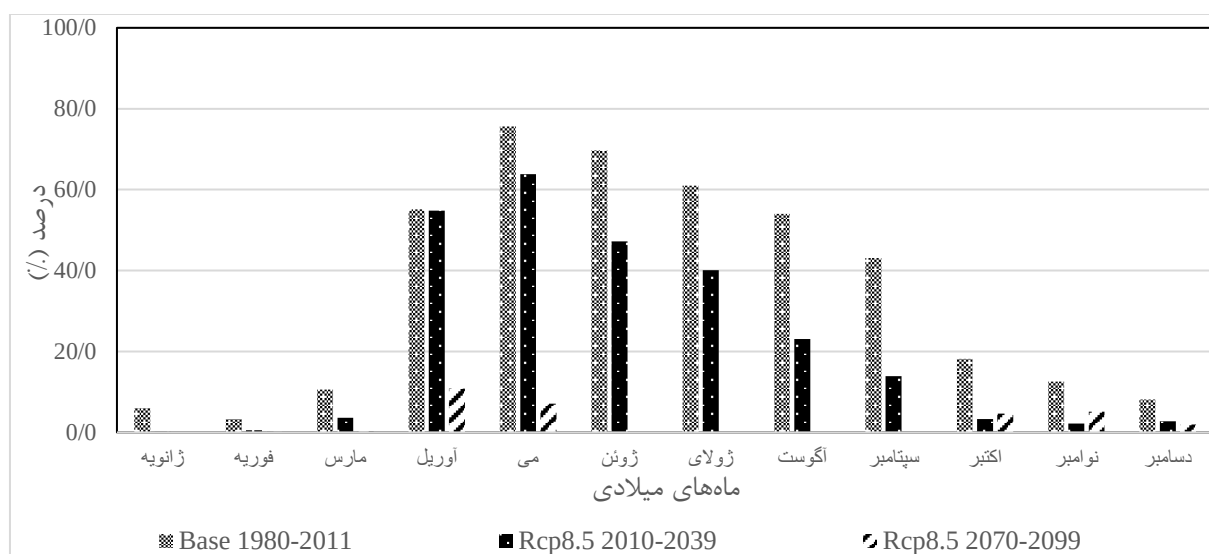
شکل (۴-۳۹) درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی B2



شکل (۴-۴۰) درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی A2



شکل (۴-۴۱) درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی Rcp2.6



شکل (۴-۴۲) درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در سناریوی Rcp8.5

با توجه به آنچه در شکل‌های بالا به‌وضوح مشخص است مقدار ذخیره‌ی موجود در مخزن در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در همه‌ی سناریوها و افق‌های زمانی تقریباً صفر است و در ماه می در همه‌ی سناریوها و فقط در افق آینده‌ی نزدیک بالاترین سطح خود و به مقدار حدود ۶۰٪ می‌باشد. در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر در مدل Canesm2 ذخیره مخزن به مقدار ذخیره‌ی نازل حدود ۵٪ می‌رسد در حالی که در مدل HadCM3 مقدار ذخیره صفر می‌باشد.

#### ۴-۵- جمع‌بندی

در این فصل به‌طور کلی اثر تغییر اقلیم بر رواناب در سناریوها و افق‌های زمانی مختلف بررسی شد و منابع آب حاصل از هریک از حالت‌ها برآورد شد و در نهایت چگونگی تأمین هریک از نیازها و تغییرات ذخیره مخزن سد لتیان با سه فرض مجزا برای تغییرات منابع ورودی به حوضه و همچنین مقادیر مصرف از آن‌ها در شرایط تغییر اقلیم شبیه‌سازی شده است. با مقایسه‌ی وضعیت درصد ذخیره‌ی مخزن با درصدهای تأمین برای هریک از سناریوها و افق‌های زمانی به دلیل تغییرات میزان نوسانات تأمین‌ها پی خواهیم برد. در ماه‌هایی که مخزن خالی است درصد تأمین نسبت به زمان‌هایی که مخزن دارای حجم ذخیره بالاتری است کمتر می‌باشد. این مسئله به‌خوبی گویای اهمیت وجود مخزن برای تأمین تقاضاهای این منطقه است.



# فصل پنجم

## نتیجه گیری و پیشنهادها

## ۵-۱- مقدمه

هدف اصلی از انجام این تحقیق، بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب سطحی و همچنین ارزیابی کارایی شبیه‌سازی مدل هیدرولوژیکی پیوسته‌ی HEC-HMS، جهت شبیه‌سازی هیدروگراف جریان رودخانه حوضه آبریز لتیان می‌باشد تا در نهایت بتوان پیشنهاد مناسبی جهت تخصیص منابع آب در دوره‌های زمانی آتی داده شود. پس از اخذ نتایج در فصل قبل، در این فصل نتایج حاصل در قسمت‌های مختلف، با توجه به اهداف و فرضیه‌های در نظر گرفته‌شده، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است و در ادامه آن پیشنهادهایی به منظور کمک به پژوهش‌های آینده ذکر شده است.

## ۵-۲- بحث پیرامون نتایج حاصل از این تحقیق

نتایج این تحقیق در ۳ قسمت جداگانه‌ی زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

- تغییر اقلیم و اثرات آن بر دما، بارش و رواناب.
- شبیه‌سازی رواناب حاصل از بارش‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده.
- شبیه‌سازی تخصیص رواناب موجود و برآورد شده به مصرف کنندگان مختلف.

## ۵-۲-۱- نتایج مربوط به بحث تغییر اقلیم

بر مبنای بررسی‌های انجام‌شده به روی خروجی‌های ریزمقیاس شده داده‌های دما و بارش در همه‌ی ایستگاه‌ها به‌طور متوسط، حداکثر افزایش در میانگین دمای بیشینه تا سال ۲۱۰۰ برابر با  $3/8$  درجه سانتی‌گراد، همچنین حداکثر افزایش در میانگین دمای کمینه تا سال ۲۱۰۰ برابر با  $3/82$  درجه سانتی‌گراد در ماه اکتبر که هر دو مدل Canesm2 می‌باشند. با توجه به مساحت کم این حوضه و فاصله‌ی کم ایستگاه‌ها از یکدیگر نتایج حاصله دارای روند مشابهی می‌باشد و به‌صورت کلی در این منطقه پدیده‌ی گرمایش جهانی و افزایش دما در اکثر ماه‌های سال به‌ویژه ماه‌های گرم سال در آینده رخ خواهد داد.

بر خلاف دما که در هر دو مدل افزایش را نشان می‌داد، متوسط سالانه‌ی رواناب در مدل Canesm2 افزایش و در مدل HadCM3 کاهش نشان می‌دهد به‌طوری‌که طی بدبینانه‌ترین حالت تحت سناریو (A2) برای دوره (۲۰۸۰s) تا حدود ۱۰ درصد از متوسط سالانه حجم رواناب خروجی از حوضه مورد مطالعه کاسته خواهد شد.

#### ۵-۲-۲- نتایج مربوط به بحث مدل‌سازی بارش-رواناب

در این تحقیق مدل HEC-HMS روی حوضه لتیان با داده‌های ۷ ساله بارش روزانه و تبخیر مشاهده‌شده آزموده شد. نتایج واسنجی مدل، بر اساس معیار ناش-ساتکلیف حدود ۰/۹۱، انحراف معیار ۰/۹۶، بایاس ۰/۱- و ریشه میانگین مربعات خطا ۲/۰۳ برآورد گردید. پس از بهینه‌سازی پارامترها در مرحله واسنجی، با ثابت نگه‌داشتن مقادیر پارامترها، ارزیابی مدل برای ۳ سال دیگر صورت گرفت. در مرحله ارزیابی مدل، بر اساس معیار ناش-ساتکلیف حدود ۰/۸۸، انحراف معیار ۰/۹۵، بایاس ۰/۰۷- و ریشه میانگین مربعات خطا ۲/۰۱ برآورد گردید. مقایسه گرافیکی هیدروگراف‌های محاسبه‌ای و مشاهده‌ای برای دوره‌های واسنجی و ارزیابی نیز نشان‌دهنده تطابق بسیار خوب دو هیدروگراف می‌باشند.

#### ۵-۲-۳- نتایج مربوط به بحث تخصیص منابع آب

در این تحقیق به‌منظور شبیه‌سازی شرایط بهره‌برداری از مخزن سد لتیان تحت تأثیرات تغییر اقلیم با کمک مدل WEAP روش بهره‌برداری واقعی را در نظر گرفته و توسط شاخص‌های درصد تأمین، اطمینان‌پذیری و تغییرات ذخیره مخزن با انجام سه فرض عمده سنجیده شد که در ادامه به صورت جداگانه بررسی شده‌اند:

#### الف- شبیه‌سازی با فرض ثابت بودن منابع تأمین و متغیر بودن میزان تقاضا

بر اساس شبیه‌سازی‌های انجام‌شده با این فرض می‌توان دریافت که با افزایش افق زمانی درصد تأمین متوسط سالانه به‌شدت کاهش پیدا می‌کند. اختلاف درصد تأمین متوسط سالانه برای هریک از نیازهای

شرب تهران، شرب پردیس، کشاورزی و صنعت بین دوره‌ی زمانی پایه و آینده‌ی دور عبارت است از: ۴۰/۱، ۴۳، ۶۱/۳ و ۵۱/۵ که تفاوت چشم‌گیر در مقادیر آن‌ها به اولویت تخصیص‌ها مربوط می‌شود، چون شرب تهران و پردیس در اولویت اول، کشاورزی در اولویت دوم و صنعت در اولویت سوم قرار دارند. درصد تأمین متوسط ماهانه در ماه‌های آوریل، می و ژوئن بیشترین مقدار خود را دارند و کمترین میزان تأمین در ماه‌های ژانویه و فوریه اتفاق می‌افتد.

یکی دیگر از شاخص‌های که در بحث شبیه‌سازی تخصیص منابع منطقه‌ی مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است، درصد اعتمادپذیری است. این شاخص برای تأمین نیاز شرب تهران و پردیس از ۶۳/۶۱٪ که مربوط به دوره‌ی زمانی پایه است تا ۱۱/۹۴٪ در دوره‌ی آینده‌ی دور تغییر می‌کند. تغییرات درصد ذخیره‌ی مخزن در شبیه‌سازی‌های صورت گرفته به‌خوبی گویای مقادیر تأمین نیازها است، به‌گونه‌ای که در زمان‌هایی که مخزن کمبود دارد درصد تأمین نیز پایین است و برعکس زمانی که مخزن پر است درصد تأمین بالا خواهد بود. درصد متوسط سالانه‌ی ذخیره مخزن با افزایش افق زمانی کاهش می‌یابد به‌گونه‌ای که در دوره‌ی پایه درصد متوسط ذخیره‌ی سالانه تقریباً ۴۵٪ است ولی در افق زمانی ۲۰۹۹-۲۰۷۰ به ۴/۴٪ می‌رسد. درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در افق‌های زمانی آینده نزدیک و دور تقریباً صفر است و در ماه‌های می و ژوئن در افق زمانی آینده نزدیک در بالاترین سطح خود قرار دارد.

#### ب- شبیه‌سازی با فرض تغییر منابع تأمین و ثابت بودن میزان تقاضا

نتایج شبیه‌سازی‌های صورت گرفته با این فرض گویای تغییرات درصد تأمین همه‌ی تقاضاها مشابه تغییرات رواناب تحت تأثیر تغییر اقلیم می‌باشد و با بدبینانه شدن سناریوها و افزایش افق‌های زمانی متوسط درصد تأمین سالانه کاهش می‌یابد، همچنین کمترین میزان درصد تأمین متوسط ماهانه مربوط به ماه فوریه در سناریوی A2 می‌باشد که به حدود ۲۰٪ در افق زمانی آینده‌ی نزدیک می‌رسد.

شاخص اعتمادپذیری برای تأمین نیاز شرب تهران و پردیس از ۶۳/۶۱٪ که مربوط به دوره‌ی زمانی پایه است تا ۶۰/۳٪ که مربوط به دوره‌ی آینده‌ی دور در سناریوی A2 است تغییر می‌کند، برای نیاز

کشاورزی نیز این شاخص در دوره و سناریوی مذکور بین  $76/4\%$  تا  $71/4\%$  و برای نیاز صنعت بین  $62/5\%$  تا  $58\%$  تغییر می‌کند.

درصد متوسط سالانه‌ی ذخیره مخزن به ترتیب با بدبینانه شدن سناریوها که افزایش جریان را هم در پی دارد نسبت به دوره‌ی پایه افزایش می‌یابد ولی در مدل HadCM3 با افزایش افق زمانی در هر سناریو ذخیره مخزن کاهش می‌یابد در حالی که در مدل Canesm2 افزایش می‌یابد. درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در همه‌ی سناریوها و افق‌های زمانی زیر  $10\%$  است و در ماه‌های می و ژوئن بسته به نوع سناریو و افق زمانی در بالاترین سطح خود قرار دارد. در ماه‌های نوامبر و دسامبر در سناریوهای مدل HadCM3 به مقدار ذخیره‌ی نازل زیر  $10\%$  می‌رسد و در سناریوهای مدل Canesm2 مقدار ذخیره مخزن به علت بیشتر بودن رواناب ورودی به مخزن کمتر از  $20\%$  است.

### ج- شبیه‌سازی با فرض تغییر منابع تأمین و همچنین تغییر میزان تقاضا

بر اساس شبیه‌سازی‌های انجام‌شده با این فرض که محتمل‌ترین و مهم‌ترین فرض‌ها هم می‌باشد تغییرات متوسط درصد تأمین سالانه همه‌ی تقاضاها با افزایش افق‌های زمانی کاهشی می‌باشد به طوری که در سناریوی بدبینانه‌ی A2 شدیدترین تغییرات اتفاق افتاده است و درصدهای تأمین برای شرب تهران، شرب پردیس، صنعت و کشاورزی به ترتیب عبارت است از:  $36/3\%$ ،  $33/4\%$ ،  $10/3\%$  و  $9/5\%$ . تأمین متوسط ماهانه‌ی تقاضاها در هیچ‌یک از افق‌های زمانی آینده نزدیک و دور  $100\%$  انجام‌نشده است که با توجه به افزایش روزافزون جمعیت در شهر تهران قابل پیش‌بینی می‌باشد. بیشترین درصد تأمین‌ها مربوط به ماه‌های پرباران آوریل، می و ژوئن آن‌هم در آینده نزدیک می‌باشد که در حدود  $90\%$  در سناریوهای مختلف در نوسان است. کمترین میزان درصد تأمین متوسط ماهانه مربوط به ماه فوریه در سناریوی A2 می‌باشد که به حدود  $7\%$  در افق زمانی آینده‌ی دور می‌رسد.

بالاترین میزان درصد اطمینان که در شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در این بخش به آن رسیدیم مربوط به تقاضای کشاورزی در دوره‌ی زمانی پایه و به میزان  $76/4\%$  است و کمترین میزان آن مربوط به

تقاضای شرب و در سناریوی بدبینانه‌ی A2 در افق زمانی آینده‌ی دور به میزان ۹/۱۴٪ است که دلیل آن بالا بودن مقدار این تقاضا است.

درصد متوسط سالانه‌ی ذخیره مخزن به ترتیب بدبینانه شدن سناریوها به دلیل وجود افزایش جریان ورودی به مخزن، افزایش می‌یابد در حالی که با افزایش افق زمانی از آینده نزدیک به آینده دور به دلیل افزایش جمعیت ذخیره موجود در مخزن به شدت کاهش می‌یابد به گونه‌ای که در سناریوی A2 در بازه‌ی ۳۰ ساله‌ی آینده‌ی دور به مقدار ۱/۷٪ از حجم کل مخزن می‌رسد. درصد متوسط ماهانه‌ی ذخیره مخزن سد لتیان در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در همه‌ی سناریوها و افق‌های زمانی تقریباً صفر است و در ماه می در همه‌ی سناریوها و فقط در افق آینده‌ی نزدیک بالاترین سطح خود و به مقدار حدود ۶۰٪ می‌باشد که به‌خوبی گویای اثر سناریوهای انتشار و افق‌های زمانی مختلف به روی ذخیره مخزن و متعاقب آن تأمین تقاضا می‌باشد.

نتایج شبیه‌سازی‌های انجام‌شده با مدل در مقیاس‌های کوچک با محاسبات دستی برای تخصیص مقایسه شده است و از صحت شبیه‌سازی‌های صورت گرفته بر مبنای بهینه‌سازی اطمینان حاصل شده است.

### ۵-۳- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی آنچه از نتایج این تحقیق برمی‌آید، در حوضه‌ی آبریز لتیان به علت افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال‌های آتی شاهد افزایش متوسط دما خواهیم بود که این مسئله باعث افزایش تقاضا برای مصارف مختلف به‌ویژه شرب و کشاورزی می‌شود و به‌درستی ضرورت مطالعه و مدیریت در زمینه‌ی کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش بهره‌وری از منابع آب را برای تأمین مصارف روزافزون گوشزد می‌کند. برای کاهش مشکلات ناشی از پدیده‌ی گرمایش جهانی در آینده باید میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای با کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و روی آوردن به سوخت‌های پاک و همچنین اهمیت دادن به حفاظت از محیط‌زیست کنترل شود. از طرفی باید با اعمال مدیریت‌های درست خود را

با این پدیده همراه کنیم، به‌ویژه در بحث مدیریت منابع آب با بهینه کردن مصارف و جلوگیری از تلفات رایج در انتقال و تخصیص منابع از خسارت‌های این پدیده در آینده جلوگیری کنیم.

