

برنامه ریزی و تخصیص منابع آب حوضه آبریز اترک و سد چایلی با استفاده از نرم افزار Vensim

بهروز شعبانی^۱، امین حسنی^۲، افراسیاب میرزایی^۳، مهران فرهنگ^۴، مسعود جعفری^۵

- ۱-مدیر طرح سد چایلی، شرکت آب منطقه ای استان گلستان، گرگان، گلستان
- ۲-مدیر سرمایه گذاری طرحها، شرکت آب منطقه ای استان گلستان، گرگان، گلستان
- ۳-مدیر طرحهای آبیاری و زهکشی، شرکت آب منطقه ای استان گلستان، گرگان، گلستان
- ۴-معاونت طراحی و مهندسی، شرکت مهندسی مشاور لار، تهران
- ۵-رئیس گروه مدیریت بحران و پدافند غیرعامل، شرکت آب منطقه ای استان گلستان، گرگان، گلستان

آدرس رایانامه نویسنده رابط: aminh85@yahoo.com

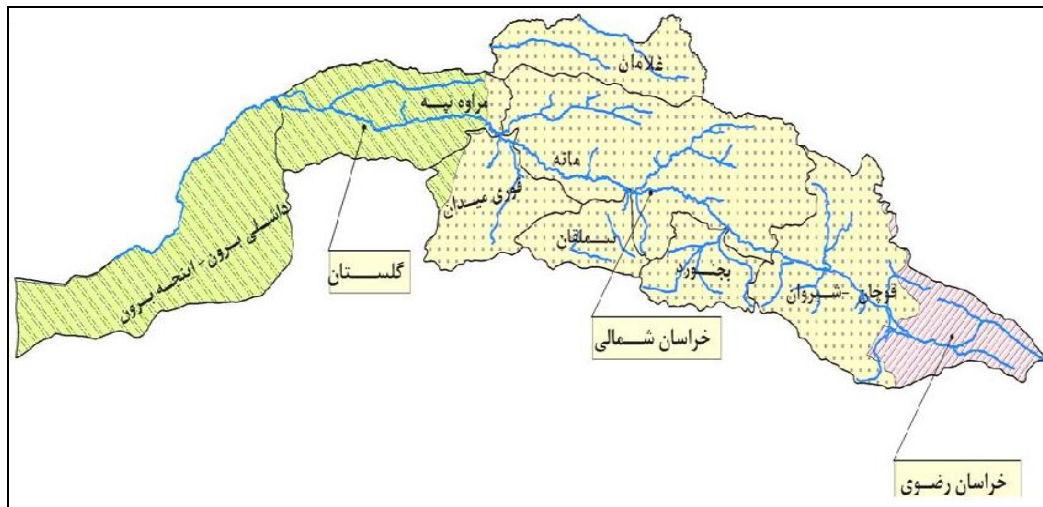
خلاصه

به منظور بررسی منابع و مصارف آب در بالادست این سد در استانهای خراسان رضوی و شمالی، بازنگری در برنامه ریزی منابع آب حوضه آبریز رودخانه اترک از بالادست تا دریا بصورت یکپارچه نگر و در قالب نظامنامه تخصیص آب وزارت نیرو، در دستور کار این پژوهش قرار گرفته است. مدل مفهومی سیستم منابع و مصارف آب محدوده مطالعاتی در قالب مدل پویا و با استفاده از نرم افزار Vensim شبیه سازی شده و وضعیت تأمین نیاز آبی پایدار سیستم ارائه خواهد شد. روش کار به این صورت خواهد بود که مقادیر حجم ذخیره، تنظیمی و تأمین استاندارد هر یک از نیازهای از پیش تعریف شده سد، در شرایط آبدهی دوره ایستای بارش حوضه آبریز سیستم شبیه سازی شده و در نهایت نتایج این شبیه سازیهای انجام شده در سناریوهای مختلف، ارائه شده است. محاسبات برنامه ریزی منابع آب بر اساس مقایسه سری زمانی ماهانه منابع آب و برداشت مصارف مختلف از سراب تا پایاب حوضه انجام پذیرفته است.

کلمات کلیدی: برنامه ریزی، تخصیص، رودخانه اترک، سد چایلی، مدل Vensim.

۱. مقدمه

حوضه آبریز رودخانه اترک در شمال شرقی کشور در استانهای خراسان رضوی، شمالی و گلستان از شرق به غرب امتداد داشته و یکی از حوضه های درجه 2 دریای خزر می باشد. حوضه آبریز رودخانه اترک داخلی با وسعت ۲۴۴۷۲/۶ کیلومترمربع در داخل کشور و 20 درصد دیگر شامل وسعت حوضه آبریز رودخانه سومبار در کشور ترکمنستان می باشد (شکل ۱). این رودخانه که سرشاخه های آن (آبرقابه و قره قانلو) در خراسان شمالی (غلامان) واقع شده، بعد از خروج از مرز وارد کشور ترکمنستان شده و پس از طی 150 کیلومتر در خاک این کشور در امتداد مرز در محل ایستگاه هیدرومتری چات مشترک به اترک می ریزد. در حال حاضر با افزایش روزافزون جمعیت و رشد مصارف و به دلیل اجرای طرحهای توسعه منابع آب در بالادست رودخانه اترک و همچنین وقوع خشکسالیهای چند ساله اخیر، ورودی منابع آب استان گلستان از حوضه آبریز رودخانه اترک کاهش یافته و بنابراین تأمین حقابه های اراضی آبخور رودخانه اترک در این استان را با چالش جدی روبرو کرده است. از این رو سد چایلی به عنوان سازه تنظیم کننده نیاز آبی پایین دست و همچنین سازه ذخیره ای سیلاب حوضه آبریز رودخانه اترک، از اهمیت خاصی برای منطقه برخوردار است و ضرورت اجرای آن با حجم بهینه در دستور کار شرکت آب منطقه ای گلستان قرار گرفته است. لذا به منظور بررسی منابع و مصارف آب در بالادست این سد در استانهای خراسان رضوی و شمالی، بازنگری در برنامه ریزی منابع آب حوضه آبریز رودخانه اترک از بالادست تا دریا بصورت یکپارچه نگر و در قالب نظامنامه تخصیص آب وزارت نیرو، در دستور کار این پژوهش قرار گرفته است.



