وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

نشریه فنی

تحلیل وضعیت منابع آب استان اصفهان

نویسندگان:
علی دسترنج، بهرام چوبین، مهدی هاشمی، عبدالرسول شفیعی

شماره ثبت: ۶۹۴۵۷
۱۴۰۵

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

نشریه فنی:

تحلیل وضعیت منابع آب استان اصفهان

نویسندگان:
علی دسترنج، بهرام چوبین، مهدی هاشمی، عبدالرسول شفیعی

شماره ثبت: ۶۹۴۵۷

۱۴۰۵

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

عنوان: تحلیل وضعیت منابع آب استان اصفهان

نام نویسندگان: علی دسترنج، بهرام چوبین، مهدی هاشمی

ویراستار: سعید نبی‌پی لشکریان

صفحه آرا و طراح جلد: عباس صدیق

ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

شمارگان: ۱۰ نسخه

تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۵

این اثر در مورخه **۱۴۰۵/۰۳/۲۳** با شماره **۶۹۴۵۷** در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است. حق چاپ محفوظ است. نقل مطلب، تصاویر، جداول، منحنی‌ها و نمودارها با ذکر مأخذ بلامانع است.

فهرست مطالب

چکیده ۱

۱- فصل اول: کلیات ۴

۱-۱- مقدمه ۴

۱-۲- تبیین مسأله ۵

۱-۳- ضرورت و اهمیت مطالعه ۶

۱-۴- هدف و دامنه گزارش ۷

۲- فصل دوم: روش انجام گزارش ۸

۲-۱- رویکرد کلی مطالعه ۸

۲-۲- محدوده مکانی و زمانی مطالعه ۸

محدوده مکانی: ۸

محدوده زمانی: ۸

۲-۳- داده‌ها و منابع اطلاعاتی ۹

داده‌های منابع آب زیرزمینی: ۹

داده‌های منابع آب سطحی: ۱۰

داده‌های تکمیلی: ۱۰

۲-۴- روش تحلیل داده‌ها ۱۰

۳- فصل سوم: نتایج تحلیل وضعیت مناب آب ۱۱

۳-۱- وضعیت بارش استان ۱۱

۳-۲- تحلیل روند سالانه بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک استان ۱۶

۳-۳- تحلیل روندهای غالب بارش و شاخص تغییرات سالانه در ایستگاه‌های استان اصفهان ۲۲

۳-۴- متوسط بارش ایستگاه‌های مختلف بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲ ..... ۲۳

۳-۵- تحلیل توزیع و تغییرپذیری درون داده‌ای بارش در ایستگاه‌های استان اصفهان ۲۴

۳-۶- تحلیل روند میانگین بارش سالانه استان اصفهان (۱۳۷۱-۱۴۰۲) ۲۵
۳-۷- وضعیت دمای استان طی سال‌های ۱۳۷۱-۱۴۰۲ ..... ۲۷
۳-۸- روند تغییرات دما در ایستگاه‌های مختلف ۳۱
۳-۹- میانگین دمای ایستگاه‌های مختلف در استان اصفهان ۳۵
۳-۱۰- مقایسه میانگین سالیانه نسبت به میانگین بلند مدت ۳۶
۳-۱۱- حوزه‌های آبخیز و محدوده‌های مطالعاتی استان اصفهان ۳۹
۳-۱۲- میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی استان اصفهان ۴۲
۳-۱۳- مقایسه مصرف آب و برداشت از منابع آب زیرزمینی ۴۴
۳-۱۴- سهم نسبی بخش‌های مختلف مصرف آب: ۴۵
۳-۱۵- روند مصرف آب زیرزمینی در استان اصفهان بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۲ ..... ۴۶
۳-۱۶- تحلیل ماتریس همبستگی بین منابع مختلف آب زیرزمینی و مصارف مختلف ۴۸
۳-۱۷- روند تعداد منابع آب زیرزمینی فعال استان اصفهان در بازه زمانی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲ ..... ۴۹
۳-۱۸- مقایسه روند تغییرات تخلیه منابع آب استان اصفهان در بازه زمانی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲ ..... ۵۱
تغییر سهم هر منبع از کل تخلیه استان: ۵۳
نتیجه‌گیری نهایی بررسی آماری منابع آب زیرزمینی در استان اصفهان: ۵۳
۳-۱۹- مصرف از منابع آب سطحی ۵۵
۳-۲۰- تحلیل ماتریس همبستگی بین بخش‌های مختلف مصرف آب سطحی در استان اصفهان ۵۹
۳-۲۱- جمع‌بندی آب سطحی ۶۰
۳-۲۲- آب خروجی از استان ۶۱
جمع‌بندی کلی: ۶۳
۳-۲۳- تحلیل روند کلی تغییرات حجم آب خروجی از استان اصفهان ۶۶
۳-۲۴- تحلیل روند تغییرات آب خروجی در شاخه‌های اصلی ۶۷
ایستگاه خرسان : ۶۷
ایستگاه زالکی: ۶۸
ایستگاه وانک : ۶۸
ایستگاه قره‌چای : ۶۸
۳-۲۵- تحلیل توزیع درصدی حجم آب خروجی در ایستگاه‌ها ۶۹

۳-۲۶- تحلیل مقایسه حجم آب خروجی در ابتدا و انتهای دوره ۷۰
۳-۲۷- تحلیل هیتمپ حجم آب خروجی از استان ۷۱
۳-۲۸- نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان ۷۲
۳-۲۹- کلاس‌بندی تغییرات شدت افت آب زیرزمینی در دشت‌های استان ۷۶
۳-۳۰- بررسی کلی تمام منابع آب استان اصفهان ۷۹
نتیجه‌گیری و جمع‌بندی : *۸۱*
۳-۳۱- روند سهم درصدی منابع آب زیرزمینی و سطحی از کل تولید آب استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۸۵) ۸۵
۳-۳۲- توزیع مصرف آب استان اصفهان براساس بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب (۱۴۰۲-۱۳۸۵) ۸۷
۳-۳۳- مقایسه متوسط مصرف آب زیرزمینی و سطحی در بخش‌های مختلف استان (۱۴۰۲-۱۳۸۵) ۸۸

۴- فصل چهارم: نتیجه‌گیری ۹۰

۴-۱- تحلیل نتایج وضعیت بارش در استان ۹۰
۴-۲- تحلیل نتایج وضعیت دما ۹۱
۴-۳- تحلیل نتایج منابع آب زیرزمینی ۹۱
۴-۴- تحلیل نتایج منابع آب سطحی ۹۲
۴-۵- تحلیل نتایج وضعیت دشت‌های استان ۹۳
۴-۶- تحلیل نتایج کلی منابع آب استان ۹۴
۴-۷- نتیجه‌گیری کلی ۹۵
۴-۸- پیشنهادات ۹۶
ملاحظات اخلاقی ۹۷
منابع ۹۸
ABSTRACT ۹۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و شهرستان‌های استان اصفهان ۹
شکل ۲- تحلیل روند سالانه بارش در ایستگاه‌های استان (۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲) ۲۱
شکل ۳- تحلیل روندهای غالب بارش و شاخص تغییرات روند سالانه در ایستگاه‌های استان اصفهان ۲۲
شکل ۴- نمودار ستونی متوسط بارش ایستگاه‌های مختلف بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲ ..... ۲۳
شکل ۵- نمودار BOX- PLOT تحلیل توزیع و تغییرپذیری درون‌سالی بارش در ایستگاه‌های استان اصفهان ۲۴
شکل ۶- نمودار تحلیل روند میانگین بارش سالانه استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۷۱) ۲۶
شکل ۷- میزان تغییرات میانگین بارش سالانه ایستگاه‌های منتخب استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۷۱) ۲۶
شکل ۸- روند تغییرات دما در ایستگاه‌های مختلف استان اصفهان ۳۴
شکل ۹- میانگین دمای ایستگاه‌های مختلف در استان اصفهان ۳۶
شکل ۱۰- مقایسه میانگین سالیانه نسبت به میانگین بلندمدت در هر ایستگاه ۳۸
شکل ۱۱- مساحت حوزه‌های آبریز واقع در استان اصفهان ۴۰
شکل ۱۲- حوزه‌های آبریز درجه ۲ استان اصفهان ۴۱
شکل ۱۳- استان اصفهان به تفکیک محدوده‌های مطالعاتی ۴۲
شکل ۱۴- مقایسه مصرف آب و برداشت از منابع آب زیرزمینی بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۲ ..... ۴۴
شکل ۱۵- سهم نسبی بخش‌های مختلف مصرف آب را در سه سال شاخص ۸۶-۱۳۸۵، ۹۵-۱۳۹۴ و ۰۳-۱۴۰۲ ..... ۴۵
شکل ۱۶- روند مصارف آب زیرزمینی استان اصفهان در بازه زمانی ۸۶-۱۳۸۵تا ۱۴۰۳-۱۴۰۲ ..... ۴۶
شکل ۱۷- ماتریس همبستگی روابط خطی بین منابع مختلف و مصارف آب در استان اصفهان ۴۹
شکل ۱۸- روند تعداد منابع آب استان اصفهان در بازه زمانی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲ ..... ۵۰
شکل ۱۹- مقایسه روند تغییرات تخلیه منابع آب استان اصفهان در بازه زمانی ۸۵-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲ ..... ۵۱
شکل ۲۰- تغییرات حجم مصارف منابع آب سطحی در استان اصفهان طی سال‌های ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲ ... ۵۸
شکل ۲۱- نمودار مقایسه‌ای سهم مصارف آب سطحی در ابتدا و انتهای دوره مطالعاتی (۱۴۰۲-۱۳۸۵) ۵۸
شکل ۲۲- تحلیل ماتریس همبستگی بین بخش‌های مختلف مصرف آب سطحی در استان اصفهان ۵۹
شکل ۲۳- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری ثبت‌کننده آب‌خروجی از استان ۶۴
شکل ۲۴- تحلیل روند کلی تغییرات حجم آب خروجی از استان اصفهان ۶۷
شکل ۲۵- تحلیل روند تغییرات آب خروجی در ایستگاه‌های مختلف ۶۹
شکل ۲۶- تحلیل توزیع درصدی حجم آب خروجی در شاخه های اصلی ۷۰
شکل ۲۷- تحلیل مقایسه حجم آب خروجی در ابتدا و انتهای دوره ۷۱
شکل ۲۸- تحلیل هیت‌مپ (نقشه گرمایی) حجم آب خروجی از استان ۷۲

شکل ۲۹- میزان نوسانات نوسان تجمعی تراز آب از ابتدا تا ۱۴۰۲ (متر) در محدوده‌های مطالعاتی تحت مدیریت آب منطقه‌ای استان اصفهان ۷۵
شکل ۳۰- توزیع تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان اصفهان..... ۷۶
شکل ۳۱- کلاس‌بندی تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان اصفهان ۷۸
شکل ۳۲- توزیع درصدی دشت‌ها براساس شدت افت سطح آب زیرزمینی ۷۹
شکل ۳۳- روند مصرف کل آب استان اصفهان به تفکیک بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب (۱۴۰۲-۱۳۸۵) . ۸۴
شکل ۳۴- سهم مصرف کل آب استان اصفهان به تفکیک بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب (۱۴۰۲-۱۳۸۵). ۸۴
شکل ۳۵- سهم منابع آب زیرزمینی و سطحی از کل تولید آب استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۸۵) ۸۶
شکل ۳۶- سهم درصدی منابع آب زیرزمینی و سطحی از کل تولید آب استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۸۵) ۸۶
شکل ۳۷- توزیع مصرف آب استان اصفهان براساس بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب (۱۴۰۲-۱۳۸۵)..... ۸۸
شکل ۳۸- مقایسه متوسط مصرف آب زیرزمینی و سطحی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۸۵)..... ۸۹

فهرست جدول‌ها

جدول ۱- میزان بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۷۱) (اداره هواشناسی استان، ۱۴۰۳) ۱۴
جدول ۲- وضعیت دمای استان طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۳۷۱ (اداره هواشناسی استان، ۱۴۰۳) ۲۹
جدول ۳- تعداد سال‌های پایین‌تر و بالاتر از میانگین بلندمدت در هر ایستگاه ۳۷
جدول ۴- مساحت حوزه‌های آبریز واقع در استان اصفهان (گزارش آب منطقه‌ای استان، ۱۴۰۳) ۳۹
جدول ۵- میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی (برحسب میلیون متر مکعب) (گزارش آب منطقه ای استان، ۱۴۰۳) ۴۳
جدول ۶- خلاصه تغییرات تعداد منابع از سال اول تا سال آخر ۵۰
جدول ۷- خلاصه تغییرات تخلیه منابع مختلف ۵۲
جدول ۸- مجموع و مصارف آب سطحی در استان اصفهان بین سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲ ..... ۵۶
جدول ۹- متوسط حجم خروجی سالیانه (میلیون مترمکعب) طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۳۸۵ ..... ۶۵
جدول ۱۰- نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان از ابتدای سال شروع اندازه‌گیری سطح آب تا ۱۴۰۲ ..... ۷۳
جدول ۱۱- وضعیت منابع آب در استان اصفهان بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۲ (بر حسب میلیون مترمکعب) ۸۳

چکیده

ایران با اقلیمی عمدتاً خشک و نیمه‌خشک، با متوسط بارش سالانه حدود ۲۷۳ میلی‌متر (کمتر از یک‌سوم میانگین جهانی) مواجه است. استان اصفهان، به‌عنوان نمونه‌ای شاخص از بحران آب در فلات مرکزی ایران، با چالش‌های پیچیده‌ای از قبیل رشد جمعیت، تمرکز صنعتی بالا و وابستگی شدید بخش کشاورزی به منابع آب زیرزمینی روبه‌رو است. این عوامل در کنار اثرات تغییر اقلیم، منجر به ناپایداری بیلان آبی، افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی، و تشدید رقابت بین‌بخشی بر سر منابع آب شده‌اند. هدف این گزارش، ارائه تحلیلی جامع و مبتنی بر داده‌های میدانی از وضعیت منابع آب استان اصفهان طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۲ است تا تصویری واقع‌بینانه از وضعیت موجود به‌عنوان پیش‌نیاز هرگونه برنامه‌ریزی پایدار ارائه دهد. این مطالعه با رویکرد توصیفی-تحلیلی و با استفاده از داده‌های شرکت آب منطقه‌ای اصفهان و سایر مراجع معتبر انجام شده است. محدوده مکانی، استان اصفهان و دشت‌های اصلی آن (از جمله اصفهان- برخوار، کاشان، گلپایگان) و محدوده زمانی، سال‌های آبی ۱۳۸۵-۸۶ تا ۰۳-۱۴۰۲ را در بر می‌گیرد. داده‌های مورد تحلیل شامل: ۱) منابع آب زیرزمینی ۲) منابع آب سطحی ۳) داده‌های هواشناسی (بارش و دما در ۱۲ ایستگاه سینوپتیک از ۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲) و ۴) آب خروجی از استان در ایستگاه‌های هیدرومتری است. تحلیل داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری، ترسیم نمودارهای روند (در نرم‌افزار Excel)، محاسبه شاخص‌های مرکزی و پراکندگی و تحلیل همبستگی صورت گرفته است. تحلیل ۳۲ ساله (۱۴۰۲-۱۳۷۱) بارش در ۱۲ ایستگاه نشان‌دهنده کاهش عمومی روند بارش در استان است. ۱۱ ایستگاه از ۱۲ ایستگاه روند کاهشی داشته‌اند. شدیدترین کاهش در ایستگاه پربارش سمیرم با شیب ۶/۱۲- میلی‌متر در سال رخ داده است. میانگین بارش استان از حدود ۱۸۰ میلی‌متر به ۱۲۸/۲ میلی‌متر کاهش یافته که نشان‌دهنده تشدید شرایط خشکی است. داده‌های دمایی در همان بازه نشان‌دهنده روند گرمایشی آشکار در استان است. ۱۱ ایستگاه از ۱۲ ایستگاه روند افزایشی دما را تجربه کرده‌اند. بیشترین افزایش در مناطق خشک و کم‌ارتفاع مانند خور و بیابانک مشاهده شده است. این روند گرمایشی، فشار بر منابع آب را از طریق افزایش تبخیروتعرق تشدید می‌کند.

کل آب قابل استحصال استان (زیرزمینی + سطحی) از ۱۰/۵۶ میلیارد مترمکعب در سال ۸۶-۱۳۸۵ به ۵/۶۸ میلیارد مترمکعب در سال ۰۳-۱۴۰۲ رسیده که نشان‌دهنده کاهش ۴۶ درصدی منابع در دسترس طی ۱۸ سال است. سهم آب زیرزمینی از کل تولید آب استان عمدتاً بالای ۶۰ درصد باقی مانده و در سال خشک ۹۷-۱۳۹۶ به ۷۹ درصد افزایش یافته است. این نشان می‌دهد سامانه تأمین آب برای جبران کمبود آب سطحی، به‌صورت اضطراری به برداشت از آبخوان‌ها متوسل شده است. بخش کشاورزی به‌طور میانگین ۸۷ درصد از کل مصرف آب استان را به خود اختصاص داده است. مصرف این بخش از ۷/۰۲ میلیارد مترمکعب در ابتدای دوره به ۳/۳۳ میلیارد مترمکعب در انتهای دوره کاهش یافته (کاهش ۵۳ درصدی) که عمدتاً ناشی از کمبود فیزیکی آب بوده است. حدود ۷۹ درصد از آب مصرفی کشاورزی در سال‌های اخیر از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود. سهم بخش کشاورزی از مصارف آب سطحی از ۷۸/۵ درصد در سال ۸۶-۱۳۸۵ به ۶۴/۲ درصد در سال ۰۳-۱۴۰۲ کاهش یافته، درحالی‌که سهم بخش شرب از ۱۶/۱ درصد به ۳۱/۶ درصد افزایش یافته است. این تغییر ساختاری، نشان‌دهنده اولویت‌دهی به تأمین آب شرب در شرایط کم‌آبی است. تخلیه کل از چهار منبع اصلی زیرزمینی (چاه عمیق، چاه کم‌عمق، قنات، چشمه) از ۶/۰۲ میلیارد مترمکعب در سال ۸۶-۱۳۸۵ به ۳/۲ میلیارد مترمکعب در سال ۰۳-۱۴۰۲ رسیده (کاهش ۴۶/۷ درصدی). شدیدترین کاهش مربوط به قنات‌ها (۷۶/۵- درصد) و چاه‌های کم‌عمق (۵۴/۲- درصد) است. تعداد چاه‌های عمیق با رشد ۱۴۶/۴ درصدی (از ۱۵۳۸۷ به ۳۷۹۴۶ حلقه) مواجه بوده، درحالی‌که تعداد چاه‌های کم‌عمق و قنات‌ها کاهش یافته است. این نشان‌دهنده حرکت به سمت برداشت از اعماق بیشتر و تخلیه آبخوان‌های عمقی است. داده‌های پایش ۳۳ دشت نشان می‌دهد ۱۰ دشت در وضعیت افت بحرانی (بیش از ۲۰ متر افت تجمعی) قرار دارند. دشت مهیار شمالی با ۴۵/۳۰- متر افت، بحرانی‌ترین وضعیت را دارد. میانگین افت تجمعی در دشت‌های استان حدود ۱۲/۲ متر است. حجم کل آب خروجی از استان (اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری) از ۱۷۰۱/۹ میلیون مترمکعب در سال ۸۶-۱۳۸۵ به ۸۴۴ میلیون مترمکعب در سال ۰۳-۱۴۰۲ کاهش یافته (کاهش حدود ۵۰ درصدی). این سامانه دارای نوسانات بسیار بالا (ضریب تغییرات ۵۲/۹ درصد) است که مدیریت پایدار را دشوار می‌سازد. شاخه خرسان (ماربر) با سهم متوسط ۴۷/۵ درصدی، نقش کاملاً

مسلطی در سیستم آب خروجی استان دارد. تحلیل جامع داده‌ها در این گزارش، تصویری هشداردهنده از یک بحران چندبعدی آب در استان اصفهان ترسیم می‌کند؛ شامل: روند کاهشی منابع: تحت تأثیر تغییرات اقلیمی (کاهش بارش و افزایش دما) و برداشت‌های انسانی، هم منابع سطحی و هم منابع زیرزمینی استان با کاهش شدید کمّی مواجه شده‌اند. روند افزایشی وابستگی به آب زیرزمینی: سامانه تأمین آب استان، در یک الگوی مدیریتی واکنشی، کسری منابع سطحی را عمدتاً از طریق برداشت فزاینده از ذخایر زیرزمینی جبران کرده است. این امر منجر به تخلیه آبخوان‌ها و قرارگیری بسیاری از دشت‌های اصلی در آستانه ورشکستگی آبی و عوارضی مانند فرونشست زمین شده است. روند نامتوازن تخصیص: با وجود کاهش سهم مطلق بخش کشاورزی، این بخش کماکان سهم غالب (حدود ۸۷ درصد) از مصرف آب را در اختیار دارد. این عدم تعادل ساختاری بین سهم بخش‌ها، تاب‌آوری کل سامانه را در برابر تغییرات اقلیمی به شدت کاهش داده است. یافته‌های این گزارش بر این نکته تأکید دارد که استان اصفهان از مرحله هشدار گذشته و در وضعیت بحران منابع آب قرار دارد. تمرکز صرف بر مدیریت عرضه (مانند انتقال آب بین‌حوضه‌ای) بدون اصلاح الگوی مصرف و احیای منابع، تحول در مدیریت بخش کشاورزی، احیای آبخوان‌ها، کنترل برداشت از چاه‌های عمیق (به‌ویژه در دشت‌های بحرانی)، احیای قنات‌ها و توسعه پروژه‌های تغذیه مصنوعی، تقویت حکمرانی یکپارچه آب، ایجاد هماهنگی مؤثر بین‌بخشی و حوضه‌ای، شفاف‌سازی داده‌ها و مشارکت دادن ذی‌نفعان در تصمیم‌گیری و تدوین برنامه جامع سازگاری با کم‌آبی در شرایط تغییر اقلیم، راه‌گشا نخواهد بود. این گزارش به‌عنوان یک سند تشخیصی، پایه علمی لازم برای خروج از مدیریت واکنشی و حرکت به سمت مدیریت فعالانه، یکپارچه و پایدار منابع آب در استان اصفهان را فراهم می‌سازد.

کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، آب سطحی، استان اصفهان، افت آبخوان، بحران آب، بخش کشاورزی، تغییر اقلیم، روند بارش، مدیریت یکپارچه منابع آب.

۱- فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه

ایران کشوری با اقلیم عمدتاً خشک و نیمه‌خشک است که کمتر از یک‌سوم متوسط جهانی بارش سالانه (حدود ۲۷۳ میلی‌متر) را دریافت می‌کند. بیش از ۷۰ درصد این بارش در اثر تبخیروتعرق از دست می‌رود و تنها حدود ۲۲ درصد آن به جریان سطحی تبدیل می‌شود (Safdari و همکاران، ۲۰۲۲). این شرایط اقلیمی، همراه با افزایش جمعیت و توسعه اقتصادی، مصرف آب را در کشور به‌شدت بالا برده است. به‌گونه‌ای که کمبود منابع آب شیرین به‌عنوان یکی از محدودیت‌های مهم توسعه پایدار در ایران مطرح شده است. عدم تعادل بارندگی و برداشت بی‌ضابطه از منابع آب موجب شده که بیلان آب‌های زیرزمینی در بسیاری نقاط ایران منفی باشد و ازاین‌رو کمبود منابع آب و منفی‌بودن بیلان برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی بزرگ‌ترین مانع دستیابی به اهداف توسعه پایدار قلمداد شود. در عین حال، اثرات تغییر اقلیم این مشکلات را تشدید کرده است؛ پژوهش‌ها بیان می‌کنند ایران در کمربند خشک جهانی قرار دارد و تغییرات اقلیمی، به‌ویژه افزایش دما و تکرار خشکسالی‌ها، منابع آبی کشور را هدف قرار داده است (Heydari و همکاران، ۲۰۲۵). در چنین شرایطی، آب به پارامتری راهبردی برای امنیت غذایی، بهداشت و توسعه اقتصادی تبدیل شده و حفاظت از منابع محدود آن، به‌عنوان یک وظیفه اولویت‌دار مدیریتی و حاکمیتی در نظر گرفته می‌شود (Safdari و همکاران، ۲۰۲۲).

استان اصفهان نمونه‌ای شاخص از بحران آب در ایران به‌شمار می‌آید. این استان پهنه‌ای بزرگ از فلات مرکزی کشور را شامل می‌شود که بخش عمده نیازهای آن از رودخانه زاینده‌رود و آبخوان‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. رودخانه زاینده‌رود در ارتفاعات زاگرس سرچشمه می‌گیرد و به تالاب گاوخونی در شرق اصفهان می‌ریزد؛ بااین‌حال، تخصیص‌های بین‌بخشی و منابع پرمصرف استان موجب شده این رود همواره جریان کافی نداشته باشد. در این میان، تمرکز جمعیتی و صنعتی استان نیز بسیار بالاست: به عنوان مثال جمعیت شهر اصفهان بیش از دو میلیون نفر است و طبق آخرین سرشماری، جمعیت کل حوضه زاینده‌رود نزدیک به چهار میلیون نفر است (۳/۵ میلیون

نفر در شهرها و نیم میلیون در روستاها) (یراقی‌فرد و شوکوئی بیدهندی، ۱۴۰۲). علاوه‌براین، استان اصفهان یکی از قطب‌های صنعتی ایران محسوب می‌شود (صنایع فولاد، پتروشیمی، معدن و ...) و همچنین بخش قابل‌توجهی از اراضی کشاورزی کشور در این حوضه قرار دارد. بدین‌ترتیب استان اصفهان با فشار بالای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت مواجه است و رقابت و تعارض بین‌بخشی بر سر منابع آب را تشدید می‌کند. لازم به ذکر است که منابع زیرزمینی نقش بسیار مهمی دارند، به‌نحوی که منابع آب زیرزمینی حدود ۶۰ درصد از تأمین آب کل کشور را تشکیل می‌دهد (Safdari و همکاران، ۲۰۲۲) و در بخش‌های کشاورزی تقریباً به‌طور کامل مورد استفاده قرار می‌گیرد. این وابستگی بالای استان به سفره‌های زیرزمینی و سیستم‌های آبیاری پرمصرف، در کنار خشکسالی‌های پی‌درپی، موجب حساسیت بسیار بالای این منطقه شده است. هدف این گزارش تحلیل وضعیت منابع آب استان اصفهان است، به‌گونه‌ای که تصویر جامعی از وضعیت موجود ارائه شود.

۱-۲- تبیین مسأله

بحران آب در استان اصفهان دارای پیامدهای متعددی است. نخست، بیلان منابع آبی استانی منفی شده است. کاهش مستمر سطح آب‌های زیرزمینی و افت ذخایر آبی، یکی از برجسته‌ترین نشانه‌هاست. برای مثال، فقدان جریان مستمر زاینده‌رود در سال‌های اخیر باعث گسترش بی‌ضابطه حفر چاه‌های کشاورزی شده و استخراج بی‌رویه از سفره‌های زیرزمینی را به دنبال داشته است. نتیجه این روند، خشک‌شدن خروجی‌های آبی در انتهای حوضه (تالاب گاوخونی) و فرونشست تدریجی دشت‌ها و کاهش کیفیت آب است. یارقی‌فرد و شوکوئی (۱۴۰۲) گزارش می‌دهند که کاهش شدید جریان رودخانه و افت بسیار زیاد آبی که به تالاب گاوخونی می‌رسد، خود بیانگر وضعیت بغرنج این حوضه است. ثانیاً، عدم تعادل عرضه و تقاضا در استان بسیار مشهود است. الگوهای توزیع ناصحیح آب و برداشت بی‌ضابطه موجب کسری مخازن آب زیرزمینی شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که عوامل گوناگون از جمله افت مستمر بارندگی، افزایش دما، بهره‌برداری بی‌رویه از سفره‌ها، ساختارهای مدیریتی فرا-استانی، الگوهای ناپایدار آبیاری کشاورزی و مصرف بالای آب شهری، همگی دست به دست هم داده و وضعیت منابع آب اصفهان

را بحرانی کرده‌اند. به‌عبارتی، این کمبودها؛ مشکلات جدی برای توسعه پایدار، تأمین آب شرب و مهار پیشروی بیابان‌زایی ایجاد کرده و در نهایت زنگ خطر ورشکستگی آب در استان را به صدا درآورده است (فرزام‌منش و همکاران، ۱۴۰۰). سومین نشانه بحران، کسری محسوس آب در بخش‌های مختلف است. این کاهش گسترده منابع آب در حالی رخ می‌دهد که کشاورزی بخش عمده‌ای از آب را در استان مصرف می‌کند و تداوم این روند تهدیدی برای امنیت غذایی و پایداری اجتماعی به‌حساب می‌آید. به‌طور خلاصه، ویژگی‌های فوق (بیلان آب منفی، افت آبخوان‌ها، کاهش جریان‌های سطحی و اختلاف شدید عرضه-تقاضا) نشان‌دهنده بحران عمیق منابع آب در اصفهان است و ضرورت پژوهش دقیق‌تر در این زمینه را به‌وضوح مطرح می‌کند.

۱-۳- ضرورت و اهمیت مطالعه

ضرورت تهیه این گزارش از چند جنبه دارای اهمیت است. اول آنکه سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بدون اطلاعات دقیق درباره وضعیت منابع و مصارف آب قادر به تصمیم‌گیری خردمندانه نخواهند بود. در شرایط فعلی، خلأ جدی در داده‌های به‌روز، یکپارچه و تحلیل‌شده وجود دارد. همان‌طور که Safdari و همکاران (۲۰۲۲) اشاره می‌کنند، فقدان مطالعات هیدرولوژیک جامع مبتنی بر داده‌های میدانی ممکن است کارآمدی مدیریت منابع را کاهش دهد. در این مطالعه، نتایج گردآوری و تحلیل اطلاعات در زمینه منابع آب اصفهان، اطلاعات ارزشمندی برای مدیریت مؤثر منابع آب در سراسر استان اصفهان فراهم کرده است. این امر نشان می‌دهد که مطالعات جامع منطقه‌ای می‌تواند چارچوبی قوی برای سیاست‌های مبتنی بر شواهد فراهم کند. دوم آنکه آب‌رسانی پایدار در منطقه‌ای خشک با جمعیت و تقاضای زیاد، بدون چارچوب علمی امکان‌پذیر نیست. مدیریت یکپارچه منابع آب، که همه مؤلفه‌های سطحی، زیرسطحی و بین حوضه‌ها را در بر می‌گیرد، پیش‌شرط هر برنامه‌ریزی پایدار است. ازاین‌رو درک دقیق وضعیت منابع آب زیرزمینی (افت سطح و ذخیره)، منابع سطحی (دبی رودخانه و ظرفیت سدها) و خروجی آب از استان، گامی لازم برای طراحی راه‌حل‌های عملی و پایدار تلقی می‌شود. به بیان دیگر، این گزارش در پاسخ به نیاز تصمیم‌سازان برای «شناخت وضعیت واقعی منابع» تنظیم شده است؛ به‌طوری‌که تصاویر و

شاخص‌های ارائه‌شده بتوانند نقطه آغاز مطالعات تکمیلی، سنجش عملکرد آینده و تنظیم سیاست‌های بهینه را فراهم سازند.

۱-۴- هدف و دامنه گزارش

هدف این گزارش تحلیل وضعیت منابع آب استان اصفهان است، به‌گونه‌ای که تصویر جامعی از وضعیت موجود ارائه شود. به‌طور مشخص، بخش‌هایی از گزارش به برآورد بیلان آب زیرزمینی استان، بررسی منابع آب سطحی و بررسی خروجی خالص آب استان به حوضه‌های پایین‌دست می‌پردازد. همچنین، وضعیت دشت‌های بحرانی در محدوده این مطالعه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. دامنه این گزارش محدود به ارزیابی وضعیت فعلی منابع آب است و مسائلی چون ارائه راهکارهای فنی یا طرح‌های سرمایه‌گذاری خاص را در بر نمی‌گیرد. در این مقدمه مفروضات، هدف و محدوده مطالعه به‌روشنی تشریح شده است تا خواننده بداند این گزارش قصد درک وضعیت موجود را دارد و حل مسأله را به مطالعات بعدی واگذار می‌کند.

۲- فصل دوم: روش انجام گزارش

۲-۱- رویکرد کلی مطالعه

این مطالعه با رویکرد تحلیلی - توصیفی انجام شده و بر پایه تحلیل داده‌های منابع آب استان اصفهان صورت گرفته است. نوع داده‌ها به‌طور عمده شامل گزارش‌های رسمی و آمار موجود از نهادهای مختلف نظیر شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، و دیگر مراجع معتبر است. مقیاس تحلیل در این پژوهش به‌طور عمده استانی هست. هدف اصلی این مطالعه، تحلیل یکپارچه منابع آب در استان اصفهان است که شامل ارزیابی منابع آب سطحی، منابع آب زیرزمینی، خروجی آب از استان و وضعیت منابع آب دشت های استان است. این مطالعه به‌طور خاص تلاش دارد تا روندهای زمانی منابع آب را بررسی کرده و به شناسایی بحران‌های بالقوه و بالفعل در دشت‌های مختلف استان بپردازد.

۲-۲- محدوده مکانی و زمانی مطالعه

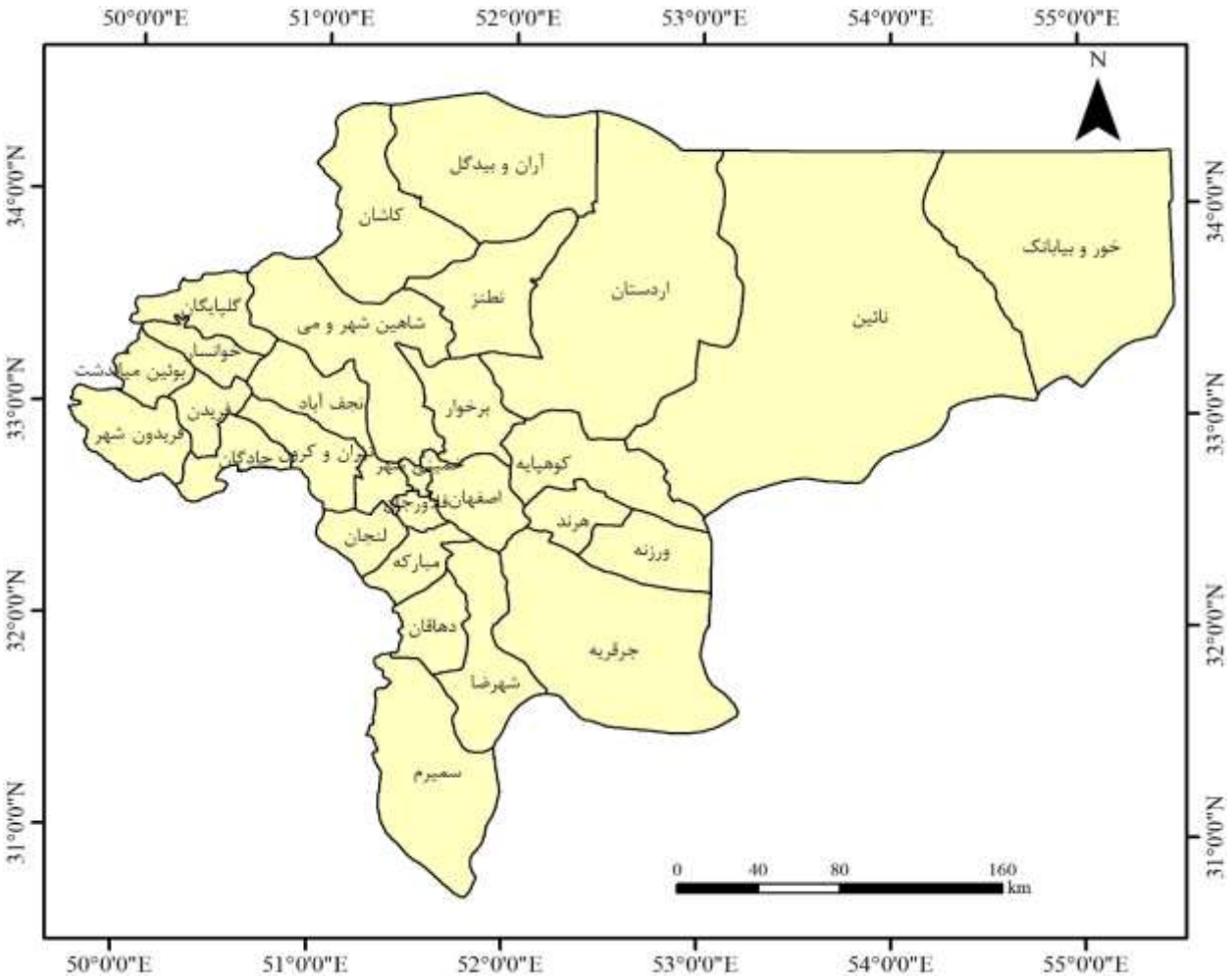
محدوده مکانی:

محدوده مکانی مطالعه شامل استان اصفهان به‌عنوان واحد اصلی است که در مرکز ایران قرار دارد. این استان به‌طور ویژه در حوضه زاینده‌رود واقع شده که یکی از مهم‌ترین منابع آب سطحی کشور به شمار می‌رود. در این پژوهش، دشت‌های مختلف استان (همچون دشت اصفهان، دشت کاشان، دشت مبارکه، و دیگر دشت‌های بحرانی) به‌طور اختصاصی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. موقعیت جغرافیایی استان اصفهان در شکل ۱ ارائه شده است.

محدوده زمانی:

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه برای منابع آب سطحی و زیرزمینی از سال ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲ جمع‌آوری شده است. این بازه زمانی به‌منظور تحلیل روند تغییرات در سطح آب‌های زیرزمینی، جریان‌های سطحی،

و تغییرات بیلان آبی در نظر گرفته شده است. همچنین وضعیت میزان بارش و دمای استان اصفهان بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲ مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و شهرستان‌های استان اصفهان

۲-۳- داده‌ها و منابع اطلاعاتی

داده‌های منابع آب زیرزمینی:

داده‌های اصلی برای منابع آب زیرزمینی شامل بیلان آبخوان‌ها، سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مختلف و وضعیت دشت‌ها (آزاد، ممنوعه، بحرانی) است. همچنین، اطلاعات تعداد چاه‌ها، چشمه‌ها و مصارف بخش‌های

مختلف (کشاورزی، شرب، صنعتی) نیز در این تحلیل‌ها مورد بررسی قرار گرفت. . این داده‌ها از گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای اصفهان به‌دست آمده است.

داده‌های منابع آب سطحی:

برای تحلیل منابع آب سطحی، داده‌های مربوط به جریان‌های سطحی از رودخانه‌ها استفاده شد. این داده‌ها از گزارش‌های ایستگاه‌های هیدرومتری و سایر منابع موجود در استان اصفهان به‌دست آمده است. اطلاعات مربوط به خروجی آب از استان (میزان آب منتقل‌شده به سایر حوضه‌ها) نیز در این بخش گنجانده شده است.

داده‌های تکمیلی:

در کنار داده‌های منابع آب سطحی و زیرزمینی، آمار مصرف آب در بخش‌های مختلف (شرب، کشاورزی، صنعت) در استان بررسی شد. داده‌های تکمیلی از منابع مختلف نظیر گزارش‌های سازمان‌های دولتی از جمله اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای (۱۴۰۲) استخراج شد.

۲-۴- روش تحلیل داده‌ها

برای تحلیل روندهای زمانی منابع آب، از نمودارهای زمانی در نرم‌افزار Excel استفاده شده است. این تحلیل شامل روند تغییرات بارش، دبی رودخانه‌ها، سطح آب زیرزمینی و مصرف آب در بخش‌های مختلف است.

۳- فصل سوم: نتایج تحلیل وضعیت مناب آب

۳-۱- وضعیت بارش استان

وضعیت میزان بارش استان اصفهان بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲ در جدول ۱ نشان داده شده است. داده‌های بارش سالانه ۱۲ ایستگاه سینوپتیک استان اصفهان طی دوره ۳۲ ساله (۱۴۰۲-۱۳۷۱) مبین الگوهای پیچیده اقلیمی و تغییرپذیری زمانی-مکانی قابل توجه در این منطقه نیمه‌خشک است. تحلیل این مجموعه داده بلندمدت برای درک روندهای اقلیمی، شناسایی دوره‌های خشکسالی و ترسالی، و ارزیابی تأثیرات آن بر منابع آب زیرزمینی و سطحی استان ضروری است.

میانگین بلندمدت بارش سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی، دامنه وسیعی از حدود ۷۲/۵ میلی‌متر در ایستگاه خشک خور و بیابانک تا ۴۹۱/۹ میلی‌متر در ایستگاه مرتفع و پربارش سمیرم را نشان می‌دهد. این اختلاف فاحش (نزدیک به ۴۲۰ میلی‌متر)، گویای وجود یک گرادیان شدید بارشی غرب-شرق و ارتفاع-دشت در استان اصفهان است. ایستگاه‌های غربی و مرتفع‌تر (سمیرم، داران، گلپایگان) با میانگین‌های بالای ۲۵۰ میلی‌متر، نقش کلیدی در تغذیه آبخوان‌ها و تأمین جریان پایه رودخانه‌ها دارند. در مقابل، ایستگاه‌های مرکزی و شرقی (اصفهان، کاشان، نائین، خور و بیابانک) با میانگین‌های زیر ۱۵۰ میلی‌متر، در محدوده خشک تا فراخشک قرار می‌گیرند. میانگین ساده بارش سالانه برای کل استان (بر اساس این ایستگاه‌ها) در این دوره حدود ۱۸۰ میلی‌متر برآورد می‌شود که بسیار کمتر از میانگین کشوری (۲۷۳ میلی‌متر) و بیانگر ماهیت خشک ذاتی منطقه است.

داده‌ها حاکی از نوسانات شدید بین‌سالی بارش در تمامی ایستگاه‌ها است. این نوسان به‌ویژه در ایستگاه‌های پربارش غربی مشهودتر است. به‌عنوان نمونه، در ایستگاه سمیرم، بارش از ۹۴۰/۸ میلی‌متر در سال پربارش ۱۳۸۳ به ۱۷۲/۹ میلی‌متر در سال کم‌بارش ۱۳۸۷ کاهش یافته که نشان‌دهنده ضریب تغییراتی بسیار بالا و ریسک اقلیمی قابل‌توجه است. دوره‌های خشکسالی گسترده و شدید به وضوح در داده‌ها قابل ردیابی هستند. سال‌های

۱۳۷۳، ۱۳۸۷، ۱۳۹۵، ۱۳۹۶ و ۱۴۰۰ به‌عنوان دوره‌های کم‌بارش برجسته در اغلب ایستگاه‌ها ظاهر می‌شوند. به‌طور خاص، سال ۱۳۹۵ یک خشکسالی استثنایی بود که در آن ایستگاه خور و بیابانک تنها ۱۶/۳ میلی‌متر بارش دریافت کرد و ایستگاه نائین با ۲۲/۸ میلی‌متر به کمترین مقدار خود در کل دوره رسید. در مقابل، سال‌های ترسالی مانند ۱۳۷۲، ۱۳۸۳، ۱۳۸۵، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۸ نیز مشاهده می‌شوند که در آن‌ها بارش در ایستگاه‌های غربی اغلب از ۴۰۰ میلی‌متر فراتر رفته است. این تناوب خشکسالی‌ها و ترسالی‌های شدید، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب را با چالش مواجه ساخته و ضرورت ایجاد ذخایر استراتژیک و سازگاری با این نوسانات را پررنگ می‌کند.

