مدیریت منابع آبی زاینده‌رود بین بخش‌های صنعت و کشاورزی استان اصفهان با استفاده از نظریه بازی‌ها

محمد حسین پورکاظمی[۱] **معصومه والی**[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۲۲ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۱۲**

چکیده

در سال‌های اخیر، پیامدهای اجتناب‌ناپذیر سیر صعودی تقاضا و همچنین کاهش منابع آبی و کاهش بارندگی و خشکسالی موجب افزایش مناقشات میان مصرف‌کنندگان آب شده است. از طرفی، نیاز مبرم بخش کشاورزی به آب و گسترش بخش صنعت در استان اصفهان، رقابت میان مصرف‌کنندگان کشاورزی و صنعت برای کسب آب افزایش یافته است. در مطالعهٔ حاضر، برای تخصیص بهینهٔ منابع آبی حوزه آبریز زاینده‌رود، از نظریهٔ بازی‌ها کمک می‌گیریم. میزان بهره‌برداری بهینه از حوزه آبریز زاینده‌رود طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۷۹، با استفاده از منحنی بهینهٔ پارتو و چهار روش حل تضادها برای هر بخش با محیط زیست و سپس برای بازی دونفره دو بخش مذکور تعیین می‌شود. با تعریف سه بازی «بخش صنعت و محیط زیست» و «بخش کشاورزی با محیط زیست» و «بخش کشاورزی و بخش صنعت» در می‌یابیم که

۱. دانشیار دانشکده علوم اقتصادی و سیاسی دانشگاه شهید بهشتی، (نویسنده مسئول)،
h_pourkazemi@yahoo.com.auEmail:
۲. کارشناس ارشد اقتصاد دانشگاه شهید بهشتی، Email: mandana.vali@gmail.com

تخصیص آب بین دو بخش مذکور، طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۷۹، بهینه نیست. مطابق نتایج حاصل از بازی دونفرهٔ کشاورزی و صنعت، پس از کسر آب شرب، سهم بخش‌های کشاورزی و صنعت به‌ترتیب به میزان ۸۵/۸۲٪ و ۱۴/۱۸٪ است تا سود کل استان ماکزیمم شود، از طرفی نیز با توجه به برآورد ارزش اقتصادی آب در دو بخش با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و روش ارزش مانده، قیمت واقعی آب در بخش کشاورزی و صنعت به‌ترتیب ۱۳۰۱۰ ریال در هر متر مکعب و ۶۰۰۱/۹۵ ریال در هر متر مکعب برآورد شدند. با توجه به اختلاف زیاد میزان قیمت واقعی آب با تعرفهٔ تعیین‌شده، از سوی وزارت نیرو، برای بخش کشاورزی و نتایج حاصل از نظریهٔ بازی‌ها، پیشنهاد می‌شود به بخش صنعت استان، که آب کمتری نسبت به کشاورزی مصرف می‌کند، بهای بیشتری بدهیم و در بخش کشاورزی از روش‌های نوین آبیاری استفاده کنیم تا از هدررفت منابع آبی در این بخش جلوگیری کنیم.

کلمات کلیدی: بخش صنعتی، بخش کشاورزی، نظریه بازی، راه‌حل‌های تضادها، ارزش اقتصادی آب

JEL: C7,D74,Q25,Q1,L0,C02

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱. مقدمه

رودخانهٔ زاینده‌رود از دو قسمت اصلی آب کوهرنگ و آب چشمه دیمه تشکیل شده است. در واقع، یکی از شاهرگ‌های حیاتی_ ملی محسوب می‌شود و بسیاری از صنایع بزرگ کشور (از جمله شرکت ذوب آهن و شرکت صنایع فولاد و پتروشیمی و ...) که تداوم فعالیت آنها به زاینده رود بستگی دارد، در اطراف این رودخانه قرار دارند. همچنین، منابع اصلی درآمد اهالی که از کشاورزی، دامپروری و باغداری است از آب رودخانهٔ زاینده‌رود حاصل می‌شود. از محصولات مهم کشاورزی منطقه، گندم، جو و سیب زمینی را می‌توان نام برد. همچنین حبوبات و یونجه و باغات انگور در کشاورزی نقش مهمی دارند. اراضی تحت آبیاری به سبب افزایش فعالیت‌های صنعتی، گسترش یافته است؛ از این‌رو حجم قابل ملاحظه‌ای از منابع حوزه زاینده رود صرف آبیاری می‌شود. ایجاد و گسترش قطب صنعتی اصفهان، با وجود مجتمع‌های ذوب آهن و فولاد، پالایشگاه نفت و گاز، کارخانه‌های پلی اکریل و سیمان و ... نیاز روز افزون به آب با کیفیت بالا را اقتضا می‌کند. از سوی دیگر، رشد جمعیت اصفهان (تقریباً دو میلیون نفر) و خشکسالی‌های مختلف، حاکی از وابستگی کل استان اصفهان به منابع آب حوزهٔ آبریز زاینده‌رود است. عوامل مذکور، لزوم بازنگری تخصیص منابع آب بین بخش‌های صنعت و شرب و کشاورزی را الزامی می‌کند. لازم به ذکر است که بیشترین سهم آب مصرفی در صنعت به محصولات فلزات اساسی (۰/۴۹) و کمترین آن به چوب و صنایع چوبی (۰/۰۲) تعلق دارد. همچنین، میانگین میزان شرب آب مصرفی استان اصفهان، ۳۰۰ میلیون متر مکعب است.

وجود مرداب گاوخونی در انتهای حوزه و لزوم نگاه داشتن آن با تغذیهٔ حداقل ۷۰ میلیون متر مکعب آب در سال، از جمله مسائل مهم حوزه است. (حیدری، ۱۳۸۵) بنابراین، موضوع تخصیص و تقسیم صحیح آب بین چهار مصرف‌کنندهٔ عمده، موضوعی بسیار ضروری است؛ اما در این پژوهش، به سبب حیاتی بودن آب و نیاز مبرم مردم شهر اصفهان به آب، میزان آب شرب مصرفی را از حجم آب رودخانه کسر می‌کنیم تا تخصیص منابع آب بین دو بخش صنعت و کشاورزی به صورت بهینه اجرا شود. با فرض توزیع غیربهینهٔ آب بین بخش‌های مختلف، به ویژه کشاورزی و صنعت، به دنبال یافتن پاسخ پرسش ذیل هستیم:

- با توجه به محدودیت‌های منابع آبی زاینده‌رود و هدف حداکثر کردن منفعت جامعه، توزیع بهینهٔ آب بین دو بخش کشاورزی و صنعت چگونه خواهد بود؟

۲. ادبیات نظری و سابقه پژوهش

۲-۱. رویکرد بازار آب

در متون جدید اقتصاد آب، این ماده کالایی اقتصادی و اجتماعی محسوب می‌شود که مصرف آن، با بروز برخی پیامدهای خارجی منفی مواجه است. از طرفی، آب را نمی‌توان به مالکیت فردی درآورد، بلکه از انفال و مشترکات ملی است و فقط قابلیت حیازت دارد. بر همین اساس، تمام ساکنان یک حوزهٔ آبریز، به طور بالقوه، در تصرف و برداشت آب از منابع صاحب‌حقی هستند که به لحاظ مجموعه‌ای از اقدامات طبق قوانین مربوط، این حقوق بالفعل می‌شود. خرید آب، حفر چاه، اکتشاف چشمه، احداث و حفر قنات، ساخت بند آب، کانال‌ها و نهرهای آبیاری یا گردآوری آب در گودال‌ها و سدها، همگی روش‌های تصرف و ایجاد حقوق آب هستند. شفافیت تعرفه‌ها و یکسان نبودن شرایط یا حفظ حقوق آب از مواردی است که در پسِ ایجاد بازار آب به دست می‌آید. به دلایل بسیار، بازارهای آب به‌تنهایی ناکاراست و نمی‌تواند به لحاظ نوع ماهیت کالایی آب، در رفع تمام مسائل راهگشا باشد. در بازار آب، اصل بر «شفافیت اطلاعات و رفتارهای عقلایی» است. بر پایهٔ این اصل، حقابه‌داران از وضعیت بازار آب مطلع می‌شوند و به‌راحتی در مصرف نکردن یا صرفه‌جویی آب تصمیم اقتصادی می‌گیرند. بازارهای آب، بر تفاهم بین همهٔ بهره‌برداران و صاحبان حقوق آب، در هر حوزهٔ آب‌ریز، استوار است. (جعفری، ۱۳۸۳)

۲-۱-۱. مسئله تخصیص آب

یکی از مسائل مهم مدیریت منابع آب، برقراری نظام تخصیص مناسب در هر حوزهٔ آب‌ریز است که انتظار می‌رود این نظام، با به‌کارگیری رویکرد بازار آب، بهینه شود. در ادامه به معرفی مختصری از این سیستم‌ها می‌پردازیم:

۱. حقوق بازده- ذخیره: در این سیستم، تخصیص آب تمام برداشت‌ها، با هدف حداکثرسازی خالص ارزش فعلی منابع انجام می‌شود. تخصیص آب و اجازهٔ برداشت بیشتر بر اساس حق تقدم و حقابه‌های تاریخی (قدیمی) است. در این سیستم، مدیریت قاطع و قدرتمندی برای نظارت بر برداشت‌ها و عدم تخطی کردن از میزان آب حیازت‌شده برای

تمامی بهره‌برداران،در تمام مصارف و در کلیه فصول سال، برقرار می‌شود.

۲. یکپارچه سازی: هدف غایی طراحی این سیستم تخصیص آب نیز حداکثرسازی خالص ارزش فعلی منابع است. صاحبان حقوق آب پذیرفته‌اند که با احداث تعداد محدودی چاه، به جای تعداد بیشمار در حوزهٔ مورد بهره‌برداری خویش، می‌توانند برداشت‌ها را کنترل و نظارت را متمرکز کنند. همچنین، طبق این توافق، می‌توانند هزینه‌های استحصال را به طور نسبی (بر اساس سهم مصرفی) اشتراکی بپردازند. در این نظام تخصیص آب، صاحبان آب در دوره‌های خشکسالی برداشت‌های خود را به نسبت یکسان می‌کاهند و می‌کوشند عامل حق تقدم در مصرف، عامل اصلی نباشد.

۳. حقوق تناسبی: در این سیستم تخصیص آب، رعایت حداقل ذخیره آب در سفره ضروری است. تعیین این سطح آب، ممکن است به نظرات کارشناسان و مهندسان خبره آب و خاک و زیست‌بوم منوط شود. در این نوع سیستم نیز حق تقدم در مصرف معتبر است. از جمله موضوعات مهم در این سیستم، برقراری و تثبیت احکام خاص در مصارف کشاورزی، به‌خصوص فضای سبز و بوم‌نظام، است. لازم است مقدار آب مشخصی به هدف‌های زیست‌محیطی اختصاص یابد. (جعفری، ۱۳۸۳)

۲-۲. مبانی تئوریک نظریهٔ بازی‌ها

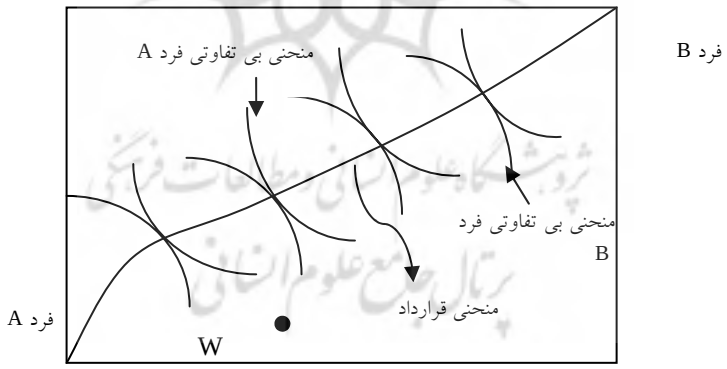
این نظریه، تصمیم‌سازی در محیط‌هایی را که در آنها ترکیبی از تقابل و همکاری وجود دارد، مورد مطالعه قرار می‌دهد. یک بازی، موقعیتی است که در آن بازیکنان تصمیمات استراتژیک (یعنی تصمیماتی که اقدامات و عکس‌العمل‌های رقبا را هم به حساب می‌آورد) می‌گیرند. در این چارچوب، رفاه هر فرد نه‌تنها به اقدامات خودش بستگی دارد، به اقدامات سایر افراد نیز وابسته است. همچنین تصمیمات بهینه‌ای که وی اتخاذ می‌کند، به انتظار او از اقدامات دیگران نیز بستگی دارد. معمولاً یک بازی، بر حسب بازیکن‌ها، قواعد بازی، نتایج و بهره‌مندی‌های بازیکن‌ها توصیف می‌شود. بازیکن‌ها همان عوامل اقتصادی رقیب هستند که در یک محیط، با وابستگی متقابل با هم رقابت می‌کنند. قواعد بازی، نحوهٔ استفاده از فرصت‌ها و منابع و نیز ضوابط و محدودیت‌های حاکم بر بازی را توصیف می‌کند. برای هر مجموعه از اقدامات ممکن هر بازیکن یا عامل اقتصادی، بازدهی و نتایجی وجود دارد و اساساً استراتژی‌ها و

تصمیمات با این نتایج ارزیابی می‌شوند.