#### ۵-۴- پیشنهادها

با توجه به پژوهش صورت گرفته، پیشنهادهای پژوهشی و اجرایی زیر جهت بهبود نتایج و ارتقای کیفیت تحقیق و همچنین کاهش چالش‌های پیش روی منابع آب در سطح ملی و منطقه‌ای در زمینه‌های زیر ارائه می‌گردد:

#### ۱- تغییر اقلیم و ریزمقیاس نمایی

- استفاده از روش‌های ریزمقیاس نمایی دیگر از جمله روش‌های دینامیکی.
- ایجاد ایستگاه معرف در حوضه و بررسی اثر تغییر اقلیم در منطقه به کمک داده‌های این ایستگاه معرف و مقایسه‌ی نتایج آن باحالتی که از تعداد بیشتری ایستگاه در سطح حوضه استفاده شده است.
- محاسبه‌ی شاخص‌های اقلیمی حدی دیگر برای منطقه که ابعاد دیگری از وضعیت اقلیمی منطقه را تحت تأثیر انتشار گازهای گلخانه‌ای را روشن کند.
- با توجه به متفاوت بودن نتایج دو مدل GCM مورد استفاده در این تحقیق، پیشنهاد می‌شود سایر مدل‌های گردش عمومی بخصوص برای سناریوهای جدید انتشار (RCPS) اجرا شوند و نتایج بدست آمده با نتایج این پایان نامه مقایسه شود.

## ۲- مدل سازی رواناب

- با توجه به اینکه این مدل، علاوه بر پیش بینی سیلاب، توانایی بررسی عوامل ناشی از آن، نظیر توزیع مکانی توپوگرافی، کاربری اراضی و نوع خاک را نیز دارد. لذا پیشنهاد می گردد مطالعاتی در زمینه ی بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر فرایندهای هیدرولوژیک با استفاده از این مدل صورت پذیرد.
- از آنجاکه زمان تمرکز آبخیز مورد مطالعه کمتر از یک روز می باشد، ضرورت استفاده از اطلاعات ساعتی را ایجاب می کند. لذا پیشنهاد می گردد که در آبخیز مورد مطالعه از باران سنج های ثابت استفاده گردد که امکان ثبت آمار ساعتی و پیوسته هیدرولوژی را داشته باشند تا در ارزیابی های مختلف حفاظت آب و خاک محدودیتی از نظر اطلاعات ایجاد نگردد.

## ۳- در زمینه ی تخصیص منابع آب

- در این حوضه مدل بهینه سازی برای امر تخصیص تحت شرایط تغییر اقلیم ساخته شود.
- اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی به صورت همزمان به روی منابع آب و چگونگی تخصیص آن ها بررسی شود.
- انجام مطالعاتی در مورد مدل های آبدهی و تهیه منحنی های فرمانی که اهداف دیگری به جز تأمین مصارف شرب، صنعت و کشاورزی، مانند تولید انرژی برقابی، کنترل سیلاب و محیط زیست نیز مدنظر قرار گیرند.



منابع

۱. احمدی، آ.، خرمیان، ا.، صفوی، ح.ر. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر فرآیند تبدیل برف به رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبریز زاینده‌رود). تحقیقات منابع آب، سال یازدهم، پاییز ۱۳۹۴.
۲. احمدی، م.، لشکری، ح.، کیخسروی، ق.، آزادی، م. تحلیل شاخص‌های حدی دما در آشکارسازی تغییر اقلیم خراسان بزرگ. جغرافیا (فصلنامه علمی-پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران) دوره جدید، سال سیزدهم، شماره ۴۵، تابستان ۱۳۹۴.
۳. اسپنانی، ک.، شهیدی، ع.، فرزانه، م. ر.، رستمیان، ر. بررسی تأثیرات سناریوهای مختلف تخصیص آب در دوره آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی در حوضه بهشت‌آباد کارون شمالی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند، ۱۳۹۱.
۴. اشرف، ب.، علیزاده، ا.، موسوی بایگی، م.، بنایان اول، م. صحت سنجی داده‌های دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط اجرای منفرد و گروهی پنج مدل AOGCM برای منطقه شمال ایران. نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، تیر ۱۳۹۳.
۵. آشفته، پ.، بزرگ حداد، ا. ۱۳۹۳ الف. ارزیابی تقابلات بین نوسانات طبیعی اقلیم و فعالیت‌های بشری بر رواناب. تحقیقات آب‌وخاک ایران، دوره ۴۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳ (ص ۱۱۲-۱۰۳).
۶. آشفته، پ.، بزرگ حداد، ا. ۱۳۹۳ ب. استخراج قواعد بهره‌برداری از مخزن تحت تأثیر تغییر اقلیم. تحقیقات آب‌وخاک ایران، دوره ۴۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳ (ص ۱۲۱-۱۱۳).
۷. آشفته، پ.، حداد، ا. ارائه رویکرد احتمالاتی ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب. مجله مهندسی منابع آب، ۱۳۹۲.
۸. اصلانزاده، آ.، صفاری، ن. بررسی پارامترهای مؤثر در واسنجی مدل حوضه آبریز قره‌سو با استفاده از مدل HEC-HMS. همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط‌زیست و منابع طبیعی پایدار، همدان دانشکده شهید مفتح، ۱۳۹۲.

۹. اعلمی، م.ت.، ب. آقا بالایی. م.ح. احمدی، س. فرزین. تخصیص بهینه‌ی نظام‌های منابع آب با استفاده از سامانه‌ی پویا. مجله مهندسی منابع آب، ۱۳۹۳.
۱۰. بابائیان، ا.، نجفی نیک، ز.، عباسی، ف.، حبیبی نوخندان، م.، ادب، ح.، ملبوسی، ش. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، ۱۳۸۸.
۱۱. بهبودیان، ج. آمار و احتمال مقدماتی. انتشارات دانشگاه شیراز، ویرایش سوم، ۱۳۸۴.
۱۲. پورمحمدی، س. اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و ارائه راهکارهای مدیریتی. همایش ملی مدیریت بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸.
۱۳. ثبوتی، ی. اقلیم و تغییرات آن در سده‌های بیستم و بیست و یکم. فصلنامه نشاء علم، سال اول، شماره ۲ خرداد ماه ۱۳۹۰.
۱۴. جلوس حقی، ع.، بابازاده، ح. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع و مصارف آب دشت تهران-کرج با استفاده از مدل‌های AOGCMs. دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، کرمان، بهمن ۱۳۸۹.
۱۵. حسینی، س.م.، جعفریگلو، م.، یمانی، م.، گراوند، ف. پیش‌بینی سیلاب‌های تاریخی رودخانه کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS. پژوهش‌های ژئومورفولوژی، سال چهارم، شماره ۱، ۱۳۹۴.
۱۶. حسینی، س.ط.، شریفیان، ح.، یخشکی، م.ا.، دهقانی، ا.ا. ارزیابی و واسنجی مدل HEC-HMS در حوضه آبریز گرگان. اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی ساری، گروه مهندسی آب، آذر ۱۳۸۹.

۱۷. خالقی، س.، بزازان، ف.، مدنی، ش. اثر تغییر اقلیم بر تولید بخش کشاورزی و بر اقتصاد ایران (رویکرد ماتریس حسابداری اجتماعی). تحقیقات اقتصاد کشاورزی جلد ۷، بهار ۱۳۹۴.
۱۸. ذونعمت کرمانی، م.، گنجعلیخانی، م.، غفوری، ع. تخمین فراسنج‌های هیدرولوژیکی حوضه آبریز به منظور مدل‌سازی فرآیند بارش-رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبریز آب بخشا). دوازدهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، ۱۳۹۲.
۱۹. راسق قزلباش، مصطفی. تحلیل سیستم منابع آب با استفاده از نرم‌افزار WEAP مطالعه موردی: حوضه آبریز سد مهاباد. اولین همایش ملی بحران آب، ۱۳۹۲.
۲۰. رضایی زمان، م.، افروزی، ع. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات و ارائه راهبرد تغییر الگوی کشت (مطالعه موردی: سیمینه‌رود). نشریه حفاظت منابع آب‌وخاک، سال چهارم، شماره چهارم، ۱۳۹۴.
۲۱. رضایی، م.، نهتانی، م.، مقدم‌نیا، ع.ر.، آبکار، ع.، رضایی، م. مقایسه روش‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی و SDSM در ریزمقیاس کردن اندازه‌ی بارش سالانه‌ی شبیه‌سازی شده با HadCM3 (مطالعه موردی: کرمان، راور و رابر). مجله مهندسی منابع آب، سال هشتم، ۱۳۹۴.
۲۲. رحمتی، حسین. شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب در حوزه آبخیز چهل چای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۲.
۲۳. رحیمی، ر.، اوشک سرابی، ل.، کریم زادگان، ح. بررسی اثر توسعه بر کشاورزی در حوضه رودخانه ماسوله با استفاده از سیستم برنامه‌ریزی و ارزیابی WEAP. اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار، ۱۳۹۳.
۲۴. سبحانی، ب.، اصلاحی، م.، بابائیان، ا. کارایی الگوهای ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۴، ص ۵۱۶-۴۹۹، ۱۳۹۴.

۲۵. شعبانی بازنشین، آ.، عمادی، ع.، فضل‌اولی، ر. واسنجی مدل ریاضی HEC-HMS و ارزیابی این مدل در پاسخ به سیلاب حوضه آبریز نکا. دوازدهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، ۱۳۹۲.

۲۶. شوریان، م.، موسوی، ج. برنامه‌ریزی بهینه تخصیص منابع آب در سطح حوضه آبریز با اهداف انتقال آب بین حوضه‌ای. پایگاه اطلاعات علمی SID. ([http:// www.SID.ir](http://www.SID.ir)), ۱۳۹۰.

۲۷. صاحب‌دل، ش.، اکبرپور، ا. ارزیابی کمی-کیفی سناریوهای تخصیص آب با استفاده از مدل WEAP (مطالعه موردی: حوضه آبریز قره‌سو). چکیده مقاله کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، چهارمین دوره، ۱۳۹۰.

۲۸. طائمی سمیرمی، س.، مرادی، ح.ر.، خداقلی، م. شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی SDSM و مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه موردی: حوضه آبریز بار نیشابور). فصلنامه انسان و محیط‌زیست، شماره ۲۸، ۱۳۹۳.

۲۹. طاوسی، ت.، منصوری دانشور، م.ر.، موقری، ع.ر. پهنه‌بندی شدت خشکی در ایران با استفاده از مدل تبخیر و تعرق هارگریوز-سامانی بر مبنای توپوگرافی رقومی DEM. جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۴، صص ۹۵-۱۱۰، پاییز ۱۳۹۱.

۳۰. علیزاده، ا.، سیاری، ن.، حسامی کرمانی، م.ر.، بنایان اول، م.، فرید حسینی، ع. بررسی پتانسیل اثرات تغییر اقلیمی بر منابع و مصارف آب کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کشف‌رود). نشریه آب‌و‌خاک، شماره ۴، جلد ۸۱۵: ۲۴-۸۳۵، ۱۳۸۹.

۳۱. فرج‌زاده، م.، مدنی لاریجانی، ک.، مساح، ع.ر.، داوطلب، ر. اثر تغییر اقلیم بر اطمینان‌پذیری تأمین آب پایین‌دست سد کرخه و راهکارهای سازگاری با آن. نشریه حفاظت منابع آب‌و‌خاک، سال سوم، شماره سوم، ۱۳۹۳.

۳۲. فرج زاده، م.، رجایی نجف آبادی، س.، قویدل رحیمی، ی. آشکارسازی اثر نوسانات بارش بر رواناب سطحی حوضه آبریز سرخس. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال دوم، شماره هفتم، بهار ۱۳۹۱.

۳۳. کارآموز، م.، احمدی، ا.، مریدی، ع. مدیریت جامع منابع آب حوضه آبریز، پایگاه اطلاعات علمی ایران دانش، بخش مقالات علمی، ([http:// www.irandanesh.febpc.com](http://www.irandanesh.febpc.com))، ۱۳۸۹.

۳۴. کاظمی زاد، م. تغییرات آب و هوایی و سلامت انسان، رشد آموزش زمین‌شناسی، شماره ۵۴، ۱۳۸۷.

۳۵. کاویان، ت.، حسونی‌زاده، ه.، اسلامی، ح. برنامه‌ریزی منابع آب مخزن سد زیبا محمد با استفاده از نرم‌افزار

HEC-RESSIM. دومین همایش ملی معماری، عمران و محیط‌زیست شهری، دانشکده شهید مفتح همدان، ۱۳۹۳.

۳۶. کرمانشاهی، س.، داوری، ک.، هاشمی‌نیا، س.م.، فریدحسینی، ع.ر.، انصاری، ح. کاربرد مدل WEAP در ارزیابی تأثیر مدیریت مصرف آب آبیاری بر منابع آب دشت نیشابور. نشریه آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره ۳، ۱۳۹۲.

۳۷. کریمی، م.، عزیزیان، م.، غفاری، گ. شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS (مطالعه موردی: لیقوان). چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران ۱۳۹۰.

۳۸. کلهر، ع.، سلطانی، س.، جعفری، ر.، پیامی، ک. واسنجی مدل ریاضی HEC-HMS و ارزیابی آن در حوضه آبریز خرم‌آباد. دومین کنفرانس ملی مدیریت و مهندسی سیلاب با رویکرد سیلاب‌های شهری، تهران هتل المپیک، ۱۳۹۳.

۳۹. گودرزی، م. بررسی تأثیرات پدیده دگرگونی اقلیمی بر منابع آب سطحی کرخه علیا. رساله دکتری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز، ۱۳۹۰.

۴۰. محمدی، ح.، عزیزی، ق.، خوش‌اخلاق، ف.، رنجبر، ف. روند روزهای یخبندان در ایران. فصلنامه علمی-پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، دوره جدید، سال سیزدهم، شماره ۴۶، پاییز ۱۳۹۴.

۴۱. ناصری، ع. سازگاری با تغییر اقلیم از طریق تخصیص بهینه منابع آب (مطالعه موردی: حوضه بهشت‌آباد کارون شمالی، ایران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، ۱۳۹۳.

۴۲. نظری، م. ر.، حسینی، س. ص. بررسی آثار اقتصادی تغییر اقلیم بر زیر بخش زراعی ایران. ۱۳۹۱.

۴۳. یآوری، پ. ارزیابی سناریوهای تخصیص منابع آب در شرایط تغییر اقلیم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ۱۳۹۴.

۴۴. یآوری، پ.، گلیان، س.، حداد، ا.، زینی‌وند، ح. آشکارسازی اثرات تغییر اقلیم بر دما با استفاده از خروجی‌های ریزمقیاس‌نمایی مدل LARS-WG. کنفرانس بین‌المللی محیط‌زیست و منابع طبیعی، شهریور ۱۳۹۴.

۴۵. یوسفی‌مهرن، ا.، عبقری، ه.، عرفانیان، م. ارزیابی و واسنجی پارامترهای هیدرولوژیکی مدل HMS SMA در حوضه آبریز زولاچای. نشریه پژوهش‌های آبخیزداری (شماره ۱۰۱)، ۱۳۹۲.

46. Abbaspour, K. C., Faramarzi, M., Seyed Ghasemi, S., and Hong Yang. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 45, W10434, doi:10. 1029/2008WR007615, 2009.

47. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, No. 56, FAO, Rome, 1998.

48. Andersen, J.A., Refsgaard, J.C., and Jensen, K.H. Distributed hydrological modeling of the Senegal River Basin-model construction and validation. *Journal of Hydrology*, 247: 200–214, 2001.
49. Burman, R.D., Pochop, L.O. Evaporation, evapotranspiration and climatic data. Elsevier, The University of California, 278 pp, 1994.
50. Chang, C.H., Huang, W. Hydrological modeling of typhoon-induced extreme storm runoffs from Shihmen watershed to reservoir. Taiwan, *Nat Hazards* 67:747–761, 2013.
51. Cheema, S.B., Rasul, G., Ali, G., Kazmi, D.H. A Comparison of Minimum Temperature Trends with Model Projections. *Pakistan Journal of Meteorology*, Vol. 8. Issue 15, 2013.
52. Dashkhuu, D., Jong P., Jong Ahn, Ch., and Woo-seop, Lee. Long-term trends in daily temperature extremes over Mongolia, *Weather and Climate Extremes*, vol8, pp26–33, 2015.
53. Droogers, P., Allen, R.G. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrigation and Drainage Systems*, 16:33–45, 2002.
54. Deniz, A., Toros, H., and Incecik, S. Spatial variations of climate indices in Turkey. *International Journal of Climatology*, 31: 394 – 403, 2011.
55. Droogers, P., Immerzeel, W.W., Terink, W., Hoogeveen, J., Bierkens, M. F. P., van Beek, L.P.H., and Negewo, B.D. Modeling water resources trends in Middle East and North Africa towards 2050. *FutureWater*, Wageningen, The Netherlands, 2012.
56. El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J., and Keller, E.A. Assessment of relative active tectonics. southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology* 96, 150–173, 2007.
57. Garcia, A., Sainz, A., Revillaa, J.A., Alvareza, C., Juanesa, J.A., and Puentea A. Surface water resources assessment in scarcely gauged basins in the north of Spain. *Journal of Hydrology*, Vol, 356, No, 3-4. pp: 312-326, 2008.
58. Hargreaves, G.H., Samani, Z.A. Estimation of potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 108:225–230, 1982.