تحلیل اولیه روندهای خطی در داده‌های هر ایستگاه (حتی بدون انجام آزمون‌های آماری دقیق‌تر) نشان‌دهنده غلبه روندهای کاهشی در بارش سالانه استان است. از بین ۱۲ ایستگاه، تنها ایستگاه اردستان روندی افزایشی خفیف را نشان می‌دهد که از نظر آماری ممکن است ناچیز باشد. سایر ایستگاه‌ها به‌ویژه ایستگاه‌های پربارش غربی، با نرخ کاهش قابل توجهی مواجه بوده‌اند. به‌عنوان مثال، ایستگاه سمیرم (پربارش‌ترین نقطه) با بیشترین نرخ کاهش تخمینی روبرو است. این الگو هشداردهنده است، چرا که کاهش بارش در مناطق مرتفع و پربارش، مستقیماً بر حجم نزولات جوی و در نتیجه بر تغذیه آبخوان‌ها و جریان رودخانه‌های اصلی مانند زاینده‌رود تأثیر منفی می‌گذارد. روند کاهشی در ایستگاه‌های مرکزی مانند اصفهان و کاشان نیز ادامه دارد که فشار بر منابع آب محدود این مناطق را مضاعف می‌کند. این یافته همسو با سناریوهای تغییر اقلیم در منطقه خاورمیانه است که کاهش بارش و افزایش تنش آبی را پیش‌بینی می‌کنند.

تغییرپذیری مکانی بارش در استان اصفهان بسیار بالاست. ضریب تغییرات (CV) بارش سالانه بین ایستگاه‌ها متفاوت است، اما عموماً در مناطق خشک‌تر (مانند خور و بیابانک) به دلیل بارش پایین‌تر ، درصد نوسان نسبی بالاتر به نظر می‌رسد. در مقابل، ایستگاه‌های پربارش اگرچه نوسان مطلق بیشتری دارند، اما ضریب تغییرات ممکن است پایین‌تر باشد. این ناهمگنی مکانی به‌طور مستقیم بر توزیع مکانی منابع آب تجدیدپذیر تأثیر می‌گذارد. حوزه‌های آبریز غربی (با بارش بالاتر) عمدتاً منابع آب سطحی و زیرزمینی را برای حوضه‌های پایین‌دست مرکزی و شرقی (با بارش کمتر و تقاضای بیشتر) تأمین می‌کنند. بنابراین، هرگونه تغییر در الگو یا مقدار بارش در

ایستگاه‌های غربی (مانند سمیرم و داران)، می‌تواند آثار گسترده‌ای بر کل سیستم هیدرولوژیک استان داشته باشد. خشکسالی در این ایستگاه‌های کلیدی به‌مراتب پیامدهای وخیم‌تری نسبت به خشکسالی در ایستگاه‌های کم‌بارش شرقی دارد.

تحلیل داده‌های بارش ۳۲ ساله استان اصفهان تصویر روشنی از یک رژیم اقلیمی خشک، با تغییرپذیری زمانی بسیار بالا و ناهمگنی مکانی شدید ارائه می‌دهد. دو یافته کلیدی این تحلیل عبارتند از: اول، غلبه روندهای کاهشی بارش به‌ویژه در ایستگاه‌های پربارش غربی که نقش حیاتی در تغذیه منابع آب دارند. دوم، تناوب و تشدید دوره‌های خشکسالی (مانند دوره‌های حول سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰). این دو ویژگی در کنار هم حاکی از تشدید تنش آبی در استان است. کاهش بارش به‌معنای کاهش مستقیم ورودی به سامانه هیدرولوژیک است و افزایش فراوانی و شدت خشکسالی‌ها، تاب‌آوری این سامانه را کاهش داده و دوره‌های بازیابی را کوتاه می‌کند. این شرایط، مدیریت منابع آب استان اصفهان را با مخاطره مواجه ساخته و لزوم اتخاذ راهبردهای سازگاری با کم‌آبی، مدیریت ریسک خشکسالی و بازنگری در الگوهای بهره‌برداری از آب را به‌صورت فوری و قاطع طلب می‌کند.

جدول ۱- میزان بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۷۱) (اداره هواشناسی استان، ۱۴۰۳)

سال	اردستان	داران	اصفهان	کاشان	خور و بیابانک	نائین	سمیرم	اصفهان (فرودگاه)	گلپایگان	کبوترآباد	نطنز	شهررضا
۱۳۷۱	۱۵۴/۳۶	۲۷۷/۴۶	۱۲۲/۶۷	۲۲۹/۷۱	۹۱/۹۲			۱۰۳/۲۴	۳۰۱/۶	۸۹/۲۷	۲۵۴/۰۶	
۱۳۷۲	۱۰۹	۴۹۴/۹۳	۱۹۸/۸۹	۱۵۶/۱۳	۱۱۲/۶۲	۱۱۱/۱۹		۱۹۰/۹۳	۴۳۷/۴۶	۱۷۰/۳۴	۱۷۷/۲۷	۹۸/۲۹
۱۳۷۳	۶۶/۰۵	۴۵۷/۰۳	۷۵/۹۷	۱۰۴/۰۴	۵۳/۹۹	۸۷/۱۷		۱۱۲/۰۶	۳۲۸/۲۵	۱۲۵/۴	۱۶۷/۲۲	۱۶۳/۴۷
۱۳۷۴	۱۲۲/۰۸	۱۹۳/۷۴	۱۲۳/۰۴	۹۰/۵۶	۷۰	۱۲۶/۵۵		۱۱۲/۰۷	۱۷۷/۱۶	۱۰۳/۹۴	۱۹۲/۴۵	۱۸۱/۱۴
۱۳۷۵	۲۰۴/۲۷	۳۶۹/۴۱	۱۴۸/۰۱	۲۱۹/۹۴	۱۳۷/۹۳	۱۵۵/۴۵		۱۲۰/۱۸	۲۸۲/۲۷	۱۳۷/۶۷	۲۷۱/۰۲	۱۲۸/۷۳
۱۳۷۶	۷۲/۶	۲۶۹/۲۸	۱۲۱/۶۴	۸۸/۱۵	۴۵/۲۷	۷۹/۶۵		۸۷/۱۵	۲۰۷/۲۷	۸۶/۶۳	۱۳۴/۴۶	۱۳۱/۰۵
۱۳۷۷	۱۰۹/۵۶	۳۴۶/۰۳	۱۵۷/۰۳	۱۵۲/۳۱	۹۰/۴۴	۱۰۷/۸۲		۱۳۶/۲۴	۲۴۴/۰۵	۱۲۷/۰۴	۲۲۱/۰۹	۱۷۱/۳۴
۱۳۷۸	۱۲۹/۹۴	۲۲۳/۹۴	۱۱۵/۳۹	۱۵۴/۹۱	۱۱۹/۷۷	۱۸۱/۲۳		۱۲۳/۲۳	۲۰۷/۳۶	۱۲۳/۱۳	۱۷۵/۳۱	۱۳۷/۴۸
۱۳۷۹	۱۲۹/۱۹	۲۱۵/۳۷	۸۸/۱۵	۱۳۶/۹۱	۵۳/۳۹	۶۶/۲۳		۷۹/۷	۱۸۴/۱۲	۷۰/۰۹	۱۹۴/۱۸	۹۸/۲۷
۱۳۸۰	۶۰/۵۶	۲۶۷/۲۸	۹۱/۳۱	۹۴/۱۷	۵۸/۰۱	۵۵		۸۲/۳	۲۲۰/۲۲	۶۸/۰۲	۱۱۴/۱۵	۱۳۰/۳۸
۱۳۸۱	۱۱۵/۰۵	۴۱۳/۳۵	۱۲۶/۶۷	۲۰۵/۸	۸۸/۶۹	۹۱/۷۴	۵۴۷/۶	۱۲۱/۳۶	۳۷۸/۴۴	۱۱۲/۶۲	۲۶۳/۳۳	۱۴۶/۱۸
۱۳۸۲	۱۰۸/۸۵	۳۶۳/۰۲	۱۲۷/۸۸	۱۴۹/۷۱	۹۵/۸۷	۵۹/۴۳	۴۷۶/۴	۹۲/۲۸	۲۷۷/۶۶	۹۹/۷۱	۲۱۳/۸۳	۱۱۴/۰۶
۱۳۸۳	۱۳۴/۷۴	۴۶۱/۵۲	۲۱۵/۷۴	۱۴۸/۷	۱۱۷/۶۷	۹۱/۱۶	۹۴۰/۷۹	۱۲۶/۹۶	۳۶۲/۵۸	۱۸۶/۵۱	۱۸۲/۷۱	۲۳۶/۵۴
۱۳۸۴	۱۰۶/۴۲	۳۵۸/۸۹	۱۲۰/۹۷	۱۰۵/۲	۳۵/۱۷	۵۲/۷۴	۵۴۴/۸۶	۶۲/۳۸	۲۲۵/۸۶	۹۰/۳۳	۱۷۳/۵۴	۸۸/۶
۱۳۸۵	۱۷۶/۷۲	۵۵۶/۸۱	۲۵۰/۰۴	۱۲۸/۲	۹۰/۱۳	۱۰۷/۶۸	۶۶۹/۱۵	۱۶۳/۵۲	۳۲۲/۵۸	۱۹۸/۸۴	۲۰۲/۳۶	۲۲۹/۸۸
۱۳۸۶	۱۴۷/۲۹	۳۰۷/۵	۱۶۶/۳۲	۱۰۵/۵۳	۶۷/۳۵	۱۳۴/۶۲	۵۵۷/۵۴	۱۱۳/۰۳	۲۲۸/۸۴	۱۳۸/۱۵	۲۰۹/۵۷	۱۳۴/۶۹
۱۳۸۷	۱۷۷/۶۴	۱۴۹/۸۸	۴۰/۹	۱۲۰/۳۵	۸۰/۵۱	۵۰/۳۵	۱۷۲/۹۴	۳۸/۲۱	۱۱۲/۲۷	۴۰/۶	۱۵۷/۲	۵۲/۸
۱۳۸۸	۲۰۵/۶۱	۳۵۴/۴۲	۱۸۶/۶۶	۱۵۹/۵۲	۸۵/۰۴	۱۱۰/۱۶	۵۰۲/۰۸	۱۱۶/۸	۲۳۹/۴۱	۱۷۳/۳۴	۱۸۷/۷۱	۱۹۷/۴۲
۱۳۸۹	۸۵/۰۳	۲۵۳/۹۷	۱۰۸/۸۸	۸۱/۸۲	۴۸/۷۳	۸۰/۵۵	۲۷۷/۶۳	۵۴/۲۴	۱۸۴/۵۶	۹۲/۰۲	۱۳۰/۹۲	۷۵/۰۵
۱۳۹۰	۱۷۲/۸۶	۳۶۷/۱۳	۱۵۳/۲۷	۱۷۳/۰۲	۶۵/۷۹	۱۱۷/۶۱	۶۲۳/۵۶	۱۱۲/۱۷	۲۱۵/۷	۱۱۸/۷۳	۲۰۳/۶۳	۱۵۶/۱۴
۱۳۹۱	۱۸۷/۸۵	۴۱۴/۲۲	۲۳۸/۳۴	۱۳۷/۲۵	۵۷/۷۳	۱۴۳/۲۴	۵۸۷/۸۲	۱۶۲/۲۲	۲۷۲/۸۱	۱۶۴/۷۷	۲۹۶/۵	۲۰۷/۱۶

سال	اردستان	داران	اصفهان	کاشان	خور و بیابانک	نائین	سمیرم	اصفهان (فرودگاه)	گلپایگان	کبوترآباد	نطنز	شهررضا
۱۳۹۲	۱۳۷/۸۳	۲۲۸/۹۱	۹۰/۸۴	۱۰۷/۴۵	۸۰/۲۲	۸۷/۱۱	۳۱۴/۲۶	۸۸/۶۴	۱۶۰/۴۳	۶۸/۸۱	۱۳۹/۹۱	۱۴۷/۰۸
۱۳۹۳	۱۵۷/۳	۳۳۳/۱۹	۱۶۹/۶۴	۱۳۶/۰۶	۸۴/۰۱	۱۰۷/۰۷	۴۶۳/۳۶	۱۴۸/۰۲	۲۴۲/۷۴	۱۴۲/۶۲	۱۸۱/۱۸	۱۵۵/۳۸
۱۳۹۴	۱۰۹/۸۹	۴۰۳/۵۱	۱۰۲/۸۳	۱۰۵/۵۸	۵۶/۵۹	۷۳/۴۵	۴۳۱/۷	۷۲/۶۷	۳۰۰/۶۷	۷۸/۹۵	۲۱۶/۲۳	۱۱۵/۲۲
۱۳۹۵	۵۴/۵۱	۳۱۲/۸۶	۵۴/۶۷	۶۶/۴۳	۱۶/۳۱	۲۲/۷۶	۳۷۶/۱۵	۵۲/۱۹	۲۳۷/۲۴	۴۵/۹۳	۷۹/۳۵	۹۸/۸۷
۱۳۹۶	۹۹/۳	۲۱۸/۵۸	۸۰/۲۴	۶۵	۴۲/۷	۶۲/۴۱	۳۱۸/۲۳	۵۰/۱۵	۱۳۴/۳	۶۰/۶۴	۱۱۱/۹۴	۱۰۲/۲۱
۱۳۹۷	۱۴۴/۳۴	۲۸۶/۱۶	۱۲۸/۸۲	۱۴۸/۶۳	۶۶/۶۳	۹۴/۹۸	۴۶۰/۴۵	۱۰۴/۴۹	۳۱۱/۸	۱۲۱/۶۲	۲۲۷/۸۳	۱۰۵/۳۴
۱۳۹۸	۱۸۲/۷۳	۴۳۹/۸۶	۱۷۶/۰۷	۱۶۲/۸۲	۹۵/۳۳	۹۲/۲۲	۵۴۷/۷۹	۱۰۷/۳۵	۳۵۳/۷	۹۹/۳۳	۲۹۱/۷۱	۱۹۹/۲
۱۳۹۹	۱۷۹/۸۳	۳۷۳/۲۹	۱۲۸/۳۲	۲۰۰/۲۴	۷۳/۲۳	۱۰۳/۷۹	۶۱۰/۷۵	۱۱۰/۵	۳۰۴	۹۵/۵۳	۲۵۰/۹۳	۱۴۵/۹۲
۱۴۰۰	۸۱/۵۹	۱۸۵/۰۸	۶۵/۸۱	۶۹/۳۸	۳۵/۸۸	۳۰/۰۳	۳۶۱/۵۲	۴۰/۱۳	۱۵۴/۰۳	۳۷/۳۴	۱۴۳/۹	۱۰۲/۷
۱۴۰۱	۶۵/۴۲	۲۷۱/۴۲	۹۲/۱۱	۴۱/۸۷	۳۲/۵	۳۱/۴۴	۵۱۸/۸۵	۵۱/۲۹	۲۲۲/۳۲	۴۸/۳۶	۹۶/۷	۱۳۹/۸
۱۴۰۲	۱۱۸/۲	۱۸۵/۱۵	۱۵۰/۹	۸۶/۳۴	۶۹/۷	۷۰/۲۵	۵۱۹/۳۲	۱۱۸/۰۳	۱۵۲/۶	۷۵/۶۱	۸۰/۷۱	۱۶۵

۳-۲- تحلیل روند سالانه بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک استان

تحلیل روند سالانه بارش در تمام ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه (۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲) در شکل ۲ ارائه شده است. از میان ۱۲ ایستگاه بررسی‌شده، اکثریت ایستگاه‌ها روند کاهشی در بارش سالانه را نشان می‌دهند. تنها ایستگاه (اردستان) روند افزایشی خفیف داشته‌اند. شیب خط روند (mm/yr) و جهت تغییر به وضوح بیانگر تغییرات معنادار در پاسخ به عوامل اقلیمی و جغرافیایی است. بر اساس نتایج شکل ۲، تحلیل روند بارش به تفکیک ایستگاه‌ها به شرح زیر است:

- **ایستگاه اردستان (Ardestan)**

تنها ایستگاه با روند مثبت پایدار، اگرچه افزایش بسیار اندک است.

- روند: افزایشی خفیف
- معادله روند: $Y = 0.223X + 124.6$
- میزان تغییر: افزایش حدود ۰/۲۲ میلی‌متر در سال

- **ایستگاه داران (Daran)**

- روند: کاهشی
- معادله روند: $Y = -2.011X + 356.72$
- میزان تغییر: کاهش حدود ۲/۰۱۱ میلی‌متر در سال

- **ایستگاه اصفهان (Esfahan)**

- روند: کاهشی
- معادله $Y = -0.556X + 140.99$
- میزان تغییر: کاهش حدود ۰/۵۵۶ میلی‌متر در سال

- **ایستگاه کاشان (Kashan)**

  - روند: کاهشی
  - معادله: $Y = -1.85X + 159.71$
  - میزان تغییر: کاهش حدود ۱/۸۵ میلی‌متر در سال

- **ایستگاه خور و بیابانک (Khur-Va-Biabanak)**

  - روند: کاهشی
  - معادله $Y = -1.27X + 93.5$
  - میزان تغییر: کاهش حدود ۱/۲۷ میلی‌متر در سال

- **ایستگاه نائین (Naein)**

  - روند: کاهشی
  - معادله $Y = -1.610X + 115.6$
  - میزان تغییر: کاهش حدود ۱/۶۱ میلی‌متر در سال

- **ایستگاه سمیرم (Semirom)**

بیشترین نرخ کاهش در استان، در حالی که سمیرم عمدتاً جزو مناطق پربارش منطقه است.

  - روند: کاهشی
  - معادله $Y = -6.12X + 562.4$
  - میزان تغییر: کاهش حدود ۶/۱۲ میلی‌متر در سال

- **ایستگاه اصفهان (فرودگاه) (Esfahan Airport)**

  - روند: افزایشی
  - معادله $Y = -1.44X + 124.93$

- میزان تغییر: افزایش حدود ۱/۴۴ میلی‌متر در سال

- **ایستگاه گلپایگان (Golpayegan)**

- روند: کاهشی
- معادله $Y = -2.224X + 286.2$
- میزان تغییر: کاهش حدود ۲/۲۲۴ میلی‌متر در سال

- **ایستگاه کبوترآباد (Kabutarabad)**

- روند: کاهشی
- معادله $Y = -1.595X + 132.32$
- میزان تغییر: کاهش حدود ۱/۵۹۵ میلی‌متر در سال

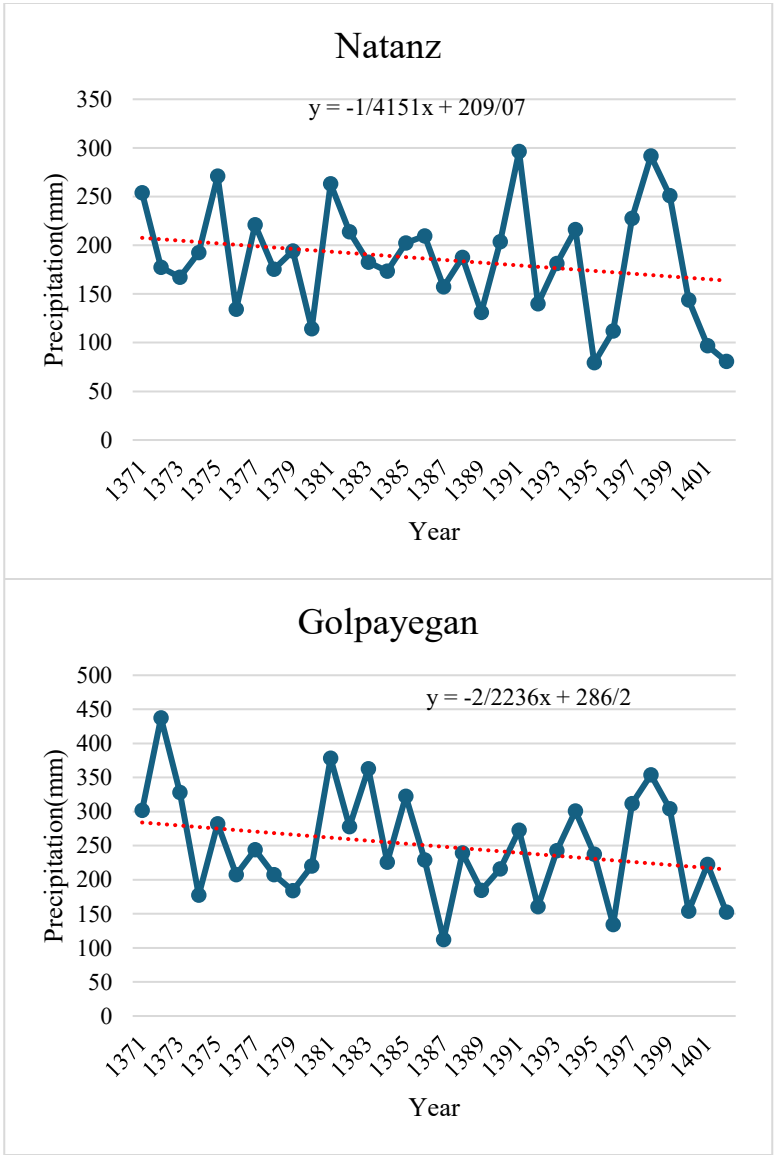
- **ایستگاه نطنز (Natanz)**

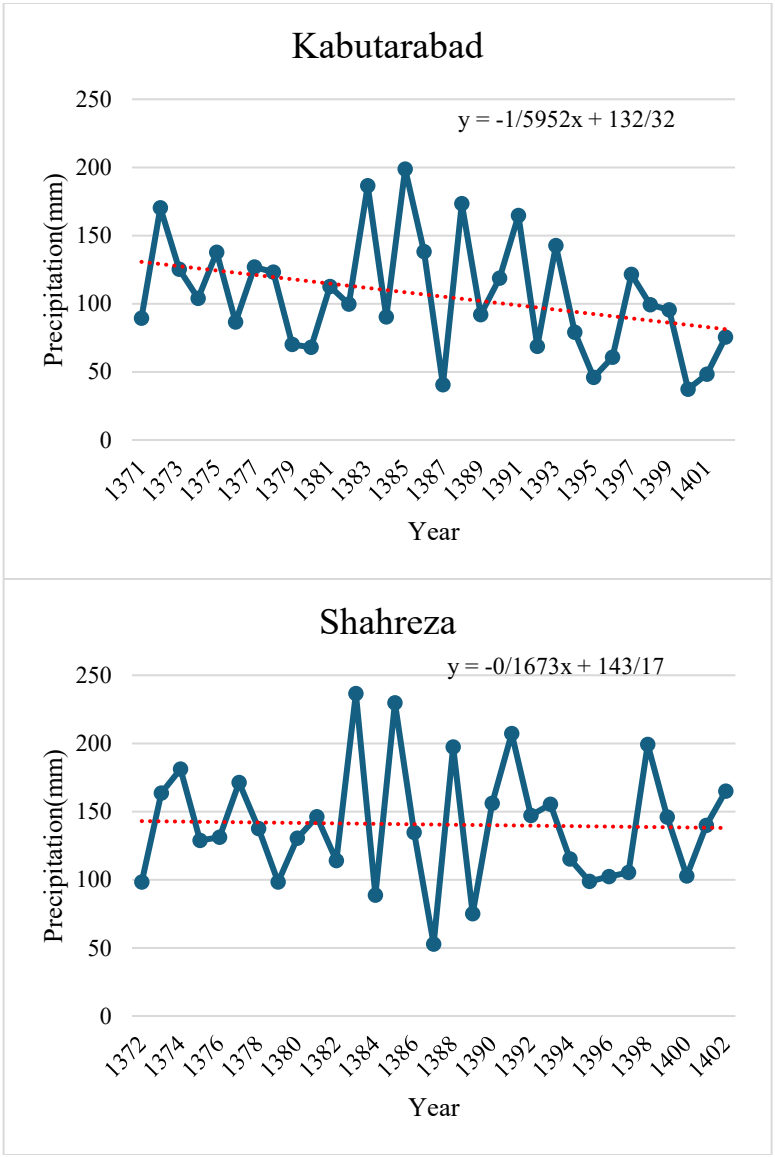
  - روند: کاهشی متوسط
  - معادله $Y = -1.415X + 209.07$
  - میزان تغییر: کاهش حدود ۱/۴۱۵ میلی‌متر در سال

- **ایستگاه شهرضا (Shahreza)**

  - روند: کاهشی
  - معادله $Y = -0.167X + 143.17$
  - میزان تغییر: کاهش حدود ۰/۱۶۷ میلی‌متر در سال

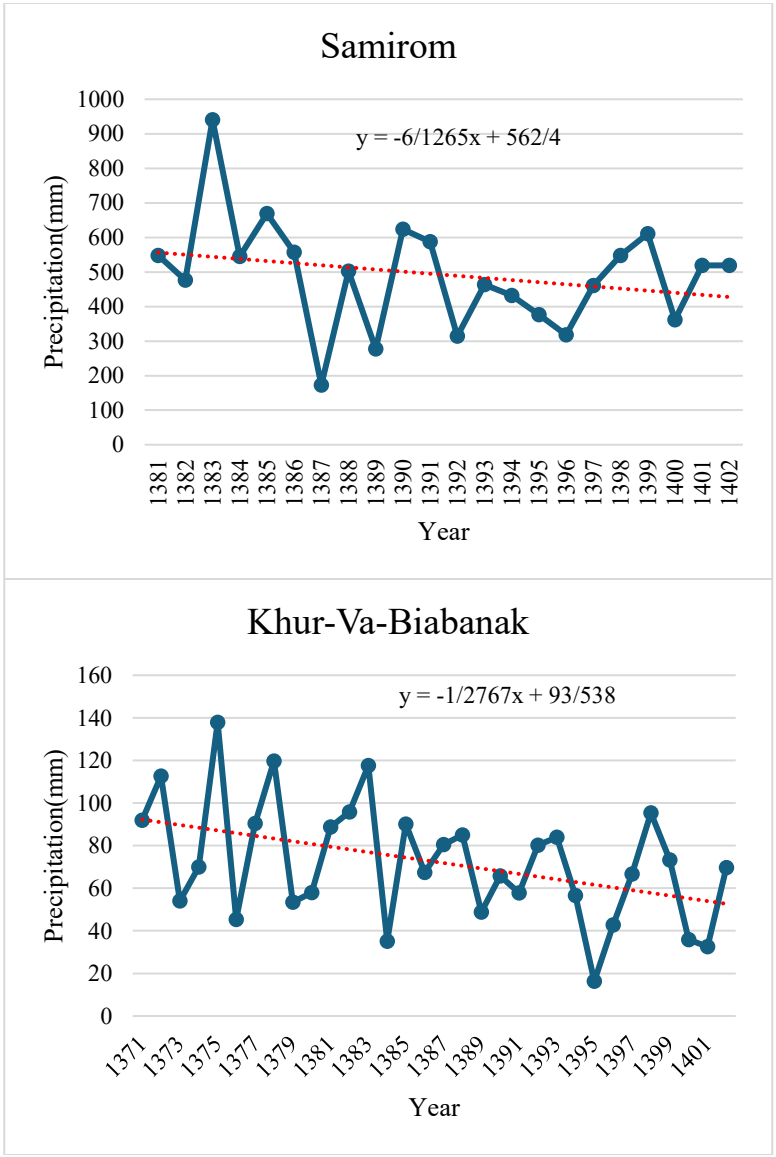
به‌طور کلی این تحلیل نشان می‌دهد که استان اصفهان در سه دهه گذشته با کاهش عمومی بارش به‌ویژه در مناطق پربارش و کوهستانی مواجه بوده که هشدار مهمی برای امنیت آتی منابع آب منطقه است.

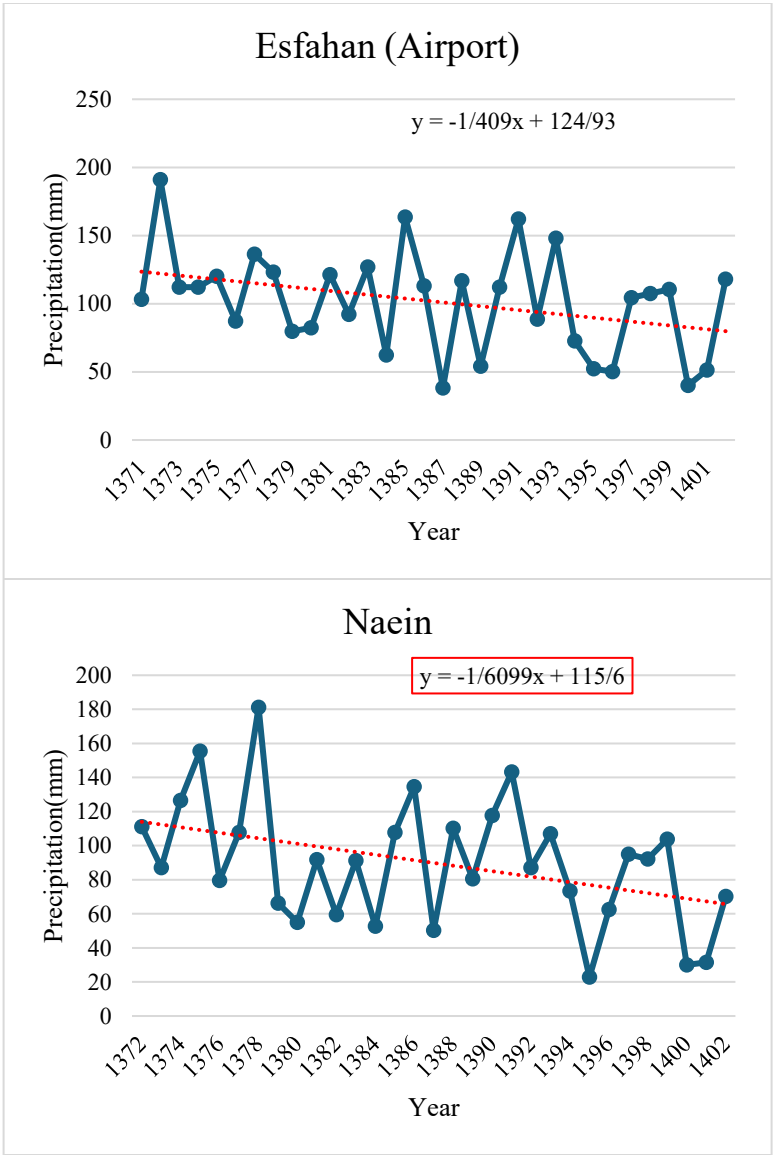

Natanz
y = -1/4151x + 209/07
Precipitation(mm)
Year


Kabutarabad
y = -1/5952x + 132/32
Precipitation(mm)
Year

Golpayegan
y = -2/2236x + 286/2
Precipitation(mm)
Year

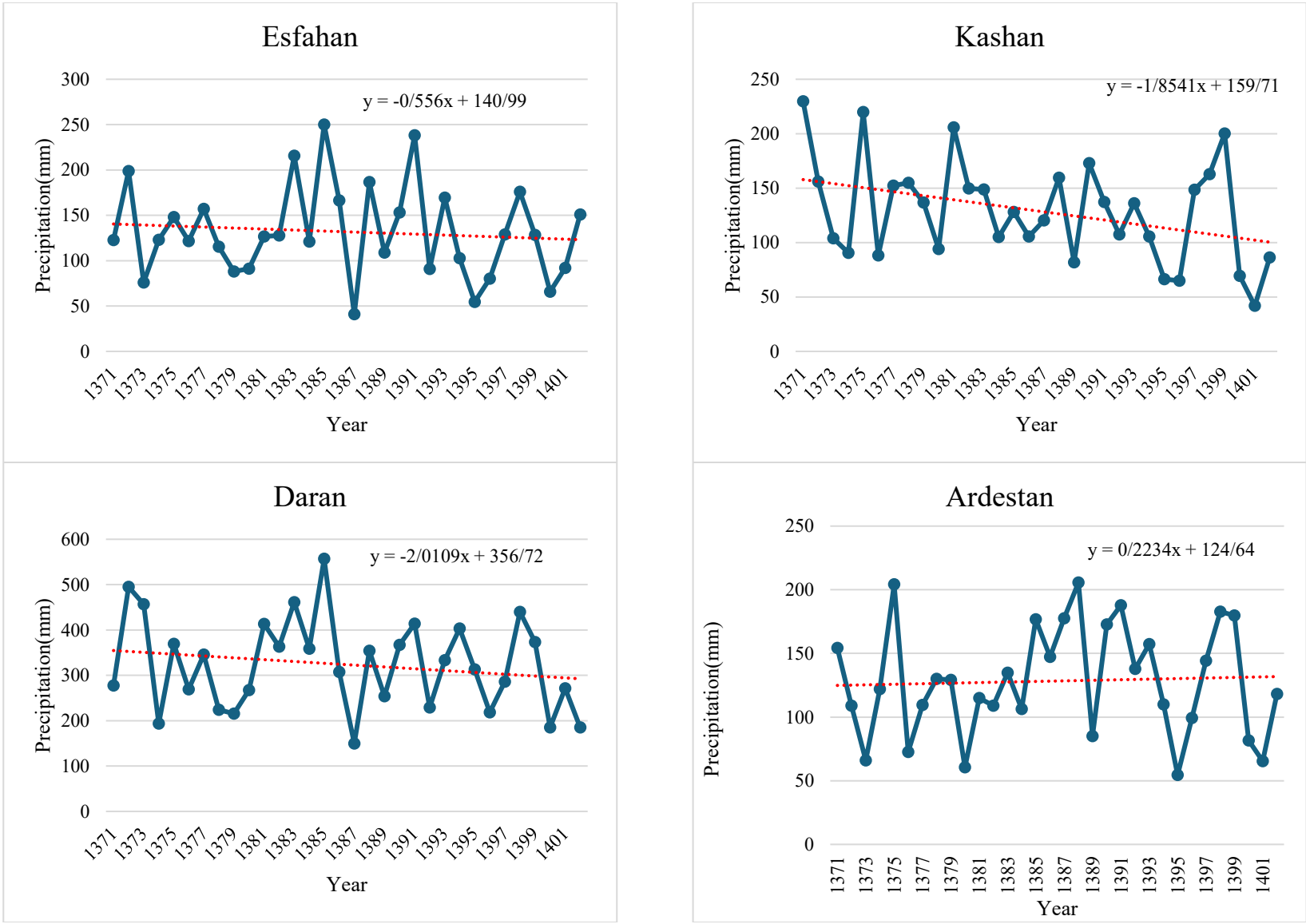
Shahreza
y = -0/1673x + 143/17
Precipitation(mm)
Year


Samirom
y = -6/1265x + 562/4
Precipitation(mm)
Year


Esfahan (Airport)
y = -1/409x + 124/93
Precipitation(mm)
Year

Khur-Va-Biabanak
y = -1/2767x + 93/538
Precipitation(mm)
Year

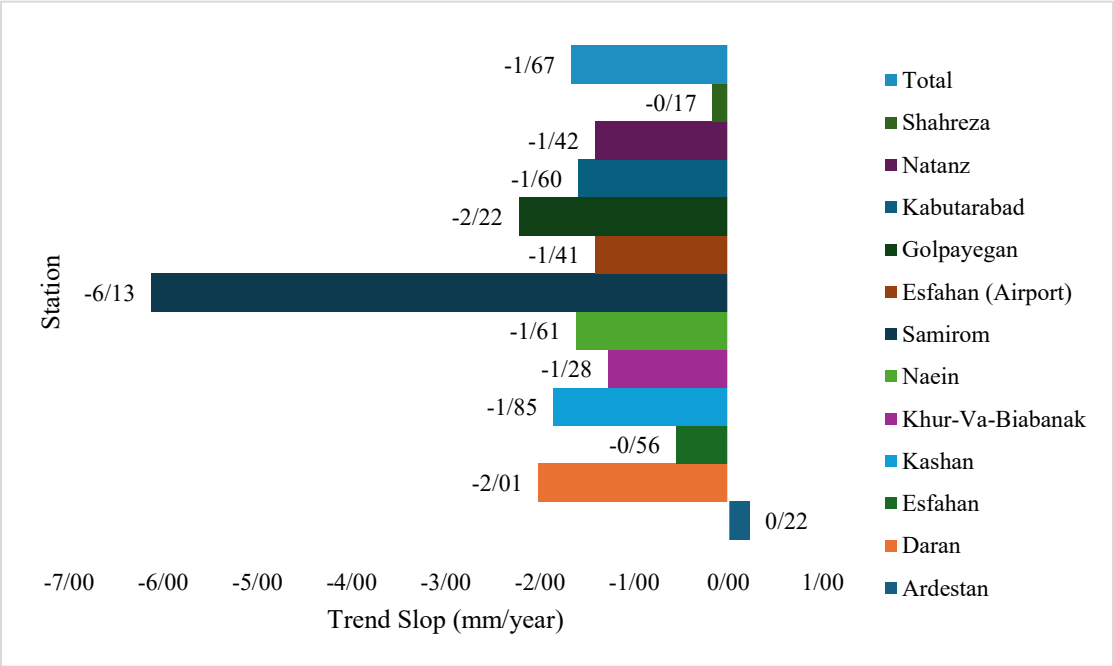
Naein
y = -1/6099x + 115/6
Precipitation(mm)
Year



شکل ۲- تحلیل روند سالانه بارش در ایستگاه‌های استان (۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲)

۳-۳- تحلیل روندهای غالب بارش و شاخص تغییرات سالانه در ایستگاه‌های استان اصفهان

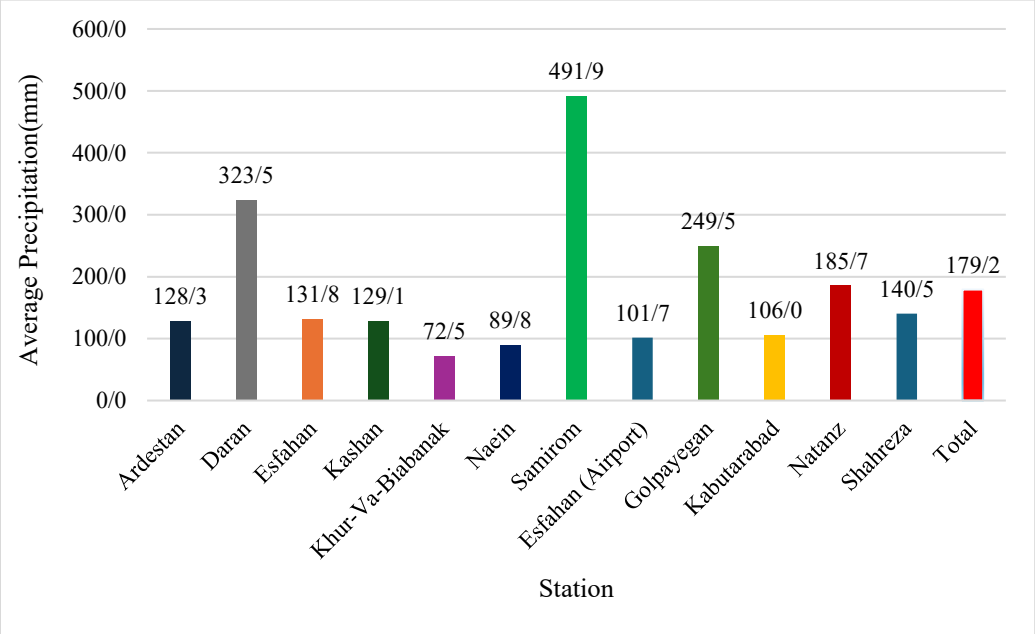
تحلیل روندهای غالب بارش و شاخص تغییرات سالانه در ایستگاه‌های استان اصفهان در شکل ۳ ارائه شده است. بررسی مقایسه‌ای شیب روند بارش در ایستگاه‌های استان اصفهان نشان‌دهنده وضعیت آشکار روندهای کاهشی بر الگوی بارش منطقه است. در این میان، ایستگاه سمیرم با شیب کاهشی چشمگیر ۶/۱۲۶- میلی‌متر در سال در موقعیت بحرانی قرار دارد که نه تنها شدیدترین نرخ کاهش در استان، بلکه نشان‌دهنده آسیب‌پذیری ویژه مناطق مرتفع و پربارش غربی به تغییرات اقلیمی است. پس از آن، ایستگاه‌های گلپایگان (۲/۲۲۴-)، داران (۲/۰۱۱-)، کاشان (۱/۸۵۴-) و نائین (۱/۶۱۰- میلی‌متر در سال) بیشترین کاهش را تجربه کرده‌اند که عمدتاً در غرب و مرکز استان قرار دارند. در مقابل، تنها ایستگاه اردستان (۰/۲۲۳+) روند افزایشی خفیف را نشان می‌دهند که از نظر آماری ناچیز و احتمالاً مرتبط با تغییرات محلی یا نوسانات کوتاه‌مدت است. این الگوی فضایی حاکی از کاهش عمومی بارش به‌ویژه در مناطق کوهستانی و مرطوب‌تر غرب استان است که می‌تواند پیامدهای جدی برای تغذیه آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه‌ها و تاب‌آوری اکوسیستم‌های نیمه‌خشک منطقه داشته باشد.



