

ساخت مدل تخصیص پویا و بلند مدت برای آب کشاورزی

رضا اردکانیانⁱ; اکبر کریمیⁱⁱ

چکیده

در این تحقیق با توجه به اهمیت تخصیص منابع آب در بحث مدیریت منابع آب، تغییر تقاضاهای آبی صنعت و کشاورزی در دوره زمانی فعلی در اثر بازخورد آب تخصیص داده شده به تقاضاها در دوره قبل و تاثیر قابل ملاحظه تقاضاهای آبی در تخصیص منابع آب، تخصیص بهینه و بلند مدت منابع آب به تقاضاهای آبی شرب، صنعت و کشاورزی صورت می‌پذیرد. بعبارت دیگر تخصیصها با توجه به پویایی تقاضاهای آبی تعیین می‌گردند (تخصیص پویا). مساله با هدف بیشینه‌سازی درآمد خالص بخش صنعت از تولید صنعتی، درآمد خالص بخش کشاورزی از تولید کشاورزی، درآمد خالص تخصیص دهنده آب به بخشهای شرب، صنعت و کشاورزی و اشتغال در بخشهای صنعت و کشاورزی حل می‌گردد. البته در تابع هدف هزینه کمبود در تخصیص به نیاز زیست‌محیطی رودخانه نیز وارد شده است. در این تحقیق ذی‌نفعان به بخش کشاورزی، صنعت، شرب، تخصیص دهنده آب و محیط‌زیست تقسیم‌بندی شده است. مساله برای یک حوضه آبریز فرضی برای بازه‌های زمانی سالانه و دوره زمانی ۳۰ سال حل گردیده است. مدل مقدار بهینه رشد سطح زیرکشت و تولید کشاورزی را بنحوی که آب مورد نیاز آن کاملاً تخصیص داده شود با رعایت اولویت تخصیص به تقاضاهای شرب و صنعت مشخص می‌نماید.

کلمات کلیدی: تخصیص منابع آب، تقاضاهای آبی، برنامه‌ریزی بلند مدت، کشاورزی

Dynamic Long-Term Water Allocation Model for Irrigation

R. Ardakanian; A. Karimi

ABSTRACT

In this research a dynamic water allocation model is developed. It considers industrial and agricultural water demand changes due to feedbacks from allocated water to demands in previous and future time periods. Water demands is dynamic due to feedbacks from other water demands and allocated water to demands in previous and future time periods. Water demand changes influence water allocation planning, especially, in long term periods. Water allocations therefore must be dynamic due to water demands dynamism. Water allocation problem is then solved by maximizing net income of industry and agriculture sectors from their productions for all the planning period. Net income of water sellers and employment are also maximized to consider socio-economic indices in water allocation. Objective function considers cost of slacks in water allocation to environmental water demand, too. Stakeholders in this water allocation problem are agriculture, industry, water seller and environmental sectors. Problem is formulated for a hypothetical watershed with two sub-basins. It is solved for 30 year planning period and for yearly time steps. Model determines optimum cultivated area, agricultural and industrial production, as well as, water allocation to them.

KEYWORDS: WATER ALLOCATION, WATER DEMANDS, LONG-TERM PLANNING, EMPLOYMENT, CULTIVATED AREA, INDUSTRIAL PRODUCTION, AND AGRICULTURAL PRODUCTION.

ⁱ استادیار دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران: ardakanian@civil.sharif.edu

ⁱⁱ دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران: ak_karimi@civil.sharif.edu

تامین گردد را مشخص مینماید. لحاظ Agronomy و اقتصاد کشاورزی در سطح خرد برای بالا بردن بازده اقتصادی کشاورزی در شرایطی که محدودیت تامین دیگر تقاضاها وجود دارد صورت می‌پذیرد. البته این مدلسازی یک ساله بوده و امکان بررسی شرایط پایداری در آن وجود ندارد. از طرفی تعامل توسعه کشاورزی، صنعت و شهری در این مدلسازی وجود ندارد، بعبارت دیگر تغییر در روندهای رشد جمعیت و تقاضای آبی شهری و صنعتی در اثر توسعه کشاورزی و بلعکس در این مدلسازی لحاظ نشده است. Krol و همکاران (۲۰۰۶) در شمال کشور برزیل در حوضه آبریز شامل ایالت‌های Ceara و Piaui با مدلسازی بهم‌پیوسته فرایندهای اقلیم، خاک، آب، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی به بررسی بلند مدت شرایط کشاورزی، کشاورزان و تخصیص منابع آب به متقاضیان آبی در آن دو ایالت، که کشاورزی عمده فعالیت می‌باشد، برای دوره ۵۰ ساله از ۲۰۰۰ تا ۲۰۵۰ پرداختند. در این مدل تقاضای کشاورزی به صورت متغیر و به صورت تابعی از کشت و سطح زیر کشت در مدل لحاظ شده است. در این مدلسازی تعامل مستقیمی بین تقاضای آبی کشاورزی، تقاضای شهری و صنعتی وجود نداشته و تاثیر بلند مدت تغییرات اقتصادی تاثیرگذار بر بخشهای متقاضی آب وارد مدلسازی نمی‌گردد. McKinney طی مرور بر مدلسازی سیستمهای آبی اظهار می‌دارد که تخصیص منابع آب یکی از چالش‌برانگیزترین موضوعاتی است که پایداری توسعه اقتصادی و سلامت زیست‌محیطی را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. در حالی که با گذر زمان کمبود آب بیشتر احساس می‌گردد و رقابت بر سر آب بین بخشهای متقاضی آب افزایش می‌یابد کاربرد اقتصاد در بحثهای مدیریت و تخصیص منابع آب بسیار پررنگ‌تر خواهد شد. البته کاربرد اقتصاد در مدیریت منابع آب بیشتر در سطح خرد مورد استفاده قرار گرفته است. در مدلسازی‌های آبی اقتصاد در سطح مزرعه برای تعیین ارزش آب در کشاورزی با استفاده از روشهایی مانند روش هزینه سفر (TCM) و یا روش Hedonic مورد استفاده قرار گرفته است. البته از چنین روشی برای ارزشگذاری آب در بخش شرب و صنعت نیز استفاده شده است. اما تعامل بخشهای

در مناطق کم آب، آب بعنوان یک عامل محدود کننده برای توسعه بشمار رفته و تخصیص منابع آب به بخشهای متقاضی آب اهمیت خاصی پیدا می‌کند. اهمیت پایداری توسعه در هر یک از بخشهای آب بر از منظر عرضه و تقاضای آب نیاز به مدلسازی دقیق‌تر از منابع و تقاضاهای آبی را بیش از پیش پررنگ می‌نماید. برآورد دقیق از منابع و تقاضاهای آبی، تغییرات و بازخوردهایی که آنها با یکدیگر خواهند داشت امکان جستجوی تعادلی بلند مدت بین عرضه و تقاضا برای آب، که مبین پایداری در تخصیص منابع آب به تقاضا برای آب می‌باشد، را بوجود خواهد آورد. متقاضیان عمده آب در حوضه آبریز بخشهای شهری، صنعتی، کشاورزی و محیط‌زیست هستند. توسعه در هر یک از بخشهای شهری، صنعتی و کشاورزی توسعه در بقیه بخشها را، بویژه در بلند مدت، تحت تاثیر قرار خواهد داد. البته توسعه ابعاد مختلفی دارد، در بحث تخصیص منابع آب تغییرات تقاضاهای آبی در اثر توسعه بخشهای مختلف متقاضی آب منظور می‌باشد. مدلسازی یکی از بهترین ابزار تحلیل تخصیص منابع آب در سطح حوضه آبریز به متقاضیان آب با لحاظ پیچیدگی‌های خاص سیستمهای آبی خواهد بود. برخی از تحقیقات عمده در زمینه تخصیص منابع آب با لحاظ بازخوردهای بین بخشهای متقاضی آب بر تقاضاهای آبی در ادامه ارائه می‌گردد.

۲- مرور بر ادبیات موضوع

مدلسازی تخصیص منابع آب با لحاظ بازخوردهای تقاضاهای آبی بخشهای مختلف متقاضی آب در سطح حوضه آبریز به یکدیگر مورد توجه تحقیقات مختلفی بوده است. Cai و همکاران (۲۰۰۳) در حوضه آبریز دریای آرال، که کشاورزی عمده‌ترین فعالیت می‌باشد، مدلسازی بهم‌پیوسته تخصیص منابع آب با لحاظ شرایط اقتصادی-هیدرولوژیکی- کشاورزی برای تعیین تصویر بهتری از کشاورزی و تقاضای آبی کشاورزی را صورت دادند. در حقیقت این مدلسازی بهم‌پیوسته جهت دهی به تقاضای آبی کشاورزی بنحوی که نیاز زیست‌محیطی دریای آرال

مختلف متقاضی آب بواسطه بهم‌پیوستگی عملکرد آنها در عرصه اقتصاد بویژه در سطح کلان (ملی-منطقه‌ای) در نظر گرفته نشده است. کاربرد رویکردی خرد به اقتصاد تقاضاهای آبی بدون در نظر گرفتن عملکرد آنها در سطح کلان حوضه منجر به پاسخهای غیربهبینه از منظر اجتماعی خواهد شد (McKinney 1999).