59. Hargreaves, G.H., Samani, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2):96–99, 1985.
60. Hargreaves, L.G., Hargreaves G.H., and Riley, J.P. Irrigation water requirements for Senegal River Basin. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111(3):265–275, 1985.
61. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Summary for policy makers climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the Fourth assessment report. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007.
62. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The Science of Climate Change. Contribution of working group I to the second assessment report. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1995.
63. IPCC, Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK, 2001.
64. Joo, J., Kjeldsen, T., Kim, H., and Lee, H.A. Comparison of Two Event-based Flood Models (ReFH-rainfall Runoff Model and HEC-HMS) at Two Korean Catchments, Bukil and Jeungpyeong. – 330 –KSCE. *Journal of Civil Engineering* 18(1):330-343, 2014.
65. Kang, Y., Khan, S., and Ma X. Analysing Climate Change Impacts on Water Productivity of Cropping Systems in the Murray Darling Basin, Australia. *Irrigation and Drainage*, doi: 10.1002/ird.1914, 2015.
66. Kazmi, D.H., Rasul, G., Li, J., and Cheema, S.B. Comparative Study for ECHAM5 and SDSM in Downscaling Temperature for a Geo-Climatically Diversified Region, Pakistan. *Applied Mathematics*. Vol. 5: 137-143, 2014.
67. Khazaei, M.R., Zahabiyou, B., Saghafian, B. Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model. *Journal of Royal Meteorological Society*.1-10, 2011.
68. Lopez, R., Martin, F., Fabeiro, C., and Moratalla, A. Testing evaporation equations using lysimeters observations in a semi arid climate. *Agricultural Water Management*, 85:15–26, 2006.
69. Meenu, R., Rehana, S. and Mujumdar, P.P. Assessment of hydrologic impacts of climate change in Tunga– Bhadra river basin, India with HEC-HMS and SDSM.

- Hydrological Processes. Published online in Wiley Online Library. DOI: 10.1002/hyp.9220, 2012.
70. Melkonyan, A. Climate change impact on water resources and crop production in Armenia. *Agricultural Water Management*, 161, 86-101, 2015.
  71. Moghadasi, M., Araghinejad, S., and Morid, S. Water Management of Irrigation Dams Considering Climate Variation: Case Study of Zayandeh-rud Reservoir, Iran. *Water Resource Managetment*, 27: 1651-1660, 2013.
  72. Mitchell T.D. Pattern Scaling: An Examination of Accuracy of the Technique for Describing Future Climates. *Climatic Change*, 60: 217-242, 2003.
  73. Mutiga, J.K., Mavengano, S.T., Zhongbo, S., Woldai, T., and Becht R. Water allocation as a planning tool to minimize water use conflicts in the Upper Ewaso Ng'iro North Basin, Kenya. *Water Resour Manage*, 2010.
  74. Nury, A.H., and Alam, M.J.B. Performance Study of Global Circulation Model HADCM3 Using SDSM for Temperature and Rainfall in North-Eastern Bangladesh. *Journal Of Scientific Research*, 6 (1): 87-96, 2014.
  75. Pedro, M. Assessment of climate change statistical downscaling methods: Application and comparison of two statistical methods to a single site in Lisbon, 2008.
  76. Purkey, D.R., Joice, B., Vicuna, S., Hanemann, M.W., Dale, L.L., Yates D., and Dracup, J.A. Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley. *Climatic Change* 87: 109-122, 2008.
  77. Rajabi, A., and Shabanlou, S. Climate Index Changes In Future By Using SDSM In Kermanshah, Iran. *Journal of Environmental Research And Development*, Vol. 7. No. 1. July-September 2012.
  78. Riahi, K., Rao, Sh., Krey,V., Cho, Ch and etc. RCP 8.5- A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions, *Climate change*, 109:33-57, 2011.
  79. Samani, Z. Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(4):265–67. 2000.
  80. T. Spickett Jeffery, L. Brown Helen, Katscherian Dianne. Adaptation strategies forhealth impacts of climate change in Western Australia: Application of a Health

- Impact Assessment framework; Environmental Impact Assessment Review 31-297-300, 2011.
81. United States Army Corps of Engineers (USACE). Hydrologic modeling system HEC-HMS, users manual, US army Corps of Engineers, hydrologic engineering center, CPD-74A, 2015.
  82. United States Army Corps of Engineers (USACE). Hydrologic modeling system HEC-HMS, user's manual, US army Corps of Engineers, hydrologic engineering center, CPD-74A, 2015.
  83. United States Army Corps of Engineers (USACE), Hydrologic Modeling System HECHMS: Davis, CA, United States Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Technical Reference Manual, CPD-74B, 149 p, 2000.
  84. Von de Vyver, H. Evolution of extreme temperature in Belgium since the 1950, Theor, Appl, Climatol, Vol 105, 2011.
  85. Vuuren D.V, Edmonds J, Kainuma M., Riahi K., Weyant J., and etc. The representative concentration pathways: an overview , Climate Change, 109:5-31, 2011.
  86. WEAP 3.3, Water Evaluation And Planning System- Tutorial", Stockholm Environment Institute, Tellus Institute, 2012.
  87. Wilby, R.L., and Dawson, C.W. SDSM 4.2—A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, User Manual. Department of Geography, Lancaster University, UK, 2007.
  88. Wilby, R.L., Dawson, C.W., and Barrow, E.M. SDSM- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. Journal of Environmental Modeling and Software, 17: 147-159, 2002.
  89. Wilby, R.L. and Dawson, C.W. Using SDSM Version 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. User manual. 94 P, 2008.
  90. [www.cccsn.ec.gc.ca/?page=dd-gcm](http://www.cccsn.ec.gc.ca/?page=dd-gcm) (visited 17 April 2016).
  91. Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., and Kanani, R. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan. Journal of Global and Planetary Change 78(3-4): 137-146, 2011.



پوست

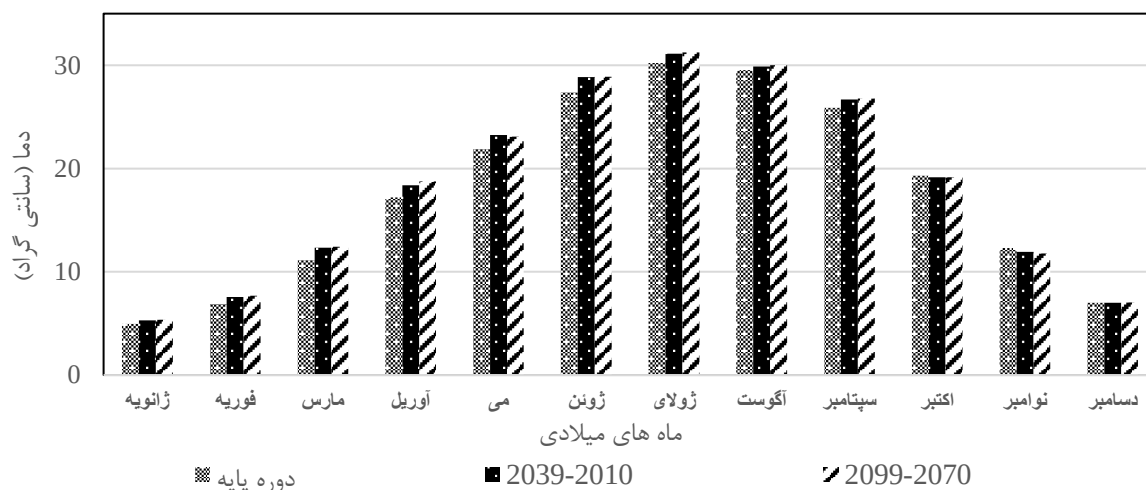
## پیوست الف

### نتایج کامل تغییر اقلیم

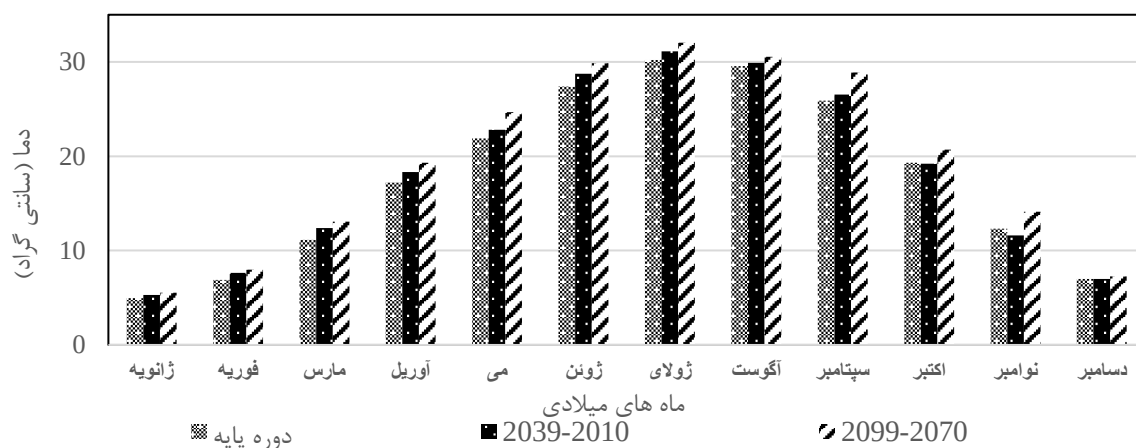
در این پیوست نتایج تغییر اقلیم از قبیل دمای حداقل، دمای حداکثر مورد بحث در قسمت ۲-۴ برای سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه که در متن پایان‌نامه به دلیل حجم زیاد مطالب آورده نشده بود به ترتیبی که برای ایستگاه امامه اشاره شد، آمده است.

#### الف-۱- بررسی تغییرات دمای حداکثر

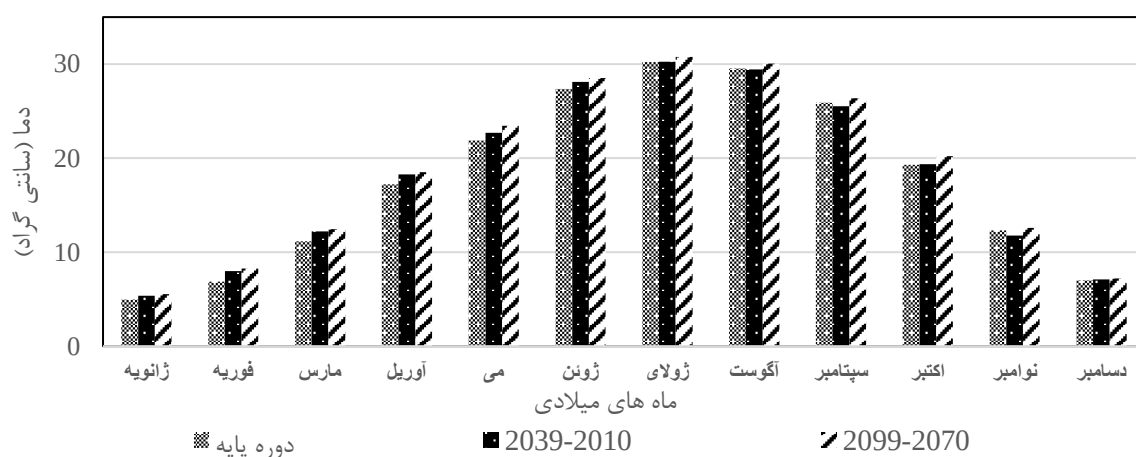
با توجه به شکل‌های (الف-۱) و (الف-۲)، بیشترین افزایش میانگین حداکثر دمای ماهانه نسبت به دوره‌ی پایه در مدل Canesm2 در ایستگاه‌های کمرخانی به میزان ۳ درجه سلسیوس مربوط به ماه سپتامبر و سناریوی RCP8.5 در دوره‌ی 2080s است و کمترین افزایش در این دوره زمانی برای ماه سپتامبر مربوط به سناریوی RCP2.6 به میزان ۰/۹ درجه سلسیوس مربوط می‌شود. همچنین با توجه به شکل‌های (الف-۳) و (الف-۴)، می‌توان دریافت که بیشترین افزایش میانگین حداکثر دمای ماهانه در مدل HadCM3 به میزان ۲/۱ درجه سلسیوس نسبت به دوره‌ی پایه مربوط به ماه می و سناریوی A2 در دوره‌ی آینده‌ی دور می‌باشد و کمترین افزایش نسبت به دوره‌ی پایه در آینده‌ی دور به میزان ۰/۲۱ درجه سلسیوس در ماه دسامبر و در سناریوی B2 مشاهده می‌شود.



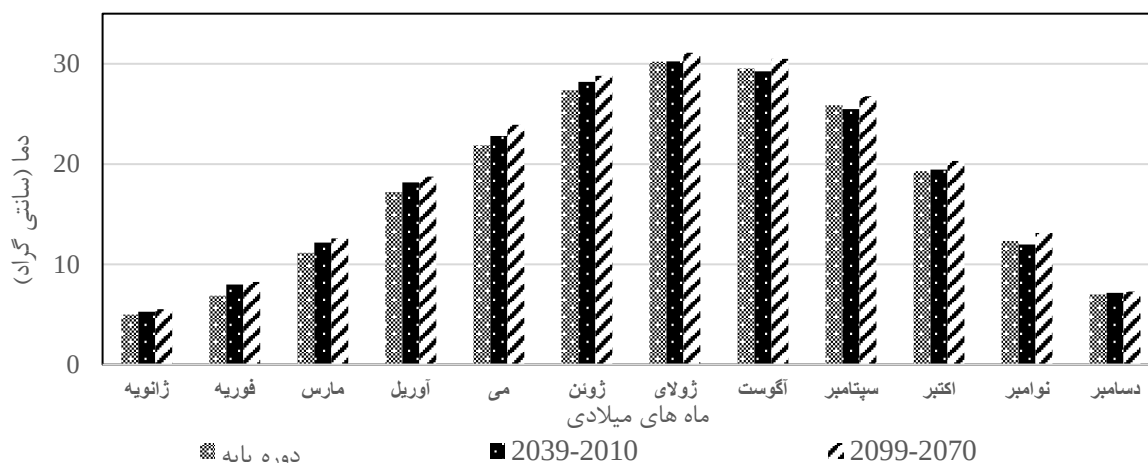
شکل (الف-۱) مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی RCP2.6



شکل (الف-۲) مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی RCP8.5



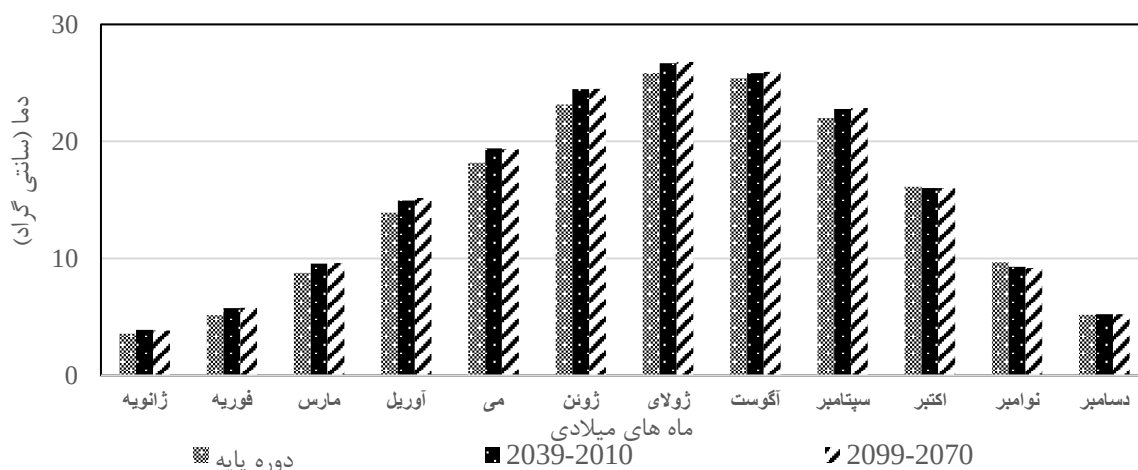
شکل (الف-۳) مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی B2



شکل (الف-۴) مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی A2

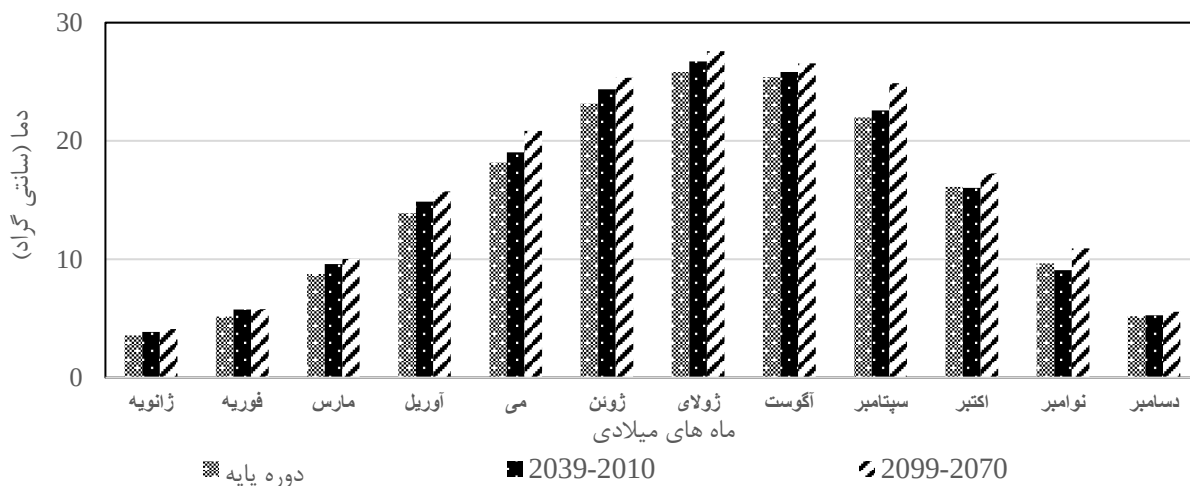
در ایستگاه راحت آباد با توجه به شکل های (الف-۵) و (الف-۶)، بیشترین افزایش میانگین حداکثر دمای ماهانه در مدل Canesm2 به میزان ۲/۸۹ درجه سلسیوس نسبت به دوره ی پایه مربوط به ماه سپتامبر سناریوی RCP8.5 در دوره ی 2080s است و کمترین افزایش در این دوره زمانی برای ماه دسامبر به سناریوی RCP2.6 به میزان ۰/۱ درجه سلسیوس مربوط می شود.