شکل ۳- تحلیل روندهای غالب بارش و شاخص تغییرات روند سالانه در ایستگاه‌های استان اصفهان

۳-۴- متوسط بارش ایستگاه‌های مختلف بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲

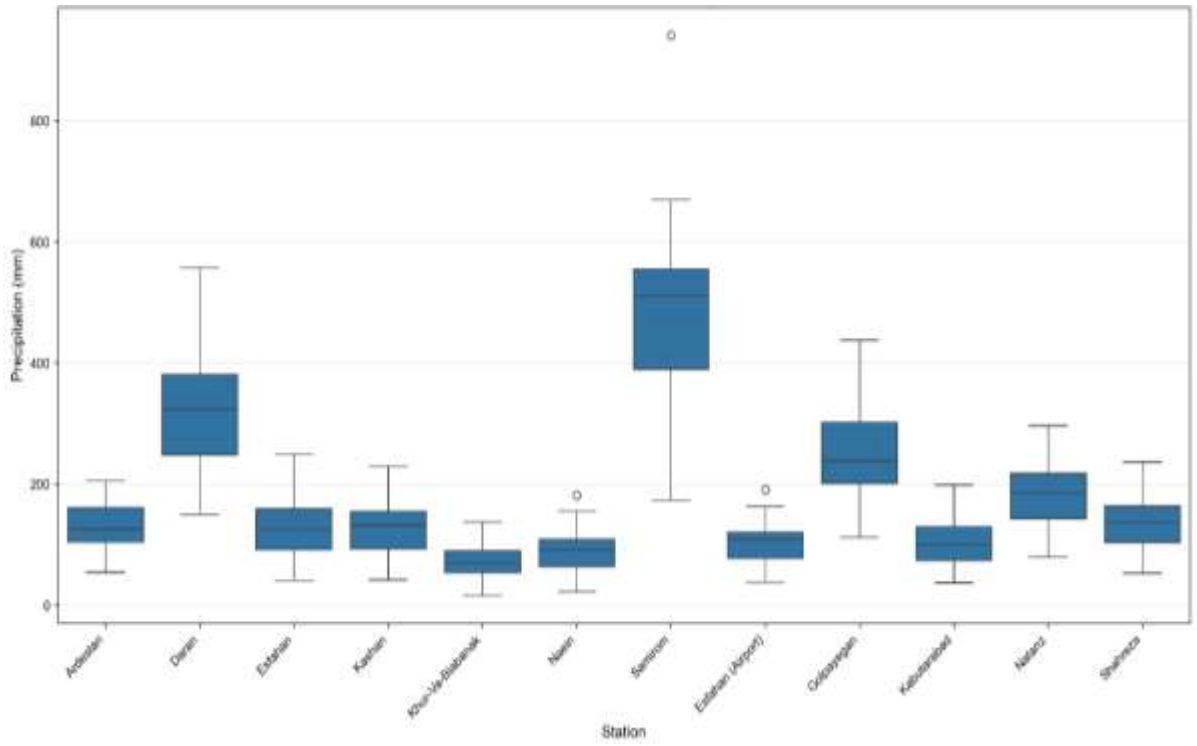
متوسط بارش ایستگاههای مختلف بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲ در شکل ۴ نشان داده شده است. نمودار ستونی میانگین بارش بلندمدت ایستگاه‌های استان اصفهان نشان‌دهنده تفاوت‌های چشمگیر در مقدار بارش دریافت شده در مقیاس مکانی است. بر این اساس، ایستگاه سمیرم با متوسط بارش ۴۹۱/۹ میلی‌متر به عنوان پربارش‌ترین ایستگاه مورد بررسی شناخته می‌شود و پس از آن ایستگاه‌های داران (۳۲۳/۵ میلی‌متر) و گلپایگان (۲۴۹/۵ میلی‌متر) قرار دارند. در مقابل، ایستگاه‌های شرقی و مرکزی استان مانند خور و بیابانک (۷۲/۵ میلی‌متر)، نائین (۸۹/۸ میلی‌متر) و اصفهان (فرودگاه) (۱۰۱/۷ میلی‌متر) کم‌بارش‌ترین مناطق هستند. این توزیع یک گرادیان غربی - شرقی آشکار را نشان می‌دهد که عمدتاً متأثر از موقعیت جغرافیایی، ارتفاع و نزدیکی به سامانه‌های بارشی غربی است. اختلاف حدود ۴۲۰ میلی‌متری بین بیشینه و کمینه بارش، تنوع اقلیمی قابل‌توجهی را در استان تأیید می‌کند. مناطق غربی و مرتفع‌تر نقش کلیدی در تأمین منابع آب سطحی و زیرزمینی دارند، درحالی‌که مناطق مرکزی و شرقی با محدودیت شدید منابع آبی مواجه هستند.



شکل ۴- نمودار ستونی متوسط بارش ایستگاه‌های مختلف بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲

۳-۵- تحلیل توزیع و تغییرپذیری درون داده‌ای بارش در ایستگاه‌های استان اصفهان

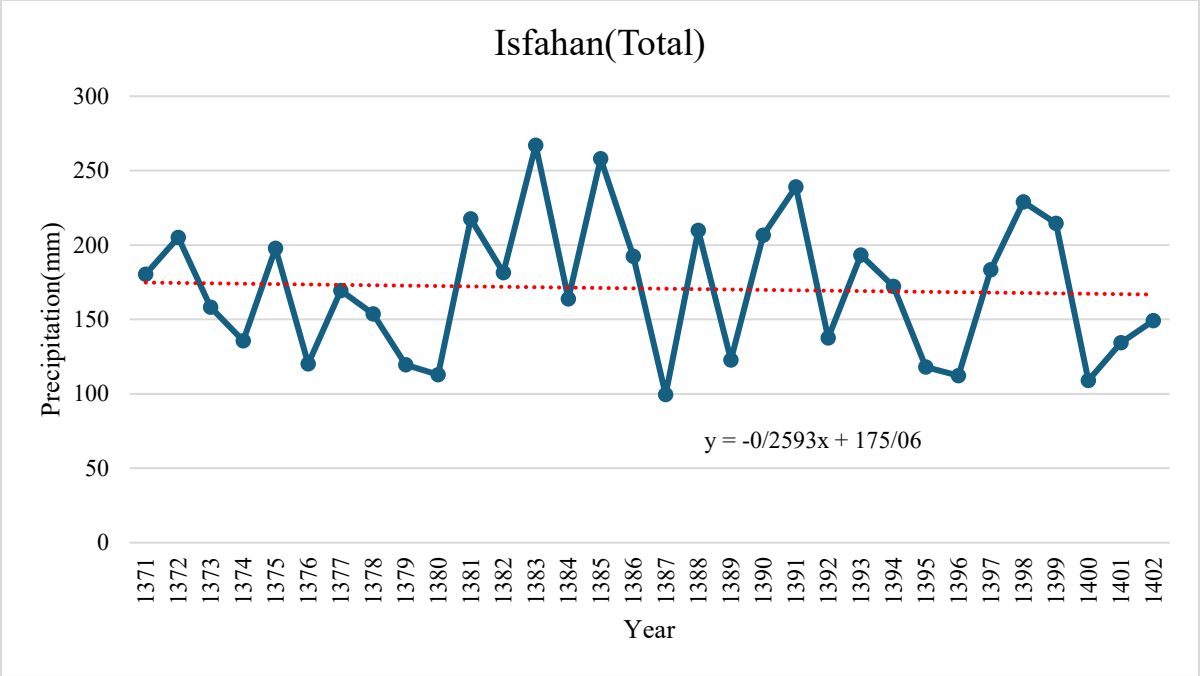
نمودار جعبه‌ای (Box Plot) توزیع بارش در ایستگاه‌های مختلف استان اصفهان، تغییرپذیری درونی داده‌های بارش هر ایستگاه را به‌صورت جامع نشان می‌دهد (شکل ۵). طول جعبه‌ها که معادل محدوده میانی چهل‌درصدی داده‌ها (IQR) است، بیانگر میزان پراکندگی بارش‌های معمول در هر منطقه است. ایستگاه‌های غربی و مرتفع مانند سمیروم، داران و گلپایگان نه تنها میانه بالاتری دارند، بلکه جعبه‌های طویل‌تر و خطوط حدی گسترده‌تری را نشان می‌دهند که حاکی از نوسانات سالانه بسیار زیاد و وجود سال‌های با بارش‌های به‌طور قابل‌توجهی بالاتر یا پایین‌تر از نرمال است. در مقابل، ایستگاه‌های کم‌بارش مرکزی و شرقی مانند خور و بیابانک، نائین و اصفهان (فرودگاه) جعبه‌های فشرده‌تری دارند که نشان‌دهنده ثبات نسبی و تغییرپذیری کمتر بارش سالانه در این مناطق خشک است. وجود نقاط پرت (Outliers) به‌ویژه در ایستگاه‌های پربارش، وقوع سال‌های با رویدادهای حدی بارشی (سیل‌آسا یا خشکسالی‌های شدید) را تأیید می‌کند.



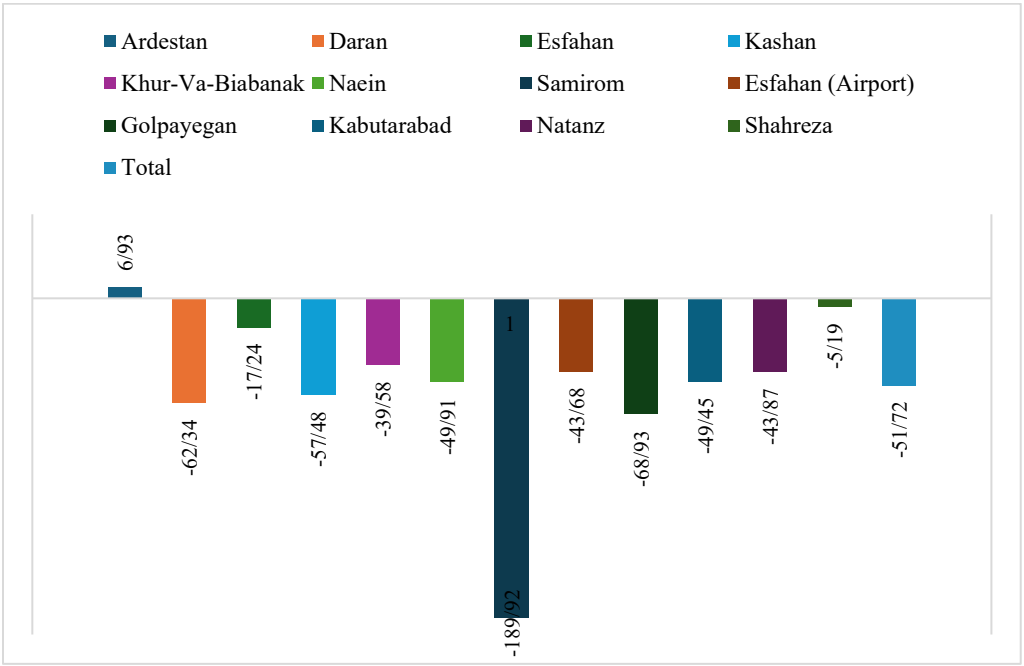
شکل ۵- نمودار Box- Plot تحلیل توزیع و تغییرپذیری درون‌سالی بارش در ایستگاه‌های استان اصفهان

۳-۶- تحلیل روند میانگین بارش سالانه استان اصفهان (۱۳۷۱-۱۴۰۲)

نمودار تحلیل روند میانگین بارش سالانه استان اصفهان (۱۳۷۱-۱۴۰۲) در شکل ۶ ارائه شده است. این نمودار نشان‌دهنده تغییرپذیری قابل‌توجه بارش در بازه زمانی چند دهه است. اگرچه نوسانات سالانه مشهود است، اما به نظر می‌رسد روند کلی بارش در سطح استان دارای افت تدریجی بوده باشد. این کاهش به‌ویژه در سال‌های اخیر (احتمالاً از دهه ۱۳۹۰ به بعد) آشکارتر است. دوره‌های خشکسالی شدید (مانند سال‌های حدود ۱۳۸۷، ۱۳۹۶ و ۱۴۰۰) به‌وضوح به‌صورت فرورفتگی‌های عمیق در نمودار نمایان هستند، درحالی‌که سال‌های پربارش (نظیر ۱۳۸۳، ۱۳۸۵، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸) قله‌های مشخصی را تشکیل می‌دهند. میانگین بارش استان عمدتاً در بازه ۱۲۰ تا ۲۲۰ میلی‌متر در نوسان است که میانگین بلندمدت آن نزدیک به ۱۸۰ میلی‌متر است. کاهش تدریجی در این میانگین، هم‌سو با یافته‌های قبلی مبنی بر کاهش بارش در بیشتر ایستگاه‌ها به‌ویژه در مناطق پربارش غربی است. میزان تغییرات میانگین بارش سالانه ایستگاه های منتخب استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۷۱) در شکل ۷ ارائه شده است. بیشترین کاهش مربوط به ایستگاه سمیرم به میزان ۱۸۹/۹ میلی‌متر و در کل استان اصفهان به میزان ۵۱/۷۲ میلی‌متر کاهش بارش را داریم.



شکل ۶- نمودار تحلیل روند میانگین بارش سالانه استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۷۱)



شکل ۷- میزان تغییرات میانگین بارش سالانه ایستگاه‌های منتخب استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۷۱)

۳-۷- وضعیت دمای استان طی سال‌های ۱۳۷۱-۱۴۰۲

داده‌های میانگین دمای سالانه ۱۲ ایستگاه سینوپتیک استان اصفهان طی دوره ۳۲ ساله (۱۴۰۲-۱۳۷۱) در جدول ۲ ارائه شده است. داده‌ها به‌وضوح یک گرادیان دمایی شدید مرتبط با ارتفاع و موقعیت جغرافیایی در استان را نشان می‌دهند. ایستگاه‌های واقع در مناطق پست، خشک و کویری مانند خور و بیابانک با میانگین بلندمدت ۲۱/۰۶ درجه سانتی‌گراد، و کاشان با ۱۹/۶۶ درجه سانتی‌گراد، گرم‌ترین نقاط استان هستند. در مقابل، ایستگاه‌های مرتفع و کوهستانی مانند داران با میانگین ۱۱/۳۴ درجه سانتی‌گراد و سمیرم با ۱۳/۶۲ درجه سانتی‌گراد، خنک‌ترین مناطق را تشکیل می‌دهند. ایستگاه‌های مرکزی مانند اصفهان (فرودگاه) با میانگین ۱۵/۶۸ درجه، وضعیت متعادل‌تری دارند. این اختلاف بیش از ۱۰ درجه سانتی‌گراد بین گرم‌ترین و خنک‌ترین ایستگاه، تأثیر عمیق ارتفاع و دوری از دریای را بر دمای منطقه نشان می‌دهد. میانگین دمای سالانه استان (برآورد ساده از ایستگاه‌ها) در این دوره حدود ۱۶/۹۶ درجه سانتی‌گراد است.

تحلیل بصری و اولیه روندهای خطی در سری‌های زمانی هر ایستگاه، غالب بودن روند افزایشی دمای سالانه را در استان اصفهان تأیید می‌کند. به‌طور مشخص، ایستگاه‌های مناطق خشک و کم‌ارتفاع (خور و بیابانک، کاشان، اردستان) با شیب افزایشی تندتری نسبت به ایستگاه‌های مرتفع (داران، سمیرم) مواجه بوده‌اند. این الگو کاملاً با پدیده گرمایش جهانی و تشدید آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطابقت دارد. به‌عنوان مثال، در ایستگاه خور و بیابانک، دمای سالانه از حدود ۱۸-۱۹ درجه در دهه ۱۳۷۰ به مقادیر پایدار بالای ۲۲ درجه در سال‌های اخیر (۱۴۰۲-۱۴۰۰) افزایش یافته است. همچنین، ایستگاه‌های مرکزی مانند اصفهان و اصفهان (فرودگاه) نیز روند افزایشی محسوسی را نشان می‌دهند. تنها ایستگاه نائین در این داده‌ها ممکن است روندی خنثی یا کاهشی بسیار خفیف داشته باشد که نیاز به تأیید آماری دارد. این روند گرمایشی عمومی و فزاینده یک عامل کلیدی در تشدید تنش آبی منطقه است، زیرا مستقیماً بر افزایش تبخیر و تعرق، کاهش رطوبت خاک و نیاز آبی گیاهان تأثیر می‌گذارد.

دمای سالانه در تمام ایستگاه‌ها دارای نوسانات بین‌سالی است. برخی سال‌ها به‌عنوان سال‌های گرم سراسری در اغلب ایستگاه‌ها ظاهر می‌شوند. سال ۱۳۸۹ یک نمونه برجسته است، که در آن دمای تمامی ایستگاه‌ها به‌طور هم‌زمان افزایش محسوسی را نسبت به سال‌های قبل و بعد نشان می‌دهد. سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نیز در بسیاری از ایستگاه‌ها، به‌ویژه مناطق خشک، با ثبت مقادیر نزدیک به بیشینه‌های تاریخی مشخص می‌شوند. در مقابل، سال‌هایی مانند ۱۳۹۱ و ۱۳۹۹ در برخی ایستگاه‌ها نسبتاً خنک‌تر ثبت شده‌اند. این نوسانات می‌تواند مرتبط با الگوهای گردش عمومی جو یا تغییرات منطقه‌ای باشد. نکته مهم، افزایش فراوانی سال‌های با دمای بالا در دهه‌های اخیر نسبت به دهه ابتدایی (۱۳۷۰) است که همسو با روند گرمایش بلندمدت است.

تحلیل داده‌های دمای ۳۲ ساله استان اصفهان به‌طور قاطع وجود یک روند گرمایشی بلندمدت، به‌ویژه در مناطق خشک و کم‌ارتفاع را نشان می‌دهد. این روند با نوسانات طبیعی بین‌سالی ترکیب شده و منجر به ثبت سال‌های گرم استثنایی با فراوانی بیشتر در دهه‌های اخیر شده است. گرمایش مشاهده‌شده در استان اصفهان، همسو و احتمالاً شدیدتر از روند گرمایش جهانی است که برای مناطق خشک داخلی پیش‌بینی می‌شود. این افزایش دما نه یک شاخص مجرد، بلکه یک عامل تشدیدکننده بحران آب است. هنگامی که روند کاهشی بارش (مطابق تحلیل قبلی) با روند افزایشی دما هم‌زمان شود، اثر آن بر کاهش منابع آب تجدیدپذیر، افزایش تنش آبی و کاهش تاب‌آوری سامانه‌های طبیعی و انسانی چندین برابر خواهد بود. بنابراین، برنامه‌ریزی برای مدیریت آب در استان اصفهان باید به‌طور جدی سناریوهای ادامه روند گرمایش را در مدل‌های خود وارد کند و راهبردهای سازگاری (مانند تغییر الگوی کشت به گونه‌های با نیاز آبی کمتر، مدیریت مصرف شهری و افزایش بازده آبیاری) را براساس این سناریوها تدوین کند. برای تحلیل دقیق‌تر، محاسبه شاخص‌های حدی دما (تعداد روزهای بالای آستانه خاص) و بررسی ارتباط همبستگی با بارش پیشنهاد می‌شود.

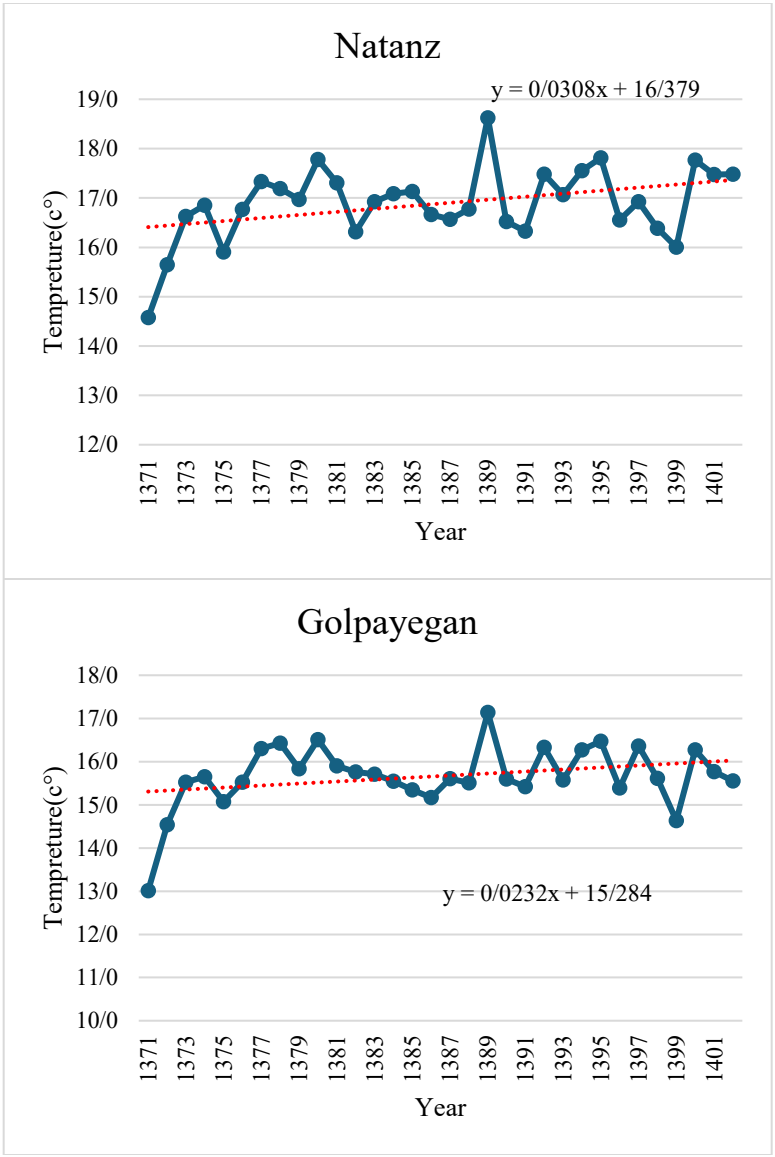
جدول ۲- وضعیت دمای استان طی سال‌های ۱۳۷۱-۱۴۰۲ (اداره هواشناسی استان، ۱۴۰۳)

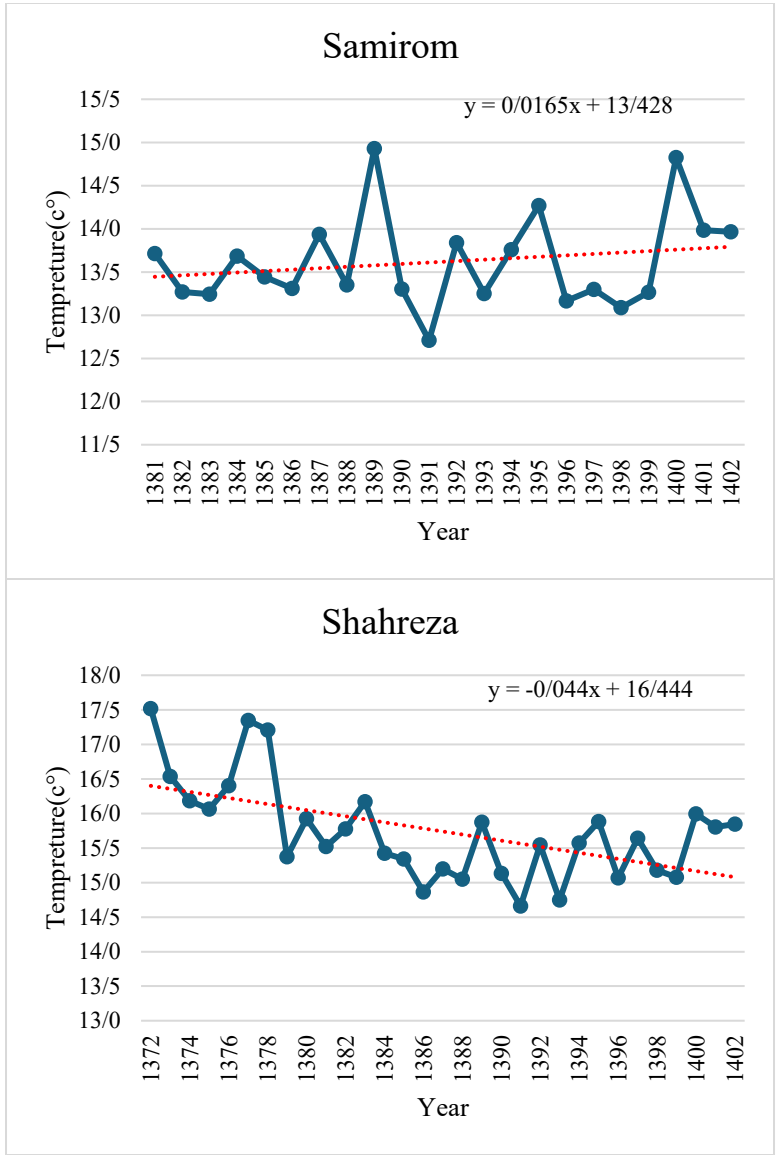
سال	اردستان	داران	اصفهان	کاشان	خور و بیابانک	نائین	سمیرم	اصفهان (فرودگاه)	گلپایگان	کبوترآباد	نطنز	شهررضا
۱۳۷۱	۱۸	۸/۶	۱۵/۴	۱۸	۱۸/۷			۱۳/۷	۱۳	۱۷/۱	۱۴/۶	
۱۳۷۲	۱۸/۳	۱۰/۴	۱۶/۳	۱۸/۳	۱۹/۴	۱۶/۶		۱۴/۸	۱۴/۵	۱۶/۸	۱۵/۶	۱۷/۵
۱۳۷۳	۲۰	۱۱/۸	۱۹/۱	۱۸/۹	۲۰/۴	۱۸/۶		۱۵/۵	۱۵/۵	۱۷/۵	۱۶/۶	۱۶/۵
۱۳۷۴	۲۰/۳	۱۱	۱۵/۹	۱۹/۱	۲۰/۴	۱۸/۵		۱۵/۲	۱۵/۷	۱۶/۹	۱۶/۹	۱۶/۲
۱۳۷۵	۱۹/۴	۱۰/۶	۱۵/۶	۱۸/۳	۱۹/۸	۱۷/۹		۱۴/۹	۱۵/۱	۱۵/۹	۱۵/۹	۱۶/۱
۱۳۷۶	۲۰/۳	۱۰/۵	۱۶/۳	۱۹/۳	۲۰/۷	۱۸/۶		۱۵/۳	۱۵/۵	۱۷/۵	۱۶/۸	۱۶/۴
۱۳۷۷	۲۰/۷	۱۱/۷	۱۶/۷	۱۹/۷	۲۱	۱۹/۵		۱۶/۱	۱۶/۳	۱۸/۱	۱۷/۳	۱۷/۳
۱۳۷۸	۲۰/۶	۱۱/۹	۱۶/۹	۱۹/۸	۲۰/۷	۱۹/۲		۱۶/۱	۱۶/۴	۱۸/۱	۱۷/۲	۱۷/۲
۱۳۷۹	۲۰/۴	۱۱	۱۶/۹	۱۹/۸	۲۰/۷	۱۸/۶		۱۵/۸	۱۵/۸	۱۶/۶	۱۷	۱۵/۴
۱۳۸۰	۲۱	۱۱/۷	۱۷/۶	۲۰/۲	۲۱/۴	۱۹/۷		۱۶/۴	۱۶/۵	۱۹/۱	۱۷/۸	۱۵/۹
۱۳۸۱	۲۰/۹	۱۱/۱	۱۷/۵	۲۰/۱	۲۱/۱	۱۹/۴	۱۳/۷	۱۶/۲	۱۵/۹	۱۸/۷	۱۷/۳	۱۵/۵
۱۳۸۲	۲۰/۳	۱۱/۴	۱۷/۱	۱۹/۵	۲۰/۶	۱۹/۱	۱۳/۳	۱۶	۱۵/۸	۱۸	۱۶/۳	۱۵/۸
۱۳۸۳	۲۰/۴	۱۰/۹	۱۷/۱	۱۹/۵	۲۰/۷	۱۹/۱	۱۳/۲	۱۶	۱۵/۷	۱۷/۹	۱۶/۹	۱۶/۲
۱۳۸۴	۲۰/۵	۱۱	۱۷/۳	۱۹/۳	۲۰/۹	۱۹/۱	۱۳/۷	۱۶/۱	۱۵/۵	۱۸	۱۷/۱	۱۵/۴
۱۳۸۵	۲۰/۵	۱۰/۵	۱۷/۱	۱۹/۶	۲۱/۲	۱۹/۱	۱۳/۴	۱۶	۱۵/۳	۱۷/۹	۱۷/۱	۱۵/۳
۱۳۸۶	۲۰/۱	۱۰/۶	۱۶/۷	۱۸/۹	۲۰/۴	۱۸/۷	۱۳/۳	۱۵/۸	۱۵/۲	۱۷/۵	۱۶/۷	۱۴/۹
۱۳۸۷	۱۹/۹	۱۱/۳	۱۷/۲	۱۸/۸	۲۰/۵	۱۸/۲	۱۳/۹	۱۶/۱	۱۵/۶	۱۸/۲	۱۶/۶	۱۵/۲
۱۳۸۸	۲۰/۲	۱۰/۹	۱۷/۱	۱۹	۲۱	۱۸/۸	۱۳/۳	۱۵/۹	۱۵/۵	۱۸/۱	۱۶/۸	۱۵/۱
۱۳۸۹	۲۱/۹	۱۲/۷	۱۸/۲	۲۰/۷	۲۱/۹	۲۰/۱	۱۴/۹	۱۶/۸	۱۷/۱	۱۹/۵	۱۸/۶	۱۵/۹
۱۳۹۰	۲۰	۱۱	۱۷/۴	۱۹/۲	۲۰/۹	۱۸/۶	۱۳/۳	۱۵/۶	۱۵/۶	۱۸/۵	۱۶/۵	۱۵/۱
۱۳۹۱	۱۹/۷	۱۰/۷	۱۶/۷	۱۹/۲	۲۰/۳	۱۸	۱۲/۷	۱۵/۱	۱۵/۴	۱۸/۲	۱۶/۳	۱۴/۷

سال	اردستان	داران	اصفهان	کاشان	خور و بیابانک	نائین	سمیرم	اصفهان (فرودگاه)	گلپایگان	کبوترآباد	نطنز	شهررضا
۱۳۹۲	۲۰/۸	۱۱/۷	۱۷/۸	۱۹/۷	۲۱/۴	۱۹/۳	۱۳/۸	۱۶	۱۶/۳	۱۸/۸	۱۷/۵	۱۵/۵
۱۳۹۳	۲۰/۵	۱۱/۱	۱۷/۲	۱۹/۶	۲۱	۱۸/۷	۱۳/۲	۱۵/۵	۱۵/۶	۱۸/۴	۱۷/۱	۱۴/۷
۱۳۴	۲۰/۹	۱۱/۷	۱۷/۹	۲۰/۲	۲۱/۷	۱۹/۱	۱۳/۸	۱۶/۱	۱۶/۳	۱۹	۱۷/۶	۱۵/۶
۱۳۹۵	۲۱/۲	۱۱/۸	۱۸/۱	۲۰/۱	۲۱/۷	۱۷/۸	۱۴/۳	۱۶	۱۶/۵	۱۹/۲	۱۷/۸	۱۵/۹
۱۳۹۶	۱۹/۸	۱۲/۲	۱۷/۹	۲۰	۲۱/۷	۱۷/۵	۱۳/۲	۱۵/۲	۱۵/۴	۱۶/۵	۱۶/۶	۱۵/۱
۱۳۹۷	۲۰/۱	۱۲/۶	۱۸/۱	۲۰/۷	۲۲/۱	۱۷/۸	۱۳/۳	۱۵/۸	۱۶/۴	۱۷/۲	۱۶/۹	۱۵/۶
۱۳۹۸	۱۹/۸	۱۱/۲	۱۷/۵	۲۰/۳	۲۱/۸	۱۷/۴	۱۳/۱	۱۵/۲	۱۵/۶	۱۶/۵	۱۶/۴	۱۵/۲
۱۳۹۹	۱۹/۱	۱۱/۵	۱۷/۵	۱۹/۷	۲۱/۱	۱۶/۹	۱۳/۳	۱۵	۱۴/۶	۱۶/۲	۱۶	۱۵/۱
۱۴۰۰	۲۰/۷	۱۳/۲	۱۹	۲۱/۲	۲۲/۵	۱۸/۲	۱۴/۸	۱۵/۹	۱۶/۳	۱۷/۴	۱۷/۸	۱۶
۱۴۰۱	۲۰/۶	۱۲/۴	۱۸/۸	۲۱/۲	۲۲/۹	۱۸	۱۴	۱۵/۷	۱۵/۸	۱۷/۳	۱۷/۵	۱۵/۸
۱۴۰۲	۲۰/۷	۱۲/۱	۱۸/۷	۲۱/۲	۲۳/۱	۱۸/۱	۱۴	۱۶	۱۵/۶	۱۷/۷	۱۷/۵	۱۵/۸

۳-۸- روند تغییرات دما در ایستگاه‌های مختلف

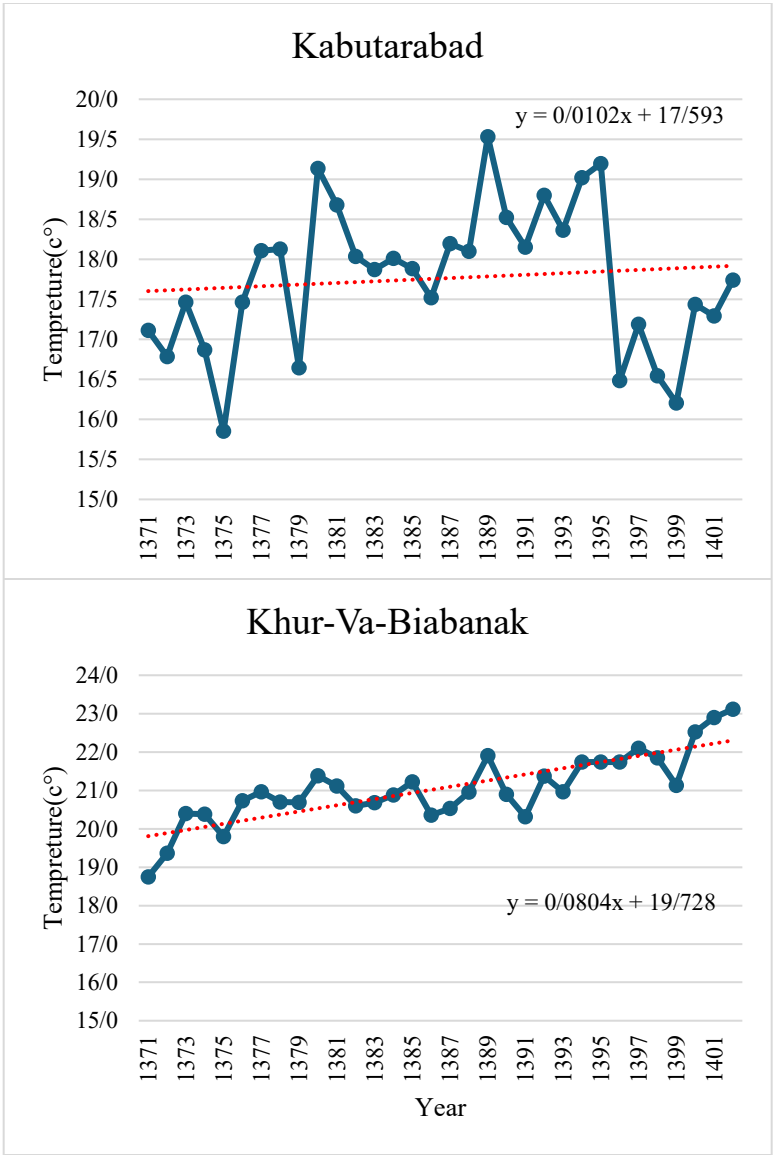
بررسی نمودارهای روند تغییرات دمای سالانه در ایستگاه‌های استان اصفهان (شکل ۸) نشان می‌دهد که تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز ایستگاه نائین در این بازه زمانی دارای روند افزایشی دما هستند. این افزایش به‌صورت عمومی و پایدار در طول دوره آماری (۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲) مشاهده می‌شود، اما میزان و شیب این افزایش در مناطق مختلف متفاوت است. به‌طور مشخص، ایستگاه‌های واقع در مناطق خشک و کم‌ارتفاع‌تر مانند خور و بیابانک، کاشان و اصفهان (فرودگاه) با شیب افزایشی تندتری مواجه بوده‌اند، درحالی‌که ایستگاه‌های مرتفع‌تر نظیر سمیرم و داران اگرچه روند گرمایشی را تجربه کرده‌اند، اما شیب افزایش دما در آن‌ها ملایم‌تر است. این الگو هم‌سو با پدیده‌های تغییر اقلیم در مقیاس جهانی است که در آن مناطق خشک و نیمه‌خشک با شدت بیشتری تحت تأثیر گرمایش قرار می‌گیرند. علاوه بر روند بلندمدت افزایش دما، نوسانات سالانه نیز در برخی دوره‌ها مشهود است. این روند گرمایشی پیامدهای قابل‌توجهی در حوزه‌های محیط‌زیست، منابع آب، کشاورزی و مدیریت ریسک‌های اقلیمی در استان اصفهان خواهد داشت.

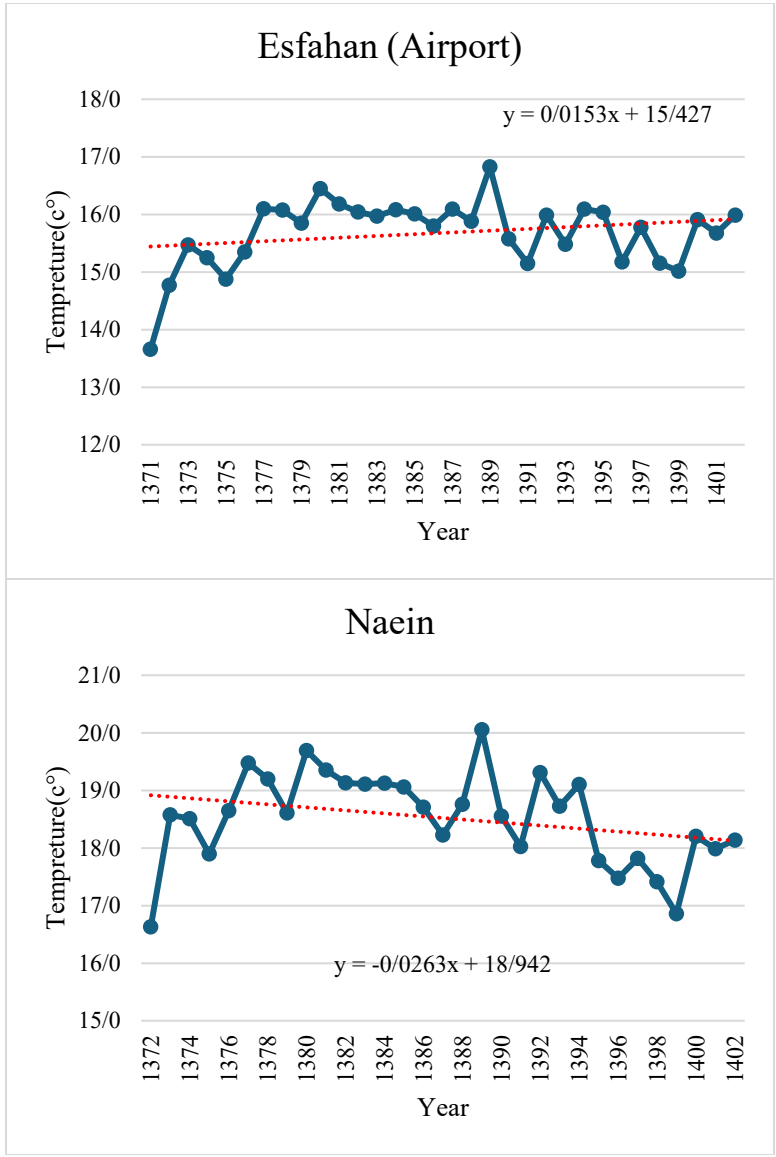

Natanz
y = 0/0308x + 16/379
Tempreture(c°)
Year


Samirom
y = 0/0165x + 13/428
Tempreture(c°)
Year

Golpayegan
y = 0/0232x + 15/284
Tempreture(c°)
Year

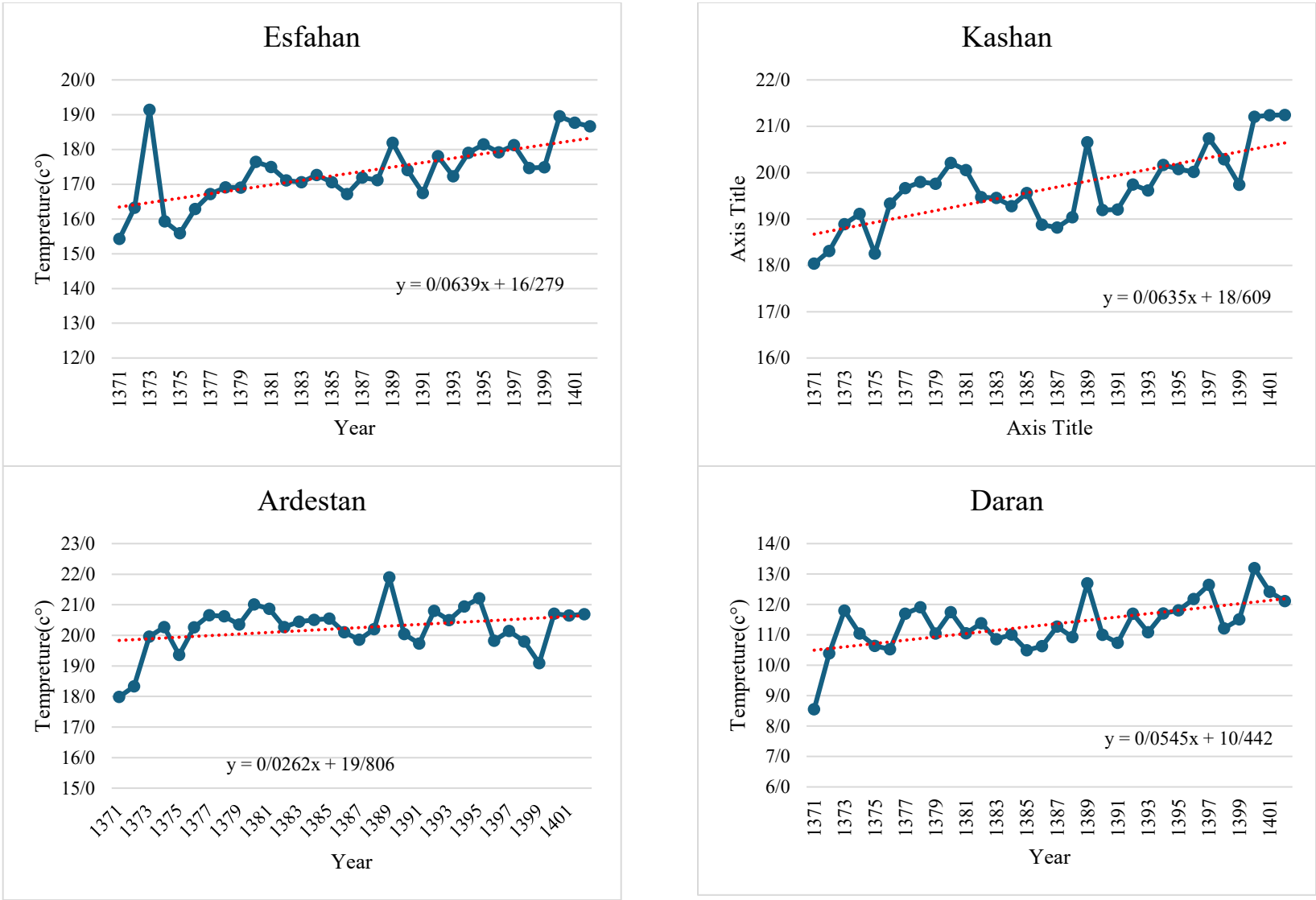
Shahreza
y = -0/044x + 16/444
Tempreture(c°)
Year


Kabutarabad
y = 0/0102x + 17/593
Tempreture(c°)
20/0
19/5
19/0
18/5
18/0
17/5
17/0
16/5
16/0
15/5
15/0
1371 1373 1375 1377 1379 1381 1383 1385 1387 1389 1391 1393 1395 1397 1399 1401


Esfahan (Airport)
y = 0/0153x + 15/427
Tempreture(c°)
18/0
17/0
16/0
15/0
14/0
13/0
12/0
1371 1373 1375 1377 1379 1381 1383 1385 1387 1389 1391 1393 1395 1397 1399 1401
Year

Khur-Va-Biabanak
y = 0/0804x + 19/728
Tempreture(c°)
24/0
23/0
22/0
21/0
20/0
19/0
18/0
17/0
16/0
15/0
1371 1373 1375 1377 1379 1381 1383 1385 1387 1389 1391 1393 1395 1397 1399 1401
Year

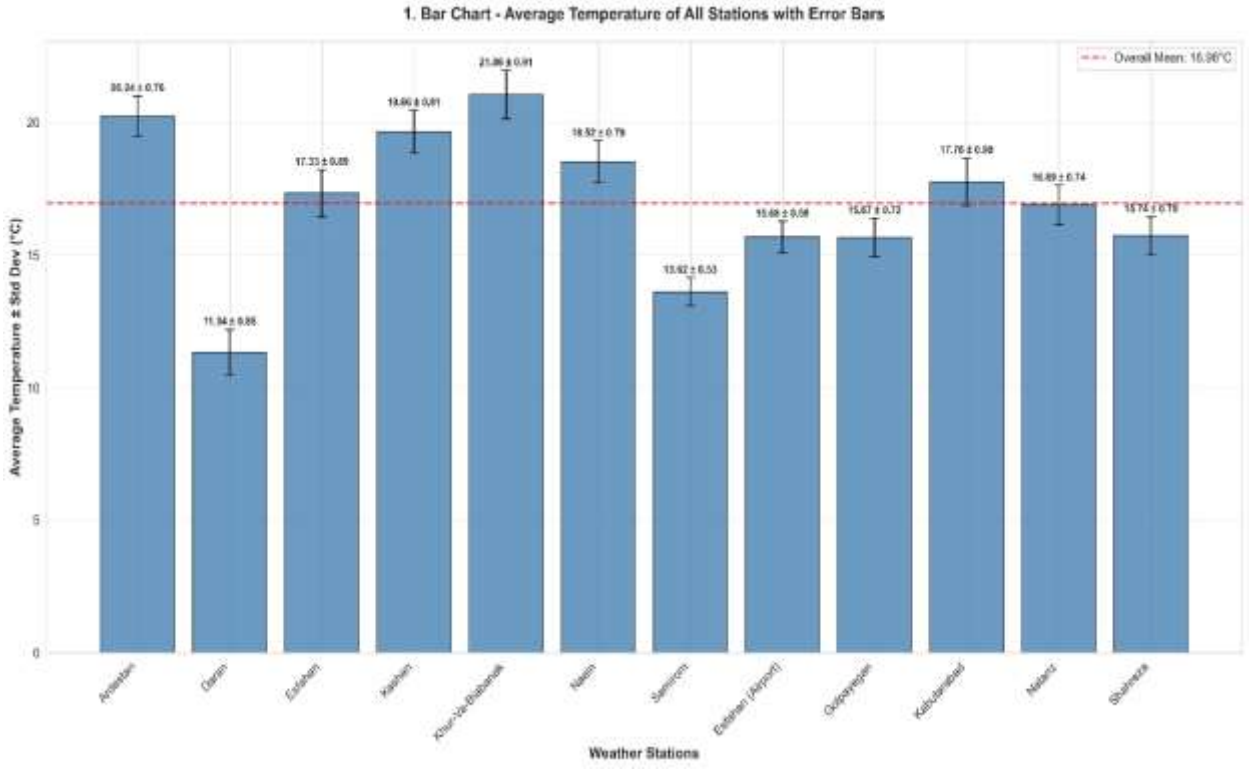
Naein
y = -0/0263x + 18/942
Tempreture(c°)
21/0
20/0
19/0
18/0
17/0
16/0
15/0
1372 1374 1376 1378 1380 1382 1384 1386 1388 1390 1392 1394 1396 1398 1400 1402
Year



شکل ۸- روند تغییرات دما در ایستگاه‌های مختلف استان اصفهان

۳-۹- میانگین دمای ایستگاه‌های مختلف در استان اصفهان

شکل ۹ میانگین دمای سالانه و میزان پراکندگی (انحراف معیار) داده‌های دمایی را در ایستگاه‌های هواشناسی استان اصفهان نشان می‌دهد. براساس نتایج مستخرج از شکل ۸، میانگین کل دمای تمامی ایستگاه‌ها ۱۶/۹۶ درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است. با این حال، دامنه وسیع میانگین‌های ایستگاهی (۱۱/۳۴ تا ۲۱/۰۶ درجه) حاکی از تنوع اقلیمی قابل توجه بین مناطق مختلف استان است که می‌تواند ناشی از اختلاف ارتفاع، موقعیت جغرافیایی (مانند مناطق کوهستانی در مقابل مناطق بیابانی) و سایر عوامل میکروکلیمایی باشد. انحراف معیار دما مقادیری بین ۰/۵۳ تا ۰/۹۱ درجه را نشان می‌دهند، بیانگر میزان متفاوت نوسانات دمایی سالانه در هر ایستگاه است. ایستگاه‌هایی با انحراف معیار بالاتر (نزدیک به ۰/۹۱) نوسان دمایی بیشتری را در طول دوره آماری تجربه کرده‌اند، درحالی‌که ایستگاه‌های با انحراف معیار پایین‌تر (نزدیک به ۰/۵۳) پایدارتر بوده‌اند. در مجموع، این نمودار بر وجود گرادیان دمایی و الگوهای تغییرپذیری مکانی و زمانی دما در سطح استان اصفهان تأکید دارد. مناطق کویری دارای تغییرات بیشتری نسبت به مناطق کوهستانی و پر بارش است. لذا اثر رطوبت و پوشش گیاهی نقش تعدیل‌کنندگی دما دارد.



