مدل‌سازی پویایی سیستم منابع آب دشت مشهد برای تحلیل استراتژی‌های توسعه پایدار

سید احمد حسینی[1] علی باقری[2]

(دریافت ۹۰/۱۰/۲۰ پذیرش ۹۱/۶/۲۹)

چکیده

استفاده فزاینده از منابع آبهای سطحی و زیرزمینی دشت مشهد در نتیجه توسعه کشاورزی و صنایع وابسته در این دشت منجر به تشدید روند نزولی سطح آبخوان آن شده است. در این مقاله با هدف بیان چگونگی عملیاتی‌کردن ارزیابی یکپارچه منابع آب، ارزیابی سیستم منابع آب دشت مشهد در نتیجه اقدامات و سیاست‌های اتخاذ شده در فرایند برنامه‌های توسعه اقتصادی کشور مورد بررسی قرار گرفت. در طی فرایند مدل‌سازی با رویکرد پویایی سیستم‌ها، با شناخت از سیستم و استفاده از شاخصهایی که مبتنی بر ایده حلقه‌های کارایی تحت عناوین تنش منبع، بهره‌وری اقتصادی منبع و متوسط نیاز آبی دشت معرفی گردیدند، به تبیین استراتژی‌های دشت در راستای پایداری منطقه اقدام گردید. در ادامه متناسب با راهبردهای سه‌گانه (رشد اقتصادی با رویکرد محدودیت منابع آب؛ تخصیص منابع آب با رویکرد ارزش افزوده؛ و تغییر الگوی کشت) بسته‌های سیاستی تدوین شد و تأثیر آنها بر شاخصهای انتخابی شامل: تراز آبخوان، تنش منبع، بهره‌وری اقتصادی منبع، کمبود آب، و متوسط نیاز آبی دشت مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل مشاهده شد که تأثیر کاهش یا افزایش همه فاکتورها، برابر با مجموع تأثیر کاهش یا افزایش تک‌تک آنها بر پایداری منطقه نیست. همچنین تغییر الگوی کشت به کشت پیشنهادی (در این تحقیق کشت گندم با نیاز آبی ۳۰۰۰ مترمکعب در هر هکتار) به‌عنوان یک سیاست برتر می‌تواند گامی اثربخش در جهت بهبود وضعیت منابع آب دشت مشهد بردارد.

واژه‌های کلیدی: پویایی سیستم‌ها، مدل‌سازی یکپارچه سیستم‌های منابع آب، دشت مشهد، آبهای زیرزمینی، توسعه پایدار

System Dynamics Modeling of the Water Resources System in Mashad Plain to Analyze Strategies for Sustainable Development

Seyed Ahmad Hosseini [1] *Ali Bagheri* [2]

(Received Jan. 10, 2012 Accepted Sep. 19, 2012)

Abstract

The growing exploitation of surface and ground water resources in Mashad Plain due to agricultural and related industrial development has resulted in a continuous fall in the local groundwater level. Aiming to show a practical way of integrated water resources assessment, the present paper will assess the water resources system in Mashad Plain uner policies in the process of the economic growth programs. Adopting a system dynamics modeling to better identify the system under study, the paper goes further to suggest local sustainability strategies using the "resource stress", "resource economic productivity", and the "local average water need" indicatiors based on the idea of viability loops. According to the suggested three strategies (the economic growth acknowledging limiting water resources, water allocation based on its value added, and altering to crop pattern) different policy pakcages were designed. The effects of policies on the selected indicators including "groundwater level", "resource stress", "resource economic productivity", "water scarcity", and "the local average water need" were investigated. The results showed that the superposed effect of the all strategies

۱- کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، مدیر سایت مدیریت پایدار آب، تهران
۲- استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران (نویسنده مسئول)
(۰۲۱) ۴۸۲۹۲۳۱۵ ali.bagheri@modares.ac.ir

1. M.Sc. of Water Management Eng., Director of Sustainable Management of Water, Tehran
2. Assist. Prof. of Water Management Eng., Tarbiat Modares University, Tehran (Corresponding Autor) (+98 21) 48292315 ali.bagheri@modares.ac.ir

together on the local sustainability will not be as much as the summation of the effects of separate strategies. It was also shown that changing the crop pattern to the one suggested one which is equivalent to wheat with 3000 m^3/hr water need per hectare can serve as an effective policy on the local sustainability.

Keywords: System Dynamics, Integrated Modeling of Water Resources Systems, Mashhad Plain, Groundwater, Sustainable Development

۱- مقدمه

افزایش جمعیت دشت مشهد به بیش از ۵۰ درصد جمعیت استان خراسان رضوی و توجه به توسعه کشاورزی و صنعتی در منطقه دشت مشهد، منجر به استفاده فزاینده از منابع آبهای سطحی و زیرزمینی در راستای تأمین تقاضا گردیده است. این استفاده فزاینده منجر به تشدید روند نزولی سطح آبخوان دشت مشهد شده است [۱]. این در حالی است که از سال ۱۳۴۷، استفاده از این دشت از طرف امور آب وزارت نیرو ممنوعه اعلام شده است.

مطالعات بهزادی در سال ۱۹۷۰ را می‌توان از نخستین گزارشها در رابطه با دشت مشهد و بررسی چالشهای آب منطقه به‌شمار آورد [۲]. این مطالعات با محوریت بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت مشهد طی سالهای ۱۳۴۳ تا ۱۳۴۸ و خطرات احتمالی ناشی از استفاده نامعقول و نامناسب از مخازن آبهای زیرزمینی دشت مشهد انجام شده است. براورد امکانات جغرافیایی دشت مشهد در راستای توسعه کشاورزی دهستان چناران از توابع دشت مشهد توسط کدیور در سال ۱۹۹۲ انجام گرفته است [۳]. در این پژوهش پتانسیل منابع اعم از انسانی و محیطی در رابطه با توسعه کشاورزی و اثرات منفی توسعه شهری و صنعتی بر بخش کشاورزی بررسی و تحلیل شده است. نقش کاربری بهینه آب در استراتژی حفاظت از منابع آبی با تکیه بر ارزیابی بهره‌برداری‌های غیرمجاز در دشت مشهد توسط مروج الشری در سال ۱۹۹۵ صورت پذیرفته است [۴]. این تحقیق به بررسی و ارزیابی اثرات ناشی از برداشت‌های غیرمجاز در دشت مشهد اعم از شوری، نشست زمین، تبعات بیکاری، مهاجرت از روستا به شهرهای بزرگ و غیره پرداخته است. بررسی و تحلیل عملکرد مدیریت در حفاظت از منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت مشهد با تأکید بر دیدگاه مدیران و کارشناسان طی پژوهشی توسط کیخسروی در سال ۲۰۰۴ انجام شده است [۵]. این پژوهش به ارائه راهکارهای اجرایی و پیشنهادهایی برای استفاده از پارامترهای مدیریتی در پیشگیری از بروز بحران بیشتر در منابع آب زیرزمینی دشت مشهد و همچنین تلاش برای بهبود وضع موجود پرداخته است.

با توجه به سوابق مطالعاتی بیان شده در دشت مشهد، همچنان مشکلات عدیده‌ای در مدیریت منابع آب این منطقه اعم از نشست زمین، افت تراز آبخوان و تخریب کیفی آب وجود دارد. این مقاله به مدل‌سازی به‌هم‌پیوسته منابع آب دشت مشهد با لحاظ فرایندهای اقتصادی و محیطی پرداخته است. در ادامه به ارزیابی سیستمیک سیاست‌های گذشته و پیشنهادی در منطقه پرداخت شد و مشخص شد که به‌منظور تطبیق الگوی توسعه منطقه با الگوهای توسعه پایدار، از منابع آب این دشت چگونه باید بهره‌برداری کرد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- مدل‌سازی به‌هم‌پیوسته منابع آب با استفاده از رویکرد شبیه‌سازی پویایی سیستم‌ها

آب محور اصلی در تحولات پیچیده تغییرات جهانی مانند تغییر اقلیم و توسعه آینده کشورها است. از این‌رو به‌دلیل فرایندهای پیچیده تغییرات در گستره وسیعی از فعالیتهای محیطی و انسانی، مسائل مرتبط با آب، مانند تقاضای آب و دسترسی به آب آشامیدنی سالم باید با رویکردی به‌هم‌پیوسته تحلیل و ارزیابی گردد [۶]. مدل واترسیم[1] که توسط فرایچر در سال ۲۰۰۷ توسعه داده شد، به بررسی و تحلیل به‌هم‌پیوسته امنیت آب و غذا در سطوح جهانی و منطقه‌ای با مقیاس حوضه‌های آبریز می‌پردازد [۷]. متغیر مرجع این مدل کمیابی آب و محدوده تحلیل تصمیم‌گیری، اقدامات مقتضی در باب مدیریت تأمین و تقاضای آب و غذا با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی است. در سال ۲۰۰۷ کروک و همکاران با ارائه مدلی برای ارزیابی یکپارچه مدیریت منابع آب در کشور استرالیا به‌صورت عملیاتی به بیان چالشها و درسهایی که از مدل‌سازی و ارزیابی یکپارچه حاصل شده است، اشاره کرده‌اند [۸]. در انتها نیز پیشنهادهایی درباره روشهای شناسایی چالشها در راستای سیاست‌ها ارائه نموده‌اند، تا از این طریق دستیابی به پایداری بیشتر در سطح حوضه صورت پذیرد.