همچنین با توجه به شکل های (الف-۷) و (الف-۸)، می توان دریافت که بیشترین افزایش میانگین حداکثر دمای ماهانه نسبت به دوره ی پایه در مدل HadCM3 به میزان ۲ درجه سلسیوس مربوط به ماه می و سناریوی A2 در دوره ی آینده ی دور می باشد و کمترین افزایش نسبت به دوره ی پایه در آینده ی دور به میزان ۰/۱ درجه سلسیوس در ماه نوامبر و در سناریوی B2 مشاهده می شود.

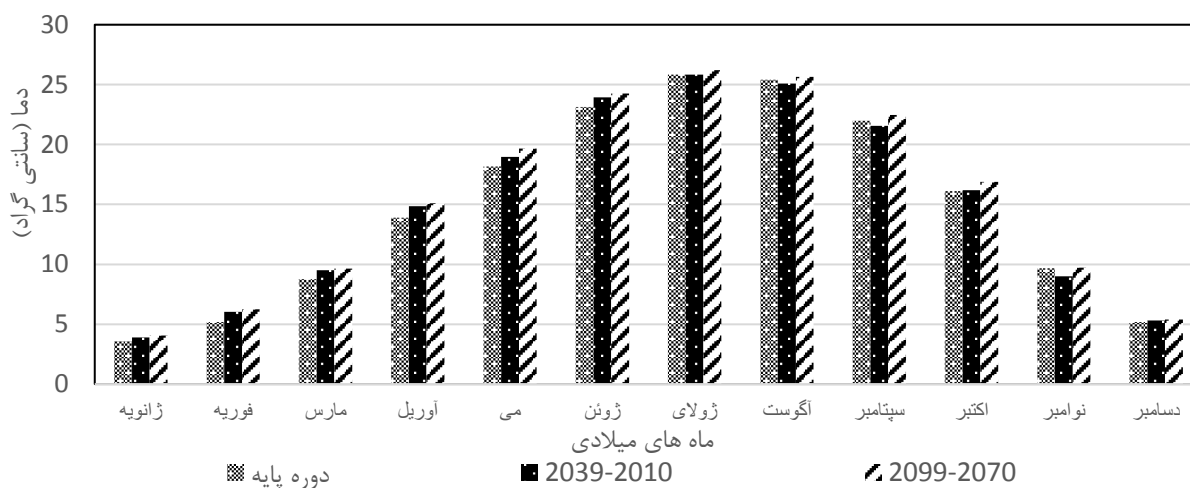


شکل (الف-۵) مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی RCP2.6

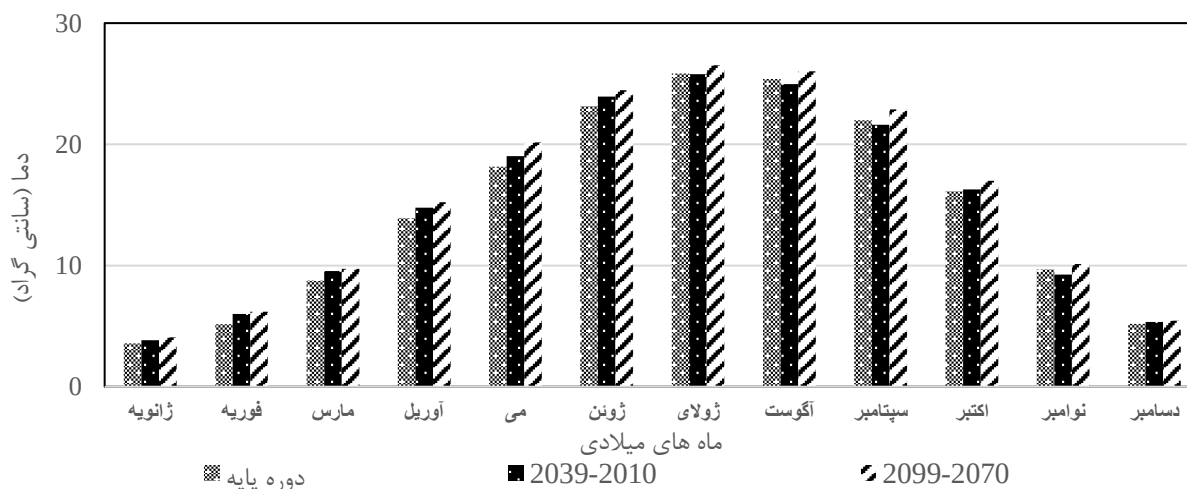




شکل (الف-۶) مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی RCP8.5



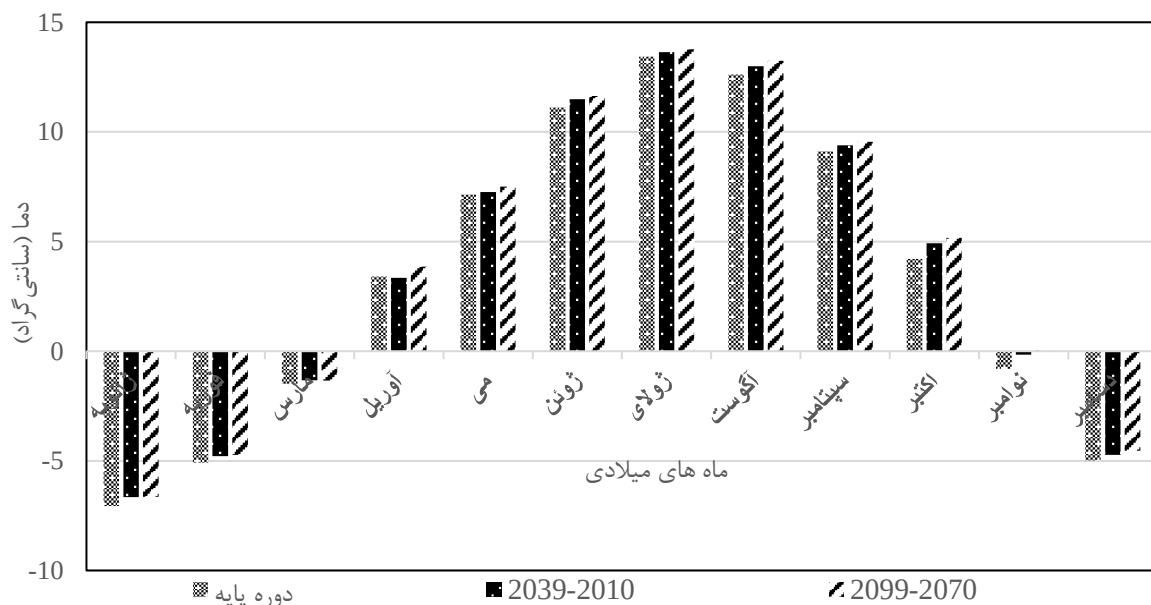
شکل (الف-۷) مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی B2



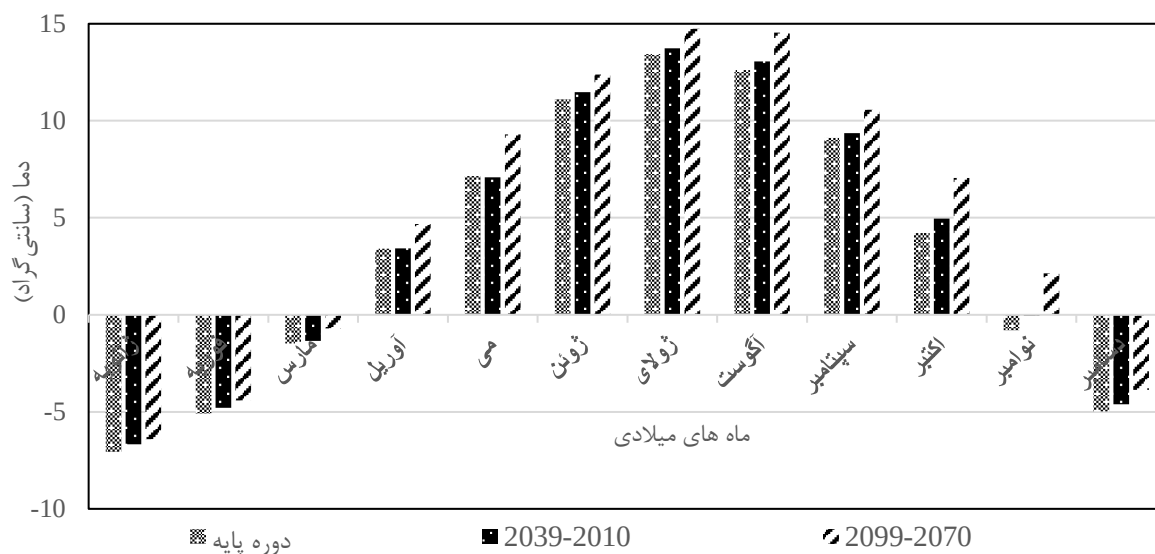
شکل (الف-۸) مقایسه میانگین حداکثر دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی A2

## الف -۲- بررسی تغییرات دمای حداقل

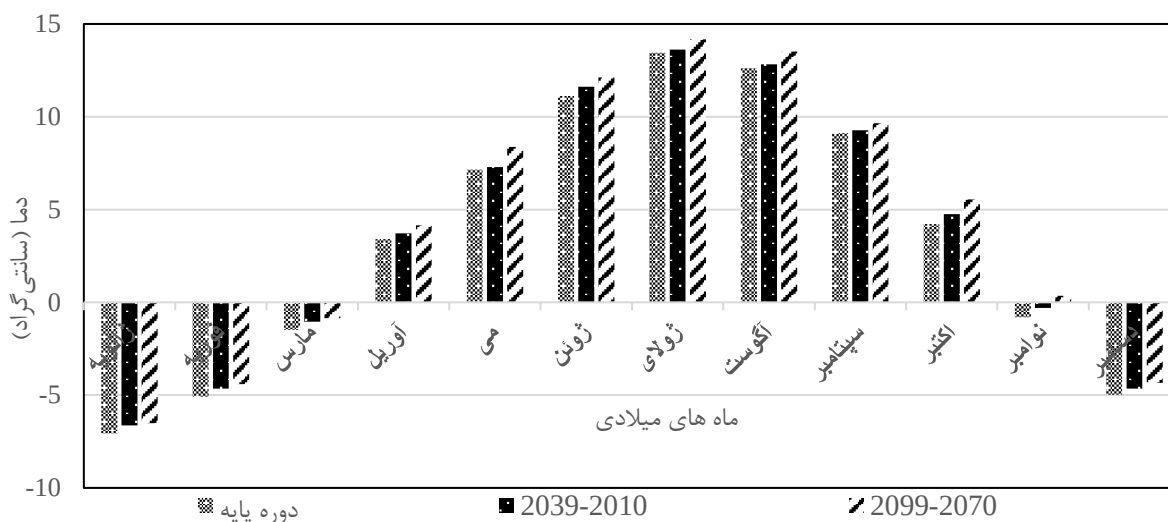
همان‌طور که در شکل‌های (الف-۹) تا (الف-۱۲)، مربوط به ایستگاه کمرخانی مشاهده می‌شود در این شاخص نیز مانند دمای حداکثر در تمامی سناریوها با افزایش افق‌های زمانی میزان دمای حداقل دچار افزایش شده است و تمامی سناریوها افزایش میانگین حداقل دما را نمایش می‌دهند. به‌طوری‌که بیشترین افزایش نسبت به دوره‌ی پایه مربوط به سناریوی RCP8.5 در دوره‌ی ۲۰۸۰s و به میزان ۲/۹ درجه سلسیوس برای ماه نوامبر است و کمترین افزایش در این دوره، تحت سناریوی RCP2.6 در ماه مارس به مقدار ۰/۱۳ درجه سلسیوس اتفاق می‌افتد، این در حالی است که در مدل HadCM3 بیشترین افزایش به میزان ۱/۹ درجه سلسیوس نسبت به دوره‌ی پایه مربوط به ماه می و سناریوی A2 در دوره‌ی آینده‌ی دور می‌باشد و کمترین افزایش نسبت به دوره‌ی پایه در آینده‌ی دور به میزان ۰/۵۴ درجه سلسیوس در ماه سپتامبر و در سناریوی B2 مشاهده می‌شود.



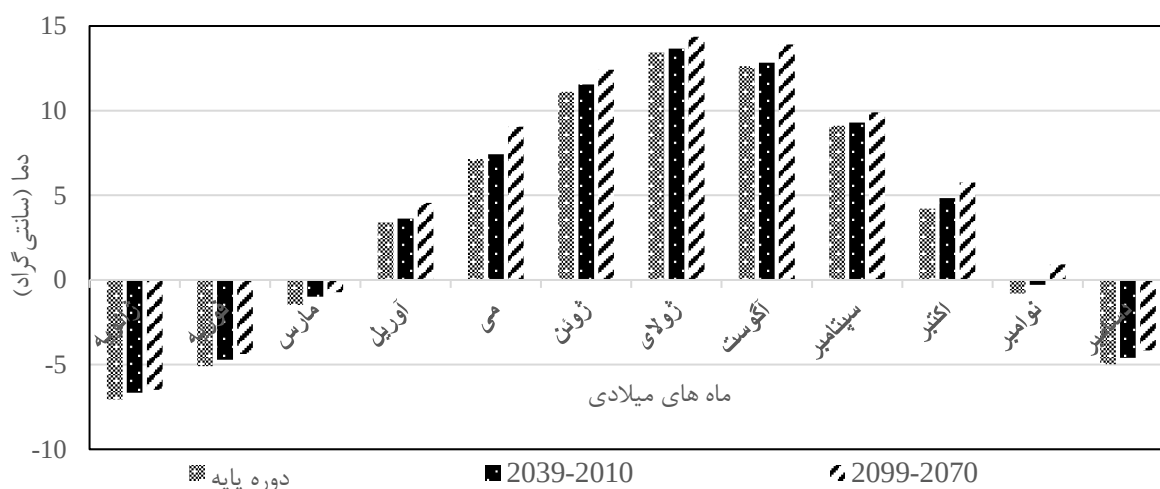
شکل (الف-۹) مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی RCP2.6



شکل (الف-۱۰) مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی RCP8.5



شکل (الف-۱۱) مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی B2

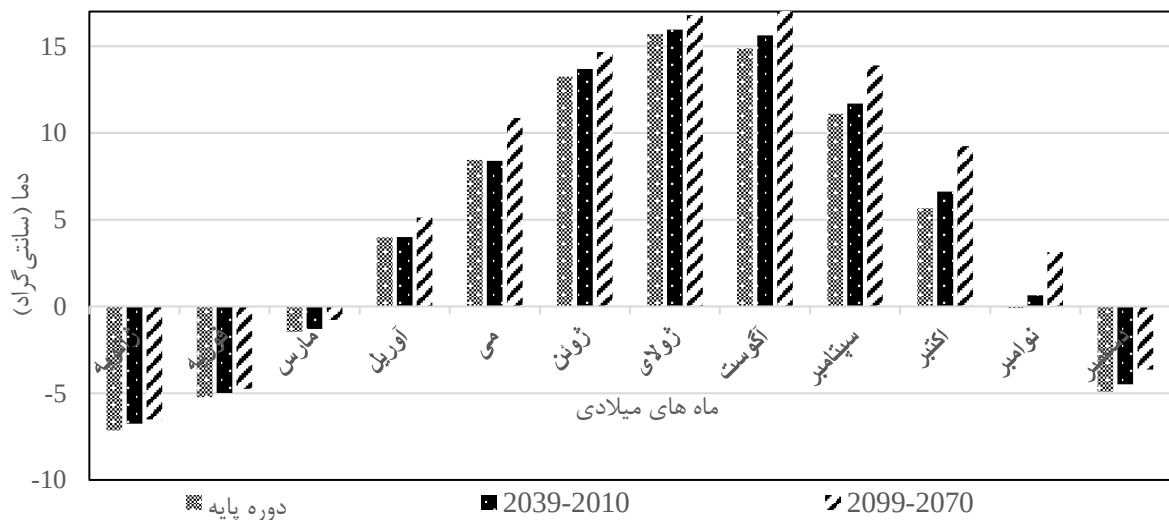


شکل (الف-۱۲) مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه کمرخانی برای سناریوی A2

