جمهوری اسلامی ایران

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

گزارش تحلیلی

تحلیلی بر وضعیت و روند تغییرات منابع و مصارف آب ایران

شماره ثبت: ۷۰۱۱۵

تاریخ: ۱۴۰۵/۰۷/۱۳

جمهوری اسلامی ایران

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

گزارش تحلیلی:

تحلیلی بر وضعیت و روند تغییرات منابع و مصارف آب ایران

پژوهش و نگارش:

نادر عباسی، حسین خلیلی شایان و فریبرز عباسی

شماره ثبت: ۷۰۱۱۵

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

عنوان گزارش: تحلیلی بر وضعیت و روند تغییرات منابع و مصارف آب ایران

نگارش: نادر عباسی، حسین خلیلی شایان و فریبرز عباسی

به درخواست: معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

محل اجراء: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

تاریخ شروع: ۱۴۰۴/۳/۱

مدت اجرا: یک سال

ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

شمـارگان (تیراژ): -

سال انتشار: ۱۴۰۵

این اثر به شماره ۷۰۱۱۵ مورخ ۱۴۰۵/۰۷/۱۳ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به ثبت رسیده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	۱
خلاصه مدیریتی	۲
۱- مقدمه	**۳**
۲- روش تهیه گزارش	**٤**
۳- وضعیت منابع آب در ایران و جهان	**٥**
۳-۱- مروری بر تقسیم‌بندی اقلیمی کشور	۵
۳-۲- طبقه‌بندی حوضه‌های آبریز کشور	۵
۳-۳- کلیات منابع آب در جهان و ایران	۹
۳-۴- منابع آب‌های مرزی کشور	۲۱
۳-۵- منابع آب‌های نامتعارف کشور	۲۴
٤- سیمای منابع آب‌های سطحی کشور	**۳٤**
۴-۱- تحلیل روند تغییرات نزولات جوی کشور	۳۴
۴-۲- تحلیل روند تغییرات دما	۵۰
۴-۳- تحلیل روند تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل	۵۳
۴-۴- تحلیل وضعیت خشک‌سالی و ترسالی هواشناسی	۵۵
۴-۵- تحلیل روند تغییرات جریان سطحی	۶۲
۴-۶- تحلیل وضعیت خشک‌سالی و ترسالی هیدرولوژیکی	۷۱
۴-۷- تحلیل روند تغییرات حجم مخازن سدهای کشور	۷۴
۴-۸- توسعه شبکه‌های آبیاری و زهکشی	۸۱
۴-۹- تحلیل وضعیت کیفی منابع آب‌های سطحی کشور	۸۲
۴-۱۰- پیش‌بینی‌های بلندمدت اقلیمی	۸۴
۴-۱۱- جمع‌بندی	۹۲
۵- سیمای منابع آب‌های زیرزمینی کشور	**۹۳**
۵-۱- مقدمه	۹۳
۵-۲- روند تغییرات تراز سطح آب‌های زیرزمینی کشور	۹۵
۵-۳- روند تغییرات کسری مخزن تجمعی آب‌های زیرزمینی	۹۷
۵-۴- وضعیت دشت‌های کشور از نظر منابع آب‌های زیرزمینی	۱۰۲
۵-۵ -آخرین وضعیت تعداد چاه‌های کشور	۱۱۰
۵-۶- مصارف آب‌های زیرزمینی کشور	۱۱۳
۵-۷- تحلیل وضعیت کیفی منابع آب‌های زیرزمینی کشور	۱۱۵
۵-۸- آسیب‌شناسی مدیریت آب‌های زیرزمینی کشور	۱۱۶
۵-۹- جمع‌بندی	۱۲۰
٦- تغییرات منابع آب در بوم‌سازگان‌های مختلف کشور	**۱۲۱**
۷- سیمای مصارف آب کشور	**۱۲۵**
۸- بیلان منابع آب کشور	**۱۳۰**
۹- منابع آب تجدیدپذیر کشور	**۱٤۱**

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

۱۰- آب قابل‌برنامه‌ریزی کشور ۱۴۷

۱۱- شاخص‌های مدیریت مصرف آب کشاورزی در کشور ۱۴۸

۱-۱۱- راندمان‌های آبیاری کشور ۱۴۸

۲-۱۱ مبانی و تعاریف اولیه ۱۴۹

۳-۱۱- سوابق و مستندات موجود ۱۵۲

۴-۱۱- راندمان کاربرد آب آبیاری ۱۵۳

۵-۱۱- راندمان انتقال و توزیع ۱۵۴

۶-۱۱- راندمان کل آب آبیاری ۱۵۶

۷-۱۱- وضعیت راندمان کاربرد آب آبیاری برای محصولات مختلف ۱۵۶

۸-۱۱- حجم آب مصرفی ۱۵۸

۹-۱۱- حجم کل آب آبیاری ۱۶۵

۱۰-۱۱- بهره‌وری آب ۱۶۸

۱۱-۱۱- جمع‌بندی ۱۷۱

۱۲- جمع بندی نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۷۳

فهرست منابع ۱۷۷

چکیده انگلیسی ۱۸۷

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱- طبقه‌بندی اقلیمی کشور از روش دومارتن ۶
شکل ۲- توزیع منابع آب در کره زمین ۹
شکل ۳- مقادیر میانگین بلندمدت بارش سالانه کشورهای دنیا به نقل از فائو ۱۰
شکل ۴- تغییرات برداشت از منابع آب شیرین جهان برای کاربردهای شرب، صنعت وکشاورزی ۱۰
شکل ۵- توزیع برداشت سالانه از آب‌های شیرین بین گروه کشورهای جهان از سال ۱۹۰۱ تا سال ۲۰۱۰ ۱۱
شکل ۶- مقایسه حجم برداشت سالانه از منابع آب شیرین کشورهای جهان در سال ۲۰۲۱ به نقل از بانک جهانی ۱۲
شکل ۷- مقایسه سرانه برداشت سالانه از منابع آب کشورهای جهان در سال ۲۰۱۰ به نقل از بانک جهانی ۱۲
شکل ۸- مقایسه سرانه آب تجدیدپذیر داخلی کشورهای جهان در سال ۲۰۲۱ به نقل از بانک جهانی ۱۳
شکل ۹- سرانه آب تجدیدپذیر داخلی کشور ایران و متوسط جهانی به نقل از بانک جهانی ۱۵
شکل ۱۰- روند کاهش تاریخی سرانه آب تجدیدپذیر کشور ایران با رشد جمعیت ۱۵
شکل ۱۱- درصد برداشت آب کشاورزی از کل برداشت آب کشورها طی سال ۲۰۲۱ به نقل از بانک جهانی ۱۶
شکل ۱۲- درصد مصرف آب شیرین صنعت از کل برداشت آب طی سال ۲۰۲۱ به نقل از بانک جهانی ۱۷
شکل ۱۳- درصد مصرف شرب و خانگی از کل برداشت آب طی سال ۲۰۲۱ به نقل از بانک جهانی ۱۸
شکل ۱۴- طبقه‌بندی تنش آبی بر مبنای میزان برداشت آب‌های شیرین نسبت به منابع آب‌های تجدیدپذیر داخلی در سال ۲۰۲۲ و به نقل از بانک جهانی ۱۹
شکل ۱۵- سرانه تولید ناخالص داخلی برحسب دلار در مقابل درصد مصارف آب کشاورزی از کل برداشت‌های منابع آبی طی سال ۲۰۲۱ و به نقل از بانک جهانی ۲۰
شکل ۱۶- حوضه‌های آبریز مشترک ایران با کشورهای همسایه و رودخانه‌های اصلی این حوضه‌ها ۲۲
شکل ۱۷- روند تغییرات میانگین بارش کشور در بازه‌های زمانی مختلف ۳۴
شکل ۱۸- نقشه هم‌بارش کشور بر اساس دوره زمانی بلندمدت سال آبی ۴۶-۱۳۴۵ تا سال آبی ۹۰- ۱۳۸۹ بر اساس محاسبات وزارت نیرو ۳۵
شکل ۱۹- پهنه‌بندی بارش بلندمدت کشور بر اساس ایستگاه‌های باران‌سنجی مبنای وزارت نیرو ۳۷
شکل ۲۰- توزیع بارندگی بلندمدت کشور بر اساس درصد مساحت ۳۷
شکل ۲۱- متوسط بلندمدت بارش فصلی کشور و حوضه‌های آبریز درجه‌یک ۳۹
شکل ۲۲- سهم فصول مختلف از بارش بلندمدت کشور و حوضه‌های آبریز درجه‌یک ۴۰
شکل ۲۳- سری ارقام متوسط بارش کشور بر اساس محاسبات وزارت نیرو در طول دوره آماری ۵۷ ساله ۴۲
شکل ۲۴- بارش بلندمدت حوضه‌های آبریز درجه‌دو بر اساس محاسبات وزارت نیرو ۴۳
شکل ۲۵- بارش ماهانه متوسط کشور در طول دوره آماری ۵۷ ساله بر اساس محاسبات وزارت نیرو ۴۴
شکل ۲۶- میانگین سالانه بارش کشور و روند آن ۴۹
شکل ۲۷- تغییرات متوسط دمای سالیانه کشور بر اساس محاسبات سازمان هواشناسی کشور ۵۰
شکل ۲۸- روند تغییرات میانگین دمای کشور منتهی به سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ ۵۱
شکل ۲۹- اختلاف دمای مناطق مختلف کشور طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ نسبت به بلندمدت ۵۱
شکل ۳۰- خطوط هم‌دمای سالانه بلندمدت در حوضه‌های آبریز درجه‌یک کشور بر اساس دوره زمانی بلندمدت، سال آبی ۴۶-۱۳۴۵ تا سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ ۵۲
شکل ۳۱- خطوط هم تبخیر سالانه بلندمدت در حوضه‌های آبریز درجه‌یک کشور بر اساس دوره زمانی بلندمدت سال آبی ۴۶-۱۳۴۵ تا سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ ۵۳
شکل ۳۲- تغییرات میانگین بارش و تبخیر-تعرق بالقوه سال آبی طی پنج دهه گذشته ۵۴
شکل ۳۳- روند افزایش تبخیر و تعرق بالقوه کشور در سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۴۷ ۵۵
شکل ۳۴- طبقه‌بندی خشک‌سالی-ترسالی هواشناسی کشور بر مبنای شاخص SPI و فراوانی طبقات در طول دوره آماری ۵۷ ساله ۵۷
شکل ۳۵- شاخص SPEI کشور در دوره ۳۰ ساله منتهی به سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ ۶۲
شکل ۳۶- درصد سهم حوضه‌های آبریز اصلی از پتانسیل درازمدت جریان سطحی ۶۳
شکل ۳۷- نقشه جانمایی ایستگاه‌های هیدرومتری مبنای وزارت نیرو به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه‌دو ۶۵
شکل ۳۸- سری ارقام پتانسیل جریان سطحی کشور بر اساس محاسبات وزارت نیرو در طول دوره آماری ۳۰ ساله ۶۷

ادامه فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۳۹- فراوانی ایستگاه‌های مبنا در کلاسه‌های احتمالی بیشتر از ۹۰ درصد و کمتر از ۱۰ درصد ۶۸
شکل ۴۰- طبقه‌بندی خشک‌سالی/ترسالی هیدرولوژیکی طی سال‌های آبی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۷-۱۳۹۶ ۷۲
شکل ۴۱- طبقه‌بندی خشک‌سالی-ترسالی هیدرولوژیکی کشور بر مبنای شاخص SDI و فراوانی طبقات در طول دوره آماری ۳۰ ساله ۷۳
شکل ۴۲- پتانسیل حجم مخازن سدهای ملی کشور در حوضه‌های آبریز درجه‌دو ۷۵
شکل ۴۳- مقایسه اهداف ساخت سدها در ایران و دنیا ۷۶
شکل ۴۴- تغییرات حجم ورودی و حجم خروجی سدهای کشور، تعداد سدها و ظرفیت مخازن طی سال‌های آبی ۸۴-۱۳۸۴ تا ۰۴-۱۴۰۳ ۷۷
شکل ۴۵- تغییرات موجودی و درصد پرشدگی سدهای کشور طی سال‌های آبی ۸۴-۱۳۸۴ تا ۰۴-۱۴۰۳ ۷۸
شکل ۴۶- وضعیت شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور به هزار هکتار ۸۲
شکل ۴۷- میزان حداقل دبی و شوری متناظر ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا حوضه‌های آبریز درجه‌دو ۸۳
شکل ۴۸- میزان حداکثر دبی و شوری متناظر ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا حوضه‌های آبریز درجه‌دو ۸۳
شکل ۴۹- پیش‌بینی آنومالی متوسط دمای نزدیک سطح زمین برای دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵ با مبدأ زمانی سال ۲۰۲۴ ۸۵
شکل ۵۰- پیش‌بینی آنومالی متوسط بارش برای دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵ با مبدأ زمانی سال ۲۰۲۴ ۸۶
شکل ۵۱- پیش‌بینی آنومالی متوسط دما برای دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵ با مبدأ زمانی سال ۲۰۲۴ برحسب درجه سانتی‌گراد (الف) متوسط دمای ماه‌های می تا سپتامبر و (ب) متوسط دمای ماه‌های نوامبر تا مارس ۸۷
شکل ۵۲- پیش‌بینی آنومالی متوسط بارش برای دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵ با مبدأ زمانی سال ۲۰۲۴ برحسب میلی‌متر در روز(الف) متوسط بارش ماه‌های می تا سپتامبر و (ب) متوسط بارش ماه‌های نوامبر تا مارس ۸۷
شکل ۵۳- احتمال وقوع (الف) دمای بالاتر از نرمال و (ب) بارش بالاتر از نرمال در دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵ ۸۷
شکل ۵۴- درصد اختلاف بارش پیش‌بینی‌شده نسبت به دوره نرمال پایه (سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۶) برای سه دوره ابتدایی، میانی و انتهایی قرن بیست‌ویک در حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه، کارون، کرخه و جراحی ۸۹
شکل ۵۵- پیش‌بینی اثرات منفرد و ترکیبی تغییرات بارش و افزایش نرخ برداشت از منابع آب بر تغییرات ذخیره آب سطحی حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه، کرخه برای دوره‌های ابتدایی، میانی و انتهایی قرن بیست‌ویک ۹۰
شکل ۵۶- پیش‌بینی درصد تغییرات نسبی رواناب برای دوره زمانی ۲۰۶۰-۲۰۴۱ ۹۱
شکل ۵۷- پیش‌بینی درصد تغییرات نسبی در تولید محصولات کشاورزی کشورها تا سال ۲۰۵۰ در اثر تغییرات اقلیم ۹۱
شکل ۵۸- مدت‌زمان تغذیه و احیای سفره‌های آب زیرزمینی در لایه‌های مختلف ۹۳
شکل ۵۹- درصد برداشت سالانه از منابع آب‌های زیرزمینی نسبت به تغذیه به تفکیک کشورها ۹۴
شکل ۶۰- میانگین تغییرات سطح آب زیرزمینی بلندمدت به تفکیک استان‌ها ۹۶
شکل ۶۱- میانگین تغییرات سالانه سطح آب زیرزمینی به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه‌دو ۹۶
شکل ۶۲- میانگین تغییرات سالانه سطح آب زیرزمینی به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه‌یک ۹۷
شکل ۶۳- وضعیت کسری تجمعی مخازن آبخوان‌های کشور ۹۸
شکل ۶۴- مقایسه کسری تجمعی آبخوان‌های کشور از نتایج ماهواره Grace و روش مشاهداتی ۹۹
شکل ۶۵- تغییرات کسری تجمعی آبخوان‌های کشور در دوره‌های مختلف ۱۰۰
شکل ۶۶- میانگین تغییرات حجم مخازن آب زیرزمینی بلندمدت به تفکیک شرکت‌های آب منطقه‌ای ۱۰۱
شکل ۶۷- میانگین تغییرات حجم مخازن آب زیرزمینی سالانه به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه‌دو ۱۰۱
شکل ۶۸- میانگین تغییرات حجم مخازن آب زیرزمینی سالانه به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه‌یک ۱۰۲
شکل ۶۹- کسری تجمعی مخازن آب زیرزمینی استان‌های کشور منتهی به سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ ۱۰۲
شکل ۷۰- نقشه دشت‌های کشور از نظر برداشت آب‌های زیرزمینی ۱۰۳
شکل ۷۱- نمودار کسری مخزن دشت‌ها و مناطق ممنوعه کشور به تفکیک استان تا سال ۱۳۹۷ ۱۰۴
شکل ۷۲- تعداد محدوده‌های مطالعاتی ممنوعه کشور به تفکیک استان تا سال ۱۳۹۷ ۱۰۴
شکل ۷۳- روند افزایشی تعداد دشت‌های ممنوعه کشور ۱۰۵
شکل ۷۴- نمونه تبعات ایجادشده در سفره‌های آب زیرزمینی کشور ۱۰۶
شکل ۷۵- تغییرات متوسط هدایت الکتریکی (شوری) آب‌های زیرزمینی کشور ۱۰۶
شکل ۷۶- تعداد چاه‌های مجوز دار برای جابه‌جایی و کف‌شکنی در سال ۱۴۰۱ ۱۰۷

ادامه فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۷۷- حجم کاهش ذخایر آب‌های زیرزمینی (برحسب میلیارد مترمکعب) و درصد تغییرات آن در حوضه‌های آبریز درجه‌دو کشور (روند نزولی کاهش حجم ذخایر آبخوان در برای ساعت‌گرد) ۱۰۹
شکل ۷۸- (الف) طبقه‌بندی نسبت حجم برداشت انسانی از آبخوان به حجم تغذیه در سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۱، (ب) درصد جمعیت، درصد مساحت آبخوان، درصد مساحت کشور، درصد مصارف آب شرب/صنعت/کشاورزی متناظر با هر طبقه ۱۰۹
شکل ۷۹- درصد تغییرات تعداد چاه‌ها (دایره درونی) درصد تغییرات حجم برداشت انسانی از آبخوان (دایره میانی) و درصد تغییرات نسبت حجم برداشت انسانی از آبخوان به حجم کل برداشت (دایره بیرونی) در دوره ۱۳۹۴-۱۳۸۱ ۱۱۱
شکل ۸۰- نقشه پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری کشور ۱۱۱
شکل ۸۱- تعداد چاه‌های مجاز کشور ازنظر نوع مصارف، نیروی محرکه، عمق چاه و آبدهی ۱۱۲
شکل ۸۲- سهم منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به تفکیک برداشت ۱۱۴
شکل ۸۳- تغییرات مقادیر تخلیه و مصرف آب زیرزمینی از سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ تا ۹۶-۱۳۹۵ ۱۱۵
شکل ۸۴- میزان شوری آب‌های زیرزمینی حوضه‌های آبریز درجه‌دو تا پایان سال ۱۳۹۸ ۱۱۶
شکل ۸۵- روند تصویب قوانین نامناسب منجر به تشدید بحران منابع آب‌های زیرزمینی ۱۱۷
شکل ۸۶- افزایش تعداد چاه‌ها و تخلیه سالانه از سفره‌های آب زیرزمینی و تأثیر تصویب قوانین نامناسب ۱۱۷
شکل ۸۷- مقایسه اعتبارات مصوب توسعه سامانه‌های نوین آبیاری به قیمت سال ۱۴۰۱ و کسری تجمعی آبخوان ۱۲۰
شکل ۸۸- تغییرات زمانی سطح آب دریاچه ارومیه بر اساس تصاویر ماهواره LANDSAT ۱۲۲
شکل ۸۹- طبقه‌بندی پوشش اراضی حوضه‌های آبریز درجه‌دو ۱۲۴
شکل ۹۰- مؤلفه‌های چرخه آبی یا چرخه هیدرولوژیکی ۱۳۰
شکل ۹۱- چرخه آب کشور بر اساس بیلان منابع آب دوره ۲۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ ۱۳۳
شکل ۹۲- تغییرات منابع آب تجدیدپذیر (داخلی) سطحی و زیرزمینی کشور در سال‌های مختلف ۱۴۱
شکل ۹۳- برآورد حجم آب تجدیدپذیر داخلی در سال‌های آبی اخیر ۱۴۲
شکل ۹۴- تغییرات میزان مصارف آب کشور در سال‌های مختلف (ارقام برحسب میلیارد مترمکعب) ۱۴۳
شکل ۹۵- تغییرات سرانه آب تجدیدپذیر و جمعیت کشور در یک قرن اخیر ۱۴۴
شکل ۹۶- پهنه سرانه آب تجدیدپذیر داخلی حوضه‌های آبریز درجه دو و استان‌ها ۱۴۵
شکل ۹۷- مؤلفه‌های مختلف انتقال آب برای توصیف راندمان آبیاری ۱۴۹
شکل ۹۸- روند تغییرات راندمان کاربرد آب آبیاری در ایران ۱۵۴
شکل ۹۹- مقایسه راندمان‌های توزیع و انتقال در شبکه‌های سنتی و مدرن آبیاری ۱۵۵
شکل ۱۰۰- روند تغییرات راندمان‌های توزیع و انتقال در ایران ۱۵۵
شکل ۱۰۱- روند تغییرات راندمان کل آب آبیاری در ایران ۱۵۶
شکل ۱۰۲- مقایسه راندمان کاربرد آب آبیاری برای محصولات مختلف ۱۵۷
شکل ۱۰۳- مقادیر حجم آب تجدیدپذیر، حجم و درصد آب مصرفی در بخش کشاورزی ۱۶۱
شکل ۱۰۴- مقادیر حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی بر اساس سناریوهای مختلف پتانسیل تولید ۱۶۳
شکل ۱۰۵- مقایسه حجم آب آبیاری محصولات مختلف ۱۶۴
شکل ۱۰۶- دندوگرام حاصل از تحلیل خوشه‌ای محصولات موردمطالعه بر مبنای حجم آب آبیاری ۱۶۴
شکل ۱۰۷- مقایسه میانگین حجم آب آبیاری محصولات مختلف ۱۶۵
شکل ۱۰۸- مقایسه حجم کل آب آبیاری محصولات موردمطالعه ۱۶۶
شکل ۱۰۹- مقایسه حجم کل آب آبیاری محصولات زراعی، باغی و سبزی و صیفی ۱۶۷
شکل ۱۱۰- مقایسه حجم آب آبیاری در استان‌های مختلف ۱۶۸
شکل ۱۱۱- روند تغییرات بهره‌وری آب در سال‌های ۹۶-۱۳۸۷ ۱۶۹
شکل ۱۱۲- مقایسه شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری محصولات موردمطالعه ۱۷۰
شکل ۱۱۳- مقایسه بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بهره‌وری آب محصولات موردمطالعه ۱۷۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱- تعداد تقسیمات محدوده‌های مطالعاتی و زیر حوضه‌های درجه سه تا درجه هفت کشور ۷
جدول ۲- مشخصات حوضه‌های آبریز درجه‌یک و درجه‌دو کشور ۸
جدول ۳- شاخص بهره‌وری آب ۲۱
جدول ۴- دوره تجدید و سرعت جریان در برخی از آبخوان‌های ژرف جهان ۲۸
جدول ۵- ابعاد برخی از بزرگ‌ترین منابع آب ژرف جهان ۲۹
جدول ۶- میزان آب برگشتی (پساب)، منابع دریافت‌کننده و میزان بهره‌برداری از آن‌ها ۳۳
جدول ۷- مقایسه بارش سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ حوضه‌های آبریز درجه‌یک با سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ و بلندمدت ۴۶
جدول ۸- مقایسه بارش سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ حوضه‌های آبریز درجه دو با سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ و بلندمدت ۴۷
جدول ۹- مقایسه بارش سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ استان‌ها با سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ و متوسط بلندمدت ۴۸
جدول ۱۰- شاخص SPI حوضه‌های آبریز درجه‌دو در طول دوره آماری ۵۷ ساله ۵۸
جدول ۱۱- شاخص SPI حوضه‌های آبریز درجه‌یک و کشور در طول دوره آماری ۵۷ ساله ۶۰
جدول ۱۲- متوسط بلندمدت پتانسیل جریان سطحی حوضه‌های آبریز درجه‌یک و دو کشور بر اساس بیلان منتهی به سال ۹۰-۱۳۸۹ ..... ۶۴
جدول ۱۳- برآورد پتانسیل جریان سطحی حوضه‌های آبریز مختلف ۶۶
جدول ۱۴- برآورد پتانسیل جریان سطحی حوضه‌های آبریز درجه‌دو، درجه‌یک و کشور در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ ..... ۷۰
جدول ۱۵- خلاصه وضعیت عملکرد طرح‌های سدسازی ۷۴
جدول ۱۶- وضعیت سدهای مخزنی طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ به تفکیک حوضه‌های درجه‌دو ۸۰
جدول ۱۷- حجم برداشت سالانه از منابع آب‌های زیرزمینی بر اساس آماربرداری سراسری منابع و مصارف دور سوم ۱۱۳
جدول ۱۸- مساحت پرشدگی و درصد پرشدگی مساحت تالاب‌های مهم کشور بر اساس سنجش‌ازدور در تاریخ ۱۴۰۴/۰۳/۱۵ ..... ۱۲۳
جدول ۱۹- برداشت آب‌های سطحی و زیرزمینی حوضه‌های آبریز درجه‌یک و کشور به تفکیک نوع مصرف بر اساس آماربرداری دور دوم منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ ..... ۱۲۷
جدول ۲۰- مقایسه تعداد و حجم برداشت آب از منابع سطحی و زیرزمینی آماربرداری سراسری منابع و مصارف دور سوم و دور دوم ۱۲۸
جدول ۲۱- مقایسه حجم تخلیه و مصرف منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی آماربرداری دور سوم نسبت به دور دوم ۱۲۹
جدول ۲۲- بیلان عمومی منابع آب حوضه‌های آبریز درجه یک و درجه دو کشور طی دوره ۴۵ ساله منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ (ارقام ۱۳۶
جدول ۲۳- بیلان عمومی منابع آب حوضه‌های آبریز درجه یک و درجه دو کشور طی دوره ۲۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ ..... ۱۳۸
جدول ۲۴- محاسبه سرانه حجم آب تجدیدپذیر داخلی حوضه‌های آبریز و کشور ۱۴۶
جدول ۲۵- میزان آب قابل‌برنامه‌ریزی کشور برای مصارف مختلف ۱۴۷
جدول ۲۶- مقایسه آب قابل‌برنامه‌ریزی کشور و مصارف فعلی بر اساس آماربرداری دور سوم ۱۴۷
جدول ۲۷- مقدار حجم آب حاصل از بارش در سطح کشور به استناد منابع مختلف ۱۶۰
جدول ۲۸- حجم آب مصرفی (میلیارد مترمکعب) گیاهان زراعی و باغی در کشور بر مبنای سه روش محاسبه نیاز آبی ۱۶۲

چکیده

منابع آب ایران طی دهه‌های اخیر تحت تأثیر رشد جمعیت، توسعه فعالیت‌های کشاورزی، تغییر اقلیم، خشکسالی‌های متوالی، افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی و محدودیت منابع تجدیدپذیر، با چالش‌های فزاینده‌ای مواجه شده است. اتخاذ سیاست‌های مؤثر در مدیریت منابع و مصارف آب، مستلزم شناخت دقیق روندهای گذشته، ارزیابی وضعیت موجود و برآورد تغییرات آتی این منابع است. در این گزارش با استفاده از آخرین آمار و اطلاعات رسمی منتشرشده توسط دستگاه‌های ملی و همچنین داده‌های معتبر بین‌المللی، تصویری جامع و یکپارچه از وضعیت منابع و مصارف آب کشور ارائه شده است. گزارش، ضمن بررسی ویژگی‌های اقلیمی، منابع آب سطحی و زیرزمینی، منابع آب نامتعارف، تغییرات منابع آب در بوم‌سازگان‌های مختلف، روند تحولات منابع آب تجدیدپذیر، الگوی برداشت و مصرف آب و شاخص‌های مدیریت مصرف در بخش کشاورزی، روندهای زمانی و مکانی مهم را تحلیل کرده و وضعیت ایران را با شاخص‌های جهانی مقایسه می‌کند. همچنین با بهره‌گیری از جدیدترین پیش‌بینی‌های اقلیمی، چشم‌اندازی از تغییرات احتمالی منابع آب کشور در سال‌های آینده ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد کاهش مستمر سرانه آب تجدیدپذیر، افت ذخایر آب زیرزمینی، تشدید تنش آبی و استمرار وابستگی بخش کشاورزی به منابع محدود آب، ضرورت اصلاح الگوی حکمرانی آب، ارتقای بهره‌وری مصرف، توسعه مدیریت تقاضا و بازنگری در سیاست‌های تخصیص منابع آب را بیش از گذشته آشکار ساخته است. شواهد ارائه‌شده در این گزارش نشان می‌دهد که مسئله آب در ایران دیگر صرفاً یک چالش بخشی یا فنی نیست، بلکه به موضوعی راهبردی در ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و امنیتی تبدیل شده است. آینده منابع آب کشور بیش از آنکه به میزان بارندگی وابسته باشد، به کیفیت حکمرانی، نحوه تخصیص منابع، کارایی نظام بهره‌برداری و توان کشور در مدیریت تقاضای آب بستگی دارد. از این رو، عبور از شرایط کنونی مستلزم تغییر پارادایم از مدیریت بحران‌های مقطعی به حکمرانی پایدار آب، تقویت تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد، افزایش هماهنگی میان دستگاه‌های اجرایی و استقرار مدیریت یکپارچه منابع آب در مقیاس حوضه‌های آبریز است. در چنین شرایط و رویکری، اصلاحات مبتنی بر ارتقای بهره‌وری، مشارکت ذی‌نفعان و مدیریت یکپارچه منابع آب، می‌تواند مسیر دستیابی به امنیت آب و امنیت غذایی پایدار را هموار سازد. عبور از شرایط موجود مستلزم گذار از مدیریت بخشی و واکنشی به حکمرانی آینده‌نگر، مشارکتی، دانش‌بنیان و مبتنی بر توان اکولوژیک سرزمین است؛ رویکردی که بتواند میان اهداف امنیت آب، امنیت غذایی، توسعه اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست تعادل برقرار کند.

واژه‌های کلیدی: آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، بحران آب، سیمای آب، مصارف کشاورزی.

خلاصه مدیریتی

نتایج این گزارش نشـــان می‌دهد که آینده منابع آب ایران بیش از آنکه تابع شـــرایط طبیعی باشـــد، به کیفیت سیاست‌گذاری، حکمرانی و مدیریت منابع آب وابسته است. بر این اساس، مهم‌ترین پیام‌های راهبردی این گزارش برای مدیران و سیاستگذاران کشور عبارت است از:

- مسئله آب، یک چالش صرفاً فنی نیست؛ یک مسئله حکمرانی است.
- ادامه روند کنونی نشـــان می‌دهد که بخش عمده مشـــکلات منابع آب کشـــور ناشـــی از نحوه تخصـــیص، بهره‌برداری، هماهنگی نهادی و نظام تصـــمیم‌گیری اســـت. بنابراین، اصـــلاح حکمرانی آب باید در اولویت سیاست‌های ملی قرار گیرد.
- ناترازی منابع و مصارف آب، مهم‌ترین چالش راهبردی کشور است.
- برداشـــت از منابع آب در بسـیاری از حوضـه‌های آبریز از ظرفیت تجدیدپذیر آنها فراتر رفته و اسـتمرار این روند، پایداری منابع آب را با مخاطرات جدی مواجه خواهد کرد.
- آینده آب کشور در گرو حفاظت از آب‌های زیرزمینی است.
- آبخوان‌ها بزرگ‌ترین ذخیره راهبردی آب کشور محسوب می‌شوند و توقف اضافه‌برداشت، تعادل‌بخشی و احیای آنها باید به عنوان یک اولویت ملی دنبال شود.
- امنیت غذایی بدون امنیت آب پایدار نخواهد بود.
- تأمین پایدار غذای کشـــور مســـتلزم مدیریت پایدار منابع آب اســـت. افزایش تولید کشـــاورزی باید بر پایه ارتقای بهره‌وری آب و نه افزایش برداشت از منابع محدود آب استوار باشد.
- مدیریت عرضه به تنهایی پاسخگوی بحران آب نیست.
- تجربه دهه‌های گذشـته نشـان داده اسـت که توسـعه سـدها، انتقال آب و توسـعه منابع جدید، بدون مدیریت تقاضا، قادر به رفع ناترازی منابع آب نخواهد بود.
- ارتقای بهره‌وری آب، اقتصادی‌ترین منبع تأمین آب کشور است.
- سـرمایه‌گذاری در افزایش بهره‌وری مصـرف آب، اصـلاح الگوی کشـت، بهبود مدیریت مزرعه و کاهش تلفات، اثربخش‌تر و کم‌هزینه‌تر از توسعه بسیاری از طرح‌های جدید تأمین آب خواهد بود.
- تغییر اقلیم، ضرورت برنامه‌ریزی مبتنی بر عدم قطعیت را دوچندان کرده است.
- برنامه‌های توســـعه منابع آب باید بر مبنای ســـناریوهای مختلف اقلیمی، انعطاف‌پذیری مدیریتی و افزایش تاب‌آوری سامانه‌های تأمین آب طراحی شوند.
- تصمیم‌گیری مؤثر بدون داده‌های دقیق و یکپارچه امکان‌پذیر نیست.
- توســـعه ســـامانه‌های ملی پایش، یکپارچه‌ســـازی داده‌ها، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و اســـتقرار نظام تصمیم‌یار، پیش‌نیاز حکمرانی هوشمند منابع آب است.
- مدیریت منابع آب باید در مقیاس حوضه آبریز انجام شود.
- مرزهای اداری نمی‌توانند مبنای مدیریت پایدار منابع آب باشند. استقرار مدیریت یکپارچه حوضه‌های آبریز و تقویت هماهنگی بین‌بخشی، شرط اساسی موفقیت سیاست‌های آبی کشور است.
- آینده آب ایران نیازمند تغییر پارادایم در سیاست‌گذاری است.

۱- مقدمه

سرزمین ایران باوجود برخورداری از تنوع آب‌وهوایی و منابع طبیعی سرشار، در طول سالیان مختلف خشک‌سالی‌های متناوب و گسترده را تجربه کرده و آثار این پدیده در سنت‌ها و فرهنگ گذشتگان و سیاست‌گذاری‌ها و تدوین قوانین کاملاً مشهود است. از نخستین سیاست‌گذاری‌های بخش آب ایران در دوران جدید بیش از هفت دهه می‌گذرد و طی این مدت، به‌ویژه در سه دهه گذشته، راهبردها و قوانین متعددی برای پیشبرد این سیاست‌ها تدوین و اجراشده‌اند که عمدتاً بر تأمین، ذخیره‌سازی، ساماندهی برداشت، انتقال و توزیع آب مبتنی بوده و مدیریت مصرف کمتر موردتوجه بوده است. بااین‌حال، امروزه صرفه‌جویی در مصرف و حفظ ذخایر آب کشور به دغدغهٔ اصلی سیاست‌گذاران کشور تبدیل‌شده و وقوع خشک‌سالی‌های اخیر، این دغدغه‌ها را به نگرانی جدی تبدیل کرده است.

برآوردهای صورت‌گرفته نشان می‌دهد ایران با بارشی معادل یک‌سوم متوسط بارش دنیا و یک‌دوم متوسط بارش آسیا، در منطقه‌ای خشک و کم‌آب قرار داشته و از منابع آبی به نسبت اندک و محدودی برخوردار است. این موضوع و افزایش روزافزون جمعیت و نیاز روزافزون به تأمین غذا، افزایش سطح بهداشت عمومی، خشک‌سالی‌های متعدد و تغییر اقلیم، فرسودگی شبکه‌های انتقال و توزیع آب، محدودیت‌های منابع اعتباری و ناپایداری قیمت‌ها، شرایط مدیریت منابع آب را پیچیده‌تر نموده است.

ورود کشور به شرایط خشک‌سالی طی سال‌های اخیر، محدودیت منابع آبی در دسترس و افزایش جمعیت، سبب کاهش سرانه منابع آب تجدیدپذیر به کمتر از ۱۳۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال گردیده که بر اساس شاخص فالکن مارک[1]، ایران را در شرایط تنش آبی طبقه‌بندی می‌نماید. کمبود منابع آب‌های سطحی، افزایش مصرف و پایداری منابع آب زیرزمینی در شرایط خشک‌سالی و دسترسی آسان به منابع آب‌های زیرزمینی با ورود فناوری حفاری و ... سبب افزایش برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی و تشدید کسری مخزن تا حدود ۱۴۳ میلیارد مترمکعب در سال ۱۴۰۱ گردیده که خود ریشه تشدید مشکلات دیگر گردیده است.

ارزیابی سیاست‌گذاری‌ها و آسیب‌شناسی الگوی مدیریت منابع و مصارف آب کشور و نیز اتخاذ روش‌های مناسب مدیریتی در آینده بر اساس شناسایی روند تغییرات موجودیت و مصارف آبی درگذشته و پیش‌بینی منابع آب در دسترس در آینده انجام می‌شود. براین‌اساس و طی این گزارش، سعی گردید با کاربرد به‌روزترین داده‌ها و اطلاعات در دسترس، سیمایی از وضعیت منابع و مصارف آب‌های سطحی و زیرزمینی کشور درگذشته، حال و آینده ارائه شود.

[1] Index of Falken Mark

۲- روش تهیه گزارش

طی گزارش حاضر سعی گردید با ارائه آخرین داده‌ها و اطلاعات در دسترس، تحلیلی جامع، یکپارچه و پیوسته از روند تغییرات منابع و مصارف آب کشور در بستر زمان ترسیم گردد. داده‌ها و اطلاعات مذکور از مراجع مختلف جمع‌آوری و طی گزارش حاضر تجمیع گردید. این مراجع مشتمل بر داده‌های بانک جهانی، سامانه‌های اطلاعاتی بخش آب وزارت نیرو، بولتن‌های آماری رسمی بخش آب، سالنامه‌های اقلیمی سازمان هواشناسی کشور، گزارش‌های مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، مقالات علمی-پژوهشی، آمارنامه‌های کشاورزی و... است.

در گام نخست و با اتکا به داده‌های بانک جهانی، کلیات منابع آب در ایران با مقیاس جهانی مقایسه گردید. این مقایسه برمبنای متغیرهایی نظیر حجم و سرانه برداشت از آب‌های شیرین، سرانه آب تجدیدپذیر، توزیع مصارف آب (شرب/ صنعت/کشاورزی) و شاخص بهره‌وری آب، انجام شده است.

تغییرات منابع آب کشور در قالب سنجه‌هایی نظیر نزولات جوی، دما، تبخیر و تعرق پتانسیل، جریان سطحی، حجم مخازن سدها، منابع آب‌های زیرزمینی (شامل تراز سطح آب‌های زیرزمینی و کسری مخزن تجمعی آب‌های زیرزمینی)، کیفیت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و مشخصه‌های تالاب‌ها، ارزیابی‌شده است. تغییرات مصارف آب کشور نیز با اتکا به نتایج منتشره از دوره‌های مختلف آماربرداری سراسری ارائه گردید. بااطلاع از روند تغییرات منابع و مصارف آب، چرخه آب مستخرج از گزارش‌های بیلان آب منتشره توسط وزارت نیرو ارائه و برمبنای آن سرانه آب تجدیدپذیر حوضه‌های آبریز برآورد گردید.

بررسی روند تغییرات سنجه‌های فوق در مقیاس مکانی شامل کشور، استان و حوضه‌های آبریز درجه‌یک و درجه‌دو انجام‌شده است. دوره زمانی بررسی روند تغییرات سنجه‌های مذکور نیز تابعی از محدودیت اطلاعات در دسترس است. این گزارش به‌طور اجمالی تحلیلی بر نتایج پژوهش‌ها و مطالعات میدانی دو دهه اخیر در خصوص شاخصه‌های مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی شامل راندمان‌های آبیاری، حجم آب مصرفی و بهره‌وری آب در بخش کشاورزی ارائه می‌نماید. در انتها نیز ضمن جمع‌بندی مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی مدیریت منابع آب کشور، شماری از اقدامات و راهبردهای لازم برای بهبود شرایط و ارتقاء اثربخشی فعالیت‌های حوزه آب را در قالب پیشنهادهای سیاستی ارائه می‌نماید.

گزارش حاضر روایتی از تغییرات منابع و مصارف آب کشور را در بستر زمان و برمبنای اطلاعات منتشره توسط وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی ارائه نموده و دخل و تصرفی مرتبط با اطلاعات مذکور، نمی‌نماید.

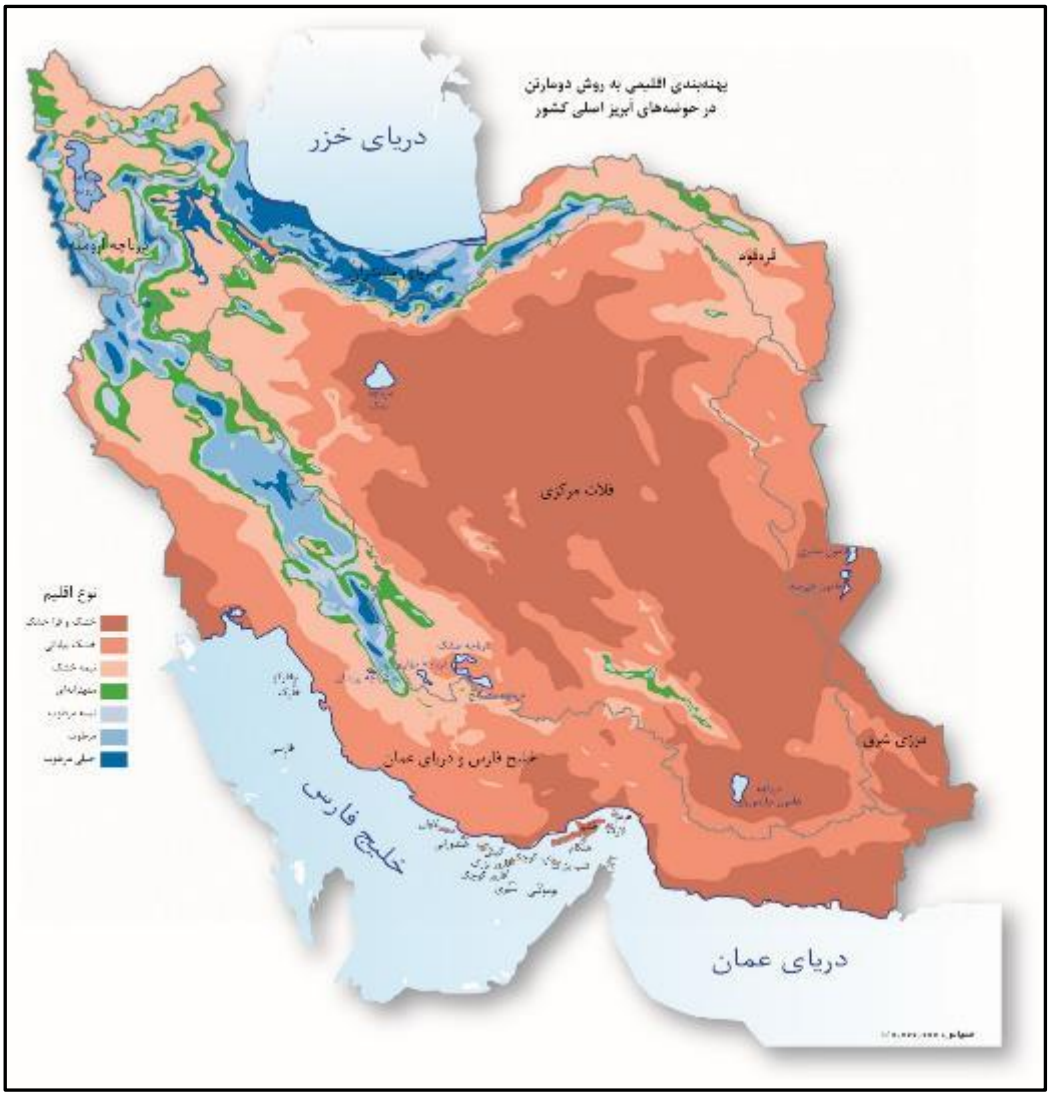
۳- وضعیت منابع آب در ایران و جهان

۳-۱- مروری بر تقسیم‌بندی اقلیمی کشور

روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی اقلیمی بسته به اهداف و مناطق مورد بررسی، وجود دارد. متداول‌ترین روش برای تقسیم‌بندی اقلیمی کشور، روش دومارتن است که بر اساس آن هفت‌اقلیم مختلف شامل؛ خشک و فراخشک، خشک بیابانی، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب، مرطوب و خیلی مرطوب برای کشور ایران شناسایی‌شده است. شکل (۱) طبقه‌بندی اقلیمی کشور به روش دومارتن را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۱ ملاحظه می‌شود حدود ۶۵ درصد مساحت کشور را اقلیم‌های فراخشک و خشک بیابانی دربرگرفته که میزان بارش سالانه آن‌ها بسیار کم و در محدوده ۱۵۰-۵۰ میلی‌متر است. مناطق با اقلیم نیمه‌خشک در کشور حدود ۳۰۰-۲۰۰ میلی‌متر بارش سالیانه داشته و حدود ۲۰ درصد از مساحت کشور را در مناطقی از استان‌های غربی شامل ایلام، چهارمحال بختیاری، کرمانشاه، کردستان، آذربایجان غربی و شمال غرب کشور شامل آذربایجان شرقی و اردبیل را در برمی‌گیرد. بخش‌های مهمی از استان‌های بخش مرکزی متمایل به غرب مانند زنجان، همدان، غرب اصفهان، شمال غرب فارس، تهران، مرکزی، قم، قزوین و... نیز در اقلیم نیمه‌خشک قرار دارند. در اقلیم مدیترانه‌ای بارش سالیانه به حدود ۵۰۰ میلی‌متر رسیده و حدود ۵ درصد مساحت کل کشور (شمال و شمال غرب، دامنه‌های مرتفع البرز، بینالود و هزار مسجد، رشته‌کوه‌های زاگرس، شمال شرق خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، شمال شرق اصفهان و فارس، ایلام و لرستان) را شامل می‌شود. اقلیم‌های مرطوب، نیمه‌مرطوب و خیلی مرطوب نیز درمجموع حدود ۱۶ درصد مساحت کشور را شامل می‌شود که متناظر با سواحل جنوبی و غربی استان‌های گیلان، مازندران، غرب گلستان، کوه‌های زاگرس و البرز است. بر اساس پهنه‌بندی، بخش غالب کشور در گروه خشک و فراخشک و بخش بسیار کوچکی در طبقه خیلی مرطوب قرار دارد. درنتیجه کشور ایران به‌طورکلی جزء اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود.

۳-۲- طبقه‌بندی حوضه‌های آبریز کشور

حوضه‌های آبریز به قسمتی از خشکی‌ها اطلاق می‌شود که با توجه به شیب و توپوگرافی زمین رواناب ناشی از بارش بر روی آن، توسط آبراهه‌ها جمع‌آوری می‌شود و به یک خروجی نظیر رودخانه، آب‌انباشت، تالاب، دریاچه و دریا هدایت می‌شود. پست‌ترین مکان یک حوضه آبریز ممکن است دریا، دریاچه، باتلاق، رود و ... باشد که معمولاً نام آن را بر روی حوضه آبریز موردنظر می‌گذارند. مرز جدایی حوضه‌های آبریز از یکدیگر معمولاً منطبق بر خط‌الرأس کوهستان است.



شکل ۱- طبقه‌بندی اقلیمی کشور از روش دومارتن (بی‌نام ۱، ۱۴۰۰)

تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز ایران، نخستین‌بار در سال ۱۳۳۵ در بنگاه مستقل آبیاری با همکاری سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو[1]) انجام شد. در سال‌های بعد، تقسیم‌بندی حوضه‌ها توسط سازمان‌های گوناگون با اهداف متفاوت صورت گرفت که دسترسی به آمار و اطلاعات منابع آب را دچار مشکل کرد. آخرین تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز کشور طی سال ۱۳۹۱ و بر مبنای دستورالعمل تقسیم‌بندی و کدگذاری حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور انجام‌شده است (بی‌نام، ۱۳۹۱). بر اساس این دستورالعمل، پهنه کشور به شش حوضه آبریز درجه‌یک، ۳۰ حوضه آبریز درجه‌دو و ۶۰۹ محدوده مطالعاتی، تقسیم گردید. مجموع حوزه‌های آبریز درجه‌یک و دو نیز به ۱۱۱۷ زیر حوضه از درجات سه تا هفت تقسیم‌بندی گردیده که جزییات آن در جدول ۱ ارائه‌شده است.

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

جدول ۱- تعداد تقسیمات محدوده‌های مطالعاتی و زیر حوضه‌های درجه سه تا درجه هفت کشور

(بی‌نام، ۱۳۹۱)

نام حوضه آبریز درجه‌یک	درجه‌دو	درجه سه	درجه چهار	درجه پنج	درجه شش	درجه هفت	محدوده‌های مطالعاتی
دریای مازندران	۷	۷	۸۶	۹۴	۰	۰	۴۳
خلیج‌فارس و دریای عمان	۹	۰	۱۰۹	۱۷۲	۸۳	۱۷	۲۶۵
ارومیه	۱	۰	۹	۴۶	۸	۰	۲۵
فلات مرکزی	۹	۱۱	۹۶	۱۵۴	۱۱۲	۲۲	۲۳۳
مرزی شرق	۳	۵	۲۳	۲۰	۷	۰	۳۰
قره قوم	۱	۱	۱۶	۱۵	۴	۰	۱۳
مجموع (کشور)	۳۰	۲۴	۳۳۹	۵۰۱	۲۱۴	۳۹	۶۰۹

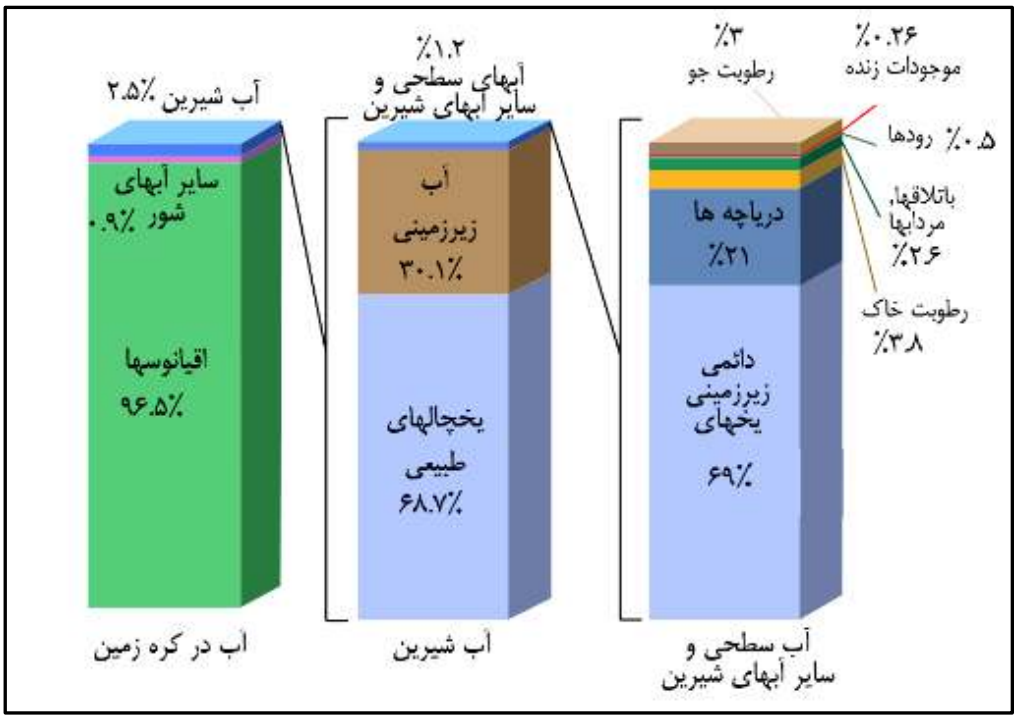
شش حوضه آبریز درجه‌یک کشور عبارت‌اند از: حوضه آبریز دریای مازندران با کد ۱ مشتمل بر ۷ حوضه درجه‌دو، حوضه آبریز خلیج‌فارس و دریای عمان با کد ۲ مشتمل بر ۹ حوضه درجه‌دو، حوضه آبریز ارومیه با کد ۳، حوضه آبریز فلات مرکزی با کد ۴ مشتمل بر ۹ حوضه درجه‌دو، حوضه آبریز مرزی شرق با کد ۵ مشتمل بر ۳ حوضه درجه‌دو و حوضه آبریز قره‌قوم با کد ۶. جدول (۲)، فهرستی از حوضه‌های آبریز درجه‌یک و درجه‌دو، کد و مساحت هر زیر حوضه را ارائه می‌نماید (بی‌نام، ۱۳۹۱). مطابق جدول (۲)، حوضه آبریز فلات مرکزی با بیشترین سطح یعنی حدود ۵۰/۸ درصد مساحت کشور و حوضه آبریز قره‌قوم با ۲/۷ درصد از مساحت کشور کوچک‌ترین حوضه کشور هستند. شایان‌ذکر است، مرز این حوضه با توجه به مرزهای سیاسی کشور محدودشده و بدیهی است از منظر هیدرولوژیکی بدون در نظر گرفتن مرزهای سیاسی کشور مساحت حوضه مرزی نظیر دریای خزر بسیار بیشتر از مقدار ارائه‌شده در جدول ۲ است. ملاحظه می‌شود حوضه آبریز فلات مرکزی با پوشش نیمی از مساحت کشور، میانگین بارشی در حدود ۰/۶۶ بارش بلندمدت کشور را داراست. بیشترین میزان میانگین بارش حوضه‌های آبریز درجه‌یک نسبت به متوسط کشور مربوط به حوضه آبریز دریای خزر است که تنها حدود ۱۱ درصد از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است.

جدول ۲- مشخصات حوضه‌های آبریز درجه‌یک و درجه‌دو کشور (بی‌نام، ۱۳۹۱)

حوضه آبریز درجه‌یک		حوضه آبریز درجه‌دو		مساحت		بارش بلندمدت	
نام	کد	نام	کد	مقدار (Km^2)	درصد از مساحت کل کشور	مقدار (mm)	درصد بارش نسبت به میانگین کشور
دریای خزر	۱	ارس	۱۱	۳۹,۷۷۹	۲.۴۵	۲۹۰.۸	۱۱۷
		تالش، مرداب انزلی	۱۲	۷,۰۳۶	۰.۴۳	۱۰۱۳	۴۰۷
		سفیدرود بزرگ	۱۳	۵۹,۱۹۴	۳.۶۵	۳۶۹.۲	۱۴۸
		رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز	۱۴	۱۰,۸۹۳	۰.۶۷	۸۱۶.۷	۳۲۸
		هراز و قره‌سو	۱۵	۱۸,۷۷۵	۱.۱۶	۶۳۰.۲	۲۵۳
		قره‌سو و گرگان	۱۶	۱۲,۹۸۷	۰.۸۰	۴۳۰.۳	۱۷۳
		اترک	۱۷	۲۶,۳۹۶	۱.۶۳	۳۱۶.۹	۱۲۷
		مجموع مساحت/میانگین بارش		**۱۷۵,۰۶۰**	**۱۰.۷۹**	**۴۲۹.۸**	**۱۷۳**
خلیج‌فارس و دریای عمان	۲	مرزی غرب	۲۱	۳۹,۲۹۸	۲.۴۲	۴۶۲	۱۸۵
		کرخه	۲۲	۵۱,۹۱۲	۳.۲۰	۴۲۳.۹	۱۷۰
		کارون بزرگ	۲۳	۶۶,۶۷۶	۴.۱۱	۶۳۰.۸	۲۵۳
		جراحی و زهره	۲۴	۴۰,۸۲۱	۲.۵۲	۴۱۷.۳	۱۶۸
		حله رود و رودخانه‌های کوچک	۲۵	۲۱,۳۰۹	۱.۳۱	۳۰۴.۹	۱۲۲
		مند، کاریان و خنج	۲۶	۴۷,۸۰۲	۲.۹۵	۳۷۷.۴	۱۵۲
		کل، مهران و مسیل‌های جنوبی	۲۷	۶۲,۸۹۶	۳.۸۸	۲۳۸.۸	۹۶
		بندرعباس، سدیج	۲۸	۴۴,۷۹۲	۲.۷۶	۲۳۲.۹	۹۳
		رودخانه‌های بلوچستان	۲۹	۴۸,۵۲۴	۲.۹۹	۱۱۱.۳	۴۵
		مجموع مساحت/میانگین بارش		**۴۲۴,۰۳۰**	**۲۶.۱۳**	**۳۶۴.۷**	**۱۴۶**
دریاچه ارومیه	۳	**دریاچه ارومیه**	**۳۰**	**۵۱,۷۶۲**	**۳.۱۹**	**۳۴۴.۱**	**۱۳۸**
فلات مرکزی	۴	دریاچه نمک	۴۱	۹۲,۸۸۴	۵.۷۲	۲۷۷.۷	۱۱۱
		گاوخونی	۴۲	۴۱,۵۵۲	۲.۵۶	۲۴۲.۱	۹۷
		طشک، بختگان و مهارلو	۴۳	۳۱,۴۵۲	۱.۹۴	۴۰۴.۳	۱۶۲
		کویر ابرقو، سیرجان	۴۴	۵۷,۱۲۵	۳.۵۲	۲۳۲.۹	۹۳
		هامون، جازموریان	۴۵	۶۹,۳۷۵	۴.۲۷	۱۴۵.۱	۵۸
		کویر لوت	۴۶	۲۰۶,۳۵۴	۱۲.۷۱	۱۰۲.۱	۴۱
		کویر مرکزی	۴۷	۲۲۶,۵۳۳	۱۳.۹۶	۱۴۸.۶	۶۰
		کویر سیاه کوه، ریگ زرین	۴۸	۴۸,۵۹۹	۲.۹۹	۸۴	۳۴
		کویر درانجیر	۴۹	۵۰,۷۳۷	۳.۱۳	۹۹.۲	۴۰
		مجموع مساحت/میانگین بارش		**۸۲۴,۶۱۱**	**۵۰.۸۱**	**۱۶۴.۷**	**۶۶**
مرزی شرق	۵	پترگان، خواف	۵۱	۳۳,۰۸۶	۲.۰۴	۱۵۱.۴	۶۱
		هامون، هیرمند	۵۲	۳۳,۵۹۰	۲.۰۷	۷۸.۴	۳۱
		هامون، مشکیل	۵۳	۳۶,۵۰۸	۲.۲۵	۹۴	۳۸
		مجموع مساحت/میانگین بارش		**۱۰۳,۱۸۳**	**۶.۳۶**	**۱۰۷.۳**	**۴۳**
قره‌قوم	۶	**قره‌قوم**	**۶۰**	**۴۴,۲۹۶**	**۲.۷۳**	**۲۲۱**	**۸۹**
		کشور		**۱,۶۲۲,۹۴۲**		**۲۴۹.۱**	

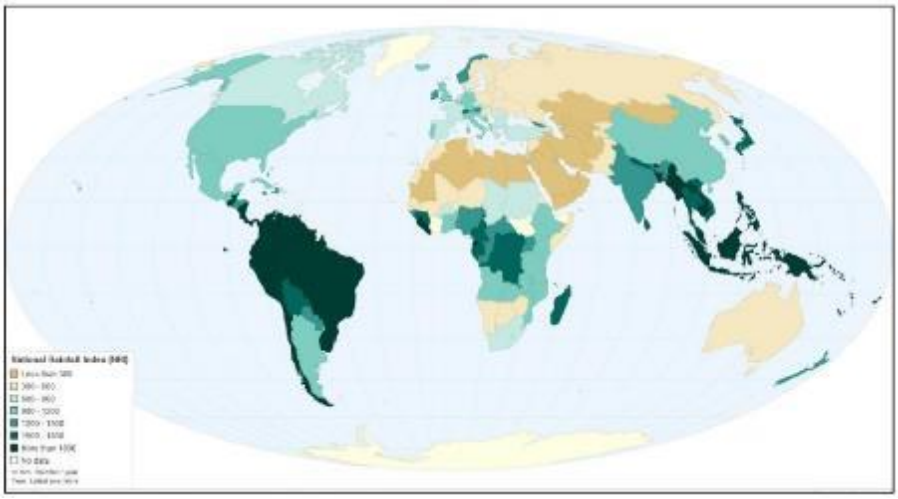
۳-۳- کلیات منابع آب در جهان و ایران

از کل آب‌های جهان، ۹۷/۵ درصد آن (معادل ۱۳۶۵۰۰۰۰۰۰ کیلومترمکعب معادل ۱/۳۶۵ میلیارد کیلومترمکعب) را آب شور دریاها و اقیانوس‌ها تشکیل می‌دهد که به دلیل شوری در عمل قابل‌استفاده نیست. ذخایر آب شیرین تنها ۲/۵ درصد (معادل ۳۵۰۰۰۰۰۰ کیلومترمکعب) کل حجم ذخایر آب‌های سطح زمین را تشکیل می‌دهد که از این میزان کمتر از ۰/۳ درصد منابع آبی دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، ۳۰/۸ درصد آب‌های زیرزمینی و ۶۸/۹ درصد یخچال‌ها و پوشش دائمی برف کوه‌ها را تشکیل می‌دهد. براین‌اساس ۰/۰۲۵ درصد یا به عبارتی ۲/۵ در ده هزار از کل آب موجود در جهان به‌صورت مستقیم قابل‌استفاده برای بشر و سایر جانداران است (Shiklamanov, 1993). توزیع منابع آب موجود در کره زمین در شکل ۲ ارائه‌شده است.



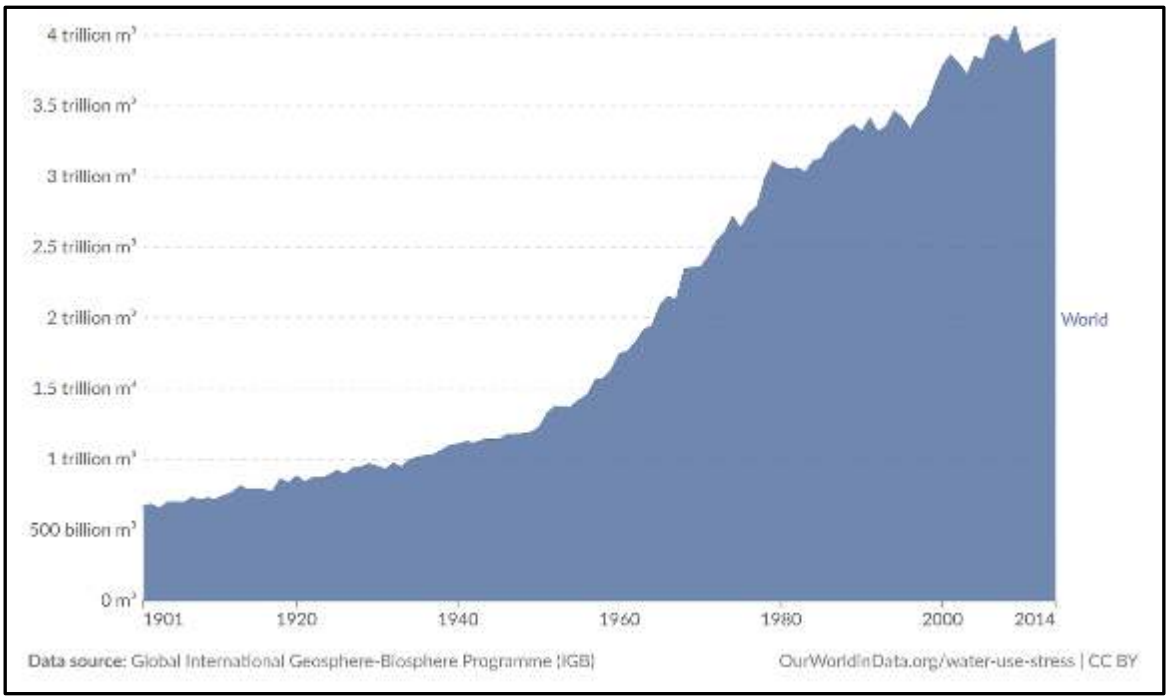
شکل ۲- توزیع منابع آب در کره زمین

در شرایطی که متوسط میزان بارندگی سالانه جهان ۸۱۳ میلی‌متر است، میزان بارندگی در منطقه غرب آسیا و ایران به ترتیب معادل ۲۱۷ و ۲۴۹ میلی‌متر است که کمتر از یک‌سوم جهانی است. شکل ۳، توزیع میانگین بارش سالانه کشورهای جهان به نقل از سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد را نشان می‌دهد.



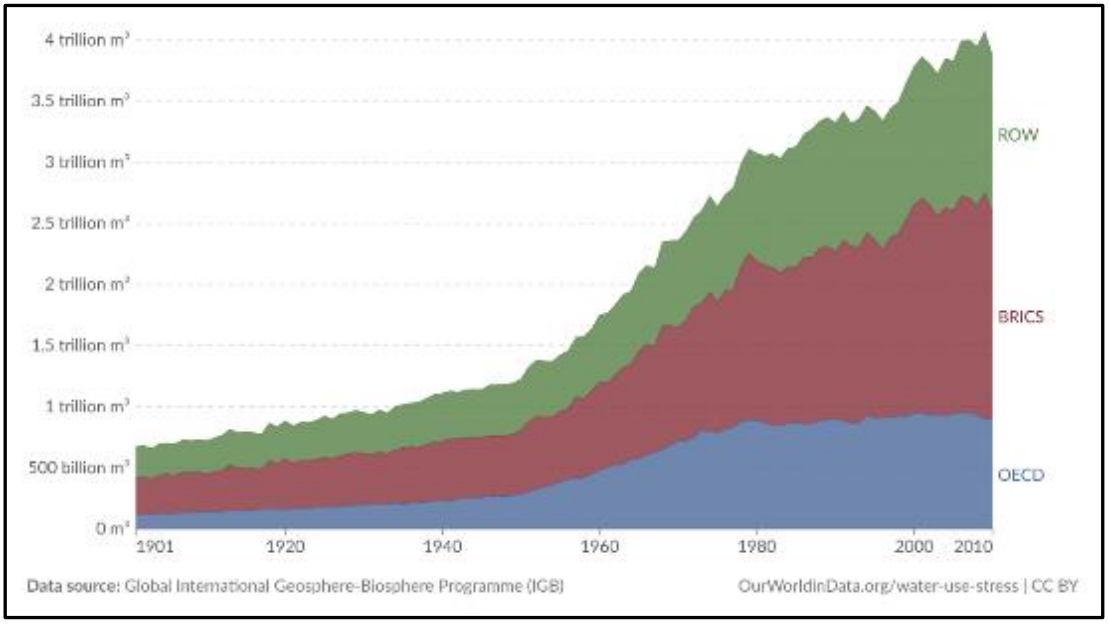
شکل ۳- مقادیر میانگین بلندمدت بارش سالانه کشورهای دنیا به نقل از فائو

رشد جمعیت جهان و تغییر اقتصاد به سمت الگوهای مصرف بیشتر، استفاده از آب‌های شیرین جهان برای مصارف کشاورزی، صنعت و شرب را از سال ۱۹۰۰ میلادی به بیش از شش برابر افزایش داده است. از شکل ۴ ملاحظه می‌شود نرخ استفاده از آب شیرین در جهان از دهه ۱۹۵۰ میلادی به بعد به‌شدت افزایش‌یافته است، ولی از حدود سال ۲۰۰۰ میلادی، به‌صورت کاهشی بوده و یا با شیب کمتری افزایش‌یافته است. در سال ۲۰۱۴ مقدار مصرف آب شیرین در دنیا به حدود ۳۹۸۵ میلیارد مترمکعب افزایش‌یافته است.



شکل ٤- تغییرات برداشت از منابع آب شیرین جهان برای کاربردهای شرب، صنعت وکشاورزی (برحسب مترمکعب در سال)

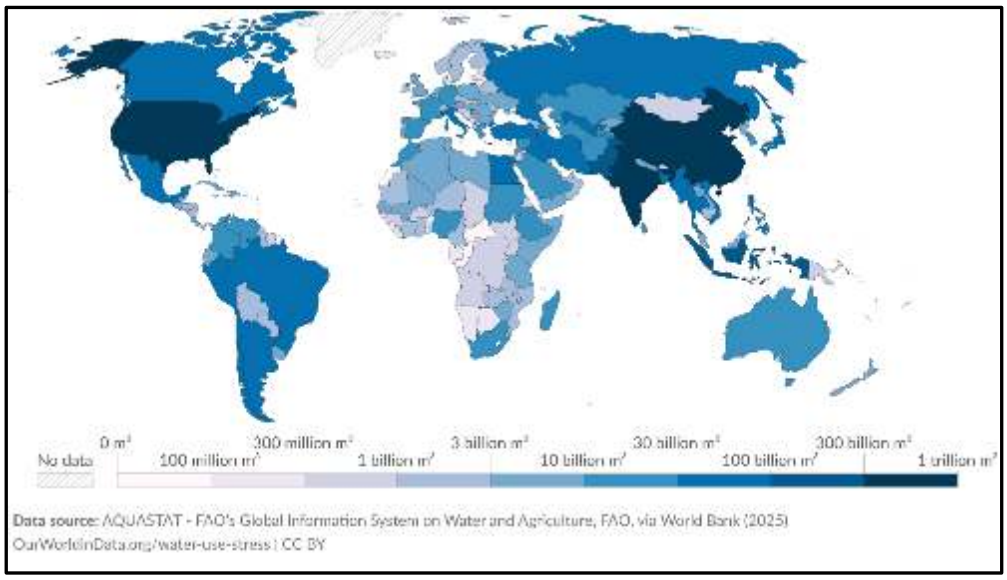
شکل ۵ برداشت از آب‌های شیرین دنیا به تفکیک کشورها از سال ۱۹۰۱ تا سال ۲۰۱۰ را نشان می‌دهد. کشورهای سازمان توسعه و همکاری‌های اقتصادی[1] (OECD) تقریباً ۲۵-۲۰ درصد، کشورهای BRICS (برزیل، روسیه، هند، چین و آفریقای جنوبی) حدود ۴۵ درصد و سایر کشورهای دنیا (ROW) حدود ۳۳-۳۰ درصد منابع آب شیرین جهان را مصرف می‌کنند. اگرچه استفاده از آب شیرین در دوره زمانی رشد داشته است، مصارف آب بین این گروه‌ها در طول قرن گذشته تغییر قابل‌توجهی نداشته است.



شکل ۵- توزیع برداشت سالانه از آب‌های شیرین بین گروه کشورهای جهان از سال ۱۹۰۱ تا سال ۲۰۱۰ به نقل از بانک جهانی (برحسب مترمکعب در سال)

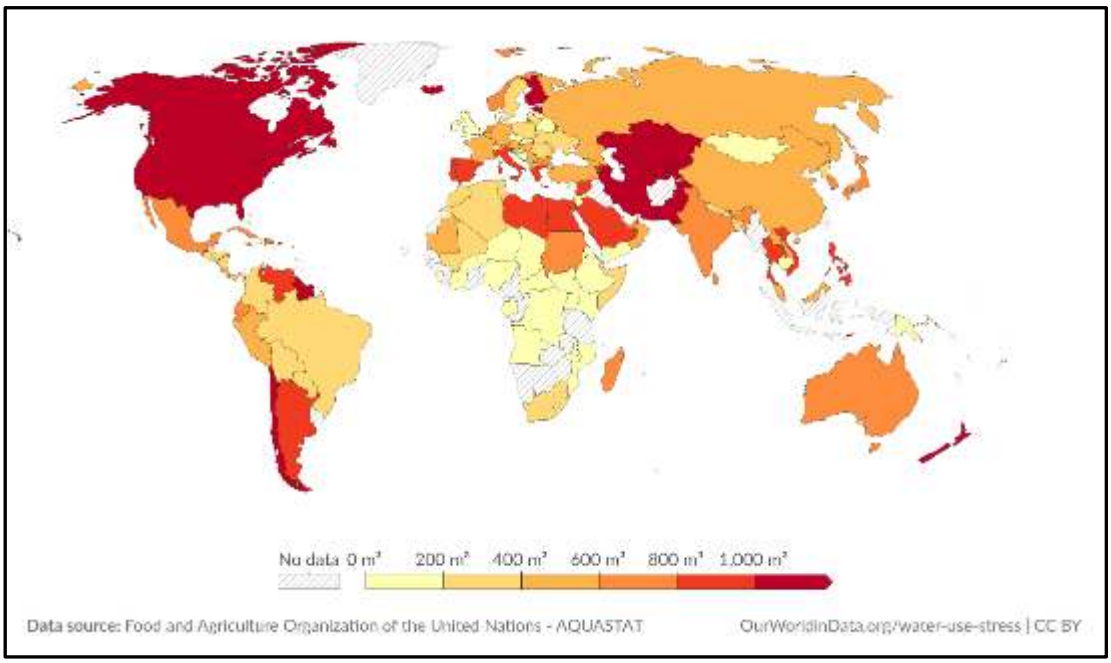
شکل ۶ میزان برداشت سالانه از منابع آب شیرین کشورهای جهان در سال ۲۰۲۱ را برای اهداف مختلف؛ تأمین آب شرب، صنعت و کشاورزی، مقایسه می‌نماید. شایان‌ذکر است این ارقام، میزان تبخیر از سطح حوضه‌های آبریز کشورها را شامل نمی‌شود. در سال ۲۰۲۱، هند با بیش از ۶۴۷ میلیارد مترمکعب در سال، بزرگ‌ترین برداشت آب شیرین را داشته و پس‌ازآن چین با بیش از ۵۶۹ میلیارد مترمکعب و ایالات‌متحده با حدود ۴۴۴ میلیارد مترمکعب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. بر اساس این گزارش، میزان برداشت از منابع آب شیرین در کشور ایران از حدود ۴۵ میلیارد مترمکعب در سال ۱۹۷۵ میلادی به حدود ۹۳ میلیارد مترمکعب در سال ۲۰۲۱ افزایش‌یافته است. این میزان حدود ۳۰ درصد برداشت از منابع آب شیرین غرب آسیا و شمال آفریقا (معادل ۳۰۷/۵ میلیارد مترمکعب) است.

[1] Organisation for Economic Co-operation and Development



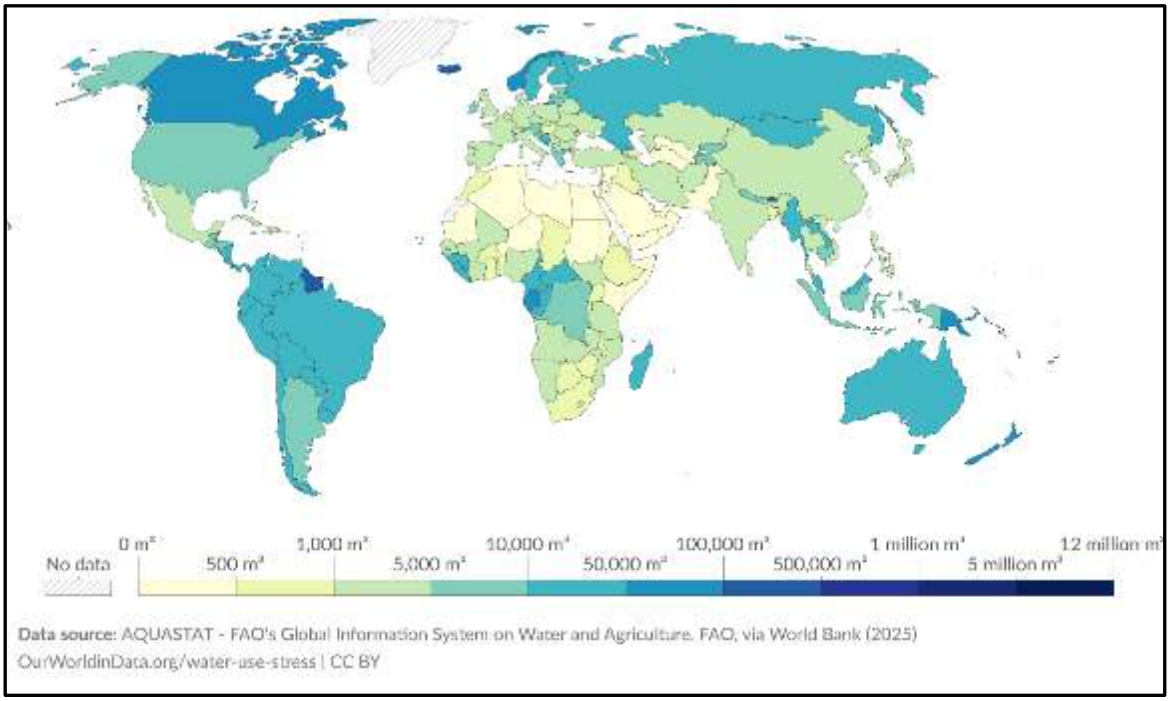
شکل ٦- مقایسه حجم برداشت سالانه از منابع آب شیرین کشورهای جهان در سال ۲۰۲۱ به نقل از بانک جهانی (برحسب مترمکعب در سال)

شکل ۷ سرانه (حجم تقسیم بر جمعیت) برداشت سالانه از منابع آب کشورها برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی را تا سال ۲۰۱۰ به نقل از فائو (بر حسب متر مکعب به ازای هر نفر در سال) نشان می‌دهد. میزان سرانه برداشت سالانه از منابع آب شیرین در کشور ایران در سال ۲۰۱۰، حدود ۱۳۰۱ مترمکعب به ازای هر نفر است. طی این سال، کمترین و بیشترین میزان سرانه برداشت از منابع آب شیرین مربوط به کشورهای کنگو و ایسلند و به ترتیب معادل ۱۱/۴ و ۵۷۵۳ مترمکعب به ازای هر نفر، گزارش‌شده است.



شکل ۷- مقایسه سرانه برداشت سالانه از منابع آب کشورهای جهان در سال ۲۰۱۰ به نقل از بانک جهانی (بر حسب مترمکعب به ازای هر نفر در سال)

برای حفظ پایداری منابع آب، برداشت آب از منابع آب شیرین باید کمتر از میزان تجدیدپذیری آب شیرین باشد. «جریان‌های آب شیرین داخلی تجدیدپذیر» به منابع تجدیدپذیر داخلی (جریان‌های رودخانه‌های داخلی و آب‌های زیرزمینی حاصل از بارندگی) در پهنه کشور اطلاق می‌شود؛ بنابراین جریان‌های داخلی تجدیدپذیر یک شاخص مهم برای امنیت یا کمبود آب هستند. اگر میزان برداشت از منابع آب شیرین از آب‌های تجدیدپذیر فراتر رود، منابع شروع به کاهش می‌کنند. شکل (۸) سرانه منابع آب شیرین داخلی تجدیدپذیر داخلی در کشورهای مختلف را طی سال ۲۰۲۱ و به نقل از بانک جهانی مقایسه می‌نماید. سرانه منابع آب شیرین داخلی تجدیدپذیر داخلی بر حسب متر مکعب به ازای هر نفر در سال اندازه‌گیری می‌شود. از این شکل، عدم توزیع متناسب منابع آب تجدیدپذیر در سطح دنیا مشاهده می‌شود. سرانه منابع آب تجدیدپذیر به دو عامل بستگی دارد: مقدار کل جریان‌های تجدیدپذیر و جمعیت. اگر منابع آب تجدیدپذیر کاهش یابد، سرانه برداشت آب تجدیدپذیر نیز کاهش می‌یابد. همچنین اگر کل منابع تجدیدپذیر ثابت بماند، در صورت افزایش جمعیت یک کشور، سرانه می‌تواند کاهش یابد. طی سال ۲۰۲۱، کمترین و بیشترین میزان سرانه آب تجدیدپذیر داخلی مربوط به کشورهای بحرین و ایسلند به ترتیب معادل ۲/۷ و ۴۵۶۳۵۱ مترمکعب به ازای هر نفر در سال است. بر اساس این گزارش میانگین سرانه منابع آب تجدیدپذیر داخلی در جهان طی سال ۲۰۲۱ حدود ۵۴۳۰ مترمکعب به ازای هر نفر می‌باشد. این رقم برای کشورهای برزیل، آمریکا، چین، هند، پاکستان و مصر به‌ترتیب حدود ۲۷۰۱۵، ۸۴۸۵، ۱۹۹۲، ۱۰۲۳ و ۹ مترمکعب به ازای هر نفر می‌باشد (شکل ۸).



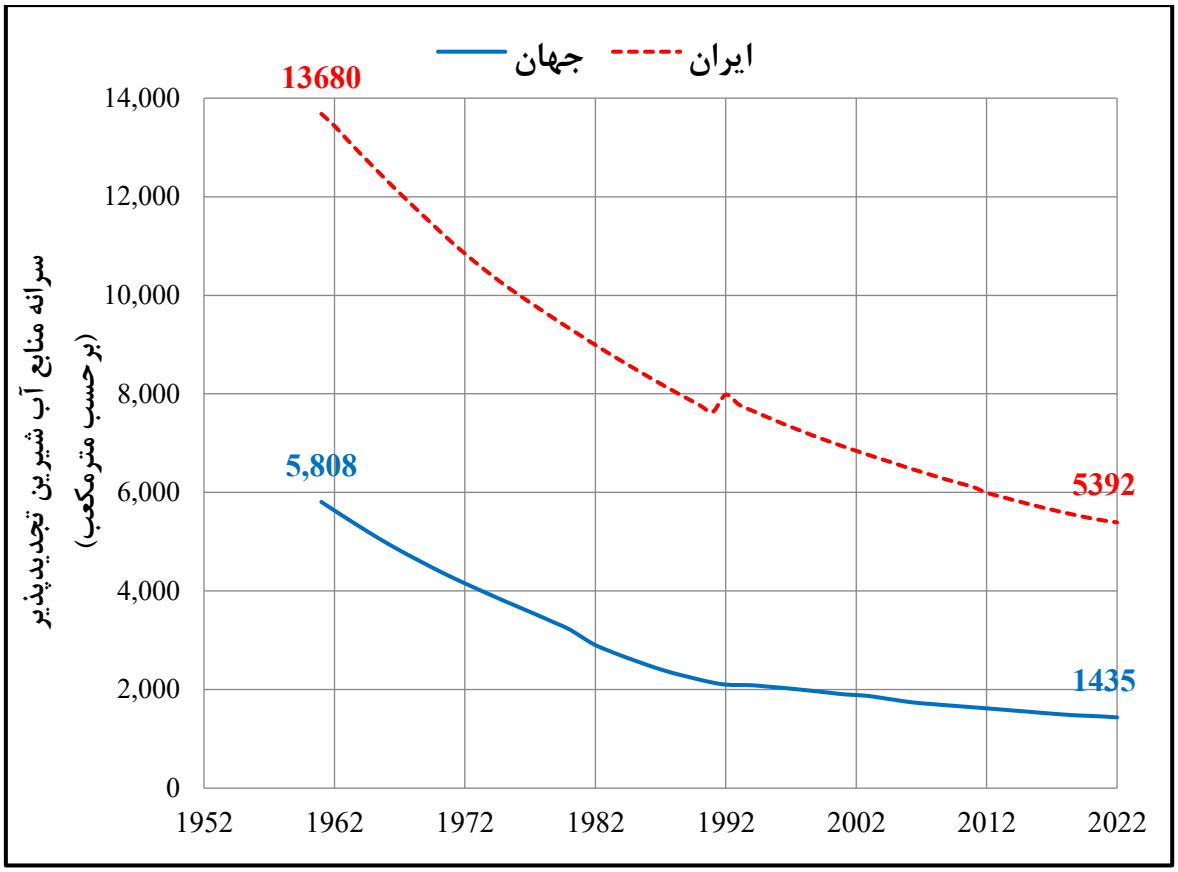
شکل ۸- مقایسه سرانه آب تجدیدپذیر داخلی کشورهای جهان در سال ۲۰۲۱ به نقل از بانک جهانی (بر حسب مترمکعب به ازای هر نفر در سال)

توزیع مکانی و زمانی منابع آب تجدیدشـونده بسـیار متغیر اسـت و متناسـب با میزان نیازهای بشـری و توزیع جمعیت نیست. به‌عنوان‌مثال، حوضه آبریز رودخانه آمازون ۲۰ درصد حجم بارش سالانه جهان را دریافت می‌کند که فقط ۴ درصد جمعیت جهان در این حوضه ساکن می‌باشند. همچنین قاره آسیا که ۶۰ درصد جمعیت جهان در آن ساکن است، حدود ۳۶ درصد منابع آب تجدیدشونده جهان را دریافت می‌کند.

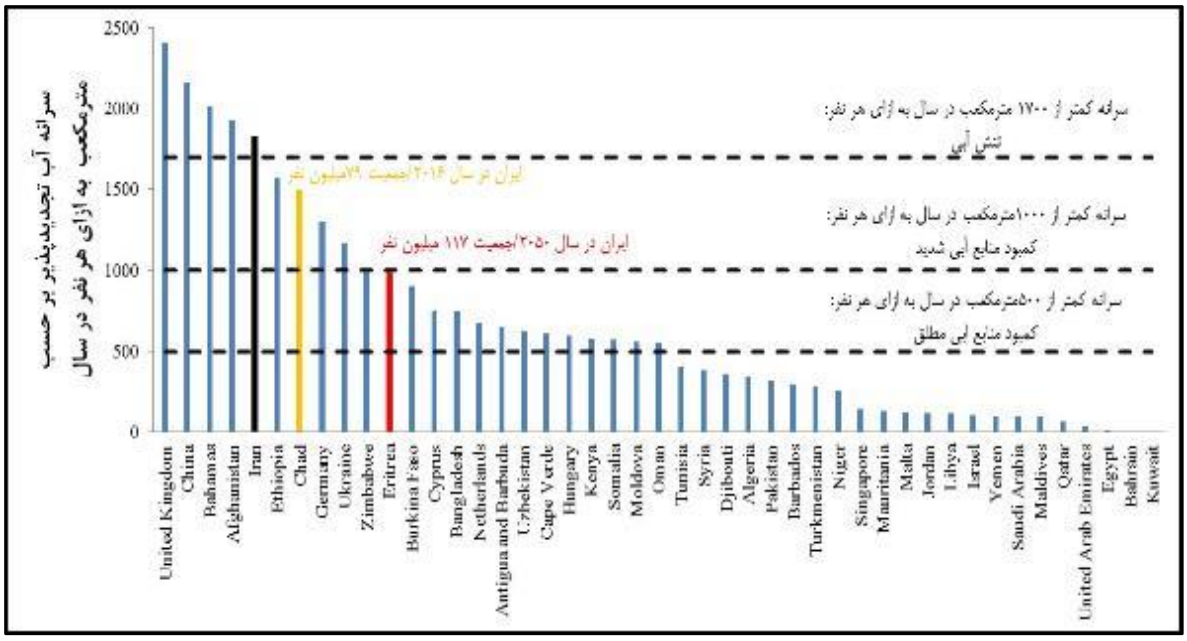
توزیع نامتوازن منابع آب و ریزش‌های جوی سبب شده که سرانه آب تجدیدپذیر در نقاط مختلف جهان بسیار متفاوت باشـد. بر اسـاس آمار بانک جهانی، طی سـال ۲۰۲۱ حجم کل آب‌های تجدیدپذیر جهان، حدود ۴۲۸۰۹ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود. ازنظر حجم بیشترین میزان حجم آب تجدیدپذیر دنیا مربوط به کشورهای برزیل، روسـیه، کانادا، آمریکا و چین به‌ترتیب در حدود ۵۶۶۱، ۴۳۱۲، ۲۸۵۰، ۲۸۱۸ و ۲۸۱۳ میلیارد مترمکعب اسـت. در مقایسه با ۱۸۴ کشور دارای آمار، ایران با حدود ۱۲۸ میلیارد مترمکعب آب تجدیدپذیر در رتبه ۴۹ قرار دارد.

شـکل ۹، تغییرات سـرانه منابع آب تجدیدپذیر داخلی کشـور ایران را طی سـال‌های ۲۰۲۲-۱۹۶۱ با متوسـط جهانی، مقایسه می‌نماید. ملاحظه می‌شود سرانه منابع آب تجدیدپذیر داخلی کشور ایران از حدود ۵۸۰۸ مترمکعب در سـال ۱۹۶۱ به حدود ۱۴۳۵ مترمکعب در سـال ۲۰۲۲ و به میزان ۷۵ درصـد کاهش‌یافته اسـت. طی این مدت، متوسط جهانی سرانه منابع آب تجدیدپذیر، حدود ۶۰ درصد کاهش‌یافته است. جالب‌توجه است که نسبت سرانه منابع آب تجدیدپذیر داخلی ایران به متوسـط جهانی از حدود ۰/۴۲ در سـال ۱۹۶۱ به حدود ۰/۲۷ در سـال ۲۰۲۲ کاهش‌یافته اسـت. بر اسـاس اطلاعات بانک جهانی، طی سـال ۲۰۲۲ ایران ازنظر سـرانه منابع آب تجدیدپذیر و در مقایسه با ۱۹۶ کشور، رتبه ۱۲۴ را داراست. بااین‌حال شکل (۸)، نشان می‌دهد در مقایسه با غرب آسیا (خاورمیانه، شمال آفریقا، افغانستان و پاکستان) با متوسط سرانه آب تجدیدپذیر در حدود ۴۳۳ مترمکعب در سال، ایران پس از ترکیه با سرانه آب تجدیدپذیر ۲۶۹۷ مترمکعب در سال، بیشترین سرانه آب تجدیدپذیر را داراست.

بر مبنای شاخص‌های موجود ازجمله شاخص فالکن مارک، مناطق دارای سرانه آب تجدیدپذیر کمتر از ۱۷۰۰ مترمکعب در سال جزء مناطق با تنش آبی تلقی می‌گردند. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد با توجه به رشد جمعیتی کشور و همچنین روند کاهش منابع آب تجدیدپذیر کشـور، سـرانه منابع آب تجدیدپذیر آتی به کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب کاهش‌یافته و کشور وارد دوره کمبود آبی شود (شکل ۱۰)، (رجبی و همکاران، ۱۳۹۴). برآوردها نشان می‌دهد تا سـال ۲۰۲۵ میلادی در ۴۸ کشـور جهان با جمعیت حدود ۲/۸ میلیارد نفر و در سـال ۲۰۵۰ میلادی در ۵۴ کشـور با جمعیت حدود ۴ میلیارد نفر، سرانه آب تجدیدپذیر به کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب در سال خواهد رسید که بیشتر این کشورها در منطقه آسیا و آفریقا قرار دارند (فائو، ۲۰۱۵).



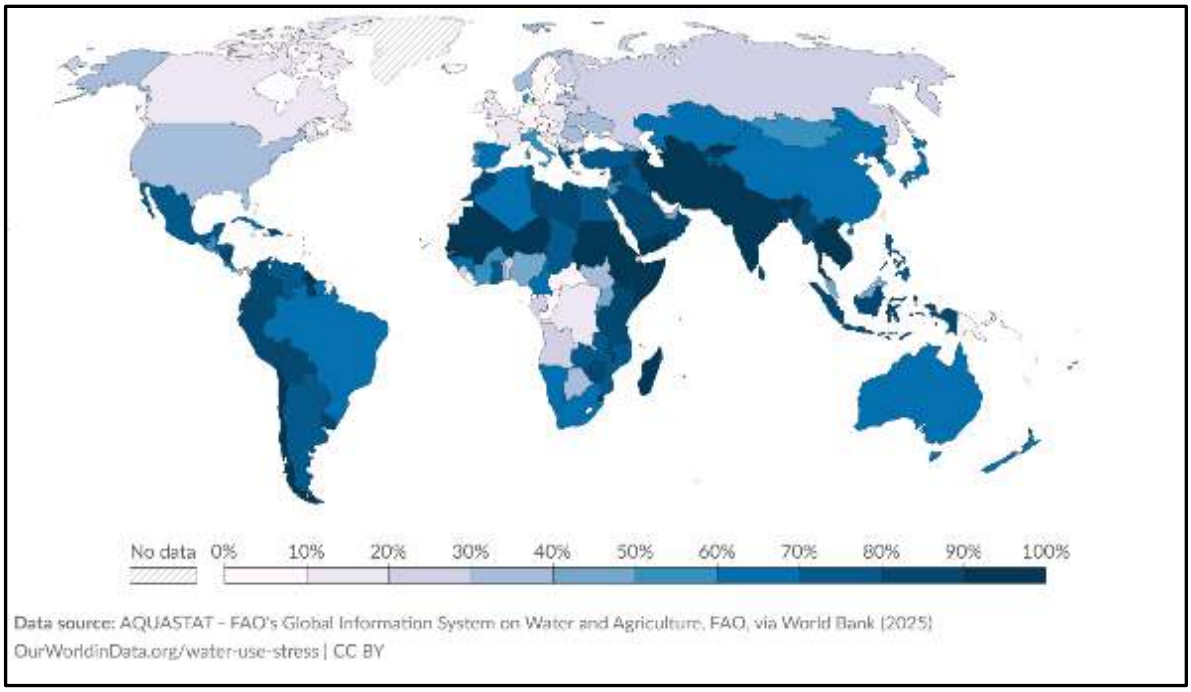
شکل ۹- سرانه آب تجدیدپذیر داخلی کشور ایران و متوسط جهانی به نقل از بانک جهانی



شکل ۱۰- روند کاهش تاریخی سرانه آب تجدیدپذیر کشور ایران با رشد جمعیت

بر اساس گزارش بانک جهانی، در سال ۲۰۱۵، هند و چین بیشترین مصرف‌کنندگان آب کشاورزی و به ترتیب معادل ۶۸۸ و ۳۸۸ میلیارد مترمکعب در سال است. شکل ۱۱ درصد برداشت آب کشاورزی از کل برداشت

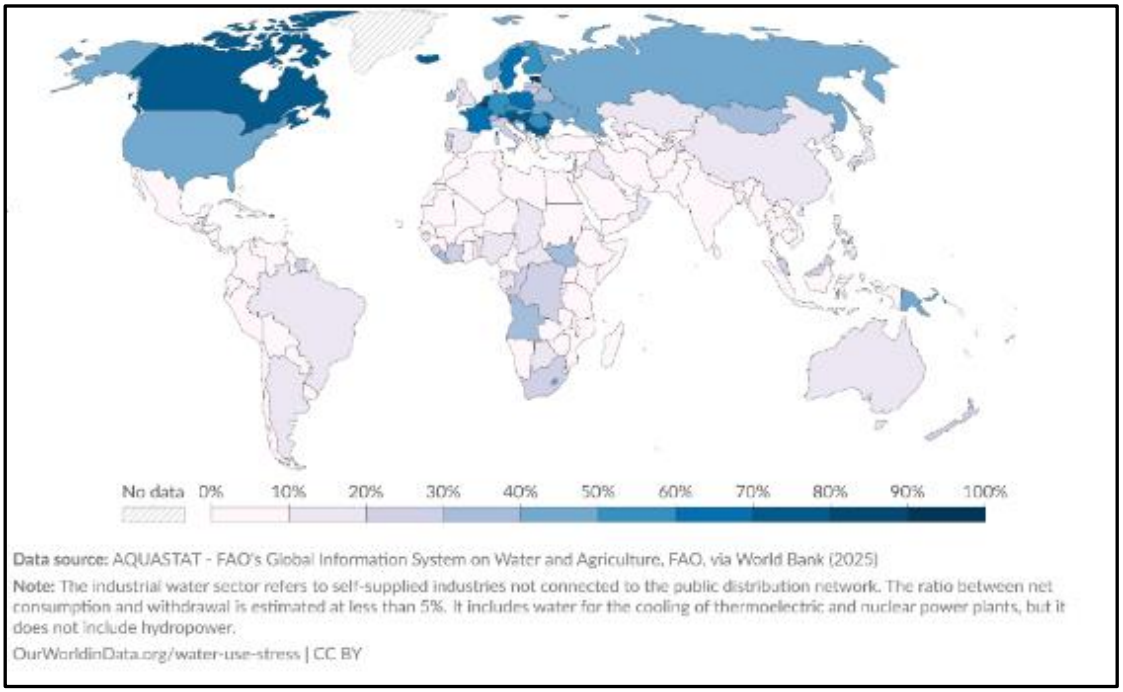
آب (مجموع آب برداشت‌شده برای کشاورزی، صنعت و خانگی) در سال ۲۰۲۱ به تفکیک کشورها نشان می‌دهد. آب کشاورزی به‌عنوان مقدار سالیانه آبی که برای اهداف آبیاری، دامداری و آبزی‌پروری برداشت می‌شود، تعریف می‌شود. در مقیاس جهانی، حدود ۷۲ درصد از برداشت‌های آب شیرین، برای اهداف کشاورزی برداشت می‌شود. از شکل (۱۱) ملاحظه می‌شود میانگین برداشت آب کشاورزی برای کشورهای کم‌درآمد حدود ۹۱ درصد، ۷۲ درصد برای مناطق با درآمد متوسط رو به بالا، ۸۹ درصد برای مناطق با درآمد متوسط رو به پایین و حدود ۴۳ درصد برای کشورها با درآمد بالا، برآورد می‌شود. تعدادی از کشورها در محدوده جنوب آسیا، آفریقا و آمریکای لاتین بیش از ۹۰ درصد از برداشت آب را برای کشاورزی استفاده می‌کنند. این گزارش، درصد برداشت آب کشاورزی در کشور ایران را حدود ۹۲/۲ درصد طی سال ۲۰۲۱، عنوان می‌نماید. بیشترین سهم برداشت آب کشاورزی در سال ۲۰۲۱ مربوط به کشور سومالی و حدود ۹۹/۵ درصد است. کشورهای شمالی دنیا تمایل دارند از سهم بسیار کمتری از آب برای کشاورزی استفاده کنند. برای نمونه کشور صنعتی آلمان حدود ۴ درصد و کشورهای بلژیک و هلند حدود یک درصد کل برداشت آب را در بخش کشاورزی، استفاده می‌نمایند.



