



## Vulnerability Analysis of Water Resources Systems to Water Scarcity Based on a Water Accounting Framework (Case Study: Rafsanjan Study Area)

F. Babaieian<sup>1</sup>, A. Bagheri<sup>2\*</sup> and M. Rafieian<sup>3</sup>

### Abstract

Policy making in Integrated Water Resources Management relies on understanding the concept of vulnerability. Therefore, it will be essential to identify the socio-economic state of the system under study as well as its hydrological state. In this paper, a water accounting framework is adopted to make a basis for integrated water resources management to embrace socio-economic aspects as well as the hydrological feature. The water accounting framework will be capable of integrating different data from economic, hydrological, and social domains. It is also suitable to address the effects of different policies. The aim of the present paper is to analyze vulnerability of the water resource system in the Rafsanjan study area. Adopting an analytical framework for assessing the system vulnerability to water scarcity, the paper then presented a derivation of vulnerability indicators based on the data organized in terms of different water accounts for 2001 and 2006. Analyzing the trends of indicators, the paper suggested policy options which could be applied in those periods to reduce the system vulnerability. The policy options are then simulated in a system dynamics model (using the VENSIM PLE software) built in association of the water resource and economic sub-systems of the study area. The results showed that the water resource system of the study area is highly vulnerable to water scarcity. To alleviate the system vulnerability, the policy options are suggested to shift partly from agricultural activities to industrial and mining activities.

**Keywords:** Groundwater Resources, Vulnerability, Water Accounting, Indicators, Rafsanjan, Iran.

Received: May 27, 2015

Accepted: December 30, 2015

## تحلیل آسیب‌پذیری سیستم منابع آب نسبت به کم‌آبی با استفاده از چارچوب حسابداری آب (مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی رفسنجان)

فریبا بابائیان<sup>۱</sup>، علی باقری<sup>۲\*</sup> و مجتبی رفیعیان<sup>۳</sup>

### چکیده

درک مفهوم آسیب‌پذیری برای تدوین سیاست‌های مدیریت یکپارچه منابع آب مهم می‌باشد. به همین منظور شناخت وضعیت اقتصادی-اجتماعی سیستم تحت مطالعه در کنار وضعیت هیدرولوژیکی آن اهمیت خواهد داشت. در این مقاله به منظور فراهم نمودن بنایی برای مدیریت جامع و یکپارچه برای منابع آب که علاوه بر بعد هیدرولوژی، تأثیر سایر عوامل مؤثر از جمله اجتماعی و اقتصادی را نیز در نظر بگیرد، از چارچوب حسابداری آب استفاده شده است. این چارچوب با یکپارچه‌سازی اطلاعات بخش‌های اقتصادی، هیدرولوژی و سایر منابع طبیعی و نیز جنبه‌های اجتماعی، امکان بکارگیری سیاست‌های هدفمند را با شیوه‌ای آگاهانه و یکپارچه فراهم می‌نماید. تحقیق حاضر به تحلیل آسیب‌پذیری سیستم منابع آب محدوده مطالعاتی رفسنجان می‌پردازد. در این راستا پس از بررسی و تحلیل مفهومی آسیب‌پذیری و بررسی مطالعات متعدد، چارچوب تحلیلی مناسبی برای ارزیابی آسیب‌پذیری در نظر گرفته شده است. سپس به منظور استخراج نشانگرهای مرتبط با آسیب‌پذیری و سازماندهی اطلاعات موجود به تدوین حساب‌های آب مربوط به محدوده مورد مطالعه برای دو سال ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ پرداخته شده است. تحلیل روند نشانگرها، دیدگاه‌هایی را از وضعیت آسیب‌پذیری منابع آب فراهم می‌کند که می‌تواند با درک وضعیت فعلی و آنچه که ممکن است در گذشته به اشتباه صورت گرفته باشد، برای تصمیم‌گیران در جهت دستیابی به راه‌حلهایی برای کاهش آسیب‌پذیری منابع آب در محدوده مطالعاتی رفسنجان راهگشا باشد. در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر گزینه‌های سیاستی مختلف در شرایط موجود و ایجاد محیطی برای تصمیم‌سازی، با استفاده از روش پویایی سیستم در محیط نرم‌افزار Vensim PLE، مدل سیستم اقتصادی-منابع آب برای محدوده مطالعاتی رفسنجان ساخته شد. نتایج حاصل در بررسی وضع موجود حکایت از وضعیت و حالت نامناسب سیستم منابع آب محدوده مطالعاتی رفسنجان دارد. در بررسی تأثیر گزینه‌های مختلف سیاستی مشخص شد که گزینه‌ی تغییر الگوی اقتصادی محدوده رفسنجان از کشاورزی به صنعت و معدن، و تغییر ترکیب اشتغال منطقه از کشاورزی به سهم بیشتر صنعت و معدن می‌تواند منجر به کاهش آسیب‌پذیری محدوده‌ی مطالعاتی در ابعاد منابع آب، اقتصادی و اجتماعی گردد.

**کلمات کلیدی:** منابع آب زیرزمینی، آسیب‌پذیری، چارچوب حسابداری آب، نشانگرها، رفسنجان، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۳/۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۷/۱۶

1- Department of Water Resources Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: f.babaieian@modares.ac.ir

2-Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: Ali.bagheri@modares.ac.ir

3-Associated Professor, Department of Urban Planning, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: rafiei\_m@modares.ac.ir

\*- Corresponding Author

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- دانشیار گروه شهرسازی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

\*- نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

آسیب‌پذیری بخش‌های دیگر سنجید. از این رو، باید به مفهوم آسیب‌پذیری به صورت سیستمیک نگریست. چگونگی تحلیل سیستمیک آسیب‌پذیری و داشتن یک تعریف جامع از آن بسیار مهم می‌باشد. در این پژوهش با بررسی و تحلیل مفهومی آسیب‌پذیری، تعریف Fussel در سال ۲۰۰۷ مبنای کار قرار داده شده است. آسیب‌پذیری طبق تعریف Fussel بر اساس چهار بعد "سیستم"، "ویژگی نگرانی"، "خطری که آسیب‌پذیری سیستم در مقابل آن بررسی می‌شود" و "مرجع زمانی" تعریف می‌شود. با مشخص شدن این ابعاد، آسیب‌پذیری ویژگی‌های نگرانی سیستم نسبت به خطر (در مرجع زمانی) مورد بررسی قرار می‌گیرد و تحلیل آن به صورت "آسیب‌پذیری ویژگی نگرانی سیستم مورد نظر به خطر مشخص در دوره زمانی معین" تعریف و ترسیم می‌شود (Fussel, 2007).

در ارزیابی موضوعات سیستم منابع آب، آسیب‌پذیری مفهومی پیچیده است که به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری و مشاهده نیست، بنابراین لازم است نشانگرهای مناسب و دقیقی برای این ارزیابی شناسایی و انتخاب شوند. از طرفی نشانگرها باید در قالب چارچوب‌های کلی که قادر به ارائه اطلاعات به شیوه‌ای منسجم و یکپارچه هستند، توسعه یابند.

یکی از چارچوب‌های کلی که در این زمینه کاربرد دارد چارچوب حسابداری آب می‌باشد. در این زمینه می‌توان به مطالعات صورت گرفته در استرالیا به عنوان یکی از پیشگامان در پیاده‌سازی چارچوب حسابداری آب اشاره کرد (United Nations Statistics Division, 2012). از نمونه مطالعات دیگر در این زمینه ایجاد حساب‌های آبی برای حوضه رودخانه بین‌المللی اورانج است که توسط Lange and Hassan (2006) صورت پذیرفت و به بررسی حساب‌های عرضه و مصرف آب حوضه رودخانه برای سال ۲۰۰۰ پرداختند. در چارچوب حسابداری مزبور به ارائه چشم انداز اقتصادی کشورهای ساحلی در تأمین و مصرف آب پرداخته شد. در جزیره‌ی موریس نیز طرح حسابداری اقتصادی آب با موفقیت پیاده شد و از حساب‌های آب، دارایی‌ها و عرضه و مصرف فیزیکی به منظور محاسبه‌ی نشانگرهایی که برای تصمیم‌گیری دارای قاطعیت می‌باشند، استفاده به عمل آمد (SADC, 2010).

از نمونه مطالعاتی که در زمینه پیاده‌سازی چارچوب حسابداری آب در ایران صورت گرفته است می‌توان به Falaki Ilkhchi (2012) در مقیاس حوضه آبریز (حوضه زرینه‌رود) و Yousofzadeh Chabok (2013) در مقیاس ناحیه‌ای (دشت مشهد) اشاره نمود که از چارچوب حسابداری آب به منظور ارائه اطلاعات و توسعه نشانگرها به شیوه‌ای

آسیب‌پذیری (Vulnerability) به عنوان یک مفهوم مفید برای تدوین سیاست‌های مدیریت یکپارچه منابع آب می‌تواند بنیان مناسبی را برای تصمیم‌گیران به منظور اولویت‌بندی فعالیت‌ها فراهم کند. همچنین توجه به منابع اصلی آسیب‌پذیری و گروه‌ها و مناطق آسیب‌پذیر، فرصت‌هایی را برای مدیریت تطبیقی منابع آب ایجاد می‌کند (Babel et al., 2011).

آسیب‌پذیری به روش‌های مختلفی به وسیله دانشمندان در حیطه علوم مختلف تفسیر شده است. متناسب با این تعابیر مختلف، به منظور بررسی تئوری و عملی آسیب‌پذیری ساختارها، مدل‌های مفهومی و رویکردهای ارزیابی متعددی توسعه یافته است (Adger, 2006; Fussel, 2007; Turner II et al., 2003; Gallopin, 2006). بسیاری از محققان ارزیابی آسیب‌پذیری را به صورت کمی در نظر گرفته و آن را در قالب فرمول‌های ریاضی که منتج به مقادیر عددی می‌شوند، بیان کرده‌اند، به عنوان نمونه (Adger, 2006; Kaynia, 2007) از فرمول‌های ریاضی برای بیان کمی آسیب‌پذیری استفاده کردند. در ارزیابی آسیب‌پذیری در مقیاس منطقه نیز محققان زیادی به دنبال ارائه شاخصی هستند که آسیب‌پذیری را به صورت عددی بیان کند. در این دسته از تحقیقات نتایج برخی از بررسی‌ها در برخی از موارد به صورت مقدار مشخص بیان می‌شود (Odada, 2000; Wei et al., 2004; Thomas, 2008) و در برخی دیگر از موارد، ارزیابی آسیب‌پذیری به صورت ترکیب مجموعه‌ای از فاکتورهای مختلف و از طریق ایجاد نقشه می‌باشد (O'Brien et al., 2004; Schmidlein et al., 2008).

در مقابل ارزیابی کمی، عده‌ای دیگر از محققان پا را فراتر گذاشته و مفهوم آسیب‌پذیری را پیچیده‌تر از یک رابطه دانسته‌اند و بیان آن را به صورت کیفی (توصیفی) در نظر گرفته‌اند. در این دسته از تحقیقات، محوریت فکری مشترک بر پایه این اصل که آسیب‌پذیری بسیار پیچیده و دینامیک بوده و برای ارزیابی آن باید اثر دینامیک بودن را نیز در ارتباط با خطر و تهدید در نظر گرفت، بنا شده است (Ingram et al., 2006; Hellström, 2007; Ermoliev, 2008).