شکل ۱. موقعیت حوزه آبریز رودخانه اترک در تقسیمات سیاسی کشور.

۲. منابع و مصارف حوزه آبریز اترک

در این پژوهش تعیین دوره شاخص آماری برای محاسبه آبدهی درازمدت محدوده مطالعاتی، با استفاده از دو پارامتر طول دوره آمار موجود ایستگاه‌های هیدرومتری و بررسی دوره‌های تر و خشک انجام شده است. بر اساس دو عامل ذکر شده، طول دوره آماری انتخابی در این مطالعه، یک دوره ۴۵ ساله شامل سال آبی ۴۸-۱۳۴۷ الی ۹۲-۱۳۹۱ می‌باشد. یکی از مسائل عمده در پروژه‌های آب و خاک، تخمین حجم جریان سالانه در محل انجام طرح می‌باشد. بنابراین برای محاسبه آبدهی در هر یک از ساختگاه‌های پیشنهادی از روش‌های مختلفی که عمدتاً مبتنی بر ایستگاه مبنا بوده و روش‌های منطقه‌ای استفاده گردیده است. لازم به ذکر است که در رودخانه‌های مورد مطالعه بدلیل وجود مصارف مختلف، دبی ایستگاه‌های پایاب تحت تاثیر قرار گرفته‌اند، بنابراین جهت محاسبه آبدهی ساختگاه‌های محدوده مطالعاتی، مقادیر آبدهی طبیعی با استفاده از مصارف آماربرداری سراسری و روش حذف ترند و اعمال نظر کارشناسی محاسبه و در برنامه‌ریزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱]. بر اساس نتایج مطالعات هیدرولوژی، مقادیر میانگین بلندمدت آبدهی طبیعی در محل طرح‌های توسعه منابع آب حوزه آبریز رودخانه اترک، بصورت سری زمانی ۴۵ ساله در مدل برنامه ریزی منابع آب استفاده شده و خلاصه آن در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، شماتیک سیستم رودخانه‌ای محدوده مطالعاتی در شکل ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. مقادیر آبدهی طبیعی در محل طرح‌های حوزه آبریز رودخانه اترک.

ردیف	حوزه آبریز	رودخانه	مساحت (کیلومتر مربع)	آبدهی سالانه (طبیعی)	
				متوسط بارندگی سالانه (میلیمتر)	(مترمکعب بر ثانیه) (میلیون متر مکعب)
۱	تبرک آباد	اترک	۵۴۳	۳۲۴	۲۵.۷
۲	چری	چری	۶۴	۳۴۷	۸.۵
۳	بارزو (شیروان)	فلجق	۴۸۱	۳۲۸	۴۷.۰
۴	شورک	شورک	۹۳	۲۶۶	۴.۸
۵	قردانلو	اترک	۷۸۷۵	۳۰۰	۲۸۶.۸
۶	شیرین دره	شیرین دره	۱۶۱۰	۲۷۸	۱۰۳.۲
۷	گرماب (اینچه)	گرماب	۶۹۸	۲۲۷	۱۰.۳
۸	دربند	سمقان	۹۹۸	۳۳۹	۳۹.۴
۹	آمند	آمند	۱۰۸۳	۳۲۱	۲۷.۶
۱۰	چایلی	اترک	۱۷۶۷۰	۲۹۹	۵۷۴.۲

سدهای مورد بررسی در حوضه آبریز بالادست سد چایلی در استان های خراسان رضوی و خراسان شمالی بر اساس اطلاعات ارائه شده از مشاورین طرحها و یا مجوز تخصیص سدهای مذکور در جدول ۲ ارائه شده است. ضمناً مقادیر تبخیر از سطح دریاچه این سدها و جدول روابط هندسی مخازن آنها نیز بر اساس اطلاعات دریافتی به عنوان داده های ورودی مدل استفاده گردیده است.

جدول ۲. مشخصات سدهای مورد بررسی در حوضه آبریز بالادست سد چایلی (میلیون مترمکعب).

کشاورزی	محیط زیست	صنعت	شرب	حجم آب تنظیمی	سال شروع بهره برداری	حجم مخزن در تراز نرمال (م.م.م)	وضعیت	عنوان طرح	استان
۵/۴	۵/۱	۲	۵	۱۷/۵	۱۳۸۳	۶۰	بهره برداری	سد تبارک	خراسان رضوی
۳/۵	۲/۳	۲	۲	۹/۸		۲۴/۴	مطالعاتی	سد دریند	خراسان شمالی
۰	۷/۵	۱۵		۲۲/۵		۲۵	مطالعاتی	سد قردانلو	
۱	۰	۰	۰	۱		۱/۸	اجرایی	سد پش قارداش	
۵/۵	—	۰/۵	۰	۶	۱۳۷۷	۳/۴	بهره برداری	چری	
۳۰	۰/۸	۳/۶	۱۰	۱۹/۱	۱۳۸۲	۹۲	بهره برداری	پارزو	
۳	—	۱	۰	۴	۱۳۸۳	۶/۶	بهره برداری	شورک	
۳۷/۳	۳	۵	۲۰/۵		۱۳۸۳	۹۱/۵	بهره برداری	شیرین دره	

سد چایلی با هدف تأمین نیاز شرب، صنعت و کشاورزی منطقه در حال اجرا بوده و بر اساس نتایج آخرین مطالعات موجود، مقادیر تبخیر از سطح آزاد مخزن این سد ۱۳۹۴٫۵ در سال برآورد شده و مقادیر روابط سطح، حجم با ارتفاع آن نیز در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. روابط هندسی (سطح-حجم-ارتفاع) مخزن سد چایلی.

