



## Optimum Water Resources Allocation Using Game Theory

Z. Ghaffari Moghadam<sup>1\*</sup>, A. Keikha<sup>2</sup>  
and M. Sabouhi<sup>2</sup>

### Abstract

A Cooperative Water Allocation Model (CWAM) as a comprehensive model for efficient and equitable allocation of water in a river basin is designed. This model comprised of two steps: first the initial allocation of water using Lexicographic Minimax Ratio of Water Shortage (LMWSR), and second, water reallocation and net benefit for an efficient and optimal allocation of water transfer model. The second step can use the followings: Irrigation Water Planning Model (IWPM); Hydrologic-Economic River Basin Model (HERBM) and Cooperative Reallocation Game (CRG).

This study is performed in order to optimize the allocation of water resources of Chahnimeh natural reservoirs in a 12 month term (April 2005 to March 2006) using Game Theory. The results of LMWSR model showed a satisfaction ratio of 1 to 0.89 for domestic water and 1 to 0.49 for agricultural sector. For allocating water to the reservoirs this ratio is less than 1 for all months.

The HERBM model results showed that the total allocation and profit of domestic water is increased in the optimal allocation compared to the initial allocation. These are decreased for agricultural compared to the initial allocation. The reallocation of benefits based on the concept of Shaply value showed that the maximum benefit obtained for the domestic water of Zahedan City which drew the maximum side payment and added value from other stakeholders in the whole period. The least benefit belongs to the agricultural sector.

**Keywords:** Game theory, Water allocation, Chahnimeh reservoirs, Sistan.

Received: April 3, 2010

Accepted: October 16, 2012

## تخصیص بهینه منابع آب مخازن چاه نیمه با استفاده از مدل‌های نظریه بازی‌ها

زهرا غفاری مقدم<sup>۱\*</sup>، احمدعلی کیخا<sup>۲</sup>  
و محمود صبوخی<sup>۲</sup>

### چکیده

مدل تخصیص مشارکتی آب به عنوان یک مدل جامع برای تخصیص کارا و منصفانه آب در یک حوزه رودخانه طراحی شده است. این مدل شامل دو مرحله می‌باشد: مرحله اول، تخصیص اولیه آب، که با استفاده از مدل لکسیکوگرافیکی حداقل- حداکثر نسبت کمبود آب، آب بین مصرف کنندگان تخصیص داده می‌شود و مرحله دوم، تخصیص مجدد آب و منافع خالص جهت رسیدن به یک تخصیص کارا و بهینه از طریق انتقال آب که شامل سه زیر مدل برنامه‌ریزی آب آبیاری، مدل هیدرولوژیکی - اقتصادی حوزه رودخانه و تئوری بازی مشارکتی می‌باشد. این بررسی به منظور تخصیص بهینه منابع آب مخازن چاه نیمه با استفاده از مدل‌های نظریه بازی‌ها در یک دوره ۱۲ ماهه در سال ۱۳۸۴ انجام شد. نتایج حاصل از تخمین مدل لکسیکوگرافیکی حداقل- حداکثر نسبت کمبود آب نشان داد، نسبت رضایتمندی برای آب شرب از ۰/۸۹ تا ۱ متغیر بوده که برای بخش کشاورزی بین ۱ تا ۰/۴۹ و برای آب تخصیصی به مخازن این نسبت برای همه ماهها کمتر از یک بدست آمد. نتایج حاصل از مدل هیدرولوژیکی - اقتصادی حوزه رودخانه نشان دادند که سود و مقدار آب تخصیصی در کل دوره مورد بررسی برای آب شرب در حالت تخصیص بهینه نسبت به تخصیص اولیه افزایش و برای بخش کشاورزی کاهش یافته است. در جریان تخصیص مجدد سود بر مبنای مفهوم ارزش شاپلی بیشترین سود متعلق به آب شرب زاهدان بود که دارای بیشترین دریافت‌های جانبی از دیگر شرکاء و منافع افزوده در کل دوره می‌باشد. کمترین سود نیز متعلق به بخش کشاورزی بوده است.