Johansson با استفاده از رویکرد "اتصال خرد به کلان" ارزشگذاری آب کشاورزی را با استفاده از اقتصاد خرد و سپس متصل نمودن آن به اقتصاد کلان مورد بررسی قرار می‌دهد. در این رویکرد تقاضای آب کشاورزی بعنوان یکی از ورودی‌های تابع سود کشاورزی در سطح خرد (مزرعه) مدل می‌گردد. از طرف دیگر نیروی کار و آب تخصیص داده شده بعنوان ورودی‌ها برای تولید کشاورزی و GDP بخش کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته و بدین ترتیب حاصل جمع تولید و اشتغال بخش خرد در سطح حوضه آبریز تولید و اشتغال بخش کلان را تشکیل می‌دهد. اما در این مدل‌سازی بخش کلان که در قالب یک مدل تعادل عمومی مطرح گردیده فقط بخش کشاورزی را در نظر گرفته و تاثیر بخشهای صنعت و خدمات را بر روی یکدیگر در نظر نمی‌گیرد. یکی دیگر از محدودیتهایی که در این گونه رویکرد به مدل‌سازی تقاضاهای آبی قابل توجه است عدم بهم‌پیوستگی آن با سیستم آبی (عرضه آب) می‌باشد. در رویکرد انتخابی Johansson آب بعنوان یکی از ورودی‌های مدل اقتصادی بکار میرود اما تعامل این مدل اقتصادی و سیستم آبی برای دستیابی به یک نقطه تعادلی وجود ندارد. بنابراین علاوه بر محدودیتهایی که ذکر شد، بهم‌پیوستگی بین عرضه و تقاضای آب، که شرط لازم برای بررسی پایداری در نظام عرضه و تقاضا برای آب می‌باشد، در این رویکرد عملاً وجود ندارد (Johansson 2005). Roe و همکاران بحث مطرح شده توسط Johansson را تا حدی تکمیل نموده و بهم‌پیوستگی عملکرد سیستم آبی و تقاضا را نیز مورد توجه قرار داده‌اند. البته مدل اقتصادی مورد استفاده ایشان نیز در حد کشاورزی عمل نموده و تاثیر متقابل بخشهای صنعت و خدمات را در تقاضا برای آب در نظر نمی‌گیرد. علاوه بر این تاثیر عملکرد بخشهای خصوصی و دولتی و

سیاستهای آنها بر فعالیتهای و توسعه کشاورزی، صنعت و خدمات و به تبع آن تقاضاهای کشاورزی، صنعت و شرب در مدل وارد نمی‌گردد (Roe 2005). با توجه به عمده‌ترین کارهای انجام شده در زمینه تخصیص منابع آب با لحاظ تغییرات زمانی تقاضاهای آبی در اثر بازخوردهای تقاضاهای آبی بخشهای دیگر می‌توان مساله تخصیص منابع آب را با لحاظ خصوصیت دینامیک بودن تقاضاهای آبی در زمان به صورت زیر تعریف نمود.

۳- تعریف مساله

در این تحقیق با توجه به اهمیت تخصیص منابع آب در بحث مدیریت منابع آب، تغییر تقاضاهای آبی صنعت و کشاورزی در دوره زمانی کنونی در اثر بازخورد آب تخصیص داده شده به تقاضاها در دوره قبل و تاثیر قابل ملاحظه تقاضاهای آبی در تخصیص منابع آب، تخصیص بهینه و بلند مدت منابع آب به تقاضاهای آبی شرب، صنعت و کشاورزی با لحاظ بازخورد تخصیص در یک دوره زمانی به تقاضاهای آبی کشاورزی و صنعت به تقاضای آبی در دوره بعد برای کشاورزی و صنعت صورت می‌پذیرد. در این مساله هدف پیشینه‌سازی درآمد خالص بخش صنعت از تولید صنعتی، درآمد خالص بخش کشاورزی از تولید کشاورزی، درآمد خالص تخصیص دهنده آب به بخشهای شرب، صنعت و کشاورزی و اشتغال در بخشهای صنعت و کشاورزی می‌باشد. البته در تابع هدف هزینه کمبود در تخصیص به نیاز زیست‌محیطی رودخانه نیز وارد شده است. در این تحقیق ذی‌نفعان به بخش کشاورزی، صنعت، شرب، تخصیص دهنده آب و محیط‌زیست تقسیم‌بندی شده است. لازم به ذکر است که مدل‌سازی تخصیص منابع آب برای منابع جدید آب استحصال شده صورت پذیرفته و حق‌آبه‌ها ابتدا از آن کسر شده و مدل برای مابقی آب تخصیص آب را انجام می‌دهد.

۴- فرمولبندی و روش‌شناسی حل مساله

مساله مورد نظر مدل‌سازی تخصیص بلند مدت آب به بخش کشاورزی، شرب و صنعت با لحاظ تاثیر تولید و

بخش بعدی کشاورزی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۲- تقاضای آبی بخش کشاورزی

بیان اقتصادی بخش کشاورزی در سطح حوضه آبریز با استفاده از نهاده‌های آن یعنی زمین، نیروی کار و آب صورت می‌پذیرد. تولید کشاورزی را می‌توان به صورت تابعی از کارآیی تولید بر حسب زمین نمایش داد:

$$RAgrPRD_{r,y} = AgrPRDf_{r,y} Land_{r,y}$$

تقاضای آب کشاورزی به صورت تابعی از تبخیر و تعرق متوسط منطقه بر حسب الگوی کلی کشت در منطقه و سطح زیرکشت مشخص می‌گردد. تامین آب به اندازه تبخیر و تعرق بیشترین تولید را به همراه خواهد داشت.

$$AgrWD_{r,y} = ET_{r,y} Land_{r,y}$$

از طرفی اشتغال در بخش کشاورزی نیز بر حسب تولید قابل بیان است:

$$AgrLBR_{r,y} = AgrLBRf_{r,y} RAgrPRD_{r,y}$$

از آنجا که بخشی از تولید صنعت وابسته به تولید کلی کشاورزی در سطح حوضه آبریز می‌باشد، حاصل جمع تولیدات ناحیه‌ای کشاورزی تولید کل کشاورزی در سطح حوضه آبریز را رقم می‌زند. این حاصل جمع در تولید صنعتی تاثیر می‌گذارد.

$$AgrPRD_y = \sum_r RAgrPRD_{r,y}$$

درآمد خالص حاصل از کشاورزی به صورت زیر، شبیه بخش صنعت قابل تعریف است:

$$AgrPRDNB_{r,y} = (AgrPRDB_{r,y} - AgrPRDC_{r,y}) \times RAgrPRD_{r,y}$$

بدین ترتیب بخش کشاورزی نیز در هر منطقه قابل مدلسازی می‌باشد. رویکرد فعلی به مدلسازی رویکرد خطی به مدلسازی بخشهای متقاضی آب و عملکرد آنها می‌باشد. بخش بعدی متقاضی آب در سطح حوضه آبریز بخش شرب می‌باشد. تقاضای بخش شرب در قسمت بعدی مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۳- تقاضای آبی بخش شرب

تقاضای بخش شرب بر حسب جمعیت بیان می‌گردد. مدل رشد جمعیت در هر منطقه به صورت زیر تعریف می‌گردد. این مدل جمعیتی شهر و حومه را با هم در نظر می‌گیرد.

تقاضای آبی بخش صنعت و تقاضای آبی شرب بر رشد تقاضای آبی و سطح زیرکشت کشاورزی می‌باشد. با توجه به اهمیت تقاضاهای آبی و سیستم آبی در بحث تخصیص منابع آب، فرمولبندی ریاضی بخشهای مختلف تقاضاهای آبی به ترتیب صنعت، کشاورزی، شرب و زیست‌محیطی صورت می‌گیرد. سپس، سیستم آبی توسط معادله بیلان آب در مخزن، بیلان آب زیرزمینی و آب جاری در زیرحوضه معرفی می‌گردد. در بخش نهایی فرمولبندی مساله نیز تابع هدف شرح داده می‌شود.