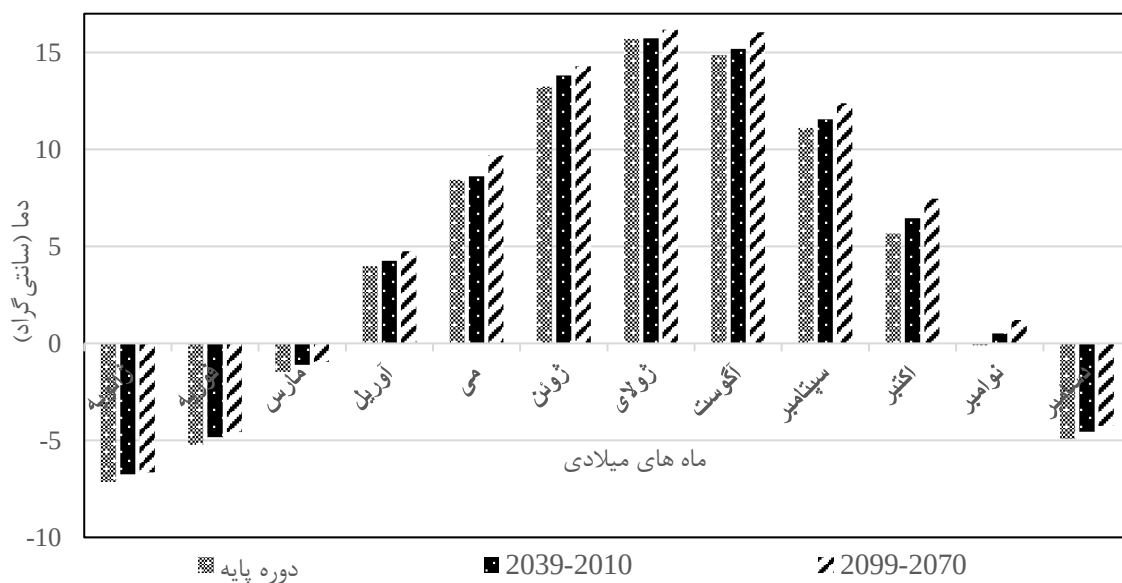
همچنین در ایستگاه راحت آباد با توجه به شکل‌های (الف-۱۳) تا (الف-۱۶) بیشترین افزایش نسبت به دوره‌ی پایه مربوط به سناریوی RCP8.5 در دوره‌ی ۲۰۸۰s و به میزان ۳/۶ درجه سلسیوس برای ماه اکتبر است و کمترین افزایش در این دوره، تحت سناریوی RCP2.6 برای ماه مارس به مقدار ۱/۱ درجه سلسیوس اتفاق می‌افتد و در مدل HadCM3 بیشترین افزایش به میزان ۲/۲ درجه سلسیوس نسبت به دوره‌ی پایه مربوط به ماه اکتبر و سناریوی A2 در دوره‌ی آینده‌ی دور می‌باشد و کمترین افزایش نسبت به دوره‌ی پایه در آینده‌ی دور به میزان ۰/۴۸ درجه سلسیوس در ماه ژولای و در سناریوی B2 مشاهده می‌شود.



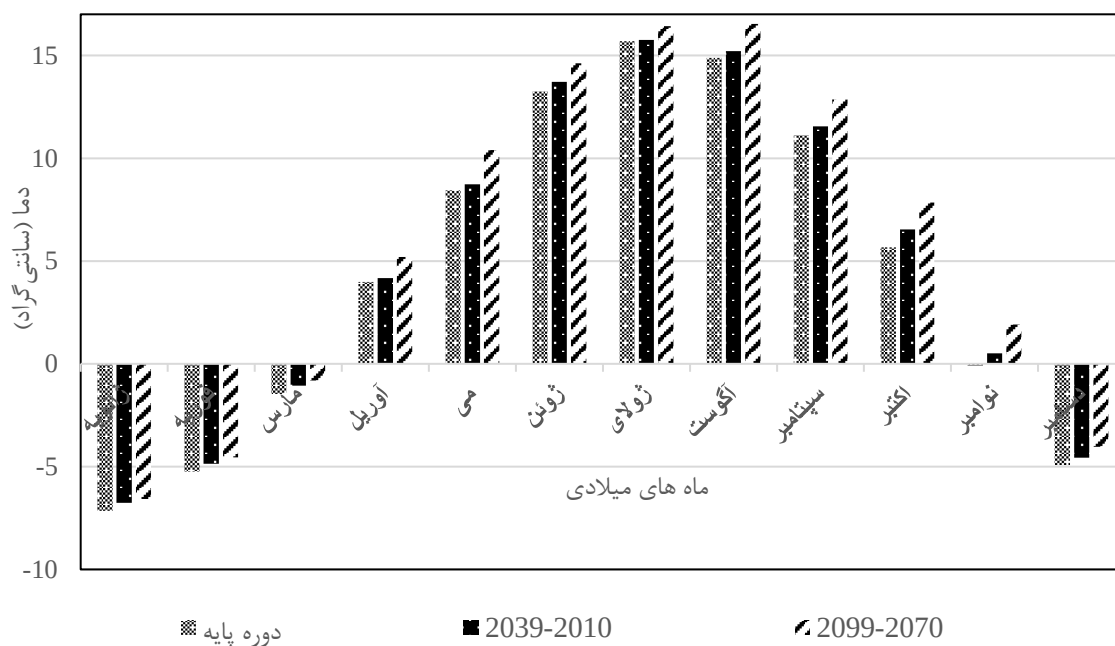
شکل (الف-۱۳) مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی RCP2.6



شکل (الف-۱۴) مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی RCP8.5



شکل (الف-۱۵) مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی B2



شکل (الف-۱۶) مقایسه میانگین حداقل دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه راحت آباد برای سناریوی A2

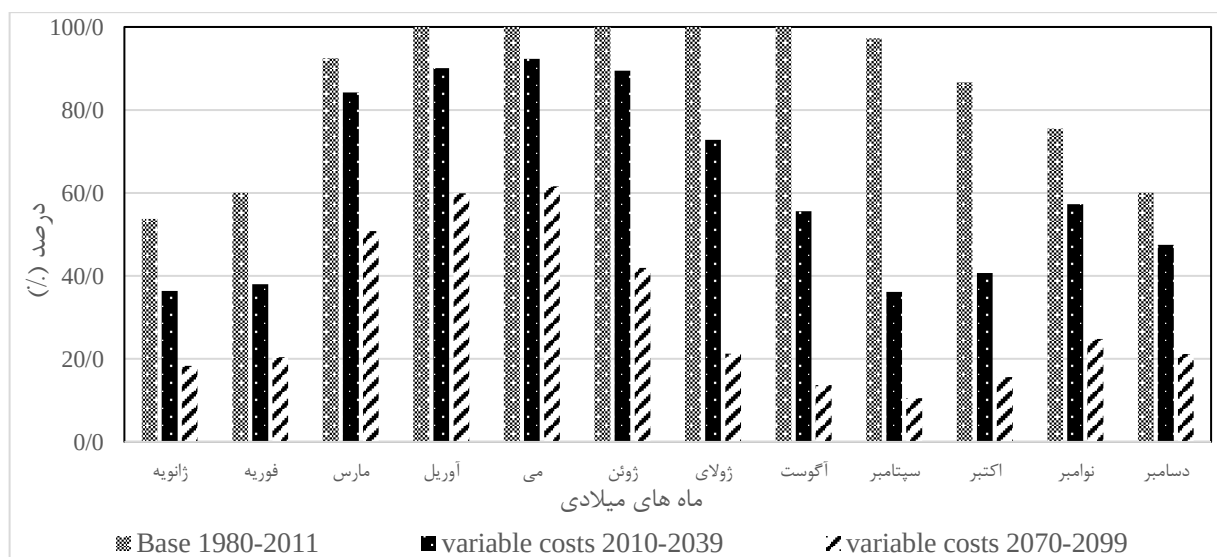
## پیوست نتایج کامل تخصیص منابع آب

در این پیوست نتایج درصد تأمین متوسط ماهانه‌ی تقاضاهای شرب پردیس، کشاورزی و صنعت که در متن پایان‌نامه به دلیل حجم زیاد مطالب آورده نشده بود به ترتیبی که برای فرض‌های در نظر گرفته شده برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده بود، آمده است.

### ب-۱- شبیه‌سازی با فرض ثابت بودن منابع تأمین و متغیر بودن میزان تقاضا

#### ۱- درصد تأمین متوسط ماهانه‌ی تقاضای شرب پردیس

شرب پردیس به دلیل اینکه مشابه شرب تهران دارای اولویت تخصیص یک می‌باشد از درصد تأمین بالایی برخوردار است و تقریباً نزدیک به درصد تأمین‌های شرب تهران است همان‌طور که در شکل (ب-۱) نشان داده شده است در ماه‌های آوریل و می بیشترین تخصیص صورت گرفته است و در ماه‌های ژانویه و فوریه تخصیص‌های صورت گرفته در کمترین حد خود قرار دارند.

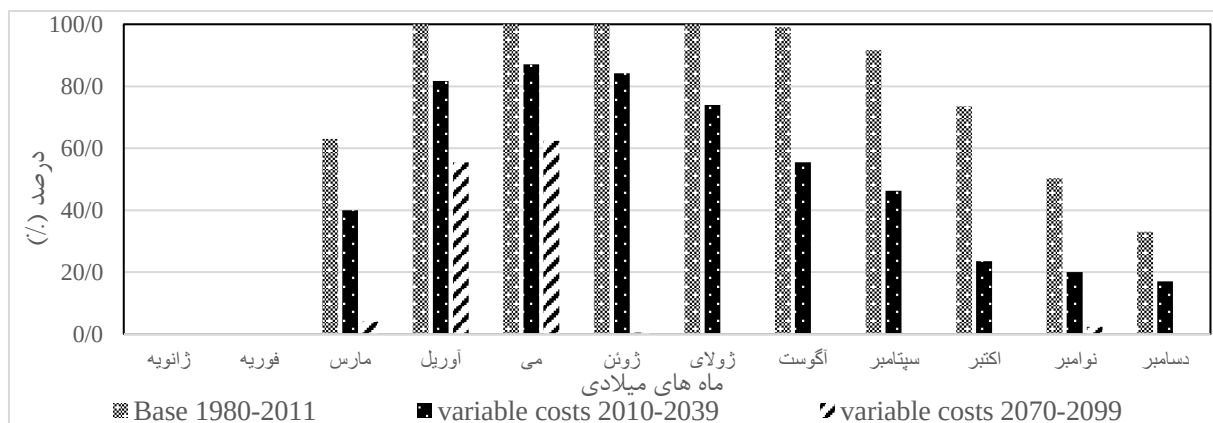


شکل (ب-۱) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای افق‌های زمانی مختلف

## ۲- درصد تأمین متوسط ماهانه تقاضای کشاورزی

در شکل (ب-۲) مقادیر این پارامتر برای افق‌های زمانی آینده‌ی نزدیک و آینده‌ی دور نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ماه‌های ژانویه و فوریه به علت نبود تقاضایی برای آب، تخصیصی وجود ندارد.

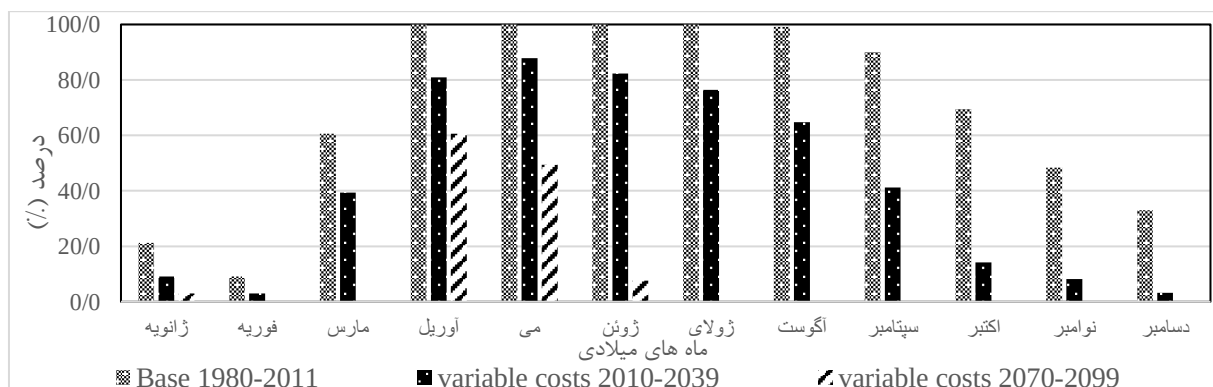
نکته‌ی مهم در این شکل، وجود تخصیص در آینده‌ی دور فقط برای دو ماه آوریل و می است و در سایر ماه‌ها در آینده‌ی دور هیچ تخصیصی وجود ندارد.



شکل (ب-۲) درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای افق‌های زمانی مختلف

## ۳- درصد تأمین متوسط ماهانه تقاضای صنعت

در شکل (ب-۳) مقادیر پارامتر درصد تأمین متوسط ماهانه برای نیاز صنعت نشان داده شده است. برای این تقاضا فقط در ماه‌های آوریل و می بیش از ۸۰٪ تخصیص در آینده‌ی نزدیک صورت گرفته است.

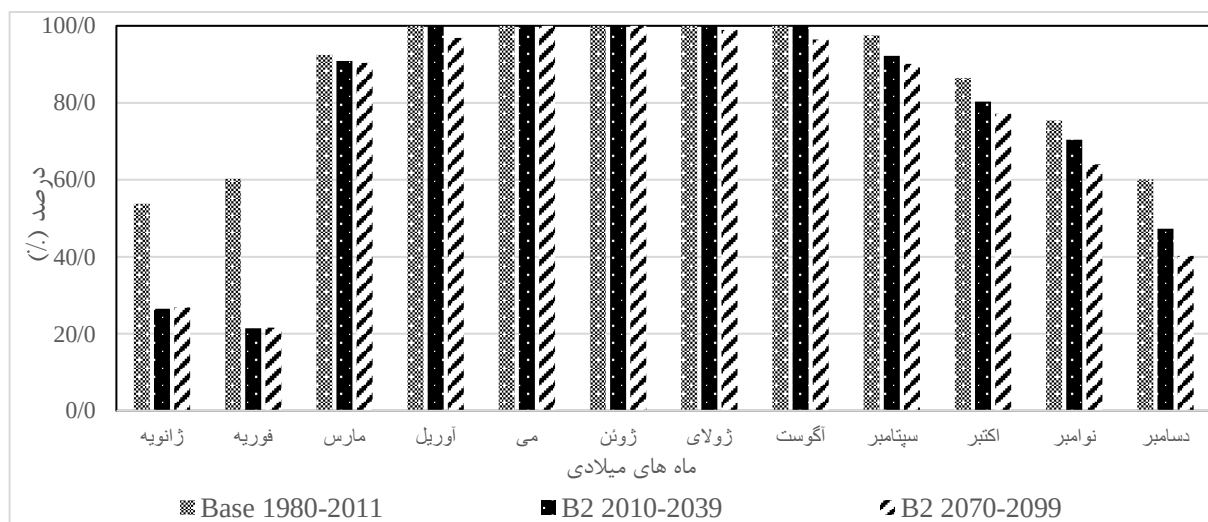


شکل (ب-۳) درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای افق‌های زمانی مختلف

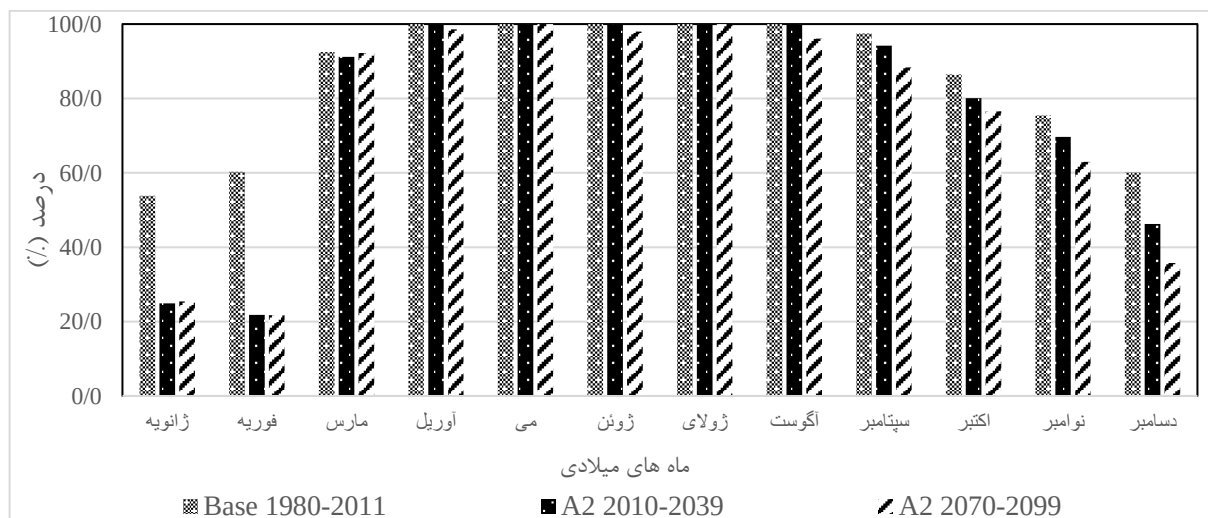
## ب-۲- شبیه‌سازی با فرض تغییر منابع تأمین و ثابت بودن میزان تقاضا

### ۱- درصد تأمین متوسط ماهانه‌ی تقاضای شرب پردیس

همان‌طور که در شکل‌های (ب-۴) تا (ب-۷) نشان داده شده است مشابه تخصیص شرب تهران، در ماه‌های آوریل، می، ژوئن و ژولای تأمین تقریباً به‌صورت کامل برای همه‌ی سناریوها و افق‌های زمانی انجام می‌شود. کمترین میزان درصد تأمین متوسط ماهانه مربوط به ماه فوریه در سناریوی B2 می‌باشد که به حدود ۲۰٪ در افق زمانی آینده‌ی نزدیک می‌رسد.

