تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی /جلد ۱۸/ شماره ۶۸/سال ۱۳۹۶/ص ۳۲-۱۷

برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی به روش بیلان آب

ابوالفضل ناصری[*]، فریبرز عباسی و مهدی اکبری[**]

* نگارنده مسئول: بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران. تلفن: ۳۲۴۴۲۹۹۳(۰۴۱)، پیام‌نگار: nasseri_ab@yahoo.com

** به‌ترتیب: دانشیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی؛ استاد؛ و دانشیار پژوهش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۹

چکیده

حدود دو سوم آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آبخوان‌های زیرزمینی جهان در بخش کشاورزی به مصرف می‌رسد. در ایران نیز مانند سایر کشورها، بخش قابل‌توجهی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در این بخش استفاده می‌شود. مبنای اساسی برآورد حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی تحلیل مؤلفه‌های بیلان آب در سطح کشور است. متغیر بودن میزان بارش سالانه منشأ مؤلفه‌های بیلان آب در چرخهٔ هیدرولوژی و به‌تبع آن، متغیر بودن حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی، مهم‌ترین دلیلی است که برآورد مجدد مصرف آب در بخش کشاورزی را ضروری می‌سازد. بنابراین، در این پژوهش حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی با رویکرد تفکیک مؤلفه‌های بیلان آب در چرخهٔ هیدرولوژی بر مبنای داده‌های بلندمدت پنجاه‌ساله و کوتاه‌مدت هفت‌ساله بارش در سطح کشور برآورد و تحلیل شده است. میانگین بارش پنجاه‌ساله و هفت‌ساله به‌ترتیب برابر ۵۳±۲۴۹ و ۳۳±۲۰۶ میلی‌متر و میانگین حجم آب مصرفی تعدیل نشده در بخش کشاورزی (بدون احتساب تلفات) برای دو دورهٔ یاد شده به‌ترتیب برابر ۱۸±۶۷ و ۶±۸۳ میلیارد مترمکعب به‌دست آمده است. میانگین آب مصرفی تعدیل شده (با احتساب تلفات) در این بخش در دورهٔ هفت‌ساله برابر ۶±۷۵ میلیارد مترمکعب معادل حدود ۷۱ درصد آب تجدیدپذیر است. تحلیل‌ها نشان می‌دهدکه بر مبنای برازش داده‌های بلندمدت، حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی در مقایسه با حجم آب تجدیدپذیر برابر ۵۰ درصد است. به‌روز کردن برآورد حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی در کشور و تحلیل تغییرات زمانی آن، برجستگی اساسی این پژوهش است. با این‌همه، استفاده از روش بیلان آب برای برآورد مصرف آب در بخش کشاورزی محدودیت‌ها و ساده‌سازی‌های متعددی دارد و برای اطمینان بخشی به نتایج برآوردها، لازم است آزمایش‌های میدانی مناسبی صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی

آب مصرفی کشاورزی، توازن آبی در کشور، سیکل هیدرولوژی، مصارف آب

مقدمه

آب یکی از موادی است که رشد و عملکرد گیاهان وابستگی شدیدی به آن دارد. آبیاری و بارش دو طریق عمدهٔ تأمین نیازمندی گیاه به آب با توجه به شرایط اقلیمی، اگرونومیک و اقتصادی محیط‌های کشاورزی است. در حال حاضر بخش قابل‌توجهی از آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آبخوان‌های زیرزمینی در جهان به مصرف کشاورزی می‌رسد (Nasseri, 1997) و منشأ اصلی آب مصرفی کشاورزی در جهان، بارندگی‌ها در دشت‌ها و ارتفاعات با میانگین ۸۶۰ میلی‌متر در سال است. ایران به‌علت کمی بارندگی‌ها، با کمتر از یک‌سوم میانگین ارتفاع بارش سالانه در جهان و با توزیع نامناسب مکانی و زمانی آن در منطقهٔ خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. حجم آب حاصل از بارش

در سطح کشور بین ۲۸۰ تا ۵۲۰ میلیارد مترمکعب در سال، گزارش شده است (جدول ۱). استفاده از روش‌های بیلان آب در پیکرهٔ آبی و پهنه‌های دشت در مقیاس منطقه‌ای و جهانی یکی از روش‌های مرسوم و مورد قبول آب شناسان جهان است (Sokolov & Chapman, 1974).

جدول ۱- حجم آب حاصل از بارش در سطح کشور به استناد منابع مختلف

ردیف	حجم آب (میلیارد مترمکعب)	منبع
۱	۵۰۰	مهندسین مشاور ماوراء بحار (۱۳۲۸) به نقل از Ghodratnema (1998)
۲	۲۸۰ تا ۵۲۰	Hemat (1972)
۳	۴۹۰	Ganji (1974)
۴	۳۶۹	Anon (1976)
۵	۳۶۵	Anon (1977)
۶	۴۴۰	Anon (1978)
۷	۴۰۰	Kuchakpour (1980)
۸	۴۰۰	Atrchin (1980)
۹	۴۰۰	Eiqanyan (1981)
۱۰	۳۶۵	Ghotbi (1981)
۱۱	۴۰۰	Anon (1981)
۱۲	۴۰۰	Movaheddanesh (1994)
۱۳	۴۱۶	Ghodratnema (1998)
۱۴	۴۱۳	Keshavarz & Sadeghzadeh (1999)
۱۵	۴۰۰	Mohammad-Vali-Samani (2005)

کمیتهٔ ملی آبیاری و زهکشی ایران در نشریهٔ شمارهٔ هشت خود گزارش داده است که حدود ۸۶ میلیارد مترمکعب از حجم آب با منشأ بارش به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم برای زراعت آبی، دیم، مراتع و جنگل‌ها استفاده شده است (Hemat, 1972). قدرت‌نما (Ghodratnema, 1998) منابع و مصارف و نیازهای آبی در کشور را از سال ۱۳۴۲ تا ۱۳۷۲ بررسی کرد و مقدار مصرف آب کشاورزی را پس از کسر نیازهای شرب و صنعت از کل مصرف آب برای این دو سال را به‌ترتیب ۹۹ و ۹۴ درصد گزارش داد. موحددانش (Movaheddanesh, 1994) حجم مصرف آب در بخش کشاورزی را ۷۰ میلیارد مترمکعب گزارش داده است. در تحلیل دیگر، مصرف آب در بخش کشاورزی در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۰ به‌ترتیب برابر ۸۱ و ۸۶ میلیارد مترمکعب گزارش و برای سال ۱۴۰۰ برابر ۱۰۳ میلیارد مترمکعب پیش‌بینی شده است (Mohammad-Vali-Samani, 2005). در گزارش وزارت نیرو به هیأت دولت در سال ۱۳۷۶، مصرف آب در بخش کشاورزی ۸۳ میلیارد مترمکعب ذکر شده است (Anon, 1998).