شکل ۱۱- درصد برداشت آب کشاورزی از کل برداشت آب کشورها طی سال ۲۰۲۱ به نقل از بانک جهانی

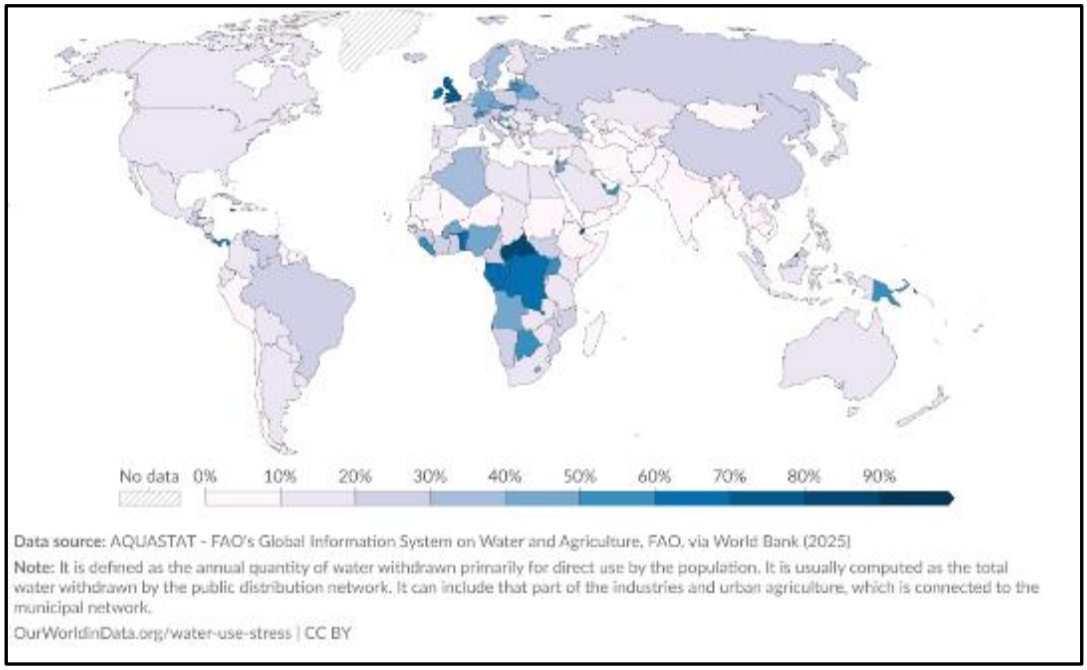
شکل ۱۲ درصد مصرف آب شیرین صنایع از کل برداشت آب شیرین و به تفکیک کشورها طی سال ۲۰۲۱ نشان می‌دهد. طی سال ۲۰۲۱ حدود ۱۵ درصد از کل برداشت آب شیرین جهان، برای اهداف صنعتی استفاده می‌شود. برخلاف توزیع جهانی مصرف آب کشاورزی، مصرف آب صنعت در کشورهای با درآمد بالا غالب است

و سهم آن در کشورهای کم‌درآمد، اندک است. استونی با ۹۲ درصد، بیشترین درصد برداشت آب برای صنایع را داراست. سهم مصرف آب صنایع در کانادا حدود ۷۴ درصد، کشورهای آمریکای شمالی حدود ۴۹ درصد، در اتحادیه اروپا حدود ۴۴ درصد و در ایالات‌متحده حدود ۴۷ درصد است. ملاحظه می‌شود در سراسر صحرای آفریقا، درصد مصرف آب صنایع کمتر از ۲ درصد است. بر مبنای گزارش بانک جهانی، در کشور ایران حجم مصرف آب شیرین صنایع طی سال ۲۰۰۵ حدود ۱/۱ میلیارد مترمکعب و درصد مصرف آب شیرین صنایع در سال ۲۰۲۱ حدود ۱/۱۸ درصد است.



شکل ۱۲- درصد مصرف آب شیرین صنعت از کل برداشت آب طی سال ۲۰۲۱ به نقل از بانک جهانی

شکل ۱۳ درصد مصارف شرب و خانگی از کل برداشت‌های آب شیرین و به تفکیک کشورها در سال ۲۰۲۱ نشان می‌دهد. متوسط جهانی مصرف آب شرب و خانگی طی سال ۲۰۲۱ حدود ۱۳ درصد است. ملاحظه می‌شود اکثر کشورها کمتر از ۳۰ درصد از کل برداشت‌ها را برای اهداف شرب و خانگی استفاده می‌کنند. سهم استفاده از آب‌های شیرین برای مصارف شرب و خانگی برخی از کشورهای واقع در جنوب آفریقا (درنتیجه تقاضای کم برای مصارف کشاورزی و صنعتی)، قابل‌توجه است. همچنین سهم استفاده از آب‌های شیرین در مصارف شرب و خانگی در برخی از کشورهای اروپایی با بارندگی بالا غالب است؛ مانند بریتانیا (۷۴ درصد) و ایرلند (۶۴ درصد) که در آن‌ها تولیدات کشاورزی عمدتاً دیم است و بازده صنعتی نیز کمتر است. بر مبنای گزارش بانک جهانی، در کشور ایران حجم مصرف آب شیرین برای اهداف شرب و خانگی در سال ۲۰۰۵ حدود ۶/۲ میلیارد مترمکعب و درصد این مصارف طی سال ۲۰۲۱ حدود ۶/۶۵ درصد است.



شکل ۱۳- درصد مصرف شرب و خانگی از کل برداشت آب طی سال ۲۰۲۱ به نقل از بانک جهانی

با افزایش جمعیت جهان (افزایش تقاضای کشاورزی، صنعتی و شرب برای آب)، تنش آبی[1] و کمبود منابع آب یک نگرانی رایج است. تنش آبی بر اساس نسبت برداشت از منابع آب شیرین موجود به منابع آب شیرین تجدیدپذیر تعریف می‌شود. تنش آبی به این معنا نیست که کشوری دچار کمبود آب است؛ لیکن نشان می‌دهد که مصارف آب یک منطقه چقدر ممکن است به فراتر رفتن از منابع آب تجدیدپذیر نزدیک باشد. اگر برداشت آب از منابع موجود فراتر رود (بیش از ۱۰۰ درصد)، در این صورت یک کشور یا در حال استخراج فراتر از سرعتی است که می‌توان سفره‌های زیرزمینی را دوباره پر کرد و یا سطح شیرین سازی آب بسیار بالایی دارد (شیرین سازی آب شور دریا با استفاده از فرایندهای اسمز).

تنش آبی بر مبنای مقایسه میزان برداشت منابع آب شیرین با منابع آب‌های شیرین داخلی تجدیدپذیر اندازه‌گیری می‌شود. منابع آب‌های شیرین داخلی تجدیدپذیر به آب‌های شیرین داخلی برابر است با جریان‌های سالانه سطحی و زیرزمینی که منشأ آن نزولات جوی همان کشور است. فائو (۲۰۲۱) تنش آبی را به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌نماید:

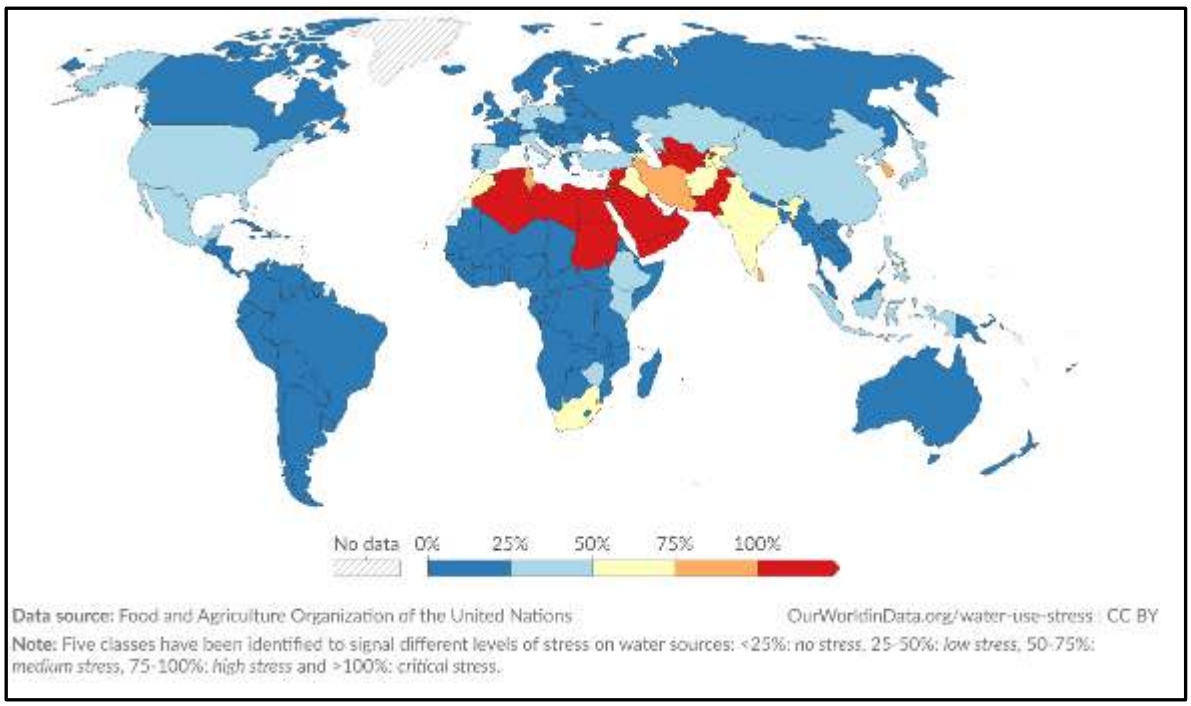
- اگر برداشت کمتر از ۲۵ درصد منابع باشد، تنش آبی وجود ندارد.
- اگر برداشت حدود ۵۰-۲۰ درصد منابع باشد، تنشی آبی اندک است.

[1] Water stress

- اگر برداشت حدود ۷۵-۵۰ درصد منابع باشد، تنشی آبی متوسط است.
- اگر برداشت حدود ۱۰۰-۷۵ درصد منابع باشد، تنشی آبی بالا است.
- اگر برداشت بیشتر از ۱۰۰ درصد منابع باشد، تنشی آبی بحرانی است.

شکل ۱۴ طبقه‌بندی وضعیت تنش آبی در سال ۲۰۲۲ به نقل از بانک جهانی را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود عمده کشورهای واقع در غرب آسیا، شمال آفریقا و جنوب آسیا دارای سطوح بسیار بالایی از تنش آبی هستند. کویت، امارات متحده عربی، عربستان صعودی، لیبی، قطر، یمن، الجزایر، مصر، ترکمنستان، بحرین، اسرائیل، سوریه، ازبکستان، سودان، عمان، پاکستان و اردن بیش از ۱۰۰ درصد منابع آب‌های شیرین داخلی تجدیدپذیر خود را برداشت می‌نمایند. این کشورها یا به‌طور ناپایدار از منابع آبخوان موجود استخراج می‌کنند یا سهم زیادی از آب موردنیاز را از شیرین سازی آب دریا تأمین می‌نمایند.

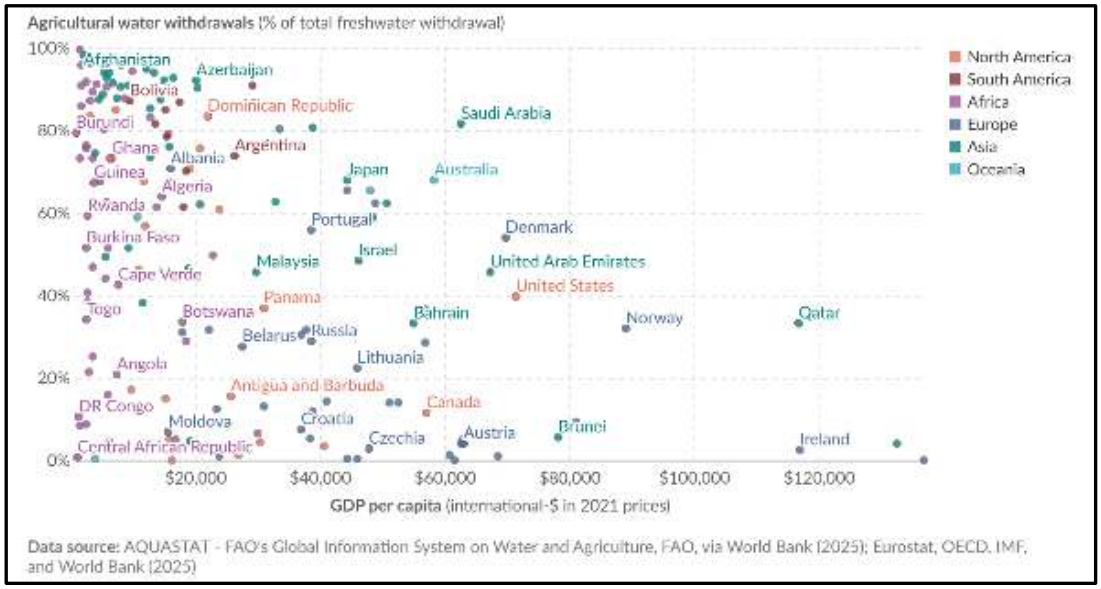
اکثر کشورهای آسیای جنوبی با تنش آبی بالا مواجه هستند. تنش آبی متوسط به بالا در سراسر آسیای شرقی، ایالات‌متحده و بسیاری از جنوب و شرق اروپا برقرار است. شمال اروپا، کانادا، بیشتر آمریکای لاتین، جنوب صحرای آفریقا و اقیانوسیه نیز در شرایط تنش آبی کم یا کم تا متوسط قرار دارند. براین‌اساس و تا سال ۲۰۲۰، ایران ۸۱/۳ درصد منابع آب‌های شیرین تجدیدپذیر داخلی خود را مصرف نموده و از این منظر تحت شرایط تنش آبی بالا قرار دارد.



شکل ١٤- طبقه‌بندی تنش آبی بر مبنای میزان برداشت آب‌های شیرین نسبت به منابع آب‌های تجدیدپذیر داخلی در سال ۲۰۲۲ و به نقل از بانک جهانی

گروه توسعه پایدار سازمان ملل از معیار دیگری موسوم به شاخص سازمان ملل[1] در تعیین شرایط تنش آبی استفاده کرده است. بر اساس این شاخص، هرگاه میزان برداشت آب یک کشور از ۴۰ درصد منابع آب تجدیدپذیر آن بیشتر باشد، این کشور با بحران شدید آبی مواجه است و اگر این شاخص در محدوده ۴۰-۲۰ درصد باشد بحران در وضعیت متوسط، شاخص در محدوده ۲۰-۱۰ درصد بحران در وضعیت متعادل و به ازای شاخص کمتر از ۱۰ درصد، بدون بحران یا بحران آبی کم وجود دارد. بر اساس آمار پیش مطرح‌شده فائو، در سال ۲۰۰۵ سرانه مصرف آب‌های شیرین و سرانه آب تجدیدپذیر داخلی کشور به ترتیب در حدود ۱۳۰۱ و ۱۸۳۱ مترمکعب است. درنتیجه شاخص فوق حدود ۷۱ درصد و کشور در شرایط بحران آبی شدید قرار دارد.

شکل ۱۵ سرانه تولید ناخالص داخلی (GDP) کشورها در مقابل سهم برداشت آب کشاورزی از کل برداشت آب کشورها را در سال ۲۰۲۱ نشان می‌دهد. به‌طورکلی، یک همبستگی منفی بین نسبت برداشت آب کشاورزی و سرانه تولید ناخالص داخلی وجود دارد. این موضوع به‌شدت در ساختار اقتصادی کشورها پیوند دارد. در کشورهایی با درآمد پایین‌تر، کشاورزی سهم بیشتری از کل تولید ناخالص داخلی و سهم بیشتری از اشتغال کشاورزی را تشکیل می‌دهد. بر اساس شکل (۱۵) کشور ایران با مصرف بیشترین سهم از آب تجدیدپذیر در بخش کشاورزی، دارای سرانه تولید ناخالص داخلی ۱۴۹۵۲ دلار طی سال ۲۰۲۱ است. بیشترین سرانه تولید ناخالص داخلی در سال ۲۰۲۱ مربوط به کشور سنگاپور و معادل ۱۳۲۶۱۷ دلار است که تنها حدود ۴ درصد مصرف آب این کشور در بخش کشاورزی است.



شکل ۱۵- سرانه تولید ناخالص داخلی برحسب دلار در مقابل درصد مصارف آب کشاورزی از کل برداشت‌های منابع آبی طی سال ۲۰۲۱ و به نقل از بانک جهانی

[1] Index of United Nation

جدول ۳، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب در کشور ایران با متوسط جهانی و کشورها با سطوح درآمدی مختلف را نشان می‌دهد. بر اساس تعریف بانک جهانی، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب نشان می‌دهد به ازای هر مترمکعب آب، چند واحد تولید ناخالص داخلی به‌دست‌آمده است. شاخص بهره‌وری آب ایران در سال ۲۰۱۱ حدود ۲/۷ دلار به ازای هر مترمکعب آب مصرفی است که بسیار کمتر از متوسط جهانی (۱۳/۷ دلار) و در حدود کشورهای با درآمد پایین است.

جدول ۳- شاخص بهره‌وری آب

(تولید ناخالص داخلی به ازای یک مترمکعب آب مصرفی به دلار سال ۲۰۰۵)-به نقل از بانک جهانی

نام کشور	۱۹۹۷	۲۰۰۲	۲۰۰۷	۲۰۱۱
ایران	۱/۶	۱/۸	۲/۳	۲/۷
کشورها با درآمد پایین	۱/۴	۱/۲	۱/۶	۲/۱
کشورها با درآمد متوسط	۲/۹	۳/۰	۴/۰	۴/۷
کشورها با درآمد بالا	۲۹/۸	۳۳/۴	۳۸/۶	۳۹/۱
متوسط جهانی	۱۱/۶	۱۱/۹	۱۳/۵	۱۳/۷

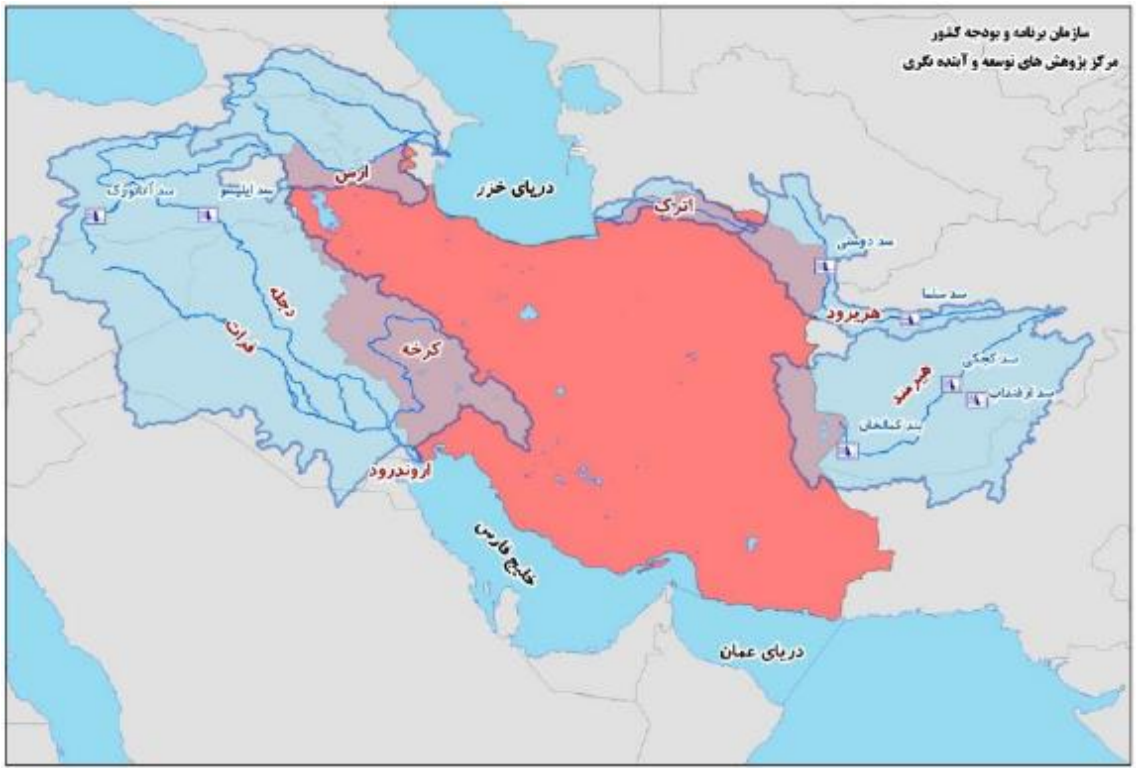
۳-٤- منابع آب‌های مرزی کشور

بر اساس نتایج بیلان عمومی آب (دوره بیست‌ساله ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷)، حجم جریان سطحی ورودی و انتقالی به کشور معادل ۳/۲ میلیارد مترمکعب است. حجم آب‌های سطحی خروجی و انتقالی از کشور نیز حدود ۲۹/۵ میلیارد مترمکعب است. از این مقدار، حجم جریان سطحی خروجی از حوضه‌های آبریز دریای خزر، خلیج‌فارس و دریای عمان، دریاچه ارومیه، مرزی شرق و قره‌قوم به ترتیب در حدود ۱۱/۷۱۸، ۱۷/۶۳۱، ۰/۰۱۷، ۰/۰۰۰ و ۰/۱۰۱ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود (بی‌نام ۱، ۱۴۰۴). حجم آب‌های سطحی خروجی از مرزهای خشکی کشور نیز ۹/۰۸ میلیارد مترمکعب است و حجم آب‌های زیرزمینی خروجی از مرزهای خشکی نیز حدود ۰/۲۲ میلیارد مترمکعب برآورد شده است. در دوره‌های خشک‌سالی نیز میزان کل حجم جریان ورودی به کشور و خروجی از کشور به ترتیب حدود ۲/۹ و ۱۶ میلیارد مترمکعب، برآورد می‌شود (صلوی تبار، ۱۴۰۰).

کشور ایران دارای حدود ۸۷۵۵ کیلومتر مرز است. نزدیک به ۲۲ درصد از مرز مشترک کشور را ۲۶ رودخانه کوچک و بزرگ تشکیل می‌دهد. بزرگ‌ترین مرز رودخانه‌ای مربوط به رودخانه ارس به طول ۴۷۵ کیلومتر و کوچک‌ترین مرز رودخانه‌ای مربوط به رودخانه دویرج به طول تنها ۲/۵ کیلومتر است.

ورود جریان‌های سطحی به داخل کشور و خروج جریان‌های سطحی از کشور در پهنه رودخانه‌های مرزی انجام می‌شود. مهم‌ترین رودخانه‌های مرزی ورودی به کشور شامل رودخانه‌های هیرمند، هریرود، ساری‌سو، قره‌سو و ارس و مهم‌ترین رودخانه‌های خروجی از کشور نیز شامل شاخه رودخانه‌های شمال استان خراسان رضوی، اترک، آستارا چای و رودخانه‌های مرزی غرب کشور (زاب، سیروان، میمه، دویرج، کنگیر و...) است.

شکل ۱۶، حوضه‌های آبریز مشترک مرزی ایران را با کشورهای همسایه نشان می‌دهد که شامل ۵ حوضه آبریز دجله-فرات-اروندرود، کورا-ارس، اترک، هیرمند و هریرود است.



شکل ۱۶- حوضه‌های آبریز مشترک ایران با کشورهای همسایه و رودخانه‌های اصلی این حوضه‌ها (بی‌نام ۱، ۱۳۹۷)

زیر حوضه آبریز دجله با چهار کشور ترکیه، ایران، عراق و سوریه مشترک است. تاکنون سدهای متعددی بر روی این زیر حوضه احداث گردیده که مجموع ظرفیت آن‌ها بالغبر ۱۱۶ میلیارد مترمکعب است. علاوه بر آن، کشور ترکیه با شروع پروژه گاپ قصد ساختن ۸ سد در این زیر حوضه را داشته که مهم‌ترین آن سد ایلیسو با ظرفیت مخزن بیش از ۱۰ میلیارد مترمکعب است. اگرچه کشور ایران سهم قابل‌توجهی از منابع آب دجله و فرات ندارد، مهار آب‌های دجله و فرات با اجرای پروژه فوق، آثاری منفی بر کشور ایران داشته که از آن جمله می‌توان به افزایش ریز گرد، تغییر اقلیم منطقه، تهدید اکوسیستم خلیج‌فارس، سیل مهاجرت به داخل کشور و مسائل اجتماعی و امنیتی برای کشور و کاهش کیفیت آب اشاره کرد.

حوضه آبریز هیرمند یک حوضه بسته است که بخش‌های کوچکی از جنوب شرق ایران را دربرگرفته و آورد این رودخانه درنهایت تالاب‌های هامون را تغذیه می‌نماید. تاکنون ۱۹ سد و ۳۴ بند انحرافی در این حوضه در کشور افغانستان بناشده و ساخت ۳۵ سد دیگر نیز در حال مطالعه است. حقابه ایران بر اساس معاهده ۱۳۵۱ در یک سال نرمال حدود ۸۲۰ میلیون مترمکعب است که با آبگیری بند انحرافی کمال‌خان طی سال‌های اخیر، دریافت آن با چالش‌های جدی مواجه گردیده است. علاوه بر ساخت سدهای متعدد در حوضه هیرمند و توسعه کشاورزی، احداث کانال‌های آبیاری به عرض ۴-۳ متر بر روی خط مرزی ایران و افغانستان در قالب طرح انسداد مرزی مانع از ورود آب به خاک ایران از منشا رودهای فراه و هاروت در شمال تالاب‌های هامون می‌گردد. این موضوعات آثاری منفی در محدوده جنوب شرق ایران به دنبال داشته که از آن جمله می‌توان به خشک شدن تالاب بین‌المللی هامون، تشدید وقوع ریزگردها، افزایش تعداد طوفان‌های گرد و غبار، افزایش تعداد ساعات گردو غبار به ۸۸ ساعت در سال، تغییر اقلیم منطقه شامل دو درجه افزایش دما و افزایش ۳۰۰ میلیمتر تبخیر در زمان خشکسالی، افزایش سرعت و مدت بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، بیابان‌زایی و حرکت ماسه‌های روان، خالی شدن مرز و تهدید امنیت ملی کشور، تشدید مهاجرت، حاشیه‌نشینی، تشدید فقر سیستان، اشاره کرد (بی‌نام ۱، ۱۳۹۷).

حوضه آبریز هریرود بین سه کشور افغانستان، ترکمنستان و ایران مشترک است. پس از ساخت سد دوستی در مرز مشترک ایران و ترکمنستان، سد سلما با ظرفیت ۶۴۰ میلیون مترمکعب در بالادست سد دوستی توسط افغانستان ساخته‌شده و ساخت سه سد دیگر با ظرفیت هر یک در حدود ۲۰۰ میلیون مترمکعب در دستور کار این کشور است. با اجرایی شدن این سدها، ورودی سد دوستی به‌عنوان منبع اصلی تأمین آب شرب شمال شرق کشور و شهر مشهد تحت تأثیر قرار خواهد گرفت.کاهش حقابه کشاورزان دشت سرخس و تهدید معیشت ساکنین مرزی، خالی شدن مرز از سکنه و مهاجرت به سایر نقاط شهری از جمله دیگر آثار منفی کاهش حقابه ایران در حوضه آبریز هریرود است (بی‌نام ۱، ۱۳۹۷).

حوضه آبریز اترک یکی دیگر از حوضه‌های مشترک مرزی ایران و ترکمنستان است که حدود ۷۹ درصد از مساحت آن در خاک ایران واقع‌شده است. کاهش کمیت و کیفیت منابع آب، کاهش حدود ۸۰ درصد متوسط آبدهی رودخانه اترک خارجی (سومبار) نسبت به میانگین ۵۰ ساله، آلودگی ناشی از تزریق زهاب‌های کشاورزی و ایجاد کانون‌های ریز گرد متعدد در کشور ترکمنستان در شمال غرب کشور، ازجمله آثار منفی محیط‌زیستی در این حوضه آبریز محسوب می‌شود (بی‌نام ۱، ۱۳۹۷).

حوضه آبریز کورا-ارس بین کشورهای ترکیه، ایران، ارمنستان، جمهوری آذربایجان و گرجستان مشترک است که حدود ۲۳ درصد مساحت آن در کشور ایران قرار دارد. مجموع ظرفیت سدهای ساخته‌شده در این حوضه آبریز بالغبر ۲۵ میلیارد مترمکعب است. مداخلات انسانی در سرشاخه‌های کورا و ارس سبب کاهش جریان ورودی

به دریای خزر از این رودخانه‌ها و به ترتیب به میزان ۴۰ و ۲۷ درصد شده است. آلودگی رودخانه ارس بخصوص متأثر از فعالیت‌های صنعتی کشور ارمنستان، تغییر مسیر رودخانه، تهدید حیات اقتصادی دشت مغان، از چالش‌های این حوضه آبریز است (بی‌نام ۱، ۱۳۹۷).

۳-۵- منابع آب‌های نامتعارف کشور

آب‌های نامتعارف: منابع آبی نامتعارف به آن دسته از آب‌هایی اطلاق می‌شود که از آن‌ها به‌صورت معمول نمی‌توان استفاده کرد و برای به‌کارگیری آن‌ها نیاز به اعمال سیاست‌های مدیریتی و حفاظتی ویژه است. به‌عبارت‌دیگر اصطلاح آب‌های نامتعارف برای منابعی از آب به کار می‌رود که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نامعلومی داشته یا به‌گونه‌ای نامعلوم به‌دست‌آمده و قابلیت‌های بهره‌برداری از آن‌ها پیچیده‌تر از کاربرد منابع متعارف است. در اکثر کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان مثل ایران منابع آبی روزبه‌روز کمیاب‌تر شده؛ لذا استفاده از آب‌های نامتعارف ضروری است (فولادمند، ۱۳۸۸).

آب‌های نامتعارف را می‌توان به دو کلی گروه تقسیم کرد. گروه اول آب‌های هستند که دارای غلظت بالایی از مواد جامع محلول می‌باشند. آب دریا، فاضلاب ناشی از بعضی فرایندهای صنعتی، آب زهکشی شده از زمین‌های کشاورزی و برخی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی با شوری بالا در این گروه قرار می‌گیرند. این گروه از منابع آب‌های نامتعارف به دلیل هدایت الکتریکی بالا در صورت عدم استفاده از روش‌های نمک‌زدایی برای آبیاری (به‌جز برای گیاهان مقاوم به شوری)، مناسب نمی‌باشند و به‌مرورزمان سبب شوری خاک و از بین رفتن حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی می‌شوند. از این گروه از منابع آب نامتعارف بدون نمک‌زدایی می‌توان برای پرورش آبزیان و ایجاد برکه‌های تفریحی استفاده کرد. دومین گروه از منابع آب‌های نامتعارف دارای غلظت بالایی از مواد آلی، مواد غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و میکروارگانیسم‌ها هستند. فاضلاب‌های شهری و روستایی، فاضلاب خروجی از کارخانه‌های صنایع غذایی، در این گروه قرار می‌گیرند. مواد موجود در این منابع آب نامتعارف (به‌استثنای میکروارگانیسم‌های پاتوژن)، آلوده‌کننده خاک زمین‌های کشاورزی نبوده و درنتیجه در بسیاری از کشورهای مدیترانه‌ای استفاده از این گروه از منابع آب غیرمتعارف برای آبیاری زمین‌های کشاورزی، مناسب است.

مهم‌ترین موارد استفاده از آب‌های نامتعارف با توجه به مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها عبارت‌اند از:

- آبیاری مزارع کشاورزی با در نظر گرفتن حساسیت گیاهان به کیفیت آب.
- تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها مانند ترمیم آب زیرزمینی، کنترل تداخل آب شور و شیرین و کنترل نشت خاک.
- مصارف غیرشرب شهری مانند آبیاری فضای سبز، شستشو، آتش‌نشانی و...
- مصرف در صنعت مانند استفاده در سامانه خنک‌کننده، استفاده در فرایندها و آبیاری فضای سبز.

- مصارف تفریحی و محیط‌زیستی مانند دریاچه‌های مصنوعی و تفریحی، تنظیم حداقل جریان رودخانه‌ها، ماهیگیری، پرورش ماهی و ...

در یک تقسیم‌بندی دقیق‌تر نیز انواع آب‌های نامتعارف با توجه به کیفیت و منشأ تشکیل آن‌ها به ۵ گروه مختلف شامل؛ (۱) آب‌های شور و لب‌شور، (۲) آب‌های فسیلی، (۳) زهاب، (۴) پساب یا فاضلاب کشاورزی، صنعتی، خانگی و شهری، (۵) آب‌های حاصل از باروری ابرها تقسیم‌بندی می‌شوند (بی‌نام ۱، ۱۳۹۹).

۱) آب‌های شور و لب‌شور

آب‌های موجود در دریاها و اقیانوس‌ها حدود ۹۷ درصد از کل آب موجود در دنیا را تشکیل داده و حدود ۳۹ درصد از جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کنند که فاصله‌ای کمتر از ۱۰۰ کیلومتر تا دریا دارند. بااین‌حال آب اقیانوس‌ها و دریاها با دربرداشتن حدود ۳/۵ درصد وزنی املاح مختلف برای استفاده مستقیم در کاربردهای شرب، بهداشتی، کشاورزی و صنعتی مناسب نمی‌باشند. از سوی دیگر افت چشمگیر سطح آب سفره‌های زیرزمینی، شور شدن سطح سفره‌ها را نیز به همراه داشته است؛ به‌گونه‌ای که در بسیاری از نقاط علی‌الخصوص استان‌های مرکزی کشور آب بسیاری از چاه‌ها به دلیل شور شدن قابلیت استفاده ندارد. شوری آب در کشاورزی نه‌تنها خود کاهش شدید عملکرد محصول را به دنبال دارد بلکه به‌مرورزمان سبب سمیت گیاه، شور و سدیمی شدن خاک و از بین رفتن آن می‌شود. توجه به مشکلات موجود نشان می‌دهد که شوری‌زدایی آب امروز به‌عنوان یک ضرورت در کشاورزی کشور مطرح است. به‌طورکلی سه روش کلی برای شوری‌زدایی آب وجود دارد:

- روش گرمایی که در آن ابتدا آب شور به بخار تبدیل‌شده و سپس بخار توسط میعان به آب خالص تبدیل می‌شود.
- روش غشا (ممبران) که استفاده از ممبران‌ها سبب می‌شود تا آب و املاح از هم جدا شوند.
- روش شیمیایی که نسبت به دو روش قبل تنوع بسیار بیشتری دارد. ازجمله مهم‌ترین روش‌های شوری‌زدایی شیمیایی می‌توان به تبادل یون، استخراج مایع - مایع، رسوب‌زدایی و استخراج گاز- مایع اشاره کرد (آقاخانی و همکاران، ۱۳۹۲).

در حال حاضر اگرچه کاربرد آب‌شیرین‌کن‌ها برای مصارف شرب اجتناب‌ناپذیر بوده و در مورد صنعت در برخی موارد اجتناب‌ناپذیر و در برخی موارد دیگر توجیه اقتصادی دارد، لیکن در مورد کاربرد این سامانه‌ها در کشاورزی ملاحظات خاصی مانند توجیه اقتصادی و مشکلات جانبی ناشی از کاربرد آب‌شیرین‌کن باید موردتوجه قرار گیرد. آب‌های لب‌شور را می‌توان با استفاده از آبشویی خاک و زهکشی و کنترل شوری خاک در محیط ریشه تا حدودی برای کشاورزی استفاده کرد؛ اما در مناطقی که آب‌های شور تنها منبع مورداستفاده برای کشاورزی است

یک شوری‌زدایی اولیه موردنیاز است. در حال حاضر حدود ۶۰ درصد تأسیسات نمک‌زدایی آب‌ها در کشورهای غرب آسیا قرار داشته و کشورهای عربستان سعودی با حدود ۲۲/۴ درصد، امارات متحده عربی با ۲۰/۴ درصد، ایالات‌متحده آمریکا با ۱۲ درصد و کویت با ۸/۴ درصد بیشترین و بزرگ‌ترین ظرفیت نمک‌زدایی آب‌های شور در سطح دنیا را به خود اختصاص داده‌اند. حدود ۱۰۰ درصد آب موردنیاز برای صنعت و شرب در کشورهای قطر و کویت و ۴۰ درصد آب موردنیاز برای مصارف شرب و صنعت در کشورهای بحرین، عمان، عربستان و امارات توسط آب‌شیرین‌کن‌ها تولید می‌شود.

در کشور ایران، تعداد ۱۳۵ واحد آب‌شیرین‌کن در سطح شهرها و تعداد ۱۷ آب‌شیرین‌کن در سطح روستاها به ترتیب با ظرفیت ۴۹۹۹۶ و ۶۱۷۰ مترمکعب در روز به بهره‌برداری رسیده است. بر اساس یک روایت، حجم آب‌های شور و لب‌شور سطحی و زیرزمینی کشور به ترتیب حدود ۱۲ و ۱/۷ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود (یارقلی، ۱۳۹۷).

در بخش کشاورزی علی‌رغم محدودیت استفاده از آب‌شیرین‌کن‌ها، راهکارهای متفاوتی برای افزایش تولیدات کشاورزی با استفاده از آب‌های شور وجود دارد که ازجمله آن می‌توان کاشت گیاهان مقاوم به شوری، کاهش فاصلهٔ آبیاری به‌منظور جذب بهتر آب توسط گیاه، مصرف آب بیشتر به‌منظور آبشویی، استفاده از آبیاری قطره‌ای، افزایش راندمان کاربرد آب و تلفیق آب شور و شیرین به‌منظور کاهش غلظت نمک در آبیاری را اشاره کرد.

مهم‌ترین موارد کاربرد آب شور عبارت‌اند از (بخردی پور و قاسمیه، ۱۳۹۰):

- استفاده از آب شور برای ایجاد و تقویت مراتع و توسعهٔ گیاهان صنعتی و دارویی و غیره
- استفاده از آب شور برای حفاظت خاک و جلوگیری از پیشروی بیابان
- استفاده از آب شور برای پرورش ماهی
- استفاده از آب شور برای ایجاد جنگل

۲) آب‌های فسیلی

آب‌های فسیلی جزء آب‌های زیرزمینی هستند که در یک آبخوان محصور در عمق قابل‌توجه از سطح زمین قرار دارند و برای مدت طولانی محبوس می‌باشند. آب می‌تواند در آبخوان‌های فسیلی برای هزاران یا میلیون‌ها سال باقی بماند. مطابق این تعریف و به دلیل عدم امکان تغذیه مجدد این نوع آبخوان‌ها، آب‌های فسیلی جزو ذخایر آبی تجدید ناپذیر به شمار می‌آیند. منابع آب فسیلی، آب باقیمانده در منافذ سنگ‌های رسوبی بوده که در زمان تشکیل، در بین رسوبات دریایی بجای مانده‌اند. بهره‌برداری از این منابع آب به دلیل اینکه در اعماق زیاد قرار دارند، اقتصادی نیست. این منابع آب در چرخه آب مشارکت ندارند و یا بازه زمانی مشارکت آن‌ها خیلی زیاد است. این ذخایر به‌طور روزافزونی در مناطق خشک جهان در حال استخراج هستند. کشورهایی مانند لیبی و عربستان قسمتی از آب شرب، مصارف شهری و کشاورزی خود را از این منابع تأمین می‌کنند (بی‌نام، ۱۳۹۴).

آب‌های ژرف معمولاً داغ و دمایی بالاتر از ۶۵ درجه سانتی‌گراد دارند بنابراین این آب‌ها تا وقتی خنک نشوند امکان استفاده ندارد. همچنین آب‌های فسیلی، شور و حاوی مقداری زیادی املاح هستند بنابراین برای استفاده از آن‌ها، باید املاح زدایی شوند. یکی دیگر از مشکلات بر سر راه استفاده از آب‌های فسیلی این است که درصورتی‌که آب‌های فسیلی در لایه‌های آهکی قرار داشته باشند امکان بهره‌برداری و جابه‌جایی آن وجود دارد ولی اگر این آب‌ها در لایه ماسه‌سنگ‌ها قرارگرفته باشند امکان برداشت از آن‌ها بسیار سخت است. برداشت آب‌های فسیلی ممکن است مشکلاتی از قبیل تحمل فشار لایه‌های بالا، تخلیه آب‌ها و امکان نشست‌های زمینی و همچنین ایجاد زمین‌لرزه را باعث شود؛ بنابراین، برای برداشت از این آب‌ها باید کار تحقیقاتی و پژوهشی بیشتری انجام شود.

بحث آب ژرف در ایران در پی کشف تصادفی آب در عمق بیش از ۵۰۰ متر، هنگام حفاری‌های شرکت ملی فولاد ایران مطرح شد. عمق آب‌های ژرف در هر کشور متفاوت است. به‌عنوان‌مثال در کشور اندونزی، به دلیل بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی، چاه‌های ۱۵۰ متری آب ژرف محسوب می‌شوند. در عربستان و اردن: ۱۲۰۰ متر و در مصر، لیبی، الجزایر و تونس: ۸۰۰ تا ۱۶۰۰ متر.

آب فسیلی در سازندهای ضخیم ماسه‌سنگی دوران دوم (غیر سیمانی) در مناطق غیرفعال تکنو نیکی ایران وجود دارد. با توجه به شواهد علاوه بر مناطق زاگرس و البرز از ایران مرکزی، مناطقی چون طبس و یزد که سازندهای ماسه‌ای و به لحاظ تکنو نیکی غیرفعال دارند، به‌عنوان محتمل‌ترین مناطق وجود آب فسیلی در نظر گرفته می‌شوند (میرعربی و حسینی، ۱۳۹۰). طرح مطالعاتی منابع آب ژرف در دو منطقه زابل سیستان و بلوچستان و هزار مسجد خراسان شروع‌شده است. مطالعات آب ژرف سیستان با استحصال آب از عمق ۲۵۰۰ متری ادامه یافته است. بر اساس برآوردهای صورت‌گرفته، آب موجود در سفره‌های آب ژرف ایران بین ۵۰ تا ۶۰ هزار میلیارد مترمکعب است (کیخایی و عباسی، ۱۳۹۸).

جدول ۴، دوره تجدید و سرعت جریان در برخی از آبخوان‌های ژرف جهان را نشان می‌دهد. سرعت جریان کم، مسیر جریان طولانی و زمان ماندگاری طولانی، از مشخصه‌های اصلی این آبخوان‌هاست. همچنین جدول (۵)، ابعاد برخی از بزرگ‌ترین منابع آب ژرف جهان را ارائه می‌نماید. ملاحظه می‌شود مساحت این نوع آبخوان‌ها تا بیش از دو میلیون کیلومترمربع، ضخامت تا ۸۰۰۰ متر و حجم ذخیره آن‌ها تا حدود ۱۰۰۰۰ میلیارد مترمکعب گزارش‌شده است (بی‌نام ۲، ۱۳۹۷).

جدول ٤- دوره تجدید و سرعت جریان در برخی از آبخوان‌های ژرف جهان (بی‌نام ۲، ۱۳۹۷)

نام آبخوان ژرف	موقعیت جغرافیایی	متوسط زمان ماندگاری (دوره تجدید) آب زیرزمینی	سرعت جریان (متر بر سال)	
		مدت (سال)	ایزوتوپی	مدل جریان
Sherwood Sandstone	انگلستان	حداکثر ۱۰۰،۰۰۰	۰.۶	۰.۲
Continental Intercalaire	الجزایر و تونس	۲۵،۰۰۰ تا ۳۰،۰۰۰<	۳ تا ۶	۲۰ تا ۴۰
		۵۰۰،۰۰۰>	–	–
ماسه‌های ائوسن	جنوب فرانسه	۲۰،۰۰۰ تا ۲۵،۰۰۰	–	۵
Great Artesian Basin	استرالیا	۷۰۰،۰۰۰ تا ۱،۰۶۰،۰۰۰	۰.۱۳۳ تا ۰.۴۲۳	–
آبخوان بنگال	بنگلادش	۳،۰۰۰ تا ۹،۰۰۰ (متوسط ۷،۶۰۰)	–	۴/۴

در بهره‌برداری از آب‌های ژرف ملاحظات و محدودیت‌های مختلفی شامل سیاسی-اجتماعی، کیفیت و آلودگی، محیط‌زیستی و اقتصادی باید موردتوجه قرار گیرد. ازنظر سیاسی- اجتماعی، بر اساس مصوبه A/RES/71/517 سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۶، آبخوان‌های ژرف به‌عنوان منابع آب زیرزمینی راهبردی مشترک بین کشورها محسوب می‌شود. از منظر کیفیت و آلودگی، خطر آلودگی آب‌های ژرف به فلزات سنگین، عناصر کمیاب و رادیو ایزوتوپ‌ها، باید موردتوجه قرار گیرد. تغییر رژیم هیدرولیکی آبخوان‌های کم‌عمق (آبرفتی) و کاهش نرخ تغذیه از سنگ کف، افت بار هیدرولیکی، کاهش آبدهی و خشک شدن منابع آب زیرزمینی و فرونشست زمین، ازجمله مخاطرات محیط‌زیستی بهره‌برداری از منابع آب ژرف محسوب می‌شوند. درزمینهٔ اقتصادی لازم است هزینه‌های حفاری، تأسیسات بهبود کیفیت، سامانه‌های خنک‌کننده و هزینه‌های نگهداری، به‌دقت مورد بررسی قرار گیرد (جدول ۵).

توجه به این نکته بسیار حائز اهمیت است که آب‌های فسیلی همانند ذخایر نفتی، یک منبع زیرزمینی آبی بسیار مهم و تجدید ناپذیر می‌باشند. به‌طوری‌که می‌توان آبخوان‌های فسیلی را آبخوان‌های یک‌بارمصرف نامید. لذا، مزارع و شهرهایی که به این نوع منابع متکی باشند، سرانجام با مشکل خشک شدن منابع مورد بهره‌برداری مواجه خواهند شد (عباسی و عباسی، ۱۳۹۹).

جدول ۵- ابعاد برخی از بزرگ‌ترین منابع آب ژرف جهان (بی‌نام ۲، ۱۳۹۷)

ردیف	نام آبخوان	کشور (ها)	وسعت (Km^2)	ضخامت حداکثر آبخوان (m)	ذخیره آبی قابل بهره‌برداری (Mm^3)	بهره‌برداری فعلی (Mm^3/a)
۱	Nubian Sandstone	مصر، لیبی، سودان و چاد	۲،۲۰۰،۰۰۰	۳،۵۰۰	۱۴،۴۶۰،۰۰۰	۲،۱۷۰،۰۰۰
۲	Great Artesian Basin	استرالیا	۱،۷۰۰،۰۰۰	۳،۰۰۰	۱۷۰،۰۰۰	۶۰۰
۳	Amazon Basin	برزیل، کلمبیا، پرو و بولیوی	۱،۵۰۰،۰۰۰	۷،۰۰۰	۳۲،۵۰۰،۰۰۰*	–
۴	Guaraní Aquifer System	برزیل، آرژانتین، پاراگوئه و اروگوئه	۱،۱۹۵،۰۰۰	۸۰۰	۵۷،۰۰۰،۰۰۰*	–
۵	North Western Sahara	الجزایر، لیبی و تونس	۱،۰۰۰،۰۰۰	۱،۶۰۰	۱،۲۸۰،۰۰۰	۲،۵۶۰
۶	Maranhão Basin	برزیل	۷۰۰،۰۰۰	۸،۰۰۰	۱۷،۵۰۰،۰۰۰*	–
۷	Chad Basin	نیجر، نیجریه، چاد، سودان، کامرون و لیبی	۶۰۰،۰۰۰	۷،۰۰۰	۱۷۰ تا ۳۵۰،۰۰۰	۲۵۰
۸	Iullemeden Multilayer Continental	مالی، نیجر و نیجریه	۵۰۰،۰۰۰	۱،۵۰۰	۲۵۰،۰۰۰ تا ۲،۰۰۰،۰۰۰	۲۲۵
۹	Ogalla (High Plains)	ایالات‌متحده آمریکا (هشت ایالت)	۴۵۰،۰۰۰	۳۶۶	۳،۶۷۶،۰۰۰ تا ۴،۰۰۹،۰۰۰	۲۶،۹۰۰
۱۰	Murzuk–Djado Basin	الجزایر، لیبی و نیجر	۴۵۰،۰۰۰	۲،۵۰۰	۶۰ تا ۸۰،۰۰۰	۱،۷۵۰
۱۱	Sudd Basin–Umm Ruwaba Aquifer	سودان و اتیوپی	۳۶۵،۰۰۰	۳،۰۰۰	۱۱۰،۰۰۰*	–
۱۲	Various	عربستان، بحرین، قطر و امارات	۲۲۵،۰۰۰ تا ۲۵۰،۰۰۰	۶،۵۰۰	۵۰۰،۰۰۰ تا ۲،۸۱۵،۰۰۰	۱۳،۷۹۰
۱۳	Maastrichtian	موریتانی، سنگال و گامبیا	۲۰۰،۰۰۰ تا ۳۰۰،۰۰۰	۵۰۰	۴۸۰ تا ۵۸۰،۰۰۰	۲۶۵
۱۴	Paris Basin	فرانسه	۱۹۰،۰۰۰	۳،۲۰۰	۵۰۰،۰۰۰ تا ۱۰۰۰،۰۰۰*	۷۰
۱۵	Kalahari Central Sandstone Karroo	بتسوانا	۸۰،۰۰۰	۷،۰۰۰	۸۶،۰۰۰	۲،۸۹۰
۱۶	West Siberian Basin Artesian	روسیه	۳،۲۰۰	۶،۰۰۰	۱،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰*	–

۳) زهاب

زهاب، آبی است که در اثر عمل زهکشی از مزرعه خارج می‌شود. در شرایطی که آب آبیاری باکیفیت مناسب، محدود و کمیاب است، به‌کارگیری مجدد زه آب‌ها برای استفاده در اراضی فاریاب از قابلیت خاصی برخوردار است؛ اما استفاده از زهاب همانند آب شور نیاز به مدیریت مناسب دارد و هر گیاهی را نمی‌توان با زهاب آبیاری نمود.

به‌طور معمول، زهاب در مقایسه با آب آبیاری از کیفیت پایین‌تری برخوردار می‌باشند. برای به حداقل رساندن اثرات مخرب کوتاه‌مدت و بلندمدت زه آب‌ها بر محیط‌زیست، تولیدات گیاهی، حاصلخیزی خاک و کیفیت آب، توجه به مسائل مدیریتی در پروژه‌ها و حوضه‌های آبریز حائز اهمیت است.

در مناطقی که با کمبود آب آبیاری مواجه هستند، استفاده از زه آب برای تکمیل منابع آب از اهمیت خاصی برخوردار است. به‌علاوه با استفاده از زه آب برای آبیاری، مشکلات ناشی از تخلیه زه آب‌ها به حداقل رسیده و احتمال آلودگی منابع آب نیز کاهش می‌یابد. موارد استفاده مجدد از زه آب عبارت‌اند از:

- کشاورزی سنتی
- پرورش گیاهان مقاوم به شوری
- سامانه‌های استفاده مکرر از زه آب
- زیستگاه‌های حیات‌وحش و تالاب‌ها و آبشویی اولیه اراضی شور

در تولید محصولات کشاورزی، کیفیت زه آب تعیین‌کننده نوع گیاه مناسب کشت ازنظر آبیاری است. همچنین آلاینده‌های موجود در رواناب سطحی مانند رسوبات، آفت‌کش‌ها و مواد مغذی نقش مهمی در استفاده مجدد از زهاب برای تولیدات گیاهی ایفا می‌کنند. معمولاً غلظت نمک‌ها و بعضاً عناصر کمیاب خاص و مواد مغذی محلول در زهاب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی بالا است. اگر غلظت نمک بیش‌ازحد آستانه باشد، برای رشد گیاهان مضر است. نوع نمک نیز می‌تواند مانع جذب مواد غذایی شده و برای گیاهان حالت سمی داشته باشد. عناصر سمی مانند بور موجب کاهش رشد گیاه شده و حضور سلنیوم و آرسنیک در زه‌آب و ورود آن‌ها به زنجیره غذایی، سلامت انسان و سایر موجودات زنده را در معرض خطر قرار می‌دهد (حسن‌اقلی، ۱۳۸۵). بر اساس یک روایت حجم زهاب‌های کشاورزی کشور حدود ۲۶ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود (یارقلی، ۱۳۷۹). این منابع می‌تواند با انجام روش‌های مختلف تصفیه و یا اتخاذ راهکارهای مدیریتی در کاربرد و یا ساختار و اجزاء شبکه‌های جمع‌آوری زهاب، با حداقل مخاطرات محیط‌زیستی مورد استفاده قرار گیرد.

۴) پساب یا فاضلاب

امروزه کاربرد پساب تصفیه‌شده در کشاورزی در بسیاری از کشورهای جهان ازجمله ایالات‌متحده آمریکا، کانادا، فرانسه، آلمان، مکزیک، برزیل، مصر، مراکش، اردن، عربستان سعودی، قطر، پاکستان، هند، چین و ... رایج است. در کشور ایران نیز در سال‌های اخیر، کاربرد پساب در اراضی کشاورزی اهمیت یافته و در اولویت‌های برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب قرارگرفته است. عمده‌ترین روش‌های تصفیه فاضلاب عبارت‌اند از تصفیه مکانیکی، تصفیه شیمیایی، اسمز معکوس، تصفیه بیوشیمیایی آب و فیلتراسیون (کیانیان گل‌افشانی و امین‌بیدختی، ۱۳۹۹). پساب تصفیه‌شده از چند جنبه حائز اهمیت است:

۱- پساب تصفیه‌شده به‌عنوان یک منبع آبی مطرح بوده و با اهداف سودمندانه می‌تواند مصرف شود.

۲- تصفیه پساب، حجم معادل آب با کیفیت بهتر برای استفاده در بخش‌های دیگر (شرب و صنعت) در اختیار قرار می‌دهد.

۳- پساب‌ها وارد رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی نشده تا آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی کاهش یابد.

۴- قیمت تهیه آب از پساب در مصارف غیر آشامیدنی بسیار نازل است (قزل سوفلو و همکاران، ۱۳۸۷).

پساب‌های شهری دربرگیرنده بقایای مواد آلی، آلودگی‌های بیولوژیک، املاح و مواد شیمیایی مختلف ازجمله مواد پاک‌کننده است. این حجم آب برگشتی می‌تواند در آبیاری درختان جنگلی و درصورتی‌که از عدم آلودگی میکروبی و باکتریایی اطمینان حاصل شود در آبیاری برخی از محصولات که به‌صورت غیر خام مصرف می‌شوند، بکار گرفته شود. تحقیقات نشان می‌دهد درصورتی‌که از پساب تصفیه‌شده در روش‌های آبیاری زیرزمینی و یا قطره‌ای استفاده شود نه‌تنها باعث افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و در برخی موارد بهبود کیفیت خاک می‌شود، بلکه از جنبه‌های بهداشتی و محیط‌زیستی نیز تأثیر سویی به‌جای نمی‌گذارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد پساب حاصل از تصفیه فاضلاب شهری به دلیل وجود مواد مغذی شامل سه عنصر ضروری نیتروژن، فسفر و پتاسیم، سبب افزایش تولید محصول شده و از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی جلوگیری می‌نماید (پیرصاحب و همکاران، ۱۳۹۱). علاوه بر مصرف فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی و تأمین نیاز آبی گیاه، می‌توان این آب‌ها را در پرورش آبزیان، صنایع و تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی نیز به کار برد (عابدی کوپایی، ۱۳۸۹). موارد متعددی از کاربرد پساب در آبیاری اراضی کشاورزی، تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی، مصارف غیرشرب شهری شامل صنعت و آبیاری فضای سبز، پرورش آبزیان و ایجاد برکه‌های تفریحی وجود دارد.

بررسی تجربیات جهانی در زمینهٔ کاربرد منابع آب غیرمتعارف نشان می‌دهد که تجربیات فوق عمدتاً بر روی استفاده مجدد از پساب تمرکز دارد. استفاده مجدد از پساب مهم‌ترین استراتژی کشور آفریقای جنوبی برای مبارزه با کمبود آب در این کشور است. مهم‌ترین مصرف پساب در این کشور، آبیاری زمین‌های گلف و چمن پارک‌های عمومی است. از دیگر کاربردهای پساب در این کشور می‌توان به مصرف روزانه ۱۵۰۰۰ مترمکعب در کارخانه‌های کاغذسازی اشاره کرد. در تصفیه‌خانه شهر پاریس علی‌رغم برخورداری این منطقه از منابع آبی کافی، روزانه ۲ میلیون مترمکعب فاضلاب تصفیه نموده که به مصرف ۲۰۰۰ هکتار زمین کشاورزی می‌رسد. استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده یکی از مهم‌ترین امکانات تأمین آب کشاورزی در کشور تونس است. در حال حاضر زمین تحت آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده در این کشور حدود ۶۶۰۰ هکتار است که معادل ۲۰ درصد فاضلاب تصفیه‌شده است. در هند حوضچه پرورش ماهی کلکته با مساحت ۸۰۰۰ هکتار با استفاده از فاضلاب احتمالاً بزرگ‌ترین در نوع خود در دنیاست. میزان تولید فاضلاب روزانه در کشور چین بالغبر ۱۰۰ میلیون مترمکعب در روز است. در حال حاضر بیش

از ۳ میلیون هکتار از اراضی این کشور تحت کشت برنج، گندم و ذرت قرار داشته و در بیشتر این زمین‌ها، آب مصرفی آبیاری از فاضلاب تصفیه‌شده است. میزان آب برگشتی شهری و روستایی (پساب) در کل کشور ۴۷۸۲ میلیون مترمکعب برآورد شده است که از این میزان ۳۹۵۴ میلیون مترمکعب سهم جوامع شهری و ۸۲۸ میلیون مترمکعب سهم جوامع روستایی است. حوضه دریاچه نمک با حدود ۱۵۶۰ میلیون مترمکعب بیشترین میزان پساب تولیدی و حوضه هامون مشکیل با حدود ۱۲ میلیون مترمکعب کمترین میزان پساب تولیدی را در بین حوضه‌های کشور داراست. میزان پساب صنایع با توجه به مقدار آب استحصالی در کشور ۱۱۶۷ میلیون مترمکعب برآورد شده است. بیشترین و کمترین میزان پساب صنعتی مربوط به حوضه‌های کل مهران و مسیل‌های جنوبی (۲۹۳ میلیون مترمکعب) و هامون مشکیل (۰/۹ میلیون مترمکعب) است. جدول ۶ میزان آب برگشتی (پساب)، منابع دریافت‌کننده و میزان بهره‌برداری از آن‌ها را نشان می‌دهد. تا سال ۱۳۹۷ حدود ۵۰/۸ درصد جمعیت شهری و کمتر از ۰/۵ درصد جمعیت روستایی کشور تحت پوشش تأسیسات فاضلاب قرار دارند. تعداد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در مدار بهره‌برداری در مناطق شهری و روستایی کشور به ترتیب معادل ۲۱۹ و ۲۸ واحد است که کل ظرفیت اسمی تصفیه آن‌ها حدود ۴۸۲۴ هزار مترمکعب در شبانه‌روز و حجم کل فاضلاب جمع‌آوری‌شده آن‌ها حدود ۶۰۳۹۶۶۵ مترمکعب در شبانه‌روز است.

۵) آب‌های حاصل از باروری ابرها

عملیات بارورسازی ابرها اصولاً در مناطق بالایی سلسله کوه‌ها انجام‌شده و هدف از آن تولید ذخایر آبی به شکل برف و یا تأمین آب برای سدهای پایین‌دست است. باروری ابرها موجب تسریع در تبدیل ابرها به بخارآب و سپس باران می‌شود. برای ایجاد باران مصنوعی باید ابر، رطوبت، دما و ... موجود باشد. درصورتی‌که تمام عوامل فوق مهیا باشد با انجام باروری ابرها، می‌توان مقدار بارش را به میزان ۵ تا ۲۵ درصد افزایش داد. در مناطق کوهستانی، باروری طوفان‌های زمستانی، روش سابقه‌داری است. هوای مرطوب در دامنه ارتفاعات به سمت بالا صعود کرده، سرد شده و ابرها بر روی کوه‌ها تشکیل می‌شود. اگر این ابرها با یدید نقره، یخ خشک و سایر مواد بارور شود، بهره‌وری از آن‌ها برای تولید بارش افزایش می‌یابد. بارورسازی ابرهای زمستانی در بعضی از مناطق کوهستانی غرب ایالات‌متحده در سال ۱۹۵۰ منجر به افزایش ۵ تا ۲۰ درصدی بارش گردید. در حال حاضر پروژه‌های تعدیل آب‌وهوا با اهداف گوناگون در بیش از ۴۰ کشور دنیا در دست اجرا است. مطالعات و بررسی‌های حاصل از ارزیابی پروژه‌های بارورسازی ابرها در کشورهای مختلف نشان‌دهنده افزایش ۵ تا ۲۰ درصد بارندگی در مناطق غیر ساحلی و افزایش ۵ تا ۳۰ درصدی بارندگی در مناطق ساحلی است. نخستین طرح بارورسازی ابرها در کشور ایران طی سال ۱۳۵۳ و به‌منظور افزایش ذخیره آبی سدهای لتیان و کرج و در منطقه‌ای به وسعت ۱۵۰۰ کیلومترمربع انجام شد. افزایش متوسط بارندگی در این طرح ۱۳ درصد گزارش‌شده است. در ادامه و تاکنون ۵ پروژه بارورسازی ابرها در مناطق مرکزی و شمال کشور اجراشده است.

جدول ٦- میزان آب برگشتی (پساب)، منابع دریافت‌کننده و میزان بهره‌برداری از آن‌ها به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه‌دو کشور (بی‌نام ۱، ۱۳۹۹)

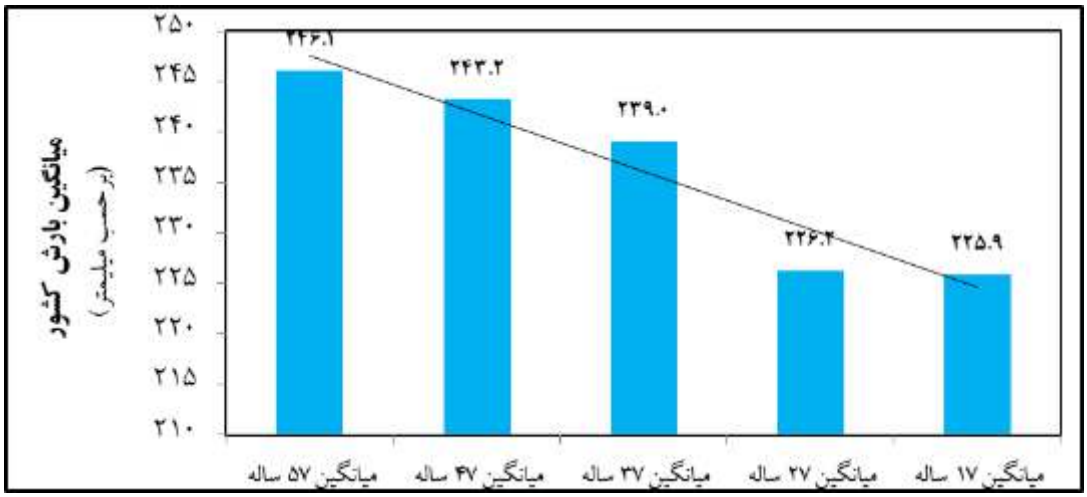
ردیف	نام حوضه	کد حوضه	حجم پساب شهری (MCM)	منبع دریافت کننده پساب شهری				حجم پساب روستایی (MCM)	منبع دریافت کننده پساب شهری				حجم کل پساب (MCM)	حجم بهره برداری (MCM)
				حجم (MCM)		درصد			حجم (MCM)		درصد			
				سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی		سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی		
۱	ارس	۱۱	۸۳/۵۰	٤٤/٦۰	۳۸/۹۰	۵۳	٤۷	۲۷/۱٦	۱٦/۵٦	۱۰/٦۱	٦۱	۳۹	۱۱۰/٦٦	۸/۲٦
۲	تالش مرداب انزلی	۱۲	٦٦/۰۲	۵٤/٤۷	۱۱/۵۵	۸۳	۱۷	۱۰/٤٦	۷/۸۰	۲/٦٦	۷۵	۲۵	۷٦/٤۸	۰/۳۸
۳	سفیدرودبزرگ	۱۳	۷۰/۰۲	۳۷/۹۸	۳۲/۰٤	۵٤	٤٦	۲۸/۹۱	۱۲/۲۳	۱٦/٦۷	٤۲	۵۸	۹۸/۹۲	۲٦/۲
٤	رودخانه های بین سفیدرود و هراز	۱٤	٦۳/۳۳	٤۱/۷۳	۲۱/۵۹	٦٦	۳٤	۱٤/۵۱	٦/۰۵	۸/٤٦	٤۲	۵۸	۷۷/۸۳	۷/۳
۵	هراز-قره سو	۱۵	۱۳۷/۳۲	۷٤/۵٦	٦۲/۷٦	۵٤	٤٦	۳٦/۵۰	۱۷/۵۵	۱۸/۹۵	٤۸	۵۲	۱۷۳/۸۲	۱/٤
٦	قره سو و گرگان	۱٦	٤۸/۹۹	۲۱/٤٤	۲۷/۵۵	٤٤	۵٦	۲٤/۹۱	۹/۹٦	۱٤/۹۵	٦۰	٤۰	۷۳/۹۰	۵٦/٦
۷	اترک	۱۷	۲۵/۱٦	۹/۳٤	۱۵/۸۲	۳۷	٦۳	۷/۳۰	۱/۱۲	٦/۱۸	۱۵	۸۵	۳۲/٤٦	۰/٦۵
۸	مرزی غرب	۲۱	۹۰/٦۰	۵۸/۳۳	۳۲/۲۷	٦٤	۳٦	۲٦/۵۸	۰/۲۷	۲٦/۳۱	۱	۹۹	۱۱۷/۱۸	٦/۷۷۳
۹	کرخه	۲۲	۱۹٤/٤۸	۱۱۵/٦۵	۷۸/۸۳	۵۹	٤۱	۵٦/۸۹	۱/۷۲	۵۵/۱۷	۳	۹۷	۲۵۱/۳۷	۱٤/٦۵
۱۰	کارون بزرگ	۲۳	۳٦۵/٤٤	۲٦۹/۱۸	۹٦/۲٦	۷٤	۲٦	۷۳/٤۸	۱۹/۸٤	۵۳/٦٤	۲۷	۷۳	٤۳۸/۹۲	۲۰/۲
۱۱	هندیجان-جراحی	۲٤	۸۲/۳۱	۵۵/۵۱	۲٦/۸۰	٦۷	۳۳	۲۹/۳۸	۱۳/۰۵	۱٦/۳٤	٤٤	۵٦	۱۱۱/٦۹	۰
۱۲	حله و رودخانه های کوچک	۲۵	٤۲/٦۸	۱۲/۹۸	۲۹/۷۰	۳۰	۷۰	۱٦/۷۲	۵/۰۲	۱۱/٦۹	۳۰	۷۰	۵۹/٤۰	٤/۷۵
۱۳	مند کاریان و خنج	۲٦	٤۳/٤۳	۳/۲۹	٤۰/۱٤	۸	۹۲	۲٤/٦۲	۷/۳٦	۱۷/۲٦	۳۰	۷۰	٦۸/۰۵	۰
۱٤	کل، مهران و سیل های جنوبی	۲۷	٤۳/۹٤	۵/۷۷	۳۸/۱۸	۱۳	۸۷	۲۰/۸۲	۵/۳۵	۱۵/٤۷	۲٦	۷٤	٦٤/۷٦	۲/۷
۱۵	بندرعباس، سدیج	۲۸	٤۸/٤۱	۱۹/٤۳	۲۸/۹۹	٤۰	٦۰	۱۳/٦۷	۳/۱۲	۱۰/۵۵	۲۳	۷۷	٦۲/۰۸	۱۰/۹۳
۱٦	رودخانه های بلوچستان جنوبی	۲۹	٤/۳۱	۰/٤۸	۳/۸۳	۱۱	۸۹	۱۲/۷٦	۳/۱۳	۹/٦۳	۲۵	۷۵	۱۷/۰۷	۰
۱۷	دریاچه ارومیه	۳۱	۲۳۰/۷٦	۹۰/۳۲	۱٤۰/٤٤	۳۹	٦۱	٤۷/۲۷	٦/۵۷	٤۰/۷۰	۱٤	۸٦	۲۷۸/۰۳	۱۰/۵٤
۱۸	دریاچه نمک	٤۱	۱٤۲٤/۱٤	۲٤۰/۰٤	۱۱۸٤/۱۰	۱۷	۸۳	۱۳٦/۱۵	۸/۸۱	۱۲۷/۳٤	٦	۹٤	۱۵٦۰/۲۹	۱۷۰/۲
۱۹	گاوخونی	٤۲	۲۲۱/٦٤	۵۹/٦۳	۱٦۲/۰۱	۲۷	۷۳	۳٤/۷۲	۵/۵۹	۲۹/۱۳	۱٦	۸٤	۲۵٦/۳٦	۱٤۰
۲۰	طشک، بختگان، مهارلو	٤۳	۱۲٦/٤۳	۳٦/۸٤	۸۹/۵۹	۲۹	۷۱	۳۳/۰٦	۹/۷۱	۲۳/۳۵	۲۹	۷۱	۱۵۹/٤۹	۰
۲۱	کویر ابرقو ، سیرجان	٤٤	۲٦/۹۵	۲/۳۸	۲٤/۵۷	۹	۹۱	۸/۹۹	۱/۵٦	۷/٤۳	۱۷	۸۳	۳۵/۹٤	۳/۲۸
۲۲	هامون جازموریان	٤۵	۳۲/۵۸	۱/۹۹	۳۰/۵۹	٦	۹٤	۱٤/۹۳	۲/۲٦	۱۲/٦۸	۱۵	۸۵	٤۷/۵۱	۰
۲۳	کویر لوت	٤٦	٤۰/۰۹	۵/۱۳	۳٤/۹٦	۱۳	۸۷	۱۲/٦٦	۲/۱۳	۱۰/۵۳	۱۷	۸۳	۵۲/۷٦	۱/۲
۲٤	کویر مرکزی	٤۷	۱۰۸/۲۳	۸/۲۲	۱۰۰/۰۲	۸	۹۲	٤۵/٤۸	٤/٤٤	٤۱/۰۳	۱۰	۹۰	۱۵۳/۷۱	۱۸/۳۵
۲۵	کویرسیاه کو ، ریگ زرین	٤۸	٦۰/۵۵	۱۰/۵۰	۵۰/۰۵	۱۷	۸۳	۱۰/۹۰	۰/۱۷	۱۰/۷٤	۲	۹۸	۷۱/٤۵	٤/۸۱
۲٦	کویر در انجیر	٤۹	۵٤/۵٦	۳/۳۹	۵۱/۱٦	٦	۹٤	۱٤/۷۰	۱/۸۷	۱۲/۸٤	۱۳	۸۷	٦۹/۲٦	۰
۲۷	دق پرگان - نمکزار خواف	۵۱	۷/۰۱	۰/٤۲	٦/۵۹	٦	۹٤	٦/٤٦	۰/۹۷	۵/۵۰	۱۵	۸۵	۱۳/٤۷	۰
۲۸	هامون هیرمند	۵۲	۳۳/۸۵	۱۰/۱٦	۲۳/۷۰	۳۰	۷۰	۹/۳۲	۲/۸۰	٦/۵۲	۳۰	۷۰	٤۳/۱۷	٤/۸
۲۹	هامون ماشکیل	۵۳	۸/۸۲	۱/۷٦	۷/۰۵	۲۰	۸۰	۳/٦٦	۰/۷۰	۲/۹۷	۱۹	۸۱	۱۲/٤۸	
۳۰	قره قوم	٦۰	۱٦۸/۳٤	٤۰/٤۰	۱۲۷/۹٤	۲٤	۷٦	۲٤/۹۳	۲/۹۹	۲۱/۹٤	۱۲	۸۸	۱۹۳/۲۸	۲٦/۲
جمع کل کشور			۳۹۵۳/۸۷	۱۳۳۵/۹۱	۲٦۱۷/۹۷	۳٤	٦٦	۸۲۷/۹۱	۱۸۰/٦۷	٦٤۷/۲٤	۲۲	۷۸	٤۷۸۱/۷۸	۵۳۹/۹٤۸

٤- سیمای منابع آب‌های سطحی کشور

٤-١- تحلیل روند تغییرات نزولات جوی کشور

در شرایط فعلی وزارت نیرو و سازمان هواشناسی کشور با کاربرد شبکه‌ای نسبتاً مجزا از ایستگاه‌های باران‌سنجی موسوم به ایستگاه‌های مبنا، برآوردهایی از وضعیت بارش کشور در مقیاس‌های روزانه، ماهانه، فصلی، سالانه و بلندمدت ارائه می‌نمایند. به دلیل تفاوت در طول دوره آماری، تفاوت در تعداد ایستگاه‌های مبنا، پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌های مبنا، روش محاسبه متوسط بارش در پهنه، تفاوت در دوره زمانی ثبت داده بارش و ...، تفاوت‌های مهمی در ارقام منتشرشده وزارت نیرو و سازمان هواشناسی کشور در خصوص متوسط بارش کشور، استانی و حوضه‌های آبریز، وجود دارد.

بر اساس شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی مبنای وزارت نیرو مشتمل بر تعداد ۱۰۴ ایستگاه، کاربرد دوره آماری بلندمدت ۵۷ ساله (از سال آبی ۴۸-۱۳۴۷ تا سال آبی ۰۴-۱۴۰۳) و روش چندضلعی تیسن، متوسط بارش بلندمدت ۵۷ ساله کشور معادل ۲۴۶/۱ میلی‌متر است که طی سال‌های اخیر به‌طور مستمر کاهش‌یافته است. شکل ۱۷ تغییرات متوسط بارش کشور در سال‌های آبی متوالی بر اساس محاسبات وزارت نیرو را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود متوسط بارش کشور طی ۱۷ سال اخیر حدود ۲۲۵/۹ میلی‌متر می‌باشد که حدود ۸/۲ درصد نسبت به متوسط ۵۷ ساله، کاهش‌یافته است. افزایش جزئی میانگین ۱۷ ساله بارش کشور نسبت به میانگین ۲۷ ساله، به دلیل تأثیر دو سال پربارش ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ بر دوره ۱۷ سال اخیر است. علاوه بر تغییر در مقدار بارش، الگو و توزیع بارش نیز تغییر نموده است. به‌طوری‌که تعداد بارش‌های کمتر از ۵ تا ۱۰ میلی‌متر افزایش‌یافته است. اگرچه این مقادیر در مقدار متوسط بارش لحاظ می‌شود لیکن تأثیر چندانی بر تولید رواناب نداشته و به‌سرعت تبخیر می‌شود. از سوی دیگر نوع بارش‌های زمستانه که غالباً به‌صورت برف است نیز تدریجاً تبدیل به باران شده و از رواناب ناشی از ذوب برف در ماه‌های کم بارش نیز کاسته است.



شکل ۱۷- روند تغییرات میانگین بارش کشور در بازه‌های زمانی مختلف

شکل ۱۸، نقشه هم‌بارش کشور بر اساس آمار بلندمدت در دوره زمانی سال آبی ۴۶-۱۳۴۵ تا سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، نشان می‌دهد. از جمله مناطقی از کشور که کمترین میزان بارندگی را دارند، می‌توان به دشت کویر (حوالی جندق) در حوضه آبریز کویر مرکزی و نیز کویر لوت اشاره کرد. در بخش‌هایی از این مناطق، منحنی بارش سالانه ۵۰ میلی‌متری بسته‌شده است. این در حالی است که در نواحی مرتفع رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس، منحنی بارش سالانه بیش از ۱۵۰۰ میلی‌متر بسته‌شده است.



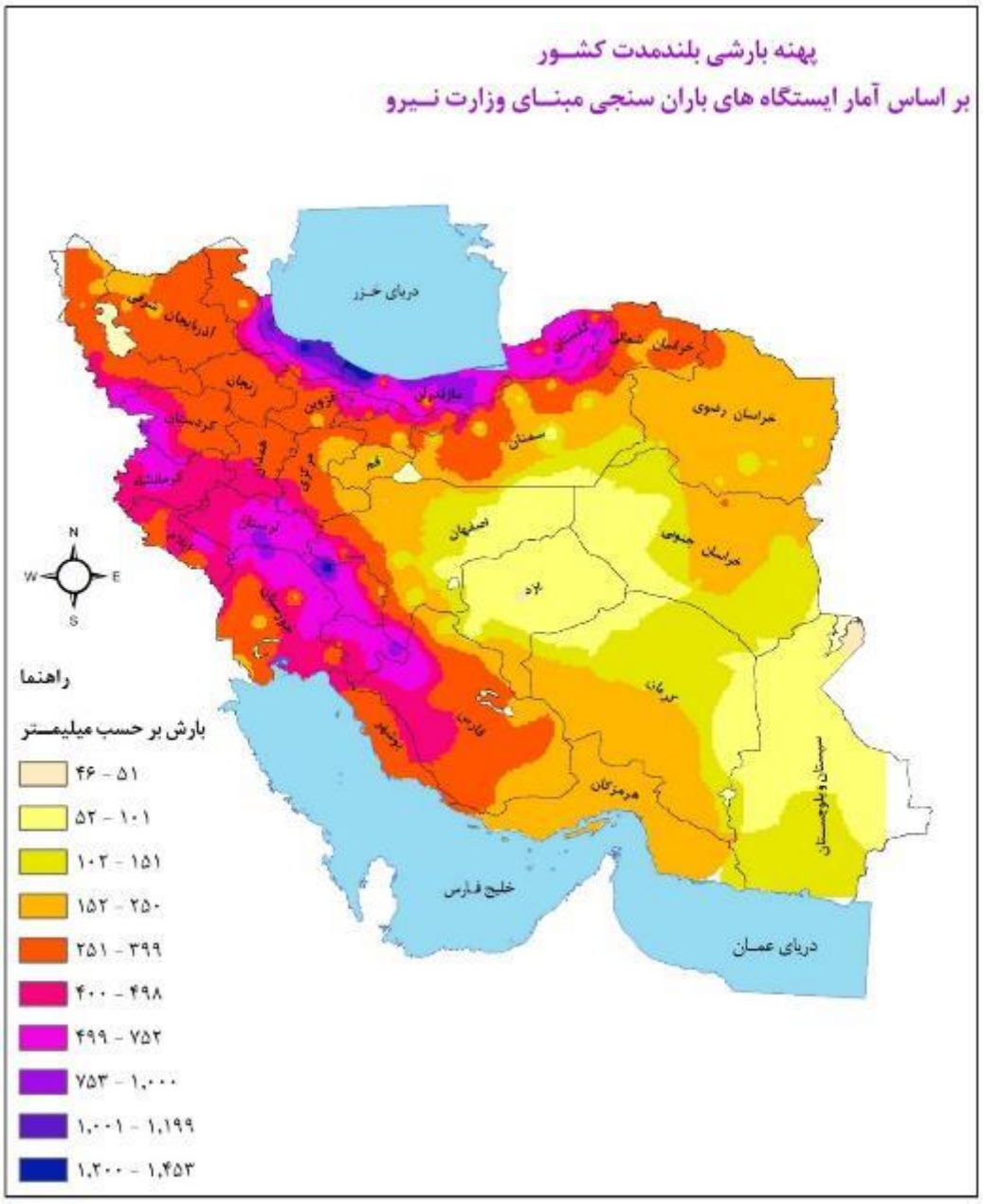
شکل ۱۸- نقشه هم‌بارش کشور بر اساس دوره زمانی بلندمدت سال آبی ٤٦-١٣٤٥ تا سال آبی ۹۰- ۱۳۸۹ بر اساس محاسبات وزارت نیرو (بی‌نام ۱، ١٤٠٠)

شکل ۱۹، پهنه بلندمدت بارش کشور بر اساس داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی مبنای وزارت نیرو را از روش IDW[1] نشان می‌دهد. از شکل (۱۹) ملاحظه می‌شود بیشترین میزان بارش سالانه کشور در امتداد رشته‌کوه‌های

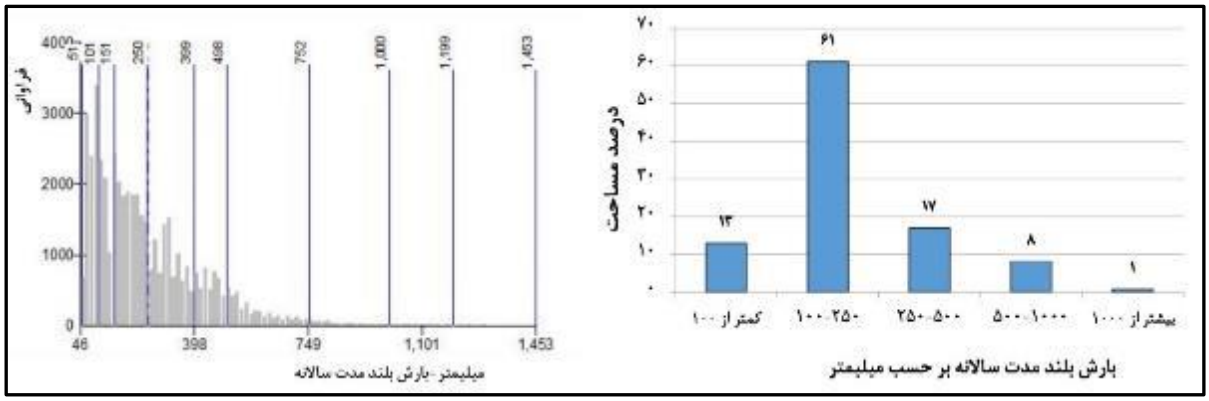
[1] Inverse Distance Weighting

زاگرس و البرز و سواحل شمالی رخ می‌دهد و کمترین بارش سالانه نیز در نواحی مرکزی و شرقی کشور روی می‌دهد. از مجموعه ۲۲۱ ایستگاه باران‌سنجی مبنای وزارت نیرو مورداستفاده در ترسیم پهنه بارشی مذکور، بیشترین میزان بارش بلندمدت ۵۴ ساله مربوط به ایستگاه‌های دینارسرا-آزاد رود، چلگرد و هراتبر-چشمه کیله به ترتیب معادل ۱۴۶۶، ۱۴۰۳ و ۱۳۲۴ میلی‌متر و کمترین میزان بارش بلندمدت مربوط به ایستگاه‌های مرکز پژوهشی یزد، امور آب سیستان و رحمت‌آباد ریگان و به ترتیب معادل ۴۵/۳، ۴۵/۸ و ۵۲/۵ میلی‌متر است. با تقسیم‌بندی پهنه بارش بلندمدت کشور به زیرمساحت‌های مختلف، فراوانی المان‌ها و درصد مساحت کشور متناظر با هر دسته از مقادیر بارش استخراج گردید (شکل ۱۹). ملاحظه می‌شود اگرچه متوسط بلندمدت بارش کشور در حدود ۲۵۰ میلی‌متر است، لیکن این میزان بارش در سطح کشور نیز توزیع یکسانی نداشته و حدود ۷۵ درصد از مساحت کشور، بارشی کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر داراست. همچنین حدود ۱۳ درصد از مساحت کشور بارش کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر و تنها حدود ۱ درصد از مساحت کشور بارش بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر را داراست. چولگی منحنی فراوانی به سمت مقادیر کمتر از میانگین در شکل ۲۰ نشان می‌دهد عمده بخش‌های کشور بارشی کمتر از متوسط بلندمدت داراست.

در مقیاس حوضه‌های آبریز درجه‌یک، حوضه آبریز دریای خزر با ۱۰/۸ درصد مساحت کشور از ۱۸/۶ درصد نزولات جوی برخوردار بوده و حوضه آبریز فلات مرکزی با ۵۰/۷ درصد مساحت، حدود ۶۵ درصد از بارش کل کشور را به خود اختصاص داده است. بر اساس نمودار چرخه آب کشور مبتنی بر بیلان منابع آب منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، با توجه به مساحت کل خشکی‌های کشور معادل ۱/۶۲۳ میلیون کیلومترمربع و احتساب میانگین بارش در سطح کشور، حجم کل آب دریافتی از بارش در یک سال نرمال در حدود ۳۹۶/۴ میلیارد مترمکعب است. این میزان اگرچه قابل‌توجه است ولی حدود ۷۲ درصد از آب‌های دریافتی از بارش پیش از ورود به چرخه مصرف از طریق تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌شود. شایان‌ذکر است مقدار پتانسیل بلندمدت منابع آبی کشور نیز طی سال‌های اخیر درنتیجه تداوم خشک‌سالی‌ها و تغییرات اقلیمی کاهش محسوسی یافته است (بی‌نام، ۱۳۹۶). شایان ذکر است بر اساس نتایج به‌روز شده بیلان منابع آب منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ حجم بارش بلندمدت کشور به حدود ۳۷۶ میلیارد مترمکعب کاهش یافته و در عین حال سهم تبخیر و تعرق واقعی از کل بارش‌ها به حدود ۷۵/۶ درصد افزایش یافته است (بی‌نام ۱، ۱۴۰۴).



شکل ۱۹- پهنه‌بندی بارش بلندمدت کشور بر اساس ایستگاه‌های باران‌سنجی مبنای وزارت نیرو (بی‌نام ۲، ۱٤۰٤)

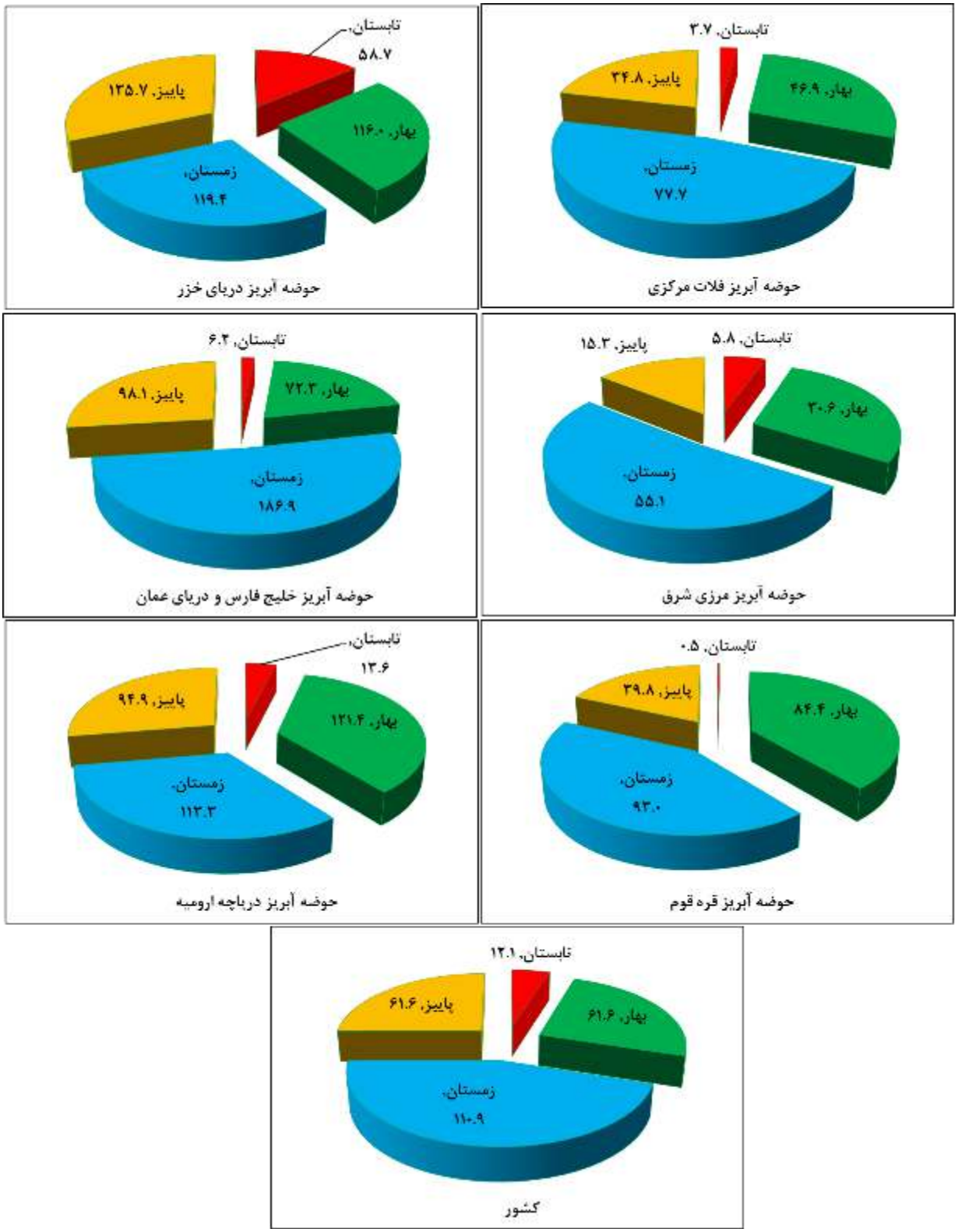


شکل ۲۰- توزیع بارندگی بلندمدت کشور بر اساس درصد مساحت

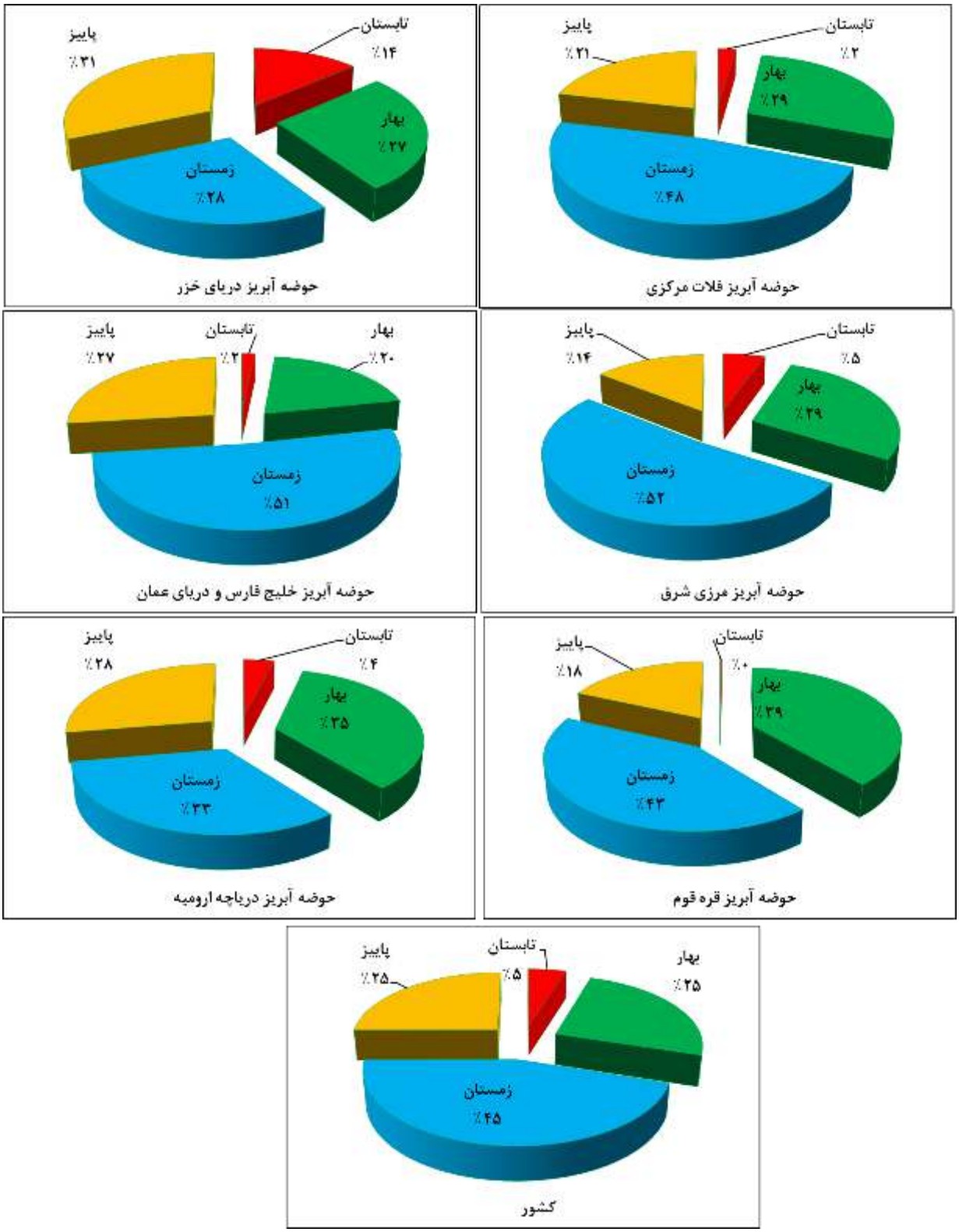
شکل‌های ۲۱ و ۲۲ توزیع فصلی بارش بلندمدت حوضه‌های آبریز درجه‌یک و کشور بر اساس آمار وزارت نیرو را نشان می‌دهند. از مجموعه شش حوضه آبریز درجه‌یک، بیشترین و کمترین بارش بلندمدت مربوط به ترتیب مربوط به حوضه‌های آبریز دریای خزر و مرزی شرق معادل ۴۲۹/۸ و ۱۰۶/۸ میلی‌متر است. متوسط بلندمدت بارش حوضه‌های آبریز خلیج‌فارس و دریای عمان، دریاچه ارومیه، فلات مرکزی و قره قوم نیز به ترتیب معادل ۳۶۳/۵، ۳۴۴/۲، ۱۶۳/۱ و ۲۱۷/۷ میلی‌متر است. ملاحظه می‌شود کشور در یک سال نرمال، طی فصول پاییز، زمستان، بهار و تابستان، به ترتیب ۲۵، ۴۵، ۲۵ و ۵ درصد بارش کل سال آبی را دریافت می‌نماید. براین‌اساس تنها حدود ۲۵ درصد از بارندگی‌ها در فصول زراعی و ۷۵ درصد آن در فصول غیر زراعی رخ می‌دهد. بیشترین سهم بارش پاییزه مربوط به حوضه آبریز دریای خزر و به میزان ۳۱/۶ درصد، بیشترین سهم بارش زمستانه مربوط به حوضه آبریز مرزی شرق و به میزان ۵۱/۶ درصد، بیشترین سهم بارش بهاره مربوط به حوضه آبریز قره قوم و به میزان ۳۸/۷ درصد و بیشترین میزان سهم بارش تابستانه مربوط به حوضه آبریز دریای خزر و به میزان ۱۳/۷ درصد است. جالب‌توجه است که بیشترین بارش نرمال فصلی، مربوط به یک حوضه آبریز یکتا نیست. ملاحظه می‌شود در تمامی فصول، متوسط بارش حوضه آبریز فلات مرکزی به‌عنوان وسیع‌ترین حوضه آبریز درجه‌یک، از متوسط بارش کشوری، کمتر است.

شکل ۲۳، سری ارقام متوسط بارش کشور طی سال‌های آبی ۴۸-۱۳۴۷ تا ۰۴-۱۴۰۳ بر اساس محاسبات وزارت نیرو نشان می‌دهد. خط‌ترند بلندمدت بیانگر یک‌روند کاهشی در متوسط بارش کشور طی دوره آماری ۵۷ ساله است. بر اساس ترسیم منحنی میانگین متحرک ۵ ساله مشاهده می‌شود از سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ به بعد و به‌جز سال‌های آبی استثنایی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸، میانگین متحرک ۵ ساله بارش کشور پایین‌تر از خط میانگین بلندمدت است. این موضوع بیانگر آن است که کشور از سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ به بعد عموماً وارد یک دوره خشک‌سالی گردیده است. همچنین از شکل (۲۳)، تجربه ترسالی برای سال‌های ابتدایی دهه هفتاد مشهود است. از مقایسه روند میانگین متحرک ۵ ساله بارش کشور با میانگین بلندمدت، توالی نسبی دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی در طول دوره آماری ۵۷ ساله، نتیجه‌گیری می‌شود.

بیشترین میزان متوسط بارش کشور طی دوره آماری معادل ۳۵۷/۵ میلی‌متر و مربوط به سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ و کمترین میزان متوسط بارش کشور معادل ۱۴۳/۳ میلی‌متر و مربوط به سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ است.