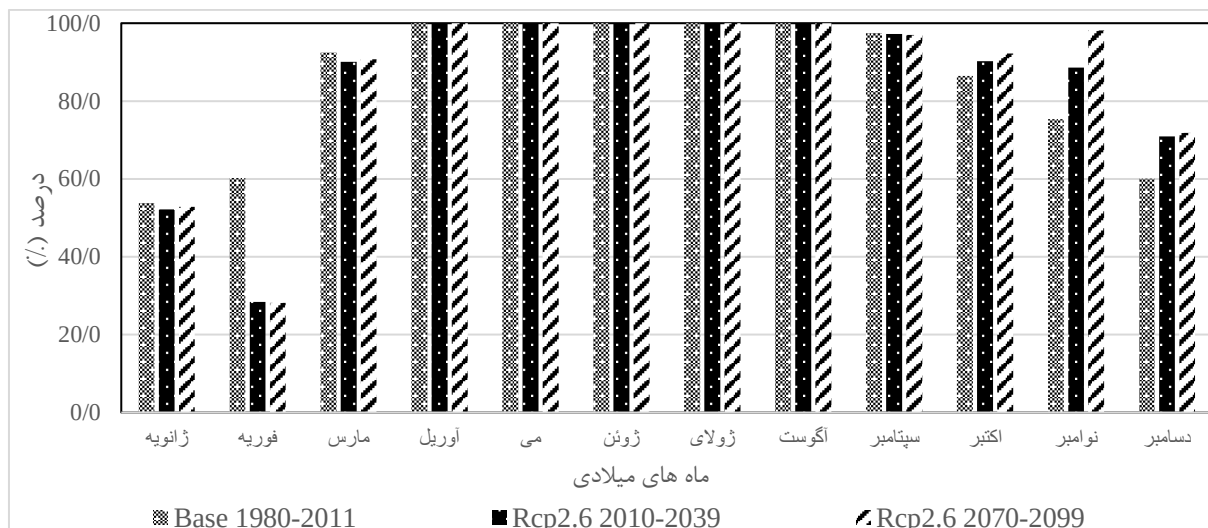


شکل (ب-۴) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار B2

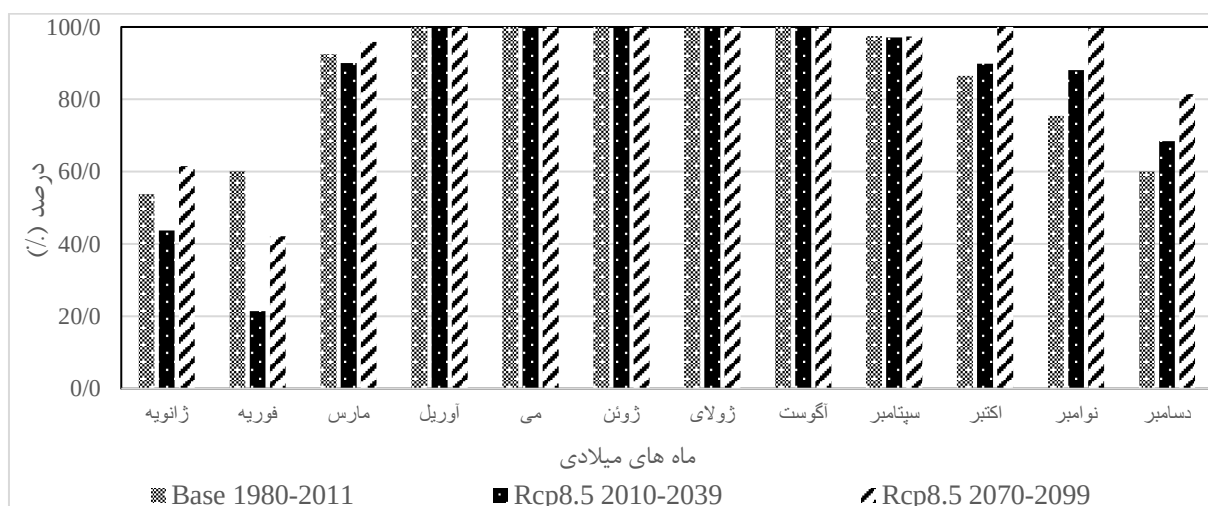


شکل (ب-۵) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار A2





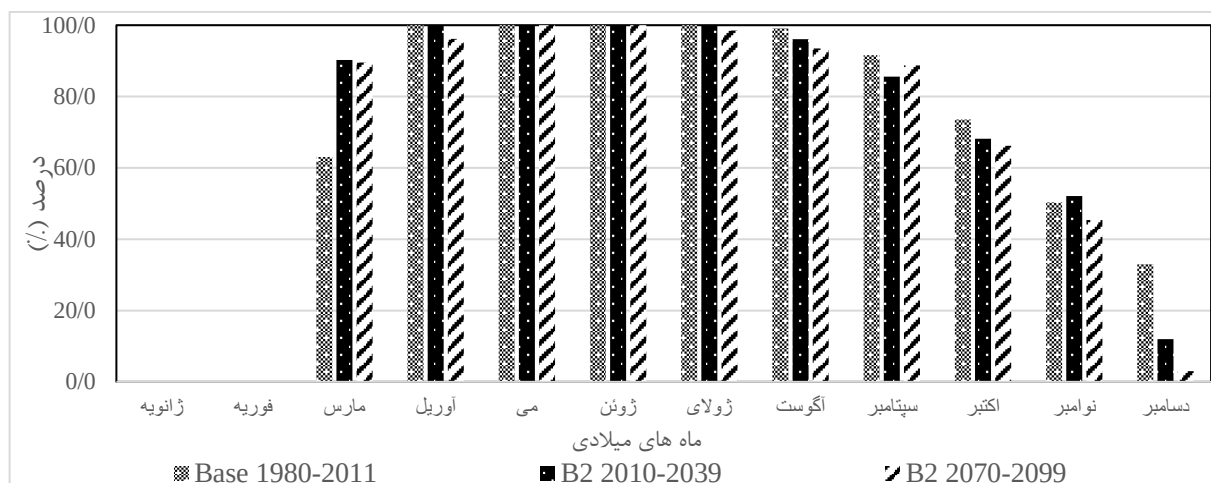
شکل (ب-۶) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار Rcp 2.6



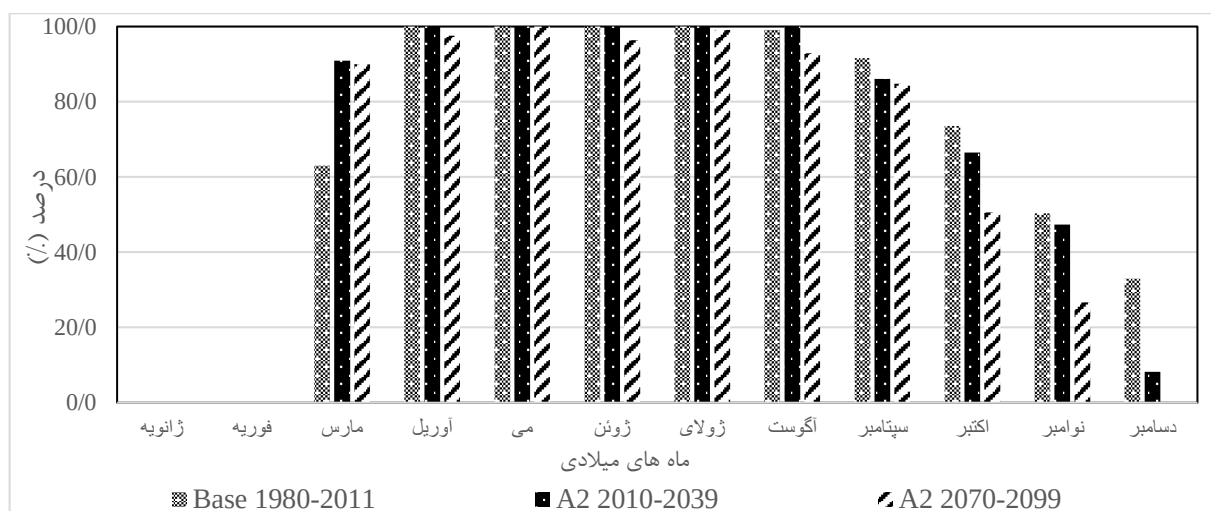
شکل (ب-۷) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار Rcp 8.5

## ۲- درصد تأمین متوسط ماهانه تقاضای کشاورزی

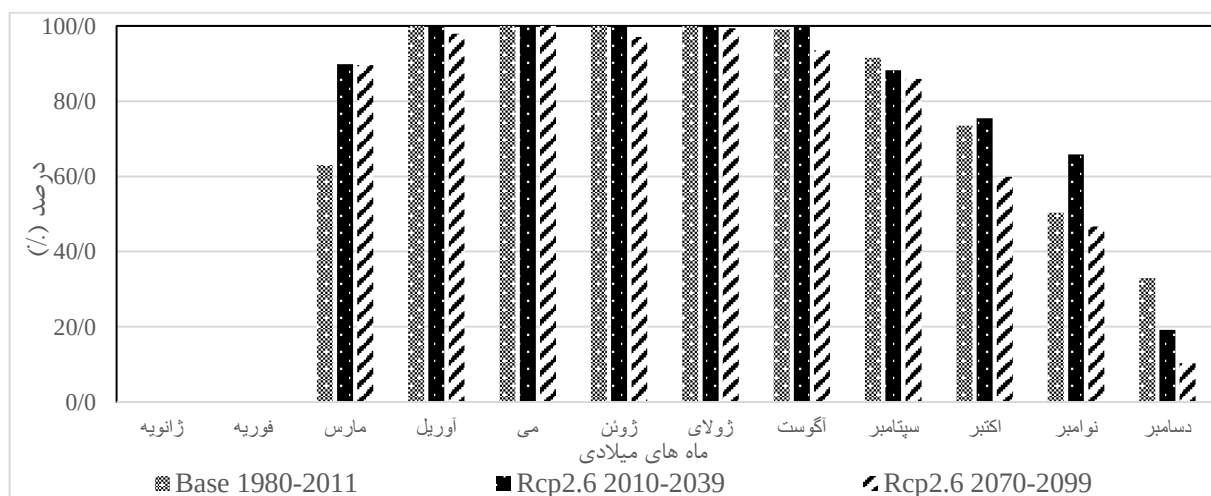
در شکل‌های (ب-۸) تا (ب-۱۱) مقادیر پارامتر درصد تأمین متوسط ماهانه برای نیاز کشاورزی نشان داده شده است. در ماه‌های ژانویه و فوریه تقاضایی برای کشاورزی وجود ندارد و تأمینی هم برای آن در نظر گرفته نشده است. در ماه‌های آوریل و می در همه‌ی سناریوها و افق‌های زمانی تخصیص به‌صورت کامل صورت می‌گیرد و تأمین ۱۰۰٪ است و سناریوی A2 در ماه دسامبر در افق زمانی آینده‌ی دور درصد تأمین صفر است.



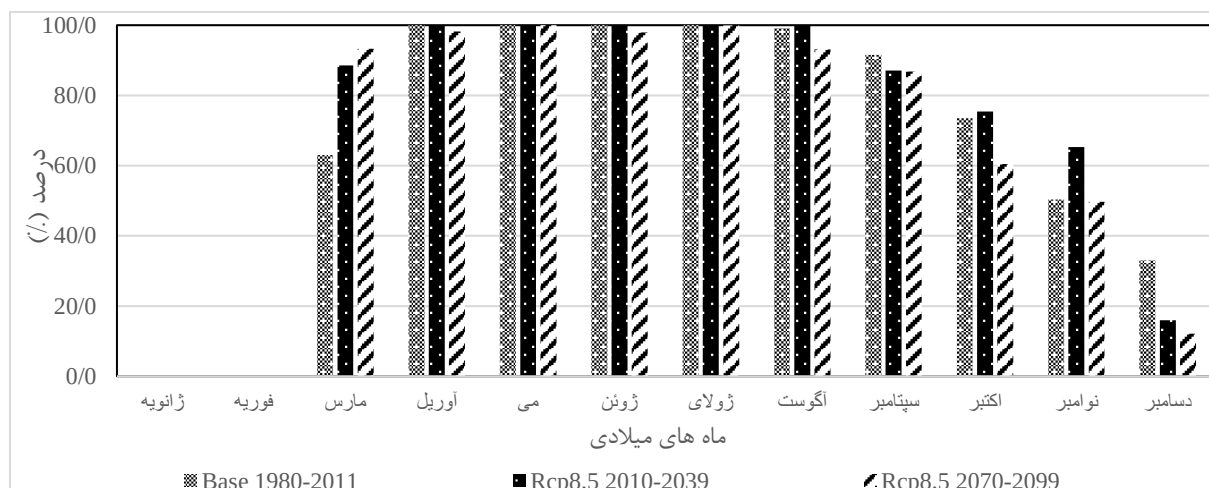
شکل (ب-۸) درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار B2



شکل (ب-۹) درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار A2



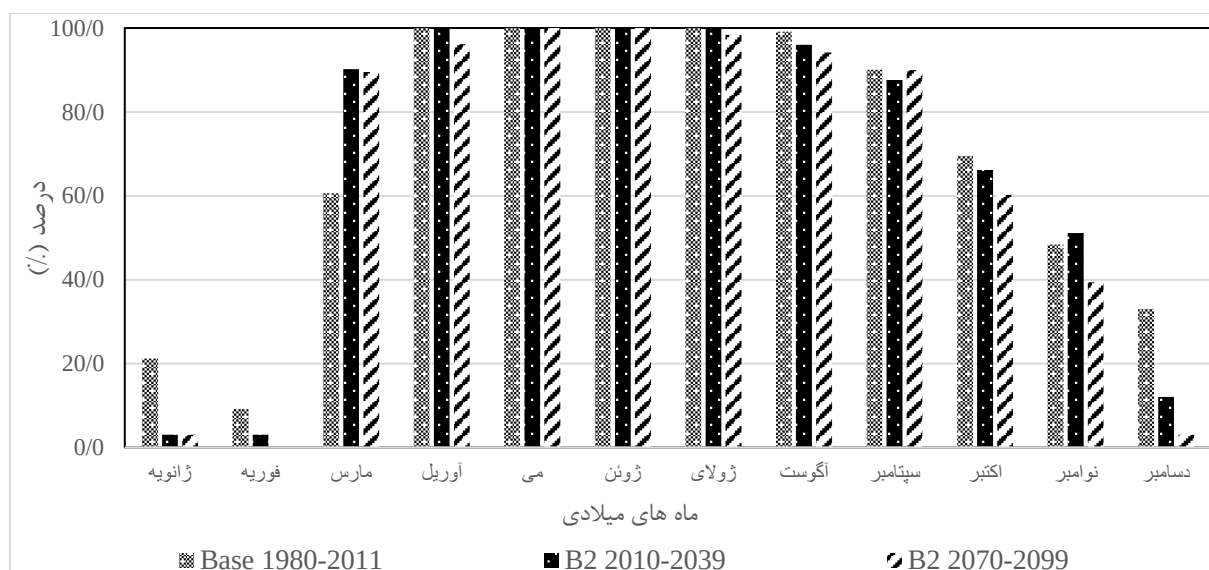
شکل (ب-۱۰) درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار Rcp 2.6



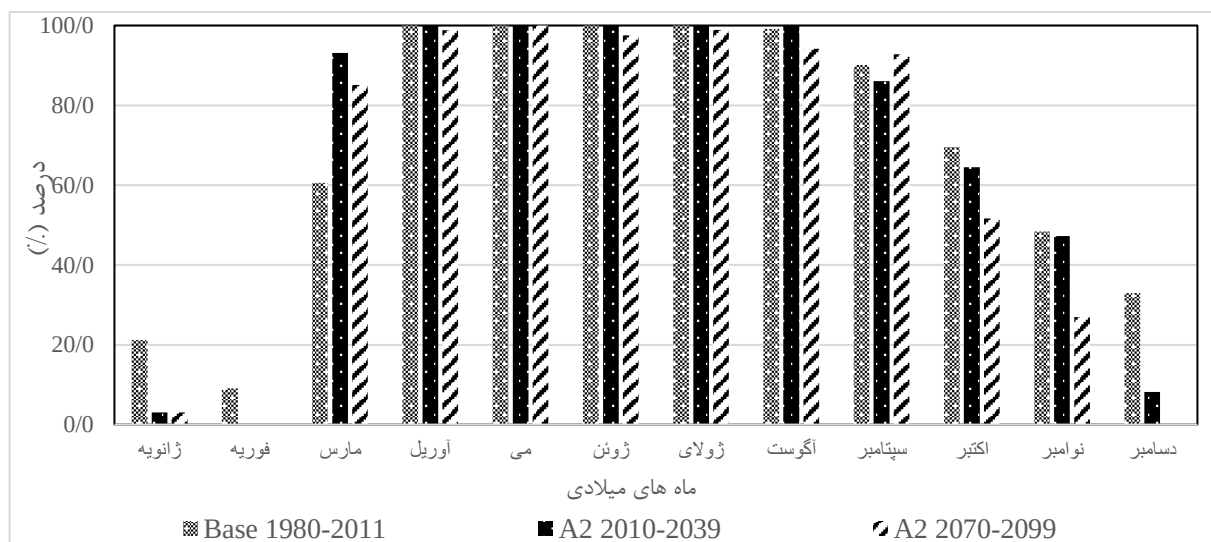
شکل (ب-۱۱) درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار Rcp 8.5