تراز (m)	ارتفاع (m)	T - ۰ yr		T - ۵۰ yr	
		سطح (ha)	حجم (MCM)	سطح (ha)	حجم (MCM)
۱۴۲/۵	۰	۶/۳۹	۰	۰	۰
۱۴۵	۲/۵	۵۲/۵۲	۰/۶	۰	۰
۱۴۷/۵	۵	۱۲۱/۹۹	۲/۸	۰	۰
۱۵۰	۷/۵	۲۳۱/۶۵	۷/۱	۰	۰
۱۵۲/۵	۱۰	۳۲۰/۱۹	۱۴	۰	۰
۱۵۵	۱۲/۵	۴۵۲/۴۹	۲۳/۶	۰	۰
۱۵۷/۵	۱۵	۵۸۲/۴۱	۳۶/۵	۰	۰
۱۶۰	۱۷/۵	۷۸۲/۵۱	۵۲/۵	۰	۰
۱۶۲/۵	۲۰	۱۰۰۲/۶۵	۷۵/۸	۰	۰
۱۶۵	۲۲/۵	۱۲۵۰/۸۱	۱۰۳/۹	۰	۰
۱۶۷/۵	۲۵	۱۴۷۱/۳۸	۱۳۷/۹	۰	۰
۱۷۰	۲۷/۵	۱۷۴۸/۳۴	۱۷۸/۱	۰	۰
۱۷۲/۵	۳۰	۲۰۱۹/۰۲	۲۲۵/۲	۰	۰
۱۷۵	۳۲/۵	۲۳۴۲/۳۸	۲۷۹/۶	۴۷۲/۶	۵/۶۱۸
۱۷۷/۵	۳۵	۲۶۵۷/۳۵	۳۴۲/۱	۱۰۲۹/۲	۲۴/۳۸۲
۱۸۰	۳۷/۵	۳۰۴۸/۳۷	۴۱۳/۴	۱۸۳۲/۹	۶۰/۱۵
۱۸۱	۳۸/۵	۳۱۹۳	۴۴۵/۶	۲۲۶۵/۲	۸۱/۶۲۹

در دشت هموار ترکمن صحرا و در مرز شمالی با کشور ترکمنستان و تقریباً از غرب روستای داشلی برون به سمت دریای خزر، به لحاظ وضعیت زمین ساختی و وجود رودخانه اترک در این منطقه، مجموعه تالاب هایی شامل آلاگل، آماگل، آجی گل، اینچه، دانشمند و... بوجود آمده است. مشخصات سطح و حجم این دریاچه (تالاب)ها در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. مشخصات تالاب‌های مهم پایین دست سد چایلی در حال حاضر.

نام مخزن	سطح مخزن (هکتار)	حجم مفید مخزن در رقوم نرمال	حجم زیست محیطی
دانشمند	۱۰۰۰	۲۱	۰.۵
اینچه برون	۲۳۵	۴.۷	۰
الماگل	۲۷۰	۴	۱.۲
الاگل	۲۵۰۰	۶۰	۶.۳
اجی گل	۳۰۰	۳	۳
مخزن واحد	۴۳۰۵	۹۲.۷	۱۱

مقادیر مصارف در حوضه آبریز بالادست هر یک از طرح ها و ایستگاههای آبنجی مورد مطالعه براساس اطلاعات آماربرداری سراسری منابع آب حوضه آبریز رودخانه اترک در سال آبی ۸۹-۸۸ بدست آمده است. به این ترتیب که مقادیر مصارف منابع آب سطحی (نهر، چشمه، موتورپمپ، آبنندان و ایستگاه پمپاژ) در حوضه های آبریز بالادست سدها و ایستگاههای مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار ARC GIS برآورد شده و نتایج در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. مصارف منابع آب سطحی در حوضه آبریز رودخانه اترک (میلیون مترمکعب).

ردیف	نام ایستگاه	سالانه	ردیف	نام بازه های استان گلستان	سالانه	ردیف	نام سد	سالانه
۱	کورکانلو	۱۱/۱	۱	قازانقایه تا چایلی	۱۴/۷	۱	سد تبارک قوچان	۳/۹
۲	قوردانلو	۳/۴	۲	چایلی تا هوتن	۲۰/۱	۲	سد چری	۴/۸
۳	بارزو	۱۶/۷	۳	هوتن تا چات بدون سومبار	۲۶/۰	۳	سد قردانلو	۲۲۳/۱
۴	بابا امان	۴۹/۵	۴	سومبار	۴۸/۹	۴	سد شیرین دره	۴۲/۹
۵	قتلیش	۲۷/۲	۵	چات تا ترشکلی (داشلی برون)	۴۳/۷	۵	سد گرماب	۶/۴
۶	قلعه بربر	۴۷/۱	۶	داشلی برون تا دانشمند	۶/۶۱	۶	سد آمند	۱/۰
۷	درکش	۳/۸	۷	کشاوری مجموعه آلاگل	۳۳/۹۲	۷	سد دریند	۲۰/۸
۸	سملقان	۲۰/۸	۸	آبزی پروری مجموعه آلاگل	۳۲/۸۸	۸	سد چایلی	۴۲۷/۵
۹	زوعلیا	۵/۲						
۱۰	تبارک آباد	۳/۹						
۱۱	هی هی	۲۶/۳						
۱۲	قره خابندی	۱۶۶/۶						
۱۳	رضا	۱۵۷/۲						
۱۴	آغمزار	۳۳۹/۲						
۱۵	قازانقایه	۴۰۰/۵						

نیاز زیست محیطی و پایداری جریان با توجه به آخرین روش مورد تأیید کمیسیون تخصیص آب وزارت نیرو پایین دست هر یک از طرح‌ها، به این صورت است که با توجه به توزیع زمانی آبدهی مشاهداتی در محل هر طرح، میانگین بلندمدت این آبدهی بصورت ماهانه محاسبه شده و سپس با مقایسه عددی هر یک از مقادیر میانگین ماهانه با عدد میانگین بلندمدت سالانه آبدهی مشاهداتی، اگر میانگین ماهانه از میانگین سالانه بزرگتر بود، هر یک از مقادیر آبدهی مربوط به آن ماه را به عنوان آبدهی در دوره پراچی در نظر گرفته شده و برای محاسبه مقادیر نیاز زیست محیطی، کلیه مقادیر آبدهی ستون متناظر با این ماه، در ضریب ۰,۳ ضرب شده و به عنوان مقادیر نیاز زیست محیطی آن ماه درج خواهد شد. در صورتی که مقدار عددی میانگین ماهانه کوچکتر از میانگین بلندمدت سالانه آبدهی مشاهداتی در محل طرح باشد، نیز از ضریب ۰,۱ استفاده خواهد شد.