**کلمات کلیدی:** نظریه بازی، تخصیص آب، مخازن چاه نیمه، سیستان.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴ فروردین ۱۳۸۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۵ مهر ۱۳۹۱

1- MSc. Agricultural Economics, University of Zabol, Iran, Email: ghafari\_m\_gh@yahoo.com

2- Assistant professor, Agricultural Economics Department, University of Zabol, Iran

\*- Corresponding Author

۱- کارشناس ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران

۲- استاد یار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل، ایران

\*- نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

آب یکی از مهمترین عوامل محدود کننده توسعه اقتصادی کشور به شمار می‌رود. افزایش تقاضای آب شرب و کشاورزی نیز موجب تشدید این مسئله شده است. لذا، برنامه ریزی جهت استفاده بهینه از منابع آب و تخصیص اقتصادی این منبع کمیاب بین مصارف مختلف ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از مشکلات اصلی مدیریت آب کشاورزی در منطقه سیستان کم بودن و نوسانات شدید آب در رودخانه هیرمند که تنها منبع تامین کننده آب کشاورزی است، می‌باشد. برای مقابله با این معضل از سالها قبل مخازن چاه نیمه با هدف ذخیره آب در فصول پر آبی و جلوگیری از بروز خسارات در فصول کمبود آب مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به روند افزایش سهم آب شرب زابل، ۶ شهر جدید و بیش از ۹۲۰ روستا در منطقه سیستان و همچنین تامین آب شرب شهرستان زاهدان و بخش کشاورزی ضرورت دارد که در تخصیص آب ورودی هیرمند با توجه به حجم ۱۵۳۰ میلیون مترمکعبی مخازن چاه نیمه‌ها توجه و تجدید نظر جدی صورت پذیرد. (گزارشات شرکت سهامی آب و منطقه‌ای زابل، ۱۳۸۳)

برنامه ریزی منابع آب و تخصیص آن در یک حوزه آبریز اغلب یکی از بحثهای مهم مدیریت منابع آب می‌باشد. روشهای برنامه‌ریزی متفاوتی در سالهای اخیر برای مدیریت منابع آب توسعه پیدا کرده است که می‌توان به مطالعه قهرمان و سپاس خواه (۱۳۸۴) اشاره نمود. آنها مدیریت بهره‌برداری از مخازن سدها را با استفاده از دو روش برنامه‌ریزی غیرخطی و پویای استوکستیکی بررسی نمودند. آنها الگوی بهره‌برداری از مخزن سد و تخصیص بهینه آب بین گیاهان مختلف و در نهایت سود حاصل از زراعت را به دست آوردند. یکی از روشهای مدیریت منابع آب، روش تئوری بازیها مشارکتی می‌باشد، این تئوری به طور موفقیت آمیزی در انواع مسائل مدیریتی منابع آب به کار برده شده است به طوری که در پروژه‌های تخصیص هزینه منابع آب نشان می‌دهد، که چگونه هزینه‌های مشترک توسعه یک پروژه می‌تواند به طور عادلانه به شرکاء تخصیص یابد (Owen, 1995). (Gulldman and Kucukmehmetoglu (2004)

از مدل برنامه ریزی خطی و مفهوم تئوری بازی مشارکتی برای مشخص کردن یک تخصیص پایدار و کارا از آب رودخانه دجله و فرات برای سه کشور ترکیه، سوریه و عراق برای دستیابی به یک تخصیص سودمند از مشارکت کردن، استفاده کردند. (Wang (2005) از مدل‌های تخصیص آب مشارکتی<sup>۱</sup> (CWAM) برای تخصیص کارا و منصفانه آب بین استفاده کنندگان رقیب در