۴-۱- تقاضای آبی بخش صنعت

بخش صنعت در این تحقیق شامل تمام انواع صنایع وابسته به کشاورزی و غیر آن مانند خودرو، فولاد، آلومنیوم، پتروشیمی، نفت و گاز می‌گردد. در ابتدا تولید صنعت در سطح حوضه آبریز به صورت تابعی از تولید سال قبل، ضریب رشد تولید صنعت در سطح حوضه آبریز و درصدی از تولید کشاورزی تعریف می‌گردد.

$$RIndPRD_{r,y+1} = \left((1 + Indf_{r,y}) RIndPRD_{r,y} + Agrshr_{r,y+1} AgrPRD_{y+1} \right)$$

مقدار ضریب $Indf_{r,y}$ به صورت از پیش تعیین شده وارد مدل می‌گردد. بنابراین، تابع تولید صنعت بر حسب t_n در سال و خطی می‌باشد. از طرفی نیروی کار مورد نیاز بخش صنعت یا ظرفیت تولید اشتغال در بخش صنعت بر حسب تولید صنعتی به صورت تعداد نفرات در سال می‌تواند به صورت تابع خطی زیر مطرح گردد.

$$IndLBR_{r,y} = IndLBRf_y RIndPRD_{r,y}$$

آب مورد نیاز بخش صنعت نیز بر حسب تولید صنعتی قابل بیان می‌باشد:

$$RIndWD_{r,y} = IndWdf_y RIndPRD_{r,y}$$

هزینه تولید و درآمد تولید نیز به صورت توابع خطی از تولید قابل بیان می‌باشند:

$$IndPRDNB_{r,y} = (IndPRDB_{r,y} - IndPRDC_{r,y}) \times RIndPRD_{r,y}$$

بدین ترتیب بخش صنعت به صورت معادلات بالا در سطح حوضه آبریز به صورت Aggregate بیان می‌گردند. در این بخش تولید صنعت، تاثیر آب در تولید و اشتغال تولید شده همگی بر حسب تولید صنعتی بیان شده است. در

۴-۶- تعادل آب سطحی در مخازن و تخصیص آب از مخزن

در تعادل آب در مخازن آب سطحی، آبهای انتقالی، تبخیر، نشت، رهاسازی آب و سرریز در نظر گرفته می‌شود.

$$S_{r,y} + QI_{r,y} + \sum_{r'(r)} WtransS_{r',r,y} + \sum_{r'(r)} WtransFW_{r',r,y} - SAInd_{r,y} - SAIAgr_{r,y} - SAIDD_{r,y} - SAIND_{r,y} - Sp_{r,y} - \sum_{r'(r)} WtransS_{r',r,y} - \text{evap}_{r,y} - \text{Seep}_{r,y} = S_{r,y+1}$$

۴-۷- آب جاری در ناحیه

آب جاری در ناحیه شامل آوردی که وارد مخزن نمی‌گردد بعلاوه آبهای انتقالی، سرریز مخزن و رهاسازی آب از توربینها می‌باشد.

$$FW_{r,y} = WSHY_{r,y} + Sp_{r,y} + \sum_{r'(r)} WtransS_{r',r,y} + \sum_{r'(r)} WtransFW_{r',r,y}$$

۴-۸- تعادل آب زیرزمینی و تخصیص از منابع

زیرزمینی

در تعادل آبی برای سفره آب زیرزمینی، برداشتها، آبهای بازگشتی، ذخیره دینامیک سفره آب زیرزمینی در نظر گرفته شده است.

$$GrtdD_r(DD_{r,y} - SIDD_{r,y}) + GrtdIND_r SWIND_{r,y} + GrtdAgr_r SWAgr_{r,y} + GWI_{r,y} \geq GAIIND_{r,y} - GAIAgr_{r,y} - GAIDD_{r,y}$$

۴-۹- آب خروجی از زیرحوضه

آب خروجی از هر ناحیه مربوط به آب جاری تخصیص داده نشده است.

$$\text{Outflow}_{r,y} = FW_{r,y} - \left(\begin{array}{l} \text{FAIDD}_{r,y} + \text{FAIIND}_{r,y} + \\ \text{FAIAgr}_{r,y} + \sum_{r'(r)} WtransFW_{r',r,y} \end{array} \right)$$

آب خروجی از هر ناحیه بایستی قید مربوط به نیاز

$$\text{Pop}_{r,y+1} = \text{Grf}_{r,y} \text{Pop}_{r,y}$$

بدین ترتیب تقاضای آبی شرب در هر منطقه به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\text{MunWD}_{r,y} = \text{DDf}_{r,y} \text{RPop}_{r,y}$$

درآمد حاصل از تامین آب برای بخش شرب توسط سیستم تامین آب در بخش عرضه آب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۴- تقاضای زیست‌محیطی

تقاضای آبی زیست‌محیطی رودخانه به صورت درصد خاصی از آب جاری در هر منطقه در نظر گرفته می‌شود.

$$\text{EnvDem}_{r,y} = \text{EnvDf}_r (WSHY_{r,y} + QI_{r,y})$$

مقدار ضریب در معادله بالا بعضاً ۲۵ درصد در نظر گرفته شده، به شرط اینکه در رودخانه گونه‌های جانوری مانند ماهیهای آزاد وجود نداشته باشند. چنانچه گونه‌های خاصی وجود داشته باشند، در بخشی از سال مقدار آب بیشتری برای تولید مثل و تخم‌ریزی گونه‌های آبی بایستی تامین گردد. تقاضای زیست‌محیطی درون رودخانه، که بر اساس آمار بلند مدت جریان رودخانه محاسبه می‌گردد، به صورت قید زیر در مدل در نظر گرفته می‌شود.

$$\text{Outflow}_{r,y} + \text{OSI}_{r,y} \geq \text{EnvDem}_{r,y}$$

اشتغال تولید شده توسط بخش کشاورزی و صنعت به صورت زیر قابل بیان می‌باشد:

$$\text{Empl}_y = \sum_r \text{AgrLBR}_{r,y} + \text{IndLBR}_{r,y}$$

فرمولبندی عملکرد و تقاضای آب بخشهای متقاضی آب توسط رویکرد خطی به مدلسازی صورت گرفت. بدین ترتیب بخش تقاضای آبی مدل گردیده که در اندرکنش با عرضه آب نیز قرار دارد. در بخش بعدی شبکه آبی، که قابلیت عرضه آب را نشان می‌دهد و درآمد خالص حاصل از تامین آب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۵- بخش عرضه منابع آب

عرضه منابع آب در سه بخش آب ذخیره شده سطحی، آب جاری و آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد. البته دو بخش عمده در این قسمت وجود دارد؛ یکی معادلات تخصیص منابع آب و دیگری تعادل آبی در مخازن آب سطحی، آب زیرزمینی و آب جاری می‌باشد.

زیست‌محیطی درون رودخانه رد ارضا نماید. درآمد خالص حاصل از تامین آب برای بخشهای متقاضی آب، بیان‌کننده بخشی از منافع تامین‌کننده آب می‌باشد.

ذاتاً حاصل از تامین آب برای بخشهای متقاضی آب، بیان‌کننده بخشی از منافع تامین‌کننده آب می‌باشد.

$$\begin{aligned} \text{SupNB}_{r,y} &= (\text{SWIndB}_{r,y} - \text{SWIndC}_{r,y}) \\ &+ (\text{SWAgr}_{r,y} + (\text{SWAgrB}_{r,y} - \text{SWAgrC}_{r,y})) \\ &+ (\text{SWMunB}_{r,y} - \text{SWMunC}_{r,y}) \\ &+ (\text{EnB}_{r,y} - \text{EnC}_{r,y}) \text{Hene}_{r,y} \end{aligned}$$

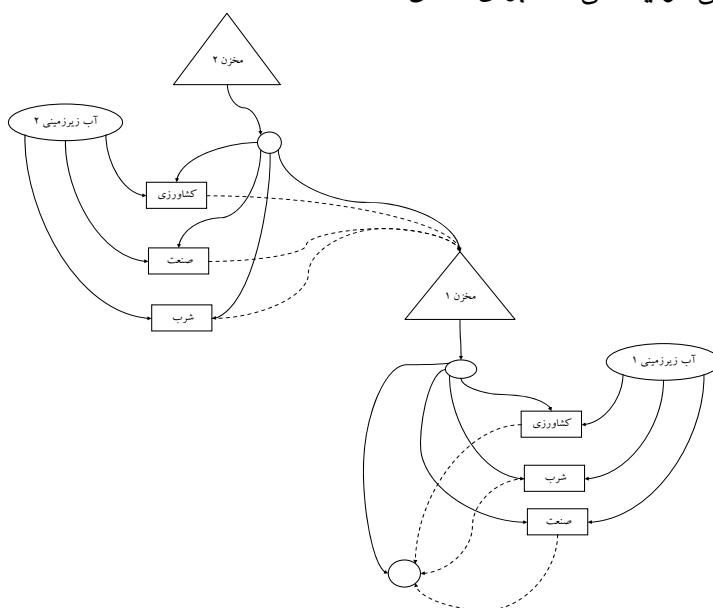
البته تابع هدف مساله از بخش دیگری نیز تشکیل شده، که در نهایت تابع هدف کلی مساله به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\begin{aligned} \text{NB} &= \sum_r \sum_y \text{SupNB}_{r,y} + \text{AgrPRDNB}_{r,y} + \\ &+ \text{IndPRDNB}_{r,y} + \text{EmplBN}_y - \text{EnvC}_y \sum_r \sum_y \text{OSI}_{r,y} \end{aligned}$$

با بیشینه‌سازی این تابع هدف که روی تمام دوره برنامه‌ریزی تعریف شده، تخصیص بهینه بلند مدت آب و افزایش سطح زیرکشت و تولید کشاورزی مشخص می‌گردد. مساله فرمولبندی شده خطی بوده و از نظر حل توسط نرم‌افزار مشکل خاصی تولید نمی‌کند. برای نشان

۵- مورد مطالعاتی

مورد مطالعاتی انتخاب شده برای نشان دادن قابلیت مدل شامل یک حوضه آبریز فرضی شامل دو زیرحوضه می‌باشد. هر یک از زیرحوضه‌ها شامل یک مخزن با اهداف مختلف هستند. در این مساله هدف تعیین مقدار بهینه تخصیص بلند مدت منابع آب به تقاضاهای آبی و افزایش سطح زیرکشت و تولید کشاورزی با لحاظ تاثیر تقاضاهای آبی در بخشهای دیگر متقاضی آب بر یکدیگر است. مشخصات این سیستم در شکل ۱ و جداول ۱ و ۲ آورده شده است.