کوتاه بودن نسبی طول دورهٔ بررسی، بی‌توجهی به برآورد دقیق مؤلفه‌های بیلان آب و بررسی نشدن محدودیت‌های روش بیلان آب از نقاط ضعف بررسی‌های گذشته بوده است. بنابراین، از حجم مصرف آب در بخش کشاورزی به‌ویژه در سال‌های اخیر برای استفاده در برنامه‌ریزی‌های کلان کشور برآورد چندان دقیقی نشده است. از سوی دیگر، با توجه به برخی از قابلیت‌های روش

بیلان آب در چرخهٔ هیدرولوژی کشور، می‌توان از این روش برای برآورد حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی استفاده کرد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف برآورد مؤلفه‌های بیلان آب در چرخهٔ هیدرولوژی کشور، برآورد حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی و بررسی محدودیت‌های روش بیلان آب در تخمین حجم مصرف آب در بخش کشاورزی اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سطح کشور با حدود جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجهٔ عرض‌شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجهٔ طول‌شرقی اجرا شد (Velayati, 1995). این محدوده نزدیک به ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومترمربع وسعت دارد که ۱۶۳۶۰۰۰ کیلومترمربع آن خشکی و ۱۲۰۰۰ کیلومترمربع آن آبی است (Velayati, 1995; Aleyassin, 2005). در این پژوهش برای تحلیل بارش، از آمار بارش دفتر مطالعات پایهٔ منابع آب، شرکت مدیریت منابع آب ایران، وزارت نیرو برای دورهٔ پنجاه سال آبی از ۴۳-۱۳۴۲ تا ۹۳-۱۳۹۲ استفاده شد. میانگین بارش در سطح کشور از ۲۸۱ میلی‌متر در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ به ۱۳۸ میلی‌متر در سال ۸۷-۱۳۸۶ کاهش یافته است؛ میانگین بارش هفت سال اخیر بیش از ۲۰ درصد نسبت به میانگین بارش دورهٔ پنجاه کاهش دارد. بنابراین، نظر به تغییر احتمالی اقلیم و وقوع خشکسالی در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶، محاسبات برای دورهٔ هفت سال اخیر از ۸۷-۱۳۸۶ تا ۹۳-۱۳۹۲ نیز تکرار شد. برای برآورد مصرف آب در بخش کشاورزی بر مبنای بیلان آب در چرخهٔ هیدرولوژی از دستورالعمل طرح جامع آب کشور (بررسی‌های شرکت مهندسین مشاور جاماب)، استفاده شد (Anon, 1991). بنابراین، حجم بارش در گسترهٔ دشت‌ها و ارتفاعات به‌ترتیب ۳۰ و ۷۰ درصد حجم کل بارش در سطح کشور و حجم آب تبخیر شده از گسترهٔ دشت‌ها و ارتفاعات به‌ترتیب ۸۶ و ۶۲/۵ درصد حجم کل بارش در این گسترها در نظر گرفته شد (Anon, 1991). یادآوری می‌شود که حجم آب تبخیر شده از گسترهٔ دشت‌ها و ارتفاعات در واقع همان حجم آب به‌صورت تبخیر و تعرق از این پهنه‌ها، به‌جز آب مصرفی کشاورزی، است و برای اینکه با تبخیر و تعرق در محیط‌های کشاورزی مشتبه نشود، از ترکیب خلاصه‌شده "حجم آب تبخیر شده" استفاده شده است. حجم جریان‌های سطحی در دشت‌ها و ارتفاعات به‌ترتیب برابر ۶/۵ و ۲۹ درصد بارش‌ها بر این دو پهنه منظور شد (Anon, 1991).

جریان سطحی ورودی از مرزهای کشور تابع میزان بارش است و ۱/۲۵ درصد حجم کل بارش در سطح کشور به‌عنوان میانگین جریان سطحی ورودی از مرزهای کشور در نظر گرفته شد (Ghodratnema, 1998; Anon, 2015). با توجه به اینکه حجم آب نفوذیافته در سطح کشور شامل سه مؤلفهٔ نفوذ از بارش در دشت‌ها، نفوذ از بارش در ارتفاعات و نفوذ از جریان‌های سطحی است، حجم آب نفوذ یافته در دشت‌ها و ارتفاعات به‌ترتیب برابر ۷/۵ و ۸/۵ درصد بارش‌ها بر این دو پهنه و ۱۲/۸ درصد حجم جریان‌های سطحی به‌عنوان نفوذ از جریان‌های سطحی در نظر گرفته شد (Anon, 1991). حجم آب تجدیدپذیر کشور از مجموع تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی و جریان‌های سطحی منهای حجم آب نفوذیافته از جریان‌های سطحی به‌دست آمد. مقدار مصرف آب کشاورزی از کسر نیازهای شرب و صنعت از کل مصرف آب به‌دست آمد. مبنای تعیین نیازهای شرب و صنعت و نیز آمار و اطلاعات تغذیهٔ آب زیرزمینی، گزارش‌های وزارت نیروست (Ghodratnema, 1998; Anon, 2015). حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی شامل حجم مصرف آب از منابع آبهای سطحی و زیرزمینی برای تولید

محصولات زراعی و باغی به‌صورت فاریاب و دیم، گیاهان دارویی، گلخانه‌ها، دام، طیور و آبزیان (غیر از ماهیان گرمابی) است (Ghodratnema, 1998).

نتایج و بحث

تغییرات بارش پنجاه‌ساله از سال آبی ۴۳-۱۳۴۲ تا ۹۳-۱۳۹۲ در شکل ۱ ارائه شده است. حداقل و حداکثر مقدار بارش در این دوره به‌ترتیب برابر ۱۳۸ و ۳۷۷ و میانگین آن برابر ۵۳±۲۴۹ میلی‌متر در سال است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که در پنجاه سال اخیر اقلیم کشور در شش سال آبی ۴۴-۱۳۴۳، ۴۵-۱۳۴۴، ۴۹-۱۳۴۸، ۷۸-۱۳۷۷، ۷۹-۱۳۷۸ و ۸۷-۱۳۸۶ شرایط کمبود بارش را داشته است. نظر به تغییرات فعلی الگوی بارش نسبت به گذشته، وقوع بارش‌های کوتاه‌مدت، کاهش مقدار و تعداد بارش‌های مؤثر، و تغییرات احتمالی اقلیم در سطح کشور، در این پژوهش تغییرات بارش برای دورهٔ کوتاه هفت سال اخیر نیز تحلیل شده و حداقل و حداکثر مقدار بارش در این دوره هفت‌ساله به‌ترتیب برابر ۱۳۸، ۲۳۷ و میانگین ۳۳±۲۰۶ میلی‌متر در سال به‌دست آمده است (شکل ۱).

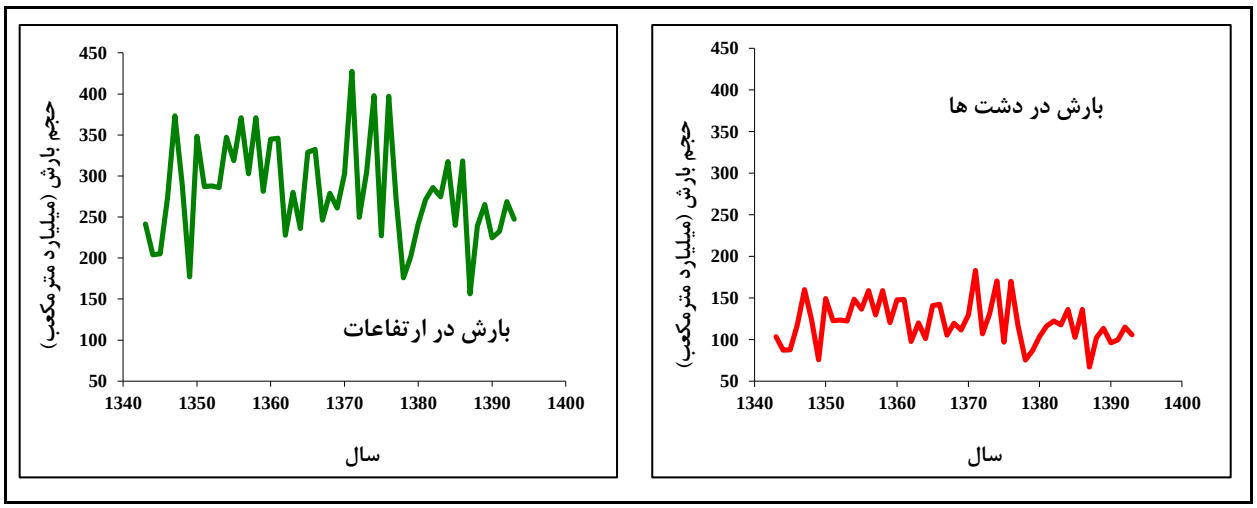
شکل ۱- تغییرات مقدار (ارتفاع) بارش در دورهٔ درازمدت پنجاه‌ساله