با توجه به رویکردهای مختلف آسیب‌پذیری، باید به این نکته توجه داشت که آسیب‌پذیری نباید تنها بر یک بخش متمرکز شود بلکه لازم است تعاملات هر بخش با بخش‌های دیگر را نیز در نظر بگیرد تا اثرات اتخاذ هر تصمیم را در جهت کاهش آسیب‌پذیری بتوان بر

عنوان پیشنهاد ارائه می‌شوند که این دسته پیشنهادی نوعی تکمیل نسبت به مطالعات قبلی محسوب می‌شود.

در این پژوهش هدف، طراحی یک چارچوب تحلیلی مناسب به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب نسبت به کم‌آبی، با استفاده از ترکیبی از اطلاعات از منابع مختلف و بر اساس اصطلاحات رایج نشأت گرفته از مفهوم آسیب‌پذیری برای محدوده مطالعاتی رفسنجان است. در چارچوب پیشنهاد شده از ترکیبی از نشانگرهای استخراج شده از حساب‌ها با پیاده‌سازی چارچوب حسابداری آب استفاده می‌شود و ارزیابی آسیب‌پذیری سیستم در قالب میزان آسیب‌پذیری این نشانگرهای تعریف شده، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

به منظور طراحی روشی که بتواند آسیب‌پذیری سیستم‌های منابع آب را تعریف کند مرور و بررسی شاخص‌ها و نشانگرهای آسیب‌پذیری که در مطالعات قبلی توسط محققان توسعه یافته است، اهمیت دارد. از جمله کارهایی که در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب صورت گرفته‌اند به موارد زیر می‌توان اشاره کرد: Collins and Bolin (2007) آسیب‌پذیری نسبت به کم‌آبی را در منطقه‌ای با رشد شهرنشینی و وابستگی به آب زیرزمینی شرح دادند. منطقه مورد مطالعه مناطق مرکزی آریزونا واقع در ۱۵۰ کیلومتری شمال منطقه شهری ققنوس ایالات متحده با رشد شهرنشینی بالا است. اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی یک مسئله مدیریت منابع آب است که خطری برای امنیت جوامع می‌باشد. اثرات اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی از طریق عوامل اجتماعی و بیوفیزیکی مدیریت آب تحت تأثیر قرار می‌گیرد. این تحقیق روشی را برای ارزیابی آسیب‌پذیری نسبت به کم‌آبی در مکان با استفاده از نشانگرهای اجتماعی و بیوفیزیکی ارائه می‌دهد. (Hamouda et al. (2009 یک چارچوب برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیستم منابع آب در حوضه نیل شرقی به کار بردند. تمرکز آنها بر استفاده از نشانگرها و شاخص‌هایی بود که بتوانند دیدگاهی را از شرایط منطقه فراهم کنند. لذا فهرستی از ۳۱ نشانگر برای ارزیابی آسیب‌پذیری شناسایی شد و به نشانگرهای هیدروفیزیکی و نشانگرهای اقتصادی-اجتماعی یا نشانگرهای سیاسی دسته‌بندی شدند. این نشانگرها برای سه کشور حوضه نیل شرقی برآورد شدند و در نمودار رادار برای تفسیر وضعیت آسیب‌پذیری در هر کشور نشان به نمایش درآمدند. (Bable et al. (2011 از روشی مبتنی بر نشانگرها به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب در حوضه رودخانه بگماتی در نیال استفاده کردند. در این تحقیق آسیب‌پذیری به عنوان تابعی از تنش آبی و ظرفیت تطبیق بیان می‌شود. تنش آبی نشانگرهای میزان تغییرات منابع آب، کمبود منابع آب و استفاده از منابع آب و آلودگی آب را

منسجم استفاده کردند. نظام حسابداری آب، رویکردی در جهت استاندارد کردن نحوه سازماندهی داده‌ها و اطلاعات می‌باشد. این نظام، به منظور فراهم نمودن مدیریتی جامع و یکپارچه برای منابع آبی با سازماندهی داده‌های مختلف از بخش‌های گوناگون هیدرولوژیکی، زیست‌محیطی و اقتصادی امکان پردازش و تفسیر آنها را در کنار یکدیگر فراهم می‌کند. در واقع هدف اصلی رویکرد حسابداری آب، استخراج داده‌های مهم از منابع آب و اقتصاد، دسته‌بندی آنها در قالب تعدادی حساب، در کنار هم قرار دادن حساب‌ها و ایجاد بستری مناسب به منظور استخراج نشانگرهای تحلیلی است.

چارچوب‌های مختلفی برای نظام حسابداری آب ارائه شده است. از بین این چارچوب‌ها، چارچوب زیست‌محیطی-اقتصادی برای آب (SEEA-Water: System of Environmental – Economic Accounting for Water) که توسط سازمان ملل متحد ارائه گردیده است از بقیه جامع‌تر بوده و توسط کشورهای متعددی مورد استقبال قرار گرفته است. این چارچوب با یکپارچه‌سازی اطلاعات بخش‌های اقتصادی، هیدرولوژی و سایر منابع طبیعی و نیز جنبه‌های اجتماعی امکان بکارگیری سیاست‌های هدفمند را با شیوه‌ای آگاهانه و یکپارچه فراهم می‌نماید (United Nations Statistics Division, 2012).

SEEA-Water چارچوبی را شامل مجموعه‌ای از جداول استاندارد برای نشان دادن اطلاعات اقتصادی و هیدرولوژیکی تعریف می‌نماید. این جداول نشان‌دهنده روابط متقابل بین آب و اقتصاد و همچنین منابع آب در محیط‌زیست می‌باشند. این چارچوب همچنین شامل جداول مکملی می‌باشد که جنبه‌های اجتماعی را نیز پوشش می‌دهد. به عبارت دیگر حساب‌های پیشنهادی سازمان ملل در چارچوب سیستم حسابداری اقتصادی و زیست‌محیطی برای آب از دو دسته حساب تشکیل شده‌اند. دسته اول شامل حساب‌هایی هستند که تجربه‌ی عملی قابل توجهی در کشورها برای تدوین آنها وجود دارد. حساب‌های فیزیکی عرضه و مصرف، حساب‌های اقتصادی و هیبریدی، حساب دارایی‌ها، از این دسته حساب‌ها می‌باشند. دسته دوم نظیر حساب‌های کیفیت، ارزش‌گذاری آب، جنبه‌های اجتماعی و اثرات بلایای طبیعی هنوز به صورت آزمایشی بوده و امکان رسیدن به توافق در مورد مفاهیم یا چگونگی پیاده‌سازی آنها به دلیل فقدان تجربه و دانش علمی، سازگاری با سیستم حساب‌های ملی یا ترکیبی از این دلایل وجود نداشته است (United Nations Statistics Division, 2012). در این پژوهش به تشکیل دسته اول حساب‌ها پرداخته می‌شود و از دسته دوم حساب‌ها نیز جنبه‌های اجتماعی به

اعلام شود. ولی با این حال همچنان برداشت از آب زیرزمینی روند صعودی دارد. این برداشت‌های بی‌رویه و گاه غیرمجاز باعث تخریب آبخوان و کاهش کیفیت آن، فرونشست دشت و آسیب‌پذیری منطقه نسبت به افت کمی و کیفی منابع شده است. در نتیجه با توجه به تداوم خشکسالی‌های منطقه، رشد جمعیت و پایین رفتن مداوم سطح آب زیرزمینی در منطقه، نگرانی در مورد خروج روند توسعه منطقه از الگوی توسعه پایدار را تشدید کرده است و منجر به آسیب‌پذیری بیش‌تر منابع آب زیرزمینی شده است. آسیب‌پذیری در اثر کاهش منابع آب، امنیت آبی منطقه را تهدید خواهد کرد. از این رو درک درست از آسیب‌پذیری منطقه نسبت به کاهش منابع آب به منظور اتخاذ تصمیم مناسب در جهت افزایش امنیت آبی و پایدارسازی منطقه بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

## ۲-۲- چارچوب ارزیابی آسیب‌پذیری

ارزیابی آسیب‌پذیری باید بر اساس چارچوب تحلیلی و مبانی نظری آسیب‌پذیری و قابل دسترس بودن داده‌ها و اطلاعات از منابع صورت گیرد. لذا به منظور تحلیل آسیب‌پذیری در این تحقیق، تلاش شده است که بر اساس مفاهیم رایج نشأت گرفته از مفهوم آسیب‌پذیری بر اساس تعریف Fussel در سال ۲۰۰۷ یک چارچوب تحلیلی پیشنهاد شود. (Fussel 2007) بیان می‌کند که تعریف آسیب‌پذیری مستلزم مشخص کردن چهار بعد می‌باشد. ابعاد در نظر گرفته شده در این پژوهش متناظر با چهار بعد مزبور به صورت زیر تعریف می‌شوند:

- ۱- سیستم: هر مجموعه یا گروه از قبیل گروهی از جمعیت، یک بخش اقتصادی، یک منطقه جغرافیایی و سیستم‌های طبیعی که به طور بالقوه از طریق خطر تهدید می‌شوند (McCarthy et al., 2001). در این پژوهش آسیب‌پذیری زیرسیستم اقتصادی-اجتماعی و زیرسیستم منابع آب محدود مطالعه می‌شود. عنوان رفسنجان به عنوان سیستم مدنظر قرار می‌گیرد.
- ۲- ویژگی نگرانی: منظور ویژگی‌هایی از سیستم آسیب‌پذیر است که در معرض خطر قرار گرفته می‌شوند. در این پژوهش متناسب با سیستم در نظر گرفته شده، امنیت آبی منطقه‌ی مورد مطالعه به عنوان ویژگی نگرانی در نظر گرفته می‌شود.
- ۳- خطر: خطر خسارت بالقوه‌ای است که از جانب تهدید بر سیستم مورد نظر وارد می‌شود. در این پژوهش خطری که سیستم مورد نظر را تهدید می‌کند کمبود آب می‌باشد.
- ۴- مرجع زمانی: زمان یا دوره زمانی که برای ارزیابی آسیب‌پذیری مدنظر می‌باشد. مقیاس زمانی در نظر گرفته شده برای ارزیابی آسیب‌پذیری سالانه می‌باشد.