جهت محاسبه بار رسوبی ورودی به سد چایلی برای شرایط طبیعی و بدون اثر سدهای بالادست، از سه روش رسوب ویژه ایستگاه میناء، روش تجربی EPM و تحلیل منطقه ای رسوب استفاده گردیده و نهایتاً نتایج روش تجربی EPM پذیرفته شده است [۴,۳]. همچنین، با توجه به وجود سدهای بهره برداری در بالادست سد چایلی، مقادیر رسوبات ورودی به سد چایلی در دو وضعیت اثر سدها و بدون اثر سدها مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعات محاسبات بار رسوبی در ورودی به سد چایلی با اثر سدهای بهره برداری و اجرایی بالادست در دو حالت با سدهای قوردانلو و دربند و بدون آنها ارائه گردیده است. مقادیر حجم کل مواد رسوبی در محل ورودی به سد چایلی در شرایط موجود و با احتساب سدهای موجود (بهره برداری شده) ۷/۳۷ میلیون متر مکعب در سال و ۳۶۸/۳ میلیون متر مکعب در ۵۰ سال در نظر گرفته شده است. همچنین، حجم کل مواد رسوبی ورودی به سد چایلی با احتساب سدهای موجود و دو سد دربند و قوردانلو (با در نظر گرفتن حجم رسوبات ۵۰ ساله) حدود ۳۰۰ میلیون متر مکعب برآورد می‌گردد.

۳. رویکرد و فرضیات مطالعات برنامه‌ریزی منابع آب

در این پژوهش و با استفاده از نتایج به‌روزرسانی مطالعات پایه منابع و مصارف آب در حوضه آبریز رودخانه اترک، مقادیر تأمین نیاز آبی اهداف از پیش تعریف شده کلیه طرح‌های توسعه منابع آب، تعیین شده است. از این رو برنامه‌ریزی یکپارچه منابع و مصارف آب باهدف بهینه‌سازی منابع و مصارف آب در این محدوده مطالعاتی با استفاده از ابزاری نسبتاً کاربردوست در دستور کار قرار گرفته تا ضمن شناخت کامل از وضعیت فعلی و آبی سیستم منابع و مصارف آب محدوده، توانایی تصمیم‌سازی برای کارفرمای محترم باهدف تأمین مطمئن کلیه نیازهای آبی منطقه و نواحی مجاور سد چایلی امکان‌پذیر گردد. همچنین، با بررسی کلیه گزارش‌های موجود، مدل مفهومی سیستم منابع و مصارف آب محدوده مطالعاتی در قالب مدل پویا و با استفاده از نرم‌افزار Vensim شبیه‌سازی شده و وضعیت تأمین نیاز آبی پایدار سیستم ارائه خواهد شد [۵]. روش کار به این صورت خواهد بود که مقادیر حجم ذخیره، تنظیمی و تأمین استاندارد هر یک از نیازهای از پیش تعریف شده سد، در شرایط آبدهی دوره ایستای بارش حوضه آبریز سیستم شبیه‌سازی شده و در نهایت نتایج این شبیه‌سازی‌های انجام شده در سناریوهای مختلف، ارائه شده است. محاسبات برنامه‌ریزی منابع آب بر اساس مقایسه سری زمانی ماهانه منابع آب و برداشت مصارف مختلف از سراب تا پایاب حوضه انجام پذیرفته است. مراحل عملیاتی این محاسبات بشرح ذیل می‌باشد:

- تقسیم سیستم به نگره‌های قابل تفکیک به لحاظ منابع و مصارف
 - تعیین سری زمانی آبدهی در محل ورودی به مخزن
 - برآورد مقادیر نیاز آبی هر یک از اهداف شرب و صنعت، کشاورزی و حقایه زیست محیطی پایین دست
 - محاسبات به صورت سری زمانی ماهانه
- با استفاده از اطلاعات پایه و نرم‌افزار شبیه‌سازی (Vensim) و با عنایت به ضوابط و معیارهای زیر (بر اساس نظام‌نامه تخصیص آب وزارت نیرو)، شبیه‌سازی منابع و مصارف در حوضه آبریز محدوده مورد مطالعه انجام پذیرفته است:
- حجم ذخیره آب در ابتدا و انتهای دوره شبیه‌سازی برابر در نظر گرفته شده تا آبی بصورت مجازی به سیستم داده و یا گرفته نشود.
 - اولویت‌بندی تأمین نیازها به ترتیب با نیازهای شرب و صنعت، حقایه زیست محیطی و در انتها کشاورزی می‌باشد.
 - برای تأمین آب شهری و بهداشت باید در ۹۵ درصد مواقع، ۱۰۰ درصد نیاز تأمین شود.
 - برای تأمین آب زیست محیطی و صنایع باید در ۹۰ درصد مواقع، ۱۰۰ درصد نیاز تأمین شود.
 - برای تأمین آب کشاورزی باید در ۸۵ درصد مواقع، ۱۰۰ درصد نیاز تأمین شود.
 - در صورتیکه سطح آب در مخزن از رقوم نرمال فراتر رود، علاوه بر تأمین نیازها، سرریز آب از سد در نظر گرفته می‌شود تا رقوم آب حداکثر در رقوم نرمال قرار گیرد.

• در صورتی که رقوم سطح آب به حداقل رقوم بهره‌برداری برسد به ناچار تأمین نیازها در حد دبی رودخانه محدود و اعمال کمبود ابتدا به نیاز کشاورزی در ماه‌های آبیاری، سپس صنعت و در نهایت شرب اعمال خواهد شد.

برای بررسی اثر تغییرات اعمال شده در سیستم منابع و مصارف آب محدوده مطالعاتی، سیستم برای یک سری زمانی ۴۵ ساله از سال ۴۸-۱۳۴۷ تا ۹۲-۱۳۹۱ برای کلیه طرح‌های توسعه منابع آب حوضه آبریز انجام شده است. شایان ذکر است باهدف تحلیل شرایط واقعی، نتایج شبیه‌سازی طرح‌های بهره‌برداری و یا دارای تخصیص آب مصوب در شرایط عدم رعایت تأمین استاندارد نظام‌نامه تخصیص آب وزارت نیرو در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر مدل بر اساس تخصیص مصوب سدهای بالادست و عدم کاهش برداشت‌ها تا رسیدن به تأمین‌های استاندارد، در نظر گرفته شده و سدهای بالادست حداکثر برداشت تخصیص یافته را انجام می‌دهند.