مدل ارزیابی یکپارچه منابع آب تحت توسعه شهرنشینی و تدوین سیستم نشانگرهای یکپارچه برای ارزیابی وضعیت منابع آب و سیستم شهرنشینی در مناطق خشک توسط چائو و چونگلی در سال ۲۰۰۹ در کشور چین انجام شده است [۹]. این تحقیق به بیان فواید حاصل از به‌کارگیری رویکرد ارزیابی یکپارچه به‌عنوان ابزاری اثربخش برای تحلیل چالش و تضاد بین سیستم‌های منابع آب و سیستم‌های شهرنشینی در مناطق خشک پرداخته است. در

[1] WaterSim

سال ۲۰۰۹ پرودانویک و سیمونوف به ارائه مدل عملیاتی برای پشتیبانی از مدیریت به‌هم‌پیوسته حوضهٔ آبریز پرداختند [۶ و ۱۰]. در این تحقیق روش‌شناسی یک شبیه‌سازی بر پایه رویکرد پویایی سیستم‌ها ارائه شده است. در این رویکرد از مفاهیم بازخوردها برای بیان فرایندهای اجتماعی، اقتصادی و محیطی در حوضه آبریز استفاده شده است.

یانگ و همکاران در سال ۲۰۰۸ طی پژوهشی به بیان استفاده از پویایی سیستم‌ها و تعیین اثرات برای حل چالشهای کمبود آب در کشور تایوان پرداخته‌اند [۱۱]. در این پژوهش یک فرایند ترکیبی از رویکرد پویایی سیستم‌ها و تحلیل اثرات در جهت ارزیابی سیستمیک و کمّی استراتژی‌های بخش آب ارائه شده است. کمبود آب و هزینه‌های مالی کل به‌عنوان متغیرهای مرجع در این تحقیق ذکر شده‌اند. هابرون و همکاران در سال ۲۰۰۴ به بیان رویکرد سیستمیک برای عملیاتی کردن مدیریت حوضه‌های آبریز اشاره کرده‌اند [۱۲]. در این تحقیق با توجه به نتایج تحقیقات گذشته، یک چارچوب مفهومی سیستمیک که بتواند ارتباط بین بخشهای اجتماعی و فرایندهای محیطی را در برنامه‌ریزی مدیریت حوضه آبریز ارائه کند، تدوین شده است. در سال ۲۰۰۸ ونیز و همکاران با استفاده از شبیه‌سازی پویایی سیستم‌ها به نحوه عملیاتی‌کردن مدیریت منابع آب با رویکردی به‌هم‌پیوسته پرداخته‌اند. در این پژوهش با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها و توجه به مفهوم استفاده در بخش‌های کشاورزی، صنعت، شهری و محیط‌زیست، یک روش‌شناسی برای شناسایی مسائل تدوین شده است [۱۳].

احمد و پراشار در سال ۲۰۱۰ برای ارزیابی سیاست‌های مدیریت آب از ابزار پویایی سیستم‌ها استفاده کرده‌اند [۱۴]. این تحقیق به شبیه‌سازی پویا در جنوب فلوریدا اشاره دارد. این مدل، ارتباطات درونی بین دسترسی به آب و رقابت افزایش تقاضای آب در بخش‌های مصرفی شهری، کشاورزی و محیط‌زیست را بیان کرده است.

۲-۲- سیستم منابع آب دشت مشهد

مدل‌سازی مکانیسم‌های حاکم در سیستم منابع آب دشت مشهد به‌صورت انتخاب "رفتار مرجع" فرعی برای هر زیرسیستم و در نهایت مدل‌سازی کل سیستم برپایه "رفتار مرجع" که همان "افت تراز آب زیرزمینی" است، صورت گرفته است. (شکل ۱)

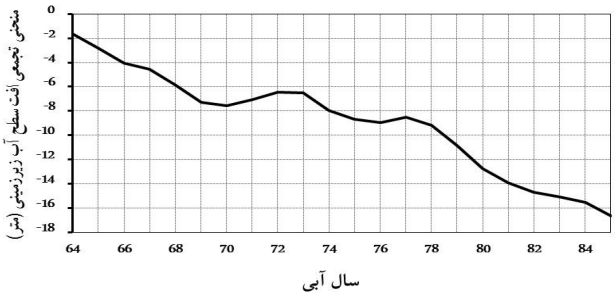
شکل ۲ روابط علت و معلولی حاکم بر سیستم منابع آب دشت مشهد را نشان می‌دهد. زیرسیستم‌های موجود در این سیستم عبارت‌اند از:

۱- زیرسیستم منابع آب زیرزمینی که اشاره به مکانیسم‌های B1، B2 و B3 دارد. این مکانیسم‌ها اشاره به دینامیسم ناشی از تغییرات منابع آب موجود قابل بهره‌برداری دارند.

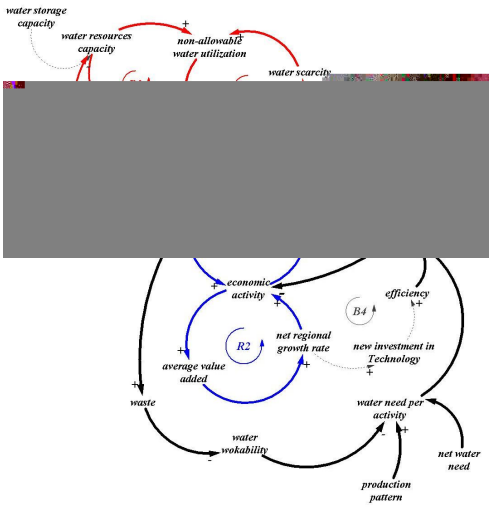
۲- زیرسیستم فعالیتهای اقتصادی که اشاره به مکانیسم‌های R1 و R2 دارد. این مکانیسم‌ها اشاره به دینامیسم ناشی از تغییرات حجم فعالیتهای اقتصادی دارند.

۳- زیرسیستم نیاز آبی که اشاره به مکانیسم B4 دارد. این مکانیسم اشاره به دینامیسم ناشی از تغییرات الگوی مصرف دارد.

۴- زیرسیستم تقاضای آب که شامل مکانیسم R4 بوده و اشاره به پویایی ناشی از تغییرات در الگوی تقاضا دارد.



شکل ۱- منحنی تجمعی افت تراز آبخوان دشت مشهد (مأخذ: اطلاعات شرکت مدیریت منابع آب ایران)



شکل ۲- سیستم منابع آب دشت مشهد

همچنین برای تعیین مرز سیستم باید متغیرهای تأثیرگذار بر متغیر مرجع شناسایی شوند، این متغیرها عبارت‌اند از: منابع آب مجاز و غیرمجاز قابل بهره‌برداری، الگوی مصرف، نوع و حجم فعالیتهای اقتصادی. از این‌رو مرز سیستم دربرگیرنده کلیه عوامل تأثیرگذار و تأثیرپذیر بر این متغیرها است.

۲-۳- توسعه مدل

در این بخش فرایند توسعه مدل منابع آب دشت مشهد مبتنی بر مکانیسم‌های تبیین‌شده، ارائه می‌شود.