استراتژی، توصیف کاملی از تصمیماتی است که یک بازیکن تحت هر رخداد محتمل در اجرای بازی اتخاذ می‌کند. بهره‌مندی بازیکن‌ها، عوامل اقتصادی رقیب، با توجه به میزان ریسک‌گریزی که دارند،نتایج بازی را بر اساس تابع مطلوبیت خودارزش‌گذاری می‌کنند. بهره‌مندی بازیکن‌ها از قرار دادن نتایج در توابع مطلوبیت آنها به دست می‌آید. (شاکری، ۱۳۸۶)

بازی‌ها انواع مختلفی دارند: بازی‌های تقابلی (تضادها) و تعاونی، با اطلاعات کامل یا ناقص و بازی‌های پویا و ایستا، بازی‌های تکاملی و .... در این مقاله، با استفاده از چهار راه‌حل تضادها، مشتمل بر روش‌های «نامتقارن نش»، «نامتقارن کلی- اسمردینسکای»، «نامتقارن سطوح یکنواخت»، «نامتقارن ضررهای یکسان»، به امر تخصیص بهینهٔ آب بین هر کدام از بخشهای اقتصادی با محیط زیست و سپس توزیع بهینهٔ آب بین دو بخش صنعت و کشاورزی می‌پردازیم. لازم به یادآوری است که برای حل تضادها از منحنی پارتو استفاده شده؛ از این‌رو بهتر است اشاره‌ای به مفهوم مرز پارتو کنیم. راه‌حلی را بهینهٔ پارتو می‌گویند که «پرداخت هیچ بازیکنی، بدون کاهش در پرداخت بازیکن دیگر، افزایش نمی‌یابد».(Webb, 2000)

شکل ۱. جعبهٔ اجورث



منبع: (هال واریان، ۱۳۸۰: مترجم: پورمقیم)

مطابق شکل ۱، منحنی‌های بی‌تفاوتی دو فرد باید در هر تخصیص کارای پارتو در داخل مستطیل بر هم مماس باشند. از شرط مماس به سادگی می‌توان دریافت که تخصیص‌های

کارای پارتوی زیادی در مستطیل اجورث وجود دارد. نقطه تماس، نقطه کارای پارتو است و از این رو هر دو منحنی بی‌تفاوتی باید در این نقطه مماس بر هم باشند. مکان هندسی تمام نقـاط تخصیص کارای پارتو در مستطیل اجورث، به عنوان «منحنی پارتو یا قرارداد» شناخته می‌شوند. (واریان، ۱۳۸۰: مترجم: پورمقیم)

۲-۳. سابقه پژوهش

بیشتر پژوهش‌های انجـام شـده در ایـن حـوزه، دربـارهٔ مسـائل تخصـیص آب، روش‌هـای بهینه‌یابی سنتی را مورد بحث و بررسی قرار داده‌اند. در مقابل، روش‌های سنتی نظریهٔ بازی‌هـا یک روش حل تعارض قوی است. در همهٔ مسائل برنامه‌ریزی یک تصمیم‌گیرنده با تابع هـدف معین و تعدادی قیود روبه‌روست و می‌خواهد تابع هدف خود را ماکزیمم یا مینـیمم کنـد؛ امـا نظریهٔ بازی‌ها به تبیین حالاتی می‌پردازد که در آنها بـیش از یـک تصـمیم‌گیرنـده وجـود دارد؛ طوری‌که تابع هدف هریک تنها، به انتخاب فرد بستگی نداشته باشد. در سالیان اخیر، پیامدهای اجتناب‌ناپذیر سیر صعودی تقاضا و همچنین کاهش ذخایر منابع طبیعی مختلف، بـه‌خصـوص آب، موجب افزایش مناقشات در زمینه چگونگی بهـره‌بـرداری و همچنـین تخصـیص آب بـه ذی‌نفعان مختلف شده است. رویکرد تخصیص آب، صرفاً بر اساس حقابـهٔ اولیـه، معمـولاً بـه استفادهٔ کارآمد در کل یک حوزهٔ آبریز نخواهد انجامید. بنابراین، وجود یک برنامه جامع بـرای تخصیص آب امری ضروری و حیاتی محسوب می‌شود. در ایـن مقالـه، بـا اسـتفاده از نظریـهٔ بازی‌ها، به تخصیص بهینهٔ آب می‌پردازیم و سپس با استفاده از روش ارزش‌مانده، قیمت واقعی آب در هر بخش را برآورد می‌کنیم.

متأسفانه مطالعهٔ جامعی که در زمینهٔ تخصیص آب میـان بخـش‌هـای مختلـف اقتصـادی بـا رویکرد اقتصادی- اجتماعی صورت گرفته باشد، وجود ندارد و بیشتر مطالعـات بـا تأکیـد بـر محدودیت منابع آبی و اهمیت مصرف بخش کشاورزی انجام می‌شود. حامـد مازنـدرانی‌زاده و قاهری و عبدلی (۱۳۸۸) بهره‌برداری بهینه از سفرهٔ آب زیرزمینـی مشـترک میـان بهـره‌بـرداران شهری و کشاورزی را با استفاده از نظریهٔ بازی‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و سه مـدل را ارائه داده‌اند. در «مدل بازی‌های ایستا بدون همکاری»، بازیکنان بـه منظـور حصـول بـه نقطـهٔ تعادل، در طول دورهٔ بهره‌برداری از منابع آبـی، بـازی ایسـتای مسـتقل از یکـدیگر را تشـکیل

می‌دهند. در مدل «بازی پویا بدون همکاری»، هدف هر بازیکن، کسب بیشترین سود ممکن در عین توجه به نقطهٔ تعادل و تصمیمات بازیکن رقیب است. در مدل «شکل‌گیری همکاری کامل میان بازیکنان»، هدف بیشینه کردن مجموع سود دو بازیکن در طی مدت بهره برداری از منابع آبی است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل با همکاری کامل به کسب منافع بیشتری برای جمع بازیکنان می‌انجامد.

بازرگانی لاری و کراچیان و منصوری(۲۰۰۹)[1] در مطالعه‌ای با عنوان «راه‌حل تضادها برای منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی با در نظر گرفتن مسئلهٔ کیفیت آب: شهر تهران» با استفاده از الگوریتم ژنتیک در به دست آوردن مرز پارتو و سپس کاربرد نظریهٔ بازی‌ها به تعیین میزان آب بهره‌برداری‌شدهٔ متقاضیان می‌پردازند. در انجام این پژوهش، قیود حداقل نمودن نیترات‌های موجود در آب، حداقل نمودن هزینهٔ ناشی از جمع‌آوری فاضلاب، کاهش نیروی پمپاژ آب و حداقل برداشت آب در نظر گرفته‌شده‌است.

گنجی و خلیلی و کارآموز (۲۰۰۶)[2] روی بهره‌برداری از مخازن سدها، با استفاده از راه‌حل پویای تصادفی نش در حوزه آبریز زاینده‌رود، مطالعه کرده‌اند. بدین منظور، یک مدل فرضی برای حوزهٔ آبریز، با توجه به تقاضاهای مختلف برای آب، پیشنهاد می‌کنند و ضمن مقایسه نتایج حاصل از الگوهای پیشنهادی برای عملیات ذخیرهٔ آب، یعنی برنامه‌ریزی پویای تصادفی بیزین و الگوریتم تکوینی ترتیبی و رگرسیون برنامه‌ریزی پویای کلاسیکی، توانایی ایجاد سیاست‌های عملیاتی ذخیره با لحاظ واکنش مصرف‌کنندگان و همچنین عملیات ذخیره را نتیجه می‌گیرند. همچنین، گنجی و خلیلی و کارآموز و پنامبالام و جوان(۲۰۰۸)[3] به تحلیل سیاست‌های مدیریتی تخصیص آب در سیستم ذخیرهٔ با استفاده از بازی پویای تصادفی فازی نش می‌پردازند که با کاربرد مدل تصادفی فازی در بازی بدون همکاری میان کاربران آب، به هر یک از آنها اجازه داده می‌شود سیاست‌های شخصی خویش را انتخاب کنند تا مطلوبیت مورد انتظارشان را به حداکثر برسانند. این مدل به همراه مدل پیشنهادی با دو مدل الگوی برنامه ریزی پویای تصادفی و برنامه‌ریزی پویای تصادفی موقعیت فازی، به‌عنوان یک ابزار مناسب برای عملیات ذخیرهٔ آب به کار می‌رود.

1. Bazargan-Lari and Kerachian and Mansoori
2. Ganji & Khalili and Karamouz; 2006
3. Ganji & Khalili.D and Karamouz and Ponnambalam and Javan

سالازار و اسزیداروسکی و امری ج.ار. و آبراهام (۲۰۰۷)[1] در بررسی برداشت از منابع آب زیرزمینی مکزیک، کوشیده‌اند با در نظر گرفتن قیودی همچون محدودیت زمین و آب با استفاده از برنامه‌ریزی خطی به تعریف تابع سود کشاورزان بین ۱۲ محصول می‌پردازند و سپس با توجه به هدف حداکثر سازی سود کشاورزان و کاربرد روش حل تضادها، میزان برداشت بهینه از آب را در وزن اهمیت یکسان برای محیط زیست و کشاورزان تعیین می‌کنند. همچنین، صبوحی و مجرد(۱۳۸۹) با استفاده از روش حل تضادها و با هدف حداکثر سازی سود کشاورزان، بهترین سناریوی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی حوزهٔ آبریز اترک را بین ۶۴ تا ۱۱۷ میلیون متر مکعب تخمین می‌زنند.

وانگ وفانگ و هایپل (۲۰۰۳ با استفاده از روش نظریهٔ بازی_ همکاری و با توجه به داده‌های هیدرولوژیکی و با هدف حداکثر نمودن کل سود خالص به داده‌های هیدرولوژیکی می‌پردازند. داینار (۲۰۰۴)[2] ضمن اشاره به چندین حوزهٔ آبریز، پس از بررسی مدیریت منابع آبی فراتر از مرزها با استفاده از نظریهٔ بازی‌ها، تضادهای موجود در یک منطقه و مذاکره و همکاری را سه مرحله ممکن فرایندی می‌داند که به سمت تخصیص و مدیریت منابع آبی پیش می‌روند.

ناکائو و ویچلنز و مونتگمری (۲۰۰۲)[3]، با استفاده از نظریه بازی‌ها، برداشت آب از منابع زیرزمینی را میان دو شهربررسی کرده‌اند و سناریوی «وضعیت فعلی که هر شهر به استخراج منابع آبی بپردازد» و «بازیِ بدون همکاری نش» و «چانه‌زنی نش» و «مشتمل بر حداکثر کردن مجموع منافع دو شهر» را ارائه و پس از تعریف منافع خالص هر شهر از پمپاژ آب، به تخصیص آب مبادرت کرده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که هر دو شهر در راه‌حل چانه‌زنی نش در نرخ ۱٪ و ۵٪ به سود بیشتری دست می‌یابند.

ویچلنز و ناکائو و ایرارازامبل و مونتگمری (۲۰۰۱)[4]، در منابع آبی محدودشده در طول گراند ریو[5] با هدف حداکثر کردن جمع منافع خالصی که از عرضهٔ آب شهری در هر دو شهر

1. Salazar and Szidarovaszky and Emery Jr and Abraham
2. Dinar
3. Nakao & Wichelns and Montgomery
4. Wichelns & Nakao and Irarrazabal and Montgomery
5. Rio Grande

حاصل می‌شود، به تعیین برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی هواکو بلسون[1] مبادرت می‌ورزند.

بابل و گوپتا و نایاک (۲۰۰۵)[2] به ارائهٔ مدلی برای تخصیص بهینهٔ آب برای تقاضای رقابتی می‌پردازند؛ اهداف آنها ارائه این مدل، حداکثرسازی مطلوبیت متقاضیان و همچنین حداقل نمودن آب مصرفی است. لازم به ذکر است در این روش با استفاده از نرمال‌سازی داده‌ها و کاربرد روش IWAM_ مشتمل بر سه روش عملیات ذخیرهٔ آب و مدل تحلیل اقتصادی و مدل تخصیص آب_ میزان آب مصرفی بهینه تعیین می‌شود.

تیسلی و مک کینی (۲۰۰۹)[3] در رسالهٔ دکتری خود، با عنوان «مدیریت منابع آبی در گراند ریو (حوزه رودخانه براوو[4]) با کاربرد نظریه بازی همکاری»، موضوع مدیریت منابع آبی را مورد بررسی قرار می‌دهند. آنها پس از تعریف داده‌های هیدرولوژیکی در مدل‌های مذکور، ارزش‌های بازی همکاری را مشخص می‌کنند، سپس بازیکنان، فرصت مذاکره را پیدا می‌یابند و منافع حاصل از آن را بین خودشان تقسیم می‌کنند و نتیجهٔ بررسی آنها، برتری نظریهٔ بازی همکاری را بر بازی‌های بدون همکاری نشان می‌دهد.

بونتمپس و کوچر و فاوارد (۲۰۰۱)[5] نیز ضمن تحلیل و بررسی واکنش کشاورزان به ریسک موجود در تقاضای آب، نشان می‌دهند که منحنی تقاضای آب محدب نیست. در واقع، آنها با تقسیم منحنی تقاضای آب به چهار بخش مجزا، نشان می‌دهند در جایی‌که کشاورزان آب را موضوع یک نهادهٔ ضروری برای رشد محصول تلقی می‌کنند، تقاضا بدون کشش است.

چندین پژوهش داخلی نیز موضوع تخصیص آب به بخش کشاورزی را مورد تحلیل قرار می‌دهند:

دانش یزدی در پایان‌نامهٔ خود با عنوان «حلّ مناقشات در مدیریت تخصیص منابع آب با استفاده از نظریهٔ بازی (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه)»، با راهنمایی ابریشمچی، ضمن اشاره به اهمیت مصارف شرب و صنعت و کشاورزی، تنها به تخصیص آب بین مصارف کشاورزی بین سه استان آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی و کردستان می‌پردازد. وی در بررسی خود از بازی همکاری نوکلئوس و برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌کند؛ درنهایت،

1. Hueco Bolson
2. Babel, Das GUPTA and Nayak
3. Teasley and McKinney
4. Bravo Basin
5. Bontemps & Couture and Favard

به‌این نتیجه می‌رسند که سهم آب استان آذربایجان شرقی در مصارف کشاورزی افزایش یابد و آن را الگویی جامع برای مصرف آب معرفی می‌کنند.

شیرزادی لسکوکلایه و صبوحی صابونی (۱۳۸۸) با کاربرد برنامه‌ریزی چندهدفه در مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقهٔ ساوجبلاغ، بـه تخصـیص بهینـهٔ آب در منطقـهٔ مشـخص می‌پردازند و با در نظر گرفتن سه هدف بیشینه کردن درآمد خالص، کمینه کردن هزینهٔ متغیر و کمینه کردن هزینهٔ پمپاژ، نتیجه می‌گیرند که مقدار بهینهٔ پمپاژ در مـاه‌هـای گـرم سـال افـزایش می‌یابد. افزون بر آن، سطح زیر کشت محصولات زراعی در سال خشک، در مقایسـه بـا سـال مرطوب، به طور محسوسی کاهش می‌یابد.

یزدان پناه و خداشناس و داوری و قهرمان (۱۳۸۷) بـرای مـدیریت منـابع آب حـوزهٔ آبریـز ازغند، از مدل WEAP برای بخش کشاورزی استفاده می‌کنند و نشان مـی‌دهنـد کـه بـا کـاهش سطح زیر کشت اراضی کشاورزی، می‌توان به وضعیت تعادل آب زیرزمینی دست یافـت و بـا استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری تحت فشـار، درصـورت کـاهش سـطح زیرکشـت اراضـی کشاورزی، تاحدودی می‌توان ذخیرهٔ آب زیرزمینی را افزایش داد. همچنین با بررسی نرخ رشد جمعیت در سطح حوزه دریافتند که این نرخ تأثیر بر وضعیت میـزان تقاضـا و تغییـرات افـت سطح آب زیرزمینی در سطح حوزهٔ آبریز ندارد.

زارع مهرجردی (۱۳۹۰) در مقاله‌ای با عنوان «تعیین الگوی کشت بهینـه و ارزش‌گـزاری آب با استفاده از تلفیق روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی تحت ریسک و ارزش مانده (مطالعه مـوردی: منطقهٔ ارزوئیه شهرستان بافق)» دلیل میزان افزایش درآمد خالص را افزایش یک واحد نهادهٔ آب در منطقه معرفی می‌کند.

سایر مطالعاتی داخلی نیز بر تعیین ارزش اقتصادی آب، به‌ویژه در بخـش کشـاورزی تاکیـد کرده‌اند. پژوهش غلامعلی شرزه‌ای و امیر تیموری (۱۳۹۱) با عنـوان «تعیـین ارزش اقتصـادی آب‌های زیرزمینی: مطالعهٔ موردی شهرستان راور (استان کرمان)» است که ارزش اقتصادی آب را ۱۹۸۷۰ ریال برآورد می‌نمایند. جواد حسین‌زاده و حبیب‌الله سلامی (۱۳۸۳) در پژوهشـی بـا عنوان «انتخاب تابع تولید برای برآورد ارزش اقتصادی آب کشاورزی: مطالعـه مـوردی تولیـد گندم» پنج نوع تابع تولید مشتمل بر نظریهٔ کاب داگلاس، ترانسـندنتال، ترانسـلوگ درجـهٔ دوم تعمیم‌یافته و لئونتیف تعمیم‌یافته را به منزلهٔ رابطهٔ بین عوامل تولید و مقدار تولید گندم انتخاب

می‌کنند؛ و سپس با مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده از این توابع، ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب را با استفاده از تابع تولید درجهٔ دوم تعمیم‌یافته (به عنوان الگوی مناسب) معادل ۳۹۰ ریال برآورد می‌کنند.