در برمی‌گیرد، در حالی که ظرفیت تطبیق نشانگرهای منابع طبیعی، فیزیکی و انسانی و ظرفیت‌های اقتصادی را در بر می‌گیرد. بر اساس ارزیابی ۱۲ نشانگر که به صورت ۸ پارامتر آسیب‌پذیری دسته‌بندی شده‌اند، افزایش شرایط تنش‌زا و کاهش ظرفیت تطبیق مشاهده می‌شود. تغییرات قابل توجه در مقدار نشانگرها، گزینه‌های سیاستی مختلفی را پیشنهاد می‌دهد و به تصمیم‌گیران در جهت رسیدن به راه‌حلهایی برای کاهش آسیب‌پذیری منابع آب این حوضه کمک می‌کند. (Plummer et al. 2012) مروری سیستماتیک از ابزارهای ارزیابی آسیب‌پذیری آب انجام دادند. این مرور دید کلی از ابزارهای ارزیابی با ۷۱۰ نشانگر، ۵ بعد و ۲۲ زیر بعد ارائه می‌دهد که جنبه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی را در بر می‌گیرد. این تحقیق رویکردی جامع برای مدیریت یکپارچه منابع آب از طریق درک بهتر گستردگی ابزارهای ارزیابی آسیب‌پذیری آب و درجه پیچیدگی آنها ارائه می‌دهد.

مرور و بررسی این‌گونه مطالعات نشان می‌دهد که بیش‌تر نشانگرهایی که به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری سیستم منابع آب به کار برده شده‌اند در ابعاد مختلف زیست‌محیطی یا بیوفیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی دسته‌بندی شده‌اند. از این رو در این پژوهش در طراحی روشی که بتواند آسیب‌پذیری سیستم منابع آب را تعریف کند نشانگرها در ابعادی که با توجه به ستونهای پایداری در نظر گرفته شده‌اند، دسته‌بندی شده‌اند.

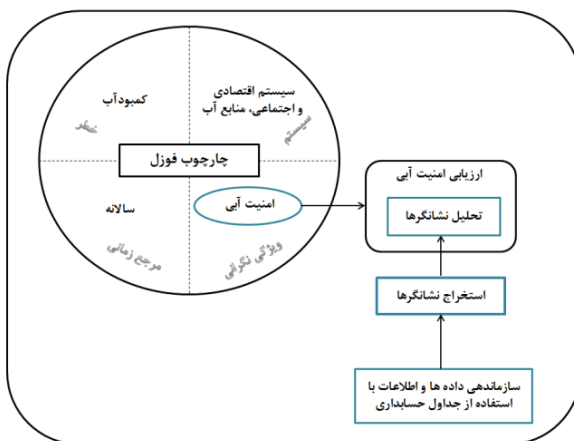
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی رفسنجان با کد ۴۹۰۲ بخشی از حوضه آبریز درجه ۲ (از حوضه‌های ۳۰ گانه کشور) کویر در انجیر در استان کرمان می‌باشد. حوضه آبریز کویر در انجیر نیز جزء حوضه آبریز درجه ۱ (۶ گانه) فلات مرکزی ایران محسوب می‌گردد. محدوده مطالعاتی رفسنجان با وسعت ۱۲۴۲۱ کیلومتر مربع بین طولهای جغرافیایی  $29^{\circ}$  تا  $52^{\circ}$  و عرضهای جغرافیایی  $51^{\circ}$  تا  $56^{\circ}$  در باند ارتفاعاتی ۱۴۰۰ متر تا ۳۴۴۳ متر بالاتر از سطح دریای آزاد گسترده است (Ministry of Energy, 2012a). از این وسعت ۶۶۹۲/۸۴ کیلومتر مربع را دشت و مابقی را ارتفاعات تشکیل می‌دهد (Ministry of Energy, 2011a).

عدم وجود رودخانه‌های دائمی در محدوده مطالعاتی رفسنجان موجب گردیده است تا نیازهای آبی این محدوده بیشتر از طریق آبخوان آبرفتی مرتفع گردد و افزایش برداشت و روند افت سطح آب زیرزمینی باعث شده است تا این دشت قبل از سال ۱۳۵۷ ممنوعه

تمام فعالیت‌های اقتصادی می‌باشد. در این تحقیق به منظور نمایش شمای کلی از منطقه، کاربری‌های موجود به کشاورزی، صنعت و معدن، شهر و خدمات تقسیم شده‌اند. بخش کشاورزی نیز با توجه به اهمیت کاربری‌ها در مصرف آب به زیربخش پسته تقسیم گردیده است. جدول دارایی‌ها نیز اطلاعات برداشت و تخلیه آب را با اطلاعات مربوط به ذخایر منابع آب در محیط‌زیست مرتبط کرده و بر این اساس امکان ارزیابی میزان اثرات فعلی برداشت و تخلیه را بر ذخایر آب فراهم می‌کند. این جدول ذخایر آبی را در ابتدا و انتهای دوره‌ی حسابداری و تغییراتی را که در ذخایر در طول این دوره رخ می‌دهد، توصیف می‌نماید.



شکل ۱- چارچوب به کار رفته برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیستم منابع آب محدوده مطالعاتی رفسنجان

مزیت استفاده از اطلاعات در قالب حساب‌ها می‌تواند از طریق ارتباط اطلاعات اقتصادی و زیست‌محیطی با برآورد اشتغال، جمعیت و ویژگی‌های جمعیت شناختی (مثل سن، سطح درآمد خانوار و ویژگی‌های خانوار مرتبط با اطلاعات رفاه) و اقدامات اجتماعی همچون سلامتی و آموزش افزایش یابد. برای این منظور و نیز برای گسترش چارچوب حسابداری آب، از دسته دوم حساب‌ها، جنبه‌های اجتماعی مثل جمعیت به صورت تفکیک شده، اشتغال، درآمد همراه با اطلاعات عرضه و مصرف آب به عنوان جدول تکمیلی اجتماعی-آبی پیشنهادی در حساب‌ها آورده شده است.

جداول حسابداری آب از لحاظ مکانی برای حوزه‌های حسابداری آب تنظیم می‌شوند. حوزه‌ی حسابداری آب می‌تواند همان مرز حوضه‌ی آبریز یا مرز سیاسی یا هر مرز مکانی دیگری باشد که برای منظوره‌ی برنامه‌ریزی و مدیریت آب کارایی مناسبی داشته باشد. مقیاس زمانی برای تنظیم جداول حسابداری آب معمولاً بین ۳ تا ۵

با استناد به تعریف ارائه شده از چهار فاکتور فوق به عنوان پارامترهای تعیین جایگاه آسیب‌پذیری، فاکتورهای خطر، سیستم و مرجع زمانی به خوبی مشخص می‌باشند. ولی آنچه در اینجا پیچیده بوده و برای شناسایی آن نیاز به بررسی بیشتری احساس می‌شود، فاکتور دوم یعنی مؤلفه نگرانی می‌باشد. در واقع این چارچوب، ارزیابی آسیب‌پذیری سیستم را در قالب میزان آسیب‌پذیری مؤلفه نگرانی بررسی می‌کند. تغییرات این مؤلفه به وسیله‌ی نشانگرهایی پایش می‌شوند و تحلیل آسیب‌پذیری بر روی این نشانگرها صورت می‌گیرد. با بررسی میزان آسیب‌پذیری نشانگرهای مرتبط با مؤلفه نگرانی که در این پژوهش امنیت آبی در نظر گرفته شده است، وضعیت مؤلفه مزبور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به افت شدید آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی رفسنجان و مسائل و مشکلات ناشی از این افت، به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی و منابع آب، نشانگرهایی برای مؤلفه نگرانی امنیت آبی در نظر گرفته شده است. نشانگرهای مدنظر با توجه به سه ستون توسعه پایدار، که عبارتند از محیط‌زیست، اقتصاد و اجتماع، مورد توجه قرار گرفته‌اند. در انتخاب این نشانگرها به عوامل تأثیرگذار در بهبود مؤلفه نگرانی امنیت آبی، داده‌ها و اطلاعات به دست آمده از حساب‌ها، نشانگرهای پیشنهادی توسط سازمان ملل و بررسی نشانگرهای مورد استفاده در تحقیقات قبلی در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری سیستم منابع آب، نیز توجه شده است. به این ترتیب، مفهوم امنیت آبی در منطقه‌ی مورد مطالعه، در قالب سه زیربخش زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی و بر اساس نشانگرهای فهرست شده در جدول ۱ مورد بررسی قرار گرفت. ترکیب نشانگرهای مزبور در قالب نمودارهای رادار ابعاد امنیت آبی منطقه را توصیف خواهند کرد.

شکل ۱ چارچوب کلی به کار رفته در این مقاله را برای ارزیابی آسیب‌پذیری نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در این پژوهش به منظور استخراج نشانگرهایی که بیان‌کننده مؤلفه نگرانی سیستم باشند از چارچوب حسابداری آب SEEA-Water استفاده شده است. جدول ۱ فهرست نشانگرهای در نظر گرفته شده را برای این ارزیابی و ارتباط آنها را با جداول حسابداری آب ارائه می‌دهد.

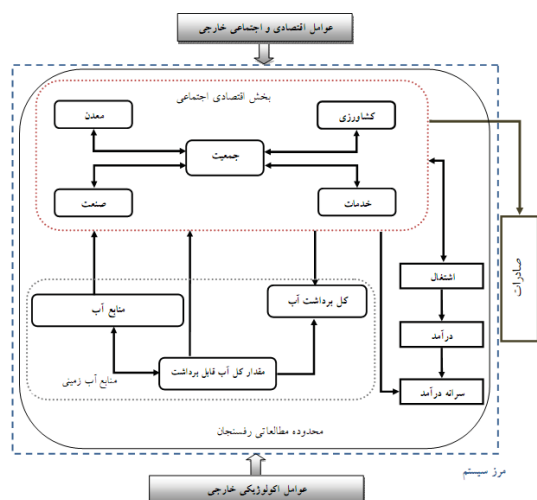
در پیاده‌سازی چارچوب حسابداری آب SEEA-Water، در جداول عرضه و مصرف فیزیکی و هیبریدی که از دسته اول حساب‌ها می‌باشند، ستون‌ها معرف کاربری‌های مختلف می‌باشند. طبقه‌بندی فعالیت‌های اقتصادی در واقع همان طبقه‌بندی استفاده شده در سیستم حساب‌های ملی با نام طبقه‌بندی صنعتی استاندارد بین‌المللی

قرار گرفته است. بخش منابع آب نیز نشان‌دهنده کمیت و میزان موجودی منابع آب محدوده اعم از منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد با این تفسیر که هرچه میزان منابع آب موجود کاهش یابد بخش محیط‌زیست (کیفیت آب) نیز با مشکلات بیشتری مواجه خواهد شد.

این فرایند مدل‌سازی متناظر با مدل مفهومی و جداول حسابداری آب و زیرسیستم‌های مورد نظر در چارچوب ارزیابی آسیب‌پذیری توسعه یافته است. برای بررسی کارایی مدل، آزمون‌های مختلف اعتبارسنجی و صحت‌سنجی روی مدل توسعه یافته، انجام شد که نتایج نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل برای این محدوده بود. مدل توسعه یافته از دو بخش اقتصادی-اجتماعی و بخش محیط‌زیست (منابع آب) تشکیل شده است که به شرح زیر می‌باشند:

- ۱- بخش اقتصادی-اجتماعی شامل: جمعیت، شهر و خدمات، صنعت و معدن، کشاورزی و اشتغال هر بخش
- ۲- بخش محیط‌زیست شامل: منابع آب (منابع آب زمینی، عرضه و تقاضای آب، کیفیت آب (شوری)، نشست زمین)

زیرمدل‌های منابع آب و تأمین و کیفیت منابع آب و نشست زمین شبیه‌سازی زیرسیستم منابع آب را انجام می‌دهند و زیرمدل‌های جمعیت، شهر و خدمات، صنعت و معدن، و کشاورزی زیرسیستم فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی را شبیه‌سازی می‌کنند. مدل دینامیکی ساخته شده در شکل ۳ به نمایش در آمده است.