مقدار نهایی میانگین بلندمدت آبدهی مشاهداتی در محل ساختگاه چایلی پس از تأمین حقایق‌های بالادست و نیازهای تعریف شده با و بدون در نظر گرفتن سدهای قوردانلو و دربند به ترتیب ۱۱۸/۸ و ۱۴۹/۳ میلیون مترمکعب برآورد شده است. مقدار نیازهایی که در پایین دست سد چایلی تا دریا لحاظ می‌گردد و از طریق منابع آب تنظیمی سد و آورد میان حوضه تأمین می‌گردد شامل موارد زیر می‌باشد:

- نیاز شرب و صنعت سد چایلی برابر ۵ میلیون مترمکعب در سال
 - نیاز زیست‌محیطی پایین دست سد چایلی
 - حقابه کشاورزی اراضی آبخور رودخانه اترک در داخل کشور پس از سد چایلی تا ابتدای کانال داشلی برون برابر ۸۹٫۸ میلیون مترمکعب در سال
 - حقابه کشاورزی اراضی آبخور از ابتدای کانال داشلی برون (شامل اراضی بین مخازن دانشمند، اینچه‌برون، آلمانگل، آجی گل و آلاگل و همچنین اراضی آبخور همه مخازن) برابر ۴۰٫۵۳ میلیون مترمکعب در سال
 - نیاز آبی آبی‌پروری که باید از مجموع مخازن پایین دست تأمین گردد، برابر ۳۲٫۸۸ میلیون مترمکعب در سال
- علاوه بر تأمین استاندارد نیازهای فوق‌الذکر توسط سد چایلی، لحاظ حداقل حجم زیست محیطی مخازن دانشمند، اینچه‌برون، آلمانگل، آجی گل و آلاگل (برابر ۱۱ میلیون مترمکعب) نیز با لحاظ لزوم انتقال مقادیر ۵۰ درصد منابع آبی پایین دست ساختگاه این سد به کشور ترکمنستان نیز باید کنترل گردد.

از نکات حائز اهمیت دیگر در وضعیت منابع و مصارف آب پایین دست سد چایلی، رودخانه سومبار و مقادیر منابع مصارف آبی اراضی آبخور این رودخانه و بخصوص بهره‌برداری از سدهای چندیر و سومبار در سرشاخه‌های این رودخانه می‌باشد. باتوجه به اطلاعات منابع و مصارف آب موجود درباره این رودخانه، مقادیر نیازهای آبی زیر در پایین دست سد چایلی لحاظ شده است:

- تأمین حقابه کشاورزی اراضی آبخور رودخانه سومبار بر اساس مقاسه آمار و اطلاعات به‌روز ایستگاه‌های هوتن و چات تقریباً ۵۰ میلیون مترمکعب برآورد شده است.
 - تأمین مقادیر نیاز آبی برنامه‌ریزی شده سدهای چندیر و سومبار برابر ۱۵ (به ترتیب ۷٫۶ و ۷٫۳) میلیون مترمکعب در سال از منابع آبی رودخانه سومبار نیز لحاظ شده است.
- باتوجه به این فرضیات و همچنین وضعیت سیلابی رژیم رودخانه اترک، انتخاب حجم مفید بهینه براساس محدودیت‌های فنی و اقتصادی برای ذخیره و استفاده حداکثری از این رژیم آبی، بسیار مهم خواهد بود. از این رو باتوجه به تحلیل شرایط سیلابی رودخانه اترک در بالادست سد چایلی و همچنین شرایط سازه‌ای و چگونگی تنظیم و بهره‌برداری از مخزن و تراز دریاچه‌های خروجی آب سد چایلی، حجم مفید ۱۳۰ میلیون مترمکعب برای مخزن سد چایلی انتخاب شده و شبیه‌سازی و ارائه نتایج بر اساس این حجم مفید انجام شده که در ادامه آورده خواهد شد.

۴. نتایج مطالعات برنامه‌ریزی منابع آب و سناریوهای شبیه‌سازی سد چایلی

باتوجه به شرایط جدید پتانسیل آبدهی منطقه، وضعیت منابع آب ورودی، تنظیمی هر سد و میزان تأثیر آنها بر وضعیت سدهای پایین دست، نتایج شبیه‌سازی سدهای مورد بررسی در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. نتایج شبیه‌سازی سیستم منابع و مصارف سدهای حوضه آبریز رودخانه اترک.

عنوان طرح	نیاز	شرب	صنعت	زیست محیطی پایین دست	کشاورزی	مجموع آب قابل تنظیم	عنوان طرح	نیاز	شرب	صنعت	زیست محیطی پایین دست	کشاورزی	مجموع آب قابل تنظیم	شرایط تامین		
														مقدار نیاز	% تامین حجمی	
تبارک آباد	مقدار نیاز	۵	۲	۴	۵,۴	۱۶,۴	بش قارداش	مقدار نیاز	—	—	—	۱	۱,۰	مقدار نیاز	—	
	مقدار تامین	۴,۸	۱,۹	۲,۷	۴,۹	—		—	—	—	—	—	۱	—	مقدار تامین	—
	% تامین حجمی	۹۷	۹۴	۹۵	۹۱	—		—	—	—	—	—	۱۰۰	—	% تامین حجمی	—
	% تامین زمانی	۹۵	۹۲	۹۱	۹۲	—		—	—	—	—	—	۱۰۰	—	% تامین زمانی	—
چری	مقدار نیاز	—	۰,۵	۰,۷	۵,۵	۶,۷	شیرین دره	مقدار نیاز	۲۰,۵	۵	۱۰,۷	۲۷,۲	۷۳,۵	مقدار نیاز	—	
	مقدار تامین	—	۰,۴	۰,۶۶	۲,۶	—		—	—	—	—	—	۲۴,۲	—	مقدار تامین	—
	% تامین حجمی	—	۸۱	۹۸	۴۸	—		—	—	—	—	—	۶۵	—	% تامین حجمی	—
	% تامین زمانی	—	۸۰	۹۴	۶۸	—		—	—	—	—	—	۷۲	—	% تامین زمانی	—
بازرو	مقدار نیاز	۱۰	۲,۶	۵,۸	۳۰	۴۹,۴	چایلی - با قوردانلو و دریند	مقدار نیاز	۵	—	۱۸,۶	۶۱	۸۴,۶	مقدار نیاز	—	
	مقدار تامین	۸,۱	۲,۷	۵,۳	۱۳,۳	—		—	—	—	—	—	۵۱,۵	—	مقدار تامین	—
	% تامین حجمی	۸۱	۷۶	۹۰	۴۵	—		—	—	—	—	—	۸۵	—	% تامین حجمی	—
	% تامین زمانی	۷۹	۷۵	۷۷	۶۷	—		—	—	—	—	—	۸۶	—	% تامین زمانی	—
تورک	مقدار نیاز	—	۱	۰,۶	۳	۴,۶	چایلی - بدون قوردانلو و دریند	مقدار نیاز	۵	—	۲۴,۱	۸۴	۱۱۳,۱	مقدار نیاز	—	
	مقدار تامین	—	۰,۷۱	۰,۴۱	۲	—		—	—	—	—	—	۷۲	—	مقدار تامین	—
	% تامین حجمی	—	۷۲	۷۲	۶۶	—		—	—	—	—	—	۸۵	—	% تامین حجمی	—
	% تامین زمانی	—	۶۹	۷۳	۷۰	—		—	—	—	—	—	۸۷	—	% تامین زمانی	—