خلیلیان و زارع مهرجردیان (۱۳۸۴)، در بررسی خود، ضمن ارزشگذاری آب‌های زیرزمینی در بهره‌برداری‌های کشاورزی به تخمین تابع تولید گندم از نوع تابع درجهٔ دوم تعمیم یافته می‌پردازند، سپس متوسط ارزش هر متر مکعب آب برای کشاورزان گندمکار را معادل با ۲۷۸/۳۴ ریال برآورد می‌کنند. سرانجام نشان می‌دهند که ارزش تولید نهایی آب در تولید گندم، بیش از هزینهٔ استخراج هر واحد آب است. همچنین، به دلیل برداشت بیش از حد منابع آب، رفاه تولیدکنندگان گندم کاهش می‌یابد.

خواجه روشنایی و دانشور کاخکی و محتشمی برزادران (۱۳۸۹)، به منظور برآورد ضرایب توابع تولید، تولید محصول گندم شهرستان مشهد، از دو مدل کلاسیک و آنتروپی حداکثر تعمیم‌یافته استفاده می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد مدل آنتروپی قادر به تخمین ضرایب نیست، ولی در روش کلاسیک، تابع ترانسلوگ به‌مثابهٔ بهترین فرم تابع در تولید محصول گندم انتخاب و ارزش اقتصادی آب، ۱۸۷۰ ریال برآورد می‌گردد. مطالعه بریم نژاد (۱۳۸۶)، ضمن برآورد تابع تولید آب گندم و جو استخراج تابع تقاضا از آن و به دنبال آن، برآورد تابع سود و اعمال شرط حداکثرسازی سود، مقادیر بهینهٔ فیزیکی و اقتصادی و نیاز آبی برای جو و گندم مشخص شده است. البته توابع تولید آب ارتباط بین عملکرد محصول و کاربردهای آن را تبیین می‌کند.

کرامت زاده و چیذری و میرزایی (۱۳۸۵)، برای تعیین ارزش اقتصادی آب در بخش کشاورزی در سد بارزو شیروان، از مدل برنامه‌ریزی خطی در سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ الگوی کشت بهینه را تعیین می‌نمایند و سپس قیمت سایه‌ای نهاده آب را به عنوان ارزش اقتصادی آب در نظر می‌گیرند و ارزش اقتصادی مناطق مختلف در ماه‌های فروردین، تیر و شهریور و آبان را به‌ترتیب ۸۸۰ ریال، ۴۷۰ ریال، ۴۷۴ ریال و ۵۹۵ ریال برآورد می‌کنند.

۳. معرفی مدل

۳-۱. برآورد سود خالص هر بخش

در این بخش به برآورد سود خالص بخش‌های صنعت و کشاورزی، با استفاده از برنامه‌ریزی خطی می‌پردازیم. به طور معمول، تابع سود هر بخش، از تفاضل درآمد هر بخش (یعنی مجموع حاصل‌ضرب محصولات آن بخش در قیمت آن کالا) با مجموع هزینه‌های آن بخش می‌باشد. متأسفانه، به‌دلیل نبود برخی از آمارها مانند هزینه، کشت برخی از محصولات کشاورزی یا هزینه دقیق محصولات تولیدی در صنعت و یکسان نبودن واحدهای محصولات صنعتی و عدم دسترسی به آمار دقیق محصولات بخشهای مذکور، از ارزش افزوده هر بخش به عنوان درآمد آن بخش استفاده می‌نماییم. همچنین، هزینه‌های هر بخش را هزینه‌های ناشی از برداشت آب در هر بخش در هر میلیون متر مکعب در نظر می‌گیریم. از این‌رو، سود هر بخش را با در نظر گرفتن محدودیت‌های در هر بخش، با استفاده از برنامه‌ریزی خطی به دست می‌آوریم.

الف) بخش کشاورزی

$$\max : NB_i = \left((VA_t / h_t).(h_t / w_t)\right) - \left((c / h_t).(h_t / w_t)\right) \qquad (۱)$$

– **محدودیت زمین:** سطح زیر کشت در هر منطقه کمتر یا مساوی سطح کل زیر کشت استان است:

$$s.t : \sum A_{ti} \le A_T \qquad (۲)$$

– **محدودیت نیروی کار:** درصورتی‌که حاصل‌ضرب نیروی کار در هر منطقهٔ کشاورزی را بر اساس آمار ادارهٔ جهاد کشاورزی در سطح زیر کشت آن منطقه ضرب و بر سطح زیر کشت کل مناطق کشاورزی استان. در هر سال را به دست آوریم و سپس، مجموع آن‌را به دست می‌آوریم؛ حاصل کمتر یا مساوی با کل نیروی کار در استان در هر سال می‌شود (یعنی نیروی کار هر سال را در سطح زیر کشت کل استان ضرب و تقسیم می‌نماییم):

$$\sum L_{ti} . \left(A_{ti} / A_T\right) \le L_T \qquad (۳)$$

- محدودیت کود شیمیایی:

$$\sum F_{ij} .\left(A_{ti} / A_T\right) \le F_{tj} \quad (۴)$$

F_i , F_t کل کود موجود در دسترس و کود مورد نیاز برای هر هکتار محصول iام می‌باشد. کودهای شیمیایی (فسفاته و ازته و پتاسه وسایر کودها) بر حسب تن می‌باشند.

- محدودیت منابع آبی:

$$\sum w_{ti} . \le w_T \quad (۵)$$

که در آن VA_t ارزش افزوده بخش کشاورزی در سال t و h_t سطح زیر کشت در سال t و w_t آب مصرفی و $\left(c/h\right)$ متوسط هزینه برداشت آب در هر هکتار و L نیروی کار را نشان می‌دهد. اندیس i نیز نشان‌دهندهٔ منطقهٔ کشاورزی iام است.

ب) بخش صنعت:

$$\max : NB_J = \left(\left(VA_t / w_t\right)\right) - \sum \left(c / w_t\right) \quad (۶)$$

- محدودیت نیروی کار: اگر حاصل‌ضرب نیروی کار هر صنعت را در سهم ارزش افزوده آن بخش از سهم ارزش افزوده کل صنایع در نظر بگیریم و حاصل‌ضرب‌ها را با هم جمع کنیم، می‌بایست از کل نیروی کار در بخش صنعت کمتر باشد (چون نیروی کار را در ارزش افزوده کل صنایع ضرب و تقسیم می‌کنیم).

$$s.t : \sum L_{tj} .\left(VA_{tj} / VA_T\right) \le L_T \quad (۷)$$

- محدودیت سرمایه‌گذاری: اگر مجموع حاصل‌ضرب‌های سرمایه‌گذاری انجام‌شده در هر صنعت را در سهم ارزش افزودهٔ آن صنعت، از ارزش افزودهٔ کل صنعت $\left(VA_{tj} / VA_T\right)$ به دست آوریم، کمتر یا مساوی سرمایه‌گذاری کل صنعت در آن سال است:

$$\sum I_{tj} .\left(VA_{tj} / VA_T\right) \le I_T \quad (۸)$$

- محدودیت منابع آبی:

$$\sum w_{tj} . \le w_T \quad (۹)$$

که در آن VA_t ارزش افزوده بخش صنعت در سال t و w_t آب مصرفی و $\sum \left(c / w_t\right)$ متوسط هزینه‌های برداشت آب در صنعت و j بیانگر تعداد صنایع مختلف است که به‌ترتیب عبارتند از: غذا و آشامیدنی و دخانیات؛ نساجی و پوشاک و چرم؛ چوب و صنایع چوبی؛ کاغذ

و پرینت؛ محصولات شیمیایی؛ کانی غیرفلزی؛ محصولات فلزات اساسی؛ ماشین‌آلات و تجهیزات؛ نیروگاه‌ها و متفرقه.

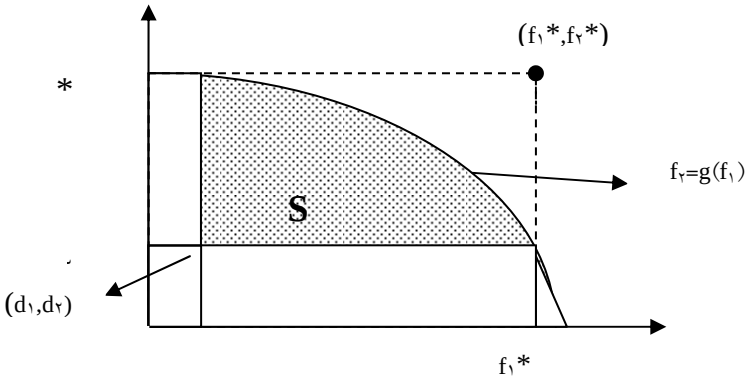
ج) بازی بین بخش صنعت و کشاورزی:

بازیکن ۱ بخش صنعت و بازیکن ۲ بخش کشاورزی است و f۱ و f۲ همان NB_j و NB_i هستند و w_{t1} و w_{t2} به‌ترتیب میزان آب مصرفی بخش صنعت و کشاورزی را نشان می‌دهند، افزون بر محدودیتهای ذکر شده در دو بازی قبلی، قیود $\min w_{t1} \le w_{t1} \le \max w_{t1}$ و $\min w_{t2} \le w_{t2} \le \max w_{t2}$ را اضافه می‌نماییم تا بتوانیم تخصیص بهینهٔ آب را بین دو بخش انجام بدهیم. زمانی تخصیص بهینه است که مجموع دو منفعت مذکور (به عنوان منفعت جامعه) ماکزیمم باشد.

۳-۲. کاربرد نظریهٔ بازی‌ها

ابتدا به تعریف بازی بین دو بازیکن_ یعنی یکبار محیط زیست با بخش کشاورزی و یکبار محیط زیست با بخش صنعت و بار دیگر بخش صنعت با کشاورزی_ در قالب روش حل تضادها می‌پردازیم. برای هر بخش، منفعت خالص آن را در نظر می‌گیریم و از این منافع، ماتریس بازی را می‌سازیم. سپس عناصر هر ماتریس را با استفاده از صفر تا یک، نرمال می‌کنیم؛ ارزش صفر متناظر با بدترین پیامد و ارزش واحد متناظر با بهترین پیامد است. این تضاد را به زبان ریاضی با زوج مرتب (S,d) نشان می‌دهیم که $S \subseteq R^2$ مجموعهٔ پرداخت ممکن است و $\mathbf{d} \in R^2$ از بدترین ارزش‌های پرداخت ممکن شروع می‌شود و افزایش می‌یابد. بازیکنان می‌خواهند ارزش‌های پرداختیشان را از ارزش‌های حداقل افزایش دهند. با توجه به اینکه اهداف نرمال‌شده، $d_1 = d_2 = 0$ می‌شود، فرض می‌کنیم که مرز پارتو با تابع مقعر و اکیداً نزولی g در فاصلهٔ $\left[d_1, f_1^*\right]$ تعریف می‌شود: $g(f_1^*) = d_2$ و $f_2^* = g(d_1)$ (شکل(۲)).

شکل ۲. مرز پارتو برای هر بخش



منبع: (Salazar and Szidarovaszky and Emery Jr and Abraham; 2007)

اگر بردار d را درآمد هر دو بازیکن انتخاب کنیم، آن‌گاه $S_+ = S$ (مجموعه پرداخت ممکن) خواهد بود که به‌صورت مساحت در شکل فوق نشان داده‌ایم. با تغییر مؤلفه‌های بردار d، مقدار S نیزتغییر می‌کند.

$$S_+ = \{f = (f_1, f_2) / f \in S, f \geq d\} \qquad (۱۰)$$

در روش حل تضادها، چهار روش وجود دارد که هر یک به نحوی راه‌حل نش را تکمیل کرده‌اند. حال بهتر است ابتدا به تبیین راه‌حل نش بپردازیم.

راه‌حل نش، نتایج را از فرآیند چانه‌زنی به دست می‌آورد.

(Salazar and Szidarovaszky and Emery Jr and Abraham; 2007) راه‌حل نش چندین فرض دارد: فرض اول «تقارن»؛ دومین فرض «استقلال تبدیلات خطی» ــ یعنی جواب با تبدیلات یکنوا از پرداخت‌ها[1]، پایاست ــ فرض سوم «نابستگی راه‌های نامرتبط» و چهارمین فرض او، «بهینگی پارتو» است. با توجه به این مفروضات جواب یکتای $\left(f_1^*, f_2^*\right)$ حاصل می‌شود. (اینتریلیگیتور، ۱۳۸۷، مترجم: پورکاظمی)

راه‌حل نش نقطه منحصر به فردی را بر روی مرز پارتو انتخاب می‌کند که حاصل‌ضرب تفاوت منافع و ارزش‌های پرداخت، عدم توافق را حداکثر می‌کنند. جواب بهینه به صورت زیر مشخص می‌شود:

1. payments

$$Maximize: (f_1 - d_1)(f_2 - d_2) \qquad (۱۱)$$

$$subject\ to:\ d_1 \le f_1 \le f_1^{*} \ , \qquad f_2 = g(f_1)$$

در $f_1 = d_1$ و همچنین در $f_1 = f_1^{*}$ ، تابع هدف صفر است و به ازای کلیه مقادیر $f_1 \in (d_1, f_1^{*})$ مثبت از این‌رو، بهینگی داخلی است. با استفاده از قید و جایگذاری f_1 در رابطهٔ (۱۱) تابع یک متغیره می‌شود، یعنی به صورت رابطهٔ (۱۲) در می‌آید:

(Salazar and Szidarovaszky and Emery Jr and Abraham; 2007)

$$Maximize: (f_1 - d_1)(g(f_1) - d_2) \qquad (۱۲)$$

$$Subject\ to:\ d_1 \le f_1 \le f_1^{*}$$

البته اساتید دیگری نیز رابطهٔ (۱۱) را نقد کرده‌اند؛ از جمله هارسانی و سلتن (۱۹۷۲)[1] تئوری نش را برای بازی‌های چانه‌زنی دونفره، با تهدیدات معین، به همراه اطلاعات ناقص به کار می‌برند و در آن، بازی چانه‌زنی را به عنوان یک بازی بدون همکاری در نظر می‌گیرند. کلی و اسمردینسکای (۱۹۷۵)[2] معتقدند راه‌حل نش نمی‌تواند آرمان‌های بازیکنان را در نظر بگیرد، از این‌رو راه‌حل یکنواختی را پیشنهاد کردند. انبرسی (۱۹۹۳)[3] اصول بدون همکاری در راه‌حل مساحت یکنواخت را برای بازی دو نفری ارائه می‌دهد. وی ابتدا پیامد منحصر به فردی را از هر تعادل کامل زیر بازی در بازی فوق پیش‌بینی می‌کند، سپس نشان می‌دهد این پیامد به سمت راه‌حل مساحت یکنواخت همگرایی دارد. چان نیز راه‌حل ضرر یکسان را پیشنهاد می‌کند که فروض آن عبارتند از: «بهینگی پارتو»، «تقارن»، «تغییر ناپذیری»، «عقلانیت فردی»، «پیوستگی». در این راه‌حل، هر دو گروه در فاصله یکسانی از بهترین انتخاب‌ها قرار دارند که روی نقطه‌ای از مرز پارتو قرار می‌گیرد.