یک حوزه آبریز واقع در آبرتا جنوبی در کانادا استفاده کردند. مدل پیشنهادی آنها شامل دو مرحله اصلی: مرحله اول تخصیص اولیه آب و مرحله دوم تخصیص مجدد آب و منافع خالص بود. آنها از دو روش برنامه ریزی ریاضی، شامل روش حداکثر جریان شبکه چند دوره‌ای بر مبنای اولویت<sup>۲</sup> (PMMNF) و روش حداقل - حداکثر نسبت کمبود آب<sup>۳</sup> (LMWSR) برای تخصیص اولیه آب و سپس از روش تئوری بازی مشارکتی برای رسیدن به یک تخصیص مجدد و بهینه از منابع آب، استفاده کردند. کاربرد این روش نشان داد که مدل CWAM می‌تواند به عنوان ابزاری برای رسیدن به حداکثر رفاه در یک حوزه آبریز و حداقل کردن خسارتهای ناشی از کمبود آب از طریق تخصیص اولیه آب، و انتقال آب و سود خالص بین استفاده کنندگان تحت یک بازار کنترل شده آب و یا مکانیسم‌های تخصیص اجرائی، استفاده کرد. (Ganji et al. (2006) در مطالعه خود از تئوری بازیها به منظور نشان دادن مناقشه میان مصرف کنندگان مختلف برای مصرف یک مقدار محدود آب استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی توانایی بررسی سیاستهای بهره برداری مخازن با بررسی کنش متقابل میان استفاده کنندگان آب، بهره برداران مخازن و اهدافشان را دارد. مدل پیشنهادی به طور معنی داری قابلیت اطمینان در تخصیص تقاضا و حجم مخازن را در مقایسه با دیگر مدل‌های تصادفی بهبود می‌بخشد. (Salazar et al. (2007) در مطالعه خود از تئوری بازی برای یافتن یک راه حل بهینه بین دو هدف متضاد، منافع اقتصادی حاصل از تولیدات کشاورزی در و اهداف منفی زیست محیطی در سفره‌های آب زیر زمینی در مکزیک استفاده نموده‌اند. (Madani (2010) در مطالعه خود، کاربرد تئوری بازی را به منظور مدیریت منابع آب و حل تضاد میان مصرف کنندگان آب با استفاده از روش غیر مشارکتی برای منابع آب بررسی کردند. (Abrishamchi et al. (2011) نیز از روش تئوری بازی مشارکتی برای حل مشکل تخصیص آب در حوزه رودخانه ارومیه استفاده کرده اند. بنابراین در مطالعه حاضر از مدل تئوری بازی مشارکتی جهت تخصیص بهینه و کارا آب مخازن چاه نیمه، از طریق انتقال آب بین مصرف کنندگان، استفاده شده است.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- چارچوب مفهومی مدل

مدل تخصیص مشارکتی آب (CWAM) به عنوان یک مدل جامع برای تخصیص کارا آب در یک حوزه رودخانه بر مبنای شبکه‌ای، شامل گره و شاخه طراحی شده است (Wang, 2005). این مدل شامل دو مرحله می‌باشد: مرحله اول تخصیص اولیه آب و مرحله دوم تخصیص مجدد آب و منافع خالص می‌باشد. در مرحله اول با استفاده

که در این رابطه  $Q_D(j, t)$  تقاضای آب در گره های غیر ذخیره ای،  $S_D(j, t)$  تقاضای آب از مخزن  $j$  و یا گره های ذخیره ای،  $e_L(k, j, t)$  ضریب آبکاهی از شاخه  $(k, j)$  در زمان  $t$  و  $S(j, t)$  حجم آب تخصیصی به مخزن یا گره تقاضای زمی باشد.  $Q(k, j, t)$  مقدار آب ورودی از شاخه  $(k, j)$  در زمان  $t$  و  $U$  مجموعه گره های تقاضای آب  $RES$  مجموعه گره های ذخیره ای آب می باشد. (Wang et al. 2006)

محدودیتها برای فرموله کردن مسئله تخصیص آب در ساختار شبکه شامل محدودیت های ظرفیتی و تعادل (موازنه) حجم آب می باشد.

معادلات تعادلی آب را برای گره  $k$  در دوره زمانی  $t$  به صورت صورت معادله (۳) می توان نوشت: (Wang et al., 2006)

$$S(k, t) + \sum_{(k, k_2) \in L} Q(k, k_2, t) - S(k, t - 1) - \sum_{(k_1, k) \in L} (1 - e_L(k_1, k, t)) Q(k_1, k, t) + E_R(k, t) = 0, \quad k \in RES \quad (3)$$

در اینجا  $k$  مجموعه ای از گره ها،  $L$  مجموعه ای از شاخه ها (مسیر انتقال آب شامل لوله، کانال)،  $S(k, t)$  حجم آب تخصیصی به گره ذخیره ای (شامل مخازن آب) در پایان دوره  $t$ ،  $Q(k_1, k, t)$  جریان آب از گره  $k_1$  به گره  $k$  در دوره  $t$ ،  $Q(k, k_2, t)$  جریان آب از گره  $k$  به گره  $k_2$ ،  $E_R(k, t)$  میزان تبخیر از گره ذخیره ای  $k$  ضریب آبکاهی می باشد.