۲-۳-۱- مدل‌سازی زیرسیستم منابع آب

مدل‌سازی زیرسیستم منابع آب دشت مشهد مبتنی بر "دینامیسم ناشی از تغییرات منابع آب موجود قابل بهره‌برداری" در راستای تأمین نیازهای آبی از منابع آب سطحی و زیرزمینی است. با توجه به سهم ۵۱ میلیون مترمکعبی (۶ درصد) مصارف دشت مشهد از منابع سطحی، مدل تنها بر پایه منابع آب زیرزمینی دشت مشهد توسعه یافته است [۱۵]. به‌منظور مدل‌سازی بیلان آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی، از ربطه ۱ که معادله کلی بیلان آب زیرزمینی است، استفاده شد :

$$V = Qpi + Qsi + Qus + Qr - Evp - Quo - Qd - Qdr \quad (۱)$$

در این رابطه:

متغیرهای ورودی عبارتنداز :

Qpi حجم آب نفوذ یافته از نزولات جوی به آبخوان، Qsi حجم آب نفوذ یافته از جریانات سطحی به آبخوان، Qus حجم آب زیرزمینی ورودی به آبخوان، Qr حجم آب برگشتی به آبخوان،

و متغیرهای خروجی عبارتنداز :

Qd حجم بهره‌برداری از آبخوان، Evp میزان تبخیر و تعرق از آبخوان، Quo حجم جریانات زیرزمینی خروجی از آبخوان، Qdr حجم زهکشی آبخوان، ΔV تغییرات حجم ذخیره آبخوان آبرفتی

در ادامه این بخش فرایند مدل‌سازی عوامل تغذیه و خروجی از آبخوان تشریح می شود.

متغیرهای تغذیه آبخوان دشت مشهد عبارت‌اند از:

۱- میزان نفوذ بارش سالانه به آبخوان دشت؛

۲- میزان نفوذ رواناب سطحی سالانه به آبخوان دشت؛

۳- میزان ورودی آب زیرزمینی به آبخوان دشت؛

۴- میزان آب برگشتی به آبخوان از برداشت سالانه در دشت.

۲-۳-۱-۱- مدل‌سازی متغیرهای تغذیه آبخوان دشت مشهد

الف) میزان نفوذ بارش سالانه در آبخوان دشت مشهد: بر اساس گزارش مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، ضریب نفوذ بارش سالیانه به آبخوان دشت مشهد در حدود ۱۱/۷۲ درصد است [۱۵]. با توجه به وسعت ۲۲۲۲/۱ کیلومترمربعی دشت مشهد و براساس سری زمانی ۳۰ ساله بارش، حجم نفوذ سالانه به آبخوان دشت مشهد مطابق با رابطه ۲، تولید می‌شود.

$$VI = Pr \times I_{Coeff} \times A \quad (۲)$$

که در این رابطه

VI حجم آب نفوذی از بارش سالیانه به آبخوان دشت، Pr بارش، I_{Coeff} ضریب نفوذ، A مساحت حوضه

ب) میزان نفوذ رواناب سطحی سالانه به آبخوان دشت مشهد:

جریان‌های سطحی ورودی به آبخوان آبرفتی دشت مشهد از رواناب سطحی ارتفاعات محدوده به‌علاوه رواناب سطحی خروجی از دشت سرجام است [۱۵]. در نتیجه بر اساس آمار ۳۰ ساله ایستگاه‌های هیدرومتری دشت مشهد و محاسبه متوسط آورد سالانه هر ایستگاه و بررسی خصوصیات فیزیکی حوضه و شبکه آبراهه سطحی در سطح آبخوان و احتساب ضریب نفوذ رواناب برابر با عدد ۰/۵، سری زمانی حجم آب نفوذی به آبخوان دشت مشهد مطابق با رابطه ۳ محاسبه شد

$$I = I = \sum (R_t) \times C \quad (۳)$$

که در این رابطه

I میزان نفوذ رواناب سطحی سالانه به آبخوان دشت، R_t متوسط آورد سالانه ایستگاه هیدرومتری، C ضریب رواناب دشت

ج) میزان ورودی آب زیرزمینی به آبخوان:

میزان آب زیرزمینی ورودی به آبخوان دشت مشهد، با استفاده از اطلاعات چاههای پیزومتری واقع در ورودی‌های آب زیرزمینی به آبخوان دشت مشهد و با استفاده از رابطه دارسی استخراج شد

$$Q = T \times i \times L \quad (۴)$$

که در این رابطه

T ضریب قابلیت انتقال بر حسب مترمربع در روز، i شیب هیدرولیکی سطح آب زیرزمینی، L طول مقطع جریان ورودی بر حسب کیلومتر است.

د) میزان آب برگشتی به آبخوان دشت مشهد : میزان آب برگشتی بستگی به حجم تخصیص یافته سالانه به مصارف مختلف دارد. مقدار این متغیر، با استفاده از اطلاعات مشاهده‌ای بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت مشهد، معادله بیلان آب زیرزمینی (رابطه ۱)، و ضرایب آب برگشتی در دشت مشهد، محاسبه شد (جدول ۱). فرایند محاسبه به این شرح است که با استفاده از برداشت سالانه از آبخوان دشت در سال ۱۳۶۲ معادله بیلان آبخوان و با توجه به میزان برداشت آب در سال ۱۳۷۰، ضریب برگشتی آب به آبخوان چنان تغییر یافت که مقدار عدد تولیدی میزان برداشت آب در سال ۱۳۷۰ مطابقت بسیار نزدیکی با داده مشاهده‌ای داشته باشد. این عمل برای سالهای بعد نیز تکرار شد؛ به‌نحوی که در نهایت داده‌های تولیدی میزان برداشت از آبخوان باید با داده‌های مشاهده‌ای همان سال مطابقت می‌نمود. در انتها با

انجام این فرایند چرخشی، متغیر برداشت سالانه از آبخوان دشت مشهد، حجم آب برگشتی سالانه به آبخوان دشت و ضریب آب برگشتی به آبخوان برای سال‌های ۱۳۶۳تا ۱۳۸۴ تولید شد.

جدول ۱- مقادیر ضریب آب برگشتی در دشت مشهد

سال	۶۳-۷۰	۷۰-۷۶	۷۶-۸۴
ضریب	۰/۲۸۵	۰/۴۵۳	۰/۴۷۱

(مأخذ: آمار و اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، ۱۳۸۶)

۲-۳-۱-۲- مدل‌سازی متغیرهای تخلیه آبخوان دشت مشهد

متغیرهای تخلیه آب زیرزمینی عبارت‌اند از: تبخیر و تعرق، حجم آب زیرزمینی خروجی، حجم زهکشی آبخوان و حجم بهره‌برداری سالانه.

بر اساس گزارش ممنوعیت دشت مشهد، تبخیر از سطح آب زیرزمینی ناچیز است. همچنین خروجی آب زیرزمینی اندک و در حدود ۱/۵ میلیون مترمکعب آب در سال است. میزان زهکشی آبرفت توسط بستر سیلابی کشف‌رود نیز ناچیز است [۱۵].

۲-۳-۲- مدل‌سازی زیرسیستم فعالیت اقتصادی

مدل‌سازی زیرسیستم فعالیت اقتصادی دشت مشهد مبتنی بر "دینامیسم ناشی از تغییرات حجم فعالیت‌های اقتصادی" است. این بخش شامل دو بخش الف) مدل‌سازی مکانیسم‌های فعالیت‌های اقتصادی و ب) مدلسازی رشد اقتصادی منطقه است. این زیرسیستم به تشریح مدل‌سازی حلقه‌های R1 و R2 می‌پردازد شکل (۲).

الف) مدل‌سازی مکانیسم‌های فعالیتهای اقتصادی:

در این تحقیق فقط فعالیتهای اقتصادی بخش کشاورزی در نظر گرفته شد. فعالیتهای اقتصادی کشاورزی در دشت مشهد با توجه به سطح زیرکشت اراضی و میزان تخصیص آب به بخش کشاورزی تعیین می‌شود. شکل ۳ تغییرات سطح زیر کشت اراضی آبی دشت مشهد را نشان می‌دهد.

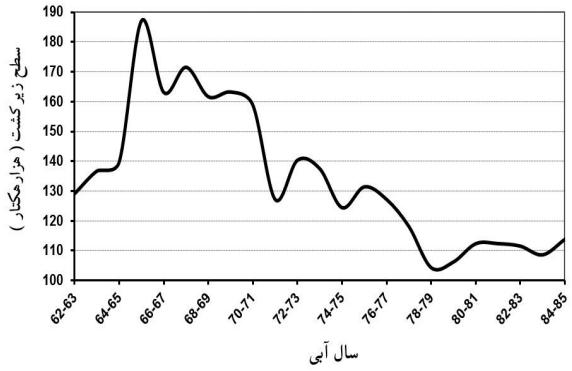
بررسی‌ها نشان می‌دهد که سالانه در حدود ۶۴ درصد کاربری چاهها به بخش کشاورزی و حدود ۳۶ درصد مابقی به مصارف شرب، صنعت و خدمات تعلق دارد [۱۵]. در نتیجه با فرض برابری برداشت از هر چاه در دشت مشهد، در سال ۱۳۶۲ سهم برداشتی بخش کشاورزی از آبخوان ۶۴ درصد و از سال ۷۰ به بعد، در حدود ۶۰ درصد است. اکنون با توجه به تعیین میزان آب کشاورزی بهره‌برداری شده و الگوی مصرف دشت که در مدل‌سازی زیرسیستم نیاز آبی تشریح خواهد شد، سطح زیرکشت مطلوب در هر سال تعیین می‌شود.