(Carmen Herrero y M[a] Carmen Marco, 1992)

1. Harsanyi and Selten
2. Kalai and Smordinsky
3. Anbarci

۳-۳-۱. راه‌حل نامتقارن nash

راه‌حل نامتقارن نش به این صورت است:

$$Maximize \quad (f_1 - d_1)^{w_1} (f_2 - d_2)^{w_2} \qquad (۱۳)$$

$$st: \quad d_1 \le f_1 \le f_1^*, \quad f_2 = g(f_1)$$

که در آن w_1, w_2 وزن‌های دو بازیکن یا عوامل اهمیت اهدافشان می‌باشد که تعمیم مستقیمی از راه‌حل نش با وزن‌های نابرابر است.

(Salazar and Szidarovaszky and Emery Jr and Abraham; 2007)

۳-۳-۲. راه‌حل نامتقارن کلی – اسمردینسکای

بین نقطهٔ عدم توافق (d_1, d_2) و نقطهٔ ایده‌آل (f_1^*, f_2^*) پاره‌خطی رسم می‌شود و نقطهٔ برخورد این پاره‌خط با مرز پارتو را به عنوان جواب بهینه معرفی می‌کند؛ بنابراین برای تعیین جواب بهینه از معادلهٔ زیر استفاده می‌شود:

$$d_2 + \{(f_2^* - d_2)/(f_1^* - d_1)\}(f_1 - d_1) - g(f_1) = 0 \qquad (۱۴)$$

در فاصلهٔ (d_1, f_1^*) اگر هر دو تابع هدف نرمالیزه شده باشند، در نتیجه $d_1 = d_2 = 0$ و $f_1^* = f_2^* = 1$ خواهد بود؛ بنابراین دو هدف $\bar{f}_1, \bar{f}_2$ در طول پاره خطی که نقطهٔ عدم توافق و نقطهٔ ایده‌آل را به هم متصل می‌کند؛ با نرخ مشابهی افزایش می‌یابند. اگر اهداف وزن‌های متفاوتی باشند؛ هدفی که دارای اهمیت بیشتری است با سرعت بیشتری افزایش می‌یابد. این نظریه، به شکل‌گیری راه‌حل نامتقارن کلی- اسمردینسکای انجامیده است که جواب بهینه‌ای از محل برخورد مرز پارتو و پاره خط مستقیم حاصل می‌شود:

$$\bar{g}(\bar{f}_1) = (w_2/w_1)\bar{f}_1 \qquad (۱۵)$$

در رابطهٔ فوق اهداف نرمالیزه می‌شوند.

(Salazar and Szidarovaszky and Emery Jr and Abraham; 2007)

۳-۳-۳. راه‌حل نامتقارن سطوح همگن

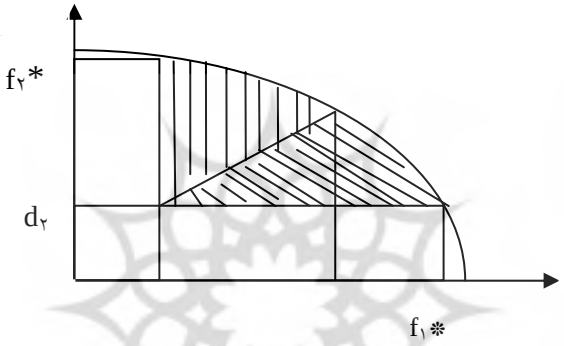
در راه‌حل سطوح همگن، پارهٔ خطی از نقطهٔ عدم توافق رسم می‌شود؛ به طوری که مجموعه S_+ را به دو زیر مجموعه با مساحت یکسان تقسیم کند. در این روش، اهداف وزن‌های

یکسانی دارنـد. اگـر اهـداف دارای وزن‌هـای یکسـانی نباشـند $(w_1 \neq w_2)$، بـه آن راه‌حـل نامتقارن سطوح همگن می‌گویند که نسبت مساحت‌ها برابر با w_1/w_2 است. از این‌رو، ریشهٔ معادلهٔ غیر خطی از حل رابطهٔ (۱۶) حاصل می‌شود:

$$w_2\left[\int_{d_1}^{x} g(t)dt - 1/2(x-d_1)(g(x)+d_2)\right] = \quad (16)$$
$$w_1\left[\int_{x}^{f_1^*} g(t)dt - (f_1^*-x)d_2 + 1/2(x-d_1)(g(x)-d_2)\right]$$

در فاصلهٔ (d_1, f_1^*). (همان)

شکل ۲. راه‌حل نامتقارن سطوح همگن



(منبع: Salazar and Szidarovaszky and Emery Jr and Abraham; 2007,)

۳-۳-۴. راه‌حل نامتقارن ضررهای یکسان

راه‌حل ضرر یکسان، ابتدا برای حالتی است که اهداف وزن‌های یکسانی دارند و هر دو گروه به طور همزمان و با سرعت یکسانی به توافـق مـی‌رسـند. امـا در راه‌حـل نامتقـارن ضـررهای یکسان، اهداف دارای وزن‌های اهمیت متفاوتی می‌باشـند $(w_1 \neq w_2)$ و هـدف مهـم‌تـر بـا سرعت w_2/w_1 می‌باشد. پس در این روش، نقطه (x,g(x)) بر روی مرز پارتو از حـل معادلـهٔ غیرخطی روبه‌روتعیین می‌شود: (همان)

$$(f_1^* - x)w_1 = (f_2^* - g(x))w_2 \quad (17)$$

۳-۳. روش برازش کردن نمودار

برای پیدا کردن منحنی پارتو از روش آکیما (۱۹۷۰)[1] استفاده می‌کنیم. در این روش، اگر مجموعه نقاطی در صفحه داشته باشیم، برای برازش منحنی هموار و همچنین برای به دست آوردن تابع آن، از میانگین‌گیری به روش خاصی استفاده می‌کنیم. برای تعیین درجه منحنی چندجمله‌ای از نرم‌افزار MATLAB کمک می‌گیریم (ضمیمه ۱).

۳-۴. برنامه‌ریزی خطی

برای تعیین ارزش اقتصادی آب، از مدل برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌کنیم که فرم استاندارد آن، در حالت حداکثرسازی، به صورت روبرو است:

$$Min\ Z=\sum_{j=1}^{n} c_j X_j \qquad (۱۸)$$

i بیانگر محصولات کشاورزی یا صنعتی مورد مطالعه؛

$$s.t:\ \sum a_{ij} X_j \le b_i, i = 1,2,3,...,m\ ;\ X_j \ge 0, j = 1,2,3,...,n$$

j بیانگر منطقهٔ مورد بررسی در بخش کشاورزی یا بر حسب نوع فعالیت صنعتی

۳-۴-۱. روش ارزش مانده

در روش ارزش ماندهٔ فرضیهٔ اساسی قسمتی از تئوری اقتصادی نئوکلاسیک است که برای حداکثر کردن درآمد خالص و ارزش تولید طراحی شده است؛ برای مثال، تابع تولید در بخش کشاورزی؛ مطابق شرط بهره‌وری، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y = f(X_l, X_n, X_{k1}, X_{k2}, X_{k3}, X_w) \qquad (۱۹)$$

Y محصول، X_l محدودیت زمین، X_n محدودیت نیروی کار، X_{k1} محدودیت کود فسفاته، X_{k2} محدودیت کود ازته، X_{k3} محدودیت کود فسفاته و X_w محدودیت آب را نشان می‌دهد. با فرض ثابت بودن تکنولوژی، ارزش کل تولید برابر است با:

$$(Y.P_y) = (VM_l.PX_l) + (VM_n.PX_n) + ... + (VM_w.PX_w) \qquad (۲۰)$$

1. Akima, 1970

در معادلهٔ فوق، $\left(Y\ .P_y\right)$ بیانگر ارزش تولید و VMP ارزش تولید نهایی هر عامل است. از آنجایی که هدف ماکزیمم کردن، درآمد خالص است، فرض می‌شود که کشاورز تا جایی از هر نهاده استفاده می‌کند که $VMP_i = P_i$ باشد. بنابراین، معادلهٔ (۲۰) به صورت روبرو بیان می‌شود: $\left(Y\ .P_y\right) = \left(P_l\ .PX_{\ l}\right) + \left(P_n\ .X_{\ n}\right) + ... + \left(P_w\ .X_{\ w}\right)$ (۲۱)

زمانی که مقدار مصرف همه نهاده‌ها و قیمت آنها (به جز قیمت آب) مشخص باشد، ارزش آب $\left(P_w\ .X_{\ w}\right)$ به عنوان تنها مجهول در معادلهٔ (فوق) باقی می‌ماند و به عنوان معادلهٔ اساسی و نهایی ارزش مانده تلقی می‌شود:[1]

$$P_w = \left[\left(YP_y\right) - \left[\left(P_l\ .X_{\ l}\right) + \left(P_n\ .X_{\ n}\right) + ... + \left(P_p\ .X_{\ p}\right)\right]\right] \Big/ X_w \qquad (۲۲)$$

۳-۴-۲. تلفیق روش ارزش مانده و برنامه‌ریزی خطی در بخش کشاورزی

برای تلفیق دو روش برنامه‌ریزی خطی و روش ارزش مانده، مدل نهایی در بخش کشاورزی را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$Maximize: Z = \sum (P_{ij}\ Y_{ij} - C_{ij}).A_{ij} - P_{w_j}\ .X_{w_j} \qquad (۲۳)$$

P_i قیمت خرید نهاده iام و Y_i میزان خرید نهاده iام و P_w, X_w به ترتیب میزان آب مورد نیاز محصولات مورد مطالعه و قیمت آب (بر حسب ریال در هر متر مکعب) هستند. در الگوی برنامه‌ریزی خطی رشته فعالیت‌های موجود را با اندیس i نشان می‌دهیم که عبارتند از: گندم، پنبه، چغندرقند، یونجه، پیاز، سیب‌زمینی، برنج، جو، هندوانه، نخود، انواع لوبیا، گوجه فرنگی، اسپرس، آفتابگردان (به علت پراکندگی داده ها تنها به ۱۷ محصول کشاورزی اکتفا می‌کنیم). همچنین به علت در دسترس نبودن آمار دقیقی از میزان سرمایه‌گذاری در محصولات کشاورزی استان، از آن در محدودیت‌ها صرف‌نظر می‌کنیم. محدودیت‌ها در این بخش عبارتند از:

۱- محدودیت سطح زیر کشت: مجموع سطح زیر کشت محصولات با کل سطح زیر کشت برابر باشد:

$$\sum X_{\ ij} = A_{tj} \qquad (۲۴)$$

1. Hussain & Maqbool and Zakir Hussain and Akram, 2009, 73-75 pp

A_t و X_i به ترتیب بیان‌کنندهٔ کل سطح زیر کشت موجود (هکتار) و سطح زیر کشت برای هر محصول در هر منطقه است.

۲- محدودیت نیروی کار:

$$\sum L_{ij} . X_{ij} \leq L_{tj} \qquad (۲۵)$$

۳- محدودیت کود شیمیایی: یکی دیگر از نهاده‌های تولید، کودهای شیمیایی (فسفاته و ازته و پتاسه وسایر کودها) بر حسب تن می‌باشد که فرم کلی این محدودیت را می‌توان به صورت روبه‌رو نشان داد:

$$\sum F_{ij} . X_{ij} \leq F_{tj} \qquad (۲۶)$$

F_i , F_t به ترتیب کل کود موجود در دسترس و کود مورد نیاز برای هر هکتار محصول iام می‌باشد.

۴- محدودیت آب: نیاز آبی محصولات برای الگوی کشت نباید بیشتر از میزان آب در دسترس باشند:

$$\sum W_{ij} . X_{ij} \leq W_j \qquad (۲۷)$$

میزان آب سالانه مورد نیاز هر هکتار محصول W_i و W_j میزان آب در دسترس سالانه (میلیون متر مکعب) است، البته میزان تقاضای آب برای هر محصول کشاورزی را از نرم افزار NETWAT به دست می‌آوریم.

۳-۴-۳. تلفیق روش ارزش مانده و برنامه ریزی خطی در بخش صنعت

برای برآورد ارزش اقتصادی آب در فعالیت‌های صنعتی روش تلفیقی ارزش مانده و برنامه‌ریزی خطی را به کار می‌بریم. یعنی با هدف حداکثر نمودن تفاضل حداکثر ستانده هر بخش با حاصلضرب قیمت آب مصرفی در هر واحد صنعتی را در میزان آب مصرفی آن و با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی چون محدودیت سرمایه، نیروی کار و منابع آبی، تنها مجهول آن یعنی قیمت آب مصرفی را تعین کنیم برنامه‌ریزی خطی به شرح زیر است:

$$\text{Maximize:} Q=(\sum_{j=1}^{n} X_j - P_{w_j} . W_j); j = ۱,...,۱۰ \qquad (۲۸)$$

$$s.t: \sum I_j . X_j \leq TI_j \quad , \quad \sum L_j . X_j \leq TL_j \quad , \quad \sum W_j . X_j \leq TW_j$$

که در آن x_j معرف میزان ستاندهٔ هر محصول برحسب میلیون ریال؛ W_j نشان‌دهندهٔ میزان آب مصرفی به تفکیک محصولات صنعتی برحسب میلیون متر مکعب؛ P_{w_j} معرف قیمت آب در بخش صنعت برحسب ریال در هر متر مکعب آب؛ I_j سرمایه‌گذاری در هر فعالیت صنعتی بر حسب میلیون ریال؛ TI_j میزان کل سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده برحسب میلیون ریال؛ L_j نیروی کار در هر واحد صنعتی؛ TL_j نشان‌دهندهٔ کل نیروی کار است. j بیان‌کنندهٔ نوع فعالیت صنعتی است؛ که عبارتند از: غذا و آشامیدنی و دخانیات، نساجی و پوشاک و چرم، چوب و صنایع چوبی، کاغذ و پرینت، شیمیایی، کانی غیر فلزی، محصولات فلزات اساسی، ماشین‌آلات و تجهیزات، نیروگاه‌ها و متفرقه.

۴. روش جمع‌آوری اطلاعات

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه را از منابع مختلفی برای بازهٔ زمانی (۱۳۸۸-۱۳۷۹) تهیه کرده‌ایم: آمارهای اقتصادی چون سطح زیر کشت و میزان محصولات تولیدی را از وزارت جهاد کشاورزی و هم‌چنین آمارهای ارزش افزوده هر دو بخش و نیز، آمار سرمایه‌گذاری در بخش صنعت را از مرکز آمار ایران تهیه کردیم. هزینه متوسط برداشت آب توسط هر بخش، از سایت بانک جهانی و داده‌های مربوط به آب مثل حجم آب رودخانه و میزان مصرف آب در هر بخش را از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان فراهم کرده‌ایم.