شکل ۱ شماتیک سیستم آبی حوضه آبریز با دو زیرحوضه

جدول ۱ مشخصات مخازن سیستم آبی

	حجم (میلیون متر مکعب)			تراز پایاب (متر)	افت هد (متر)
	حجم نرمال	حجم حداقل	حجم اولیه		
مخزن ۱	۴۵۸۰	۸۵۰	۳۵۰۰	۱۱۲	۲/۵
مخزن ۲	۳۵۶۰	۵۵۰	۲۵۰۰	۲۴۳	۳/۵

جدول ۲ مشخصات سیستم آبی و بخشهای متقاضی آب

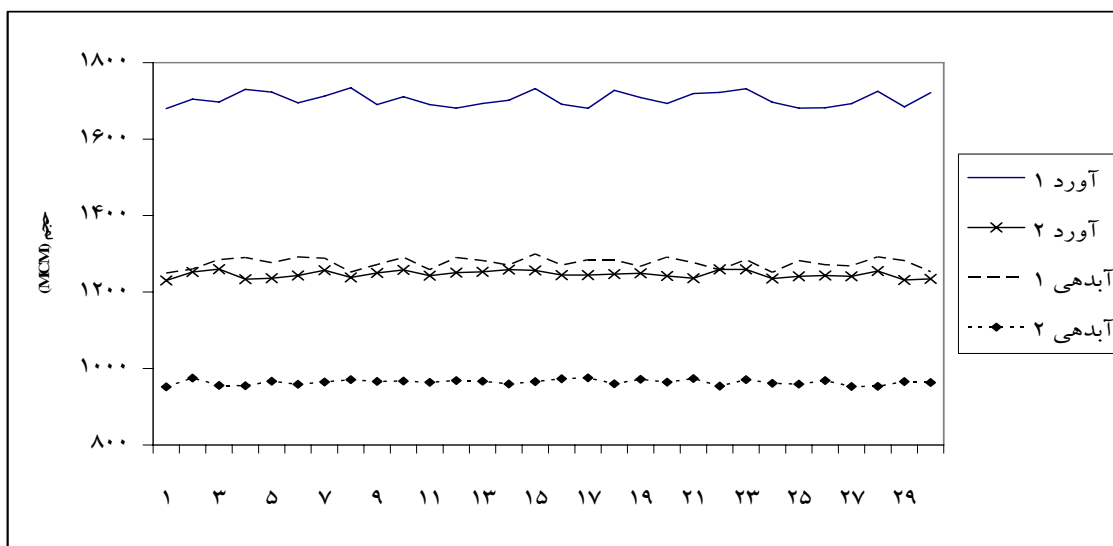
اشتغال اولیه کشاورزی	اشتغال اولیه صنعت	تولید اولیه صنعتی (تن)	سطح زیر کشت اولیه (هکتار)	ضریب رشد	جمعیت اولیه
۱۳۶۹۰۵	۳۰۱۵۹	۷۸۰۰۰۰	۷۵۶۰۶	۰/۰۰۲۸	۱۴۰۰۰۰۰
۲۷۸۳۸۷	۷۱۱۹۲	۹۹۵۰۰۰	۱۷۳۳۴۶	۰/۰۰۲۸	۱۲۰۰۰۰۰

جدول شماره ۳ مشخصات تقاضاهای آبی

تقاضای شرب بر حسب میلیون متر مکعب در نفر	۰/۰۰۰۰۴۸
تقاضای آبی صنعت بر حسب تولید (میلیون متر مکعب در تن)	۰/۰۰۰۱۱۳
کار آبی تولید کشاورزی (تن در هکتار)	۵
سهم کشاورزی در صنعت	۰/۰۱۵
مقدار متوسط تبخیر و تعرق (متر در هکتار)	۰/۳۹۵
اشتغال بر حسب تولید صنعتی	۰/۰۰۳۸
اشتغال بر حسب تولید کشاورزی	۱/۸۱

جدول شماره ۴ هزینه و درآمد حاصل از تخصیص منابع آب

هزینه تامین آب (دلار در متر مکعب)	۳
درآمد تامین آب برای شرب (دلار در متر مکعب)	۶
درآمد تامین آب برای صنعت (دلار در متر مکعب)	۱۲
درآمد تامین آب برای کشاورزی (دلار در متر مکعب)	۴/۸
هزینه تولید کشاورزی (دلار در تن)	۴۵
هزینه تولید صنعت (دلار در تن)	۶۷۰
درآمد تولید کشاورزی (دلار در تن)	۶۷
درآمد تولید صنعتی (دلار در تن)	۱۵۰۰
هزینه تولید انرژی (دلار در مگاوات ساعت)	۱۰
درآمد تولید انرژی (دلار در مگاوات ساعت)	۱۵



شکل ۲ سری زمانی منابع آب در زیرحوضه‌ها

بکار گرفته شده است. در واقع لحاظ بهم پیوستگی زمانی و مکانی عملکرد زیرحوضه‌های ۱ و ۲ امکان تخصیص منابع آب و زمین را برای بیشینه‌سازی تولید صنعتی و کشاورزی در سطح حوضه بنحوی که درآمد خالص آن نیز بیشینه گردد بوجود آورده است.

دلیل این امر نیز رفتاری می‌باشد که در شکل‌های ۶ تا ۸ بیانگر رشد تولید در زیرحوضه‌های ۱ و ۲ می‌باشد. در شکل ۷ و ۸ عملاً رشد تولید صنعتی تا حد خاصی صورت گرفته و در ادامه حتی آب کافی برای رشد در نظر گرفته شده، وجود نداشته و همین باعث کاهش تولید صنعتی در زیرحوضه ۲ از سال ۳ به بعد شده است. بهمین دلیل رشد در بخش صنعت از منظر آب محدودیت داشته و توصیه می‌گردد که بیشتر از مقدار نهایی در سال ۳۰ در نظر گرفته نشود. البته تولید صنعت در سطح حوضه آبریز رشد داشته است، اما به اندازه ۵ درصد مطلوب در تمام سالها امکان پذیر نبوده است. اما از طرف دیگر تولید کشاورزی در هر دو بخش افزایش داشته و دچار کاهش نیز نشده است. بعبارت دیگر نرخ رشدی از کشاورزی که به لحاظ منابع در دسترس از حیث آب، زمین و نیروی کار ۱ در نظر گرفتن محدودیت تامین تقاضاهای شرب و صنعت و همچنین، در نظر گرفتن درصدی از تقاضای آب صنعت که بواسطه کشاورزی بوجود می‌آید، در این برنامه‌ریزی برای بیشینه‌سازی درآمد خالص کشاورزی تعیین گردیده است. این موضوع در شکل ۱۱

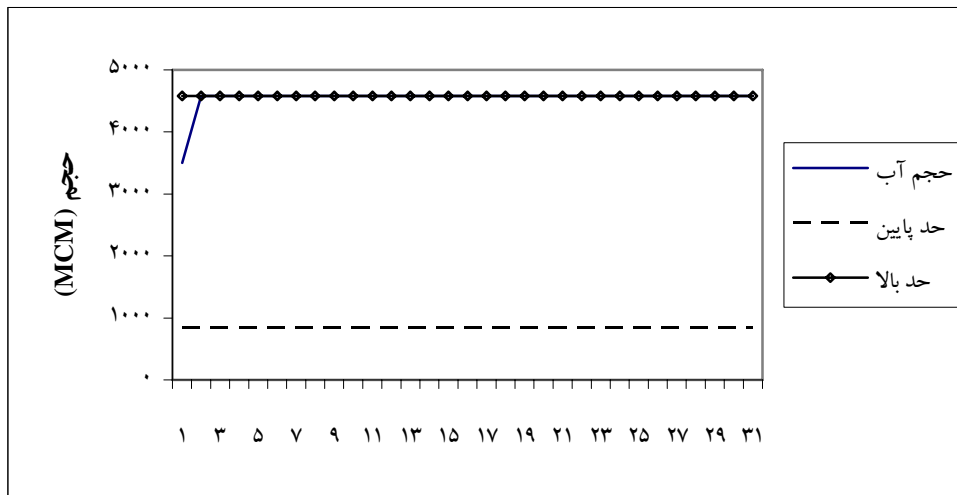
سیستم مورد نظر شامل تمام تقاضاهای آبی می‌باشد. علاوه بر این نرخ رشد صنعت ۵ درصد و نرخ رشد جمعیت ۰/۲۵ درصد در نظر گرفته شده است. جدول شماره ۳ و ۴ مشخصات دیگری از تقاضاهای آبی را در اختیار قرار می‌دهد. با توجه به فرضی بودن حوضه آبریز اعداد بیانگر آمار واقعی نیستند اما از سازگاری کامل به لحاظ کاربرد در معادلات برخوردار هستند.