ب) مدل‌سازی رشد اقتصادی منطقه : رشد اقتصادی منطقه بر حسب ارزش افزوده بخش کشاورزی بیان می‌شود. لازم به‌ذکر است که ارزش افزوده با احتساب شاخص قیمتها بر پایه سال ۷۶ برای حذف اثرات تورم، محاسبه شده است.

خروجی مدل‌سازی زیرسیستم فعالیت اقتصادی سطح مطلوب زیرکشت اراضی مبتنی بر ارزش افزوده در منطقه است که به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های ورودی در مکانیسم تقاضای آب در منطقه عمل خواهد نمود.

۲-۳-۳- مدل‌سازی زیرسیستم نیاز آبی

متوسط نیاز آبی، بر حسب متوسط نیاز هر هکتار به مترمکعب آب، شامل دو مولفه است: ۱- نیاز خالص آبی گیاهان باغی و زراعی، ۲- میزان بازچرخش در بهره‌برداری از هر مترمکعب آب.



شکل ۳- سطح زیرکشت آبی دشت مشهد
(مأخذ: آمار و اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی، ۱۳۸۶)

احتساب راندمان آبیاری، ضریب آبشویی و راندمان انتقال آب در دشت میّسر نبود. در نتیجه در این تحقیق به تولید ضریبی با عنوان ضریب بازچرخش اقدام شد. ضریب بازچرخش، گردش هر مترمکعب آب بهره‌برداری شده در دشت مشهد است. این ضریب از تقسیم میزان آب بهره‌برداری شده برای کشاورزی بر میزان نیاز خالص آبی سالانه دشت، محاسبه شده است. خروجی این زیرسیستم، تقاضای آب کشاورزی است که به‌عنوان ورودی در مکانیسم تقاضای آب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۳-۴- مدل‌سازی زیرسیستم تقاضا

متغیر تقاضا نتیجه فعالیت بخش‌های کشاورزی، صنعت، شرب و خدمات است. در این تحقیق تنها توجه به بخش کشاورزی صورت گرفته است و از پرداختن به مکانیسم‌های تولید تقاضا در سایر بخش‌ها اجتناب شده است. از این‌رو برای تولید تقاضای کل آب در دشت مشهد، متغیر تقاضای آب بخش کشاورزی تقسیم بر متغیر

سهم آب کشاورزی در دشت مشهد می‌شود. لازم به‌ذکر است که متغیر کمبود آب هیچ نقشی در مدیریت منابع آبی در منطقه ندارد و تنها به‌عنوان یک منبع خبری در مدل در نظر گرفته شده است.

۲-۴- متغیرهای مدل به‌همراه فرضهای لحاظ شده

از آنجا که در نظرگرفتن همه پارامترها به‌صورتی که در جهان واقعی وجود دارند، در هیچ مدلی امکان‌پذیر نیست، در مدل حاضر نیز برای سادگی کار از یک سری مفروضات استفاده شد که در ادامه به آنها اشاره می‌شود.

۲-۴-۱- مفروضات

۱- به‌دلیل سهم اندک آب سطحی در منابع آب دشت، منظور از منابع آب دشت تنها منابع آب زیرزمینی فرض شد.
۲- بر اساس معادله بیلان آب زیرزمینی، از تغییرات ضریب ذخیره طی سال‌های گذشته صرف‌نظر گردید.
۳- میزان تقاضای آب در منطقه معادل با میزان مصرف آب سالانه فرض شد.
۴- ارزش افزوده بخشهای اقتصادی دشت با فرض تبعیت از ارزش افزوده سطوح استانی و ملی تولید شده است.
۵- فعالیت اقتصادی منظورشده در مدل، منحصراً به بخش کشاورزی محدود شد.
۶- دوره زمانی شرایط مشاهده‌ای در مدل‌سازی به‌مدت ۲۲ سال از سال آبی ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۴ فرض شد.
۷- دوره زمانی شبیه‌سازی به مدت ۲۵ سال از سال ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۹ هجری شمسی فرض گردید.

۲-۴-۲- مقادیر اولیه متغیرهای حالت در مدل

مقادیر برآوردشده برای متغیرهای حالت در سال ابتدای شبیه‌سازی (۱۳۶۳) بر اساس فرضیاتی مطابق با جدول ۲ است.

جدول ۲- مقدار اولیه متغیرهای حالت مدل منابع آب دشت مشهد

متغیر حالت	نیاز آبی دشت (مترمکعب در هکتار)	متوسط تقاضای آب (م.م.م)	اراضی زیرکشت (هکتار)	افت سطح آب زیرزمینی (متر)	آب موجود در آبخوان (م.م.م)
مقادیر اولیه	نیاز آبی زراعی کل	تقاضای جاری	۱۲۹۱۴۳	۱/۶۶	۴۳۲۵۰

(مأخذ: آمار و اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای و سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی، ۱۳۸۶)

۲-۴-۳- مقادیر ثابت در مدل منابع آب دشت مشهد

مقادیر متغیرهای برون‌زای مدل بر اساس گزارشهای ممنوعیت دشت مشهد، مطابق جدول ۳ استفاده شده است [۱۵]

جدول ۳- مقادیر ثابت در مدل منابع آب دشت مشهد

پارامتر	ضریب نفوذ بارش	ضریب نفوذ رواناب	ضریب نفوذ ذخیره
مقادیر اولیه	٪۱۱/۷۲	٪۵۰	٪۶

مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۶

۲-۴-۴- توابع لوک آپ[1] در مدل منابع آب دشت مشهد

متغیرهای مورد نیاز در مدل که شامل سری زمانی هستند، با استفاده از توابع لوک آپ وارد مدل می‌گردند. توابع لوک آپ به‌کار رفته در مدل منابع آب دشت مشهد عبارت‌اند از: سری زمانی نیاز خالص آبی کشاورزی؛ سری زمانی شاخص بهای تولیدکننده؛ سری زمانی بارش؛ تابع سهم آب کشاورزی؛ سری زمانی ضریب بازچرخش؛ تابع ضریب بازچرخش؛ تابع ارزش افزوده به‌ازای هر هکتار؛ تابع جریان ورودی آب سطحی؛ تابع جریان ورودی آب زیرزمینی.

۳- صحت‌سنجی مدل

مرحله صحت‌سنجی مدل بیشتر به‌دنبال بررسی سودمندبودن مدل براساس صورت مسئله و اهداف تعریف شده است. همچنین درجه اطمینان از صحت مدل به دید مدل‌ساز بر اساس مدل دینامیکی طراحی شده و اهداف مورد نظر مدل‌ساز از مدل وابسته است [۱۶]. برای این منظور آزمون‌هایی به‌شرح زیر برای صحت‌سنجی مدل منابع آب دشت مشهد انجام شده است: آزمون ارزیابی ساختار، آزمون تکرار رفتار، آزمون شرایط حدی و آزمون مدل در شرایط غیرمنطقی.

۳-۱- آزمون ارزیابی ساختار

به‌منظور انجام این آزمون مراحل تکوینی مدل‌سازی کمک شایانی به بررسی صحت و سازگاری مدل‌های تولیدشده دشت مشهد با مکانیسم‌های طراحی شده در دشت می‌نماید.

۳-۲- آزمون تکرار رفتار

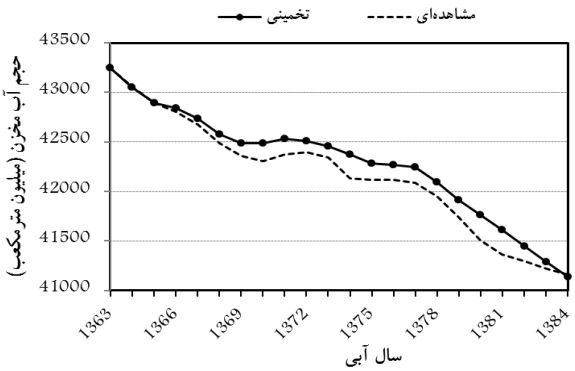
در این آزمون، داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی توسط مدل مورد مقایسه قرار می‌گیرند. این بررسی با استفاده از ابزارهای آماری ضریب تبیین، میانگین درصد مطلق خطا و جذر میانگین مربعات خطا صورت می‌گیرد. متغیرهای بررسی شده شامل پنج متغیرحالت است: ۱- حجم آب موجود (به‌عنوان متغیر مرجع زیرسیستم آب زیرزمینی)، ۲- سطح زیرکشت اراضی (به‌عنوان متغیر مرجع زیرسیستم فعالیت اقتصادی)، ۳- متوسط تقاضای آب (به‌عنوان متغیر مرجع زیرسیستم تقاضای آب)، ۴- نیاز آبی متوسط دشت

[1] Look up

(به‌عنوان متغیر مرجع زیرسیستم نیازآبی)، ۵- افت تراز آب زیرزمینی (به‌عنوان متغیر مرجع مدل). شکل ۴ برای نمونه رفتار مدل را در تخمین متغیر حجم منابع آب زیرزمینی در مقایسه با مقادیر متناظر مشاهده‌ای نشان می‌دهد. جدول ۴ نیز عملکرد مدل را در تخمین رفتار متغیرهای پنج‌گانه از نگاه مشخصه‌های آماری نشان می‌دهد.