این محدودیت نشان می دهد که حجم آبی که وارد یک گره می شود با حجم آبی که از گره خارج می شود برابر است.

تبخیر ماهانه از گره های ذخیره ای که در این مطالعه مخازن آب را شامل می شود با استفاده از رابطه های (۴)، (۵)، (۶) و (۷) تخمین زده می شود. (Kehkha et al. 2004)

$$R(j, t) = \begin{cases} \frac{S_D(j, t) - S(j, t)}{S_D(j, t)}, \forall j \in RES \\ \frac{Q_D(j, t) - (\sum (1 - e_L(k, j, t)) Q(k, j, t))}{Q_D(j, t)}, \forall j \in U, j \notin RES \end{cases} \quad (2)$$

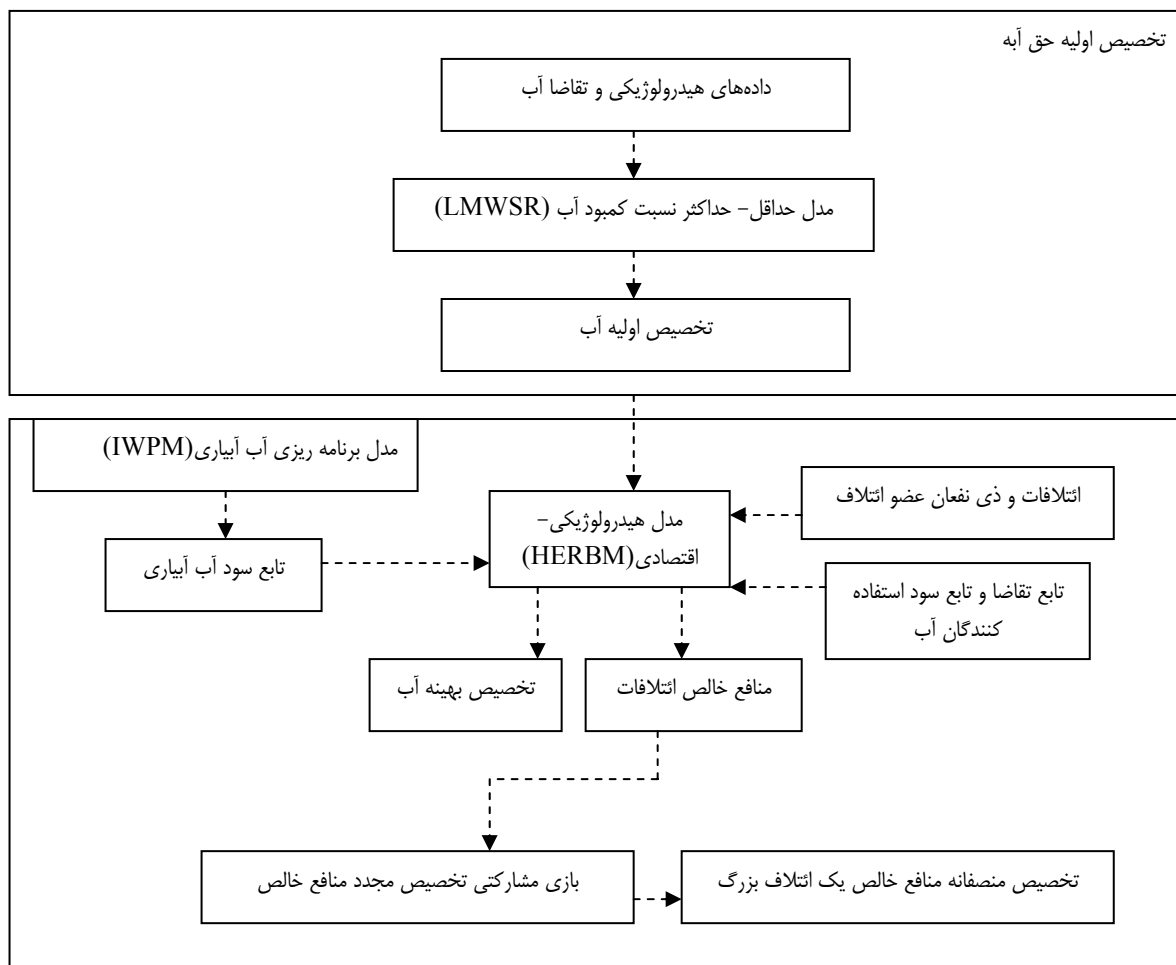
از مدل لکسیکوگرافیکی حداقل - حداکثر نسبت کمبود آب (LMWSR) آب بین مصرف کنندگان تخصیص داده می شود. مرحله دوم، سه زیر مدل را در بر می گیرد: مدل برنامه ریزی آب آبیاری<sup>۴</sup> (IWPM)، از این مدل برای بدست آوردن تابع سود آب آبیاری استفاده می شود. مدل هیدرولوژیکی - اقتصادی حوزه رودخانه<sup>۵</sup> (HERBM)، که ابزاری برای یافتن تخصیص بهینه آب و منافع خالص اثتلافات گوناگونی از شرکاء می باشد. سومین زیر مدل، بازی تخصیص مجدد مشارکتی<sup>۶</sup> (CRG) می باشد که از روشهای تئوریک بازی مشارکتی برای تخصیص منصفانه منافع خالص اثتلافات گوناگون می باشد (Wang et al., 2006). چارچوب کلی مدل در شکل ۱ نشان داده شده است.