— سناریوی یک و دو (با و بدون طرح های قوردانلو و دریند)

با توجه به تردیدهایی جدی که در ساخت طرح های مطالعاتی بالادست وجود دارد، دو سناریوی اصلی مورد بررسی قرار گرفته است. این دو سناریو شامل سناریوی اول با بهره‌برداری از کلیه طرح‌های توسعه منابع آب و سناریوی دوم شامل بدون نظر گرفتن طرح‌های مطالعاتی قوردانلو و دریند انجام شده و سایر سناریوها نیز بصورت مجزا تحت این دو سناریو قرار گرفته اند. آب ورودی به سد چایلی با در نظر گرفتن این دو سناریو و عدم رعایت استانداردها تخصیص در سدهای بالادست، به ترتیب ۱۱۸/۸ و ۱۴۹/۳ میلیون مترمکعب برآورد شده است. ضمناً، نیاز زیست محیطی پایین دست سد چایلی در سناریوهای یک و دو به ترتیب برابر ۱۸/۶ و ۲۴/۱ میلیون مترمکعب در سال تعیین شده است.

— سناریوی عدم احداث سد چایلی

به منظور تعیین شرایط تامین ها در پایین دست چایلی در حالت احداث سد چایلی و عدم احداث آن شرایط بدون سد نیز در هر یک از سناریوهای یک و دو لحاظ شده و نتایج در جداول ۷ و ۸ ارائه شده است.

— سناریوی تثبیت تامین در پایین دست مقسم (مجموعه آلاگل)

با توجه به اینکه در حالت بدون سد، تامین در مجموعه آلاگل از شرایط قابل قبولی برخوردار می باشد، در حالت احداث سد چایلی با هدف تامین حداکثری در اراضی این مجموعه، شرایط مشابه با حالت بدون سد فرض شد و در هر یک از سناریوهای یک و دو نتایج بدست آمده و در جداول ۷ و ۸ ارائه گردیده است.

— سناریوی بهبود کشاورزی چایلی تا داشلی برون

با توجه به تقسیم آب در محل مقسم داشلی برون و خروج آب از مرز، و نیز کیفیت بهتر اراضی کشاورزی در بالادست مقسم، جهت کاهش آب خروجی از مرز و استفاده حداکثری از منابع آب، اولویت تامین در فاصله چایلی تا داشلی برون در نظر گرفته شده و در هر یک از سناریوهای یک و دو نتایج در جداول ۷ و ۸ ارائه گردیده است.

جدول ۷. نتایج شبیه‌سازی سیستم منابع و مصارف بعد از سد چایلی در سناریوی یک.

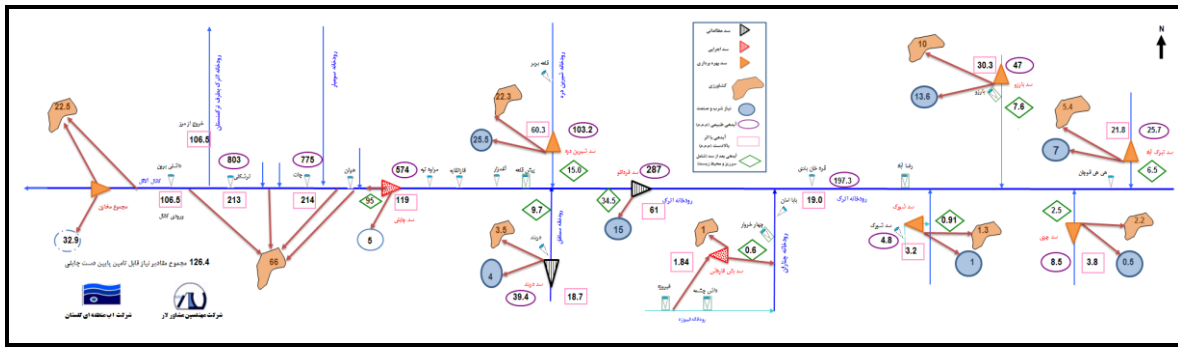
انواع نیاز	شرب و صنعت	نیاز زیست محیطی	حقله چایلی تا ترشکلی	آبدهی در محل مقسم	ورودی به کانال داشلی برون	خروج از مرز	نیاز آبی اراضی مخازن و کانال	نیاز آبی پزی پروری	نیاز زیست محیطی مخازن مجموعه آلاگل	مجموع تأمین نیازها بدون نیاز زیست محیطی
مقدار نیاز	۵/۰	۱۸/۶	۸۹/۸				۴۰/۵	۳۲/۹	۱۱/۰	
احداث سد چایلی - بهبود بالادست مقسم	مقدار نیاز قابل تأمین	۵/۰	۶۶/۰				۲۲/۵	۳۲/۹	۱۱/۰	۱۲۶/۴
	مقدار تأمین	۴/۸	۱۸/۵	۵۸/۶	۲۱۳/۰	۱۰۶/۵	۱۹/۰	۲۸/۷	۱۱/۰	
	%تأمین حجمی	۹۷	۹۹	۸۷			۸۵	۸۷	۹۹	
احداث سد چایلی - تثبیت تأمین مخازن	مقدار نیاز قابل تأمین	۵/۰	۳۶/۸				۴۰/۵	۳۲/۹	۱۱/۰	۱۱۵/۲
	مقدار تأمین	۴/۸	۱۸/۵	۳۳/۵	۲۳۸/۰	۱۱۹/۰	۳۴/۳	۲۸/۰	۱۱/۰	
	%تأمین حجمی	۹۷	۹۹	۹۱			۸۵	۸۵	۹۹	
عدم احداث سد چایلی	مقدار نیاز قابل تأمین		۱۰/۱				۴۰/۵	۳۲/۹	۱۱/۰	۸۳/۵
	مقدار تأمین		۸/۶		۲۹۰/۰	۱۰۲/۰	۳۵/۶	۲۹/۵	۱۱/۰	
	%تأمین حجمی		۸۶				۸۶	۹۰	۹۹	
							۸۵	۸۵	۹۹	