۳-۳- آزمون شرایط حدی

هدف از انجام این آزمون، کنترل مقادیر خروجی از مدل در شرایط حدی است. این آزمون صحت ساختار علت و معلولی مدل را بررسی می‌کند. آزمون مذکور بر روی متغیرهای حالت پنج‌گانه ذکرشده در جدول ۲ انجام شد.



شکل ۴- داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی حجم آب زیرزمینی

جدول ۴- نتایج آزمون‌های آماری «متغیرهای حالت»

متغیرهای حالت	واحد	R^2	MAPE (%)
سطح زیرکشت	هکتار	۰/۶۸	۱۱/۷۴
متوسط تقاضای آب	م.م.م	۰/۸	۴/۳۴
نیاز آبی دشت	مترمکعب در هکتار	۰/۹۲	۵/۵۹
حجم آب	م.م.م	۰/۹۸	۰/۲۹
افت تراز آبخوان	متر	۰/۹۶	۹/۲۷

۴-۳- آزمون رفتار مدل در شرایط غیرمنطقی

این آزمون به رفتار منطقی مدل در شرایطی خارج از شرایط منطقی می‌پردازد. به این معنا که با تغییر متغیرهایی، رفتار متغیرهای مرجع همچنان از قاعده منطقی تبعیت نماید. این آزمون برای بررسی رفتار متغیرهای حجم آب موجود (به‌عنوان متغیر مرجع فرعی زیرسیستم آب زیرزمینی) و افت سطح آب زیرزمینی (به‌عنوان متغیر مرجع اصلی مدل) در قبال تغییر سطح بارش به نصف (شرایط غیرعادی) می‌پردازد.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- محدودیتها و انتظارات از مدل

با توجه به فرضیات بیان شده و مرز سیستم، محدودیت‌ها و انتظارات از مدل در این تحقیق عبارتند از:

مدل توانایی پرداختن به بحث اشتغال را ندارد.

۱- مدل توانایی تولید مقادیر برای ارائه تصویر سیستم در شرایط آتی را دارد.

۲- مدل برای تولید دقیق داده و پیش‌بینی در یک سال خاص ابزار مناسبی نیست.

۳- مدل قادر به بیان ترکیبهای مختلف الگوی کشت از لحاظ اقتصادی نیست

۴- مدل قادر به بررسی مکانیسم‌ها و سطح تقاضا در سایر زیربخش‌های اقتصادی به‌جز بخش کشاورزی نیست.

۵- مدل قادر به بررسی اثر درآمدی و میزان سطح تولید در هر سال نیست.

۶- انتظار از مدل، تبیین و پایش روندها و رویکردها در راستای اجرای سیاست‌های پیشنهادی است.

۴-۲- سیاست‌گذاری تحت سناریوهای مختلف

پس از توسعه و اعتبارسنجی مدل، مرحله اعمال سیاست تحت سناریوهای مختلف فرا می‌رسد. بر اساس راهبردهای سه‌گانه: رشد اقتصادی با رویکرد محدودیت منابع آب، تخصیص منابع آب با رویکرد ارزش افزوده و تغییر الگوی کشت، می‌توان سیاست‌های عملیاتی را تحت سناریوهای محتمل معرفی نمود که در راستای حرکت در مسیر پایداری سیستم کمک‌کننده باشند.

۴-۲-۱- سناریوهای محتمل در شبیه‌سازی

در این تحقیق سه سناریوی محیطی تحت شرایط نرمال، خشکسالی و ترسالی در نظر گرفته شد و در زیر هر سناریوی محیطی، دو سناریوی اقتصادی با عناوین بدبینانه و خوشبینانه (براساس نرخ تورم) نیز لحاظ شد [۱۷]. در نتیجه، شش سناریو برای اعمال در مدل شبیه‌سازی به‌دست می‌آید.

۴-۲-۲- تعاریف سناریوها

الف- سناریو طبیعی (شرایط نرمال): تکرار سری زمانی به مدت ۲۰ سال از سال ۶۲ تا ۸۲ در مدل؛

ب- سناریو طبیعی (شرایط خشکسالی): تکرار سری زمانی به مدت ۱۰ سال از ۷۲ تا ۸۲ در مدل؛

ج- سناریو طبیعی (شرایط ترسالی): تکرار سری زمانی به مدت ۱۰

سال از سال ۶۲ تا ۷۲ در مدل.

د- سناریو اقتصادی (شرایط بدبینانه): نرخ تورم به‌طور ثابت برابر با ۲۰درصد (وضع موجود در سال ۸۷) تا سال ۱۴۰۹.

هـ- سناریو اقتصادی (شرایط خوشبینانه): نرخ تورم متناسب با برنامه ۵ ساله پنجم توسعه، تا سال ۱۳۹۳ به‌صورت تابع خطی از نرخ تورم ۲۰ درصد تا ۹ درصد و در ادامه تا سال ۱۴۰۹ به‌صورت ثابت برابر با ۹درصد فرض شده است.

جدول ۵- سناریوهای شش‌گانه طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۹

سناریو	شرایط محیطی (بارش)	شرایط اقتصادی (نرخ تورم)
۱	نرمال	بدبینانه
۲	خشکسالی	بدبینانه
۳	ترسالی	بدبینانه
۴	نرمال	خوشبینانه
۵	خشکسالی	خوشبینانه
۶	ترسالی	خوشبینانه

۴-۳- سیاست‌های منتخب در مدل

سیاست‌ها مبتنی بر پارامترهای برون‌زای مدل که قابل تغییر توسط سیاست‌گذار در منطقه است، تولید می‌شود. پارامترهای برون‌زا شامل "نرم شاخص تنش منبع" در راستای استراتژی رشد اقتصادی با رویکرد محدودیت منابع آب، "رشد سالانه ارزش افزوده واقعی در هر هکتار" در راستای استراتژی تخصیص منابع آب با رویکرد ارزش افزوده و "نیاز آبی" در راستای سیاست تغییر الگوی کشت اثرات خود را بر مدل وارد می‌نمایند. جدول ۶ پارامترهای برون‌زای قابل تغییر و سطوح اعمال‌شده را برای سیاست‌گذاری نمایش می‌دهد.

جدول ۶- پارامترهای برون‌زا و سطوح آن برای تولید سیاست

ردیف	پارامتر برون‌زا	سطوح اعمالی ۱	سطوح اعمالی ۲
۱	نیاز آبی خالص دشت (مترمکعب در هکتار)	۵۲۰۰	۳۰۰۰
۲	ضریب بازچرخش	۰/۹۲۸	۱/۱۲۵
۳	سهم آب کشاورزی (٪)	۵۹	۵۰-۵۹
۴	تنش منبع	۱	۰/۶۵ و ۰/۴
۵	رشد سالانه ارزش افزوده در هکتار	۳/۸۷	۱۳/۰۴

۴-۳-۱- فرضیات اولیه در سیاست‌گذاری‌ها

۱- سطح اعمال شده ۱ میانگین وضع موجود و سطح اعمال‌شده ۲ در پارامتر نیاز آبی مبتنی بر رساندن نیاز آبی دشت به الگوی آبی گندم تعریف شد.

۲- رشد سالانه ارزش افزوده هر هکتار تا مقدار ۳/۸۷ درصد میانگین وضع موجود و تا ۱۳/۰۴درصد مبتنی بر فرض الگوی کشت گندم بیان شد.

۳- سطح اعمالی ۰/۹۲۸ برای ضریب بازچرخش مبتنی بر وضع موجود و ۱/۱۲۵ برپایه میانگین ۱۰ سال اخیر سری زمانی ضریب بازچرخش است.