مدل لکسیکوگرافیکی حداقل - حداکثر نسبت کمبود آب، تکنیکی برای تخصیص آب تحت شرایطی که آب کالای عمومی است، می باشد. در این روش آب طوری تخصیص داده می شود که نسبت کمبود برای مصرف کننده حداقل شود بدون اینکه نسبت کمبود برای دیگر مصرف کنندگان افزایش یابد. در این تقسیم کار، آب می تواند در قالب یک مسئله تخصیص حداقل-حداکثر چند دوره ای منابع فرموله شود (Xu et al. 1996).

بنابراین مدل لکسیکوگرافیکی حداقل-حداکثر به صورت زیر فرموله می شود:

$$Lex \min [f_{jt}(X)] \quad (1)$$

در اینجا،  $f_{jt}(X) = \omega(j, t).R(j, t)$  تابع کارائی از مصرف کننده  $j$  در دوره  $t$  می باشد.  $\omega(j, t)$  وزن متناظر با نسبت کمبود آب می باشد. در این مدل این وزنها به این صورت تعیین می شوند، تقاضاکننده ای که بالاترین مطلوبیت اجتماعی و یا کمترین تحمل برای کمبود آب را دارد بیشترین وزن به آن تعلق می گیرد، و یا وزنی برابر، به همه تقاضاکنندگان تعلق می گیرد. در واقع تابع هدف نسبت تفاوت بین آنچه که مورد تقاضا هست و آنچه که به آن تخصیص می یابد را حداقل می کند. (Wang et al., 2006) همچنین  $R(j, t)$  برابر است با:



شکل ۱- چارچوب مفهومی مدل مورد استفاده

$$S_{\min}(k) \leq S(k) \leq S_{\max}(k), \quad \forall k \in RES \quad (8)$$

محدودیت (۸) نشان می‌دهد حجم آبی که به مخازن تعلق می‌گیرد باید بین حداقل و حداکثر مقدار آن باشد

$$Q_{\min}(k_1, k) \leq Q(k_1, k) \leq Q_{\max}(k_1, k), \quad \forall (k_1, k) \in L \quad (9)$$

محدودیت (۹) نشان می‌دهد جریان انتقال آب از یک گره به گره دیگر باید متناسب با ظرفیت انتقال آب باشد که انتقال آب می‌تواند از طریق لوله یا از طریق کانال‌های آبرسانی باشد.