سیستم مورد نظر که به صورت یک مدل خطی فرمولبندی شده است توسط نرم‌افزار GAMS22.2 حل شده و نتایج آن در قالب نموداری در شکل‌های ۳ تا ۱۸ نشان داده شده است. مدل در شکل‌های ۳ و ۴ مخازن را پر نگه داشته است. آب رهاسازی شده نیز از سال دوم به بعد در هر دو زیرحوضه وضعیت نسبتاً ثابتی را دنبال می‌کند و عملاً تنظیم شده است. شکل ۶ نشان می‌دهد که وجود مخزن ۴۵۸۰ میلیون متر مکعبی امکان ذخیره و تنظیم جریان برای افزایش تولید صنعت و کشاورزی بیش از ظرفیت هر سال در زیرحوضه ۱ را فراهم نموده است. از سال ۲۲ به بعد عملکرد زیرحوضه ۲ منابع آب اضافی برای افزایش تولیدات در منطقه ۱ را علاوه بر منابع موجود منطقه ۱ بوجود آورده است. با توجه به اینکه منابع آب منطقه ۲ به اندازه منطقه ۱ نبوده و امکان رشد تولید به اندازه منطقه ۱ در آن فراهم نیست، رشد در منطقه ۲ روند کندتری را دنبال نموده و در عوض منابع منطقه ۲ برای منطقه ۱

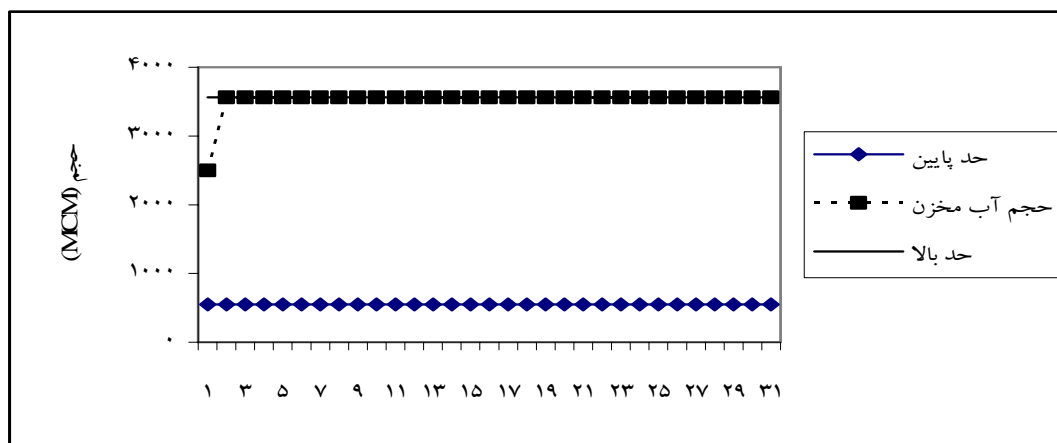
نشان داده شده است.

در شکل ۱۱ ملاحظه می‌گردد که تولید کشاورزی در رشد داشته و تقریباً هر دو زیرحوضه از نرخ رشد مشابهی برخوردار هستند. البته یکی از دلایل این موضوع نزدیک بودن کارآیی تولید کشاورزی در

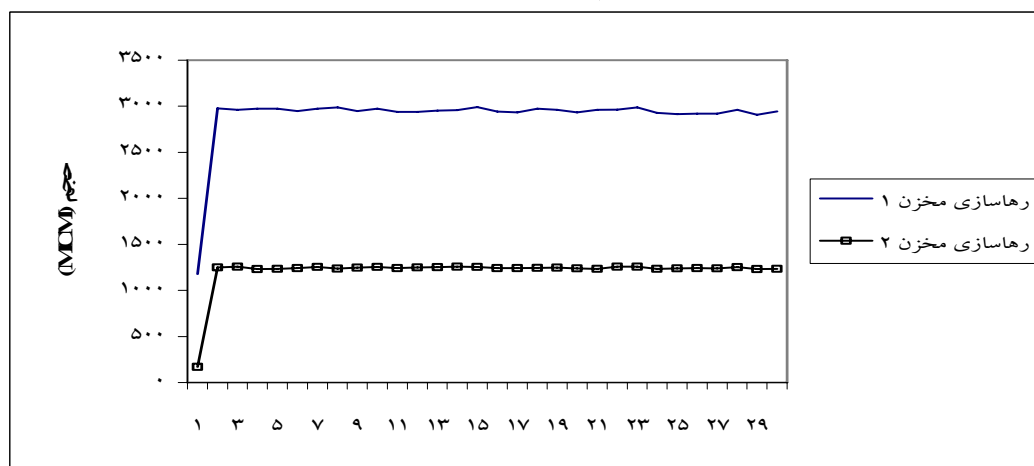
زیرحوضه‌ها می‌باشد. شکل ۱۲ نشان می‌دهد که سطح زیر کشت در زیر حوضه ۱ بیشتر از سطح زیر کشت در زیر حوضه ۲ می‌باشد، علت این امر نیز بیشتر بودن کارآیی تولید در زیرحوضه ۱ و تخصیص زمین بیشتر برای تولید بیشتر در آن زیرحوضه می‌باشد.