اختلاف تأمین در حالت با و بدون سد سناریوی یک و در حالت بهبود بالادست مقسم ۴۲/۹ میلیون مترمکعب می باشد. کاهش آب خروجی از مرز نیز به میزان ۸۱/۵ میلیون مترمکعب برآورد می گردد. اختلاف تأمین در حالت با و بدون سد سناریوی یک و در حالت تثبیت تأمین مخازن مجموعه آلاگل ۳۱/۷ میلیون مترمکعب می باشد. کاهش آب خروجی از مرز نیز به میزان ۶۹ میلیون مترمکعب برآورد می گردد.

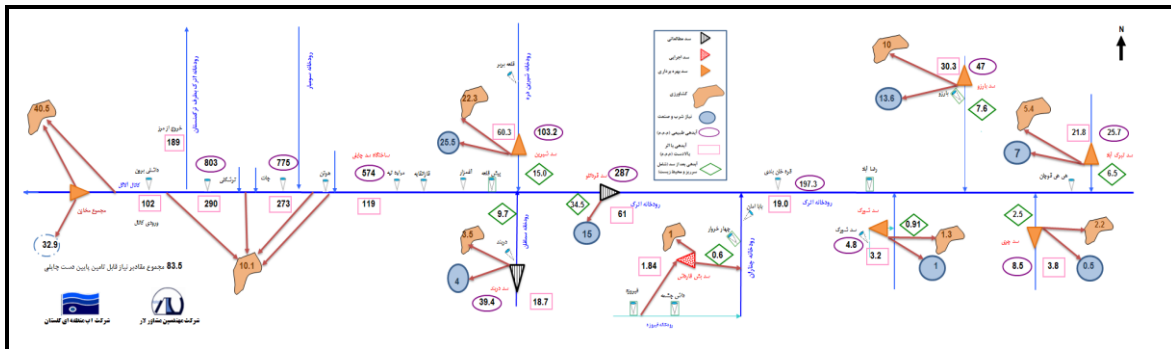
جدول ۸. نتایج شبیه‌سازی سیستم منابع و مصارف بعد از سد چایلی در سناریوی دو.

انواع نیاز	شرب و صنعت	نیاز زیست محیطی	حقله چایلی تا ترشکلی	آبدهی در محل مقسم	ورودی به کانال داشلی برون	خروج از مرز	نیاز آبی اراضی مخازن و کانال	نیاز آبی پزی پروری	نیاز زیست محیطی مخازن مجموعه آلاگل	مجموع تأمین نیازها بدون نیاز زیست محیطی
مقدار نیاز	۵/۰	۲۴/۱	۸۹/۸				۴۰/۵	۳۲/۹	۱۱/۰	
احداث سد چایلی - بهبود بالادست	مقدار نیاز قابل تأمین	۵/۰	۸۹/۸				۲۴/۲	۳۲/۹	۱۱/۰	۱۵۱/۹
	مقدار تأمین	۴/۹	۲۴/۱	۸۰/۰	۲۲۲/۰	۱۱۱/۰	۲۱/۰	۲۹/۰	۱۱/۰	
	%تأمین حجمی	۹۷	۹۹	۸۹			۸۵	۸۷	۹۹	
احداث سد چایلی - تثبیت تأمین مخازن	مقدار نیاز قابل تأمین	۵/۰	۶۱/۰				۴۰/۵	۳۲/۹	۱۱/۰	۱۳۴/۴
	مقدار تأمین	۴/۹	۲۴/۱	۵۶/۰	۲۴۶/۰	۱۲۳/۰	۳۴/۵	۲۸/۰	۱۱/۰	
	%تأمین حجمی	۹۸/۰	۹۹/۰	۹۱			۸۶	۸۵	۹۹	
عدم احداث سد چایلی	مقدار نیاز قابل تأمین		۱۲/۰				۴۰/۵	۳۲/۹	۱۱/۰	۸۵/۴
	مقدار تأمین		۱۰/۰		۳۱۸/۰	۱۱۱/۳	۳۷/۰	۳۱/۱	۱۱/۰	
	%تأمین حجمی		۸۶				۹۲	۹۴	۹۹	
							۹۲	۹۲	۹۹	

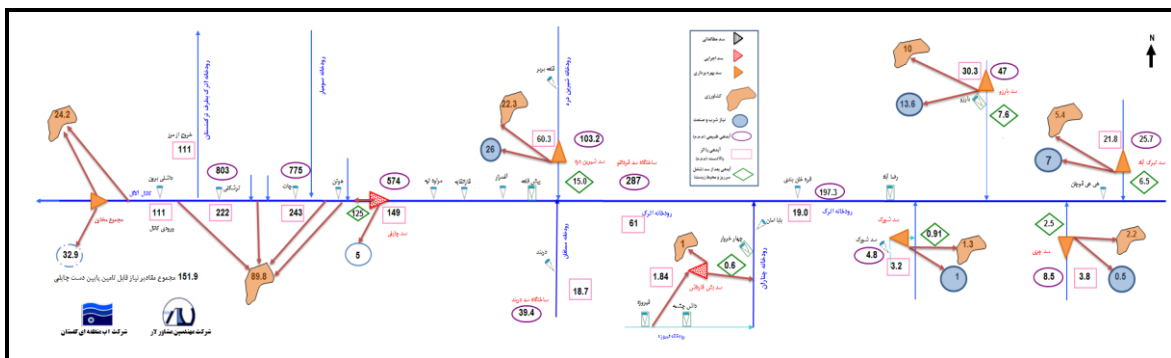
اختلاف تأمین در حالت با و بدون سد سناریوی یک و در حالت بهبود بالادست مقسم ۶۶/۵ میلیون مترمکعب می باشد. کاهش آب خروجی از مرز نیز به میزان ۹۵/۷ میلیون مترمکعب برآورد می گردد. اختلاف تأمین در حالت با و بدون سد سناریوی یک و در حالت تثبیت تأمین مخازن مجموعه آلاگل ۴۹ میلیون مترمکعب می باشد. کاهش آب خروجی از مرز نیز به میزان ۸۳/۷ میلیون مترمکعب برآورد می گردد. شماتیک نتایج شبیه‌سازی منابع و مصارف آب حوضه آبریز رودخانه اترک در سناریوی یک در حالت با و بدون سد در شکل‌های ۳ و ۴ و در سناریوی دو در حالت با و بدون سد در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است.