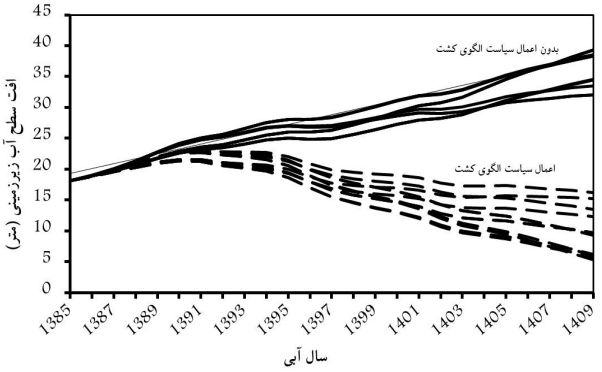
۴- سهم آب کشاورزی ۵۹ درصد مبتنی بر شرایط موجود و سطح اعمالی دوم پیشنهاد تحقیق است.

۵- سطوح سه‌گانه شاخص تنش منبع به‌ترتیب، متوسط دشت مشهد، بخش کشاورزی و بخش خدمات طی سالهای ۷۰ تا ۸۴ است.

۴-۴- ارزیابی سیاست‌ها تحت سناریوهای محتمل

با ترکیب سطوح پارامترهای برون‌زا، ۲۴ بسته سیاستی تدوین شد. سیاست‌گذاری و اعمال این بسته‌های سیاستی در مدل، در نهایت منجر به تغییر رفتار مدل می‌شود. در نتیجه، باید اقدام به ارزیابی سیاست‌ها و انتخاب بسته‌های سیاستی مناسب‌تر نمود. در این راستا شاخصهایی برای ارزیابی سیاست‌ها انتخاب شد، که عبارت‌اند از: متوسط نیاز آبی دشت، بهره‌وری اقتصادی آب، تراز آب زیرزمینی، کمبود آب و تنش منبع.

بعد از بررسی رفتار مدل به‌واسطه اعمال سیاست‌ها تحت سناریوهای محتمل، سیاست تغییر نیاز آبی دشت به‌واسطه تغییر الگوی کشت، اختلافی فاحش در سایر شاخصهای ارزیابی سیاست‌ها، همچون شاخص کمبود آب، تنش منبع و غیره نسبت به بسته‌های سیاستی که سیاست عدم تغییر الگوی کشت است را ایجاد نمود. در نتیجه این سیاست به‌عنوان یک سیاست بالادستی، در راستای اعمال سیاست‌ها لحاظ شد. شکل ۵ بیانگر این اختلاف فاحش در رفتار مدل در سیاست‌های پیشنهادی با توجه به سیاست تغییر نیاز آبی دشت است.



شکل ۵- رفتار افت تجمعی تراز آب زیرزمینی تحت سناریو ۱ برای ۲۴ بسته سیاستی

در این تحقیق از سیاست تغییر الگوی کشت به‌عنوان یک سیاست بالادستی نسبت به سایر سیاست‌های پیشنهادی یاد می‌شود.

۴-۴-۱-اولویت‌بندی سیاست‌ها

الف- از منظر اثربخشی بر منابع آب : برای ارزیابی سیاست‌ها نسبت به یکدیگر باید ۲۴ بسته سیاستی را متناسب با شاخصهای پنج‌گانه زیر سناریوهای محتمل، نسبت به یکدیگر مقایسه نمود. با توجه به اینکه سیاست تغییر الگوی کشت، سیاستی بالادستی تعریف شد، در نتیجه شاخص ناظر به آن (نیاز آبی متوسط دشت) نیز از لیست شاخصهای ارزیابی حذف گردید. در ادامه برای گزینش بسته‌های سیاستی برتر با توجه به اولویت‌بندی سایر شاخصها اقدام به تهیه پرسش‌نامه و تکمیل آن توسط تنی چند از اساتید و کارشناسان منابع آب کشور و استفاده از الگوریتم تحلیل سلسله مراتبی، شد. نتایج وزن‌دهی و اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی به‌شرح جدول ۷ است.

جدول ۷-اولویت‌بندی شاخص‌های ارزیابی از لحاظ اثربخشی بر بهبود وضعیت منابع آب دشت مشهد

متغیر	تراز آب زیرزمینی	تنش منبع	بهره‌وری اقتصادی منبع	کمبود آب
مقادیر اولیه	۰/۳۶۴	۰/۳۵۹	۰/۱۷۴	۰/۱۰۳

در این اولویت‌بندی، شاخص تراز آب زیرزمینی به‌واسطه اختلاف اندکی نسبت به شاخص تنش منبع، اولویت نخست را به خود اختصاص داده است. اکنون می‌توان سیاست‌های اعمال‌شده بر مدل را اولویت‌بندی نمود. جدولهای ۸ و ۹ به‌ترتیب اولویت‌بندی سیاست‌های اعمالی در دشت مشهد از نگاه اثربخشی بر بهبود

جدول ۸-سیاست‌های برتر تحت سیاست تغییر الگوی کشت

سناریو	سیاست	ضریب بازچرخش	سهم آب کشاورزی	تنش منبع
۱	۱	۰/۹۲۸	۰/۵۹	۰/۴
	۲	۰/۹۲۸	۰/۵۹	۰/۶۵
۲	۱	۰/۹۲۸	۰/۵۹	۰/۶۵
	۲	۰/۹۲۸	۰/۵۰-۰/۵۹	۰/۶۵
۳	۱	۰/۹۲۸	۰/۵۹	۰/۶۵
	۲	۱/۱۲۵	۰/۵۹	۰/۶۵
۴	۱	۰/۹۲۸	۰/۵۹	۰/۴
	۲	۰/۹۲۸	۰/۵۹	۰/۶۵
۵	۱	۰/۹۲۸	۰/۵۹	۰/۶۵
	۲	۱/۱۲۵	۰/۵۹	۰/۶۵
۶	۱	۰/۹۲۸	۰/۵۹	۰/۶۵
	۲	۱/۱۲۵	۰/۵۹	۰/۶۵

جدول ۹-سیاست‌های برتر تحت سیاست عدم تغییر الگوی کشت

سناریو	سیاست	ضریب بازچرخش	سهم آب کشاورزی	تنش منبع
۱	۱	۱/۱۲۵	۰/۵۹	۰/۶۵
	۲	۰/۹۲۸	۰/۵۹	۰/۶۵
۲	۱	۱/۱۲۵	۰/۵۹	۰/۶۵
	۲	۰/۹۲۸	۰/۵۹	۰/۶۵
۳	۱	۱/۱۲۵	۰/۵۹	۰/۶۵
	۲	۰/۹۲۸	۰/۵۹	۰/۶۵
۴	۱	۱/۱۲۵	۰/۵۹	۰/۶۵
	۲	۰/۹۲۸	۰/۵۹	۰/۶۵
۵	۱	۱/۱۲۵	۰/۵۹	۰/۶۵
	۲	۰/۹۲۸	۰/۵۹	۰/۶۵
۶	۱	۱/۱۲۵	۰/۵۹	۰/۶۵
	۲	۰/۹۲۸	۰/۵۹	۰/۴

وضعیت منابع آب دشت مشهد تحت سناریوهای پیشنهادی، با فرض اعمال سیاستِ بالادستی تغییر الگوی کشت و عدم تغییر الگوی کشت را نشان می‌دهند.

ب- از منظر کارایی و سهولت اجرا : بررسی سیاست‌ها از منظر سهولت و کارا بودن آنها در کوتاه‌مدت فارغ از میزان اثربخشی بر بهبود وضعیت منابع آب دشت مشهد، نیز با استفاده از الگوریتم تحلیل سلسله مراتبی، انجام گرفت که نتایج وزن‌دهی و اولویت‌بندی سیاست‌های منتخب به‌شرح جدول ۱۰ است. لازم به‌ذکر است که سیاست رشد ارزش افزوده توأمان با سیاست تغییر الگوی کشت اعمال می‌شود.

جدول ۱۰-اولویت‌بندی سیاست‌های منتخب از منظر سختی در پیاده‌سازی و اجرای سیاست‌ها

متغیر	تغییر الگوی کشت	تغییر سهم آب کشاورزی	نرم شاخص تنش منبع	بهبود وضعیت بازچرخش
مقادیر اولیه	۰/۴۵	۰/۲۴۵	۰/۱۹۵	۰/۱۱۰

نتایج این ارزیابی بیان می‌کند که سیاست تغییر الگوی کشت با اینکه اثربخشی چشم‌گیری بر بهبود وضعیت منابع آب دشت مشهد می‌تواند داشته باشد، از لحاظ اجرایی‌شدن در منطقه با مشکلات بسیاری مانند هزینه‌های اجرا، نیروی انسانی، مسائل قانونی، حقوقی و نهادی نسبت به سیاست بهبود وضعیت بازچرخش که دربرگیرنده برنامه‌هایی مانند اصلاح راندمان سیستم‌های آبیاری یا انتقال آب است، مواجه خواهد بود. اکنون با توجه به این اولویت‌بندی، سیاست‌های پیشنهادی منتخب با فرض سیاست بالادستی عدم

تغییر الگوی کشت در دشت مشهد مطابق با جدول ۱۱ اولویت‌بندی شده است.