شکل ۲۱- متوسط بلندمدت بارش فصلی کشور و حوضه‌های آبریز درجه‌یک

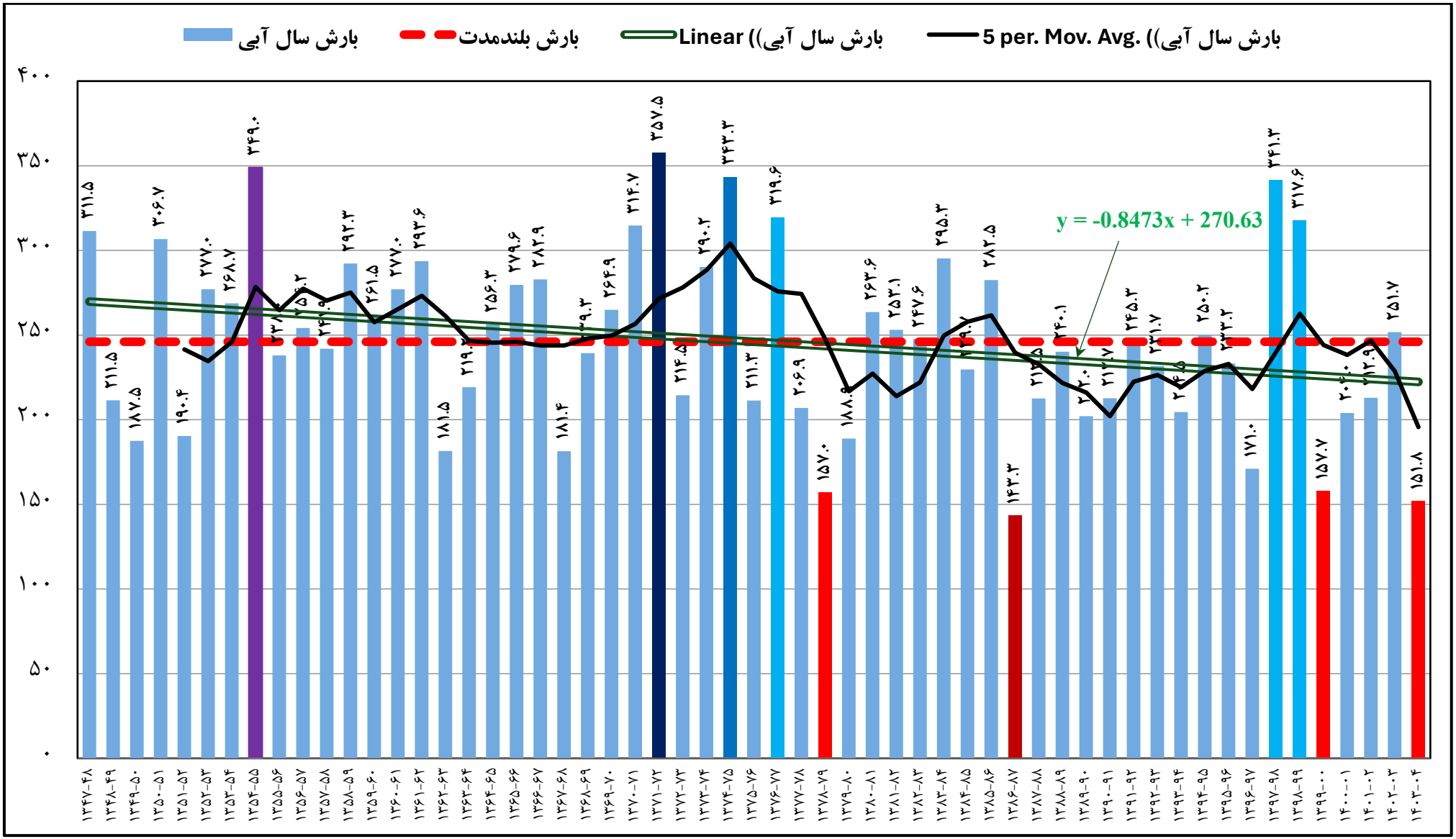


شکل ۲۲- سهم فصول مختلف از بارش بلندمدت کشور و حوضه‌های آبریز درجه‌یک

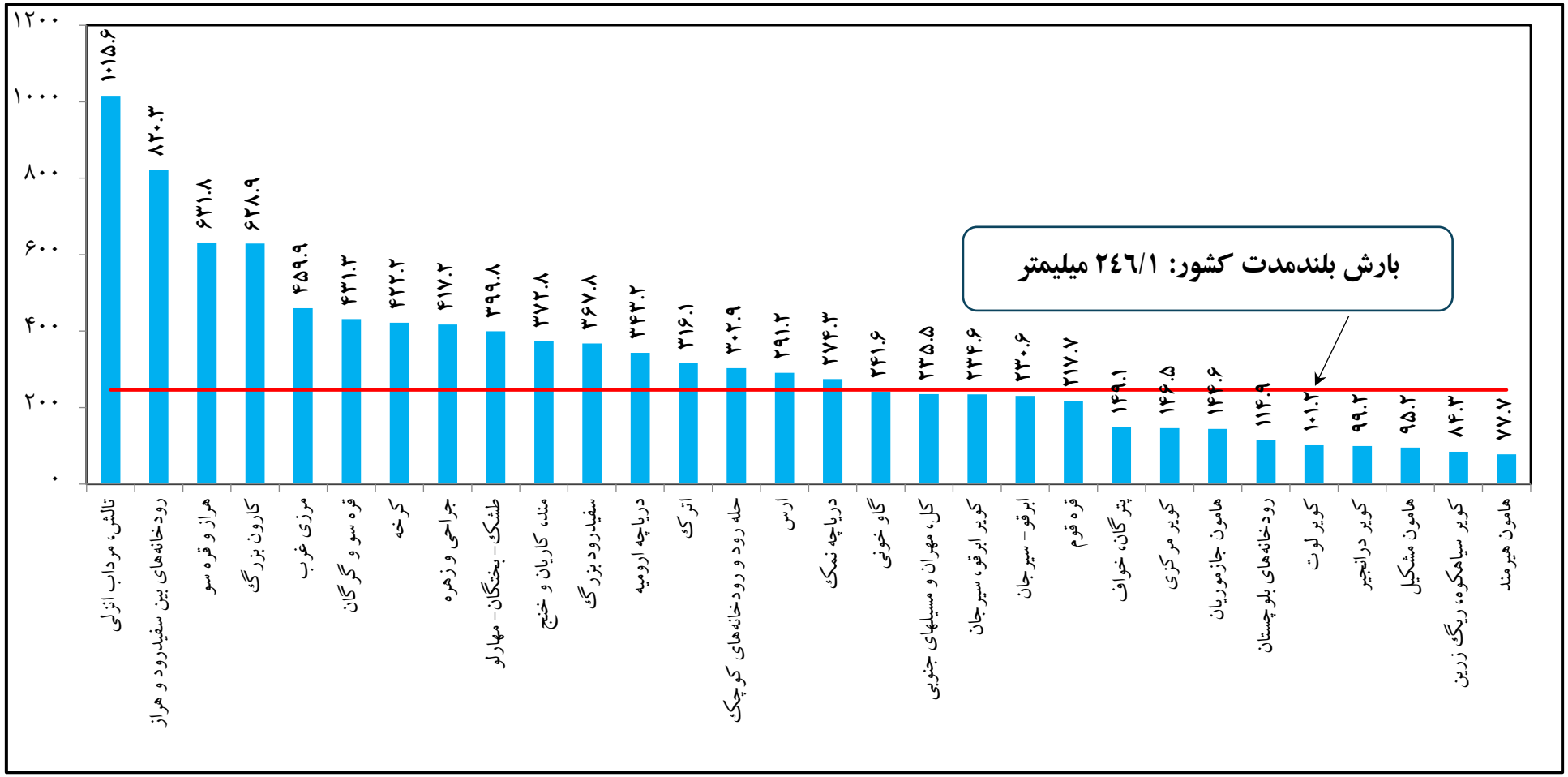
شکل ۲۴، مقادیر متوسط بلندمدت بارش حوضه‌های آبریز درجه‌دو کشور را بر اساس محاسبات وزارت نیرو، نشان می‌دهد. در مقایسه با حوضه‌های آبریز درجه، بیشترین متوسط مقدار بارش مربوط به تالش مرداب انزلی معادل ۱۰۱۵/۶ میلی‌متر و کمترین متوسط بارش مربوط به هامون هیرمند (۷۷/۷ میلی‌متر) و کویر سیاه کوه، ریگ زرین (۸۴/۳ میلی‌متر)، است. از مجموعه ۳۰ حوضه آبریز درجه‌دو، متوسط بارش در ۱۶ حوضه آبریز بیشتر از متوسط بلندمدت کشوری است.

شکل ۲۵، بارش متوسط ماهانه کشور طی دوره آماری ۵۷ ساله (سال آبی ۴۸-۱۳۴۷ تا سال آبی ۰۴-۱۴۰۳) را بر اساس داده‌های وزارت نیرو نشان می‌دهد. با توجه به این شکل موارد زیر قابل استنتاج و استنباط است:

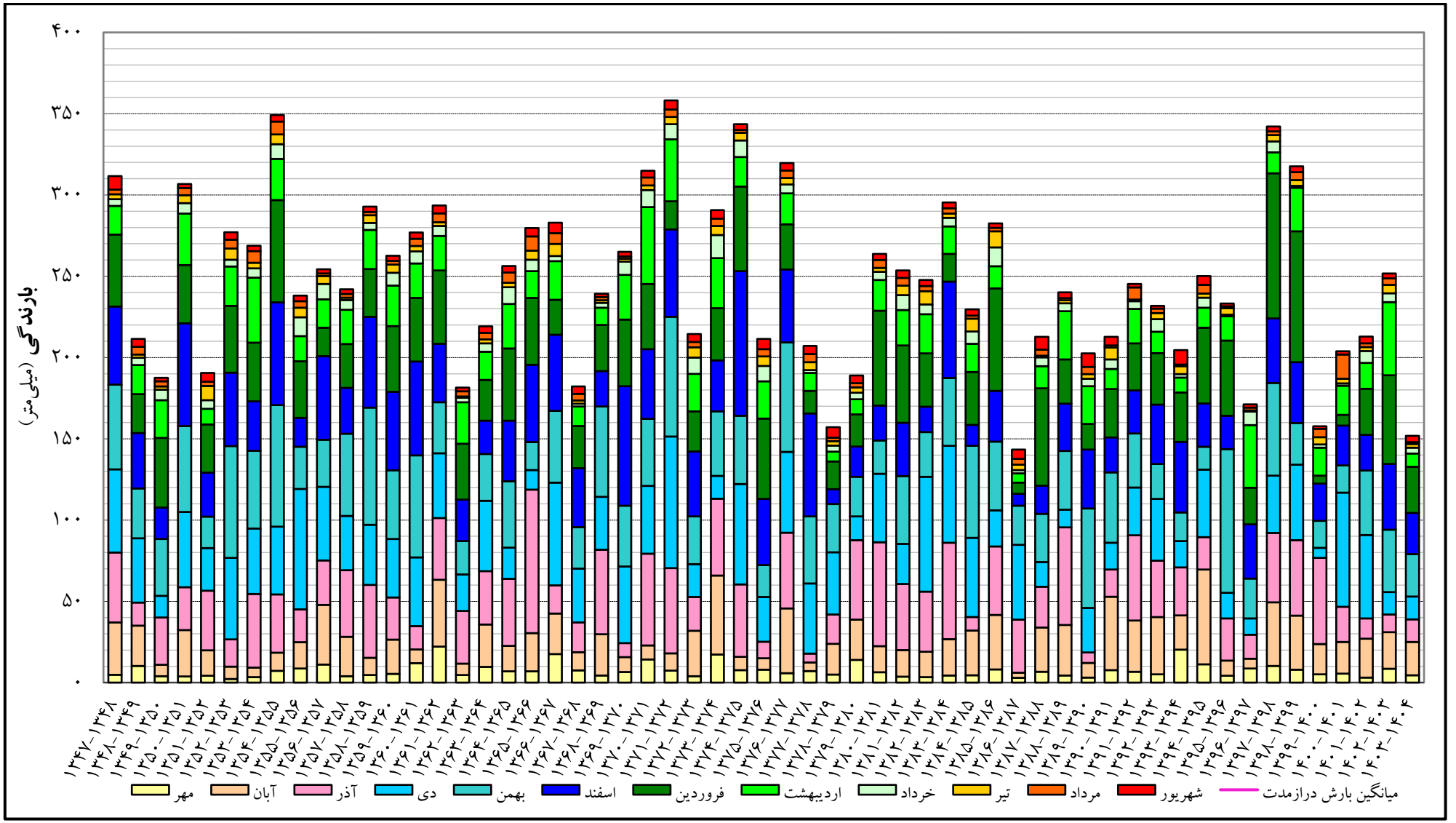
- بارش بلندمدت مهر ۷/۳ میلی‌متر که از ۲/۲ میلی‌متر در سال آبی ۵۳-۱۳۵۲ تا ۲۲/۲ میلی‌متر در سال آبی ۶۲-۱۳۶۱ متغیر است.
- بارش بلندمدت آبان ۲۱/۴ میلی‌متر که از ۳/۱ میلی‌متر در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ تا ۵۸/۳ میلی‌متر در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ متغیر است.
- بارش بلندمدت آذر ۳۲/۸ میلی‌متر که از ۵/۵ میلی‌متر در سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ تا ۸۸/۳ میلی‌متر در سال آبی ۶۶-۱۳۶۵ متغیر است.
- بارش بلندمدت دی ۳۶ میلی‌متر که از ۶/۲ میلی‌متر در سال آبی ۰۰-۱۳۹۹ تا ۸۱ میلی‌متر در سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ متغیر است.
- بارش بلندمدت بهمن ۳۸/۹ میلی‌متر که از ۱۴/۱ میلی‌متر در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۸۸/۳ میلی‌متر در سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ متغیر است.
- بارش بلندمدت اسفند ۳۶ میلی‌متر که از ۷/۴ میلی‌متر در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ تا ۸۹/۱ میلی‌متر در سال آبی ۷۵-۱۳۷۴ متغیر است.
- بارش بلندمدت فروردین ۳۵ میلی‌متر که از ۴/۸ میلی‌متر در سال آبی ۰۰-۱۳۹۹ تا ۸۹/۳ میلی‌متر در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ متغیر است.
- بارش بلندمدت اردیبهشت ۲۰/۶ میلی‌متر که از ۵/۷ میلی‌متر در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ تا ۴۷/۳ میلی‌متر در سال آبی ۷۱-۱۳۷۰ متغیر است.
- بارش بلندمدت خرداد ۶ میلی‌متر که از ۱ میلی‌متر در سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ تا ۱۴/۲ میلی‌متر در سال آبی ۷۴-۱۳۷۳ متغیر است.
- بارش بلندمدت تیر ۴ میلی‌متر که از ۰/۷ میلی‌متر در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ تا ۹/۹ میلی‌متر در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ متغیر است.
- بارش بلندمدت مرداد ۳/۹۹ میلی‌متر که از ۱ میلی‌متر در سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ تا ۱۴/۹ میلی‌متر در سال آبی ۰۱-۱۴۰۰ متغیر است.
- بارش بلندمدت شهریور ۴/۲ میلی‌متر که از ۱/۶ میلی‌متر در سال آبی ۰۰-۱۳۹۹ تا ۸/۸ میلی‌متر در سال آبی۹۴-۱۳۹۳ متغیر است.



شکل ۲۳- سری ارقام متوسط بارش کشور بر اساس محاسبات وزارت نیرو در طول دوره آماری ۵۷ ساله (بی‌نام ۲، ۱۴۰۴)



شکل ۲۴- بارش بلندمدت حوضه‌های آبریز درجه‌دو بر اساس محاسبات وزارت نیرو (بی‌نام ۲، ۱۴۰۴)



شکل ۲۵- بارش ماهانه متوسط کشور در طول دوره آماری ۵۷ ساله بر اساس محاسبات وزارت نیرو (بی‌نام ۲، ۱٤۰٤)

جداول ۷ تا ۹، وضعیت بارش حوضه‌های آبریز درجه‌یک و درجه‌دو و استان‌های کشور را در پایان سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ نسبت به سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ و متوسط بلندمدت مقایسه می‌نماید. طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ کشور با میانگین بارش در حدود ۱۵۱/۸ میلی‌متر، کاهش حدود ۴۰ درصدی نسبت به سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ و متوسط بلندمدت را، تجربه نمود. این موضوع سبب گردید کشور رتبه ۵۶ کم‌بارشی را طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ نسبت به دوره آماری ۵۷ ساله به خود اختصاص دهد. به عبارت بهتر کشور تنها یک‌سال آبی (۸۷-۱۳۸۶) با بارش کمتر از سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ در طول دوره آماری ۵۷ ساله تجربه کرده است (شکل ۲۳). از شکل ۲۳ ملاحظه می‌گردد پس از دو ترسالی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸، کشور عمدتاً توالی سال‌های خشک و کم بارش را تجربه نموده است.

شرایط در حوضه‌های آبریز درجه‌یک نیز طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ نسبتاً مشابه بوده و در مجموعه این حوضه‌های آبریز، کاهش ۱۴ تا ۴۷ درصدی بارش نسبت به بلندمدت، ثبت‌شده است.، طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳، حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان کم‌بارش‌ترین سال آبی را در طول دوره آماری ثبت نموده است.

از مجموعه ۳۰ حوضه آبریز درجه‌دو و طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳، ۲ حوضه آبریز شرایط نرمال و ۲۸ حوضه آبریز شرایط کم‌بارشی نسبت به نرمال را تجربه کرده است. ۴ حوضه آبریز درجه دو نیز (قره‌سو و گرگان، اترک، هامون جازموریان و کویر مرکزی)، خشک‌ترین سال آبی را طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ تجربه نموده‌اند.

طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳، تنها استان گیلان بارشی بیشتر از بلندمدت داشته، استان زنجان نیز بارش در حدود نرمال دریافت نموده و ۲۹ استان دیگر نیز بارش کمتر از نرمال تجربه کرده‌اند. جالب توجه است که ۲۹ استان کشور طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ نسبت به سال آبی قبل از آن نیز کم بارش بوده‌اند.

جدول ۷- مقایسه بارش سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ حوضه‌های آبریز درجه‌یک با سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ و بلندمدت (بی‌نام ۲، ۱۴۰۴)

حوضه آبریز درجه یک	سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ (میلی‌متر)	سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ (میلی‌متر)	متوسط بلندمدت (میلی‌متر)	درصد اختلاف سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ با:		رتبه بارندگی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ در دوره آماری ۵۷ ساله
				سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ (میلی‌متر)	میانگین بلندمدت	
دریای خزر	۳۶۸.۹	۴۶۷.۴	۴۲۹.۸	-۲۱	-۱۴	۴۹
خلیج فارس و دریای عمان	۱۹۱.۵	۳۶۹.۰	۳۶۳.۵	-۴۸	-۴۷	۵۷
دریاچه ارومیه	۲۶۰.۰	۳۸۶.۵	۳۴۳.۲	-۳۳	-۲۴	۵۲
فلات مرکزی	۹۱.۶	۱۵۱.۶	۱۶۳.۱	-۴۰	-۴۴	۵۶
مرزی شرق	۵۷.۷	۱۵۰.۷	۱۰۶.۸	-۶۲	-۴۶	۵۲
قره قوم	۱۲۹.۲	۲۱۷.۹	۲۱۷.۷	-۴۱	-۴۱	۵۳
کل کشور	**۱۵۱.۸**	**۲۵۱.۷**	**۲۴۷.۹**	**-۴۰**	**-۳۹**	**۵۶**

جدول ۸- مقایسه بارش سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ حوضه‌های آبریز درجه دو با سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ و بلندمدت (بی‌نام ۲، ۱۴۰۴)

حوضه آبریز درجه یک	حوضه آبریز درجه دو	سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ (میلی‌متر)	سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ (میلی‌متر)	متوسط بلندمدت (میلی‌متر)	درصد اختلاف سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ با:		رتبه بارندگی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ در مقایسه با دوره آماری ۵۷ ساله
					سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ (میلی‌متر)	میانگین بلندمدت	
دریای خزر	۲۶۱.۶	۳۷۲.۴	۲۹۱.۲	-۳۰	-۱۰	۴۱	۴۱
	۱۰۲۹.۳	۹۳۹.۴	۱۰۱۵.۶	۱۰	۱	۲۵	۲۵
	۳۰۶.۸	۳۶۲.۱	۳۶۷.۸	-۱۵	-۱۷	۵۰	۵۰
	۸۷۴.۵	۸۱۱.۶	۸۲۰.۳	۸	۷	۱۷	۱۷
	۵۶۱.۹	۷۳۱.۹	۶۳۱.۸	-۲۳	-۱۱	۴۲	۴۲
	۲۸۳.۳	۵۳۸.۸	۴۳۱.۳	-۴۷	-۳۴	۵۷	۵۷
	۱۹۰.۲	۳۵۵.۶	۳۱۶.۱	-۴۷	-۴۰	۵۷	۵۷
خلیج فارس و دریای عمان	۳۲۱.۸	۵۳۲.۵	۴۵۹.۹	-۴۰	-۳۰	۴۹	۴۹
	۲۴۶.۶	۴۹۶.۲	۴۲۲.۲	-۵۰	-۴۲	۵۶	۵۶
	۳۷۷.۴	۶۳۲.۱	۶۲۸.۹	-۴۰	-۴۰	۵۶	۵۶
	۲۲۶.۵	۴۶۸.۲	۴۱۷.۲	-۵۲	-۴۶	۵۱	۵۱
	۲۱۸.۰	۲۴۸.۵	۳۰۲.۹	-۱۲	-۲۸	۴۳	۴۳
	۲۰۳.۱	۳۰۷.۳	۳۷۲.۸	-۳۴	-۴۶	۴۹	۴۹
	۶۹.۶	۱۶۳.۵	۲۳۵.۵	-۵۷	-۷۰	۵۶	۵۶
	۳۹.۲	۱۴۷.۵	۲۳۴.۶	-۷۳	-۸۳	۵۵	۵۵
	۱۷.۸	۲۳۹.۹	۱۱۴.۹	-۹۳	-۸۵	۵۵	۵۵
دریاچه ارومیه	۲۶۰.۰	۳۸۶.۵	۳۴۳.۲	-۳۳	-۲۴	۵۲	۵۲
فلات مرکزی	۱۶۸.۷	۲۵۳.۵	۲۷۴.۳	-۳۳	-۳۸	۵۶	۵۶
	۱۶۸.۲	۲۲۹.۸	۲۴۱.۶	-۲۷	-۳۰	۵۰	۵۰
	۲۹۸.۰	۳۵۱.۹	۳۹۹.۸	-۱۵	-۲۵	۴۴	۴۴
	۱۲۸.۱	۲۰۲.۳	۲۳۰.۶	-۳۷	-۴۴	۵۳	۵۳
	۳۵.۰	۱۴۳.۶	۱۴۴.۶	-۷۶	-۷۶	۵۷	۵۷
	۵۱.۲	۱۰۷.۸	۱۰۱.۲	-۵۲	-۴۹	۵۶	۵۶
	۸۱.۶	۱۱۴.۷	۱۴۶.۵	-۲۹	-۴۴	۵۷	۵۷
	۴۳.۵	۱۰۷.۷	۸۴.۳	-۶۰	-۴۸	۵۲	۵۲
	۵۰.۵	۱۱۵.۳	۹۹.۲	-۵۶	-۴۹	۵۳	۵۳
مرزی شرق	۱۰۷.۴	۱۴۲.۱	۱۴۹.۱	-۲۴	-۲۸	۴۳	۴۳
	۳۹.۷	۹۷.۶	۷۷.۷	-۵۹	-۴۹	۴۹	۴۹
	۲۹.۳	۲۰۷.۳	۹۵.۲	-۸۶	-۶۹	۵۴	۵۴
	۱۲۹.۲	۲۱۷.۹	۲۱۷.۷	-۴۱	-۴۱	۵۳	۵۳

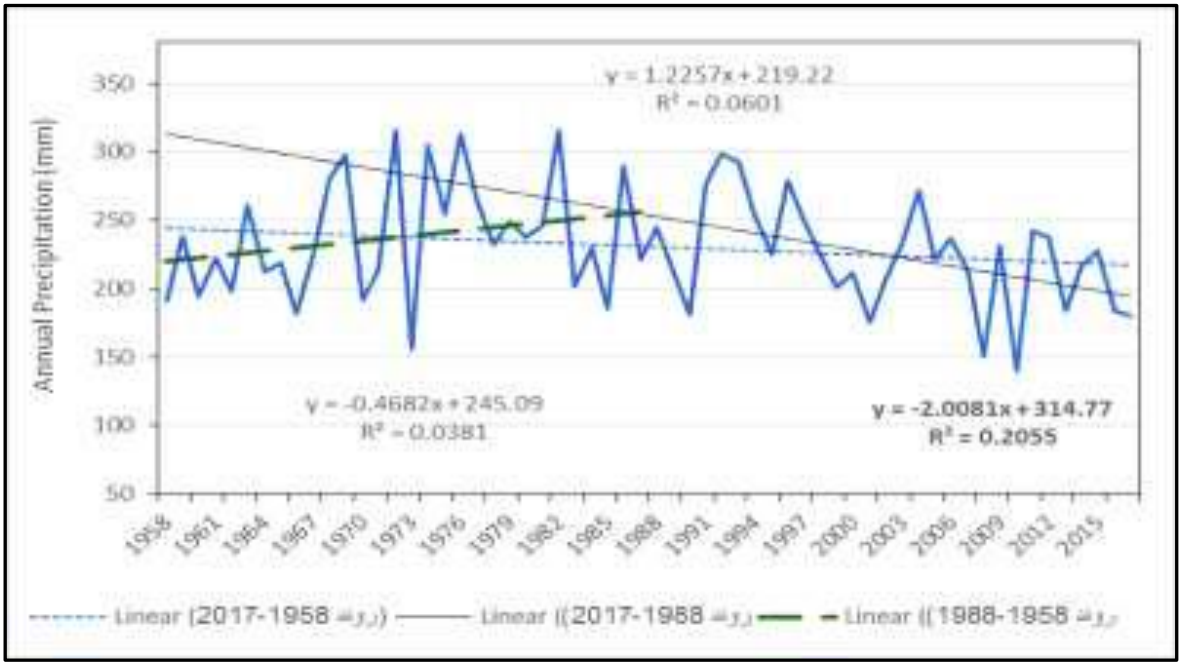
جدول ۹- مقایسه بارش سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ استان‌ها با سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ و متوسط بلندمدت

(بی‌نام ۲، ۱۴۰۴)

استان	سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ (میلی‌متر)	متوسط بلندمدت (میلی‌متر)	درصد اختلاف سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ با متوسط بلندمدت	سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ (میلی‌متر)	درصد اختلاف سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ با سال آبی ۰۳-۱۴۰۲
سیستان و بلوچستان	۲۴.۴	۱۰۷.۳	-۷۷	۱۶۲.۱	-۸۵
هرمزگان	۶۴.۴	۱۸۵.۵	-۶۵	۱۸۳.۵	-۶۵
بوشهر	۱۱۵.۳	۲۵۰.۲	-۵۴	۲۱۰.۸	-۴۵
خوزستان	۱۸۱.۸	۳۶۰.۳	-۵۰	۴۲۱.۶	-۵۷
کهگیلویه و بویراحمد	۳۴۹.۹	۶۵۵.۷	-۴۷	۷۳۸.۶	-۵۳
فارس	۱۷۰.۶	۳۰۲.۷	-۴۴	۲۶۶.۱	-۳۶
یزد	۵۳.۶	۹۶.۴	-۴۴	۱۴۴.۵	-۶۳
تهران	۱۵۹.۷	۲۷۸.۰	-۴۳	۲۴۰.۵	-۳۴
خراسان شمالی	۱۵۴.۵	۲۶۷.۱	-۴۲	۳۰۰.۲	-۴۹
البرز	۲۳۴.۹	۴۰۵.۴	-۴۲	۳۹۱.۸	-۴۰
خراسان جنوبی	۶۴.۶	۱۰۸.۷	-۴۱	۱۲۷.۱	-۴۹
اصفهان	۹۱.۲	۱۵۱.۸	-۴۰	۱۷۰.۱	-۴۶
قم	۹۸.۰	۱۶۳.۰	-۴۰	۱۶۳.۵	-۴۰
مرکزی	۱۷۱.۹	۲۷۵.۰	-۳۷	۲۸۶.۸	-۴۰
کرمان	۸۱.۰	۱۲۹.۰	-۳۷	۱۳۰.۷	-۳۸
چهارمحال و بختیاری	۴۰۸.۸	۶۴۵.۰	-۳۷	۵۶۶.۱	-۲۸
ایلام	۲۸۶.۴	۴۳۲.۵	-۳۴	۵۲۷.۵	-۴۶
خراسان رضوی	۱۲۶.۶	۱۸۲.۵	-۳۱	۱۶۷.۰	-۲۴
سمنان	۸۲.۱	۱۱۸.۵	-۳۱	۱۰۱.۸	-۱۹
لرستان	۴۰۸.۰	۵۵۸.۴	-۲۷	۶۳۱.۱	-۳۵
گلستان	۳۴۱.۳	۴۶۶.۸	-۲۷	۵۵۱.۴	-۳۸
اردبیل	۲۵۲.۵	۳۲۹.۹	-۲۳	۳۷۱.۵	-۳۲
کردستان	۳۳۸.۲	۴۳۴.۰	-۲۲	۴۸۹.۶	-۳۱
قزوین	۲۵۱.۳	۳۲۱.۷	-۲۲	۲۷۹.۹	-۱۰
آذربایجان شرقی	۲۳۶.۲	۳۰۰.۵	-۲۱	۳۵۳.۸	-۳۳
کرمانشاه	۳۶۸.۸	۴۶۱.۲	-۲۰	۵۴۵.۸	-۳۲
آذربایجان غربی	۲۹۲.۷	۳۵۸.۰	-۱۸	۴۴۱.۱	-۳۴
همدان	۲۸۵.۲	۳۴۵.۰	-۱۷	۴۰۷.۳	-۳۰
مازندران	۵۶۵.۶	۶۳۲.۹	-۱۱	۶۸۲.۹	-۱۷
زنجان	۲۹۴.۲	۳۱۳.۰	-۶	۲۹۲.۴	۱
گیلان	۱۰۸۴.۶	۱۰۲۵.۳	۶	۹۷۸.۵	۱۱
کل کشور	**۱۵۱.۸**	**۲۴۷.۹**	**-۳۹**	**۲۵۱.۷**	**-۴۰**

بررسی‌های پژوهشکده اقلیم‌شناسی، نشان می‌دهد علی‌رغم عدم وجود روند در میانگین بارش، به‌طور متوسط بارش کشور در دوره ۶۰ ساله منتهی به سال ۲۰۱۷، حدود ۴/۷ میلی‌متر بر دهه و در ۳۰ ساله منتهی به سال ۲۰۱۷، به میزان ۲۰ میلی‌متر بر دهه کاهش می‌یابد (شکل ۲۶). براین‌اساس شدت کاهش بارش در ۳۰ سال دوم منتهی به سال ۲۰۱۷ حدود ۴ برابر بیش‌تر از شدت کاهش بارش در ۶۰ سال اخیر است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹).

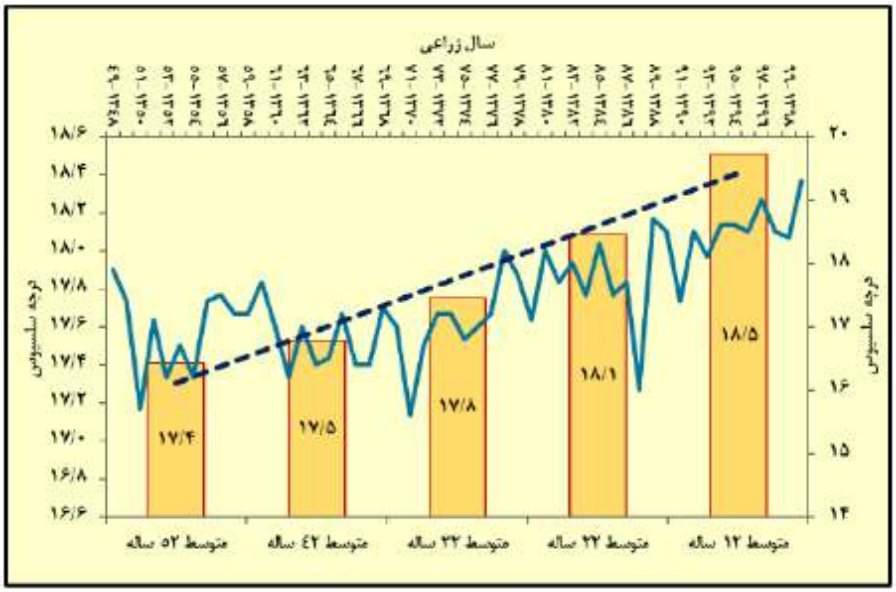
بر اساس گزارش بخش آب مطالعات سند ملی آمایش سرزمین و به نقل از پژوهشکده اقلیم‌شناسی، طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۶۰، کاهش بارش در محدوده غرب کشور و ناحیه بین شمال غرب و ناحیه خزری بارزتر از سایر نواحی است. همچنین بارش در شمال غرب و غرب کشور به شکل معنی‌داری کاهش داشته است. در بخش‌های جنوب شرق و شرق، کاهش بارش در مقیاس سالانه مشهود و در محدوده ۲۵-۰ میلی‌متر در ۵۰ سال گذشته بوده که این کاهش با توجه به میانگین کم بارش در این منطقه، قابل‌توجه است. تعداد روزهای با بارش مؤثر بیشتر از ۱۰ میلی‌متر در ناحیه غرب و شمال غرب کشور حدود ۶ روز طی ۵۰ سال گذشته کاهش‌یافته است. به‌جز این نواحی و نواحی غرب دریای خزر تا جنوب شرق کشور، تعداد روزهای بارانی با بارش بیشتر از ۱۰ میلی‌متر در سایر نقاط کشور، افزایش‌یافته است (بی‌نام ۱، ۱۳۹۹).



شکل ۲۶- میانگین سالانه بارش کشور و روند آن طی سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۵۸ (۶۰ ساله)، ۱۹۸۷-۱۹۵۸ و ۲۰۱۷-۱۹۸۸ (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹)

٤-٢- تحلیل روند تغییرات دما

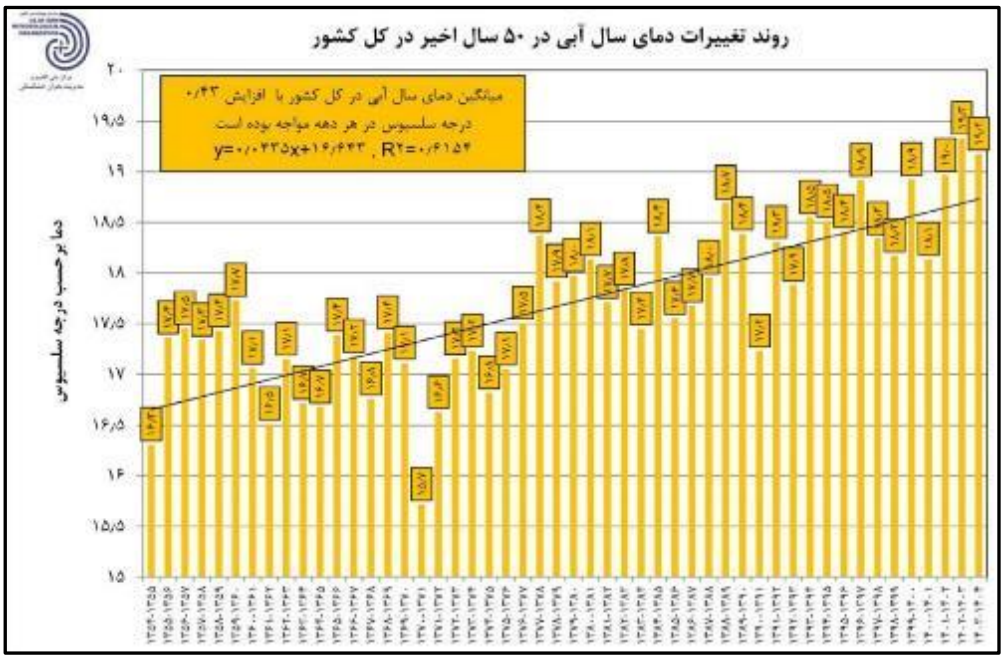
بر اساس آخرین نتایج چرخه بیلان منابع و مصارف کشور منتهی به سال ۹۸-۱۳۹۷، حدود ۷۵/۶ درصد بارش‌ها، صرف تبخیر و تعرق شده و از دسترس خارج می‌شود. با افزایش میزان دما طی سال‌های اخیر انتظار می‌رود این نسبت نیز افزایش یابد. شکل ۲۷، تغییرات متوسط دمای سالیانه کشور بر اساس محاسبات سازمان هواشناسی کشور را طی دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. براین‌اساس، متوسط دمای کشور طی ۱۲ سال منتهی به سال آبی ۹۹-۱۳۹۸ به حدود ۱۸/۵ درجه افزایش‌یافته که نسبت به متوسط ۵۲ ساله (معادل ۱۷/۴ درجه)، بیش از یک درجه افزایش‌یافته که خود مولدی برای کاهش بارش، کاهش برف و کاهش رواناب‌های حاصل از بارش است (بی‌نام ۲، ۱۴۰۰).



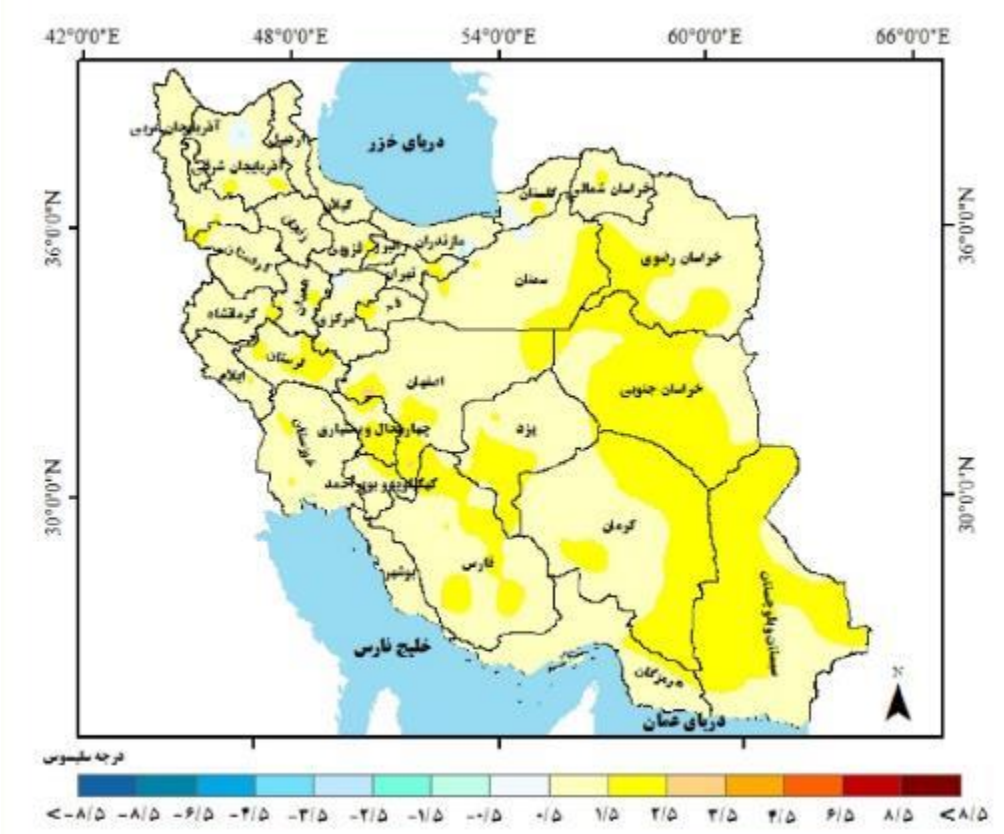
شکل ۲۷- تغییرات متوسط دمای سالیانه کشور بر اساس محاسبات سازمان هواشناسی کشور (بی‌نام ۲، ۱٤۰۰)

شکل ۲۸، نیز روند تغییرات میانگین دمای کشور منتهی به سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ را نشان می‌دهد. روند عمومی تغییرات میانگین دمای سالانه کشور صعودی است به‌طوری‌که در هر ده سال دمای متوسط کشور حدود ۰/۴۳ درجه افزایش می‌یابد. طی ۵۰ سال اخیر، سال آبی ۷۱-۱۳۷۰ با دمای ۱۵/۷ درجه سلسیوس خنک‌ترین و سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ با دمای ۱۹/۳ درجه سلسیوس به‌عنوان گرم‌ترین سال ثبت‌شده است (بی‌نام ۳، ۱۴۰۴). طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳، در بیشتر مناطق کشور بی‌هنجاری مثبت دما نسبت به بلندمدت ثبت‌شده است. بیشترین بی‌هنجاری مثبت دما تا ۲/۵ درجه سلسیوس در استان‌های خراسان‌های شمالی و رضوی و جنوبی، سیستان و بلوچستان، کرمان، شرق هرمزگان، شرق سمنان، جنوب یزد، اصفهان، فارس، چهارمحال و بختیاری، لرستان، غرب قم، شرق تهران، غرب

البرز، جنوب آذربایجان‌های غربی و شرقی، غرب کردستان، شرق کرمانشاه، همدان، مرکزی و خوزستان بوده و جنوب و غرب اصفهان افزایش دما نسبت به بلندمدت تا ۳/۵ درجه سلسیوس نیز ثبت‌شده است (شکل ۲۹).



شکل ۲۸- روند تغییرات میانگین دمای کشور منتهی به سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ (بی‌نام ۳، ۱۴۰۴)



شکل ۲۹- اختلاف دمای مناطق مختلف کشور طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ نسبت به بلندمدت (بی‌نام ۳، ۱۴۰۴)

شکل ۳۰، منحنی‌های هم‌دمای سالانه بلندمدت حوضه‌های آبریز کشور در مقیاس سالانه ۱:۲۵۰۰۰۰ را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود گرم‌ترین نقاط ایران در حوضه کویر لوت با خط منحنی هم‌دمای ۳۰ درجه است. این منحنی از نزدیکی شهداد می‌گذرد. منحنی‌های هم‌دمای کمتر از ۱۰ درجه عمدتاً در نواحی مرتفع رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس توسعه دارد.



شکل ۳۰- خطوط هم‌دمای سالانه بلندمدت در حوضه‌های آبریز درجه‌یک کشور بر اساس دوره زمانی بلندمدت، سال آبی ٤٦-١٣٤٥ تا سال آبی ۹۰- ۱۳۸۹ (بی‌نام ۱، ۱٤۰۰)

بر اساس بررسی‌های پژوهشکده اقلیم‌شناسی، دمای بیشینه و دمای کمینه سالانه کشور طی ۶۰ سال اخیر به ترتیب ۲۴/۹ و ۱۰/۱ درجه و طی ۳۰ سال آخر منتهی به سال ۲۰۱۷ به ترتیب معادل ۲۵/۲ و ۱۰/۶ درجه است. همچنین طی ۶۰ سال اخیر، کشور ایران با دارا بودن اقلیم‌های متفاوت، شاهد روند افزایشی میانگین دمای بیشینه و دمای کمینه با نرخ‌های ۰/۲ و ۰/۳۴ درجه بر دهه بوده که طی ۳۰ سال آخر منتهی به سال ۲۰۱۷ این مقادیر به‌ترتیب ۰/۵۷ و ۰/۵۳ درجه بر دهه بوده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹).

٤-٣- تحلیل روند تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل

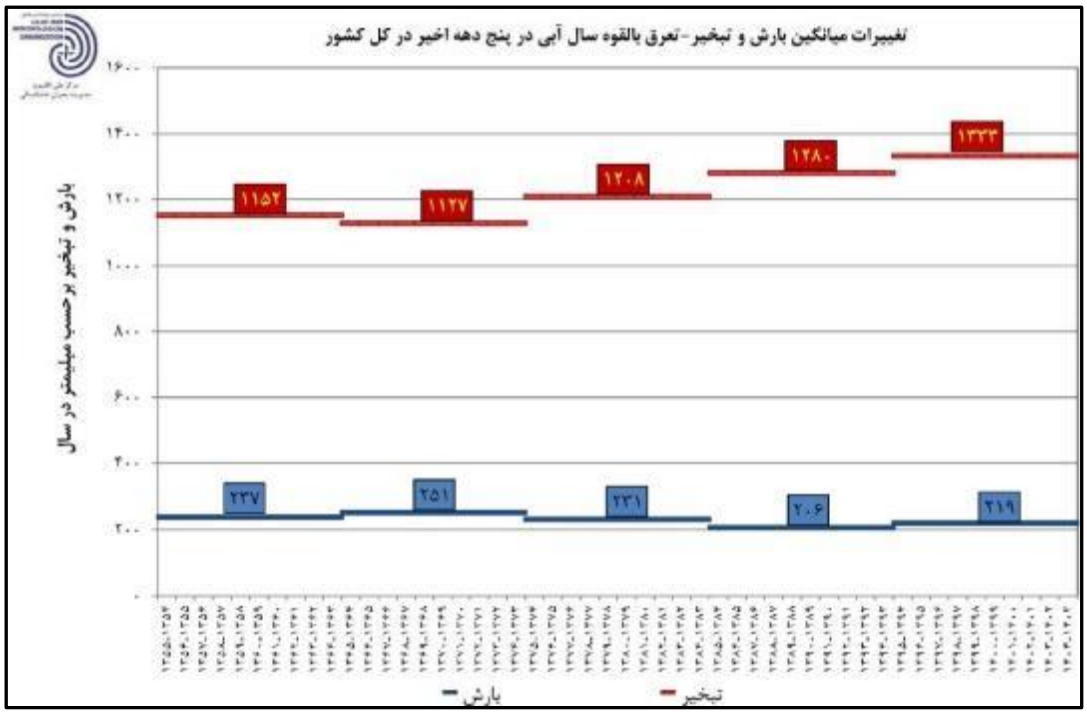
با در نظر گرفتن متوسط بارش بلندمدت کشور و مساحت پهنه کشور، حجم بلندمدت نزولات جوی در حدود ۳۷۶ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود. از این میزان حدود ۷۵/۶ درصد و معادل ۲۸۴/۳ میلیارد مترمکعب به‌صورت تبخیر و تعرق واقعی از دسترس خارج می‌شود (بی‌نام ۱، ۱۴۰۴).

شکل ۳۱ خطوط هم تبخیر سالانه بلندمدت کشور را با به‌کارگیری داده‌های بلندمدت تبخیر سالانه ایستگاه‌های تبخیرسنجی و رابطه گرادیان دما-تبخیر در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود در ارتفاعات البرز و زاگرس، تبخیر از سطح تشت در حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر در سال است. بیشترین تبخیر سالانه از تشت در مناطقی از حوضه آبریز هامون-هیرمند و تا حدود ۴۸۰۰ میلی‌متر ثبت‌شده است.



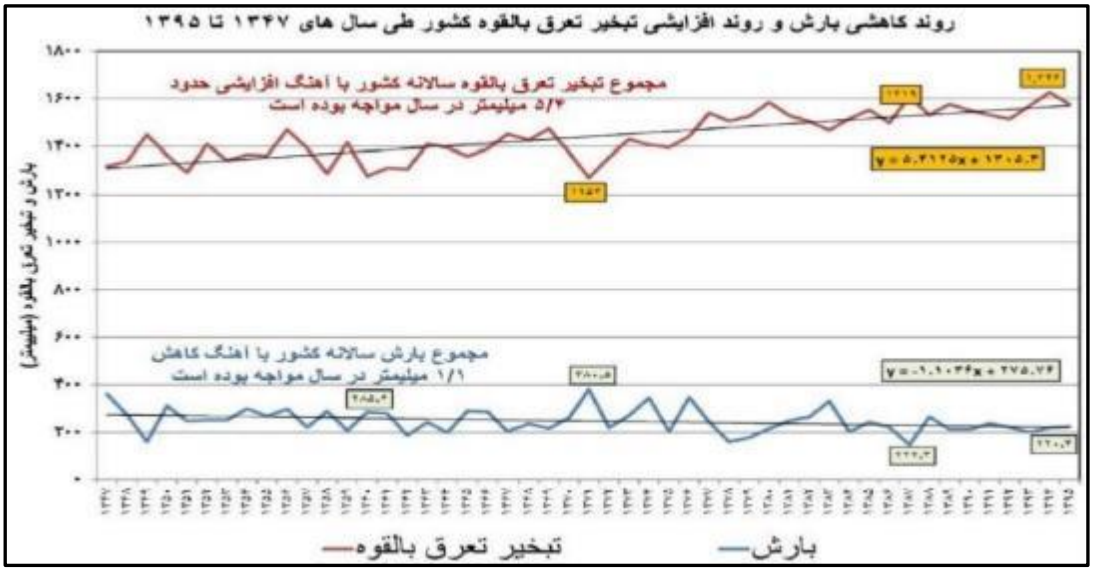
شکل ۳۱- خطوط هم تبخیر سالانه بلندمدت در حوضه‌های آبریز درجه‌یک کشور بر اساس دوره زمانی بلندمدت سال آبی ٤٦-١٣٤٥ تا سال آبی ۹۰- ۱۳۸۹ (بی‌نام ۱، ۱٤۰۰)

شکل ۳۲، تغییرات میانگین بارش و تبخیر-تعرق بالقوه سال آبی طی پنج دهه گذشته را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود روند حاکم بر تبخیر و تعرق بالقوه کشور به‌جز دهه ۱۳۷۴-۱۳۶۴، افزایشی است. تبخیر و تعرق بالقوه کشور در این مدت از ۱۱۵۲ میلی‌متر طی دهه اول به حدود ۱۳۳۳ میلی‌متر طی دهه پنجم، افزایش‌یافته اســـت (بی‌نام ۳، ۱۴۰۴).



شکل ۳۲- تغییرات میانگین بارش و تبخیر-تعرق بالقوه سال آبی طی پنج دهه گذشته (بی‌نام ۳، ۱۴۰۴)

بر اساس گزارش بخش آب مطالعات سند ملی آمایش سرزمین و به نقل از پژوهشکده اقلیم‌شناسی (شکل ۳۳)، طی ســال‌های ۱۳۹۵-۱۳۴۷ تبخیر و تعرق بالقوه کشــور با شــیب ۵/۴ میلی‌متر در ســال، افزایش‌یافته اســت (بی‌نام ۱، ۱۳۹۹).



شکل ۳۳- روند افزایش تبخیر و تعرق بالقوه کشور در سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۴۷ (بی‌نام ۱، ۱۳۹۹)

٤-٤- تحلیل وضعیت خشک‌سالی و ترسالی هواشناسی

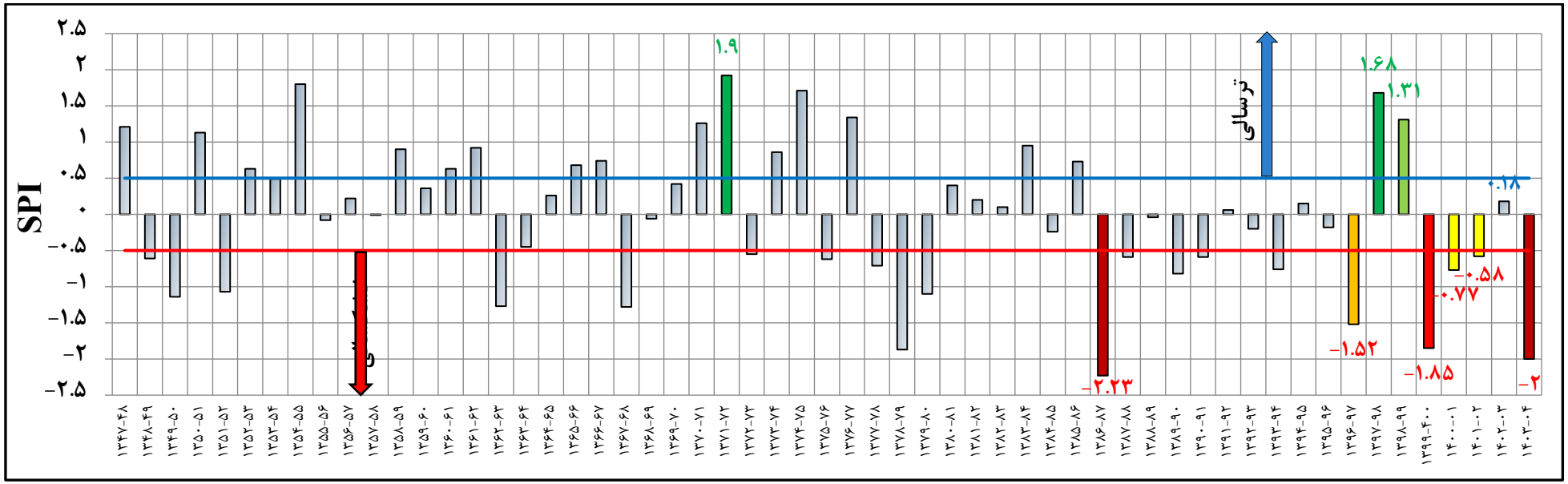
خشک‌سالی ازجمله فرایندهای طبیعی و در زمره فرایندهای آب‌وهوایی است که از ویژگی‌های تکرارشونده اقلیم‌های مختلف محسوب می‌شود. در حال حاضر، پایش خشک‌سالی به‌صورت عمده بر مبنای داده‌های ثبت‌شده بارندگی صورت می‌گیرد؛ به‌طوری‌که بر اساس یک گزارش، بارندگی به‌تنهایی بیش از ۸۰ درصد از تغییرات شاخص خشک‌سالی را توصیف می‌کند (Keyantash et al. 2002). تاکنون معیارهای مختلفی برای پایش وضعیت خشک‌سالی توسط محققین ارائه‌شده است که از آن مهم‌ترین آن می‌توان به شاخص بارش استانداردشده[1] (SPI) اشاره کرد. بر اساس یک طبقه‌بندی (McKee et al. 1993)، مقدار SPI در محدوده ۰/۴۹- تا ۰/۴۹ بیانگر شرایط نرمال، محدوده ۰/۵ تا ۰/۹۹ بیانگر ترسالی ضعیف، محدوده ۱ تا ۱/۴۹ بیانگر ترسالی متوسط، محدوده ۱/۵ تا ۱/۹۹ بیانگر ترسالی شدید، محدوده بیشتر از ۲ بیانگر ترسالی بسیار شدید، در محدوده ۰/۹۹- تا ۰/۵- بیانگر شرایط خشک‌سالی ضعیف، محدوده ۱/۴۹- تا ۱- بیانگر خشک‌سالی متوسط، محدوده ۱/۹۹- تا ۱/۵- بیانگر خشک‌سالی شدید و محدوده کمتر از ۲- بیانگر خشک‌سالی بسیار شدید است.

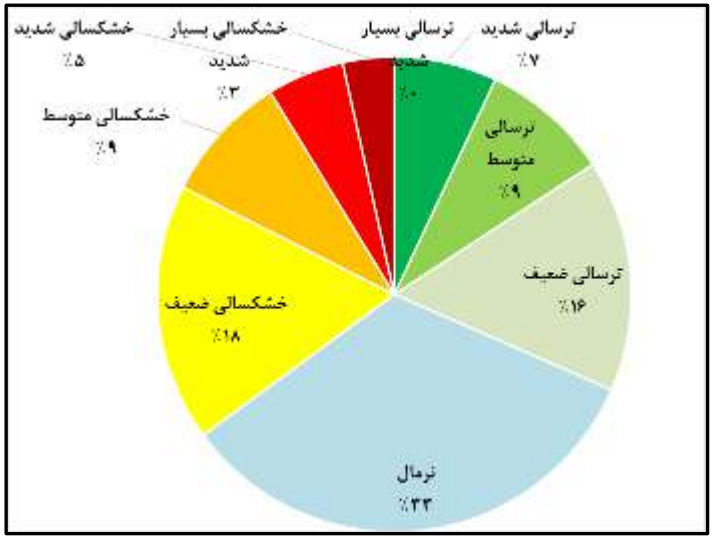
شکل ۳۴، طبقه‌بندی SPI در طول دوره ۵۷ ساله بر اساس آمار بارش متوسط کشور از محاسبات وزارت نیرو و فراوانی طبقات خشک‌سالی ترسالی هواشناسی، نشان می‌دهد. در این دوره، کشور حدی‌ترین شرایط ترسالی را طی سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ و به ازای SPI=+1.92 (ترسالی شدید) و حادی‌ترین شرایط خشک‌سالی را در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ و به ازای SPI=-2.3 (خشک‌سالی بسیار شدید)، تجربه کرده است. در دوره آماری ۵۷ ساله کشور، ۳۳ درصد

[1] Standardized Precipitation Index

شرایط نرمال، ۱۸ درصد خشک‌سالی ضعیف، ۹ درصد خشک‌سالی متوسط، ۵ درصد خشک‌سالی شدید، ۴ درصد خشک‌سالی بسیار شدید و ۱۶ درصد ترسالی ضعیف، ۹ درصد ترسالی متوسط، ۷ درصد ترسالی شدید، تجربه کرده است. ملاحظه می‌شود طی ۱۸ سال اخیر (سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ تا سال آبی ۰۴-۱۴۰۳)، کشور عمدتاً در شرایط خشک‌سالی قرار داشته است.

جداول ۱۰ و ۱۱ مقادیر SPI در طول دوره ۵۷ ساله حوضه‌های آبریز درجه‌دو، درجه‌یک و کشور را نشان می‌دهد. طی این دوره، شدیدترین خشک‌سالی در حوضه آبریز رودخانه‌های بلوچستان (SPI=-2.85) در سال آبی ۸۳-۱۳۸۲ و شدیدترین ترسالی در حوضه آبریز اترک (SPI=+3.06) در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷، ثبت‌شده است. ملاحظه می‌گردد طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳، پنج حوضه آبریز درجه دو (اترک، هامون جازموریان، کویر مرکزی، رودخانه‌های بلوچستان و دریاچه نمک شرایط خشک‌سالی بسیار شدید، ده حوضه آبریز درجه دو (قره سو گرگان، کرخه، کارون بزرگ، جراحی و زهره، کل مهران و مسیل‌های جنوبی، بندرعباس و سدیج، کویر لوت، کویر سیاه کوه ریگ زرین، کویر درانجیر و هامون مشکیل) شرایط خشکسالی شدید، هفت حوضه آبریز درجه دو (مرزی غرب، مند کاریان خنج، دریاچه ارومیه، گاوخونی، کویر ابرقو سیرجان، هامون هیرمند و قره‌قوم) شرایط خشکسالی متوسط، شش حوضه آبریز درجه دو (ارس، سفیدرود بزرگ، هراز و قره‌سو، حله‌رود و رودخانه‌های کوچک، طشک بختگان و مهارلو و پترگان خواف) شرایط خشکسالی ضعیف و تنها دو حوضه آبریز درجه دو (تالش مرداب انزلی و رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز) شرایط نرمال را تجربه نمودند.





شکل ۳٤- طبقه‌بندی خشک‌سالی-ترسالی هواشناسی کشور بر مبنای شاخص SPI و فراوانی طبقات در طول دوره آماری ۵۷ ساله

جدول ۱۰- شاخص SPI حوضه‌های آبریز درجه‌دو در طول دوره آماری ۵۷ ساله

سال آبی	ارس	تالش، مرداب انزلی	سفیدرود بزرگ	رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز	هراز و قره‌سو	قره‌سو و گرگان	اترک	مرزی غرب	کرخه	کارون بزرگ	جراحی و زهره	حله رود و رودخانه‌های کوچک	مند، کاریان و خنج	کل، مهران و مسیل‌های جنوبی	بندرعباس، سدیج
1347-48	0.53	1.99	2.34	0.45	1.2	-0.56	0.86	1.7	1.8	1.41	0.65	0.44	0.89	0.66	0.32
1348-49	-0.02	-0.31	0.13	-0.04	0.89	-0.56	-0.34	0.4	-0.27	-0.5	-0.17	-0.56	-0.44	-0.55	-0.62
1349-50	-0.47	-2.43	-0.39	-0.43	-1.55	-1.47	-1.2	-0.44	-0.13	-0.11	-0.1	-1.62	-1.71	-1.18	-1.12
1350-51	1.73	-0.4	-0.03	-0.59	1.17	-0.48	0.59	0.72	1.01	1.1	1.31	1.77	1.65	0.74	0.91
1351-52	1.87	0.31	0.27	-0.24	0.46	-0.57	-0.42	-1.46	-1.15	-0.8	-1.54	-1.7	-1.72	-1.26	-1.31
1352-53	1.4	0.16	0.34	-0.8	0.64	0.55	0.51	1.7	0.79	0.31	0.42	0.57	0.39	0.39	0.25
1353-54	0.05	-2.33	-0.66	-1.45	-1.54	-1.29	-0.76	-0.03	0.09	0.4	0.55	0.57	0.81	1.03	1.54
1354-55	-0.39	0.59	-0.22	0.41	0.85	-1.01	-0.13	0.36	0.79	2.27	2.04	1.5	1.65	1.64	1.92
1355-56	-0.14	-0.08	-0.44	1.09	0.57	-1.35	-0.45	-0.4	-0.37	-0.54	-0.18	-0.14	-0.19	0.35	0.39
1356-57	-0.37	-0.88	0.14	-0.51	0.25	-0.34	0.54	0.01	-0.33	0.38	0.63	0.57	0.53	-0.02	0.32
1357-58	-0.23	-0.22	0.13	-0.06	-0.03	-1.31	-0.31	-0.33	-0.08	-0.33	0.32	0.29	0.32	0.06	0.24
1358-59	-0.23	-0.6	-0.12	-0.73	0.5	-0.87	0.6	0.7	1.16	1.06	1.26	1.34	1.55	0.79	0.39
1359-60	0.39	0.01	0.88	-0.89	0.49	0.89	1.78	1.38	1.26	-0.15	-0.38	-0.33	0.17	-0.33	0.4
1360-61	0.11	-0.56	-0.38	-0.28	-0.09	-0.71	-0.09	1	1.14	0.18	0.57	0.55	0.28	0.54	1.31
1361-62	0.68	1.08	0.92	0.58	-0.14	-1.73	-0.91	1.21	1.08	0.44	0.74	0.78	0.61	0.56	0.08
1362-63	-1.48	-0.45	0.13	-0.77	-1.07	0.25	-0.21	-1.31	-1.28	-1.13	-0.94	-0.34	-2.14	-1.96	-0.48
1363-64	0.29	0.41	0.54	-1.21	-0.5	-0.35	0.11	0.64	0	-0.46	-0.7	-1.16	-0.19	-0.14	-0.93
1364-65	-1.06	0.66	0.58	-0.9	-1.52	0.1	0.64	0.18	0.68	0.33	0.45	0.04	-0.48	-0.27	0.01
1365-66	-0.69	0.79	-0.43	-0.71	0.65	0.99	0.63	0.26	0.31	0.75	0.79	0.84	1.09	0.68	0.29
1366-67	1.27	1.86	2.15	1.09	2.09	0.41	1.02	1.4	0.98	0.62	0.34	1.32	0.24	0.18	-0.24
1367-68	-1.85	-0.81	-0.89	-0.7	-0.49	-0.48	-1.22	-0.88	-0.69	-0.78	-1.17	-0.7	-0.41	-0.61	-0.89
1368-69	0.01	-0.24	0.01	-0.52	-1.51	-0.86	-0.99	-0.06	-0.48	-0.13	-0.2	0.31	0.21	-0.33	0.78
1369-70	-1.16	0.02	0.12	0.32	-1.66	0.01	-0.24	-0.34	-0.83	-0.17	0.05	-0.13	0.05	0.17	0.3
1370-71	0.38	1.78	1.17	1.98	0.69	1.46	1.88	0.85	1.07	1.4	1.15	0.43	0.98	1.11	0.58
1371-72	1.1	1.13	0.18	1.33	0	0.03	-0.24	0.17	0.83	2.25	1.51	1.03	1.95	2.63	1.15
1372-73	0.73	0.75	1.85	1.19	-0.34	-0.06	-0.67	0.55	0.08	-0.82	-1.69	-2.42	-1.1	-0.51	-0.83
1373-74	-0.32	-0.98	2.03	-0.65	-0.29	-0.05	-0.41	1.42	1.39	1.01	1.11	1.06	0.98	0.91	-0.52
1374-75	-1.87	0.07	-0.11	-0.23	-0.1	-0.62	-0.98	0	0.53	0.65	1.02	1.82	2.1	2.48	2.18
1375-76	-0.16	0.41	-0.86	-0.07	1.22	-0.59	-1.15	-0.84	-0.9	-0.74	-0.49	-0.84	-0.15	0.57	0.41
1376-77	-0.94	-0.25	0.76	-0.37	0.82	1.21	0.78	1	0.79	1.03	1.66	1.69	1.26	0.76	1.56
1377-78	-1.91	-0.6	-2.26	-0.05	-1.29	-0.22	0.17	-1.81	-1.54	-0.66	-0.14	0.13	0.06	-0.13	0.06
1378-79	-1.5	-0.18	-1.43	-1.38	-0.3	0.98	0.56	-1.62	-1.5	-1.42	-1.55	-1.25	-1.27	-1.48	-0.04
1379-80	-1.38	0.08	-1.39	-1.14	-0.96	-0.73	-1.98	-0.63	0.12	-0.58	-0.88	-0.46	-0.83	-0.78	-1.54
1380-81	-0.02	-0.04	-0.33	1.06	-0.24	0.45	0.51	0.13	0.03	1.49	1.47	0.72	0.18	-0.26	-0.58
1381-82	1.1	0.4	0.21	0.69	1.44	1.11	1.29	0.16	-0.55	0.13	-0.5	-0.28	0.04	0.45	-1.05
1382-83	0.4	0.61	0.06	1.26	1.2	1.28	0.48	0.33	0.19	0.79	0.62	0.62	0.5	-0.57	-1.74
1383-84	0.01	0.71	0.06	0.62	0.97	1.13	1.15	0.63	0.35	0.58	0.41	1.39	1.46	0.86	1.16
1384-85	-0.33	-0.78	-0.11	-1.17	-0.84	0.03	-0.1	0.37	0.15	1.23	0.69	0.12	-0.47	-1.17	-0.96
1385-86	0.52	1	0.57	0.53	0.53	0.72	0.33	0	0.77	0.67	0.27	-0.06	0.12	0.34	-0.27
1386-87	-1.04	-1.82	-2.83	-1.64	-2.01	-1.27	-0.91	-2.63	-2.07	-2.16	-2.38	-1.52	-1.36	-1.26	-0.02
1387-88	-0.49	1.07	-0.29	0.43	0.62	0.94	0.2	-0.88	-1.15	-1.4	-1.89	-1.93	-1.54	-0.99	0.07
1388-89	1.09	-0.45	0.96	-1.23	-0.24	0.76	0.57	0.51	0.41	0.09	0.19	-0.75	-0.53	0.19	0.3
1389-90	-0.59	-0.58	-0.81	-0.71	-0.76	0.52	-0.11	-0.85	-1.03	-1.07	-0.93	-1	-0.47	0.06	0.28
1390-91	0.36	1.84	0.83	1.72	1.36	2.53	1.45	-1.35	-1.59	-1.31	-0.84	-0.4	-0.46	-1.09	-1.37
1391-92	-0.17	-0.72	-0.78	-0.48	0.3	1.13	0.15	-0.15	-0.3	-0.09	0.56	0.96	-0.21	-0.13	0.42
1392-93	2.17	-1.2	-0.53	-0.71	-0.71	-0.29	-1.31	-0.41	0.05	-0.36	0.2	-0.01	-0.35	-0.23	0.73
1393-94	1.6	1.16	-0.11	2.85	-0.28	-0.65	-0.42	-1	-1.51	-0.72	-0.99	-1.33	-1.05	-0.99	-0.94
1394-95	1.63	0.76	0.91	1.78	1.27	1.73	1.41	1.19	1.35	0.11	-0.2	-0.18	-0.31	0.1	0.41
1395-96	-1.14	-1.46	-1.19	-0.57	-1.64	-1.03	-0.96	-0.84	-0.37	-0.82	-0.98	-0.14	1.31	1.52	0.67
1396-97	1.21	-2.02	-0.15	-0.81	-1.05	-0.11	-1.06	-0.04	-0.43	-1.67	-1.75	-1.97	-1.55	-1.31	-2.14
1397-98	0.59	1.04	1.55	2.11	1.75	2.49	3.06	2.49	2.55	1.94	1.42	0.88	0.44	0.89	0.45
1398-99	0.19	1.33	0.94	1.17	1.3	0.47	0.85	0.21	0.56	-0.14	0.13	0.71	1.09	1.74	1.3
1399-400	-0.85	-1.36	-1.62	-1.2	-0.92	-1.11	-1.28	-1.37	-1.17	-1.52	-0.55	0.17	-1.64	-1.8	-2.27
1400-01	-1.04	-0.11	-1.51	0.28	-0.66	0.09	-0.39	-1.53	-1.65	-0.92	-0.98	-0.88	-0.65	0.12	1.61
1401-02	-0.55	0.14	0.03	-0.23	-0.92	-1.06	-1.25	0.02	0.12	0.4	0.68	0.58	-0.28	-0.84	-0.51
1402-03	1.51	-0.45	-0.01	0	1.1	1.2	0.75	0.68	0.76	0.13	0.49	-0.35	-0.29	-0.52	-0.42
1403-04	-0.51	0.17	-0.93	0.49	-0.68	-1.74	-2.39	-1.17	-1.82	-1.7	-1.52	-0.67	-1.15	-1.9	-1.89

ادامه جدول ۱۰- شاخص SPI حوضه‌های آبریز درجه‌دو در طول دوره آماری ۵۷ ساله

سال آبی	رودخانه‌های بلوچستان	دریاچه ارومیه	دریاچه نمک	گاوخونی	طشک، بختگان و ...	کویر ابرقو، ...	هامون، جازموریان	کویر لوت	کویر مرکزی	کویر سیاهکوه، ...	کویر درانجیر	پشت‌گان، خواف	هامون، هیرمند	هامون، مشکیل	قره‌قوم
1347-48	0.15	2.02	2.12	1.36	0.31	0.67	0.44	0.39	0.61	0	0.11	0.62	0.81	-0.44	1.37
1348-49	-0.31	-0.02	-0.7	-0.89	-0.77	-0.83	-0.64	-0.52	-1.04	-0.29	0.21	-0.49	-0.1	-0.1	-0.15
1349-50	-0.49	-0.49	-0.34	-0.33	-0.79	-1.74	-1.67	-1.23	-1.07	-1.05	-1.05	-0.86	-0.91	-0.95	-0.61
1350-51	0.5	0.82	0.6	0.97	1.14	1.1	0.83	-0.07	1.45	1.06	0.28	0.64	0.48	0.33	0.17
1351-52	0.05	0.41	-0.47	-0.81	-1.21	-1.44	-0.31	-0.84	-0.72	-2.02	-0.79	-0.44	-0.6	-1.15	-0.15
1352-53	0.27	0.64	0.13	0.02	0.02	0.47	0.48	0.89	0.52	0.83	0.63	1.2	1.29	0.2	0.85
1353-54	0.33	-0.44	-0.21	0.25	0.26	0.52	1.1	0.96	0.35	-0.05	0.73	0.9	1.47	0.22	0.01
1354-55	0.53	0.17	0.88	2.08	1	1.6	2.09	1.63	1.21	1.53	1.45	1.92	1.2	0.31	1.8
1355-56	0.05	0.46	-0.11	-0.29	-0.68	0.1	0.37	-0.08	0.46	1.1	0.68	0.11	-0.28	0.19	0.5
1356-57	0.18	-0.48	-0.44	0.8	0.91	0.7	-0.37	-0.4	0.45	1.26	0.77	0.55	-0.11	0.07	1.03
1357-58	-0.61	-0.45	-0.06	-0.51	0.15	0.18	0.25	0.46	0.24	0.39	0.76	0.4	-0.04	-0.93	0.87
1358-59	-0.58	-0.54	0.33	0.34	1.35	1.01	0.43	0.44	1.21	0.69	0.41	0.92	0.57	-0.23	0.93
1359-60	0.63	0.45	0.29	-1.56	0.09	-0.17	0.79	0.66	0.19	-0.66	0.11	0.66	1.45	0.08	0.96
1360-61	1.27	0.11	-0.74	-0.61	-0.68	-0.34	1.33	1.41	0.97	-0.85	-0.54	0.29	0.47	1.61	1.53
1361-62	0.31	-0.04	1.1	0.7	0.27	0.36	0.47	1.46	1.5	1.44	1.41	1.63	1.09	1.16	0.75
1362-63	-0.43	-0.7	-0.63	-0.72	-0.69	-0.54	-1.21	-1.02	-0.77	-0.12	-0.51	-0.67	-0.21	-0.93	-1.08
1363-64	-1.21	0.82	-0.11	-0.03	-0.51	-0.08	-0.9	-0.45	-0.71	-0.41	0.3	-0.94	0.28	-0.38	-0.3
1364-65	0.7	-0.34	0.22	0.65	-0.14	-0.05	-0.29	1.03	0.44	1.1	0.71	1.61	1.3	0.36	0.91
1365-66	0.46	-0.51	-0.15	0.83	1.4	1.33	0.51	0.81	0.92	0.01	0.59	0.05	-0.39	0.37	0.08
1366-67	0.49	1.41	0.8	0.61	0.51	-0.01	0	-0.13	1.05	0.38	0.02	0.06	0.13	0.08	-0.37
1367-68	-0.78	-1.86	-0.85	-0.86	-0.84	-1.02	-0.53	-1.16	-1.19	-1.67	-1.47	-0.89	-0.93	-0.64	-0.98
1368-69	1.23	0.07	-0.87	0.22	0.28	-0.19	0.59	-0.07	0.17	-0.05	-0.86	0.65	0.39	-0.07	0.44
1369-70	0.33	0.45	-0.55	-0.29	0.54	0.57	0.85	2.07	1.17	0.39	1.44	1.69	1.7	0.98	1.68
1370-71	0.09	1.01	1.38	0.99	0.98	0.63	0.4	0.52	1.55	0.67	0.65	1.34	0.63	0.08	1.16
1371-72	0.58	1.56	0.52	2.03	1.82	2.23	1.85	1.42	1.06	1.24	1.88	1.52	0.66	1.77	1.44
1372-73	-0.05	1.88	0.52	-0.31	-1.39	-0.82	-0.5	-0.85	-1.3	-0.61	-0.52	-0.91	-0.12	0.96	-0.6
1373-74	-0.55	1.23	1.3	1.21	1.51	1.03	-0.63	0.73	0	0.09	0.84	0.66	0.36	-0.61	-0.4
1374-75	1.24	-0.1	1.72	0.85	1.75	1.88	2.18	2.25	0.62	1.42	1.56	1.72	2.25	1.96	-0.01
1375-76	0.72	-0.44	-2.1	-1.29	-0.5	-0.29	0.23	-0.13	-1.63	-1.7	-0.22	-0.06	0.23	0.59	-0.14
1376-77	2.3	-0.52	0.41	0.95	1.46	0.88	0.95	0.94	1.17	0.6	0.44	1.29	0.88	1.52	1.31
1377-78	-0.73	-2.27	-1.69	-0.66	0.29	0.48	-0.41	0.04	-0.4	1.07	0.84	0.16	0.04	0.45	-0.15
1378-79	-2.85	-2.01	-1.4	-1.54	-1.39	-1.45	-1.25	-1.91	-1.64	-2.03	-2.04	-2.24	-1.34	-1.48	-2.02
1379-80	-1.27	-1.66	0.29	-0.76	-0.73	-0.83	-1.61	-1.02	-0.36	0.42	-0.35	-1.21	-2.06	-1.51	-1.12
1380-81	-1.16	0.07	0.75	1.23	1.54	0.7	-0.51	-0.05	-0.06	1.19	0.8	-0.22	-0.55	-0.63	-0.18
1381-82	-0.1	0.85	1.25	0.52	0.53	0.37	-0.6	-0.54	1.07	0.82	-0.26	-0.38	-0.9	-0.39	0.53
1382-83	-2.84	0.49	0.92	1.26	0.89	0.44	-2.17	-0.73	0.04	0.54	-0.04	-0.59	-1.64	-2.76	0.02
1383-84	0.3	-0.11	0.53	0.41	1.46	1.25	1.03	1.18	0.15	-0.45	0.3	0.64	1.98	0.9	0.21
1384-85	-0.18	-0.09	0.24	1.19	0.29	-0.91	-0.56	-1.22	-0.19	-0.03	-1.76	-1.17	-1.44	0.53	-0.97
1385-86	1.73	0.31	1.44	1.46	0.77	0.65	0.46	0.55	1	1.02	0.2	0.92	0.61	1.02	0.26
1386-87	1.01	-2.59	-1.98	-2.63	-2.66	-2.21	0.1	-1.69	-1.92	-2.06	-2.74	-1.74	-1.53	0.09	-2.04
1387-88	0.62	-0.44	0.12	-0.56	-0.93	-0.69	0.46	0.48	0.18	0.61	-0.08	0.54	-0.01	0.33	0.42
1388-89	0.57	1.03	0.24	-0.15	-0.53	-0.63	0.17	-0.68	-0.09	-0.72	-1.69	-0.75	-0.99	0.17	-0.21
1389-90	-0.7	-0.39	-0.31	-1.47	-0.74	-0.41	0.3	-0.34	-0.7	-1.37	-0.62	-1.19	-0.53	0.46	-1.39
1390-91	-0.24	-0.7	0.2	-0.16	0.02	-0.58	-1.53	-1.01	0.75	0.06	-1.35	-0.48	-0.22	-0.54	0.13
1391-92	0.75	0.09	-0.76	0.46	0.43	0.44	0.29	0.31	-0.04	1.17	1.06	0	-0.19	0.39	-0.34
1392-93	0.35	-0.76	0.05	0.1	-0.48	-0.21	0.29	0.38	-1.07	0.64	0.86	-0.58	0.01	0.93	-0.62
1393-94	-0.44	0.78	-1.24	0.08	-0.82	-0.4	-0.75	-0.03	-0.64	-0.55	0.34	-0.6	0.08	-0.2	-0.29
1394-95	-1.07	0.91	0.01	-0.94	-0.84	-0.54	-0.07	-0.44	-0.55	-1.61	-0.53	-0.54	0.27	0.51	0.69
1395-96	0.15	-0.98	0.26	-0.27	0.26	1.68	0.81	-0.71	-0.74	-1.22	-0.09	-1.34	-1.49	-0.4	-0.49
1396-97	-1.49	1.03	-0.58	-1.7	-2.2	-1.96	-1.86	-1.46	-0.83	-0.84	-1.58	-1.37	-1.78	-2.74	-1.21
1397-98	0.13	2.1	2.02	1.31	0.74	0.47	0.45	0.65	1.94	0.54	0.28	0.62	0.41	0.31	1.39
1398-99	1.12	0.43	1.82	-0.2	0.69	1.46	1.65	1.69	1.71	0.21	1.5	0.89	1.15	0.96	1.16
1399-400	-1.31	-0.71	-0.99	-1.85	-1.66	-2.07	-1.45	-1.6	-1.12	-1.21	-1.54	-1.52	-1.51	-2	-2.1
1400-01	1.23	-0.82	-1.25	-0.4	-1.18	-0.46	0.67	-0.8	-1.32	-0.54	-0.19	-0.99	-1.09	-0.21	-0.95
1401-02	-0.07	-0.53	-1.66	0.3	-0.26	-0.61	-0.87	-0.77	-1.12	0.46	-0.15	-1.31	-0.67	-0.57	-2.31
1402-03	1.58	0.72	-0.27	-0.1	-0.27	-0.24	0.17	0.33	-0.86	0.91	0.6	0	0.72	1.84	0.13
1403-04	-2.06	-1.29	-2.02	-1.27	-0.75	-1.45	-2.23	-1.76	-2.09	-1.66	-1.68	-0.75	-1.28	-1.6	-1.49

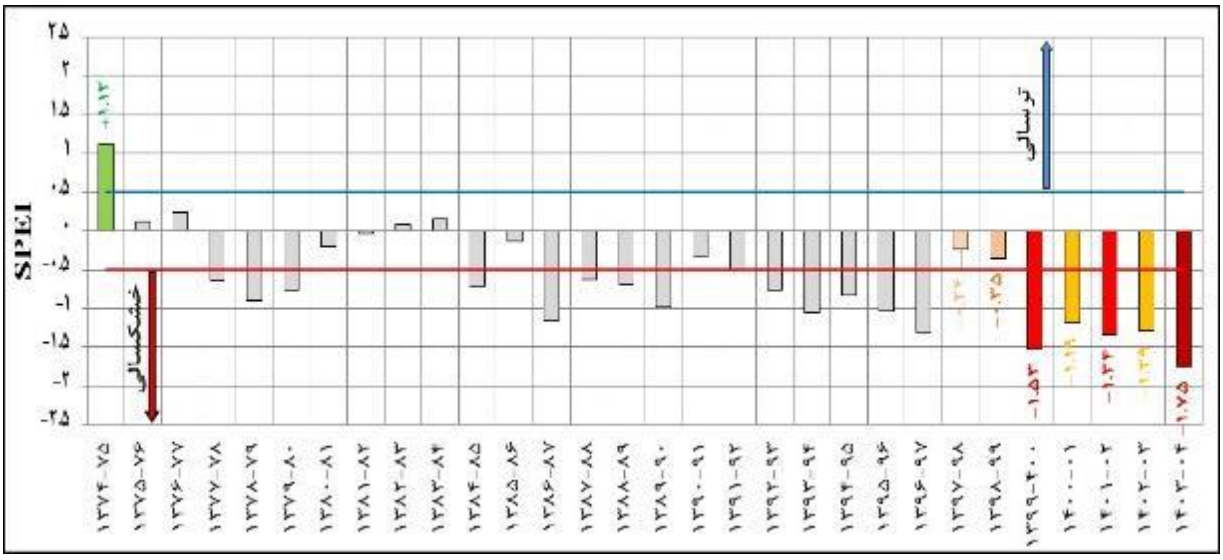
جدول ۱۱- شاخص SPI حوضه‌های آبریز درجه‌یک و کشور در طول دوره آماری ۵۷ ساله

سال آبی	دریای خزر	خلیج فارس و دریای عمان	دریاچه ارومیه	فلات مرکزی	مرزی شرق	قره‌قوم	کل کشور
1347-48	1.64	1.14	2.02	0.87	0.29	1.37	1.21
1348-49	0.03	-0.5	-0.02	-0.89	-0.33	-0.15	-0.61
1349-50	-1.24	-0.84	-0.49	-1.26	-1.08	-0.61	-1.14
1350-51	0.5	1.29	0.82	0.98	0.5	0.17	1.13
1351-52	0.47	-1.48	0.41	-1.03	-0.87	-0.15	-1.07
1352-53	0.6	0.59	0.64	0.51	0.93	0.85	0.63
1353-54	-1.28	0.77	-0.44	0.56	0.86	0.01	0.49
1354-55	-0.05	1.95	0.17	1.74	1.27	1.8	1.8
1355-56	-0.19	-0.23	0.46	0.1	0.02	0.5	-0.08
1356-57	-0.13	0.26	-0.48	0.26	0.2	1.03	0.22
1357-58	-0.27	-0.07	-0.45	0.2	-0.23	0.87	-0.01
1358-59	-0.2	1.11	-0.54	0.87	0.43	0.93	0.9
1359-60	0.8	0.27	0.45	0.19	0.7	0.96	0.36
1360-61	-0.37	0.82	0.11	0.43	1.03	1.53	0.63
1361-62	0.35	0.69	-0.04	1.18	1.47	0.75	0.92
1362-63	-0.63	-1.49	-0.7	-0.95	-0.78	-1.08	-1.27
1363-64	0.02	-0.49	0.82	-0.52	-0.52	-0.3	-0.45
1364-65	-0.2	0.14	-0.34	0.41	1.17	0.91	0.26
1365-66	0.01	0.73	-0.51	0.89	0.05	0.08	0.68
1366-67	2.06	0.58	1.41	0.47	0.05	-0.37	0.74
1367-68	-1.3	-0.98	-1.86	-1.25	-0.97	-0.98	-1.28
1368-69	-0.65	0.06	0.07	-0.07	0.32	0.44	-0.06
1369-70	-0.5	-0.14	0.45	1.01	1.58	1.68	0.42
1370-71	1.63	1.14	1.01	1.1	0.76	1.16	1.26
1371-72	0.58	1.95	1.56	1.78	1.63	1.44	1.92
1372-73	0.99	-0.86	1.88	-0.84	0.08	-0.6	-0.55
1373-74	0.46	0.97	1.23	0.76	0.11	-0.4	0.86
1374-75	-0.72	1.78	-0.1	1.95	2.22	-0.01	1.71
1375-76	-0.37	-0.35	-0.44	-1.02	0.28	-0.14	-0.62
1376-77	0.45	1.54	-0.52	1.09	1.46	1.31	1.34
1377-78	-1.57	-0.66	-2.27	-0.29	0.24	-0.15	-0.71
1378-79	-0.92	-1.64	-2.01	-1.92	-2.02	-2.02	-1.87
1379-80	-1.6	-0.91	-1.66	-0.72	-1.74	-1.12	-1.1
1380-81	0.09	0.47	0.07	0.51	-0.56	-0.18	0.4
1381-82	1.06	-0.2	0.85	0.46	-0.62	0.53	0.2
1382-83	0.8	0.07	0.49	0.1	-1.62	0.02	0.1
1383-84	0.68	0.95	-0.11	0.9	1.21	0.21	0.95
1384-85	-0.56	0.09	-0.09	-0.4	-0.56	-0.97	-0.24
1385-86	0.73	0.45	0.31	0.99	0.98	0.26	0.73
1386-87	-2.44	-1.81	-2.59	-2.17	-1.06	-2.04	-2.23
1387-88	0.21	-1.31	-0.44	-0.01	0.34	0.42	-0.59
1388-89	0.54	0.09	1.03	-0.4	-0.52	-0.21	-0.04
1389-90	-0.73	-0.8	-0.39	-0.63	-0.41	-1.39	-0.82
1390-91	1.65	-1.31	-0.7	-0.31	-0.55	0.13	-0.59
1391-92	-0.28	0.07	0.09	0.21	0.09	-0.34	0.06
1392-93	-0.29	-0.11	-0.76	-0.15	0.21	-0.62	-0.2
1393-94	0.7	-1.24	0.78	-0.66	-0.36	-0.29	-0.76
1394-95	1.7	0.23	0.91	-0.61	0.06	0.69	0.15
1395-96	-1.57	0.18	-0.98	0.06	-1.18	-0.49	-0.18
1396-97	-0.49	-1.62	1.03	-1.61	-2.1	-1.21	-1.52
1397-98	2.3	1.58	2.1	1.3	0.47	1.39	1.68
1398-99	1.13	0.9	0.43	1.68	1.09	1.16	1.31
1399-400	-1.68	-1.64	-0.71	-1.74	-1.93	-2.1	-1.85
1400-01	-0.96	-0.42	-0.82	-0.88	-0.84	-0.95	-0.77
1401-02	-0.64	-0.05	-0.53	-0.94	-1.04	-2.31	-0.58
1402-03	0.75	0.18	0.72	-0.19	1.13	0.13	0.18
1403-04	-1.08	-1.91	-1.29	-2.08	-1.35	-1.49	-2

بارش و تبخیر- تعرق دو پارامتر مهم و ضروری برای پایش خشک‌سالی‌های هواشناسی محسوب می‌شوند. ازاین‌رو شاخص‌هایی که علاوه بر باران، مقدار تبخیر-تعرق را نیز در نظر می‌گیرند می‌توانند برای پایش تغییرات اقلیمی دوره‌های فعلی و آتی بر مبنای سناریوهای اقلیمی به کار روند. شاخص بارندگی-تبخیر و تعرق استانداردشده (SPEI)[1] در مقیاس‌های زمانی مختلف از معادله ساده بیلان آب یعنی تفاوت بین بارندگی و تبخیر-تعرق پتانسیل (مبنی بر رویکرد تورنت وایت)، استفاده می‌نماید (Vicente-Serrano et al. 2010). دامنه طبقه‌بندی ۹ گانه بر اساس شاخص SPEI مشابه با شاخص SPI است. شکل ۳۵، روند تغییرات شاخص SPEI کشور طی دوره ۳۰ ساله منتهی به سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ بر اساس محاسبات سازمان هواشناسی کشور را نشان می‌دهد (بی‌نام ۳، ۱۴۰۴). از این شکل، تشدید دوره‌های خشک‌سالی و روند افزایش خشکی کشور از ابتدای دوره بر اساس شاخص بارندگی-تبخیر و تعرق، قابل‌درک است. از سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ کشور وارد دوره خشک‌سالی شده که تا سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ خشکی کشور روند افزایشی داشته، به‌طوری‌که شدیدترین شرایط خشکسالی در سی سال اخیر از منظر شاخص SPEI در سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ رخ داده است (SPEI= -1.75). همچنین طی سی سال اخیر، بیشترین بارندگی و کمترین تبخیر-تعرق به‌صورت تواما، مربوط به سال آبی ۷۵-۱۳۷۴ است (SPEI= +1.12).

بر اساس شاخص SPEI، در مناطقی که بی‌هنجاری مثبت دما حاکم باشد، حتی با بارش نرمال نیز می‌تواند شرایط خشک‌سالی برقرار شود. مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در سال‌های آبی متناظر نشان می‌دهد اگرچه کشور طی سال‌های آبی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ شرایط ترسالی شدید و ترسالی متوسط را بر اساس شاخص SPI و بارش‌های قابل‌توجه تجربه کرده است، لیکن به دلیل روند افزایشی دما و درنتیجه تبخیر-تعرق، کشور طی سال‌های آبی مذکور بر اساس شاخص SPEI طی سال‌های آبی مذکور در طبقه نرمال و خشک ضعیف قرارگرفته است. در نقطه مقابل، اگرچه کشور طی سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ خشک‌ترین سال آبی در طول دوره آماری را صرفاً ازنظر بارشی و شاخص SPI است، لیکن از منظر شاخص SPEI سال آبی مذکور در طبقه خشک‌سالی متوسط قرار دارد (SPEI= -1.15).

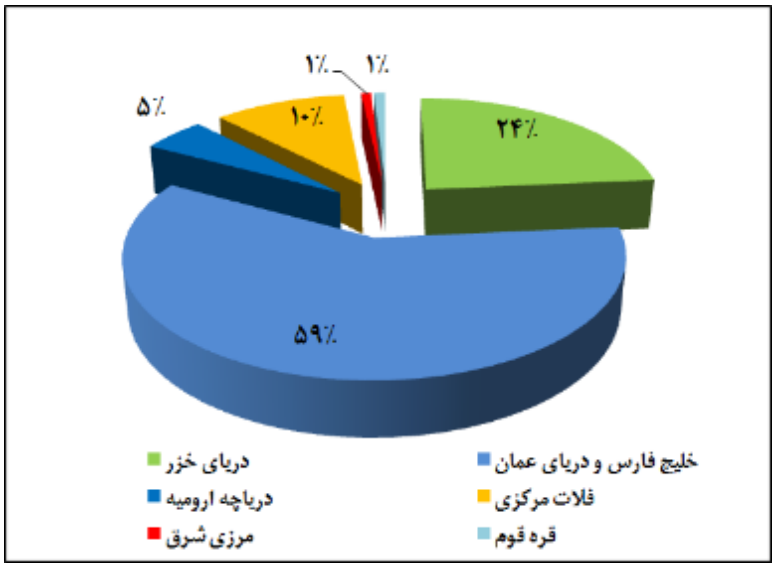
[1] Standardized Precipitation Evapotranspiration Index



شکل ۳۵- شاخص SPEI کشور در دوره ۳۰ ساله منتهی به سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ (بی‌نام ۳، ۱۴۰۴)

٤-٥- تحلیل روند تغییرات جریان سطحی

جریان سطحی از دیدگاه‌های مختلف نظیر؛ پتانسیل جریان سطحی، رواناب تولیدی، جریان خروجی از حوضه آبریز قابل‌بررسی است. پتانسیل جریان سطحی از مجموع رواناب ارتفاعات، رواناب دشت، تخلیه چشمه‌ها در دشت و ارتفاعات، زهکشی آبخوان و ارتفاعات و کسر این مجموع از میزان نفوذ از جریان‌های سطحی حاصل می‌شود. بر اساس بیلان منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، متوسط بلندمدت پتانسیل جریان سطحی کشور در حدود ۸۴/۷ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود (جدول ۱۲). همچنین متوسط بلندمدت پتانسیل جریان سطحی در حوضه آبریز دریای خزر (۱۹/۹)، خلیج‌فارس و دریای عمان (۵۰/۳)، دریاچه ارومیه (۴/۲)، فلات مرکزی (۸/۹)، مرزی شرق (۰/۶۶۸) و قره‌قوم (۰/۷۷۵) میلیارد مترمکعب، برآورد می‌شود. درنتیجه، حدود ۵۹ درصد پتانسیل جریان سطحی کشور در حوضه آبریز خلیج‌فارس و دریای عمان، ۲۴ درصد حوضه آبریز دریای خزر، ۱۰ درصد حوضه آبریز فلات مرکزی و حوضه‌های آبریز مرزی شرق و قره‌قوم هر یک کمتر از ۱ درصد پتانسیل جریان سطحی کشور را شامل می‌گردند (شکل ۳۶). از مجموعه حوضه‌های آبریز درجه‌دو نیز، بیشترین پتانسیل بلندمدت جریان سطحی مربوط به حوضه‌های آبریز کارون بزرگ و معادل ۲۴/۲ میلیارد مترمکعب است.



شکل ۳۶- درصد سهم حوضه‌های آبریز اصلی از پتانسیل درازمدت جریان سطحی

در وزارت نیرو برای تحلیل سالانه پتانسیل جریان سطحی از شبکه‌ای متشکل از ۱۲۶ ایستگاه موسوم به ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا، استفاده می‌شود (شکل ۳۷). مجموع آبدهی بلندمدت ایستگاه‌های مبنا حدود ۵۶/۷ درصد پتانسیل جریان سطحی کل کشور و مساحت تحت پوشش ایستگاه‌های مبنا حدود ۲۵ درصد مساحت کشور است. ایستگاه‌های مبنا در حوضه‌های آبریز دریای خزر، خلیج‌فارس و دریای عمان، فلات مرکزی، مرزی شرق و قره‌قوم به ترتیب حدود ۴۶/۷، ۶۰/۵، ۷۸، ۵۲/۵، ۲۳/۳ و ۲۵/۶ درصد پتانسیل جریان سطحی حوضه را پوشش می‌دهند. همچنین ایستگاه‌های منتخب به ترتیب حدود ۵۷/۵، ۴۱/۴، ۳۵، ۹/۸، ۱۹/۶، ۲۱/۲ درصد مساحت کل حوضه را در حوضه‌های آبریز دریای خزر، خلیج‌فارس و دریای عمان، فلات مرکزی، مرزی شرق و قره‌قوم، پوشش می‌دهند. شایان‌ذکر است که در این روش، تعمیم جریان سطحی از ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا به هر حوضه آبریز، بر مبنای کاربرد ضرایب تعمیم مبتنی بر نسبت آبدهی بلندمدت ایستگاه به پتانسیل جریان سطحی حوضه آبریز، انجام می‌شود.

جدول ۱۲- متوسط بلندمدت پتانسیل جریان سطحی حوضه‌های آبریز درجه‌یک و دو کشور بر اساس بیلان منتهی به سال ۹۰-۱۳۸۹ (ارقام برحسب میلیون مترمکعب)، (بی‌نام ۱، ۱۴۰۱)

نام حوضه آبریز	رواناب ارتفاعات	رواناب دشت	تخلیه چشمه‌ها دشت	تخلیه چشمه‌ها ارتفاعات	زهکشی آبخوان	زهکشی ارتفاعات	نفوذ از جریان‌های سطحی	پتانسیل بلندمدت جریان سطحی حوضه آبریز
ارس	۱۶۳۷.۴	۱۲۵.۹	۴۰.۷	۱۴۲.۳	۱۴۲.۲	۱۰۲.۴	۱۵۴.۶	۲،۰۳۶
تالش انزلی	۱۷۶۲.۴	۱۱۴۵.۷	۲۸.۶	۱۷۳.۶	۱۸۰.۷	۳۸۴.۶	۶۱.۴	۳،۶۱۴
سفیدرود بزرگ	۳۰۵۷.۹	۷۲۲.۷	۵۲.۰	۵۲۸.۸	۹۵.۹	۱۱۵۳.۸	۱۵۸.۲	۵،۴۵۳
سفیدرود تا هراز	۲۱۸۹.۹	۶۹۸.۵	۳۰.۲	۴۶۰.۲	۱۲۰.۷	۱۸۸.۹	۴۸.۸	۳،۶۴۰
هراز تا قره‌سو	۲۳۹۷.۵	۵۰۰.۷	۲۷.۵	۴۸۹.۳	۶۱.۷	۳۵۰.۸	۱۳۳.۹	۳،۶۹۳
گرگان رود	۴۸۱.۵	۴۱.۶	۶.۱	۲۱۶.۱	۵۳.۲	۷۵.۰	۱۱۵.۲	۷۵۸
اترک	۳۲۰.۳	۱۶.۲	۱۳.۶	۳۰۴.۲	۹.۹	۹۱.۵	۲۸.۱	۷۲۸
مرزی غرب	۵۸۳۲.۳	۲۱۰.۸	۱۹.۰	۷۱۰.۹	۲۳۱.۰	۳۴۰.۹	۱۳۲.۴	۷،۲۱۳
کرخه	۲۱۲۲.۲	۳۰۸.۸	۶۹.۴	۱۱۷۵.۴	۱۶۴.۷	۱۰۴۸.۷	۵۱۰.۶	۴،۳۷۹
کارون بزرگ	۱۹۱۷۶.۴	۱۱۶۴.۷	۱۴۴.۸	۲۹۰۶.۲	۱۶۸۹.۱	۲۴۱.۴	۱۰۸۶.۴	۲۴،۲۳۶
هندیجان جراحی	۲۹۴۹.۷	۲۶۸.۲	۲۲.۳	۷۶۱.۷	۳۷۷.۹	۲۵۱۶.۸	۷۳.۸	۶،۸۲۳
حله و مسیل‌های دوطرف	۶۹۸.۰	۱۲۹.۰	۸۳.۹	۱۵۹.۲	۲۰۲.۸	۵۶۶.۴	۶۳.۵	۱،۷۷۶
مند و کاریان و خنج	۸۷۰.۰	۱۲۱.۸	۱۴.۱	۱۴۵.۳	۱۰۸.۲	۷۴۵.۸	۶۷.۵	۱،۹۳۸
کل و مهران	۴۷۱.۳	۱۰۵.۲	۳۵.۷	۱۵۸.۰	۴۳۹.۵	۹۳.۹	۲۰۱.۱	۱،۱۰۳
بندرعباس سدیج	۱۱۴۶.۰	۱۶۱.۸	۰.۸	۳۷.۰	۲۲.۰	۲۹۴.۹	۷۵.۴	۱،۵۸۷
بلوچستان جنوبی	۹۰۶.۱	۶۸.۱	۰.۰	۵.۶	۱.۰	۲۱۲.۴	۵۳.۷	۱،۱۴۰
دریاچه ارومیه	۳۴۶۹.۶	۱۶۶.۳	۳۰.۰	۱۴۳.۶	۲۱۰.۵	۵۸۸.۰	۳۷۶.۳	۴،۲۳۲
دریاچه نمک	۲۳۹۵.۳	۷۴۴.۴	۶۳.۷	۴۲۴.۱	۳۴.۳	۶۵.۰	۱۲۲۶.۳	۲،۵۰۰
گاوخونی	۱۰۸۶.۶	۱۱۲.۷	۴۲.۴	۳۲۰.۴	۵۸.۲	۵۵.۰	۴۵۰.۸	۱،۲۲۵
مهارلو بختگان	۸۲۹.۲	۲۴۶.۹	۵۸.۹	۲۹۶.۵	۱۴۵.۵	۵۳۸.۶	۲۵۳.۸	۱،۸۶۲
کویر ابرقو-سیرجان	۳۶۱.۱	۶۰.۱	۶.۴	۴۴.۴	۱.۱	۲۸.۷	۱۹۵.۵	۳۰۶
هامون جازموریان	۷۱۵.۰	۱۶۱.۵	۲.۱	۶۸.۸	۰.۲	۱۱۲.۰	۵۰۸.۴	۵۵۱
کویر لوت	۷۵۱.۷	۱۳۴.۵	۴.۲	۶۲.۴	۹.۶	۱۳۳.۳	۲۶۶.۵	۸۲۹
کویر مرکزی	۸۳۰.۴	۱۴۴.۲	۲۰.۹	۳۶۲.۰	۱۴.۵	۸۷.۷	۲۷۵.۷	۱،۱۸۴
سیاه کوه، ریگ زرین و دق سرخ	۹۵.۸	۹.۲	۶۲.۹	۰.۰	۲.۵	۹۵.۱	۳۵.۵	۲۳۰
درانجیر و ساغند	۲۰۸.۱	۳۵.۸	۳.۲	۲۱.۷	۴.۸	۶۹.۲	۱۵۴.۷	۱۸۸
نمکزار خواف - دق پترگان	۹۸.۱	۳۴.۲	۲.۶	۲۹.۹	۰.۰	۸.۰	۱۴.۱	۱۵۹
هامون هیرمند	۵۱.۱	۱۲.۱	۰.۲	۴.۶	۷.۹	۴۷.۶	۱۱.۹	۱۱۲
هامون مشکیل	۱۸۸.۲	۳۴.۴	۱.۰	۱۲.۶	۵.۴	۱۷۱.۳	۱۴.۸	۳۹۸
قره قوم	۷۹۸.۰	۶۴.۵	۵.۵	۲۵۸.۸	۰.۰	۳۵.۰	۳۸۶.۴	۷۷۵
دریای خزر	۱۱۸۴۶.۹	۳۲۵۱.۳	۱۹۸.۶	۲۳۱۴.۵	۶۶۴.۲	۲۳۴۷.۰	۷۰۰.۱	۱۹،۹۲۲
خلیج‌فارس و دریای عمان	۳۴۱۷۲.۲	۲۵۳۸.۴	۳۸۹.۹	۶۰۵۹.۳	۳۲۳۶.۳	۶۰۶۱.۲	۲۲۶۴.۴	۵۰،۱۹۳
دریاچه ارومیه	۳۴۶۹.۶	۱۶۶.۳	۳۰.۰	۱۴۳.۶	۲۱۰.۵	۵۸۸.۰	۳۷۶.۳	۴،۲۳۲
فلات مرکزی	۷۲۷۳.۲	۱۶۴۹.۳	۲۶۴.۸	۱۶۰۰.۴	۲۷۰.۶	۱۱۸۴.۶	۳۳۶۷.۳	۸،۸۷۶
مرزی شرق	۳۳۷.۴	۸۰.۸	۳.۸	۴۷.۱	۱۳.۳	۲۲۶.۹	۴۰.۸	۶۶۸
قره قوم	۷۹۸.۰	۶۴.۵	۵.۵	۲۵۸.۸	۰.۰	۳۵.۰	۳۸۶.۴	**۷۷۵**
کشور	**۵۷،۸۹۷**	**۷،۷۵۱**	**۸۹۲**	**۱۰،۴۲۴**	**۴،۳۹۵**	**۱۰،۴۴۳**	**۷،۱۳۵**	**۸۴،۶۶۶**



شکل ۳۷- نقشه جانمایی ایستگاه‌های هیدرومتری مبنای وزارت نیرو به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه‌دو

جدول ۱۳، مقادیر برآوردی پتانسیل جریان سطحی حوضه‌های آبریز درجه‌دو، درجه‌یک و کشور را در سال‌های آبی ۶۹-۱۳۶۸ تا ۹۸-۱۳۹۷ ارائه می‌نماید. محدودیت در تعداد ایستگاه‌های مبنا و استفاده از یک ضریب تعمیم ثابت حاصل نسبت مجموع آبدهی بلندمدت ایستگاه‌های مبنا به پتانسیل بلندمدت جریان سطحی برای تمام دوره، ازجمله عواملی است که می‌تواند صحت ارقام برآوردی در جدول ۱۳را تحت تأثیر قرار دهد.