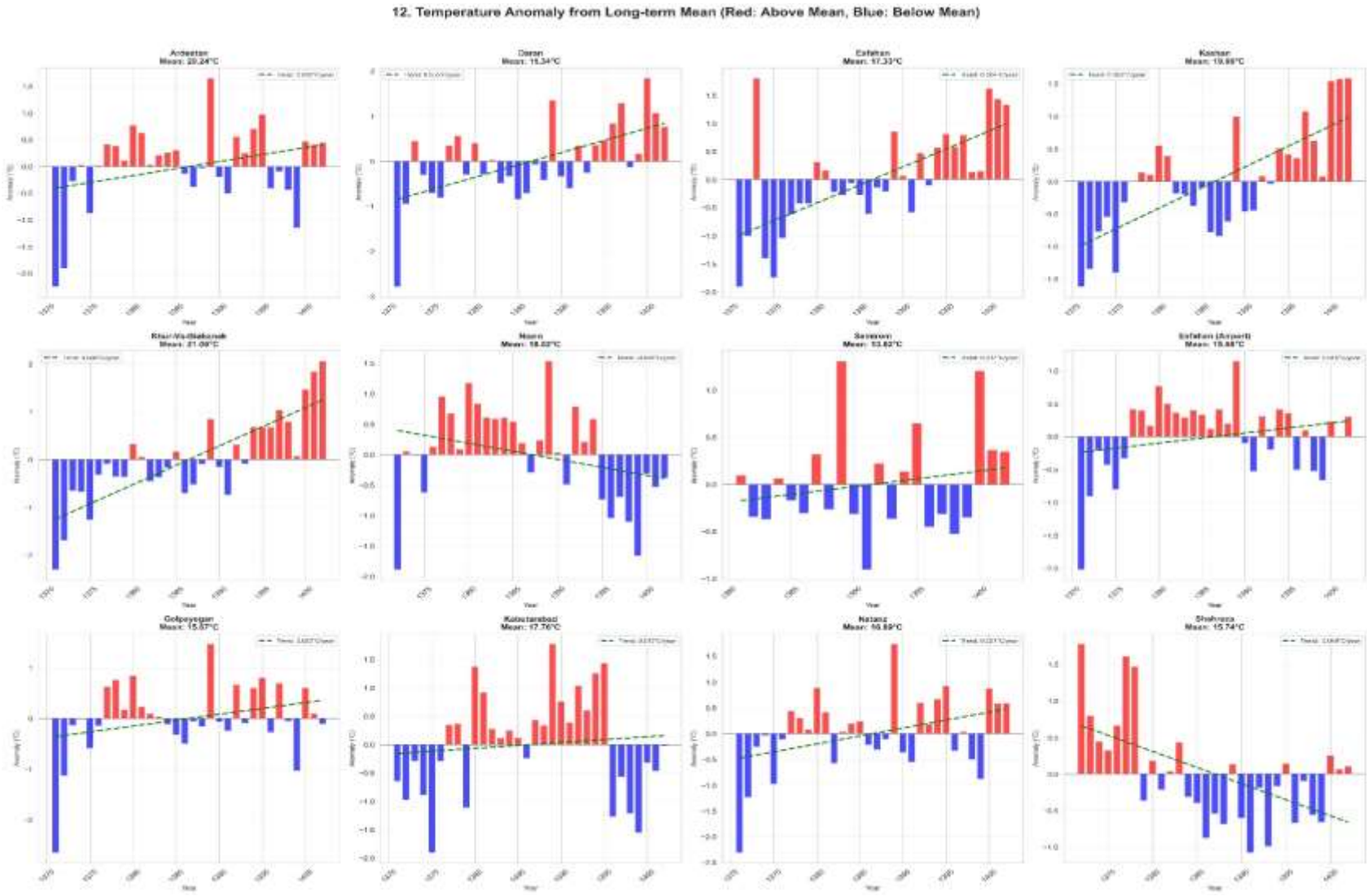
شکل ۹- میانگین دمای ایستگاه‌های مختلف در استان اصفهان

۳-۱۰- مقایسه میانگین سالیانه نسبت به میانگین بلند مدت

بررسی نمودار مقایسه‌ای میانگین دمای سالیانه هر ایستگاه با میانگین بلندمدت همان ایستگاه در استان اصفهان، الگوی متفاوتی از تغییرات دمایی را در بازه زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد. به‌طور کلی، در بسیاری از ایستگاه‌ها میانگین سالیانه دما در سال‌های اخیر (به‌ویژه از دهه ۱۳۹۰ به بعد) بالاتر از میانگین بلندمدت هستند که نشان‌دهنده روند گرمایشی در سطح استان است. ایستگاه‌های واقع در مناطق خشک و کم‌ارتفاع نظیر خور و بیابانک، کاشان و اردستان به‌طور مشخص میانگین‌های سالیانه بالاتری را نسبت به میانگین بلندمدت خود ثبت کرده‌اند که شدت بیشتر گرمایش در این مناطق را تأیید می‌کند. در مقابل، ایستگاه‌های مرتفع‌تر مانند سمیرم و داران اگرچه روند مشابهی را نشان می‌دهند، اما میزان انحراف از میانگین بلندمدت در آن‌ها کمتر است (شکل ۱۰، جدول ۳). از دیدگاه تغییرات اقلیمی، تداوم این روند می‌تواند پیامدهای مهمی بر روی منابع آب، کشاورزی، و اکوسیستم‌های طبیعی استان داشته باشد.

جدول ۳- تعداد سال‌های پایین‌تر و بالاتر از میانگین بلندمدت در هر ایستگاه

ایستگاه	دمای میانگین (°c)	بیشینه ناهمسانی مثبت	بیشینه ناهمسانی منفی	تعداد سال‌های بالاتر از میانگین	تعداد سال‌های پایین‌تر از میانگین
اردستان	۲۰/۲۴	۱/۶۶	-۲/۲۵	۱۹	۱۳
داران	۱۱/۳۴	۱/۸۵	-۲/۷۹	۱۵	۱۷
اصفهان	۱۷/۳۳	۱/۸	-۱/۹۱	۱۵	۱۷
کاشان	۱۹/۶۶	۱/۵۹	-۱/۶۲	۱۶	۱۶
خور و بیابانک	۲۱/۰۶	۲/۰۶	-۲/۳۱	۱۴	۱۸
نائین	۱۸/۵۲	۱/۵۳	-۱/۸۹	۱۸	۱۳
سمیرم	۱۳/۶۲	۱/۳۱	-۰/۹۱	۱۰	۱۲
اصفهان (فرودگاه)	۱۵/۶۸	۱/۱۵	-۲/۰۲	۱۹	۱۳
گلپایگان	۱۵/۶۷	۱/۴۷	-۲/۶۵	۱۴	۱۸
کبوترآباد	۱۷/۷۶	۱/۷۷	-۱/۹۱	۱۷	۱۵
نطنز	۱۶/۸۹	۱/۷۴	-۲/۳۱	۱۷	۱۵
شهرضا	۱۵/۷۴	۱/۷۸	-۱/۰۸	۱۵	۱۶



شکل ۱۰- مقایسه میانگین سالیانه نسبت به میانگین بلند مدت در هر ایستگاه

۳-۱۱- حوزه‌های آبخیز و محدوده‌های مطالعاتی استان اصفهان

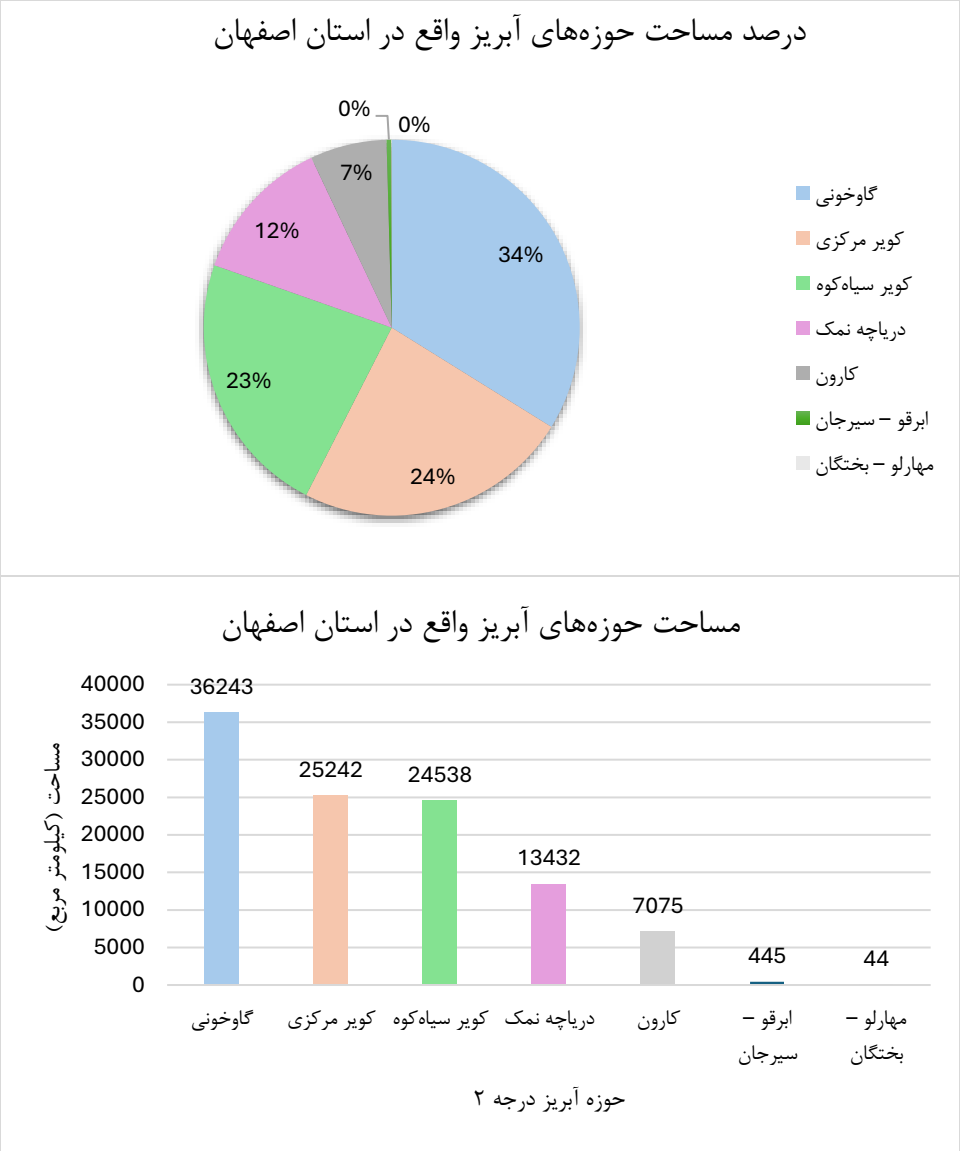
از نظر تقسیمات حوزه‌های آبریز، استان اصفهان بخشی از دو حوزه آبریز اصلی زیر است:

- خلیج فارس و دریای عمان
- فلات مرکزی

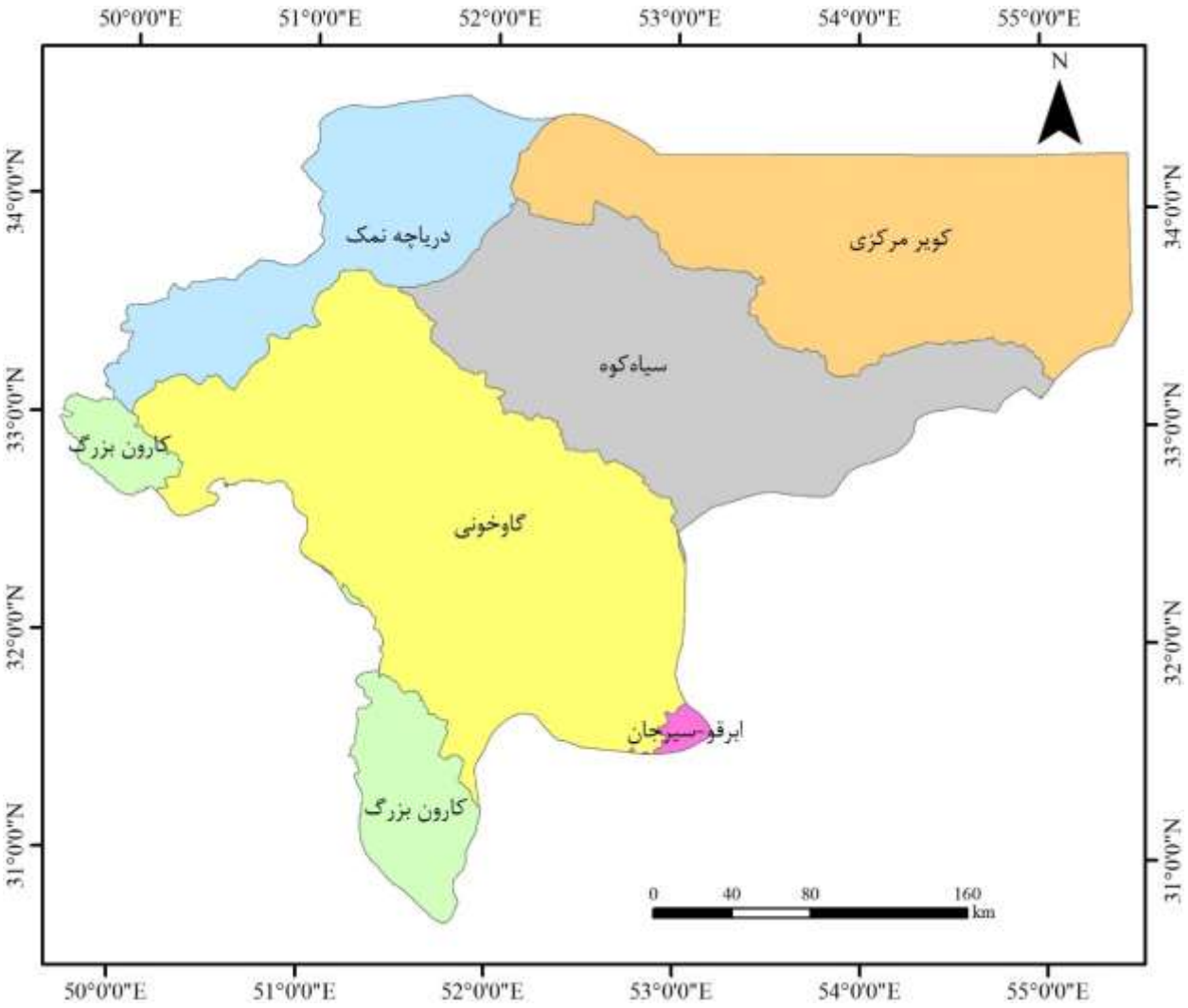
این استان همچنین دارای هفت حوضه آبریز درجه دو شامل: دریاچه نمک، گاوخونی، کویر سیاه‌کوه، کویر مرکزی، کارون، ابرقو-سیرجان و مهارلو-بختگان است. همان‌طور که در جدول ۴ و شکل ۱۱، مشخص شده، مساحت حوزه‌های آبریز درجه دو واقع در استان ارائه شده است. قلمرو عملیاتی شرکت آب منطقه‌ای اصفهان نیز پنج حوضه درجه دو (گاوخونی، کویر سیاه‌کوه، کویر مرکزی، دریاچه نمک و کارون) را شامل می‌شود (شکل ۱۲). همچنین بخش‌هایی از دو حوضه مهارلو-بختگان و ابرقو- سیرجان در این استان قرار دارد اما در قلمرو عملیاتی آب منطقه ای استان اصفهان نیست. همچنین این استان شامل ۶۰ محدوده مطالعاتی است (شکل ۱۳).

جدول ۴- مساحت حوزه‌های آبریز واقع در استان اصفهان (گزارش آب منطقه‌ای استان، ۱۴۰۳)

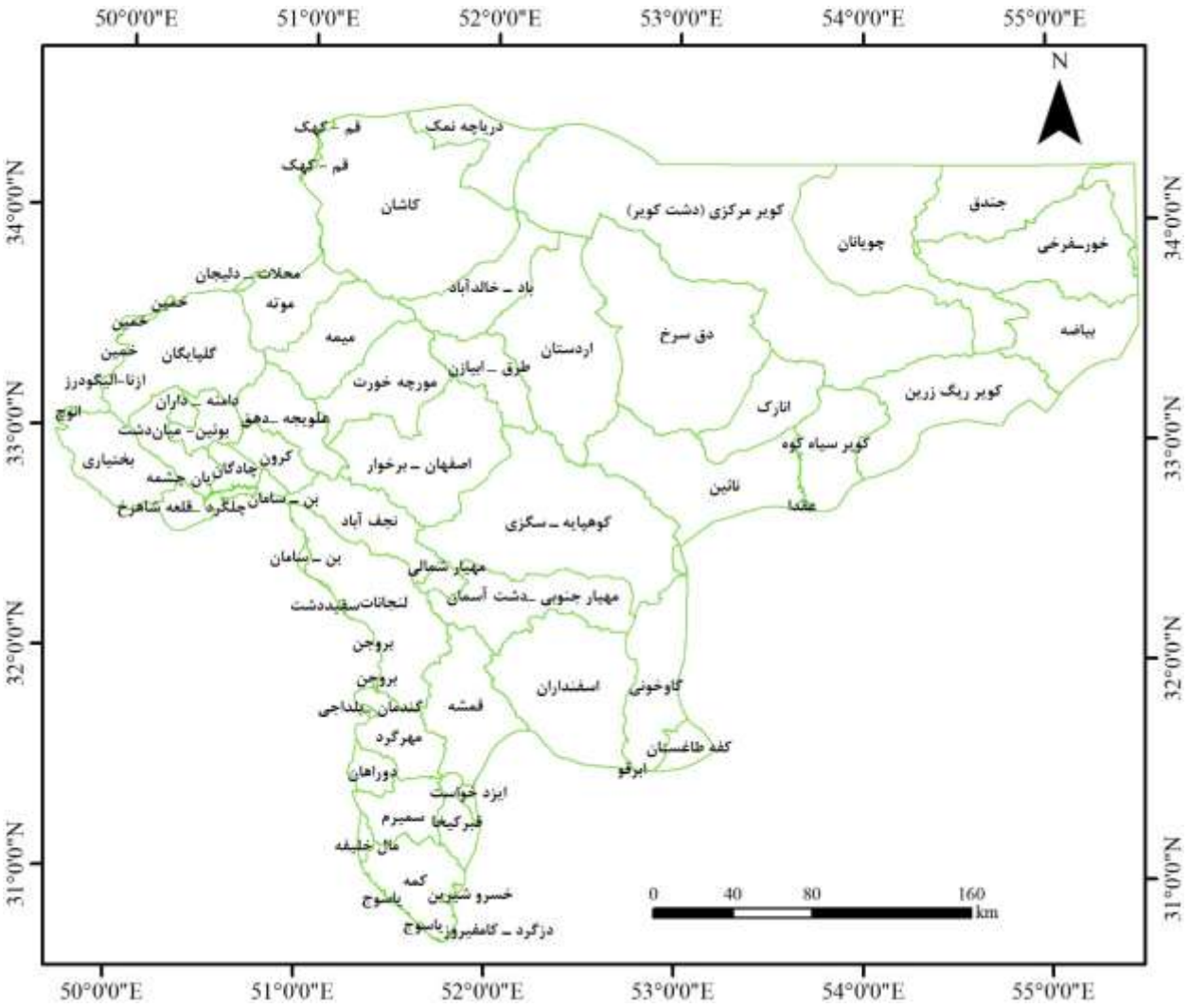
	وسعت km^2	
	۳۶۲۴۳	
کویر مرکزی	۲۵۲۴۲	
	۲۴۵۳۸	
دریاچه نمک	۱۳۴۳۲	
		۶/۶
ابرقو - سیرجان	۴۴۵	۴
مهارلو - بختگان	۴۴	
استان اصفهان	۱۰۷۰۱۹	۱۰۰



شکل ۱۱- مساحت حوزه‌های آبریز واقع در استان اصفهان



شکل ۱۲- حوزه‌های آبریز درجه ۲ استان اصفهان



شکل ۱۳- استان اصفهان به تفکیک محدوده‌های مطالعاتی

۳-۱۲- میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی استان اصفهان

به‌منظور بررسی میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی استان اصفهان از داده‌های تهیه‌شده از شرکت آب منطقه‌ای استان که در فاصله زمانی بین سال‌های ۸۶-۱۳۸۵ الی ۴۰۳-۱۴۰۲ استفاده شد. وضعیت و میزان بهره‌برداری از منابع آب استان در جدول ۵ نشان داده شده است.

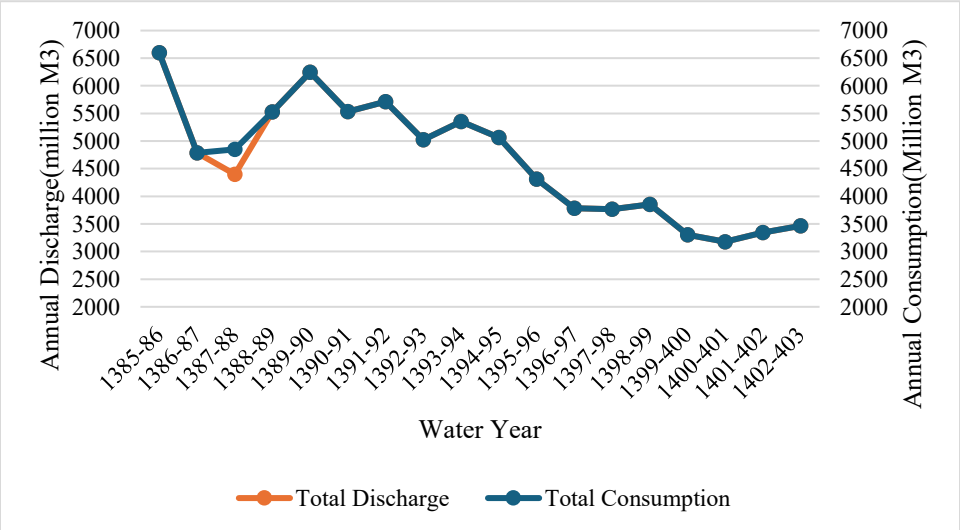
جدول ۵- میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی (برحسب میلیون متر مکعب) (گزارش آب منطقه‌ای استان، ۱۴۰۳)

منابع	چاه عمیق		چاه کم عمق		قنات		چشمه		تخلیه سالانه	مصارف			
سال آبی	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه		شرب	صنعت	کشاورزی	خارج از فصل
۱۳۸۵-۸۶	۱۵۳۸۷	۲۷۰۲/۰	۳۱۳۱۳/۰	۱۵۱۱/۷	۴۶۵۸/۰	۱۰۶۲/۴	۱۱۲۸۶/۰	۱۳۲۰/۵	۶۵۹۶/۶	۱۶۸/۷	۵۲/۸	۵۵۵۳/۴	۸۲۱/۷
۱۳۸۶-۸۷	۱۵۱۴۸	۲۶۳۳/۷	۳۲۱۴۶/۰	۱۶۰۲/۱	۴۳۶۳/۰	۲۷۴/۹	۹۵۶۹/۰	۲۷۳/۲	۴۷۸۳/۹	۱۶۵/۷	۶۲/۶	۴۵۴۷/۳	۸/۳
۱۳۸۷-۸۸	۱۵۳۶۸	۲۲۸۷/۰	۳۲۷۳۶/۰	۱۵۹۳/۲	۴۳۶۲/۰	۲۲۲/۶	۹۵۶۵/۰	۲۹۳/۲	۴۳۹۶	۱۹۹/۲	۶۸/۵	۴۳۵۶/۰	۲۲۷/۷
۱۳۸۸-۸۹	۱۵۳۲۶	۲۲۵۷/۰	۳۲۵۳۱/۰	۱۸۲۰/۹	۴۰۵۱/۰	۶۷۰/۰	۸۸۱۶/۰	۷۷۸/۰	۵۵۲۵/۹	۱۹۴/۶	۶۸/۵	۴۶۲۲/۹	۶۳۹/۹
۱۳۸۹-۹۰	۱۵۶۳۰	۲۲۸۱/۸	۳۳۱۵۱/۰	۲۱۷۷/۶	۴۵۰۵/۰	۵۸۸/۳	۹۴۰۸/۰	۱۲۰۰/۲	۶۲۴۷/۹	۱۶۵/۷	۵۳/۶	۵۳۸۲/۳	۶۴۶/۳
۱۳۹۰-۹۱	۱۵۶۴۲/۰	۱۹۸۵/۴	۳۲۸۷۶/۰	۱۴۹۹/۳	۴۴۹۵/۰	۷۷۵/۸	۹۴۰۸/۰	۱۲۷۳/۵	۵۵۳۴/۰	۱۵۲/۶	۵۵/۲	۴۵۰۰/۱	۸۲۶/۱
۱۳۹۱-۹۲	۱۵۷۲۶/۰	۱۹۳۴/۸	۳۳۰۶۴/۰	۱۲۷۸/۳	۴۲۶۰/۰	۸۳۱/۳	۹۳۷۳/۰	۱۶۶۷/۲	۵۷۱۱	۱۵۱/۷	۵۵/۱	۴۵۵۱/۰	۹۵۳/۸
۱۳۹۲-۹۳	۱۵۷۸۱/۰	۱۸۲۱/۳	۳۲۷۵۱/۰	۱۰۷۶/۲	۴۲۶۰/۰	۷۷۸/۹	۹۳۷۳/۰	۱۳۴۴/۹	۵۰۲۱/۳	۱۴۹/۸	۵۵/۱	۴۰۰۰/۰	۸۱۶/۴
۱۳۹۳-۹۴	۱۵۸۰۵/۰	۱۷۵۴/۸	۳۳۳۹۸/۰	۱۲۴۸/۱	۴۲۶۰/۰	۷۶۳/۹	۹۳۹۱/۰	۱۵۸۶/۳	۵۳۵۳/۱	۱۳۷/۲	۵۵/۰	۴۳۵۶/۸	۸۰۴/۱
۱۳۹۴-۹۵	۱۵۸۴۳/۰	۱۷۰۱/۱	۳۳۱۰۳/۰	۱۱۵۱/۱	۴۳۳۲/۰	۷۱۲/۹	۹۳۶۱/۰	۱۴۹۶/۹	۵۰۶۲/۰	۱۴۸/۶	۵۴/۸	۳۲۸۴/۳	۱۵۷۴/۳
۱۳۹۵-۹۶	۱۵۸۲۴/۰	۱۵۱۴/۲	۳۳۴۰۱/۰	۷۸۹/۴	۴۲۶۷/۰	۶۸۳/۱	۹۳۶۳/۰	۱۳۲۵/۸	۴۳۱۲	۱۴۷/۴	۵۴/۴	۳۳۶۱/۷	۷۴۹/۰
۱۳۹۶-۹۷	۱۵۸۱۰/۰	۱۴۴۵/۱	۳۳۴۰۳/۰	۷۵۳/۱	۴۲۶۰/۰	۶۴۱/۱	۹۳۶۲/۰	۹۴۶/۷	۲۷۹۳/۹	۱۴۸/۱	۵۴/۸	۳۰۵۹/۷	۵۲۳/۳
۱۳۹۷-۹۸	۲۵۶۹۷/۰	۱۸۴۸/۶	۳۷۸۳۸/۰	۵۹۱/۸	۴۳۰۰/۰	۲۷۷/۳	۱۳۵۸۱/۰	۱۰۵۱/۹	۳۷۶۹/۵	۱۳۴/۹	۳۵/۳	۲۷۸۳/۸	۸۱۵/۴
۱۳۹۸-۹۹	۲۵۶۹۷/۰	۱۹۱۲/۱	۲۷۸۳۸/۰	۶۲۵/۳	۴۲۰۰/۰	۲۷۸/۹	۱۳۵۸۱/۰	۱۰۴۰/۳	۳۸۵۶/۶	۱۳۴/۸	۳۵/۳	۲۸۸۲/۲	۸۰۴/۲
۱۳۹۹-۰۰	۲۳۵۶۵/۰	۱۷۲۲/۶	۳۷۷۴۶/۰	۵۷۴/۰	۴۲۵۸/۰	۲۶۴/۷	۱۱۹۳۴/۰	۷۴۱/۱	۳۳۰۲/۴	۱۵۶/۳	۳۹/۹	۲۶۷۴/۹	۴۳۱/۳
۱۴۰۰-۰۱	۲۳۵۶۵/۰	۱۷۱۷/۷	۳۷۷۴۶/۰	۶۰۱/۴	۴۲۵۸/۰	۲۲۳/۳	۱۱۹۳۴/۰	۶۳۵/۶	۳۱۷۷/۹	۱۵۶/۱	۴۱/۲	۲۵۱۸/۵	۴۶۲/۲
۱۴۰۱-۰۲	۲۳۵۶۵/۰	۱۷۴۷/۳	۳۷۷۴۶/۰	۶۴۶/۶	۴۲۵۸/۰	۲۳۷/۲	۱۱۹۳۴/۰	۷۱۴/۵	۳۳۴۵/۶	۱۵۵/۸	۴۱/۱	۲۶۴۲/۹	۵۰۵/۸
۱۴۰۲-۰۳	۳۷۹۴۶/۰	۱۶۴۸/۴	۲۳۵۵۵/۰	۶۹۲/۲	۴۲۵۸/۰	۲۴۹/۲	۱۱۹۳۴/۰	۸۷۵/۱	۳۴۶۴/۹	۱۳۳/۷	۷۶/۹	۲۶۳۸/۳	۴۹۹/۱

حجم آبی است که در فصول غیرآبیاری از چشمه‌ها و قنوات برای تغذیه آبخوان و یا پایه دبی رودخانه ها مصرف می‌شود.

۳-۱۳- مقایسه مصرف آب و برداشت از منابع آب زیرزمینی

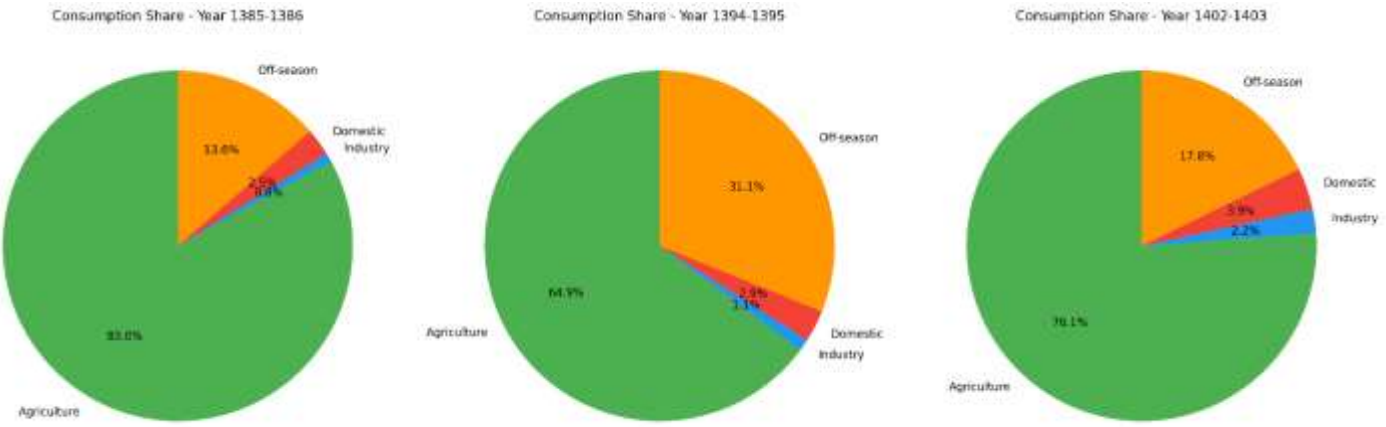
نمودار ترکیبی مقایسه مصرف آب و برداشت از منابع آب زیرزمینی در شکل ۱۴ نشان داده شده است. تحلیل داده‌های سری زمانی مصرف و تخلیه کل آب در استان اصفهان طی سال‌های آب‌شناسی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲ نشان‌دهنده یک روند ساختاری مشخص است. در بیشتر سال‌ها (۱۷ سال از ۱۸ سال)، مقادیر مصرف کل (Total Consumption) و تخلیه کل (Total Discharge) کاملاً برابر هستند، که از نظر هیدرولوژی و مدیریت آب می‌تواند نشان‌دهنده یک سامانه گزارش‌گیری متوازن یا تمرکز داده‌ها بر آب‌های سطحی در یک سامانه بسته باشد. تنها در سال ۸۸-۱۳۸۷ یک عدم توازن جزئی مشاهده می‌شود (مصرف: ۴۸۵۱، تخلیه: ۴۳۹۶)، که احتمالاً نشان‌دهنده برداشت اضافی از منابع یا یک ناهمخوانی در ثبت است. از منظر آماری، روند کلی یک کاهش شدید و پیوسته را نشان می‌دهد: مقدار از اوج ۶۵۹۶ میلیون مترمکعب در سال ابتدایی به ۳۴۶۴ میلیون مترمکعب در سال پایانی کاهش یافته است، که بیانگر کاهش تقریباً ۴۷/۵ درصدی در حجم آب در گردش طی این دوره ۱۸ ساله است. این کاهش شدید، که از حدود سال ۹۷-۱۳۹۶ شتاب بیشتری گرفته، به‌طور علمی با شرایط کاهش منابع آب سطحی، محدودیت‌های برداشت و احتمالاً فشارهای خشکسالی در منطقه اصفهان همخوانی دارد.



شکل ۱۴- مقایسه مصرف آب و برداشت از منابع آب زیرزمینی بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۲

۳-۱۴- سهم نسبی بخش‌های مختلف مصرف آب:

شکل ۱۵ سهم نسبی بخش‌های مختلف مصرف آب را در سه سال شاخص ۸۶-۱۳۸۵، ۹۵-۱۳۹۴ و ۰۳-۱۴۰۲ را نشان می‌دهد.



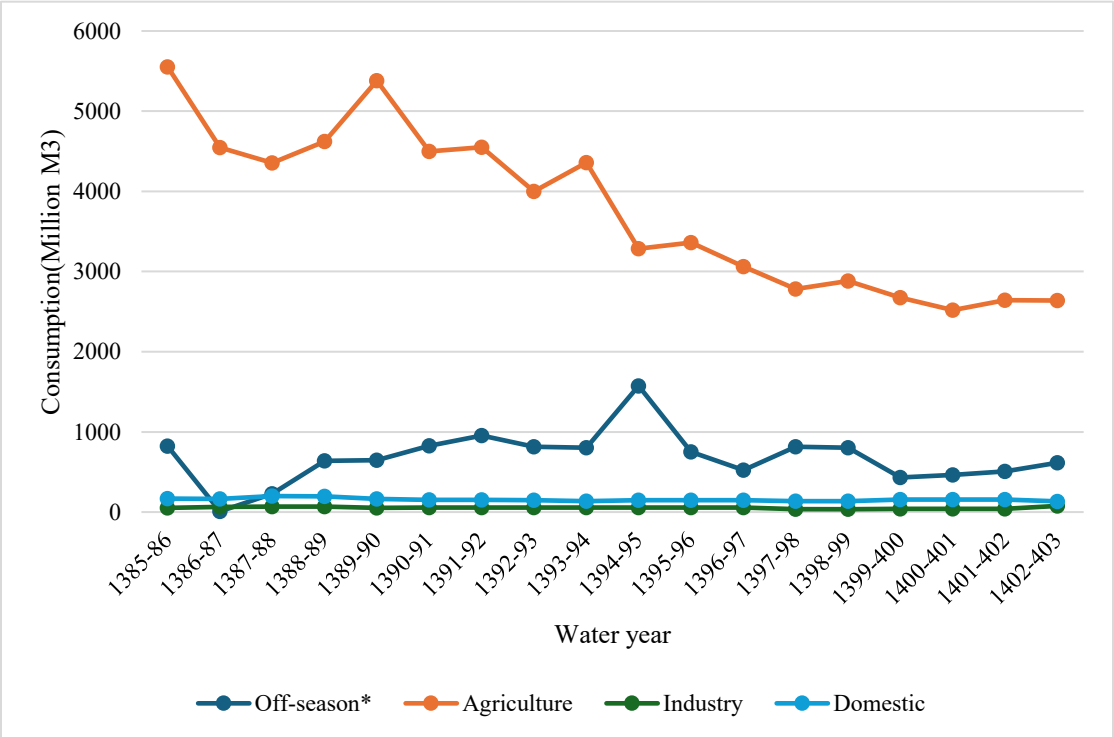
شکل ۱۵- سهم نسبی بخش‌های مختلف مصرف آب را در سه سال شاخص ۸۶-۱۳۸۵، ۹۵-۱۳۹۴ و ۰۳-۱۴۰۲

نمودارهای دایره‌ای ارائه‌شده که سهم نسبی بخش‌های مختلف مصرف آب را در سه سال در استان اصفهان نشان می‌دهند، حاکی از تغییرات ساختاری قابل توجه در ترکیب مصارف است. در سال ۸۶-۱۳۸۵، سهم غالب بخش کشاورزی با ۸۳ درصد از کل مصرف به وضوح مشهود است، درحالی‌که مصارف خارج از فصل ۱۳/۶ درصد و بخش صنعت ۰/۸ درصد و شرب ۲/۵ درصد را به خود اختصاص داده‌اند. در سال ۹۵-۱۳۹۴، با کاهش چشمگیر سهم کشاورزی به ۶۴/۹ درصد و افزایش قابل توجه سهم خارج از فصل به ۳۱/۱ درصد مواجهیم، که نشان‌دهنده تغییر موقت در الگوی تخصیص آب یا افزایش نیازهای غیرزراعی است؛ سهم بخش صنعت نیز با افزایش ناچیز به ۱/۱ درصد و سهم شرب با افزایش ناچیز به ۲/۹ درصد، رسیده است. در سال ۰۳-۱۴۰۲، سهم کشاورزی مجدداً افزایش یافته و به ۷۶/۱ درصد رسیده، در حالی که سهم خارج از فصل به ۱۷/۸ درصد کاهش یافته و سهم بخش صنعت به ۲/۲ درصد افزایش یافته است. این نوسانات در سهم‌های نسبی، در کنار کاهش کلی حجم مصرف (از

حدود ۶۵۹۶ به ۳۴۶۵ میلیون مترمکعب) که در تحلیل‌های قبلی مشاهده شد، نشان می‌دهد که اگرچه بخش کشاورزی همواره مصرف‌کننده اصلی آب در استان است، اما سهم آن در طول زمان تحت‌تأثیر سیاست‌های مدیریتی، تغییرات در الگوی کشت و نوسانات مصارف خارج از فصل قرار گرفته است. همچنین لازم به توضیح است که با شروع خشکسالی و کم‌آبی اولین بخش آسیب‌پذیر بخش کشاورزی است که ممکن است دلیل این کاهش مصرف در زمان به دلیل عدم دسترسی به آب باشد. افزایش اندک اما تدریجی سهم بخش صنعت و شرب نیز ممکن است نشان‌دهنده رشد نسبی این بخش‌ها در مقایسه با کاهش کلی مصرف باشد.