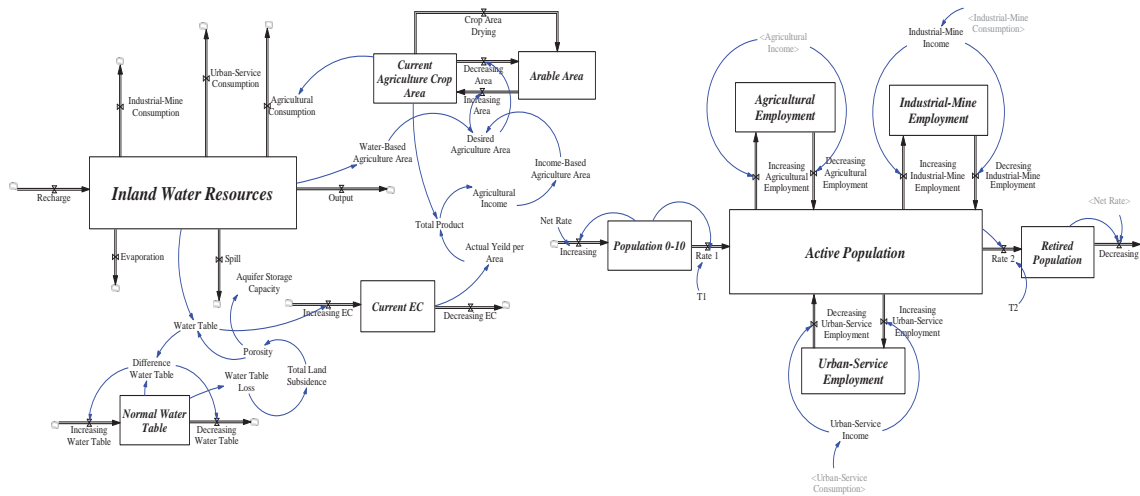


شکل ۲- مدل مفهومی سیستم اجتماعی-اکولوژیکی محدوده مطالعاتی رفسنجان

سال پیشنهاد می‌شود. در این پژوهش جداول حسابداری آب برای دو سال ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵، برای محدوده مطالعاتی رفسنجان تهیه شده‌اند و از طریق استخراج نشانگرها از حساب‌ها و تحلیل روند تغییرات آنها تحلیلی از وضعیت آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه صورت گرفته است. جداول حسابداری آب برای بررسی و تحلیل عملکرد سیستم مورد مطالعه تنظیم می‌شوند، از این رو، این‌گونه جداول برای مقاطع گذشته تهیه می‌گردند. علت انتخاب دو مقطع زمانی فوق برای تشکیل حساب‌ها، فراهم بودن داده‌های مورد نیاز بوده است. در ادامه، به منظور اتخاذ درس‌آموخته‌هایی از عملکرد گذشته‌ی سیستم به منظور تنظیم سیاست‌های مدیریت سیستم مورد مطالعه در آینده، گزینه‌های مختلف سیاستی در رابطه با نحوه‌ی تخصیص و مصرف آب در همان مقاطع زمانی تدوین حساب‌های آب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای تحلیل اثر گزینه‌های سیاستی مختلف و فراهم نمودن ابزاری برای تصمیم‌سازی از مدل‌سازی با رویکرد پویایی سیستم با استفاده از نرم‌افزار Vensim PLE استفاده به عمل آمد. با استفاده از توسعه مدل مزبور برای محدوده مطالعاتی رفسنجان و در نظر گرفتن ارتباط پسخوری متغیرهای گوناگون با یکدیگر در مدل توسعه داده شده، فضای مناسبی برای تحلیل سیاست‌های مدیریتی به منظور کمک به فرایند تصمیم‌سازی به دست آمد که در ادامه به نتایج آن اشاره خواهد شد.

### ۲-۳- مدل‌سازی

برای ساخت مدل دینامیکی به منظور بررسی تأثیر اعمال گزینه‌های سیاستی در شرایط موجود در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ در محدوده مطالعاتی رفسنجان، بر اساس مدل مفهومی نشان داده شده در شکل ۲ اقدام شد. چنانچه در مدل مفهومی نشان داده شده است، دو بخش اقتصادی-اجتماعی و منابع آب زمینی و تعاملات و روابط متقابل بین آنها در نظر گرفته شده است که با توجه به مرز سیستم، متغیرهای برون‌زا مانند عوامل اکولوژیکی (شرایط محیطی، بارندگی، دما) و اجتماعی و اقتصادی خارجی به صورت یک طرفه روی سیستم تأثیر می‌گذارند. بخش اقتصادی-اجتماعی نشان‌دهنده رشد روز افزون جمعیت و افزایش نیازهای جامعه است که منجر به فشار روی سیستم منابع آب محدود، خواهد شد. در این بخش جمعیت و اشتغال در نظر گرفته شده‌اند. تغییرات جمعیت محدوده، منجر به تغییر در عرضه نیروی کار در محدوده می‌شود. از لحاظ اقتصادی نیز، کاربری‌های اقتصادی مختلف موجود در منطقه به کشاورزی، صنعت و معدن و خدمات تقسیم شده‌اند که هر کدام بخشی از درآمد محدوده را به خود اختصاص می‌دهند. لازم به ذکر است که از بررسی صادرات صرف نظر شده و تنها کاربری‌ها و درآمد درون منطقه مدنظر



شکل ۳- مدل توسعه داده شده برای سیستم منابع آب محدوده مطالعاتی رفسنجان

بعد منابع آب در این مطالعه، تحلیل وضعیت سیستم منابع آب در محدوده مطالعاتی رفسنجان با تصویری جامع از آسیب‌پذیری منابع آب را ارائه می‌دهند. علاوه بر اطلاعات فیزیکی، مجموعه اطلاعات اجتماعی و اقتصادی برای ارزیابی جامع منابع آب نیز لازم است. حداقل یک نشانگر در هر بعد می‌تواند سطحی از آسیب‌پذیری را نشان دهد. شکل ۴ دیاگرام وضعیت نشانگرها را در هر بعد در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ نسبت به نرم‌های جهانی و کشوری نشان می‌دهد. میزان انحراف از نرم‌های مزبور به منزله‌ی تغییرات آسیب‌پذیری منطقه در ابعاد مشخص شده تفسیر شده است. به منظور ترسیم دیاگرام وضعیت نشانگرها در هر بعد و مقایسه مقادیر این نشانگرها در این دو سال با مقادیر نرم آنها، لازم است که نشانگرها را بی بعد کنیم. برای این منظور نشانگرها و مقادیر نرم آنها با استفاده از روش نرم خطی نرمال شدند. مشخصات و توضیحات مربوط به نرم نشانگرها در جدول ۲ ارائه شده‌اند. لازم به ذکر است که مقادیر نرم کشوری هر نشانگر به صورت متوسط نشانگر مورد نظر در دو سال ۱۳۸۵ و ۱۳۸۰ در نظر گرفته شده است.

نتایج حاصل از ابعاد آسیب‌پذیری در تحلیل پیش رو برای سیستم منابع آب محدوده مطالعاتی رفسنجان به کار برده می‌شوند. تحلیل نشانگرهای مربوط به ابعاد منابع آب، اقتصادی و اجتماعی در این محدوده نشان‌دهنده فاصله‌ی زیاد مقادیر نشانگرهای مختلف از معیارهای مبدأ است که خود بیانگر آسیب‌پذیری بالای ویژگی نگرانی امنیت آبی در بعد منابع آب به دلیل حجم بسیار کم منابع آب در مقابل تقاضای زیاد آن می‌باشد که منجر به تنش آبی شدید، ناپایداری کامل و افت شدید آبخوان و کاهش امنیت آبی منطقه به لحاظ کمی و کیفی شده است. این موضوع منجر به وابستگی بیشتر

### ۳- نتایج

جمع‌آوری و سازماندهی اطلاعات در قالب جداول حسابداری آب (جداول عرضه و مصرف فیزیکی، جداول عرضه و مصرف هیبریدی، جداول دارایی‌ها، جدول اجتماعی-آبی) برای محدوده مطالعاتی رفسنجان در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ صورت گرفت. نمونه‌ای از این جداول حسابداری آب در ادامه آورده شده است (جداول ۱-۱ تا ۳-۱). مقادیر نشانگرهای استخراج شده از جداول حسابداری آب برای ارزیابی آسیب‌پذیری در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

نشانگرهای فوق ساختار و اطلاعات لازم را برای ارزیابی وضعیت سیستم منابع آب در اختیار ما قرار می‌دهند. بر این اساس، با استفاده از این نشانگرها، می‌توان به بررسی وضعیت و عملکرد سیستم در دوره‌های زمانی ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ پرداخت. هم‌چنین می‌توان بررسی کرد آیا با اعمال گزینه‌های مختلف سیاستی در دوره‌های زمانی مزبور، امکان بهبود وضعیت و عملکرد سیستم میسر می‌بود. در ادامه، برای بررسی میزان اثربخشی سیاست‌های مختلف در بهبود عملکرد سیستم از مفهوم الاستیسیته یا کشش تأثیر این گزینه‌ها بر نشانگرهای عملکردی استفاده شده است. از طرفی دیگر، با تحلیل میزان تغییرات حاشیه‌ای برخی از این نشانگرها (در مقابل تحلیل مقادیر متوسط) زمینه‌ی تغییرات پیش آمده در فضای اقتصادی منطقه‌ی مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۳-۱- تحلیل وضعیت موجود سیستم در مقاطع زمانی تدوین حساب‌های آب

نظر گرفتن این ابعاد با هم چالش‌برانگیز است. نشانگرهای مربوط به

در این بخش و سایر بخش‌ها مشخص شد که بهره‌وری اقتصادی بخش‌های شهر و خدمات و صنعت و معدن با وجود مصرف آب بسیار کم، نسبت به بخش کشاورزی با بیشترین سهم مصرف آب، بیشتر می‌باشند.