۵. برآورد مدل

۵-۱. بخش صنعتی با محیط زیست

ابتدا ماتریس آب مصرفی، به منزلهٔ محیط زیست برای بازیکن اول و سودبخش صنعت به ازای هر واحد میلیون متر مکعب آب، به منزلهٔ ارزش بازیکن دوم، در نظر گرفته و ماتریس بازی را تشکیل می‌دهیم (پیوست جداول). به‌منظور نرمال کردن آمار مربوط به آب و سود در هر متر مکعب از تابع NORMDIST در اکسل استفاده می‌کنیم؛ سپس با استفاده از داده‌های نرمال‌شده و تعریف مرز پارتو درنرم افزار MATLAB درمی‌یابیم که این منحنی از نوع درجهٔ شش است (به پیوست جداول و اشکال). حال با استفاده از روش حل تضادهای تشریح‌شده در بالا، میزان برداشت بهینه از آب زاینده‌رود برای بخش صنعت را با استفاده از نرم افزارMATLAB تعیین می‌کنیم.

جدول ۱. نتایج راه‌حل تضادها برای بخش صنعتی

میانگین سودبخش صنعت به‌ازای آب مصرفی (میلیون ریال برحسب‌میلیون مترمکعب)	میانگین آب مصرفی (میلیون متر مکعب)	راه‌حل نامتقارن نش (میلیون متر مکعب)	راه‌حل نامتقارن کلی- اسمردینسکای (میلیون متر مکعب)	راه‌حل نامتقارن سطوح یکنواخت (میلیون‌مترمکعب)	راه‌حل نامتقارن ضررهای‌یکسان (میلیون متر مکعب)	وزن‌بخش صنعتی W_1
۲۶۷۶۱۲/۳	۹۹/۱۳	۹۹/۰۹	۹۹/۱۴	۹۹/۱۱	۹۹/۱۸	۰/۰۵
۲۶۹۸۹۲/۵	۹۹/۵۰	۹۹/۴۶	۹۹/۵۰	۹۹/۴۸	۹۹/۵۴	۰/۱
۲۷۰۵۹۷/۷	۹۹/۷۷	۹۹/۷۳	۹۹/۷۸	۹۹/۷۵	۹۹/۸۱	۰/۱۵
۲۸۱۶۲۳/۰۱	۱۰۰/۰۴	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۵	۱۰۰/۰۲	۱۰۰/۰۸	۰/۲
۲۸۱۹۵۰/۲	۱۰۰/۳۹	۱۰۰/۳۴	۱۰۰/۴۰	۱۰۰/۳۸	۱۰۰/۴۳	۰/۲۵
۲۸۳۸۲۹/۴	۱۰۰/۸۲	۱۰۰/۷۹	۱۰۰/۸۲	۱۰۰/۸۰	۱۰۰/۸۶	۰/۳
۲۸۴۱۰۴/۶	۱۰۱/۰۹	۱۰۱/۰۶	۱۰۱/۱۰	۱۰۱/۰۸	۱۰۱/۱۳	۰/۳۵
۲۸۴۸۵۲/۴	۱۰۱/۴۱	۱۰۱/۳۷	۱۰۱/۴۳	۱۰۱/۳۹	۱۰۱/۴۴	۰/۴
۲۸۶۷۳۸/۵	۱۰۱/۸۲	۱۰۱/۷۶	۱۰۱/۸۴	۱۰۱/۸۰	۱۰۱/۸۹	۰/۴۵
۲۸۷۵۳۳/۳	۱۰۲/۱۲	۱۰۲/۰۹	۱۰۲/۱۳	۱۰۲/۱۱	۱۰۲/۱۶	۰/۵
۲۸۸۳۲۸/۱۱	۱۰۲/۴۲	۱۰۲/۳۸	۱۰۲/۴۴	۱۰۲/۴۰	۱۰۲/۴۷	۰/۵۵
۲۸۹۳۸۷/۷۳	۱۰۲/۸۲	۱۰۲/۷۸	۱۰۲/۸۳	۱۰۲/۸۰	۱۰۲/۸۷	۰/۶
۲۹۰۴۴۷/۴۳	۱۰۳/۰۵	۱۰۳/۰۱	۱۰۳/۰۸	۱۰۳/۰۲	۱۰۳/۱۰	۰/۶۵
۲۹۱۲۱۶/۸۵	۱۰۳/۵۹	۱۰۳/۵۵	۱۰۳/۶۰	۱۰۳/۵۷	۱۰۳/۶۳	۰/۷
۲۹۳۲۰۶/۳۳	۱۰۵/۹۳	۱۰۳/۸۹	۱۰۳/۹۴	۱۰۳/۹۲	۱۰۳/۹۹	۰/۷۵
۲۹۳۷۶۲/۲۲	۱۰۴/۱۱	۱۰۴/۰۷	۱۰۴/۱۲	۱۰۴/۰۹	۱۰۴/۱۶	۰/۸
۲۹۵۸۲۱/۹۷	۱۰۴/۳۲	۱۰۴/۲۸	۱۰۴/۳۳	۱۰۴/۲۹	۱۰۴/۳۷	۰/۸۵
۲۹۶۹۸۴/۱۶	۱۰۴/۸۴	۱۰۴/۷۹	۱۰۴/۸۶	۱۰۴/۸۱	۱۰۴/۸۹	۰/۹
۲۹۸۶۳۱/۴۵	۱۰۵/۱۲	۱۰۵/۰۶	۱۰۵/۱۳	۱۰۵/۰۹	۱۰۵/۱۸	۰/۹۵

منبع: یافته‌های تحقیق

مطابق جدول(۱)، با افزایش برداشت آب بیشتر، بخش صنعت سود بیشتری را کسب می‌کند و بیشترین سود برای مصرف بهینهٔ آب به میزان ۱۰۵/۱۲ میلیون متر مکعب است. وقتی که بـه بازیکنان وزن ۰/۵ بدهیم، مصرف بهینهٔ آب ۱۰۲/۱۲ میلیون متر مکعب می‌شود.

۵-۲. بخش کشاورزی با محیط زیست

پس از تعریف ماتریس آب مصرفی و سود خالص بخش کشاورزی به ازای هر واحد میلیون متر مکعب آب و نرمالیزه کردن ماتریس، منحنی پارتو را برازش می‌کنیم و درمی‌یابیم که منحنی از نوع درجهٔ هفت است (پیوست جداول و اشکال). نتایج حاصل از راه‌حل تضادها برای این بخش به شرح ذیل است:

جدول ۲. نتایج راه‌حل تضادها برای بخش کشاورزی

میانگین سودبخش کشاورزی (میلیون ریال بر حسب میلیون مترمکعب)	میانگین آب‌مصرفی (میلیون مترمکعب)	راه‌حل نامتقارن نش (میلیون مترمکعب)	راه‌حل نامتقارن کلی-اسمردینسکای (میلیون مترمکعب)	راه‌حل نامتقارن سطوح یکنواخت (میلیون مترمکعب)	راه‌حل نامتقارن ضرر یکسان (میلیون‌مترمکعب)	وزن منافع بخش کشاورزی w^2
۹۱۵۳/۱۷	۶۰۸/۰۸	۶۰۸/۰۴	۶۰۸/۰۹	۶۰۸/۰۶	۶۰۸/۱۱	۰/۰۵
۹۲۱۷/۴۵	۶۱۲/۳۵	۶۱۲/۳۱	۶۱۲/۳۷	۶۱۲/۳۳	۶۱۲/۴	۰/۱
۹۳۰۰/۳۹	۶۱۷/۸۶	۶۱۷/۸۳	۶۱۷/۸۶	۶۱۷/۸۴	۶۱۷/۸۹	۰/۱۵
۹۳۶۱/۹۵	۶۲۱/۹۵	۶۲۱/۹۱	۶۲۱/۹۷	۶۲۱/۹۴	۶۲۱/۹۹	۰/۲
۹۴۴۰/۰۷	۶۲۷/۱۴	۶۲۷/۱۱	۶۲۷/۱۵	۶۲۷/۱۳	۶۲۷/۱۷	۰/۲۵
۹۵۱۶/۷۵	۶۳۲/۳	۶۳۲/۲۶	۶۳۲/۳۱	۶۳۲/۲۹	۶۳۲/۳۴	۰/۳
۹۵۹۹/۳۳	۶۳۷/۷۲	۶۳۷/۶۸	۶۳۷/۷۳	۶۳۷/۷۰	۶۳۷/۷۷	۰/۳۵
۹۶۷۸/۰۶	۶۴۲/۹۵	۶۴۲/۹۰	۶۴۲/۹۶	۶۴۲/۹۴	۶۴۳/۰۱	۰/۴
۹۷۴۸/۵	۶۴۷/۶۳	۶۴۷/۵۹	۶۴۷/۶۴	۶۴۷/۶۲	۶۴۷/۶۸	۰/۴۵
۹۸۱۵/۴۹	۶۵۲/۰۸	۶۵۲/۰۵	۶۵۲/۰۹	۶۵۲/۰۷	۶۵۲/۱۲	۰/۵
۹۹۰۴/۴۵	۶۵۷/۹۹	۶۵۷/۹۵	۶۵۸/۰۰	۶۵۷/۹۸	۶۵۸/۰۲	۰/۵۵
۹۹۶۷/۵۲	۶۶۲/۱۸	۶۶۲/۱۴	۶۶۲/۱۹	۶۶۲/۱۶	۶۶۲/۲۲	۰/۶
۱۰۰۶۳/۲۵	۶۶۸/۵۴	۶۶۸/۴۸	۶۶۸/۵۶	۶۶۸/۵۲	۶۶۸/۶	۰/۶۵
۱۰۱۳۳/۴	۶۷۳/۲۰	۶۷۳/۱۶	۶۷۳/۲۲	۶۷۳/۱۸	۶۷۳/۲۵	۰/۷
۱۰۲۰۷/۶۱	۶۷۸/۱۳	۶۷۸/۰۹	۶۷۸/۱۴	۶۷۸/۱۱	۶۷۸/۱۶	۰/۷۵
۱۰۲۸۹/۷۹	۶۸۳/۵۹	۶۸۳/۵۳	۶۸۳/۶۱	۶۸۳/۵۷	۶۸۳/۶۴	۰/۸
۱۰۳۷۸/۳	۶۸۹/۴۷	۶۸۹/۴۳	۶۸۹/۴۸	۶۸۹/۴۶	۶۸۹/۵۱	۰/۸۵
۱۰۴۵۵/۶۷	۶۹۴/۶۱	۶۹۴/۵۷	۶۹۴/۶۱	۶۹۴/۵۹	۶۹۴/۶۵	۰/۹
۱۰۵۱۱/۸۲	۶۹۸/۳۴	۶۹۸/۲۸	۶۹۸/۳۵	۶۹۸/۳۲	۶۹۸/۴	۰/۹۵

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به جدول (۲)، بیشترین سود این بخش به برداشت ۶۹۸/۳۴ میلیون متر مکعب آب متعلق است و در وزن یکسان برای بازیکنان، جواب ۶۵۲/۰۸ میلیون متر مکعب آب است.

۵-۳. بازی دو نفری بین بخش کشاورزی و صنعت

دو بخش صنعت و کشاورزی به ترتیب بازیکن ۱ و ۲ می‌باشند. پس از تعریف ماتریس بازی و نرمالیزه کردن آن با استفاده از تابع NORMDIST در اکسل، منحنی پارتو را ترسیم می‌کنیم (پیوست جداول و اشکال). درجهٔ مرز پارتو از نوع درجهٔ پنج است. در نهایت، با استفاده از نرم افزار MATLAB و کاربرد روش حل تضادها، مقادیر بهینهٔ آب میان دو بخش را مشخص می‌کنیم. از آنجا که جواب‌های به‌دست‌آمده، بسیار نزدیک به هم هستند، از این‌رو میانگین این اعداد را به دست می‌آوریم (جداول مربوط به نتایج چهار راه‌حل در ضمیمه ۲ مندرج است):

جدول ۲. نتایج راه‌حل تضادها برای بخش کشاورزی و بخش صنعتی

میانگین منافع جامعه (میلیون‌ریال به‌ازای هر میلیون مترمکعب)	میانگین میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی (میلیون مترمکعب)	میانگین میزان آب مصرفی در بخش صنعت (میلیون مترمکعب)	وزن بخش کشاورزی W_2	وزن بخش صنعتی W_1
۲۹۸۴۲۱/۷	۱۰۲/۶۸	۶۲۱/۴۶	۰/۰۵	۰/۹۵
۲۹۷۹۰۱/۹	۱۰۲/۴۵	۶۳۰/۸۸	۰/۱۰	۰/۹۰
۲۹۷۴۶۹/۳	۱۰۲/۲۶	۶۴۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۸۵
۲۹۷۲۰۵/۵	۱۰۲/۰۴	۶۶۰/۳۶	۰/۲۰	۰/۸۰
۲۹۷۱۱۹/۱	۱۰۱/۸۸	۶۸۵/۴۸	۰/۲۵	۰/۷۵
۲۹۶۷۸۸/۲	۱۰۱/۶۷	۷۰۳/۲۴	۰/۳۰	۰/۷۰
۲۹۶۶۶۷/۱	۱۰۱/۵۱	۷۲۴/۱۸	۰/۳۵	۰/۶۵
۲۹۶۱۵۲/۹	۱۰۱/۲۲	۷۴۴/۲۶	۰/۴۰	۰/۶۰
۲۹۰۳۴۹/۴	۹۹/۹۷	۷۶۳/۳۲	۰/۴۵	۰/۵۵
۲۹۰۳۱۷/۴	۹۹/۸۴	۷۸۶/۲	۰/۵۰	۰/۵۰
۲۹۰۰۸۱/۷	۹۹/۶۷	۸۰۱/۱۳	۰/۵۵	۰/۴۵
۲۸۹۸۹۹/۶	۹۹/۴۸	۸۲۴/۲۷	۰/۶۰	۰/۴۰
۲۸۹۶۶۹/۲	۹۹/۳	۸۴۱/۳۹	۰/۶۵	۰/۳۵
۲۸۹۰۷۰/۸	۹۹/۰۹	۸۶۲/۲	۰/۷۰	۰/۳۰
۲۸۹۱۷۱/۲	۹۸/۹۸	۸۸۹/۲۳	۰/۷۵	۰/۲۵
۲۸۹۱۵۶/۱	۹۸/۸۲	۹۱۸/۲۸	۰/۸۰	۰/۲۰
۲۸۸۷۰۳/۸	۹۸/۵۶	۹۳۷/۳۱	۰/۸۵	۰/۱۵
۲۸۸۷۲۲/۳	۹۸/۴۳	۹۶۱/۶۸	۰/۹۰	۰/۱۰
۲۸۸۳۶۵/۶	۹۸/۱۸	۹۸۴/۷۱	۰/۹۵	۰/۰۵

منبع: یافته‌های تحقیق

مطابق جدول (۳)، وقتی به‌طور متوسط، به بخشهای صنعت و کشاورزی به‌ترتیب ۱۰۲/۶۸ میلیون متر مکعب و ۶۲۱/۴۶ میلیون متر مکعب آب بدهیم، به طور متوسط، ۲۹۸۴۲۱/۷ میلیون ریال در هر میلیون متر مکعب آب سود حاصل می‌شود.