۳-۱۵- روند مصرف آب زیرزمینی در استان اصفهان بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۲

نمودار روند مصارف آب زیرزمینی استان اصفهان در بازه زمانی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲؛ که شامل مصرف چهار بخش کشاورزی، صنعت، شرب و خارج از فصل است در شکل ۱۶ ارائه شده است.



شکل ۱۶- روند مصارف آب زیرزمینی استان اصفهان در بازه زمانی ۸۶-۱۳۸۵تا ۱۴۰۳-۱۴۰۲

با بررسی نمودار روند مصارف آب زیرزمینی استان اصفهان الگوی تغییرات زیر قابل استنتاج است:

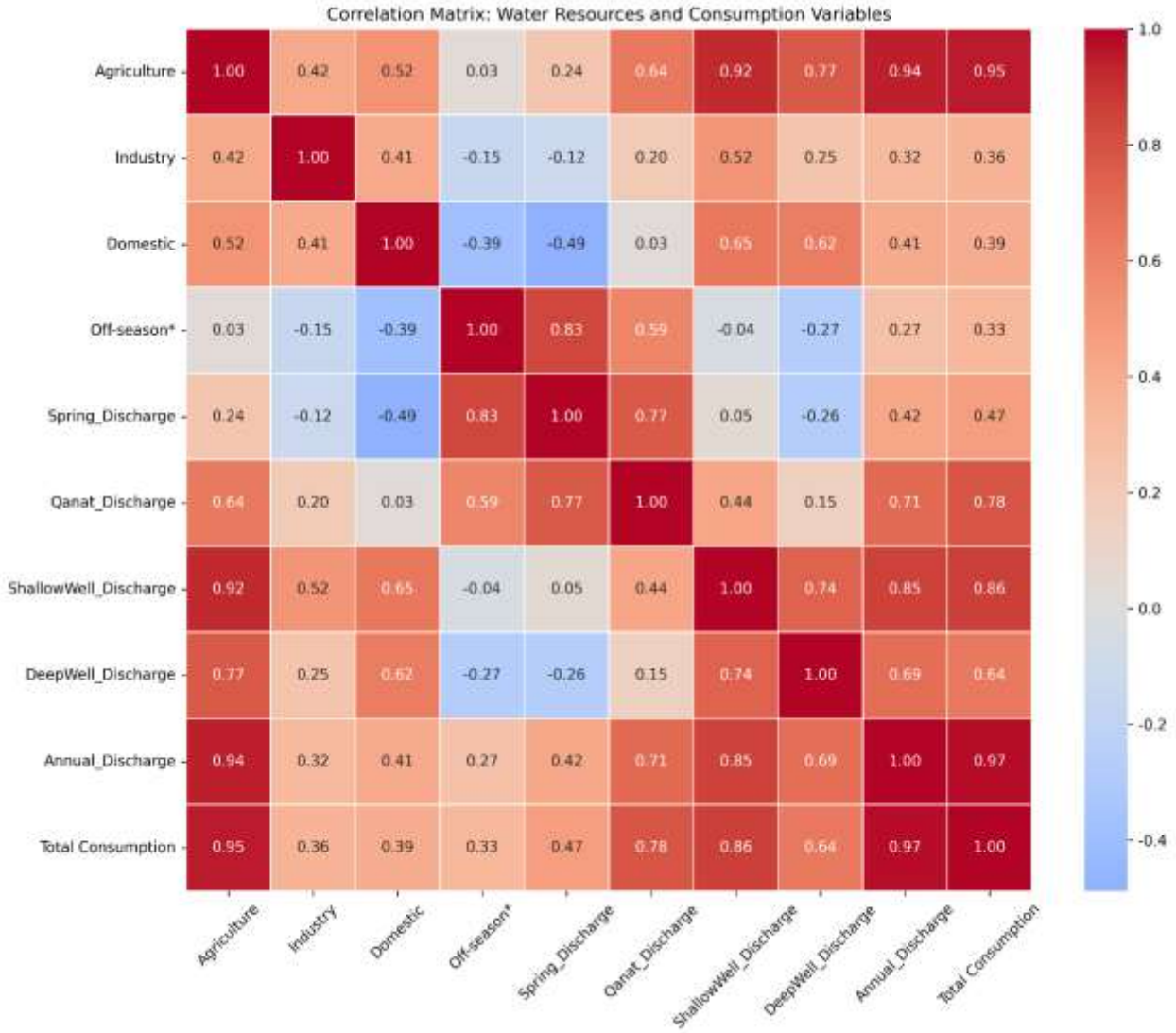
محاسبات آماری بر روی داده‌های مصرف (کشاورزی، صنعت، شرب، خارج از فصل) که جمع آن‌ها در هر سال برابر با مقدار مصارف (مصرف کل) است، نشان می‌دهد که مصرف کل آب استان از ۶۵۹۶/۶ میلیون مترمکعب در سال ابتدایی دوره (۱۳۸۵-۸۶) به ۳۴۶۴/۹ در سال پایانی (۱۴۰۲-۴۳) کاهش یافته است. این کاهش برابر با ۳۱۳۱/۷ میلیون مترمکعب است که معادل کاهش نسبی ۴۷/۵ درصدی در طول ۱۸ سال است. میانگین مصرف کل در کل دوره ۴۸۲۴ میلیون مترمکعب و میانه آن ۴۷۸۴ محاسبه شد. روند کاهشی تقریباً پیوسته است، به‌طوری که بیشترین مقدار در سال اول و کمترین مقدار در سال آخر ثبت شده است. تحلیل جزءبه‌جزء نشان می‌دهد که این کاهش عمیق عمدتاً متأثر از بخش کشاورزی است که به‌طور متوسط ۸۷/۵ درصد از مصرف کل را به خود اختصاص داده است. مصرف بخش کشاورزی از ۵۵۵۳/۴ به ۲۶۳۸/۳ میلیون مترمکعب رسیده که کاهشی معادل ۲۹۱۵/۱ میلیون مترمکعب (۵۲/۵ درصد) را نشان می‌دهد. بخش‌های صنعت (از ۵۲/۸ به ۷۶/۹ میلیون مترمکعب)، شرب (از ۱۶۸/۷ به ۱۳۳/۷ میلیون مترمکعب) و خارج از فصل (از ۸۲۱/۷ به ۴۹۹.۱ میلیون مترمکعب) نیز نوساناتی داشته‌اند، اما سهم آن‌ها در مصرف کل کم (در مجموع حدود ۱۲/۵ درصد) و روند کلی آن‌ها نیز عمدتاً نزولی یا بدون رشد مشخص است. برای مثال، مصرف شرب کاهش ۲۰/۸ درصدی و مصرف خارج از فصل کاهش ۳۹/۳ درصدی را تجربه کرده‌اند.

به‌طور کلی، روند غالب در تمام بخش‌ها (به جز صنعت و شرب با ثبات نسبی) کاهش مصرف است که هم‌سو با افت کلی تخلیه منابع آب زیرزمینی (تحلیل‌های قبلی) است. **این هماهنگی نشان می‌دهد که کاهش دسترسی به منابع، به‌ویژه در بخش کشاورزی، محرک اصلی کاهش مصارف بوده است.** بااین‌حال، تداوم سهم بالای کشاورزی (حدود ۷۶ درصد در سال ۰۳-۱۴۰۲) نشان می‌دهد که این بخش کماکان فشار اصلی را بر منابع آب استان وارد می‌کند و اتخاذ راهبردهای پایدارتر در مدیریت آب کشاورزی برای تعادل بخشی به اکوسیستم آبی منطقه ضروری است.

۳-۱۶- تحلیل ماتریس همبستگی بین منابع مختلف آب زیرزمینی و مصارف مختلف

ماتریس همبستگی روابط خطی بین متغیرهای مختلف منابع و مصارف آب در استان اصفهان در شکل ۱۷ ارائه شده است. تحلیل ماتریس همبستگی ارائه‌شده حاکی از وجود الگوهای ارتباطی قوی، متوسط و ضعیف با دلالت‌های مهم مدیریتی است. قوی‌ترین رابطه مثبت بین مصرف کل و تخلیه کل با ضریب همبستگی ۰/۹۷ مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده هم‌روندی بسیار نزدیک این دو شاخص کلان و تأثیرپذیری مستقیم مصارف از حجم آب قابل استحصال است. همچنین، بخش کشاورزی با مصرف کل (۰/۹۵)، تخلیه کل (۰/۹۴) و تخلیه چاه‌های کم‌عمق (۰/۹۲) همبستگی بسیار بالایی دارد که مؤید وابستگی شدید این بخش به منابع آب زیرزمینی، به ویژه چاه‌های کم‌عمق، و نقش محوری آن در تعیین میزان کل مصرف و برداشت است. رابطه قوی دیگر بین مصرف خارج از فصل و تخلیه چشمه (۰/۸۳) وجود دارد که احتمالاً نشان می‌دهد این بخش از مصرف به منابع آب سطحی یا رواناب‌ها (که در چشمه‌ها ظاهر می‌شوند) وابسته است. در میان روابط متوسط، همبستگی مثبت تخلیه قنات با تخلیه چشمه (۰/۷۷) و با مصرف کل (۰/۷۸) قابل توجه است که حاکی از نقش مکمل یا جایگزین این دو منبع سنتی و سطحی-نیمه‌عمقی در تأمین آب، به ویژه در سال‌های پربارش یا برای مصارف خاص است. از سوی دیگر، همبستگی‌های ضعیف یا منفی نیز دارای اهمیت تحلیلی هستند: رابطه ضعیف بخش صنعت با تقریباً تمام متغیرهای تخلیه (ضرایب بین ۰/۲ تا ۰/۵۲) نشان از انعطاف‌پذیری کمتر این بخش دارد. همبستگی منفی متوسط بین مصرف شرب و تخلیه چشمه (۰/۴۹-) و مصرف شرب و مصرف خارج از فصل (۰/۳۹-) می‌تواند نشان‌دهنده اولویت‌بندی متفاوت در تخصیص آب (به عنوان مثال، اختصاص منابع مطمئن‌تر به شرب به جای کشاورزی خارج از فصل) یا وابستگی شرب به منابع دیگر (مانند چاه‌های عمیق) باشد. به‌طور خلاصه، این ماتریس همبستگی تأیید می‌کند که بخش کشاورزی نیروی محرک اصلی در سامانه آب استان است و نوسانات آن مستقیماً بر منابع زیرزمینی (به‌ویژه چاه‌های کم‌عمق) و کل تراز آب اثر می‌گذارد. همچنین، وابستگی شدید مصرف کل به تخلیه کل، اگرچه منطقی به نظر می‌رسد، اما هشدار می‌دهد که هر گونه کاهش در دسترسی به منابع (مانند افت سفره‌ها یا کاهش بارش) بلافاصله و به‌طور کامل به بخش مصرف منتقل می‌شود و فضای مانور کمی برای مدیریت

غیرواکنشی باقی می‌گذارد. این یافته‌ها لزوم تمرکز سیاست‌های پایدار بر مدیریت مصرف کشاورزی و تنوع‌بخشی به منابع تأمین آب را بیش از پیش آشکار می‌سازد.



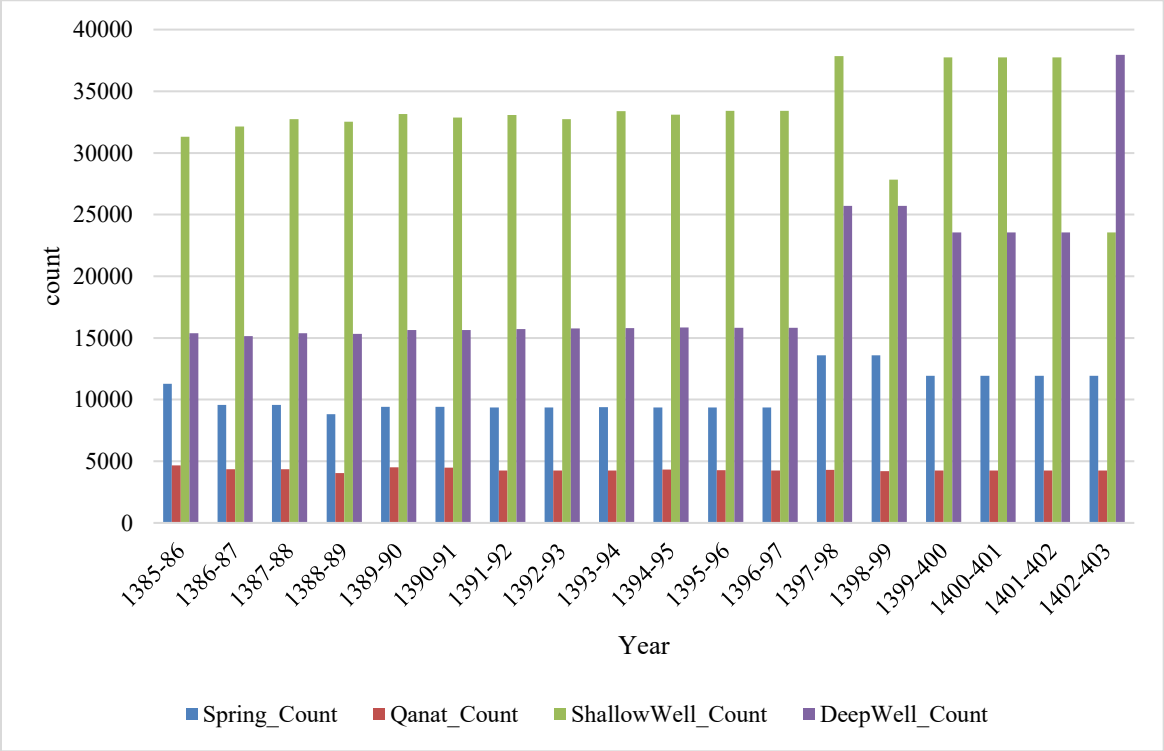
شکل ۱۷- ماتریس همبستگی روابط خطی بین منابع مختلف و مصارف آب در استان اصفهان

۳-۱۷- روند تعداد منابع آب زیرزمینی فعال استان اصفهان در بازه زمانی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲

روند تغییرات تعداد منابع آب زیرزمینی استان اصفهان در بازه زمانی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲ در شکل ۱۸ و جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶- خلاصه تغییرات تعداد منابع از سال اول تا سال آخر

منبع	تعداد در سال اول	تعداد در سال آخر	تغییر مطلق	تغییر نسبی (٪)	روند کلی
چاه عمیق (DeepWell_Count)	۱۵۳۸۷	۳۷۹۴۶	۲۲۵۵۹	۱۴۶/۴	افزایش شدید
چاه کم‌عمق (ShallowWell_Count)	۳۱۳۱۳	۲۳۵۵۵	-۷۷۵۸	-۲۴/۷	کاهش قابل‌توجه
قنات (Qanat_Count)	۴۶۵۸	۴۲۵۸	-۴۰۰	-۸/۶	کاهش متوسط
چشمه (Spring_Count)	۱۱۲۸۶	۱۱۹۳۴	۶۴۸	۵/۷	افزایش اندک



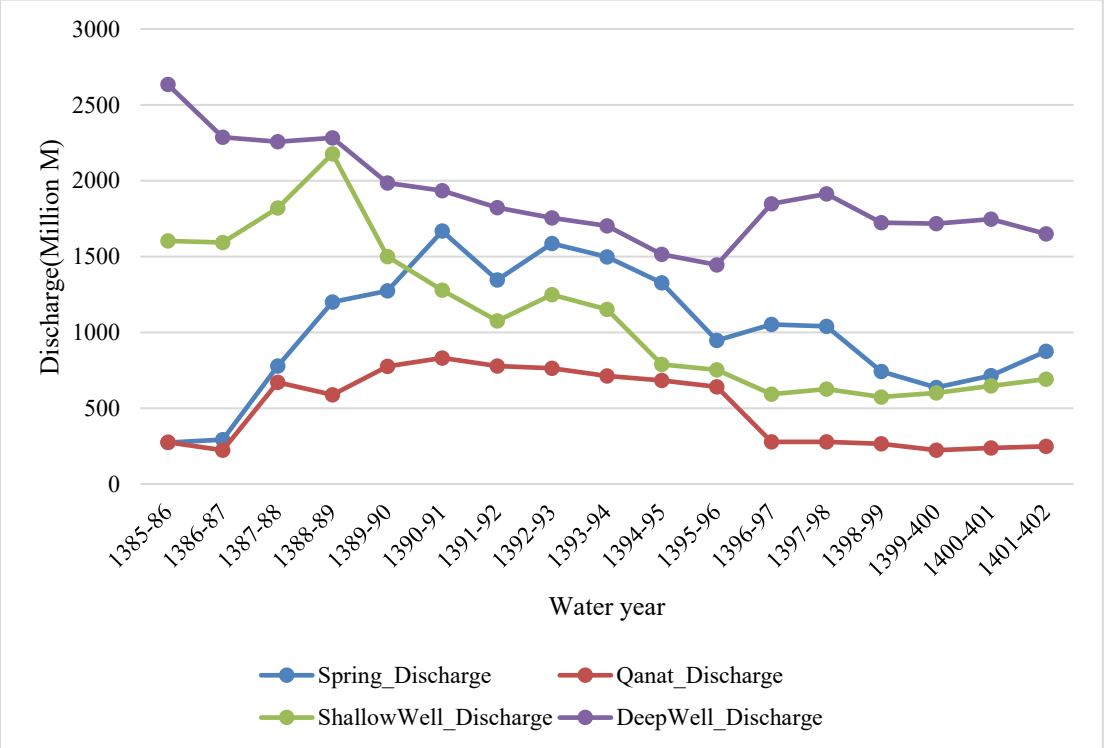
شکل ۱۸- روند تعداد منابع آب استان اصفهان در بازه زمانی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲

بررسی داده‌های تعداد منابع آب زیرزمینی استان اصفهان طی دوره مورد مطالعه نشان‌دهنده یک تغییر ساختاری عمده در شبکه استحصال آب است. در این بازه زمانی، تعداد چاه‌های عمیق با رشد چشمگیر ۱۴۶/۴ درصد از ۱۵۳۸۷ به ۳۷۹۴۶ واحد رسیده است، که بیانگر تغییر الگوی برداشت به سمت آبخوان‌های عمیق‌تر و احتمالاً پاسخ به افت سطح آب در بخش‌های فوقانی یا سیاست‌های توسعه جدید است. در مقابل، تعداد چاه‌های کم‌عمق با کاهش ۲۴/۷ درصد از ۳۱۳۱۳ به ۲۳۵۵۵ واحد و تعداد قنات‌ها با کاهش ۸/۶ درصد از ۴۶۵۸ به ۴۲۵۸

واحد، نشان‌دهنده کاهش کارایی یا خشکیدن بخشی از این منابع سنتی به‌دلیل فشار برداشت یا تغییرات هیدروژئولوژیکی است. تعداد چشمه‌ها با افزایش اندک ۵/۷ درصد از ۱۱۲۸۶ به ۱۱۹۳۴ واحد، ثبات نسبی در بخشی از سامانه آبخوان را نشان می‌دهد. در کل، تعداد کل منابع با افزایش ۲۴/۱ درصد از ۶۲۶۴۸ به ۷۷۷۳۳ واحد، عمدتاً تحت‌تأثیر رشد انفجاری چاه‌های عمیق بوده است. این تحولات حاکی از تغییر پارادایم مدیریت آب زیرزمینی منطقه به سوی منابع عمیق‌تر و فشار مضاعف بر آبخوان‌های عمقی است که نیازمند ملاحظات دقیق در برنامه‌ریزی و پایش است.

۳-۱۸- مقایسه روند تغییرات تخلیه منابع آب استان اصفهان در بازه زمانی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲

شکل ۱۹ مقایسه روند تغییرات تخلیه منابع آب استان اصفهان در بازه زمانی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲ را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹- مقایسه روند تغییرات تخلیه منابع آب استان اصفهان در بازه زمانی ۸۵-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲

با بررسی دقیق داده‌ها ، تحلیل جامع و علمی روند تغییرات تخلیه (میزان برداشت) منابع آب زیرزمینی استان اصفهان در بازه ۱۸ ساله از ۸۶-۱۳۸۵ تا ۴۳-۱۴۰۲ به شرح جدول ۷ است.

جدول ۷- خلاصه تغییرات تخلیه منابع مختلف

منبع آب	تخلیه سال اول (میلیون مترمکعب)	تخلیه سال آخر (میلیون مترمکعب)	تغییر مطلق (میلیون مترمکعب)	تغییر نسبی (٪)	روند کلان
چاه عمیق	۲۷۰۲/۰	۱۶۴۸/۴	-۱۰۵۳/۶	- ۳۹/۰	کاهش شدید
چاه کم‌عمق	۱۵۱۱/۷	۶۹۲/۲	- ۸۱۹/۵	- ۵۴/۲	کاهش بسیار شدید
قنات	۱۰۶۲/۴	۲۴۹/۲	- ۸۱۳/۲	- ۷۶/۵	کاهش بحرانی
چشمه	۷۴۴/۰	۶۲۳/۴	- ۱۲۰/۶	- ۱۶/۲	کاهش متوسط

تمامی منابع با کاهش تخلیه مواجه شده‌اند. شدت کاهش به ترتیب: قنات > چاه کم‌عمق > چاه عمیق > چشمه است. نتایج نشان داد که قنات ها با نرخ کاهش حدود ۴۷/۸ میلیون مترمکعب در سال، سریع‌ترین روند نزولی را دارند. این نشانه خشکیدن یا کاهش شدید دبی قنات‌ها به دلیل افت سطح ایستابی است. چاه‌های کم‌عمق با نرخ کاهش حدود ۴۸/۲ میلیون مترمکعب در سال، وضعیتی مشابه قنات‌ها دارند و تأثیرپذیری سریعی از افت سطح آب در قسمت‌های فوقانی آبخوان نشان می‌دهند. چاه‌های عمیق با نرخ کاهش حدود ۶۲/۰ میلیون مترمکعب در سال، اگرچه از نظر درصدی کاهش کمتری نسبت به قنات و چاه کم‌عمق دارند، اما از نظر حجم مطلق آب از دست رفته، بیشترین سهم را در کاهش کل تخلیه استان داشته‌اند. این امر با افزایش تعداد چاه‌های عمیق (طبق تحلیل قبلی) در تضاد است و نشان می‌دهد بهره‌دهی متوسط هر چاه عمیق به شدت افت کرده است. چشمه‌ها با نرخ کاهش ملایم‌تر حدود ۷/۱ میلیون مترمکعب در سال، نسبتاً پایدارتر هستند. این می‌تواند نشان‌دهنده تغذیه نسبی بهتر یا تأخیر زمانی طولانی‌تر در پاسخ به افت فشار در مجاری خروجی طبیعی آبخوان باشد.

تغییر سهم هر منبع از کل تخلیه استان:

سال اول دوره (۸۶-۱۳۸۵): چاه عمیق (۴۳/۴ درصد)، چشمه (۱۱/۹ درصد)، چاه کم‌عمق (۲۴/۳ درصد)، قنات (۱۷/۱ درصد).

سال آخر دوره (۰۳-۱۴۰۲): چاه عمیق (۵۱/۷ درصد)، چشمه (۱۹/۵ درصد)، چاه کم‌عمق (۲۱/۷ درصد)، قنات (۷/۸ درصد).

با وجود کاهش مطلق در تخلیه چاه عمیق، سهم غالب آن از کل برداشت استان از ۴۳/۴ درصد به ۵۱/۷ درصد افزایش یافته است. این به دلیل کاهش به مراتب شدیدتر سهم قنات و چاه کم‌عمق است. وابستگی سامانه تأمین آب استان به چاه‌های عمیق عملاً افزایش یافته، درحالی‌که ظرفیت کلی این منبع نیز در حال کاهش است.

کاهش کل تخلیه استان: جمع تخلیه این چهار منبع از ۶۰۲۰/۱ میلیون مترمکعب در سال اول به ۳۲۱۳/۲ میلیون مترمکعب در سال آخر رسیده است که نشان‌دهنده کاهش ۴۶/۶ درصد (۲۸۰۶/۹ میلیون مترمکعب) در کل آب قابل برداشت از منابع زیرزمینی استان در این ۱۸ سال است.

نتیجه‌گیری نهایی بررسی آماری منابع آب زیرزمینی در استان اصفهان:

- **افول عمومی منابع:** تمامی شاخص‌های تخلیه حاکی از کاهش شدید و سیستماتیک پتانسیل آب زیرزمینی استان اصفهان هستند. این یک شاهد قوی بر افت مداوم سطح آب و کاهش ذخیره آبخوان‌ها است.
- **تغییر سهم‌ها و افزایش وابستگی:** سامانه تأمین آب به سمت وابستگی بیشتر به چاه‌های عمیق سوق یافته، درحالی‌که بهره‌دهی این چاه‌ها نیز سیر نزولی دارد. این امر آسیب‌پذیری سیستم را افزایش می‌دهد.

- **بحران در منابع سنتی:** کاهش بحرانی (۷۶/۵ درصد) تخلیه قنات‌ها و کاهش شدید (۵۴/۲ درصد) تخلیه چاه‌های کم‌عمق، نشان‌دهنده تحلیل‌رفتن بخش‌های فوقانی و کم‌عمق آبخوان و ازدست‌رفتن سرمایه‌های تاریخی و طبیعی است.

ادامه این روند می‌تواند به کاهش بیشتر بهره‌دهی چاه‌های عمیق، افزایش هزینه‌های استحصال، افت کیفیت آب و در نهایت، غیراقتصادی‌شدن برداشت از بسیاری از دشت‌ها بینجامد. این تحلیل، لزوم بازنگری فوری در سیاست‌های برداشت، تقویت برنامه‌های مدیریت تقاضا و تغذیه مصنوعی را به عنوان اقداماتی ضروری برای مقابله با این روند نزولی خطرناک تأکید می‌کند. نتیجه‌گیری تطبیقی کلان این است که سامانه آب استان اصفهان در یک چرخه معیوب قرار گرفته:

کاهش دسترسی به منابع ← افزایش تکیه بر چاه‌های عمیق ← تشدید افت سفره‌های عمیق ← کاهش بیشتر دسترسی

این چرخه، کاهش مصرف را نه صرفاً به‌عنوان یک موفقیت مدیریتی، بلکه عمدتاً به‌عنوان پاسخ اجباری به کمبود فزاینده فیزیکی آب تفسیر می‌کند. کاهش کلی و هماهنگ تخلیه همه منابع (هم‌راستا با کاهش مصرف در نمودارهای قبلی)، اگرچه ممکن است تا حدی بازتاب مدیریت مصرف باشد، اما در درجه اول یک هشدار جدی درباره وضعیت بحرانی ذخایر آبی استان است و نشان می‌دهد سیستم آبی به نقطه‌ای رسیده که حتی با افزایش تعداد چاه‌ها نیز قادر به حفظ حجم برداشت گذشته نیست. بنابراین، بدون احیای فعال منابع (از طریق تغذیه مصنوعی، احیای قنات‌ها و کنترل سختگیرانه برداشت از چاه‌های عمیق) نمی‌تواند تعادل پایدار را به اکوسیستم آبی بازگرداند. این روند، ضرورت اقدام فوری برای تعادل‌بخشی سفره‌ها، جلوگیری از حفر چاه‌های جدید و تمرکز جدی بر مدیریت تقاضا و افزایش بهره‌وری را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

۳-۱۹- مصرف از منابع آب سطحی

جدول ۸ داده‌های مصارف آب سطحی استان اصفهان از سال آبی و شکل ۲۰ تغییرات حجم مصارف منابع آب سطحی در استان اصفهان طی سال‌های ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲را نشان می‌دهد. براساس داده‌ها، میانگین کل مصرف آب سطحی استان در دوره ۱۸ ساله مورد بررسی، ۱۰۰۱/۶ میلیون مترمکعب است. بااین‌حال، انحراف معیار بالا (۳۶۰/۲) و ضریب تغییرات ۳۶/۰ درصد، حاکی از نوسانات بسیار شدید سالانه در حجم کل مصرف است. دامنه تغییرات از ۵۰۵/۰۵ میلیون مترمکعب در سال خشک ۹۷-۱۳۹۶ تا ۱۸۶۱/۵ میلیون مترمکعب در سال پرآب ابتدای دوره (۸۶-۱۳۸۵) در نوسان است که اختلافی بیش از ۲/۷ برابری را نشان می‌دهد. این نوسان بالا به‌وضوح وابستگی شدید سیستم تأمین و تخصیص آب سطحی استان به شرایط هیدرو-اقلیمی حوزه آبخیز، به‌ویژه نوسانات جریان رودخانه زاینده‌رود را تأیید می‌کند. در بین بخش‌های مختلف، بخش کشاورزی با ضریب تغییرات ۵۵/۶ درصد (میانگین ۶۵۶/۴، انحراف معیار ۳۶۴/۷) بی‌ثبات‌ترین بخش است، در حالی که بخش شرب با ضریب تغییرات تنها ۵/۶ درصد (میانگین ۳۲۷/۵، انحراف معیار ۱۸/۲) پایدارترین بخش مصرف را تشکیل می‌دهد که نشان از اولویت قطعی و مدیریت متمرکز تأمین این بخش دارد.

تحلیل روندهای بلندمدت در دوره ۱۸ ساله، الگوهای متمایزی را برای هر بخش آشکار می‌سازد. بخش کشاورزی روندی کاهشی شدید را تجربه کرده است، به‌طوری‌که مصرف آن از ۱۴۶۱/۵ میلیون مترمکعب در ابتدای دوره به ۷۱۶/۷ میلیون مترمکعب در انتهای دوره رسیده که بیانگر کاهشی تقریبی به میزان ۴۳/۸ میلیون مترمکعب در سال است. این کاهش، سهم عمده‌ای از کاهش کل مصرف استان را شامل می‌شود. بخش صنعت نیز روندی کاهشی واضح را نشان می‌دهد، با کاهش مصرف از ۱۰۰ به ۴۶/۳ میلیون مترمکعب. در مقابل، بخش شرب دارای روندی افزایشی ملایم و پایدار است، با رشد از ۳۰۰ به ۳۵۲/۶ میلیون مترمکعب که معادل افزایشی حدود ۳/۱ میلیون مترمکعب در سال است. این روند افزایشی، همسو با رشد جمعیت و توسعه شهری استان است. روند کلی مصرف آب سطحی استان نیز نزولی است که عمدتاً متأثر از کاهش شدید در بخش کشاورزی است.

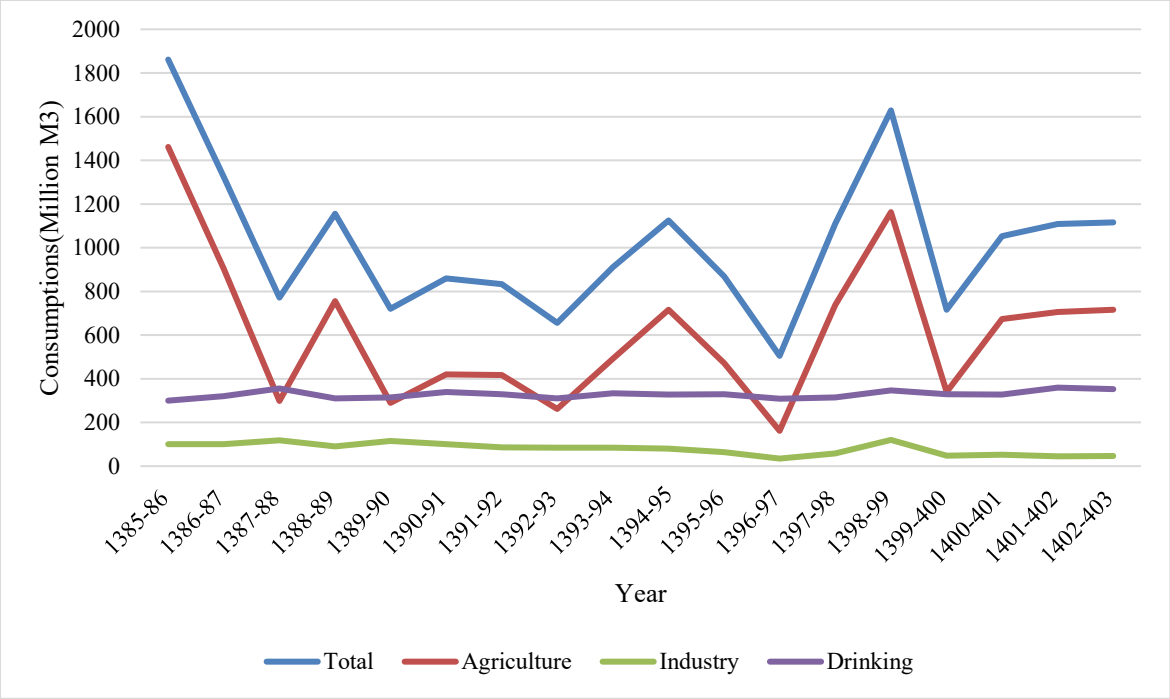
مهم‌ترین یافته تحلیلی، تغییر شتابان در ساختار (سهم درصدی) مصارف آب سطحی استان است. در ابتدای دوره (۸۶-۱۳۸۵)، ساختار مصرف به‌صورت کشاورزی (۷۸/۵ درصد)، شرب (۱۶/۱ درصد) و صنعت (۵/۴ درصد) بود. در انتهای دوره (۰۳-۱۴۰۲)، این ساختار به کشاورزی (۶۴/۲ درصد)، شرب (۳۱/۶ درصد) و صنعت (۴/۱ درصد) تغییر یافته است. این تغییر بیانگر یک «تغییر ساختاری» اساسی در اقتصاد آب استان است: کاهش ۱۴/۳ واحد درصدی سهم کشاورزی و افزایش ۱۵/۵ واحد درصدی (تقریباً دو برابری) سهم شرب. این انتقال سهم به‌وضوح نشان‌دهنده اعمال سیاست‌های تخصیص مجدد آب به نفع نیازهای با اولویت بالاتر (شرب) در پاسخ به فشار ناشی از کمبود آب و رشد جمعیت است. کاهش اندک سهم صنعت نیز با وجود کاهش مصرف مطلق آن، ناشی از کاهش کلی حجم آب قابل تخصیص است.

داده‌ها رفتار سامانه را در شرایط حدی (خشکسالی) به‌وضوح نشان می‌دهند. در خشکسالی شدید سال ۹۷-۱۳۹۶، که کل مصرف به کمینه خود (۵۰۵/۰۵ میلیون مترمکعب) رسید، واکنش بخش‌ها کاملاً متفاوت بود. مصرف بخش شرب با کمینه کاهش (۶ درصد نسبت به میانگین) به ۳۰۸/۶ میلیون مترمکعب رسید، درحالی‌که مصرف کشاورزی با کاهشی فاجعه‌بار (۷۵ درصد نسبت به میانگین) به ۱۶۱/۷ میلیون مترمکعب سقوط کرد. این امر باعث شد سهم شرب در آن سال به بیشینه تاریخی ۶۱/۱ درصد و سهم کشاورزی به کمینه ۳۲/۰ درصد برسد. این الگو یک رابطه معکوس قوی بین سهم این دو بخش در شرایط تنش آبی را اثبات می‌کند و نشان‌دهنده وجود یک سازوکار مدیریت خشکسالی نسبتاً کارآمد است که در آن، تخصیص موجودی آب محدود، به شدت به سمت تأمین نیازهای حیاتی شرب سوق داده می‌شود و بخش کشاورزی، بیشترین کاهش را متحمل می‌شود.

جدول ۸- مجموع و مصارف آب سطحی در استان اصفهان بین سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲

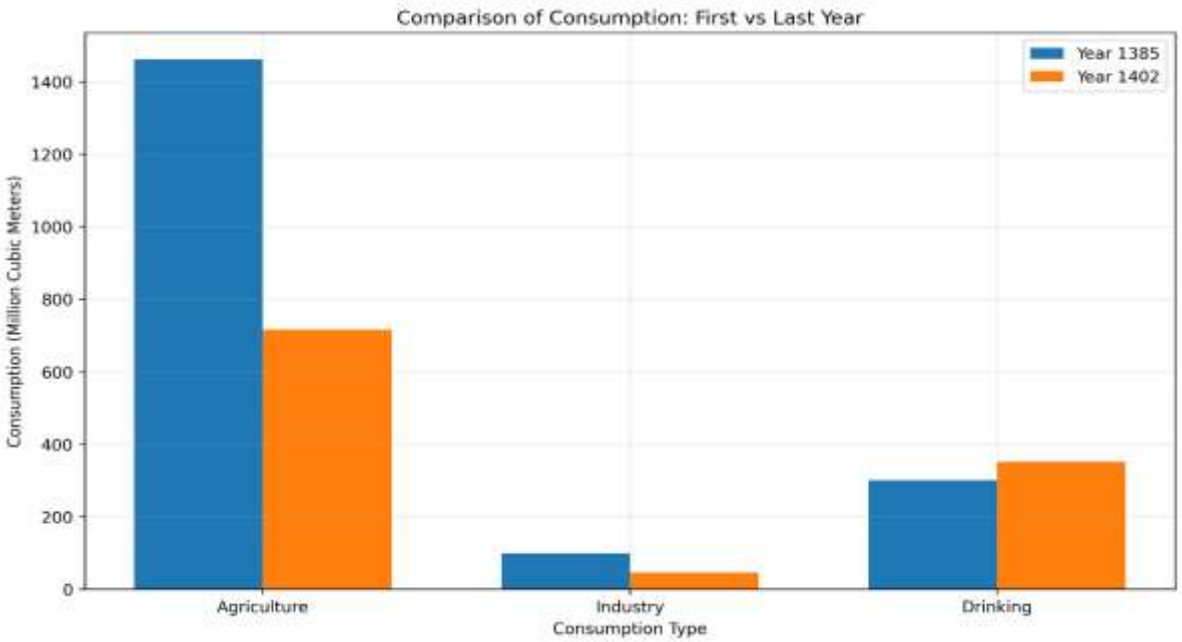
سال آبی	شرب		صنعت		کشاورزی		جمع (میلیون مترمکعب)
	میلیون مترمکعب	سهم (درصد)	میلیون مترمکعب	سهم (درصد)	میلیون مترمکعب	سهم (درصد)	
۱۳۸۵-۸۶	۳۰۰	۱۶/۱	۱۰۰	۵/۴	۱۴۶۱/۵	۷۸/۵	**۱۸۶۱/۵**

سال آبی	شرب		صنعت		کشاورزی		جمع (میلیون مترمکعب)
	میلیون مترمکعب	سهم (درصد)	میلیون مترمکعب	سهم (درصد)	میلیون مترمکعب	سهم (درصد)	
۱۳۸۶-۸۷	۳۲۱	۲۴/۲	۱۰۰	۷/۶	۹۰۳/۵	۶۸/۲	**۱۳۲۴/۵**
۱۳۸۷-۸۸	۳۵۵	۴۶	۱۱۹	۱۵/۴	۲۹۸/۴	۳۸/۶	**۷۷۲/۴**
۱۳۸۸-۸۹	۳۱۰	۲۶/۸	۹۰	۷/۸	۷۵۶/۳	۶۵/۴	**۱۱۵۶/۳**
۱۳۸۹-۹۰	۳۱۵	۴۳/۷	۱۱۶	۱۶/۱	۲۸۹/۷	۴۰/۲	**۷۲۰/۷**
۱۳۹۰-۹۱	۳۴۰	۳۹/۵	۱۰۰	۱۱/۶	۴۱۹/۸	۴۸/۸	**۸۵۰/۸**
۱۳۹۱-۹۲	۳۳۰	۳۹/۶	۸۶	۱۰/۳	۴۱۶/۶	۵۰	**۸۳۲/۶**
۱۳۹۲-۹۳	۳۱۰	۴۷/۲	۸۵	۱۳	۲۶۱/۶	۳۹/۹	**۶۵۶/۳**
۱۳۹۳-۹۴	۳۳۳/۵	۳۶/۶	۸۵	۹/۳	۴۹۱/۸۷	۵۴	**۹۱۰/۳۷**
۱۳۹۴-۹۵	۳۲۸/۴۲	۲۹/۲	۷۹/۸	۷/۱	۷۱۶/۱	۶۳/۷	**۱۱۲۴/۳۲**
۱۳۹۵-۹۶	۳۲۹/۷	۳۷/۹	۶۳/۵۴	۷/۳	۴۷۱/۶	۵۴/۳	**۸۶۸/۸۴**
۱۳۹۶-۹۷	۳۰۳/۶۴	۶۱/۱	۳۴/۶۸	۶/۹	۱۶۱/۷۳	۳۲	**۵۰۵/۰۵**
۱۳۹۷-۹۸	۳۱۴/۸۶	۲۸/۴	۵۷/۷۱	۵/۲	۷۳۸/۴۵	۶۶/۵	**۱۱۱۰/۴۱**
۱۳۹۸-۹۹	۳۴۶/۳۵	۲۱/۳	۱۲۰/۰۸	۷/۴	۱۱۶۹/۷۹	۷۱/۴	**۱۶۲۹/۲۲**
۱۳۹۹-۱۴۰۰	۳۲۸/۶۷	۴۵/۹	۴۸/۲۲	۶/۷	۳۳۹/۱۳۳	۴۷/۴	**۷۱۶/۰۲۳**
۱۴۰۰-۰۱	۳۲۷/۵۸	۳۱/۱	۵۱/۹۷	۴/۹	۶۷۳/۳۱	۶۴	**۱۰۵۲/۸۶**
۱۴۰۱-۰۲	۳۵۹/۵۳	۳۲/۴	۴۴/۶۹	۴	۷۰۵/۱۸۵	۶۳/۶	**۱۱۰۹/۴۰۵**
۱۴۰۲-۰۳	۳۵۲/۵۵	۳۱/۶	۴۶/۲۶	۴/۱	۷۱۶/۶۵	۶۴/۲	**۱۱۱۵/۴۶**



شکل ۲۰- تغییرات حجم مصارف منابع آب سطحی در استان اصفهان طی سال‌های ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲

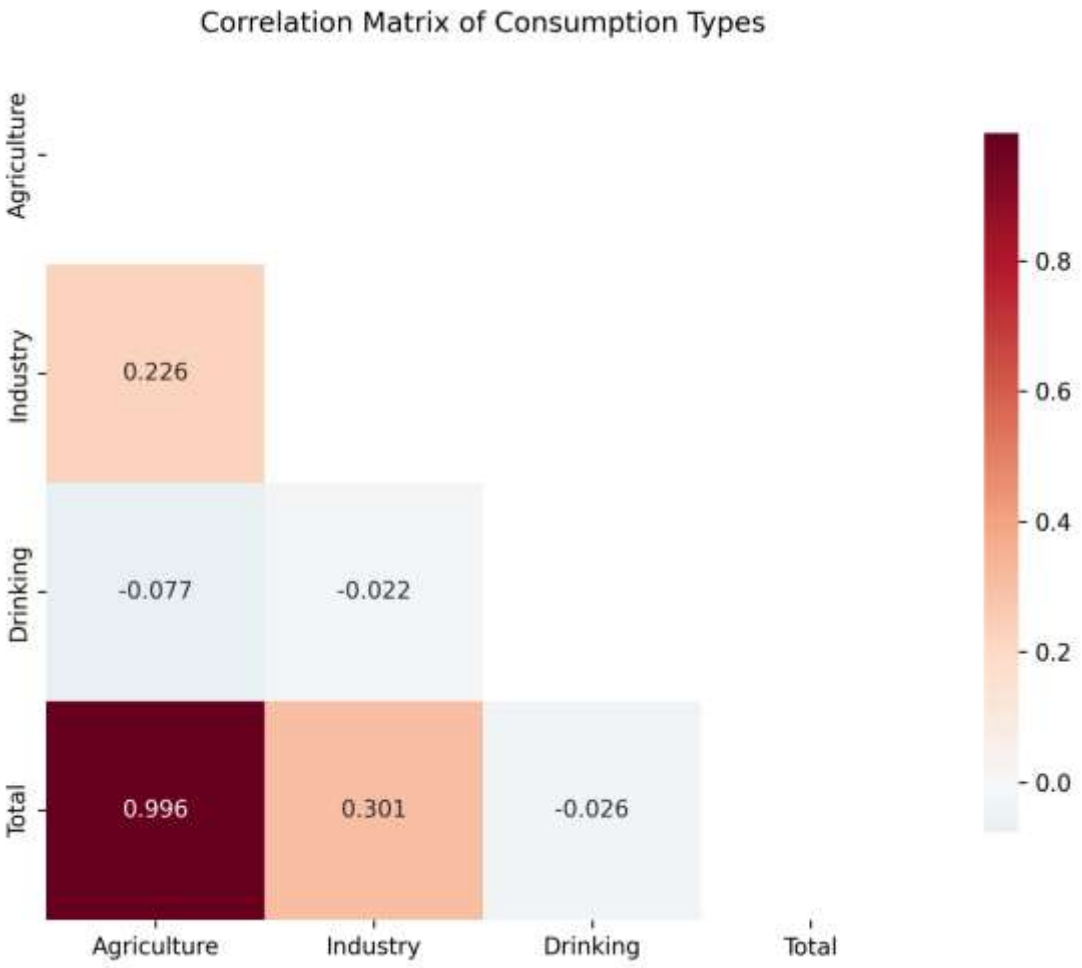
نمودار مقایسه‌ای سهم مصارف آب سطحی در ابتدا و انتهای دوره مطالعاتی (۱۴۰۲-۱۳۸۵) در شکل ۲۱ ارائه شده است.