محدوده به منابع آب برون مرزی می‌شود. تحلیل نشانگرها در ابعاد اقتصادی و اجتماعی نشان می‌دهد که این تقاضای بیشتر ناشی از افزایش جمعیت و توسعه اقتصادی است که توسعه اقتصادی در این محدوده بیشتر بر پایه کشاورزی است و علی‌رغم تصور از اهمیت بالایی بخش کشاورزی در اقتصاد این منطقه، با بررسی بهره‌وری آب

**جدول ۱- ابعاد و مجموعه نشانگرهای استخراج شده از جداول حسابداری آب برای ارزیابی آسیب‌پذیری**

(هزینه‌ها و درآمدها براساس قیمت‌های ثابت سال پایه‌ی ۱۳۹۱ بیان شده‌اند)

منبع	سال		ارتباط با جداول حسابداری آب	نشانگر	ابعاد	
	۱۳۸۵	۱۳۸۰				
Ministry of Energy, 2011b; Management and Planning Organization, 2005	۲۶۶/۷	۲۸۷	جداول مصرف فیزیکی و دارایی‌ها	حجم منابع آب تجدیدپذیر داخلی (میلیون مترمکعب)	زیست‌محیطی	
	۸۱/۵	۲۱		حجم منابع آب تجدیدپذیر خارجی (میلیون مترمکعب)		
	۱۷/۹	۳		جریان انتقالی به خارج حوضه (میلیون مترمکعب)		
	۳۳۰/۳	۳۰۵		مجموع منابع آب تجدیدپذیر طبیعی (میلیون مترمکعب)		
	۲۴/۶۷	۶/۸۹		وابستگی به منابع آب برون مرزی (درصد)		
	۹۶/۳۱	۹۸/۶۱		وابستگی به آب زیرزمینی (درصد)		
	۲/۷۳	۲/۹۱		تنش آبی نسبی (RWSI)		
	۳/۳۹	۳/۱		شدت مصرف آب (نسبت آب مصرفی به آب تجدیدپذیر داخلی)		
اطلاعات آب منطقه‌ای کرمان؛ گزارش تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی رفسنجان، ۱۳۹۰	۵۵۸۰/۱۸	۵۱۳۰/۲۶		میزان شوری منابع آب (میکروموس بر سانتی‌متر)		
Ministry of Energy, 2000, 2012b; Management and Planning Organization, 2005	۹۴/۲۸	۹۴/۷۱		مصرف در بخش کشاورزی به کل مصارف (درصد)	اقتصادی	
	۳/۶۸	۴/۰۱		مصرف در بخش صنعت و معدن به کل مصارف (درصد)		
	۲/۰۵	۱/۲۸		مصرف در بخش شهر و خدمات به کل مصارف (درصد)		
اطلاعات مرکز آمار ایران؛ Ministry of Energy, 2000, 2001; Management and Planning Organization, 2005	۱۱۲۱۱	۴۱۰۷	جداول مصرف فیزیکی و عرضه ترکیبی و دارایی‌ها - جدول اجتماعی - آبی	بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه (ریال به ازای هر مترمکعب)		
	۴۴۸۳	۱۶۳۵		بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی (ریال به ازای هر مترمکعب)		
	۱۱۳,۰۵۵	۳۷,۹۸۷		بهره‌وری اقتصادی آب در بخش صنعت و معدن (ریال به ازای هر مترمکعب)		
	۱۳۸,۲۲۵	۸۰,۷۹۲		بهره‌وری اقتصادی آب در بخش خدمات (ریال به ازای هر مترمکعب)		
	۰/۳۸	۰/۳۸		اهمیت نسبی کشاورزی در اقتصاد		
	۲/۵۸	۲/۷۶		اهمیت نسبی کشاورزی در رسیدن به تعادل آبی		
	۶۰۹,۹۴۰					تغییرات حاشیه‌ای بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه از سال ۱۳۸۰ به ۱۳۸۵ (ریال به ازای هر مترمکعب)
	۲۱۶,۲۴۷					تغییرات حاشیه‌ای بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی از سال ۱۳۸۰ به ۱۳۸۵ (ریال به ازای هر مترمکعب)



ادامه جدول ۱- ابعاد و مجموعه نشانگرهای استخراج شده از جداول حسابداری آب برای ارزیابی آسیب پذیری  
(هزینه‌ها و درآمدها براساس قیمت‌های ثابت سال پایه‌ی ۱۳۹۱ بیان شده‌اند)

منبع	سال		ارتباط با جداول حسابداری آب	نشانگر	ابعاد
	۱۳۸۵	۱۳۸۰			
اطلاعات مرکز آمار ایران؛ Management and Planning Organization, 2005	۲۹۵,۱۷۵	۱۹۷,۶۲۳	جداول اجتماعی-آبی و دارایی‌ها	جمعیت (نفر)	تغییرات حاشیه‌ای بهره‌وری نیروی کار در منطقه از سال ۱۳۸۰ به ۱۳۸۵ (نفر به ازای هر مترمکعب)
اطلاعات مرکز آمار ایران؛ Management and Planning Organization, 2005; Ministry of Energy, 2000	۱۱۰۰	۱۵۰۰		سرانه آب تجدیدپذیر (مترمکعب به ازای هر نفر)	
اطلاعات مرکز آمار ایران	۲۹/۵۴	۲۹/۵۴		اشتغال در بخش کشاورزی (درصد)	
	۱۷/۹۳	۱۷/۹۳		اشتغال در بخش صنعت و معدن (درصد)	
	۵۰/۲۱	۵۰/۲۱		اشتغال در بخش خدمات (درصد)	
اطلاعات مرکز آمار ایران؛ Management and Planning Organization, 2005; Ministry of Energy, 2000	۱۳۳,۶۹۳,۸۶۵	۷۲,۰۳۱,۶۶۳		بهره‌وری نیروی کار در بخش کشاورزی (ریال به ازای هر نفر)	
	۲۱۶,۶۴۲,۴۸۶	۱۱۶,۷۲۴,۵۳۸		بهره‌وری نیروی کار در بخش صنعت و معدن (ریال به ازای هر نفر)	
	۵۲,۶۲۵,۵۴۶	۲۸,۳۵۲,۳۵۶		بهره‌وری نیروی کار در بخش خدمات (ریال به ازای هر نفر)	
	۱۰۴,۷۶۴,۷۷۰	۵۶,۴۴۴,۷۵۰		بهره‌وری نیروی کار در منطقه (ریال به ازای هر نفر)	
	۳۴	۲۳		بهره‌وری اشتغال در بخش کشاورزی (نفر به ازای هر مترمکعب)	
	۵۲۲	۳۲۵		بهره‌وری اشتغال در بخش صنعت و معدن (نفر به ازای هر مترمکعب)	
	۲۶۲۷	۲۸۴۹		بهره‌وری اشتغال در بخش خدمات (نفر به ازای هر مترمکعب)	
	۱۰۷	۷۳		بهره‌وری اشتغال در منطقه (نفر به ازای هر مترمکعب)	
	۳۴,۲۹۵,۶۲۲	۱۸,۴۷۷,۶۳۱		سرانه درآمد (ریال به ازای هر نفر)	
	۲۵۵,۷۶۲,۱۶۶			تغییرات حاشیه‌ای بهره‌وری نیروی کار در منطقه از سال ۱۳۸۰ به ۱۳۸۵ (ریال به ازای هر نفر)	
۲۳۸۵		تغییرات حاشیه‌ای بهره‌وری اشتغال در منطقه از سال ۱۳۸۰ به ۱۳۸۵ (نفر به ازای هر مترمکعب)			

جدول ۱-۱- اجتماعی-آبی پیشنهاد شده در سال ۱۳۸۵ در محدوده مطالعاتی رفسنجان  
(هزینه‌ها و درآمدها براساس قیمت‌های ثابت سال پایه‌ی ۱۳۹۱ بیان شده‌اند)

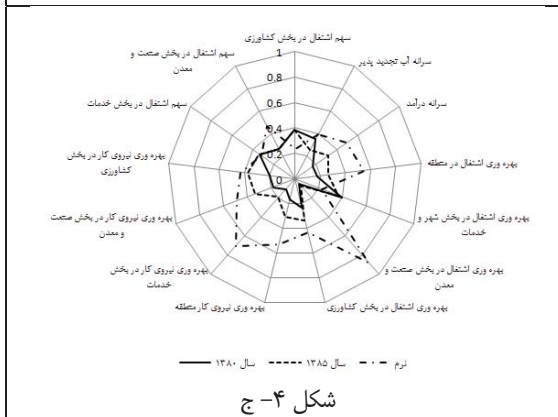
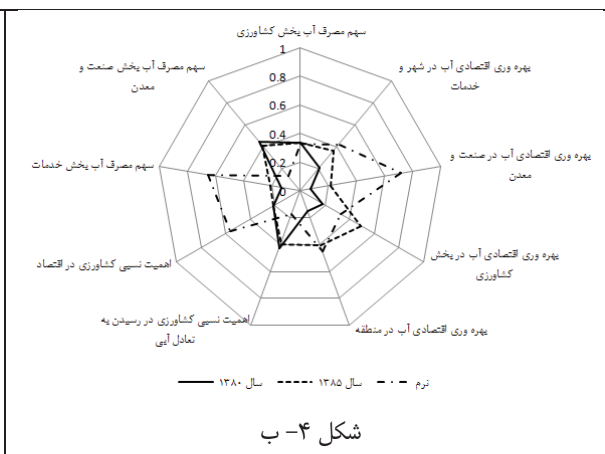
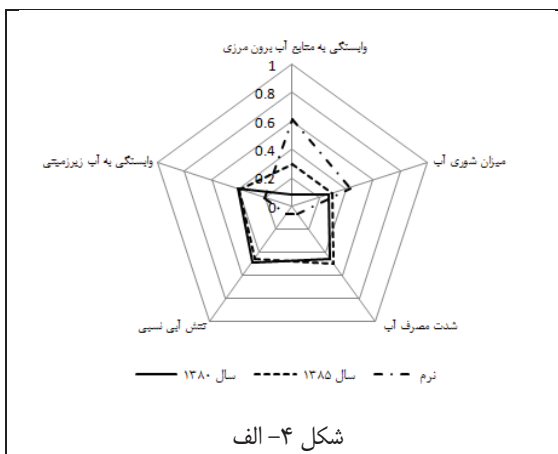
کل	طبقه‌بندی ISIC			
	شهر و خدمات	صنایع و معادن	کشاورزی	
۹۰۲/۹۵۹	۱۸/۴۷۲	۳۳/۲۰۵	۸۵۱/۲۸۲	۱. کل مصرف آب (میلیون مترمکعب)
۲۹۰/۰۳۴	۱۴/۴۴۶	۲۰/۲۰۴	۲۵۵/۳۸۵	۲. کل عرضه آب (میلیون مترمکعب)
۲۹۵۱۷۵				۳. جمعیت
۱۷۵۳۷۲				۳.a. جمعیت شهری
۱۱۹۸۰۳				۳.b. جمعیت روستایی
۲۴۳۴۸۸				۴. جمعیت ۱۰ ساله و بیشتر
۱۰۶۷۹۰				۴.a. جمعیت فعال
۹۶۶۲۸				۴.b. جمعیت شاغل
۱۰۱۶۲				۴.c. جمعیت بیکار
۱۳۴۶۳۷				۴.d. جمعیت غیرفعال
۹۴۳۸۹	۴۸۵۱۹	۱۷۳۲۸	۲۸۵۴۲	۵. اشتغال
۱۰۱۲۳۲۱۰/۱۷۵	۲۵۵۳۳۳۸/۸۶۹	۳۷۵۳۹۸۱/۰۰۰	۳۸۱۵۸۹۰/۳۰۵	۶. درآمد (میلیون ریال)