۵-۴. برآورد ارزش اقتصادی آب در دو بخش کشاورزی و صنعت

جدول ۴. سطح زیر کشت و درآمد ناخالص محصولات مورد مطالعه و برآورد قیمت سایه‌ای آب

درآمد ناخالص محصولات موردبررسی (هزار ریال)	حجم کل آب مصرفی (متر مکعب در هر هکتار)	سطح زیر کشت (هکتار)	متوسط قیمت سایه‌ای آب (هزار ریال در هر متر مکعب آب)
۲۰۹۷۳۹۴/۳	۸۵۹۲۰	۱۵۷۵۸۸	۱۳/۰۱۰

منبع: یافته‌های تحقیق

مطابق جدول (۴)، ارزش اقتصادی آب برای ۱۷ محصول مورد بررسی، برابر با ۱۳۰۱۰ ریال در متر مکعب است. میزان تعرفهٔ تعیین‌شده وزارت نیرو طی سال‌های اخیر، مبلغ بسیار ناچیزی بوده و متناسب با افزایش سایر هزینه‌ها، افزایش نیافته است. برای مثال، میزان این تعرفه در سال ۱۳۸۳ معادل با ۹۰ ریال در هر متر مکعب آب بوده ولی در سال ۱۳۹۱ میزان این تعرفه، ۱۷۴۰ ریال در هر متر مکعب آب تعیین شده است.

جدول ۵. حداکثر میزان ارزش خالص ستاندهٔ محصولات و قیمت سایه‌ای آب

حداکثر کل ارزش خالص ستاندهٔ محصولات صنعتی (میلیون ریال)	متوسط قیمت سایه‌ای آب (هزار ریال در هر متر مکعب آب)
۲۴۵۸۶	۶/۰۰۱۹۵

منبع: یافته‌های تحقیق

مطابق جدول (۵)، قیمت برآورد شده برابر با ۶/۰۰۱۹۵ هزار ریال در هر متر مکعب است؛ در حالی‌که اخیراً، وزارت نیرو قیمت تعرفهٔ آب برای تمام فعالیت‌های صنعتی استان اصفهان را برابر با ۴۰۰۰ ریال در هر متر مکعب تعیین کرده است؛ یعنی به‌اندازهٔ ۲/۰۰۱۹۵ هزار ریال از میزان بهینهٔ خود کمتر است.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با مقایسه بازی‌ها نتیجه می‌گیریم: زمانی‌که هر بخش، بدون در نظر گرفتن بخش دیگر، درصدد برداشت میزان آب بیشتری است، اما در بازی دونفرهٔ کشاورزی و صنعت که هدف ماکزیمم کردن منفعت جامعه است، میزان برداشت بهینهٔ بخش کشاورزی و بخش صنعت، به‌ترتیب ۶۲۱/۴۶ میلیون متر مکعب و ۱۰۲/۶۸ میلیون متر مکعب خواهد بود. اما این میزان برداشت بهینه توسط بخش کشاورزی در بازی دوم (بخش ۵-۲) به‌طور تقریبی، در وزن اهمیت ۰/۲ قرار دارد که درآمدی در حدود ۹۳۶۱/۹۵ را کسب می‌کند؛ در حالی‌که میزان برداشت بهینهٔ بخش صنعت در بازی دونفره در بازی اول (بخش ۵-۱) در وزن اهمیتی بین ۰/۵۵ تا ۰/۶ قرار دارد که سود آن در حدود ۲۸۸۳۲۸/۱۱ میلیون ریال به ازای هر میلیون متر مکعب تا ۲۸۹۳۸۷/۷۳ میلیون ریال به ازای هر میلیون متر مکعب برآورد. به همین دلیل، باید به بخش صنعت میزان آب بیشتری را اختصاص بدهیم.

مطابق جدول (۳) با افزایش سهم آب بخش صنعت، منفعت جامعه افزایش می‌یابد؛ در حالی که با افزایش آب بخش کشاورزی، منفعت جامعه روند نزولی را طی می‌کند. همچنین، سهم ارزش افزودهٔ بخش‌های صنعت و کشاورزی از ارزش افزوده کل کشور به ترتیب ۱۵٪ و ۵٪ می‌باشد. از طرفی نیز بخش متوسط تعداد نیروی کار در صنعت و کشاورزی، به‌ترتیب ۶۰۰ هزار و ۱۸۰ هزار نفر است که سهم نیروی کار صنعت و کشاورزی، از کل استان معادل ۴۳٪ و ۱۲٪ می‌باشد. بنابراین، می‌بایست به صنایعی که آب کمتری مصرف می‌کنند، بیشتر اهمیت بدهیم.

این مطالعه دورهٔ زمانی ده‌ساله را شامل می‌شود. نسبت متغیر بودن میزان بارندگی و حجم آب زاینده‌رود، مصرف هر بخش را بر مجموع مصارف بخش‌های مذکور تقسیم می‌کنیم؛ یعنی بخش صنعت و کشاورزی به‌ترتیب برابر با ۱۴/۱۸٪ و ۸۵/۸۲٪ است. بر همین اساس، توزیع آب در تمام سال‌های مورد مطالعه بهینه نیست. از میزان توزیع‌شده آب زاینده‌رود در استان اصفهان، حدود ۳۰٪ به شرب و ۱۲٪ برای حفظ و بقای تالاب گاوخونی اختصاص یافته است و ۵۸٪ آن‌را نیز مصارف بخش کشاورزی و بخش صنعت تشکیل می‌دهند. بنابراین، تخصیص واقعی آب، در میان کل مصارف، برای بخش صنعت و کشاورزی به ترتیب برابر با ۸/۲۲٪ و

۴۹/۷۸٪ خواهد بود. بر همین اساس، توزیع آب بین بخش‌های صنعت و کشاورزی برای سال های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ بهینه نیست؛ زیرا بدون در نظر گرفتن سایر مصارف، درصد مصارف تنها برای بخش‌های کشاورزی و صنعت به‌ترتیب سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱، به‌ترتیب برابر است با ۶۱/۶۶٪ و ۲۲/۰۲٪ ؛ ۸۴/۴۷٪ و ۱۵/۳۱٪ ؛ ۵۷/۶۲ ٪ و ۴۲/۳۷٪ است که نشان‌دهندهٔ تخصیص غیربهینهٔ آب است. برای مثال، مصرف بهینهٔ آب در بخش صنعت و کشاورزی در سال ۱۳۹۱، به‌ترتیب ۹۶/۰۵ میلیون مترمکعب آب و ۵۸۱/۳۴ میلیون متر مکعب آب است.

در بخش دوم مقاله، با برآورد ارزش اقتصادی آب در دو بخش کشاورزی (با ۱۷ محصول به علت محدودیت آماری) و بخش صنعتی_ بر اساس نوع فعالیتشان_ به ترتیب معادل با ۱۳۰۱۰ ریال در هر متر مکعب و ۶۰۰۱/۹۵ ریال در هر مترمکعب نتیجه می‌گیریم که قیمت واقعی آب در بخش کشاورزی پایین‌تر از قیمت واقعی آب در بخش صنعت است، هرچند که افزایش قیمت آب موجب افزایش هزینهٔ کشاورزان و به دنبال آن، خروج برخی از کشاورزان از این حرفه می‌شود؛ بدین ترتیب، با توجه به مسئلهٔ کمیابی آب و خشکسالی و نقش بیشتر آب در این بخش، می‌بایست سیاستگذاران، کشاورزان را به استفادهٔ کارا از منابع آبی در دسترس تشویق و ترغیب کنند. همچنین، پیشنهاد می‌کنیم که تعرفهٔ آب کشاورزی به‌تدریج، با کاهش موانع پیشروی آنها، اصلاح شود تا فاصله تعرفه‌های موجود با ارزش حقیقی آب کاهش یابد و زمینه صرفه جویی‌و ذخیره‌سازی این نهاده را فراهم کند؛ یکی از راه‌های بهبود کارایی منابع آب، می‌تواند جایگزین کردن روش‌های آبیاری مدرن به جای روش‌های آبیاری سنتی در بخش کشاورزی باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع و مآخذ

اینتریلیگیتور. ام. دی. (۱۳۸۷). **بهینه‌سازی ریاضی**، ترجمهٔ محمدحسین پورکاظمی، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی (۲۰۰۴).

بریم‌نژاد، ولی. (۱۳۸۶). استخراج تابع تقاضای آب از تابع تولید چند جمله‌ای در بخش کشاورزی، *مجله علمی کشاورزی*، ۶۶ (۱۶).سال ۳۰. صص ۱۰۷-۱۱۶.

جعفری، عباس. (۱۳۸۶). رویکرد بازار آب و الزامات آن: *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، شماره ۴۸. سال ۱۲. صص ۷۵-۱۲۰.

حسین زاده، جواد و حبیب‌الله سلامی. (۱۳۸۳)، انتخاب تابع تولید برای برآورد ارزش اقتصادی آب کشاورزی: مطالعه موردی تولید گندم، *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، شمارهٔ ۴۸. سال ۱۲. صص۵۳-۸۴.

حیدری، نادر. (۱۳۸۵). مدیریت و بهره‌وری پایدار آب در شبکه های آبیاری حوزه‌های آبریز تحت تنش آبی،*کارگاه فنی مدیریت، بهره وری و نگهداری شبکه های آبیاری و زهکشی*. دی ماه ۱۳۸۵. صص ۱-۲۰.

خلیلیان، صادق و محمدرضا زارع مهرجردی. (۱۳۸۴). ارزش‌گذاری آب‌های زیرزمینی در بهره‌برداری‌های کشاورزی: *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، شمارهٔ ۵۱. سال ۱۳. صص ۱-۲۲.

خواجه روشنایی، نرگس و محمد دانشور کاخکی و غلامرضا محتشمی برزادران. (۱۳۸۹). تعیین ارزش اقتصادی آب در روش تابع تولید، با بکارگیری مدلهای کلاسیک و آنتروپی (مطالعه موردی: محصول گندم در شهرستان مشهد): *اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)*، جلد ۲۴، شمارهٔ ۱، صص ۱۱۹-۱۱۳.

دانش یزدی، محمد. (۱۳۹۰)؛ حل مناقشات در مدیریت تخصیص منابع آب با استفاده از نظریه بازی (مطالعه موردی: حوزه آبریز دریاچه ارومیه)؛ **پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران**، تهران: دانشگاه صنعتی شریف.

زارع مهرجردی، محمد رضا. (۱۳۹۰). تعیین الگوی کشت بهینه و ارزشگذاری آب با استفاده از تلفیق روشهای برنامه ریزی تحت ریسک و ارزش مانده، مطالعه موردی: منطقه ارزوئیه شهرستان بافت ، *مجله پژوهش آب در کشاورزی*، جلد ۲۵، شمارهٔ ۲. صص۱۲۱-۱۳۲.

شاکری، عباس. (۱۳۸۶). **اقتصاد خرد (۲): نظریه ها و کاربردها**، چاپ سوم، تهران: نشر نی.

شرزه‌ای، غلامعلی و سمیه امیر تیموری. (۱۳۹۱). تعیین ارزش اقتصادی آبهای زیرزمینی: مطالعه موردی شهرستان راور (استان کرمان)؛ *مجله تحقیقات اقتصادی*، ۴۷ (۹۸)، صص۱۲۸-۱۱۳.

شیرزادی لسکوکلایه، سمیه و محمود صبوحی صابونی. (۱۳۸۸). کابرد برنامه ریزی چندهدفه در مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه ساوجبلاغ، *اقتصاد کشاورزی* ، جلد ۳، شمارهٔ ۲، صص ۸۳-۹۸.

صبوحی، محمود و عصمت مجرد. (۱۳۸۹). کاربرد نظریه بازی در مدیریت منابع آب زیرزمینی حوزه آبریز اترک، *اقتصاد و توسعه کشاورزی*، جلد ۲۴، شمارهٔ ۱، صص۱-۱۲.

کرامت‌زاده، علی و امیرحسین چیذری و احمد میرزایی. (۱۳۸۵). تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی با استفاده از مدل الگوی کشت بهینهٔ تلفیق زراعت و باغداری: مطالعه موردی سد بارزو شیروان: *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، شماره ۵۴، سال ۱۴، صص ۳۵-۶۰.

مازندرانی‌زاده، حامد و عباس قاهری و قهرمان عبدلی. (۱۳۸۸). مدل بهره‌برداری پایدار از سفره آب زیرزمینی مشترک میان بهره‌برداران شهری و کشاورزی با استفاده از نظریهٔ بازی‌ها: *فصلنامهٔ اقتصاد کشاورزی و توسعه*، شمارهٔ ۶۸، سال ۱۷. ص۱۰۲-۷۷.

واریان، هال. (۱۳۸۰). **رویکردی جدید به اقتصاد خرد میانه**. ترجمهٔ جواد پورمقیم،چاپ اول. تهران: نشر نی.

یزدان‌پناه، طلا و سعیدرضا خداشناس و کامران داوری و بیژن قهرمان. (۱۳۸۷). مدیریت منابع آب حوزه آبریز با استفاده از مدل WEAP (مطالعه موردی حوزه ازغند): *مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک*، جلد ۲۲، شمارهٔ ۱. صص ۲۱۳-۲۲۱.

Akima, Hiroshi; 1970, A New Method of Interpolation ans Smooth Curve Fitting Based on Local Procedures, *Journal of the Association for Computing Machinery*, Vol. 17, No. 4,pp. 589-602.

Anbarci, Nejat; 1993, NonCooperative Foundations Of The Area Monotonic Solution, *The Quarterly Journal Of Economics*,108, pp. 245-258.

Babel, M.S, A.Das Gupta and D.K. Nayak; 2005, A Model for Optimal Allocation of Water to Competing Demands, *Water Resources Management*, 19, pp. 693-712.

Bazargan-Lari,Mohammad Reza & Reza Kerachian and Abbas Mansoori, 2009, A Conflict-Resolution Model for the Conjuctive Use of Surface and Groundwater Resources that Considers Water- Quality Issues: A Case Study, *Environmental Management*, 43. pp.

470-482.

Bontemps, Christophe & Stephane Couture and Pascal Favard, 2001; Is the Irrigation Water Demand Really Convex?, *NRM-Natural Resources Management*. NOTA DI LAVORO 82.2001. pp.1-37.

Dinar, ariel, 2004, cooperation managing transboundary water resources evaluation approaches and experiences, *the 4th Rosenberg International Forum on Water Policy*, Tuekey, Ankara, September 3-9.

Ganji,A & D.Khalili.D and M.Karamouz and K. Ponnambalam and M. Javan, 2008, A Fuzzy Stochastic Dynamic Nash Game Analysis of Policies for Managing Water Allocation in A Reservior System, *Water Resour Manage*, 22, pp. 51- 66

Ganji .A & Khalili.D. and Karamouz.M; 2006; Development of stochastic dynamic Nash game model for reservoir operation. I. The symmetric stochastic model with perfect information, *Water Resour Manage*, 30, pp. 1- 12.

Harsani, John & Reinhard Selten; 1972; A Generalized Nash Solution for Two-Person Baragaining Games with Incomplete Information, *Management Science*, Vol. 18, No.5,pp. 80-106.

Herrero ,Carmen & M[a] Carmen Marco; 1992, A Note On The Equal-Loss Principle For Baragaining Problems, *Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas*, V.1619, pp. 1-24.

Hussain, Ijaz & Maqbool H. Sial and Zakir Hussain and Waqar Akram; 2009; Economic value of Irrigation Water: Evidence from a Punjab Canal, *The Labore Journal of Economics*, 14(1), pp. 69-84.

Kalai, Ethud & Meir Smordinsky, 1975, Other Solutions to NASH'S Bargaining Problem, *Econometrica*, Vol.43, NO. 3, pp. 513-518.

L.Teasley, Rebeccca & C.McKinney. Daene, 2009, Evaluating Water Resources Management in transboundary river basin cooperative Game Theory: the rio grande/ bravo basin, **doctor of philosophy,** USA: the university of texas at Austin august.