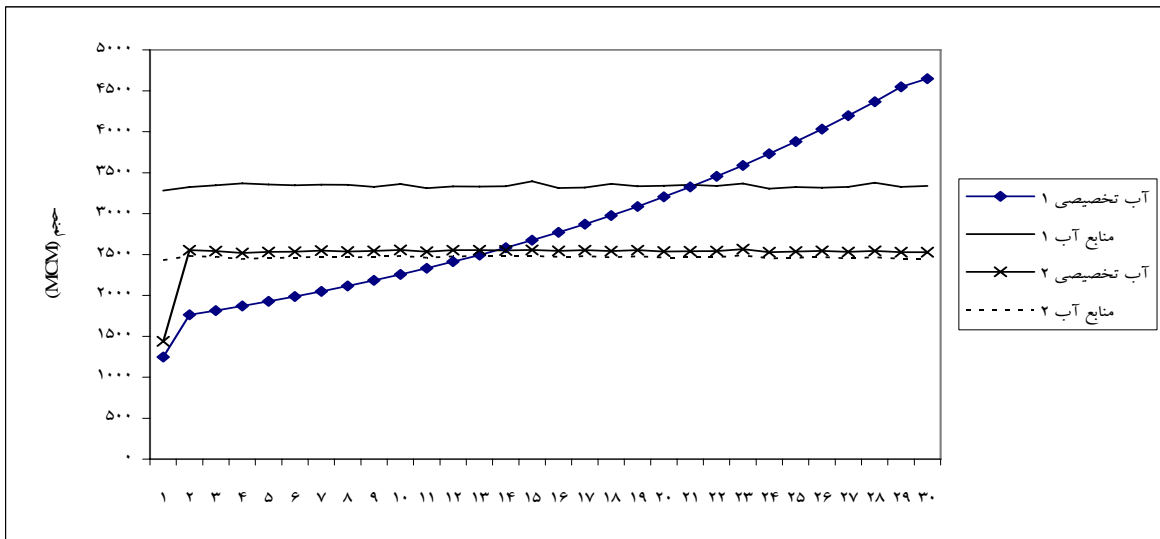
شکل ۳ حجم آب مخزن در زیرحوضه ۱



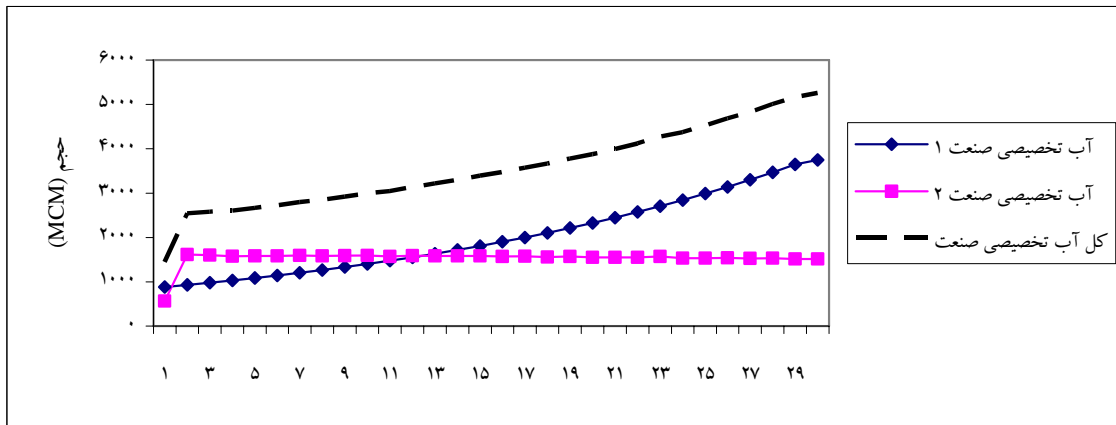
شکل ۴ حجم آب مخزن در زیرحوضه ۲



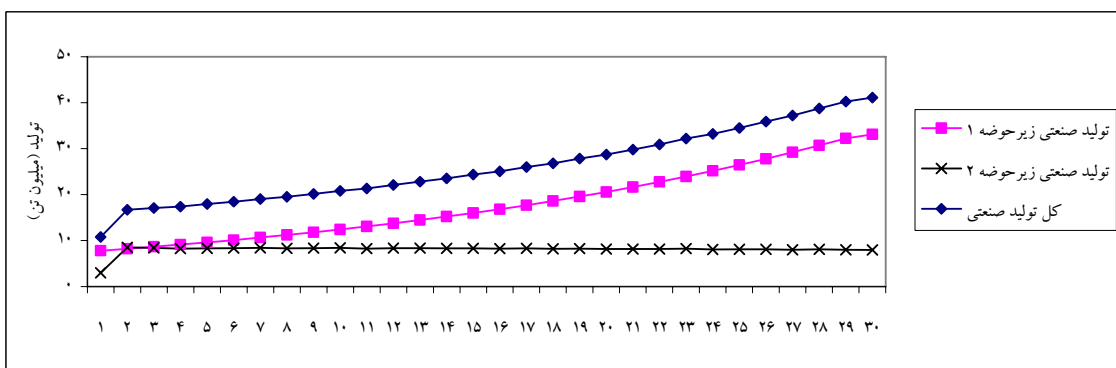
شکل ۵ رهاسازی آب مخزن در زیرحوضه‌های ۱ و ۲



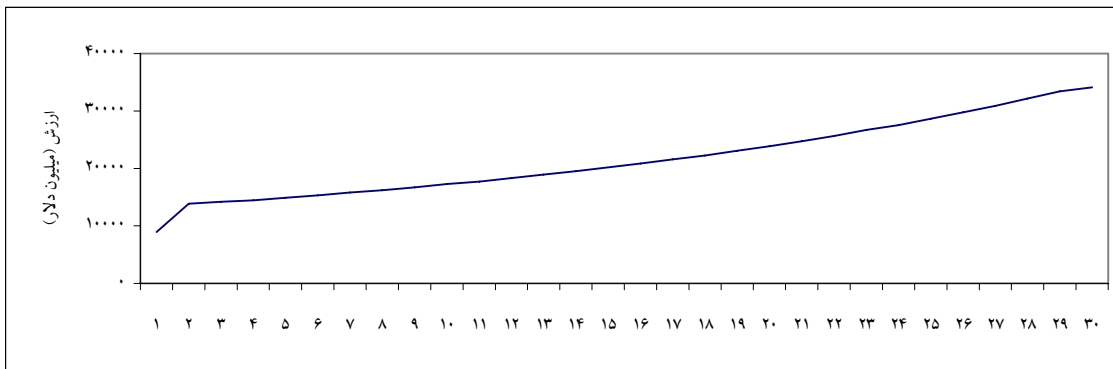
شکل ۶ منابع آب و تخصیص کلی آب در هر یک از زیرحوضه‌ها



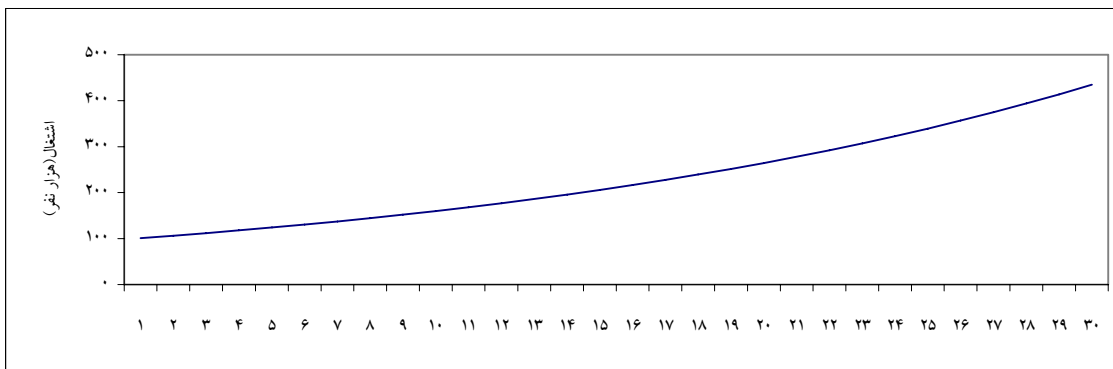
شکل ۷ آب تخصیصی به صنعت در هر یک از زیرحوضه‌ها و در کل حوضه آبریز



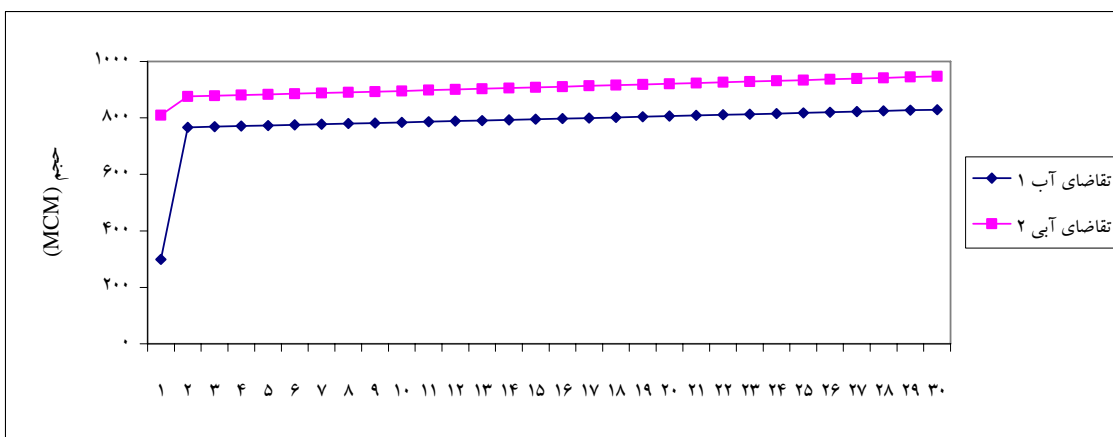
شکل ۸ تولید صنعتی به تفکیک زیرحوضه‌ها و در کل حوضه آبریز



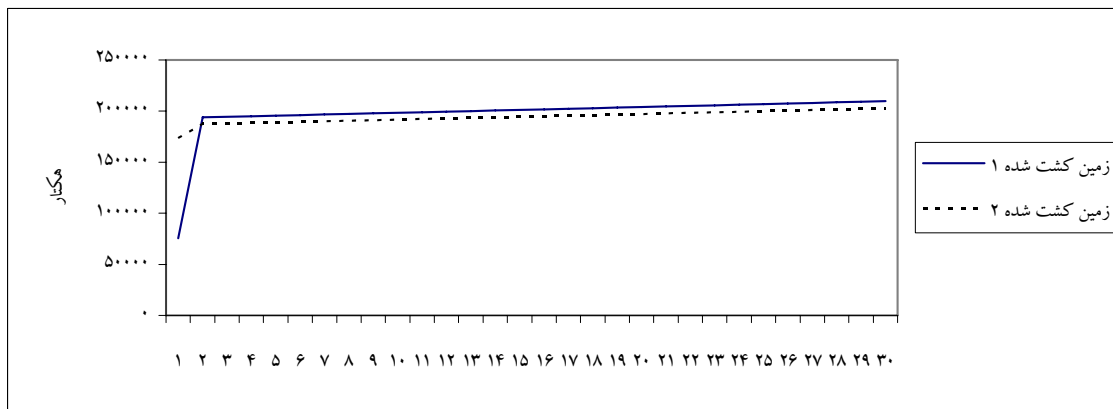
شکل ۹ سود خالص تولیدات صنعتی در سطح حوضه