شکل (۳۸) روند تغییرات ۳۰ ساله پتانسیل جریان سطحی کشور را نشان می‌دهد. در دوره ۳۰ ساله اخیر، بیشترین مقدار پتانسیل جریان سطحی کشور مربوط به سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ و معادل ۱۸۱/۹ میلیارد مترمکعب بوده و سال‌های آبی ۷۷-۱۳۷۶ و ۷۴-۱۳۷۳ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. جالب‌توجه است که اگرچه سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ با میانگین بارشی ۱۵۷ میلی‌متر کم‌بارش‌ترین سال در طول دوره آماری است، ولی کمترین میزان پتانسیل جریان سطحی مربوط به سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ (یک سال نزدیک به نرمال ازنظر میانگین بارش) و معادل ۳۸/۷ میلیارد مترمکعب است. دلیل این موضوع را باید در تأثیر تأخیری کمبود ذخیره رطوبتی خاک بر کاهش جریان سطحی در سال آبی بعد، جستجو کرد.

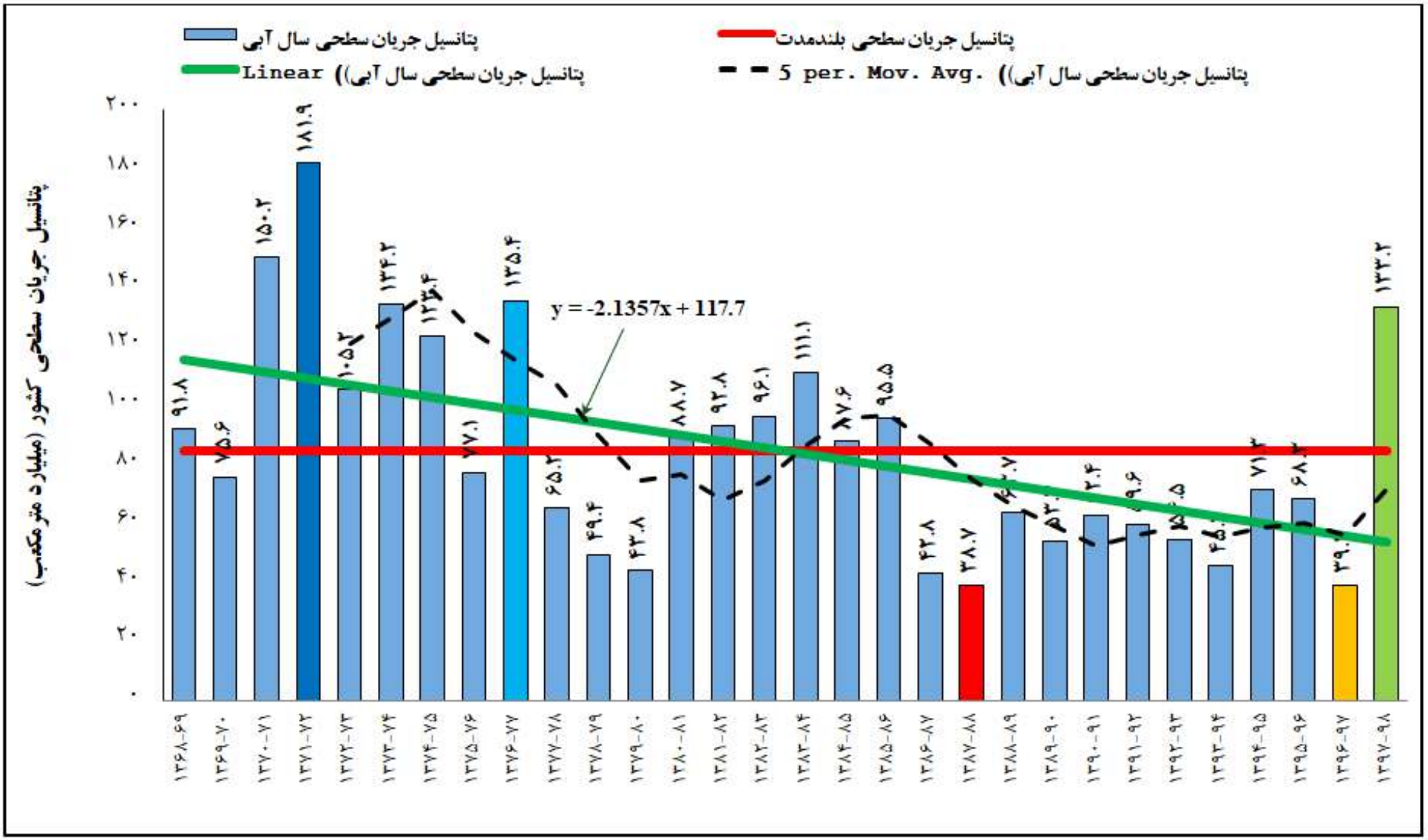
با ترسیم میانگین متحرک ۵ ساله پتانسیل جریان سطحی کشور در شکل (۳۸)، ملاحظه می‌شود پس از تجربه یک دوره ترسالی در سال‌های ابتدایی دهه هفتاد، کشور یک دوره کوتاه‌مدت نزدیک به نرمال را تجربه کرده و از سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ وارد یک دوره خشک‌سالی وسیع ازنظر جریان سطحی رودخانه‌ای گردیده است. شکل ۳۸ بیانگر تبعیت تغییرات پتانسیل جریان سطحی کشور از یک خط روند نزولی با شیب منفی قابل‌توجه، است.

جدول ۱۳- برآورد پتانسیل جریان سطحی حوضه‌های آبریز مختلف (بی‌نام ۲، ۱۳۹۸)

برآورد پتانسیل جریان سطحی حوضه های آبریز در حوضه های آبریز مختلف بر حسب میلیارد متر مکعب

حوضه‌های آبریز درجه یک	حوضه‌های آبریز درجه دو	۱۳۶۸-۶۹	۱۳۶۹-۷۰	۱۳۷۰-۷۱	۱۳۷۱-۷۲	۱۳۷۲-۷۳	۱۳۷۳-۷۴	۱۳۷۴-۷۵	۱۳۷۵-۷۶	۱۳۷۶-۷۷	۱۳۷۷-۷۸	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹-۸۰	۱۳۸۰-۸۱	۱۳۸۱-۸۲	۱۳۸۲-۸۳
دریای خزر	ارس	۳.۲۴	۲.۷۰	۳.۲۱	۴.۳۶	۶.۹۴	۳.۴۴	۲.۷۲	۲.۶۱	۲.۲۳	۱.۱۶	۲.۹۴	۰.۲۰	۱.۷۸	۳.۹۲	۲.۳۹
	تالش-مرداب انزلی	۴.۲۳	۳.۳۱	۴.۲۸	۵.۰۰	۵.۹۲	۲.۵۷	۴.۰۳	۴.۰۹	۴.۲۱	۳.۰۴	۳.۰۹	۳.۳۰	۳.۷۰	۳.۵۰	۳.۹۲
	سفیدرود بزرگ	۶.۰۲	۵.۹۷	۱۲.۱۰	۹.۲۵	۱۳.۲۲	۱۵.۰۵	۱۱.۶۷	۵.۷۰	۹.۵۷	۲.۶۲	۳.۰۲	۲.۱۲	۳.۲۷	۶.۷۴	۴.۲۷
	رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز	۴.۵۲	۳.۸۱	۶.۱۰	۴.۲۸	۵.۶۸	۴.۲۸	۴.۲۱	۲.۹۰	۴.۲۴	۲.۷۲	۲.۴۴	۲.۲۵	۲.۵۹	۴.۰۸	۴.۴۶
	هراز و قره‌سو	۲.۶۴	۲.۹۵	۵.۴۴	۴.۲۸	۳.۸۷	۲.۹۵	۲.۵۵	۳.۳۳	۴.۰۹	۲.۴۱	۲.۵۸	۲.۴۸	۳.۵۱	۴.۶۴	۴.۹۵
	قره‌سو و گرگان	۰.۷۰	۰.۷۷	۱.۳۲	۱.۱۱	۱.۰۶	۰.۸۲	۰.۸۰	۰.۶۵	۰.۸۸	۰.۴۸	۰.۷۲	۰.۶۶	۰.۵۹	۰.۷۷	۰.۸۲
	اترک	۰.۴۷	۰.۶۶	۲.۱۶	۱.۸۵	۱.۰۸	۰.۶۱	۰.۵۴	۰.۵۸	۱.۴۷	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۷۵	۰.۳۳	۰.۵۴	۱.۰۵
خلیج فارس و دریای عمان	مرزی غرب	۹.۰۸	۶.۳۰	۱۶.۱۷	۱۰.۹۳	۱۰.۲۶	۱۶.۱۳	۱۰.۰۵	۷.۶۹	۱۲.۳۴	۳.۷۱	۴.۱۵	۴.۰۳	۶.۱۷	۷.۴۳	۸.۴۷
	کرخه	۵.۴۰	۳.۱۵	۹.۱۳	۷.۰۲	۶.۱۴	۱۱.۱۶	۶.۹۶	۳.۶۱	۷.۰۵	۳.۴۰	۲.۱۳	۲.۲۴	۲.۹۱	۳.۱۵	۴.۹۳
	کارون بزرگ	۲۶.۱۶	۱۸.۵۴	۴۲.۱۶	۵۹.۱۹	۲۶.۶۰	۳۷.۷۴	۲۸.۵۲	۱۹.۲۸	۳۲.۲۰	۱۶.۲۹	۱۳.۱۸	۱۴.۸۱	۲۸.۷۷	۲۷.۵۴	۲۸.۹۵
	جراحی و زهره	۵.۵۲	۵.۷۱	۱۰.۹۱	۱۲.۹۹	۲.۵۲	۹.۰۶	۱۱.۸۶	۵.۲۱	۱۶.۲۸	۹.۵۴	۳.۳۰	۳.۱۳	۱۲.۲۳	۷.۲۶	۱۰.۷۶
	حله رود و رودخانه‌های کوچک	۲.۷۷	۲.۵۸	۲.۸۹	۴.۶۰	۱.۱۹	۲.۷۴	۴.۸۲	۱.۵۳	۲.۶۹	۲.۶۷	۱.۴۲	۰.۸۶	۲.۶۶	۱.۱۹	۲.۰۲
	مند، کاریان و خنج	۲.۷۲	۲.۴۶	۴.۲۸	۶.۸۱	۰.۹۵	۲.۴۱	۵.۲۴	۱.۴۳	۴.۴۹	۳.۱۴	۱.۴۲	۰.۷۱	۲.۱۸	۱.۷۶	۲.۱۸
	کل مهران و دشتهای جنوبی	۰.۶۴	۰.۹۱	۱.۶۰	۱۲.۸۰	۰.۰۴	۰.۳۹	۰.۷۰	۰.۳۰	۱.۱۰	۰.۸۷	۰.۱۰	۰.۳۷	۱.۰۷	۰.۷۳	۰.۵۵
	بندرعباس-سدیج	۱.۵۲	۲.۹۵	۲.۴۱	۷.۹۸	۰.۹۲	۰.۹۸	۴.۶۳	۲.۱۶	۳.۲۹	۱.۷۴	۱.۷۹	۰.۶۰	۰.۷۸	۰.۳۲	۰.۳۴
	رودخانه‌های بلوچستان	۱.۶۸	۱.۲۳	۰.۶۱	۱.۰۵	۰.۴۰	۰.۵۶	۲.۶۸	۲.۲۹	۷.۰۱	۰.۶۰	۰.۰۱	۰.۰۴	۰.۱۴	۱.۴۴	۰.۲۴
دریاچه ارومیه	دریاچه ارومیه	۵.۲۵	۳.۲۶	۸.۳۳	۶.۵۰	۷.۴۳	۵.۲۵	۳.۱۵	۳.۳۰	۴.۲۸	۱.۰۸	۱.۷۰	۱.۴۷	۴.۱۶	۷.۰۹	۵.۲۹
فلات مرکزی	دریاچه نمک	۱.۹۹	۱.۷۸	۴.۷۱	۳.۶۶	۳.۲۱	۳.۹۶	۳.۵۰	۱.۵۰	۲.۷۲	۱.۳۶	۱.۴۷	۱.۰۵	۲.۲۳	۳.۰۶	۲.۵۴
	گاوخونی	۱.۲۹	۱.۰۵	۱.۸۱	۲.۰۵	۱.۲۷	۱.۵۲	۱.۲۵	۱.۰۶	۱.۲۸	۰.۸۶	۰.۸۴	۰.۷۳	۱.۲۶	۱.۵۸	۱.۲۷
	طشک-بختگان و مهارلو	۲.۲۶	۱.۹۰	۳.۸۷	۴.۷۲	۱.۴۴	۲.۲۰	۳.۱۱	۱.۲۰	۴.۱۲	۱.۹۲	۰.۸۵	۰.۷۴	۳.۲۳	۳.۱۶	۳.۲۸
	کویر ابرقو-سیرجان	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۳۰	۱.۵۶	۰.۳۰	۰.۵۷	۰.۸۹	۰.۲۶	۰.۴۰	۰.۵۲	۰.۱۲	۰.۰۱	۰.۲۲	۰.۳۰	۰.۴۵
	هامون جازموریان	۰.۱۲	۰.۳۹	۰.۴۷	۱.۴۲	۰.۶۰	۱.۲۱	۲.۵۲	۰.۸۲	۰.۹۴	۰.۹۶	۰.۲۷	۰.۱۱	۰.۲۷	۰.۴۵	۰.۱۴
	کویر لوت	۰.۴۸	۱.۲۷	۰.۸۹	۲.۸۸	۰.۵۹	۰.۶۷	۱.۴۱	۰.۳۱	۰.۸۱	۱.۴۲	۰.۴۶	۰.۳۴	۰.۳۵	۰.۱۲	۰.۳۸
	کویر مرکزی	۱.۳۰	۱.۰۱	۲.۰۱	۱.۹۹	۱.۴۰	۱.۲۵	۲.۱۵	۱.۲۳	۱.۴۱	۱.۰۶	۰.۷۹	۰.۶۰	۰.۷۶	۱.۳۰	۱.۱۰
	کویر سیاهکوه-ریگ زرین	۰.۰۵	۰.۰۸	۰.۶۷	۰.۷۵	۰.۲۲	۰.۳۶	۰.۶۴	۰.۲۱	۰.۳۲	۰.۶۳	۰.۰۰	۰.۰۲	۰.۴۴	۰.۲۲	۰.۴۰
	کویر درانجیر	۰.۰۸	۰.۳۱	۰.۲۸	۰.۸۴	۰.۱۴	۰.۳۲	۰.۵۱	۰.۱۹	۰.۲۰	۰.۲۴	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۱۰	۰.۱۹	۰.۰۷
مرزی شرق	پیرگان-خواف	۰.۱۲	۰.۱۰	۰.۰۹	۰.۱۵	۰.۱۲	۰.۲۶	۰.۵۱	۰.۸۳	۰.۱۵	۰.۱۵	۰.۱۷	۰.۲۰	۰.۱۵	۰.۱۴	۰.۱۱
	هامون هیرمند	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۲
	هامون مشکیل	۰.۵۳	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۵۵	۰.۳۳	۲.۱۰	۲.۹۸	۰.۱۴	۰.۰۰	۰.۰۷	۰.۰۱	۰.۲۹	۰.۰۱
قره‌قوم	قره‌قوم	۰.۶۷	۰.۷۹	۱.۶۹	۱.۴۵	۰.۷۳	۰.۸۴	۰.۵۵	۰.۷۱	۰.۹۹	۰.۸۰	۰.۴۶	۰.۳۵	۰.۵۷	۰.۹۳	۰.۷۶
دریای خزر		۲۱.۹۳	۱۹.۹۷	۳۶.۸۲	۳۰.۱۳	۳۸.۷۳	۳۰.۸۳	۲۷.۴۳	۱۹.۷۶	۲۶.۹۰	۱۱.۹۴	۱۴.۷۱	۱۱.۷۵	۱۶.۷۶	۲۴.۲۰	۲۱.۸۶
خلیج فارس و دریای عمان		۵۵.۵۴	۴۳.۶۳	۸۸.۱۴	۱۲۳.۳۷	۴۹.۰۴	۸۳.۰۳	۷۵.۲۹	۴۳.۵۰	۸۷.۶۵	۴۱.۹۷	۲۷.۵۱	۲۶.۵۰	۵۷.۹۲	۵۰.۹۳	۵۸.۴۵
دریاچه ارومیه		۵.۲۵	۳.۲۶	۸.۳۳	۶.۵۰	۷.۴۳	۵.۲۵	۳.۱۵	۳.۳۰	۴.۲۸	۱.۰۸	۱.۷۰	۱.۴۷	۴.۱۶	۷.۰۹	۵.۲۹
فلات مرکزی		۷.۷۴	۷.۸۷	۱۵.۱۷	۲۰.۲۶	۹.۱۵	۱۲.۴۸	۱۶.۰۷	۶.۸۸	۱۱.۴۲	۹.۰۸	۴.۸۴	۳.۵۲	۹.۱۴	۹.۱۹	۹.۶۲
مرزی شرق		۰.۶۵	۰.۱۰	۰.۰۹	۰.۱۵	۰.۱۳	۰.۸۰	۰.۹۴	۲.۹۶	۳.۱۵	۰.۳۰	۰.۱۷	۰.۲۷	۰.۱۶	۰.۴۳	۰.۱۵
قره قوم		۰.۶۷	۰.۷۹	۱.۶۹	۱.۴۵	۰.۷۳	۰.۸۴	۰.۵۵	۰.۷۱	۰.۹۹	۰.۸۰	۰.۲۶	۰.۳۵	۰.۵۷	۰.۹۳	۰.۷۶
کشور		۹۱.۷۸	۷۵.۶۱	۱۵۰.۳۳	۱۸۱.۸۵	۱۰۵.۲۱	۱۳۴.۲۴	۱۲۳.۴۳	۷۷.۱۱	۱۳۵.۳۹	۶۵.۱۷	۴۹.۳۹	۴۳.۸۱	۸۸.۷۲	۹۲.۷۶	۹۶.۱۳

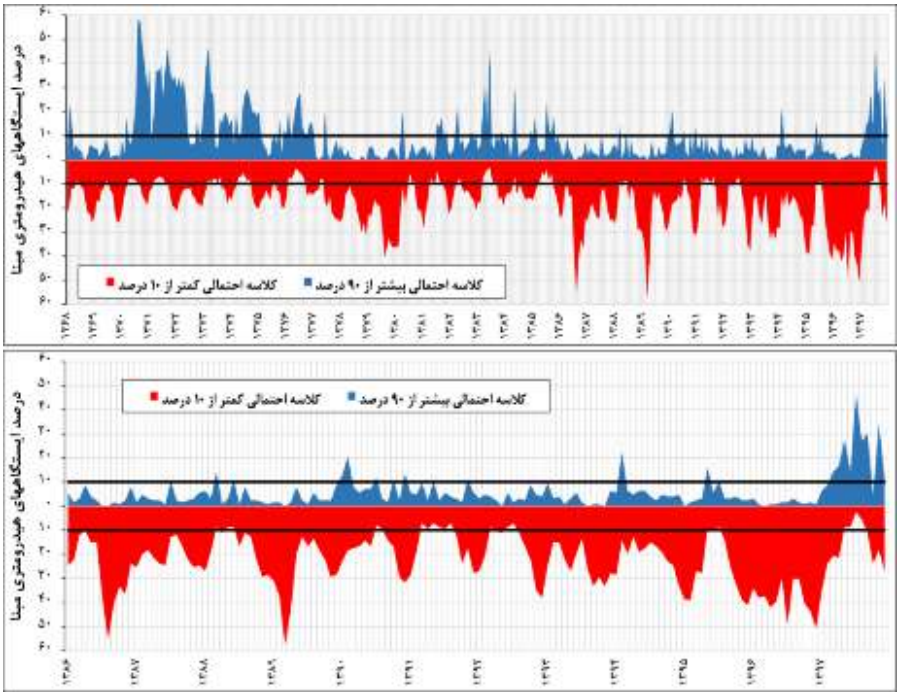
حوضه‌های آبریز درجه یک	حوضه‌های آبریز درجه دو	۱۳۸۳-۸۴	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۵-۸۶	۱۳۸۶-۸۷	۱۳۸۷-۸۸	۱۳۸۸-۸۹	۱۳۸۹-۹۰	۱۳۹۰-۹۱	۱۳۹۱-۹۲	۱۳۹۲-۹۳	۱۳۹۳-۹۴	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۶-۹۷	۱۳۹۷-۹۸	پتانسیل بلندمدت جریان سطحی (میلیارد متر مکعب)
دریای خزر	ارس	۳.۳۶	۱.۴۶	۱.۳۰	۱.۰۱	۰.۰۹	۱.۰۹	۰.۷۸	۱.۸۹	۱.۵۱	۰.۹۷	۰.۲۰	۱.۲۱	۰.۱۶	۱.۰۶	۱.۱۳	۲.۰۴
	تالش-مرداب انزلی	۴.۵۰	۲.۵۷	۳.۸۹	۲.۲۳	۳.۰۸	۲.۶۶	۳.۳۷	۴.۶۲	۳.۶۹	۳.۱۱	۲.۴۳	۳.۰۶	۳.۱۳	۱.۹۳	۴.۴۶	۳.۶۱
	سفیدرود بزرگ	۳.۸۱	۲.۸۲	۵.۵۵	۱.۲۵	۱.۲۱	۳.۰۱	۲.۲۰	۳.۶۲	۲.۷۸	۱.۸۲	۱.۵۳	۳.۶۴	۲.۸۶	۲.۶۱	۷.۸۱	۵.۲۵
	رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز	۴.۳۹	۲.۹۵	۴.۱۷	۱.۹۵	۲.۳۰	۲.۸۱	۲.۵۴	۴.۳۷	۲.۴۲	۲.۶۵	۲.۴۶	۴.۵۲	۲.۷۴	۲.۳۲	۴.۵۰	۳.۶۴
	هراز و قره‌سو	۶.۰۹	۲.۹۵	۴.۷۸	۳.۱۰	۳.۷۴	۳.۴۴	۲.۷۸	۵.۱۴	۳.۲۹	۲.۶۷	۲.۶۵	۳.۵۸	۲.۷۹	۳.۱۹	۵.۰۹	۳.۶۹
	قره‌سو و گرگان	۱.۳۴	۰.۵۶	۰.۷۷	۰.۳۳	۰.۴۹	۰.۷۶	۰.۳۶	۱.۲۱	۰.۹۶	۰.۴۱	۰.۳۱	۰.۶۲	۰.۳۹	۰.۳۴	۱.۹۰	۰.۷۶
	اترک	۰.۷۴	۰.۹۲	۰.۶۶	۰.۷۷	۰.۳۸	۰.۴۹	۰.۴۷	۰.۷۳	۰.۴۶	۰.۳۱	۰.۱۸	۰.۳۶	۰.۰۰	۰.۰۷	۱.۴۴	۰.۷۳
خلیج فارس و دریای عمان	مرزی غرب	۷.۴۵	۷.۰۳	۷.۸۰	۳.۰۸	۱.۰۳	۵.۵۳	۴.۱۵	۴.۴۳	۶.۴۴	۴.۳۲	۳.۵۳	۷.۵۰	۷.۰۳	۴.۰۸	۱۰.۳۸	۷.۳۱
	کرخه	۳.۴۱	۵.۰۰	۵.۱۳	۱.۲۴	۱.۰۹	۳.۰۷	۱.۷۲	۱.۴۸	۲.۱۵	۲.۱۲	۱.۲۱	۴.۴۴	۵.۰۸	۳.۶۴	۱۳.۲۴	۴.۳۸
	کارون بزرگ	۲۹.۹۷	۳۰.۴۰	۲۹.۵۸	۱۳.۱۴	۱۱.۱۹	۱۶.۹۸	۱۵.۵۲	۱۲.۸۰	۱۵.۷۳	۱۷.۹۸	۱۵.۱۴	۳۳.۵۲	۱۸.۱۸	۹.۷۷	۴۷.۴۳	۲۴.۲۴
	جراحی و زهره	۸.۷۴	۱۱.۱۲	۸.۷۶	۳.۰۷	۱.۶۳	۴.۲۵	۳.۵۲	۵.۶۵	۵.۷۰	۳.۶۰	۲.۳۴	۴.۲۶	۲.۸۹	۱.۳۱	۹.۰۵	۶.۸۲
	حله رود و رودخانه‌های کوچک	۳.۶۴	۱.۵۷	۱.۰۸	۰.۶۹	۰.۴۰	۰.۵۷	۰.۳۸	۰.۵۶	۰.۸۹	۰.۵۷	۰.۴۱	۰.۵۵	۰.۹۷	۰.۳۲	۰.۹۲	۱.۷۸
	مند، کاریان و خنج	۴.۶۸	۱.۶۸	۱.۱۷	۰.۵۴	۰.۷۱	۰.۶۲	۱.۲۵	۰.۵۷	۱.۰۱	۰.۴۶	۰.۳۲	۰.۴۹	۲.۲۷	۰.۴۱	۰.۸۶	۱.۹۴
	کل مهران و دشتهای جنوبی	۲.۳۸	۰.۳۴	۰.۵۴	۰.۱۵	۰.۵۵	۱.۲۸	۰.۷۰	۰.۱۹	۰.۶۳	۰.۸۱	۰.۱۷	۰.۸۹	۱.۳۲	۰.۱۴	۱.۰۵	۱.۱۰
	بندرعباس-سدیج	۳.۳۴	۰.۳۴	۰.۶۵	۰.۵۴	۰.۶۱	۲.۹۳	۱.۴۲	۰.۳۷	۱.۱۱	۰.۵۰	۰.۳۷	۰.۸۱	۱.۰۶	۰.۰۳	۱.۳۰	۱.۵۹
	رودخانه‌های بلوچستان	۳.۷۹	۰.۳۰	۲.۵۱	۱.۴۸	۰.۵۹	۰.۵۶	۰.۳۳	۰.۰۹	۰.۷۹	۱.۱۵	۰.۳۷	۰.۳۲	۰.۶۱	۰.۰۵	۱.۲۹	۱.۱۴
دریاچه ارومیه	دریاچه ارومیه	۴.۹۹	۳.۸۸	۳.۹۶	۱.۷۶	۲.۳۵	۶.۶۷	۳.۰۸	۴.۰۶	۳.۲۶	۲.۲۱	۲.۸۹	۳.۳۶	۴.۰۵	۴.۲۷	۸.۶۱	۴.۲۳
فلات مرکزی	دریاچه نمک	۳.۱۱	۳.۲۰	۳.۶۰	۱.۵۸	۲.۰۶	۲.۴۲	۲.۲۸	۲.۸۵	۱.۸۱	۱.۴۷	۱.۹۰	۲.۴۴	۲.۲۱	۱.۵۶	۳.۶۸	۲.۵۰
	گاوخونی	۲.۷۷	۱.۷۷	۱.۳۷	۰.۷۴	۰.۸۰	۱.۰۶	۰.۷۸	۰.۷۷	۰.۸۸	۰.۸۲	۱.۲۶	۰.۹۷	۱.۰۶	۰.۴۷	۱.۶۱	۱.۲۲
	طشک-بختگان و مهارلو	۲.۶۵	۳.۰۶	۲.۲۳	۱.۵۴	۰.۵۸	۰.۶۸	۱.۱۳	۱.۵۸	۱.۲۰	۱.۰۲	۰.۸۱	۰.۶۲	۰.۴۷	۰.۲۲	۱.۴۰	۱.۸۶
	کویر ابرقو-سیرجان	۰.۶۹	۰.۱۲	۰.۱۹	۰.۰۶	۰.۰۴	۰.۳۱	۰.۱۰	۰.۱۸	۰.۱۶	۰.۱۱	۰.۰۶	۰.۰۵	۰.۵۶	۰.۰۱	۰.۰۹	۰.۲۱
	هامون جازموریان	۰.۷۰	۰.۱۵	۰.۳۷	۰.۱۲	۰.۱۹	۰.۲۹	۰.۴۱	۰.۴۷	۰.۳۳	۰.۴۲	۰.۲۹	۰.۳۶	۱.۲۶	۰.۱۵	۰.۳۲	۰.۵۵
	کویر لوت	۰.۸۳	۰.۴۵	۰.۶۰	۰.۳۱	۰.۳۹	۰.۳۹	۰.۵۵	۰.۷۱	۱.۰۴	۱.۴۹	۰.۵۰	۱.۲۹	۲.۴۵	۰.۳۵	۱.۲۵	۰.۸۳
	کویر مرکزی	۱.۴۳	۱.۲۱	۱.۴۲	۰.۹۵	۰.۸۹	۰.۸۳	۱.۰۰	۱.۵۸	۱.۲۰	۰.۸۹	۰.۹۳	۰.۵۸	۰.۸۱	۰.۸۹	۱.۴۶	۱.۱۸
	کویر سیاهکوه-ریگ زرین	۰.۳۲	۰.۰۴	۰.۵۹	۰.۱۴	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۲۴	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۲۵	۰.۲۳
	کویر درانجیر	۰.۱۳	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۷	۰.۱۰	۰.۱۳	۰.۱۲	۰.۰۵	۰.۱۴	۰.۸۲	۰.۰۱	۰.۰۸	۰.۱۹
مرزی شرق	پیرگان-خواف	۰.۰۰	۰.۱۴	۰.۱۲	۰.۱۱	۰.۲۳	۰.۱۶	۰.۲۲	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۶	۰.۱۰	۰.۰۷	۰.۱۶
	هامون هیرمند	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۱۲	۰.۰۸	۰.۱۰	۰.۲۱	۰.۲۶	۰.۳۷	۰.۶۸	۰.۳۳	۰.۲۹	۰.۸۲	۰.۱۱
	هامون مشکیل	۰.۰۰	۰.۱۸	۱.۲۳	۰.۳۳	۰.۲۰	۰.۱۶	۰.۶۷	۰.۱۲	۰.۱۱	۰.۴۹	۰.۰۶	۰.۰۷	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۱۶	۰.۴۰
قره‌قوم	قره‌قوم	۱.۰۴	۰.۵۶	۱.۱۱	۰.۴۱	۰.۶۲	۰.۵۳	۰.۴۸	۰.۹۸	۰.۶۰	۰.۴۷	۰.۷۲	۰.۷۶	۰.۶۹	۰.۴۲	۱.۵۸	۰.۷۸
دریای خزر		۲۵.۱۴	۱۶.۲۶	۲۱.۱۴	۱۰.۸۳	۱۲.۴۹	۱۴.۲۸	۱۲.۴۰	۲۲.۶۱	۱۴.۰۸	۱۱.۸۵	۱۱.۷۷	۱۸.۰۰	۱۴.۰۸	۱۰.۵۱	۲۶.۳۳	۱۹.۹۲
خلیج فارس و دریای عمان		۶۷.۲۹	۵۷.۵۸	۵۷.۲۲	۲۳.۹۳	۱۷.۸۰	۳۵.۷۹	۳۰.۲۸	۲۶.۰۳	۳۴.۴۵	۳۲.۸۰	۲۳.۷۵	۴۱.۷۸	۳۹.۴۱	۱۹.۷۶	۸۵.۵۴	۵۰.۲۰
دریاچه ارومیه		۴.۹۹	۳.۸۸	۳.۹۶	۱.۷۶	۲.۳۵	۶.۶۷	۳.۰۸	۴.۰۶	۳.۲۶	۲.۲۱	۲.۸۹	۳.۳۶	۴.۰۵	۴.۲۷	۸.۶۱	۴.۲۳
فلات مرکزی		۱۲.۶۲	۹.۰۲	۱۰.۵۸	۵.۴۶	۵.۰۳	۶.۰۵	۶.۴۵	۸.۴۹	۶.۸۶	۶.۳۹	۵.۸۰	۶.۵۸	۹.۶۴	۳.۷۸	۱۰.۰۶	۸.۸۸
مرزی شرق		۰.۰۰	۰.۳۲	۱.۳۵	۰.۴۴	۰.۴۴	۰.۴۳	۰.۹۷	۰.۲۹	۰.۳۸	۰.۸۰	۰.۴۹	۰.۸۲	۰.۴۰	۰.۳۸	۱.۰۶	۰.۶۷
قره قوم		۱.۰۴	۰.۵۶	۱.۱۱	۰.۴۱	۰.۶۲	۰.۵۳	۰.۴۸	۰.۹۸	۰.۶۰	۰.۴۷	۰.۷۲	۰.۷۶	۰.۶۹	۰.۴۲	۱.۵۸	۰.۷۸
کشور		۱۱۱.۱۰	۸۷.۶۳	۹۵.۴۵	۴۳.۸۳	۳۸.۷۳	۶۳.۷۵	۵۳.۶۶	۶۲.۴۵	۵۹.۶۴	۵۴.۵۲	۴۵.۲۳	۷۱.۳۰	۶۸.۳۶	۳۹.۱۳	۱۳۳.۱۷	۸۴.۶۷



شکل ۳۸- سری ارقام پتانسیل جریان سطحی کشور بر اساس محاسبات وزارت نیرو در طول دوره آماری ۳۰ ساله (بی‌نام ۲، ۱۳۹۸)

به‌طورکلی جریان‌های حدی به دوطبقه جریان‌های پر آبده و کم آبده قابل تقسیم‌بندی است. برای ۱۲۶ ایستگاه هیدرومتری مبنا و در هر سری آماری ماهانه با حداقل ۳۰ داده (در دوره ۳۰ ساله)، با ترتیب نمودن داده‌ها از حداقل به حداکثر، تعیین رتبه هر داده (m) و مشخص بودن تعداد کل داده (n=30) کلاسه احتمالی از رابطه P=m/(n+1) قابل‌محاسبه است. بر اساس یک طبقه‌بندی، کلاسه احتمالی بالاتر از ۰/۹ (۹۰ درصد و بیشتر) بیانگر جریان‌های حدی پر آبده[1] و کلاسه احتمالی کمتر از ۰/۱ (۱۰ درصد و کمتر) بیانگر جریان‌های حدی کم آبده[2]، موردتوجه قرار می‌گیرد. با تعیین فراوانی ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در کلاسه‌های احتمالی بالاتر از ۹۰ درصد و پایین‌تر از ۱۰ درصد، می‌توان روند وقوع جریان‌های حدی رو به پر آبدهی یا کم آبدهی را مشخص نمود. بر اساس این مفهوم می‌توان وجود روند احتمالی در ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا را باگذشت زمان، شناسایی کرد.

شکل ۳۹، فراوانی ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا واقع در کلاسه‌های احتمالی بیشتر از ۹۰ درصد (رنگ آبی) و کمتر از ۱۰ درصد (رنگ قرمز) را در طول دوره آماری ۳۰ سال اخیر، نشان می‌دهد (بی‌نام ۲، ۱۳۹۸). با استفاده از این شکل، می‌توان مشخص نمود در هرماه (در ۳۰ سال اخیر)، چند درصد از ایستگاه‌ها در دامنه کلاسه احتمالی بیشتر از ۹۰ درصد و چند درصد از ایستگاه‌ها در دامنه کلاسه احتمالی کمتر از ۱۰ درصد قرار دارند.



شکل ۳۹- فراوانی ایستگاه‌های مبنا در کلاسه‌های احتمالی بیشتر از ۹۰ درصد (پر آبدهی) و کمتر از ۱۰ درصد (کم آبدهی)

[1] High flows
[2] Low flows

فرض می‌شود به‌طور طبیعی در هرماه از هرسال آبی، حداکثر ۱۰ درصد ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا در کلاسه احتمالی بیشتر از ۹۰ درصد و حداکثر ۱۰ درصد ایستگاه‌ها در کلاسه احتمالی کمتر از ۱۰ درصد، واقع شود. این محدوده با خط مشکی در شکل (۳۹) نشان داده‌شده است. فراوانی بیشتر از ۱۰ درصد برای هر یک از کلاسه‌های احتمالی بیشتر از ۹۰ درصد و کمتر از ۱۰ درصد به ترتیب به‌عنوان جریان‌های حدی پر آبده و کم آبده موردتوجه واقع شود. در شکل (۳۹)، فراوانی کلاسه‌های احتمالی پر آبده و کم آبده به تفکیک دو سری شامل دوره آماری ۳۰ ساله (۶۹-۱۳۶۸ تا ۹۸-۱۳۹۷) و دوره ۱۱ ساله اخیر (۸۷-۱۳۸۶ تا ۹۸-۱۳۹۷)، نشان داده‌شده است.

از شکل (۳۹)، بیشترین فراوانی مربوط به کلاسه احتمالی کم آبده مربوط به آذرماه سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ است. در این ماه، حدود ۵۸ درصد ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا در کلاسه احتمالی کم آبده، واقع‌شده‌اند. همچنین بیشترین فراوانی مربوط به کلاسه احتمالی پر آبده مربوط به اردیبهشت‌ماه سال آبی ۷۱-۱۳۷۰ است. در این ماه، حدود ۵۹ درصد ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا در کلاسه احتمالی پر آبده، قرارگرفته‌اند. از شکل (۳۹)، جالب‌توجه است که طی دوره ۱۱ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷، فراوانی ایستگاه‌های مبنا واقع در کلاسه کم آبده به میزان قابل‌توجهی بیشتر از کلاسه پر آبده است. در طول سال‌های آبی ۷۱-۱۳۷۰ تا ۷۵-۱۳۷۴، فراوانی ایستگاه‌های مبنا واقع در کلاسه پر آبده به میزان قابل‌توجهی بیشتر از کلاسه کم آبده است.

از جدول ۱۴، پتانسیل جریان سطحی کشور طی سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ در حدود ۱۳۷ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود (بی‌نام ۲، ۱۳۹۸). از این میزان، حدود ۸۸/۴ میلیارد مترمکعب به‌عنوان پتانسیل جریان سطحی در حوضه آبریز خلیج‌فارس و دریای عمان، تخمین زده می‌شود. از مجموعه حوضه‌های آبریز درجه‌دو، حوضه آبریز کارون بزرگ بیشترین میزان پتانسیل جریان سطحی و معادل ۴۹ میلیارد مترمکعب در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ داراست. ملاحظه می‌شود ۱۹ حوضه آبریز با افزایش جریان سطحی نسبت به بلندمدت و ۱۱ حوضه آبریز با کاهش جریان سطحی نسبت به بلندمدت مواجه هستند. بیشترین میزان افزایش جریان سطحی سالانه طی سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ نسبت به بلندمدت مربوط به حوضه‌های هامون هیرمند (۸۵۰ درصد)، کرخه (۲۲۵ درصد)، قره‌سو-گرگان (۱۶۴ درصد)، قره‌قوم و دریاچه ارومیه (۱۱۱ درصد)، دریاچه ارومیه (۱۱۱ درصد)، اترک (۱۰۵ درصد) و کارون بزرگ (۱۰۲ درصد) است.

جدول ١٤- برآورد پتانسیل جریان سطحی حوضه‌های آبریز درجه‌دو، درجه‌یک و کشور در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷(بی‌نام ۲، ۱۳۹۸)

حوضه‌های آبریز درجه‌یک	حوضه‌های آبریز درجه‌دو	پتانسیل بلندمدت جریان سطحی حوضه آبریز (میلیارد مترمکعب)	درصد اختلاف جریان سطحی سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ نسبت به بلندمدت	پتانسیل جریان سطحی حوضه آبریز در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ (میلیارد مترمکعب)
دریای خزر	ارس	۲.۰۴	-۴۵	۱.۱۲
	تالش، مرداب انزلی	۳.۶۱	۲۴	۴.۵۰
	سفیدرود بزرگ	۵.۴۵	۴۵	۷.۹۳
	رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز	۳.۶۴	۲۵	۴.۵۳
	هراز و قره‌سو	۳.۶۹	۴۰	۵.۱۶
	قره‌سو و گرگان	۰.۷۶	۱۶۴	۲.۰۰
	اترک	۰.۷۳	۱۰۵	۱.۴۹
خلیج‌فارس و دریای عمان	مرزی غرب	۷.۲۱	۴۶	۱۰.۵۴
	کرخه	۴.۳۸	۲۲۵	۱۴.۲۴
	کارون بزرگ	۲۴.۲۴	۱۰۲	۴۹.۰۵
	جراحی و زهره	۶.۸۲	۳۴	۹.۱۵
	حله رود و رودخانه‌های کوچک	۱.۷۸	-۴۸	۰.۹۲
	مند، کاریان و خنج	۱.۹۴	-۵۶	۰.۸۵
	کل، مهران و مسیل‌های جنوبی	۱.۱۰	-۵	۱.۰۵
	بندرعباس، سدیج	۱.۵۹	-۱۹	۱.۲۹
	رودخانه‌های بلوچستان	۱.۱۴	۱۳	۱.۲۹
دریاچه ارومیه	دریاچه ارومیه	۴.۲۳	۱۱۱	۸.۹۲
فلات مرکزی	دریاچه نمک	۲.۵۰	۵۰	۳.۷۴
	گاوخونی	۱.۲۳	۳۳	۱.۶۳
	طشک، بختگان و مهارلو	۱.۸۶	-۳۱	۱.۲۹
	کویر ابرقو، سیرجان	۰.۳۱	-۷۳	۰.۰۸
	هامون، جازموریان	۰.۵۵	-۴۱	۰.۳۳
	کویر لوت	۰.۸۳	۵۴	۱.۲۷
	کویر مرکزی	۱.۱۸	۲۴	۱.۴۷
	کویر سیاه کوه، ریگ زرین	۰.۲۳	۱۱	۰.۲۶
	کویر درانجیر	۰.۱۹	-۵۷	۰.۰۸
مرزی شرق	پترگان، خواف	۰.۱۶	-۵۸	۰.۰۷
	هامون، هیرمند	۰.۱۱	۸۵۰	۱.۰۶
	هامون، مشکیل	۰.۴۰	-۶۱	۰.۱۶
قره‌قوم	قره‌قوم	۰.۷۸	۱۱۱	۱.۶۴
دریای خزر		۱۹.۹۲	۳۷	۲۶.۷۳
خلیج‌فارس و دریای عمان		۵۰.۲۰	۱۰۳	۸۸.۳۸
دریاچه ارومیه		۴.۲۳	۱۱۱	۸.۹۲
فلات مرکزی		۸.۸۸	۱۷	۱۰.۱۵
مرزی شرق		۰.۶۷	-۶۱	۱.۲۹
قره‌قوم		۰.۷۸	۱۱۱	۱.۶۴
کل کشور		**۸۴.۶۷**	**۹۱**	**۱۳۷.۱۱**

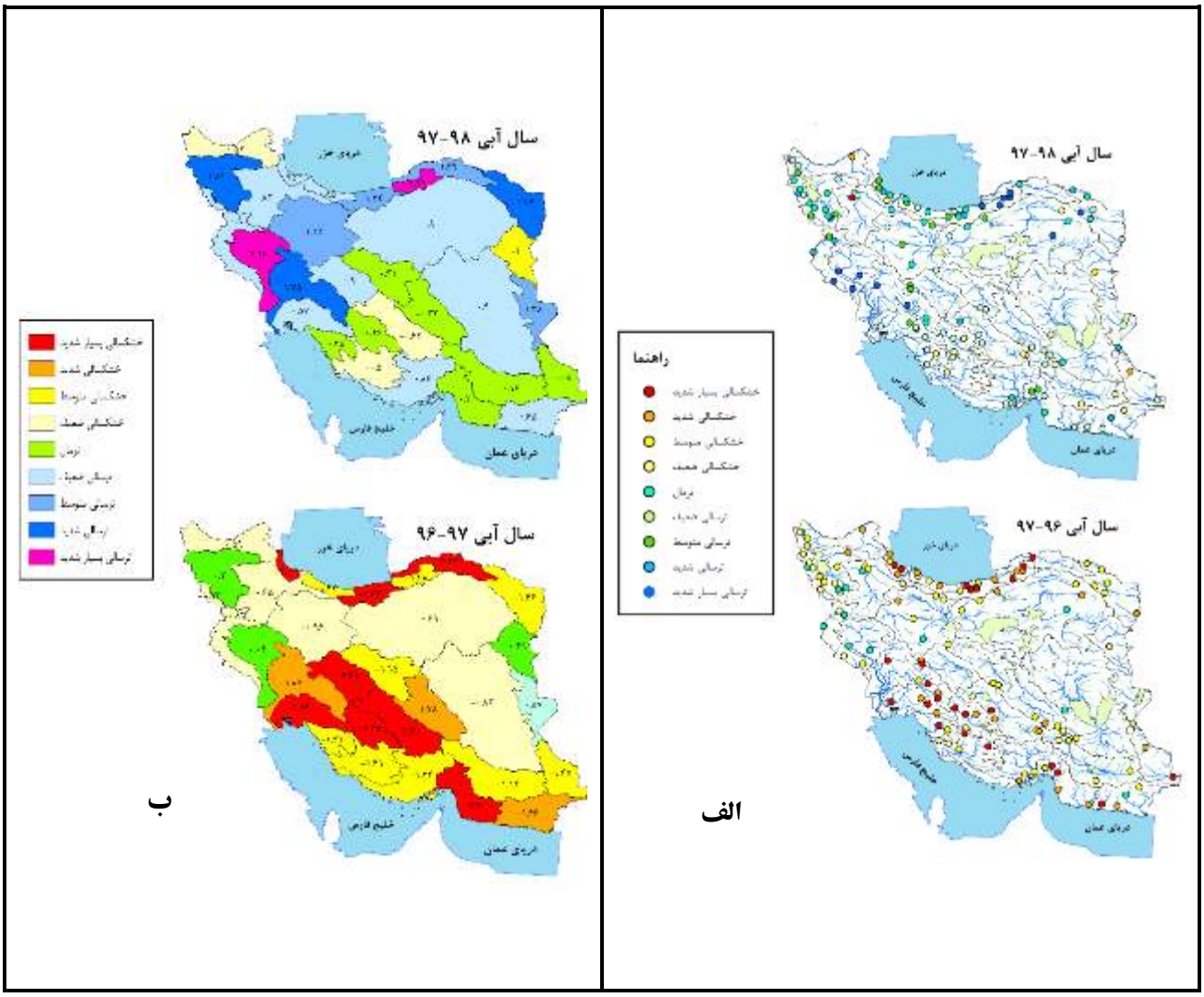
٤-٦- تحلیل وضعیت خشک‌سالی و ترسالی هیدرولوژیکی

آسان‌ترین روش برای تحلیل وضعیت خشک‌سالی/ترسالی هیدرولوژیکی، استفاده از شاخص خشک‌سالی جریان سطحی[1] (SDI) است. فرایند محاسبه شاخص SDI مشابه با شاخص SPI و بر مبنای به‌کارگیری داده‌های حجم جریان سطحی است. مشابه با طبقات ۹ گانه شاخص SPI، طبقه‌بندی دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی هیدرولوژیکی بر مبنای شاخص SDI انجام می‌شود.

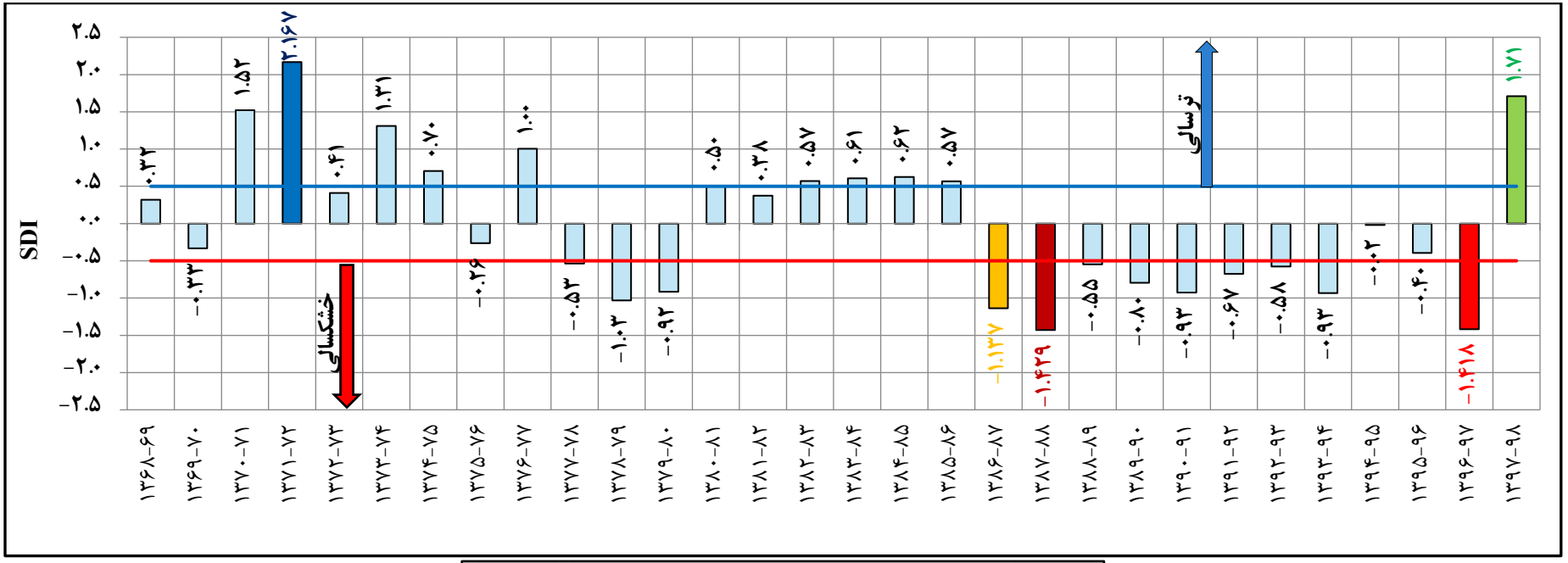
از شکل (۴۰-الف)، ملاحظه می‌شود در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷، ۱۲ درصد ایستگاه‌ها وضعیت ترسالی بسیار شدید، ۷ درصد ترسالی شدید، ۱۵ درصد شرایط ترسالی متوسط، ۲۰ درصد شرایط ترسالی ضعیف، ۳۳ درصد ایستگاه‌ها شرایط نرمال، ۱۰ درصد خشک‌سالی ضعیف، ۱ درصد خشک‌سالی متوسط، ۲ درصد خشک‌سالی شدید و ۱ درصد شرایط خشک‌سالی بسیار شدید را تجربه کرده‌اند. همچنین مشاهده می‌شود در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷، عمده ایستگاه‌های واقع در حوضه‌های آبریز کرخه، قره‌سو-گرگان، مرزی غرب و کارون بزرگ، در وضعیت ترسالی بسیار شدید قرار دارند. از شکل (۴۰-ب)، نیز ملاحظه می‌شود در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷، هفت حوضه آبریز (حله، بندرعباس-سدیج، طشک بختگان-مهارلو، هامون جازموریان، سیاه کوه-دق سرخ، درانجیر-ساغند و هامون-مشکیل) در شرایط نرمال قرار دارند. چهار حوضه آبریز (ارس، مند-کاریان، ابرقو-سیرجان و پترگان-خواف) در وضعیت خشک‌سالی ضعیف تا متوسط قرار دارند. جالب‌توجه است که از ۳۰ حوضه آبریز درجه‌دو تعداد ۱۹ حوضه آبریز طی سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ در وضعیت ترسالی طبقه‌بندی می‌گردند. در این میان، حوضه‌های آبریز کرخه و قره‌سو-گرگان در شرایط ترسالی بسیار شدید و حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه، کارون بزرگ و قره‌قوم در شرایط ترسالی شدید قرار دارند.

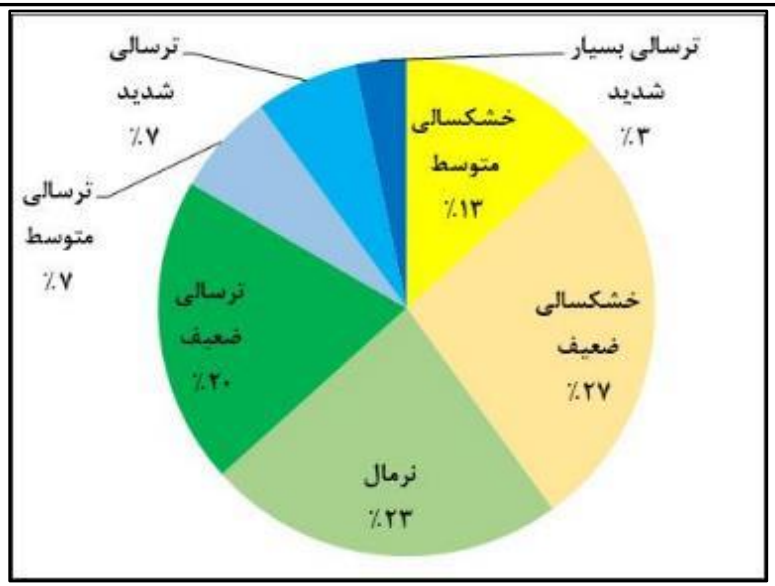
شکل ۴۱، طبقه‌بندی خشک‌سالی ترسالی هیدرولوژیکی دوره ۳۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ را بر مبنای شاخص SDI نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود کشور در ۱۵ سال نخست منتهی به سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ شرایط عموماً ترسالی یا نزدیک به نرمال ازنظر هیدرولوژیکی را تجربه کرده و پس‌ازآن دوره عموماً خشک‌سالی در ۱۵ سال دوم دوره، برقرار گردیده است. در دوره ۳۰ ساله اخیر، ازنظر هیدرولوژیکی کشور شرایط ترسالی بسیار شدید را در سال آبی ۷۲-۱۳۷۱، شرایط ترسالی شدید در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ و شرایط خشک‌سالی متوسط در سال‌های آبی ۹۷-۱۳۹۶ و ۸۸—۱۳۸۷ تجربه کرده است. در دوره ۳۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷، ۲۳ درصد شرایط نرمال، ۴۰ درصد شرایط خشک‌سالی و ۳۷ درصد شرایط ترسالی ازنظر جریان سطحی به وقوع پیوسته است.

[1] Streamflow Drought Index



شکل ٤٠- طبقه‌بندی خشک‌سالی/ترسالی هیدرولوژیکی طی سال‌های آبی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۷-۱۳۹٦
(الف) ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا و (ب) حوضه‌های آبریز درجه‌دو (بی‌نام ۲، ۱۳۹۸)





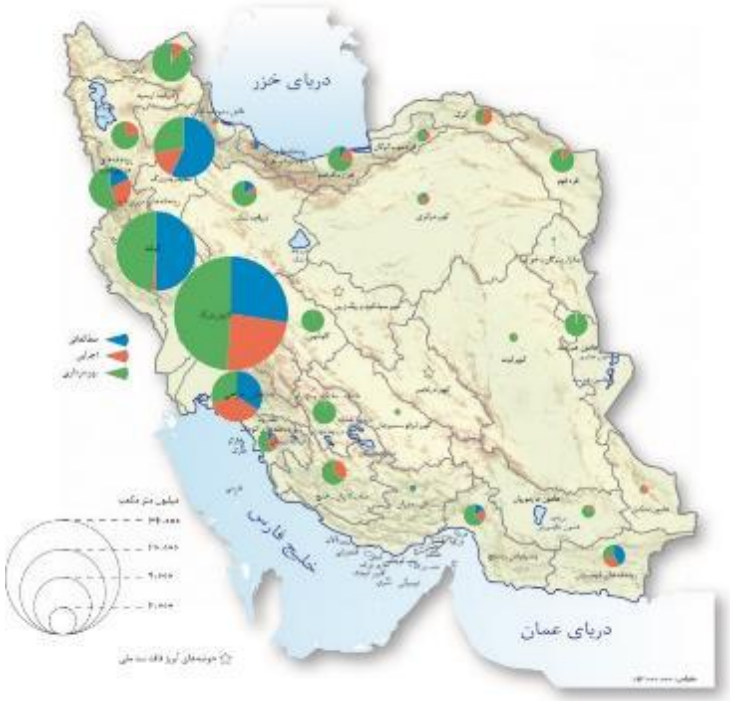
شکل ٤١- طبقه‌بندی خشک‌سالی-ترسالی هیدرولوژیکی کشور بر مبنای شاخص SDI و فراوانی طبقات در طول دوره آماری ۳۰ ساله

٤-٧- تحلیل روند تغییرات حجم مخازن سدهای کشور

سدسازی یکی از صنایع پایه‌ای برای ایجاد زیرساخت‌های توسعه و اشتغال در کشور و همچنین تأمین آب موردنیاز برای اهداف کشاورزی و افزایش امنیت غذایی در کشور است. این صنعت به‌صورت رسمی از اواخر دهه بیست آغازشده است، به‌نحوی‌که سد گلپایگان به‌عنوان اولین سد مدرن کشور در سال ۱۳۳۶ به بهره‌برداری رسید. تا سال ۱۴۰۳ حدود ۷۲۸ سد کوچک و بزرگ با حجم مخزن در حدود ۵۶/۸ میلیارد مترمکعب و حجم آب قابل تنظیم در حدود ۴۱/۵ میلیارد مترمکعب در کشور توسط وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی به بهره‌برداری رسیده است. سدهای احداث‌شده توسط جهاد کشاورزی شامل ۳۰۰ سد غالباً کوچک با حجم مخزن ۴۷۶ میلیون مترمکعب و سدهای احداث‌شده توسط وزارت نیرو شامل ۴۲۸ سد با حجم مخزن در حدود ۵۶/۳ میلیارد مترمکعب است. تا سال ۱۴۰۳ سدهای در دست‌ساخت شامل ۹۹ سد با حجم مخزن در حدود ۱۴/۳ میلیارد مترمکعب و آب قابل تنظیم سالیانه ۷/۴ میلیارد مترمکعب است. تعداد ۱۶۵ سد با حجم مخزن در حدود ۲۴/۹ میلیارد مترمکعب و آب قابل تنظیم سالیانه در حدود ۶/۱ میلیارد مترمکعب در دست مطالعه است. در صورت اجرای تمامی سدهای در دست‌ساخت و سدهای در حال مطالعه، حدود ۹۹۲ سد با حجم کل مخزن ۹۵/۹ میلیارد مترمکعب و آب قابل تنظیم سالانه ۵۵ میلیارد مترمکعب، در سطح کشور ایجاد خواهد شد (جدول ۱۵). شکل ۴۲ پتانسیل حجم مخازن سدهای ملی کشور به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه‌دو نشان می‌دهد.

جدول ۱۵- خلاصه وضعیت عملکرد طرح‌های سدسازی (بی‌نام، ۱۴۰۳)

مرحله		تعداد	حجم کل مخزن (میلیون مترمکعب)	آب قابل تنظیم سالانه (میلیون مترمکعب)	ظرفیت اسمی نیروگاه (مگاوات)
در دست بهره‌برداری	وزارت نیرو	۴۲۸	۵۶۲۸۹	۴۱۰۱۷	۱۲۴۶۲
	جهاد کشاورزی	۳۰۰	۴۷۶	۴۶۷	۰
	مجموع	۷۲۸	۵۶۷۶۵	۴۱۴۸۴	۱۲۴۶۲
در دست‌ساخت		۹۹	۱۴۲۷۴	۷۴۱۹	۱۴۷۹
در دست مطالعه	مرحله دوم	۳۷	۸۴۲۷	۹۰۵	۲۰۸۰
	مرحله اول	۱۰۱	۱۳۸۶۳	۳۲۱۰	۳۵۰۶
	شناخت	۲۷	۲۵۶۸	۲۰۲۰	۳۰۱
	مجموع	۱۶۵	۲۴۸۵۸	۶۱۳۵	۵۸۸۷
کل سدها		**۹۹۲**	**۹۵۸۹۷**	**۵۵۰۳۸**	**۱۹۸۲۸**

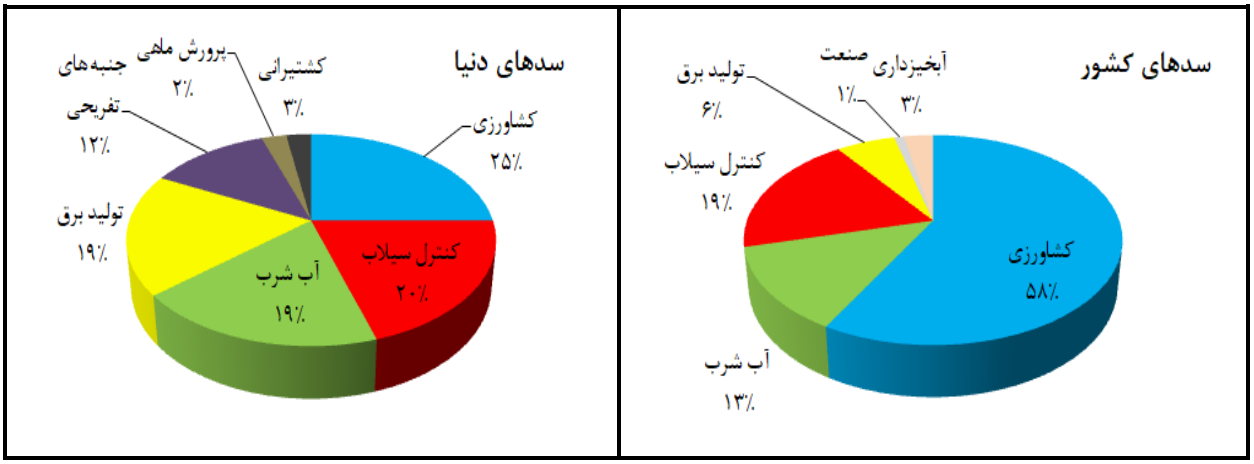


شکل ٤٢- پتانسیل حجم مخازن سدهای ملی کشور در حوضه‌های آبریز درجه‌دو (بی‌نام ۱، ۱٤۰۰)

شکل‌های (۴۳-الف) و (۴۳-ب)، به ترتیب توزیع سدهای در دست بهره‌برداری کشور و دنیا را به ترتیب بر اساس اهداف ساخت، نشان می‌دهد (عباسی و عباسی، ۱۳۹۹). در کشور ایران، سدها با اهداف تأمین آب کشاورزی و گسترش اراضی آبی (۵۸ درصد)، کنترل سیلاب (۱۹ درصد)، تأمین آب شرب (۱۳ درصد)، تولید برق (۶ درصد) و سایر اهداف (۴ درصد) احداث‌شده‌اند. این در حالی است که سدهای ساخته‌شده در دنیا با اهداف همسان و توزیع همگون‌تری شامل شرب، کشاورزی، کنترل سیلاب، تولید برق، گردشگری، کشتیرانی، پرورش ماهی و جنبه‌های تفریحی، ساخته‌شده‌اند. درواقع صرف‌نظر از سایر اهداف و مزایای سدها در رابطه با تأمین آب موردنیاز شرب، صنعت، کشاورزی و تولید انرژی پاک برق‌آبی، جلوگیری از بروز خسارت‌های پرهزینه سیلاب نیز درواقع در این کشورها از دیدگاه اقتصادی و امنیتی موردتوجه بوده است. در کشور ژاپن که تقریباً ۵۰ درصد مردم در دشت‌های سیلابی زندگی می‌کنند، با احداث سدهای مخزنی تجربه بسیار موفقی در مهار سیلاب دارند. با توجه به تعداد زیاد سدها در کشور ایران، تنها از ۶ درصد کل سدها به‌منظور تولید انرژی برق‌آبی استفاده می‌شود که نسبت به جهان (تقریباً ۱۹ درصد) اختلاف فراوانی دارد. در حال حاضر انرژی موجود در آب، سهل‌الوصول‌ترین و تجدیدشونده‌ترین منبعی است که به‌منظور تولید برق می‌توان از آن استفاده کرد؛ بنابراین، یکی از روش‌های مهار بحران تقاضای انرژی کشور، استفاده از منابع تجدیدپذیر است که توصیه می‌شود به‌عنوان یکی از برنامه‌های توسعه

کشور در نظر گرفته شود. با توجه به اهداف سدسازی در ایران و جهان و با مقایسه آن‌ها باهم مشاهده می‌شود، سهم توجه به جنبه‌های تفریحی در کشور ایران بسیار ناچیز است. بیشترین اختلاف بین اهداف سدسازی در ایران و جهان، به این موضوع مربوط می‌شود. در ایران به دلیل اقلیم خشک سدسازی با اولویت تأمین آب شرب و کشاورزی صورت می‌گیرد درحالی‌که بهره‌برداری تفریحی از سدها علاوه بر تأمین هزینه‌های نگهداری آن‌ها، به توسعه اقتصادی منطقه نیز کمک می‌کند. در این راستا شناسایی سدهای پرجاذبه ایران و برنامه‌ریزی و توجه مسئولین گردشگری و وزارت نیرو به این مهم مورد تأکید قرارگرفته است.

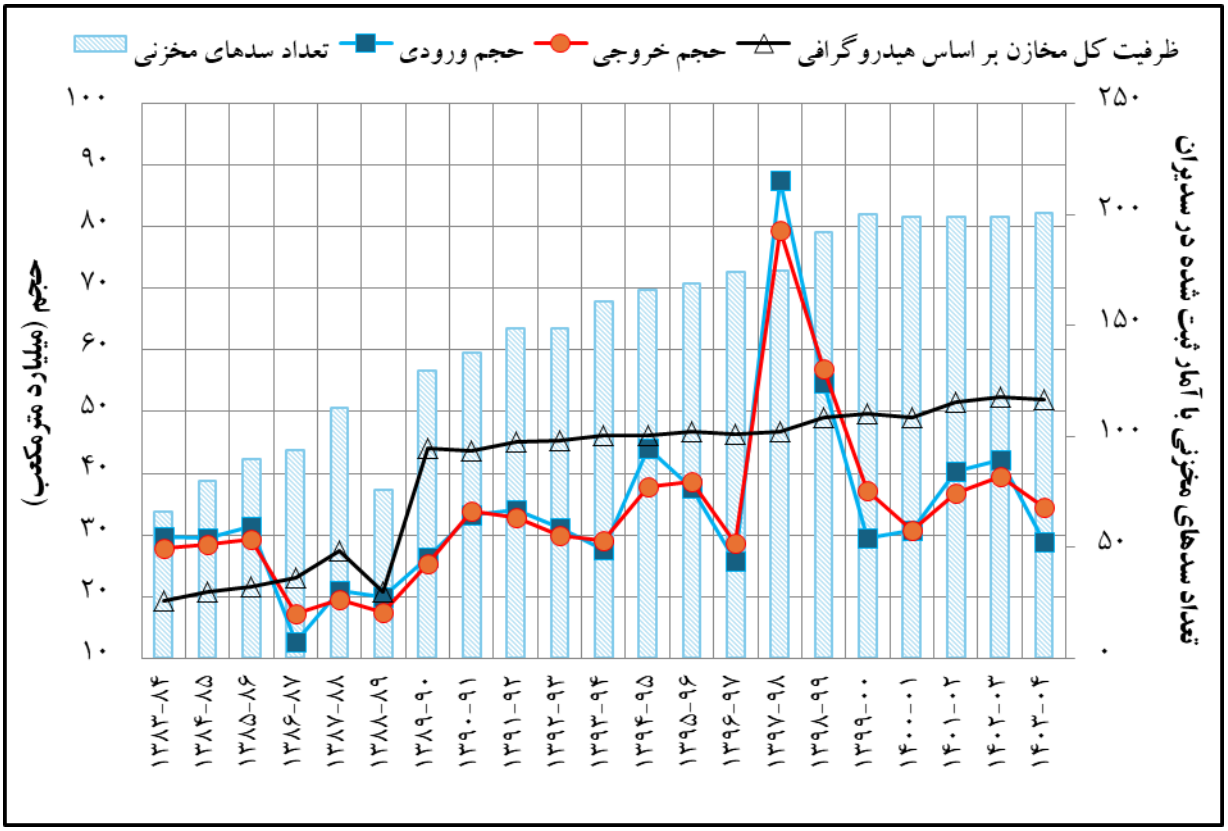
مقایسه فوق نشان می‌دهد با توجه به تعداد قابل‌توجه سدهای ساخته‌شده در کشور، لازم است توجه به‌مراتب بیشتری به توسعه نیروگاه‌های برقابی و استفاده از انرژی آب به‌عنوان یکی از منابع تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، در سطح کشور صورت گیرد. در حال حاضر تنها حدود ۱۴ درصد برق موردنیاز کشور از نیروگاه‌های برقابی سدهای ساخته‌شده، تأمین می‌شود. علاوه بر آن لازم است با شناسایی سدهای پرجاذبه کشور، استفاده از ظرفیت‌های گردشگری و جنبه‌های تفریحی سدها، بیش‌ازپیش موردتوجه قرار گیرد.



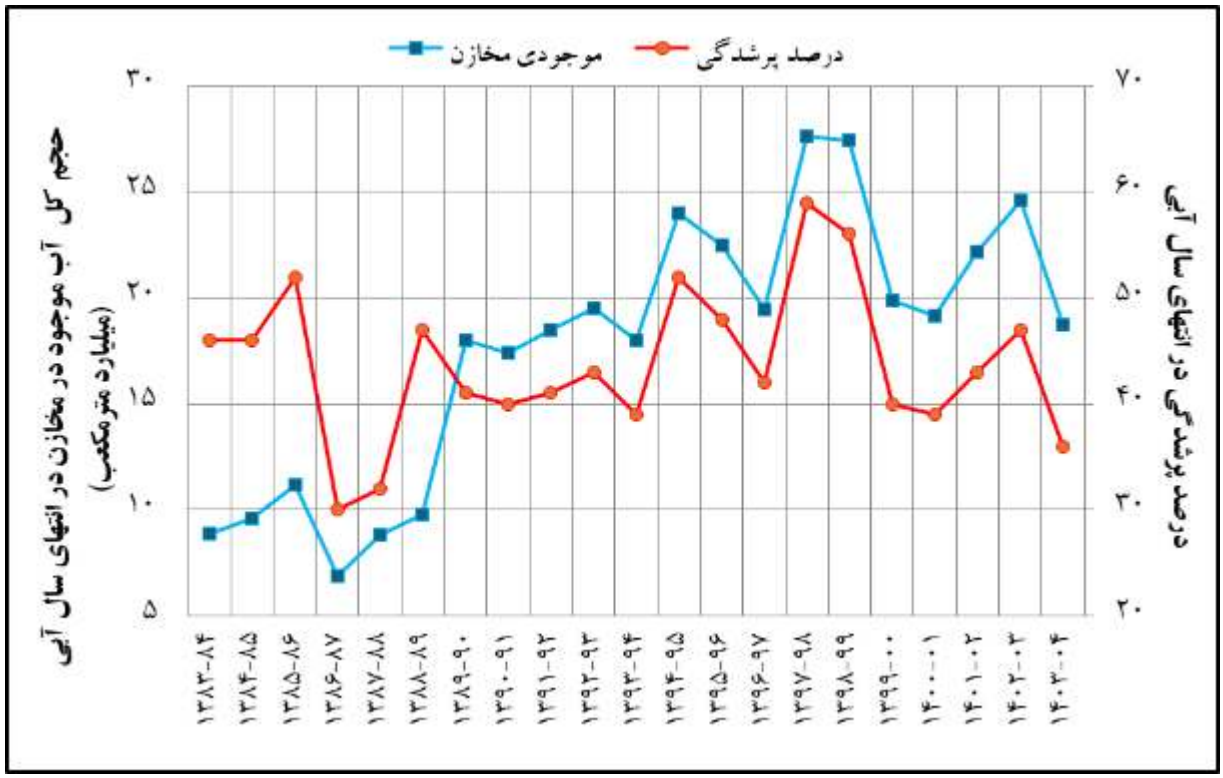
شکل ۴۳- مقایسه اهداف ساخت سدها در ایران و دنیا (عباسی و عباسی، ۱۳۹۹)

شکل ۴۴ تغییرات حجم ورودی، حجم خروجی، تعداد سدها و ظرفیت مخازن و شکل ۴۵ تغییرات حجم آب موجود در مخازن و پرشدگی سدهای مخزنی کشور بر اساس اطلاعات مندرج در سامانه سدیران، طی سال‌های آبی ۸۴-۱۳۸۳ تا ۰۴-۱۴۰۳ نشان می‌دهد. درنتیجه افزایش تعداد سدهای مهم مخزنی به ۲۰۱ سد در سال آبی ۰۴-۱۴۰۳، حجم کل سدهای کشور بر اساس هیدرو گرافی به حدود ۵۲ میلیارد مترمکعب، افزایش‌یافته است. ملاحظه می‌شود طی ۱۸ سال آبی اخیر تنها طی دو سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸، ظرفیت مخازن از حجم ورودی بیشتر است.

کمترین ورودی و خروجی از سـدها نیز در سـال آبی ۸۷-۱۳۸۶ و به‌ترتیب معادل ۱۲/۶ و ۱۷/۲ میلیارد مترمکعب است. بیشترین حجم ورودی به سدهای کشور طی سال‌های آبی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ و به‌ترتیب معادل ۸۷/۶ و ۵۴/۷ میلیارد مترمکعب و بیشـترین حجم خروجی طی همین سـال‌های آبی و به‌ترتیب معادل ۷۹/۵ و ۵۷ میلیارد مترمکعب است. مدیریت مخازن سدها در افزایش خروجی‌ها طی سال‌های پربارش ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸، سبب گردیده است درصد پرشدگی مخازن سدهای کشور در انتهای سال آبی ۹۹-۱۳۹۸ در حدود انتهای سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ (به‌عنوان یک سال آبی نرمال) باشد. این موضوع می‌تواند از نگاه ورود به دوره ترسالی در ذهن برنامه‌ریزان وقت تلقی گردد.



شکل ٤٤- تغییرات حجم ورودی و حجم خروجی سدهای کشور، تعداد سدها و ظرفیت مخازن طی سال‌های آبی ٨٤-١٣٨٤ تا ٠٤-١٤٠٣ (بی‌نام ٤، ١٤٠٤)



شکل ٤٥- تغییرات موجودی و درصد پرشدگی سدهای کشور طی سال‌های آبی ٨٤-١٣٨٤ تا ٠٤-١٤٠٣ (بی‌نام ٤، ١٤٠٤)

از شکل ۴۴ ملاحظه می‌گردد طی دوره ۲۱ ساله اخیر، در عمده سال‌های آبی میزان خروجی از میزان ورودی به مخازن سدهای کشور کمتر است. بااین‌حال در برخی از سال‌های آبی، خروجی سدها به میزان معناداری از ورودی کمتر است. این موضوع از دو زاویه قابل‌تحلیل است. طی سال‌های کم‌بارش نظیر ۸۷-۱۳۸۶، ۹۷-۱۳۹۶، ۰۰-۱۳۹۹ و ۰۴-۱۴۰۳، کل خروجی از سدها به‌ترتیب حدود ۴/۶، ۲/۹، ۷/۷ و ۵/۷ میلیارد مترمکعب بیشتر از کل ورودی و برداشت از ذخیره سدها برای جبران مصارف انجام‌شده است. بااین‌حال طی ترسالی شدید ۹۸-۱۳۹۷ میزان خروجی حدود ۲/۳ میلیارد مترمکعب بیشتر از ورودی ثبت گردیده که علت آن خروج غیرقابل‌کنترل درنتیجه سرریز سدها طی سیلاب‌های استثنایی این دوره می‌باشد.

جدول ۱۶، وضعیت سدهای مخزنی کشور منتهی به سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ نسبت به سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه‌دو را، مقایسه می‌نماید. حجم کل ورودی به سدهای کشور در سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ معادل ۲۸/۸ میلیارد مترمکعب است که نسبت به سال آبی ۰۳-۱۴۰۲، ۳۲ درصد کاهش نشان می‌دهد. میزان پرشدگی کل سدهای کشور در پایان سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ در حدود ۳۶ درصد است که کمترین میزان پرشدگی در مقایسه با انتهای ۱۵ سال آبی قبل از آن است. طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ علی‌رغم آنکه به دلیل کم‌بارشی میزان حجم

ورودی به سدها حدود ۳۲ درصد کاهش یافته است لکن به دلیل مدیریت خروجی مخازن و مصارف، موجودی مخازن حدود ۲۴ درصد نسبت به سال آبی قبل از آن کاهش یافته است. از مجموع ۲۷ حوضه آبریز درجه‌دو دارای سد مخزنی، ۲۴ حوضه با کاهش حجم آب موجود در مخزن و حجم ورودی در سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ نسبت به سال آبی قبل، مواجه شدند. این حوضه‌ها حدود ۹۰ درصد کل مخازن سدهای مخزنی کشور را در برمی‌گیرند. بیشترین افزایش ورودی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ نسبت به سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ مربوط به سدهای حوضه‌های آبریز ارس و رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز و به ترتیب حدود ۸۶ و ۳۵ درصد است. بااین‌حال سدهای واقع در حوضه‌های آبریز رودخانه‌های بلوچستان جنوبی، هامون مشکیل، قره‌قوم، با بیشترین کاهش حجم ورودی طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ نسبت به سال آبی ۰۳-۱۴۰۳ (بیش از ۸۵ درصد کاهش) همراه بوده‌اند. ملاحظه می‌گردد میزان موجودی مخازن در انتهای سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ نسبت به انتهای سال آبی ۰۳-۱۴۰۳ در تمامی حوضه‌های آبریز درجه دو با کاهش همراه بوده است. حوضه‌های آبریز کارون بزرگ و کرخه با پوشش ۳۰ و ۱۵/۴ درصدی حجم سدهای کشور اهمیت ویژه‌ای در حوزه تأمین انرژی دارا می‌باشند. کل حجم آب ورودی به سدهای حوضه آبریز کارون بزرگ و کرخه طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ نسبت به سال آبی ماقبل به‌ترتیب حدود ۲۴ و ۴۷ درصد کاهش را نشان می‌دهد.

غیریکنواختی در توزیع بارش‌ها، افزایش دما و به‌تبع آن کاهش ذخیره برفی، تغییر درشدت و الگوی بارش‌ها منجر به تولید رواناب کمتر، مدیریت تأمین آب شرب را نیز طی سال‌های اخیر با چالش‌های جدی مواجه ساخته است. ضرورت دارد برنامه‌های بخشی، استانی و ملی کوتاه، میان و بلندمدت برای سازگاری هر چه بهتر با شرایط کم‌بارشی و افزایش دما در اولویت دولت و بخش خصوصی قرار گیرد. ضمن آنکه توسعه فرهنگ صرفه‌جویی، رعایت الگوی کشت متناسب با سند آمایش سرزمین، مدیریت مصرف در بخش کشاورزی، کاهش تلفات انتقال و توزیع آب، مدیریت مصرف با اولویت تأمین آب شرب، اتخاذ تدابیر لازم سازگاری با اقلیم در ابعاد مصوب سند سازگاری با اقلیم، باید در دستور کار قرار گیرد.

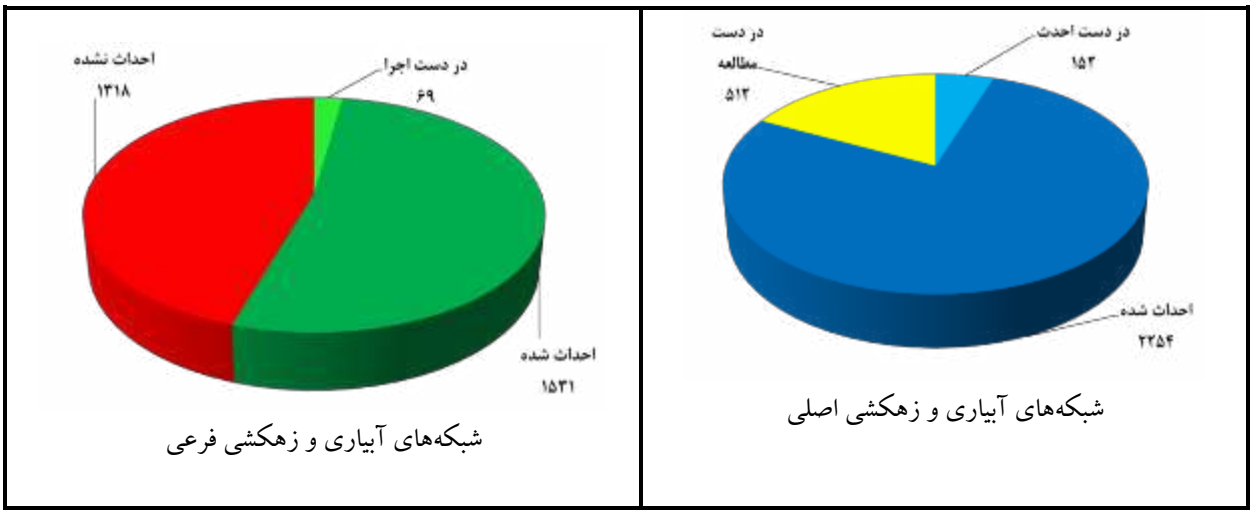
جدول ۱۶- وضعیت سدهای مخزنی طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ به تفکیک حوضه‌های درجه‌دو (بی‌نام ٤، ١٤٠٤)

حوضه آبریز درجه دو	تعداد سدهای حوضه آبریز	درصد حجم کل سدهای این حوضه از حجم کل سدها	حجم آب ورودی (میلیون مترمکعب)			حجم آب خروجی (میلیون مترمکعب)			حجم آب موجود در مخزن در انتهای سال آبی (میلیون مترمکعب)			درصد پرشدگی در انتهای سال آبی
			درصد اختلاف	سال آبی ۰۳-۱۴۰۲	سال آبی ۰۴-۱۴۰۳	درصد اختلاف	سال آبی ۰۳-۱۴۰۲	سال آبی ۰۴-۱۴۰۳	درصد اختلاف	سال آبی ۰۳-۱۴۰۲	سال آبی ۰۴-۱۴۰۳	
کارون بزرگ	۱۹	۳۰	-۳۴	۱۵،۶۷۰	۱۰،۳۸۲	-۲۵	۱۵،۵۹۸	۱۱،۷۰۶	-۱۴	۹،۸۸۳	۸،۴۸۶	۵۴
کرخه	۸	۱۵.۴	-۴۷	۳،۱۹۸	۱،۶۹۴	۱۳	۲،۶۱۱	۲،۹۳۷	-۳۱	۴،۰۴۰	۲،۷۸۰	۳۵
هندیجان-جراحی	۴	۸.۲	-۶۶	۲،۸۲۴	۹۵۳	-۱۸	۲،۲۳۰	۱،۸۳۲	-۴۲	۲،۱۴۵	۱،۲۴۴	۲۹
ارس	۲۲	۷.۷	۸۶	۴،۵۶۹	۸،۴۹۵	۱۲۵	۳،۸۲۴	۸،۵۸۷	-۹	۱،۳۳۷	۱،۲۲۱	۳۱
مرزی غرب	۲۴	۵.۴	-۶۱	۵،۱۷۶	۲،۰۲۹	-۵۴	۴،۸۹۱	۲،۲۳۴	-۱۳	۱،۷۶۰	۱،۵۲۵	۵۵
سفیدرود بزرگ	۱۵	۵.۱	-۳۰	۲،۱۰۳	۱،۴۷۰	-۵	۱،۸۸۱	۱،۷۹۰	-۳۸	۸۷۳	۵۴۱	۲۰
ارومیه	۱۳	۳.۲	-۷۰	۲،۲۷۳	۶۷۱	-۵۹	۲،۱۰۵	۸۷۲	-۳۸	۶۳۳	۳۹۲	۲۴
طشک- بختگان ومهارلو	۳	۳	-۳۵	۴۸۸	۳۱۵	-۱۶	۵۳۲	۴۴۶	-۲۰	۶۴۵	۵۱۴	۳۳
هامون هیرمند	۳	۲.۸	۰	۱۰۵	۱۰	۱۵	۱۳۲	۱۵۲	-۲۲	۲۳۱	۱۸۰	۱۲
هراز قره سو	۶	۲.۷	-۷	۶۶۳	۶۲۰	۲۷	۵۴۱	۶۸۴	-۳۳	۲۳۱	۱۵۳	۱۱
قره قوم	۱۲	۲.۷	-۸۵	۲۵۷	۳۹	۲۲	۱۴۵	۱۷۷	-۶۴	۲۲۳	۸۰	۶
دریاچه نمک	۱۳	۲.۵	-۲۵	۸۳۰	۶۲۳	-۳	۸۰۳	۷۷۶	-۳۹	۴۰۰	۲۴۵	۱۹
گاوخونی	۳	۲.۴	-۱۳	۱،۰۱۳	۸۸۴	-۱۵	۱،۱۶۰	۹۸۶	-۳۵	۲۹۵	۱۹۲	۱۵
مند و حوضه بسته هرم، کاریان و خنج	۲	۲.۱	-۳۹	۱۴۵	۸۸	-۱۲	۲۴۵	۲۱۷	-۲۸	۴۶۸	۳۳۹	۳۱
رودخانه‌های بلوچستان‌جنوبی	۵	۱.۵	-۹۷	۱،۷۳۲	۵۲	-۸۵	۱،۵۳۶	۲۳۸	-۴۰	۴۹۷	۲۹۸	۳۸
حله و مسیل‌های کوچک	۱	۱.۳	-۴۶	۱۸۰	۹۸	-۸	۲۸۵	۲۶۲	-۵۱	۳۲۳	۱۵۸	۲۳
بندرعباس-سدیج	۴	۱.۱	-۶۹	۲۳۹	۷۴	-۳۸	۲۹۳	۱۸۰	-۵۰	۲۳۹	۱۲۰	۲۰
هامون جازموریان	۲	۰.۷	-۳۵	۱۰۰	۶۵	۷	۸۰	۸۶	-۲۳	۱۱۵	۸۹	۲۵
اترک	۸	۰.۶	-۵۱	۱۰۱	۵۰	-۲۱	۸۵	۶۷	-۳۷	۵۵	۳۵	۱۱
کویر لوت	۵	۰.۴	-۵۷	۵۷	۲۴	-۴۳	۷۲	۴۱	-۵۶	۲۹	۱۳	۷
کویر مرکزی	۸	۰.۴	-۵۰	۵۷	۲۹	-۲۱	۴۰	۳۲	-۳۰	۲۹	۲۱	۱۰
قره سو گرگانرود	۶	۰.۳	-۶۱	۲۳۲	۹۰	-۵۰	۲۰۵	۱۰۳	-۶۵	۳۶	۱۳	۸
کل و مهران	۲	۰.۲	-۵۳	۲۱	۱۰	-۴۶	۲۰	۱۱	-۷۴	۱	۰	۰
کویر ابرقو- سیرجان	۲	۰.۲	-۵۲	۳	۲	-۲۹	۶	۴	-۳۹	۸	۵	۴
نمکزار خواف - دق پترگان	۵	۰.۱	-۷۶	۱۵	۴	-۲۲	۸	۶	-۱۹	۱۶	۱۳	۲۵
هامون ماشکیل	۱	۰.۱	-۹۲	۱۰۴	۹	-۶۹	۷۵	۲۳	-۳۰	۶۳	۴۴	۶۵
بین سفیدرود و هراز	۵	۰	۳۵	۴۰	۵۴	۲۲	۴۰	۴۹	-۲۷	۱۰	۷	۴۷
مجموع	**۲۰۱**	-	**-۳۲**	**۴۲،۱۹۴**	**۲۸،۸۳۱**	**-۱۳**	**۳۹،۴۴۶**	**۳۴،۴۹۹**	**-۲۴**	**۲۴،۵۸۷**	**۱۸،۷۰۸**	**۳۶**

٤-٨- توسعه شبکه‌های آبیاری و زهکشی

احداث شبکه‌های آبیاری و زهکشی مدرن در کشور به‌عنوان یکی از راهکارهای اساسی سازگاری با وضعیت بحرانی منابع آب و استفاده بهینه از منابع محدود آب همواره موردتوجه بوده است. خوشبختانه در سال‌های اخیر اهتمام جدی و اقدامات قابل‌توجهی در خصوص مدیریت تأمین، انتقال و مصرف آب صورت‌گرفته است. به‌طوری‌که در این راستا، تاکنون بیش از ۲ میلیون هکتار از اراضی تحت کشت آبی به شبکه‌های مدرن آبیاری و زهکشی مجهز شده است. این در حالی است که بر اساس برنامه‌های توسعه‌ای کشور و پتانسیل‌های موجود این رقم به حدود ۴ میلیون هکتار قابل‌افزایش است. بدین ترتیب هنوز ازنظر کمی توان بالقوه زیادی در افزایش سطح زیر شبکه‌های مدرن آبیاری و زهکشی وجود دارد و با انجام این مهم حجم زیادی از منابع آب‌وخاک کشور در چرخه تولید قرار می‌گیرد. از طرف دیگر بررسی‌های انجام‌شده در خصوص عملکرد و وضعیت بهره‌برداری این شبکه‌ها نشان داده‌اند که اغلب آن‌ها در مراحل مختلف بهره‌برداری دچار مسائل و مشکلات عدیده‌ای می‌گردند که در اثر این مشکلات اهداف اولیه این طرح‌ها مورد مخاطره قرار می‌گیرد. این مسائل که اغلب به‌صورت تخریب سازه‌ها بروز می‌نمایند، معلول عوامل متعددی نظیر مسائل مربوط به طراحی، اجرای، کیفیت مصالح مورداستفاده، وضعیت بهره‌برداری و نگهداری، مسائل اجتماعی و فرهنگی و شرایط ژئوتکنیکی بستر و تکیه‌گاه سازه‌ها می‌باشند. نتایج مطالعات و تحقیقات انجام‌شده در این خصوص نشان داده‌اند که عدم توجه به مسائل کیفی در کنار توسعه کمی نه‌تنها باعث تخریب سازه‌ها در سال‌های اول بهره‌برداری گردیده، بلکه امر اصلاح و بازسازی را مشکل و غیراقتصادی می‌کند. با عنایت به مباحث کوتاه عنوان‌شده می‌توان دریافت که هم‌زمان با توسعه شبکه‌های آبیاری و زهکشی توجه و اهتمام ویژه به شاخص‌های کیفی و ارزیابی مستمر اثربخشی این‌گونه پروژه‌ها امری لازم و اجتناب‌ناپذیر است.

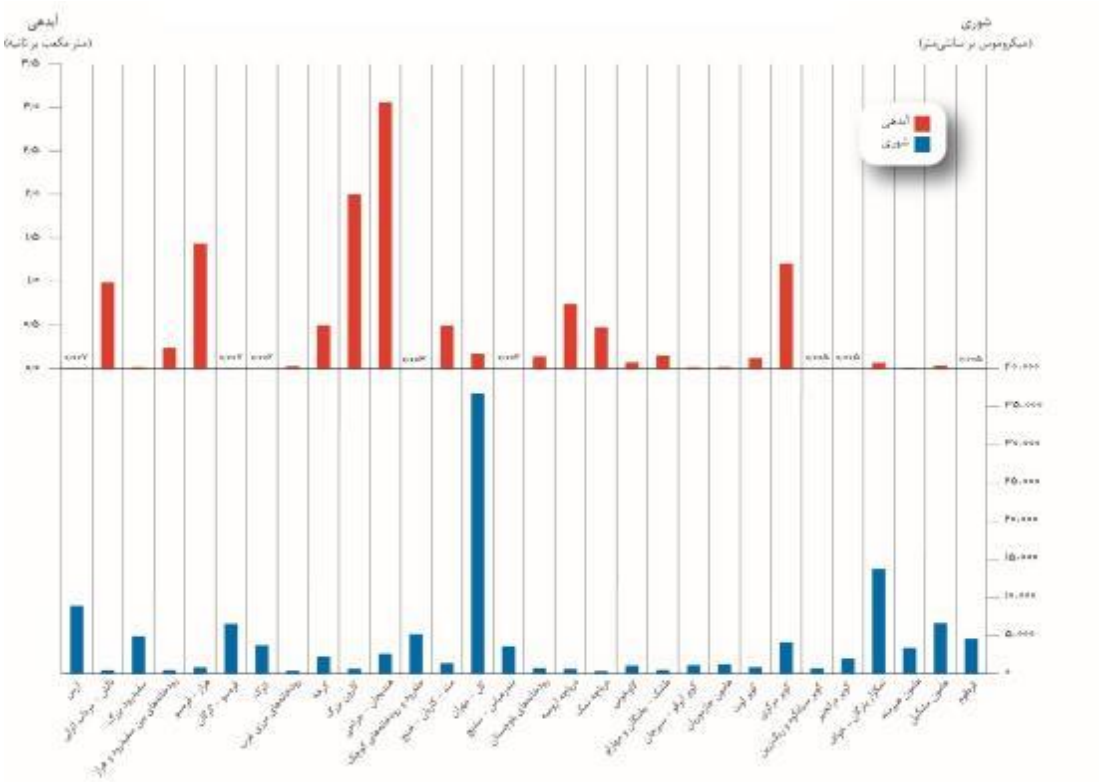
به دنبال سدسازی و هم‌زمان با بهره‌برداری از سدهای ساخته‌شده اغلب آن‌ها به شبکه‌های مدرن آبیاری و زهکشی مجهز شدند. بر اساس آمار شرکت مدیریت منابع آب ایران تا اواخر سال ۱۳۹۷ حدود ۲/۹۱۸ میلیون هکتار از اراضی زراعی پایاب سدهای در حال بهره‌برداری تحت پوشش شبکه‌های اصلی آبیاری و زهکشی قرارگرفته است. این شبکه‌ها ازلحاظ وسعت بسیار متفاوت و از حدود ۳۰۰ هزار هکتار (اراضی پایاب سد کرخه) تا شبکه‌های کوچک با وسعتی کمتر از ۱۰۰ هکتار متغیر است. وسعت اراضی تحت پوشش شبکه‌های اصلی و فرعی آبیاری و زهکشی در پایاب سدها به تفکیک فازهای عملیاتی مطابق شکل ۴۶ بوده که در صورت تکمیل کلیه سدهای در دست اجرا و مطالعه، وسعت این شبکه‌ها درمجموع به حدود ۴ میلیون هکتار خواهد رسید.



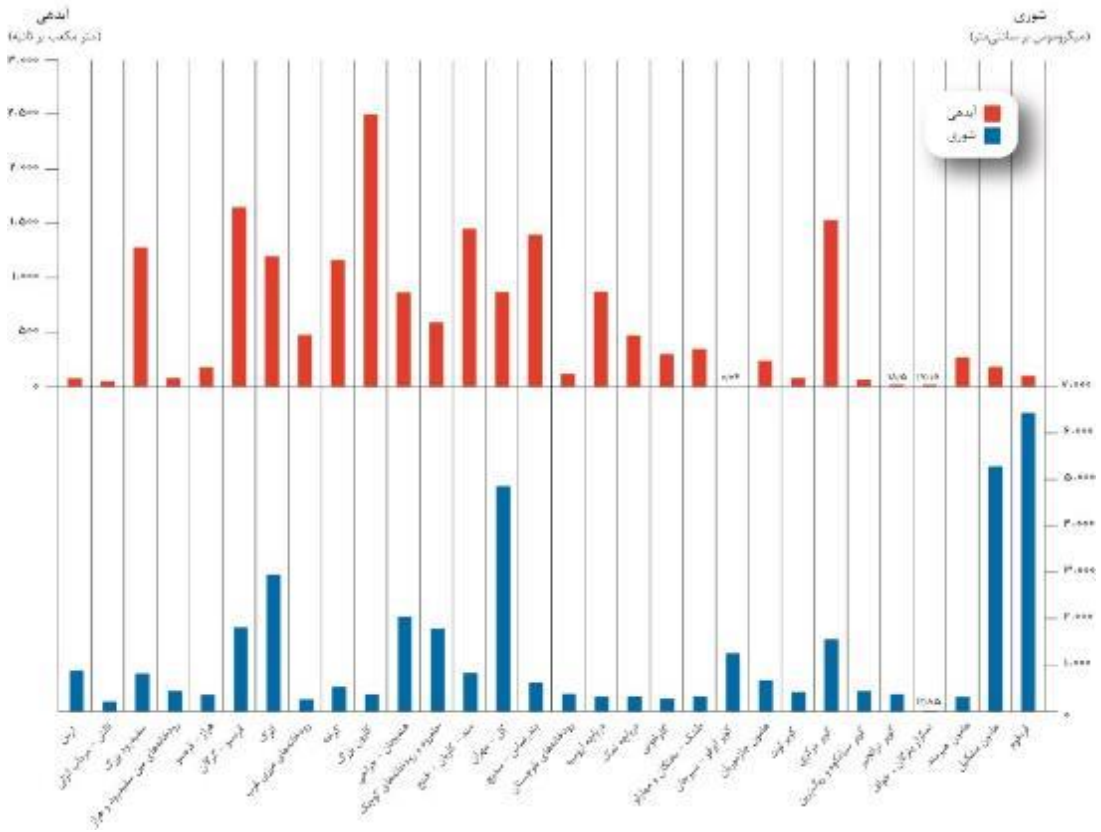
شکل ٤٦- وضعیت شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور به هزار هکتار (عباسی و عباسی، ۱۳۹۹)

٤-۹- تحلیل وضعیت کیفی منابع آب‌های سطحی کشور

وضعیت کیفیت شیمیایی آب‌های سطحی با نمونه‌برداری از آب در محل ایستگاه‌های هیدرومتری به همراه اندازه‌گیری آبدهی بررسی می‌شود. شکل‌های ۴۷ و ۴۸، شوری آب سطحی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری مبنای حوضه‌های آبریز درجه دو را برای شرایط حداکثر و حداقل آبدهی طی سال آبی ۹۷-۱۳۹۶، نشان می‌دهد. در شرایط حداقل آبدهی، بیشترین میزان شوری در ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا حوضه آبریز کل-مهران و بیش از ۳۵۰۰۰ میکرو موس بر سانتیمتر، اندازه‌گیری شده است. در شرایط حداقل آبدهی، حوضه‌های آبریز نمکزار پترگان-خواف، هامون-مشکیل و ارس، بیشترین میزان شوری در رتبه‌های بعدی را دارا می‌باشند. در شرایط گذار حداکثر آبدهی نیز، حداکثر شوری اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا از حدود ۶۵۰۰ میکرو موس بر سانتیمتر در حوضه آبریز قره‌قوم، فراتر نرفته است (بی‌نام ۱، ۱۴۰۰).