### ۳- درصد تأمین متوسط ماهانه‌ی تقاضای صنعت

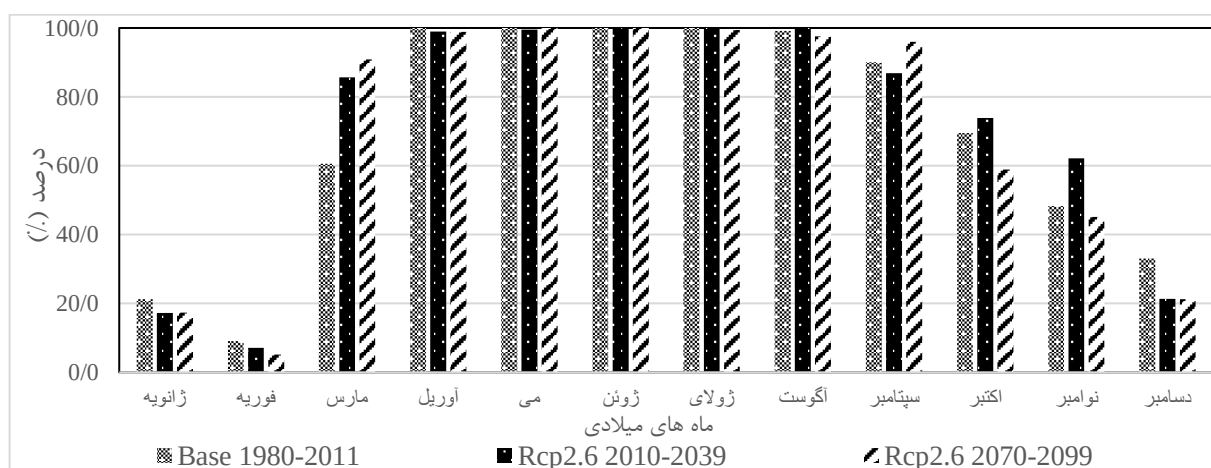
همان‌طور که در شکل‌های (ب-۱۲) تا (ب-۱۵) مشاهده می‌شود تأمین در ماه‌های آوریل و می به‌صورت کامل برای تمامی سناریوها و افق‌های زمانی انجام شده است ولی در ماه فوریه درصد تأمین برای تمامی سناریوها و افق‌های زمانی برای این تقاضا کمتر از ۲۰٪ است و حجم کمی برای این نیاز کوچک (حدود ۰,۳۳ میلیون مترمکعب در ماه) در نظر گرفته شده است و دلیل آن این است که این تقاضا در اولویت سوم تأمین قرار گرفته شده است.



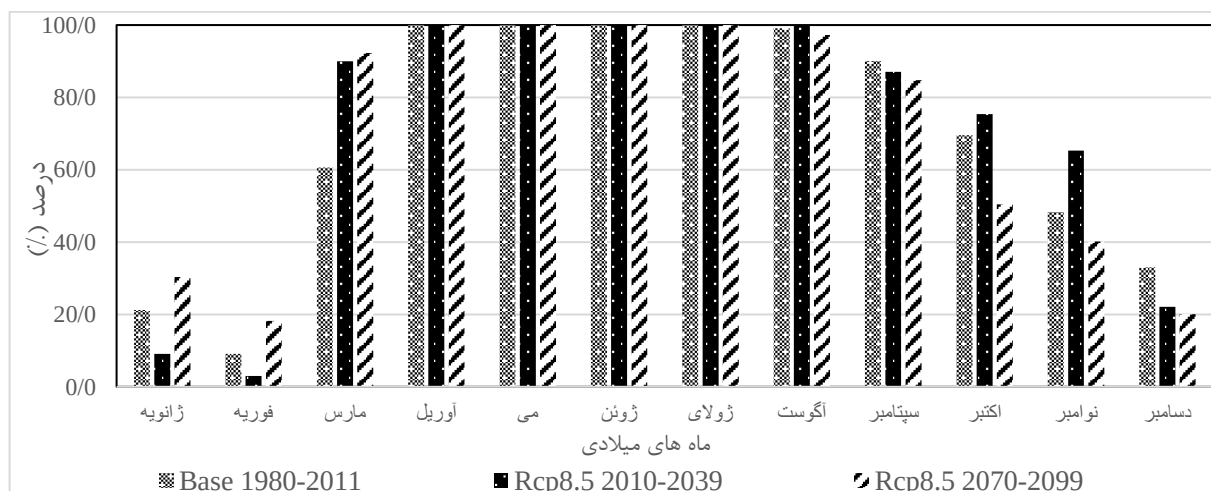
شکل (ب-۱۲) درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت رای سناریوی انتشار B2



شکل (ب-۱۳) درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار A2



شکل (ب-۱۴) درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار Rcp 2.6

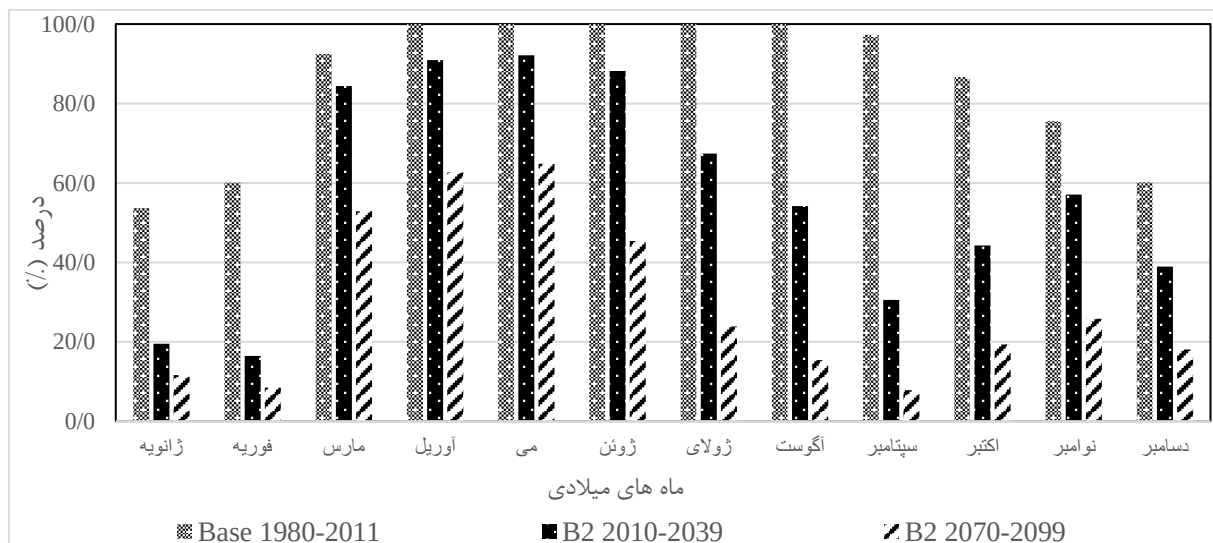


شکل (ب-۱۵) درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار Rcp 8.5

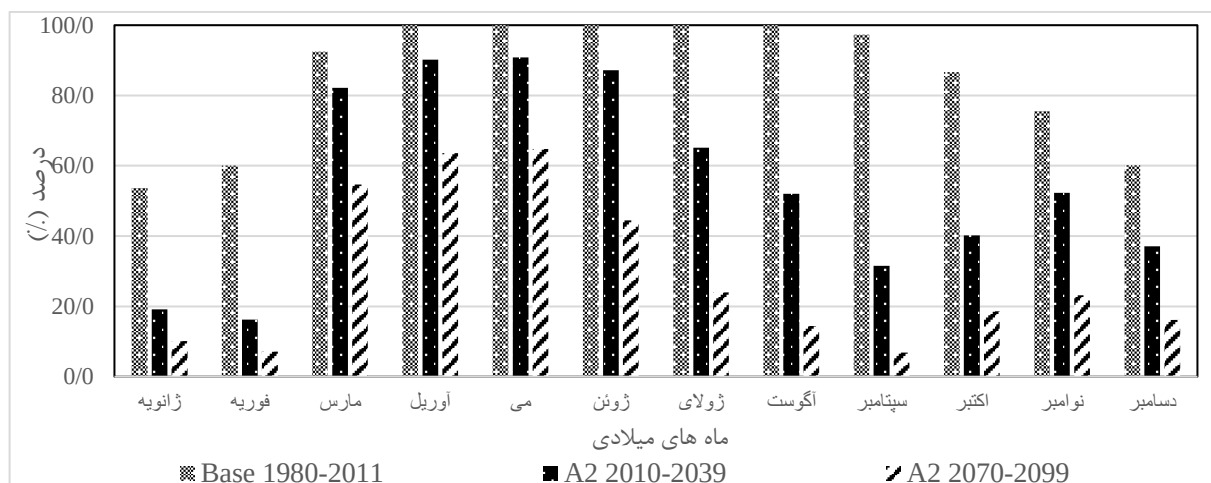
### ب-۳- شبیه‌سازی با فرض تغییر منابع تأمین و همچنین تغییر میزان تقاضا

#### ۱- درصد تأمین متوسط ماهانه‌ی تقاضای شرب پردیس

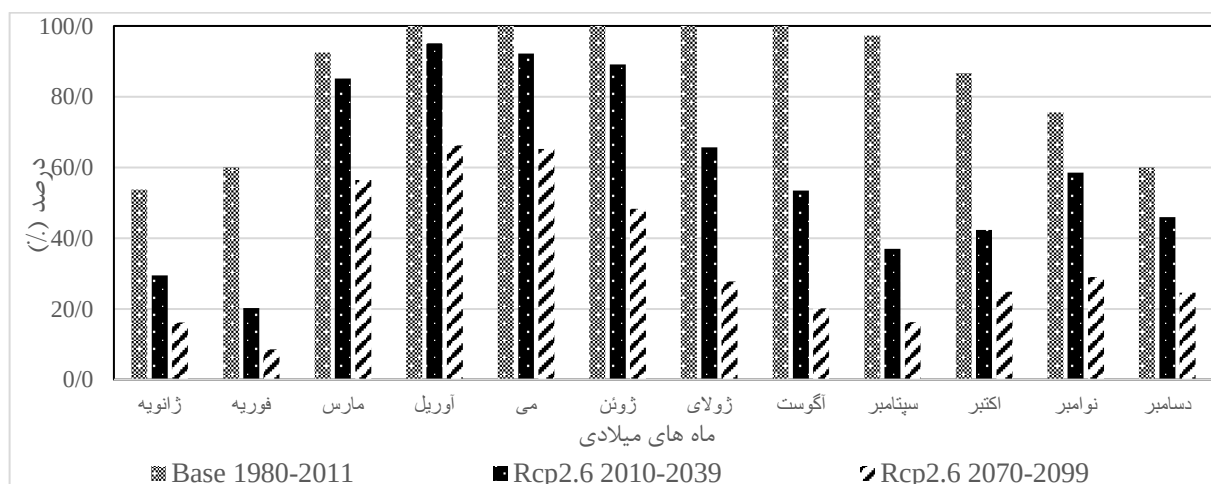
در شکل‌های (ب-۱۶) تا (ب-۱۹) مقادیر پارامتر درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای هریک از سناریوهای مورد مطالعه و دو افق زمانی آن‌ها آورده شده‌اند. همان‌گونه که شکل‌ها گویا هستند در هیچ‌یک از افق‌های زمانی آینده نزدیک و دور تأمین ۱۰۰٪ انجام نشده است ک با توجه به افزایش روزافزون جمعیت در شهر پردیس قابل پیش‌بینی می‌باشد. بیشترین درصد تأمین‌ها مربوط به ماه‌های پرباران آوریل، می و ژوئن آن‌هم در آینده نزدیک می‌باشد که در حدود ۹۰٪ در سناریوهای مختلف در نوسان است. کمترین میزان درصد تأمین متوسط ماهانه مربوط به ماه فوریه در سناریوی A2 می‌باشد که به حدود ۷٪ در افق زمانی آینده‌ی دور می‌رسد.



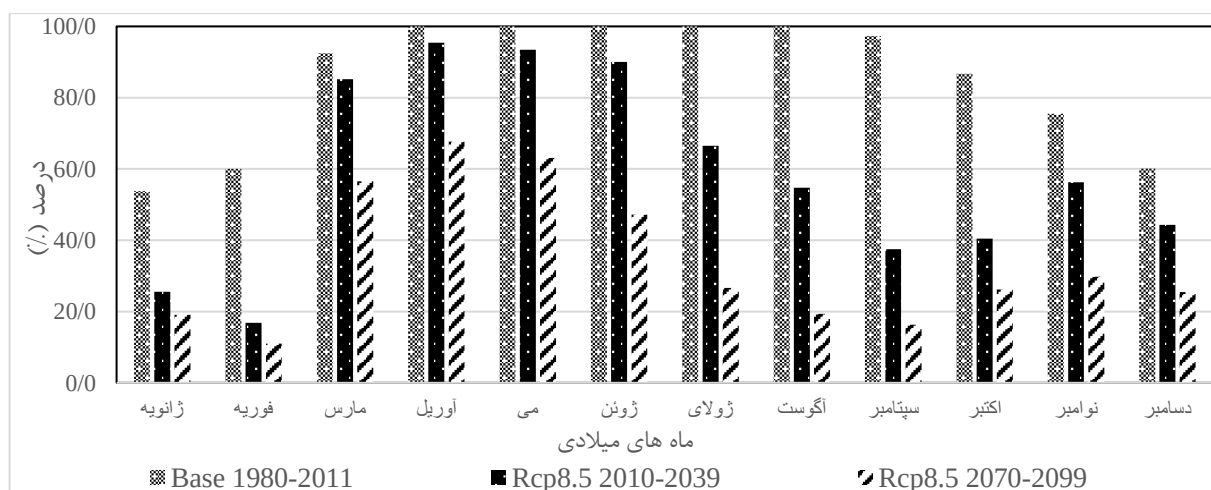
شکل (ب-۱۶) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار B2



شکل (ب-۱۷) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار A2



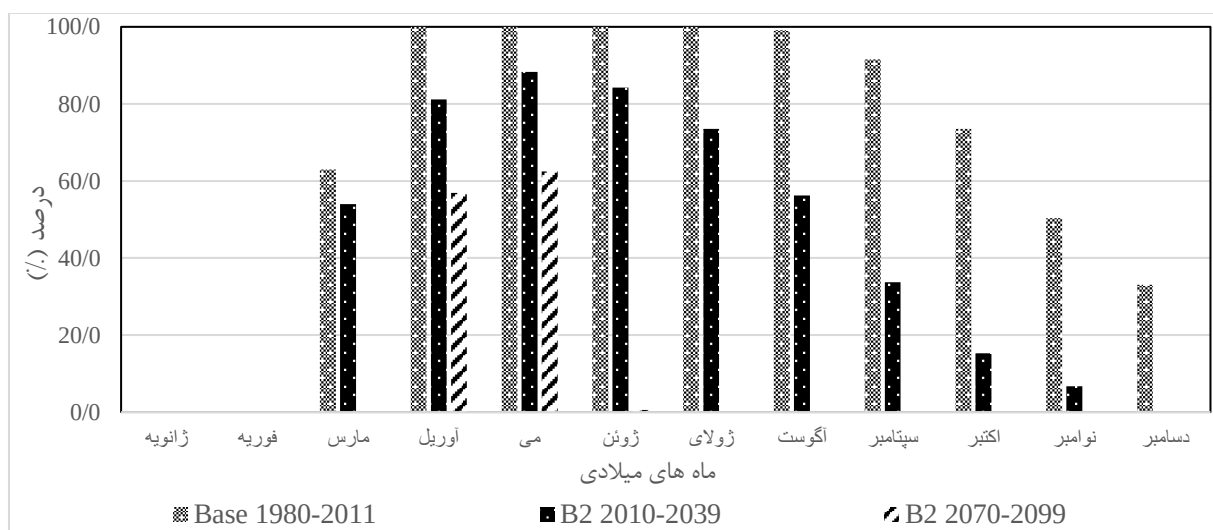
شکل (ب-۱۸) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار Rcp2.6