متناسب با ارتفاع بارش‌ها، حجم بارش در گسترهٔ دشت‌ها و ارتفاعات از حاصل‌ضرب ارتفاع بارش در مساحت کشور به‌دست آمد. حداقل و حداکثر حجم بارش در طول دوره آماری پنجاه‌ساله به‌ترتیب برابر ۲۲۴ و ۶۱۱ میلیارد مترمکعب و میانگین آن ۸۶±۴۰۳ میلیارد مترمکعب است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که میانگین حجم بارش با مقادیر گزارش شده در (Atrchin, 1980; Kuchakpour, 1980; Anon, 1981; Eiqanyan, 1981; Movaheddanesh, 1994; Mohammad-Vali-Samani, 2005) . مطابقت دارد، ولی با آنچه مهندسین مشاور ماوراء بحار در سال ۱۳۲۸ (به نقل از Hemat, 1972; Ganji, 1974; Anon, 1978; Ghodratnema, 1998; Keshavarz & Sadeghzadeh, 1999) گزارش داده‌اند متفاوت است. منشأ تفاوت حجم بارش در سال‌های مختلف بررسی، به متغیر بودن سالانهٔ مقدار (ارتفاع بارش) در سطح کشور برمی‌گردد. برای دورهٔ آماری هفت‌ساله، حداقل و حداکثر حجم بارش در پهنهٔ دشت‌ها و ارتفاعات کشور به‌ترتیب برابر ۲۲۴ و ۳۸۴ و میانگین آن برابر ۵۴±۳۳۴ میلیارد

مترمکعب است. میانگین حجم بارش در دوره کوتاه‌مدت اخیر (۵۴±۳۳۴ میلیارد مترمکعب) نسبت به دورهٔ پنجاه‌ساله (۸۶±۴۰۳ میلیارد مترمکعب) ۱۷ درصد کاهش نشان می‌دهد.

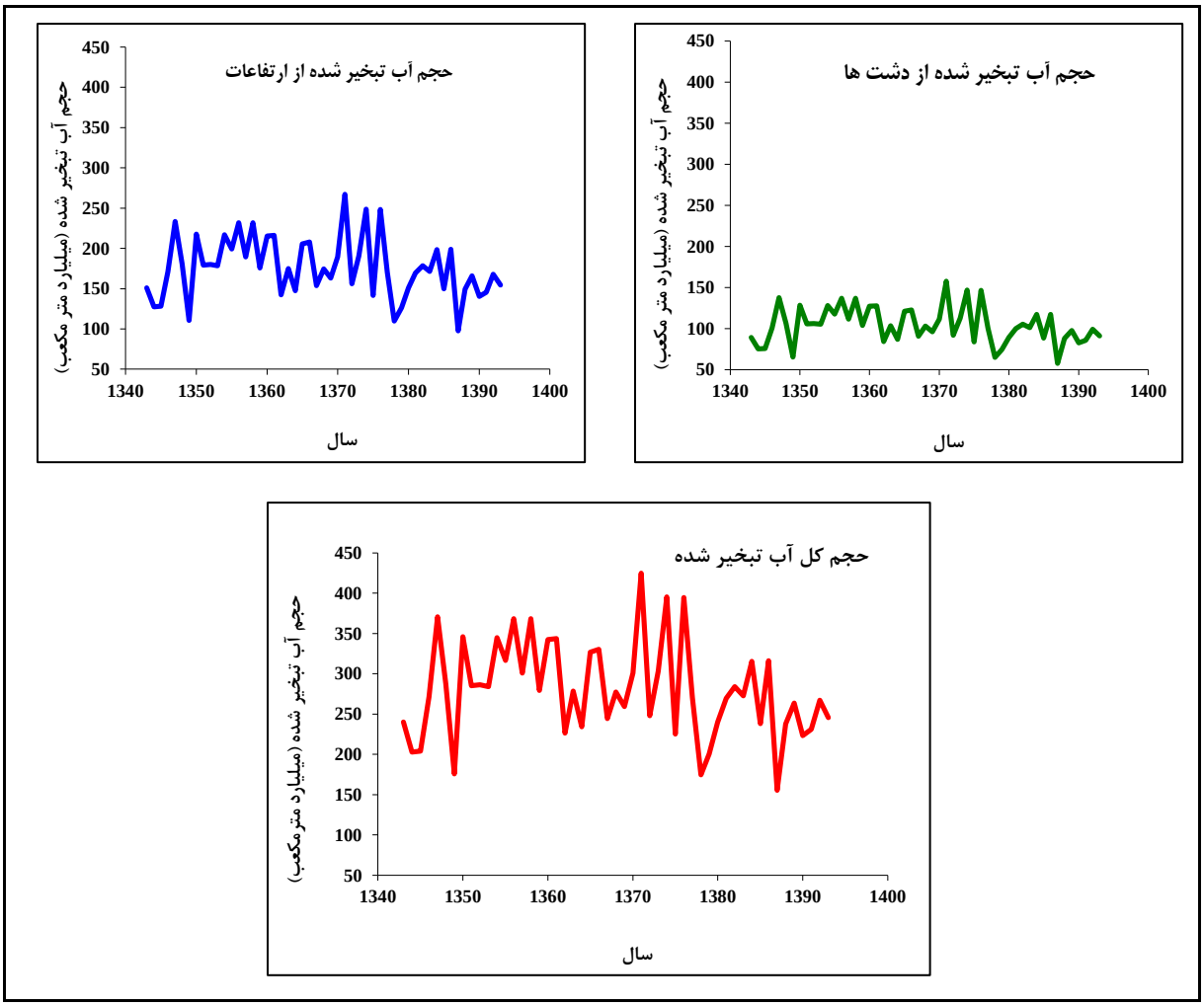
در دورهٔ پنجاه‌ساله، بیشترین حجم بارش در گسترهٔ دشت‌ها و ارتفاعات به‌ترتیب ۱۸۳ و ۴۲۸ میلیارد مترمکعب و کمترین حجم در دشت‌ها و ارتفاعات به‌ترتیب برابر ۶۷ و ۱۵۷ میلیارد مترمکعب است؛ در این دوره، میانگین حجم بارش در گسترهٔ دشت‌ها و ارتفاعات به‌ترتیب برابر ۲۶±۱۲۱ و ۶۰±۲۸۲ میلیارد مترمکعب به‌دست آمده است (شکل ۲).

در دورهٔ کوتاه‌مدت، بیشترین حجم بارش در گسترهٔ دشت‌ها و ارتفاعات به‌ترتیب ۱۱۵ و ۲۶۹ میلیارد مترمکعب و کمترین حجم در دشت‌ها و ارتفاعات به‌ترتیب برابر ۶۷ و ۱۵۷ میلیارد مترمکعب است؛ در این دوره، میانگین حجم بارش در این دو گسترهٔ یاد شده به‌ترتیب برابر ۱۶±۱۰۰ و ۳۸±۲۳۳/۵ میلیارد مترمکعب به‌دست آمده است (شکل ۲).