شکل ٤٧- میزان حداقل دبی و شوری متناظر ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا حوضه‌های آبریز درجه‌دو



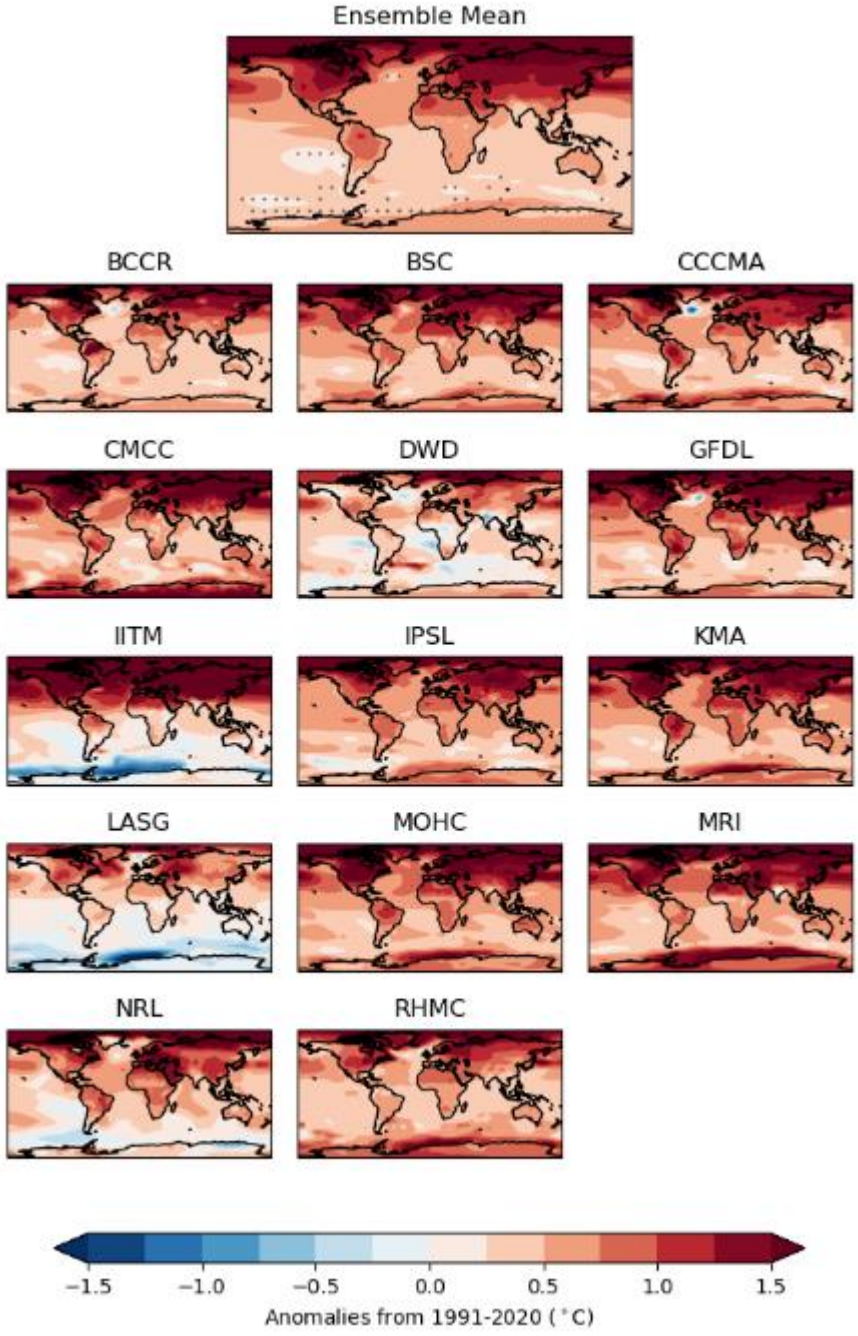
شکل ٤٨- میزان حداکثر دبی و شوری متناظر ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا حوضه‌های آبریز درجه‌دو

٤-١٠- پیش‌بینی‌های بلندمدت اقلیمی

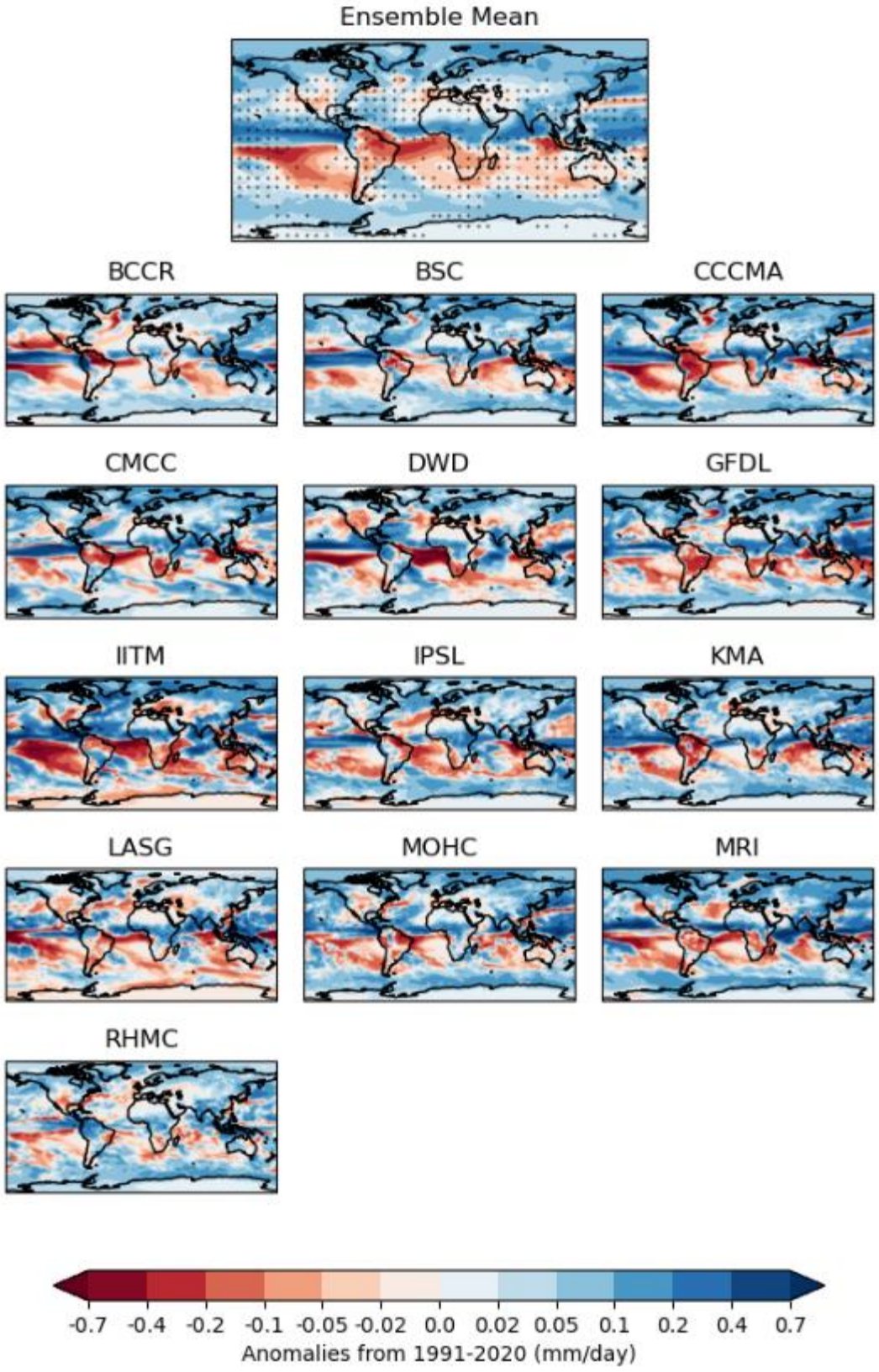
شکل‌های ۴۹ و ۵۰، پیش‌بینی‌های دما و بارش جهان تا افق ۵ ساله آتی از نتایج منتشره توسط سازمان جهانی هواشناسی نشان می‌دهد. مرکز راهبری تحت نظارت این سازمان، نتایج پیش‌بینی‌های آب‌وهوایی در مقیاس سالانه تا یک دهه را از نتایج پیش‌بینی‌ها و راستی آزمائی‌های انجام‌شده توسط تعدادی از مراکز مشارکت‌کننده در سراسر جهان، منتشر می‌نماید (WMO, 2024). در شکل‌های فوق، پیش‌بینی آنومالی یا انحراف از نرمال دما و بارش برای دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵ با مبدأ زمانی سال ۲۰۲۴، ارائه‌شده است. دوره نرمال متناظر با داده‌های مشاهداتی دما و بارش یک بازه ۳۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۹۱) است. در شکل‌های ۴۹ و ۵۰، نتایج پیش‌بینی‌ها از مراکز مشارکت‌کننده جهانی (BCCR-BSC-CCCMA-CMCC-DWD-GFDL-IPSL-LASG-MOHC-MRI-NRL-IITM-KMA-RHMC) و متوسط نتایج[1] ارائه‌شده است. از شکل ۴۹، افزایش تدریجی دما در غالب نقاط جهان طی دوره ۵ ساله آتی پیش‌بینی می‌شود. در محدوده کشور ایران و حوضه‌های آبریز فرامرزی، افزایش ۰/۵ تا ۱ درجه‌ای متوسط دما طی دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵ نسبت به نرمال مشهود است. با مقایسه نقشه پهنه پیش‌بینی آنومالی دما در کشور ایران با سایر نقاط جهان، به نظر می‌رسد افزایش دما طی دوره ۵ ساله آتی در محدوده کشور ایران در محدوده افزایش متوسط دمای جهانی است. از شکل ۴۹، افزایش شدیدتر دما در نیمکره شمالی نسبت به نیمکره جنوبی، مشهود است. بر اساس شکل ۵۰، تغییرات همگونی ازنظر افزایش یا کاهش بارش‌ها طی دوره ۵ ساله آتی در نقاط مختلف دنیا، پیش‌بینی نمی‌شود. از متوسط نتایج ارائه‌شده توسط مراکز مشارکت‌کننده جهانی، متوسط بارش طی دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵ در محدوده کشور ایران نزدیک به نرمال و با نرخ ۰/۰ تا ۰/۰۲ میلی‌متر در روز، افزایش می‌یابد. همچنین و از متوسط نتایج ارائه‌شده، طی دوره ۵ ساله آتی، افزایش بارش‌ها در نیمکره شمالی و کاهش بارش‌ها در نیمکره جنوبی، پیش‌بینی می‌گردد. شکل‌های ۵۱ و ۵۲، نیز پیش‌بینی آنومالی دما و بارش پهنه جهانی طی دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵ و ماه‌های می تا سپتامبر (بهار و تابستان) و نوامبر تا مارس (پاییز و زمستان)، ارائه می‌نماید. ملاحظه می‌شود میزان افزایش دمای کشور طی دوره ۵ ساله آتی و فصول بهار و تابستان حدود ۱-۰/۷۵ درجه و در فصول پاییز و زمستان حدود ۰/۷۵-۰/۵ درجه است. بااین‌حال و در شرایطی که متوسط بارش کشور طی دوره ۵ ساله آتی و فصول بهار و تابستان با نرخ ۰/۰۲-۰ میلی‌متر در روز افزایشی است، بارش فصل‌های پاییز و زمستان با نرخ ۰/۰۵-۰/۰۲ میلی‌متر در روز افزایش می‌یابد. طی این دوره‌ها، مناطق واقع در نیمکره شمالی، بارش نرمال و بالاتر از نرمال را تجربه می‌نمایند. شکل‌های (۵۳ الف) و (۵۳ ب)، به ترتیب احتمال وقوع دمای بالاتر از نرمال و

[1] Ensemble Mean

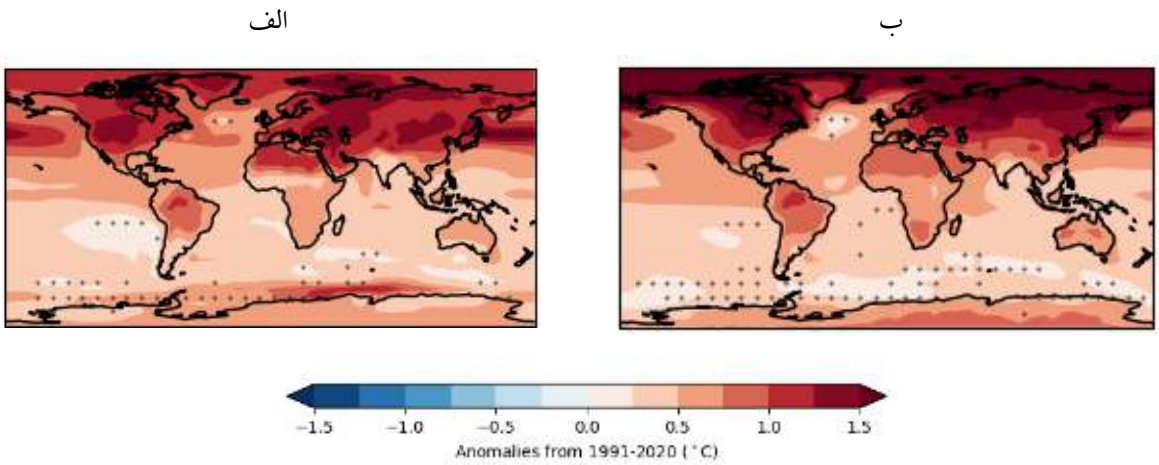
بارش بالاتر از نرمال طی دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵ بر اساس متوسط نتایج ارائه‌شده توسط مراکز مشارکت‌کننده جهانی، نشان می‌دهد (WMO, 2024). ملاحظه می‌شود احتمال وقوع دمای بالاتر از نرمال در محدوده کشور ایران طی دوره ۵ سال آتی بیشتر از ۸۰ درصد است. بااین‌حال، احتمال بارش بیشتر از نرمال برای این دوره در محدوده کشور ایران، حدود ۵۰ درصد است.



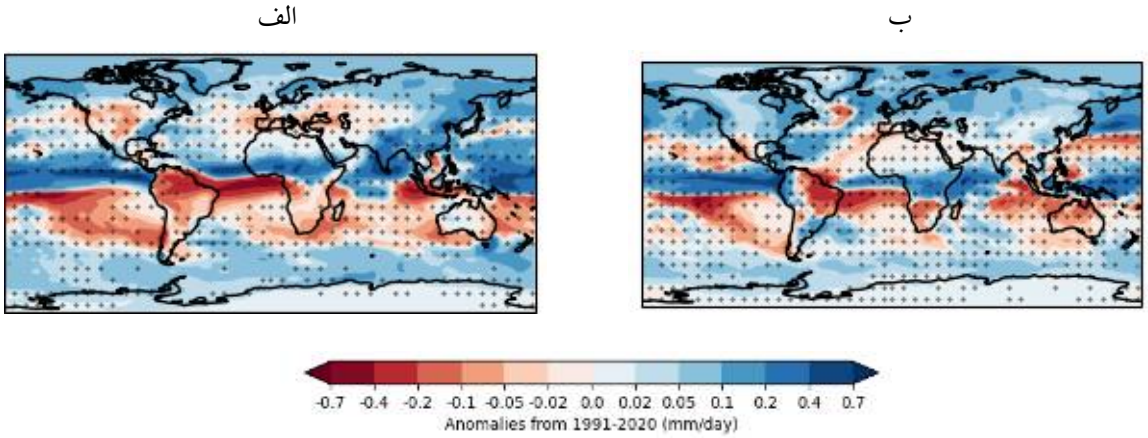
شکل ٤٩- پیش‌بینی آنومالی متوسط دمای نزدیک سطح زمین برای دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵ با مبدأ زمانی سال ۲۰۲٤



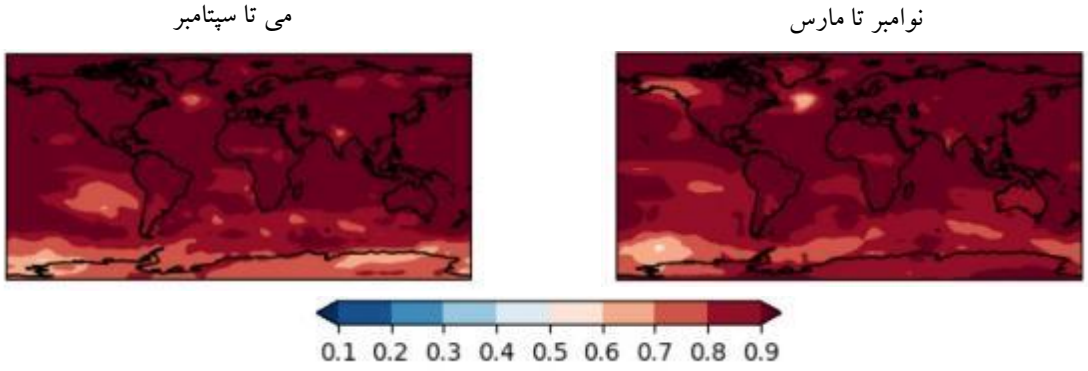
شکل ۵۰- پیش‌بینی آنومالی متوسط بارش برای دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵ با مبدأ زمانی سال ۲۰۲٤



شکل ۵۱- پیش‌بینی آنومالی متوسط دما برای دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵ با مبدأ زمانی سال ۲۰۲٤ برحسب درجه سانتی‌گراد (الف) متوسط دمای ماه‌های می تا سپتامبر و (ب) متوسط دمای ماه‌های نوامبر تا مارس

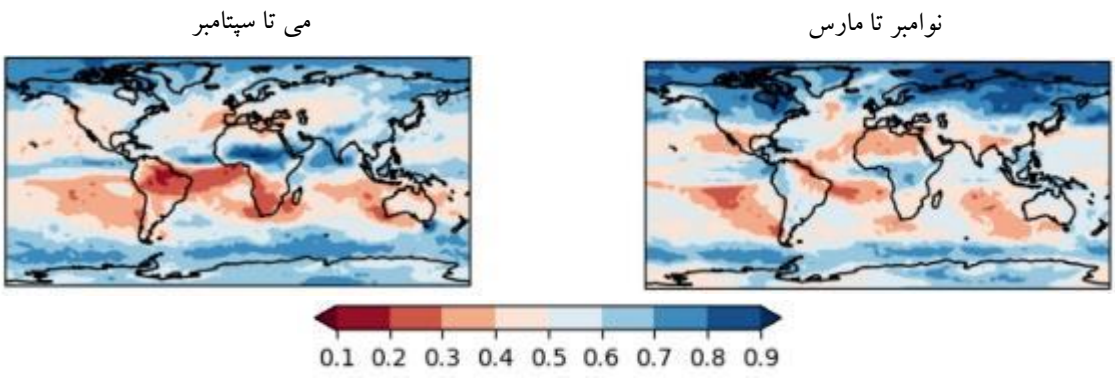


شکل ۵۲- پیش‌بینی آنومالی متوسط بارش برای دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵ با مبدأ زمانی سال ۲۰۲٤ برحسب میلی‌متر در روز(الف) متوسط بارش ماه‌های می تا سپتامبر و (ب) متوسط بارش ماه‌های نوامبر تا مارس



(الف)

شکل ۵۳- احتمال وقوع (الف) دمای بالاتر از نرمال و (ب) بارش بالاتر از نرمال در دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵



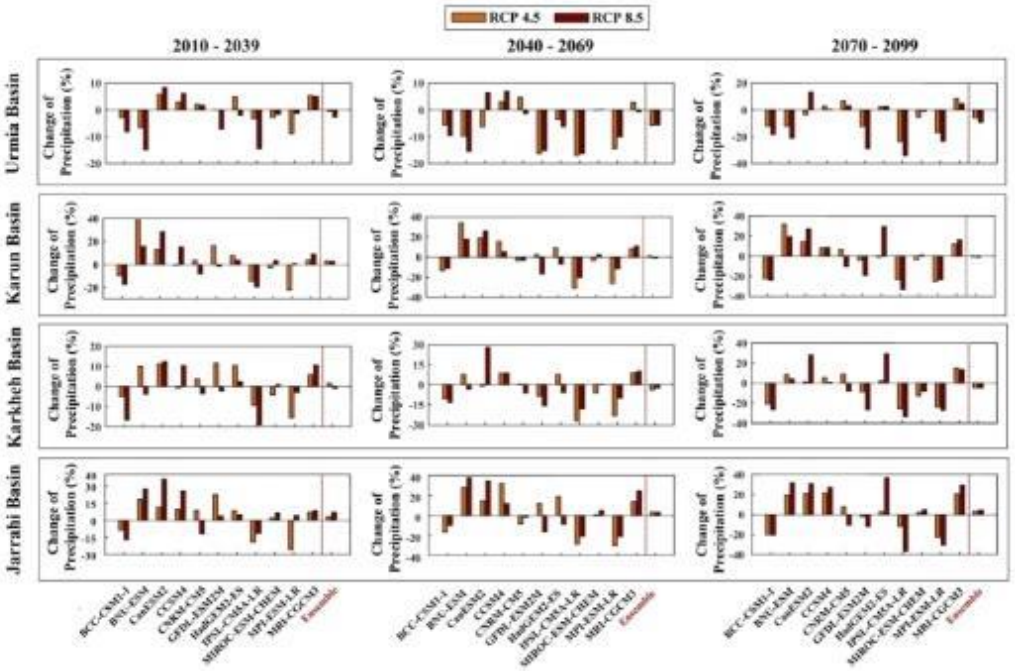
(ب)

ادامه شکل ۵۳- احتمال وقوع (الف) دمای بالاتر از نرمال و (ب) بارش بالاتر از نرمال در دوره ۵ ساله ۲۰۲۹-۲۰۲۵

اگرچه منابع آب در دسترس، به‌طور طبیعی متأثر از شرایط جغرافیایی، هیدرولوژی و شرایط آب‌وهوایی نزدیک سطح زمین است، مداخلات انسانی نیز در مدیریت منابع آبی (منابع آب، ذخیره‌سازی و توزیع مجدد منابع آب) و به‌کارگیری اراضی، می‌تواند مشخصه‌های آب در دسترس را تغییر دهد. در حال حاضر حدود یک‌سوم جمعیت جهان در مناطق تحت تنش آبی زندگی می‌کنند و درنتیجه دستیابی به چشم‌انداز از کمبود منابع آبی در آینده، یک اولویت جهانی است. براین‌اساس بررسی اثرات عوامل طبیعی نظیر تغییرات اقلیمی و محرک‌های انسانی بر روی منابع آب قابل‌دسترس برای مدیریت بهتر منابع آب به‌ویژه در مناطق تحت تنش آبی دارای اهمیت است.

در یک مطالعه اثرات تغییرپذیری در شرایط اقلیمی (میزان بارش) و فعالیت‌های انسانی (برداشت از منابع آبی) بر میزان آب‌های سطحی در دسترس طی قرن بیست‌ویک در حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه، کارون، کرخه و جراحی، بررسی‌شده است (Ashraf et al. 2019). در این بررسی، ابتدا پیش‌بینی بارش حوضه‌های آبریز مذکور از ۲۵ مدل اقلیمی استخراج‌شده است. سری داده‌های تاریخی بارش ایستگاه‌های سینوپتیک طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۰۱ میلادی برای انتخاب بهترین مدل اقلیمی در هر حوضه آبریز مورداستفاده قرار گرفت. شکل ۵۴ درصد اختلاف بارش پیش‌بینی‌شده از نتایج بهترین مدل‌های اقلیمی نسبت به دوره نرمال پایه (سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۶) و به تفکیک حوضه‌های آبریز مذکور و زمانی نخست (سال‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰)، دوره زمانی میانه (سال‌های ۲۰۶۹-۲۰۴۰) و دوره زمانی پایانی (۲۰۹۹-۲۰۷۰)، به ازای دو سناریوی غلظت CO_2 معادل (RCP 4.5 و RCP 8.5) نشان می‌دهد. در شکل (۵۴)، نمودار با عنوان Ensemble به معنای میانگین نتایج از مدل‌های اقلیمی برتر است.

از شکل ۵۴ ملاحظه می‌شود و بر اساس نتایج Ensemble یا میانگین مدل‌های اقلیمی، حوضه آبریز دریاچه ارومیه، بیشترین کاهش بارش نسبت به نرمال را در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ از نتایج میانگین مدل‌ها و تحت سناریوی اقلیمی RCP 4.5 و به ترتیب معادل ۰/۲۷ و ۵/۸۵ درصد نشان می‌دهد. همچنین حوضه آبریز جراحی، بیشترین افزایش بارش نسبت به نرمال در دوره انتهایی قرن بیست‌ویک و معادل ۳/۵ درصد از نتایج میانگین مدل‌ها و تحت سناریوی اقلیمی RCP 4.5 داراست. تحت همین سناریو اقلیمی و به‌طورکلی از نتایج میانگین مدل‌ها و برای ۴ حوضه آبریز مورد بررسی، میزان بارش در دوره‌های ابتدایی، میانی و انتهای قرن بیست‌ویک، به ترتیب در حدود ۰/۳ درصد، ۹/۵ درصد و ۱۰/۵ درصد کاهش را نسبت به نرمال نشان می‌دهد. این موضوع بیانگر تداوم خشک‌سالی در عمده نقاط پهنه سرزمینی ایران طی قرن جاری است. بااین‌حال، به دلیل اغماض از اثرات افزایشی تبخیر و تعرق ناشی از گرمایش جهانی، پیش‌بینی‌های مذکور، تصویری خوش‌بینانه از آینده است. براین‌اساس لازم است سیاست‌گذاران، با توجه به رشد جمعیت و افزایش مصرف، استراتژی‌های کنترلی جدی را موردتوجه قرار دهند.

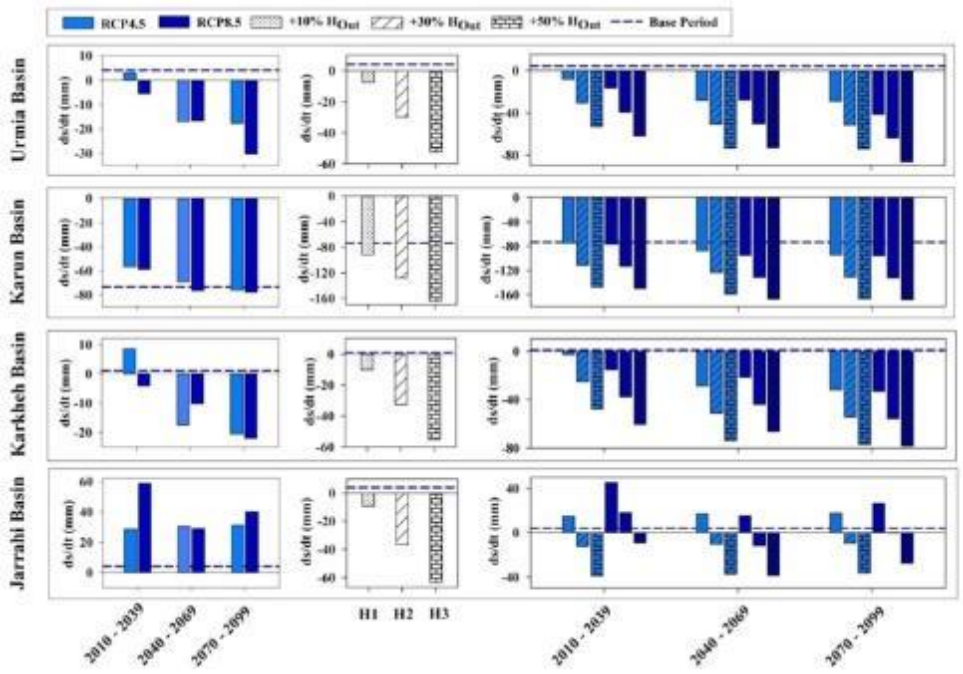


شکل ٥٤- درصد اختلاف بارش پیش‌بینی‌شده نسبت به دوره نرمال پایه (سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷٦) برای سه دوره ابتدایی، میانی و انتهایی قرن بیست‌ویک در حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه، کارون، کرخه و جراحی

شکل ۵۵، اثرات منفرد تغییرات بارش (ستون سمت چپ) و افزایش نرخ برداشت از منابع آب معادل ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصد (ستون میانی) و اثرات ترکیبی عوامل فوق (ستون سمت راست) بر تغییرات ذخیره منابع آب‌های سطحی

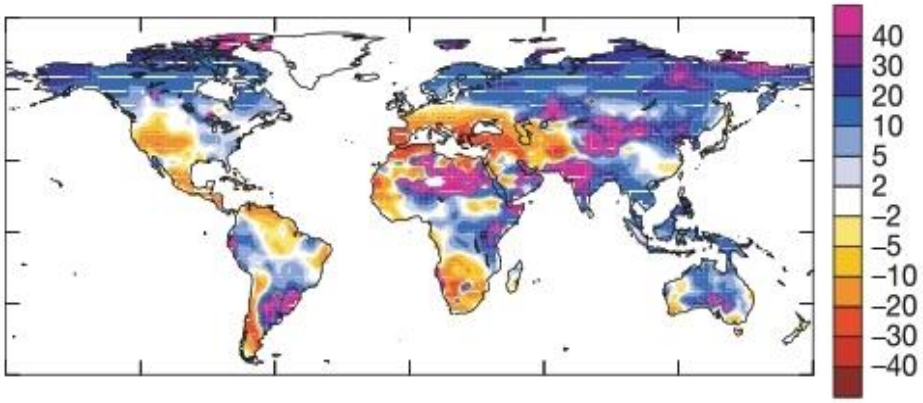
طی دوره‌های ابتدایی، میانی و انتهایی قرن بیست‌ویک در حوضه‌های آبریز چهارگانه فوق، نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن تغییرات بارش پیش‌بینی‌شده و با فرض عدم‌تغییر در نرخ برداشت از منابع آب، پیش‌بینی می‌شود میزان ذخیره منابع آب‌های سطحی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی دوره‌های ابتدایی و انتهایی قرن بیست‌ویک، به ترتیب در حدود ۲۵ و ۵۵۰ و و تحت سناریوی اقلیمی RCP 4.5 درصد کاهش یابد. از مجموع چهار حوضه مورد بررسی، کمترین میزان کاهش در ذخیره منابع آب‌های سطحی در حوضه‌های آبریز کارون و کرخه پیش‌بینی می‌شود. جالب‌توجه است که در حوضه آبریز جراحی علی‌رغم پیش‌بینی افزایش بارش، کاهش قابل‌توجهی در ذخیره منابع آب‌های سطحی قابل پیش‌بینی است.

بر اساس مطالعه فوق پیش‌بینی می‌شود افزایش ۳۰ تا ۵۰ درصدی برداشت از منابع آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌تواند سبب کاهش ۱۴۳۰–۸۶۸ درصدی تا سال ۲۰۴۰ و کاهش ۱۹۵۰–۱۳۷۵ درصدی ذخیره تا سال ۲۱۰۰ و تحت سناریوی اقلیمی RCP 4.5 خواهد شد. این نتایج نشان می‌دهد حوضه آبریز دریاچه ارومیه در مقایسه با سه حوضه آبریز دیگر، بیشترین نرخ تنش آبی را درنتیجه شرایط اقلیمی و بخصوص افزایش مصارف آبی در قرن بیست‌ویک خواهد داشت. این مجموعه از اثرات ترکیبی، پیش‌تر سبب کاهش ۸۸ درصدی سطح دریاچه ارومیه گردیده است (AghaKouchak et al. 2015).



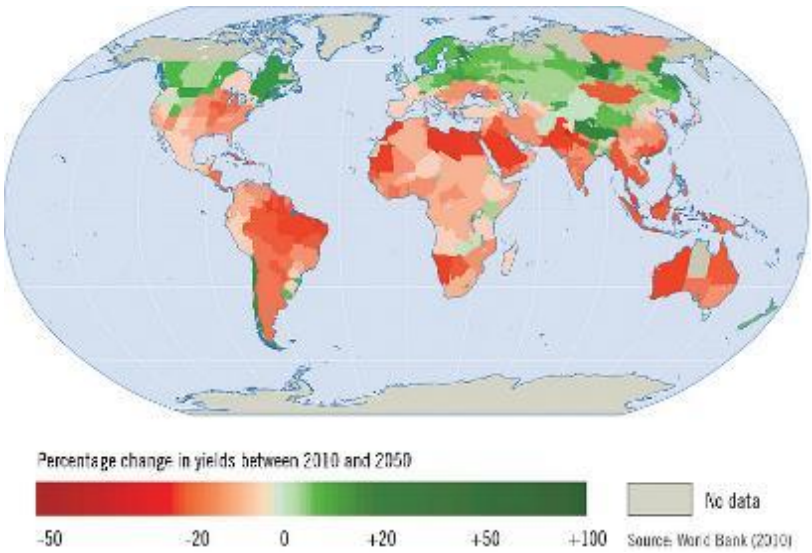
شکل ۵۵- پیش‌بینی اثرات منفرد و ترکیبی تغییرات بارش و افزایش نرخ برداشت از منابع آب بر تغییرات ذخیره آب سطحی حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه، کرخه برای دوره‌های ابتدایی، میانی و انتهایی قرن بیست‌ویک

شـکل ۵۶، پیش‌بینی درصـد تغییرات نسـبی رواناب برای سـال‌های ۲۰۶۰-۲۰۴۱ از نتایج یک مطالعه دیگر و با میانگین‌گیری از نتایج ۱۲ مدل اقلیمی نشـان می‌دهد (Milly et al. 2005). این نتایج نشـان می‌دهد تا سـال ۲۰۵۰، میزان رواناب در محدوده کشورهای غرب آسیا و کشور ایران، ۳۰-۱۰ درصد کاهش خواهد یافت.



شکل ٥٦- پیش‌بینی درصد تغییرات نسبی رواناب برای دوره زمانی ۲۰٦۰-۲۰٤۱

شـکل ۵۷، درصـد تغییرات نسـبی در تولید محصـولات کشـاورزی کشـاورزها تا سـال ۲۰۵۰ و درنتیجه تغییرات اقلیمی نشـان می‌دهد. مشـاهده می‌شـود در بسـیاری از کشـورها به دلیل کاهش بارش و رواناب، کاهش فراوانی در تولید محصـــولات کشـــاورزی رخ‌داده و تنها در تعداد محدودی از کشـــورها مانند روســـیه و کانادا، میزان تولید محصـولات کشـاورزی، افزایش خواهد یافت. در کشـور ایران، پیش‌بینی‌ها بیانگر کاهش حدود ۲۰ درصـدی تولید محصولات کشاورزی تا سال ۲۰۵۰ درنتیجه تغییرات اقلیمی است.



شکل ۵۷- پیش‌بینی درصد تغییرات نسبی در تولید محصولات کشاورزی کشورها تا سال ۲۰۵۰ در اثر تغییرات اقلیم (Müller et al. 2010)

بر اساس پیش‌بینی سازمان همکاری اقتصادی و توسعه، تقاضای آب تا سال ۲۰۵۰ با افزایش ۵۵ درصدی همراه است (OECD, 2011). بر اساس این گزارش، مصرف آب در بخش‌های صنعت و خانگی به ترتیب حدود ۴۰۰ و ۱۳۰ درصد افزایش‌یافته و پیش‌بینی می‌شود مصرف آب در بخش کشاورزی حدود ۱۴ درصد کاهش یابد. این گزارش با لحاظ افزایش حدود ۵۰/۸ درصدی جمعیت در سال ۲۰۵۰ نسبت به سال ۲۰۰۰، پیش‌بینی می‌کند جمعیت مواجه با شرایط تنش آبی شدید دنیا از حدود ۲۶/۲ درصد در سال ۲۰۰۰ به حدود ۴۲/۴ درصد تا سال ۲۰۵۰، افزایش خواهد یافت.

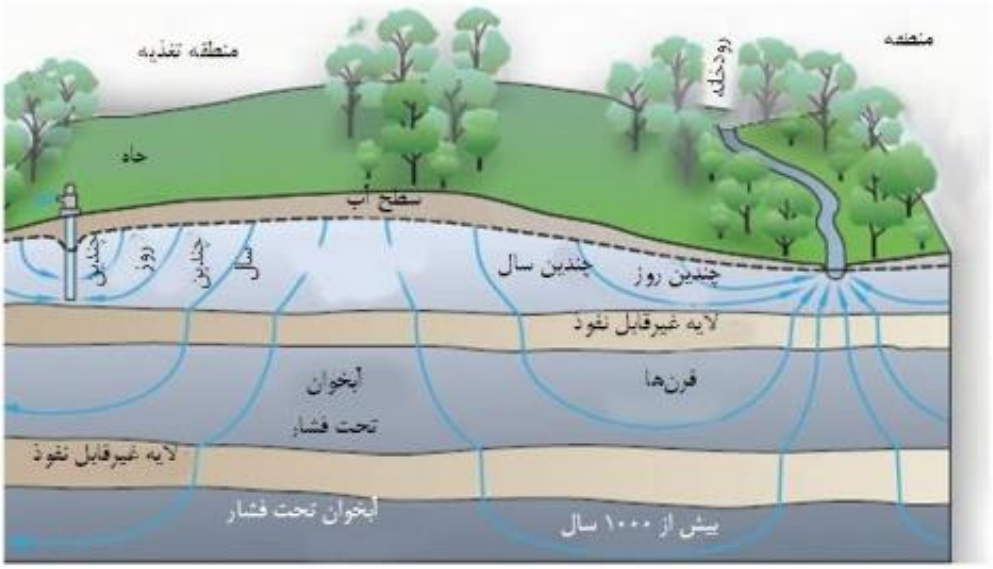
٤-۱۱- جمع‌بندی

تحلیل وضعیت منابع آب‌های سطحی کشور بر اساس آمار و اطلاعات ارائه‌شده در این بخش، افزایش دما، کاهش روند بارش‌ها و کاهش ذخایر برفی کشور، افزایش وقوع دوره‌های خشک‌سالی‌های هواشناسی و افزایش فراوانی جریان‌های حدی رودخانه‌ای به‌عنوان نتایج مستقیم تغییرات اقلیمی، تبیین می‌نماید. این مسائل همگام با محدودیت ذاتی منابع آب‌های سطحی کشور و توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارش‌ها و پیش‌بینی تداوم کاهش رواناب‌های سطحی کشور تا افق ۲۰۵۰، اهمیت سازگاری با کم‌آبی به‌عنوان یک واقعیت غیرقابل‌انکار، آشکار می‌نماید. در کنار کاهش کمیت منابع آب‌های سطحی، انتشار پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری در رودخانه‌ها، از دیگر عوامل تهدیدکننده منابع آب محدود کشور محسوب می‌شوند. بر اساس گزارش مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI)، کشور ایران برای حفظ وضعیت موجود تا سال ۲۰۲۵ باید بتواند ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیفزاید. این امر با توجه به پتانسیل منابع آب و نیازهای روزافزون بخش‌های کشاورزی، شرب، صنعت و حفاظت از سایر منابع زیستی بسیار دشوار و حتی ناشدنی است؛ بنابراین، در چنین شرایطی اصولی‌ترین و خردمندانه‌ترین راهبرد، سازگاری با طبیعت و برنامه‌ریزی بر اساس پتانسیل‌های طبیعی و آمایش سرزمین است.

۵- سیمای منابع آب‌های زیرزمینی کشور

۵-۱- مقدمه

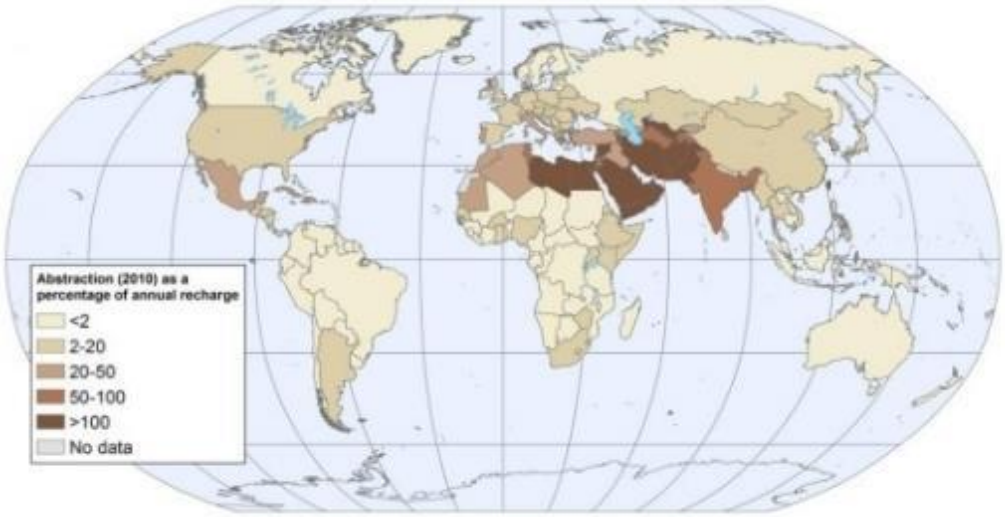
آب‌های زیرزمینی یکی از اجزای مهم تعیین مشخصه‌های خاک و زمین در فرایندهای زمین‌شناختی محسوب شده و به دلیل کارکرد اکولوژیکی، منشأ تأمین آبدهی چشمه‌ها، جریان پایه رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و اراضی ماندابی است. رشد فناوری‌های حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق، کیفیت نسبتاً بالا و هزینه کم موردنیاز، سبب افزایش روزافزون برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک گردیده است. اگرچه منابع آب‌های زیرزمینی سهم عمده‌ای از منابع آب‌های شیرین جهان را به خود اختصاص می‌دهند، لیکن در برابر برداشت‌های بی‌رویه بسیار حساس و آسیب‌پذیر بوده و قدرت تجدید پذیری خود را به‌سرعت از دست می‌دهند. شکل ۵۸ مدت‌زمان لازم برای تغذیه و احیای سفره‌های آب زیرزمینی در لایه‌های مختلف را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود مدت‌زمان تشکیل آب‌های زیرزمینی از چندین روز و چندین سال در لایه‌های سطحی تا بیش از هزار سال برای لایه‌های متناظر با حفر چاه‌های عمیق، متغیر است (رجبی و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۵۸- مدت‌زمان تغذیه و احیای سفره‌های آب زیرزمینی در لایه‌های مختلف

برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی در حدود ذخایر دینامیک آبخوان مجاز بوده و برداشت از ذخایر استاتیک به‌عنوان یک منبع راهبردی باید تنها تحت شرایط حاد انجام شود. شکل ۵۹ درصد برداشت سالانه از منابع آب‌های

زیرزمینی نسبت به میزان تغذیه آن‌ها را بر اساس گزارش یونسکو نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود در کشور ایران بیش از ۱۰۰ درصد میزان تغذیه از منابع آب‌های زیرزمینی برداشت می‌شود. این گزارش اشاره می‌نماید کشور ایران در سال ۲۰۱۱ با برداشت ۶۰ میلیارد مترمکعب در سال، پس از کشورهای هند، چین، آمریکا و پاکستان به ترتیب با حجم برداشت ۲۵۱، ۱۱۲، ۱۱۲ و ۶۴ میلیارد مترمکعب در سال، پنجمین کشور دنیا ازنظر حجم برداشت از آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شود (Jac/van der Gun, 2012).

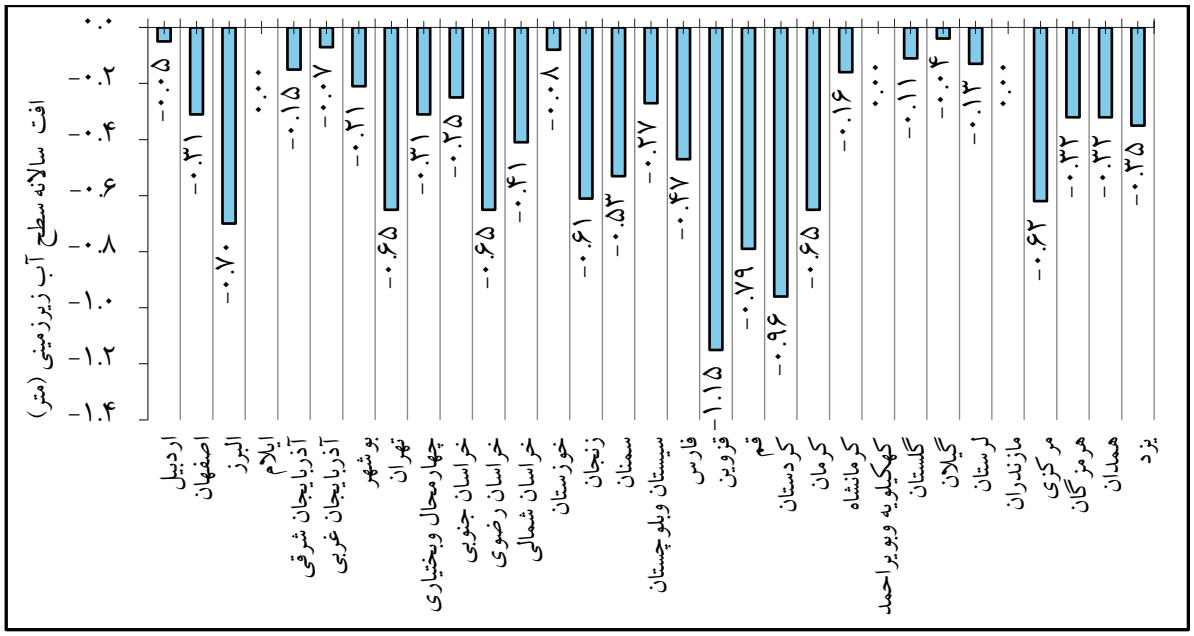


شکل ۵۹- درصد برداشت سالانه از منابع آب‌های زیرزمینی نسبت به تغذیه به تفکیک کشورها (مرجع: مرکز بین‌المللی ارزیابی منبع آب زیرزمینی یونسکو، igrc)

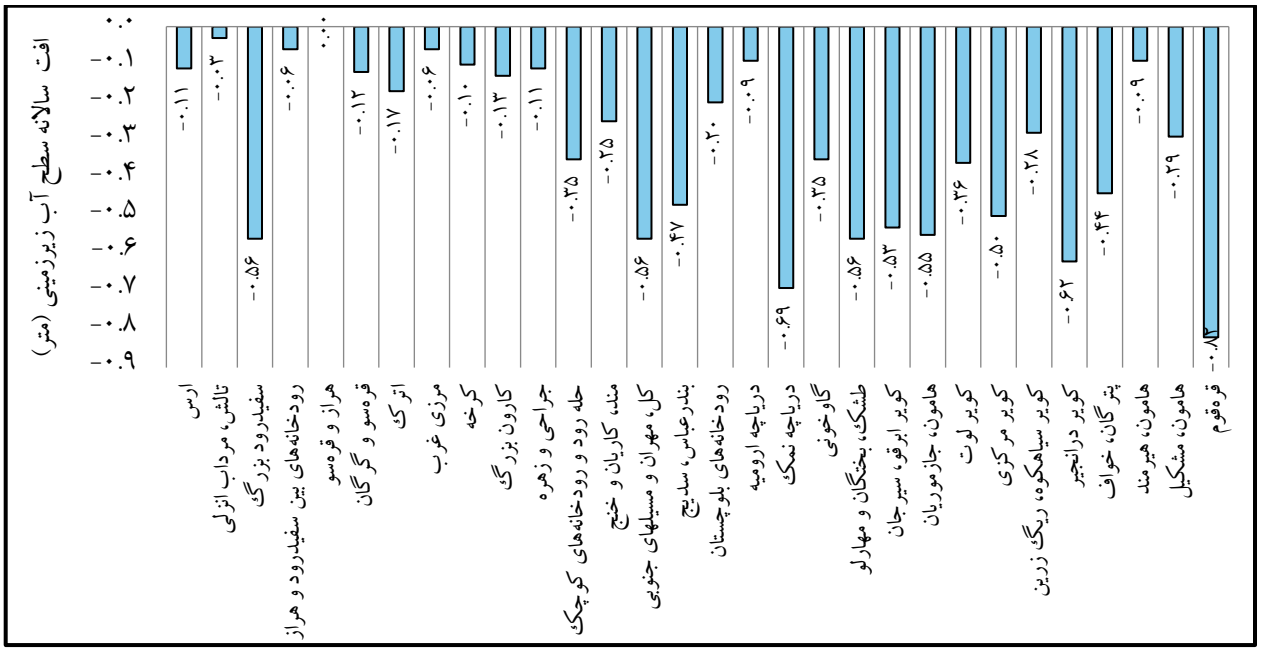
عمده منابع آب‌های زیرزمینی کشور در ۷۹۰ پهنه رسوبی به نام آبخوان آبرفتی، ذخیره‌شده است. بخش دیگری از آب‌های زیرزمینی در واحدهای سنگی ارتفاعات وجود دارد که تشکیل مخازن کارستی یا سازندی داده و از طریق چشمه‌ها تخلیه می‌شود. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد از حدود ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومترمربع مساحت کشور، تنها حدود ۲۶۰۰۰۰ کیلومترمربع آن واجد لایه‌های آب‌دار بوده و یا به‌عبارت‌دیگر تحت پوشش آبخوان‌ها است. بر اساس آخرین اطلاعات موجود مربوط به آماربرداری سراسری منابع و مصارف دور سوم در کشور ۱۰۲۱۵۹۶ چاه، ۲۳۱۰۹۵ دهنه چشمه و ۴۵۴۱۳ رشته قنات وجود دارد. میزان تخلیه آب از کل چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌های کشور به ترتیب در حدود ۴۱/۵، ۳/۷ و ۲/۶ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود.

۵-۲- روند تغییرات تراز سطح آب‌های زیرزمینی کشور

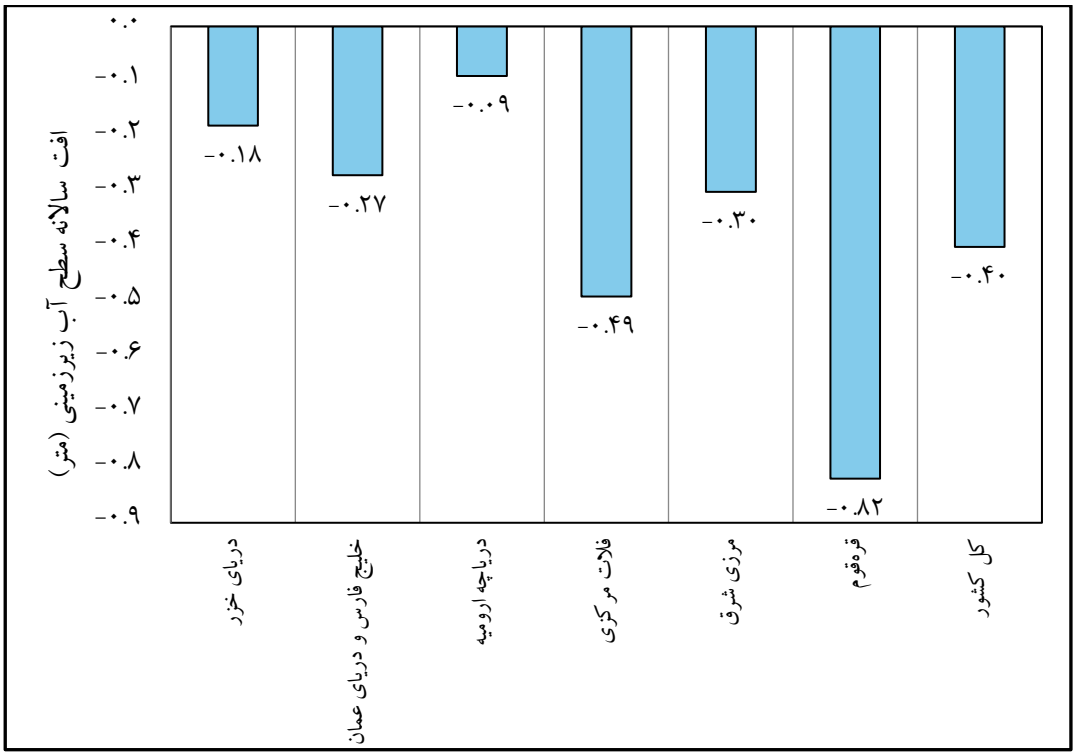
پایش تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی با استفاده از مجموعه‌ای از چاه‌ها موسوم به چاه‌های مشاهداتی انجام می‌شود. از مجموع ۶۰۹ محدوده مطالعاتی، تعداد ۷۲ محدوده مطالعاتی فاقد آبخوان بوده بالطبع فاقد شبکه چاه‌های مشاهداتی است. از مجموع ۵۳۷ محدوده مطالعاتی باقیمانده، ۴۹۲ محدوده مطالعاتی تا پایان سال آبی ۹۹-۱۳۹۸ دارای شبکه چاه‌های مشاهداتی می‌باشند. همچنین با عنایت به اینکه در بعضی از محدوده‌ها چندین آبخوان آبرفتی وجود دارد، از ۷۹۰ آبخوان، تاکنون تعداد ۶۶۸ آبخوان دارای شبکه چاه‌های مشاهداتی شده‌اند. بیشترین تعداد چاه‌های مشاهداتی مربوط به شرکت آب منطقه‌ای فارس با حدود ۱۶۱۹ حلقه و کمترین مربوط به شرکت آب منطقه‌ای البرز با ۶۷ حلقه است. بیشترین و کمترین وسعت تحت پوشش شبکه چاه‌های مشاهداتی نیز به‌ترتیب مربوط به شرکت‌های آب منطقه‌ای خراسان رضوی و کهگیلویه و بویراحمد با مساحت ۳۰۴۸۲ و ۳۸۹ کیلومترمربع است. در محاسبات مربوط به متوسط تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان‌ها، با توجه به طول دوره آماری ایجاد شبکه چاه‌های مشاهداتی، سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ به‌عنوان مبنا لحاظ می‌شود. بر اساس آخرین محاسبات در دسترس، متوسط افت سطح آب زیرزمینی منتهی به سال ۹۹-۱۳۹۸ و نسبت به سال آبی مبنا، در شکل‌های ۶۰ تا ۶۲ نشان داده‌شده است. ملاحظه می‌شود بیشترین افت سالیانه مربوط به استان قزوین با ۱۱۵ سانتیمتر در سال و استان‌های ایلام و کهگیلویه و بویراحمد متعادل است. در مقایسه با حوضه‌های آبریز درجه‌دو، بیشترین افت متوسط سالانه مربوط به حوضه قره قوم با ۸۲ سانتیمتر در سال و حوضه هراز و قره‌سو متعادل است. در مقایسه با حوضه‌های آبریز درجه‌یک نیز بیشترین افت سالانه مربوط به حوضه آبریز قره قوم با ۸۲ سانتیمتر در سال و کمترین مربوط به حوضه ارومیه با ۹ سانتیمتر در سال است. همچنین متوسط تغییرات سطح آب در آبخوان‌های کشور حدود ۴۰ سانتیمتر منتهی به سال آبی ۹۹-۱۳۸۹ در سال است (بی‌نام ۲، ۱۳۹۹).



شکل ٦٠- میانگین تغییرات سطح آب زیرزمینی بلندمدت به تفکیک استان‌ها



شکل ٦١- میانگین تغییرات سالانه سطح آب زیرزمینی به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه‌دو

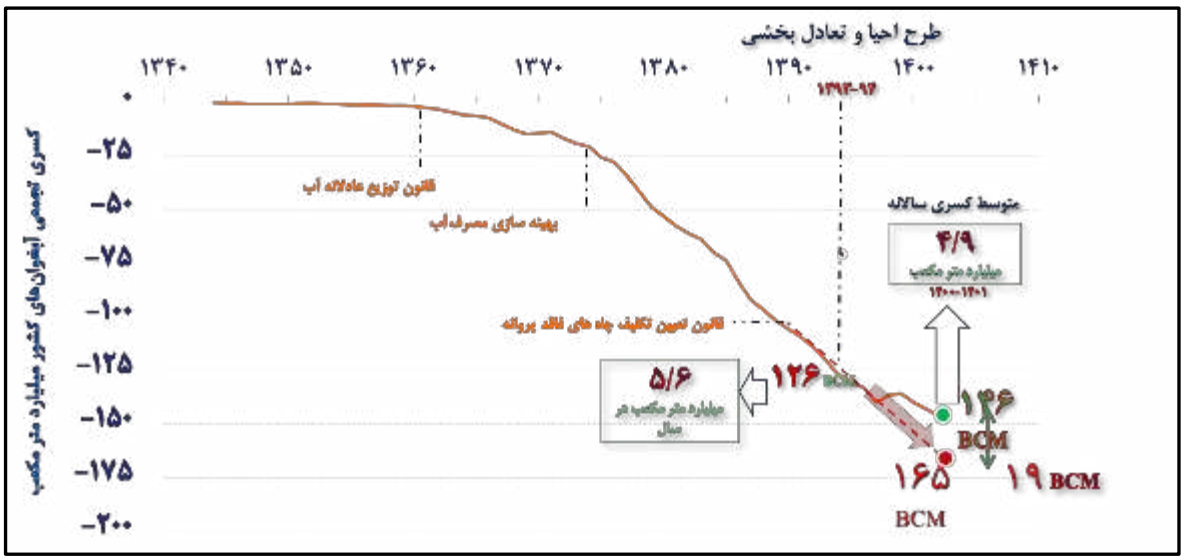


شکل ٦٢- میانگین تغییرات سالانه سطح آب زیرزمینی به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه‌یک

۵-۳- روند تغییرات کسری مخزن تجمعی آب‌های زیرزمینی

بر اساس برآوردهای وزارت نیرو، کل ذخایر راهبردی آب‌های زیرزمینی کشور حدود ۵۰۰ میلیارد مترمکعب است که تنها حدود ۳۰۰ میلیارد مترمکعب آن قابل‌استفاده در بخش‌های مختلف بوده و مابقی آن شور و لب‌شور است. شکل ۶۳، وضعیت کسری تجمعی آبخوان‌های کشور را نشان می‌دهد. از اوایل دهه ۵۰ شمسی مازاد برداشت از آبخوان‌های کشور شروع‌شده ولی از اوایل دهه هفتاد این روند شدت یافته و تقریباً هرساله بیشتر شده است. ملاحظه می‌شود تا سال ۱۴۰۲، میزان کسری تجمعی آبخوان‌های کشور حدود ۱۴۶ میلیارد مترمکعب است. این میزان بیشتر از کل آب تجدیدپذیر سالانه کشور و حدود ۴۹ درصد منابع آب استراتژیک و ذخایر راهبردی کشور است. ملاحظه می‌شود در ۱۵ سال گذشته حدود ۵۴ میلیارد مترمکعب و تنها در ۷ سال گذشته حدود ۱۵/۸ میلیارد مترمکعب از ذخایر آب‌های زیرزمینی کشور برداشت‌شده است. از شکل، حداکثر کسری مخزن سالیانه آبخوان‌های کشور معادل ۱۰/۱ میلیارد مترمکعب مربوط به سال ۱۳۸۶ و متوسط کسری مخزن سالیانه در ده سال اخیر حدود ۳/۲ میلیارد مترمکعب است. متوسط کسری مخزن سالانه نیز تا سال ۱۴۰۲ حدود ۴/۹ میلیارد مترمکعب است که این

حدود ۲۵ برابر حجم مخزن سد کرج است. از شکل ۶۳ ملاحظه می‌شود در صورت ادامه روند فعلی، میزان کل کسری تجمعی مخزن تا سال ۱۴۰۵ به حدود ۱۶۵ میلیارد مترمکعب افزایش یابد.

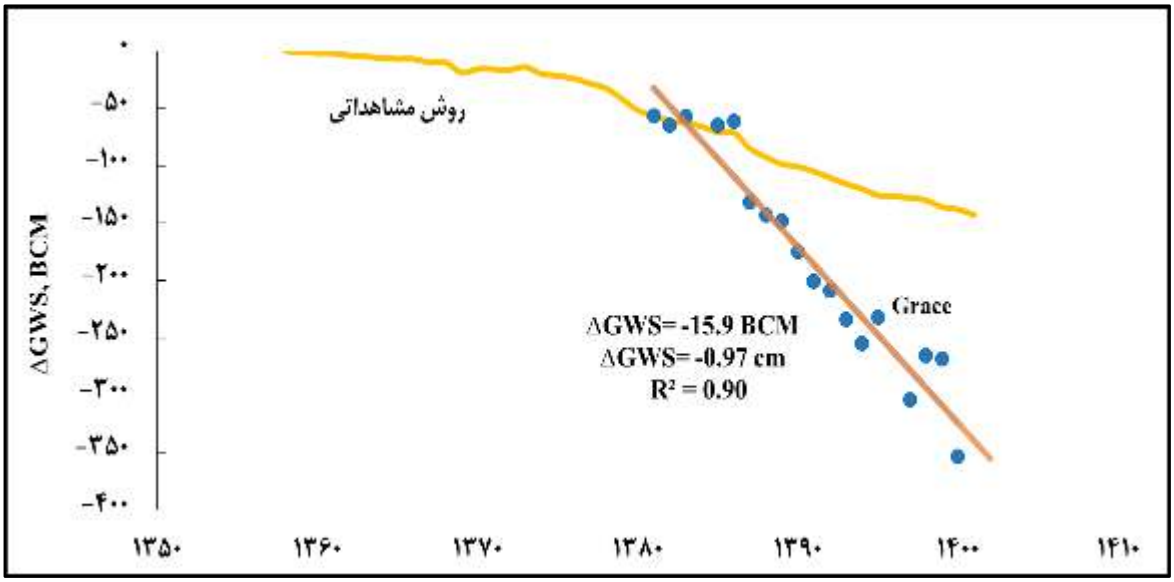


شکل ۶۳- وضعیت کسری تجمعی مخازن آبخوان‌های کشور (فاضلی، ۱۴۰۲)

در یک مطالعه و با بهره‌گیری از نتایج داده‌های ماهواره Grace، تغییرات جرم آب در بخش‌های مختلف کشور سنجش و مبنای برآورد تغییرات حجم آب‌های زیرزمینی کشور قرار گرفت. بر مبنای این مطالعه، میزان کسری تجمعی مخازن آبخوان‌های کشور تا سال ۱۴۰۰، حدود ۳۵۳ میلیارد مترمکعب برآورد گردید که حدود ۲/۵ برابر کسری مخزن تجمعی از داده‌های مشاهداتی است (شکل ۶۴). اگرچه وجود اختلاف فاحش بین مقادیر برآوردی از سنجش‌ازدور و داده‌های مشاهداتی قابل‌تأمل است، لکن به نظر می‌رسد میزان واقعی کسری مخزن آبخوان‌های کشور بیش از برآوردهای صورت‌گرفته از روش‌های مشاهداتی است. عدم وجود طول دوره مشترک آماری ۵۹ ساله برای تمامی چاه‌های مشاهداتی مبنای محاسبه کسری مخزن تجمعی، افزایش چاه‌های مشاهده‌ای فاقد آمار به دلیل خشک شدن این چاه‌ها و وجود کسری مخزن اولیه در سال مبدأ برآورد، می‌تواند به‌عنوان توجیه افزایش کسری مخزن آبخوان‌های کشور نسبت به برآوردهای اعلامی، تلقی شود. بر این اساس، برآوردهای مستخرج از شبکه چاه‌های مشاهده‌ای برای کسری مخزن تجمعی آب‌های زیرزمینی، حداقل برآورد باشد.

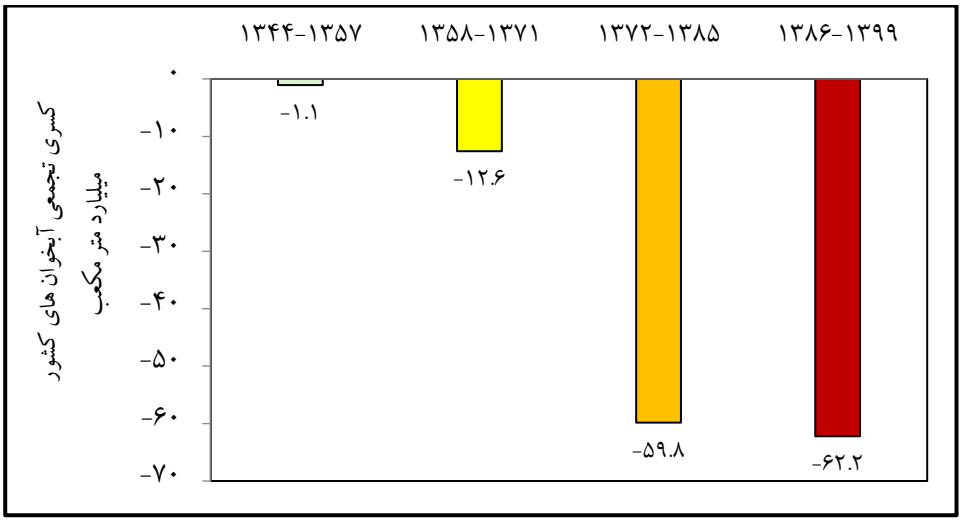
انتخاب مبنای عمل برای محاسبات بیلان آب‌های زیرزمینی بستگی به شرایط خاص منطقه و نیازهای مدیریتی دارد. ترکیب داده‌های هر دو روش می‌تواند بهترین تصویر از وضعیت منابع آب زیرزمینی ارائه دهد. با این‌حال به

دلیل عدم قطعیت‌های روش دورسنجی و نیز عدم امکان صحت‌سنجی نتایج داده‌های ماهواره Grace در مقیاس کشوری، در حال حاضر برآوردهای حاصل از شبکه چاه‌های مشاهده‌ای مبنای عمل در محاسبات مربوط به بیلان آب‌های زیرزمینی و چرخه آب کشور، است.



شکل ٦٤- مقایسه کسری تجمعی آبخوان‌های کشور از نتایج ماهواره Grace و روش مشاهداتی (زند پارسا، ١٤٠٢)

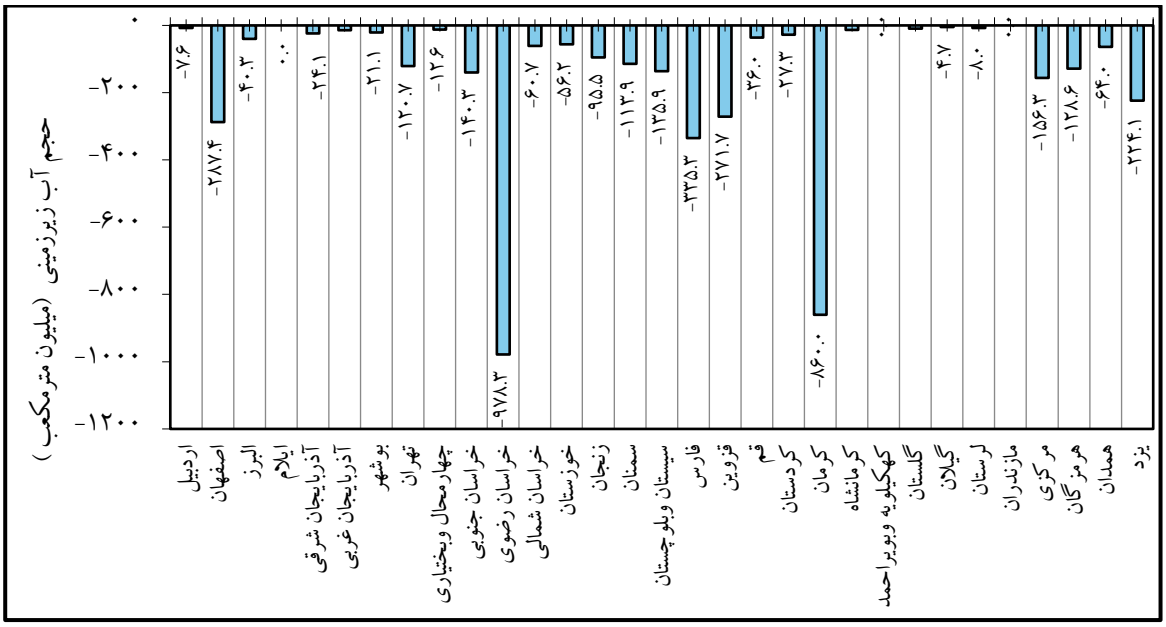
از شکل ۶۵ ملاحظه می‌شود همزمان با روند توسعه کشور، کسری تجمعی آبخوان‌های کشور افزایش‌یافته است. از دهه هفتاد به بعد که کشور با خشک‌سالی‌های متعدد همراه شده است، میزان کسری مخزن آبخوان‌های کشور به شکل بی‌سابقه افزایش‌یافته است؛ به‌طوری‌که حدود ۴۳ درصد کل کسری تجمعی آبخوان‌های کشور تنها طی سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۸۶ رخ‌داده است.



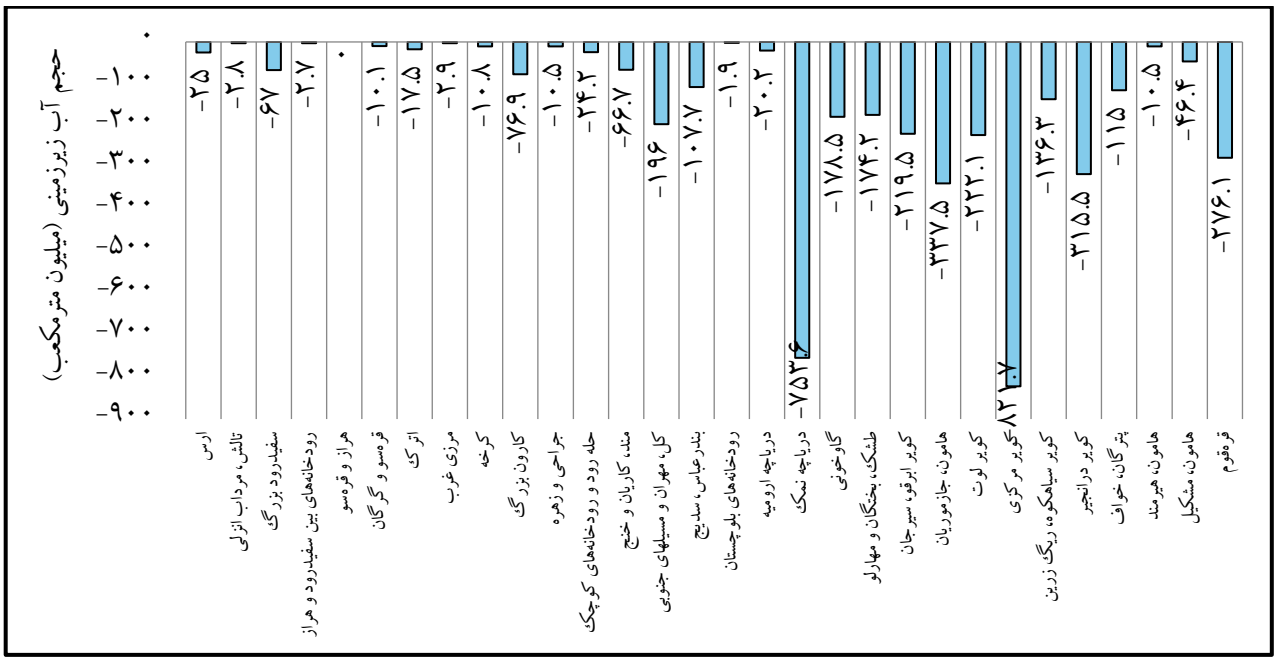
شکل ٦٥- تغییرات کسری تجمعی آبخوان‌های کشور در دوره‌های مختلف

با محاسبه میانگین تغییر سطح آب زیرزمینی از شکل‌های ۶۱ تا ۶۳ و ضرب آن در مساحت آبخوان و ضریب ذخیره، تغییرات حجم آبخوان محاسبه می‌شود. شکل‌های ۶۶ تا ۶۸، میانگین تغییرات حجم مخازن آب‌های زیرزمینی به تفکیک استان‌ها، حوضه‌های آبریز درجه‌دو و حوضه‌های آبریز درجه‌یک را منتهی به سال آبی ۹۹-۱۳۸۹، نشان می‌دهد. بیشترین میزان حجم کسری آبخوان زیرزمینی مربوط به استان خراسان رضوی و حدود ۹۷۸ میلیون مترمکعب در سال و در مقابل استان‌های ایلام و کهگیلویه و بویراحمد تقریباً متعادل هستند. در مقایسه با حوضه‌های آبریز درجه‌دو، حوضه کویر مرکزی با ۸۲۱ میلیون مترمکعب بیشترین کسری در سال را داشته و حوضه آبریز هراز و قره‌سو متعادل است. در مقایسه با حوضه‌های آبریز درجه‌یک نیز، حوضه فلات مرکزی با ۳۱۵۴ میلیون مترمکعب و حوضه آبریز دریاچه ارومیه با ۲۰ میلیون مترمکعب در سال کمترین کسری را دارد. متوسط کسری بلندمدت کشور از سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ تا سال آبی ۹۹-۱۳۹۸ حدود ۴/۳ میلیارد مترمکعب است.

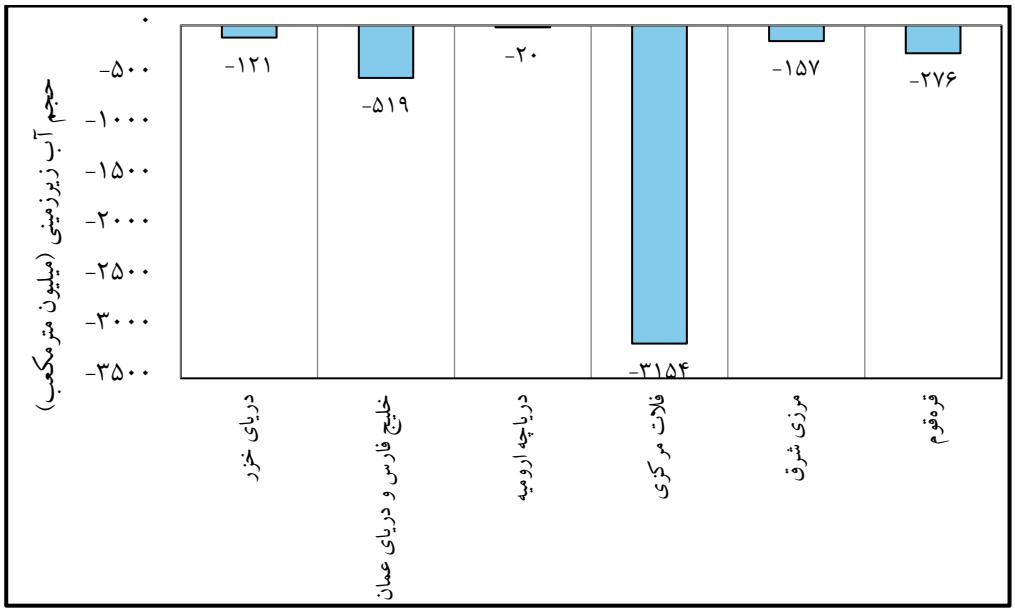
شکل ۶۹، مقادیر کسری تجمعی مخازن آب‌های زیرزمینی استان‌های کشور را منتهی به سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ نشان می‌دهد. بیشترین میزان کسری مخزن تجمعی آبخوان‌های کشور مربوط به استان خراسان رضوی و حدود ۳۴ میلیارد مترمکعب است. کسری تجمعی آبخوان در هفت استان کشور شامل خراسان رضوی، کرمان، اصفهان، فارس، یزد و قزوین، بیشتر از ۵ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود. وابستگی قابل‌توجه تأمین آب به آب‌های زیرزمینی و وجود بیشترین تعداد محدوده‌های مطالعاتی در استان‌های مذکور نیز مؤید این مطلب است (فاضلی، ۱۴۰۲).



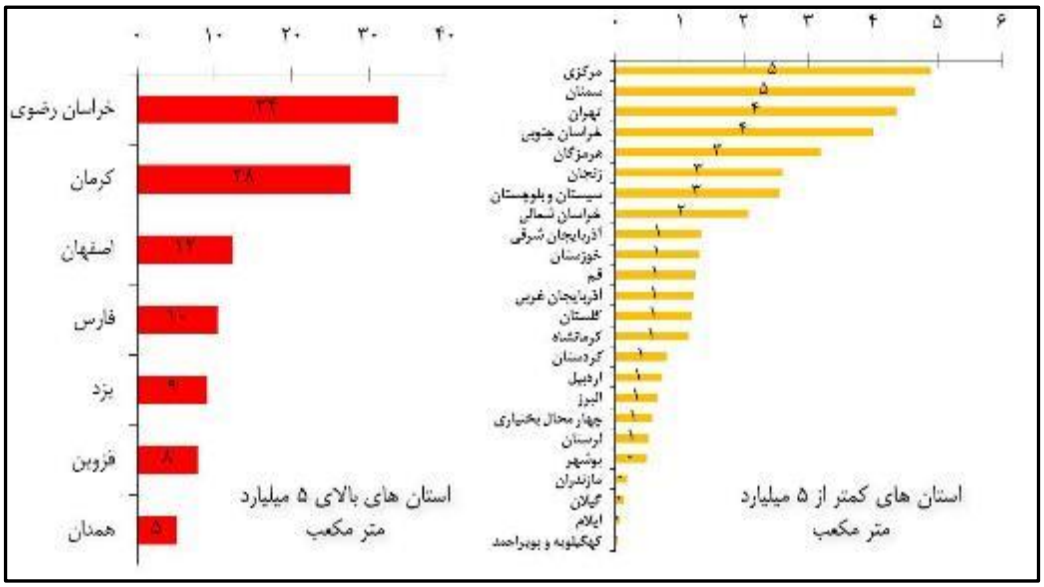
شکل ٦٦- میانگین تغییرات حجم مخازن آب زیرزمینی بلندمدت به تفکیک شرکت‌های آب منطقه‌ای



شکل ٦٧- میانگین تغییرات حجم مخازن آب زیرزمینی سالانه به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه‌دو



شکل ٦٨- میانگین تغییرات حجم مخازن آب زیرزمینی سالانه به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه‌یک

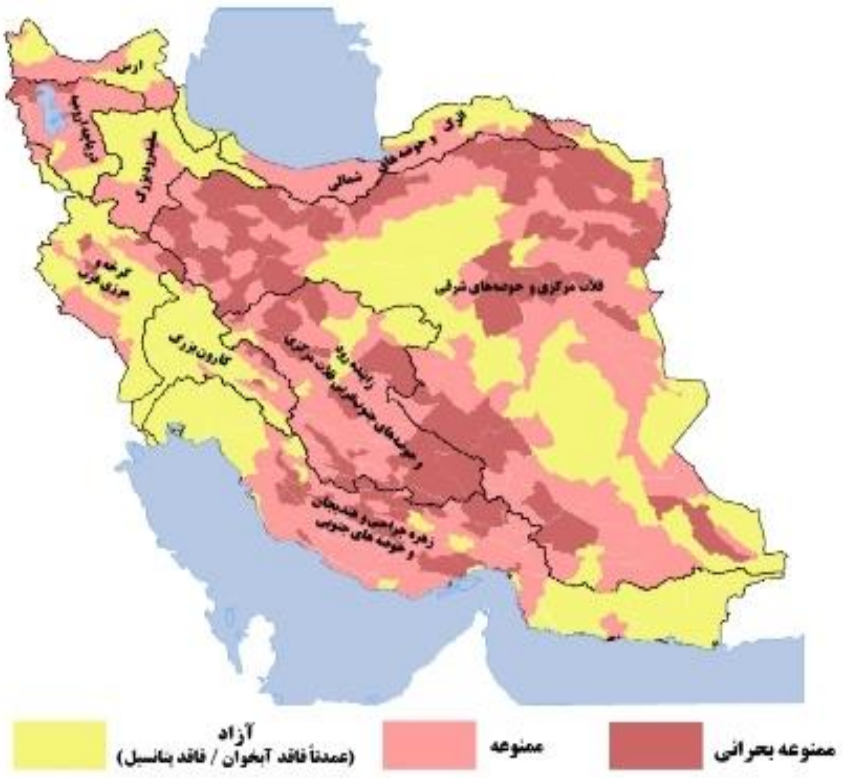


شکل ٦٩- کسری تجمعی مخازن آب زیرزمینی استان‌های کشور منتهی به سال آبی ١٤٠١-١٤٠٠

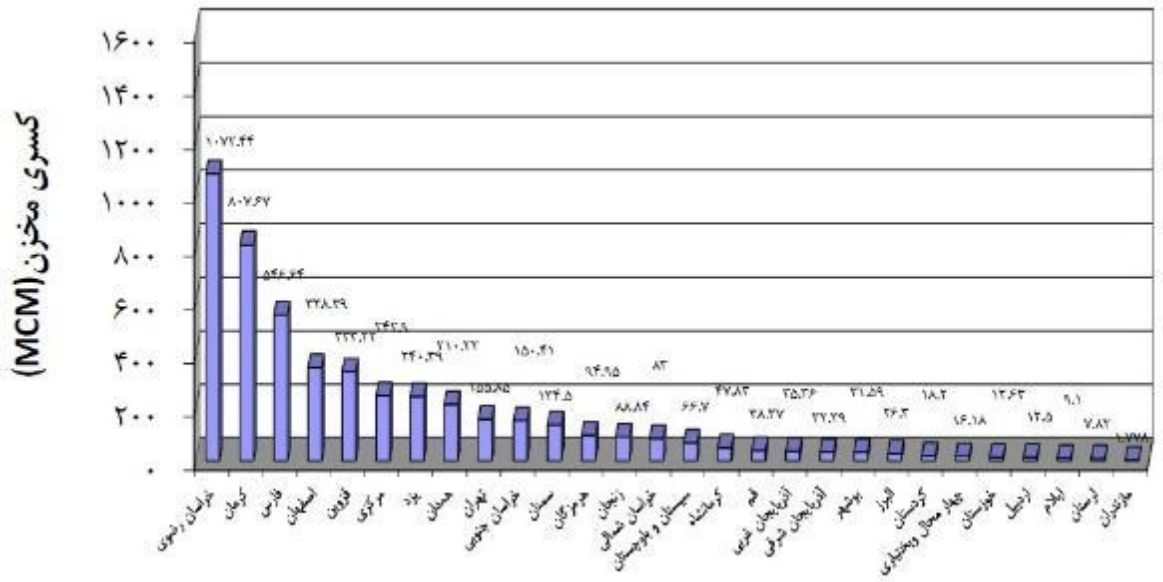
٥-٤- وضعیت دشت‌های کشور از نظر منابع آب‌های زیرزمینی

شکل ۷۰، نقشه دشت‌های کشور از نظر منابع آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد. به دلیل اضافه برداشت صورت گرفته تا ســـال ۱۴۰۱ و از ۶۰۹ محدوده مطالعاتی، ۱۳۴ محدوده ممنوعه بحرانی، ۲۸۶ محدوده ممنوعه و تنها ۱۸۹

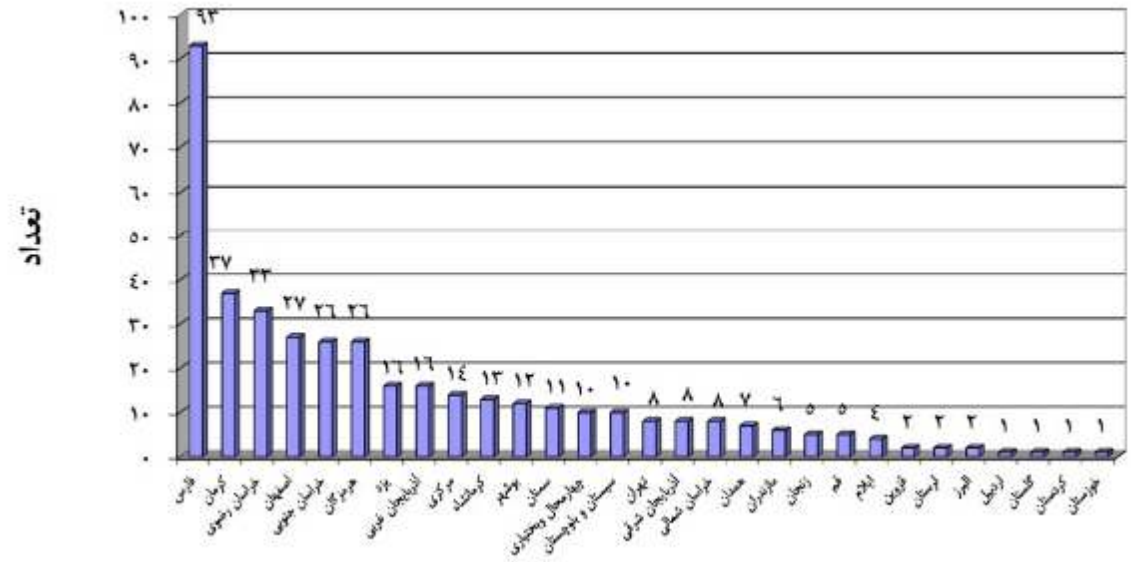
دشت آزاد شناسایی‌شده است. از شکل ۷۰، بیشترین تعداد دشت‌های ممنوعه در استان‌های خراسان‌رضوی، فارس و کرمان قرار دارد. در دشت‌های ممنوعه بحرانی و ممنوعه، افت سطح آب زیرزمینی بیش از مقدار آب تجدیدپذیر سالیانه بوده و به‌طور طبیعی امکان بازگشت آن‌ها به تراز اولیه وجود ندارد. در دشت‌های ممنوعه بحرانی نه‌تنها افت تراز سطح آب رخ‌داده است، بلکه افت کیفیت آبخوان و یا آثار نشست عمومی یا فرونشست منطقه‌ای نیز در آن‌ها رخ‌داده است. از محدوده‌های آزاد نیز، تعداد بسیاری در مناطق بیابانی یا کوهستانی واقع‌شده که عملاً فاقد آبخوان یا پتانسیل مناسب برای برداشت آب زیرزمینی هستند. بااین‌حال حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد کارخانه‌ها و فولاد و پتروشیمی کشور در دشت‌های ممنوعه بحرانی و ممنوعه واقع‌شده‌اند. جالب‌توجه است که حدود ۹۱ درصد از کل برداشت‌های آب زیرزمینی کشور از محدوده‌های مطالعاتی ممنوعه و ممنوعه بحرانی انجام می‌شود. همچنین شکل ۷۱، میزان کسری مخزن دشت‌ها و مناطق ممنوعه کشور به تفکیک استان‌ها نشان می‌دهد. بیشترین کسری مخزن آبخوان در استان‌های خراسان رضوی، کرمان و فارس مشاهده می‌شود. همچنین از شکل ۷۲ ملاحظه می‌شود بیشترین تعداد محدوده‌های مطالعاتی ممنوعه در استان‌های فارس، کرمان و خراسان رضوی قرار دارد.



شکل ۷۰- نقشه دشت‌های کشور از نظر برداشت آب‌های زیرزمینی

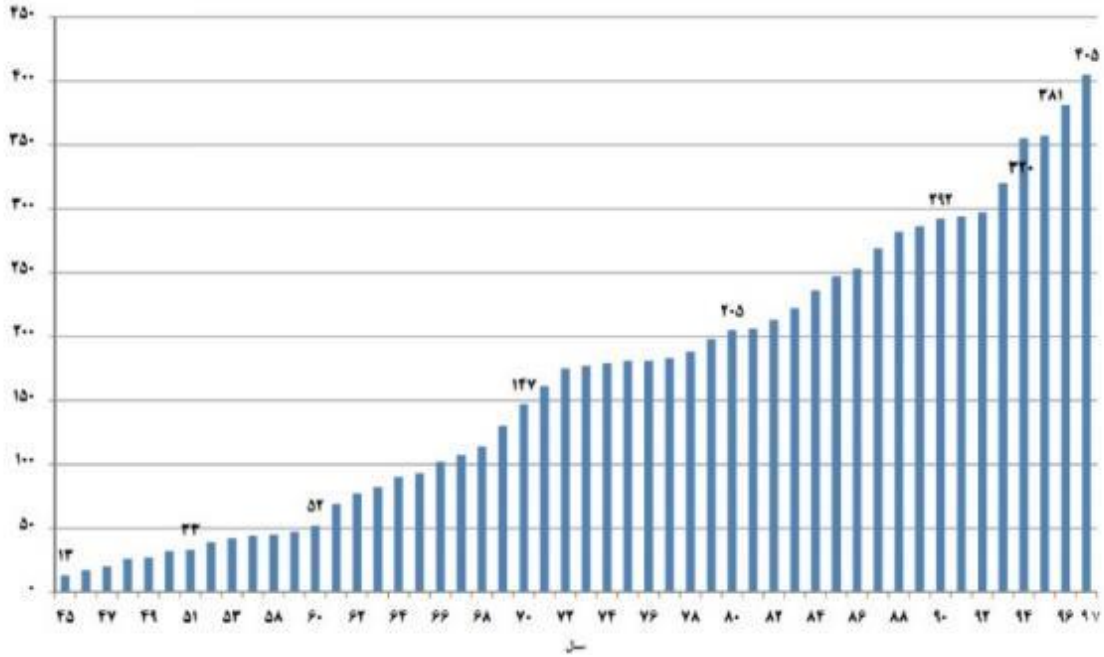


شکل ۷۱- نمودار کسری مخزن دشت‌ها و مناطق ممنوعه کشور به تفکیک استان تا سال ۱۳۹۷



شکل ۷۲- تعداد محدوده‌های مطالعاتی ممنوعه کشور به تفکیک استان تا سال ۱۳۹۷

از شکل ۷۳، افزایش سالانه دشت‌های ممنوعه درنتیجه سیاست‌های ناکارآمد حفاظت و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ملاحظه می‌شـــود. تا ســـال ۱۳۹۷ ۴۰۵ محدوده مطالعاتی و پس‌ازآن تاکنون ۱۵ محدوده مطالعاتی دیگر ممنوعه شده است.



شکل ۷۳- روند افزایشی تعداد دشت‌های ممنوعه کشور

کسری آبخوان زیرزمینی آثار غیرمستقیمی مانند فرونشست زمین، افزایش ریسک آلودگی و شور شدن آبخوان، پیشروی جبهه آبخوان شور به سمت منابع آب شیرین، افزایش ساعات کارکرد پمپ و مصرف انرژی، کاهش ظرفیت خود پالایی آبخوان، کاهش آبدهی رودخانه‌ها درنتیجه ارتباط هیدرولیکی بین منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و ... به همراه دارد.

در حال حاضر بسیاری از دشت‌های ممنوعه بحرانی کشور، دچار فرونشست شده‌اند. فرونشست زمین علاوه بر مشکلاتی که برای زیرساخت‌ها به لحاظ تغییر شکل زمین ایجاد می‌کند، با تغییر شکل قرارگیری ذرات خاک و کاهش خلل و فرج خاک، امکان احیای دوباره آبخوان و ذخیره‌سازی آب را دچار مشکل نموده و ممکن است بازگردانی آن را به شرایط اولیه غیرممکن سازد. شکل ۷۴ نمونه‌ای از آثار فرونشست، ترک و گسیختگی زمین و لوله زایی چاه‌های مشاهداتی در دشت‌های کشور را نشان می‌دهد.

دست‌کم ۲۵ درصد از جمعیت ایران در مکان‌هایی زندگی می‌کنند که فرونشست به دلیل کاهش چشمگیر ذخایر آب زیرزمینی در عرض چند سال ممکن است دست‌کم به یک متر برسد. میزان فرونشست سالیانه در بعضی از نقاط حوضه آبریز فلات مرکزی و حوضه آبریز دریاچه ارومیه، بیش از ۲۵۰ میلی‌متر است (بی‌نام ۲، ۱۴۰۱).

این میزان شدید فرونشست زمین می‌تواند مسیرهای جریان سطحی و زیرسطحی را تغییر داده و باعث کاهش عمده و برگشت‌ناپذیر ظرفیت آبخوان شود. با توجه به اینکه مناطقی که نرخ فرونشست زمین در آن‌ها فراوان بوده،

محل سکونت جمعیت بالایی هستند و از نمونه آن‌ها می‌توان به تهران، پایتخت ایران و پرجمعیت‌ترین شهر در غرب آسیا با جمعیت کل ۱۵ میلیون نفر، اشاره کرد، مسئله به‌شدت نگران‌کننده است. تهران به دلیل پتانسیل بالا برای فعالیت‌های تکتونیکی در معرض خطرات زمین‌لرزه است. اگر کاهش قابل‌توجهی در پایداری خاک به دلیل فرونشست زمین ناشی از اضافه برداشت زیاد آب زیرزمینی با یک فعالیت تکتونیکی عمده همراه شود، می‌تواند به‌طور بالقوه تأثیرات زلزله را که باعث فاجعه انسانی غم‌انگیز می‌شود، تشدید کند.



لوله زایی چاه‌های مشاهداتی | ترک و گسیختگی زمین، دشت ورامین- تهران | فرونشست، دشت کبودرآهنگ- همدان

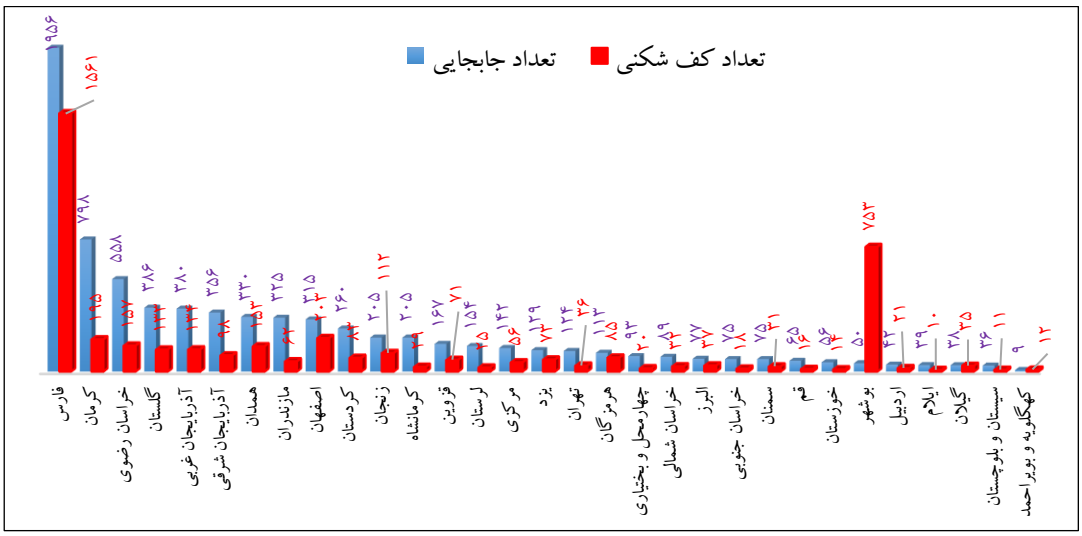
شکل ۷۴- نمونه تبعات ایجادشده در سفره‌های آب زیرزمینی کشور

هر آبخوان امکان دریافت میزان مشخصی از آلودگی را بدون افت چشمگیر کیفیت دارا بوده که از آن به‌عنوان ظرفیت کیفی آبخوان یاد می‌شود. با اضافه برداشت از آبخوان، ظرفیت کیفی آبخوان کاهش‌یافته و افت کیفیت آبخوان محتمل می‌شود. از شکل ۷۵، ملاحظه می‌شود متوسط شوری آب‌های زیرزمینی کشور از حدود ۲۲۵۰ میکرو موس بر سانتیمتر در سال ۱۳۶۰ به حدود ۴۴۰۰ میکرو موس بر سانتیمتر در سال ۱۳۹۹ افزایش‌یافته است.



شکل ۷۵- تغییرات متوسط هدایت الکتریکی (شوری) آب‌های زیرزمینی کشور

با تداوم اضافه برداشت و افت سطح آب زیرزمینی، بهره‌برداری از چاه‌ها مستلزم کف‌شکنی یا جابه‌جایی است که این موضوع هزینه‌های سنگینی به همراه دارد. آمارها نشان می‌دهد در ۱۲ سال اخیر، حدود ۳۰ درصد چاه‌های کشور نیازمند کف‌شکنی یا جابه‌جایی است که این امر سالانه هزینه‌ای در حدود ۲۴ هزار میلیارد ریال برای کشاورزان به دنبال خواهد داشت (فاضلی، ۱۴۰۰). شکل ۷۶، تعداد چاه‌ها مجوز دار برای جابه‌جایی و کف‌شکنی در سال ۱۴۰۱ را به تفکیک استان‌ها نشان می‌دهد (فاضلی، ۱۴۰۲). درمجموع طی سال ۱۴۰۱، ۷۶۴۷ مورد جابه‌جایی و ۴۲۷۶ مورد کف‌شکنی در سطح کشور انجام‌شده است. بیشترین میزان جابه‌جایی در استان‌های فارس، کرمان و خراسان رضوی رخ‌داده است که مولود افت قابل‌توجه سطح آب زیرزمینی در این استان‌هاست.