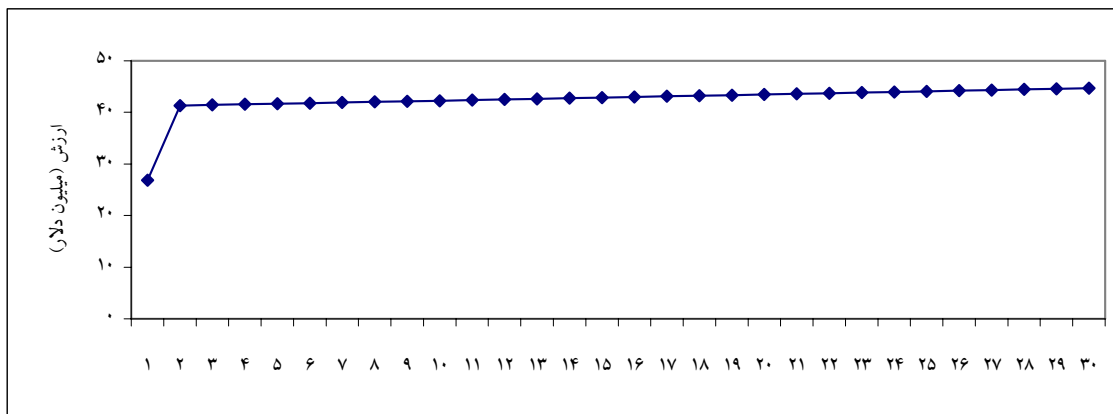
شکل ۱۰ اشتغال در بخش صنعت در سطح حوضه آبریز



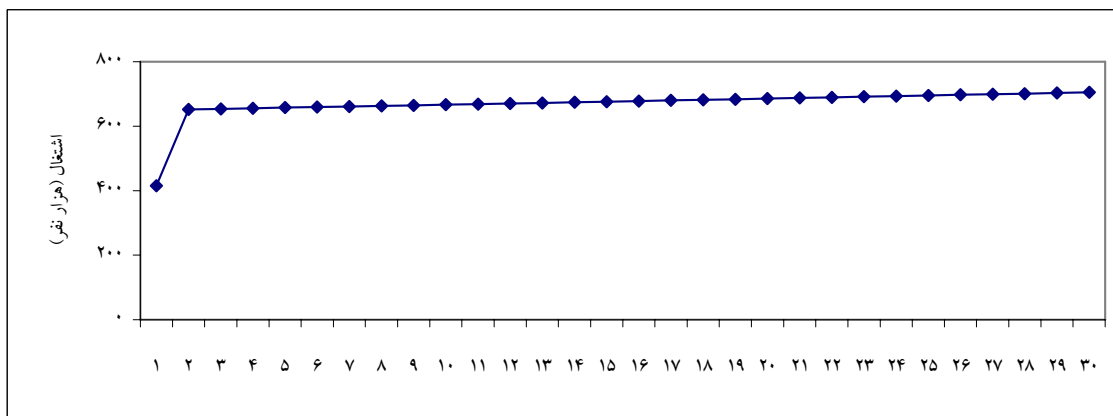
شکل ۱۱ تقاضای آبی کشاورزی به تفکیک زیرحوضه



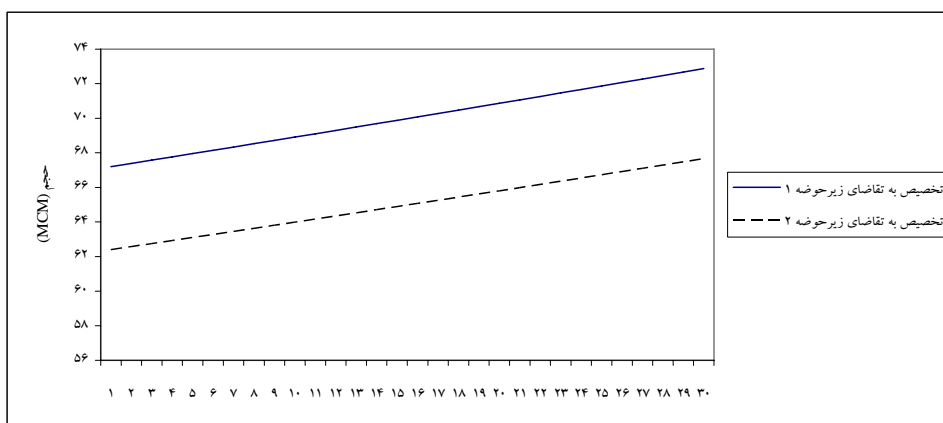
شکل ۱۲ توسعه زمین برای کشت به تفکیک زیرحوضه



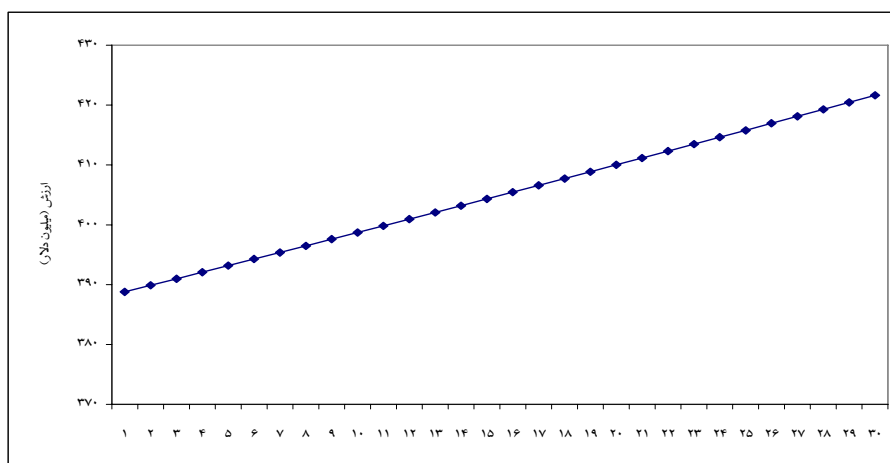
شکل ۱۳ ارزش تولید کشاورزی در سطح حوضه آبریز



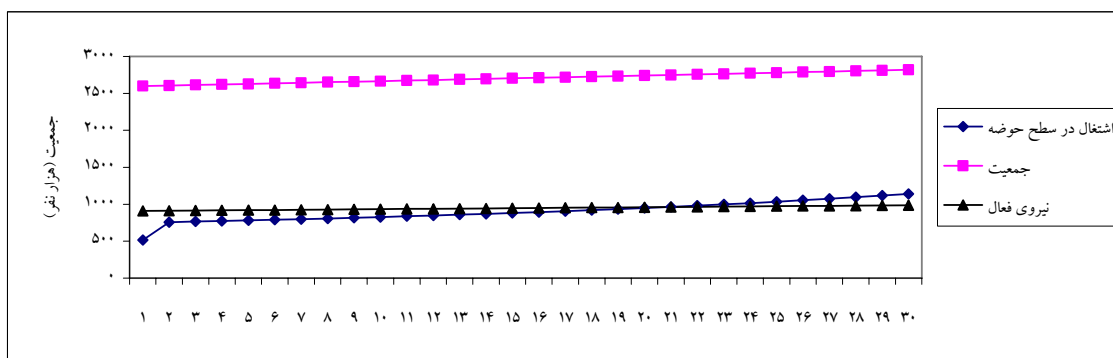
شکل ۱۴ اشتغال بخش کشاورزی در سطح حوضه آبریز



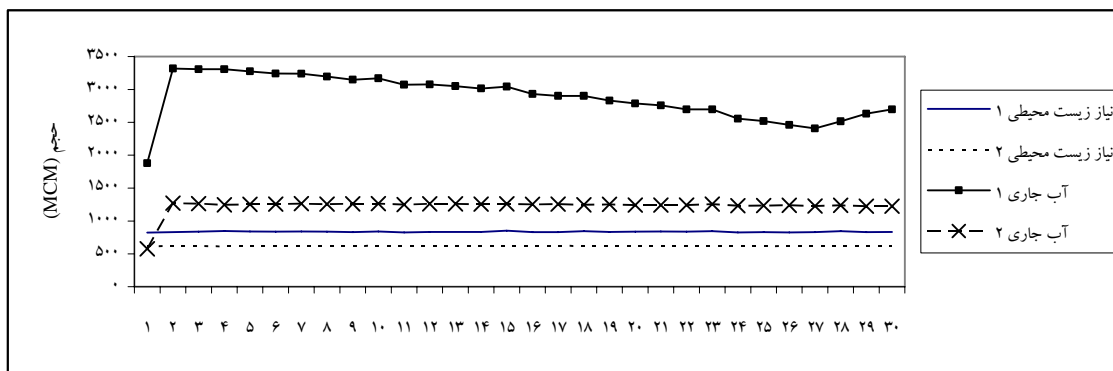
شکل ۱۵ تخصیص منابع آب به تقاضای شرب به تفکیک زیرحوضه



شکل ۱۶ سود خالص تامین کننده آب برای تقاضای شرب در سطح حوضه آبریز



شکل ۱۷ اشتغال، جمعیت و نیروی فعال در سطح حوضه



شکل ۱۸ آب جاری در هر زیرحوضه و نیاز زیست محیطی رودخانه در هر زیرحوضه

دوره برنامه ریزی افزایشی بوده است. بعبارت دیگر، نتایج این مدل سازی نشان می دهد که با اولویت تخصیص آب به تقاضاهای شرب و صنعت می توان به این موضوع پرداخت که افزایش سطح زیرکشت، تولید و تقاضای آبی کشاورزی به چه نحوی از نظر مکانی و زمانی رشد کند که در تمام دوره برنامه ریزی تقاضای آب آن قابل تامین باشد و بیشترین درآمد خالص را نیز نصیب بخش کشاورزی نماید. در شکل ۱۷ مدل در نحوه بهینه رشد سطح