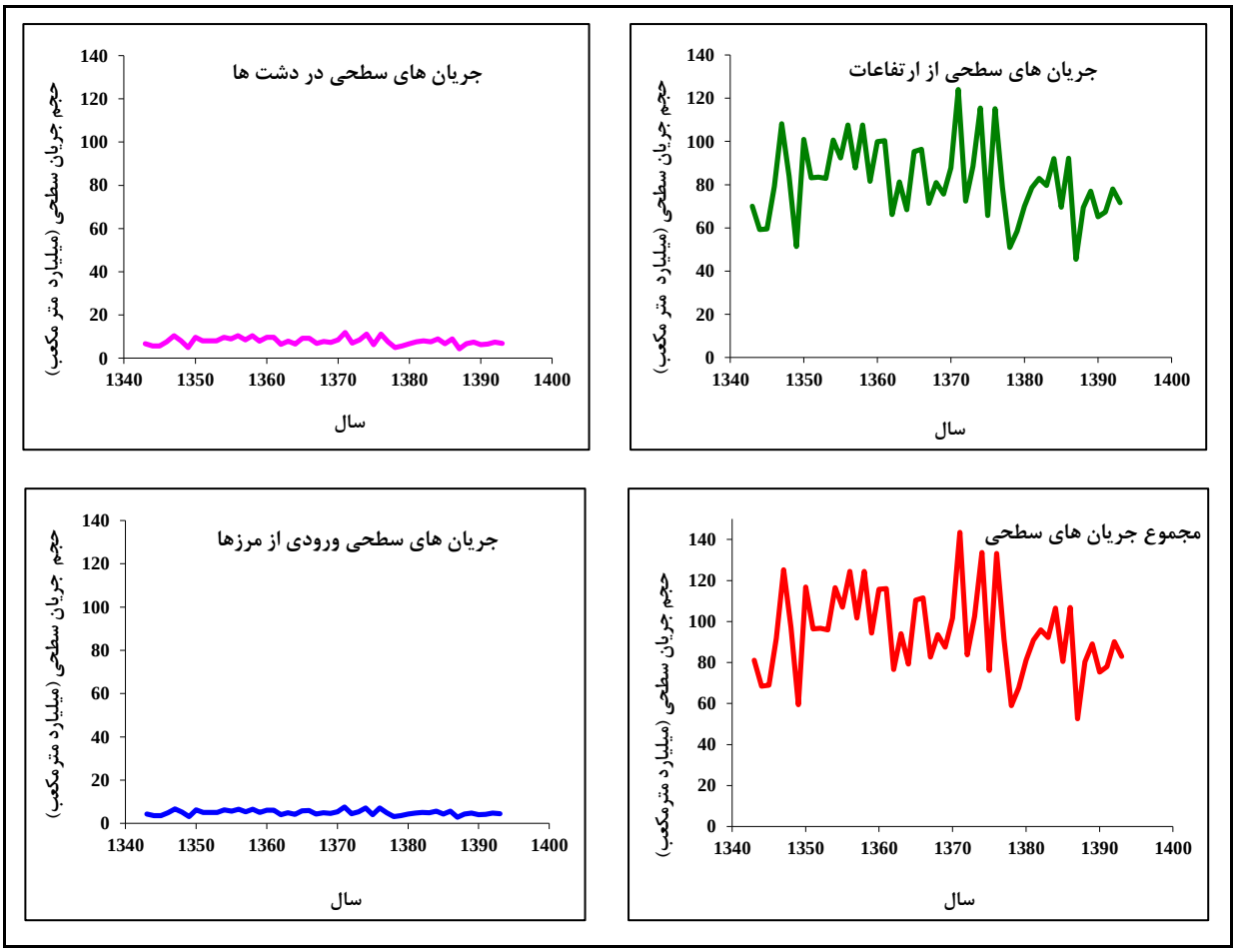
شکل ۲ - حجم بارش در گستره دشت‌ها و ارتفاعات برای دورهٔ پنجاه‌ساله

در دوره پنجاه‌ساله، میانگین حجم آب تبخیرشده در دو گسترهٔ دشت‌ها و ارتفاعات به‌ترتیب برابر ۲۲±۱۰۴ و ۳۸±۱۷۶ میلیارد مترمکعب و حجم آب تبخیر شده از سطح کشور از مجموع آب تبخیر شده از این دو گستره به‌دست آمده است (شکل ۳). حداکثر، میانگین و حداقل حجم آب تبخیرشده از سطح کشور در این دوره به‌ترتیب برابر ۴۲۵، ۶۰±۲۸۰ و ۱۵۶ میلیارد مترمکعب است (شکل ۳). در دورهٔ کوتاه‌مدت، میانگین حجم آب تبخیرشده در دو گسترهٔ دشت‌ها و ارتفاعات به‌ترتیب برابر ۱۴±۸۶ و ۲۳±۱۴۶ میلیارد مترمکعب و حداکثر، میانگین و حداقل حجم آب تبخیرشده از سطح کشور در این دوره به‌ترتیب برابر ۲۶۷، ۳۷±۲۳۲ و ۱۵۶ میلیارد مترمکعب محاسبه شده است (شکل ۳).



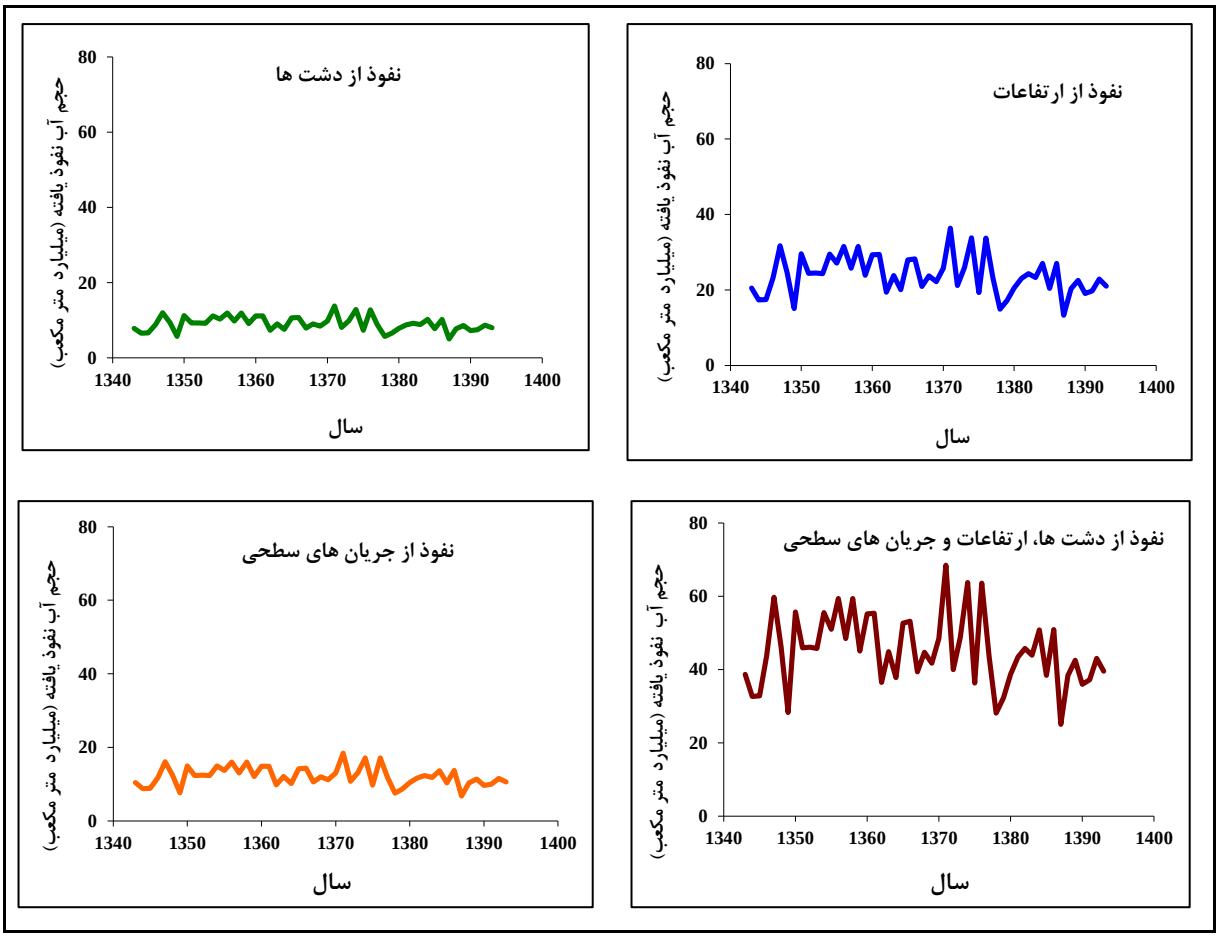
شکل ۳- حجم آب تبخیر شده از گسترهٔ دشت‌ها، ارتفاعات و در سطح کشور در دورهٔ پنجاه‌ساله