شکل ٧٦- تعداد چاه‌های مجوز دار برای جابه‌جایی و کف‌شکنی در سال ١٤٠١

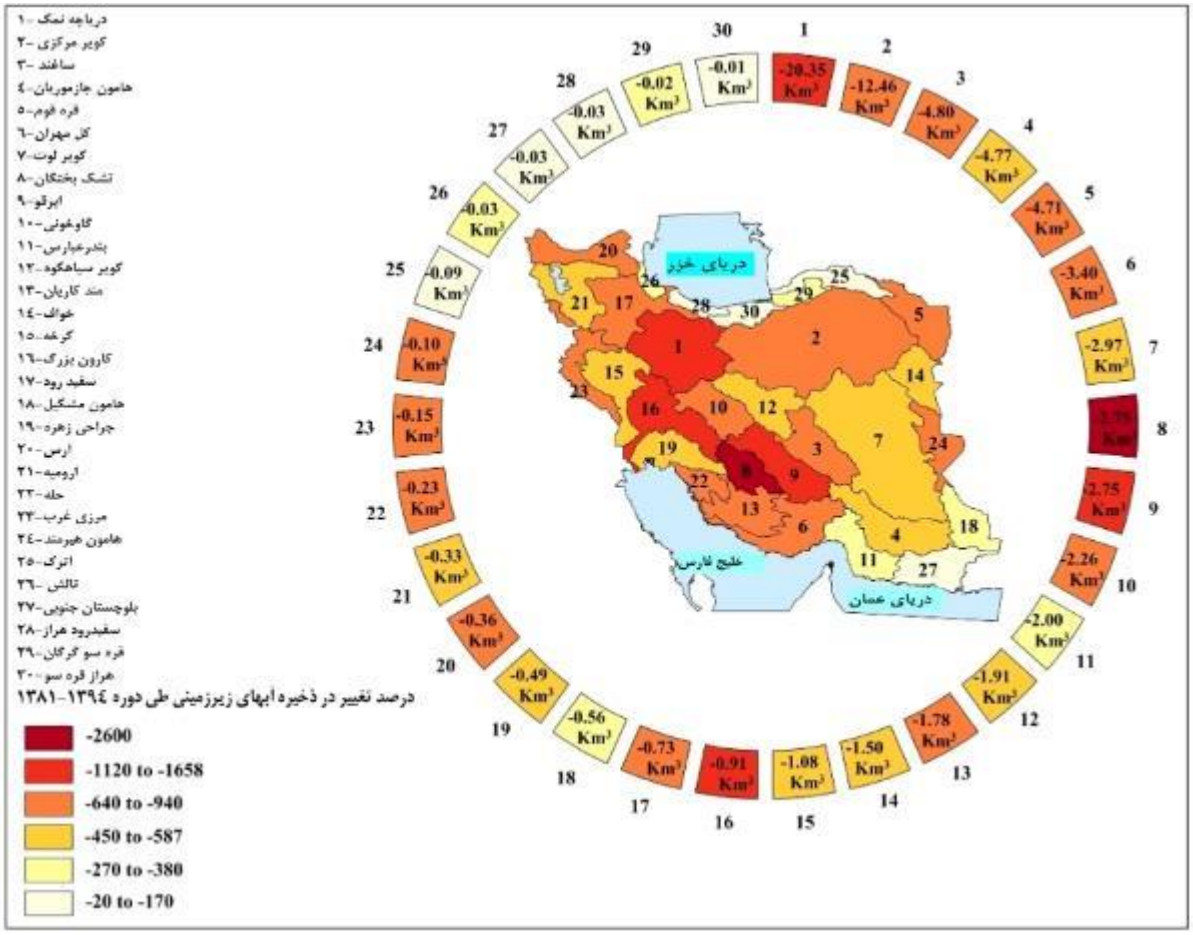
در یک مطالعه، با استفاده از سری داده‌های میانگین ماهانه سطح آب زیرزمینی در ۴۷۸ زیر حوضه و ۳۰ حوضه آبریز درجه‌دو کشور، کاهش ذخیره آب‌های زیرزمینی در سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۱ برآورد شده و تأثیر عوامل طبیعی و انسانی بر تغییرات ذخیره آب‌های زیرزمینی اندازه‌گیری شده است (Ashraf et al. 2021). برآوردها نشان داد مجموع کاهش ذخیره آب‌های زیرزمینی کشور در این دوره ۱۴ ساله حدود ۷۳/۵ میلیارد مترمکعب (متوسط کاهش سالانه حدود ۵/۲۵ میلیارد مترمکعب) است. این میزان حدود ۱/۶ برابر بیشتر از بیشترین حجم ذخایر آب در سطح دریاچه ارومیه (۴۶ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۷۵) است.

شکل ۷۷، حجم و درصد کاهش ذخایر آب‌های زیرزمینی کشور حوضه‌های آبریز درجه‌دو در سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۱ نشان می‌دهد. در این دوره، میزان حجم ذخایر آب‌های زیرزمینی از ۲۰ تا ۲۶۰۰ درصد کاهش‌یافته است. بیشترین کاهش ذخایر آبخوان مربوط به حوضه دریاچه نمک است که بیش از ۲۶ درصد از جمعیت ایران را

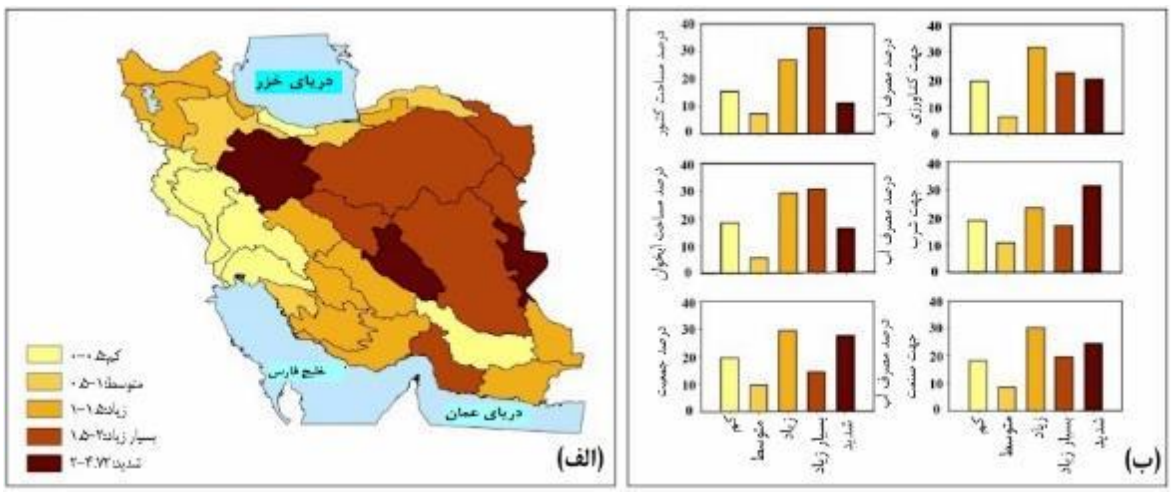
پشـــتیبانی نموده و میزان تخلیه آن در این دوره، حدود ۲۰/۳۵ میلیارد مترمکعب اســـت. کاهش ۸۱ درصـــدی حجم ذخایر آب زیرزمینی در این حوضـــه آبریز معادل کل تخلیه رخ‌داده در دشـــت‌های مرتفع ایالات‌متحده و طی شدیدترین خشک‌سالی تاریخ آن در سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۷۷ است. ملاحظه می‌شود حوضه طشک بختگان که ۳/۵ درصد از جمعیت کشور در آن ساکن هستند، بیش‌ترین تغییر در ذخیره آب زیرزمینی (حدود ۲۶۰۰ درصد کاهش) را در این دوره داراســـت. کمترین میزان کاهش حجم در ذخایر آب زیرزمینی (حدود ۰/۰۱ میلیارد مترمکعب) و کمترین میزان تغییر نسبی در ذخیره آب زیرزمینی (حدود ۲۰ درصد) نیز مربوط به حوضه آبریز هراز-قره‌سو است.

شکل ۷۷ نشان می‌دهد کاهش آب‌های زیرزمینی در حوضه‌های پرجمعیت غرب، جنوب غربی و شمال شرقی کشـور، (جایی که بزرگ‌ترین زمین‌های آبیاری گندم و جو، دو محصـول راهبردی کشـاورزی کشـور قرار دارند)، بسـیار شـدید اسـت. برای نمونه، حوضـه کرخه (منشـأ اصـلی تأمین سـبد غذایی ایران، محل تولید ۹ درصـد از کل زمین‌های تحت آبیاری و ۱۱ درصـد از کل تولید گندم کشـور)، در سـال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۱ میزان تخلیه ۰/۰۸ میلیارد مترمکعب در سال (۱/۰۸ میلیارد مترمکعب در ۱۴ سال) را داشته است. همچنین، آب‌های زیرزمینی یک منبع عمده برای تأمین نیازهای آب خانگی و آبیاری در حوضـه کارون اسـت که با سـرعت ۰/۰۶ میلیارد مترمکعب در سـال (۰/۹۱ میلیارد مترمکعب در ۱۴ سال) تخلیه می‌شود. با توجه به سطح فعلی تخلیه آب‌های زیرزمینی و کمبود فزاینده منابع آب سـطحی در هر دو حوضـه آبریز، در سـال‌های آینده نگرانی‌های عمده درباره ادامه آبیاری کشـاورزی و تأمین نیاز آب خانگی وجود خواهد داشت.

شکل (۷۸-الف) به‌وضوح نشان می‌دهد که حدود ۷۶ درصد از سطح آبخوان کشور (۷۷ درصد از کل سطح کشور) با اضافه برداشت مواجه هستند. اگر این روند معکوس نشود، شرایط موجود و ادامه اضافه برداشت می‌تواند عواقب مهمی به همراه داشـته و امنیت اجتماعی-اقتصـادی و محیط‌زیسـتی کل کشـور را به خطر می‌اندازد. اولین قربانی کاهش عمده سطح آب‌های زیرزمینی ایران، امنیت غذایی کشور است. از شکل (۷۸-ب) مشاهده می‌شود مناطقی که شـاهد برداشـت بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی اسـت، ۷۱ درصـد از کل جمعیت ایران را در خود جای‌داده‌اند و شاهد ۷۰ درصد از کل تقاضا برای آب در کشور هستند. حتی در حوضه‌های آبریز که در حال حاضر به‌عنوان مناطقی با اضافه برداشت بیش‌ازحد دسته‌بندی نشده‌اند، تقاضای آب برای کشاورزی زیاد و برداشت طبیعی به‌سرعت در حال افزایش است.



شکل ۷۷- حجم کاهش ذخایر آب‌های زیرزمینی (برحسب میلیارد مترمکعب) و درصد تغییرات آن در حوضه‌های آبریز درجه‌دو کشور (روند نزولی کاهش حجم ذخایر آبخوان در برای ساعت‌گرد)



شکل ۷۸- (الف) طبقه‌بندی نسبت حجم برداشت انسانی از آبخوان به حجم تغذیه در سال‌های ۱۳۹٤-۱۳۸۱، (ب) درصد جمعیت، درصد مساحت آبخوان، درصد مساحت کشور، درصد مصارف آب شرب/صنعت/کشاورزی متناظر با هر طبقه

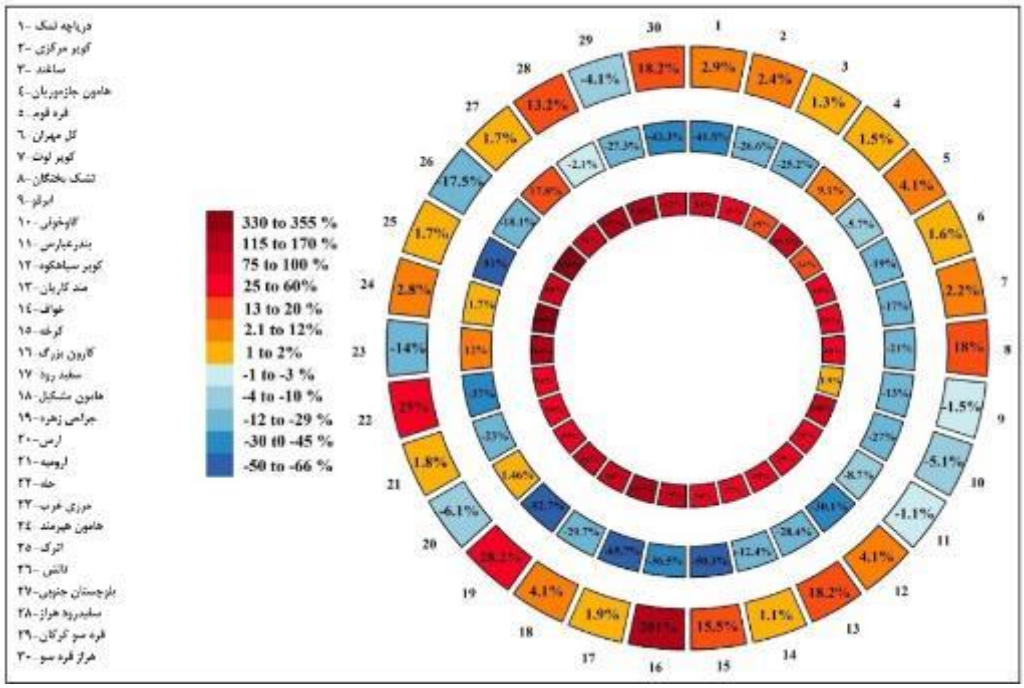
مطالعه فوق نشان داد درحالی‌که خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی می‌توانند به‌عنوان یک محرک کاهش ذخیره آب‌های زیرزمینی در سطح کشور را تشدید نمایند، لیکن برداشت‌های گسترده انسانی، عامل اصلی کاهش ذخیره آب‌های زیرزمینی در مقیاس حوضه‌ای است. در خشک‌سالی شدید سال ۱۳۸۶، کاهش ۲۰ درصدی آب در دسترس سبب شد نرخ شارژ مجدد ذخایر آب‌های زیرزمینی در کشور ۱۰ درصد کاهش یابد، بااین‌حال ذخایر آب‌های زیرزمینی در قیاس با سال ۱۳۸۵ ۴۰ درصد کاهش یافت.

تأثیر عامل انسانی در کاهش ذخیره آب‌های زیرزمینی با نسبت بیش‌ازحد برداشت انسانی آب از آبخوان به منابع آب تجدیدپذیر زیرزمینی آشکار می‌شود. تعداد چاه‌های شناسایی‌شده از حدود ۴۶۰ هزار مورد در سال ۲۰۰۲ به حدود ۷۹۴ هزار مورد در سال ۲۰۱۵ افزایش‌یافته است. نرخ افزایش تعداد چاه‌ها در این دوره از حدود ۱.۹ درصد در حوضه آبریز ابرقو تا حدود ۳۵۰ درصد در حوضه آبریز هامون هیرمند متغیر است (شکل ۷۹؛ دایره درونی). بااین‌حال و به‌رغم تغییر روزافزون در تعداد چاه‌ها، حجم برداشت انسانی از آب‌های زیرزمینی طی دوره مطالعه در ۲۵ حوضه از ۳۰ حوضه آبریز درجه‌دو کاهش‌یافته است (شکل ۷۹؛ دایره میانی). این موضوع شاهدی روشن برای بهره‌برداری بیش‌ازحد از ذخایر آب زیرزمینی نسبت به توان تنظیم و جذب آبخوان‌هاست. دایره بیرونی از شکل ۷۹ نشان‌دهنده نسبت حجم برداشت انسانی به حجم کل برداشت‌ها است. ملاحظه می‌شود در نیمی از حوضه‌های آبریز، بیش از ۹۰ درصد از کل حجم خروجی از ذخیره آب زیرزمینی در مقیاس حوضه، فقط مختص به برداشت انسانی بوده است.

۵-۵ -آخرین وضعیت تعداد چاه‌های کشور

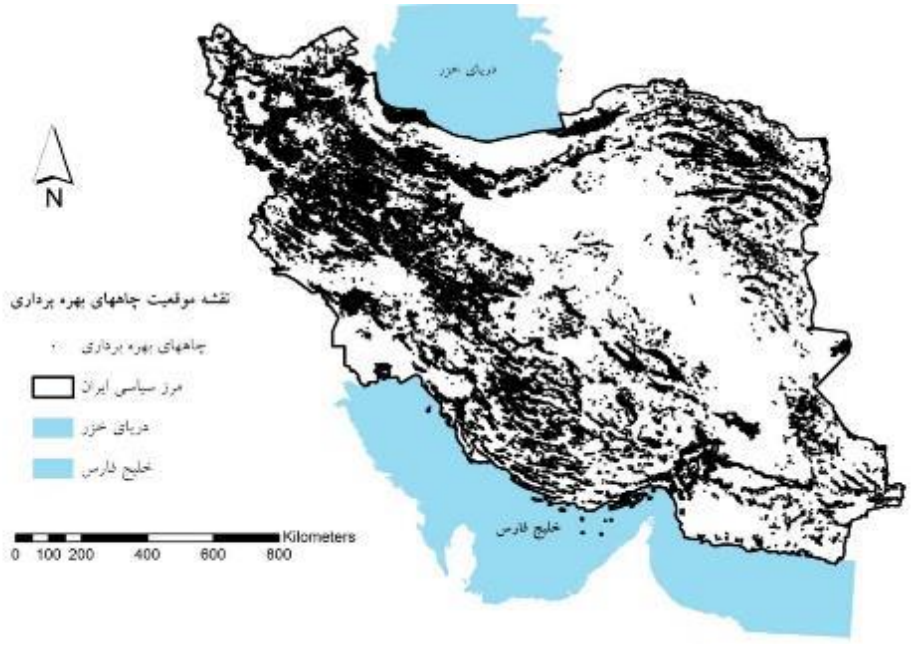
تا سال ۱۴۰۱، تعداد ۱۰۲۱۵۹۶ چاه شناسایی گردیده است که میزان تخلیه سالانه از این چاه‌ها حدود ۴۱/۵ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود. از مجموع کل چاه‌های کشور، حدود ۴۳ درصد چاه‌ها غیرمجاز بوده که سهم آن در میزان کل تخلیه سالانه آب‌های زیرزمینی، حدود ۱۵ درصد است. شکل ۸۰ گستره چاه‌های حفرشده در پهنه سرزمینی ایران نشان می‌دهد که بیانگر وضعیت بسیار وخیم برداشت از منابع آب است.

شکل ۸۱ تعداد چاه‌های مجاز کشور ازنظر نوع مصرف، نوع نیروی محرکه، عمق چاه و آبدهی متوسط، به تفکیک استان‌های کشور نشان می‌دهد. ازنظر نوع مصرف، ۸۴ درصد چاه‌ها باهدف تأمین مصارف کشاورزی،۸ درصد باهدف تأمین مصارف صنعت، ۵ درصد باهدف تأمین مصارف شرب، ۱ درصد باهدف تأمین مصارف خدمات و ۲ درصد نیز چندمنظوره می‌باشند. در ۴۹ درصد چاه‌های مجاز نیروی محرکه برقی و ۵۱ درصد باقیمانده

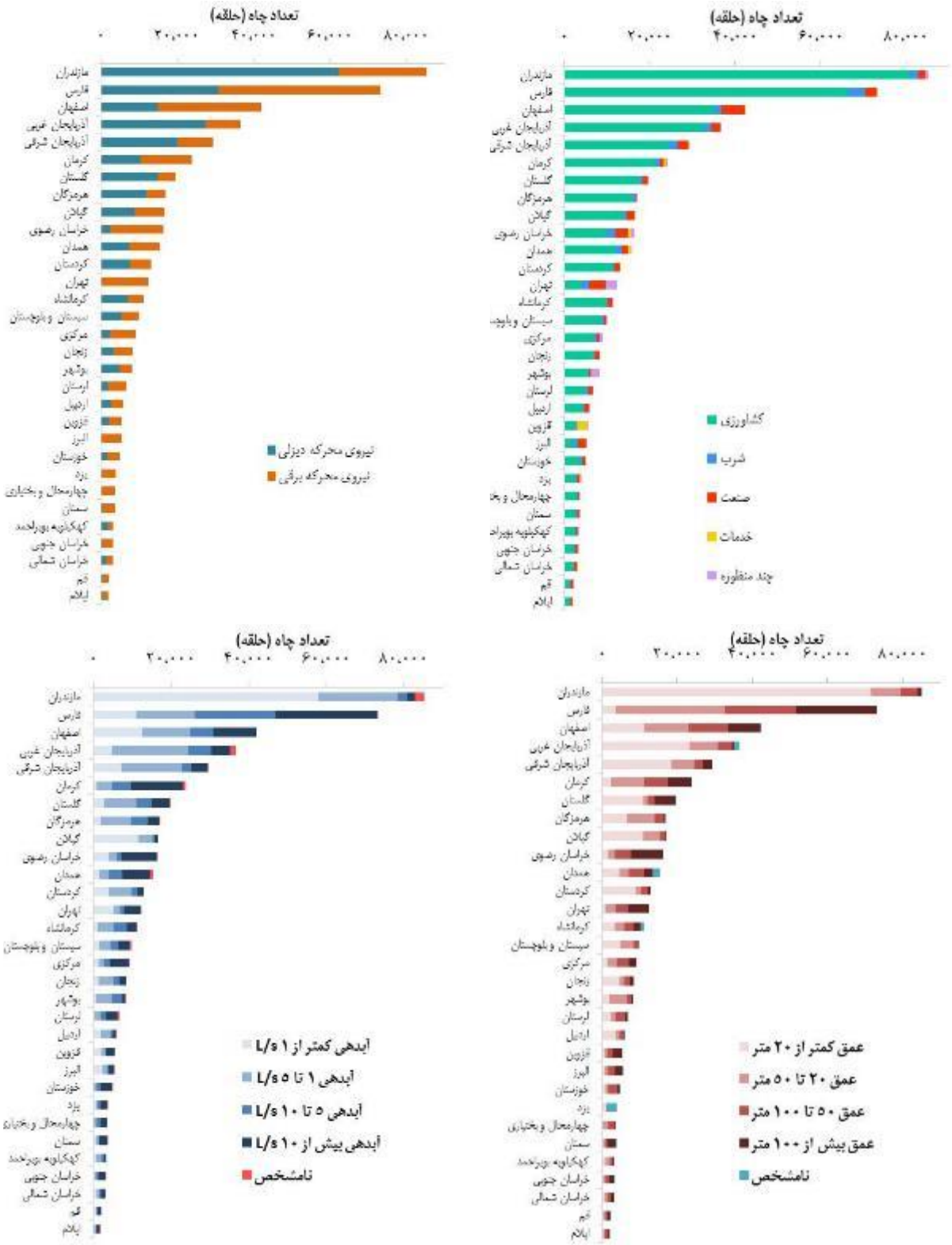


شکل ۷۹- درصد تغییرات تعداد چاه‌ها (دایره درونی) درصد تغییرات حجم برداشت انسانی از آبخوان (دایره میانی) و درصد تغییرات نسبت حجم برداشت انسانی از آبخوان به حجم کل برداشت (دایره بیرونی) در دوره ۱۳۸۱-۱۳۹٤

از نوع دیزلی هستند. حدود ۶۴ درصد چاه‌های مجاز کشور با عمق کمتر از ۵۰ متر و ۳۴ درصد چاه‌های مجاز کشور عمقی بیشتر از ۵۰ متر را داراست. همچنین میزان آبدهی در ۵۸ درصد چاه‌های مجاز کمتر از ۵ لیتر بر ثانیه و ۴۰ درصد چاه‌ها آبدهی بیشتر از ۵ لیتر بر ثانیه را دارا می‌باشند.



شکل ۸۰- نقشه پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری کشور



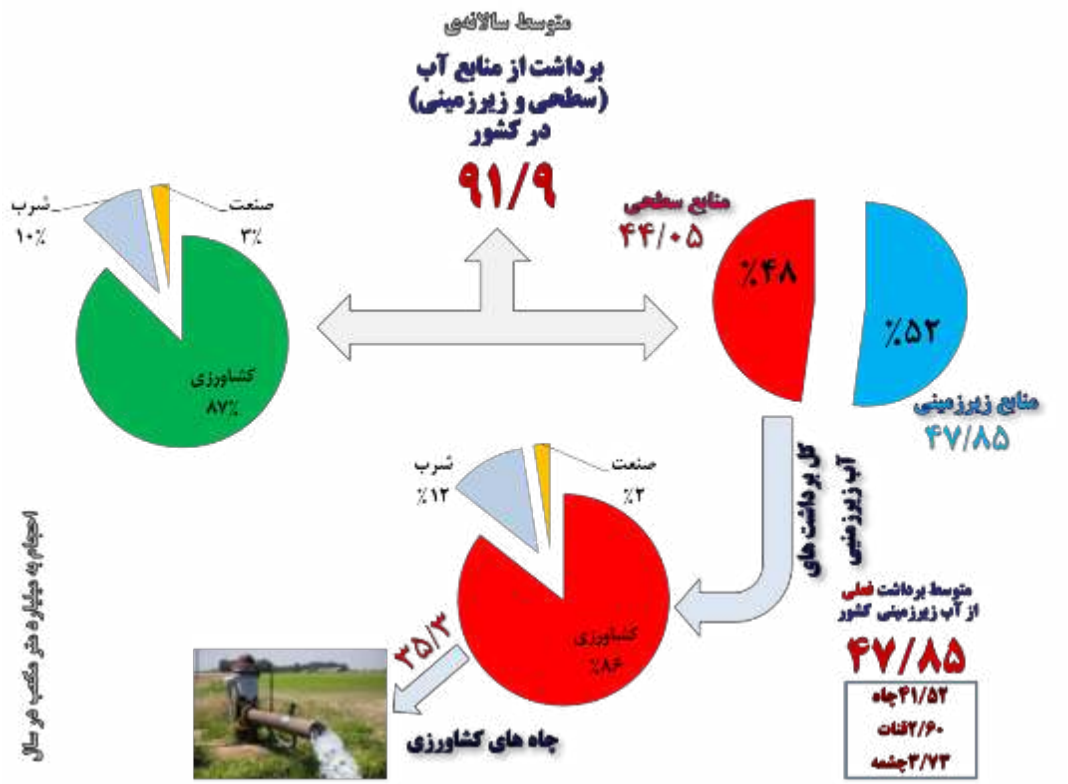
شکل ۸۱- تعداد چاه‌های مجاز کشور ازنظر نوع مصارف، نیروی محرکه، عمق چاه و آبدهی

۵-٦- مصارف آب‌های زیرزمینی کشور

جدول ۱۷ آخرین وضعیت حجم برداشت سالانه از منابع آب‌های زیرزمینی برای تأمین مصارف کشاورزی، شرب و صنعت بر اساس جمع‌بندی اطلاعات آماربرداری منابع و مصارف دور سوم نشان می‌دهد (بی‌نام ۱، ۱۴۰۲). همچنین شکل ۸۲، درصد سهم منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی را به تفکیک مصارف کشور نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود سالانه حدود ۵۲/۱ درصد از برداشت‌های آب موردنیاز از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. حدود ۶۳ درصد آب شرب روستایی و شهری، ۴۵/۴ درصد آب صنعت و خدمات و ۵۱ درصد آب کشاورزی از این منابع تأمین می‌شود. ملاحظه می‌شود سهم منابع آب‌های زیرزمینی در تأمین آب کشاورزی کشور در حدود سهم منابع آب‌های سطحی و در تأمین آب شرب کشور بیشتر از منابع آب‌های سطحی است. بااین‌حال میزان وابستگی مصارف مختلف به منابع آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف کشور متفاوت است؛ برای نمونه در هشت استان خراسان رضوی، خراسان جنوبی، کرمان، فارس، یزد، هرمزگان، البرز و همدان وابستگی تأمین آب موردنیاز به منابع زیرزمینی بیش از ۸۰ درصد است. با توجه به اثرپذیری کندتر آب‌های زیرزمینی به کاهش بارش‌ها نسبت به آب‌های سطحی، منابع آب‌های زیرزمینی در صورت بهره‌برداری پایدار، نقش مؤثرتری در تأمین منابع آب موردنیاز و در شرایط بحرانی دارا هستند.

جدول ۱۷- حجم برداشت سالانه از منابع آب‌های زیرزمینی بر اساس آماربرداری سراسری منابع و مصارف دور سوم

نوع منبع	تعداد منبع	حجم برداشت (میلیون مترمکعب)			
		برداشت کشاورزی	برداشت شرب	برداشت صنعت	کل برداشت
چاه	۱،۰۲۱،۵۹۶	۳۵،۳۳۸	۵،۰۶۱	۱،۱۲۴	۴۱،۵۲۳
چشمه	۲۳۱،۰۹۵	۳،۰۸۲	۵۹۱	۵۲	۳،۷۲۵
قنات	۴۵،۴۱۳	۲،۵۳۰	۵۵	۱۳	۲،۵۹۸
مجموع برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی	۱،۲۹۸،۱۰۴	۴۰،۹۵۰	۵،۷۰۷	۱،۱۸۹	۴۷،۸۴۶
کل برداشت‌های سطحی و زیرزمینی		**۸۰،۲۱۶**	**۹،۰۵۵**	**۲،۶۱۷**	**۹۱،۸۸۸**
درصد برداشت‌های زیرزمینی از کل برداشت‌ها		**۵۱.۰**	**۶۳.۰**	**۴۵.۴**	**۵۲.۱**



شکل ۸۲- سهم منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به تفکیک برداشت

(آماربرداری سراسری منابع و مصارف دور سوم)

به‌طور عمده برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی در کشور با استفاده از حفر چاه انجام می‌شود. جدول ۱۷ نشان می‌دهد برداشت آب‌های زیرزمینی در کل کشور به میزان سالانه حدود ۴۷/۸ میلیارد مترمکعب و معادل ۵۲ درصد کل برداشت از منابع آب (سطحی و زیرزمینی) است. حدود ۶۳ درصد آب شرب روستایی و شهری، ۴۵/۴ درصد آب صنعت و خدمات و ۵۱ درصد آب کشاورزی از منابع آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. از کل برداشت‌های آب زیرزمینی، ۸۵/۶ درصد برداشت مربوط به بخش کشاورزی، ۱۱/۹ درصد برداشت‌ها مربوط به بخش شرب و ۲/۵ درصد برداشت‌ها مربوط به بخش صنعت است (شکل ۸۲-۲). کل برداشت از چشمه‌ها و قنوات نیز به ترتیب در حدود ۳/۷ و ۲/۶ میلیارد مترمکعب است (بی‌نام ۱، ۱۴۰۲).

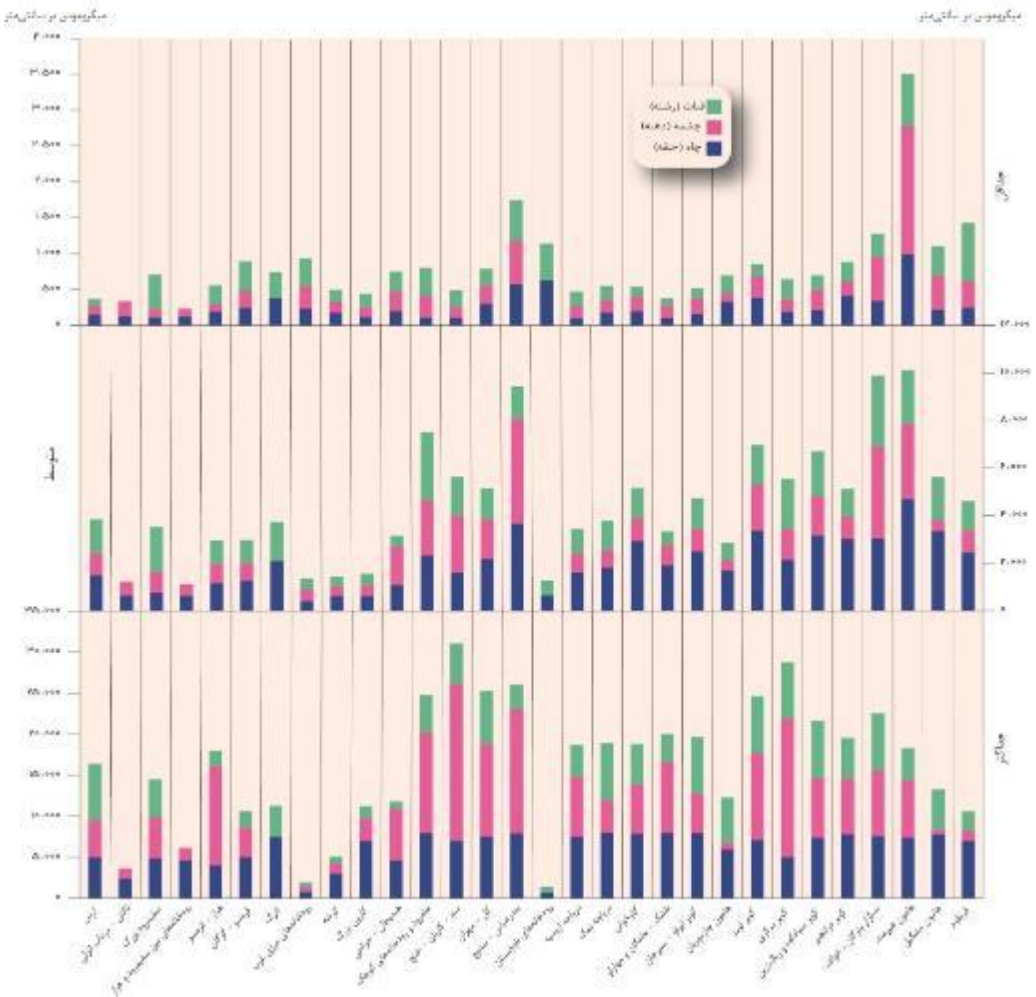
شکل ۸۳ تغییرات مقادیر تخلیه و مصرف آب زیرزمینی در دوره ۱۵ ساله منتهی به سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود علی‌رغم افزایش سالانه تعداد چاه‌ها، روند تخلیه و مصرف کاهش‌یافته است. این موضوع نشان می‌دهد منابع آب‌های زیرزمینی به حداکثر ظرفیت توان آبدهی خود رسیده و لذا ظرفیت تخلیه بیشتر ندارد. در بسیاری از مناطق خشک مرکزی و شرق کشور، چشمه‌ها و قنوات متعددی خشک‌شده و چاه‌های بسیاری، آبدهی خود را ازدست‌داده‌اند (بی‌نام ۱، ۱۳۹۹).



شکل ۸۳- تغییرات مقادیر تخلیه و مصرف آب زیرزمینی از سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ تا ۹۶-۱۳۹۵

۵-۷- تحلیل وضعیت کیفی منابع آب‌های زیرزمینی کشور

شکل ۸۴، میزان شوری منابع آب‌های زیرزمینی شامل چاه، چشمه و قنات بر اساس نمونه‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی تا پایان سال ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد. بررسی این نمونه‌ها گویای آن است که حدود ۱۶ درصد از منابع آب‌های زیرزمینی در رده آب‌های شیرین، ۳۴ درصد در رده آب‌های نسبتاً شیرین، ۲۳ درصد در رده آب‌های لب‌شور، ۲۱ درصد در رده آب‌های شور و ۶ درصد در رده آب‌های بسیار شور قرار دارند. به‌عبارت‌دیگر، نیمی از آب‌های کشور شیرین تا نسبتاً شیرین و نیمی لب‌شور تا بسیار شور هستند که این امر گویای محدودیت منابع آب زیرزمینی کشور باکیفیت مناسب است (بی‌نام ۱، ۱۴۰۰).



شکل ۸۴- میزان شوری آب‌های زیرزمینی حوضه‌های آبریز درجه‌دو تا پایان سال ۱۳۹۸

۵-۸- آسیب‌شناسی مدیریت آب‌های زیرزمینی کشور

بحران فعلی منابع آب‌های زیرزمینی متأثر از عوامل مختلفی است. وقوع خشک‌سالی‌های متعدد و آثار ناشی از تغییر اقلیم، اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی به دلیل حکمرانی نامطلوب در بخش آب، توسعه آب-محور بدون توجه به آمایش سرزمین و با ظرفیت‌های آبی منطقه، عدم هماهنگی بین بخشی در سطوح مختلف برنامه‌ریزی، سیاست‌های ناصحیح توسعه-محور در بخش کشاورزی، مشکلات مربوط به مالکیت خرد اراضی، عدم کاهش وابستگی اشتغال به منابع آب، خلأهای قانونی و عدم اجرای درست قوانین موجود در برخورد با متخلفان، عدم تخصیص اعتبارات لازم و ضعف در آگاهی بخشی و اطلاع‌رسانی به جامعه، ازجمله این عوامل است. از سوی دیگر قوانین مرتبط با منابع آب‌های زیرزمینی نه‌تنها در بهبود این منابع نقش نداشته‌اند، بلکه در مواردی وضعیت وخیم‌تری را به دنبال داشته‌اند (شکل ۸۵).

قوانینی ازجمله تبصـــره ذیل ماده (۳) قانون توزیع عادلانه آب و ماده (۳) قانون تأمین منابع مالی برای جبران خشک‌سالی و یا سرمازدگی و قانون الحاق یک مادهقانون وصول برخی از درآمدها دولت و مصرف آن در موارد معین و همچنین قانون تعیین تکلیف چاه‌های فاقد پروانه بهره‌برداری در یک فرایند ۳۶ ساله سبب رایگان شدن آب و دادن مجوزهای متعدد به چاه‌های حفرشده غیرمجاز، منجر شده‌اند (بی‌نام ۲، ۱۴۰۱). شکل ۸۶، روند افزایش تعداد چاه‌ها و تخلیه از سفره‌های آب زیرزمینی را نسبت به توان آبخوان طی سال‌های آبی مختلف نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود با شروع دوره خشک‌سالی در دهه هشتاد، فشار بر منابع آب‌های زیرزمینی از طریق افزایش حفر تعداد چاه‌ها افزایش‌یافته و تصویب قانون‌های نامناسب و سیاست‌های توسعه کشاورزی در سال ۱۳۸۹، این وضعیت را تشدید نموده است.



شکل ۸۵- روند تصویب قوانین نامناسب منجر به تشدید بحران منابع آب‌های زیرزمینی (صلوی‌تبار، ۱٤۰۰)



شکل ۸٦- افزایش تعداد چاه‌ها و تخلیه سالانه از سفره‌های آب زیرزمینی و تأثیر تصویب قوانین نامناسب

موضـوع حفاظت از آب‌های زیرزمینی کشـور ابتدا در سـال ۱۳۸۴ و با شـروع برنامه چهارم توسـعه و در قالب طرح تعادل‌بخشـی و تغذیه مصـنوعی سـفره‌های آب زیرزمینی، طراحی گردید. بااین‌حال و پس از گذشـت حدود ۴ سال از اجرای، با تصویب قانون تعیین تکلیف چاه‌های فاقد پروانه و طرح توسعه کشاورزی در دشت‌های ممنوعه یا طرح فدک، در عمل متوقف گردیده که نتیجه آن افزایش تعداد چاه‌های غیرمجاز کشـــور از حدود ۱۰۳ هزار حلقه چاه در سـال ۱۳۸۵ به بیش از ۲۵۰ هزار حلقه چاه در سـال ۱۳۸۹ اسـت. روندی که انگیزه‌ای مضـاعف برای متخلفان در اقدام به حفر چاه‌های غیرمجاز ایجاد کرده که ضـمن تلاش برای صـحنه‌سـازی و مدرک سـازی یا انتظار تغییرات بعدی در قانون برای شـمول ایشـان به اخذ پروانه، ناخواسـته متخلفان را ترغیب نموده که به روش‌های مختلف اعم از سیاسی و اجتماعی و... متوسـل شـوند تا درنهایت خود را در موضع مطالبه حق قرار دهند. مجموعه این اقدام‌ها باعث گردید بیشـتر دشـت‌های کشـور به دشـت‌های ممنوعه بحرانی تبدیل گردیده و در این دوره بیش از ۱۲۰۰ کیلومتر در سال، کف‌شکنی در چاه‌های کشور صورت گیرد (رجبی و همکاران، ۱۳۹۴).

طرح احیاء و تعادل‌بخشی تلاش مهمی برای برقراری تعادل بین منابع و مصارف آب زیرزمینی محسوب گردید. اجرای عملی این طرح به‌عنوان مصوبه جلسه شماره ۱۵ شورای عالی آب (شهریور ۱۳۹۳) دنبال شده و طی این طرح ضـــمن تعیین تکالیف و وظایف برای دسـتگاه‌های مختلف، ۱۵ پروژه مختلف برای ســه دسـتگاه وزارت نیرو (۱۱ پروژه)، وزارت جهاد کشاورزی (۳ پروژه) و وزارت صنعت، معدن و تجارت (۱ پروژه)، تعریف گردید. گزارش‌ها نشان می‌دهد اقدامات طرح احیاء و تعادل بخشی از سال ۱۳۹۴ تا سال ۱۴۰۰، درمجموع دستاوردهایی به شرح زیر را به دنبال داشته است (فاضلی، ۱۴۰۰).

۱. افزایش تعداد محدوده‌های مطالعاتی ممنوعه از ۲۹۶ محدوده در سال ۱۳۹۳ به ۴۶۸ محدوده در سال ۱۴۰۰

۲. بستن و انسداد حدود ۹۱۰۰۰ حلقه چاه‌های فاقد پروانهٔ بهره‌برداری

۳. نصب ۸۷۰۰۰ دستگاه کنتور برای چاه‌های مجاز

٤. تعدیل ۱۰۰۰۰۰ پروانه

٥. استقرار ۸۰۲ گروه گشت و بازرسی

٦. جلوگیری از اضافه برداشت آب به میزان ۳/۳ میلیارد مترمکعب از ابتدای طرح

۷. اطلاع‌رسانی و آگاهی سازی عمومی شامل جامعه دانش‌آموزی، ورود شبکه‌های اجتماعی، مشارکت نسبی ذی‌نفعان

۸. تدوین برنامه سازگاری با کم‌آبی

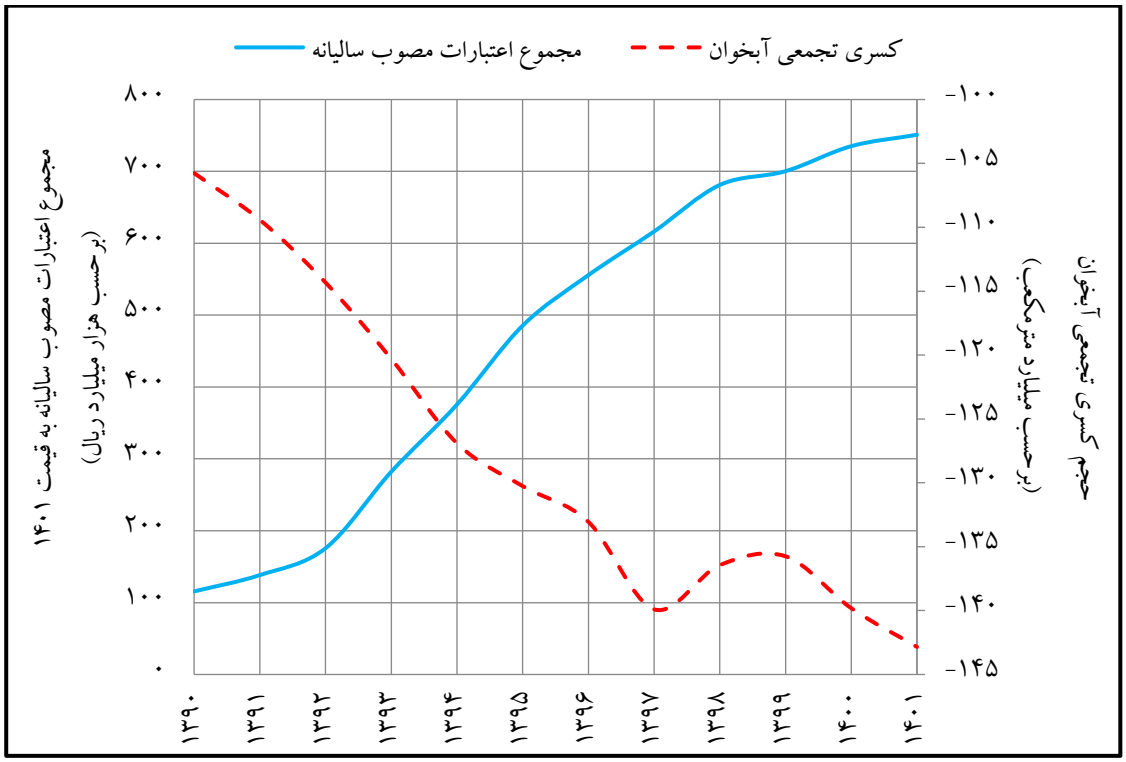
۹. تهیه و تصویب برنامه اجرایی برای ۶۰۹ دشت کشور

علی‌رغم دستاوردهای فوق، طرح احیا و تعادل بخشی با توفیق جدی و منجر به کاهش کسری آبخوان منجر نگردید. این ناکامی ناشی از عدم هماهنگی بین بخش‌های مختلف وزارت نیرو و عدم همراهی سایر دستگاه‌ها و تشکل‌های مردمی در همراهی با طرح احیا و تعادل‌بخشی (مانند وزارت جهاد کشاورزی، تشکل‌های مردم‌نهاد، نماینده‌های مردمی منطقه و سایر ذی‌مدخلان)، تمایل به دستیابی به توسعه کوتاه‌مدت در بخش کشاورزی، ایجاد اشتغال موقت در بدنه حاکمیتی و کمبود منابع مالی برای حمایت از طرح احیا و تعادل‌بخشی، بوده است (بی‌نام ۲، ۱۴۰۰).

تأمین آب موردنیاز بخش کشاورزی، اصلی‌ترین هدف برداشت آب از آبخوان‌های زیرزمینی است. در همین راستا و با لحاظ اهدافی نظیر افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری در مزرعه، بهبود بهره‌وری آب در مزرعه و جبران کسری بیلان منفی آبخوان‌های کشور، توسعه روش‌های نوین آبیاری در قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه موردتوجه دولت قرار گرفت. طی این برنامه دولت مکلف گردید حدود ۸۵ درصد از هزینه توسعه سامانه‌های نوین آبیاری را از طریق کمک بلاعوض پرداخت نماید. بررسی‌های انجام‌شده توسط مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی نشان داد علی‌رغم صرف اعتبار مصوب در حدود ۷۵۱ هزار میلیارد ریال برای اجرای سامانه‌های نوین آبیاری طی دوره ۱۲ ساله (۱۴۰۱-۱۳۹۰)، کسری مخزن آبخوان‌های زیرزمینی حدود ۴۰/۸۳ میلیارد مترمکعب افزایش‌یافته و از حدود ۱۰۵/۷۶ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۰ به حدود ۱۴۲/۸۴ میلیارد مترمکعب در سال ۱۴۰۱ افزایش‌یافته است (شکل ۸۷)، (بی‌نام ۳، ۱۴۰۱). این در حالی است که بر اساس پیش‌بینی‌های اولیه مقرر بود با اجرای قانون برنامه ششم توسعه، کسری مخزن در سال ۱۴۰۰ به حدود ۱۲۲ میلیارد مترمکعب کاهش یابد. بررسی‌های بین‌المللی توسط فائو نیز اثبات می‌نماید توسعه سامانه‌های نوین آبیاری ممکن است به افزایش میزان مصرف نیز منجر شود؛ زیرا این سامانه‌ها برخلاف روش‌های آبیاری سنتی فاقد آب برگشتی به آبخوان بوده، آب صرفه‌جویی شده در مزرعه لزوماً در سطح حوضه آبریز حفظ نگردیده و سبب افزایش میزان سطح زیر کشت یا تولید محصولات پرآب برگردد (Perry and Steduto, 2017). گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ضمن نقد منع دولت از اصلاح پروانه بهره‌برداری در قانون بودجه سال ۱۴۰۱، لزوم اصلاح پروانه بهره‌برداری را به‌عنوان پیش‌شرط پرداخت تسهیلات بلاعوض برای اجرای سامانه‌های نوین آبیاری، توصیه می‌نماید.

با توجه به تغییرات اقلیمی منجر به کاهش نزولات جوی و افزایش روزافزون دشت‌های ممنوعه و ممنوعه بحرانی، لازم است کاهش برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی در اولویت قرار گیرد. با توجه به نقش و سهم غالب

بخش کشاورزی در برداشت از منابع آب زیرزمینی، تمرکز ویژه‌ای برای کاهش برداشت در این بخش نیاز است. برای تحقق این امر و کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی باید به نقش برداشت از منابع آب زیرزمینی در تأمین معیشت کشاورزان توجه نموده و راهکارهای ارتقای شرایط اقتصادی ایشان بدون تحمیل بار بیشتر بر منابع آب، دنبال نمود. ارتقای بهره‌وری در بخش کشاورزی، عدالت در حکمرانی آب، افزایش مشارکت ذی‌نفعان، فرهنگ‌سازی و آگاهی بخشی عمومی نسبت به ارزش ذاتی آب، تقویت ساختار ارزیابی و نظارت بر برداشت از منابع آب زیرزمینی، اقدام‌های بازدارنده و برخورد جدی با متخلفان متناسب با سطح تخلف و... ازجمله دیگر اقداماتی است که می‌تواند به کاهش برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی در بخش کشاورزی، منجر شود.



شکل ۸۷- مقایسه اعتبارات مصوب توسعه سامانه‌های نوین آبیاری به قیمت سال ۱۴۰۱ و کسری تجمعی آبخوان

۵-۹- جمع‌بندی

برآوردهای ارائه‌شده طی این بخش نشان می‌دهد حدود ۵۲ درصد از منابع موردنیاز در بخش‌های کشاورزی، شرب و بهداشت و صنعت از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. بااین‌حال برداشت از آبخوان‌های کشور نزدیک به شش دهه بیشتر از پتانسیل تجدیدپذیر بوده و ادامه این روند سبب نابودی محیط‌زیست، ناتوانی در تأمین نیاز مصارف

وابسته و تهدید امنیت ملی خواهد شد. حدود ۸۵ درصد از منابع آب‌های زیرزمینی در بخش کشاورزی برداشت می‌شود؛ بنابراین سیاست‌گذاری‌ها و اقدام‌ها برای حذف برداشت مازاد، باید متمرکز بر این بخش باشد. برای تحقق این امر و کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی، باید به نقش برداشت از آب زیرزمینی در تأمین معیشت کشاورزان توجه کرده و راهکارهای ارتقای شرایط اقتصادی ایشان بدون تحمیل بار بیشتر بر منابع آبی را دنبال نمود. در این راستا باید ارتقاء بهره‌وری کشاورزی، گسترش عدالت در حکمرانی آب، افزایش مشارکت ذی‌نفعان، آگاهی‌رسانی عمومی، تقویت ساختار ارزیابی و نظارت بر برداشت از منابع آب زیرزمینی، پایش مستمر منابع آب زیرزمینی، اقدام‌های بازدارنده و برخورد جدی متناسب با نوع تخلف، دنبال شود (بی‌نام ۲، ۱۴۰۱).

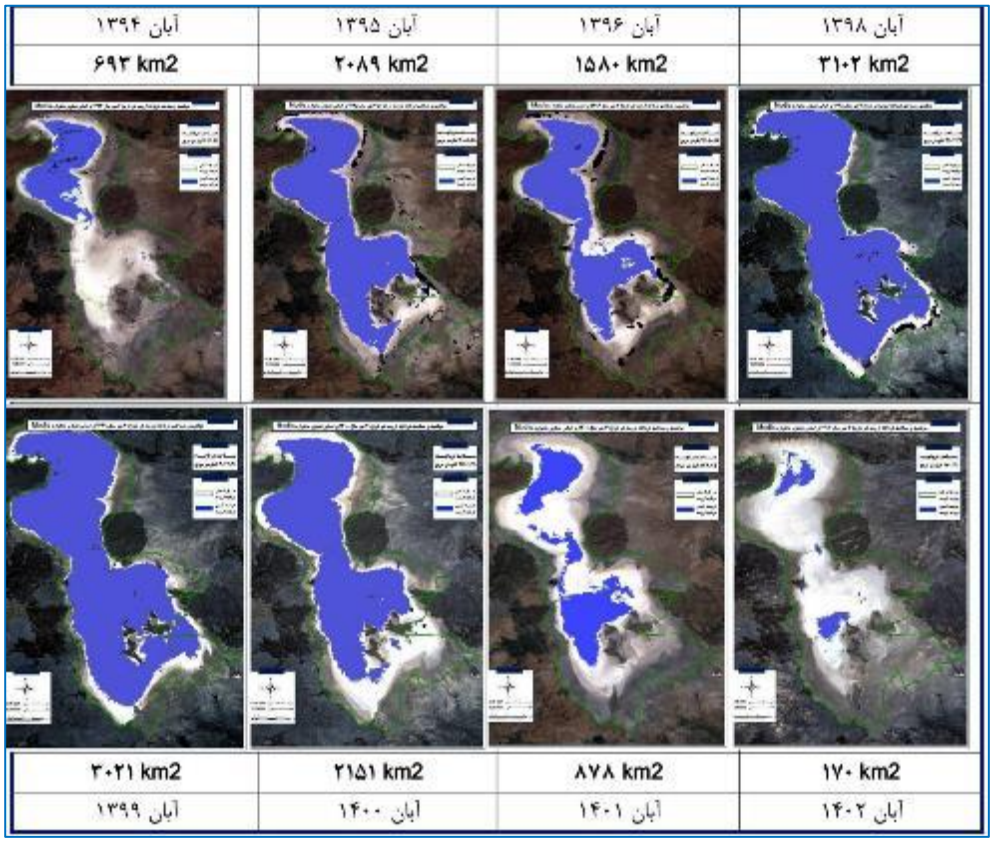
٦- تغییرات منابع آب در بوم‌سازگان‌های مختلف کشور

افزایش دما و تبخیر و کاهش تدریجی بارش‌ها درنتیجه تغییرات اقلیمی از یک‌سو و عدم تأمین حقابه‌های محیط‌زیستی به دلیل افزایش مصارف و بارگذاری بیش‌ازحد در حوضه‌های آبریز، آثار سوء خود را در پایین‌دست حوضه و خشک‌سالی‌های مضاعف دریاچه‌ها و تالاب‌ها نشان می‌دهد.

بر اساس گزارش کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه تا آذرماه ۱۴۰۲، سطح آب دریاچه ارومیه حدود ۱۲۶۹/۸ متر است که معادل کمترین تراز سطح آب ثبت‌شده از سال ۱۳۴۵ تاکنون است (روزنامه اعتماد، مورخ دوم آذرماه ۱۴۰۲). این میزان، حدود ۴/۳ متر کمتر از مقدار متناظر بلندمدت است. حجم آب موجود در دریاچه در این زمان کمتر از ۶۰۰ میلیون مترمکعب برآورد شده که حدود ۱۵ میلیارد مترمکعب کمتر از مقدار متناظر بلندمدت است. وسعت دریاچه نیز در تراز مذکور حدود ۶۰۶ کیلومترمربع است که کاهشی در حدود ۴۰۲۷ کیلومترمربع نسبت به بلندمدت را نشان می‌دهد. شکل ۸۸، روند تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه بر اساس ماهواره LANDSAT را نشان می‌دهد. اگرچه تفاوت‌هایی بین ارقام گزارش‌شده بر اساس سنجش‌ازدور و مشاهدات زمینی وجود دارد، ولی تقلیل سطح آب دریاچه ارومیه به کمترین مقدار تاریخی در شرایط کنونی، مشهود است.

بر اساس گزارش مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، سطح آب دریای خزر از سال ۱۳۷۴ تا بهمن‌ماه ۱۴۰۴ بیش از ۲۵۰ سانتی‌متر کاهش یافته است؛ به‌گونه‌ای که حدود ۹۰ سانتی‌متر از این کاهش تنها در فاصله سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۳ رخ داده و میانگین تراز آب در سال ۱۴۰۳ به منفی ۲۸/۱۵ متر رسیده است. بر این اساس نرخ کاهش سالانه تراز آب که در فاصله سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۶ حدود ۲ تا ۳

سانتی‌متر در سال بوده، در سال‌های اخیر به بیش از ۲۰ سانتی‌متر در سال افزایش یافته است. بر اساس این گزارش، میزان آبی که از رودخانه‌ها به دریا وارد می‌شود، مهم‌ترین عامل افزایش سطح آب است و بارش روی سطح دریا در ردیف دوم اهمیت قرار دارد. ورودی آب‌های سطحی حدود ۷۴ تا ۸۵ درصد آب ورودی خزر را تأمین می‌کند که طبق برآوردها، رودخانه ولگا با حدود ۲۵۰ میلیارد مترمکعب از کل ۳۲۰ میلیارد مترمکعب آب ورودی از طریق آب‌های سطحی، حدود ۸۰ درصد آب ورودی به خزر را تأمین می‌کند. این گزارش تغییرات تراز آب دریای خزر تا افق سال ۲۰۵۰ از این گزارش نشان داده است حتی در سناریوهای خوش‌بینانه نیز احتمال کاهش معنادار تراز آب دریای خزر بسیار بالا است؛ به‌طوری‌که میزان کاهش تراز آب در افق ۲۵ سال آینده در سناریوی خوش‌بینانه حدود ۱/۸ متر، در سناریوی میانی حدود ۳ متر و در سناریوی بدبینانه بیش از ۴ متر پیش‌بینی می‌شود (خبرگزاری انتخاب، مورخ ۱۶ بهمن ۱۴۰۴).



شکل ۸۸- تغییرات زمانی سطح آب دریاچه ارومیه بر اساس تصاویر ماهواره LANDSAT (بی‌نام ۳، ۱۴۰۲)

جدول ۱۸، آخرین وضعیت مساحت و درصد پرشدگی تالاب‌های منتخب کشور بر اساس اطلاعات پردازش‌شده سنجش‌ازدور منتشره در درگاه پیشخوان رصد منابع آب کشور، وزارت نیرو و در خردادماه ۱۴۰۴،

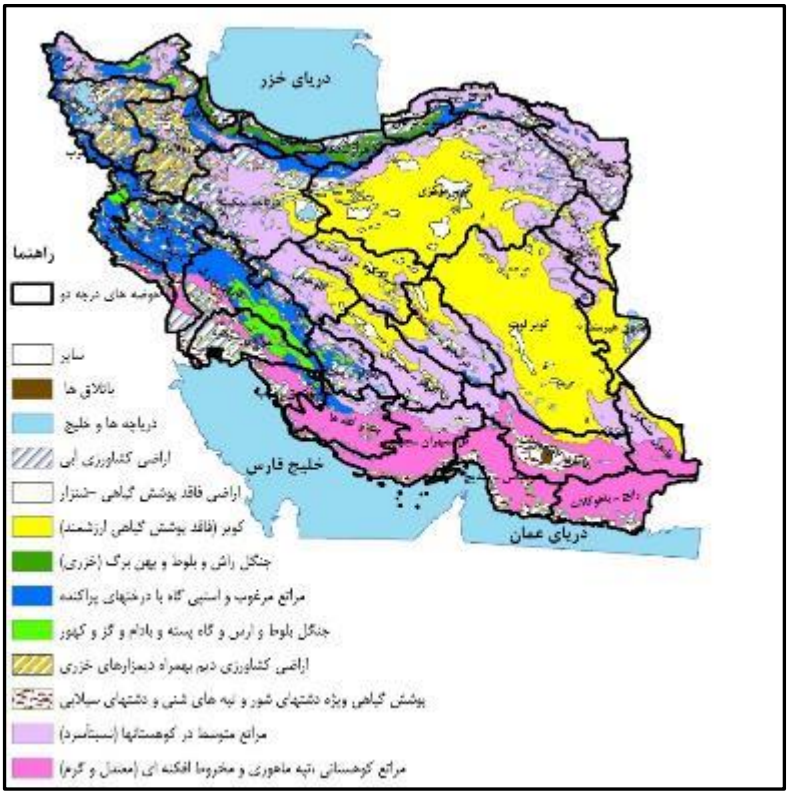
ارائه می‌نماید. ملاحظه می‌شود به‌جز تالاب میانکاله، سایر تالاب‌های مهم کشور در وضعیت خشکی کامل یا نزدیک به خشکی کامل قرار دارند. نابودی زیست‌بوم و از بین رفتن آبزیان، ایجاد کانون ریز گرد و طوفان نمکی، نابودی اقتصاد پایدار اطراف تالاب، تغییر اقلیم منطقه درنتیجه افزایش دما، افزایش مهاجرت، حذف تعادل آبی بین آبخوان و تالاب و بروز تنش‌های قومی و اجتماعی، ازجمله مهم‌ترین آثار سوء تداوم خشکی تالاب‌ها و دریاچه‌ها در کشور ارزیابی می‌شود (فنی، ۱۳۹۶).

جدول ۱۸- مساحت پرشدگی و درصد پرشدگی مساحت تالاب‌های مهم کشور بر اساس سنجش‌ازدور در تاریخ ۱٤۰٤/۰۳/۱۵ (بی‌نام ۵، ۱٤۰٤)

نام تالاب	استان	مساحت کل تالاب (کیلومترمربع)	مساحت پرشدگی تالاب (کیلومترمربع)	درصد پرشدگی مساحت تالاب
انزلی	گیلان	۲۳۷/۸	۸/۴	۳/۵
هورالعظیم	خوزستان	۱۳۱۸/۸	۱۲۶/۹	۹/۶
هامون-جازموریان	کرمان و سیستان و بلوچستان	۱۸۶۲	۰	۰
میانگران	خوزستان	۳۸/۲	۰	۰/۱
میانکاله	مازندران	۵۹۰/۳	۲۷۹/۹	۴۷/۴
مهارلو	فارس	۲۹۹/۲	۰/۱	۰
گاوخونی	اصفهان	۶۳۳/۱	۰	۰
طشک-بختگان	فارس	۱۴۵۹/۹	۰	۰
شیمبار	خوزستان	۱۱/۵	۰	۰/۱
دریاچه نمک	قم	۱۸۵۹/۷	۰	۰
حوض سلطان	قم	۲۷۹/۳	۰	۰

یکی از جنبه‌های مهم بوم‌سازگان‌ها، تأثیر آن‌ها در تنظیم چرخه هیدرولوژیک و کمک به نفوذ و نگهداشت آب در خاک و پیشگیری از جریان آن بر سطح خاک و آثار آن ازجمله فرسایش خاک و بروز سیلاب است. بوم‌سازگان جنگلی، به‌واسطه برخورداری از خاک غنی از مواد آلی، موجب جذب بیشتر آب در خاک شده و نفوذ آب در لایه زیرین خاک گردیده که به تغذیه بهتر سفره‌های آب زیرزمینی منجر می‌شود. مطالعات موردی متعددی در خصوص بررسی نقش بوم‌سازگان‌های مختلف جنگل و مرتع بر تنظیم، پشتیبانی و حفاظت از منابع آب در سابقه مطالعاتی، در دسترس است (مبرقعی و همکاران، ۱۳۹۸؛ خاتونی و کلاهی، ۱۴۰۰ و مهدوی و امیرنژاد، ۱۴۰۰). افزایش حجم رواناب خروجی از حوضه آبریز با تبدیل پوشش جنگلی به پوشش مرتع و کاهش ذخیره منابع آب‌های زیرزمینی و افزایش ارزش اقتصادی مناطق جنگلی نسبت به مراتع ازنظر تأثیر آن بر ذخیره رواناب و ذخیره

هزینه‌های تأمین آب، از نتایج گزارش‌شـــده در این مطالعات اســـت. بااین‌حال، مطالعات فوق متمرکز بر آبخیزهای کوچک و واحدهای هیدرولوژیکی جزئی مبتنی بر روش‌های تجربی بارش-رواناب بوده و داده‌های مشـــاهداتی جریان سطحی و تغییرات سطح تراز آب‌های زیرزمینی مورداستفاده قرار نگرفته است. شکل ۸۹، طبقه‌بندی پوشش اراضـی حوضـه‌های آبریز درجه‌دو کشـور را نشـان می‌دهد. مراتع مرغوب نیز در حوضـه‌های آبریز کرخه، کارون بزرگ و مرزی غرب به‌عنوان پوشـش غالب شـناخته می‌شـود. کشـاورزی آبی نیز کاربری غالب در حوضـه آبریز جراحی-زهره و کشـاورزی دیم نیز کاربری اراضـی غالب در حوضـه‌های آبریز سـفیدرود بزرگ و دریاچه ارومیه اسـت. در حوضـه‌های آبریز کویر لوت و کویر مرکزی نیز اراضـی کویری و فاقد پوشـش گیاهی ارزشـمند، غالب اسـت. افزایش پوشـش گیاهی از یک‌سـو سـهم تبخیر و تعرق واقعی از باران را به سـبب تعرق و همچنین ضـخامت خاک افزایش می‌دهد و از سوی دیگر امکان نگهداشت، برگاب و شرایط نفوذ و تأخیر در پس دادن آب به‌صورت چشـمه‌ها و زهکشـی در ارتفاعات را سـبب می‌شـود و در حقیقت سـهم دبی پایه را جریان سـطحی افزایش می‌دهد. بااین‌حال در ارزیابی تأثیر پوشـش گیاهی بر تغییرات منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی لازم است به‌شـدت ریزش‌ها، تراکم پوشـــش گیاهی، شـــیب، دما و ... نیز توجه داشـــت؛ چراکه هر یک از این پارامترها کارکرد افزایش و برخی کارکرد کاهشی دارند (بی‌نام ۴، ۱۴۰۱).



شکل ۸۹- طبقه‌بندی پوشش اراضی حوضه‌های آبریز درجه‌دو

۷- سیمای مصارف آب کشور

جدول ۱۹، برداشت‌های آب‌های سطحی و زیرزمینی کشور به تفکیک نوع برداشت و حوضه‌های آبریز درجه‌یک و کشور بر اساس اطلاعات آماربرداری سراسری منابع و مصارف دور دوم منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ نشان می‌دهد.

- حجم کل برداشت آب از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی کشور حدود ۹۸/۱ میلیارد مترمکعب است.
- میزان کل برداشت در سطح دشت و ارتفاع به ترتیب حدود ۸۲/۲ و ۱۵/۹ میلیارد مترمکعب است.
- سهم بخش‌های کشاورزی، شرب و بهداشت و صنعت از کل برداشت‌ها به ترتیب حدود ۸۷/۹، ۸/۴ و ۱/۸ درصد است.
- بیشترین و کمترین برداشت در حوضه‌های آبریز فلات مرکزی و مرزی شرق و حدود ۳۸/۱ و ۲/۳ میلیارد مترمکعب است.
- کل برداشت‌های آب سطحی و زیرزمینی به ترتیب حدود ۴۵ و ۵۵ میلیارد مترمکعب است.
- بیشترین برداشت از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به ترتیب مربوط به حوضه آبریز خلیج‌فارس و دریای عمان (حدود ۲۲/۳ میلیارد مترمکعب) و حوضه آبریز فلات مرکزی (حدود ۳۰/۵ میلیارد مترمکعب) است.

جدول ۲۰، تعداد و حجم برداشت آب از منابع سطحی و زیرزمینی بر اساس اطلاعات اولیه آماربرداری سراسری منابع و مصارف دور سوم، مقایسه می‌نماید (بی‌نام ۱، ۱۴۰۲). ملاحظه می‌شود:

- حجم کل برداشت از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی طی آماربرداری دور سوم حدود ۹۱/۹ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود که کاهش حدود ۶ درصدی نسبت به دور دوم را نشان می‌دهد. کاهش برداشت از منابع آبی کشور می‌تواند به خشک‌سالی‌های دوره اخیر و کاهش آب قابل در دسترس نسبت داده شود.
- برداشت‌های زیرزمینی و سطحی در دوره اخیر نسبت به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، به ترتیب حدود ۱۰ و ۵ درصد کاهش یافت.
- درصد برداشت برای اهداف کشاورزی، شرب و صنعت طی آماربرداری دور سوم به ترتیب حدود ۸۷/۳، ۹/۹ و ۲/۹ درصد است. در مقایسه با آماربرداری دور دوم، سهم برداشت‌های کشاورزی کاهش‌یافته، بااین‌حال سهم شرب و صنعت افزایش یافت.

- در دوره اخیر نسبت به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، حجم برداشت‌های کشاورزی حدود ۷ درصد کاهش‌یافته، ولی حجم برداشت‌های شرب و صنعت به ترتیب ۱۲ و ۵ درصد افزایش‌یافته است.
- جالب است که در دوره اخیر تعداد کل چاه‌ها نسبت به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، حدود ۳۱ درصد افزایش‌یافته است. کاهش برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی علی‌رغم افزایش تعداد چاه‌ها، به‌روشنی کاهش پتانسیل آبدهی چاه‌ها را تبیین می‌کند.
- افزایش تعداد چاه‌ها در دوره اخیر نسبت به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، کارکردهای سیاست‌های حفاظت از آب‌های زیرزمینی را در یک دهه اخیر با سؤال مواجه می‌سازد.
- در دوره اخیر نسبت به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، حجم برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی حدود ۱۴ درصد کاهش‌یافته، ولی حجم برداشت از منابع زیرزمینی برای اهداف شرب و صنعت به ترتیب حدود ۱۰ و ۶۰ درصد افزایش‌یافته است.

جدول ۲۱، حجم تخلیه و مصرف از انواع منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی طی آماربرداری دور سوم را نسبت به دور دوم مقایسه می‌نماید. ملاحظه می‌شود:

- تخلیه و مصارف برداشت‌های سنتی از منابع آب‌های سطحی، در دوره اخیر، حدود ۵ درصد کاهش‌یافته یافته است.
- در بخش آب‌های زیرزمینی، اگرچه میزان تخلیه طی دوره اخیر حدود ۲/۴ درصد کاهش‌یافته است، میزان مصارف با کاهش ۱۰/۵ درصدی همراه است.
- بیشترین میزان درصد افزایش در تخلیه و مصرف در دوره اخیر نسبت به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، مربوط به موتورپمپ سیار و ایستگاه پمپاژ و به ترتیب حدود ۸۴ و ۵۴ درصد است.
- اگرچه سرجمع تخلیه (منابع سنتی سطحی و زیرزمینی) در دوره اخیر تغییر چندانی نداشته است، سرجمع مصارف حدود ۵/۷ درصد کاهش نشان می‌دهد.

جدول ۱۹- برداشت آب‌های سطحی و زیرزمینی حوضه‌های آبریز درجه‌یک و کشور به تفکیک نوع مصرف بر اساس آماربرداری دور دوم منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹

(ارقام برحسب میلیون مترمکعب)

نام حوضه آبریز	جریان‌های سطحی و چشمه‌ها				آب‌های زیرزمینی				مجموع سطحی و زیرزمینی			
	کشاورزی	شرب	صنعت	جمع	کشاورزی	شرب	صنعت	جمع	کشاورزی	شرب	صنعت	کل مصارف
دریای مازندران	۱۰،۴۳۸.۵	۷۵۷.۴	۶۱.۷	۱۱،۲۵۷.۷	۴،۲۳۳.۰	۷۸۷.۸	۱۴۳.۳	۵،۱۶۴.۲	۱۴،۶۷۱.۵	۱،۵۴۵.۳	۲۰۵.۱	۱۶،۴۲۱.۹
خلیج‌فارس و دریای عمان	۱۹،۱۰۶.۰	۱،۰۹۱.۲	۶۵۴.۱	۲۰،۸۵۱.۳	۱۱،۱۷۷.۳	۱،۰۱۱.۴	۱۷۶.۱	۱۲،۳۶۴.۷	۳۰،۲۸۳.۳	۲،۱۰۲.۶	۸۳۰.۱	۳۳،۲۱۶.۰
دریاچه ارومیه	۲،۴۲۸.۸	۲۸۸.۱	۲۷.۵	۲،۷۴۴.۵	۱،۸۶۷.۸	۱۸۹.۸	۳۵.۲	۲،۰۹۲.۸	۴،۲۹۶.۶	۴۷۷.۹	۶۲.۸	۴،۸۳۷.۳
فلات مرکزی	۶،۲۳۹.۸	۱،۲۷۵.۸	۱۳۳.۶	۷،۶۴۹.۲	۲۷،۶۴۸.۴	۲،۳۸۴.۵	۴۴۷.۹	۳۰،۴۸۰.۸	۳۳،۸۸۸.۲	۳،۶۶۰.۳	۵۸۱.۵	۳۸،۱۳۰.۰
مرزی شرق	۷۹۷.۰	۸۶.۳	۲.۱	۸۸۵.۳	۱،۳۵۷.۵	۶۳.۸	۱۱.۵	۱،۴۳۲.۹	۲،۱۵۴.۶	۱۵۰.۱	۱۳.۶	۲،۳۱۸.۲
قره قوم	۶۵۷.۴	۱۳۱.۳	۲۱.۴	۸۱۰.۱	۱،۹۷۳.۳	۲۳۶.۳	۶۲.۶	۲،۲۷۲.۲	۲،۶۳۰.۷	۳۶۷.۶	۸۴.۰	۳،۰۸۲.۳
کل کشور	**۳۹،۶۶۷.۶**	**۳،۶۳۰.۲**	**۹۰۰.۴**	**۴۴،۱۹۸.۱**	**۴۸،۲۵۷.۳**	**۴،۶۷۳.۶**	**۸۷۶.۷**	**۵۳،۸۰۷.۶**	**۸۷،۹۲۴.۹**	**۸،۳۰۳.۸**	**۱،۷۷۷.۱**	**۹۸،۰۰۵.۷**

جدول ۲۰- مقایسه تعداد و حجم برداشت آب از منابع سطحی و زیرزمینی آماربرداری سراسری منابع و مصارف دور سوم و دور دوم

(احجام برحسب میلیون مترمکعب)، (بی‌نام ۱، ۱۴۰۲)

منبع		تعداد منبع		برداشت کشاورزی		برداشت شرب		برداشت صنعت		کل برداشت‌ها	
		دور سوم	درصد اختلاف با دور دوم	دور سوم	درصد اختلاف با دور دوم	دور سوم	درصد اختلاف با دور دوم	دور سوم	درصد اختلاف با دور دوم	دور سوم	درصد اختلاف با دور دوم
زیرزمینی	چاه	۱،۰۲۱،۵۹۶	۳۱	۳۵،۳۳۸	-۱۴.۰	۵،۰۶۱	۱۳.۰	۱،۱۲۴	۶۲.۰	۴۱،۵۲۳	-۱۰.۰
	چشمه	۲۳۱،۰۹۵	۳۳	۳،۰۸۲	-۴.۰	۵۹۱	-۸.۰	۵۲	۳۱.۰	۳،۷۲۵	-۵.۰
	قنات	۴۵،۴۱۳	۱۱	۲،۵۳۰	-۲۱.۰	۵۵	-۳۲.۰	۱۳	۲۱.۰	۲،۵۹۸	-۲۱.۰
	مجموع زیرزمینی	۱،۲۹۸،۱۰۴	۳۱	۴۰،۹۵۰	-۱۳.۸	۵،۷۰۷	۹.۷	۱،۱۸۹	۵۹.۸	۴۷،۸۴۶	-۱۰.۳
سطحی	برداشت‌های سنتی	۱۰۵،۳۶۶	-۱۰	۲۳،۲۶۶	۴.۰	۱،۲۴۸	۸۸.۰	۶۸۷	-۲۲.۰	۲۵،۲۰۱	۵.۰
	سدها و شبکه‌های مدرن			۱۶،۰۰۰		۲،۱۰۰		۷۵۰		۱۸،۸۵۰	
	مجموع سطحی			۳۹،۲۶۶		۳،۳۴۸		۱،۴۳۷		۴۴،۰۵۱	-۵.۰
مجموع سطحی و زیرزمینی دور سوم				**۸۰،۲۱۶**	**-۷.۰**	**۹،۰۵۵**	**۱۲.۰**	**۲،۶۲۶**	**۵.۰**	**۹۱،۸۹۷**	**-۶.۲**
درصد برداشت در آماربرداری دور سوم				**۸۷.۳**		**۹.۹**		**۲.۹**			
مجموع سطحی و زیرزمینی دور دوم				**۸۷،۹۲۵**		**۸،۳۰۴**		**۱،۷۷۷**		**۹۸،۰۰۶**	
درصد برداشت در آماربرداری دور دوم				**۸۹.۷**		**۸.۵**		**۱.۸**			

جدول ۲۱- مقایسه حجم تخلیه و مصرف منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی آماربرداری دور سوم نسبت به دور دوم (احجام برحسب میلیون مترمکعب)، (بی‌نام ۱، ۱۴۰۲)

مرحله آماربرداری	سنجه	مجموع برداشت‌های سنتی سطحی		آب‌انبار		آب‌بند		موتور پمپ		ایستگاه پمپاژ		نهر		مجموع آب زیرزمینی		قنات		چشمه		چاه	
		درصد اختلاف	حجم	درصد اختلاف	حجم	درصد اختلاف	حجم	درصد اختلاف	حجم	درصد اختلاف	حجم	درصد اختلاف	حجم	درصد اختلاف	حجم	درصد اختلاف	حجم	درصد اختلاف	حجم	درصد اختلاف	حجم
آماربرداری دور سوم	تخلیه	۵.۱	۲۵،۲۵۴	-۱۰۰	۰	۲.۹	۹۱۷	۸۴	۲،۸۷۳	۵۳.۷	۱۰،۸۰۷	-۲۶.۸	۱۰،۶۵۷	-۲.۴	۵۹،۳۴۷	-۱۵.۱	۳،۷۲۳	۳۸.۷	۱۴،۱۰۱	-۱۰.۳	۴۱،۵۲۳
	مصرف	۵.۱	۲۵،۲۰۱	-۱۰۰	۰	-۰.۶	۸۸۴	۸۴	۲،۸۷۳	۵۳.۸	۱۰،۸۱۷	-۲۶.۷	۱۰،۶۲۷	-۱۰.۵	۴۷،۸۴۶	-۲۱.۵	۲،۵۹۸	-۴.۷	۳،۷۲۵	-۱۰.۳	۴۱،۵۲۳
آماربرداری دور دوم	تخلیه		۲۴،۰۳۴		۰.۶		۸۹۱		۱،۵۶۲		۷،۰۳۱		۱۴،۵۴۹		۶۰،۸۲۰		۴،۳۸۳		۱۰،۱۷۰		۴۶،۲۶۷
	مصرف		۲۳،۹۸۸		۰.۶		۸۸۹		۱،۵۶۲		۷،۰۳۱		۱۴،۵۰۵		۵۳،۴۸۷		۳،۳۱۰		۳،۹۱۰		۴۶،۲۶۷

۸- بیلان منابع آب کشور

چرخه آبی یا چرخه هیدرولوژیکی به فرایند پیوسته و پویای گردش آب در کره زمین شامل اتمسفر (هوا کره)، سطح و زیر زمین اطلاق می‌شود. در این فرایند، آب در حالت‌های مختلف جامد، مایع و بخار محیط‌های مختلف را طی می‌کند. نیروی محرکه اجرای این چرخه، تابش خورشیدی است. آب دریاها و خشکی‌ها تبخیر شده، بخارآب با بالا رفتن در هوا و تغییر شرایط متراکم شده و سپس به شکل بارش به زمین باز می‌گردد (شکل ۹۰). مؤلفه‌های چرخه آبی عبارت‌اند از بارندگی (P)، رواناب سطحی (R)، تبخیر (E)، تعرق (T)، نفوذ و جریان‌های زیرزمینی (G).



شکل ۹۰- مؤلفه‌های چرخه آبی یا چرخه هیدرولوژیکی

بیلان آب به تبادلات آبی در یک محدوده طی یک چرخه آبی و بر مبنای اصل بقای ماده اطلاق می‌شود. بر مبنای این اصل حجم آب‌هایی که در یک بازه زمانی مشخص وارد یک محدوده می‌شود، یا به مصرف رسیده یا ذخیره گردیده یا به شکل‌های مختلف از آن محدوده خارج می‌شود. در مقیاس یک حوضه آبریز یا یک محدوده مطالعاتی، پنج نوع بیلان هیدروکلیماتولوژی، آب سطحی، آب زیرزمینی، آبخوان آبرفتی و عمومی، قابل بسط است که مکمل یکدیگر می‌باشند (بی‌نام ۴، ۱۴۰۱).

بیلان هیدروکلیماتولوژی نشـــان‌دهنده چگونگی تبدیل بارش در منطقه به رواناب، نفوذ، تبخیر و تعرق اســـت. بیلان هیدروکلیماتولوژی را در قالب رابطه ۱ می‌توان تعریف کرد:

$$P = AET + (R + I) \quad (۱)$$

که در آن، P ریزش‌های جوی اعم از برف و باران، AET تبخیر و تعرق واقعی، R رواناب و I نفوذ است. تمامی اجزای این معادله برحسب میلی‌متر می‌باشند.

بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی، شـکل ویژه‌ای از بیلان آب اسـت که در آن ورودی و خروجی و تغییرات ذخیره منابع آب زیرزمینی در یک آبخوان واحد بررسی می‌شود (رابطه ۲):

$$Q_{UI} + Q_P + Q_R + Q_I + Q_{SW} - Q_{UO} - Q_{EX} - Q_D - Q_{ET} = \pm \Delta V \quad (۲)$$

کـه در آن، QUI جریـان زیرزمینی ورودی، Q_P نفوذ از بـارنـدگی بر ســطح آبخوان، Q_R تغـذیـه از طریق جریان‌های سـطحی، Q_I نفوذ از آب مصـرفی آبیاری، Q_{SW} نفوذ از پسـاب صـنایع، Q_{UO} جریان زیرزمینی خروجی، Q_{ET} تبخیر از آب زیرزمینی، Q_D زهکشی آبخوان توسط رودخانه، Q_{EX} تخلیه و برداشت از طریق چاه/چشمه/قنات و ΔV تغییرات ذخایر در آب‌های سطحی و زیرزمینی است.

بیلان عمومی منابع آب، تعیین‌کننده ســهم هر یک از عوامل ورودی و خروجی آب در یک محدوده اســت. عوامل ورودی شـامل بارش، جریان‌های سـطحی ورودی و انتقالی به داخل محدوده، جریان‌های زیرزمینی ورودی و انتقالی به داخل محدوده و عوامل خروجی شامل تبخیر و تعرق، جریان‌های سطحی و زیرزمینی خروجی و انتقالی از محدوده، است. بیلان عمومی آب به‌صورت رابطه ۳ قابل‌تعریف است:

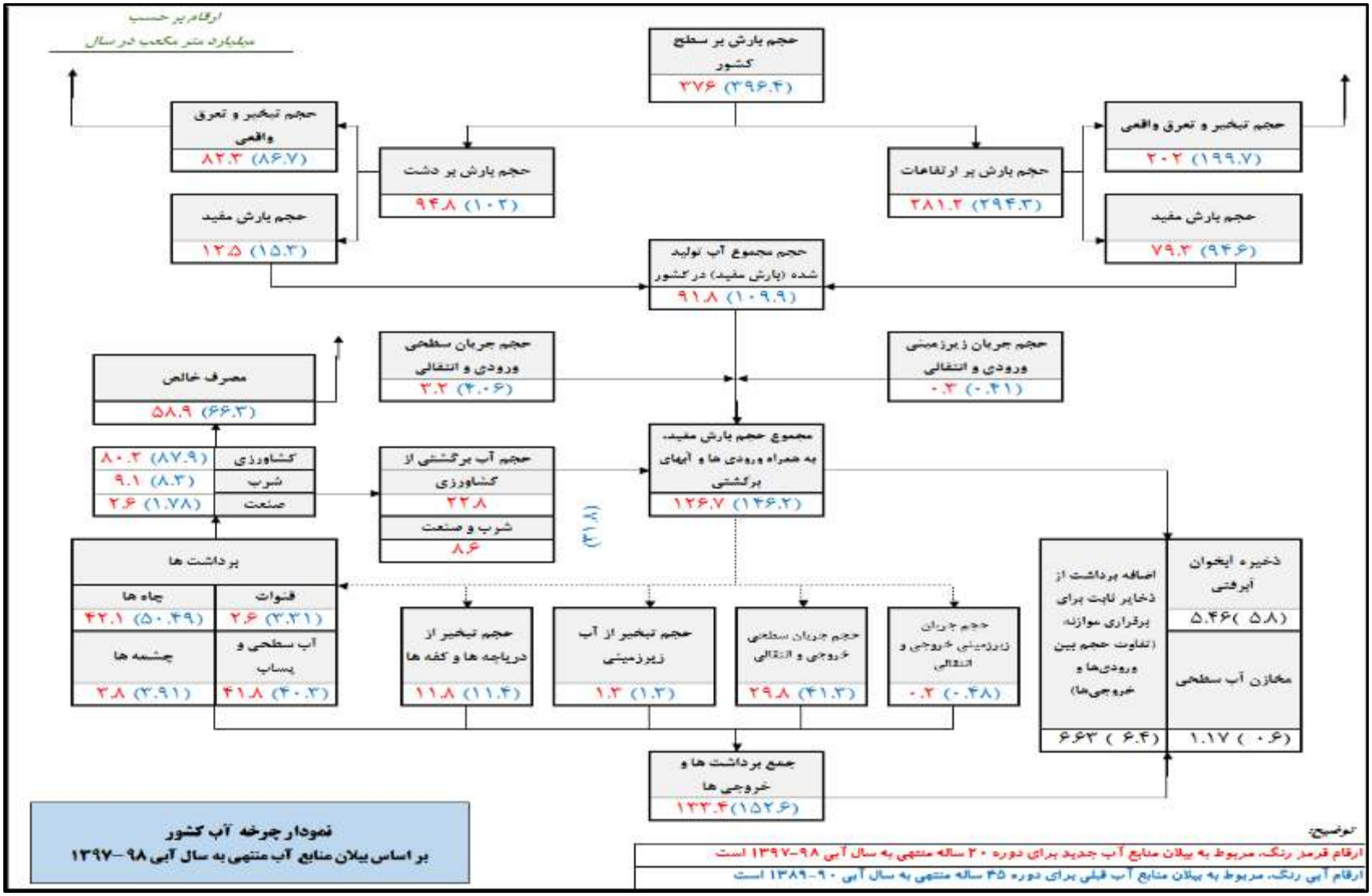
$$P + Q_{SI} + Q_{UI} - E - Q_{SO} - Q_{UO} = \pm \Delta V \quad (۳)$$

که در آن، P حجم ریزش‌های جوی در محدوده بیلان، Q_{SI} حجم جریان‌های ســطحی ورودی یا انتقالی به محدوده بیلان، Q_{UI} حجم جریان‌های زیرزمینی ورودی یا انتقالی به محدوده بیلان، E اشــکال مختلف تبخیر، Q_{SO} حجم جریان سطحی خروجی یا انتقالی از محدوده بیلان، Q_{UO} حجم جریان زیرزمینی خروجی یا انتقالی از محدوده بیلان و ΔV تغییرات ذخایر در آب‌های سطحی و زیرزمینی است.

در حال حاضـر آخرین نسـخه انتشـاریافته بیلان منابع آب کشـور مربوط به دوره ۲۰ سـاله منتهی به سـال آبی ۹۸-۱۳۹۷ می‌باشـد. پیش از آن نیز بیلان منابع آب کشـور برای دوره ۴۵ سـاله منتهی به سـال آبی ۹۰-۱۳۸۹ محاسـبه شـده اسـت. شـکل ۹۱ اجزای محاسـبه شـده چرخه آب کشـور بر اسـاس بیلان جدید (منتهی به سـال آبی ۹۸-۱۳۹۷) نشـان

می‌دهد. در این شکل، ارقام متناظر با هر یک از اجزاء بر اساس محاسبات بیلان منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، در داخل پرانتز ارائه داده شده است. جداول (۲۲) و (۲۳) نیز اجزای بیلان عمومی منابع آب حوضه‌های آبریز درجه یک و درجه دو کشور به ترتیب منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ و منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ را نشان می‌دهد (بی‌نام ۱، ۱۴۰۴). براین‌اساس:

- مجموع کل بارندگی و آب‌های سطحی و زیرزمینی ورودی و انتقالی به کشور در دوره ۲۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ حدود ۳۷۹/۵ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود. این میزان نسبت به دوره ۴۵ ساله منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، حدود ۲۱/۴ میلیارد مترمکعب کاهش یافته است.
- حجم بارش‌ها در سطح کشور حدود ۳۷۶ میلیارد مترمکعب، حجم آب‌های سطحی ورودی و انتقالی به کشور حدود ۳/۲ میلیارد مترمکعب و حجم آب‌های زیرزمینی ورودی به کشور حدود ۳۳۸ میلیون مترمکعب است. ملاحظه می‌گردد حجم بارش‌ها در سطح کشور طی دوره ۲۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ حدود ۲۰/۴ میلیارد مترمکعب نسبت به دوره ۴۵ ساله منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، کاهش یافته است.
- بیشترین و کمترین میزان مجموع بارندگی و آب‌های ورودی انتقالی سطحی و زیرزمینی مربوط به حوضه‌های آبریز خلیج‌فارس و دریای عمان و قره‌قوم و به ترتیب حدود ۱۴۲ و ۱۰/۳ میلیارد مترمکعب است.
- بر اساس محاسبات متوسط دوره ۲۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷، حدود ۷۵/۶ درصد از حجم کل بارش‌ها (معادل ۲۸۴/۳ میلیارد مترمکعب)، به‌صورت تبخیر و تعرق واقعی از دسترس خارج می‌شود. این نسبت برای دوره ۴۵ ساله منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ حدود ۷۲/۳ درصد است.
- با کسر حجم تبخیر و تعرق واقعی از حجم کل بارش‌ها در سطح کشور، حجم آب تجدیدپذیر داخلی محاسبه می‌شود. ملاحظه می‌گردد حجم آب تجدیدپذیر داخلی کشور برای دوره ۲۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ حدود ۹۱/۷ میلیارد مترمکعب است که نسبت به دوره ۴۵ ساله منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، حدود ۱۸/۳ میلیارد مترمکعب، کاهش یافته است.



شکل ۹۱- چرخه آب کشور بر اساس بیلان منابع آب دوره ۲۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ (بی‌نام ۱، ۱٤۰٤)

- با توجه به خالص آب ورودی به کشور (حدود ۳/۵ میلیارد مترمکعب) و حجم آب تجدیدپذیر تولیدشده در کشور (حدود ۹۱/۷ میلیارد مترمکعب)، کل آب‌های تولیدشده سالانه در کشور حدود ۹۵/۲ میلیارد مترمکعب است که باید همراه با آب‌های برگشتی پاسخگوی تمام نیازهای کشور (ازجمله نیازهای محیط‌زیستی) باشد. بااین‌حال ارقام فوق متوسط بلندمدت ۲۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ است که درنتیجه تغییر اقلیم و خشک‌سالی‌های پی‌درپی پنج‌ساله اخیر و عدم لحاظ آن در دوره فوق، انتظار می‌رود مقدار آب تولیدشده در کشور کمتر از این حدود باشد.
- میزان کل مصارف آب‌های سطحی و زیرزمینی کشور بر اساس آماربرداری سراسری دور سوم حدود ۹۱/۹ میلیارد مترمکعب است که از این میزان حدود ۶۰/۵ میلیارد مترمکعب مصرف خالص بوده و مابقی (حدود ۳۱/۴ میلیارد مترمکعب) به صورت‌های مختلف شامل پساب، فاضلاب یا زهاب به چرخه هیدرولوژیکی باز می‌گردد.
- در مقایسه با ۳۷۹/۵ میلیارد مترمکعب حجم ورودی‌ها، حجم خروجی‌های آب از کشور شامل انواع تبخیر و تعرق، مصارف، جریان‌های سطحی و زیرزمینی خروجی از کشور، حدود ۳۸۶/۱ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود. جبران این تفاوت به‌صورت اضافه برداشت از ذخایر ثابت آب‌های سطحی و زیرزمینی به ترتیب حدود ۱/۱۷ و ۵/۴۶ میلیارد مترمکعب انجام می‌شود.
- مقایسه ارقام مستخرج از بیلان ۴۵ ساله منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ با متوسط ۴۰ ساله منتهی به سال آبی ۸۵-۱۳۸۴، نشان‌دهنده کاهش ۴/۹۶ درصدی بارش، افزایش ۱/۲ درصدی تبخیر و تعرق و کاهش ۱۸ درصدی آب تجدیدپذیر است.
- مقایسه ارقام مستخرج از بیلان ۲۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ با متوسط ۴۵ ساله منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، نشان‌دهنده کاهش ۵/۱ درصدی بارش، افزایش ۰/۷ درصدی تبخیر و تعرق واقعی و کاهش ۱۷ درصدی حجم آب تجدیدپذیر داخلی کشور است.
- در مقایسه با حوضه‌های آبریز درجه‌یک، حوضه خلیج‌فارس و دریای عمان بیشترین نقش در جزءهای ورودی و خروجی معادله بیلان با حجمی به ترتیب در حدود ۱۴۲/۱ ۱۴۲/۷ میلیارد مترمکعب داراست. ملاحظه می‌شود در تمامی حوضه‌های آبریز، تغییرات ذخیره منفی است که از ذخایر استاتیک منابع آب‌های زیرزمینی یا پهنه‌های آب سطحی جبران می‌شود. ملاحظه می‌شود حوضه خلیج‌فارس و دریای عمان، نیمی از حجم آب‌های تجدیدپذیر داخلی کشور را داراست.

- در مقایسه با حوضه‌های آبریز درجه‌دو بیشترین ورود و خروج آب در حوضه‌های کارون بزرگ، کویر مرکزی و دریاچه نمک، صورت می‌گیرد. بیشترین کسری ذخیره در دوره ۲۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ نیز به ترتیب در حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه، دریاچه نمک و کویر مرکزی و به ترتیب معادل ۱۱۴۸-، ۱۰۰۴- و ۹۷۸- میلیون مترمکعب است. در حوضه‌های آبریز دریاچه نمک و کویر مرکزی، کسری مذکور از سفره‌های آب زیرزمینی و در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نیز کسری عمدتاً از ذخایر آب‌های سطحی تأمین می‌شود.