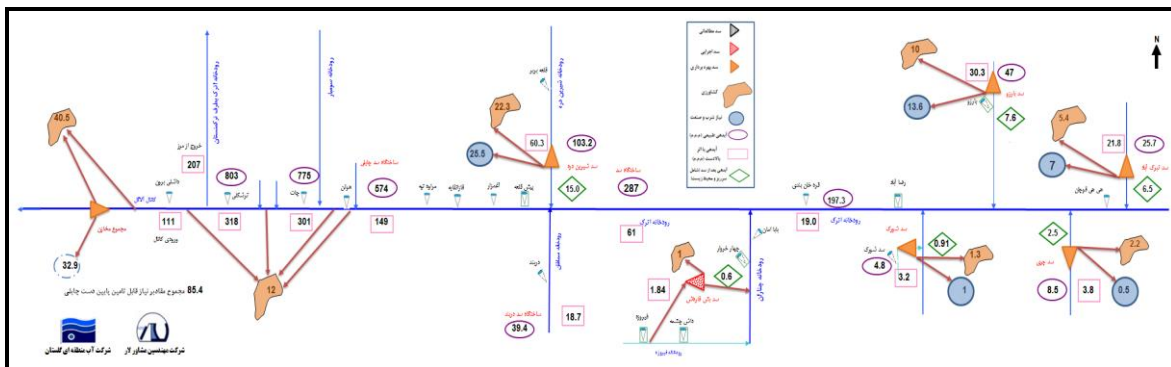
شکل ۳. شماتیک نتایج شبیه‌سازی منابع و مصارف آب حوضه آبریز اتوک در سناریوی با سد چایلی در سناریوی یک-بهبود بالادست مقسم.



شکل ۴. شماتیک نتایج شبیه‌سازی منابع و مصارف آب حوضه آبریز اتوک در سناریوی بدون سد چایلی در سناریوی یک.



شکل ۵. شماتیک نتایج شبیه‌سازی منابع و مصارف آب حوضه آبریز اتوک در سناریوی دو-بهبود بالادست مقسم.



شکل ۶. شماتیک نتایج شبیه‌سازی منابع و مصارف آب حوضه آبریز اتوک در سناریوی بدون سد چایلی در سناریوی ۲.

۵. نتیجه گیری

سد چایلی با هدف تأمین نیاز شرب، صنعت و کشاورزی منطقه در حال اجرا بوده و بر اساس نتایج آخرین مطالعات موجود، مقادیر تبخیر از سطح آزاد مخزن این سد ۱۳۹۴٫۵ در سال برآورد شده است. بر اساس پژوهش صورت پذیرفته مقادیر حجم کل مواد رسوبی در محل ورودی به سد چایلی در شرایط موجود و با احتساب سدهای موجود (بهره برداری شده) ۷/۳۷ میلیون متر مکعب در سال و ۳۶۸/۳ میلیون متر مکعب در ۵۰ سال در نظر گرفته شده است. همچنین، حجم کل مواد رسوبی ورودی به سد چایلی با احتساب سدهای موجود و دو سد دربند و قردانلو (با در نظر گرفتن حجم رسوبات ۵۰ ساله) حدود ۳۰۰ میلیون متر مکعب برآورد می گردد. مقدار نهایی میانگین بلندمدت آبدهی مشاهداتی در محل ساختگاه چایلی پس از تأمین حقابه‌های بالادست و نیازهای تعریف شده با و بدون در نظر گرفتن سدهای قوردانلو و دربند به ترتیب ۱۱۸/۸ و ۱۴۹/۳ میلیون متر مکعب برآورد شده است. با توجه به تردیدهایی جدی که در ساخت طرح های مطالعاتی بالادست وجود دارد، دو سناریوی اصلی مورد بررسی قرار گرفته است. این دو سناریو شامل سناریوی اول با بهره‌برداری از کلیه طرح‌های توسعه منابع آب و سناریوی دوم شامل بدون در نظر گرفتن طرح‌های مطالعاتی قردانلو و دربند انجام شده و سایر سناریوها نیز بصورت مجزا تحت این دو سناریو قرار گرفته اند. آب ورودی به سد چایلی با در نظر گرفتن این دو سناریو و عدم رعایت استاندارد تخصیص در سدهای بالادست، به ترتیب ۱۱۸/۸ و ۱۴۹/۳ میلیون متر مکعب برآورد شده است.

۶. مراجع

۱. ضوابط انتخاب سیلاب طراحی سدهای بزرگ ایران، نشریه شماره ۳۷۸-الف (۱۳۹۳). استاندارد صنعت آب و آبفا، ۹ صفحه.
۲. شرکت مهندسی مشاور لار. (۱۳۹۶). مطالعات مرحله دوم سد چایلی، خلاصه گزارش برنامه ریزی منابع آب حوضه آبریز اترک.
۳. نوری، ح. سیادت موسوی، س.م. مجردی، ب. (۱۳۹۶). برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز بر مبنای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و فن GIS با استفاده از نمونه‌ی فیزیکی تخمین رسوب EPM (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز سد دز)، مهندسی منابع آب، دوره ۱۰، شماره ۳۲، صفحه ۹۷-۱.
۴. صادقی، س.ح. ر. نجفی، د. ر. وفاخواه، م. (۱۳۹۵). تحلیل منطقه ای برآورد رسوب معلق در حوضه اصفهان و سیرجان، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۲، شماره ۳، صفحه 51-65.

5. Gohari, A., Mirchi, A. & Madani, K. (2017). System Dynamics Evaluation of Climate Change Adaptation Strategies for Water Resources Management in Central Iran, Water Resources Management, Volume 31, Issue 5, pp 1413–1434.