در دوره پنجاه‌ساله، میانگین حجم جریان‌های سطحی در دو گسترهٔ دشت‌ها و ارتفاعات به‌ترتیب برابر ۱/۷±۸ و ۸۲±۱۷ و میانگین جریان سطحی ورودی از مرزهای کشور برابر ۱±۵ میلیارد مترمکعب است (شکل ۴). بیشترین، میانگین و کمترین مجموع جریان سطحی در سطح کشور در این دوره به‌ترتیب برابر ۱۴۳/۵، ۲۰±۹۵ و ۵۲/۵ میلیارد مترمکعب برآورد شده است (شکل ۴). در دورهٔ کوتاه‌مدت، میانگین حجم جریان‌های سطحی در دو گسترهٔ دشت‌ها و ارتفاعات به‌ترتیب برابر ۱±۶/۵ و ۱۱±۶۸ و بر مبنای حجم بارش در سطح کشور، میانگین جریان سطحی ورودی از مرزهای کشور برابر ۰/۷±۴/۲ میلیارد مترمکعب به‌دست آمده است (شکل ۴). بیشترین، میانگین و کمترین مجموع جریان سطحی در سطح کشور در این دوره به‌ترتیب برابر ۹۰، ۱۳±۷۸ و ۵۲/۵ میلیارد مترمکعب برآورد گردیده است (شکل ۴).



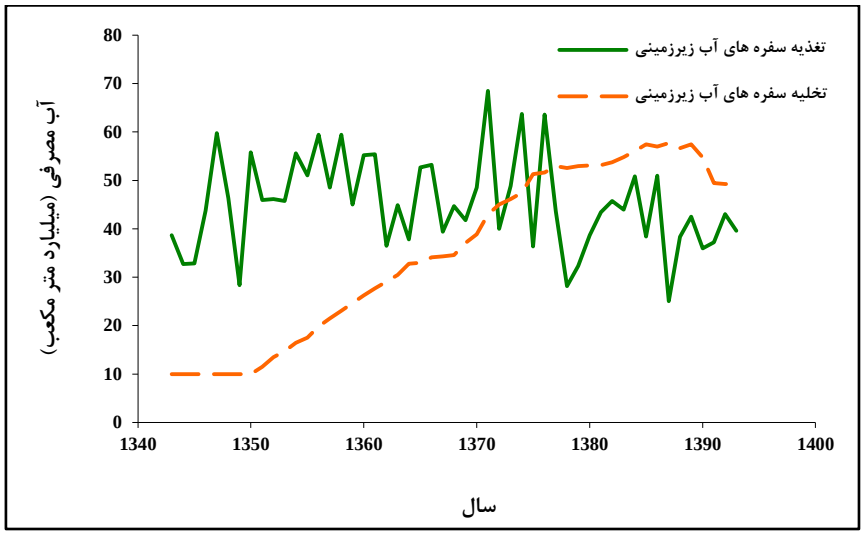
شکل ٤- حجم جریان‌های سطحی در گستره دشت‌ها و ارتفاعات، ورودی از مرزها و مجموع جریان‌های سطحی در کشور در دورهٔ پنجاه‌ساله

در دورهٔ پنجاه‌ساله، میانگین حجم آب نفوذیافته در سه گسترهٔ دشت‌ها و ارتفاعات و بستر جریان‌های سطحی به‌ترتیب برابر ۲±۹، ۵±۲۴ و ۳±۱۲ میلیارد مترمکعب برآورد شده است (شکل ۵). بیشترین، میانگین و کمترین حجم آب نفوذ یافته در سطح کشور در این دوره به‌ترتیب برابر ۶۸ و ۱۰±۴۵ و ۲۵ میلیارد مترمکعب به‌دست آمده است (شکل ۵). در دورهٔ کوتاه‌مدت، میانگین حجم آب نفوذیافته در سه گسترهٔ دشت‌ها و ارتفاعات و بستر جریان‌های سطحی به‌ترتیب برابر ۱/۲±۷/۵، ۳/۲±۱۹/۸ و ۱/۶±۱۰ میلیارد مترمکعب و بیشترین، میانگین و کمترین حجم آب نفوذیافته در این دوره در سطح کشور به‌ترتیب برابر ۴۳ و ۶±۳۷/۴ و ۲۵ میلیارد مترمکعب برآورد شده است (شکل ۵).



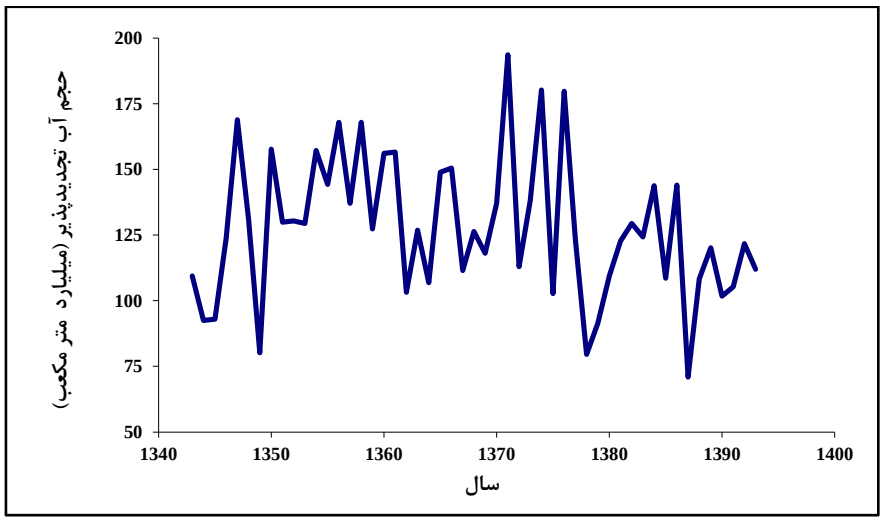
شکل ۵- مؤلفه‌های نفوذ از بارش در دشت‌ها، ارتفاعات، جریان‌های سطحی و مجموع حجم آب نفوذیافته در سطح کشور در دورهٔ پنجاه‌ساله

در دورهٔ پنجاه‌ساله، بیشترین، میانگین و کمترین حجم تغذیهٔ سفره‌های زیرزمینی به‌ترتیب برابر ۶۸ و ۱۰±۴۵ و ۲۵ و بیشترین، میانگین و کمترین حجم تخلیهٔ سفره‌های زیرزمینی به‌ترتیب برابر ۵۷ و ۱۷±۳۵ و ۱۰ میلیارد مترمکعب محاسبه شده است (شکل ۶). در دورهٔ هفت‌ساله، بیشترین، میانگین و کمترین حجم تغذیه سفره‌های زیرزمینی به‌ترتیب برابر ۴۳ و ۶±۳۷ و ۲۵ میلیارد مترمکعب برآورد گردیده است. بیشترین، میانگین و کمترین حجم تخلیهٔ سفره‌های زیرزمینی در این دوره به‌ترتیب برابر ۵۸ و ۴±۵۴ و ۴۹ میلیارد مترمکعب برآورد شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که در سال آبی ۹۳-۱۳۹۲، میزان تغذیه و تخلیه از سفره‌های زیرزمینی به‌ترتیب برابر ۳۹/۶ و ۴۹/۳ میلیارد مترمکعب بوده است (Anon, 2015). به‌عبارت دیگر، حدود ۱۰ میلیارد مترمکعب از منابع آب زیرزمینی برای مصرف در بخش کشاورزی اضافه برداشت شده است. از سال ۱۳۸۰ به بعد، برداشت آب از منابع آب زیرزمینی همواره از تغذیهٔ سفره‌ها بیشتر بوده است (شکل ۶). بیلان آب زیرزمینی در هفت سال گذشته حدود ۱۱۳ میلیارد مترمکعب منفی بوده است. بنابراین لازم است برنامه‌ریزی مناسب برای تثبیت بیلان آب یا جبران کسری مخازن آب زیرزمینی با راهکارهای مناسب کارشناسی و مهندسی صورت گیرد.