جدول ۲۲- بیلان عمومی منابع آب حوضه‌های آبریز درجه یک و درجه دو کشور طی دوره ٤٥ ساله منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ (ارقام برحسب میلیون مترمکعب)
(بی‌نام ۱، ۱٤۰۱)

نام حوضه آبریز	ورودی						خروجی								تغییرات ذخیره	
	بارندگی		جریان سطحی ورودی	جریان زیرزمینی ورودی	آب‌های انتقالی به حوضه	جمع	تبخیر و تعرق				جریان سطحی خروجی	جریان زیرزمینی خروجی	آب‌های انتقالی به خارج حوضه	جمع	مخازن آب سطحی	مخازن آب زیرزمینی
	ارتفاعات	دشت					از بارندگی	از سطح آزاد آب	از سفره	مصرف خالص						
ارس	۱۰۸۴۸.۳	۱۸۴۲.۵	۱۱۹.۹	۰.۰	۱۰۰۶.۹	۱۳۸۱۷.۶	۱۰۲۰۷.۰	۸۶.۸	۱۰.۳	۲۰۹۲.۳	۱۴۸۰.۴	۴.۳	۰.۰	۱۳۸۸۰.۹	۰.۰	-۶۳.۴
تالش انزلی	۴۹۹۱.۸	۳۱۹۲.۰	۰.۰	۱۳.۶	۷۰۴.۳	۸۹۰۱.۷	۴۳۴۸.۰	۴۲.۱	۲۱.۵	۱۰۴۲.۴	۳۴۱۷.۲	۳۱.۴	۰.۰	۸۹۰۲.۶	۰.۰	-۰.۸
سفیدرود بزرگ	۱۸۸۶۰.۵	۳۷۰۶.۸	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۲۲۵۶۷.۳	۱۶۳۱۵.۰	۱۲۸.۸	۲۰.۸	۲۸۴۵.۷	۲۰۸۵.۵	۱۵.۱	۱۲۲۶.۵	۲۲۶۳۷.۵	۰.۰	-۷۰.۲
سفیدرود تا هراز	۶۸۴۶.۷	۲۱۳۰.۶	۰.۰	۰.۰	۱۱۲.۰	۹۰۸۹.۲	۵۰۲۱.۷	۵۱.۳	۲۲.۵	۵۳۱.۲	۳۴۰۶.۰	۵۶.۹	۰.۰	۹۰۸۹.۵	۰.۰	-۰.۳
هراز تا قره سو	۷۶۰۴.۵	۲۹۵۹.۳	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۰۵۶۳.۸	۶۶۵۵.۱	۱۸۸.۲	۳۲.۶	۱۸۷۵.۹	۱۶۳۶.۱	۹.۳	۱۷۲.۰	۱۰۵۶۹.۲	۰.۰	-۵.۴
گرگان رود	۴۴۱۲.۸	۲۲۸۲.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۶۶۹۴.۸	۵۵۲۶.۰	۵۹.۱	۴۹.۸	۷۸۰.۵	۲۹۰.۲	۳.۱	۰.۰	۶۷۰۸.۷	۰.۰	-۱۳.۹
اترک	۶۳۵۷.۴	۱۳۹۰.۹	۶۶.۶	۰.۰	۰.۰	۷۸۱۴.۹	۶۸۸۷.۸	۵۰.۳	۲۱.۷	۷۳۶.۷	۱۴۳.۳	۱.۵	۰.۰	۷۸۴۱.۳	۰.۰	-۲۶.۴
دریای مازندران	۵۹۹۲۲.۰	۱۷۵۰۴.۰	۱۸۶.۶	۰.۰	۱۰۰۶.۹	۷۸۶۱۹.۴	۵۴۹۶۰.۵	۶۰۶.۶	۱۷۹.۲	۹۹۰۴.۶	۱۲۴۵۸.۶	۱۰۸.۰	۵۸۲.۲	۷۸۷۹۹.۷	۰.۰	-۱۸۰.۳
مرزی غرب	۱۷۷۹۹.۱	۱۳۳۲.۹	۰.۰	۱۴۱.۰	۲۱.۴	۱۹۲۹۴.۴	۱۱۷۲۶.۸	۶۴.۹	۸.۱	۱۳۲۰.۴	۵۹۴۶.۷	۱۸۱.۶	۷۲.۰	۱۹۳۲۰.۶	-۰.۹	-۲۵.۳
کرخه	۱۵۵۸۷.۲	۵۲۳۲.۲	۰.۰	۰.۰	۱۱۶۴.۰	۲۱۹۸۳.۴	۱۴۶۰۹.۸	۱۴۳۰.۳	۱۸۴.۶	۳۹۰۲.۲	۱۴۳۶.۴	۰.۰	۵۵۴.۴	۲۲۱۱۷.۶	۰.۰	-۱۳۴.۲
کارون بزرگ	۳۵۷۰۹.۳	۵۳۱۰.۵	۰.۰	۰.۰	۵۳۳.۰	۴۱۵۵۲.۸	۱۶۶۷۸.۶	۸۲۷.۹	۲۲۴.۴	۱۱۲۶۹.۰	۹۹۰۸.۰	۰.۰	۲۷۲۱.۲	۴۱۶۲۹.۱	۰.۰	-۷۶.۳
هندیجان جراحی	۱۴۱۸۴.۴	۴۱۳۸.۴	۰.۰	۰.۰	۹۰۴.۶	۱۹۲۲۷.۴	۱۱۰۹۶.۸	۱۳۹۵.۱	۱۰۷.۸	۱۹۲۶.۶	۴۶۲۷.۰	۰.۰	۸۹.۸	۱۹۲۴۳.۰	۰.۰	-۱۵.۷
حله و مسیل‌های دوطرف	۵۹۴۸.۳	۲۰۸۰.۳	۰.۰	۳۹.۸	۵۳.۶	۸۱۲۲.۰	۵۹۶۱.۰	۱۰۵.۹	۹۰.۰	۸۸۴.۹	۱۰۹۷.۵	۸.۰	۵.۹	۸۱۵۳.۱	۰.۰	-۳۱.۱
مند و حوضه‌های بسته هرم، کاریان و خنج	۱۱۷۹۸.۰	۲۸۵۴.۷	۰.۰	۰.۰	۱۲.۸	۱۴۶۶۵.۴	۱۱۱۸۳.۰	۱۷۷.۴	۳۸.۱	۲۲۹۶.۳	۱۱۳۶.۹	۳۹.۸	۲۸.۶	۱۴۹۰۰.۱	۰.۰	-۲۳۴.۷
کل و مهران	۱۰۰۶۶.۸	۳۲۹۳.۴	۰.۰	۰.۰	۵۷.۳	۱۳۴۱۷.۶	۱۱۲۰۹.۷	۱۸.۲	۹۷.۳	۱۴۸۲.۹	۷۹۱.۴	۲۸.۹	۰.۰	۱۳۶۲۸.۴	۰.۰	-۲۱۰.۹
بندرعباس سدیج	۶۷۴۰.۲	۱۷۵۵.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۸۴۹۵.۱	۵۷۶۹.۳	۲۴.۳	۷.۳	۱۲۵۲.۲	۱۴۴۰.۰	۱۱۷.۸	۰.۰	۸۶۱۰.۹	۰.۰	-۱۱۵.۸
بلوچستان جنوبی	۷۲۷۱.۰	۱۱۳۸.۲	۰.۰	۰.۰	۹.۹	۸۴۱۹.۱	۷۰۷۵.۹	۱۵.۸	-	۴۴۸.۹	۸۸۳.۵	۰.۰	۰.۰	۸۴۲۴.۱	۰.۰	-۵.۰
خلیج فارس و دریای عمان	۱۲۵۱۰۴.۲	۲۷۱۳۵.۶	۰.۰	۱۴۱.۰	۲۸.۹	۱۵۲۴۰۹.۶	۹۵۳۱۰.۹	۴۰۵۹.۷	۷۵۷.۶	۲۴۷۸۳.۵	۲۷۲۶۷.۵	۳۳۶.۳	۷۴۴.۱	۱۵۳۲۵۹.۵	-۰.۹	-۸۴۸.۹

ادامه جدول ۲۲- بیلان عمومی منابع آب حوضه‌های آبریز درجه یک و درجه دو کشور طی دوره ٤٥ ساله منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ (ارقام برحسب میلیون مترمکعب) (بی‌نام ۱، ۱٤۰۱)

نام حوضه آبریز	ورودی						خروجی								تغییرات ذخیره	
	بارندگی		جریان سطحی ورودی	جریان زیرزمینی ورودی	آب‌های انتقالی به حوضه	جمع	تبخیر و تعرق				جریان سطحی خروجی	جریان زیرزمینی خروجی	آب‌های انتقالی به خارج حوضه	جمع	مخازن آب سطحی	مخازن آب زیرزمینی
	ارتفاعات	دشت					از بارندگی	از سطح آزاد آب	از سفره	مصرف خالص						
دریاچه ارومیه	۱۴۳۷۵.۹	۴۰۹۹.۰	۱۷۸.۸	۲۰۴.۳	۰.۰	۱۸۸۵۸.۰	۱۳۴۰۴.۲	۲۷۵۰.۵	۶۴.۶	۳۲۱۴.۷	۱۷.۲	۰.۰	۰.۰	۱۹۴۵۱.۳	-۵۴۷.۶	-۴۵.۶
دریاچه نمک	۱۵۰۵۴.۱	۹۳۴۷.۴	۰.۰	۰.۰	۵۸۳.۲	۲۴۹۸۴.۷	۱۷۹۳۲.۸	۳۷۶.۸	۱۹.۷	۷۶۵۱.۹	۰.۰	۱۶.۰	۲۷.۰	۲۶۰۲۴.۱	۰.۰	-۱۰۳۹.۴
گاوخونی	۴۵۹۱.۶	۳۲۰۳.۷	۰.۰	۰.۰	۷۱۴.۷	۸۵۱۰.۱	۵۵۸۱.۹	۲۰۸.۶	۴۶.۱	۳۰۷۰.۴	۰.۰	۰.۰	۷۹.۵	۸۹۸۶.۶	-۱۶.۴	-۴۶۰.۲
مهارلو بختگان	۷۱۰۷.۹	۴۲۸۳.۱	۰.۰	۰.۰	۱۹.۴	۱۱۴۱۰.۴	۷۶۵۵.۰	۹۳۸.۸	۳۱.۳	۳۰۶۹.۷	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۱۶۹۴.۸	۰.۰	-۲۸۴.۳
کویر ابرقو- سیرجان	۵۳۱۷.۰	۳۳۵۳.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۸۶۷۰.۱	۷۵۱۹.۵	۱۸۱.۴	۲.۲	۱۱۸۴.۹	۰.۰	۰.۰	۲۶.۱	۸۹۱۴.۱	۰.۰	-۲۴۴.۰
هامون جازموریان	۷۹۶۳.۵	۳۵۳۰.۲	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۱۴۹۳.۸	۹۶۳۳.۰	۱۴۵.۰	۹.۶	۲۱۰۱.۷	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۱۸۸۹.۴	۰.۰	-۳۹۵.۶
کویر لوت	۱۲۲۲۳.۰	۶۲۸۴.۷	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۸۵۰۷.۷	۱۶۵۰۷.۵	۷۲۴.۵	۱۲.۵	۱۴۸۰.۲	۰.۰	۰.۰	۳.۱	۱۸۷۲۷.۸	۰.۰	-۲۲۰.۱
کویر مرکزی	۱۸۳۵۵.۷	۱۱۸۲۱.۵	۰.۰	۱۶.۰	۴۹.۳	۳۰۲۴۲.۵	۲۶۸۳۸.۷	۲۸۹.۹	۶۲.۲	۴۰۵۷.۴	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۳۱۲۴۸.۲	۰.۰	-۱۰۰۵.۷
کویرهای سیاهکوه، ریگ زرین و دق سرخ	۳۴۲۷.۹	۱۹۶۷.۷	۰.۰	۰.۰	۶۶.۰	۵۴۶۱.۶	۴۸۲۵.۴	۷۹.۹	۱۳۴.۵	۵۵۶.۴	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۵۵۹۶.۱	۰.۰	-۱۳۴.۶
درانجیر و ساغند	۴۲۷۷.۴	۲۳۰۱.۳	۰.۰	۰.۰	۳۲.۷	۶۶۱۱.۴	۵۶۲۶.۹	۸۵.۱	۲.۲	۱۳۶۴.۵	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۷۰۷۸.۷	۰.۰	-۴۶۷.۳
فلات مرکزی	۷۸۳۱۸.۱	۴۶۰۹۲.۸	۰.۰	۰.۰	۱۳۲۹.۶	۱۲۵۷۴۰.۵	۱۰۲۱۲۰.۶	۳۰۲۹.۹	۳۲۰.۴	۲۴۵۳۷.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۳۰۰۰۸.۰	-۱۶.۴	-۴۲۵۱.۱
نمکزار خواف - دق پترگان	۳۰۲۸.۰	۲۲۴۲.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۵۲۷۰.۱	۴۶۹۱.۶	۴۸.۲	۰.۰	۶۰۱.۹	۱۰.۱	۶.۹	۳.۳	۵۳۶۲.۱	۰.۰	-۹۱.۹
هامون هیرمند	۲۲۲۰.۵	۱۲۳۹.۰	۲۳۲۸.۶	۰.۰	۰.۰	۵۷۸۸.۱	۳۲۷۶.۵	۹۲۳.۳	۰.۰	۷۳۰.۹	۸۶۷.۲	۰.۰	۰.۰	۵۷۹۷.۹	۰.۰	-۹.۸
هامون ماشکیل	۳۲۲۱.۸	۹۰۲.۲	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۴۱۲۴.۰	۳۴۳۸.۹	۱۵.۶	۱۸.۴	۴۵۵.۰	۲۵۴.۱	۱۶.۵	۰.۰	۴۱۹۸.۵	۰.۰	-۷۴.۵
شرق ایران	۸۴۷۰.۲	۴۳۸۳.۴	۲۳۲۸.۶	۰.۰	۰.۰	۱۵۱۸۲.۲	۱۱۴۰۶.۹	۹۸۷.۲	۱۸.۴	۱۷۸۷.۸	۱۱۳۱.۴	۲۳.۵	۳.۳	۱۵۳۵۸.۵	۰.۰	-۱۷۶.۲
قره قوم	۸۱۶۷.۲	۲۷۸۵.۵	۶۵.۶	۶۱.۷	۲۷۱.۶	۱۱۳۵۱.۶	۹۲۷۷.۸	۱۶.۲	۱.۰	۲۰۳۲.۸	۳۶۶.۶	۱۳.۲	۰.۰	۱۱۷۰۷.۶	۰.۰	-۳۵۶.۰
کل کشور	**۲۹۴۳۵۷.۷**	**۱۰۲۰۰۰.۲**	**۲۷۵۹.۶**	**۴۰۷.۰**	**۱۳۰۷.۴**	**۴۰۰۸۳۱.۸**	**۲۸۶۴۸۱.۰**	**۱۱۴۵۰.۰**	**۱۳۴۱.۱**	**۶۶۲۶۰.۶**	**۴۱۲۴۱.۲**	**۴۸۱.۰**	**۰.۰**	**۴۰۷۲۵۵.۰**	**-۵۶۴.۹**	**-۵۸۵۸.۳**

جدول ۲۳- بیلان عمومی منابع آب حوضه‌های آبریز درجه یک و درجه دو کشور طی دوره ۲۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ (ارقام برحسب میلیون مترمکعب) (بی‌نام ۱، ۱۴۰۴)

نام حوضه آبریز	ورودی					خروجی							تغییرات ذخیره	
	بارندگی		جریان سطحی ورودی	جریان زیرزمینی ورودی	آب‌های انتقالی به حوضه	جمع	تبخیر و تعرق				جریان سطحی خروجی	جریان زیرزمینی خروجی	آب‌های انتقالی به خارج حوضه	جمع	مخازن آب سطحی	مخازن آب زیرزمینی
	ارتفاعات	دشت					از بارندگی	از سطح آزاد آب	از سفره	مصرف خالص						
ارس	۱۲۲۴۵.۰	۱۹۶۵.۴	۱۰۶.۱	۰.۰	۱۲۳۳.۱	۱۵۵۴۹.۷	۱۲۲۱۲.۷	۵۲.۵	۱۲.۲	۲۱۳۰.۹	۹۷۹.۸	۸.۹	۱۷۶.۱	۱۵۵۷۳.۰	۰.۰	-۲۳.۳
تالش انزلی	۴۹۳۶.۷	۳۰۳۴.۱	۰.۰	۲۰.۶	۶۰۶.۴	۸۵۹۷.۷	۳۵۱۴.۸	۳۷.۲	۴۵.۹	۱۰۲۵.۰	۳۹۴۶.۲	۲۸.۶	۰.۰	۸۵۹۷.۷	۰.۰	۰.۰
سفیدرود بزرگ	۱۷۹۸۷.۳	۳۵۶۷.۴	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۲۱۵۵۴.۷	۱۵۵۹۰.۴	۱۱۴.۴	۲۹.۳	۲۶۸۳.۷	۱۹۷۴.۶	۲۲.۰	۱۲۱۸.۴	۲۱۶۳۲.۸	۶.۳	-۸۴.۴
سفیدرود تا هراز	۶۰۶۹.۷	۲۱۶۲.۰	۰.۰	۰.۰	۲۴۷.۰	۸۴۷۸.۷	۴۴۰۰.۳	۲۷.۶	۲۸.۹	۶۶۳.۱	۳۳۱۶.۴	۴۲.۸	۰.۰	۸۴۷۹.۱	۰.۰	-۰.۴
هراز تا قره سو	۷۴۹۵.۲	۳۳۲۲.۳	۶۲.۲	۰.۵	۰.۰	۱۰۸۸۰.۳	۷۲۱۰.۰	۲۳۸.۰	۴۸.۵	۲۰۸۷.۸	۱۱۲۵.۶	۸.۹	۱۷۴.۸	۱۰۸۹۳.۵	-۱۰.۹	-۲.۴
گرگان رود	۴۴۳۶.۲	۲۱۹۴.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۶۶۳۰.۲	۵۲۷۶.۷	۴۵.۴	۶۵.۰	۸۸۷.۱	۲۶۸.۹	۲.۱	۹۹.۷	۶۶۴۴.۹	۰.۰	-۱۴.۷
اترک	۶۶۴۰.۱	۱۵۲۷.۷	۸۵.۰	۰.۰	۹۹.۷	۸۳۵۲.۵	۷۲۸۱.۱	۵۳.۹	۳۰.۷	۸۳۹.۵	۱۶۸.۵	۰.۰	۰.۰	۸۳۷۳.۷	۰.۰	-۲۱.۲
دریای مازندران	۵۹۸۱۰.۲	۱۷۷۷۳.۰	۱۹۱.۱	۰.۰	۱۲۳۳.۱	۷۹۰۰۷.۳	۵۵۴۸۵.۹	۵۶۸.۹	۲۶۰.۶	۱۰۳۱۷.۰	۱۱۷۱۷.۸	۹۲.۱	۷۱۶.۰	۷۹۱۵۸.۵	-۴.۶	-۱۴۶.۵
مرزی غرب	۱۸۰۷۰.۶	۱۲۹۷.۲	۰.۰	۲۴۰.۰	۱۴۹.۶	۱۹۷۵۷.۴	۱۲۸۹۰.۵	۱۱۱.۱	۹.۵	۱۲۲۷.۶	۵۳۷۷.۸	۱.۴	۱۱۷.۶	۱۹۷۳۵.۶	۳۶.۹	-۱۵.۱
کرخه	۱۸۵۸۸.۰	۵۱۶۰.۲	۰.۰	۰.۱	۸۰۴.۳	۲۴۵۵۲.۶	۱۷۶۹۴.۷	۲۰۳۱.۳	۲۰۶.۳	۴۵۳۰.۲	۰.۰	۰.۰	۱۶۳.۴	۲۴۶۲۶.۰	۰.۰	-۷۳.۴
کارون بزرگ	۳۳۴۳۷.۵	۵۰۱۰.۲	۰.۰	۰.۰	۱۳.۶	۳۸۴۶۱.۳	۱۹۰۸۸.۱	۸۱۰.۲	۲۲۵.۶	۹۴۵۱.۳	۶۶۷۴.۷	۰.۰	۲۱۶۱.۲	۳۸۴۱۱.۱	۱۳۳.۳	-۸۳.۰
هندیجان جراحی	۱۱۶۳۱.۷	۳۶۸۷.۳	۰.۰	۰.۰	۶۳۴.۲	۱۵۹۵۳.۲	۹۸۸۹.۶	۱۲۳۹.۶	۹۵.۵	۲۳۹۳.۶	۲۲۴۸.۶	۰.۰	۹۷.۴	۱۵۹۶۴.۴	۰.۰	-۱۱.۲
حله و مسیل‌های دوطرف	۴۸۹۵.۰	۱۷۷۲.۳	۰.۰	۰.۰	۷۰.۳	۶۷۳۷.۶	۵۲۱۸.۵	۲۰۶.۹	۲۰.۴	۷۶۸.۷	۵۴۳.۲	۶.۳	۴.۱	۶۷۶۸.۱	۰.۰	-۳۰.۵
مند و حوضه‌های بسته هرم، کاریان و خنج	۱۰۹۵۴.۲	۲۶۰۰.۹	۰.۰	۰.۰	۱۰.۱	۱۳۵۶۵.۱	۱۰۷۲۷.۴	۲۱۲.۴	۵۵.۲	۱۸۹۲.۹	۷۸۶.۹	۰.۰	۱۴.۷	۱۳۶۸۹.۴	۳۳.۱	-۱۵۷.۴
کل و مهران	۸۸۹۱.۰	۲۷۲۸.۶	۰.۰	۰.۰	۹۰.۶	۱۱۷۱۰.۳	۱۰۰۴۴.۰	۱۲.۵	۴۱.۰	۱۳۳۲.۰	۴۸۴.۲	۲۵.۹	۰.۰	۱۱۹۳۹.۵	۰.۰	-۲۲۹.۲
بندرعباس سدیج	۵۷۷۴.۴	۱۲۸۲.۰	۰.۰	۰.۰	۳۹.۳	۷۰۹۵.۷	۵۳۶۸.۳	۶۵.۵	۴.۷	۹۹۶.۹	۷۹۲.۴	۲۸.۸	۰.۰	۷۲۵۶.۶	۰.۰	-۱۶۰.۹
بلوچستان جنوبی	۵۲۶۵.۴	۷۳۱.۰	۰.۰	۰.۰	۱۶.۰	۶۰۱۲.۴	۴۹۷۲.۸	۴۵.۴	۰.۰	۲۷۰.۵	۷۲۳.۱	۷.۷	۰.۰	۶۰۱۹.۵	۰.۰	-۷.۱
خلیج فارس و دریای عمان	۱۱۷۵۰۷.۷	۲۴۲۶۹.۷	۰.۰	۲۴۰.۱	۱۱۰.۱	۱۴۲۱۲۷.۷	۹۵۸۹۴.۰	۴۷۳۵.۰	۶۵۸.۱	۲۲۸۶۳.۶	۱۷۶۳۱.۰	۷۰.۰	۸۴۰.۵	۱۴۲۶۹۲.۲	۲۰۳.۳	-۷۶۸.۰

ادامه جدول ۲۳- بیلان عمومی منابع آب حوضه‌های آبریز درجه یک و درجه دو کشور طی دوره ۲۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ (ارقام برحسب میلیون مترمکعب)
(بی‌نام ۱، ۱٤۰٤)

نام حوضه آبریز	ورودی						خروجی								تغییرات ذخیره	
	بارندگی		جریان سطحی ورودی	جریان زیرزمینی ورودی	آب‌های انتقالی به حوضه	جمع	تبخیر و تعرق				جریان سطحی خروجی	جریان زیرزمینی خروجی	آب‌های انتقالی به خارج حوضه	جمع	مخازن آب سطحی	مخازن آب زیرزمینی
	ارتفاعات	دشت					از بارندگی	از سطح آزاد آب	از سفره	مصرف خالص						
دریاچه ارومیه	۱۴۵۶۲.۳	۳۸۷۱.۲	۱۹۹.۲	۶۷.۴	۰.۰	۱۸۷۰۰.۱	۱۳۶۰۴.۷	۳۱۵۰.۱	۸۱.۳	۲۹۹۵.۵	۱۷.۰	۰.۰	۰.۰	۱۹۸۴۸.۶	-۱۱۰۷.۸	-۴۰.۶
دریاچه نمک	۱۵۶۱۶.۴	۹۸۸۳.۸	۰.۰	۰.۰	۷۱۸.۰	۲۶۲۱۸.۲	۲۰۲۲۲.۱	۲۲۷.۶	۳۹.۱	۶۷۰۸.۹	۰.۰	۲۵.۰	۰.۰	۲۷۲۲۲.۷	۰.۰	-۱۰۰۴.۵
گاوخونی	۴۵۶۰.۷	۳۱۹۹.۲	۰.۰	۰.۰	۶۶۳.۶	۸۴۲۳.۵	۶۲۴۲.۹	۱۴۸.۶	۴۱.۲	۲۱۵۶.۵	۰.۰	۰.۰	۸۱.۶	۸۶۷۰.۹	-۱.۷	-۲۴۵.۴
مهارلو بختگان	۶۷۶۱.۵	۳۷۷۴.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۰۵۳۵.۴	۷۷۹۶.۶	۹۶۴.۱	۲۹.۸	۲۲۷۲.۴	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۱۰۶۲.۹	-۲۶۱.۰	-۲۶۶.۵
کویر ابرقو- سیرجان	۴۸۶۲.۴	۳۰۷۷.۷	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۷۹۴۰.۱	۷۲۵۶.۵	۱۲۰.۳	۰.۵	۷۷۵.۹	۰.۰	۰.۰	۱۵.۴	۸۱۶۸.۶	۰.۰	-۲۲۸.۵
هامون جازموریان	۷۴۲۶.۰	۳۱۴۸.۷	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۰۵۷۴.۷	۸۳۳۹.۸	۱۵۶.۴	۵۹.۴	۲۴۳۹.۸	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۰۹۹۵.۳	۰.۰	-۴۲۰.۷
کویر لوت	۱۰۳۴۴.۲	۵۱۲۰.۲	۰.۰	۰.۰	۵.۷	۱۵۴۷۰.۰	۱۴۳۷۳.۴	۱۵۷.۹	۵۸.۷	۱۱۳۱.۷	۰.۰	۰.۰	۱۰.۸	۱۵۷۳۲.۵	۰.۰	-۲۶۲.۵
کویر مرکزی	۱۸۳۱۳.۶	۱۱۱۵۵.۴	۰.۰	۲۵.۰	۱۶.۲	۲۹۵۱۰.۳	۲۷۱۲۵.۶	۱۰۵.۰	۱۳.۱	۳۲۴۴.۷	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۳۰۴۸۸.۳	۰.۰	-۹۷۸.۰
کویرهای سیاهکوه، ریگ زرین و دق سرخ	۲۸۰۵.۶	۱۵۳۲.۵	۰.۰	۰.۰	۶۶.۴	۴۴۰۴.۵	۴۰۳۸.۱	۶۰.۶	۴۲.۴	۴۰۷.۷	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۴۵۴۸.۷	۰.۰	-۱۴۴.۳
درانجیر و ساغند	۴۳۶۰.۰	۲۱۴۳.۳	۰.۰	۰.۰	۲۶.۶	۶۵۲۹.۹	۵۸۴۹.۰	۵۴.۷	۰.۲	۱۰۳۹.۸	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۶۹۴۳.۷	۰.۰	-۴۱۳.۸
فلات مرکزی	۷۵۰۵۰.۴	۴۳۰۳۴.۸	۰.۰	۰.۰	۱۳۸۹.۰	۱۱۹۴۷۴.۱	۱۰۱۲۴۴.۰	۱۹۹۵.۰	۲۸۴.۵	۲۰۱۷۷.۴	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۲۳۷۰۱.۰	-۲۶۲.۷	-۳۹۶۴.۱
نمکزار خواف - دق پترگان	۲۴۲۸.۳	۱۶۷۲.۰	۰.۱	۰.۰	۰.۰	۴۱۰۰.۴	۳۸۱۶.۴	۲۴.۳	۱.۴	۳۵۰.۰	۳.۱	۱.۵	۳.۳	۴۲۰۰.۰	۰.۰	-۹۹.۷
هامون هیرمند	۱۷۵۰.۱	۹۲۷.۸	۱۳۹۹.۰	۰.۰	۰.۰	۴۰۷۶.۹	۲۵۶۰.۰	۱۲۴۲.۵	۰.۵	۲۶۳.۴	۱۸.۹	۰.۰	۵.۴	۴۰۹۰.۷	۰.۰	-۱۳.۹
هامون ماشکیل	۲۵۳۲.۲	۷۱۶.۴	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۳۲۴۸.۶	۲۹۳۷.۰	۱۰.۷	۰.۸	۳۰۴.۵	۷۹.۰	۴.۵	۰.۰	۳۳۳۶.۴	۰.۰	-۸۷.۸
شرق ایران	۶۷۱۰.۵	۳۳۱۶.۲	۱۳۹۹.۱	۰.۰	۰.۰	۱۱۴۲۵.۸	۹۳۱۳.۴	۱۲۷۷.۵	۲.۷	۹۱۷.۹	۱۰۱.۰	۶.۰	۸.۷	۱۱۶۲۷.۲	۰.۰	-۲۰۱.۴
قره قوم	۷۶۰۱.۰	۲۵۱۹.۵	۰.۰	۳۱.۰	۱۱۲.۴	۱۰۲۶۳.۹	۸۷۸۲.۳	۳.۱	۰.۰	۱۶۳۱.۵	۱۸۸.۸	۳.۱	۰.۰	۱۰۶۰۸.۹	۰.۰	-۳۴۵.۰
کل کشور	**۲۸۱۲۴۲.۱**	**۹۴۷۸۴.۴**	**۱۷۸۹.۴**	**۳۳۸.۳**	**۱۴۵۵.۷**	**۳۷۹۶۰۹.۹**	**۲۸۴۳۲۴.۵**	**۱۱۷۲۹.۶**	**۱۲۸۷.۲**	**۵۸۹۰۲.۹**	**۲۹۶۵۵.۶**	**۱۷۱.۲**	**۱۷۶.۱**	**۳۸۶۲۴۷.۲**	**-۱۱۷۱.۸**	**-۵۴۶۵.۵**

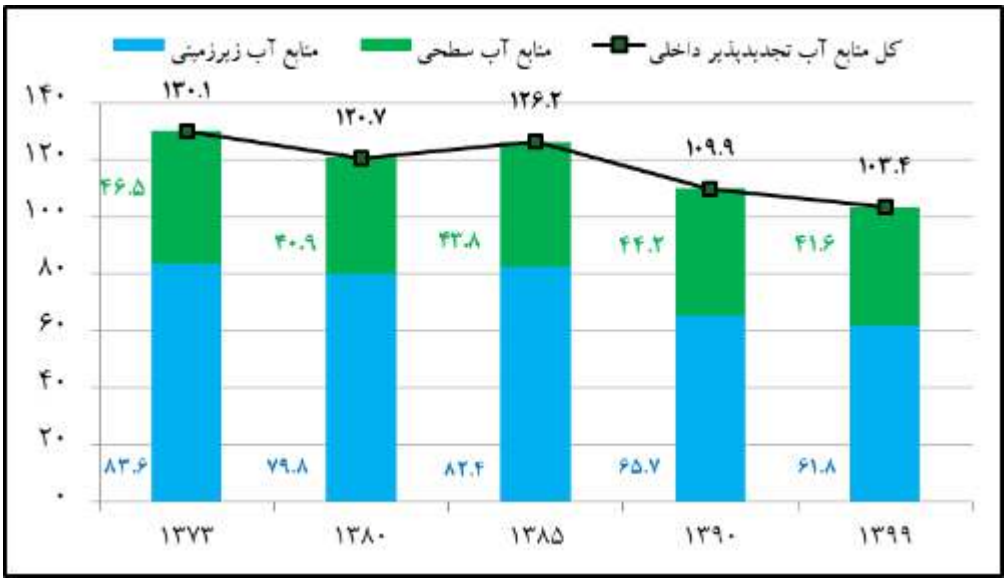
نظر به عدم اندازه‌گیری‌های دقیق و مستقیم، برآورد دقیق آب مصرفی کشاورزی چالش مهم و مورد اختلاف بین دستگاه‌های اجرایی وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی محسوب می‌شود. عدم لحاظ تلفات انتقال از محل رهاسازی سدها در طول کانال‌های آبیاری، عدم اندازه‌گیری حجمی در نقاط تحویل آب آبیاری، نیاز به کسر تبخیر و تعرق از سطح گیاه و کسر آب برگشتی و نفوذ از حجم آب تحویلی کشاورزی، تفاوت در مفاهیم برداشت و مصرف به ترتیب در ارقام ادعایی وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی، از مهم‌ترین دلایل عدم برآورد دقیق مصارف واقعی آب کشاورزی است. بر اساس نتایج آماربرداری دور دوم منابع و مصارف کشور و چرخه آب کشور منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ (شکل ۹۱)، از حدود ۹۸/۱ میلیارد مترمکعب برداشت آب کشور، حدود ۳۱/۸ میلیارد مترمکعب به صورت‌های مختلف به چرخه هیدرولوژیکی باز می‌گردد. با فرض اینکه بخش صنعت تمامی آب برداشت‌شده معادل ۱/۸ میلیارد مترمکعب را مصرف نموده و بخش‌های شرب و بهداشت آبی مصرف ننموده و تنها آن را آلوده می‌کند، سهم آب برگشتی بخش کشاورزی به چرخه هیدرولوژیکی حدود ۲۳/۴ میلیارد مترمکعب بوده و میزان آب مصرفی واقعی این بخش حدود ۶۴/۵ میلیارد مترمکعب می‌شود. طی یک مطالعه، آب مصرفی کشاورزی بر اساس مفهوم تبخیر و تعرق واقعی، برآورد گردیده است. این مطالعه می‌افزاید آب مصرفی کشاورزی متفاوت از آب آبیاری تحویلی به کشاورزان و یا آب آبیاری برداشتی از شبکه‌های آبیاری و منابع آب زیرزمینی و سایر منابع توسط کشاورزان بوده و تنها شامل بخشی از آب تحویلی یا برداشتی است که صرف تبخیر و تعرق واقعی شده، از دسترس خارج گردیده و امکان استفاده مجدد از آن نیست. طی این مطالعه با استفاده از داده‌های تبخیر و تعرق واقعی در دسترس در پایگاه WaPOR تحت نظارت فائو با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متری و دوره‌های زمانی سالانه و ۱۰ روزه، میزان تبخیر و تعرق واقعی کشور در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۹ برآورد شده است. بر اساس نتایج این مطالعه، حجم آب مصرفی تبخیر و تعرق واقعی در کل کشور در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ حدود ۲۹/۲۲ میلیارد مترمکعب است که از این میزان به ترتیب حدود ۲۱/۰۶ و ۸/۱۶ میلیارد مترمکعب مربوط به کاربری‌های زراعی و باغی است. با احتساب حدود ۲ میلیارد مترمکعب مصرف برای گلخانه، دام، طیور و شیلات، این رقم حدود ۳۱/۲۲ میلیارد مترمکعب خواهد بود. این برآورد از مصرف آب کشاورزی، اختلاف قابل‌توجهی با ارقام فوق‌الذکر مستخرج از گزارش بیلان منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ منابع و مصارف آب کشور داشته که نیازمند حدود ۲۱/۰۶ و ۸/۱۶ میلیارد مترمکعب مربوط به کاربری‌های زراعی و باغی است. با احتساب حدود ۲ میلیارد مترمکعب مصرف برای گلخانه، دام، طیور و شیلات، این رقم حدود ۳۱/۲۲ میلیارد مترمکعب خواهد بود. این برآورد از مصرف آب کشاورزی، اختلاف قابل‌توجهی با ارقام فوق‌الذکر مستخرج از گزارش بیلان منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ منابع

و مصارف آب کشور داشته که نیازمند تعیین تکلیف است (دهقانی سانیچ و همکاران، ۱۴۰۰). این موضوع ضرورت وجود یک شورای فرادستگاهی حاکمیتی برای حل اختلافات فوق و اعلام ارقام واحد بیلان آب، تبیین می‌نماید (بی‌نام ۲، ۱۴۰۲).

۹- منابع آب تجدیدپذیر کشور

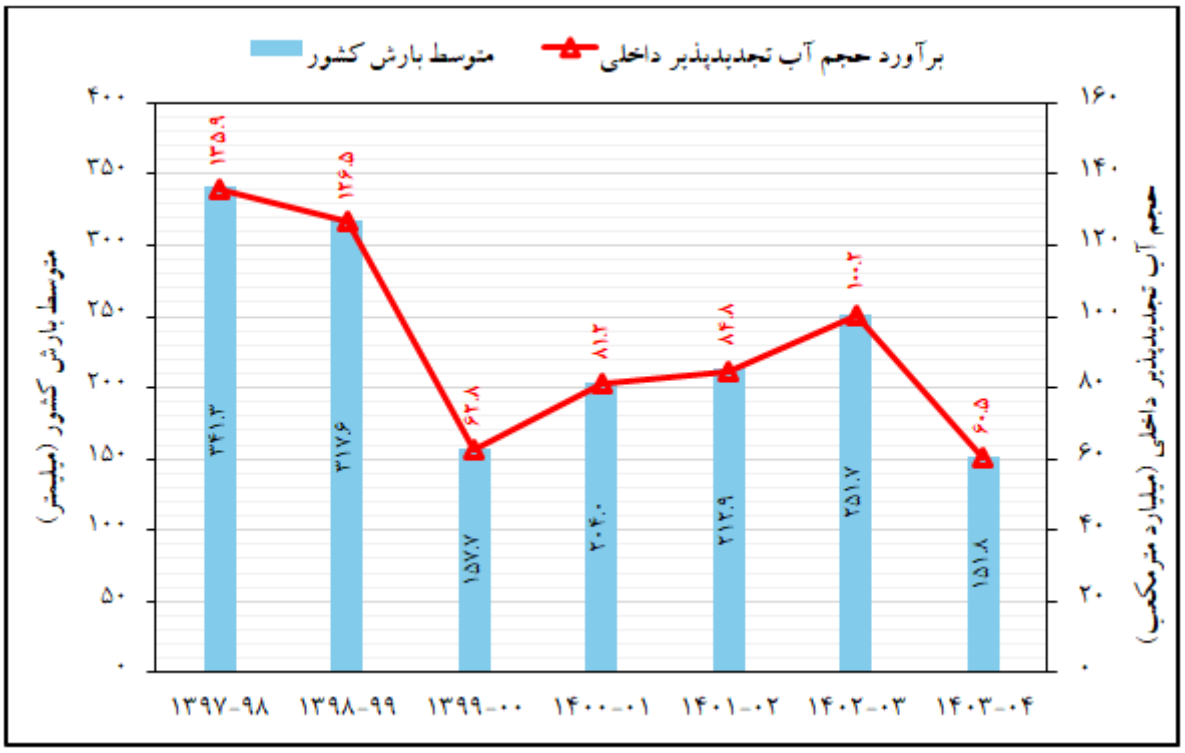
آب تجدیدپذیر، منابع آب شیرین یک کشور است که پس از کسر تبخیر و تعرق واقعی از میزان بارش سالانه تعیین می‌شود. در یک حوضه آبریز پایدار لازم است آب قابل‌برنامه‌ریزی برای مدیریت سقف مصرف و تقاضای آب به‌عنوان درصدی از آب تجدیدپذیر، لحاظ شود. بر اساس استانداردهای بین‌المللی، آب قابل‌برنامه‌ریزی به میزان حدود ۴۰ درصد آب تجدیدپذیر لحاظ شود تا ضمن تاب‌آوری در برابر خشک‌سالی، به حفظ اکوسیستم و توسعه پایدار بر مبنای توان اکولوژیک کمک نماید.

شکل ۹۲ تغییرات میزان آب تجدیدپذیر کشور را طی سال‌های مختلف نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود میزان منابع آب تجدیدپذیر کشور از حدود ۱۳۰ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۷۳ به حدود ۱۰۹/۹ میلیارد مترمکعب در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ (بر اساس بیلان منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹) کاهش‌یافته است. با لحاظ دوره خشک‌سالی سال‌های آبی اخیر و پس از سال آبی ۸۶-۱۳۸۵، حجم منابع آب تجدیدپذیر کشور حدود ۱۰۳/۴ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود که کاهشی حدود ۲۱ درصدی نسبت به اوایل دهه هفتاد را نشان می‌دهد (بی‌نام ۲، ۱۴۰۰).



شکل ۹۲- تغییرات منابع آب تجدیدپذیر (داخلی) سطحی و زیرزمینی کشور در سال‌های مختلف (ارقام برحسب میلیارد مترمکعب) (بی‌نام ۲، ۱۴۰۰)

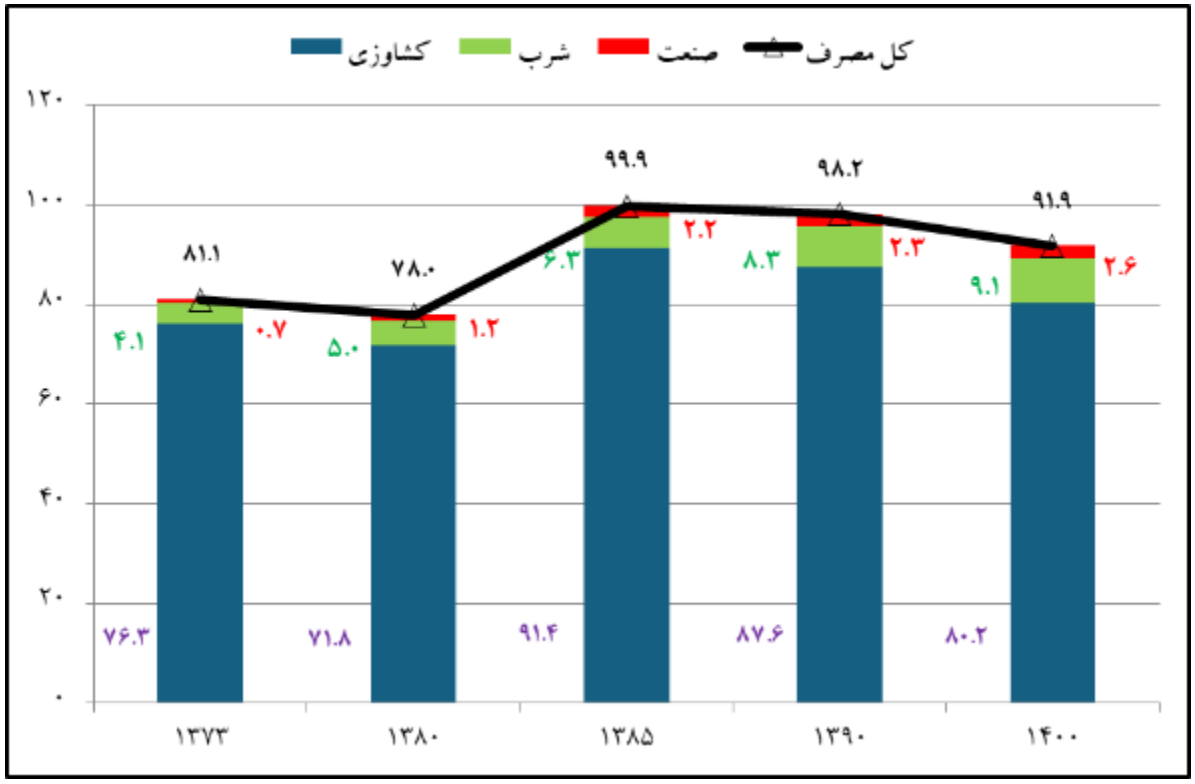
بر اساس بیلان دوره ۲۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷، حجم آب تجدیدپذیر داخلی کشور در این دوره به حدود ۹۱/۷ میلیارد مترمکعب کاهش یافته و نسبت حجم تبخیر و تعرق واقعی از کل بارش‌ها به حدود ۷۵/۶ درصد افزایش یافته است (بی‌نام ۱، ۱۴۰۴). با لحاظ متوسط بارش کشور در سال‌های آبی مختلف و کاربرد این نسبت‌ها، برآورد حجم آب تجدیدپذیرداخلی در این سال‌ها ممکن است. شکل ۹۳، متوسط بارش و برآورد حجم آب تجدیدپذیر داخلی در سال‌های آبی اخیر بر اساس روش فوق را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد حجم آب تجدیدپذیر داخلی از ۱۳۶ میلیارد مترمکعب در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ به حدود ۶۰/۵ میلیارد مترمکعب در سال آبی ۰۴-۱۴۰۳ کاهش یافته است.



شکل ۹۳- برآورد حجم آب تجدیدپذیر داخلی در سال‌های آبی اخیر

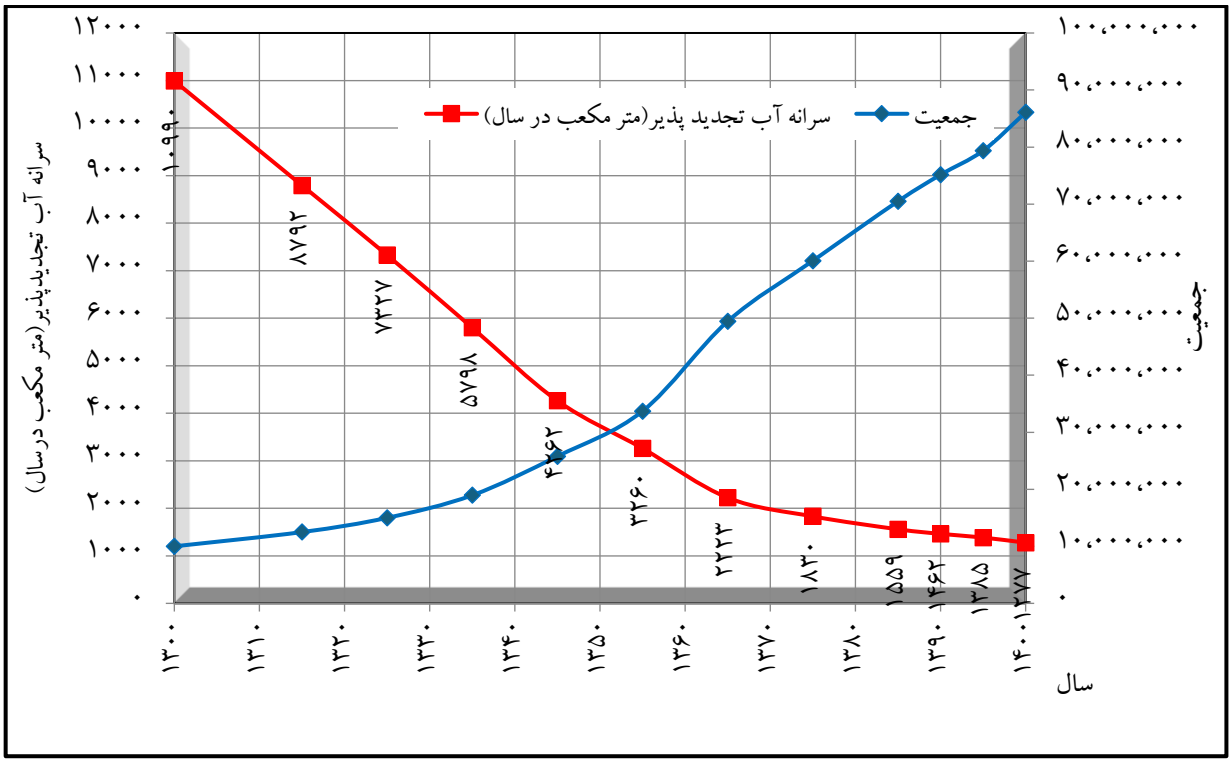
از شکل ۹۴ ملاحظه می‌شود میزان مصارف آب کشور از حدود ۸۱ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۷۳ به حدود ۹۸ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۰ و به حدود ۹۱/۹ میلیارد مترمکعب در سال ۱۴۰۰ بر اساس اطلاعات آماربرداری منابع و مصارف دور سوم، افزایش‌یافته است (بی‌نام ۲، ۱۴۰۰ و بی‌نام ۱، ۱۴۰۲). از شکل (۹۴) ملاحظه می‌شود حدود ۱۰۰ درصد آب تجدیدپذیر کشور مصرف‌شده که بیش از دو برابر شاخص گروه پایدار سازمان ملل (حدود ۴۰ درصد) است. کاهش حجم آب تجدیدپذیر داخلی درنتیجه کاهش بارندگی و عدم‌تغییر

در مصارف متناسب با کاهش بارندگی، برداشت از ذخایر استاتیک آب‌های زیرزمینی را سبب می‌گردد. حدود ۸۷ درصد مصارف آب کشور در بخش کشاورزی است که بیشتر از متوسط جهانی این نسبت (حدود ۷۰ درصد) است. براین‌اساس لازم است توسعه در بخش کشاورزی محدود گردیده و ضمن افزایش ارتقاء و بهره‌وری در این بخش، مدیریت منابع آبی صرفاً برای تقویت منابع غذایی در محصولات اساسی کشاورزی، موردتوجه قرار گیرد.



شکل ۹۴- تغییرات میزان مصارف آب کشور در سال‌های مختلف (ارقام برحسب میلیارد مترمکعب) (بی‌نام ۲، ۱۴۰۰ و بی‌نام ۱، ۱۴۰۲)

شکل ۹۵ روند افزایش جمعیت و کاهش سرانه آب تجدیدپذیر تولیدشده در داخل کشور طی قرن اخیر نشان می‌دهد. این نمودار بر اساس حجم آب تجدیدپذیر مطالعات بیلان منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ با حجم (۱۰۹/۹ میلیارد مترمکعب) تولیدشده است و در حال حاضر آب تجدیدپذیر کمتر از این مقدار است. طی چهار دهه گذشته، سرانه آب تجدیدپذیر کشور، یک‌سوم شده است. با ادامه این روند و افزایش جمعیت به ۱۰۶ میلیون نفر در سال ۱۴۲۰، پیش‌بینی می‌شود سرانه آب تجدیدپذیر کشور به حدود ۹۷۶ مترمکعب در سال کاهش یابد که بر اساس شاخص فالکن مارک به معنای عبور کشور از شرایط فعلی (تنش آبی) به شرایط بحران آبی در سال ۱۴۲۰ است.

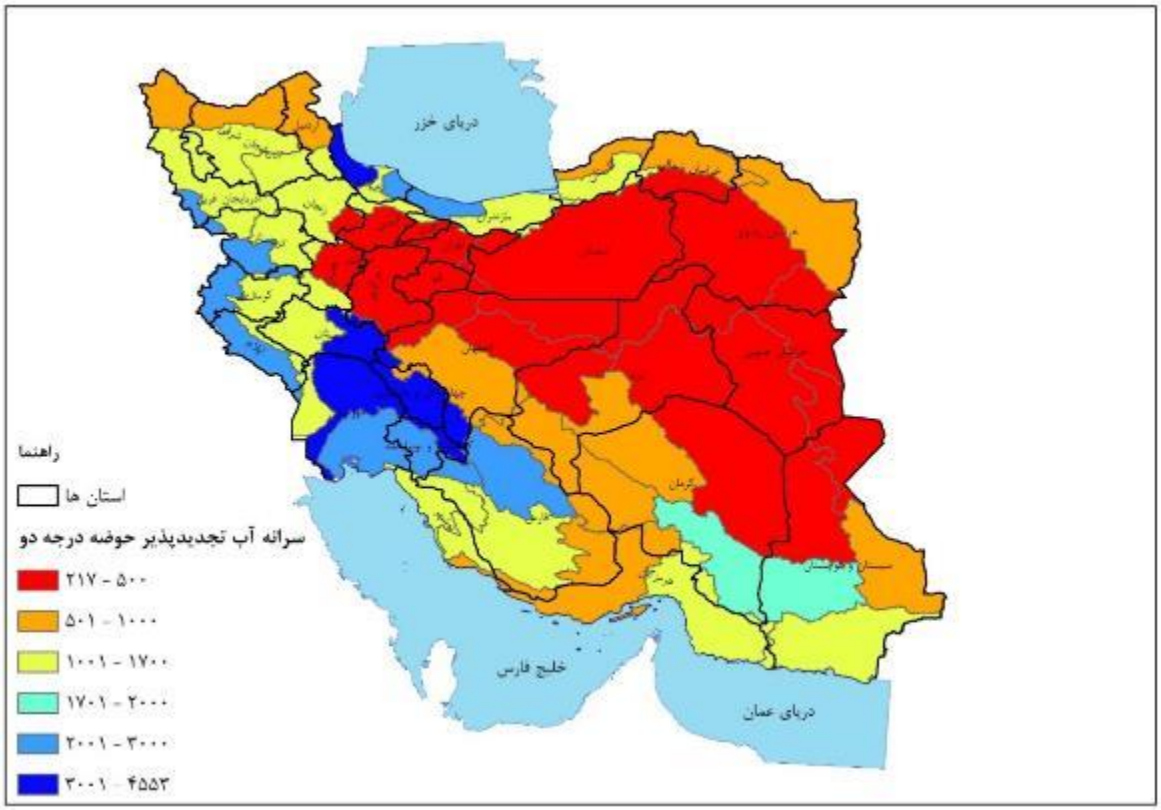


شکل ۹۵- تغییرات سرانه آب تجدیدپذیر و جمعیت کشور در یک قرن اخیر

علاوه بر افزایش جمعیت، تغییرات اقلیمی نیز بر تغییر سرانه آب تجدیدپذیر کشور مؤثر است. با کاهش حجم آب تجدد پذیر کشور به حدود ۶۰/۵ میلیارد مترمکعب طی سال آبی ۰۴-۱۴۰۳، سرانه آب تجدیدپذیر کشور حدود ۷۰۳ مترمکعب در حال حاضر برآورد می گردد.

به دلیل تنوع شرایط اقلیمی و غیریکنواختی در توزیع بارش‌ها در سطح کشور از یک‌سو و توزیع غیریکنواخت جمعیت از سوی دیگر، سرانه آب تجدیدپذیر در استان‌ها و حوضه‌های آبریز کشور، متفاوت است. شکل ۹۶ پهنه سرانه آب تجدیدپذیر داخلی به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه دو را نشان می‌دهد. از این شکل حدود سرانه آب تجدیدپذیر استان‌های کشور نیز قابل برآورد است. جدول ۲۴ نیز مقادیر سرانه آب تجدیدپذیر داخلی و درصد مساحت متناظر با حوضه‌های آبریز درجه دو و درجه یک از مساحت کل کشور را نشان می‌دهد. محاسبات با لحاظ مقادیر حجم آب تجدیدپذیر داخلی منتج از بیلان ۲۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ و مقادیر جمعیت منتج از آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ انجام شده است. بر این اساس سرانه آب تجدیدپذیر داخلی در کشور حدود ۱۱۴۷ مترمکعب در سال برآورد می گردد. بااین‌حال ملاحظه می گردد حوضه‌های آبریز مختلف کشور ازنظر سرانه آب تجدیدپذیر بسیار متفاوت‌اند. شش حوضه آبریز درجه دو مشتمل بر دریاچه نمک، کویر لوت، کویر مرکزی، کویرسیاه‌کوه ریگ زرین، پترگان خواف، هامون هیرمند که حدود ۳۹/۶ درصد جمعیت کل کشور را تحت پوشش خود قرار می‌دهند دارای سرانه آب

تجدیدپذیر کمتر از ۵۰۰ مترمکعب در سال به ازای هر نفر می‌باشند که به معنای کمبود مطلق منابع آبی در این محدوده‌ها بر اساس شاخص فالکن مارک است. سرانه آب تجدیدپذیر در هشت حوضه آبریز درجه دو مشتمل بر ارس، اترک، کل مهران مسیل‌های جنوبی، گاوخونی، کویر ابرقو سیرجان، کویر درانجیر، هامون مشکیل و قره‌قوم با پوشش حدود ۱۶/۷ درصدی جمعیت کشور در بازه ۱۰۰۰-۵۰۰ مترمکعب در سال به ازای هر نفر می‌باشد که به معنای کمبود منابع آبی شدید در این محدوده‌ها بر اساس شاخص فالکن مارک است. حدود ۲۵/۹ درصد جمعیت کشور نیز در ۹ حوضه آبریز درجه دو (سفیدرود بزرگ، هراز قره‌سو، قره سوم گرگان، کرخه، حله‌رود و رودخانه‌های کوچک، مند کاریان خنج، بندرعباس سدیج، رودخانه‌های بلوچستان و دریاچه ارومیه) قرار دارند که سرانه آب تجدیدپذیر آن‌ها در بازه ۱۷۰۰-۱۰۰۰ مترمکعب در سال به ازای هر نفر می‌باشد و بر اساس شاخص فالکن مارک در شرایط تنش آبی قرار دارند. مشاهده می‌گردد تنها حدود ۱۷/۸ درصد از جمعیت کشور نظر سرانه آب تجدیدپذیر بیشتر از ۱۷۰۰ مترمکعب دارا می‌باشند و در یک وضعیت بدون تنش آبی طبقه‌بندی می‌گردند. کمترین سرانه آب تجدیدپذیر مربوط به حوضه آبریز کویر سیاه کوه/ ریگ زرین و بیشترین سرانه آب تجدیدپذیر مربوط به حوضه آبریز کارون بزرگ و در حدود ۲۱۷ و ۴۵۵۳ مترمکعب در سال به ازای هر نفر می‌باشد.



شکل ۹۶- پهنه سرانه آب تجدیدپذیر داخلی حوضه‌های آبریز درجه دو و استان‌ها (برحسب مترمکعب در سال)

جدول ۲۴- محاسبه سرانه حجم آب تجدیدپذیر داخلی حوضه‌های آبریز و کشور

کد حوضه	نام حوضه آبریز	جمعیت حوضه آبریز (نفر)	درصد جمعیت حوضه آبریز از جمعیت کل کشور	حجم آب تجدیدپذیرداخلی (میلیون مترمکعب)	سرانه حجم آب تجدیدپذیر (مترمکعب در سال)
۱۱	ارس	۳,۲۳۱,۱۵۳	۴.۰	۱,۹۹۸	۶۱۸
۱۲	تالش، مرداب انزلی	۱,۲۵۵,۵۰۰	۱.۶	۴,۴۵۶	۳,۵۴۹
۱۳	سفیدرود بزرگ	۴,۷۶۳,۵۲۶	۶.۰	۵,۹۶۴	۱,۲۵۲
۱۴	رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز	۱,۶۳۹,۲۳۵	۲.۱	۳,۸۳۱	۲,۳۳۷
۱۵	هراز و قره‌سو	۲,۵۸۳,۶۷۷	۳.۲	۳,۶۰۸	۱,۳۹۶
۱۶	قره‌سو و گرگان	۱,۰۴۸,۰۱۷	۱.۳	۱,۳۵۳	۱,۲۹۱
۱۷	اترک	۱,۳۶۱,۲۶۳	۱.۷	۸۸۷	۶۵۱
۲۱	مرزی غرب	۲,۱۸۳,۴۴۶	۲.۷	۶,۴۷۷	۲,۹۶۷
۲۲	کرخه	۳,۵۶۵,۰۳۵	۴.۵	۶,۰۵۳	۱,۶۹۸
۲۳	کارون بزرگ	۴,۲۵۱,۷۲۷	۵.۳	۱۹,۳۶۰	۴,۵۵۳
۲۴	جراحی و زهره	۲,۵۴۵,۲۶۴	۳.۲	۵,۴۲۹	۲,۱۳۳
۲۵	حله رود و رودخانه‌های کوچک	۹۹۲,۳۰۹	۱.۲	۱,۴۴۹	۱,۴۶۰
۲۶	مند، کاریان و خنج	۱,۹۹۲,۷۶۴	۲.۵	۲,۸۲۸	۱,۴۱۹
۲۷	کل، مهران و مسیل‌های جنوبی	۱,۹۱۵,۱۱۸	۲.۴	۱,۵۷۶	۸۲۳
۲۸	بندرعباس، سدیج	۱,۰۶۷,۱۷۴	۱.۳	۱,۶۸۸	۱,۵۸۲
۲۹	رودخانه‌های بلوچستان	۷۶۸,۶۹۳	۱.۰	۱,۰۲۴	۱,۳۳۲
۳۰	دریاچه ارومیه	۳,۹۳۰,۴۰۹	۴.۹	۴,۸۲۹	۱,۲۲۹
۴۱	دریاچه نمک	۱۶,۱۶۴,۲۷۸	۲۰.۲	۵,۲۷۸	۳۲۷
۴۲	گاوخونی	۱,۹۴۱,۳۲۷	۲.۴	۱,۵۱۷	۷۸۱
۴۳	طشک، بختگان و مهارلو	۱,۲۴۶,۰۵۵	۱.۶	۲,۷۳۹	۲,۱۹۸
۴۴	کویر ابرقو، سیرجان	۱,۱۵۹,۸۰۲	۱.۵	۶۸۴	۵۸۹
۴۵	هامون، جازموریان	۱,۱۵۵,۴۸۶	۱.۴	۲,۲۳۵	۱,۹۳۴
۴۶	کویر لوت	۲,۷۰۲,۷۷۰	۳.۴	۱,۰۹۱	۴۰۴
۴۷	کویر مرکزی	۱۰,۰۹۴,۶۲۸	۱۲.۶	۲,۳۴۳	۲۳۲
۴۸	کویر سیاهکوه، ریگ زرین	۱,۳۸۳,۲۲۲	۱.۷	۳۰۰	۲۱۷
۴۹	کویر درانجیر	۷۴۵,۷۵۴	۰.۹	۶۵۴	۸۷۷
۵۱	پترگان، خواف	۸۴۲,۳۹۵	۱.۱	۲۸۴	۳۳۷
۵۲	هامون، هیرمند	۴۲۶,۱۶۴	۰.۵	۱۱۸	۲۷۷
۵۳	هامون، مشکیل	۵۶۹,۶۵۶	۰.۷	۳۱۲	۵۴۷
۶۰	قره‌قوم	۲,۴۰۰,۴۲۵	۳.۰	۱,۳۳۸	۵۵۷
۱	دریای خزر	۱۵,۸۸۲,۳۷۲	۱۹.۹	۲۲,۰۹۷	۱,۳۹۱
۲	خلیج فارس و دریای عمان	۱۹,۲۸۱,۵۲۹	۲۴.۱	۴۵,۸۸۳	۲,۳۸۰
۳	دریاچه ارومیه	۳,۹۳۰,۴۰۹	۴.۹	۴,۸۲۹	۱,۲۲۹
۴	فلات مرکزی	۳۶,۵۹۳,۳۲۱	۴۵.۸	۱۶,۸۴۱	۴۶۰
۵	مرزی شرق	۱,۸۳۸,۲۱۵	۲.۳	۷۱۳	۳۸۸
۶	قره‌قوم	۲,۴۰۰,۴۲۵	۳.۰	۱,۳۳۸	۵۵۷
	کل کشور	**۷۹,۹۲۶,۲۷۰**	**۱۰۰**	**۹۱,۷۰۲**	**۱,۱۴۷**

۱۰- آب قابل‌برنامه‌ریزی کشور

آب قابل‌برنامه‌ریزی، متشکل از مجموع برداشت‌های مستقیم، حجم آب تنظیمی طرح‌های توسعه منابع آب در شـرایط فعلی (طرح‌های در دسـت بهره‌برداری) و شـرایط آتی (طرح‌های مطالعاتی و اجرایی که مجوز تخصیص خواهند گرفت) اطلاق می‌شود. جدول ۲۵، مقادیر آب قابل‌برنامه‌ریزی کشور برای مصارف مختلف از منابع آب‌های سـطحی و زیرزمینی را نشـان می‌دهد. جدول ۲۶ نیز مقادیر آب قابل‌برنامه‌ریزی کشـور را با مصارف فعلی آب بر مبنای اطلاعات آماربرداری منابع و مصارف دور سوم، مقایسه می‌نماید. این مقایسه نشان می‌دهد برای رسیدن به شرایط تعادل لازم است حدود ۱۰/۴۵ میلیارد مترمکعب از سرجمع مصارف کاهش یابد. در این زمینه با اجرای سیاست‌های مدیریت مصرف و اجرای مصوبات برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی، کاهش حدود ۱۲/۵ میلیارد مترمکعبی مصرف در بخش کشاورزی، اولویت دارد. در بلندمدت نیز لازم است مصارف آب به کمتر از ۶۰ درصد آب تجدیدپذیر کاهش‌یافته که این مستلزم تحول جدی در مدیریت منابع آبی کشور و بخصوص بخش کشاورزی با تأکید بر ارتقاء بهره‌وری و مدیریت تقاضاست (بی‌نام ۲، ۱۴۰۰).

جدول ۲۵- میزان آب قابل‌برنامه‌ریزی کشور برای مصارف مختلف (میلیارد مترمکعب)

کشاورزی		فضای سبز		شرب		صنعت		مجموع	
زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی	سطحی
۳۰/۲	۳۷	۰/۴۳	۰/۱۲	۳/۳	۶/۷	۱/۱	۲/۶	۳۵/۱	۴۶/۴
۶۷/۲		۰/۵۵		۱۰		۳/۷		۸۱/۴۵	

جدول ۲۶- مقایسه آب قابل‌برنامه‌ریزی کشور و مصارف فعلی بر اساس آماربرداری دور سوم (میلیارد مترمکعب)

عنوان	کشاورزی و فضای سبز	شرب	صنعت	مجموع
آب قابل‌برنامه‌ریزی	۶۷/۷۵	۱۰	۳/۷	۸۱/۴۵
مصرف فعلی	۸۰/۲۲	۹/۰۶	۲/۶۳	۹۱/۹
میزان کاهش یا افزایش مصارف نسبت به آب قابل‌برنامه‌ریزی	+۱۲/۴۷	-۰/۹۴	-۱/۰۷	+۱۰/۴۵

ناترازی آب قابل‌برنامه‌ریزی و مصارف فعلی آب کشور، لزوم مدیریت تقاضا و صرفه‌جویی در بخش‌های مختلف شـرب، صـنعت، کشـاورزی و عوامل مؤثر بر کاهش تقاضـا در هر بخش را تبیین می‌نماید. در بخش کشـاورزی با توجه به سـهم زیاد آن از منابع آب تجدیدپذیر، باید مدیریت بهینه مصـارف آب کشـاورزی

موردتوجه قرار گیرد. در بخش شرب شهری نیز اگرچه حداقل سرانه آب مصرفی برای حفظ بهداشت و سلامت جامعه ۹۹ لیتر در شبانه‌روز توسط سازمان ملل متحد تعیین‌شده است (United Nations, 1976)، ولی الگوی برنامه سوم توسعه کشور این میزان را حدود ۱۵۰ لیتر در شبانه‌روز لحاظ نموده است. آمارها نشان می‌دهد که در شهر تهران و برای نمونه، سرانه مصرف آب شرب شهری بیشتر است. از سوی دیگر بررسی‌ها نشان می‌دهد مصرف سرانه آب در شهر تهران بیشتر از شهرهای مشابه در جهان است (صدر، ۱۳۷۳). موضوع مهم دیگر، لزوم کاهش آب به‌حساب نیامده و تلفاتی آب در خطوط انتقال آب شرب شهری است. آب به‌حساب نیامده به میزان آبی گفته می‌شود که به دلایل مختلف نظیر قرائت غلط کنتور یا خطای کارکرد کنتور، انشعاب‌های غیرمجاز، نشست در شبکه ناشی از پوسیدگی خطوط انتقال، به‌عنوان تلفات لحاظ می‌شود. بر اساس آمارهای موجود، تلفات آبی در شبکه‌های آب شرب شهری کشور به‌طور متوسط حدود ۲۸ درصد برآورد می‌شود. این میزان در کشورهای چین، سنگاپور، آلمان، ژاپن، اسپانیا و ایتالیا حدود ۱۵-۷ درصد است (حبیبی، ۱۳۷۸). کاهش تلفات انتقال آب، اصلاح سیستم لوله‌کشی منازل، استفاده از قطعات و وسایل کاهنده مصرف، نرخ‌گذاری واقعی آب، آموزش و اطلاع‌رسانی ازجمله راهکارهای مؤثر در کاهش تقاضای آب شرب شهری است.

۱۱- شاخص‌های مدیریت مصرف آب کشاورزی در کشور

۱۱-۱- راندمان‌های آبیاری کشور[1]

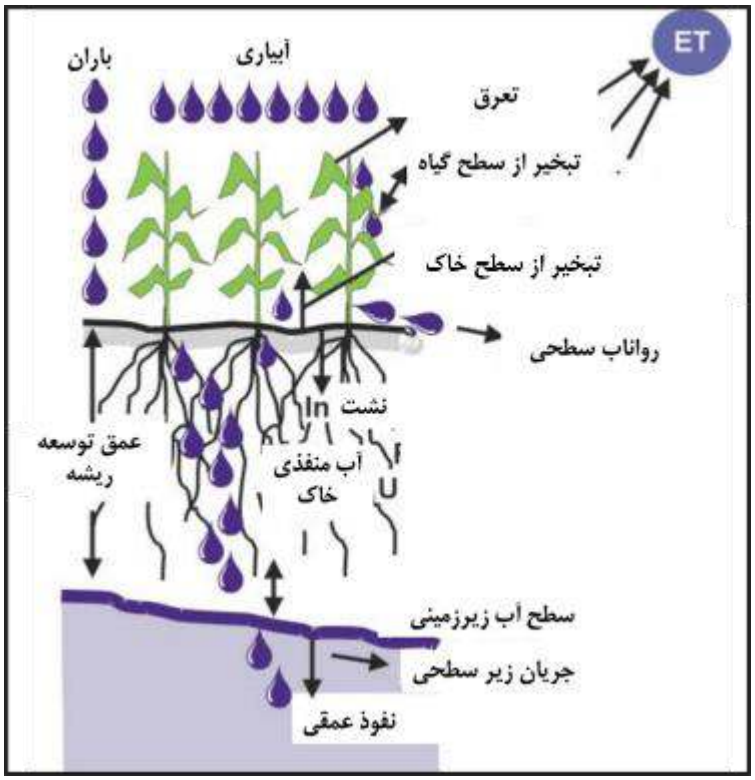
کشاورزی آبی بخش مهمی از تاریخ، فرهنگ، اقتصاد و رکن اصلی امنیت غذایی ایران است. همانند اکثر کشورهای دنیا در ایران نیز به‌طور طبیعی بخش زیادی از آب تجدیدپذیر در بخش کشاورزی برای آبیاری مزارع و باغات در تولید محصولات کشاورزی و تأمین غذای جمعیت روزافزون کشور مصرف می‌شود. ازاین‌رو، هرگونه اقدامات اصلاحی در روش‌های آبیاری و بهبود مدیریت مصرف آب، نقش بسیار مهمی در پایداری کشاورزی و در دسترس بودن آب تأثیر خواهد داشت. راندمان آبیاری شاخص مهمی برای ارزیابی و تعیین عملکرد و کارایی روش‌های آبیاری ازنظر تأمین آب موردنیاز برای آبیاری یک واحد زراعی، مزرعه، حوضه، ناحیه آبیاری یا کل حوضه نسبت به آب در دسترس است. ارزش این شاخص و چگونگی تعریف و تفسیر در کشاورزی آبی از منظر اجتماعی به دلیل نقش آن در امنیت غذایی و پاسخگویی به جمعیت رو به رشد جهان بسیار مهم است.

[1] اقتباس از «عباسی و عباسی (۱۴۰۲)»

۲-۱۱ مبانی و تعاریف اولیه

به‌طورکلی راندمان به توانایی یک تلاش خاص برای ایجاد یک نتیجه خاص با حداقل مقدار تلفات، هزینه یا تلاش غیرضروری اطلاق می‌شود. در بسیاری از عرصه‌ها نظیر؛ فعالیت‌های اقتصادی، کارکرد ماشین‌آلات و فرایندهای صنعتی، افزایش راندمان به‌عنوان یک هدف دنبال می‌شود. در مهندسی کشاورزی نیز مفهوم راندمان آبیاری که با نسبت آب مصرف‌شده توسط محصولات کشاورزی به آب منحرف‌شده تعریف می‌شود، در طراحی و ارزیابی پروژه‌های آبیاری، پذیرفته‌شده است. به‌عنوان‌مثال اگر در یک مزرعه یا پروژه ۵۰ درصد آب منحرف‌شده توسط محصول مصرف شود، راندمان آبیاری ۵۰ درصد خواهد بود. مقدار آبی که از محل انحراف تا مصرف توسط گیاه از دسترس خارج می‌شود، ممکن است به شکل‌های مختلف در طول مسیر انتقال و توزیع و یا در داخل واحد زراعی باشد. راندمان کل به‌صورت ترکیبی از دو راندمان انتقال و توزیع (نسبت آب منحرف‌شده به سامانه انتقال و توزیع) و راندمان کاربرد (نسبت آب مصرفی گیاه به آب کاربردی در مزرعه) تعریف می‌شود (Lonsdale et al. 2020).

مؤلفه‌های مختلف آب آبیاری که در تعریف معیارهای مختلف عملکرد آبیاری و راندمان آبیاری نقش دارند در شکل ۹۷ ارائه‌شده است. در این بررسی‌ها معمولاً حجم آب برای اجزای مختلف آبیاری برحسب واحد عمق (حجم در واحد سطح) و یا به‌طور ساده حجم برای سطح مورد ارزیابی، لحاظ می‌شود.



شکل ۹۷- مؤلفه‌های مختلف انتقال آب برای توصیف راندمان آبیاری(عباسی و عباسی، ۱۴۰۲).

در تعریف دیگری «راندمان آبیاری» یک اصطلاح مهندسی پایه است که در علم آبیاری برای توصیف عملکرد آبیاری، ارزیابی مصرف آب آبیاری و ترویج استفاده بهتر از منابع آب، به‌ویژه منابع مورداستفاده در کشاورزی استفاده می‌شود. به‌عبارتی‌دیگر در تعریف راندمان آبیاری سه عامل؛ عملکرد سامانه آبیاری، یکنواختی مصرف آب و واکنش محصول به آبیاری دخیل هستند که هریک از این‌ها به هم مرتبط بوده و متأثر از مقیاس مکانی و زمانی هستند (Howell, 2003). مقیاس مکانی می‌تواند از یک ابزار کاربرد آب آبیاری منفرد (یک لوله آب‌شویه، یک لوله دریچه دار، یک آبپاش، یک قطره‌چکان) تا یک سامانه آبیاری (یک کرت، چند ردیف جویچه، یک خط آبپاش، یا یک لولهٔ فرعی آبیاری قطره‌ای) و یا در مقیاس‌های وسیع‌تر زمین شامل واحد زراعی، مزرعه، یک کانال آبیاری، یک منطقه آبیاری کامل، یک حوضه آبریز، یک رودخانه و یا یک آبخوان باشد. مقیاس زمانی نیز می‌تواند از کاربرد یک تک آبیاری (یا چند آبیاری)، بخشی از فصل زراعی (پیش‌کاشت، سبز شدن تا شکوفه یا گرده‌افشانی، یا تولیدمثل تا بلوغ)، فصل آبیاری تا فصل زراعی، یا یک سال کامل و یا بخشی از یک سال (فصل پیش از موسمی، تابستان و غیره)، یا یک سال آبی (معمولاً از ابتدای آب شدن برف بهاری تا پایان انحراف آبیاری، یا یک‌فصل بارانی یا موسمی)، یا یک دوره چندساله (خشکسالی یا ترسالی) باشد.

اخیراً فائو در رویکرد جدیدی موضوع صرفه‌جویی واقعی آب (REWAS) را مطرح نموده است که تعابیر به‌کاررفته برای اجزای بیلان آب در یک پروژه آبیاری متفاوت از مفاهیم سنتی آن است. در این رویکرد مصارف آب به دو بخش مفید و غیرمفید و جریان‌های برگشتی (رواناب سطحی و نفوذ عمقی) نیز به دو بخش قابل بازیافت و غیرقابل بازیافت تقسیم می‌شود. به‌عنوان‌مثال در دیدگاه سنتی راندمان آبیاری، زهکشی، رواناب و نفوذ به آب‌های زیرزمینی در بسیاری از موارد به‌عنوان «تلفات» تلقی می‌شود، درحالی‌که این آب توسط کاربران پایین‌دست استفاده می‌شود؛ بنابراین، این ادعا که کاهش زهکشی، رواناب و نفوذ در یک مزرعه باعث صرفه‌جویی در آب می‌شود نادرست است. چراکه استفاده مجدد در پایین‌دست باید در نظر گرفته شود. درواقع هدف اصلی REWAS ارزیابی سریع تأثیر عملیات بهبود مدیریت آب در مقیاس مزرعه بر صرفه‌جویی در مصرف آب در مقیاس حوضه است. به‌عبارتی‌دیگر ممکن است بخشی از آبی که در یک پروژه آبیاری به‌عنوان رواناب و یا نفوذ عمقی از دسترس خارج می‌شود، در مقیاس بزرگ‌تر از آن پروژه مورداستفاده بوده و تلفات محسوب نشود. شواهد و نتایج مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که در اکثر موارد صرفه‌جویی آشکار آب در مقیاس مزرعه، وقتی در مقیاس‌های بزرگ‌تر ارزیابی می‌شود، باعث افزایش مصرف آب می‌شود (Kaune et

al. 2020). برای مثال، نتایج مطالعه انجام‌شده در کشور نپال نشان داد که با کاهش مقدار آب کاربردی، ۷۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب حاصل‌شده است. با بررسی‌های بیشتر مشخص گردید این نتیجه‌گیری با واقعیت مطابقت ندارد. چراکه در آن مطالعه اصل ردیابی مؤلفه‌های آب به‌درستی انجام‌نشده و فرض بر این بوده است که تمام جریان‌های برگشتی، تلفات هستند. درحالی‌که در واقعیت ۸۰ درصد جریان‌های برگشتی توسط کاربران پایین‌دستی بازیابی می‌شوند (Jha et al. 2016).

در تفسیر استاندارد راندمان، منابعی که استفاده می‌شوند ولی به تولید کمک نمی‌کنند، تلفات یا هدر رفت محسوب می‌شوند و کاهش این تلفات، هدف اصلی بهبود راندمان است. چالش استفاده از این مفهوم برای ارزیابی مصرف آب آبیاری (یا حفظ آب) در مواردی است که سطح ارزیابی فراتر از مقیاس مزرعه است. آبی که به مزرعه تحویل داده نمی‌شود یا در تولید مصرف نمی‌شود، اغلب از بین نمی‌رود یا هدر نمی‌رود. بلکه به قسمت دیگری از حوضه منتقل می‌شود و از آن استفاده‌های دیگری مانند تغذیه مجدد سفره‌های زیرزمینی، ورود به جریان رودخانه و تأمین آب کشاورزی در اراضی پایین‌دست صورت گیرد. در این موارد، به حداکثر رساندن راندمان آبیاری ممکن است عواقب ناخواسته‌ای در سایر نقاط سامانه داشته باشد. ولی در شرایط دیگری نیز ممکن است آبی که توسط محصولات مصرف نمی‌شود، از سطح خاک تبخیر می‌شود، یا توسط گیاهان غیر زراعی مصرف می‌شود و یا به سمت تالاب‌های شور و یا محل‌هایی که غیرقابل‌دسترس هستند، منتقل شوند. در این موارد، به حداکثر رساندن راندمان با کاهش این‌گونه موارد ممکن است منجر به صرفه‌جویی در آب شود (Lonsdale et al. 2020).

به‌طورکلی می‌توان گفت یک تضاد جدی در خصوص مفهوم راندمان آبیاری وجود دارد. افزایش راندمان روش‌های آبیاری به‌واسطه کاهش جریان‌های برگشتی، یا تغییری در کاهش برداشت آب ایجاد نمی‌کند یا از طریق افزایش تبخیر و تعرق و سطح آبیاری، برداشت از منابع را افزایش می‌دهد. البته تفسیر دقیق این موضوع کمی دشوار است و اغلب با سایر مباحث هیدرولوژی آبیاری اشتباه گرفته می‌شود. ولی آنچه مسلم است این است که افزایش راندمان یکی از چندین راه افزایش سطح کشت آبی است. چراکه در سناریوهای افزایش راندمان بر نقش جریان‌های بازگشتی بیش‌ازحد تأکید می‌شود (Lankford, 2023). بااین‌حال فناوری‌های افزایش راندمان آبیاری و صرفه‌جویی آب در مزرعه به دلیل این‌که نقش مهمی بر اقتصاد آبیاری، مقدار آب موردنیاز برای آبیاری یک زمین خاص، یکنواختی مکانی محصول و عملکرد آن، مقدار آبی که ممکن است در زیر ناحیه ریشه گیاه نفوذ کند، مقدار آبی که می‌تواند به منابع آب سطحی برای مصارف پایین‌دست یا سفره‌های آب زیرزمینی که ممکن است سایر مصارف آب را تأمین کنند، همچنان به‌عنوان راهکاری برای مدیریت کمبود

آب در کشاورزی به کار گرفته می‌شوند (Kaune et al. 2020). در این راستا، تعیین راندمان سامانه‌های آبیاری موجود و ارزیابی نحوهٔ کار آن‌ها از مهم‌ترین و ضروری‌ترین اقدامات لازم برای تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی‌های مرتبط با مصرف بهینه آب، الگوی کشت و کاهش تلفات آب آبیاری است. ارزیابی راندمان آبیاری در کشورهای مختلف سابقه طولانی دارد و همواره موردتوجه سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان محلی بوده است.

۱۱-۳- سوابق و مستندات موجود

پژوهش‌های پراکندهٔ زیادی در خصوص راندمان آبیاری در نقاط مختلف کشور انجام شده است. این پژوهش‌ها در یک مطالعهٔ ملی و تحلیلی در بازهٔ زمانی ۲۵ ساله (۱۳۹۴-۱۳۷۰) توسط عباسی و همکاران جمع‌بندی و در قالب بانک داده راندمان‌های آبیاری ارائه‌شده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج این بانک داده راندمان‌های آبیاری نشان داد که راندمان کاربرد آب آبیاری در کشور از ۲۲/۵ تا ۸۵/۵ درصد متغیر و میانگین آن ۵۶/۰ درصد بود؛ بررسی روند تغییرات راندمان آب آبیاری در سال‌های مختلف نشان داد که راندمان کاربرد آب آبیاری در دو دههٔ ۸۰-۷۱ و ۹۰-۸۱ و سال‌های ۹۴-۹۱ به ترتیب ۵۲، ۵۸/۴ و ۵۸/۸ درصد بود. همچنین، بررسی‌ها نشان داد که راندمان انتقال و توزیع نیز در دهه‌های مذکور به ترتیب ۶۷/۰، ۶۸/۵ و ۷۴/۲ درصد بود. بدین ترتیب، راندمان کل در دهه‌های یادشده به ترتیب ۲۹/۷، ۳۶/۰ و ۴۳/۸ درصد بود. بدین معنا که از سال ۱۳۷۵ (نیمهٔ دههٔ ۸۰-۷۱) تا سال ۱۳۹۴ راندمان کل آبیاری، هرسال حدود ۰/۶ واحد رشد داشته است که نزدیک به مقادیر پیش‌بینی‌شده در برنامه‌های توسعهٔ پنج سالهٔ کشور (۱ واحد در سال) بوده است. در این نوشتار، با تکمیل بانک داده راندمان‌های آبیاری عباسی و همکاران (۱۳۹۵)، روند تغییرات راندمان آبیاری در کشور در سه دههٔ اخیر مورد ارزیابی و تحلیل قرارگرفته است.

برای ارزیابی و تحلیل داده‌های راندمان آبیاری کشور طی سال‌های گذشته از دو بانک اطلاعاتی استفاده گردیده است. اول بانک اطلاعات راندمان‌های آبیاری (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵) شامل ۲۰۰ موردمطالعهٔ منتشرشده در خصوص راندمان‌های آبیاری (کاربرد، توزیع و انتقال) در سطح کشور (مشتمل بر ۱۹۰۰ نوبت آبیاری اندازه‌گیری شده در روش‌های مختلف آبیاری) طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۷۰ است. داده‌های این بانک اطلاعاتی راندمان‌های آبیاری حاصل پژوهش‌های انجام‌شده در سطح کشور در مؤسسات تحقیقاتی، دانشگاه‌ها، وزارت نیرو، شرکت‌های مشاور و ... بوده است که در مزارع زارعان و با مدیریت کشاورزان اندازه‌گیری شده‌اند؛ نتایج حاصل از پژوهش‌ها در مقیاس کرت‌های آزمایشی در ایستگاه‌های تحقیقاتی لحاظ نشده است. به‌عبارتی‌دیگر، نتایج حاصل از مطالعات مزرعه‌ای در خصوص ارزیابی راندمان آبیاری در سامانه‌ها و شبکه‌های

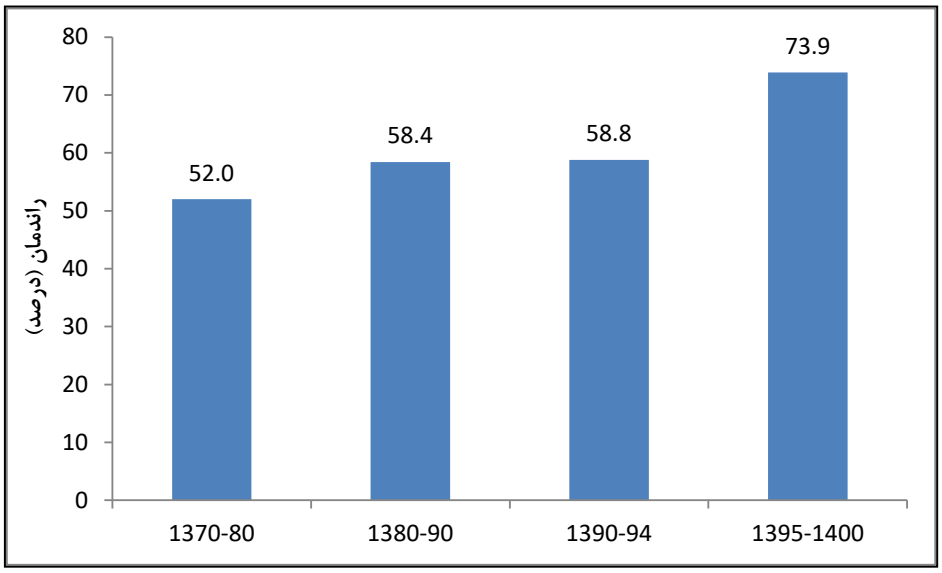
مختلف آبیاری (سنتی و پایین‌دست سدها) در سطح کشور موردتوجه قرارگرفته است که دستگاه‌های مختلف پژوهشی و اجرایی اندازه‌گیری کرده و به‌صورت رسمی گزارش داده‌اند.

بانک اطلاعاتی دوم مربوط به داده‌هایی است که از نتایج اجرای یک طرح کلان توسط مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به‌منظور پایش حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب ۳۵ محصول مختلف زراعی، باغی و سبزی و صیفی از سال ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ انجام‌شده، حاصل‌شده است (عباسی، ۱۴۰۲؛ عباسی و همکاران، ۱۴۰۲ الف، ب، ج). در حین اجرای این مگا پروژه برای تعدادی از این ۳۵ محصول، امکان برآورد راندمان کاربرد آب آبیاری وجود داشت. این محصولات شامل ۱۰ محصول عمده زراعی (گندم، برنج، جو، ذرت‌علوفه‌ای، چغندرقند، نیشکر، لوبیا، آفتابگردان، کلزا، سویا)، ۱۲ محصول باغی (زعفران، سیب، زیتون، پرتقال، نارنگی، آلو، لیمو، انجیر، انگور، خرما، انار، پسته) و ۴ محصول سبزی و صیفی (گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، خیار، پیاز) است. در این مطالعهٔ جامع، حجم آب آبیاری محصولات مختلف در قطب‌های تولید آن‌ها با مدیریت بهره‌برداران اندازه‌گیری و سپس راندمان آبیاری برای این داده‌ها به روش Zhou et al. (2021) برآورد شده است. بدین ترتیب، با استفاده از داده‌های مربوط به دو بانک اطلاعاتی یادشده، بانک داده مورداستفاده در این تحلیل شامل بیش از ۶۰۰۰ داده راندمان آبیاری است که در بازه زمانی ۱۳۵۰ الی ۱۴۰۰ قرار داشتند. البته با توجه به اینکه داده‌های گزارش‌شده در بازهٔ زمانی ۱۳۵۱ تا ۱۳۷۰ خیلی اندک بوده و امکان تحلیل آن‌ها وجود نداشت، لذا ارزیابی داده‌ها برای سال‌های ۱۳۷۱ به بعد و در چهار بازهٔ زمانی (۸۰-۱۳۷۱، ۹۰-۱۳۸۱، ۹۴-۱۳۹۱ و ۱۴۰۰-۱۳۹۵) دسته‌بندی، تحلیل و ارائه‌شده‌اند.

۱۱-٤- راندمان کاربرد آب آبیاری

روند تغییرات راندمان کاربرد آب آبیاری در بازه‌های زمانی مختلف در شکل ۹۸ ارائه‌شده است. روند تغییرات راندمان کاربرد آب آبیاری در کشور افزایشی و از ۵۲/۰ درصد تا ۷۳/۹ درصد متغیر است. این تغییرات تا سال ۱۳۹۴ تدریجی و به نسبت آهسته ولی در بازهٔ زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ تغییرات جهشی است. راندمان کاربرد در این بازهٔ زمانی کوتاه، افزایش قابل‌توجه ۱۵ واحدی را داشته است. دلایل مختلفی ازجمله توسعهٔ زیرساخت‌ها، معرفی فنّاوری‌های جدید، ارتقای آگاهی بهره‌برداران با اجرای برنامه‌های مختلف آموزشی و ترویجی، کم‌آبیاری و غیره برای این افزایش قابل‌ذکر است. به دلیل کمبود آب در دسترس، اغلب محصولات کشاورزی در سال‌های اخیر با درجات مختلفی از کم‌آبیاری (تا حدود ۵۰ درصد برای باغات پسته) مواجه بوده‌اند (عباسی و همکاران، ۱۴۰۲ الف، ب، ج). متوسط راندمان کاربرد فعلی (۷۳/۹ درصد) بیش از راندمان پتانسیل در روش‌های آبیاری سطحی و در حد راندمان پتانسیل برای برخی روش‌های آبیاری بارانی ازجمله

کلاسیک ثابت و نیمه متحرک است. در آبیاری سطحی راندمان قابل حصول یا پتانسیل ۶۵ درصد و در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار برای آبیاری بارانی ۸۵ درصد و برای آبیاری قطره‌ای ۹۰ درصد اعلام‌شده است (Solomon, 1988; Howell, 2003; Ali, 2011). زیاد بودن راندمان کاربرد در برخی ارزیابی‌های میدانی دیگر هم گزارش‌شده است. شکری و همکاران (۱۳۹۸) راندمان کاربرد آب در مزرعه را در اراضی پایاب سد مخزنی دویرج (دهلران) بین ۶۰/۳ تا ۸۰/۵ درصد و میانگین آن را ۶۹/۷ درصد گزارش کردند. سرن و همکاران (Şeren et al. 2023) در ارزیابی راندمان کاربرد در مزارع مجهز شده به ابزارهای تحویل حجمی در ترکیه مقدار این شاخص را ۸۸ درصد اعلام نمودند. در ارقام راندمان آبیاری مزارع و باغات موردمطالعه، برخی ارقام به دلیل کم‌آبیاری بیش از مقادیر راندمان پتانسیل بودند. در صورت محدود کردن حداکثر ارقام راندمان کاربرد به مقادیر پتانسیل هر روش آبیاری، میانگین راندمان کاربرد آب آبیاری در بازهٔ زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ حدود ۶۴/۰ درصد برآورد می‌شود.

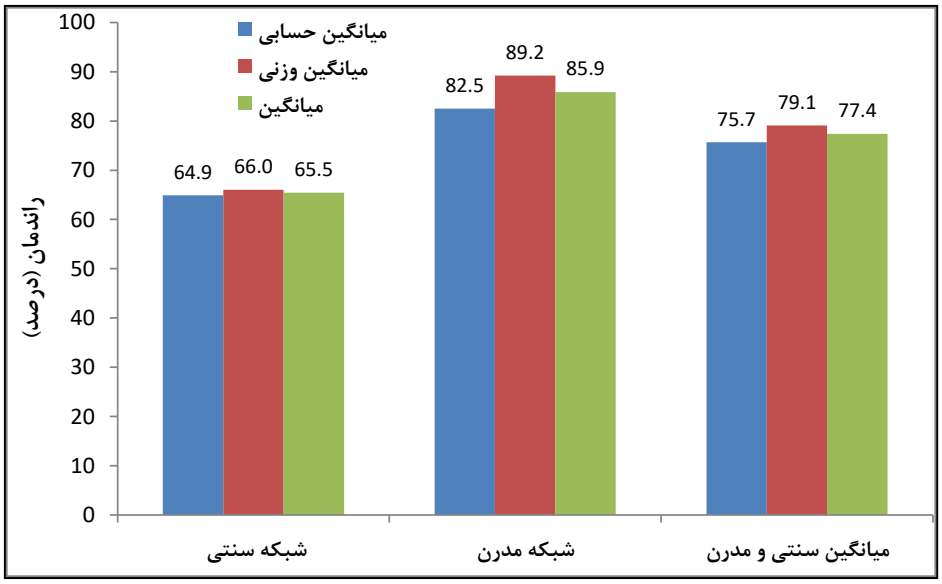


شکل ۹۸- روند تغییرات راندمان کاربرد آب آبیاری در ایران(عباسی و عباسی، ۱۴۰۲).

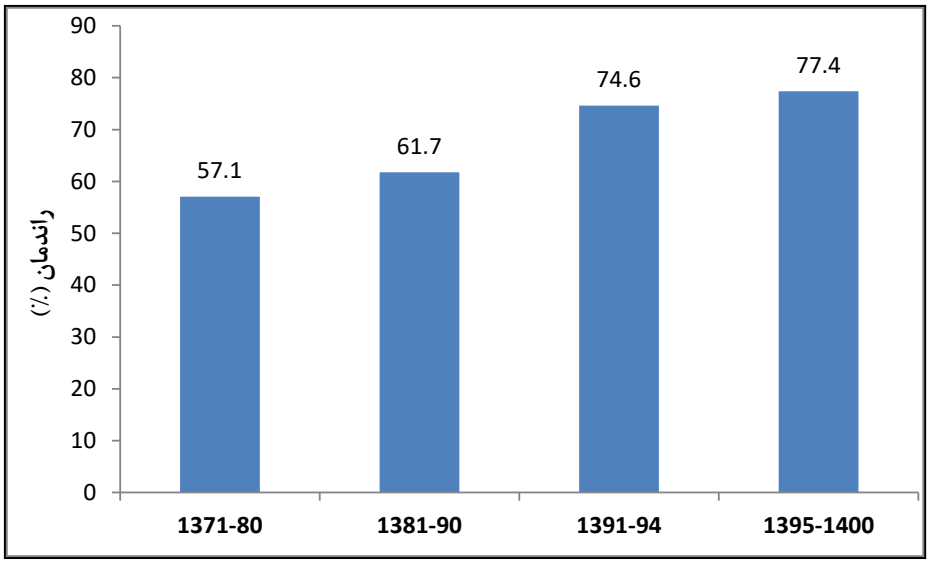
۱۱-۵- راندمان انتقال و توزیع

به دلیل کمبود داده در زمینه راندمان‌های انتقال و توزیع، این دو راندمان باهم ارائه‌شده‌اند. در شکل ۹۹ میانگین حسابی، وزنی (نسبت به سطح شبکه) و میانگین حسابی و وزنی راندمان‌های انتقال و توزیع به تفکیک شبکه‌های سنتی و مدرن در بازهٔ زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ باهم مقایسه شده‌اند. داده‌های راندمان انتقال و توزیع برای سایر بازه‌های زمانی اندک و قابل‌ارائه به تفکیک شبکه‌های سنتی و مدرن نیستند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود

میانگین راندمان انتقال و توزیع در شبکه‌های سنتی و مدرن به ترتیب ۶۵/۵ و ۸۵/۹ درصد و میانگین کلی آن ۷۷/۴ درصد است. در شکل ۱۰۰ روند تغییرات راندمان انتقال و توزیع در بازه‌های زمانی مختلف ارائه‌شده است. روند تغییرات راندمان انتقال و توزیع همانند راندمان کاربرد، باگذشت زمان صعودی و از ۵۷/۱ در بازهٔ زمانی ۸۰-۱۳۷۱ به ۷۷/۴ درصد در بازهٔ زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ افزایش‌یافته است. بیشترین افزایش در راندمان انتقال و توزیع بعد از بازهٔ زمانی ۹۰-۱۳۸۱ است که تا بازهٔ زمانی ۹۴-۱۳۹۱ حدود ۱۲ واحد رشد داشته است.



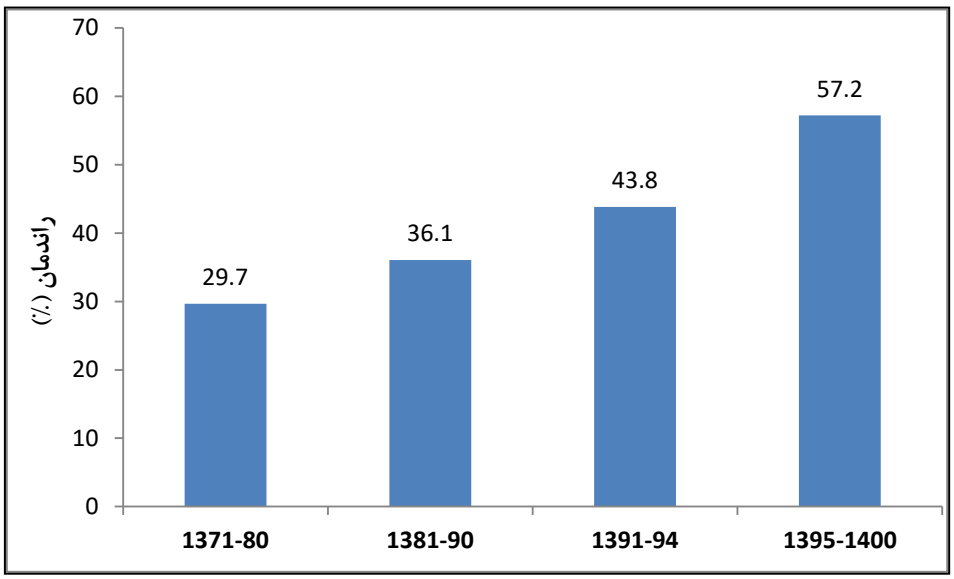
شکل ۹۹- مقایسه راندمان‌های توزیع و انتقال در شبکه‌های سنتی و مدرن آبیاری



شکل ۱۰۰- روند تغییرات راندمان‌های توزیع و انتقال در ایران(عباسی و عباسی، ۱۴۰۲).

۱۱-٦- راندمان کل آب آبیاری

روند تغییرات راندمان کل آبیاری در بازه‌های زمانی موردنظر در شکل ۱۰۱ ارائه‌شده است. راندمان کل آبیاری در بازهٔ زمانی موردمطالعه از ۲۹/۷ تا ۵۷/۲ درصد متغیر است. تغییرات راندمان کل همانند سایر راندمان‌ها افزایشی است ولی متوسط آن در بازهٔ زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ رشد قابل‌توجه ۱۳ واحدی را داشته است. دلایل اصلی افزایش راندمان در بالا گفته شد. صرفه‌جویی در مصرف آب و کم‌آبیاری به دلیل کاهش تدریجی منابع آب در آن سال‌ها یکی از دلایل اصلی افزایش راندمان آبیاری است. راندمان کل آبیاری در سند ملی دانش‌بنیان امنیت غذایی ۶۰ درصد برای سال ۱۴۱۱ هدف‌گذاری شده است که با توجه به روند افزایشی راندمان آبیاری در ۳ دهه گذشته، عدد قابل حصولی است. در صورت در نظر گرفتن راندمان کاربرد ۶۴ درصد، راندمان کل آبیاری ۴۹/۳ درصد برآورد خواهد شد.

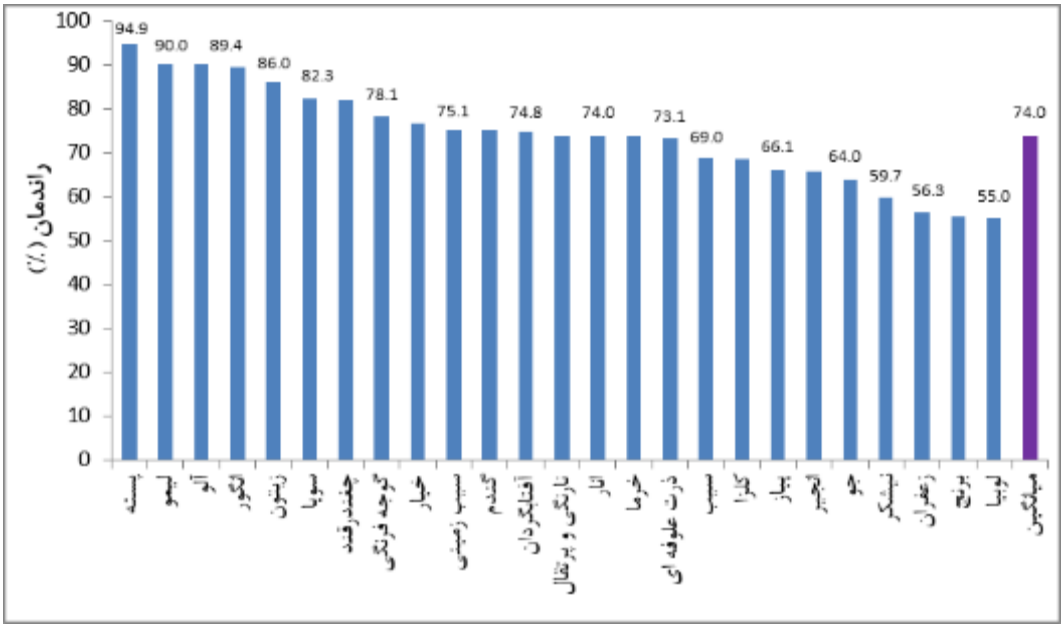


شکل ۱۰۱- روند تغییرات راندمان کل آب آبیاری در ایران(عباسی و عباسی، ۱۴۰۲).

۱۱-۷- وضعیت راندمان کاربرد آب آبیاری برای محصولات مختلف

آخرین وضعیت راندمان کاربرد آب آبیاری برای برخی محصولات کشاورزی در شکل ۱۰۲ نشان داده‌شده است. راندمان آبیاری برای محصولات موردمطالعه از ۵۶/۳ تا ۹۱/۳ درصد متغیر و متوسط آن‌ها ۷۴/۰ درصد است. پنج محصول پسته (۹۱/۳ درصد)، انگور (۸۶/۸ درصد)، سویا (۸۶/۰ درصد)، آلو (۸۳/۸ درصد) و گندم (۸۳/۵ درصد) بیشترین راندمان کاربرد آب آبیاری را به خود اختصاص دادند. دلیل اصلی بیشتر بودن راندمان کاربرد آب آبیاری در اراضی باغی (در کنار سایر عوامل گفته‌شده در بالا)، بیشتر بودن عمق توسعهٔ ریشه در

محصولات باغی است. برنج (۵۶/۳ درصد)، نیشکر (۵۹/۷ درصد)، زعفران (۶۱/۵ درصد)، لوبیا (۶۳/۷ درصد) و پیاز (۶۷/۹ درصد) به نسبت سایر محصولات از راندمان کاربرد کمتری برخوردار بودند. روش آبیاری یک عامل مؤثر در کم بودن راندمان آبیاری در این محصولات بود. روش آبیاری همه مزارع برنج، نیشکر و زعفران (بر اساس بانک داده این مطالعه) سطحی و حدود ۳۰ درصد مزارع لوبیا به روش‌های تحت‌فشار (بارانی و قطره‌ای نواری) آبیاری شدند.