$$\sum_{(k_1, j) \in L} (1 - e_L(k_1, j, t)) Q(k_1, j, t) \leq Q_D(j, t) \quad (10)$$

$$\forall j \in AGR \cup MI$$

که در اینجا  $Q_D(j, t)$  مقدار آب مورد تقاضا برای گره  $j$  در دوره  $t$  می‌باشد. محدودیت (۱۰) نشان می‌دهد مجموع آبی که از شاخه‌های مختلف وارد گره  $j$  می‌شود نباید بیشتر از مقدار آب مورد تقاضایش

$$RV_t = WS_{t-1} + Div_t - Leak_t \quad (4)$$

$$RS_t = a + bRV_t + c(RV_t)^2 \quad (5)$$

$$E_t = RS_t e_t \quad (6)$$

$$Leak_t = l(WS_{t-1} + Div_t) \quad (7)$$

که در اینجا  $RV_t$  حجم آب در مخازن (میلیون متر مکعب)،  $RS_t$  مساحت مخازن (کیلومتر مربع)،  $E_t$  تبخیر از مخازن (میلیون متر مکعب)،  $e_t$  ضریب تبخیر،  $l$  ضریب نفوذ،  $Leak$  نفوذ آب به زمین،  $WS$  ذخیره آب،  $Div$  آب ورودی به مخازن،  $Rv$  حجم آب ذخیره شده،  $e$  ضریب تبخیر،  $E$  تبخیر و  $RS$  سطح هستند.

علاوه بر رابطه‌های تعادلی آب برخی از محدودیت‌های ظرفیتی نیز برای گره‌های ذخیره‌ای و شاخه‌ها وجود دارد

باشد.  $e_L(k_1, j, t)$  ضریب آبکاهی می‌باشد.  $MI$  و  $AGR$  به ترتیب گره‌های تقاضای آب کشاورزی و شهری (آب شرب) می‌باشند.

## ۲-۲- تخصیص مجدد آب و منافع خالص

مرحله دوم از مدل‌های CWAM شامل سه مدل فرعی، الگوی برنامه ریزی آب آبیاری (IWPM)، مدل هیدرولوژیکی - اقتصادی (HERBM) حوضه رودخانه و بازی مشارکتی برای تخصیص منافع خالص از یک ائتلاف معین (CRG) می‌باشد.

## ۳-۲- مدل‌های جامع هیدرولوژیکی - اقتصادی حوزه آبریز

مهمترین مسئله مدل‌سازی هیدرولوژیکی - اقتصادی برای مدیریت منابع آب این است که چگونه تابع سود مصرف کنندگان آب را تخمین و اجزای اقتصادی و هیدرولوژیکی را یکی کرد. در مدل‌های CWAM از توابع تقاضای آب با کشش قیمتی ثابت برای بدست آوردن تابع سود مصرف کنندگان شرب و کشاورزی استفاده شده است. تابع سود خالص اغلب از توابع تجربی تقاضای آب مشتق می‌شود که با استفاده از روشهای اقتصاد سنجی بدست می‌آید. (Dinar and Letey 1996 and Savenije and Van der Zaag 2000).

در مدل هیدرولوژیکی - اقتصادی هدف، حداکثر کردن سود خالص استفاده کنندگان آب در حوزه آبریز می‌باشد. سود خالص هر گره تقاضا، از تفاوت بین سود کل جریان آب در گره تقاضا و هزینه عرضه آب به همان گره تقاضا بدست می‌آید (Wang et al. 2007). برای بدست آوردن سود ناخالص هر یک از گره‌ها از تابع تقاضا استفاده می‌شود بدین صورت که ناحیه زیر منحنی تقاضا برابر با سود ناخالص می‌باشد. بنابراین تابع تقاضا برای یک گره تقاضای شهری تابعی از قیمت آب می‌باشد که با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲) به دست می‌آید:

$$Q(j, t) = \alpha(j, t)P(j, t)^{\beta(j, t)} \quad (11)$$

$$Q(j, t) = \sum_{(k, j) \in L} Q(k, j, t)(1 - e_L(k, j, t)) \quad (12)$$

که در این رابطه  $Q(j, t)$  کل جریان ورودی به گره تقاضا  $z$  در طول دوره  $t$ ، مقدار آب ورودی از شاخه  $(k, j)$  به گره  $z$  در دوره  $t$ ،  $e_L(k, j, t)$  ضریب کاهش آب برای شاخه  $(k, j)$  در دوره  $t$ ،  $P(j, t)$  متوسط قیمت آب در دوره  $t$ ، پارامتر تابع تقاضا با کشش ثابت  $(\alpha(j, t) > 0)$  و  $(\beta(j, t) < 0)$  تقاضا