شکل ٦- حجم تغذیه و تخلیهٔ آب زیرزمینی در دورهٔ پنجاه‌ساله در سطح کشور

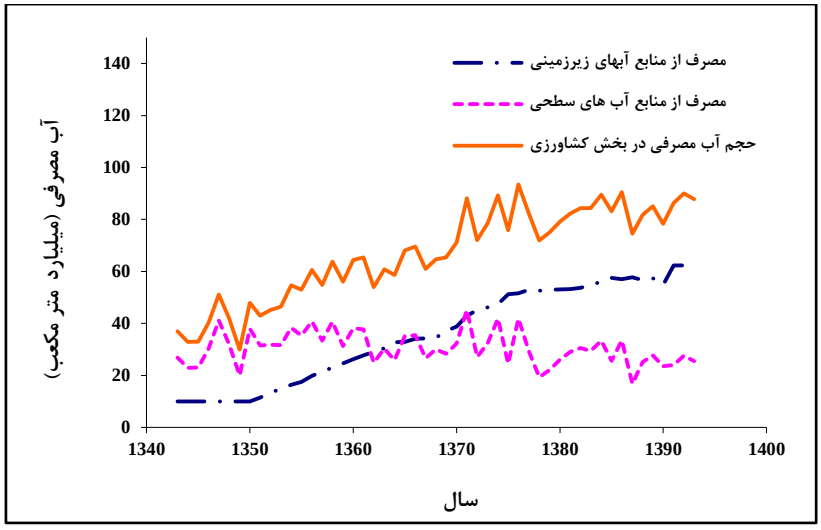
حجم آب تجدیدپذیر کشور از مجموع تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی و جریان‌های سطحی، منهای حجم آب نفوذیافته از جریان‌های سطحی، محاسبه شده است (شکل ۷). بیشترین، میانگین و کمترین مقدار آب تجدیدپذیر کشور در دورهٔ پنجاه ساله به‌ترتیب برابر ۱۹۴، ۱۲۸±۲۷ و ۷۱ میلیارد مترمکعب به‌دست آمده است. این مقادیر برای دورهٔ هفت ساله به‌ترتیب برابر ۱۲۲، ۱۰۶±۱۷ و ۷۱ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود.



شکل ۷- حجم آب تجدیدپذیر در دورهٔ پنجاه‌ساله در سطح کشور

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در فرآیند مصرف آب در بخش کشاورزی، بخشی از هدررفت‌های آب در چرخهٔ تولید محصولات کشاورزی قرار نمی‌گیرد. بنابراین، مصرف آب در بخش کشاورزی به دو صورت تعدیل نشده (با احتساب هدررفت‌ها به‌عنوان مصرف) و تعدیل شده (با کسر هدررفت‌ها) تحلیل می‌شود. لازم است توضیح داده شود که مصرف آب در بخش کشاورزی از منابع آب سطحی بر اساس بیلان آب به‌دست آمد. تخلیهٔ آب زیرزمینی برای استفاده در بخش کشاورزی بر اساس آمار دفتر مطالعات پایهٔ منابع شرکت مدیریت منابع آب ایران،

وزارت نیرو به‌دست آمده است (Anon, 2015). مجموع مصرف آب از منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌عنوان کل مصرف آب در بخش کشاورزی در نظر گرفته شد. سهم مصرف آب از هریک از منابع، از تقسیم مقدار آب مصرفی بخش کشاورزی از آن منبع به کل مصرف آب در بخش کشاورزی به‌دست آمده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که در دورهٔ پنجاه ساله، بیشترین حجم مصرف تعدیل نشدهٔ آب در بخش کشاورزی برابر ۹۳ میلیارد مترمکعب است؛ در اینجا سهم مصرف آب از منابع سطحی ۴۱ و سهم مصرف آب از منابع زیرزمینی ۵۲ میلیارد مترمکعب است (شکل ۸). کمترین حجم مصرف آب برابر ۳۰ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود که سهم مصرف آب از منابع سطحی ۲۰ و زیرزمینی ۱۰ میلیارد مترمکعب است (شکل ۸). میانگین پنجاه ساله حجم مصرف آب تعدیل نشده در بخش کشاورزی برابر ۱۸±۶۷ میلیارد مترمکعب تعیین گردیده است (شکل ۸). در دورهٔ هفت‌ساله، بیشترین حجم مصرف آب برابر ۹۰ میلیارد مترمکعب است که از این مقدار سهم مصرف آب از منابع سطحی ۲۲/۶ و زیرزمینی ۵۷/۴ میلیارد مترمکعب برآورد شده است. در این دوره، کمترین حجم مصرف آب برابر ۷۴/۵ میلیارد مترمکعب که سهم مصرف آب از منابع سطحی و زیرزمینی به‌ترتیب ۸/۳ و ۵۷/۷ میلیارد مترمکعب برآورد گردیده است. میانگین کوتاه‌مدت (هفت‌ساله) حجم مصرف آب در بخش کشاورزی برابر ۸۳±۶ میلیارد مترمکعب محاسبه شده که سهم مصرف آب از منابع سطحی و زیرزمینی به‌ترتیب ۱۸/۵±۵ و ۵۷±۰/۹ میلیارد مترمکعب است. حجم آب مصرفی یادشده برای بخش کشاورزی به‌صورت تعدیل نشده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که سهم مصرف آب در بخش کشاورزی از ۲۳ تا ۸۰ درصد از منابع آب‌های سطحی و از ۲۰ تا ۷۷ درصد از منابع آب‌های زیرزمینی متغیر است. در دورهٔ آماری پنجاه ساله، سهم مصرف آب کشاورزی به‌طور میانگین ۱۷±۴۹ و ۱۷ ±۵۱ درصد متعلق به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است. در دورهٔ آماری هفت‌ساله، سهم مصرف آب کشاورزی به‌طور میانگین ۶±۲۴/۳ و ۶±۷۶ درصد به‌ترتیب متعلق به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است. سهم مصرف آب در بخش کشاورزی از منابع آب سطحی در پنجاه سال گذشته تغییرات زیادی نداشته ولی از منابع آب زیرزمینی از دههٔ ۷۰ به بعد افزایش معنی‌داری داشته است (شکل ۸).



شکل ۸- مؤلفه‌های آب مصرفی در دورهٔ پنجاه‌ساله در بخش کشاورزی

رابطهٔ بین حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی و حجم آب تجدیدپذیر بر مبنای آمار بارش پنجاه ساله با استفاده از تحلیل رگرسیون به‌صورت زیر به‌دست آمده است؛

$$AWC=0.50\ RW \quad r=0.95 \qquad (1)$$

که در آن،

AWC= حجم مصرف آب در بخش کشاورزی در سطح کشور (میلیارد مترمکعب)؛ و RW= حجم آب تجدیدپذیر در سطح کشور (میلیارد مترمکعب). برای مثال، به‌ازای حجم آب تجدیدپذیر برابر با ۱۰۵ میلیارد مترمکعب، حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی برابر ۵۲/۵ میلیارد مترمکعب است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که بخشی از هدررفت‌های آب در چرخهٔ تولید محصولات کشاورزی قرار نمی‌گیرد و در نتیجه لازم است حجم مصرف آب در بخش کشاورزی در سال‌های مختلف، به‌ویژه در هفت سال اخیر، بر مبنای اطلاعات زیر تصحیح یا تعدیل گردد:

- سطح آب پشت دریاچهٔ سدها؛ در تراز نرمال (Barideh & Elyasi, 2008) در شش حوزهٔ آبخیز اصلی و تبخیر از سطح آزاد آب، حجم تبخیر از سطح دریاچه سدهای مخزنی کشور برآورد شده است (جدول ۲). تبخیر از سطح آزاد آب بر اساس مقادیر تبخیر از تشتک برای سال آبی ۹۳-۱۳۹۲ و با اعمال ضریب ۰/۷۵ تا ۰/۸۰ به‌دست آمده است (Sokolov & Chapman, 1974). کمترین و بیشترین میزان تبخیر از سطح دریاچه سدهای مخزنی به‌ترتیب برابر ۱/۳۵ و ۳/۱۸ میلیارد مترمکعب است. میانگین تبخیر از سطح دریاچه‌های ۱۴۷ سد مخزنی بزرگ در کشور، ۲/۳ میلیارد مترمکعب برآورد شده که بدیهی است تبخیر از سطح دریاچه‌های کل سدهای در حال بهره‌برداری کشور بیشتر این میزان خواهد بود.