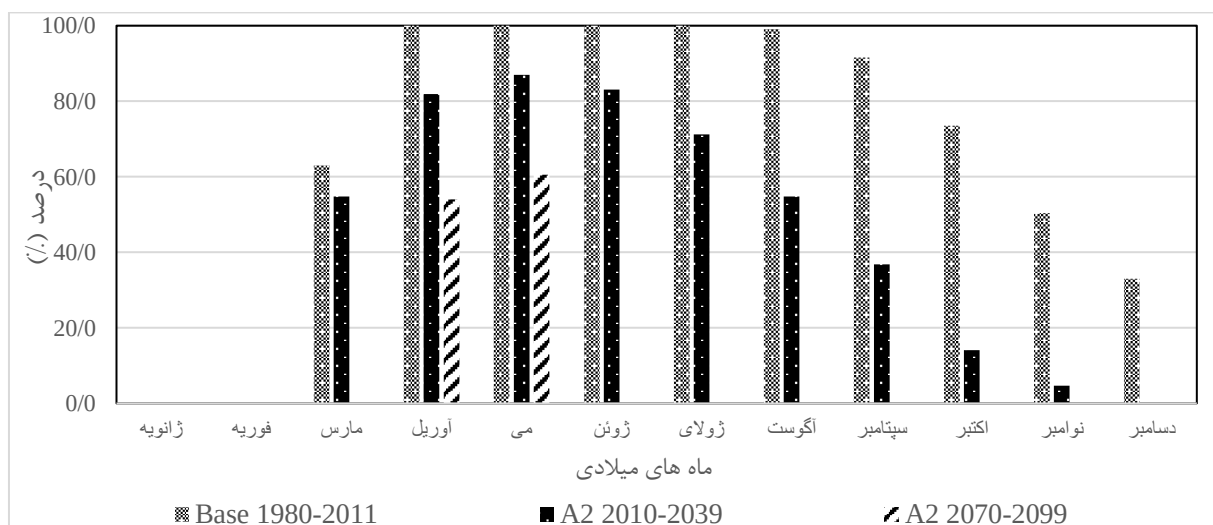
شکل (ب-۱۹) درصد تأمین متوسط ماهانه شرب پردیس برای سناریوی انتشار Rcp8.5

## ۲- درصد تأمین متوسط ماهانه تقاضای کشاورزی

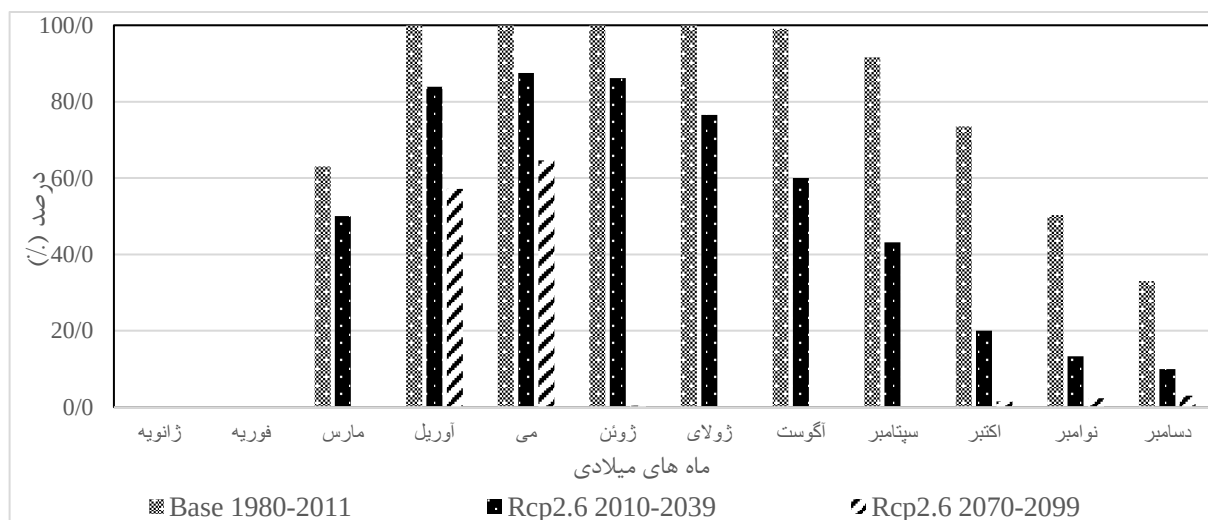
مطابق شکل‌های (ب-۲۰) تا (ب-۲۳) در تمامی سناریوها فقط در ماه‌های آوریل و می در افق زمانی آینده‌ی دور تخصیص صورت گرفته است و آن‌هم در حدود ۶۰٪ است. بیشترین تخصیص صورت گرفته برای تقاضای کشاورزی در افق آینده‌ی نزدیک و در سناریوی B2 به میزان ۸۸/۳٪ در ماه می می‌باشد.



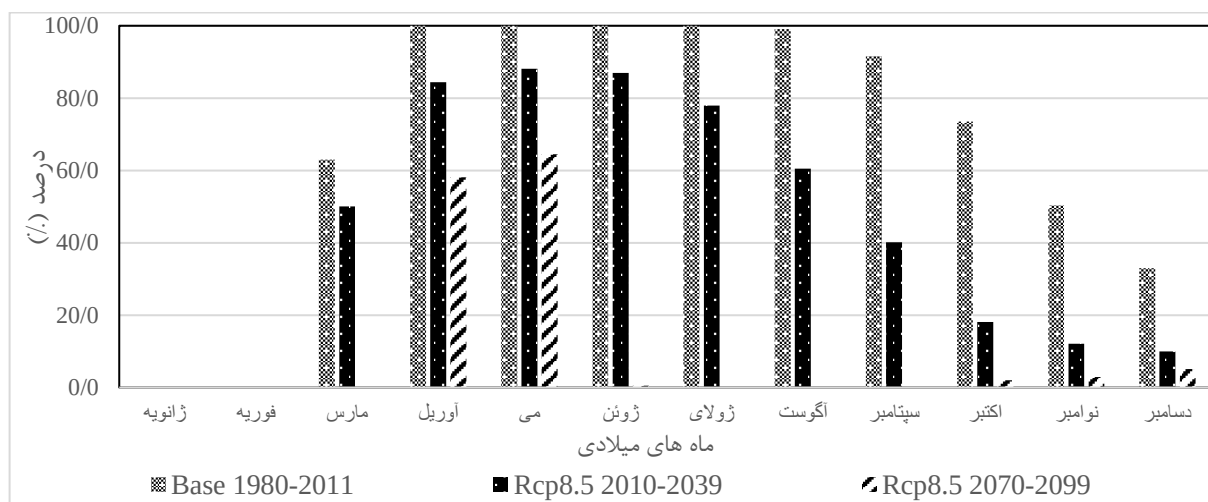
شکل (ب-۲۰) درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار B2



شکل (ب-۲۱) درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار A2



شکل (ب-۲۲) درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار Rcp2.6

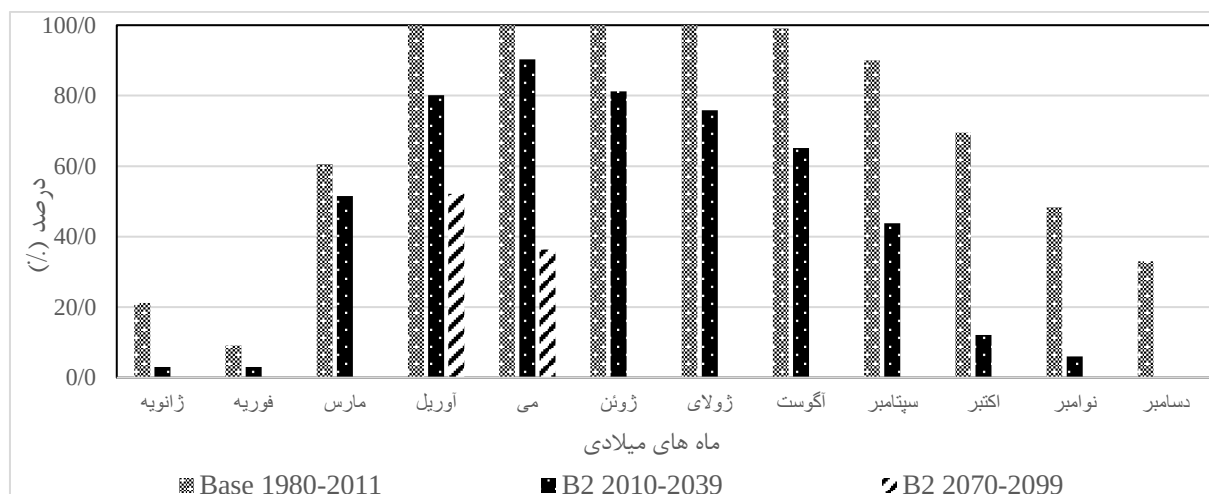


شکل (ب-۲۳) درصد تأمین متوسط ماهانه کشاورزی برای سناریوی انتشار Rcp8.5

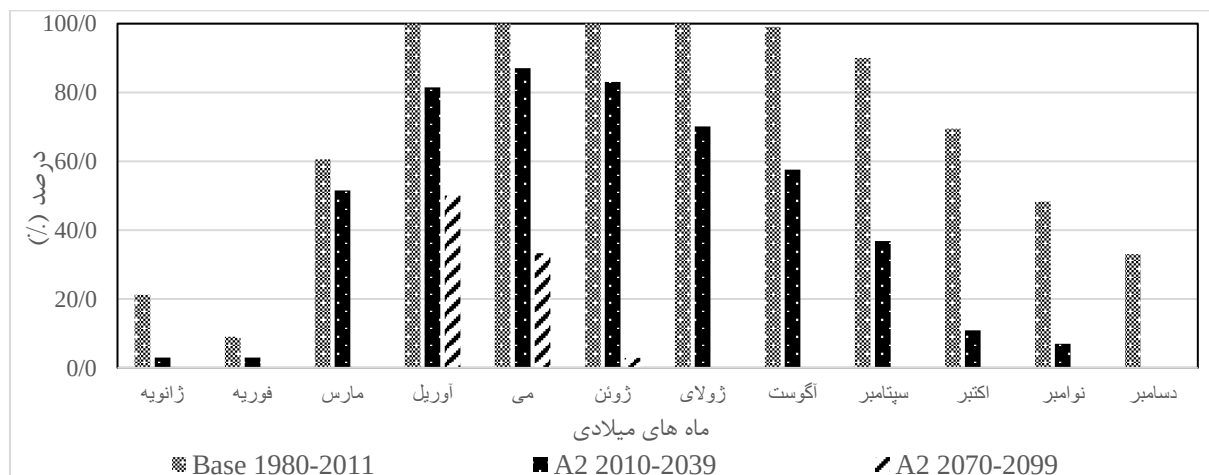
### ۳- درصد تأمین متوسط ماهانه‌ی تقاضای صنعت

در شکل‌های (ب-۲۴) تا (ب-۲۷) مشاهده می‌شود که فقط در ماه‌های آوریل و می در افق زمانی آینده‌ی دور تخصیص صورت گرفته است و آن‌هم در همه‌ی سناریوها حدود ۴۰٪ است. بیشترین تخصیص صورت گرفته برای تقاضای صنعت در افق آینده‌ی نزدیک و در سناریوی B2 به میزان ۹۰/۳٪ در ماه می می‌باشد.

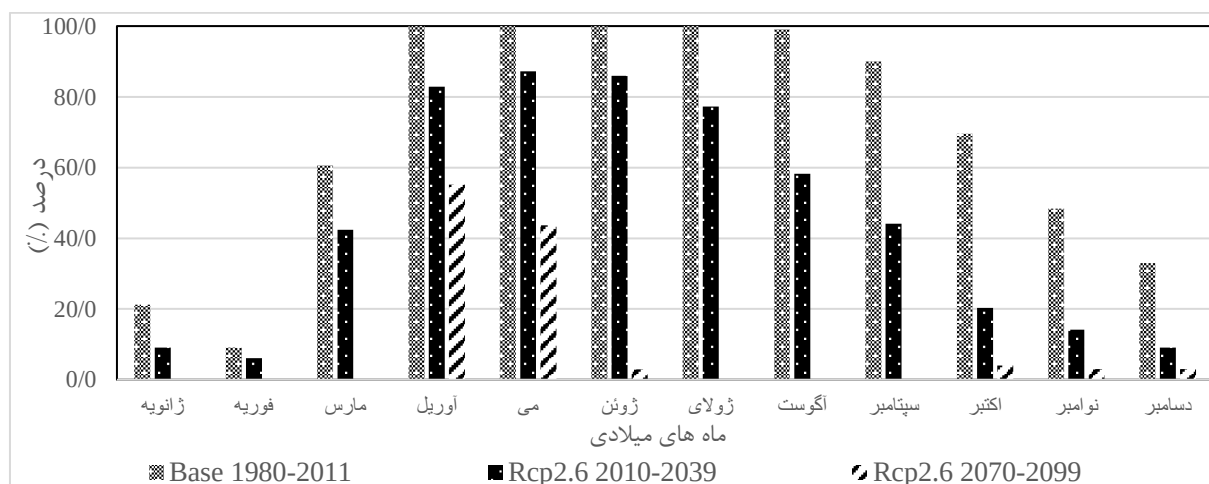




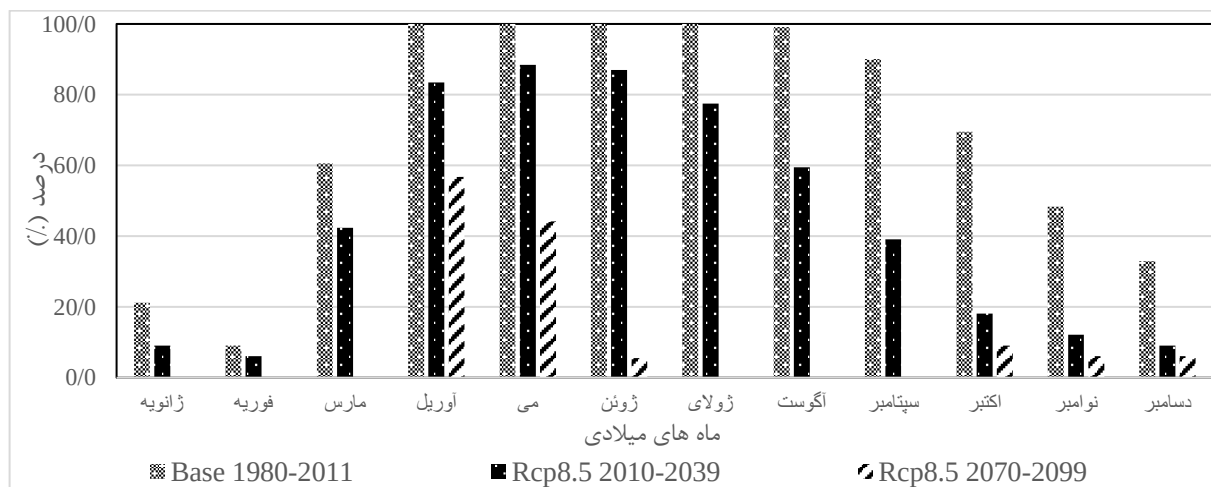
شکل (ب-۲۴) درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار B2



شکل (ب-۲۵) درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار A2



شکل (ب-۲۶) درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار Rcp2.6



شکل (ب-۲۷) درصد تأمین متوسط ماهانه صنعت برای سناریوی انتشار Rcp8.5

دلیل اختلاف زیاد در میزان تأمین تقاضاهای کشاورزی و صنعت با درصد تأمین نیاز شرب در تفاوت اولویت تخصیص در نظر گرفته شده برای آنهاست چون تخصیص به ترتیب اولویتها انجام می گیرد و تا زمانی که در یک روز خاص تقاضای دارای اولویت یک به صورت کامل تأمین نشود به تقاضاهای دارای اولویتهای پایین تر تخصیصی صورت نمی گیرد.

**Abstract:**

Climate change is one of the most important challenges of the current century. Because of the importance that climate change effects have on the future of the Earth and its inhabitants, it should be further investigated to understand the characteristics of future climatic events. In this study, HEC-HMS hydrologic model was used to study the potential impacts of climate change on surface water resource of the Latyan Dam watershed. For this purpose, climate data from HadCM3 and Canesm2 models under two emission scenarios, namely, A2 and B2 for HadCM3 and Rcp8.5, Rcp2.6 for Canesm2 for two future periods (near future 2010-2039, far future 2070-2099) was utilized. To downscale climate data, SDSM model was employed. The HEC-HMS model calibration and validation showed reasonable performance of the model with respect to selected performance criteria. Climate change impacts on river runoff were then investigated. Unlike temperature that would increase in both models, annual average runoff would increase in the Canesm2 and decrease in the HadCM3. The maximum increase in the average maximum temperature is related to the Canesm2 equal to 3.8 degrees Celsius by the year 2100 in October. The pessimistic scenario A2 would cause 21 million cubic meters decrease in runoff volume in the far future compared to the baseline period. In this research, in order to simulate the operating conditions of Latyan Reservoir affected by climate change, WEAP model was used to simulate reservoir operation. Assuming the change in supply resources as well as changes in demand suggest reducing the average percentage of annual supply with increase in time horizon in a way that in the pessimistic scenario A2, the most severe changes would happen. Percent of the average monthly water in Latyan Reservoir in January, February and March is almost zero in all scenarios and future periods while in May, it has the highest level in the near future period (about 60%). It clearly indicates the effect of different time horizons on reservoir storage and subsequently on supply the demand.

**Key words:** Climate change, HadCM3, Canesm2, SDSM, HEC-HMS, Resource allocation, WEAP



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Civil Engineering**

**M.Sc. Thesis in Water Engineering and Hydraulic Structures**

**The effect of general circulation climate models (AOGCM)  
On how to allocate water resources  
(Case study: Latyan Dam watershed, east of Tehran, Iran)**

**By: Neghar Ghasemi**

**Supervisors:**

**Dr. Ahmad Ahmadi**

**Dr. Saeed Golian**

**Consulting Supervisor:**

**Pezhman Yavari**

**September 2016**