جدول ۱-۲- دارایی‌ها در سال ۱۳۸۵ در محدوده مطالعاتی رفسنجان

کل	رطوبت خاک	آب زیرزمینی	منابع آب سطحی		(واحد: میلیون مترمکعب)
			رودخانه	مخزن مصنوعی	
۱۵۹۶۵/۱۵۴	۰	۱۵۹۶۰	۵/۱۵۴		۱. شروع دوره
۱۹۰۹/۲۳۴	۰	۲۸۸/۶۸۳	۱/۳۵۱		ورودی
۲۹۰/۰۳۴					۲. جریان بازگشتی
۱۵۳۷/۷					۳. بارندگی
۸۱/۵					۴. جریانات
۸۱/۵		۴۰/۵	۴۱		۴.a. جریان از خارج منطقه
۰					۴.b. جریان از دیگر منابع موجود در منطقه
۲۱۹۱/۸۵۹	۳/۷۳۳	۸۶۹/۶۲۲		۲۹/۶۰۵	خروجی
۹۰۲/۹۵۹					۵. برداشت (مصرف از منابع زمینی)
۱۲۷۱					۶. تبخیر/تبخیر و تعرق واقعی
۱۷/۹					۷. جریان خروجی
۱۷/۹					۷.a. جریان به منطقه پایین دست
	۷.b. جریان به دریا				
					۷.c. جریان به دیگر منابع موجود در منطقه
-۲۸۲/۶۲۵					۸. دیگر تغییرات در ذخیره
۱۵۶۷۷/۳۷۵				۰	۹. پایان دوره

جدول ۱-۳- مصرف فیزیکی در سال ۱۳۸۵ در محدوده مطالعاتی رفسنجان

کل	نقاط خارج از حوضه	طبقه بندی ISIC						(واحد: میلیون مترمکعب)	
		شهر و خدمات	ISIC 37	ISIC 36	صنایع و معادن	کشاورزی			
						جمع کل مصارف کشاورزی	پسته		
۹۰۲/۹۵۹		۱۸/۴۷۲		۶۸۸/۲۴۰	۳۳/۲۰۵	۸۵۱/۲۸۲	۸۵۱/۲۸۲	۱. کل برداشت آب a.۱. برداشت برای مصرف خود b.۱. برداشت برای توزیع	کشاورزی
۹۰۲/۹۵۹		۱۸/۴۷۲		۶۸۸/۲۴۰	۳۳/۲۰۵	۸۵۱/۲۸۲	۸۵۱/۲۸۲		
۸۶۹/۶۲۲		۱۸/۴۷۲		۶۸۸/۲۴۰	۳۳/۲۰۵	۸۱۷/۹۴۴	۸۱۷/۹۴۴		
								۲. آب دریافتی از دیگر بخش های اقتصادی a.۲. آب دوباره مصرفی b.۲. زه آب تحویل داده شده به سیستم فاضلاب	زیست محیطی
۹۰۲/۹۵۹		۱۸/۴۷۲		۶۸۸/۲۴۰	۳۳/۲۰۵	۸۵۱/۲۸۲	۸۵۱/۲۸۲	۳. کل برداشت آب	اقتصادی



شکل ۴- دیگرگام وضعیت نشانگرهای منابع آب (شکل الف)، اقتصادی (شکل ب) و اجتماعی (شکل ج)

تغییر الگوی اقتصادی از کشاورزی به صنعت و معدن (کاهش ۲۰ درصدی سطح زیر کشت پسته و ۳۰ درصد توسعه در بخش صنعت و معدن)، کنترل در میزان برداشت (جلوگیری از اضافه برداشت چاه‌های مجاز و انسداد چاه‌های غیرمجاز) می‌باشند.

با توجه به گزینه‌های سیاستی اعمال شده در این تحقیق و نتایج حاصل از آن‌ها بر اساس نشانگرهای استخراجی در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و منابع آب می‌توان میزان اثربخشی گزینه‌های سیاستی پیشنهادی در کاهش آسیب‌پذیری مؤلفه نگرانی امنیت آبی را در جدول ۴ مشاهده کرد.

جدول ۵ الاستیسیته دو نشانگر بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه و حجم آبخوان را تحت گزینه‌های تک سیاستی نشان می‌دهد. الاستیسیته یا کشش بهره‌وری اقتصادی آب نسبت به سیاست‌های اعمال شده، درصد تغییر مقدار بهره‌وری اقتصادی آب را نسبت به درصد تغییر در هریک از گزینه‌ها اندازه‌گیری می‌کند. به عنوان مثال در گزینه ۱ که بهبود راندمان با فرض ثابت ماندن سطح زیر کشت می‌باشد، الاستیسیته بهره‌وری اقتصادی آب با تقسیم میزان درصد تغییر مقدار بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه تحت اعمال این گزینه نسبت به حالت پایه به میزان درصد بهبود راندمان به دست می‌آید. اگر کشش بزرگتر از یک باشد بهره‌وری کشش‌پذیر است. یعنی یک درصد تغییر در سیاست مزبور نسبت به حالت پایه، اثری بیشتر از یک درصد در بهره‌وری آب خواهد داشت. اگر این شاخص مساوی یک باشد دارای کشش‌پذیری واحد است. این به معنی آن است که یک درصد تغییر در سیاست مورد نظر نسبت به حالت پایه، به یک درصد تغییر در بهره‌وری آب منجر خواهد شد. بالاخره، اگر نسبت فوق کوچکتر از یک باشد با تغییرات بهره‌وری آب نسبت به اعمال سیاست مورد نظر کشش‌پذیری کم دارد. الاستیسیته یا کشش حجم آبخوان نیز درصد تغییر مقدار حجم آبخوان نسبت به درصد تغییر در هریک از گزینه‌ها می‌باشد. به عنوان مثال در گزینه ۱ که بهبود راندمان با فرض ثابت ماندن سطح زیر کشت می‌باشد، الاستیسیته حجم آبخوان با تقسیم میزان درصد تغییر مقدار حجم آبخوان در منطقه تحت اعمال این گزینه نسبت به مقدار این نشانگر در حالت پایه به میزان درصد بهبود راندمان به دست می‌آید. تحت تأثیر اعمال گزینه سیاستی افزایش راندمان به میزان ۱۵ درصد (گزینه ۱)، الاستیسیته بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه در مقابل افزایش راندمان،  $+0/94$  به دست آمد که این میزان بیشتر از صفر و کمتر از یک می‌باشد و این بدین معنی آن است که اگر راندمان ۱ درصد افزایش یابد بهره‌وری  $0/94$  درصد افزایش خواهد یافت و این به معنی کشش‌پذیری پایین است.

بیشترین بهره‌وری نیروی کار (درآمد برای هر نفر شاغل در هر بخش) مربوط به بخش صنعت و معدن است. میزان بهره‌وری اشتغال (اشتغال به ازای مصرف آب یا ایجاد اشتغال بیشتر به ازای واحد حجم آب) در بخش کشاورزی با وجود بیشترین سهم در مصرف آب، به ازای هر میلیون مترمکعب آب مصرفی کمترین اشتغال را ایجاد می‌کند و بخش خدمات با مصرف آب کمتر، بیشترین اشتغال را به ازای هر میلیون مترمکعب آب مصرفی ایجاد می‌کند. افزایش جمعیت نیز از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ (معادل  $9/87$  درصد) منجر به افزایش تقاضای آب شهری و مصرف آب این بخش و کاهش سرانه منابع آب تجدیدپذیر برای هر نفر در این محدوده شده است، به گونه‌ای که سهم سرانه منابع آب تجدیدپذیر این محدوده از ۱۵۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال ۱۳۸۰ به ۱۱۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال ۱۳۸۵ تقلیل یافته است. بر اساس شاخص Falkenmark هر کشوری با سرانه آب تجدیدپذیر کمتر از ۱۷۰۰ مترمکعب جزء کشورهایی با تنش آبی محسوب می‌شود. چنانچه این مقدار کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب در سال برای هر نفر باشد در وضعیت کمبود آب به سر می‌برند (Falkenmark and Widstrand, 1992). مقدار شاخص فوق برای دشت رفسنجان از حد آستانه سرانه منابع آب تجدیدپذیر به ازای هر نفر کمتر بوده و این نشان‌دهنده این واقعیت است که محدوده رفسنجان در مرز کمبود و تنش آب واقع شده است.

### ۳-۲- تحلیل وضع موجود تحت گزینه‌های سیاستی اعمال شده در مقاطع زمانی تنظیم جداول حسابداری آب

پس از توسعه، اعتبارسنجی و صحت‌سنجی مدل، مرحله تجزیه و تحلیل گزینه‌های سیاستی فرا می‌رسد. برای بررسی تأثیر اعمال گزینه‌های سیاستی در سال‌های مورد مطالعه در محدوده مطالعاتی رفسنجان، ابتدا مدل برای سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ بدون اعمال سیاست‌ها اجرا گردید و نشانگرهای ارزیابی آسیب‌پذیری متناسب با مقادیر حاصل از خروجی مدل محاسبه شد. از آن جایی که این مقادیر تفاوت معنی‌داری با مقادیر داده‌های مشاهده‌ای نداشت، این مقادیر به عنوان مقادیر مرجع برای مقایسه‌ی نتایج حاصل از اعمال گزینه‌های سیاستی به کار گرفته شدند. گزینه‌های مختلف در نظر گرفته شده (جدول ۳) بر مبنای اسناد توسعه و با توجه به روابط بین کاربری‌ها و تأثیر هر کدام بر یکدیگر و بر کل منطقه در نظر گرفته شدند. این گزینه‌ها شامل بهبود راندمان (استفاده از سیستم‌های آبیاری نوین) با فرض ثابت ماندن سطح زیر کشت پسته، کاهش سطح زیر کشت پسته، گزینه ترکیبی کاهش سطح زیر کشت و بهبود راندمان، تغییرات اشتغال بین بخشی از کشاورزی به صنعت و معدن،

**جدول ۲- مشخصات نرم نشانگرها در ابعاد منابع آب، اقتصادی و اجتماعی**  
(هزینه‌ها و درآمدها براساس قیمت‌های ثابت سال پایه‌ی ۱۳۹۱ بیان شده‌اند)