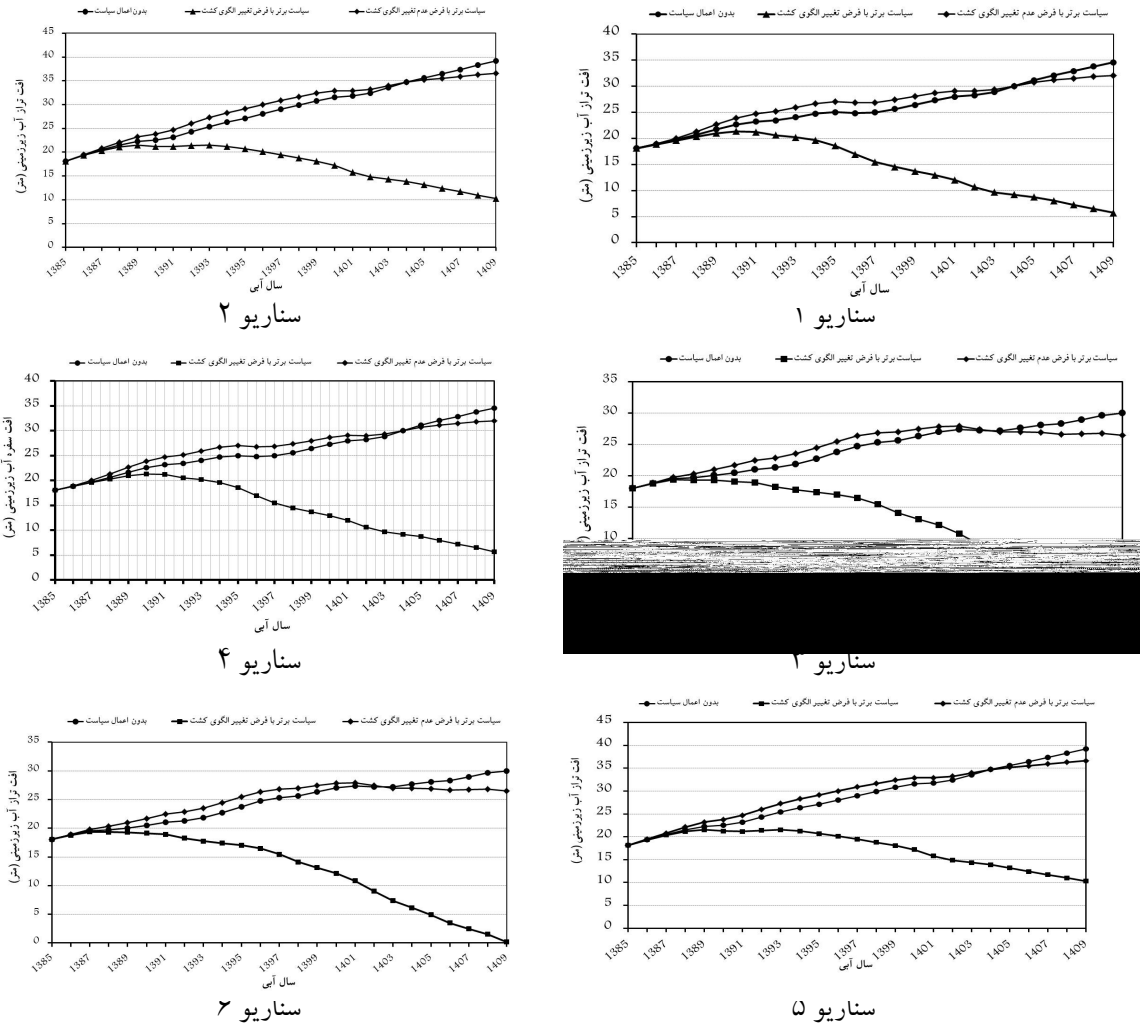
جدول ۱۱- اولویت‌بندی بسته‌های سیاستی زیر سناریوهای محتمل شش‌گانه تحت سیاست عدم تغییر الگوی کشت

سناریو	سیاست	ضریب بازچرخش	سهم آب کشاورزی	تنش منبع
شش‌گانه	۱	۱/۱۲۵	۰/۵۹	۱
	۲	۱/۱۲۵	۰/۵۹	۰/۶۵

۴-۴-۲- ارزیابی سیاست‌ها

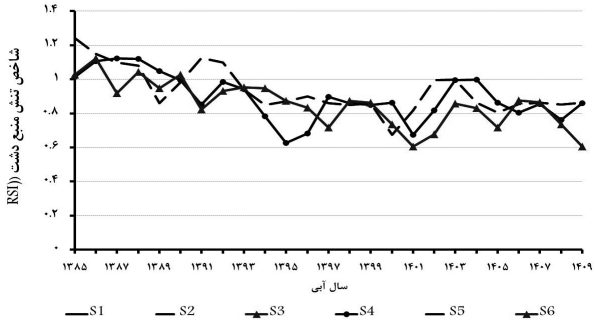
ارزیابی سیاست‌ها از دو منظر درون‌بخشی (بخش کشاورزی) و فرابخشی (بررسی مزیت نسبی آب در هر بخش اعم از صنعت، خدمات و کشاورزی نسبت به‌یکدیگر) صورت می‌گیرد. در نتیجه مطابق با وضعیت شاخصهای پیشنهادی در تحقیق و بررسی وضع موجود و شرایط آتی، کلیه سیاست‌های منتخب ارزیابی می‌شوند.

الف) از منظر درون‌بخشی : مطابق با شکل ۶، سیاست‌های منتخب تحت سیاست اجرا یا عدم اجرای تغییر الگوی کشت از منظر درون‌بخشی (بخش کشاورزی) نسبت به وضع موجود، تحت سناریوهای محتمل مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. همانطور که پیداست تغییر الگوی کشت تاثیر بسزایی بر کاهش افت تراز آب زیرزمینی در دشت مشهد به‌جا خواهد گذاشت، در حالی که سایر سیاست‌ها از جمله بهبود ضریب بازچرخش و شاخص تنش منبع، تاثیر چندانی بر روند افت تراز آب زیرزمینی نخواهند داشت، بلکه تنها قادر به کنترل سرعت کاهش به‌واسطه کاهش برداشت مازاد از آبخوان هستند.

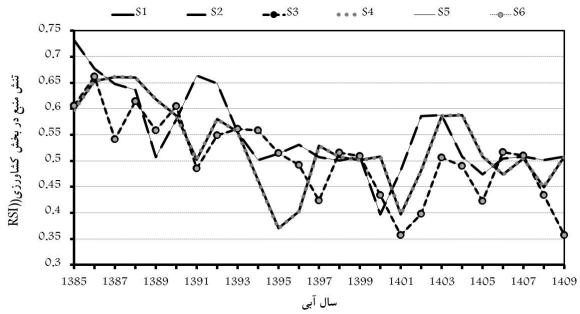


شکل ۶- رفتار افت تراز آبخوان (ادامه روند موجود و اعمال سیاست‌های برتر) تحت سناریوهای ۶گانه (۱۳۸۵ تا ۱۴۰۹)

ب) از منظر فرابخشی : پس از استخراج و بررسی سیاست‌های منتخب، باید سیاست‌ها را از منظر فرابخشی و خارج از بخش کشاورزی نیز بررسی نمود. برای این منظور، شاخصهای تنش و بهره‌وری اقتصادی منبع که جزو شاخصهای این تحقیق است، در کلیه سیاست‌ها تحت سناریوهای محتمل، نسبت به سایر بخشهای اقتصادی در شرایط کنونی سنجیده شد. شکل‌های ۷ و ۸ بیانگر وضعیت تنش منبع در دشت و بخش کشاورزی طی ۲۵ سال آتی در مطلوب‌ترین شرایط تحت هر سناریو است.