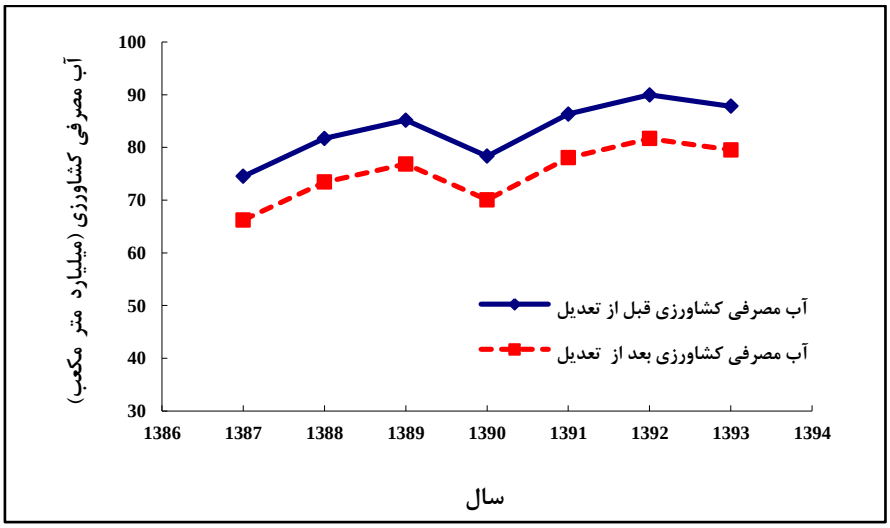
جدول ۲- میزان تبخیر از سطح دریاچه سدهای مخزنی کشور

ردیف	حوزهٔ آبخیز اصلی	سطح دریاچه در تراز نرمال (هکتار)	تبخیر از تشتک		تبخیر از سطح آزاد آب		حجم تبخیر از سطح دریاچه	
			حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل
			(میلی‌متر)				(میلیون مترمکعب)	
۱	دریای خزر	۳۷۸۷۰	۲۵۷۶	۷۱۲	۱۹۳۲	۵۷۰	۷۳۲	۲۱۶
۲	خلیج‌فارس و دریای عمان	۵۱۸۵۳	۴۱۵۲	۱۵۱۵	۳۱۱۴	۱۲۱۲	۱۶۱۵	۶۲۸
۳	دریاچهٔ ارومیه	۸۳۹۵	۱۵۱۵	۱۳۳۳	۱۱۳۶	۱۰۶۶	۹۵	۹۰
۴	مرکزی	۱۷۲۸۵	۳۵۶۱	۱۶۶۷	۲۶۷۱	۱۳۳۴	۴۶۲	۲۳۱
۵	هامون	۵۳۰۸	۴۲۸۰	۲۴۵۵	۳۲۱۰	۱۹۶۴	۱۷۰	۱۰۴
۶	سرخس	۵۴۵۷	۲۵۶۱	۱۸۴۸	۱۹۲۱	۱۴۷۸	۱۰۵	۸۱
	مجموع						۳۱۷۹	۱۳۴۹

- میانگین کوتاه‌مدت (هفت‌ساله) حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی، برابر ۶±۸۳ میلیارد مترمکعب، که سهم مصرف آب از منابع سطحی برابر ۵±۱۸/۵ میلیارد مترمکعب است. اگر حجم آب تبخیر شده از دریاچهٔ سدها از این مقدار کسر گردد، حجم ناخالص آب سطحی برای بخش کشاورزی برابر ۱۶/۲ میلیارد مترمکعب خواهد شد. با لحاظ کردن ۷۵ درصد برای راندمان انتقال و توزیع آب (Abbasi *et al.*, 2016)، حجم خالص آب سطحی برای بخش کشاورزی (با فرض تخصیص همهٔ آن به بخش کشاورزی) برابر ۱۲/۲ میلیارد مترمکعب به‌دست می‌آید. از تفاوت حجم آب در شرایط ناخالص و خالص، حجم تلفات آب در مسیر انتقال و توزیع در شبکه‌های آبیاری ۴ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود.

- با توجه به گزارش معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی که حدود ۳۶۰۰۰ قنات فعال در کشور وجود دارد و سالانه حدود ۸ میلیارد مترمکعب آب از قنات‌ها استحصال می‌گردد (Anon, 1981)؛ بر اساس برآورد کارشناسی مؤلفان، حدود ۲۵ درصد یعنی ۲ میلیارد مترمکعب آب این قنات‌ها، در فصل‌های غیرآبیاری بدون استفادهٔ مستقیم و مؤثر در تولیدات کشاورزی از دسترس خارج می‌شود. بنابراین، با احتساب حجم تبخیر از دریاچهٔ سدها (۲/۳ میلیارد مترمکعب)، تلفات در شبکه‌های آبیاری (۴/۰ میلیارد مترمکعب) و هدررفت آب قنات در فصل‌های غیرآبیاری (۲/۰ میلیارد مترمکعب)، در مجموع ۸/۳ میلیارد مترمکعب آب در چرخهٔ تولید محصولات کشاورزی قرار نمی‌گیرد و لازم است حجم آب مصرفی بخش کشاورزی نسبت به این هدررفت‌ها تعدیل شود. یادآوری می‌شود که نیاز آبی حفاظت محیط‌زیست جز بخش آب مصرفی در بخش کشاورزی لحاظ نشده است.

تعدیل تغییرات مصرف آب در بخش کشاورزی برای هفت سال اخیر موجب تغییر میانگین حجم آب مصرفی ۶±۸۳ میلیارد مترمکعب به ۶±۷۵ میلیارد مترمکعب گردید (شکل ۹). بر این اساس، در هفت سال اخیر، ۷۰/۷ درصد آب تجدیدپذیر در بخش کشاورزی مصرف شده است.



شکل ۹- حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی قبل و بعد از تعدیل

محدودیت‌های روش بیلان آب

به روز کردن برآورد حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی و تحلیل تغییرات زمانی آن، برجستگی اساسی این پژوهش است. با این‌همه، استفاده از روش بیلان آب برای برآورد مصرف آب در بخش کشاورزی دارای محدودیت‌ها و ساده‌سازی‌های متعددی است که به برخی از آنها اشاره می‌شود (Nasseri, 2015).

در روش بیلان آب برای برآورد تبخیر، نفوذ و جریان سطحی، فرضیاتی به‌صورت درصدی از بارش لحاظ می‌شود که نیازمند مهندسی مجدد، تجدیدنظر اساسی و پژوهش میدانی است.

لازم است مقدار جریان سطحی و زیرسطحی ورودی و خروجی از مرزهای کشور به‌دقت اندازه‌گیری یا با روش‌های مستند و معتبر علمی برآورد شود.

نحوهٔ اندازه‌گیری و مقدار آب مصرفی بخش کشاورزی از منابع آب زیرزمینی نیازمند شفافیت بیشتری است.

استفاده از سایر رویکردهای برآورد مصرف آب در بخش کشاورزی از جمله استفاده از شاخص‌های کارآیی مصرف آب، نیازمندی محصول به آب و... می‌تواند ضمن اینکه حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی را با دقت بیشتر تعیین کند مفید و با نتایج پژوهش حاضر قابل مقایسه باشد.

حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی با تفکیک مؤلفه‌های بیلان آب در چرخهٔ هیدرولوژی کشور، برابر دستورالعمل طرح جامع آب کشور، برآورد شده و نتایج دارای تقریب‌سازی‌هایی است که تدقیق نتایج و یافته‌ها مستلزم آزمایش یا آزمایش‌هایی دقیق است تا مؤلفه‌های بیلان آب در بیش از ۶۰۰ واحد هیدرولوژی کشور تعیین شود و لازم است مقادیر برخی از متغیرها به‌صورت ماهانه یا سالانه نیز پایش گردد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، حجم مصرف آب در بخش کشاورزی بر مبنای روش بیلان آب در چرخهٔ هیدرولوژی برآورد و تحلیل شد. نظر به تغییرات الگوی فعلی بارش نسبت به گذشته، وقوع بارش‌های کوتاه‌مدت، کاهش مقدار و تعداد بارش‌های مؤثر در کشور و وجود تغییرات اقلیمی، در این پژوهش علاوه بر تحلیل پنجاه‌ساله تغییرات بارش در سطح کشور، تغییرات بارش برای دورهٔ کوتاه هفت سال اخیر نیز تحلیل شد. میانگین پنجاه‌سالهٔ بارش برابر ۵۳±۲۴۹ میلی‌متر و میانگین هفت‌سالهٔ بارش برابر ۳۳±۲۰۶ میلی‌متر به‌دست آمد. میانگین حجم مصرف آب تعدیل شده در بخش کشاورزی در دورهٔ هفت‌ساله برابر ۶±۷۵ میلیارد مترمکعب به‌دست آمد. در سال ۱۳۹۲ حدود ده میلیارد مترمکعب از منابع آب زیرزمینی برای مصرف در بخش کشاورزی اضافه برداشت شده است. به دلیل در دسترس نبودن مقدار دقیق آب مصرفی از سایر منابع (مانند تجارت آب مجازی، آب برگشتی و شیرین‌سازی آب)، در این پژوهش این مؤلفه‌ها در برآورد آب مصرفی کشاورزی در نظر گرفته نشد. استفاده از روش بیلان آب برای برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی محدودیت‌ها و ساده‌سازی‌های متعددی دارد که برای تدقیق برآورد آب مصرفی در این بخش، پیشنهاد می‌شود از سایر رویکردهای برآورد مصرف آب در بخش کشاورزی، ازجمله شاخص‌های کارآیی مصرف آب، راندمان آبیاری و نیاز واقعی محصول به آب، نیز استفاده شود.

قدردانی

پژوهشگران این پژوهش از مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی به‌خاطر تصویب و تأمین اعتبارات لازم برای اجرای این پروژه قدردانی می‌کنند.

مراجع

Abbasi, F., Sohrab, F. and Abbasi, N. 2016. Evaluating on irrigation efficiencies and temporal and spatial variations in Iran. Technical Note No. 48496. Agricultural Engineering Research Institute. Karaj. Iran. (in Persian)

Aleyassin, A. 2005. Water in Crisis. Iranian Society of Consulting Engineers. (in Persian)

Anon. 1976. Rainfall report for Iran. Office of Surface Water. Ministry of Energy. Tehran. Iran. (in Persian)

Anon. 1977. Rainfall report for Iran. Office of Surface Water. Ministry of Energy. Tehran. Iran. (in Persian)

Anon. 1978. Iran national water plan. Final Report. Vol. X . Bureau of Water Planning, Development and Resources Corporation. Ministry of Energy. Tehran. Iran. (in Persian)

Anon. 1981. Recognition of Qanats. Proceedings of the First Seminar on Reconstruction and Rehabilitation of Qanats. June 27- July 2. Mashhad. Iran. (in Persian)

Anon. 1991. Water master plan for Iran. Groundwater Resources. Jamab Consulting Engineers. Tehran. (in Persian)

Anon. 1998. The feature of water and sanitation, electricity, energy and subsidies of water and electricity. Report of the Ministry of Energy to the Government Cabinet. (in Persian)

Anon. 2015. Groundwater statues of Iran. Report of Groundwater Department. Water Resources Studies. Ministry of Energy. Tehran. Iran. (in Persian)

Atrchin, M. 1980. The interpretation of government policies and current priorities. Seminar on Water. Ministry of Energy. Tehran. Iran. (in Persian)

Barideh, M. and Elyasi, G. H. 2008. Estimation of evaporation from dams reservoirs by evaporation pan. 3rd Conference on Water Resources Management. Tabriz University. (in Persian)

Eiqanyan, R. 1981. The effect of the geo-ingredients on water quality. 3rd Symposium on Geology of Iran. Association of Iranian Oil. Iranian Oil Company. March 12-14. Tehran. Iran. (in Persian)

Ganji, M. H. 1974. Rainfall analysis. Geographically articles. Sahab Cartography Institute. (in Persian)

Ghodratnema, G. H. 1998. Water resources, uses and demands for water in Iran: present and future. J. Water Develop. 6(3): 20-46. (in Persian)

Ghotbi, M. S. 1981. Inadequacy of the national water and the self-sufficiency in agriculture. Ministry of Energy. Water Affairs, Investigations Office for Water Resources and Surface Water. (in Persian)

Hemat, B. 1972. Development of water resources in the fifth development plan of Iran. Second Seminar on Irrigation and Drainage. The National Committee of Irrigation and Drainage, Ministry of Water and Power. (in Persian)

Keshavarz, A. and Sadeghzadeh, K. 1999. Current situation, future perspective and strategies for improving water. 10th Conference of National Committee of Irrigation and Drainage. (in Persian)

Kuchakpour, A. 1980. A brief report on the water resources of Iran. Seminar on Water. Ministry of Energy. Tehran, Iran. (in Persian)

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

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

Nasseri, A. 1997. Improving irrigation efficiency is a procedure for sustainable application of water resources. Conference on Water Resources Utilization and Efficiency. Aug. 12-14. Ministry of Energy. Educational and Research Complex of Azarbaijan. Tabriz. (in Persian)

Nasseri, A. 2015. Estimating agricultural water consumption based on water balance in hydrological cycle of Iran and its limitations. Research Report. Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)

Sokolov, A. A. and Chapman T. G. 1974. Methods for water balance computations: An international guide for research and practice. Unesco Press.

Velayati, S. A. 1995. The Geography of Water and Water Resources Management. Khorasan Pub. (in Persian)

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.18/No.68/2017/P:17-32

Estimating Agricultural Water Consumption by Analyzing Water Balance

A. Nasseri*, F. Abbasi and M. Akbari

* Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, East Azarbayjan Agricultural and Natural Resources Educational and Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Email: Nasseri_Ab@yahoo.com
Received: 26 February 2016, Accepted: 29 June 2016

About two-thirds of rivers, lakes and groundwater are applied for agricultural production in the world. Same as other countries, a significant fraction of surface and groundwater resources are used in agricultural sector in Iran. Water balance at country scale is the origin of estimation of applied water as agricultural consumption. The variability of annual precipitation is as the origin of the components of water balance in hydrological cycle, caused changeability in the water consumption of agricultural sector which are important reasons for estimating and re-estimating consumptive water in agricultural sector. Therefore, in this study, consumptive water of agricultural sector was analyzed based on long term (50 years) and short term (current 7 years) measured data for precipitation with the method of water balance in hydrological cycle in the country. Results revealed that average annual precipitation were 249±53 and 206±33 mm for two long and short studied periods, and the consumption water in agricultural sector were 67 ±18 and 83±6 km^3 for long (50 years) and short (7 years) periods for non-modified conditions. The modified consumption water for the short period was 75±6 MCM. Results revealed that for the long period, the water consumption in agricultural sector was 0.50 of renewable water in the country. The outstanding of this study was up to date estimating of the water consumption in agricultural sector and its analysis. But applying water balance method for this purpose has some substantial limitations and non-reliable simplifications. Therefore suitable experiments are needed to reliably the results.

Key Words: Agricultural Water Consumption, Hydrological Cycle, Water Balance in the Country, Water Consumption.