نمودارها بیانگر این موضوع هستند که لحاظ نمودن بازخورد عملکرد بخشهای مختلف تقاضا بر یکدیگر و رعایت بهم پیوستگی مکانی و برنامه ریزی چند-دوره ای امکان تخصیص منابع آب، زمین، نیروی کار را برای تولید، اشتغال و درآمد بیشتر بین ذی نفعان ممکن می سازد. شکل های ۱۵ و ۱۶ نشان می دهند که تقاضای شرب (هر چند رشد خیلی زیادی نداشته است) به طور کامل تامین شده است. علاوه بر این، درآمد خالص حاصل از تخصیص آب به متقاضیان شرب در تمام

زیرکشت و تولید کشاورزی تا سال ۲۰، هنوز تمام نیروی فعال را وارد چرخه اشتغال ننوده است. اما از سال ۲۰ به بعد نیاز به نیروی کار بیشتر از نیروی کار موجود می‌گردد. تقاضای زیست‌محیطی رودخانه در هر دو زیرحوضه به طور کامل برآورده گردیده است

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق رویکردی ساده به مدل‌سازی تخصیص بلند مدت منابع آب به بخش کشاورزی، صنعت و شرب در شرایط محدودیت منابع آب، زمین و نیروی کار با لحاظ تاثیر تقاضای آبی شرب و صنعت در تغییر تقاضای کشاورزی در سطح حوضه آبریز صورت گرفته است. عوامل عمده‌ای که در این مدل‌سازی مورد توجه قرار گرفت، لحاظ بهم‌پیوستگی مکانی و برنامه‌ریزی چند-دوره‌ای برای اطمینان از بهینگی بلند مدت و توزیع مکانی مناسب تصمیم‌ها از یک سو و لحاظ پایداری و تعادل بلند مدت به طور غیرمستقیم از سوی دیگر در برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب است. دیگر عامل مهمی که در مدل‌سازی در نظر گرفته شد عملکرد بخش کشاورزی به صورت تابعی از منابع آب، زمین و نیروی کار برای تعیین مقدار و جهت رشد تولید و سطح زیرکشت با هدف بیشینه‌سازی درآمد خالص هر بخش و اشتغال در سطح حوضه آبریز بوده است. البته افزایش تولید و تقاضای آبی بخش صنعت شامل بخشی ثابت و بخشی متغیر به صورت تابعی از کشاورزی می‌باشد که در مدل لحاظ شد. البته این مدل‌سازی نمایی کامل از یک بهم‌پیوستگی بین بخشهای مختلف متقاضی آب در سطح حوضه نمی‌باشد، در همین راستا پیشنهادات زیر برای بهبود تحقیق اخیر به صورت زیر قابل بیان است:

- بیان تقاضای آبی بخش صنعت و شرب به صورت متغیر تصمیم و لحاظ بازخوردهای آنها با بخش کشاورزی و با یکدیگر
- بیان واقعی‌تری از منافع ذی‌نفعان با کاربرد شاخصهایی مانند رفاه عمومی به صورت تابعی از آب تخصیصی

- بیان واقعی‌تری از بخشهای متقاضی آب در سطح حوضه آبریز با استفاده از توابع غیرخطی تولید بجای توابع خطی که تغییرات زمانمند تولید مانند تکنولوژی و عوامل اقتصادی را در نظر نمی‌گیرند
- لحاظ آب زیرزمینی به صورت دقیقتر در مدل‌سازی سیستم آبی
- لحاظ عدم قطعیت در پارامترهای مدل برای تحلیل بلند مدت

۷- مراجع

- McKinney, D. Cai, x. Rosegrant, M, Ringler, C. and Scott, C (1999), "Modeling Water Resources Management at basin Level: Review and Future Directions", IWMI.
- Cai, X., McKinney, D.C. and Lasdon, L.S. (2003), "Integrated Hydrologic-Agronomic- Economic Model for River Basin Management", ASCE Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 129, No. 1.
- Johansson, R (2005), "Micro and Macro-level approach for assessing the value of irrigation water", World Bank Policy Research Working Paper 3778.
- Roe, T Dinar, A Tsur, Y. and Diano, X. (2005), "FEEDBACK LINKS BETWEEN ECONOMY-WIDE AND FARM-LEVEL POLICIES: Application to Irrigation Water Management in Morocco", World Bank Policy Research Working Paper 3550
- Krol, M. Jeager, A, Bronstert, A. and Gunter, A (2006) "Integrated modeling of climate, water, soil, agriculture, and socio-economic processes: A general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid north-east of Brazil", Journal of Hydrology, Elsevier, 328, 417-431.

۸- علائم بکار رفته در مقاله

GrtfDD	ضریب آب بازگشتی به آب زیرزمینی از شرب
GrtfInd	ضریب آب بازگشتی به آب زیرزمینی از صنعت
GrtfAgr	ضریب آب بازگشتی به آب زیرزمینی از کشاورزی
GAIInd	تخصیص آب زیرزمینی به صنعت
GAIAgr	تخصیص آب زیرزمینی به کشاورزی
GAIMun	تخصیص آب زیرزمینی به شرب
SWAgr	آب تخصیص داده شده به کشاورزی
SWInd	آب تخصیص داده شده به صنعت
SWMun	آب تخصیص داده شده به شرب
FAIInd	آب تخصیصی از آب جاری رودخانه به صنعت
FAIAgr	آب تخصیصی از آب جاری رودخانه به کشاورزی
FAIMun	آب تخصیصی از آب جاری رودخانه به شرب
SupNB	سود خالص تخصیص آب
SWIndB	درآمد تخصیص آب به صنعت
SWIndC	هزینه تخصیص آب به صنعت
SWAgrB	درآمد تخصیص آب به کشاورزی
SWAgrC	هزینه تخصیص آب به کشاورزی
SWMunB	درآمد تخصیص آب به شرب
SWMunC	هزینه تخصیص آب به شرب
EnB	درآمد تولید انرژی برق آبی
EnC	هزینه تولید انرژی برق آبی
Hene	انرژی برق آبی تولیدی
NB	حاصل جمع سود خالص در سطح حوضه آبریز
EmplNB	سود حاصل از اشتغال
EnvC	هزینه عدم تامین نیاز زیست محیطی
y	شمارنده سال
r	شمارنده زیرحوضه

Indf	ضریب رشد تولید صنعت
RIndPRD	تولید صنعتی در هر زیرحوضه
AgrShr	سهم کشاورزی در تولید صنعتی
IndLBR	اشتغال بخش صنعت
IndLBRf	نیروی کار لازم به ازاء یک واحد تولید در صنعت
RIndWD	تقاضای آب صنعت
IndWDf	مقدار آب لازم به ازاء تولید واحد در صنعت
IndPRDNB	سود خالص تولید صنعتی
IndPRDB	درآمد واحد تولید صنعتی
IndPRDC	هزینه واحد تولید صنعتی
RAgrPRD	تولید کشاورزی در هر زیرحوضه
AgrPRDf	کار آبی تولید کشاورزی در هکتار
Land	سطح زیر کشت بر حسی هکتار
AgrWD	تقاضای آبی کشاورزی
ET	متوسط تبخیر و تعرق در هر زیرحوضه
AgrLBRf	نیروی کار لازم به ازاء تولید واحد در کشاورزی
AgrPRD	تولید کشاورزی در سطح حوضه آبریز
AgrPRDNB	سود خالص از تولید کشاورزی
AgrPRDB	درآمد حاصل از تولید واحد در کشاورزی
AgrPRDC	هزینه تولید واحد کشاورزی
Pop	جمعیت
Grf	ضریب رشد جمعیت
MunWD	تقاضای آبی شرب
DDf	سراجه سالانه شرب
EnvDem	نیاز زیست محیطی رودخانه
EnvDf	درصدی از جریان رودخانه که بایستی جاری باشد
WSHY	آبدهی هر زیر حوضه که وارد مخزن نمی شود (آب جاری)
QI	بخشی از منابع آب که وارد مخزن می شود
Outflow	آب خروجی از هر زیرحوضه
OSI	کمبود در تامین نیاز زیست محیطی رودخانه
Empl	اشتغال در سطح حوضه آبریز
S	حجم آب ذخیره شده در مخزن
WtransS	انتقال آب از مخزن
WtransFW	انتقال آب از آب جاری در زیرحوضه
SAIAgr	تخصیص آب از مخزن به تقاضای کشاورزی
SAIMun	تخصیص آب از مخزن به شرب
SAIInd	تخصیص آب از مخزن به صنعت
Seep	نشست از مخزن
evap	تبخیر از مخزن
SP	سرریز از مخزن
QP	رها سازی برای تولید انرژی
FW	آب جاری در هر زیرحوضه