ابعاد	نشانگر	معیار به کار رفته		توضیحات
		کشوری	جهانی	
زیست‌محیطی	وابستگی به منابع آب برون مرزی (درصد)	×		تجاوز از مقدار نرم ۵۰ درصد نشان‌دهنده وابستگی بالای محدوده به منابع آب برون مرزی است (UNSD, 2012).
	وابستگی به آب زیرزمینی (درصد)	×		تجاوز از مقدار نرم ۵۰ درصد نشان‌دهنده وابستگی بالای محدوده به منابع آب زیرزمینی است (UNSD, 2012).
	تنش آبی نسبی	×		تنش آبی نسبی بیشتر از ۰/۴ بیانگر شرایط تنش آبی شدید است (UNSD, 2012).
	شدت مصرف آب	×		تجاوز از مقدار نرم ۰/۴ گویای ناپایداری کامل و عدم تعادل بیلان در منطقه به دلیل عدم هماهنگی بین میزان منابع آب موجود و برداشت شده است (UNSD, 2012).
	میزان شوری آب (میکروموس بر سانتیمتر)	×		میزان شوری آب قابل تحمل برای محصول پسته در کشور (اطلاعات مرکز تحقیقات پسته رفسنجان)
اقتصادی	سهم مصرف آب در بخش کشاورزی (درصد)	×		۹۲/۴
	سهم مصرف آب در بخش صنعت و معدن (درصد)	×		۱/۲
	سهم مصرف آب در بخش خدمات (درصد)	×		۶/۴
	اهمیت نسبی کشاورزی در اقتصاد (درصد)	×		۱۰۰
	اهمیت نسبی کشاورزی در رسیدن به تعادل آبی	×		۱/۱۴
	بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه (ریال به ازای هر مترمکعب)	×		۱۲۴۲۲/۷۶
	بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی (ریال به ازای هر مترمکعب)	×		۳۰۰۵
	بهره‌وری اقتصادی آب در صنعت و معدن (ریال به ازای هر مترمکعب)	×		۳۸۲۶۷۷/۷۲
	بهره‌وری اقتصادی آب در شهر و خدمات (ریال به ازای هر مترمکعب)	×		۱۶۰۶۹۷
	سهم اشتغال در بخش کشاورزی (درصد)	×		۱۸
سرمایه انسانی	سهم اشتغال در بخش صنعت و معدن (درصد)	×		۳۱/۷۱
	سهم اشتغال در بخش خدمات (درصد)	×		۴۷/۹۱
	بهره‌وری نیروی کار در بخش کشاورزی (ریال به ازای هر نفر)	×		۱۵۵,۶۹۳,۸۶۵
	بهره‌وری نیروی کار در بخش صنعت و معدن (ریال به ازای هر نفر)	×		۳۱۸,۹۷۹,۳۳۴
	بهره‌وری نیروی کار در بخش خدمات (ریال به ازای هر نفر)	×		۱۹۱,۲۸۵,۵۰۰
	بهره‌وری نیروی کار منطقه (ریال به ازای هر نفر)	×		۱۸۰,۶۴۹,۰۰۲
	بهره‌وری اشتغال در بخش کشاورزی (نفر به ازای هر مترمکعب)	×		۴۲
	بهره‌وری اشتغال در بخش صنعت و معدن (نفر به ازای هر مترمکعب)	×		۵۹۰۲
	بهره‌وری اشتغال در منطقه (نفر به ازای هر مترمکعب)	×		۱۶۲۵
	بهره‌وری اشتغال در بخش شهر و خدمات (نفر به ازای هر مترمکعب)	×		۲۱۹
سرمایه طبیعی	سرانه درآمد (ریال به ازای هر نفر)	×		۵۲,۴۷۱,۷۹۶
	سرانه آب تجدید پذیر (مترمکعب به ازای هر نفر)	×		تجاوز از مقدار نرم ۱۷۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر نشان‌دهنده قرار گرفتن محدوده در مرز کمبود و تنش آب است (Falkenmark and Widstrand, 1992).

جدول ۳- مشخصات گزینه‌های سیاستی

ردیف	سیاست‌ها	اقدامات گزینه	واحد
۱	بهبود راندمان (از طریق تغییر تکنولوژی آبیاری)	۱۰-۲۰	%
۲	کاهش سطح زیر کشت	۱۰-۲۰	%
۳	کاهش سطح زیر کشت و بهبود راندمان	۱۰-۲۰	%
۴	تغییرات اشتغال بین بخشی از کشاورزی به صنعت و معدن	۲۰	%
۵	تغییر الگوی اقتصادی از کشاورزی به صنعت و معدن	۳۰	%
۶	کنترل در میزان برداشت	۵۰	%

تحت تأثیر اعمال این گزینه سیاستی الاستیسیته (کشش) حجم آبخوان در مقابل افزایش راندمان،  $+1/83$  به دست آمد و این بدین معنی است که اگر راندمان ۱ درصد افزایش یابد حجم آبخوان  $1/83$  درصد زیاد می‌شود و این به معنی کاهش‌پذیری بالا یا حساسیت زیاد حجم آبخوان نسبت به تغییرات راندمان است. تحت تأثیر اعمال گزینه سیاستی کاهش سطح زیر کشت پسته به میزان ۱۵ درصد (گزینه ۲)، الاستیسیته بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه در مقابل کاهش سطح زیر کشت پسته،  $-0/66$  به دست آمد که این بدین معنی است که اگر سطح زیر کشت پسته ۱ درصد کاهش یابد بهره‌وری  $0/66$  درصد افزایش خواهد یافت.

جدول ۴- اثربخشی گزینه‌های سیاستی پیشنهادی در کاهش آسیب‌پذیری مؤلفه نگرانی امنیت آبی در سال ۱۳۸۵ (درصد)

نشانهگر	گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳	گزینه ۴	گزینه ۵	گزینه ۶
حجم آبخوان	۲۷/۵۲	۳۱/۵۱	۵۴/۸۷	۴۱/۲۸	۴۰/۸۲	۵۱/۷۸
شوری آب	-۱/۰۵	-۲/۳۸	-۷/۰۱	-۵/۲۳	-۵/۲۰	-۳/۵۲
بهره‌وری اقتصادی منطقه	۱۴/۰۷	۹/۹۶	۲۵/۴۲	۲۷/۷۳	۲۶/۳۰	۱۸/۳۷
بهره‌وری اقتصادی کشاورزی	۱۴/۹۸	-۰/۴۵	۱۴/۹۶	-۰/۹۹	-۰/۹۹	-۰/۶۶
بهره‌وری اقتصادی کشاورزی در واحد سطح	۱۵	۱۷/۲۱	۳۵/۲۶	۲۴/۱۴	۲۳/۳۹	۳۱/۸۰
بهره‌وری اشتغال به میزان آب مصرفی	۱۳/۵۴	۱۳/۵۴	۲۰/۱۷	۲۰/۸۳	۱۷/۷۱	۲۶/۰۴
بهره‌وری نیروی کار	۰	-۳/۳۵	-۳/۳۳	۵/۶۰	۷/۰۴	-۵/۸۴
سرانه درآمد ناخالص منطقه	۰	-۵/۵۶	-۵/۴۳	۴/۶۵	۳/۸۱	-۹/۱۰
مصرف آب در منطقه	-۱۲/۳۳	-۱۴/۱۲	-۲۴/۵۹	-۱۸/۰۷	-۱۷/۸۱	-۲۳/۲۱
اشتغال منطقه	۰	-۲/۲۹	-۲/۱۷	-۰/۹۰	-۳/۰۲	-۳/۴۶

جدول ۵- الاستیسیته (کشش) بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه و حجم منابع آب تحت گزینه‌های تک سیاستی در سال ۱۳۸۵

(هزینه‌ها و درآمدها براساس قیمت‌های ثابت سال پایه‌ی ۱۳۹۱ در نظر گرفته شده‌اند)

گزینه	گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۴	گزینه ۶
بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه	+۰/۹۴	-۰/۶۶	+۱/۳۹	-۰/۳۷
حجم آبخوان	+۱/۸۳	-۲/۱۰	+۲/۰۶	-۱/۰۴

تغییر اشتغال از کشاورزی به صنعت و معدن،  $+1/39$  به دست آمد که این بدین معنی است که اگر اشتغال صنعت و معدن ۱ درصد افزایش یابد بهره‌وری  $1/39$  درصد افزایش می‌یابد. تحت تأثیر اعمال این گزینه سیاستی، الاستیسیته (کشش) حجم منابع آب در مقابل ۲۰ درصد تغییر اشتغال از کشاورزی به صنعت و معدن،  $+2/06$  به دست آمد و این بدین معنی است که اگر اشتغال صنعت و معدن ۱ درصد افزایش یابد تغییرات حجم آبخوان از حساسیت بالایی برخوردار است و به میزان  $2/06$  درصد افزایش خواهد یافت. تحت تأثیر اعمال گزینه

تحت تأثیر اعمال این گزینه سیاستی، الاستیسیته (کشش) حجم آبخوان در مقابل کاهش سطح زیر کشت پسته،  $-2/10$  به دست آمد و این بدین معنی است که اگر سطح زیر کشت پسته ۱ درصد کاهش یابد حجم آبخوان  $2/10$  درصد افزایش می‌یابد که به معنی حساسیت بالای تغییرات حجم آبخوان نسبت به تغییرات سطح زیر کشت پسته می‌باشد. تحت تأثیر اعمال گزینه سیاستی تغییرات اشتغال از کشاورزی به صنعت و معدن به میزان ۲۰ درصد (گزینه ۴)، الاستیسیته بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه در مقابل ۲۰ درصد

$$(۱) \frac{\text{تغییرات درآمد منطقه}}{\text{تغییرات میزان آب مصرفی}} = \text{تغییرات حاشیه ای بهره وری اقتصادی آب در منطقه}$$

بر اساس مقادیر جدول ۶، مقایسه تغییرات مقادیر متوسط این نشانگرها در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ نشان می‌دهد که مقدار این نشانگرها از سال ۱۳۸۰ به ۱۳۸۵ افزایش یافته است. در همان جدول، مقایسه تغییرات مقادیر حاشیه‌ای این نشانگرها نیز نشان می‌دهد که مقدار این نشانگرها از سال ۱۳۸۰ به ۱۳۸۵ افزایش یافته است اما مقدار این افزایش بسیار بیشتر از مقدار تغییرات متوسط آنها است و این مسئله نشان می‌دهد که این نیروی محرکه قوی اقتصادی در محدوده مطالعاتی رفسنجان باعث می‌گردد که در این محدوده توجه زیادی به منافع کوتاه مدت شود و نسبت به منافع استراتژیک منابع آب بی‌توجه باشند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر تلاشی در جهت ارزیابی چارچوبی جامع برای ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری سیستم منابع آب بوده است. در این تحقیق با بررسی و تحلیل مفهومی آسیب‌پذیری، چارچوب معرفی شده توسط Fussel در سال ۲۰۰۷ به عنوان چارچوب مورد استفاده در نظر گرفته شد. این تعریف به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری چهار بعد را مد نظر قرار می‌دهد. با این نگاه، در گام دوم سعی شد نشانگرهای ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب بررسی شوند. در این گام به منظور استخراج این نشانگرها از چارچوب حسابداری آب استفاده شد. نتایج حاصل از پیاده‌سازی چارچوب حسابداری آب در محدوده مطالعاتی رفسنجان و استخراج نشانگرهای مرتبط با آسیب‌پذیری حاکی از آسیب‌پذیری سیستم‌های منابع آب و اقتصادی-اجتماعی منطقه‌ی مورد مطالعه نسبت به کمبود آب است. با توجه به نشانگرهای بعد منابع آب بحران شدید کمبود آب در محدوده مطالعاتی رفسنجان حاکم است و با توجه به وابستگی زیاد این محدوده به منابع آب زیرزمینی و مصرف بالای آب در بخش کشاورزی و بهره‌وری کم این بخش می‌باید تمرکز بخش اقتصادی را از کشاورزی به سمت صنعت و معدن سوق داد.