شکل ۱۰۲- مقایسه راندمان کاربرد آب آبیاری برای محصولات مختلف(عباسی و عباسی، ۱۴۰۲).

با توجه به نتایج بررسی‌ها و ارزیابی‌های انجام‌شده در این مطالعه موارد زیر قابل استنتاج و ارائه است:

- روند کلی تغییرات راندمان‌های آبیاری در کشور مثبت و افزایشی است. در بازهٔ زمانی موردمطالعه، راندمان کاربرد بین ۵۲ تا ۷۴ درصد و راندمان کل آبیاری در ایران بین ۳۰ تا ۵۷ درصد متغیر و راندمان کل آبیاری کشور در سال‌های اخیر (۴۹ تا ۵۷ درصد) بیش از راندمان کل آبیاری در کشورهای درحال‌توسعه است و فاصلهٔ چندانی با راندمان آبیاری در کشورهای توسعه‌یافته ندارد(عباسی و عباسی، ۱۴۰۲).
- روند صعودی مقادیر راندمان آبیاری در سال‌های گذشته در کشور در درجه اول بیانگر این حقیقت است که اقدامات مدیریتی و زیربنایی انجام شده توسط دستگاه‌های متولی مؤثر و کارساز بوده است؛ اما تحلیل‌های انجام شده در پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد بخشی از افزایش شاخص راندمان آبیاری در کشور ناشی از کم‌آبیاری اجباری در مزارع و باغات به خاطر کمبود فیزیکی منابع آب است. مورد اخیر تهدید جدی برای

منابع خاک خواهد بود؛ چراکه در صورت تداوم منجر به شوری و تخریب بیشتر منابع خاک در آینده خواهد شد. ارزیابی بیشتر شاخص راندمان آبیاری در وضعیت کم‌آبیاری باید در مطالعات آینده مدنظر باشد.

- در طول چند دهه اخیر، برای افزایش بهره‌وری آب، تغییراتی در روش‌های آبیاری و زیرساخت‌های منابع آب‌وخاک (مثل احداث شبکه‌های آبیاری، تجهیز و نوسازی اراضی، زهکشی و غیره) ایجادشده است که اغلب منجر به افزایش راندمان آبیاری شده است. تغییرات صورت‌گرفته در فناوری آبیاری برای افزایش راندمان آبیاری، ازجمله جایگزینی روش‌های آبیاری سنتی با روش‌های نوین آبیاری و یا تجهیز و نوسازی اراضی و پوشش کانال‌ها، مزایای قابل‌توجهی در مزرعه مانند کاهش نیروی کار و افزایش تولید به همراه داشته است. پیامدهای تغییر روش آبیاری با توجه به مسائل خاص هر منطقه مانند ویژگی‌های خاک، نوع محصول، مدیریت آبیاری و تصمیم‌گیری فردی از مکانی به مکان دیگر متفاوت است. راهبردهای مبتنی بر مکان که این عوامل خاص مکانی را در نظر می‌گیرند، برای حمایت یا تقویت کشاورزی آبی و درعین‌حال متعادل کردن بسیاری از نیازهای دیگر در تأمین آب ضروری هستند.
- اندازه‌گیری و پایش آب آبیاری با تصویب بودجه مناسب برای ارزیابی واکنش‌های هیدرولوژیکی به تغییر روش‌های آبیاری و برنامه‌ریزی مؤثر برای مصرف آب در آینده ضروری خواهد بود. سیاست‌گذاری آب می‌تواند راهبردهای تعادل عرضه و تقاضای آب را در پاسخ به تغییر روش آبیاری، رشد جمعیت و تغییرات آب و هوایی حمایت یا محدود کند. گفتمان معنی‌داری برای ارزیابی سیاست‌های کلیدی موردنیاز است که می‌توانند از راه‌حل‌های برد-برد خلاقانه برای کشاورزی، زیست‌بوم‌های آبی و دیگر نیازهای ضروری آب حمایت کنند. سیاست‌ها، راهبردها و برنامه‌های تشویقی در کنار مشارکت حداکثری بهره‌برداران، بیشترین تأثیر را خواهند داشت. شاخص راندمان آبیاری به‌تنهایی شاخص مناسبی برای ارزیابی مدیریت مصرف آب در کشور نیست و ارزیابی سایر شاخص‌ها ازجمله شاخص‌های بهره‌وری آب (جعفری و عباسی، ۱۴۰۲) نیز برای برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های کلان کشور ضروری است.

۱۱-۸- حجم آب مصرفی

ازنظر مصرف آب در بخش‌های مختلف، در ایران نیز همانند سایر کشورها، بخش قابل‌توجهی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در بخش کشاورزی استفاده می‌شود. به‌طوری‌که در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد از تولیدات زراعی و باغی در کشور از اراضی فاریاب به دست می‌آید؛ بنابراین هرسال، حجم فراوانی از آب تجدیدپذیر کشور برای تولید محصولات مختلف در بخش کشاورزی برداشت می‌شود. نیاز برنامه‌ریزی کلان در مدیریت و مصرف آب در کشور، بررسی جامع و دقیقی روی حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی را

ضروری می‌نماید. برای حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی ایران اعداد و ارقام متفاوتی در منابع گزارش‌شده است. قدرت‌نما (۱۳۷۷) مصرف آب در بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی را در سال‌های ۱۳۴۲ تا ۱۳۷۲ بررسی نمود. ایشان مصرف بخش کشاورزی را در این بازهٔ زمانی ۴۴ تا ۷۸ میلیارد مترمکعب گزارش نمود. Movaheddanesh (1994) مصرف آب در بخش کشاورزی را ۷۰ میلیارد مترمکعب و Mohammad-Vali-Samani (2005) مصرف آب در بخش کشاورزی را در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۰ به ترتیب ۸۱ و ۸۶ میلیارد مترمکعب گزارش نمود. ناصری و همکاران (۲۰۱۷) آب تجدیدپذیر کشور را به روش بیلان آب حدود ۱۰۶ میلیارد مترمکعب برآورد و گزارش نمودند که از این مقدار ۷۵ میلیارد مترمکعب آن برای تولید محصولات مختلف در بخش کشاورزی برداشت می‌شود. همچنین، ناصری و عباسی (۲۰۱۸) حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی را به روش نیاز آبی در شرایط ۷۰ و ۸۰ درصد تولید پتانسیل محصولات زراعی و باغی به ترتیب برابر ۶۷ و ۷۷ میلیارد مترمکعب گزارش نمودند. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که در پژوهش‌های قبلی حجم آب مصرفی همواره با روش‌های تخمینی مثل روش بیلان آب برآورد شده است. بدیهی است که روش‌های تخمینی دقیق نبوده و با خطای زیادی همراه هستند. به‌طورکلی روش‌های تعیین یا برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی به روش‌های مستقیم و غیرمستقیم (تقریبی) دسته‌بندی می‌شوند. روش‌های غیرمستقیم خود به دو روش؛ بیلان آب و روش‌های محاسباتی قابل انجام هستند.

الف- روش بیلان

اساس و شالوده روش بیلان آب کاربرد اصل بقای جرم که با معادله پیوستگی بیان می‌شود، در هیدرولوژی است. در این روش صورت برای هر حجم دلخواه و در هر دوره زمانی، تفاوت بین کل ورودی و خروجی مترادف با تغییر در آب ذخیره‌شده درون حجم است. به‌طورکلی بخش جریان ورودی معادله بیلان آب شامل ریزش جوی به‌صورت بارندگی و برف که در سطح زمین ریزش می‌کند و جریان آب ورودی سطحی و زیرسطحی به داخل حوضه یا مجموعه آبی از سمت بیرون است. از طرف دیگر بخش جریان خروجی معادله، تبخیر از سطح مجموعه آبی و جریان خروجی سطحی و زیرسطحی از حوضه یا مجموعه آبی را در برمی‌گیرد. زمانی که جریان ورودی از جریان خروجی بیشتر می‌شود، کل ذخیره آب درمجموعِ افزایش می‌یابد. همچنین زمانی که جریان ورودی از جریان خروجی کمتر باشد، به کاهش در ذخیره منجر خواهد شد. تمامی مؤلفه‌های بیلان آب در معرض خطای اندازه‌گیری یا برآورد هستند. یکی از مؤلفه‌های اصلی این بیلان ورودی از طریق بارش است. در خصوص مقدار حجم آب حاصل از بارندگی در پهنه کشور آمارهای موجود بسیار متفاوت است. مقادیر حجم آب حاصل از بارش در سطح کشور بر اساس منابع مختلف به شرح جدول ۲۷ ارائه‌شده است

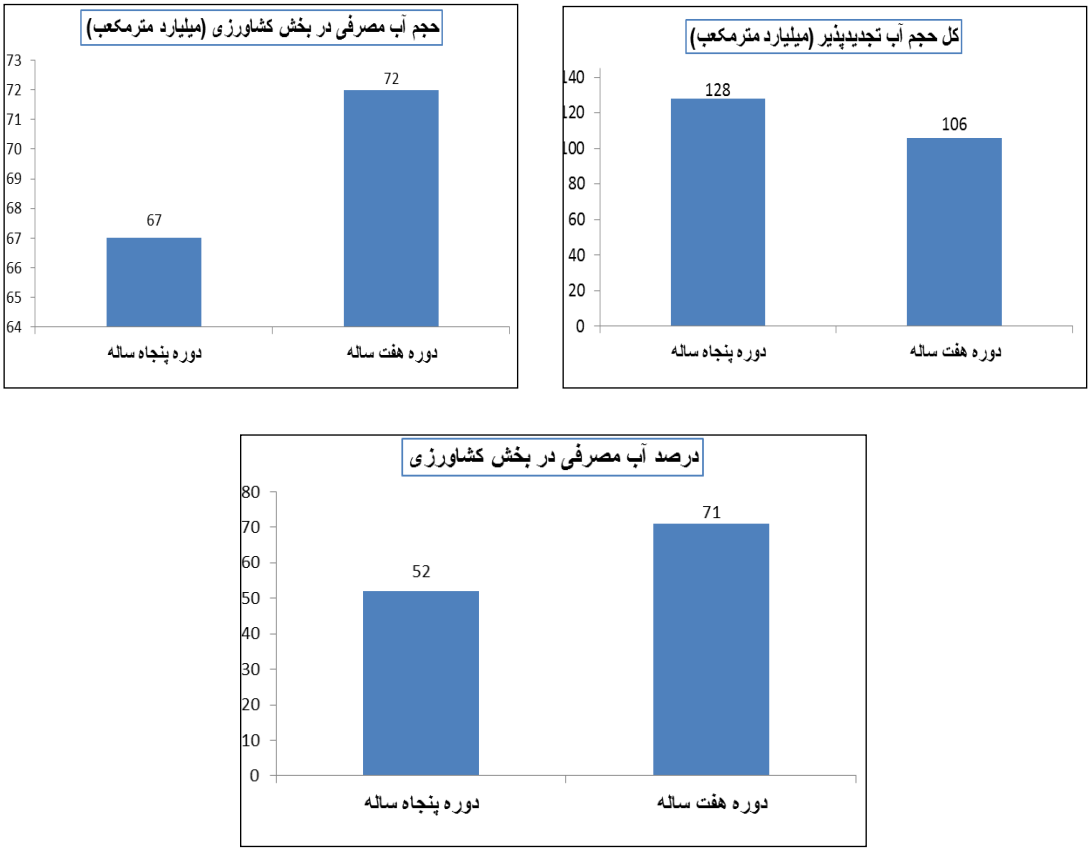
(عباسی، ۱۳۹۶). Movaheddanesh (1994) حجم آب حاصل از بارش در سطح کشور را حدود ۴۰۰ میلیارد مترمکعب و مصرف آب در بخش کشاورزی را ۷۰ میلیارد مترمکعب گزارش نموده است. Mohammad-Vali-Samani (2005) مصرف آب در کشور را در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۰ به ترتیب برابر ۸۶/۸ و ۹۳/۱ میلیارد مترمکعب و مصرف آب در بخش کشاورزی را ۸۱/۴ و ۸۶ میلیارد مترمکعب گزارش نموده و برای سال ۱۴۰۰ مصرف آب در کشور و بخش کشاورزی را به ترتیب برابر ۱۱۳/۲ و ۱۰۳ میلیارد مترمکعب پیش‌بینی نموده است.

جدول ۲۷- مقدار حجم آب حاصل از بارش در سطح کشور به استناد منابع مختلف

ردیف	حجم آب (میلیارد)	منبع
۱	۵۰۰	مهندسین مشاور ماوراء بحار (۱۳۲۸)
۲	۲۸۰ تا ۵۲۰	نشریه شماره ۸ کمیته ملی آبیاری و زهکشی (۱۳۵۱)
۳	۴۹۰	گنجی (۱۳۵۳)
۴	۳۶۹	وزارت نیرو (۱۳۵۵)
۵	۳۶۵	وزارت نیرو (۱۳۵۶)
۶	۴۴۰	Bureau of Water Planning and Development and Resources Corporation (1357)
۷	۴۰۰	کوچک‌پور (۱۳۵۹)
۸	۴۰۰	عطرچین (۱۳۵۹)
۹	۴۰۰	ایقانیان (۱۳۶۰)
۱۰	۳۶۵	قطبی (۱۳۶۰)
۱۱	۴۰۰	وزارت نیرو (۱۳۶۰)
۱۲	۴۰۰	Movaheddanesh (1994)
۱۳	۴۱۶	قدرت‌نما (۱۳۷۷)
۱۴	۴۱۳	کشاورز و صادق‌زاده (۱۳۷۸)
۱۵	۴۰۰	Mohammad-Vali-Samani (2005)

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود در خصوص حجم آب حاصل از بارش و حجم آب مصرفی در بخش‌های مختلف به‌ویژه در بخش کشاورزی اعداد و ارقام ارائه‌شده بسیار متفاوت بوده و در صحت‌وسقم آن‌ها نیز تردیدهای جدی وجود دارد. ناصری و همکاران (۱۳۹۴) اقدام به برآورد مؤلفه‌های بیلان آب در چرخه هیدرولوژی کشور و تعیین حجم مصرف آب در بخش کشاورزی بر اساس آن نموده است. در این مطالعه میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی با روش بیلان آب برای دوره درازمدت پنجاه‌ساله و کوتاه‌مدت هفت‌ساله (اخیر) بررسی و نتایج نشان داده است، میانگین پنجاه‌ساله و هفت‌ساله بارش در کشور به ترتیب ۵۳±۲۴۹ و

۲۰۶±۳۳ میلی‌متر است. لذا میانگین حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی، برای دوره‌های آماری ۵۰ ساله و ۷ ساله به ترتیب معادل ۶۷±۱۸ و ۷۲±۵ میلیارد مترمکعب برآورد شد که به ترتیب حداکثر ۵۲ و ۷۱ درصد آب تجدیدپذیر را شامل گردید (شکل ۱۰۳).



شکل ۱۰۳- مقادیر حجم آب تجدیدپذیر، حجم و درصد آب مصرفی در بخش کشاورزی
(ناصری و همکاران، ۱۳۹٤؛ ۱۳۹٦)

ب- روش محاسباتی بر اساس نیاز آبی گیاهان

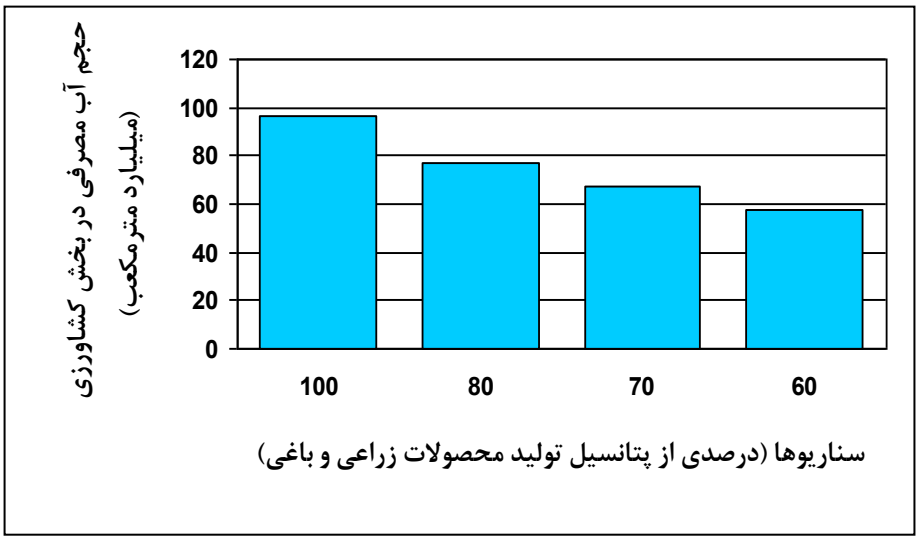
در این روش آب مصرفی بخش کشاورزی بر اساس نیاز خالص آب موردنیاز گیاهان در مناطق مختلف و به‌کاربردن راندمان کاربرد آب به‌صورت محاسباتی تعیین می‌شود. بدین ترتیب که با محاسبه هم‌زمان مقادیر راندمان کاربرد آب، نیاز آبی و سطح تولید محصولات زراعی و باغی حجم آب مصرفی تخمین زده می‌شود. دقت این روش نیز همانند روش بیلان با توجه به متأثر بودن حجم آب برآوردی از دقت و ماهیت روش‌های تعیین مؤلفه‌های اصلی آن یعنی، نیاز آبی، راندمان آبیاری و سطح کشت محصولات با خطاهایی همراه است. به‌طوری‌که برای تعیین نیاز آبی گیاهان روش‌ها و سناریوهای متعددی وجود دارند که هرکدام دارای مزایا و محدودیت‌های خاص خود هستند. همچنین تعیین مقدار راندمان آبیاری و حتی سطح کشت محصولات کشاورزی همواره با تردیدهای همراه هستند. بااین‌حال و با توجه به محدودیت‌ها و دشواری‌های استفاده از

روش بیلان آب، این روش نیز به‌عنوان یکی از راهبردها و روش‌های مرسوم برای تخمین آب مصرفی در بخش کشاورزی مطرح بوده و مورداستفاده کارشناسان و محققان قرار می‌گیرد. ناصری و همکاران (۱۳۹۷) طی پژوهشی اقدام به برآورد حجم آب مصرفی بخش کشاورزی بر مبنای نیاز آبی گیاهان نمودند. در این پژوهش مقادیر راندمان کاربرد آب از بانک اطلاعاتی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و برای تعیین مقادیر نیاز آبی محصولات از سه سناریو شامل؛ الف) داده‌های منتشرشده توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶)، ب) روش پنمن مانتیث بر اساس آمار درازمدت ایستگاه‌های هواشناسی از بدو تأسیس تا سال بررسی و ج روش پنمن مانتیث بر اساس آمار ده سال منتهی به سال انجام پژوهش استفاده‌شده است. سطح تولید محصولات زراعی و باغی نیز از آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی اخذ گردید. در این بررسی نیاز آبی و حجم آب مصرفی بخش کشاورزی با استفاده از این داده‌ها برای سناریوهای مختلف؛ ۱۰۰، ۸۰، ۷۰ و ۶۰ درصد پتانسیل تولید محصولات زراعی و باغی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد کاربرد و اعمال روش‌های مختلف برای برآورد نیاز خالص آبی گیاهان زراعی و باغی، نیاز آبی و حجم آب مصرفی متفاوتی را برای تولید محصولات زراعی و باغی موجب می‌شود (جدول ۲۸ و شکل ۱۰۴). به‌طوری‌که در شرایط سناریوی ۱۰۰ درصد پتانسیل تولید، حجم آب مصرفی بر مبنای داده‌های گزارش فرشی و همکاران، روش پنمن مانتیث بر اساس آمار درازمدت ایستگاه‌های هواشناسی از بدو تأسیس تا سال اخیر و روش پنمن مانتیث بر اساس آمار ده سال اخیر به ترتیب برابر ۹۳/۷، ۹۵/۴ و ۱۰۰/۳ میلیارد مترمکعب و در شرایط سناریوی ۸۰ درصد پتانسیل تولید حجم آب مصرفی برای تولید محصولات به ترتیب ۷۵/۰، ۷۶/۳ و ۸۰/۳ میلیارد مترمکعب تعیین گردید.درمجموع، میانگین حجم آب مصرفی برای تولیدات زراعی و باغی در سناریوهای ۱۰۰، ۸۰، ۷۰ و ۶۰ درصد تولید پتانسیل مطابق شکل ۱۰۴ به ترتیب برابر ۹۶/۵، ۷۷/۲، ۶۷/۴ و ۵۷/۹ میلیارد مترمکعب تعیین گردید.

جدول ۲۸- حجم آب مصرفی (میلیارد مترمکعب) گیاهان زراعی و باغی در کشور بر مبنای سه روش محاسبه نیاز آبی

سناریوها	روش اول	روش دوم	روش سوم	میانگین
۱۰۰ درصد تولید پتانسیل	۹۳/۷	۹۵/۴	۱۰۰/۳	۹۶/۵
۸۰ درصد تولید پتانسیل	۷۵/۰	۷۶/۳	۸۰/۳	۷۷/۲
۷۰ درصد تولید پتانسیل	۶۵/۶	۶۶/۵	۷۰/۰۳	۶۷/۴
۶۰ درصد تولید پتانسیل	۵۶/۲	۵۷/۲	۶۰/۲	۵۷/۹

توضیح: روش اول، گزارش فرشی و همکاران، روش دوم، پنمن مانتیث بر مبنای آمار هواشناسی درازمدت و روش سوم، پنمن مانتیث بر مبنای آمار هواشناسی ده سال اخیر



شکل ۱۰٤- مقادیر حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی بر اساس سناریوهای مختلف پتانسیل تولید

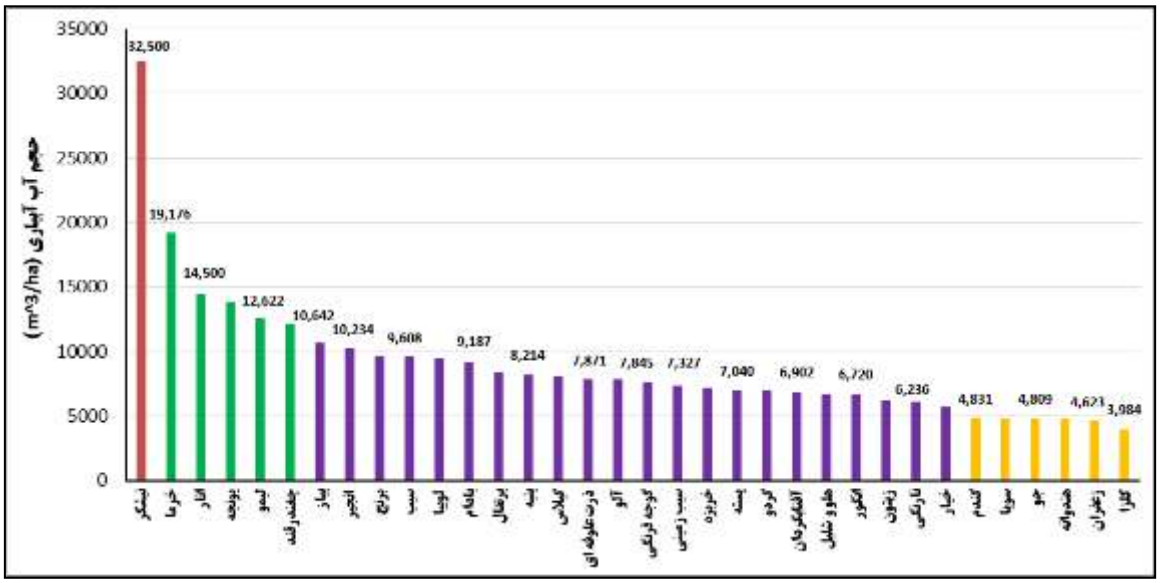
بدیهی است حجم آب مصرفی در تولید محصولات زراعی و باغی در سناریوهای مختلف به‌صورت درصدی از پتانسیل تولید است. ولی خلأ تولید در محصولات مختلف و یا پتانسیل تولید برای مناطق و محصولات مختلف متفاوت است. بررسی برخی سوابق مطالعاتی حاکی از حدود ۵۰ درصد (فائو،۲۰۱۰)، ۶۰ درصد (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷) است. همچنین نظری (۱۳۹۷) پتانسیل عملکرد را برای سه محصول عمده دشت قزوین ۵۰ درصد ارائه نموده است. بدین ترتیب می‌توان استنباط نمود مقدار آب مصرفی در بخش کشاورزی در شرایط ۷۰ درصد تولید پتانسیل کمتر از ۷۰ میلیارد مترمکعب است که ۷۵ و ۲۵ درصد آن به ترتیب برای تولید محصولات زراعی و باغی مصرف‌شده است.

ج- روش مستقیم[1]

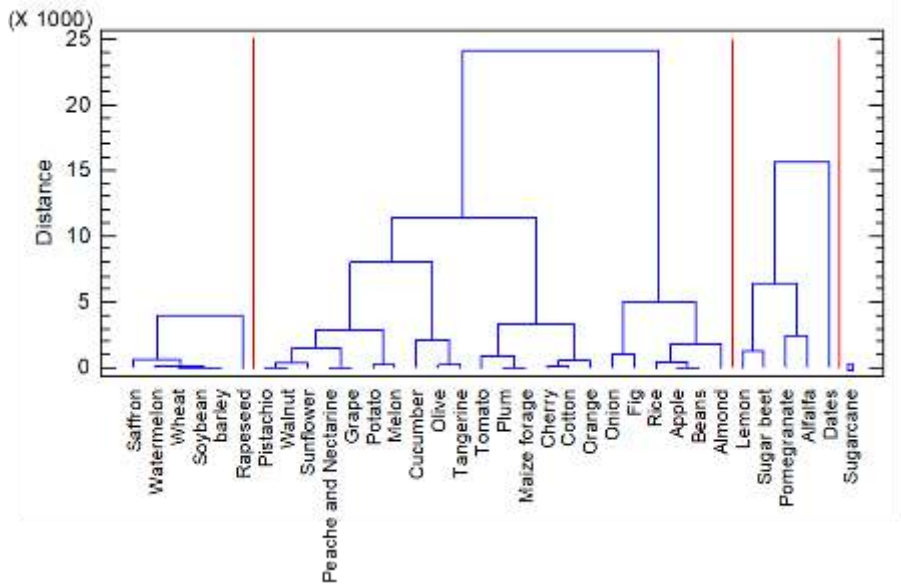
سناریوی دیگر، اندازه‌گیری مستقیم و میدانی میزان آب مصرفی محصولات زراعی و باغی است. در روش مستقیم نیز میزان آب مصرفی محصولات زراعی و باغی در مزرعه با وسایل اندازه‌گیری دبی تعیین می‌شود. این مهم توسط مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی در بازه زمانی ۱۳۹۵ الی ۱۴۰۰ انجام‌گرفته است. بر اساس نتایج حاصل از مطالعه یادشده میانگین حجم آب آبیاری محصولات مختلف از ۳۹۸۴ برای محصول کلزا تا ۳۲۵۰۰ مترمکعب بر هکتار برای نیشکر متغیر بوده است. گیاهان گرمسیری ازجمله نیشکر (۳۲۵۰۰)، خرما (۱۹۱۷۶)، انار (۱۴۵۰۰)، یونجه (۱۳۸۰۸) و لیمو (۱۲۶۲۲) محصولاتی بودند که ازنظر حجم آب آبیاری در واحد سطح بیشترین حجم آب را به خود اختصاص دادند. کلزا (۳۹۸۴)، زعفران (۴۶۲۳)، هندوانه (۴۷۵۱)، سویا (۴۸۲۴)، جو (۴۸۰۹) و گندم (۴۸۳۱) نیز محصولاتی بودند که کمترین حجم آب آبیاری را داشتند (شکل

[1] اقتباس از «عباسی و همکاران (۱۴۰۲ الف)»

۱۰۵). محصولات موردمطالعه بر اساس حجم آب آبیاری به چهار خوشه تقسیم شدند (شکل ۱۰۶). در خوشه اول محصولات زعفران، هندوانه، گندم، سویا، جو و کلزا با میانگین حجم آب آبیاری ۴۶۳۷ مترمکعب در هکتار، در خوشه دوم محصولات پسته، گردو، آفتابگردان، هلو و شلیل، انگور، سیب‌زمینی، خربزه، خیار، زیتون، نارنگی، گوجه‌فرنگی، آلو، ذرت علوفه‌ای، گیلاس، پنبه، پرتقال، پیاز، انجیر، برنج، سیب، لوبیا و بادام با میانگین حجم آب آبیاری ۷۹۰۶ مترمکعب در هکتار، در خوشه سوم محصولات لیمو، چغندرقند، انار، یونجه و خرما با میانگین حجم آب آبیاری ۱۴۴۶۳ مترمکعب در هکتار و در خوشه چهارم محصول نیشکر با حجم آب آبیاری ۳۲۵۰۰ مترمکعب در هکتار قرار داشتند.

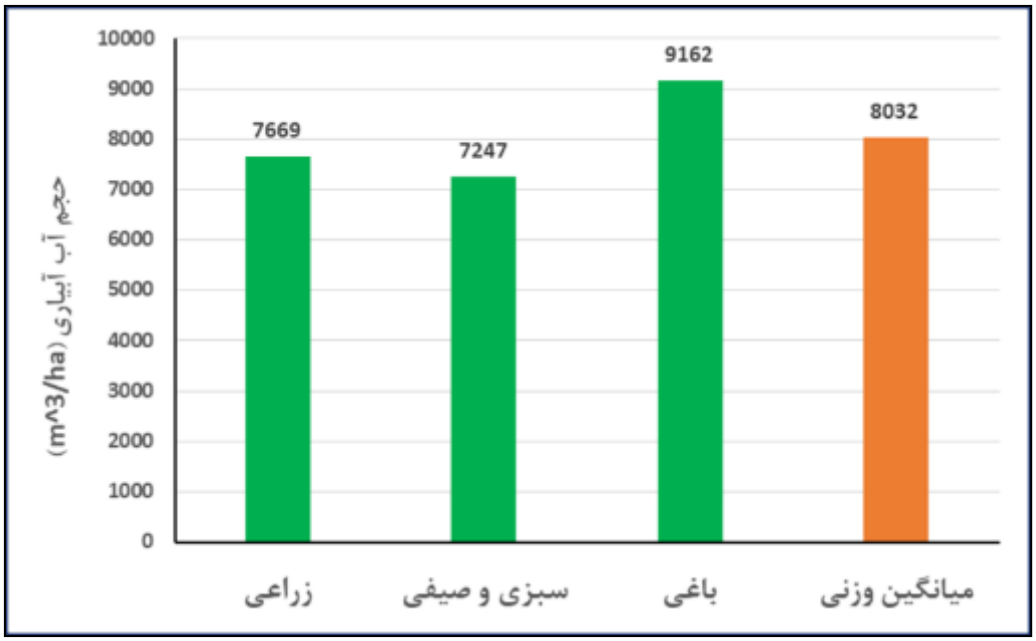


شکل ۱۰۵- مقایسه حجم آب آبیاری محصولات مختلف
(ستون‌های هم‌رنگ ازنظر آماری در یک خوشه قرارگرفته‌اند)



شکل ۱۰۶- دندوگرام حاصل از تحلیل خوشه‌ای محصولات موردمطالعه بر مبنای حجم آب آبیاری

میانگین وزنی حجم آب آبیاری (نسبت به سطح زیر کشت) محصولات موردمطالعه ۸۰۳۲ مترمکعب بر هکتار بود. میانگین حجم آب آبیاری برای محصولات باغی (۹۱۶۲ مترمکعب بر هکتار) بیشتر از میانگین محصولات زراعی (۷۶۶۹ مترمکعب بر هکتار) و سبزی و صیفی (۷۲۴۷ مترمکعب بر هکتار) موردمطالعه بود (شکل ۱۰۷). میانگین وزنی حجم آب آبیاری محصولات موردمطالعه به سایر محصولاتی که پایش نشده بودند، تعمیم داده شد.

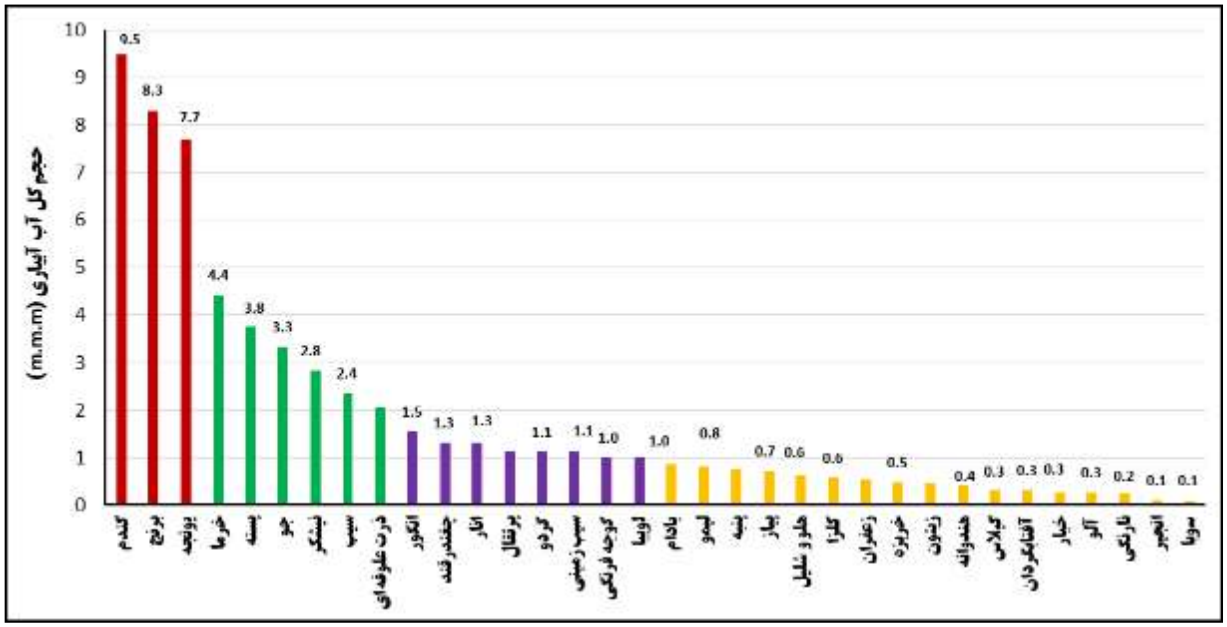


شکل ۱۰۷- مقایسه میانگین حجم آب آبیاری محصولات مختلف

۱۱-۹- حجم کل آب آبیاری

محصولات مختلف ازنظر شاخص حجم کل آب آبیاری (حاصل‌ضرب حجم آب آبیاری در واحد سطح در سطح زیر کشت محصول) در شکل ۱۰۸ مقایسه شده‌اند. بر مبنای شاخص حجم کل آب آبیاری، محصولات موردمطالعه به چهار خوشه تقسیم شدند (نتایج دندوگرام نشان داده نشده‌اند). در خوشه اول محصولات زعفران، کلزا، هلو و شلیل، هندوانه، خربزه، زیتون، لیمو، پنبه، بادام، پیاز، گیلاس، آفتابگردان، خیار، آلو، نارنگی، انجیر و سویا با میانگین حجم کل آب آبیاری ۰/۴۶ میلیارد مترمکعب، در خوشه دوم محصولات پسته، جو، خرما، سیب، ذرت علوفه‌ای و نیشکر با میانگین حجم کل آب آبیاری ۳/۱۲ میلیارد مترمکعب، در خوشه سوم محصولات سیب‌زمینی، گردو، پرتقال، گوجه‌فرنگی، لوبیا، انگور، انار و چغندرقند با میانگین حجم کل آب آبیاری ۱/۱۹ میلیارد مترمکعب و در خوشه چهارم محصولات برنج، یونجه و گندم با میانگین حجم کل آب

آبیاری ۸/۵ میلیارد مترمکعب قرار داشتند. ازنظر این شاخص محصولات گندم، برنج و یونجه با بیشترین حجم کل آب آبیاری محصولات آب‌بَر محسوب می‌شوند. برعکس، محصولات خوشهٔ اول محصولات کم‌آب‌بَر هستند (شکل ۱۰۸). سطح زیرکشت هر محصول در کشور عامل مهمی در تعیین حجم آب آبیاری هر محصول است. گندم علی‌رغم این‌که ازنظر حجم آب آبیاری در واحد سطح، محصول آب‌بَری نیست؛ ولی با توجه به سطح زیر کشت زیاد آن در کشور (حدود ۲ میلیون هکتار) بیشترین حجم آب آبیاری را با ۹/۵ میلیارد مترمکعب به خود اختصاص داد. برنج، یونجه، خرما و پسته به ترتیب با ۸/۳، ۷/۷، ۴/۴ و ۳/۸ میلیارد مترمکعب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. آفتابگردان، خیار، آلو، انجیر و سویا به ترتیب با ۳۲۰، ۲۷۰، ۲۶۰، ۱۰۰ و ۹۰ میلیون مترمکعب کمترین حجم کل آب آبیاری به خود اختصاص دادند. برخی محصولات همانند نیشکر و انار، علی‌رغم این‌که جزء محصولاتی بودند که بیشترین حجم آب آبیاری در واحد سطح را به خود اختصاص دادند، در شاخص حجم کل آب آبیاری در زمرهٔ محصولات آب‌بَر نیستند. حجم کل آب مورداستفاده برای ۳۵ محصول موردمطالعه ۶۱/۷ میلیارد مترمکعب برآورد شد که بیش از ۶۰ درصد آن به محصولات زراعی و حدود ۵۵ درصد آن به ۵ محصول گندم، برنج، یونجه، خرما و پسته اختصاص داشت.

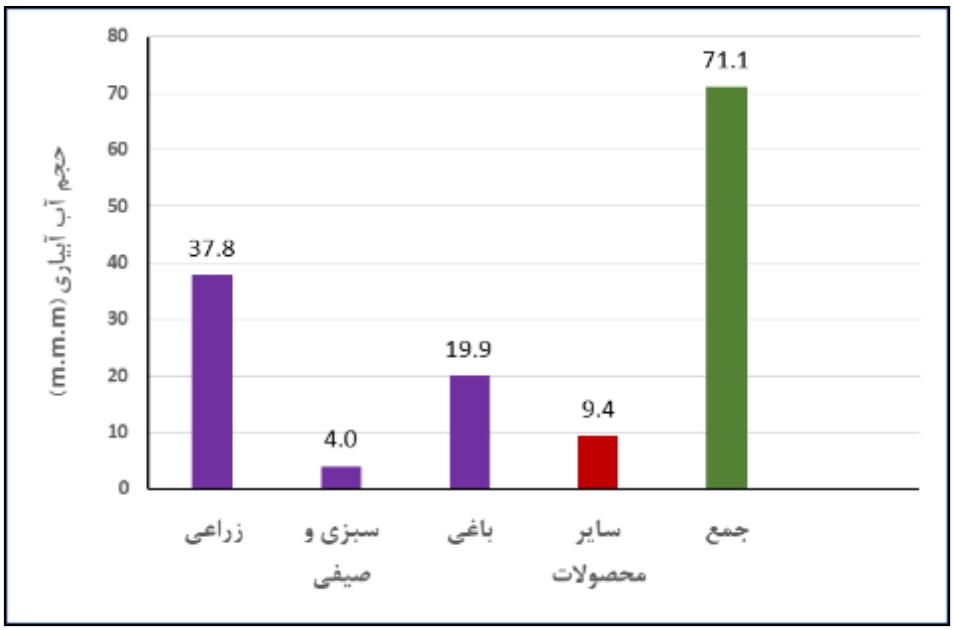


شکل ۱۰۸- مقایسه حجم کل آب آبیاری محصولات موردمطالعه

(ستون‌های هم‌رنگ ازنظر آماری در یک خوشه قرارگرفته‌اند)

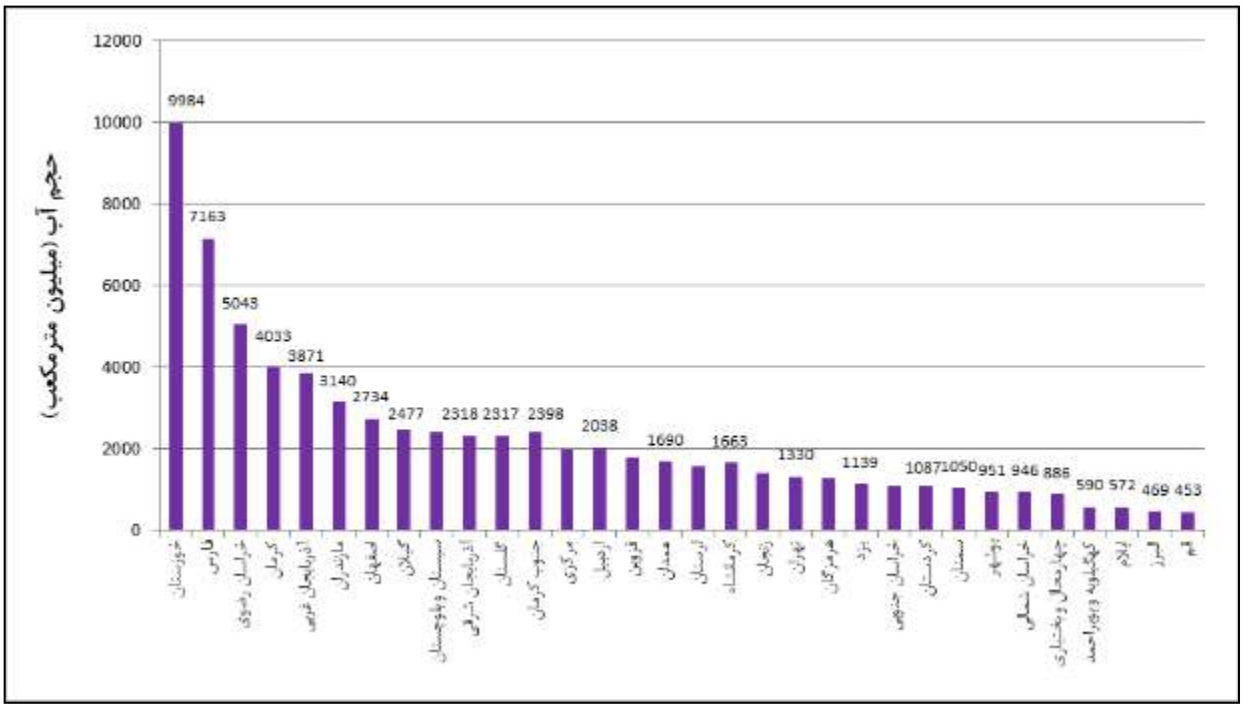
بر اساس نتایج این ارزیابی، حجم کل آب مورداستفاده برای آبیاری محصولات زراعی موردمطالعه ۳۷/۸ میلیارد مترمکعب برآورد شد. این رقم برای محصولات باغی و سبزی و صیفی موردمطالعه به ترتیب ۱۹/۹ و ۴/۰

میلیارد مترمکعب بود. حجم کل آب آبیاری سایر محصولاتی که در این تحقیق ارزیابی نشده بودند، ۹/۴ میلیارد مترمکعب برآورد شد (شکل ۱۰۹). درمجموع، حجم کل آب مورداستفاده برای آبیاری محصولات آبی کشور ۷۱/۱ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود که حدود ۷۰ درصد حجم کل آب تجدیدپذیر کشور است. این رقم با ارقام گزارش‌شده توسط ناصری و همکاران (۲۰۱۷) و ناصری و عباسی (۲۰۱۸) که به روش‌های تقریبی حجم آب در بخش کشاورزی را برآورد کرده بودند، همخوانی دارد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که سهم بخش کشاورزی از آب تجدیدپذیر در یک دهۀ اخیر ثابت و حدود ۷۰ درصد بوده است. در سند ملی دانش‌بنیان امنیت غذایی کاهش حجم آب بخش کشاورزی به ۵۱ میلیارد مترمکعب برای سال ۱۴۱۱ پیش‌بینی‌شده است.



شکل ۱۰۹- مقایسه حجم کل آب آبیاری محصولات زراعی، باغی و سبزی و صیفی

در شکل ۱۱۰ حجم آب آبیاری در استان‌های مختلف باهم مقایسه شده است. استان‌های خوزستان (۹۹۸۴)، فارس (۷۱۶۳)، کرمان (۶۴۳۱)، خراسان رضوی (۵۰۴۳)، آذربایجان غربی (۳۸۷۱) و مازندران (۳۱۴۰ میلیون مترمکعب) بیشترین حجم آب آبیاری را به خود اختصاص دادند. دلیل اصلی آن، وسعت زیاد اراضی آبی این استان‌ها است. بر اساس آمارنامه‌های کشاورزی، استان‌های خوزستان، فارس، خراسان رضوی و کرمان بیشترین سطح اراضی آبی کشور را به خود اختصاص داده است. اقلیم گرم و خشک در بخش‌های زیادی از استان‌های خوزستان، فارس، کرمان، خراسان رضوی و کشت محصولات آب‌بَری چون نیشکر، خرما، مرکبات و چغندرقند نیز از دیگر دلایل است. استان‌های بوشهر، خراسان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، ایلام، البرز و قم استان‌هایی بودند که حجم آب آبیاری آن‌ها کمتر از یک میلیارد مترمکعب بود.



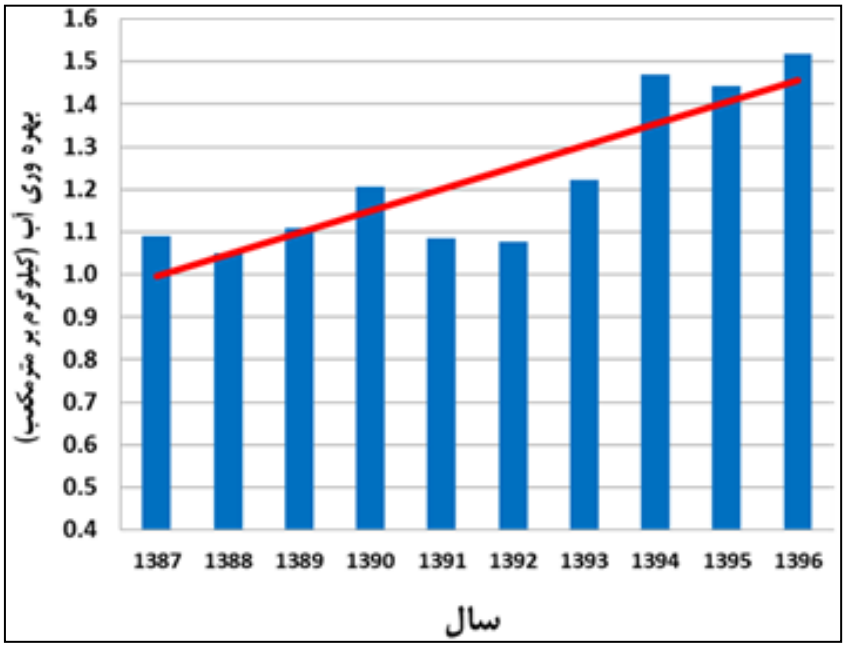
شکل ۱۱۰- مقایسه حجم آب آبیاری در استان‌های مختلف

۱۱-۱۰- بهره‌وری آب[1]

بهره‌وری آب یکی از شاخص‌های مصرف بهینهٔ آب آبیاری است. مطابق با تعریف، بهره‌وری آب نسبتی است که در مخرج کسر آن آب کاربردی (آب آبیاری، بارش) و در صورت آن موارد زیادی از مفاهیم کمی قرار می‌گیرد. این موارد مشتمل بر عملکرد محصول، میزان درآمد (سود) خالص، میزان انرژی تولیدی، میزان ارزش‌افزوده و ... می‌شود. عموماً دو مفهوم بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، کاربرد بیشتری داشته و در تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. طبق تعریف، بهره‌وری فیزیکی آب عبارت از مقدار محصول تولیدشده به ازای واحد حجم آب مصرفی است که برحسب کیلوگرم بر مترمکعب بیان می‌شود. در بهره‌وری اقتصادی ارزش محصول تولیدشده یا میزان سود مدنظر قرار می‌گیرد. به عبارتی، به ازای مقدار آب مصرفی، چقدر درآمد کسب می‌شود. در این گزارش، بهره‌وری فیزیکی آب که ازاین‌پس به‌طور ساده بهره‌وری گفته می‌شود، برای محصولات زراعی و باغی برآورد شده است. این شاخص در ابتدای برنامه توسعهٔ چهارم بین ۰/۸ تا ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش‌شده است. در برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله نیز این شاخص ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب هدف‌گذاری شده است. عباسی و همکاران (۲۰۱۷) مقادیر بهره‌وری آب را برای سال‌های مختلف برآورد و تحلیل نموده‌اند. آن‌ها مقادیر بهره‌وری آب را از ۰/۹۴ تا ۱/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر و متوسط آن ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد نمودند. عباسی و همکاران (۲۰۱۹) همچنین نشان دادند که شاخص

[1] اقتباس از: عباسی و همکاران (۱۴۰۲ الف)

بهره‌وری آب در کشور روند صعودی با شیب ۰/۰۴۵ کیلوگرم در سال داشته و از ۱/۰ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۸۷ به حدود ۱/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۹۶ رسیده است (شکل ۱۱۱).

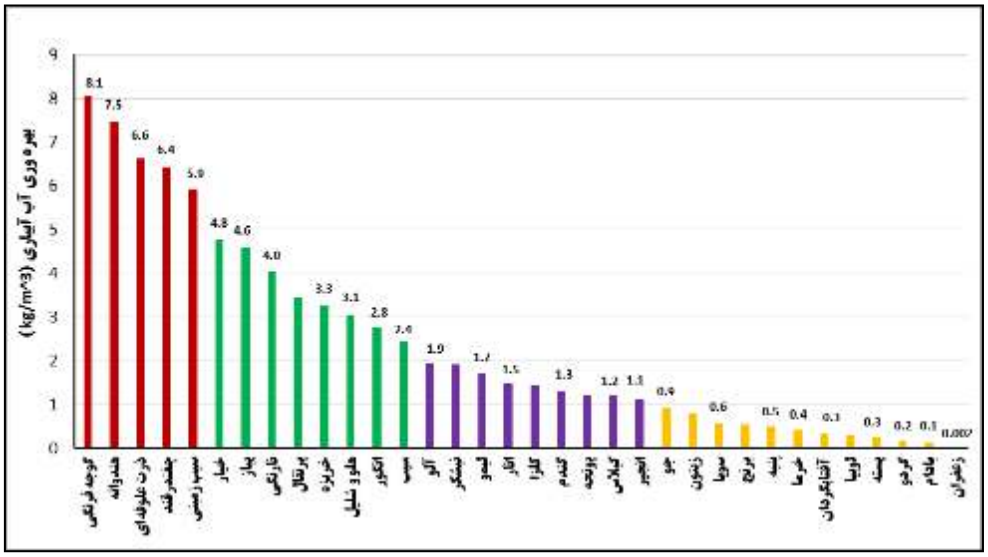


شکل ۱۱۱- روند تغییرات بهره‌وری آب در سال‌های ۹۶-۱۳۸۷

اگرچه عدد هدف‌گذاری شده (۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب) یک برآورد کلی است ولی بر اساس نگاه تخصصی و درک عمیق مباحث مربوط به بهره‌وری آب، باید به دنبال هویت‌شناسی بهره‌وری آب و تعیین اجزای آن برای هر یک از محصولات بود. بدیهی است آنچه که مبنای تصمیم‌گیری برای اصلاح الگوی کشت و تدوین الگوی تولید پایدار و اقتصادی است، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی هر یک از محصولات خواهد بود و نه بهره‌وری کل؛ به‌نحوی‌که لازم است عدد بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی اختصاصی برای تک‌تک محصولات تعیین و تحلیل شود (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). این مهم از سال ۱۳۹۵ در دستور مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی قرار گرفت و متعاقب آن تحقیق گسترده‌ای در سطح ملی و در قطب‌های تولید محصولات کشاورزی اجرا شد. داده‌های میدانی شامل حجم آب آبیاری و عملکرد ۳۵ محصول مختلف زراعی، باغی و سبزی و صیفی در قطب‌های تولید این محصولات در یک فصل زراعی در بازهٔ زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ اندازه‌گیری شد. محصولات شامل ۱۲ محصول زراعی (گندم، برنج، جو، ذرت‌علوفه‌ای، یونجه، چغندرقند، نیشکر، لوبیا، آفتابگردان، پنبه، کلزا، سویا)، ۱۷ محصول باغی (زعفران، سیب، زیتون، پرتقال، نارنگی، هلو، شلیل، آلو، لیمو، انجیر، انگور، خرما، انار، گردو، بادام، پسته، گیلاس) و ۶ محصول سبزی و صیفی (گوجه‌فرنگی، هندوانه، سیب‌زمینی، خیار، خربزه، پیاز) بودند. این محصولات بیش از ۸۵ درصد از سطح زیر کشت و تولیدات آبی کشور را در استان‌های مختلف پوشش می‌دادند. برای هر محصول حجم آب آبیاری در یک‌فصل زراعی و در

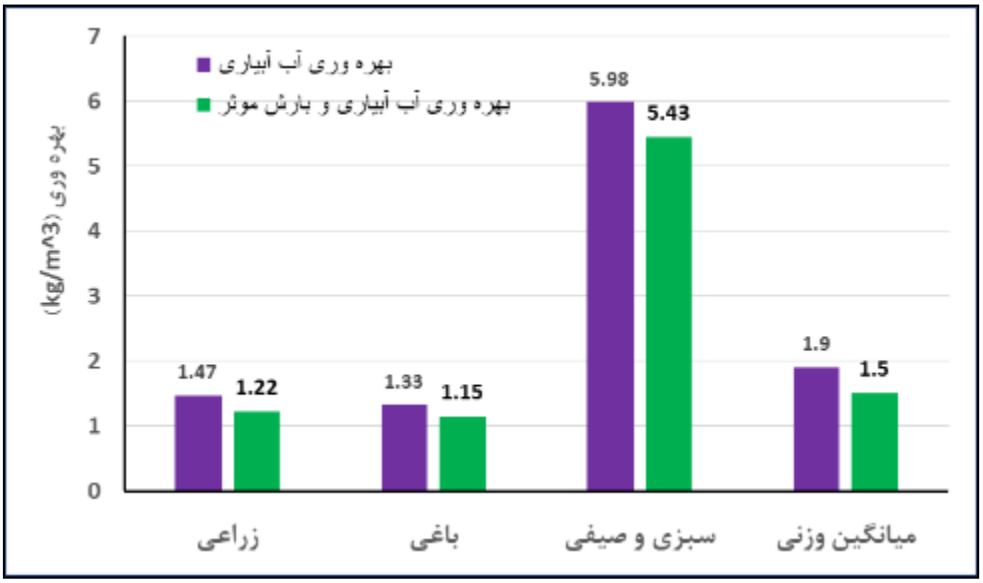
قطب‌های تولید آن پایش شـــد. قطب‌های تولید طوری انتخاب شـــدند که حداقل ۷۰ درصـــد مناطق تولید هر محصـول پوشـش داده شـود. پایش مزارع و باغات در شـرایط مدیریت بهره‌بردار، در روش‌های مختلف آبیاری، بافت‌های مختلف خاک و کیفیت‌های متفاوت آب آبیاری و خاک انجام شد.

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری محصولات موردمطالعه تعیین و مطابق شـکل ۱۱۲ مورد مقایسـه قرار گرفتند. چهار خوشـه برای محصـولات موردمطالعه بر مبنای بهره‌وری آب آبیاری در نظر گرفته شد. در خوشه اول محصولات زعفران، بادام، گردو، پسته، لوبیا، آفتابگردان، برنج، سویا، خرما، پنبه، زیتون و جو با میانگین بهره‌وری آب آبیاری ۰/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب قرار داشتند. در خوشه دوم محصـــولات لیمو، آلو، نیشـــکر، گیلاس، یونجه، انجیر، گندم، کلزا و انار با میانگین بهره‌وری آب آبیاری ۱/۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب، در خوشه سوم محصولات هلو و شلیل، انگور، سیب، خربزه، پرتقال، پیاز، خیار، نارنگی با میانگین بهره‌وری آب آبیاری ۳/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب، قرار گرفتند. در خوشـــه چهارم محصـــولات ســـیب‌زمینی، چغندرقند، ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی و هندوانه با میانگین بهره‌وری آب آبیاری ۶/۹۱ کیلوگرم بر مترمکعب، قرار داشتند. میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری محصـولات موردمطالعه ۱/۹ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد شد که بیشتر از مقادیر گزارش‌شده برای این شاخص در کشور است. عباسی و همکاران (۲۰۱۹) مقادیر شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری را برای بازهٔ زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ را ۱/۰ تا ۱/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب اعلام کردند.



شکل ۱۱۲- مقایسه شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری محصولات موردمطالعه
(ستون‌های هم‌رنگ ازنظر آماری در یک خوشه قرارگرفته‌اند)

همچنین در شکل ۱۱۳ بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بهره‌وری آب (آب آبیاری و بارش مؤثر) محصولات موردمطالعه مقایسه شده‌اند. نتایج نشان داد که میانگین بهره‌وری آب محصولات زراعی و باغی تفاوت زیادی باهم نداشتند. ولی میانگین بهره‌وری آب محصولات سبزی و صیفی به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از محصولات زراعی و باغی بود. یافته‌های این تحقیق بر اساس شاخص بهره‌وری فیزیکی آب، مزیت نسبی کشت گیاهان سبزی و صیفی را نسبت به سایر محصولات نشان می‌دهد. ازاین‌رو، این موضوع باید در سیاست‌گذاری‌ها ازجمله الگوی کشت و مناطق مستعد کشت سبزی و صیفی باید شناسایی و مدنظر قرار گیرد. میانگین وزنی بهره‌وری آب محصولات موردمطالعه ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود که با مقدار هدف گذاری‌شده در برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله بسیار نزدیک است. هرچند، ارتقای شاخص بهره‌وری آب در سند ملی دانش‌بنیان امنیت غذایی به مقدار ۲/۶ کیلوگرم بر مترمکعب برای سال ۱۴۱۱ هدف‌گذاری شده است.



شکل ۱۱۳- مقایسه بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بهره‌وری آب محصولات موردمطالعه

۱۱-۱۱- جمع‌بندی

شاخص بهره‌وری آب، اگرچه معیار بسیار مهمی در تصمیم‌گیری و تعیین مزیت کشت محسوب می‌شود، اما گاهی قیودات حاکم بر ساختار کشاورزی، مثل کیفیت آب، جنبه‌های محیط‌زیستی، ریسک تولید و بازار، فرآوری و حتی مسائل اجتماعی و سیاسی، سبب می‌شود که تصمیمات مدیریتی متناسب با شرایط گرفته شود. شاخص بهره‌وری آب صرفاً متأثر از برنامه و سامانه آبیاری نبوده و عوامل مهم و فراوانی در آن دخالت دارند که عبارت‌اند از آب و آبیاری (کیفیت و کمیت آب، منبع آب، نظام و روش آبیاری، نیاز آبی و آبیاری، برنامه آبیاری، نوسانات سطح ایستابی و زهکشی، مدیریت زراعی، کم‌آبیاری، پارامترهای اقلیمی، آبیاری تکمیلی و

تک آبیاری، استحصال و جمع‌آوری آب باران)، خاک و تغذیه، گیاه، اقلیم، آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز، اقتصاد و بازار، فرآوری و بسته‌بندی، قوانین و برنامه‌ریزی، ماشین‌های کشاورزی، الگوی تولید و الگوی کشت.

نکته مهم در خصوص ارتقای بهره‌وری آب که باید در برنامه‌های آتی کشور مدنظر قرار گیرد آن است که برای ارتقای بهره‌وری آب دو راهبرد کلی شامل روش‌های مستقیم و روش‌های غیرمستقیم وجود دارد. در روش‌های مستقیم با افزایش صورت کسر بهره‌وری، کاهش مخرج کسر و یا با روش‌های تلفیقی هم‌زمان با کاهش مخرج کسر، صورت کسر نیز افزایش یابد. در روش‌های غیرمستقیم، اساساً به فرایندهایی پرداخته می‌شود که اگرچه بسیار اهمیت دارد و برای آن نهاده‌های مختلف مصرف‌شده، اما کمتر موردتوجه واقع‌شده‌اند. کاهش ضایعات محصول از زمان برداشت تا رسیدن به دست مصرف‌کننده، کاهش تلفات انرژی ماشین‌های کشاورزی و آبیاری، کاهش آبشویی کودها و خسارات ناشی از مخاطرات بخش کشاورزی ازجمله این اقدامات هستند که به‌طور غیرمستقیم در بهبود بهره‌وری آب مؤثر می‌باشند. با توجه به وضعیت موجود مقادیر شاخص‌های راندمان آبیاری و بهره‌وری آب و روند افزایشی آن‌ها، به نظر می‌رسد که کشور در آینده نزدیک به مقادیر هدف‌گذاری شده در برنامه‌های بالادستی نزدیک شده و راهبردهای مستقیم دیگر تأثیر چندانی در ارتقای شاخص‌های ذکرشده نخواهند داشت. رسیدن به اهداف سند دانش‌بنیان امنیت غذایی در زمینهٔ کاهش سهم آب در بخش کشاورزی به‌تنهایی با ارتقای بهره‌وری آب دشوار و دست‌نیافتنی است. علاوه بر تلاش برای ارتقای بهره‌وری آب، کاهش سطح زیرکشت محصولات آبی هم باید به‌طورجدی مدنظر باشد. ازاین‌رو، در کنار کاربرد فناوری‌های نو برای ارتقای بهره‌وری پیشنهاد می‌شود راهبردهای غیرمستقیم ازجمله کاهش ضایعات محصولات کشاورزی در اولویت قرار گیرد. لذا استفاده بهینه از تولیدات موجود، فرآوری و کاهش ضایعات در حقیقت نوعی افزایش بهره‌وری منابع تولید است.

۱۲- جمع بندی نتیجه‌گیری و پیشنهادها

جمع بندی

این گزارش با بهره‌گیری از آخرین آمار و اطلاعات ملی و بین‌المللی، تصـــویری جامع از وضـــعیت منابع و مصارف آب کشور، روند تغییرات آن در دهه‌های اخیر و چشم‌انداز پیش‌روی منابع آب ایران ارائه کرده است. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که محدودیت ذاتی منابع آب، کاهش بارندگی و منابع آب تجدیدپذیر، افزایش دما و تبخیر، تشـدید خشـکسـالی‌ها، افت مسـتمر منابع آب زیرزمینی، افزایش تنش آبی و رشـد تقاضـا در بخش‌های مختلف، موجب تشدید ناترازی میان منابع و مصارف آب کشور شده است. در این میان، وابستگی بالای بخش کشاورزی به منابع آب، همراه با تغییرات اقلیمی و فشار فزاینده بر آبخوان‌ها، مدیریت منابع آب را با چالش‌های پیچیده‌تری مواجه ساخته است. بر این اساس مهم‌ترین چالش‌های پیش روی مدیریت منابع آب ایران عبارت‌اند از:

۱. کاهش مستمر منابع آب تجدیدپذیر کشور؛

۲. ناترازی فزاینده میان منابع و مصارف آب؛

۳. افت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی؛

٤. تشدید تنش آبی در بسیاری از حوضه‌های آبریز؛

٥. وابستگی بالای تأمین آب کشور به منابع آب زیرزمینی؛

٦. پایین بودن بهره‌وری اقتصادی مصرف آب در مقایسه با استانداردهای جهانی؛

۷. تشدید آثار تغییر اقلیم و افزایش فراوانی خشکسالی‌ها؛

۸. پراکندگی نهادی و ضعف هماهنگی در حکمرانی آب؛

۹. محدودیت منابع مالی برای توسعه و نگهداری زیرساخت‌های آب؛

۱۰. ضرورت ایجاد تعادل میان اهداف امنیت غذایی، حفاظت از منابع آب و توسعه اقتصادی.

در مقابل، ارزیابی شاخص‌های مدیریت مصرف نشان می‌دهد که اگرچه طی سال‌های اخیر اقداماتی نظیر توسعه سامانه‌های نوین آبیاری، بهبود راندمان انتقال و کاربرد آب و ارتقای بهره‌وری در برخی بخش‌ها نتایج مثبتی به همراه داشته است، اما تداوم روندهای کنونی بیانگر آن است که اقدامات انجام‌شده برای برقراری تعادل پایدار میان منابع و مصارف آب کافی نبوده و نیازمند اصلاحات اساسی در سیاست‌گذاری، حکمرانی و مدیریت تقاضای آب است.

در مجموع، شواهد ارائه‌شده در این گزارش بیانگر آن است که مدیریت منابع آب ایران در آستانه یک مرحله تعیین‌کننده قرار دارد؛ مرحله‌ای که موفقیت در آن مستلزم تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد، مدیریت یکپارچه منابع آب، افزایش بهره‌وری، حفاظت از منابع آب زیرزمینی و ایجاد توازن میان اهداف امنیت آب، امنیت غذایی، توسعه اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست خواهد بود. بر این اساس، در دو بخش بعدی، مهم‌ترین نتایج حاصل از این گزارش و همچنین اولویت‌های سیاستی پیشنهادی برای بهبود مدیریت منابع و مصارف آب کشور ارائه می‌شود.

نتیجه‌گیری

تحلیل مجموعه داده‌ها و اطلاعات ارائه‌شده در این گزارش نشان می‌دهد که منابع آب ایران طی چند دهه گذشته تحت تأثیر هم‌زمان عوامل اقلیمی، جمعیتی، اقتصادی و مدیریتی، دستخوش تغییرات اساسی شده است. کاهش سرانه آب تجدیدپذیر، افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی، افت مستمر ذخایر آبخوان‌ها، تشدید تنش آبی، افزایش فراوانی خشکسالی‌ها و رشد تقاضای مصرف، تصویری از تشدید ناترازی میان منابع و مصارف آب کشور را ترسیم می‌کند. در مقابل، اگرچه طی سال‌های گذشته اقدامات گسترده‌ای در توسعه زیرساخت‌های تأمین آب، سدسازی، شبکه‌های آبیاری، توسعه سامانه‌های نوین آبیاری و ارتقای بهره‌وری انجام شده است، اما این اقدامات به تنهایی نتوانسته‌اند روند فزاینده فشار بر منابع آب را متوقف کنند. بررسی روندهای زمانی نشان می‌دهد که مسئله آب در ایران صرفاً ناشی از کاهش بارندگی یا تغییر اقلیم نیست، بلکه برآیند تعامل عوامل طبیعی و انسانی و در مواردی پیامد سیاست‌های مدیریتی و الگوهای بهره‌برداری از منابع آب است. بنابراین حل چالش آب، نیازمند تغییر رویکرد از مدیریت توسعه عرضه به مدیریت تقاضا، افزایش بهره‌وری، اصلاح نظام حکمرانی آب و هماهنگی میان سیاست‌های بخش‌های مختلف اقتصادی است. بررسی‌های انجام‌شده در این گزارش، مهم‌ترین یافته‌های زیر را نشان می‌دهد:

۱. ایران با متوسط بارندگی حدود یک‌سوم میانگین جهانی، در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و محدودیت منابع آب، ویژگی ذاتی سرزمین ایران است.
۲. سرانه منابع آب تجدیدپذیر کشور طی دهه‌های اخیر به طور مستمر کاهش یافته و کشور را از محدوده تنش آبی به آستانه کمبود آب نزدیک کرده است.
۳. کاهش بارندگی، افزایش دما و رشد تبخیر و تعرق بالقوه، فشار مضاعفی بر منابع آب سطحی وارد کرده و احتمال استمرار این روند در آینده وجود دارد.
٤. منابع آب زیرزمینی به اصلی‌ترین پشتوانه تأمین آب کشور تبدیل شده‌اند، اما استمرار برداشت بیش از تغذیه طبیعی موجب افت شدید سطح آب، افزایش کسری مخزن و کاهش پایداری آبخوان‌ها شده است.
٥. افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری، توسعه برداشت و تداوم اضافه‌برداشت، مهم‌ترین عامل تخریب منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شود.
٦. سهم غالب برداشت آب کشور همچنان متعلق به بخش کشاورزی است؛ ازاین‌رو هرگونه برنامه تعادل‌بخشی منابع آب بدون اصلاح مدیریت مصرف آب کشاورزی با موفقیت محدودی همراه خواهد بود.
۷. اگرچه راندمان آبیاری طی سال‌های اخیر بهبود یافته است، اما ظرفیت قابل توجهی برای افزایش بهره‌وری واقعی مصرف آب در مزرعه، شبکه و زنجیره تولید وجود دارد.
۸. آثار تغییر اقلیم، افزایش دما و تغییر الگوی بارش، مدیریت منابع آب کشور را در دهه‌های آینده پیچیده‌تر خواهد کرد.
۹. استمرار روند فعلی می‌تواند موجب تشدید فرونشست زمین، کاهش امنیت غذایی، افت کیفیت منابع آب، تخریب بوم‌سازگان‌ها و افزایش آسیب‌پذیری اقتصادی و اجتماعی کشور شود.
۱۰. مدیریت پایدار منابع آب مستلزم اصلاح هم‌زمان سیاست‌های تخصیص، مصرف، حکمرانی، سرمایه‌گذاری، نظام اطلاعاتی و مشارکت ذی‌نفعان است.

پیشنهادهای سیاستی

با توجه به نتایج این گزارش، پیشنهاد می‌شود سیاست‌های مدیریت منابع آب کشور بر محورهای زیر استوار شوند:

۱. استقرار مدیریت یکپارچه منابع آب در مقیاس حوضه‌های آبریز.
۲. تغییر تدریجی رویکرد مدیریت آب از توسعه عرضه به مدیریت تقاضا.
۳. کنترل برداشت از منابع آب زیرزمینی و تسریع در اجرای برنامه‌های تعادل‌بخشی آبخوان‌ها.
٤. ارتقای بهره‌وری مصرف آب، به‌ویژه در بخش کشاورزی، از طریق اصلاح الگوی کشت، توسعه فناوری‌های نوین، مدیریت مزرعه و افزایش بهره‌وری اقتصادی آب.
٥. توسعه بهره‌گیری از منابع آب نامتعارف شامل بازچرخانی پساب، استفاده از آب شور و لب‌شور و مدیریت آب‌های ژرف در چارچوب مطالعات علمی.
٦. تقویت نظام پایش، یکپارچه‌سازی داده‌ها و توسعه سامانه‌های هوشمند پایش منابع و مصارف آب.
۷. بازنگری در سیاست‌های تخصیص آب با لحاظ ملاحظات محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی.
۸. تقویت هماهنگی بین دستگاه‌های مسئول و ارتقای حکمرانی آب با مشارکت ذی‌نفعان.
۹. ادغام ملاحظات تغییر اقلیم در برنامه‌ریزی‌های منابع آب، کشاورزی و توسعه منطقه‌ای.
۱۰. تدوین برنامه‌های بلندمدت سازگاری با کم‌آبی مبتنی بر ظرفیت برد منابع آب، توان اکولوژیک سرزمین و الزامات امنیت غذایی.
۱۱. تقویت دیپلماسی آب در حوضه‌های فرامرزی، سرمایه‌گذاری مشترک با کشورهای همسایه در حوضه‌های مشترک مرزی.
۱۲. کنترل پدیده فرونشست با اتخاذ راهکارهای اولویت‌دار نظیر کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی، آبخوان‌داری، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها، تغییر الگوی کشت منطقه‌ای به محصولات کم‌آب‌بَر، (عباسی و تاران، ۱۴۰۴)

فهرست منابع

آقاخانی، ع، فیضی، م، صلحی، م، رمضانی اعتدالی، م، ۱۳۹۲. شوری‌زدایی آب برای کشاورزی: ضرورت، اهمیت و محدودیت‌ها، نشریه مدیریت اراضی.

بخردی‌پور، ک و قاسمیه، ه، ۱۳۹۰. استفاده از آب‌های نامتعارف در مدیریت بحران آب (مطالعه موردی: دشت کاشان). همایش بحران آب در دشت کاشان، دانشگاه کاشان.

بی‌نام، ۱۳۷۱. سازمان برنامه‌وبودجه و وزارت نیرو. مبانی و ضوابط طراحی طرح‌های آب‌رسانی شهری، نشریه شماره ۳-۱۱۷.

بی‌نام، ۱۳۹۱. دستورالعمل تقسیم‌بندی و کدگذاری حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور، نشریه شماره ۳۱۰. وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا.

بی‌نام، ۱۳۹۴. آشنایی با منابع آب زیرزمینی، اندیشکده تدبیر آب ایران، گروه کشاورزی و آب اتاق بازرگانی و صنایع و معادن و کشاورزی کرمان.

بی‌نام، ۱۳۹۶. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی بررسی بحران آب و پیامدهای آن در کشور، دفتر مطالعات زیربنایی.

بی‌نام ۱، ۱۳۹۷. بررسی تأثیرات برنامه‌های تنظیم آب کشورهای همسایه در حوضه‌های مشترک مرزی بر ایران، مرکز پژوهش‌های توسعه و آینده‌نگری، سازمان برنامه‌وبودجه کشور.

بی‌نام ۲، ۱۳۹۷. منابع آب زیرزمینی ژرف (ویژگی‌ها، محدودیت‌ها و وضعیت فعلی کشور در امر مطالعه و اکتشاف)، مؤسسه تحقیقات آب.

بی‌نام ۳، ۱۳۹۷. یک برنامه سازگاری ملی برای کمیابی آب در ایران، پروژه ایران ۲۰۴۰ دانشگاه استنفورد، ترجمه‌شده توسط مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری.

بی‌نام ۲، ۱۳۹۸. شرکت مدیریت منابع آب ایران، دفتر مطالعات پایه منابع آب. بولتن جریان سطحی کشور در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷.

بی‌نام ۱، ۱۳۹۹. مطالعات سند ملی آمایش سرزمین-بخش آب، مرکز پژوهش‌های توسعه و آینده‌نگری، سازمان برنامه‌وبودجه کشور.

بی‌نام ۲، ۱۳۹۹. بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی و حجم مخزن آبخوان‌های کشور (منتهی به سال آبی ۹۹-۱۳۹۸). دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت مدیریت منابع آب ایران.

بی‌نام ۱، ۱۴۰۰. اطلس آب، سازمان نقشه‌برداری کشور.

بی‌نام ۲، ۱۴۰۰، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. بررسی تحلیلی شرایط موجود و تبیین وضعیت آینده بحران آب در کشور، دفتر مطالعات زیربنایی.

بی‌نام ۱، ۱۴۰۱. شرکت مدیریت منابع آب ایران، دفتر مطالعات پایه منابع آب. بیلان منابع آب کشور منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹.

بی‌نام ۲، ۱۴۰۱. تشدید بحران منابع آب زیرزمینی و لزوم مدیریت مصارف، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، دفتر مطالعات زیربنایی.

بی‌نام ۳، ۱۴۰۱. بررسی نقش سامانه‌های آبیاری نوین در جبران کسری آبخوان‌های کشور طی دهه اخیر: انتظارات، اعتبارات، اثربخشی. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، دفتر مطالعات زیربنایی.

بی‌نام ۴، ۱۴۰۱. تهیه بیلان منابع و مصارف آب و تدقیق مؤلفه‌های آن مبتنی بر روش‌شناسی موجود. نشریه شماره ۲۰۹-ن، طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور.

بی‌نام ۵، ۱۴۰۱. بررسی راهبردهای بلندمدت آب کشور با بهره‌گیری ازنظرت خبرگان، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، دفتر مطالعات زیربنایی.

بی‌نام ۱، ۱۴۰۲. آمار و اطلاعات آماربرداری سراسری منابع و مصارف دور سوم، دفتر اطلاعات و داده‌های آب کشور، شرکت مدیریت منابع آب ایران.

بی‌نام ۲، ۱۴۰۲. بررسی کلی بیلان آب در کشور: وضعیت و چالش‌ها، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، دفتر مطالعات زیربنایی.

بی‌نام ۳، ۱۴۰۲. آنالیز تراز، سطح و حجم دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT2023، مرکز تحقیقات سنجش‌ازدور دانشگاه صنعتی شریف.

بی‌نام، ۱۴۰۳، گزارش جامع مشخصات سدهای کشور (در دست مطالعه، اجراء و بهره‌برداری)، دفتر توسعه نظام‌های فنی بهره‌برداری و دیسپاچینگ برقآبی، شرکت مدیریت منابع آب ایران.

بی‌نام ۱، ۱۴۰۴. شرکت مدیریت منابع آب ایران، دفتر اطلاعات و داده‌های آب کشور. بیلان منابع آب کشور منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷.

بی‌نام ۲، ۱۴۰۴، پورتال جامع اطلاع‌رسانی منابع آب کشور، دفتر اطلاعات و داده‌های آب کشور، شرکت مدیریت منابع آب ایران.

بی‌نام ۳، ۱۴۰۴. سالنامه مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی، سال زراعی ۰۴-۱۴۰۳، سازمان هواشناسی کشور.

بی‌نام ۴، ۱۴۰۴، سامانه منابع و مصارف سدهای کشور (سدیران)، دفتر اطلاعات و داده‌های آب کشور، شرکت مدیریت منابع آب ایران.

بی‌نام ۵، ۱۴۰۴، پیشخوان رصد منابع آب کشور، دفتر اطلاعات و داده‌های آب کشور، شرکت مدیریت منابع آب ایران.

پیرصاحب، م. ف شرفی، ک؛ و دو گوهر، ک. ۱۳۹۱. مقایسه کیفیت پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اولنگ مشهد و آب چاه برای آبیاری. مجله آب و فاضلاب، ۴: ۱۲۴-۱۱۶.

حبیبی، م.ح. ۱۳۷۸، مدیریت مصرف آب، اولین همایش منطقه‌ای بیلان آب، اهواز، ۴۲۹-۴۱۲.

حسن‌اقلی، ع، ر، ۱۳۸۵، مدیریت زه آب‌های حاصل از سامانه‌های زهکشی و کاربرد مجدد آن در کشاورزی، چهارمین کارگاه فنی زهکشی و محیط‌زیست.

خاتونی، ن؛ و کلاهی، م. ۱۴۰۰. بررسی نقش و کارکرد مراتع درزمینهٔ آب، آب و توسعه پایدار، سال هشتم، شماره ۲، صفحات ۹۱ تا ۱۰۴.

دهقانی‌سانیج، ح. ا. اسعدی اسکویی، ا. تقی‌زاده قصاب، ۱۴۰۰. تحلیلی بر آب مصرفی بخش کشاورزی مبتنی بر تبخیر و تعرق واقعی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران دوره ۱۵، شماره ۶ - شماره پیاپی ۹۰، ۱۲۶۲-۱۲۵۱.

رجبی، م. سراوانی، س. نوربخش. ا. ۱۳۹۴. نگاهی بر وضعیت منابع آب در جهان و ایران. دبیرخانه مرکزی ستاد احیای دریاچه ارومیه، کمیته اجتماعی فرهنگی ستاد احیای دریاچه ارومیه.

زند پارسا، ش، ۱۴۰۲. بیلان منفی آب‌های زیرزمینی و کاهش تدریجی مصرف آب کشاورزی در سازگاری با کمبود آب در ایران، فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران.

شکری، ح.ر. نجارچی، م. جعفری‌نیا، ر. مختاری، ش. علیزاده، ح.ع؛ و رحمانی، ا. ۱۳۹۸. ارزیابی آبیاری نواری و مقایسه با مدل WinSRFR (مطالعه موردی در اراضی پایاب سد مخزنی دویرج دهلران)، نشریه تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۲۰(۷۴): ۱۵۲-۱۳۹.

صدر، ک. ۱۳۷۳. برآورد تابع تقاضای آب شهر تهران، مجله آب، شماره ۱۳.

صلوی‌تبار، ع.ر. ۱۴۰۰. پایداری آب زیرزمینی با بهره‌گیری از منابع آب سطحی خروجی از حوضه آبریزهای کشور، بانکداری آب و اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای، چالش‌ها و راهکارها. شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس.

عابدی کوپایی، ج، ۱۳۸۹. لزوم برنامه‌ریزی هدفمند برای کاربرد پساب تصفیه‌شده به‌عنوان منبع آب رو به رشد در تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی کشور. مجموعه مقالات دومین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب.

عباسی، ن. ۱۳۹۶. تحلیل‌های فنی در مدیریت و مهندسی کشاورزی ایران. جلد اول. انتشارات مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ۱۸۵ صفحه.

عباسی، ف. ۱۴۰۲. تعیین آب کاربردی محصولات سبزی و صیفی در کشور. گزارش پژوهشی نهایی شماره ۶۴۲۰۷ مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

عباسی، ف؛ و ن. عباسی. ۱۴۰۲. تحلیلی بر راندمانهای آبیاری ایران در بستر زمان .نشریه آبیاری و زهکشی ایران.شماره،۶ جلد ،۱۷ بهمن - اسفند ،۱۴۰۲ ص. ۱۰۲۵-۱۰۳۳

عباسی، ن؛ و ف. عباسی، ۱۳۹۹. سیمای منابع و مصارف آب ایران. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

عباسی، ف. ف. سهراب و ن. عباسی، ۱۳۹۴ الف. راندمان‌های آبیاری: تغییرات زمانی و مکانی آن در ایران. گزارش فنی شماره ۴۸۴۹۶، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ۴۵ صفحه.

عباسی، ف. ا. ناصری، ف. سهراب، ج. باغانی، ن. عباسی، م. اکبری، ۱۳۹۴ ب. ارتقای بهره‌وری مصرف آب. نشریه ۳۴/۹۴ ک مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۶۵ صفحه.

عباسی، ف، سهراب، ف؛ و عباسی، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی. (۱۷)۶۷: ۱۱۳-۱۲۸.

عباسی، ف. ن. عباسی، ع.ر. توکلی، ۱۳۹۶. بهره‌وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش‌ها و چشم‌اندازها. نشریه آب و توسعه پایدار، جلد ۴، شماره ۱، صفحه‌های ۱۴۴-۱۴۱.

عباسی، ف. ن. عباسی، ن. ا. ناصری، ۱۳۹۸. ارتقای چشمگیر بهره‌وری آب در کشور در یک دهۀ اخیر و پیاده‌سازی دانش و فناوری در مزارع. نشریه بازتاب تات، جلد ۲، شماره ۱.

عباسی، ف. کوهیم. جوانشیری ز. ملبوسی ش. حبیبی ن. بابایی‌م. فلامرزی‌یاشار ا. ۱۳۹۹. آشکارسازی و به‌روزرسانی تغییر اقلیم در ایستگاه‌های کشور دوره ۲۰۱۷-۱۹۵۸، پژوهش‌های اقلیم شناسی شماره ۴۲، صفحات ۱۵۳-۱۳۷.

عباسی، ف. ج. باغانی، م.ر. یزدانی، ا. حقایقی‌مقدم، م. اکبری، م. معیری، م.م. نخجوانی‌مقدم، ۱۴۰۲ ب. تعیین آب مصرفی محصولات زراعی در کشور. گزارش پژوهش نهایی شماره ۶۳۲۸۸، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

عباسی، ف. س.ح. موسوی‌فضل، ا. ناصری، ع.ر.ا حسن‌اقلی، م.م. نخجوانی‌مقدم، ن. عباسی، ه. افشار، م. جلینی، م. اکبری، م.ع. شاهرخ‌نیا، س. سپهری‌صادقیان، ع. قدمی‌فیروزآبادی، ۱۴۰۲ ج. تعیین آب مصرفی محصولات باغی در کشور. گزارش پژوهشی نهایی شماره ۶۳۵۸۶ مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

عباسی، ن؛ و تاران، ف. ۱۴۰۴. تحلیلی بر فرونشست زمین در ایران؛ (مفاهیم، علل، پیامدها و راهبردهای پایش و کنترل). گزارش تحلیلی به شماره ۶۹۰۸۴. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۶۲ صفحه.

فاضلی، ع، ۱۴۰۰. مسائل، چالش‌ها و دستاوردهای طرح احیاء و تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی، نشست تخصصی تجارت موجود در ایران و جهان در خصوص طرح احیاء منابع آب زیرزمینی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

فاضلی، ع، ۱۴۰۲. وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی قانون و مقررات، شرکت مدیریت منابع آب ایران.

فرشی، ع.ا. شریعتی، م. جارالله‌ی، ر. قائمی، م.ر. شهابی فر، م. تولایی، م.م. ۱۳۷۶. برآورد آب موردنیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. توسط انتشارات آموزش کشاورزی وابسته به دفتر خدمات فنّاوری آموزشی وزارت جهاد کشاورزی. ۹۱۸ صفحه.

فنی، ز. ۱۳۹۶. بررسی اثرات خشکی دریاچه ارومیه بر آسیب‌پذیری محیط‌زیست طبیعی و انسانی ناحیه پیرامون. محیط‌زیست و توسعه فرابخشی دوره دو، شماره ۵۸. صفحات ۱ تا ۱۶.

فولادمند، ح، ۱۳۸۸. اصول آبیاری. انتشارات نوید شیراز.

قدرت‌نما، ق. ۱۳۷۷. منابع، مصارف و نیازهای آبی در ایران: حال و آینده. آب و توسعه (فصلنامه امور آب وزارت نیرو). سال ۶، شماره ۲ و ۳. صفحه ۲۰ تا ۴۶.

قزل‌سوفلو، ع. ع، باغدار دخت، ز. رجب زاده، م، ۱۳۸۷. تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از پساب تصفیه‌شده، اولین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، چالش‌ها و راهکارها، مشهد.

قلی‌زاده، ح. عبادزاده، ح. احمدی، ک. حاتمی، ف. حسین‌پور، ر. عبدشاه، ه. رضایی، م.م. فضلی‌استبرق، م. ۱۳۹۵. آمارنامه کشاورزی. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۱۶۷ صفحه.

کیانیان گل‌افشانی، م.ک؛ و امین‌بیدختی، س. ۱۳۹۹. انواع آب‌های نامتعارف و مدیریت آن‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، دومین همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالش‌های زیست‌محیطی، ساری.

کیخایی، ف؛ و ف. عباسی، ۱۳۹۸. منابع آب ژرف: فرصت‌ها و چالش‌ها. نشریه آب و توسعه پایدار. سال ششم. شماره ۱. صفحات ۶۱ تا ۶۶.

مانلی، بی.اف.جی، ۱۳۸۸. آشنایی با روش‌های آماری چند متغیره. ترجمه م. مقدم، س.ا. محمدی و م. آقایی‌سربرزه، انتشارات پریور. ۲۸۰ ص. تبریز، ایران.

مبرقعی، ن. شرزه‌ای، غ؛ و قدوسی، ج، ۱۳۸۹. نقش بوم‌سازگان جنگلی در حفاظت از منابع آبی و برآورد ارزش این عملکرد در جنگل‌های خزری ایران مطالعه موردی: آبخیز شماره یک در حوضه ۴۵. مجله جنگل ایران. سال ۲، شماره ۳. صفحات ۱۸۷ تا ۱۹۶.

میرعربی، ع؛ و س.ا. حسینی، ۱۳۹۰. آب‌های فسیلی ذخایر استراتژیک جهان، پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران.

ناصری، ا. ۱۳۹۴. تحلیل مصرف آب در بخش کشاورزی بر مبنای بیلان آب در چرخه هیدرولوژیک کشور. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۴۲ صفحه.

ناصری، ا. عباسی، ف. عباسی، ن. اکبری، م؛ و سهراب، ف. ۱۳۹۷. برآورد مقدار مصرف آب در بخش کشاورزی. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، گزارش نهایی شماره ۵۴۰۰۱. ۱۷۰ صفحه.

یارقلی، ب. ۱۳۷۹. اثرات زیست‌محیطی و برنامه پایش در طرح‌های تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب در کشاورزی پایدار. مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، جلد ۵، شماره ۱۸.

AghaKouchak A et al. 2015. Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action. J. Great Lakes Res 41(1): 307–311.

Ali. M.H. 2011. Practices of Irrigation and On-farm Water Management. 1st Ed. Vol. 2. Springer Pub. 571 Pages.

Ashraf S, Nazemi A, AghaKouchak A. 2021. Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. Sci Rep. Apr 28;11(1):9135. doi: 10.1038/s41598-021-88522-y. PMID: 33911120; PMCID: PMC8080627.

Ashraf, S. AghaKouchak, A. Nazemi, A. et al. 2019. Compounding effects of human activities and climatic changes on surface water availability in Iran. Climatic Change 152: 379–391.

Chen, Haorui, Zhanyi Gao, Wenzhi Zeng D, Jing Liu 1, Xiao Tan, Songjun Han Shaoli Wang, Yongqing Zhao and Chengkun Yu. 2018. Scale Effects of Water Saving on Irrigation Efficiency:Case Study of a Rice-Based Groundwater Irrigation System on the Sanjiang Plain, Northeast China. Sustainability 2018, 10, 47; doi:10.3390/su10010047.

FAO. 2015. Total Renewable Water Resources per Inhabitant in 2014. QUASTAT Main Database. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/maps/TRWR.Cap_eng.pdf.

FAO and UN Water. 2021. Progress on the level of water stress: Global status and acceleration needs for SDG indicator 6.4.2, 2021. Rome

Hamdy, A. 2007. Water use efficiency in irrigated agriculture: an analytical review. In: Lamaddalena N. (ed.), Shatanawi M. (ed.), Todorovic M. (ed.), Bogliotti C. (ed.), Albrizio R. (ed). Water use efficiency and water productivity: WASAMED project. Bari: CIHEAM, 2007. p. 9-19. (Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches; n. 57). 4. WASAMED (WAter SAving in MEDiterranean agriculture) Workshop, 2005/09/30-2005/10/04, Amman(Jordan).

Howell, T.A. 2003. Irrigation efficiency. Encyclopedia of Water Science, DOI: 10.1081/E-EWS 120010252

Jac/van der Gun. Groundwater and global change: trends, opportunities and challenges. UNESCO, 2012.

Jha, A.K. Malla, R. Sharma, M. Panthi, J. Lakhankar, T. Krakauer, N.Y. Pradhanang, S.M. Dahal, P. and Shrestha, M.L. 2016. Impact of Irrigation Method on Water Use Efficiency and Productivity of Fodder Crops in Nepal, Climate, 4(1): 4, doi:10.3390/cli4010004.

Keyantash, J. and Dracup, J.A. 2002. The quantification of drought indices. American Metrological Society, 83 (8): 1167-1180.

Lankford A. Bruce. 2023. Resolving the paradoxes of irrigation efficiency: Irrigated systems accounting analyses depletion-based water conservation for reallocation. Agricultural Water Management, 287, 108437.

Lonsdale, W.R. Cross, W.F. Dalby, C.E. Meloy, S.E. Schwend, A.C. 2020. Evaluating Irrigation Efficiency: Toward a Sustainable Water Future for Montana, Montana University System Water Center, Montana State University, 42p. doi.org/10.15788/mwc202011.

McKee T.B. Doesken N.J. and Kleist J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Eighth Conference on Applied Climatology, January 17e22, Anaheim, California, 179-184.

Milly, P. Dunne, K. & Vecchia, A. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. Nature 438, 347–350 (2005). https://doi.org/10.1038/nature04312.

Mohammad-Vali-Samani, J. 2005. Water resources management and sustainable development. Infrastructure Studies Office of the Islamic Consultative Assembly. Report No. 7374. (in Persian).

Molden, D. 2007. Water for food. Water for life. A comprehensive assessment of water management in agriculture. International Water Management Institute (IWMI) and FAO.

Movaheddanesh, A.S. 1994. Hydrology of Surface Water. The Study and Compilation of Humanities Pub. (in Persian).

Müller, Christoph; Bondeau, Alberte; Popp, Alexander; Waha, Katharina; Fader, Marianela. 2010. Climate Change Impacts on Agricultural Yields. © Washington, DC: World Bank.

Perry, C. and P. Steduto. 2017. Does improved irrigation technology save water? Areview of the evidence. Discussion paper on irrigation and sustainable water resources management in the Near East and NorthAfrica. Regional Initiative on Water Scarcity for the Near East and NorthAfrica. Cairo: FAO.

Sarmad, Z. A. Bazargan, and E. Hejazi, 2001. Research Methods in Behavioral Sciences. Agah Publishing, Tehran, 405 pp.

SCS, 1972. U.S. Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, Hydrology Section 4.

Şeren, A. H.U. Kolsuz, and M.U. Yildirim, 2023. The effect of remote control ultrasonic water meters and volume-based pricing on water use efficiency. 25th International Congress on Irrigation and Drainage, 1-8 November, Visakhapatnam, India.

Shiklamanov, I. 1993. World Fresh Water Resources, Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resource, Cambridge.

Solomon, K.H. 1988. Irrigation Systems and Water Application Efficiencies. Center for Irrigation Technology Irrigation Notes. CAIT Pud # 880104. California State University, Fresno, California.

United Nations, 1976, The Demand for water: Procedures and methodologies for projecting water demands in the context of regional national planning, Nat. Resour, Water Ser. 3, United Nations Publications, New York.

Vicente-Serrano S.M. Beguería S. and López-Moreno J.I. 2010. A Multi–scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. Journal of Climate, 23(7): 1696– 1718.

WMO Global Annual to Decadal Climate Update (Target years: 2024 and 2024-2028), World Meteorological Organization (WMO), 2024, 27 p, Geneva.

Zhou, Q. Y. Zhang, and F. Wub, 2021. Evaluation of the most proper management scale on water use efficiency and water productivity: A case study of the Heihe River Basin, China. Agric. Water Manag. 246.

An Analytical Assessment of the Status and Trends of Water Resources and Water Use in Iran

Abstract

Over the past decades, Iran's water resources have been increasingly challenged by rapid population growth, expansion of agricultural activities, climate change, recurrent droughts, excessive groundwater abstraction, and the limited availability of renewable water resources. Developing effective policies for water resources and demand management requires a thorough understanding of historical trends, an accurate assessment of the current situation, and reliable projections of future changes. Drawing upon the latest official statistics published by national organizations, together with internationally recognized datasets, this report provides a comprehensive and integrated assessment of the status of Iran's water resources and water use. The report examines climatic characteristics, surface and groundwater resources, unconventional water resources, changes in water resources across different ecosystems, long-term trends in renewable water resources, water abstraction and consumption patterns, and indicators of water management in the agricultural sector. It further analyzes the major temporal and spatial trends and compares Iran's water status with relevant global indicators. In addition, the report employs the latest climate projections to present an outlook on the potential future changes in the country's water resources. The findings indicate that the continuous decline in renewable water availability per capita, depletion of groundwater reserves, increasing water stress, and the persistent dependence of the agricultural sector on limited water resources have highlighted the urgent need for improving water governance, enhancing water-use efficiency, strengthening demand management, and revising water allocation policies. The evidence presented in this report further demonstrates that water is no longer merely a sectoral or technical issue in Iran; rather, it has evolved into a strategic national concern with significant economic, social, environmental, and security dimensions. The future of Iran's water resources depends less on the amount of precipitation than on the quality of water governance, the effectiveness of water allocation policies, the efficiency of water use, and the country's capacity to manage water demand. Addressing the current challenges therefore requires a fundamental paradigm shift from short-term crisis management toward sustainable water governance, evidence-based decision-making, stronger institutional coordination, and the implementation of integrated water resources management (IWRM) at the river basin scale. Within this framework, reforms focused on improving water productivity, strengthening stakeholder participation, and promoting integrated water resources management can pave the way toward

achieving long-term water security and food security. Ultimately, overcoming the current situation requires a transition from fragmented and reactive management to a forward-looking, participatory, knowledge-based governance system founded on the ecological carrying capacity of the land. Such an approach can establish an appropriate balance among the objectives of water security, food security, economic development, and environmental sustainability.

Keywords: Surface Water, Groundwater, Water Crisis, Water Resources Assessment, Agricultural Water Use.

Ministry of Agriculture – Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Agricultural Engineering Research Institute

Report Title:	An Analytical Assessment of the Status and Trends of Water Resources and Water Use in Iran
Written by:	N. Abbasi, H. Khalili Shayan and F. Abbasi
Employer:	Deputy of Water and Soil, Ministry of Agriculture- Jahad and Agricultural Engineering Research Institute
Location:	Agricultural Engineering Research Institute
Start date:	2025
Duration:	1 Year
Publisher:	Agricultural Engineering Research Institute
Tirage:	-
Date of issue:	2026

Ministry of Agriculture – Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Agricultural Engineering Research Institute

Analytical Report:

An Analytical Assessment of the Status and Trends of Water Resources and Water Use in Iran

Written by:

N. Abbasi, H. Khalili Shayan & F. Abbasi

No: 70115

Ministry of Agriculture – Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Agricultural Engineering Research Institute

Analytical Report

An Analytical Assessment of the Status and Trends of Water Resources and Water Use in Iran

No: 70115

بسمه‌تعالی

فرم ثبت انتشارات وزارت کشاورزی در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی

عنوان: تحلیلی بر وضعیت و روند تغییرات منابع و مصارف آب ایران

نویسنده: نادر عباسی، فریبرز عباسی و حسین خلیلی شایان

مترجم: -

درصورتی‌که اثر ترجمه باشد لطفاً عنوان و مشخصات کامل اخذ اصلی را مرقوم فرمانید.

گردآورنده:

ناظر:

چاپ:

در صورت تجدید چاپ لطفاً تاریخ انتشار چاپ‌های قبلی را مرقوم فرمانید.

ویرایش:

محل ناشر: کرج

نام ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵

تعداد صفحات: ۱۸۸ صفحه

شمارگان: -

زبان متن: فارسی (دارای چکیده انگلیسی)

لطفاً موضوع کتاب یا نشریه خود را حدود ۵۰ کلمه مرقوم فرمانید.

موضوع:

این اثر به تحلیل وضعیت و روند تغییرات منابع و مصارف آب ایران با استفاده از داده‌های رسمی ملی و منابع معتبر بین‌المللی می‌پردازد. گزارش ضمن ارزیابی منابع آب، الگوهای مصرف، چالش‌های مدیریت آب و آثار تغییر اقلیم، با ارائه تحلیل‌ها و پیشنهادهای سیاستی، چارچوبی برای حکمرانی پایدار و مدیریت یکپارچه منابع آب کشور ارائه می‌کند.

نوع : **کتاب** **نشریه** ☑ **نشریه ادواری**