Nakao, Megumi & Dennis Wichelns and John Montgomery, 2002, Game Theory Analysis of Competition for Groundwater Involving EI Paso, Texas and Ciudad Juarez, Mexico, "Moving with the Speed of Change"**,** *2002, the 2002 Annual Meeting of the American Agricultural Economics Association in Long Beach,* California, pp. 1-24.

Salazar, Raquel & Ferenc Szidarovaszky and Coppola Emery Jr and Rojano Abraham, 2007, Application of Game Theory for a Groundwater Conflict in Mexico, *Journal of Environmental Management*, 84; pp.560- 571.

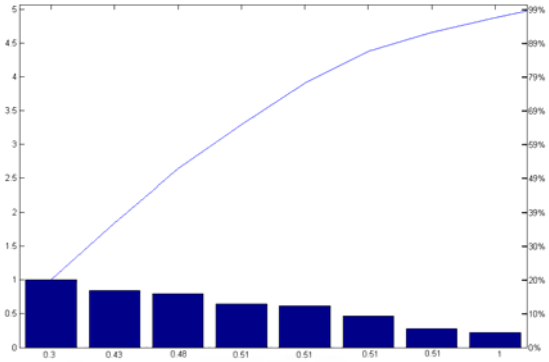
Wang,L.Z & L.Fang and W.Hipel; 2003, Water Resources Allocation: A Cooperative Game Theoretic Approach, *Journal of Environmental Informatics*, 2 (2) 11- 22.

Webb, James.N; 2007, **Game Theory Decisions, Interaction and Evolution**, London: Springer-Verlag London Limited.

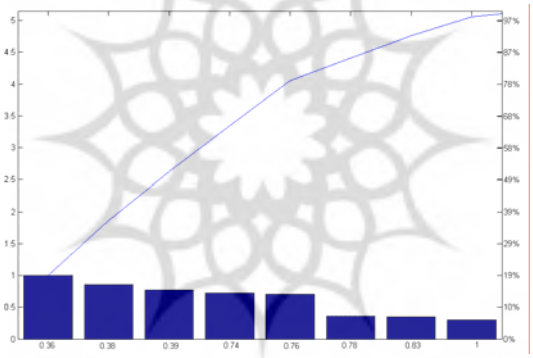
Wichelns, Dennis and Meguimi Nakao and Alfonso Irarrazabal and John Montgomery; 2001, Estimating Potential Gains to Cooperation For Limited Water Resources Along The Rio Grande, *American Agricultural Economics Association Annual Meeting*, August 5- August 8 2001, pp. 1-18.

پیوست شکل‌ها

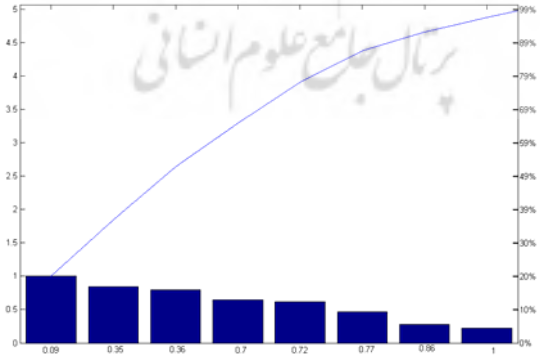
شکل (الف). منحنی پارتو برای بخش صنعت



شکل (ب). منحنی پارتو برای بخش کشاورزی



شکل (ج). منحنی پارتو برای بازی بین دو بخش



پیوست جداول

الف) ماتریس بازی‌ها

ماتریس آب مصرفی و سود بخش صنعت به ازای هر واحد میلیون متر مکعب آب

آب مصرفی در بخش صنعت (میلیون مترمکعب)	سودبخش صنعت در هر میلیون متر مکعب آب (برحسب میلیون ریال به هر میلیون مترمکعب آب)
۹۵/۵۲	۲۵۶۱۶۸/۱۶
۹۶	۲۵۸۲۸۸/۵۶
۹۸/۶	۲۶۱۲۰۸/۲
۱۰۰	۲۸۸۱۰۵/۶۷
۱۰۰	۲۷۷۵۱۶/۳۶
۱۰۰	۲۷۶۱۴۸/۹۷
۹۹/۵	۲۶۹۹۶۸/۲۶
۱۰۰	۲۸۴۹۹۸/۴۵
۱۱۹	۲۹۶۰۱۴/۸۵
۹۰	۲۴۱۳۷۵/۵۱

منبع: شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان و یافته‌های تحقیق

ماتریس آب مصرفی و سود بخش کشاورزی به ازای هر واحد میلیون متر مکعب آب

میزان مصارف بخش کشاورزی از آب‌های سطحی زاینده‌رود (میلیون متر مکعب)	سود بخش کشاورزی به ازای هر میلیون متر مکعب آب مصرفی (میلیون ریال بر حسب میلیون متر مکعب)
۲۵۵/۵۴	۶۳۲۶/۱۹
۸۱۰/۱۳	۱۲۶۴۸/۳۱
۱۲۰۱/۷۴	۱۷۱۲۳/۴۰
۱۲۵۱/۴۶	۱۷۴۶۰/۱۲
۱۲۱۸/۵	۱۸۲۸۰/۳۵
۱۳۲۸/۲	۱۹۹۹۸/۶۴
۱۳۸۳/۵	۲۱۰۱۱/۰۷
۸۰۱/۴	۱۲۴۳۱/۷۶
۲۷۲/۱۱	۷۵۲۱/۹۸
۷۸۰/۱۶	۱۱۷۴۳/۴۲

منبع: شرکت آب منطقه‌ای اصفهان و یافته‌های تحقیق

ماتریس منافع کل جامعه و میزان آب در دسترس دو بخش

سود بخش صنعت به‌ازای هر میلیون متر مکعب آب (برحسب میلیون ریال به هر میلیون مترمکعب آب)	سود بخش کشاورزی به‌ازای هر میلیون متر مکعب آب مصرفی (میلیون ریال بر حسب میلیون مترمکعب)
۲۵۶۱۶۸/۱۶	۶۳۲۶/۱۹
۲۵۸۲۸۸/۵۶	۱۲۶۴۸/۳۱
۲۶۱۲۰۸/۲	۱۷۱۲۳/۴۰
۲۸۸۱۰۵/۶۷	۱۷۴۶۰/۱۲
۲۷۷۵۱۶/۳۶	۱۸۲۸۰/۳۵
۲۷۶۱۴۸/۹۷	۱۹۹۹۸/۶۴
۲۶۹۹۶۸/۲۶	۲۱۰۱۱/۰۷
۲۸۴۹۹۸/۴۵	۱۲۴۳۱/۷۶
۲۹۶۰۱۴/۸۵	۷۵۲۱/۹۸
۲۴۱۳۷۵/۵۱	۱۱۷۴۳/۴۲

منبع: یافته‌های تحقیق

ب) ماتریس نرمال‌شده

ماتریس نرمال‌شدهٔ آب مصرفی و سود بخش صنعت به ازای هر واحد میلیون متر مکعب آب

سود بخش صنعت به ازای هر واحدمیلیون متر مکعب	آب مصرفی در بخش صنعت
۰/۱۹	۰/۲۸
۰/۲۲	۰/۳
۰/۲۸	۰/۴۳
۰/۸۴	۰/۵۱
۰/۶۵	۰/۵۱
۰/۶۲	۰/۵۱
۰/۴۷	۰/۴۸
۰/۸	۰/۵۱
۱	۱
۰	۰

منبع: یافته‌های تحقیق

ماتریس نرمال‌شده آب مصرفی و سودبخش کشاورزی به‌ازای هر واحد میلیون متر مکعب آب

سود بخش کشاورزی به ازای هر واحد میلیون متر مکعب آب	آب مصرفی در بخش کشاورزی
۰	۰
۰/۳۶	۰/۳۹
۰/۷۰	۰/۷۴
۰/۷۲	۰/۷۸
۰/۷۷	۰/۷۶
۰/۸۶	۰/۸۳
۱	۱
۰/۳۵	۰/۳۸
۰/۰۹	۰/۰۶
۰/۳۰	۰/۳۶

منبع: یافته‌های تحقیق

ماتریس نرمال‌شدهٔ سود بخش کشاورزی به‌ازای هر میلیون متر مکعب آب و سود بخش صنعت به ازای هر میلیون متر مکعب آب

سود بخش صنعت به ازای هر واحدمیلیون متر مکعب	سودبخش کشاورزی به ازای هر واحد میلیون متر مکعب آب
۰/۱۹	۰
۰/۲۲	۰/۳۶
۰/۲۸	۰/۷۰
۰/۸۴	۰/۷۲
۰/۶۵	۰/۷۷
۰/۶۲	۰/۸۶
۰/۴۷	۱
۰/۸	۰/۳۵
۱	۰/۰۹
۰	۰/۳۰

منبع: یافته‌های تحقیق

ضمیمهٔ ۱

معادلهٔ این تابع می‌تواند از هر درجه‌ای باشد. فقط باید معادلهٔ را به صورت چندجمله‌ای در نظر بگیریم. برای مثال، معادلهٔ درجه سوم را با فواصل متوالی، از نقطهٔ معینی ترسیم می‌کنیم. مثلاً اگر ۵ نقطه داشته باشیم، نقطه‌ای را به‌عنوان مرکز و دو نقطه در طرفین آن در نظرمی‌گیریم و بخشی از منحنی توسط یک زوج مرتب از مختصات نقاط داده‌شده و دامنهٔ آنها تعیین می‌شود. برای نمونه، پنج نقطه داریم که عبارتند از: {a,b,c,d,e} که شیب منحنی در نقطه ۳ برابر است با: t.

$$t = \left(\left|m_4 - m_3\right| m_2 + \left|m_2 - m_1\right| m_3\right) \Big/ \left(\left|m_4 - m_3\right| + \left|m_2 - m_1\right|\right) \qquad (۲۹)$$

m_4, m_3, m_2, m_1 به ترتیب شیب خطوط $\overline{de}, \overline{cd}, \overline{bc}, \overline{ab}$ هستند که t از فاصله بین عرض‌ها مستقل است.

در صورتی $m_1 = m_2, m_3 \neq m_1, m_3 \neq m_4$ است که $t = m_2 = m_1$؛

در صورتی $t = m_3 = m_4$ است که: $m_2 \neq m_4, m_2 \neq m_1, m_3 = m_4$؛ و زمانی از شرط اول تبعیت می‌کند که $m_2 = m_3$، $t = m_2 = m_3$ باشد.

در صورتی که $m_1 = m_2 = m_3$ یا $m_2 = m_3 = m_4$ باشد، آنگاه t مطابق رابطهٔ (۲۹) تعریف نشده است؛ t میتواند هر ارزشی بین m_2 و m_3 را اختیار کند، زمانی‌که m_1 به سمت m_2 میل می‌کند و ، به طور هم‌زمان، m_4 به سمت m_3 میل پیدا می‌کند. این یک اصل از روش جدید آکیماست که $t = m_2$ می‌باشد، زمانی‌که $m_1 = m_2$ و مشابهتاً، $t = m_3$ برقرار باشد، هنگامی است که $m_4 = m_3$ است و این دو قاعده زمانی متضاد است که $m_1 = m_2 \neq m_3 = m_4$ باشد؛ از این‌رو، هیچ منحنی مطلوبی تحت شرط اول در این نمونه خاص وجود ندارد. (برای اینکه نتیجه منحصر به فرد و معلومی را در تمام نمونه‌ها ارائه نمی‌دهد و شیب t برابر با $\frac{1}{2}\left(m_2 + m_3\right)$ شده است، همانگونه که یک گردآوری برای این نمونه در برنامه‌های نرم‌افزاری فراهم شده است).

چهار شرط برای تعیین چندجمله‌ای‌ها برای یک فاصله بین دو نقطه $\left(x_1, y_1\right)$ و $\left(x_2, y_2\right)$ داریم:

در $x = x_1$: رابطهٔ (۳۰) $y = y_1, \frac{dy}{dx} = t_1$

در $x = x_2$: رابطهٔ (۳۱) $y = y_2, \frac{dy}{dx} = t_2$

t_1, t_2 معرف شیب‌هایی در دو نقطه می‌باشند.

این روش، یک روش غیر خطی است.[1]

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Akima, 1970

ضمیمهٔ ۲

نتایج راه‌حل نامتقارن نش برای بخش کشاورزی و بخش صنعتی

منافع جامعه (میلیون ریال به ازای هر میلیون متر مکعب)	سودبخش صنعت (میلیون ریال به ازای هر میلیون متر مکعب)	سودبخش کشاورزی (میلیون ریال به ازای هر میلیون متر مکعب)	میزان آب مصرفی در بخش‌کشاورزی (میلیون متر مکعب)	میزان آب مصرفی در بخش صنعت (میلیون‌مترمکعب)	وزن بخش کشاورزی W_2	وزن‌بخش صنعتی W_1
۲۹۸۳۰۱/۵	۹۳۵۴/۱۲	۲۸۸۹۴۷/۴	۶۲۱/۴۳	۱۰۲/۶۴	۰/۰۵	۰/۹۵
۲۹۷۷۹۵/۸	۹۴۹۵/۷۷	۲۸۸۳۰۰	۶۳۰/۸۴	۱۰۲/۴۱	۰/۱۰	۰/۹۰
۲۹۷۴۰۰/۹	۹۶۳۵/۷۶	۲۸۷۷۶۵/۱	۶۴۰/۱۴	۱۰۲/۲۲	۰/۱۵	۰/۸۵
۲۹۷۱۱۳/۳	۹۹۳۹/۳۷	۲۸۷۱۷۳/۹	۶۶۰/۳۱	۱۰۲/۰۱	۰/۲۰	۰/۸۰
۲۹۷۰۱۲/۸	۱۰۳۱۷/۵	۲۸۶۶۹۵/۳	۶۸۵/۴۳	۱۰۱/۸۴	۰/۲۵	۰/۷۵
۲۹۶۶۶۰/۷	۱۰۵۸۴/۷	۲۸۶۰۷۶	۷۰۳/۱۸	۱۰۱/۶۲	۰/۳۰	۰/۷۰
۲۹۶۵۵۳/۷	۱۰۹۰۰	۲۸۵۶۵۳/۷	۷۲۴/۱۳	۱۰۱/۴۷	۰/۳۵	۰/۶۵
۲۹۶۰۶۷/۸	۱۱۲۰۲/۳	۲۸۴۸۶۵/۵	۷۴۴/۲۱	۱۰۱/۱۹	۰/۴۰	۰/۶۰
۲۸۲۴۹۳/۸	۱۱۴۸۹/۳	۲۷۱۰۰۴/۵	۷۶۳/۲۸	۹۹/۹۲	۰/۴۵	۰/۵۵
۲۸۲۴۵۸/۵	۱۱۸۳۳/۷	۲۷۰۶۲۴/۸	۷۸۶/۱۶	۹۹/۷۸	۰/۵۰	۰/۵۰
۲۸۲۲۴۹/۵	۱۲۰۵۸/۶	۲۷۰۱۹۰/۹	۸۰۱/۱۰	۹۹/۶۲	۰/۵۵	۰/۴۵
۲۸۲۱۳۶/۶	۱۲۴۰۶/۸	۲۶۹۷۲۹/۸	۸۲۴/۲۳	۹۹/۴۴	۰/۶۰	۰/۴۰
۲۸۱۹۰۵/۸	۱۲۶۶۴/۳	۲۶۹۲۴۱/۵	۸۴۱/۳۴	۹۹/۲۶	۰/۶۵	۰/۳۵
۲۸۰۳۷۴	۱۲۹۷۷/۷	۲۶۷۳۹۶/۳	۸۶۲/۱۶	۹۹/۰۵	۰/۷۰	۰/۳۰
۲۸۰۴۸۴	۱۳۳۸۴/۶	۲۶۷۰۹۹/۴	۸۸۹/۱۹	۹۸/۹۴	۰/۷۵	۰/۲۵
۲۸۰۴۸۹/۳	۱۳۸۲۱/۹	۲۶۶۶۷/۴	۹۱۸/۲۴	۹۸/۷۸	۰/۸۰	۰/۲۰
۲۸۰۰۴۶/۸	۱۴۱۰۸/۳	۲۶۵۹۳۸/۵	۹۳۷/۲۷	۹۸/۵۱	۰/۸۵	۰/۱۵
۲۸۰۰۸۹/۸	۱۴۴۷۵/۲	۲۶۵۶۱۴/۶	۹۶۱/۶۴	۹۸/۳۹	۰/۹۰	۰/۱۰
۲۷۹۷۳۴/۴	۱۴۸۲۱/۷	۲۶۴۹۱۲/۷	۹۸۴/۶۶	۹۸/۱۳	۰/۹۵	۰/۰۵