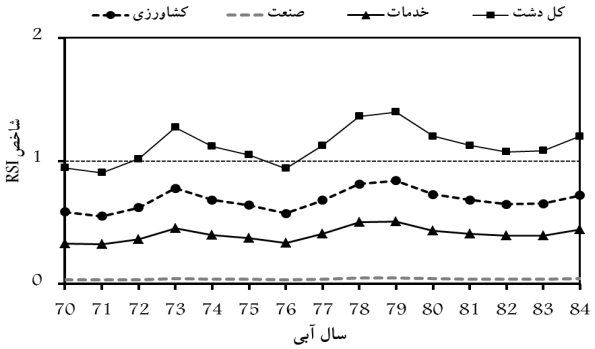


شکل ۷- شاخص تنش منبع دشت در بهترین شرایط تحت سناریوهای ۶گانه (۱۳۸۵ تا ۱۴۰۹)

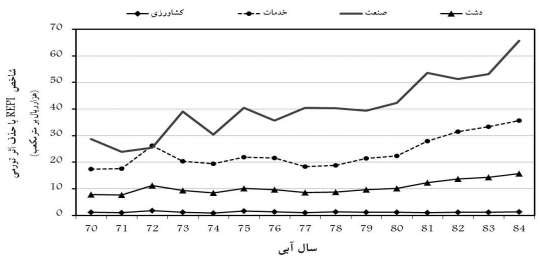


شکل ۸- شاخص تنش منبع بخش کشاورزی در بهترین شرایط تحت سناریوهای ۶گانه (۱۳۸۵ تا ۱۴۰۹)

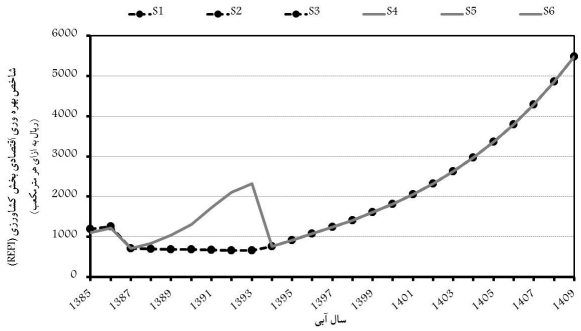
همانطور که مشاهده می‌شود، در بهترین شرایط شاخص تنش منبع دشت در سناریوهای شماره ۳ و ۶که تحت شرایط ترسالی قرار دارند، به مقدار ۰/۶ می‌رسد. با توجه به شکل ۹ این مقدار نسبت به شرایط کنونی دشت با مقدار بیشتر از ۱، وضعیتی مطلوب‌تر و روندی نزولی دارد، ولی نسبت به مقادیر تنش منبع در زیربخش‌های اقتصادی صنعت و خدمات وضعیتی مطلوب ندارد. همچنین مطابق با شکل ۸ شاخص تنش منبع بخش کشاورزی در سال‌های نهایی شبیه‌سازی، در سناریوهای ترسالی به مقادیر وضع موجود در بخش خدمات می‌رسد، ولی سایر سناریوها مانند سناریوهای شرایط نرمال و خشکسالی چنین وضعی را به‌خود اختصاص نخواهند داد. شاخص دیگر ارزیابی کلی سیاست‌ها از نگاه فرابخشی، شاخص بهره‌وری اقتصادی منبع آب در بخش کشاورزی است. شکل ۱۰ وضعیت این شاخص در دشت مشهد طی ۲۵ سال آتی تحت سناریوی‌های شش‌گانه را نشان می‌دهد. در این بررسی، وضعیت این شاخص در بهترین شرایط طی سالهای نهایی شبیه‌سازی، به مقدار ۶هزار ریال به‌ازای هر مترمکعب آب در بخش کشاورزی می‌رسد، ولی مطابق با شکل ۱۱ در شرایط کنونی مقدار این شاخص در بخش خدمات و صنعت به‌ترتیب حدود ۳۰هزار (۵ برابر) و ۵۰هزار ریال (۹برابر) به‌ازای هر مترمکعب آب است.



شکل ۹- شاخص تنش منبع زیربخش‌های اقتصادی دشت مشهد (مأخذ: آمار و اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی)



شکل ۱۰- شاخص بهره‌وری اقتصادی بخش کشاورزی در بهترین شرایط تحت سناریوهای ۶گانه (۱۳۸۵ تا ۱۴۰۹)



شکل ۱۱- شاخص بهره‌وری اقتصادی منبع در بخش‌های اقتصادی دشت مشهد (سال پایه ۷۶)
(مأخذ: آمار بانک مرکزی و شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۶)

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به اندرکنش غیرخطی عوامل با یکدیگر، نتیجه سیاست‌های مختلف نشان می‌دهد که تأثیر کاهش یا افزایش همه فاکتورها، برابر با مجموع تأثیر کاهش یا افزایش تک‌تک آنها بر روی پایداری در منطقه نیست. همچنین تغییر الگوی کشت به کشت پیشنهادی (در این تحقیق کشت گندم با نیاز آبی ۳۰۰۰ مترمکعب در هر هکتار پیشنهاد شده است) به‌عنوان یک سیاست برتر می‌تواند گامی مهم و اثربخش برای بهبود وضعیت منابع آب دشت مشهد بردارد. در حالی که سایر سیاست‌های اعمالی از قبیل افزایش ضریب بازچرخش آب در کشاورزی و کاهش سهم آب کشاورزی، تنها سرعت روند کاهش تراز آب زیرزمینی را در دشت مشهد کمی کند می‌کنند. همچنین شاخص تنش منبع به‌عنوان شاخصی کلیدی در برنامه‌ریزی‌های توسعه کشاورزی در منطقه در جهت رشد فعالیت‌ها می‌تواند نقش‌آفرین باشد. در انتها شاخص متوسط نیاز آبی دشت و استفاده از آن به‌عنوان یک شاخص در کنار سایر شاخص‌ها، می‌تواند به پایش الگوی مصرف در دشت‌ها بپردازد.

۶- مراجع

1- Velayati, S. (2004). *Water issues in Mashad plain*, Astan Ghods Razavi, Mashad. (In Persain)

2- Behzadi, H. (1970). "Flactuations in the groundwater level of Mashad plain." M.Sc. Thesis, Hydrological Institute of Iran. (in Persain)

3- Kadivar, A.A. (1992). "Estimation of geographical potentials in Mashad plain for agricultutral development – Case study: Chenaran Village." M.Sc. Thesis, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran. (In Persain)

4- Morravej Alsharie, M.M. (1995). "Optimal water use in water resources conservation strategies relying on assessment of illegal water abstraction." M.Sc. Thesis, Department of Geography, Ferdowsi University, Mashad. (In Persain)

5- Keykhosravi, H. (2004). "Analysis of groundwater conservation management practices in Mashad plain aquifer focusing on the managers' and experts' views." M.Sc. Thesis, Institute of Management Research and Education, Ministry of Energy, Tehran. (In Persain)

6- Simonovic, S.P., and Rajasekaram, V. (2004). "Integrated analyses of canada's water resources: A system dynamics approach." *Canadian Water Resources Journal*, 29, 223-250.

7- de Fraiture, C. (2007). "Integrated water and food analysis at the global and basin level, an application of WATERSIM." *Water Resour Management*, 21, 185-198.

8- Croke, B. F. W., Ticehurst, J. L., Letcher, R. A., Norton, J. P., Newham, L.T. H., and Jakeman, A. J. (2007). "Integrated assessment of water resources: Australian experiences." *Water Resour Management*, 21, 351-373.

9- Chao, B., and Chuanglin, F. (2009). "Integrated assessment model of water resources constraint intensity on urbanization in arid area." *J. of Geographical Sciences*, 19, 273-286.

10- Prodanovic, P., and Simonovic, S. P. (2009). "An operational model for support of integrated watershed management." *Water Resour Management*, 24, 1161-1194.

11-Yang, C. C., Chang, L.C., and Ho, C. C. (2008). "Application of system dynamics with impact analysis to solve the problem of water shortages in Taiwan." *Water Resour Management*, 22, 1561-1577.

12- Habron, G. B., Kaplowitz, M. D., and Levine, R. L. (2004). "A soft systems approach to watershed management: A road salt case study." *Environment Management*, 33, 776-787.

13- Winz, I., Brierley, G., and Trowsdale, S. (2009). "The use of system dynamics simulation in water resources management." *Water Resour Management*, 23,1301-1323.

14- Ahmad, S., and Prashar, D. (2010). "Evaluating municipal water conservation policies using a dynamic simulation Model." *Water Resour Management*, 24, 3371-3395.

15- Khorasan Razavi Water Authority. (2007). *The report on the groundwater resources restriction in Mashad Plain*, Mashad. (In Persain)

16- Sterman, J. D. (2000). *Systems thinking and modeling for a complex world*, McGraw-Hill Higher Education, New York.

17- Hosseini, A. (2009). "Derivation of strategies for sustainable development of water resources using a system dynamics approach – Case study: The water resources in Mashad plain." M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tehran. (in Persain)