شکل ۲۱- نمودار مقایسه‌ای سهم مصارف آب سطحی در ابتدا و انتهای دوره مطالعاتی (۱۴۰۲-۱۳۸۵)

۳-۲۰- تحلیل ماتریس همبستگی بین بخش‌های مختلف مصرف آب سطحی در استان اصفهان

تحلیل ماتریس همبستگی بین بخش‌های مختلف مصرف آب سطحی در استان اصفهان در شکل ۲۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲۲- تحلیل ماتریس همبستگی بین بخش‌های مختلف مصرف آب سطحی در استان اصفهان

براساس ماتریس همبستگی ارائه‌شده، روابط آماری بین مصارف مختلف آب (کشاورزی، صنعت، شرب و کل مصرف) با استفاده از ضرایب همبستگی پیرسون مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل و تفسیر یافته‌ها به‌شرح زیر است:

- همبستگی بسیار قوی مصرف کل با بخش کشاورزی (۰/۹۹۶)

این ضریب نزدیک به یک نشان می‌دهد که تغییرات مصرف کل آب سطحی به‌طور عمده و تقریباً انحصاری توسط بخش کشاورزی تعیین می‌شود. این یافته تأیید می‌کند که کشاورزی سهم غالب و تعیین‌کننده‌ای در تراز آب منطقه دارد و هرگونه تغییر در الگو یا حجم مصرف این بخش، مستقیماً بر کل منابع آب تأثیر می‌گذارد.

- همبستگی ضعیف مصرف کل با صنعت (۰/۳۰۱) و شرب (۰/۰۲۶)

این ضرایب پایین حاکی از آن است که نوسانات مصرف در بخش‌های صنعت و شرب تأثیر کمی بر نوسان کل مصرف آب سطحی دارد. پایین‌بودن این مقادیر، به‌ویژه در بخش شرب، می‌تواند نشان‌دهنده الگوی مصرف پایدار و غیرکشش‌پذیر این بخش باشد که تحت‌تأثیر تغییرات منابع یا دیگر بخش‌ها قرار نمی‌گیرد.

- ماتریس همبستگی به وضوح نقش مطلق بخش کشاورزی بر مصرف آب‌های سطحی و استقلال عملکردی بخش‌های صنعت و شرب را نشان می‌دهد.

از دیدگاه مدیریت منابع آب، این یافته‌ها بر چند نکته کلیدی تأکید دارند:

- ✓ هر راهبرد مؤثر برای مدیریت تقاضا و تعادل بخشی به منابع آب، ناگزیر باید تمرکز اصلی خود را بر بخش کشاورزی قرار دهد.
- ✓ پایداری و اولویت تأمین آب شرب در سیاست‌گذاری‌ها به لحاظ آماری نیز تأیید می‌شود، چرا که مصرف آن وابستگی به نوسانات بخش کشاورزی ندارد.
- ✓ ضعف روابط بین‌بخشی نشان می‌دهد که این بخش‌ها می‌توانند به‌طور نسبی مستقل از یکدیگر مدیریت شوند.

۳-۲۱- جمع‌بندی آب سطحی

در مجموع، تحلیل آماری داده‌ها حکایت از یک گذار اجباری اما مدیریت‌شده در نظام بهره‌برداری از آب‌های سطحی استان اصفهان دارد. سامانه از وضعیت «حاکمیت مطلق کشاورزی» به سمت «نظامی متعادل‌تر با اولویت قطعی شرب» در حرکت است. این تغییر ساختاری عمدتاً از طریق کاهش مطلق و نسبی سهم کشاورزی محقق

شده است. بااین‌حال، آسیب‌پذیری بسیار بالای بخش کشاورزی (با ضریب تغییرات ۵۵/۶ درصد) و وابستگی کل سیستم به نوسانات این بخش، نشان می‌دهد که اقتصاد آب استان هنوز به‌طور کامل در برابر شوک‌های اقلیمی تاب‌آور نشده است. روند کاهشی مصرف در بخش‌های کشاورزی و صنعت می‌تواند حاکی از بهبود بهره‌وری آب در این بخش‌ها باشد، اما ثبات و حتی افزایش اندک مصرف شرب، فشار فزاینده و مستمر بر منابع آب را برای دهه‌های آینده پیش‌بینی می‌کند. این یافته‌ها لزوم تسریع در سیاست‌های افزایش بهره‌وری در همه بخش‌ها، به‌ویژه کشاورزی، و همچنین تدوین برنامه‌های بلندمدت برای تأمین پایدار آب شرب را به‌عنوان اولویت اصلی مدیریت منابع آب استان تأکید می‌کند.

۳-۲۲- آب خروجی از استان

جدول ۹ متوسط حجم خروجی سالیانه (میلیون مترمکعب) طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۳۸۵ از ایستگاه‌های هیدرومتری استان را نشان می‌دهد. میانگین کل جریان سالانه برای ۱۸ سال مورد بررسی، ۸۰۳/۶ میلیون مترمکعب محاسبه شده است. بااین‌حال، انحراف معیار بالا (۴۲۴/۸ میلیون مترمکعب) و ضریب تغییرات (CV) معادل ۵۲/۹ درصد، حاکی از نوسانات بسیار شدید در جریان کل سالانه است. دامنه تغییرات از ۳۲۹/۵ میلیون مترمکعب در سال خشک ۹۷–۱۳۹۶ تا ۱۷۰۱/۹ میلیون مترمکعب در سال پرآب ابتدای دوره (۸۶–۱۳۸۵) متغیر است که بیانگر اختلافی بیش از ۵/۲ برابری بین کمینه و بیشینه جریان است. این میزان تغییرپذیری بالا نشان‌دهنده رژیم هیدرولوژیکی با ریسک بالا است که مدیریت منابع آب در این حوضه را با چالش جدی مواجه می‌سازد.

بررسی سری زمانی ۱۸ ساله کل جریان، یک روند کلی کاهشی را نشان می‌دهد، اگرچه این روند خطی یکنواخت نیست و با دوره‌های پرآبی و خشکی متناوب همراه است. سال‌های ابتدایی دوره (تا حدود ۹۰–۱۳۸۹) عموماً در شرایط نرمال تا مرطوب قرار داشتند. از میانه دهه ۱۳۹۰، کاهش محسوسی در جریان کل مشاهده می‌شود که اوج آن در سال ۹۷–۱۳۹۶ (با ۳۲۹/۵ میلیون مترمکعب) رخ داده است. پس از آن، یک دوره بهبود

نسبی در سال‌های ۹۸–۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰–۱۳۹۹ دیده می‌شود، اما مجدداً در سه سال پایانی دوره (۰۱–۱۴۰۰ تا ۰۳–۱۴۰۲)، مقادیر جریان به سطوحی پایین‌تر از میانگین درازمدت بازگشته است. این الگو می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر ترکیبی تغییرات اقلیمی (کاهش بارش) و افزایش برداشت‌های بالادست باشد.

ایستگاه‌های مورد بررسی، نماینده زیرحوضه‌های مختلف با رفتارهای هیدرولوژیکی متمایز هستند (شکل ۲۳):

ایستگاه سرباز (ماربر) با میانگین سالانه ۳۲۵/۲ میلیون مترمکعب، به‌طور میانگین حدود ۴۰/۵ درصد از کل جریان را تأمین می‌کند. این ایستگاه بیشترین سهم را در جریان کل دارد و نوسانات آن (ضریب تغییرات برابر ۴۷/۳ درصد) تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر نوسان کل سامانه می‌گذارد.

ایستگاه‌های گوگان (زالکی) و زرد فهره (وهرگان) به‌ترتیب با میانگین‌های حدود ۱۲۹/۲ و ۱۲۷/۸ میلیون مترمکعب، هرکدام به‌طور میانگین حدود ۱۶ درصد از جریان کل را تشکیل می‌دهند. ایستگاه‌های رودآباد (سمیرم)، چشمه ناز (شمس‌آباد/ ونک)، تنگ زردآلو (کاسگان) و چم‌اسفند (خرقاب/قره‌چای) مجموعاً تنها حدود ۲۷/۵ درصد از جریان کل را در بلندمدت تأمین می‌کنند. در این میان، ایستگاه چم‌اسفند با میانگین ۱۵/۱ میلیون مترمکعب و نوسان بسیار بالا، دارای رژیم جریان‌های لحظه‌ای و سیلابی است.

ایستگاه چم‌اسفند با ضریب تغییرات ۱۲۵/۷ درصد بیشترین نوسانات فصلی را دارد که نشان‌دهنده حساسیت بسیار بالا به بارش‌های رگباری و احتمالاً تأثیرپذیری از فعالیت‌های انسانی در حوضه است و دارای بیشترین نوسانات دبی را دارد.

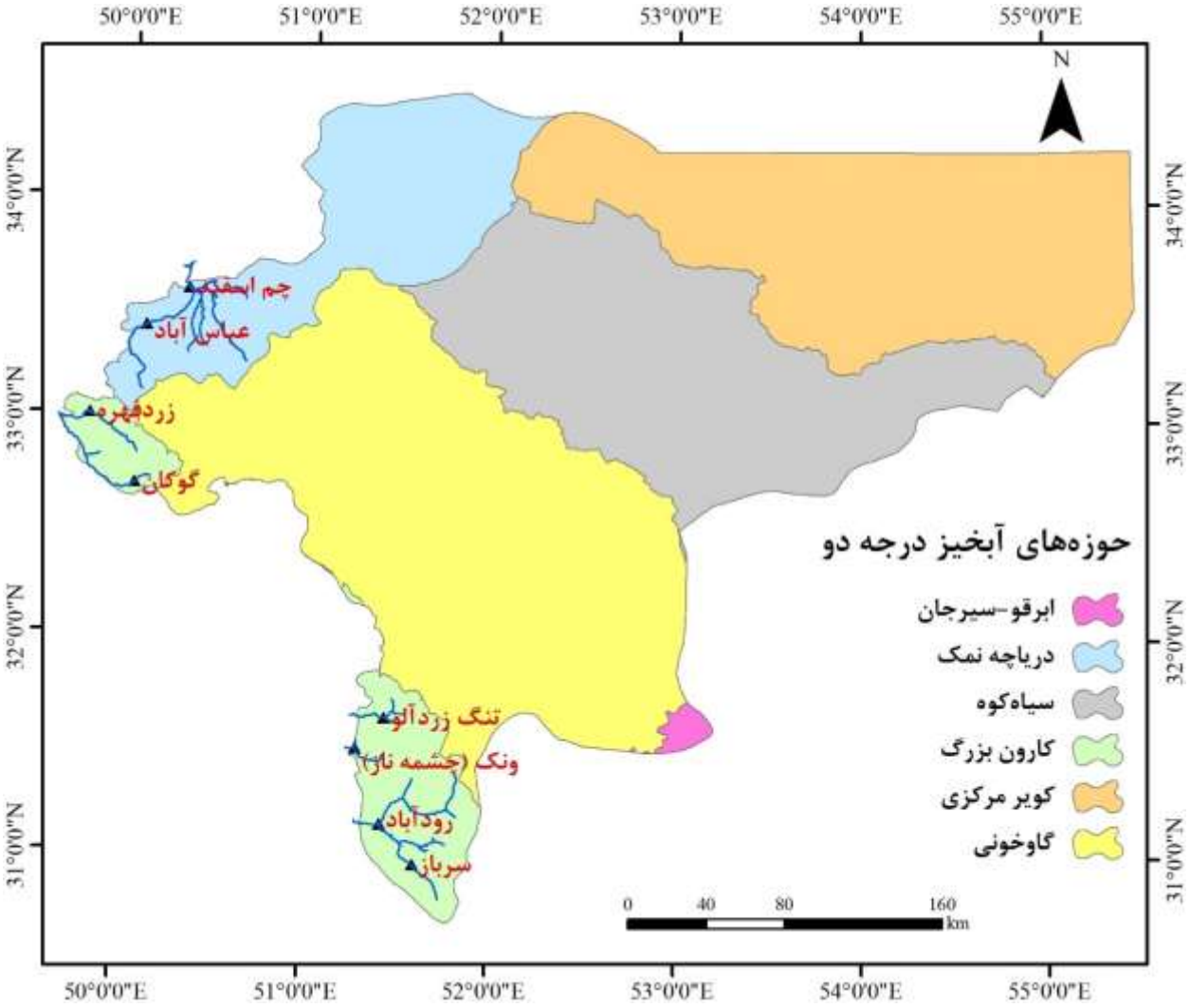
ایستگاه‌های تنگ زردآلو (ضریب تغییرات برابر ۱۰۵/۶ درصد) و رودآباد (ضریب تغییرات ۵۷/۵ درصد) نیز از تغییرپذیری قابل توجهی برخوردارند. ایستگاه‌های اصلی سرباز (۴۷/۳ درصد)، گوگان (۴۲/۵ درصد) و زرد فهره (۴۹/۸ درصد) نوساناتی بالاتر از آستانه ریسک متعارف (۳۰ درصد) را نشان می‌دهند. این الگو حاکی از آن است که حوضه‌های کوچک‌تر و کم‌سامان‌تر (مانند چم‌اسفند و تنگ زردآلو) در برابر خشکسالی آسیب‌پذیرتر و در برابر بارش‌های شدید مستعد سیلاب‌های ناگهانی هستند.

در سال ۹۷-۱۳۹۶، جریان در تمامی ایستگاه‌ها به کمینه یا نزدیک به کمینه مقدار خود در کل دوره رسید. کاهش جریان در ایستگاه‌های اصلی (سرباز، گوگان، زرد فهره) به‌ترتیب ۷۳ درصد، ۷۲ درصد و ۷۴ درصد نسبت به میانگین بلندمدت خود بود. این همزمانی کاهش در تمامی زیرحوضه‌ها، نشان‌دهنده ماهیت خشکسالی گسترده و اقلیمی در کل منطقه است.

سال ۱۳۸۵–۸۶ با جریان حداکثری در اکثر ایستگاه‌ها مشخص است. جریان در ایستگاه سرباز به ۵۷۹/۱ میلیون مترمکعب (۷۸ درصد بالاتر از میانگین آن) و در ایستگاه چم‌اسفند به ۷۸/۶ میلیون مترمکعب (۴۲۰ درصد بالاتر از میانگین آن) رسید. این نشان می‌دهد حوضه‌های کوچک (مانند چم‌اسفند) در سال‌های پربارش، واکنش هیدرولوژیکی بسیار تشدیدشده دارند.

جمع‌بندی کلی:

داده‌های جریان خروجی؛ بازتابی از یک سیستم هیدرولوژیکی با تغییرپذیری زمانی بالا و ناهمگنی مکانی قابل توجه ارائه می‌دهند. روند کاهشی محسوس در جریان کل، زنگ خطری در مورد فشار فزاینده بر منابع آب سطحی است. نوسان شدید جریان (با CV کل ۵۲/۹ درصد) برنامه‌ریزی و مدیریت مطمئن تأمین آب را دشوار می‌سازد و لزوم ایجاد ذخیره سازی استراتژیک (سدها) و سازه‌های تنظیم جریان را پررنگ می‌کند. تفاوت در رفتار زیرحوضه‌ها (از رژیم پایدارتر سرباز تا رژیم کاملاً لحظه‌ای چم اسفند) مؤید این است که استراتژی‌های مدیریتی باید به‌صورت مجزا و متناسب با ویژگی‌های هر زیرحوضه طراحی شوند. تداوم روند کاهشی اخیر، نیاز مبرم به تدوین برنامه‌های جامع سازگاری با کم‌آبی و خشکسالی، بر اساس بدبینانه‌ترین سناریوهای جریان را ایجاب می‌کند. برای درک کامل‌تر علل این روندها، تلفیق این داده‌ها با داده‌های بارش، دما و برداشت‌های آب در بالادست هر ایستگاه ضروری است.



شکل ۲۳- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری ثبت‌کننده آب‌خروجی از استان

جدول ۹- متوسط حجم خروجی سالیانه (میلیون مترمکعب) طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۳۸۵

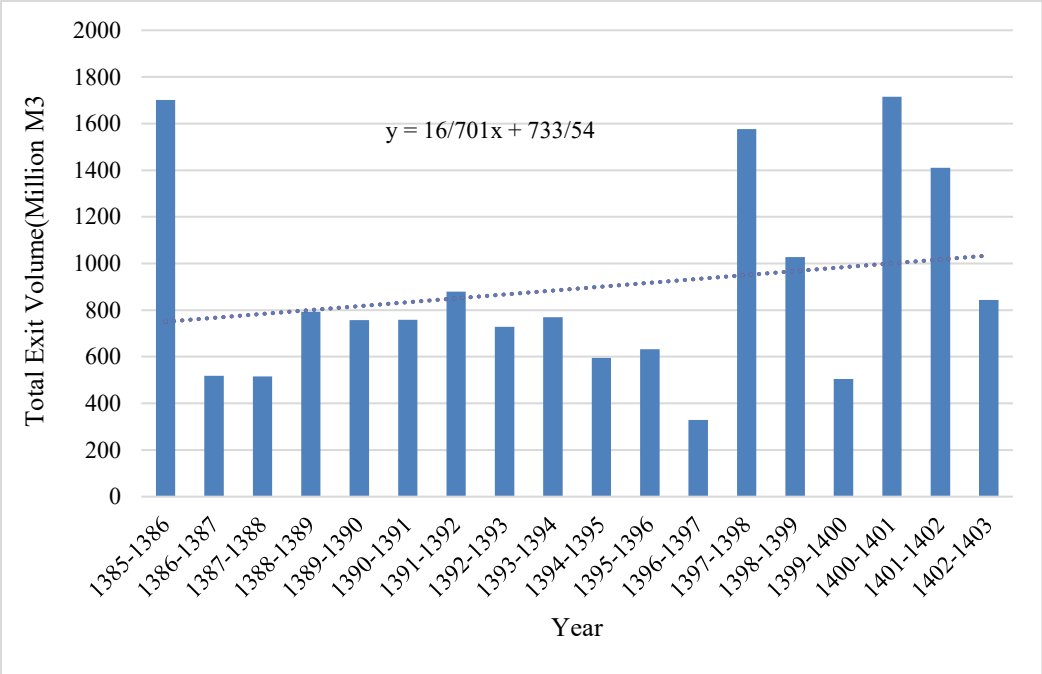
رودخانه اصلی	رودخانه فرعی	نام ایستگاه هیدرومتری	متوسط حجم خروجی سالیانه (میلیون مترمکعب)																
			سال آبی																
			۱۳۸۵-۸۶	۱۳۸۶-۸۷	۱۳۸۷-۸۸	۱۳۸۸-۸۹	۱۳۸۹-۹۰	۱۳۹۰-۹۱	۱۳۹۱-۹۲	۱۳۹۲-۹۳	۱۳۹۳-۹۴	۱۳۹۴-۹۵	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۶-۹۷	۱۳۹۷-۹۸	۱۳۹۸-۹۹	۱۳۹۹-۱۴۰۰	۱۴۰۰-۰۱	۱۴۰۱-۰۲	۱۴۰۲-۰۳
خرسان	ماربر	سرباز	۵۷۹/۱	۱۵۲/۱	۲۰۲/۳	۳۲۸/۲	۳۲۸	۳۶۲/۶	۳۴۹/۵۱	۲۸۹/۹	۲۶۴/۵	۲۳۶/۳	۲۳۶/۲	۱۲۵/۲	۶۲۰	۴۶۶	۲۲۷	۳۲۴	۵۲۴/۵	۳۵۲/۷۹
	سمیرم	رودآباد	۲۲۹	۱۰۹/۹	۶۰/۶	۵۷/۰۲	۹۱/۱۳	۹۶/۹۶	۱۲۳/۵۶	۶۶/۱۴	۴۵/۱۲	۴۱/۵۶	۳۵/۹۸	۸۴/۱۴	۱۱۶	۶۶	۶۶/۴	۷۴	۱۹۶/۸	۹۳/۴۲
ونک	شمس‌آباد	چشمه‌ناز	۱۸۵/۵	۴۵/۳۳	۴۰/۹۷	۵۷/۰۷	۹۴/۲۱	۸۱/۸۴	۱۰۵/۸	۷۶/۶	۶۵/۱۶	۵۵/۱	۶۱/۹۵	۲۲/۱۹	۱۵۰	۷۲	۵۶	۱۰۸/۵	۱۶۳/۷	۶۳
	کاسگان	تنگ زردآلو	۱۹۶/۵	۶۱/۱۶	۳۰/۹۶	۲۳/۹۱	۲۶/۹۹	۳۲/۵۶	۳۹/۱۴	۲۹/۰۲	۲۲/۱۳	۱۵/۲	۱۸/۷۵	۸/۷۳	۵۲	۲۳	۱۸/۶	۸۲۸/۸	۱۱۷/۵	۴۲/۴۱
زالکی	گوگان	گوگان	۱۷۲/۹	۶۷/۹۶	۹۸/۸۹	۱۲۷/۳	۹۹/۷۶	۷۹/۲۸	۱۰۱/۰۱	۹۴/۸۳	۱۸۲/۵	۱۰۳/۷	۱۳۵/۴	۴۵/۶	۲۵۵	۱۷۳	۷۵/۲	۱۱۸	۱۵۶/۸	۸۶/۸۷
	وهرگان	زرد فهره	۲۶۰/۳	۶۵/۹۲	۷۵/۵۸	۱۹۴/۳	۱۱۵/۱	۱۰۵/۴	۱۶۰/۸۷	۱۵۳/۳	۱۸۳/۸	۱۳۱/۶	۱۳۳/۵	۴۰/۸	۳۲۱	۲۰۰	۵۹/۱	۱۱۵	۱۴۷/۹	۸۲/۲۷
قره‌چای	غرقاب	چم‌اسفند	۷۸/۶	۱۵/۴۵	۶/۶۱	۵/۳	۱/۵۹	۰/۵۳	۳/۰۹	۱۸/۳۷	۶/۵۸	۱۱/۸۱	۱۰/۸	۲/۷۹	۶۳	۲۸	۲/۴۲	۴/۸	۲/۱	۳/۳۱
	گلپایگان	عباس‌آباد	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	۱۴۲	۱۰۱/۷۲	۱۹/۹۲
جمع			۱۷۰۱/۹	۵۱۷/۸۲	۵۱۵/۹۱	۷۹۳	۷۵۶/۷۸	۷۳۲/۱۷	۸۹۳/۹۸	۷۱۰/۱۶	۷۶۹/۸	۵۹۵/۳	۶۳۲/۵۸	۳۲۹/۴۵	۱۵۷۷	۱۰۲۸	۵۰۴/۷۲	۹۲۵/۱	۱۴۱۱/۰۲	۸۴۴

۳-۲۳- تحلیل روند کلی تغییرات حجم آب خروجی از استان اصفهان

براساس داده‌های ارائه‌شده از ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در استان اصفهان، روند کلی تغییرات حجم آب خروجی طی دوره ۱۸ ساله (از سال آبی ۱۳۸۵–۱۳۸۶ تا ۱۴۰۲–۱۴۰۳) نشان‌دهنده کاهش قابل‌توجه و نوسانی در رواناب خروجی از حوزه‌های آبخیز این استان است. میانگین کل سالانه آب خروجی از حدود ۱۷۰۲ میلیون مترمکعب در ابتدای دوره (۱۳۸۵–۱۳۸۶) به ۸۴۴ میلیون مترمکعب در انتهای دوره (۰۳–۱۴۰۲) رسیده که بیانگر کاهشی در حدود ۵۰ درصد در کل دوره است. این کاهش با نوسانات سالانه قابل توجهی همراه است؛ برای مثال، سال‌های پربارش مانند ۹۸–۱۳۹۷ (۱۵۷۷ میلیون مترمکعب) و ۰۲–۱۴۰۱ (۱۴۱۱ میلیون مترمکعب) وجود دارند، اما روند کلی نزولی است و سال‌های کم‌آبی متوالی (مانند ۱۳۹۶–۱۳۹۷ با ۳۲۹ میلیون مترمکعب و ۱۴۰۰–۱۳۹۹ با ۵۰۵ میلیون مترمکعب) بیشتر شده‌اند. از منظر علمی، این روند کاهشی می‌تواند با ترکیبی از عوامل طبیعی (اقلیمی) و انسانی توضیح داده شود. کاهش بارش‌ها و افزایش دما (تشدید خشکسالی‌های هیدرولوژیک) به‌عنوان محرک‌های طبیعی، همراه با برداشت‌های بالادست (شامل مصارف کشاورزی، صنعتی و شهری) و احتمالاً تغییرات کاربری اراضی، منجر به کاهش پایدار در رواناب شده‌اند. نوسانات شدید بین سال‌های خشک و مرطوب (مانند تفاوت فاحش بین سال‌های ۰۱–۱۴۰۰ و ۰۲–۱۴۰۱) نیز الگوی تغییرپذیری اقلیمی فزاینده را نشان می‌دهد. در مجموع، داده‌ها حاکی از فشار فزاینده بر منابع آب سطحی استان اصفهان است که تداوم این روند می‌تواند پیامدهای جدی برای توازن آب‌های زیرزمینی، کشاورزی و اکوسیستم‌های وابسته به جریان پایه رودخانه‌ها داشته باشد (شکل ۲۴).

با وجود یک روند خطی کلی اندک‌رونده (با شیب ملایم مثبت) در داده‌های ۱۸ ساله، حجم آب خروجی استان اصفهان در انتهای دوره مورد مطالعه (۰۳-۱۴۰۲) نسبت به ابتدای دوره (۸۶-۱۳۸۵) کاهش چشمگیری (حدود ۵۰ درصد) را تجربه کرده است. این امر حاکی از نوسانات شدید بین‌سالی و وجود سال‌های پربارش استثنایی (نظیر ۸۶-۱۳۸۵ و ۹۸-۱۳۹۷) در میانه یک روند کلی کاهشی است. به بیان دیگر، میانگین دبی در بلندمدت

ممکن است اندکی افزایش یافته باشد، اما پایه جریان (مخصوصاً در سال‌های خشک) به‌طور محسوسی کاهش یافته و حساسیت سیستم به خشکسالی‌ها افزایش یافته است.



شکل ۲۴- تحلیل روند کلی تغییرات حجم آب خروجی از استان اصفهان

۳-۲۴- تحلیل روند تغییرات آب خروجی در شاخه‌های اصلی

تحلیل روند تغییرات آب خروجی در شاخه‌های اصلی در شکل ۲۵ نشان داده شده است.

ایستگاه خرسان :

روند کلی جریان در این ایستگاه با شیب ۴/۲- میلیون مترمکعب در سال، کاهشی و نزولی است. این بدان معنی است که به‌طور متوسط، هر سال حدود ۴/۲ میلیون مترمکعب از حجم آب ورودی کاسته شده است. مقدار اولیه روند (عرض از مبدأ) ۴۴۳ واحد نشان‌دهنده شرایط نسبتاً پرآب در ابتدای دوره است. کاهش مداوم با این شیب، حاکی از تأثیرپذیری از عواملی مانند کاهش بارش، افزایش برداشت یا تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز خرسان است که در بلندمدت منابع آبی آن را تحت فشار قرار داده است.

ایستگاه زالکی:

ایستگاه زالکی نیز روندی کاملاً کاهشی و مشابه خرسان را تجربه کرده است، با شیبی معادل ۴/۱۵- میلیون مترمکعب در سال. این کاهش تقریباً موازی با روند خرسان، اما با سطح پایه کم‌آب‌تر (عرض از مبدأ ۲۹۰) رخ داده است. این هم‌جهتی در روند نزولی دو ایستگاه مجاور می‌تواند نشان‌دهنده یک عامل اقلیمی یا مدیریتی مشترک در منطقه وسیع‌تری باشد که بر رواناب هر دو حوضه به‌طور سیستماتیک و منفی تأثیر گذاشته است.

ایستگاه وانک :

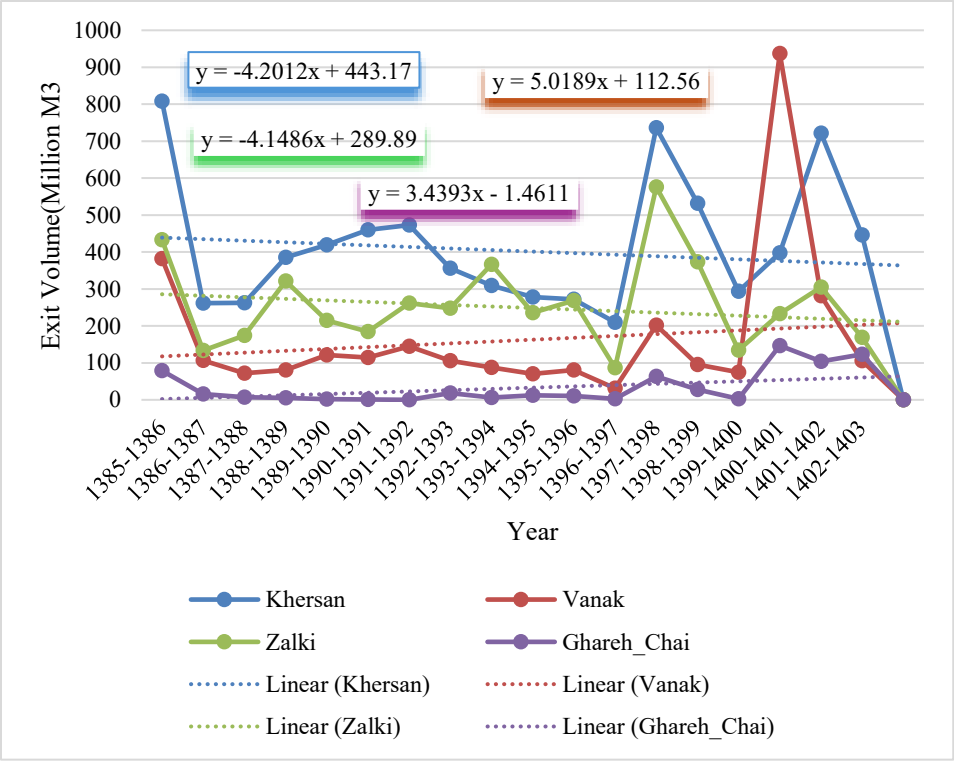
برخلاف دو ایستگاه قبلی، روند در حوضه وانک با شیب ۵/۰۲+ واحد در سال، افزایشی است. این یک روند صعودی قوی محسوب می‌شود. بااین‌حال، توجه به عرض از مبدأ پایین (۱۱۲/۶) ضروری است که نشان می‌دهد این افزایش از یک سطح جریان پایه نسبتاً کم آغاز شده است. این الگوی افزایشی می‌تواند ناشی از تغییرات خاص در حوضه وانک، مانند انتقال آب، تغییر الگوی بارش‌های موضعی شدید یا تأثیر پروژه‌های آبخیزداری باشد که برخلاف روند منطقه‌ای عمل کرده است.

ایستگاه قره‌چای :

روند جریان در قره‌چای نیز با شیب ۳/۴۴+، افزایشی است. نکته کلیدی در اینجا، عرض از مبدأ منفی (۱/۴۶) است. به‌وضوح گویای شرایط خشک در ابتدای دوره است. سپس یک روند افزایشی ثابت بر این خشکسالی اولیه سوار شده است. این الگو می‌تواند انعکاس‌دهنده بهبود تدریجی پس از یک دوره خشکسالی شدید اولیه یا افزایش سیلاب‌های مقطعی در سال‌های اخیر در این حوضه باشد.

جمع‌بندی کلی: تحلیل روندها یک دوگانگی آشکار را نشان می‌دهد: حوضه‌های خرسان و زالکی در یک روند کاهشی و احتمالاً تحت فشار مشترک قرار دارند، در حالی که حوضه‌های وانک و قره‌چای روندهای افزایشی را

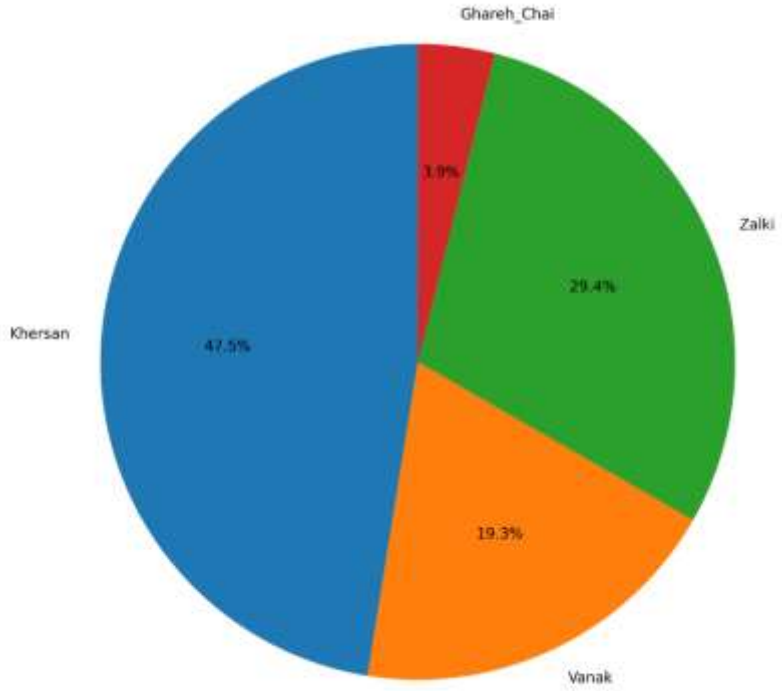
تجربه می‌کنند که احتمالاً تحت تأثیر عوامل محلی و خاص خود هستند. این تفاوت بر ضرورت مدیریت جداگانه و مبتنی بر شرایط هر حوضه تأکید می‌کند.



شکل ۲۵- تحلیل روند تغییرات آب خروجی در ایستگاه‌های مختلف

۳-۲۵- تحلیل توزیع درصدی حجم آب خروجی در ایستگاه‌ها

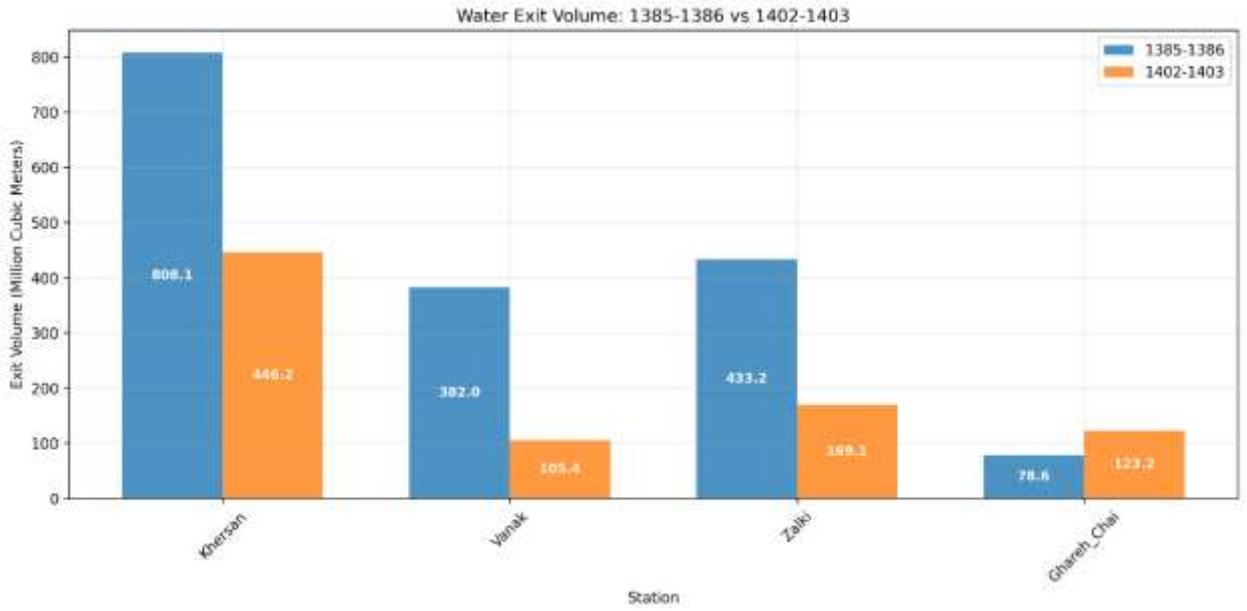
تحلیل توزیع درصدی حجم آب خروجی در شاخه های اصلی در شکل ۲۶ نشان داده شده است. براساس داده‌های نمودار سهم هر شاخه اصلی از کل حجم آب خروجی استان، شاخه خرسان با سهم ۴۷/۵ درصدی نقش کاملاً مسلط و تعیین‌کننده‌ای در سامانه خروجی آب استان ایفا می‌کند. پس از آن، شاخه‌های زالکی (۲۹/۴ درصد) و ونک (۱۹/۳ درصد) در جایگاه‌های بعدی قرار داشته و در مجموع حدود ۹۶/۲ درصد از آب خروجی را تأمین می‌کنند، درحالی‌که سهم شاخه قره‌چای تنها ۳/۹ درصد است. این توزیع بسیار نابرابر نشان می‌دهد که سامانه آب‌خروجی استان به شدت به یک شاخه اصلی (خرسان) وابسته است.



شکل ۲۶- تحلیل توزیع درصدی حجم آب خروجی در شاخه های اصلی

۳-۲۶- تحلیل مقایسه حجم آب خروجی در ابتدا و انتهای دوره

تحلیل مقایسه حجم آب خروجی در ابتدا و انتهای دوره در شکل ۲۷ ارائه شده است. تحلیل مقایسه‌ای حجم آب خروجی در دو سال ۸۶-۱۳۸۵ (ستون آبی) و ۰۳-۱۴۰۲ (ستون نارنجی) برای شاخه‌های اصلی استان اصفهان نشان‌دهنده کاهش محسوس در سه شاخه از چهار شاخه اصلی است. این نمودار نشان‌دهنده کاهش کلی دسترسی به آب سطحی در این شاخه‌های کلیدی خرسان، ونک و زالکی طی دوره ۱۸ ساله است. در مقابل، تنها شاخه قره‌چای افزایش حجم را تجربه کرده که احتمالاً ناشی از تغییرات موضعی در مدیریت آب است. این روند کاهشی در شاخه‌های اصلی، زنگ خطری برای امنیت آبی منطقه است و می‌تواند حاکی از اثرات تجمعی خشکسالی، برداشت بیش از حد از منابع بالادست، یا تغییرات الگوی بارش باشد که لزوم بازنگری فوری در سیاست‌های تخصیص و مدیریت پایدار منابع آب را ایجاب می‌کند.