سیاستی کنترل برداشت به میزان ۵۰ درصد (گزینه ۶)، الاستیسیته بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه در مقابل ۵۰ درصد کنترل برداشت، ۳۷٪- به دست آمد که این بدین معنی است که اگر برداشت ۱ درصد کاهش یابد بهره‌وری ۳۷٪ درصد افزایش می‌یابد. تحت تأثیر اعمال این گزینه سیاستی، الاستیسیته (کشش) حجم آبخوان در مقابل ۵۰ درصد کنترل برداشت، ۴٪-۱ به دست آمد و این بدین معنی است که اگر برداشت ۱ درصد کاهش یابد حجم آبخوان ۴٪ درصد افزایش خواهد یافت.

مقایسه مقادیر الاستیسیته بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه و حجم آبخوان تحت گزینه‌های تک سیاستی نشان می‌دهد که تحت کدام یک از این گزینه‌های سیاستی بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه و حجم آبخوان با کشش هستند. تحت گزینه‌های سیاستی افزایش راندمان به میزان ۱۵ درصد (گزینه ۱)، کاهش سطح زیر کشت پسته به میزان ۱۵ درصد (گزینه ۲)، تغییرات اشتغال از کشاورزی به صنعت و معدن به میزان ۲۰ درصد (گزینه ۴)، کنترل برداشت به میزان ۵۰ درصد (گزینه ۶) حجم آبخوان کشش‌پذیری بالایی دارد. اما از بین این گزینه‌های سیاستی، بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه تنها تحت گزینه سیاستی تغییر اشتغال از کشاورزی به صنعت و معدن (گزینه ۴)، کشش‌پذیری بالایی دارد. بنابراین، با تغییر اشتغال از کشاورزی به صنعت و معدن، بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه و حجم منابع آب دارای کشش‌پذیری بالا هستند. در نتیجه این سیاست می‌تواند بالقوه اثربخشی بیشتری روی سیستم تحت مطالعه داشته باشند.

جدول ۵ میزان تغییرات حاشیه‌ای بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه، بهره‌وری نیروی کار، بهره‌وری اشتغال به ازای میزان آب مصرفی در منطقه و بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی را در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ نشان می‌دهد. مفهوم حاشیه‌ای یعنی اگر از کالای x یک واحد بیشتر مصرف کنیم چقدر بر مطلوبیت ما افزوده می‌شود. به طور مثال تغییرات حاشیه‌ای بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه از نسبت تغییرات درآمد منطقه به تغییرات میزان آب مصرفی به دست می‌آید (رابطه (۱)).

#### جدول ۶- تغییرات حاشیه‌ای بهره‌وری در سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۰

(هزینه‌ها و درآمدها براساس قیمت‌های ثابت سال پایه‌ی ۱۳۹۱ بیان شده‌اند)

تغییرات حاشیه ای (از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵)	متوسط			
	تغییرات	سال ۱۳۸۵	سال ۱۳۸۰	
۶۰۹۹۴۰	۶۳۹۷	۱۱۰۳۰	۴۶۲۳	بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه (ریال در هر مترمکعب)
۲۳۸۵	۲۵	۹۶	۷۱	بهره‌وری اشتغال به میزان آب مصرفی (نفر به ازای هر میلیون مترمکعب)
۲۵۵,۷۶۲,۱۶۶	۵۰,۲۷۸,۲۶۲	۱۱۵,۴۵۹,۹۲۵	۶۵,۱۸۱,۶۶۳	بهره‌وری نیروی کار در منطقه (ریال به ازای هر نفر)
۲۱۶۲۴۷	۲۰۴۹	۴۲۳۹	۲۱۹۰	بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی (ریال در هر مترمکعب)

تحقیقات منابع آب ایران، سال دوازدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵

Volume 12, No. 1, Spring 2016 (IR-WRR)

- dependent, rapidly urbanizing region, *Environmental Hazard* 7(4):399-418.
- Ermoliev Y, Ermolieva T, Fischer G, Makowski M, Nilsson S, Obersteiner M (2008) Discounting, catastrophic risks management and vulnerability modeling, *Math. Comput. Simul.* doi:10.1016/j.matcom.2008.02.004.
- Falaki Ilkhchi G. (2012) Implementation of the system of water accounting in the basin scale – Case study: ZarinehRood, Master Thesis of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran (in Persian).
- Fussel HM (2007) Vulnerability: a generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change* 17(2):155–167.
- Gallop GC (2006) Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity, *Global Environmental Change* 16:293-303.
- Hamouda MA, Nour El-Din MM, Moursy FI (2009) Vulnerability assessment of water resources systems in the Eastern Nile Basin. *Water Resources Management* 23:2697–2725.
- Hellström T (2007) Critical infrastructure and systemic vulnerability: Towards a planning framework, *Safety Science*, 45: 415–430.
- Ingram JC, Franco G, Rumbaitis-del Rio C, Khazai B (2006) Post-disaster recovery dilemmas: challenges in balancing short-term and long-term needs for vulnerability reduction, *International Journal of Environmental Science and Policy* 9:607-613.
- Iran Water Resources Management Co. (2011) The report on forbiddance of Rafsanjan Plain, Bureau of Groundwater Conservation (in Persian).
- Kaynia AM (2007) Probabilistic assessment of vulnerability to landslide: Application to the village of Lichtenstein, Baden-Wurttemberg, Germany. *Engineering Geology*, 2008: p. S0013-7952(08) 00092-6.
- Lange GM, Hassan R (2006) The economics of water management in Southern Africa, Cheltenham, UK and Northampton, MA, US: Edvard Elgar.
- Management and Planning Organization (2005) Master plan on adaptation to climate change (Balance between supply and demand in the basins, The status quo and the future conditions) – Kavir Daranjir-Saghand Basin, Vol. 1, Jamab Consultant Eng. Co. (in Persian).
- McCarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS (Eds.). (2001) *Climate change 2001: the scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- این مسئله می‌تواند منجر به جبران افت آبخوان در محدوده مطالعاتی رفسنجان شود. در واقع با توجه به مقایسه‌هایی که انجام شد می‌توان گفت که با تغییر اشتغال کشاورزان و تغییر الگوی اقتصادی منطقه از کشاورزی به صنعت و معدن با مصرف آب کمتر در این بخش می‌توان درآمد بیشتری نسبت به مابقی فعالیت‌های اقتصادی به دست آورد و در این حالت آسیب‌پذیری ویژگی نگرانی امنیت آبی به لحاظ ابعاد منابع آب، اقتصادی و اجتماعی کمتر خواهد شد. از طرفی نشان داده شد که با تغییر اشتغال از کشاورزی به صنعت و معدن، بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه و حجم منابع آب دارای کشت‌پذیری بالا هستند. بر این اساس می‌توان گفت که اعمال این گزینه سیاستی نسبت به سایر گزینه‌ها می‌تواند بالقوه اثربخشی بیشتری روی سیستم تحت مطالعه داشته باشند.
- لازم به ذکر است که بررسی تغییرات حاشیه‌ای نشانگرهای بهره‌وری اقتصادی و اشتغال بر اساس مصرف آب نشان‌دهنده وجود یک نیروی محرکه قوی اقتصادی در محدوده مطالعاتی رفسنجان است که باعث می‌گردد در این محدوده توجه زیادی به منافع کوتاه مدت شود و نسبت به منافع استراتژیک منابع آب بخصوص در درازمدت غفلت صورت گیرد. مادامی که این محرک درون‌زا وجود دارد اعمال این گزینه‌ها مؤثر نخواهد بود. لذا پیشنهاد می‌شود به منظور فراهم آوردن بستر مناسب برای اجرای سیاست‌های پیشنهاد شده، ابتدا تمهیداتی در جهت کاهش این نیروی محرکه اتخاذ شود. یافته‌های مزبور از نظر مدیریت سیستم منابع آب منطقه‌ی مورد مطالعه حائز اهمیت است و می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های تخصیص آب و تعریف حد توسعه‌ی کاربری‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

## تشکر

نویسندگان این مقاله از همکاری اندیشکده‌ی تدبیر آب ایران در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌کنند.

## ۵- مراجع

- Adger WN (2006) Vulnerability. *Global Environmental Change*. 16:268–281.
- Babel MS, Pandey VP, Rivas AA, Wahid SM (2011) Indicator-based approach for assessing the vulnerability of freshwater resources in the Bagmati river basin, Nepal, *Environmental Management* 48(5):1044-1059.
- Collins T, Bolin B (2007) Characterizing vulnerability to water scarcity: The case of a groundwater-



- Plummer R, de Loë R, Armitage D (2012) A systematic review of water vulnerability assessment tools. *Water Resources Management* 26:4327-4346.
- Schmidtlein M, Deutsch RC, Piegorsch WW, Cutter SL (2008). A sensitivity analysis of the social vulnerability index, *Risk Analysis* 28(4):1099-114.
- Thomas RJ (2008) Opportunities to reduce the vulnerability of dryland farmers in Central and West Asia and North Africa to climate change, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126:36-45.
- Yousofzadeh Chabok M. (2013) Water resources assessment using efficiency indicators in an integrated approach based on a water accounting framework – Case study: Mashad Plain, Master Thesis of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran (in Persian).
- Turner II BL, Kasperson RE, Matson PA, McCarthy JJ, Corell RW, Christensen L, Eckley N, Kasperson JX, Luers A, Martello ML, Polsky C, Pulsipher A, Schiller A (2003) A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100:8074-8079.
- United Nations Statistics Division (UNSD) (2012) System of environmental-economic accounting for water, Technical Report.
- Wei Y, Fan Y, Lu C, Tsai HT (2004) The assessment of vulnerability to natural disasters in China by using the DEA method, *International Journal of Environmental Impact Assessment Review* 24: 427-439.
- Impacts, adaptation and vulnerability, Cambridge University Press, Cambridge.
- Ministry of Energy (2010) National water master plan – Soil and water use assessment in the agricultural sector in Kavir Daranjir-Saghand basin, Vol. 9 (in Persian).
- Ministry of Energy (2011a) Synthesis studies of water resources in Kavir Daranjir-Saghand basin, Halil Ab Consultant Eng. Co. (in Persian).
- Ministry of Energy (2011b) National water master plan – groundwater assessment in Kavir Daranjir-Saghand basin, Vol. 5 (in Persian).
- Ministry of Energy (2012a) Groundwater studies in Rafsanjan Plain, Kerman Water Authority, Water year 2011-2012 (in Persian).
- Ministry of Energy (2012b) National water master plan of Maharloo-Bakhtegan, Abarghoo, Sirjan, Kavir Loot, Kavir Daranjir basins – The status quo and potentials for water resources development in 2006, Industrial water needs and consumption and wastewater. (in Persian)
- O'Brien K, Leichenko R, Kelkar U, Venema H, Aandahl G, Tompkins H, Javed A, Bhadwal S, Barg S, Nygaard L, West J (2004) Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. *Global Environmental Change* 14(4):303-313.
- Odada E (2000) Our freshwater under threat – vulnerability of water resources to environmental change in Africa, University of Nairobi, Kenya.