با توجه به تابع تقاضای آب شرب تابع سود ناخالص را برای تقاضای آب شهری می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$B_{jt} = P_0(j, t)Q_0(j, t) + \quad (13)$$

$$\frac{(1/\alpha(j, t))^{1/\beta(j, t)}}{1 + 1/\beta(j, t)} [Q(j, t)^{(1+1/\beta(j, t))} - Q_0^{(1+1/\beta(j, t))}]$$

$$(Q(j, t) > Q_0(j, t), \beta(j, t) \neq -1)$$

$P_0(j, t)$  حداکثر قیمتی است که مصرف کننده مایل به پرداخت می‌باشد و  $Q_0(j, t)$  حداقل مقدار متناظر با آن می‌باشد. بنابراین تابع سود خالص برای کل جریان ورودی به مجموعه تقاضا شهری برابر است با:

$$NB_{jt} = B_{jt} - \sum_{(k, j) \in L} Q(k, j, t)wc(k, j, t), \forall j \in MI \quad (14)$$

$wc(k, j, t)$  هزینه عرضه یک متر مکعب آب می‌باشد. که این هزینه شامل هزینه پمپاژ، تصفیه و توزیع است.

## ۴-۲- مدل برنامه ریزی آبیاری (IWPM)

مدل برنامه ریزی آبیاری برای افق زمانی دوره کشت ۶ ماهه در سطح مزرعه طراحی شده است از این مدل برای بدست آوردن تابع تقاضای آب آبیاری استفاده می‌شود. که اجزای این مدل روابط آب - محصول و سود، بخش کشاورزی می‌باشد (Wang et al. 2006).

در این مطالعه تابع تولید که برای تخمین تابع آب - محصول استفاده شده است تابع تولید درجه دوم چند جمله‌ای می‌باشد که توسط (Dinar and Letey 1996) پیشنهاد شده و به صورت زیر می‌باشد:

$$Y_a / Y_m = f(w) = a_0 + a_1 w + a_7 w^2 \quad (15)$$

در اینجا  $Y_a$  عملکرد واقعی محصول (تن/هکتار)،  $Y_m$  حداکثر عملکرد بالقوه محصول (تن/هکتار)،  $w = \frac{WA}{ET_m}$  عبارت است از

نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به تبخیر و تعرق واقعی. تبخیر و تعرق پتانسیل عبارت است از، تبخیر از خاک و تعرق از سطح گیاه وقتی که رطوبت موجود کافی باشد، و تبخیر و تعرق واقعی نیز حاصل جمع رطوبت خاک، بارندگی موثر و آبیاری موثر در طول فصل رشد می‌باشد. (Mahan et al. 2002)

با توجه به تابع تولید، کل سود آب آبیاری در سایت تقاضا  $z$  بر مبنای تابع عملکرد آب - محصول، به صورت رابطه (۱۶) بیان می‌شود (Wang et al. 2006).

عبارت  $U(S)$  مجموع منافی که توسط اعضای ائتلاف  $S$  بدست می‌آید نشان می‌دهد. ارزش  $U(S)$  برای ائتلاف  $S$  حداکثر منافع خالص ائتلاف  $S$  بر مبنای مقدار آب تخصیص داده شده اعضای ائتلاف در طی دوره زمانی مورد بررسی می‌باشد، به طوریکه جریان آب برای دیگر اعضا که عضو ائتلاف نیستند کاهش نیابد.  $NB(S)$  (Wang et al. 2006) منافع خالص ائتلاف  $S$  می‌باشد. محدودیت اول در مدل فوق نشان می‌دهد کل آبی که به مصرف‌کنندگان در ائتلاف  $S$  داده می‌شود نباید از مجموع تخصیص اولیه آب آنها بیشتر باشد. همچنین به منظور حفظ حق آبه دیگر مصرف‌کنندگان آب که در ائتلاف  $S$  شرکت نمی‌کنند دو محدودیت بعدی به صورتی که در معادله بالا دیده می‌شود، آورده شده است. در اینجا نیز  $Q_R(k, j, t), S_R(j, t)$  تخصیص اولیه آب را در مخزن  $j$  و گره  $z$  را نشان می‌دهد (Wang et al. 2006). در یک بازی مشارکتی که بازیکنان عقلانی رفتار می‌کنند و در تشکیل یک نوع ائتلاف موافق باشند برای محاسبه سود هر یک از بازیکنان در یک ائتلاف از مفهوم ارزش شاپلی استفاده می‌شود.