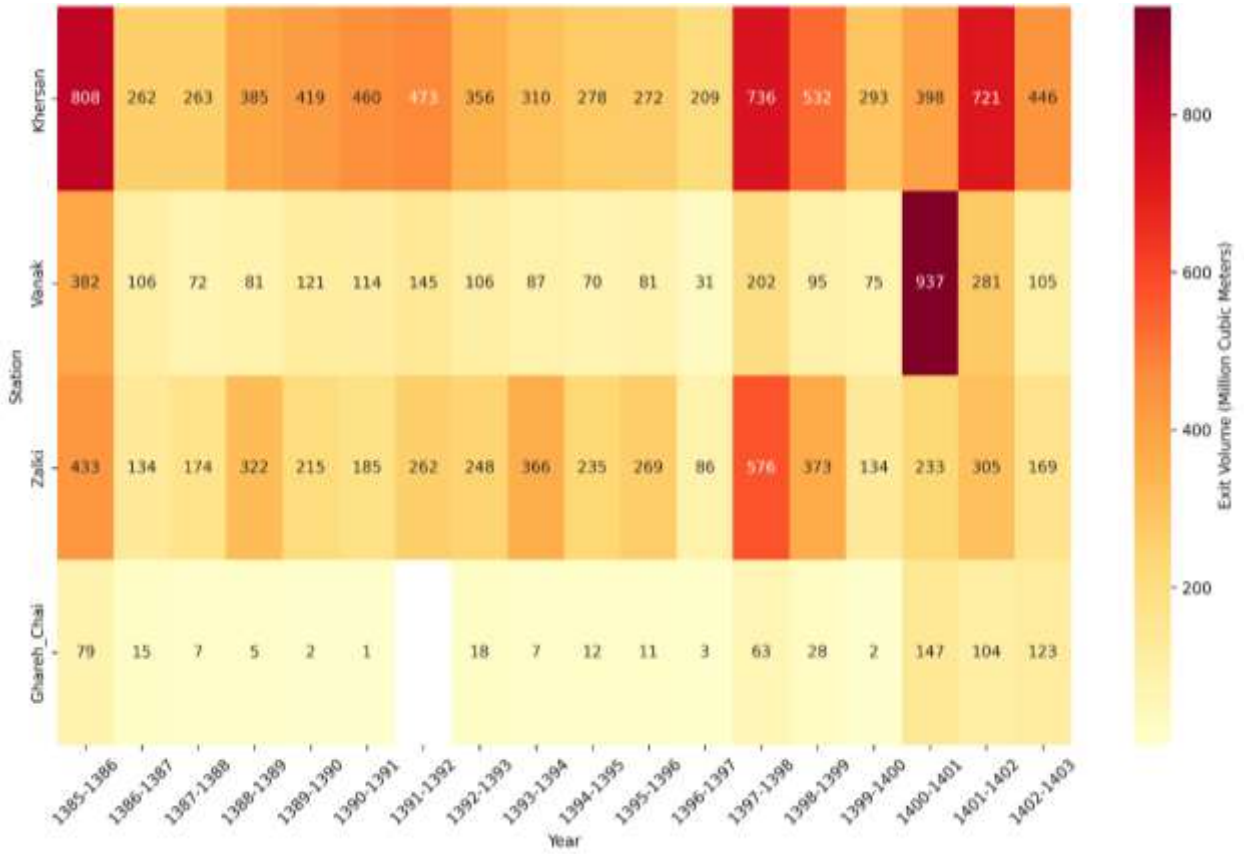
شکل ۲۷- تحلیل مقایسه حجم آب خروجی در ابتدا و انتهای دوره

۳-۲۷- تحلیل هیت‌مپ حجم آب خروجی از استان

تحلیل هیت‌مپ (نقشه حرارتی) حجم آب خروجی از استان در شکل ۲۸ ارائه شده است. حجم سالانه آب خروجی بر اساس شاخه‌های اصلی استان اصفهان نشان‌دهنده الگوهای متمایز و روندهای مهم در بازه زمانی مورد بررسی است. شاخه خرسان به عنوان اصلی‌ترین منبع، با بیشترین مقادیر (عموماً بالای ۲۰۰ و در اوج تا ۸۰۸ میلیون مترمکعب) و روندی نسبتاً پایدار اما همراه با نوسانات سالانه قابل توجه، نقش تعیین‌کننده‌ای در تامین آب خروجی استان دارد. شاخه ونک با مقادیر متوسط (اغلب بین ۷۰ تا ۲۰۰ میلیون مترمکعب) و یک نقطه اوج غیرعادی (۹۳۷) که احتمالاً ناشی از سیلاب یا خطای اندازه‌گیری است، دارای نوسانات شدید است. شاخه زالکی، نوسانات مقادیر آن عموماً ناچیز است، هرچند در یک سال خاص به ۴۰۰ رسیده که احتمالاً مربوط به بارش‌های موضعی شدید است.

شاخه قره‌چای کمترین سهم را داشته، در نیمه اول دوره روند نزولی و در نیمه دوم دوره روندی رو به رشد را نشان می‌دهد و به اعدادی قابل توجه در سال‌های پایانی (تا ۱۴۷ میلیون مترمکعب) می‌رسد. این نقشه حرارتی

به وضوح وابستگی شدید سیستم به شاخه خرسان، نوسانات اقلیمی در شاخه ونک، حاشیه‌ای‌بودن شاخه قره‌چای را آشکار می‌سازد و لزوم مدیریت تفکیک‌شده و متناسب با ویژگی‌های هیدرولوژیک هر شاخه را برای پایداری بلندمدت منابع آب استان تأیید می‌کند.



شکل ۲۸- تحلیل هیت‌مپ (نقشه گرمایی) حجم آب خروجی از استان

۳-۲۸- نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان

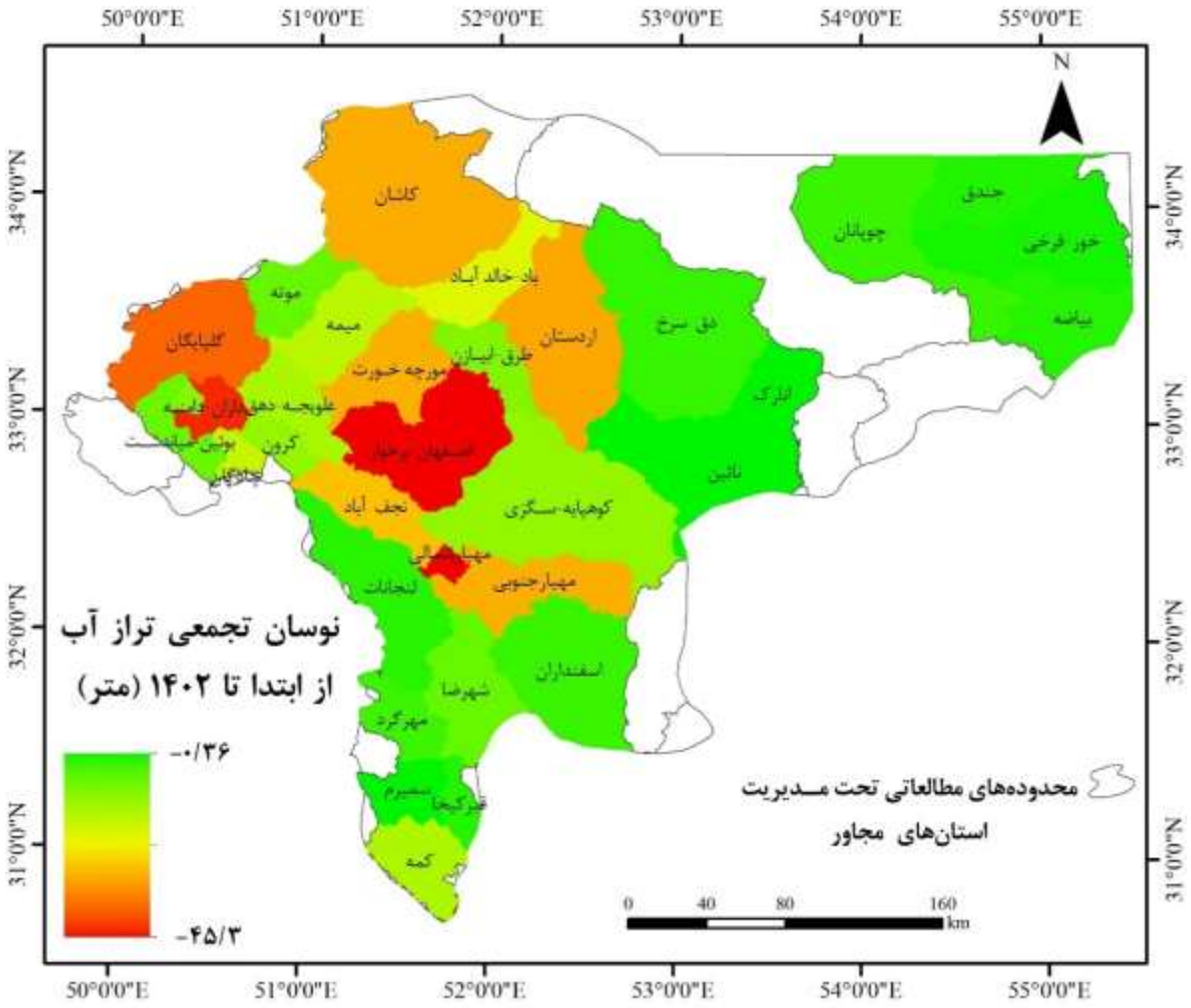
میزان نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان از ابتدای سال شروع اندازه‌گیری سطح آب تا ۱۴۰۲ در جدول ۱۰ و شکل ۲۹ نمایش داده شده است. نوسانات تجمعی تراز آب زیرزمینی در دشت‌های استان اصفهان نشان‌دهنده افت شدید و گسترده سطح آب در اکثر محدوده‌های مطالعاتی است که بیانگر بحران جدی در ذخایر آب زیرزمینی این منطقه است. میانگین افت تجمعی در ۲۷ دشت حدود ۱۲/۲ متر است که با بیشترین میزان افت (۴۵/۳۰ متر) در دشت مهیار شمالی و کمترین افت (۰/۳۶ متر) در دشت سمیرم مشاهده می‌شود. دشت‌هایی

که پایش آن‌ها از دهه ۱۳۴۰ آغاز شده (مانند اصفهان-برخوار و گلپایگان) عموماً افت‌های تجمعی بالاتری (۲۰ تا ۳۶ متر) را نشان می‌دهند که حاکی از اثر تجمعی برداشت بی‌رویه و کاهش تغذیه در طول چند دهه است. این روند نزولی پایدار، علاوه بر کاهش دسترسی به آب شرب و کشاورزی، موجب نشست زمین، کاهش کیفیت آب و تخریب پایدار اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی شده و لزوم اجرای فوری راهبردهای مدیریت یکپارچه، نظیر کنترل برداشت، افزایش بهره‌وری و تغذیه مصنوعی را برای پایداری منابع آب استان اصفهان ضروری می‌سازد.

جدول ۱۰- نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان از ابتدای سال شروع اندازه‌گیری سطح آب تا ۱۴۰۲

محدوده مطالعاتی	سال شروع اندازه گیری سطح آب	نوسان تجمعی تراز آب از ابتدا تا ۱۴۰۲ (متر)
مهیار شمالی	۱۳۶۰	-۴۵/۳
اصفهان – برخوار	۱۳۴۴	-۳۶/۱۳
داران – دامنه	۱۳۶۲	-۳۴/۷۶
گلپایگان	۱۳۴۹	-۳۰/۵۸
اردستان	۱۳۶۲	-۲۴/۹۲
کاشان	۱۳۶۹	-۲۴/۶۳
مورچه خورت	۱۳۶۲	-۲۴/۲۹
مهیار جنوبی	۱۳۴۴	-۲۴/۱۵
نجف آباد	۱۳۴۴	-۲۲/۸
خالد آباد	۱۳۶۲	-۱۵/۸۸
چادگان	۱۳۶۲	-۱۳/۷۷
میمه	۱۳۶۲	-۱۲/۸۶
کمه	۱۳۸۳	-۱۱/۴
علویجه – دهق	۱۳۶۹	-۱۱/۳۶
کرون	۱۳۴۴	-۹/۴۵
کوهپایه – سگزی	۱۳۷۰	-۹/۳
چهل خانه	۱۳۶۲	-۸/۳۴
طرق – ابیازن	۱۳۶۲	-۸/۰۵
بوئین – میاندشت	۱۳۶۲	-۶/۰۴
موته	۱۳۹۰	-۵/۴۸
شهرضا	۱۳۴۴	-۵/۴۳

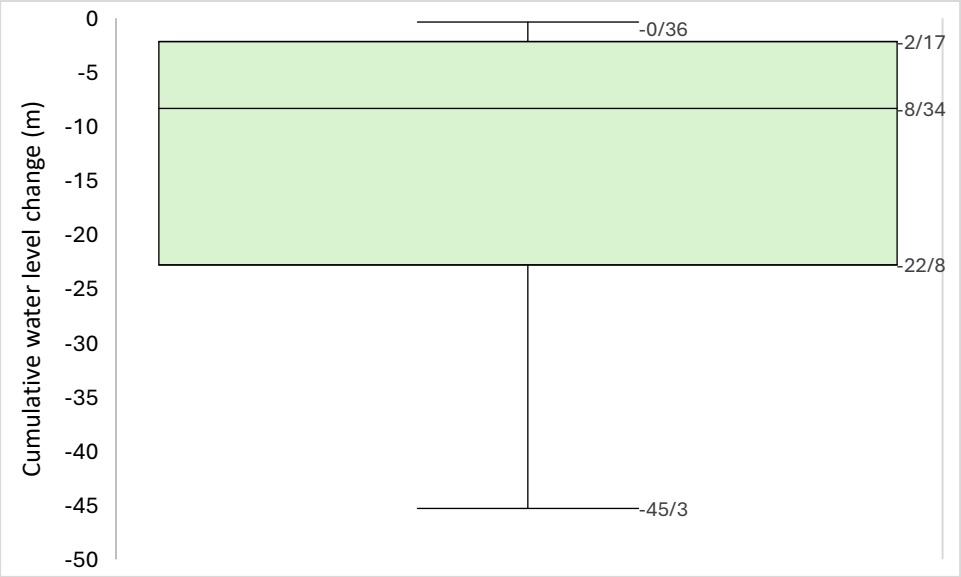
محدوده مطالعاتی	سال شروع اندازه گیری سطح آب	نوسان تجمعی تراز آب از ابتدا تا ۱۴۰۲ (متر)
مهرگرد	۱۳۸۲	-۲/۷۳
چوپانان	۱۳۸۲	-۲/۵۷
اسفنداران	۱۳۷۶	-۲/۵۶
دق سرخ	۱۳۸۱	-۲/۱۷
لنجانات	۱۳۶۹	-۱/۵۱
قبر کیخا	۱۳۸۳	-۱/۵
بیاضه	۱۳۸۲	-۱/۴۱
جندق	۱۳۸۲	-۱/۲۸
خور- فرخی	۱۳۸۲	-۰/۸۴
نائین	۱۳۸۴	-۰/۴۷
انارک	۱۳۸۲	-۰/۴۳
سمیرم	۱۳۸۳	-۰/۳۶



شکل ۲۹- میزان نوسانات نوسان تجمعی تراز آب از ابتدا تا ۱۴۰۲ (متر) در محدوده‌های مطالعاتی تحت مدیریت آب منطقه‌ای استان اصفهان

در شکل ۳۰ توزیع تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان اصفهان از ابتدای اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی در دشت تا سال ۱۴۰۲ را نشان ارائه شده است. نمودار جعبه‌ای (Box Plot) تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان اصفهان نشان‌دهنده پراکندگی و نوسانات قابل توجه در افت سطح آب بین دشت‌های مختلف است. دامنه تغییرات و موقعیت میانه‌های (median) نمودار حاکی از آن است که بیشتر دشت‌ها افت شدیدی را تجربه کرده‌اند، به‌طوریکه میانه تغییرات در محدوده ۸/۳۴- عمیق قرار دارد. تمرکز اصلی داده‌ها در محدوده افت

۸ تا ۲۳ متر، بیانگر قاعده کلی کاهش ذخایر آب زیرزمینی در سطح استان است. این توزیع، ناهمگنی شدید در وضعیت آبخوان‌های منطقه را آشکار می‌سازد.



شکل ۳۰- توزیع تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان اصفهان

۳-۲۹- کلاس‌بندی تغییرات شدت افت آب زیرزمینی در دشت‌های استان

بر مبنای داده‌های موجود از ابتدای اندازه‌گیری تا سال ۱۴۰۲، دشت‌های استان را می‌توان از نظر شدت افت سطح آب زیرزمینی به چهار دسته اصلی تقسیم‌بندی نمود (شکل ۳۱-۳۲):

دسته با افت بحرانی (بیشتر از ۲۰ متر): این دسته که بحرانی‌ترین وضعیت را نشان می‌دهد، شامل ۱۰ دشت است: مهیار شمالی (۴۵/۳- متر)، اصفهان و برخوار (۳۶/۱۳- متر)، داران و دامنه (۳۴/۷۶- متر)، گلپایگان (۳۰/۵۸ متر)، اردستان (۲۴/۹۲- متر)، کاشان (۲۴/۶۳- متر)، مهیار جنوبی (۲۴/۱۵ متر)، مورچه‌خورت (۲۴/۲۹- متر)، نجف‌آباد (۲۲/۸- متر) و خالدآباد (۱۵/۸۸- متر). تمرکز این دشت‌ها عمدتاً در مناطق مرکزی، شمالی و غربی استان است که از دیرباز کانون‌های اصلی کشاورزی و سکونتگاهی بوده‌اند.

دشت های با افت شدید (۱۰ تا ۲۰ متر): در این رده، پنج دشت قرار دارند که وضعیت تنش آبی جدی را تجربه می‌کنند: چادگان (۱۳/۷۷- متر)، میمه (۱۲/۸۶- متر)، کمه (۱۱/۴- متر)، علویجه و دهق (۱۱/۳۶- متر) و کرون

(۹/۴۵- متر). اگرچه میزان افت در این دشت‌ها از دسته قبل کمتر است، ولی روند نزولی مستمر، آن‌ها را در آستانه ورود به شرایط بحرانی قرار داده است.

دسته با افت متوسط (۵ تا ۱۰ متر): این گروه شامل ۷ دشت با وضعیت متعادل‌تر ولی همچنان نگران‌کننده است: شهرضا (۵/۴۳- متر)، موته (۵/۴۸- متر)، بوئین – میاندشت (۶/۰۴- متر)، کوهپایه – سگزی (۹/۳- متر)، طرق – ابیازن (۸/۰۵- متر)، چوپانان (۲/۵۷- متر) و چهل‌خانه (۸/۳۴- متر). شروع دیرهنگام پایش در برخی از این دشت‌ها یا قرارگیری در مناطق با فشار برداشت کمتر، می‌تواند از عوامل این وضعیت باشد.

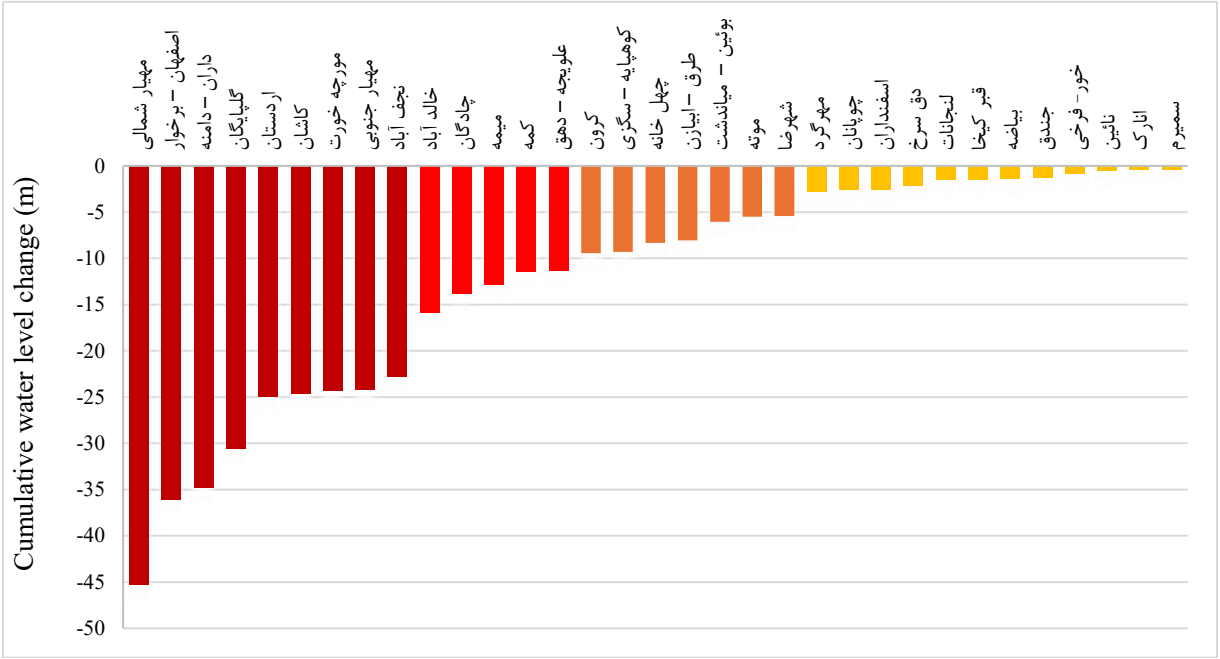
دسته با افت کم (کمتر از ۵ متر): ۱۱ دشت در این دسته قرار می‌گیرند که افت تجمعی در آن‌ها نسبتاً ناچیز است: لنجانات (۱/۵۱- متر)، سمیرم (۰/۳۶- متر)، مهرگرد (۲/۷۳ - متر)، قبرکیخا (۱/۵- متر)، اسفنداران (۲/۵۶- متر)، بیاضه (۱/۴۱- متر)، دق‌سرخ (۲/۱۷- متر)، جندق (۱/۲۸- متر)، نائین (۰/۴۷- متر)، خور- فرخی (۰/۸۴- متر) و انارک (۰/۴۳- متر). قابل‌توجه است که اغلب این دشت‌ها در حاشیه شرقی و جنوب‌شرقی استان (مناطق کویری) واقع شده‌اند و اندازه‌گیری در آن‌ها عموماً از دهه ۱۳۸۰ آغاز شده است.

الگوی فضایی آشکار از این داده‌ها حاکی از یک گرادیان شدت بحران از غرب و مرکز به سمت شرق استان است. دشت‌های واقع در حوضه آبخیز اصلی و مناطق با تراکم بالای کشاورزی و صنعتی (مانند اصفهان، برخوار، مهیار و نجف‌آباد) با افت‌های خیره‌کننده ۲۰ تا ۴۵ متری مواجه‌اند. این مقدار افت، به‌وضوح نشان‌دهنده برداشت‌های فراتر از ظرفیت تجدیدپذیری سالانه آبخوان و احتمالاً تخلیه ذخایر آب زیرزمینی عمیق و با بازگشت‌پذیری بسیار کند است. چنین شرایطی، این دشت‌ها را در معرض بالاترین خطر پدیده غیرقابل بازگشت فرونشست زمین قرار می‌دهد که تهدیدی جدی برای زیرساخت‌ها، اراضی کشاورزی و محیط‌زیست به شمار می‌آید.

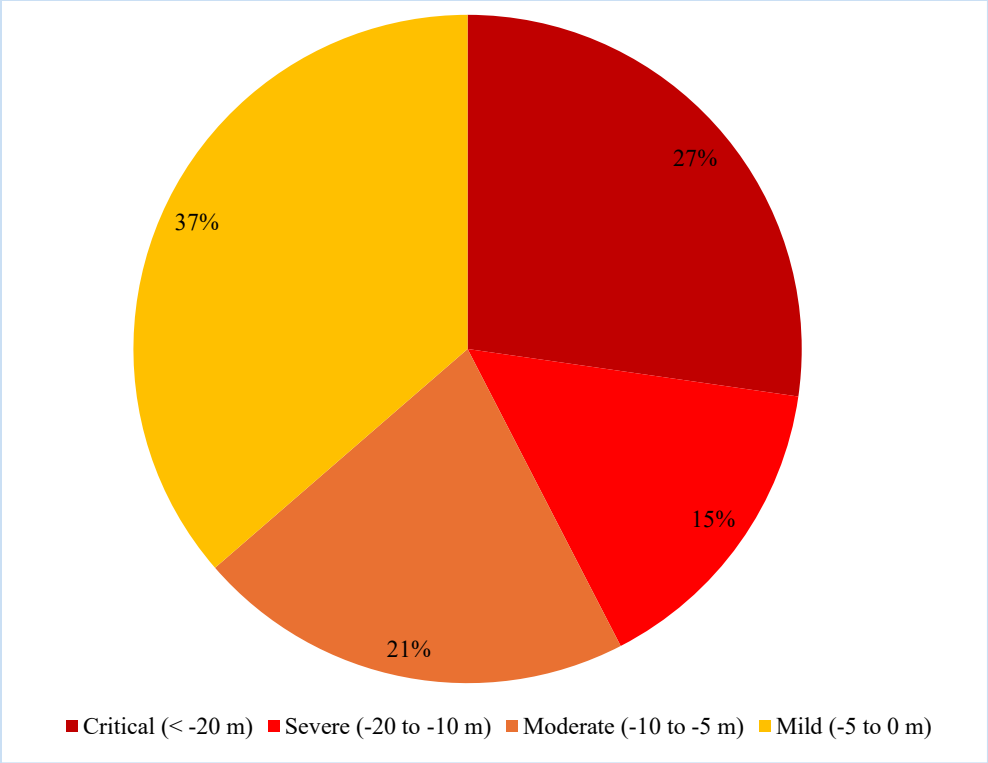
از سوی دیگر، شروع سال اندازه‌گیری به عنوان یک شاخص زمانی گویا عمل می‌کند. دشت‌هایی که پایش آن‌ها از دهه‌های ۱۳۴۰ و ۱۳۵۰ آغاز شده (همچون اصفهان-برخوار، گلپایگان و نجف‌آباد)، همگی در دسته «خیلی شدید» جای می‌گیرند. این موضوع گواهی است بر اینکه بحران آب زیرزمینی در استان اصفهان پدیده‌ای تاریخی

و ریشه‌دار است و دست‌کم از نیم قرن پیش آغاز شده و تداوم یافته است. در مقابل، پایداری نسبی دشت‌های دسته «کم» (با شروع پایش از دهه ۱۳۸۰) می‌تواند علاوه بر شرایط طبیعی محدودکننده (شوری، عمق زیاد)، ناشی از کوتاه‌بودن دوره آماری یا شروع پایش پس از وقوع بخش عمده‌ای از افت نیز باشد.

وضعیت آب زیرزمینی در استان اصفهان از حالت «هشدار» گذشته و در بسیاری از دشت‌های کلیدی به مرحله «بحران حاد» رسیده است. میانگین افت تجمعی حدود ۱۳/۴ متر برای کل استان، رقم نگران‌کننده‌ای است که لزوم اتخاذ سیاست‌های مدیریتی تفکیک‌شده و قاطع را پررنگ می‌سازد. برای دشت‌های دسته «خیلی شدید»، اقدامات معمول کنترلی کافی نیست و اجرای طرح‌های فوری و شدید مانند تعدیل گسترده پروانه‌های بهره‌برداری، تغییر اجباری الگوی کشت و اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی در اولویت است. برای دشت‌های دسته‌های «شدید» و «متوسط»، تمرکز باید بر تثبیت تراز و جلوگیری از تشدید بحران از طریق مدیریت تقاضا و افزایش بهره‌وری باشد. در نهایت، پایش مستمر و تحلیل یکپارچه این داده‌ها با لایه‌های اطلاعاتی دیگر (مانند پراکندگی چاه‌ها، بارش و کاربری اراضی) برای تدوین راهبرد نجات آبخوان‌های استان امری ضروری است.



شکل ۳۱- کلاس‌بندی تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان اصفهان



شکل ۳۲- توزیع درصدی دشت‌ها براساس شدت افت سطح آب زیرزمینی

۳-۳۰- بررسی کلی تمام منابع آب استان اصفهان

بررسی دقیق و علمی داده‌های منابع آب استان اصفهان از سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۰۳-۱۴۰۲، تصویری پویا و در عین حال نگران‌کننده از وضعیت مدیریت آب در این استان ارائه می‌دهد. این تحلیل بر پایه روندهای کلان، تغییرات سهم منابع، و تحولات بخش‌های مصرف انجام شده است (جدول ۱۱).

تولید کل آب استان (مجموع آب زیرزمینی و سطحی) از رقم ۱۰/۵۶ میلیارد مترمکعب در ابتدای دوره (۸۶-۱۳۸۵) به حدود ۵/۶۸ میلیارد مترمکعب در انتهای دوره (۰۳-۱۴۰۲) کاهش یافته است. این کاهش حدود ۴۶ درصدی نشان‌دهنده افت شدید در دسترسی به منابع آب تجدیدپذیر استان است. در این میان، سهم آب زیرزمینی از کل تولید، نوسانات قابل توجهی داشته اما روندی کلی کاهشی را نشان می‌دهد: از حدود ۶۳ درصد در ابتدای دوره به حدود ۵۹ درصد در انتها رسیده است. با این حال، در میانه دوره (به‌ویژه در سال‌های خشکی مانند ۹۷-۱۳۹۶) این سهم تا ۷۹ درصد نیز افزایش یافته است که بیانگر وابستگی حیاتی و فزاینده استان به منابع زیرزمینی

در دوره‌های کم‌آبی است. این وابستگی، فشار مضاعفی بر ذخایر استراتژیک آبخوان‌ها وارد کرده و افت‌های تجمعی شدید گزارش‌شده در دشت‌های مختلف را توضیح می‌دهد.

بخش کشاورزی: این بخش همواره مصرف‌کننده اصلی آب استان بوده است. مجموع مصرف آب کشاورزی از منابع زیرزمینی و سطحی از ۷/۰۲ میلیارد مترمکعب (۸۶-۱۳۸۵) به ۳/۳۳ میلیارد مترمکعب (۰۳-۱۴۰۲) کاهش یافته که نشان‌دهنده کاهش ۵۳ درصدی است. این کاهش تا حدی ناشی از کمبود منابع و احتمالاً اقدامات مدیریتی است، اما همچنان سهم کشاورزی از کل مصرف آب بسیار بالا است. نکته حائز اهمیت، افزایش سهم آب زیرزمینی در تأمین نیاز کشاورزی در طول دوره است. در سال‌های اخیر، حدود ۷۹ درصد از آب مصرفی بخش کشاورزی از چاه‌ها تأمین می‌شود (مثلاً در ۰۳-۱۴۰۲، ۲/۶۴ از ۳/۳۳ میلیارد مترمکعب)، که حاکی از جایگزینی منابع سطحی با منابع زیرزمینی به‌دلیل کاهش جریان رودخانه‌هاست.

بخش صنعت: مصرف آب صنعتی در کل دوره نسبتاً پایدار و در محدوده ۸۵ تا ۱۶۰ میلیون مترمکعب در نوسان بوده است. بااین‌حال، سهم منابع زیرزمینی در تأمین آب صنعت به‌طور چشمگیری افزایش یافته و از حدود ۳۴ درصد در ابتدای دوره به بیش از ۶۲ درصد در انتهای دوره رسیده است. این نیز نشان‌دهنده تغییر منبع تأمین به سمت آبخوان‌هاست.

بخش شرب: مصرف آب شرب روندی کاملاً صعودی داشته و از ۵۱۹ میلیون مترمکعب به ۵۷۴ میلیون مترمکعب افزایش یافته است (رشد حدود ۱۱ درصد). در این بخش، سهم آب سطحی افزایش یافته و از حدود ۶۷ درصد به ۷۷ درصد رسیده است که احتمالاً نشان‌دهنده اولویت‌دهی به آب باکیفیت‌تر و سرمایه‌گذاری در تصفیه‌خانه‌های آب سطحی برای شرب است. با این وجود، هنوز نزدیک به یک‌چهارم آب شرب از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود.

سال ۹۷-۱۳۹۶: این سال نقطه اوج بحران را نشان می‌دهد. تولید کل آب به کمترین مقدار دوره (۴/۸ میلیارد مترمکعب) و سهم آب زیرزمینی به اوج خود (۷۹ درصد) رسید. این ترکیب، حجم فوق‌العاده بالای برداشت از

آبخوان‌ها در یک سال خشک را نشان می‌دهد که بدون شک منجر به افت شدید سطح آب و تشدید خطر فرونشست زمین شده است.

سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸: با بهبود نسبی بارش‌ها، سهم آب سطحی به نزدیک ۴۵-۴۷ درصد بازگشت. این نشان می‌دهد که منابع سطحی استان به شدت وابسته به نوسانات اقلیمی سالانه هستند و در سال‌های ترسالی می‌توانند تا حدی از فشار بر منابع زیرزمینی بکاهند.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی :

داده‌ها به‌وضوح سه روند کلان و خطرناک را در نظام آبی استان اصفهان نشان می‌دهند:

۱. کاهش کلی در دسترسی به آب: استان اصفهان با کاهش نزدیک به نصف منابع آب قابل استحصال خود در بازه ۱۸ ساله مواجه شده است. این کاهش عمدتاً متأثر از کاهش منابع سطحی (رودخانه زاینده‌رود و دیگر جریان‌ها) است.

۲. افزایش وابستگی به منابع زیرزمینی: در پاسخ به کاهش آب سطحی، استان به‌طور سیستماتیک به سمت جایگزینی کمبود با برداشت بیشتر از آبخوان‌ها حرکت کرده است. این امر در تمام بخش‌های مصرف (به‌جز شرب) مشهود است و منجر به بهره‌برداری غیرپایدار و فراتر از ظرفیت تجدیدپذیر آبخوان‌ها شده است.

۳. تشدید فشار در دوره‌های خشکسالی: در سال‌های خشک، سامانه تأمین آب استان برای جبران کمبود حاد آب سطحی، به‌طور اضطراری و با شدت زیاد به منابع زیرزمینی متوسل می‌شود که اثرات مخرب آن (افت سطح آب، فرونشست، کاهش کیفیت) بلندمدت و غیرقابل جبران است.

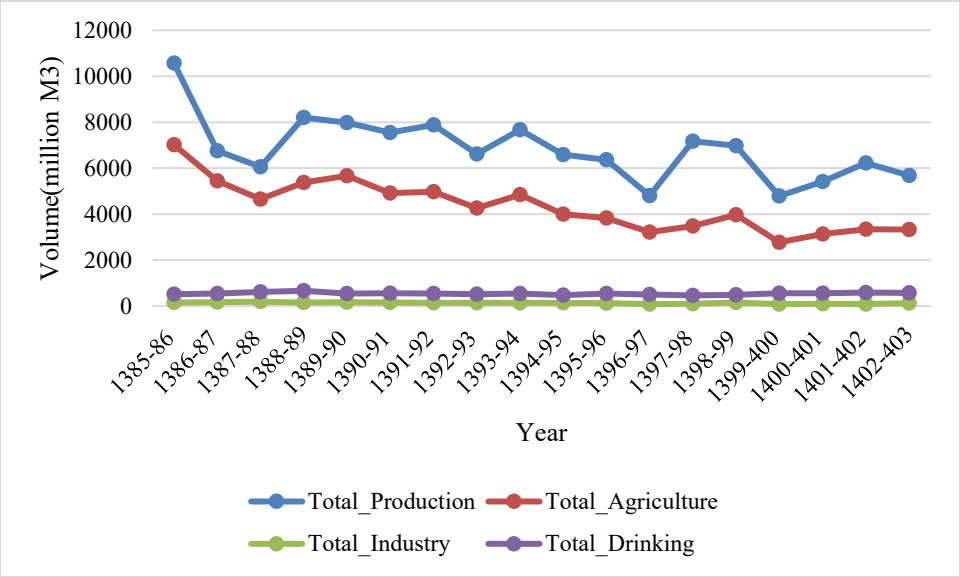
الگوی مدیریت آب در استان اصفهان در دو دهه گذشته، یک الگوی واکنشی و ناپایدار بوده است. در این الگو، منابع زیرزمینی به عنوان منبع ضربه‌گیر و جبران‌کننده کمبودهای ناشی از تغییر اقلیم و مدیریت نامناسب منابع سطحی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نتیجه این رویکرد، فرسایش سرمایه استراتژیک آب زیرزمینی و نزدیک‌شدن

بسیاری از دشت‌های اصلی به مرز تخلیه کامل است. خروج از این بحران نیازمند یک تحول اساسی از مدیریت واکنشی به مدیریت فعالانه است که مبتنی بر کاهش واقعی و مدیریت‌شده تقاضا (به ویژه در بخش کشاورزی)، افزایش بهره‌وری در تمام بخش‌ها، و حفاظت و احیای اکوسیستم‌های آبی باشد.

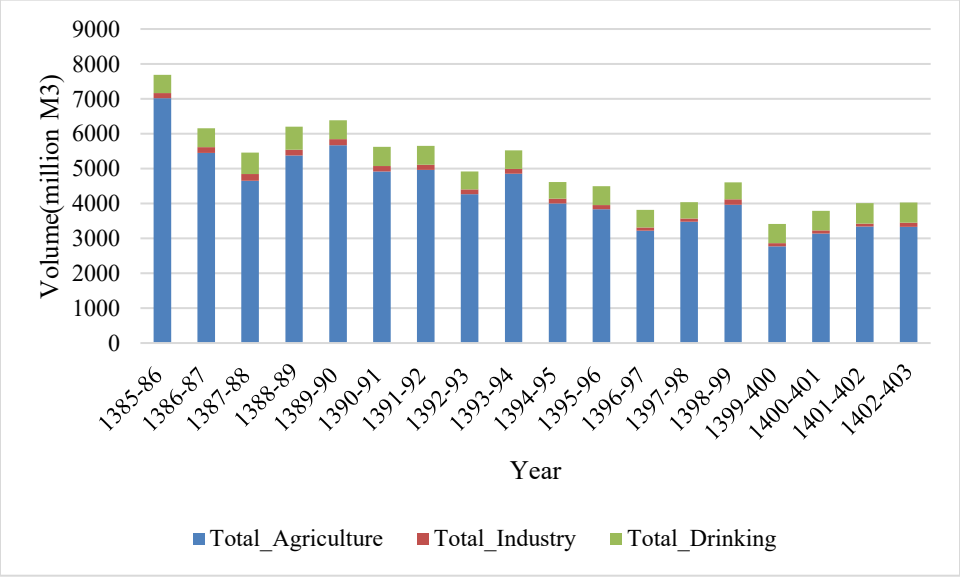
جدول ۱۱- وضعیت منابع آب در استان اصفهان بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۲ (برحسب میلیون مترمکعب)

سال آبی	آب زیرزمینی				آب سطحی				تولید				سهم آب زیرزمینی (٪)	سهم آب سطحی (٪)
	کل	کشاورزی	صنعت	شرب	کل	کشاورزی	صنعت	شرب	کل	کشاورزی	صنعت	شرب		
۱۳۸۵-۸۶	۶۶۵۳/۶	۵۵۵۳/۶	۵۲/۸	۱۶۸/۷	۳۹۱۰/۴	۱۴۶۱/۵	۱۰۰	۳۵۰	۱۰۵۶۴	۷۰۱۵/۱	۱۵۲/۸	۵۱۸/۷	۶۲/۹۸	۳۷/۰۲
۱۳۸۶-۸۷	۴۷۷۵/۴	۴۵۴۷/۳	۶۲/۴	۱۶۵/۷	۱۹۸۲/۳	۹۰۳/۵	۱۰۰	۳۸۱	۶۷۵۷/۷	۵۴۵۰/۸	۱۶۲/۴	۵۴۶/۷	۷۰/۶۷	۲۹/۳۳
۱۳۸۷-۸۸	۴۶۲۳/۷	۴۳۵۶	۶۸/۵	۱۹۹/۲	۱۴۲۸/۳	۲۹۸/۴	۱۱۹	۴۱۵	۶۰۵۲	۴۶۵۴/۴	۱۸۷/۵	۶۱۴/۲	۷۶/۴۰	۲۳/۶۰
۱۳۸۸-۸۹	۵۸۶۷/۷	۴۶۲۲/۹	۶۸/۵	۱۹۴/۶	۲۳۳۶/۳	۷۵۶/۳	۹۰	۴۶۷	۸۲۰۴	۵۳۷۹/۲	۱۵۸/۵	۶۶۱/۶	۷۱/۵۲	۲۸/۴۸
۱۳۸۹-۹۰	۶۲۴۷/۸	۵۳۸۲/۳	۵۳/۶	۱۶۵/۷	۱۷۲۶/۴۸	۲۸۹/۷	۱۱۶	۳۷۵	۷۹۷۴/۲۸	۵۶۷۲	۱۶۹/۶	۵۴۰/۷	۷۸/۳۵	۲۱/۶۵
۱۳۹۰-۹۱	۵۵۳۴	۴۵۰۰/۱	۵۵/۲	۱۵۲/۷	۲۰۱۴/۲۲	۴۱۹/۸	۱۰۰	۴۰۰	۷۵۴۸/۲۲	۴۹۱۹/۹	۱۵۵/۲	۵۵۲/۷	۷۳/۳۲	۲۶/۶۸
۱۳۹۱-۹۲	۵۷۱۱/۶	۴۵۵۱	۵۵/۰۵	۱۵۱/۷	۲۱۷۳/۶	۴۱۶/۶	۸۶	۳۹۰	۷۸۸۵/۲	۴۹۶۷/۶	۱۴۱/۰۵	۵۴۱/۷	۷۲/۴۳	۲۷/۵۷
۱۳۹۲-۹۳	۵۰۰۸/۲۴	۴۰۰۰	۵۵/۰۵	۱۴۹/۷۸	۱۶۱۰/۷۶	۲۶۱/۶	۸۵	۳۷۰	۶۶۱۹	۴۲۶۱/۶	۱۴۰/۰۵	۵۱۹/۷۸	۷۵/۶۶	۲۴/۳۴
۱۳۹۳-۹۴	۵۳۵۳/۳۲	۴۳۵۷/۶	۵۴/۴۹	۱۳۷/۱۷	۲۳۱۷/۹۷	۴۹۱/۸۷	۸۵	۴۰۰	۷۶۷۱/۲۹	۴۸۴۹/۴۷	۱۳۹/۴۹	۵۳۷/۵۷	۶۹/۷۸	۳۰/۲۲
۱۳۹۴-۹۵	۴۵۲۸/۰۸	۳۲۸۴/۲۸	۵۴/۸۳	۱۴۸/۶۳	۲۰۵۵/۱۷	۷۱۶/۱	۷۹/۸	۳۲۸	۶۵۸۳/۲۵	۴۰۰۰/۳۸	۱۳۴/۶۳	۴۷۷/۰۵	۶۸/۷۸	۳۱/۲۲
۱۳۹۵-۹۶	۴۳۱۲/۷۶	۳۳۶۱/۴۸	۵۴/۴۳	۱۴۷/۴۴	۲۰۴۸/۲۴	۴۷۱/۶	۶۳/۵۴	۳۹۶	۶۳۶۱	۳۸۳۳/۰۸	۱۱۷/۹۷	۵۴۳/۲۲	۶۷/۸۰	۳۲/۲۰
۱۳۹۶-۹۷	۳۷۹۳/۸۵	۳۰۵۹/۷	۵۴/۸۳	۱۴۸/۰۸	۱۰۰۷/۵۸	۱۶۱/۷۳	۳۴/۴	۳۵۴	۴۸۰۱/۴۳	۳۲۲۱/۴۳	۸۹/۲۳	۵۰۱/۸۸	۷۹/۰۲	۲۰/۹۸
۱۳۹۷-۹۸	۳۷۶۹/۴۷	۲۷۸۳/۷۵	۳۵/۳۴	۱۳۴/۹۳	۳۴۰۳/۸۱	۶۹۴/۵۳	۵۷/۱	۳۲۷	۷۱۷۳/۲۸	۳۴۷۸/۲۸	۹۲/۴۴	۴۶۲/۲۵	۵۲/۵۵	۴۷/۴۵
۱۳۹۸-۹۹	۳۸۶۴/۵۸	۲۸۸۲/۲۲	۳۵/۳۳	۱۳۴/۸۴	۳۱۰/۲۱۵۷	۱۰۸۴/۲۹	۱۲۰/۰۸	۳۴۶	۶۹۷۱/۷۹۵	۳۹۶۶/۵۱	۱۵۵/۴۱	۴۸۱/۱۹	۵۵/۴۳	۴۴/۵۷
۱۳۹۹-۰۰	۳۳۰۲/۱۸	۲۶۷۴/۹۴	۳۹/۹۱	۱۵۶/۲۵	۱۴۸۳/۸۱	۹۸	۴۸/۲۲	۳۹۴	۴۷۸۵/۹۹۳	۲۷۷۲/۹۴	۸۸/۱۳	۵۵۰/۴۳	۶۹/۰۰	۳۱/۰۰
۱۴۰۰-۰۱	۳۱۷۷/۹۴	۲۵۱۸/۵۲	۴۱/۱۵	۱۵۶/۰۸	2236	۶۱۸/۳۱	۵۱/۹۷	۴۰۰	۵۴۱۳/۹۴	۳۱۳۶/۸۳	۹۳/۱۲	۵۵۶/۵۶	۵۸/۷۰	۴۱/۳۰
۱۴۰۱-۰۲	۳۳۷۸/۳۲	۲۶۴۲/۸۸	۴۱/۱	۱۵۵/۸۱	۲۸۴/۴۸۵۰	۶۹۲/۸۵۲	۴۴/۶۹	۴۳۲	۶۲۱۸/۸۰۵	۳۳۳۵/۷۳۲	۸۵/۷۹	۵۸۷/۶۳	۵۴/۳۲	۴۵/۶۸
۱۴۰۲-۰۳	۳۳۴۸/۱۹	۲۶۳۶/۳۱	۷۶/۹	۱۳۳/۶۵	۲۳۳۶/۲۹	۶۹۱/۸۵	۴۶/۲۶	۴۴۱	۵۶۸۴/۴۸	۳۳۲۸/۱۶	۱۲۳/۱۶	۵۷۴/۱۵	۵۸/۹۰	۴۱/۱۰

شکل ۳۳ روند مصرف کل آب و شکل ۳۴ سهم مصرف کل آب استان اصفهان به تفکیک بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب (۱۴۰۲-۱۳۸۵) را نشان می‌دهد.