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج راه‌حل نامتقارن سطوح یکنواخت برای بخش کشاورزی و بخش صنعتی

منافع جامعه (میلیون ریال به ازای هر میلیون متر مکعب)	سودبخش صنعت (میلیون ریال به ازای هر میلیون متر مکعب)	سودبخش کشاورزی (میلیون ریال به ازای هر میلیون متر مکعب)	میزان آب مصرفی در بخش‌کشاورزی (میلیون متر مکعب)	میزان آب مصرفی در بخش‌صنعت (میلیون متر مکعب)	وزن بخش کشاورزی W_2	وزن بخش صنعتی W_1
۲۹۸۳۸۶/۳	۹۳۵۴/۴۲	۲۸۹۰۳۱/۹	۶۲۱/۴۵	۱۰۲/۶۷	۰/۰۵	۰/۹۵
۲۹۷۸۸۰/۵	۹۴۹۶/۰۷	۲۸۸۳۸۴/۴	۶۳۰/۸۶	۱۰۲/۴۴	۰/۱۰	۰/۹۰
۲۹۷۳۰۶/۹	۹۴۸۵/۵۵	۲۸۷۸۲۱/۴	۶۴۰/۱۵	۱۰۲/۲۴	۰/۱۵	۰/۸۵
۲۹۷۱۷۰	۹۹۳۹/۸۲	۲۸۷۲۳۰/۲	۶۶۰/۳۴	۱۰۲/۰۳	۰/۲۰	۰/۸۰
۲۹۷۰۶۹/۵	۱۰۳۱۷/۹۴	۲۸۶۷۵۱/۶	۶۸۵/۴۶	۱۰۱/۸۶	۰/۲۵	۰/۷۵
۲۹۶۷۴۵/۷	۱۰۵۸۵/۲۷	۲۸۶۱۶۰/۴	۷۰۳/۲۲	۱۰۱/۶۵	۰/۳۰	۰/۷۰
۲۹۶۶۳۸/۹	۱۰۹۰۰/۸۴	۲۸۵۷۳۸/۱	۷۲۴/۱۶	۱۰۱/۵۰	۰/۳۵	۰/۶۵
۲۹۶۱۲۴/۴	۱۱۲۰۲۳/۷۳	۲۸۴۹۲۱/۷	۷۴۴/۲۴	۱۰۱/۲۱	۰/۴۰	۰/۶۰
۲۹۲۸۹۲/۴	۱۱۴۸۹/۶۳	۲۸۱۴۰۲/۸	۷۶۳/۳۰	۹۹/۹۶	۰/۴۵	۰/۵۵
۲۹۲۸۱۴/۵	۱۱۸۳۴/۰۴	۲۸۰۹۸۰/۵	۷۸۶/۱۸	۹۹/۸۱	۰/۵۰	۰/۵۰
۲۹۲۵۸۸/۹	۱۲۰۵۸/۷۷	۲۸۰۵۳۰/۱	۸۰۱/۱۱	۹۹/۶۵	۰/۵۵	۰/۴۵
۲۹۲۴۳۰/۵	۱۲۴۰۷/۰۹	۲۸۰۰۲۳/۴	۸۲۴/۲۵	۹۹/۴۷	۰/۶۰	۰/۴۰
۲۹۲۱۸۱/۵	۱۲۶۶۴/۷۹	۲۷۹۵۱۶/۷	۸۴۱/۳۷	۹۹/۲۹	۰/۶۵	۰/۳۵
۲۹۱۹۰۳/۵	۱۲۹۷۸/۰۳	۲۷۸۹۲۵/۵	۸۶۲/۱۸	۹۹/۰۸	۰/۷۰	۰/۳۰
۲۹۲۰۰۰/۷	۱۳۳۸۴/۹۰	۲۷۸۶۱۵/۸	۸۸۹/۲۱	۹۸/۹۷	۰/۷۵	۰/۲۵
۲۹۱۹۸۹/۴	۱۳۸۲۲/۱۸	۲۷۸۱۶۷۳/۲	۹۱۸/۲۶	۹۸/۸۰	۰/۸۰	۰/۲۰
۲۹۱۵۱۳/۹	۱۴۱۰۸/۶۳	۲۷۷۴۰۵/۳	۹۳۷/۲۹	۹۸/۵۴	۰/۸۵	۰/۱۵
۲۹۱۵۱۴/۹	۱۴۴۷۵/۶۱	۲۷۷۰۳۹/۳	۹۶۱/۶۷	۹۸/۴۱	۰/۹۰	۰/۱۰
۲۹۱۱۵۷/۵	۱۴۸۲۱/۹۷	۲۷۶۳۳۵/۵	۹۸۴/۶۸	۹۸/۱۶	۰/۹۵	۰/۰۵

منبع: یافته‌های تحقیق

پرتال جامع علوم انسانی

نتایج راه‌حل نامتقارن کلی_اسمردینسکای برای بخش کشاورزی و بخش صنعتی

منافع جامعه (میلیون ریال به ازای هر میلیون متر مکعب)	سودبخش صنعت (میلیون ریال به ازای هر میلیون متر مکعب)	سودبخش کشاورزی (میلیون ریال به ازای هر میلیون متر مکعب)	میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی (میلیون متر مکعب)	میزان آب مصرفی در بخش صنعت (میلیون متر مکعب)	وزن بخش کشاورزی W_2	وزن بخش صنعتی W_1
۲۹۸۴۴۲/۹	۲۸۹۰۸۸/۲	۹۳۵۴/۷۲	۶۲۱/۴۷	۱۰۲/۶۹	۰/۰۵	۰/۹۵
۲۹۷۹۳۷/۲	۲۸۸۴۴۰/۷	۹۴۹۶/۵۲	۶۳۰/۸۹	۱۰۲/۴۶	۰/۱۰	۰/۹۰
۲۹۷۵۴۲/۲	۲۸۷۹۰۵/۸	۹۶۳۶/۳۶	۶۴۰/۱۸	۱۰۲/۲۷	۰/۱۵	۰/۸۵
۲۹۷۲۲۶/۸	۲۸۷۲۸۶/۵	۹۹۴۰/۲۷	۶۶۰/۳۷	۱۰۲/۰۵	۰/۲۰	۰/۸۰
۲۹۷۱۵۴/۵	۲۸۶۸۳۶/۱	۱۰۳۱۸/۳۹	۶۸۵/۴۹	۱۰۱/۸۹	۰/۲۵	۰/۷۵
۲۹۶۸۳۰/۸	۲۸۶۲۴۴/۹	۱۰۵۸۵/۸۷	۷۰۳/۲۶	۱۰۱/۶۸	۰/۳۰	۰/۷۰
۲۹۶۶۹۵/۴	۲۸۵۷۹۴/۵	۱۰۹۰۰/۹۲	۷۲۴/۱۹	۱۰۱/۵۲	۰/۳۵	۰/۶۵
۲۹۶۱۸۱/۳	۲۸۴۹۷۸/۱	۱۱۲۰۳/۱۸	۷۴۴/۲۷	۱۰۱/۲۳	۰/۴۰	۰/۶۰
۲۹۲۹۷۷/۴	۲۸۱۴۸۷/۳	۱۱۴۹۰/۰۸	۷۶۳/۳۳	۹۹/۹۹	۰/۴۵	۰/۵۵
۲۹۲۹۲۷/۷	۲۸۱۰۹۳/۲	۱۱۸۳۴/۴۸	۷۸۶/۲۱	۹۹/۸۵	۰/۵۰	۰/۵۰
۲۹۲۶۷۳/۷	۲۸۰۶۱۴/۶	۱۲۰۵۹/۰۷	۸۰۱/۱۳	۹۹/۶۸	۰/۵۵	۰/۴۵
۲۹۲۴۸۷/۲	۲۸۰۰۷۹/۷	۱۲۴۰۷/۵۳	۸۲۴/۲۸	۹۹/۴۹	۰/۶۰	۰/۴۰
۲۹۲۲۶۶/۲	۲۷۹۶۰۱/۱	۱۲۶۶۵/۰۸	۸۴۱/۳۹	۹۹/۳۲	۰/۶۵	۰/۳۵
۲۹۱۹۶۰/۳	۲۷۸۹۸۱/۸	۱۲۹۷۸/۴۸	۸۶۲/۲۱	۹۹/۱۰	۰/۷۰	۰/۳۰
۲۹۲۰۵۷/۵	۲۷۸۶۷۲/۱	۱۳۳۸۵/۳۵	۸۸۹/۲۴	۹۸/۹۹	۰/۷۵	۰/۲۵
۲۹۲۰۱۶/۱	۲۷۸۱۹۳/۶	۱۳۸۲۲/۴۷	۹۱۸/۲۸	۹۸/۸۲	۰/۸۰	۰/۲۰
۲۹۱۵۷۰/۷	۲۷۷۴۶۱/۶	۱۴۱۰۹/۰۸	۹۳۷/۳۲	۹۸/۵۶	۰/۸۵	۰/۱۵
۲۹۱۵۹۹/۷	۲۷۷۱۲۳/۸	۱۴۴۷۵/۹۱	۹۶۱/۶۹	۹۸/۴۴	۰/۹۰	۰/۱۰
۲۹۱۲۴۲/۶	۲۷۶۴۲۱/۲	۱۴۸۲۲/۵۷	۹۸۴/۷۲	۹۸/۱۹	۰/۹۵	۰/۰۵

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج راه‌حل نامتقارن ضررهای یکسان برای بخش کشاورزی و بخش صنعتی

منافع جامعه (میلیون ریال به ازای هر میلیون متر مکعب)	سودبخش صنعت (میلیون ریال به ازای هر میلیون متر مکعب)	سودبخش کشاورزی (میلیون ریال به ازای هر میلیون متر مکعب)	میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی (میلیون‌مترمکعب)	میزان آب مصرفی در بخش‌صنعت (میلیون متر مکعب)	وزن بخش کشاورزی W_2	وزن بخش صنعتی W_1
۲۹۸۵۵۶	۲۸۹۲۰۰/۸	۹۳۵۵/۱۷	۶۲۱/۵۰	۱۰۲/۷۳	۰/۰۵	۰/۹۵
۲۹۷۹۹۴	۲۸۸۴۹۷	۹۴۹۶/۹۷	۶۳۰/۹۲	۱۰۲/۴۸	۰/۱۰	۰/۹۰
۲۹۷۶۲۷/۱	۲۸۷۹۹۰/۳	۹۶۳۶/۸۱	۶۴۰/۲۱	۱۰۲/۳۰	۰/۱۵	۰/۸۵
۲۹۷۳۱۱/۷	۲۸۷۳۷۱	۹۹۴۰/۷۲	۶۶۰/۴۰	۱۰۲/۰۸	۰/۲۰	۰/۸۰
۲۹۷۲۳۹/۵	۲۸۶۹۲۰/۵	۱۰۳۱۸/۹۹	۶۸۵/۵۳	۱۰۱/۹۲	۰/۲۵	۰/۷۵
۲۹۶۹۱۵/۶	۲۸۶۳۲۹/۳	۱۰۵۸۶/۳۲	۷۰۳/۲۹	۱۰۱/۷۱	۰/۳۰	۰/۷۰
۲۹۶۷۸۰/۴	۲۸۵۸۷۸/۹	۱۰۹۰۱/۵۲	۷۲۴/۲۳	۱۰۱/۵۵	۰/۳۵	۰/۶۵
۲۹۶۲۳۸/۲	۲۸۵۰۳۴/۴	۱۱۲۰۳/۷۸	۷۴۴/۳۱	۱۰۱/۲۵	۰/۴۰	۰/۶۰
۲۹۳۰۳۴/۱	۲۸۱۵۴۳/۶	۱۱۴۹۰/۵۳	۷۶۳/۳۶	۱۰۰/۰۱	۰/۴۵	۰/۵۵
۲۹۳۰۶۹	۲۸۱۲۳۳/۹	۱۱۸۳۵/۰۸	۷۸۶/۲۵	۹۹/۹۰	۰/۵۰	۰/۵۰
۲۹۲۸۱۴/۸	۲۸۰۷۵۵/۳	۱۲۰۵۹/۵۲	۸۰۱/۱۶	۹۹/۷۳	۰/۵۵	۰/۴۵
۲۹۲۵۴۴/۱	۲۸۰۱۳۶	۱۲۴۰۸/۱۳	۸۲۴/۳۲	۹۹/۵۱	۰/۶۰	۰/۴۰
۲۹۲۳۲۳/۲	۲۷۹۶۵۷/۴	۱۲۶۶۵/۸۳	۸۴۱/۴۴	۹۹/۳۴	۰/۶۵	۰/۳۵
۲۹۲۰۴۵/۴	۲۷۹۰۶۶/۳	۱۲۹۷۹/۰۸	۸۶۲/۲۵	۹۹/۱۳	۰/۷۰	۰/۳۰
۲۹۲۱۴۲/۶	۲۷۸۷۵۶/۶	۱۳۳۸۵/۹۵	۸۸۹/۲۸	۹۹/۰۲	۰/۷۵	۰/۲۵
۲۹۲۱۲۹/۴	۲۷۸۳۰۶/۲	۱۳۸۲۳/۲۳	۹۱۸/۳۳	۹۸/۸۶	۰/۸۰	۰/۲۰
۲۹۱۶۸۳/۹	۲۷۸۳۰۶/۲	۱۴۱۰۹/۶۸	۹۳۷/۳۶	۹۸/۶۰	۰/۸۵	۰/۱۵
۲۹۱۶۸۴/۶	۲۷۷۲۰۸/۲	۱۴۴۷۶/۳۶	۹۶۱/۷۲	۹۸/۴۷	۰/۹۰	۰/۱۰
۲۹۱۳۲۷/۷	۲۷۶۵۰۴/۵	۱۴۸۲۳/۱۷	۹۸۴/۷۶	۹۸/۲۲	۰/۹۵	۰/۰۵

منبع: یافته‌های تحقیق