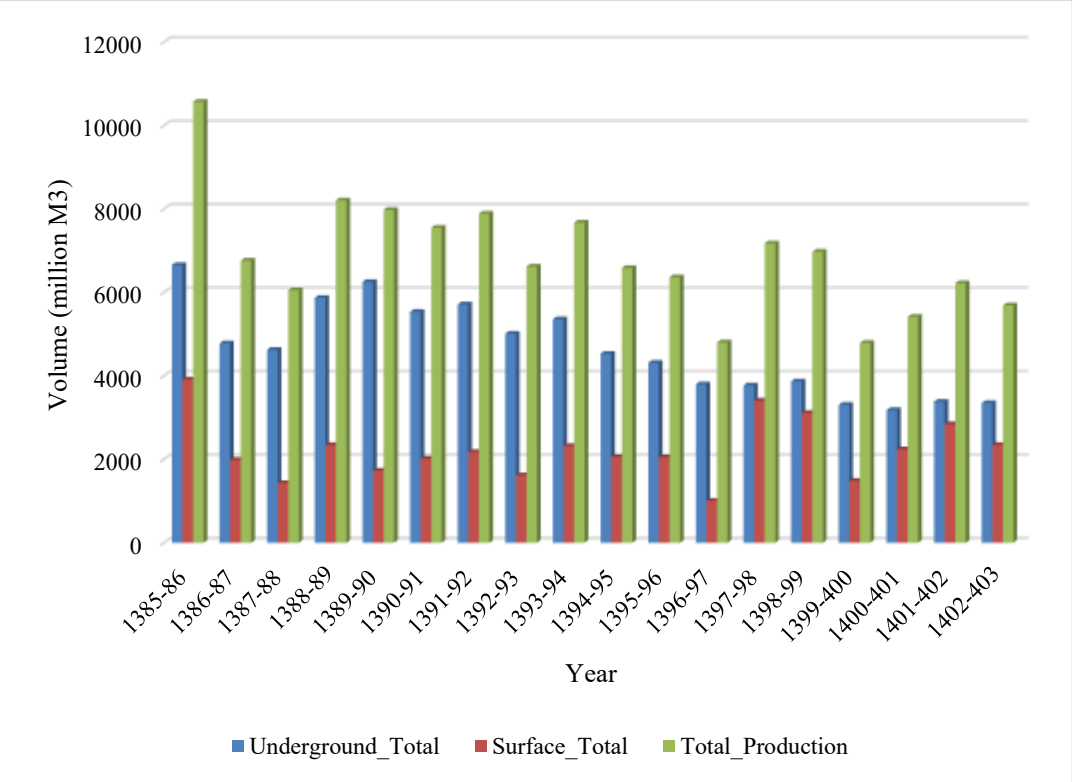
شکل ۳۳- روند مصرف کل آب استان اصفهان به تفکیک بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب (۱۴۰۲-۱۳۸۵)



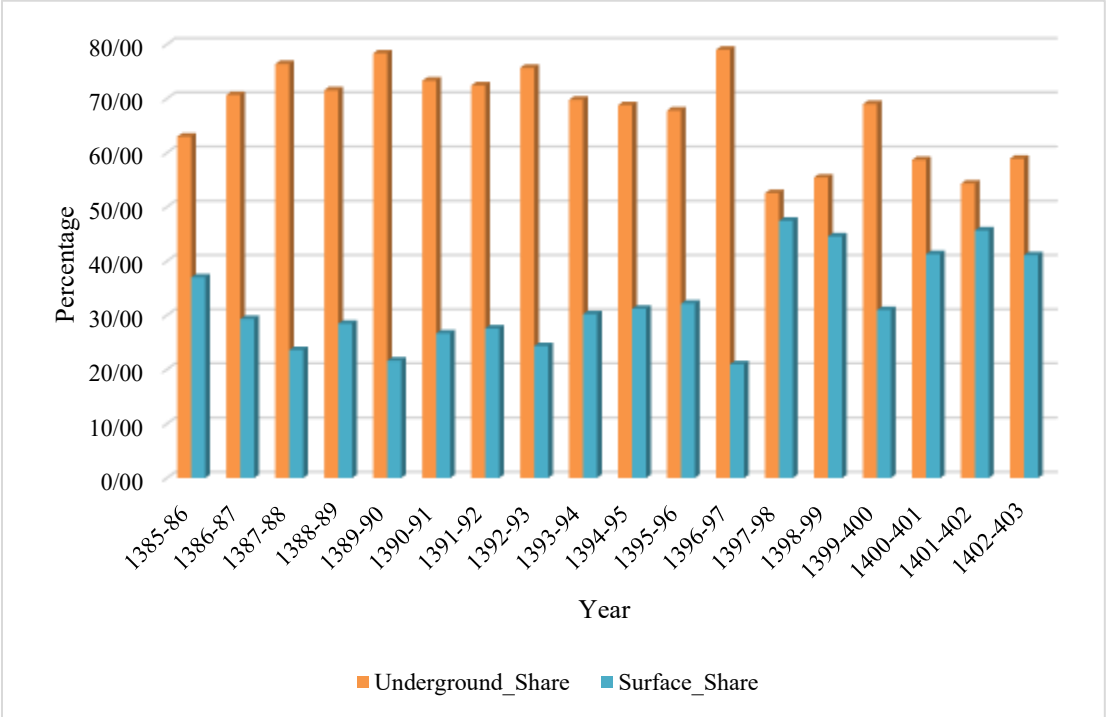
شکل ۳۴- سهم مصرف کل آب استان اصفهان به تفکیک بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب (۱۴۰۲-۱۳۸۵)

۳-۳۱- روند سهم درصدی منابع آب زیرزمینی و سطحی از کل تولید آب استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۸۵)

شکل ۳۵ روند سهم منابع آب زیرزمینی و سطحی از کل تولید آب استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۸۵) بر حسب میلیون مترمکعب را نشان می‌دهد. سهم درصدی منابع آب زیرزمینی و سطحی از کل تولید آب استان اصفهان، وابستگی ساختاری و آسیب‌پذیر سیستم آبی منطقه به منابع زیرزمینی را به وضوح نشان می‌دهد. در طول دوره ۱۸ ساله، سهم آب زیرزمینی در اکثر سال‌ها بالای ۶۰ درصد باقی مانده و در سال‌های بحرانی خشکسالی (مانند ۱۳۹۷-۱۳۹۶) به حدود ۷۹ درصد افزایش یافته است که نشان می‌دهد در مواجهه با کاهش بارش‌ها و افت تولید آب سطحی، تأمین آب استان عمدتاً از طریق برداشت بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی جبران شده است. در مقابل، سهم آب سطحی به‌طور معمول بین ۲۰ تا ۴۰ درصد در نوسان بوده و در سال‌های پرآب (نظیر ۱۳۹۷-۱۳۹۸) تا نزدیک ۴۷ درصد نیز افزایش یافته است که بیانگر وابستگی شدید این بخش به نوسانات اقلیمی است. روند کلی نمودار حاکی از آن است که با وجود تلاش برای افزایش سهم آب سطحی در سال‌های اخیر، منابع زیرزمینی کماکان به عنوان پایه اصلی تأمین آب استان عمل می‌کنند که این امر در بلندمدت، پایداری آبخوان‌ها و تعادل هیدرولوژیک منطقه را با مخاطره مواجه خواهد کرد (شکل ۳۶).



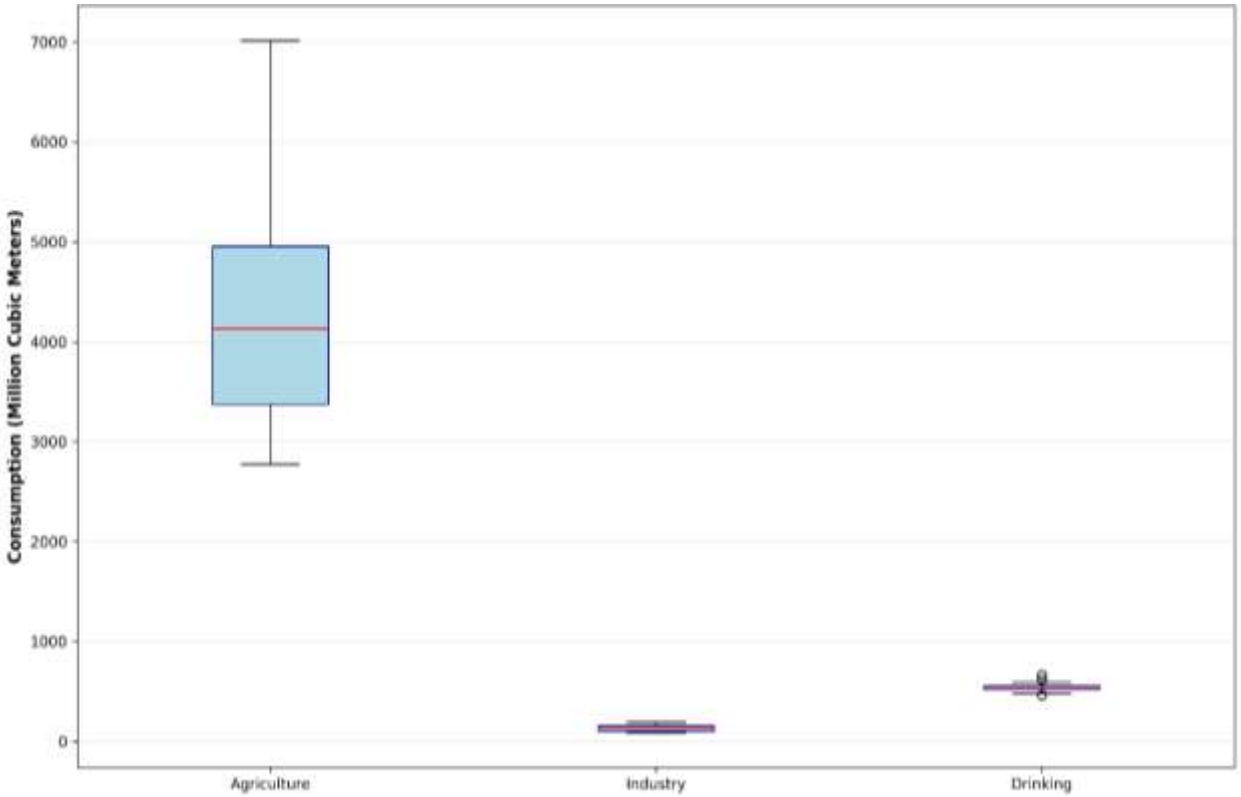
شکل ۳۵- سهم منابع آب زیرزمینی و سطحی از کل تولید آب استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۸۵)



شکل ۳۶- سهم درصدی منابع آب زیرزمینی و سطحی از کل تولید آب استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۸۵)

۳-۳۲- توزیع مصرف آب استان اصفهان براساس بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب (۱۴۰۲-۱۳۸۵)

شکل ۳۷ توزیع مصرف آب استان اصفهان بر اساس بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب (۱۴۰۲-۱۳۸۵) را نشان می‌دهد. نمودار توزیع مصرف آب استان اصفهان بر اساس بخش‌های مختلف، الگوی نامتوازن و ناپایداری را در مدیریت منابع آبی منطقه آشکار می‌سازد که در آن بخش کشاورزی با میانگین سهمی حدود ۸۷ درصد از کل مصرف، به‌طور مطلق بر مصرف آبی استان مسلط است. این سلطه با مقادیر میانگین سالانه مصرف حدود ۴۳۴۶ میلیون مترمکعب در کشاورزی، در مقابل سهم ناچیز بخش صنعت با میانگین کمتر از ۲/۶ درصد (حدود ۱۳۲ میلیون مترمکعب) و بخش شرب با سهمی حدود ۱۰/۴ درصد (میانگین ۵۴۲ میلیون مترمکعب) قرار دارد. چنین ترکیبی نشان‌دهنده وابستگی شدید اقتصاد آب‌محور استان به فعالیت کشاورزی است که منابع آب زیرزمینی و سطحی را تحت فشار بی‌سابقه قرار داده است. این عدم تعادل حاد بین سهم اقتصادی و سهم آبی بخش‌ها، نه‌تنها آسیب‌پذیری سیستم را در برابر نوسانات اقلیمی افزایش می‌دهد، بلکه امکان توسعه پایدار بخش‌های صنعتی و شرب را نیز محدود کرده و ضرورت بازتخصیص هوشمند آب و بهینه‌سازی الگوی کشت را به عنوان یک راهبرد ضروری برای بقای اکوسیستم آبی استان ایجاب می‌کند.

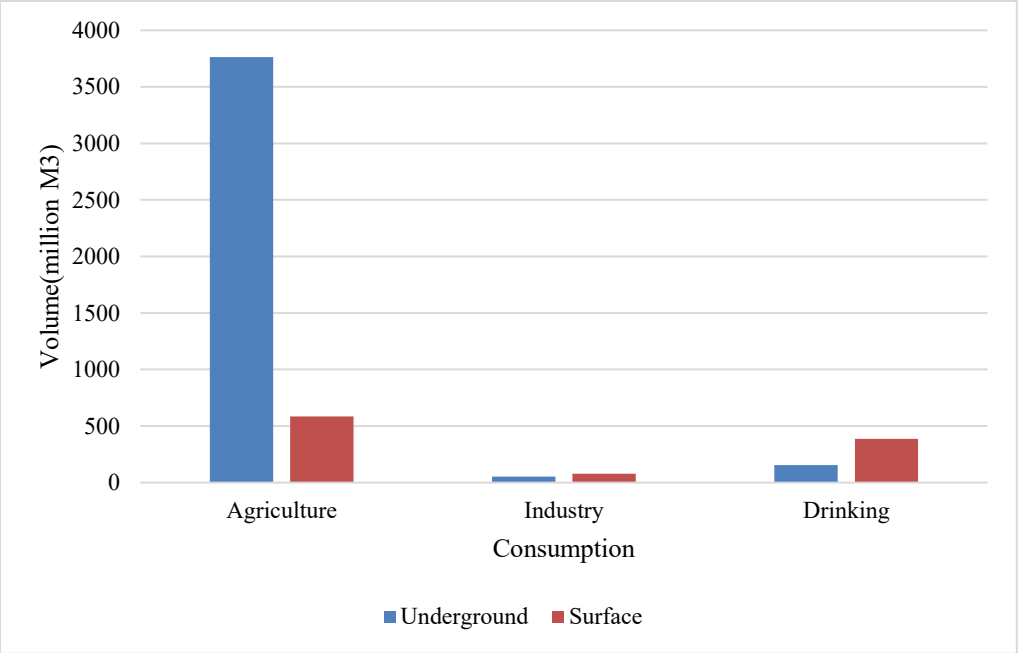


شکل ۳۷- توزیع مصرف آب استان اصفهان براساس بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب (۱۴۰۲-۱۳۸۵)

۳-۳۳- مقایسه متوسط مصرف آب زیرزمینی و سطحی در بخش‌های مختلف استان (۱۴۰۲-۱۳۸۵)

شکل ۳۸ مقایسه متوسط مصرف آب زیرزمینی و سطحی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب استان اصفهان (۱۴۰۲-۱۳۸۵) را نشان می‌دهد. نمودار مقایسه‌ای مصرف آب زیرزمینی و سطحی در بخش‌های مختلف استان اصفهان، شکاف عمیق در وابستگی هر بخش به منابع آبی را آشکار می‌سازد. در بخش کشاورزی، مصرف آب عمدتاً متکی بر منابع زیرزمینی است (با میانگین سالانه بیش از ۳۸۰۰ میلیون مترمکعب)، درحالی‌که سهم آب سطحی در این بخش به‌طور میانگین کمتر از ۱۰۰۰ میلیون مترمکعب است که نشان‌دهنده وابستگی خطرناک امنیت غذایی منطقه به ذخایر آب زیرزمینی است. در مقابل، بخش شرب الگوی متعادل‌تری دارد اما بیشتر از منابع آب سطحی استفاده می‌شود. بخش صنعت نیز با مصرف کلی پایین، وابستگی بیشتری به آب سطحی نشان می‌دهد که احتمالاً ناشی از دسترسی آسان‌تر و هزینه کمتر تأمین آن برای مصارف صنعتی است. این تفاوت

چشمگیر در الگوی تأمین آب بخش‌ها، لزوم مدیریت تفکیک‌شده و سیاست‌گذاری متناسب با هر بخش را برای حفظ تعادل منابع و پایداری بلندمدت سیستم آبی استان ضروری می‌سازد.



شکل ۳۸- مقایسه متوسط مصرف آب زیرزمینی و سطحی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب استان اصفهان (۱۳۸۵-۱۴۰۲)

۴- فصل چهارم: نتیجه‌گیری

این فصل با هدف جمع‌بندی، تحلیل یکپارچه و ارائه نتیجه‌گیری نهایی از یافته‌های فصل سوم گزارش «تحلیل منابع آب در استان اصفهان» تنظیم شده است. با توجه به ماهیت پیچیده و چندبعدی بحران آب در استان، این فصل ضمن مرور اجمالی نتایج کلیدی هر بخش، به تحلیل روابط علّی بین متغیرها، تفسیر پیامدهای هشداردهنده وضعیت موجود و ارائه چارچوبی برای بحث و پیشنهاد اقدامات آتی می‌پردازد. تمرکز اصلی بر تبیین این واقعیت است که استان اصفهان از مرحله «تنش آبی» عبور کرده و در وضعیت «بحران عمیق و ساختاری آب» قرار دارد. تحلیل‌های انجام‌شده بر پایه داده‌های میدانی ۳۲ ساله (۱۳۷۱-۱۴۰۲) برای پارامترهای اقلیمی و ۱۸ ساله (۱۳۸۵-۱۴۰۲) برای منابع آب، تصویری علمی و بی‌طرفانه از این بحران ترسیم می‌کند.

۴-۱- تحلیل نتایج وضعیت بارش در استان

تحلیل ۳۲ ساله داده‌های بارش ۱۲ ایستگاه سینوپتیک استان، دو روند کلان را تأیید می‌کند:

- **کاهش عمومی بارش:** از بین ۱۲ ایستگاه، ۱۱ ایستگاه روند کاهشی بارش سالانه را نشان می‌دهند. شدیدترین کاهش با شیب ۱۲.۶- میلی‌متر در سال در ایستگاه سمیرم به عنوان پربارش‌ترین نقطه استان رخ داده است. این کاهش در مناطق مرتفع و پربارش غربی (نظیر داران، گلپایگان) که نقش حیاتی در تغذیه آبخوان‌ها و تأمین جریان پایه رودخانه‌ها دارند، بسیار نگران‌کننده است. میانگین بارش استان از حدود ۱۸۰ میلی‌متر در بلندمدت، در سال‌های اخیر به مقادیری نزدیک به ۱۲۸ میلی‌متر رسیده که نشان از تشدید شرایط خشکی دارد.

- **تشدید نوسانات و رویدادهای حدی:** داده‌ها حاکی از افزایش تغییرپذیری بین‌سالی و وقوع مکرر خشکسالی‌های شدید (مانند سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۵، ۱۳۹۶، ۱۴۰۰) است. به‌عنوان نمونه، در خشکسالی استثنایی سال ۱۳۹۵، ایستگاه خور و بیابانک تنها ۱۶/۳ میلی‌متر بارش دریافت کرد.

این دو روند در کنار هم به‌وضوح نشان می‌دهند که ورودی اصلی سیستم هیدرولوژیک استان (بارش) از نظر مقدار در حال کاهش است.. کاهش بارش در مناطق کوهستانی غربی، مستقیماً بر تغذیه آبخوان‌ها و جریان رودخانه زاینده‌رود تأثیر منفی گذاشته و پایه منابع تجدیدپذیر استان را تحلیل برده است.

۴-۲- تحلیل نتایج وضعیت دما

هم‌زمان با کاهش بارش، استان شاهد یک روند گرمایشی آشکار و فزاینده است. تحلیل داده‌های دمایی همان دوره ۳۲ ساله نشان می‌دهد:

۱۱ ایستگاه از ۱۲ ایستگاه روند افزایشی دما را تجربه کرده‌اند. بیشترین شدت گرمایش در مناطق خشک و کم‌ارتفاع مانند خور و بیابانک مشاهده شده که میانگین دمای سالانه آن از حدود ۱۸-۱۹ درجه در دهه ۱۳۷۰ به مقادیر پایدار بالای ۲۲ درجه در سال‌های اخیر رسیده است. این گرمایش بلندمدت، پیامدهای هیدرولوژیک مستقیمی دارد: افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل، کاهش رطوبت خاک، افزایش نیاز آبی گیاهان و تشدید اثرات دوره‌های خشکسالی. بنابراین، سیستم منابع آب استان تحت فشار قرار گرفته است: از یک سو ورودی آن (بارش) کاهش یافته و از سوی دیگر، خروجی آن از طریق تبخیر و نیاز آبی افزایش یافته است. این ترکیب، کارایی هر واحد آب موجود را به شدت کاهش داده و تنش آبی را تشدید می‌کند.

۴-۳- تحلیل نتایج منابع آب زیرزمینی

وضعیت منابع آب زیرزمینی استان به‌وضوح بحرانی و در حال فروپاشی است. شواهد این ادعا عبارتند از:

- **کاهش شدید کمّی برداشت:** کل تخلیه (برداشت) از چهار منبع اصلی زیرزمینی (چاه عمیق، چاه کم‌عمق، قنات، چشمه) از ۶/۰۲ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۸۵-۸۶ به ۳/۲ میلیارد مترمکعب در سال ۱۴۰۲-۰۳ رسیده است (کاهش ۴۶/۷ درصدی). این کاهش به‌معنای افت شدید بهره‌دهی و ذخیره آبخوان‌هاست.
- **تغییر ساختار برداشت و افزایش وابستگی به اعماق**: تعداد چاه‌های عمیق با رشد انفجاری ۱۴۶/۴ درصد (از ۱۵۳۸۷ به ۳۷۹۴۶ حلقه) مواجه بوده، درحالی‌که تعداد چاه‌های کم‌عمق و قنات‌ها کاهش یافته است. این نشان می‌دهد سیستم به‌ناچار برای دستیابی به آب، به سمت برداشت از لایه‌های عمیق‌تر و با بازگشت‌پذیری بسیار کندتر حرکت کرده است. با این وجود، تخلیه از چاه‌های عمیق نیز ۳۹ درصد کاهش یافته که حاکی از افت شدید بهره‌دهی حتی این چاه‌ها است.
- **فروپاشی منابع سنتی:** شدیدترین کاهش مربوط به قنات‌ها (۷۶/۵- درصد) و چاه‌های کم‌عمق (۵۴/۲- درصد) است. این امر نشان‌دهنده تخلیه بخش فوقانی و فعال آبخوان‌ها و ازبین‌رفتن سرمایه‌های تاریخی و طبیعی پایدار است.
- **افت فاجعه‌بار سطح آب در دشت‌ها:** داده‌های پایش ۳۳ دشت نشان می‌دهد ۱۰ دشت در وضعیت افت بحرانی (بیش از ۲۰ متر افت تجمعی) قرار دارند. دشت مهیار شمالی با ۴۵/۳- متر افت، بحرانی‌ترین وضعیت را دارد. میانگین افت تجمعی در دشت‌های استان حدود ۱۲/۲ متر است. این افت‌ها، آبخوان‌ها را در آستانه ورشکستگی هیدرولوژیک و بروز پدیده‌های غیرقابل بازگشت مانند فرونشست زمین قرار داده است.

۴-۴- تحلیل نتایج منابع آب سطحی

منابع آب سطحی استان نیز از روند کاهشی مشابهی رنج می‌برند و نوسانات شدید آن‌ها مدیریت پایدار را دشوار ساخته است:

کاهش حجم خروجی از استان: حجم کل آب اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری خروجی از استان، از ۱۷۰۱/۹ میلیون مترمکعب در سال ۸۶-۱۳۸۵ به ۸۴۴ میلیون مترمکعب در سال ۰۳-۱۴۰۲ کاهش یافته (کاهش حدود ۵۰ درصد). این کاهش هم‌راستا با کاهش بارش در حوزه‌های آبخیز بالادست است.

نوسانات بسیار بالا: سامانه آب سطحی دارای ضریب تغییرات ۵۲/۹ درصد است که بیانگر رژیم هیدرولوژیکی با ریسک بالا و وابستگی شدید به بارش‌های سالانه است. این نوسان، برنامه‌ریزی مطمئن برای تأمین آب را ناممکن می‌سازد.

تغییر ساختار تخصیص آب سطحی: سهم بخش کشاورزی از مصارف آب سطحی از ۷۸/۵ درصد در سال ۸۶-۱۳۸۵ به ۶۴/۲ درصد در سال ۰۳-۱۴۰۲ کاهش یافته، درحالی‌که سهم بخش شرب از ۱۶/۱ درصد به ۳۱/۶ درصد افزایش یافته است. این تغییر ساختاری نشان‌دهنده اولویت‌دهی مدیریتی به تأمین آب شرب در شرایط کم‌آبی و کاهش سهم کشاورزی است.

۴-۵- تحلیل نتایج وضعیت دشت‌های استان

کلاس‌بندی دشت‌های استان بر اساس شدت افت سطح آب زیرزمینی، گرادیان فضایی آشکار بحران را نشان می‌دهد:

دشت‌های با افت بحرانی (>۲۰ متر): عمدتاً در مناطق مرکزی، شمالی و غربی استان (اصفهان-برخوار، مهیار، گلپایگان، کاشان، نجف‌آباد) قرار دارند. این مناطق که کانون‌های اصلی جمعیت، کشاورزی و صنعت هستند، بیشترین فشار برداشت را متحمل شده‌اند.

دشت‌های با افت کم (<۵ متر): عموماً در حاشیه شرقی و جنوب‌شرقی (مناطق کویری) واقع شده‌اند. پایش در این دشت‌ها دیرتر آغاز شده و فشار برداشت نیز به دلیل شرایط طبیعی محدودکننده، کمتر بوده است.

این الگو تأکید می‌کند که بحران آب زیرزمینی در استان یک پدیده متمرکز و مرتبط با مراکز توسعه یافته است. احیای این دشت‌های بحرانی نیازمند فوری‌ترین و قاطع‌ترین اقدامات مدیریتی است.

۴-۶- تحلیل نتایج کلی منابع آب استان

ترکیب و تحلیل یکپارچه تمامی داده‌ها، تصویر نهایی روشنی از وضعیت منابع آب استان ارائه می‌دهد:

- **کاهش شدید منابع در دسترس:** کل آب قابل استحصال استان (زیرزمینی + سطحی) از ۱۰/۵۶ میلیارد مترمکعب در سال ۸۶-۱۳۸۵ به ۵/۶۸ میلیارد مترمکعب در سال ۰۳-۱۴۰۲ رسیده است (کاهش ۴۶ درصدی). این به معنای تقریباً کم‌شدن نیمی از ظرفیت آبی استان در کمتر از دو دهه است.
- **الگوی مدیریت واکنشی و ناپایدار:** سامانه تأمین آب استان در پاسخ به کاهش منابع سطحی، به‌صورت سیستماتیک به برداشت فزاینده از ذخایر زیرزمینی متوسل شده است. سهم آب زیرزمینی از کل تولید عموماً بالای ۶۰ درصد باقی مانده و در سال خشک ۹۷-۱۳۹۶ به ۷۹ درصد افزایش یافته است. این یعنی آبخوان‌ها برای جبران کسری‌های ناشی از تغییر اقلیم و مدیریت ناکارآمد منابع سطحی استفاده شده‌اند.
- **سلطه بخش کشاورزی و کاهش اجباری مصرف آن:** بخش کشاورزی به‌طور میانگین ۸۷ درصد از کل مصرف آب استان را به خود اختصاص داده است. با این حال، مصرف مطلق این بخش از ۷/۰۲ میلیارد مترمکعب به ۳/۳۳ میلیارد مترمکعب کاهش یافته (کاهش ۵۳ درصدی). این کاهش عمدتاً ناشی از کمبود فیزیکی آب و نه لزوماً افزایش بهره‌وری بوده است. حدود ۷۹ درصد از آب مصرفی کشاورزی در سال‌های اخیر از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود که وابستگی خطرناک امنیت غذایی به منابع در حال نابودی را نشان می‌دهد.
- **چرخه معیوب:** تحلیل‌ها یک چرخه معیوب و خودتشدیدگر را نشان می‌دهد:

کاهش بارش و افزایش دما ← کاهش منابع سطحی و افزایش تبخیر ← برداشت اضطراری و فزاینده از آبخوان‌ها ← افت شدید سطح آب و کاهش بهره‌دهی چاه‌ها ← کاهش بیشتر دسترسی به آب و تشدید تنش‌های اجتماعی-اقتصادی.

۴-۷- نتیجه‌گیری کلی

نتیجه‌گیری قاطع و مبتنی بر شواهد این گزارش آن است که استان اصفهان در وضعیت بحران عمیق، چندبعدی و ساختاری آب قرار دارد. این بحران صرفاً یک «کم‌آبی» موقتی نیست، بلکه حاصل ترکیب سه نیروی قدرتمند است:

- تغییرات اقلیمی: که با کاهش بارش (به‌ویژه در مناطق پربارش) و افزایش دما، پایه منابع تجدیدپذیر را تضعیف کرده است.
- مدیریت ناپایدار و واکنشی منابع آب: که با تکیه بر الگوی برداشت بی‌ضابطه از آب‌های زیرزمینی به‌عنوان راه‌حل کوتاه‌مدت، ذخایر استراتژیک را به ورطه نابودی کشانده است.
- الگوی مصرف ناهماهنگ با ظرفیت اکولوژیک: که در آن سهم غالب و غیرمنعطف بخش کشاورزی با روش‌های کم‌بازده، تاب‌آوری کل سیستم را در برابر شوک‌ها از بین برده است.

پیامد این بحران، فراتر از مسائل زیست‌محیطی است و امنیت غذایی، پایداری اجتماعی، سلامت اکوسیستم‌ها (مانند تالاب گاوخونی) و توسعه اقتصادی آینده استان را به‌طور جدی تهدید می‌کند. داده‌های افت آبخوان‌ها و کاهش منابع، گواهی انکارناپذیر بر این مدعاست. استان از مرحله هشدار گذشته و در آستانه پیامدهای غیرقابل بازگشت (مانند فرونشست گسترده زمین) قرار دارد.

۴-۸- پیشنهادات

خروج از این بحران مستلزم یک تحول اساسی در پارادایم مدیریت آب استان، از مدیریت عرضه‌محور و واکنشی به مدیریت تقاضامحور، فعالانه و یکپارچه است. پیشنهادات محوری در چهار محور ارائه می‌شود:

- مدیریت تقاضا و اصلاح الگوی مصرف (اولویت فوری):

بخش کشاورزی: تسریع در تغییر الگوی کشت به سوی محصولات کم‌آب‌بر و با ارزش اقتصادی بالاتر، اجرای گسترده و اجباری سامانه‌های آبیاری با راندمان بالا (تحت فشار، قطره‌ای)، تعیین سهمیه آب براساس آب مجازی و بهره‌وری و بازچرخانی آب کشاورزی.

بخش شرب و صنعت: افزایش بهره‌وری و کاهش هدررفت در شبکه‌های توزیع، استفاده از آب‌های نامتعارف (پساب تصفیه‌شده) برای مصارف غیرشرب و فضای سبز، و اصلاح تعرفه‌ها به گونه‌ای که صرفه‌جویی را تشویق کند.

- حفاظت و احیای منابع آب (اولویت راهبردی):

کنترل سختگیرانه برداشت از آبخوان‌ها: توقف کامل حفر چاه‌های جدید در دشت‌های بحرانی، نصب کنتورهای هوشمند بر روی کلیه چاه‌ها، تعیین و اجرای پروانه‌های بهره‌برداری مبتنی بر بیلان منفی و انسداد چاه‌های غیرمجاز.

احیای آبخوان‌ها: اجرای گسترده پروژه‌های تغذیه مصنوعی (با استفاده از سیلاب‌ها و رواناب‌های کنترل‌شده)، احیای قنات‌ها به عنوان سیستم‌های پایدار برداشت، و حفظ و احیای پهنه‌های تغذیه طبیعی.

مدیریت یکپارچه حوضه زاینده‌رود: تقویت حکمرانی یکپارچه و فراستانی برای تخصیص عادلانه و پایدار آب بین استان‌های ذی‌نفع، با اولویت تأمین حقابه زیست‌محیطی تالاب گاوخونی.

- تاب‌آوری در برابر تغییر اقلیم (اولویت بلندمدت):

✓ تدوین و اجرای برنامه جامع سازگاری با کم‌آبی استان اصفهان با سناریوهای مختلف تغییر اقلیم.

- ✓ پایش و هشدار سریع خشکسالی و ایجاد نظام پاسخگویی منظم به آن.
- ▪ تقویت حکمرانی، مشارکت و آگاهی‌بخشی:
- ✓ شفاف‌سازی و یکپارچه‌سازی داده‌های آب در سطوح مختلف و در دسترس قراردادن آن برای پژوهشگران و ذی‌نفعان.
- ✓ مشارکت واقعی کشاورزان و سایر ذی‌نفعان در طراحی و اجرای برنامه‌های مدیریت آب.
- ✓ آگاهی‌بخشی عمومی درباره عمق بحران و ضرورت تغییر سبک زندگی و مصرف.

این اثر به‌عنوان یک سند تشخیصی، پایه علمی لازم برای خروج از انکار، پذیرش واقعیت‌های تلخ و آغاز حرکت به سمت مدیریت پایدار منابع آب در استان اصفهان را فراهم می‌سازد. فرصت برای اقدامات تدریجی به پایان رسیده است. اقدام قاطع، هوشمندانه و مبتنی بر مشارکت همگانی، تنها راه نجات اکوسیستم آبی و آینده استان است.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان اعلام می‌دارند که این اثر با رعایت کامل اخلاق نشر تهیه شده و هیچ‌گونه سرقت ادبی، رفتار سوء، جعل داده‌ها، ارسال یا انتشار هم‌زمان در جای دیگر صورت نپذیرفته است. همچنین هیچ منافع تجاری در راستای آن وجود نداشته و وجهی بابت ارائه اثر پیش از این دریافت نشده است.

مشارکت نویسندگان: علی دسترنج، بهرام چوبین، مهدی هاشمی، عبدالرسول شفیعی

منابع

- فرزام‌منش، ف.، معظمی، س. و ابوطالبی، م. ۱۴۰۰. بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر ورشکستگی آبی در استان اصفهان. اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب. تهران. ۱-۱۵. https://civilica.com/doc/1442921.
- شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان. ۱۴۰۳. منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی استان به تفکیک محدوده مطالعات سال آبی ۰۳-۱۴۰۲. ۷۷ص.
- یراقی‌فرد، م. و شکوهی بیدهندی، م.ص. ۱۴۰۲. بررسی راهبرد ها در جهت تاب آوری منابع آب در حوزه آبریز زاینده‌رود. چهارمین کنفرانس بین‌المللی و هفتمن کنفراس ملی حفاظت از منابع آب و محیط زیست. ایران. ۱-۱۰. https://civilica.com/doc/1956882/
- Heydari, N., Mumtaz, M. & Taran, F. 2025. Legislation and policy capacities in agricultural water for adapting to climate change in Iran. Iranica Journal of Energy & Environment, 16(3): 528–539.
- Safdari, Z., Nahavandchi, H. & Joodaki, G. 2022. Estimation of groundwater depletion in Iran’s catchments using well data. Water, 14(1): 131. https://doi.org/10.3390/w14010131.

Abstract

Iran, with a predominantly arid and semi-arid climate, faces an average annual precipitation of approximately 273 mm (less than one-third of the global average). Isfahan Province, as a representative case of the water crisis on the Iranian central plateau, is confronted with complex challenges including population growth, high industrial concentration, and severe agricultural dependency on groundwater resources. These factors, combined with the effects of climate change, have led to water budget instability, a sharp decline in groundwater levels, and intensified inter-sectoral competition for water resources. The objective of this report is to present a comprehensive, field data-based analysis of the status of water resources in Isfahan Province from 2006-2007 to 2023-2024, providing a realistic picture of the current situation as a prerequisite for any sustainable planning. This study was conducted using a descriptive-analytical approach and data from the Isfahan Regional Water Company and other credible sources. The spatial scope encompasses Isfahan Province and its main plains (including Isfahan-Borkhar, Kashan, Golpayegan), and the temporal scope covers the water years from 2006-2007 to 2023-2024. The analyzed data include: 1) Groundwater resources, 2) Surface water resources, 3) Meteorological data (precipitation and temperature from 12 synoptic stations from 1992-1993 to 2023-2024), and 4) Water outflow from the province at hydrometric stations. Data analysis was performed using statistical methods, trend charting (in Excel software), calculation of central dispersion indices, and correlation analysis. Analysis of 32 years (1992-1993 to 2023-2024) of precipitation data from 12 stations indicates a general decreasing trend in precipitation across the province. 11 out of 12 stations exhibited a decreasing trend. The most severe decrease occurred at the high-precipitation Samirom station with a slope of -12.6 mm per year. The province's average precipitation has decreased from about 180 mm to 128.2 mm, indicating an intensification of arid conditions. Temperature data over the same period show a clear warming trend in the province. 11 out of 12 stations experienced an increasing temperature trend. The highest increase was observed in arid and low-altitude areas such as Khur and Biabanak. This warming trend exacerbates pressure on water resources through increased evapotranspiration. The province's total exploitable water (groundwater + surface water) decreased from 10.56 billion cubic meters (BCM) in 2006-2007 to 5.68 BCM in 2023-2024, representing a 46% reduction in available resources over 18 years. The share of groundwater in the province's total water production has remained predominantly above 60%, rising to 79% in the

dry year of 2017-2018. This indicates that the water supply system has resorted to emergency groundwater extraction to compensate for surface water shortages. The agricultural sector has accounted for an average of 87% of the province's total water consumption. This sector's consumption decreased from 7.02 BCM at the beginning of the period to 3.33 BCM at the end (a 53% reduction), primarily due to physical water scarcity. Approximately 79% of agricultural water consumption in recent years has been supplied from groundwater sources. The agricultural sector's share of surface water consumption decreased from 78.5% in 2006-2007 to 64.2% in 2023-2024, while the domestic sector's share increased from 16.1% to 31.6%. This structural shift indicates the prioritization of domestic water supply under water-scarce conditions. Total discharge from the four main groundwater sources (deep wells, semi-deep wells, qanats, springs) decreased from 6.02 BCM in 2006-2007 to 3.2 BCM in 2023-2024 (a 46.7% reduction). The most severe reductions were related to qanats (-76.5%) and semi-deep wells (-54.2%). The number of deep wells increased by 146.4% (from 15,387 to 37,946), while the number of semi-deep wells and qanats decreased. This indicates a shift towards extraction from greater depths and depletion of deep aquifers. Monitoring data from 33 plains show that 10 plains are in a critical decline status (over 20 meters of cumulative drop). The North Mahyar plain, with a drop of -30.45 meters, is in the most critical condition. The average cumulative drop in the province's plains is about 12.2 meters. The total volume of water outflow from the province (measured at hydrometric stations) decreased from 1701.9 million cubic meters (MCM) in 2006-2007 to 844 MCM in 2023-2024 (a reduction of approximately 50%). This system exhibits very high variability (coefficient of variation: 52.9%), making sustainable management difficult. The Khurasan (Marber) branch, with an average share of 47.5%, plays a completely dominant role in the province's outflow system. The comprehensive data analysis in this report paints an alarming picture of a multidimensional water crisis in Isfahan Province, including: Declining Resource Trend: Influenced by climate change (decreased precipitation and increased temperatures) and human extraction, both surface and groundwater resources in the province have faced severe quantitative decline. Increasing Dependency on Groundwater: The province's water supply system, in a reactive management pattern, has compensated for surface water deficits primarily through increased extraction from groundwater reserves. This has led to aquifer depletion and placed many main plains on the brink of water bankruptcy, with consequences such as land subsidence. Unbalanced Allocation Trend: Despite a reduction in the absolute share of the agricultural sector, it still holds the dominant share

(approximately 87%) of water consumption. This structural imbalance between sectors has severely reduced the entire system's resilience to climate change. The findings of this report emphasize that Isfahan Province has moved beyond the warning stage and is in a state of water resource crisis. Sole focus on supply-side management (such as inter-basin water transfer) without reforming consumption patterns and resource restoration, transforming agricultural sector management, reviving aquifers, controlling deep well extraction (especially in critical plains), rehabilitating qanats, developing artificial recharge projects, strengthening integrated water governance, establishing effective inter-sectoral and basin-wide coordination, enhancing data transparency, engaging stakeholders in decision-making, and formulating a comprehensive climate change adaptation plan under water scarcity conditions, will not be effective. As a diagnostic document, this report provides the necessary scientific basis for moving away from reactive management and towards proactive, integrated, and sustainable water resource management in Isfahan Province.

Keywords: Agricultural Sector, Aquifer Decline, Climate Change, Groundwater, Integrated Water Resources Management (IWRM), Isfahan Province, Precipitation Trend, Surface Water, Water Crisis.

Ministry of Jihad-e Agriculture
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Title: Analysis of Water Resources Status in Isfahan Province
Authors: Ali Dastranj, Bahram Choubin, Mehdi Hashemi
Editor: Saeed Nabipay Lashkarian
Layout and Cover Designer: Abbas Seddigh
Publisher: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Circulation: 10 Copies
Date of Publication: Spring 2026
This work was registered on **2026-06-13** under number **69457** at the Center for Agricultural Scientific Information and Documentation. All rights reserved. Reproduction of text, images, tables, curves, and charts with proper citation is permitted.

Ministry of Agriculture-Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Technical Manuscript:
Analysis of Water Resources Status in Isfahan Province

Authors:
Ali Dastranj, Bahram Choubin, Mehdi Hashemi

Series Number: 69457

2026

Minstry of Agriculture - Jahad
Agriculture Research, Education and Extention Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Agriculture and Natural Resources Research and Education Center Esfahan Province

Technical Manuscript

Analysis of Water Resources Status in Isfahan Province

Authors:
Ali Dastranj, Bahram Choubin, Mehdi Hashemi

Series Number: 69457

2026