با استفاده از رابطه (۱۹) بر مبنای مفهوم ارزش شاپلی مقدار سود

$$x_i = \sum_{\substack{S \subseteq N \\ i \in S}} \frac{(|S|-1)(|N|-|S|)}{|N|} [v(S) - v(S - \{i\})], (i \in N) \quad (19)$$

در این رابطه  $|S|$  و  $|N|$  به ترتیب اعداد اصلی از اعضای ائتلاف  $S$  و  $N$  می‌باشند. برای پیدا کردن ارزش شاپلی<sup>۷</sup> باید ائتلافاتی که شرکت‌کننده  $i$  را در بر می‌گیرد لیست کرده و ارزش  $i$  امین شرکت‌کننده در ائتلاف را محاسبه و در رابطه  $\frac{(|S|-1)(|N|-|S|)}{|N|}$  ضرب کرده و مجموع آن را بدست آورد (Wang et al. 2006).

## ۲-۶- ویژگیهای منطقه مورد مطالعه (سیستان)

دشت سیستان به لحاظ زمین‌شناسی، دشتی آبرفتی با شیب بسیار ملایم است.

$$v(S) = \max NB(S) = \max \left( \sum_{i \in S} \sum_{j \in U_s} \sum_{t \in T} NB_{ijt} \right)$$

subjecto

$$\sum_{(k,j) \in L} Q(k, j, t) \leq \sum_{(k,j) \in L} Q_R(k, j, t), \forall j \in AGR \cup MI, \text{ and } j \in U_s$$

$$Q(k, j, t) \geq Q_R(k, j, t), \forall j \in U \setminus RES, \text{ and } j \notin U_s$$

$$S(j, t) \geq S_R(j, t), \forall j \in RES, \text{ and } j \notin U_s$$

$$\tilde{B}_j = \sum pcp_{j,cp} Ya_{j,cp} . AF_{j,cp} - \sum vc_{j,cp} . AF_{j,cp} \quad (16)$$

$pcp_{j,cp}$  قیمت محصول،  $AF_{j,cp}$  سطح زیر کشت،  $vc_{j,cp}$  هزینه متغیر تولید محصول را در بر می‌گیرد. برای بدست آوردن تابع تقاضای آب آبیاری سود از طریق بهینه سازی سود را حداکثر کرده، بنابراین تابع هدف را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\max \tilde{\beta}_j \quad (17)$$

$$s.t : \sum_{cp} AF_{j,cp} \leq A_j$$

$$AF_{j,cp}^l \leq AF_{j,cp} \leq AF_{j,cp}^u$$

$$\sum_{cp} EI_{j,cp} . AF_{j,cp} \leq Q$$

در اینجا  $A_j$  کل سطح زیر کشت (هکتار) در منطقه  $j$ ،  $AF_{j,cp}^l$  و  $AF_{j,cp}^u$  حد بالا و پایین سطح زیر کشت محصول (هکتار)،  $EI_{j,cp}$  مقدار آب آبیاری موثر که در طول فصل رشد مورد نیاز است (متر مکعب-هکتار) و  $Q$  مقدار کل آب آبیاری موثر موجود در منطقه  $j$  می‌باشد. لذا تابع تقاضای آب آبیاری با استفاده از حل مدل برای سطوح مختلف آب آبیاری موثر موجود در فصل رشد و قیمت سایه‌ای متناظر با آن تخمین زده می‌شود.

## ۲-۵- تخصیص مجدد آب و منافع خالص

مجموعه‌ای از شرکاء و یا بازیکنان که برای بدست آوردن آب در یک حوزه آبریز رقابت می‌کنند با  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  نشان داده می‌شود.

به یک گروه از شرکاء که وارد یک تعاونی می‌شوند و با یکدیگر کار می‌کنند یک ائتلاف نامیده می‌شود و به  $N$  یک ائتلاف بزرگ می‌گویند که در بر گیرنده همه شرکاء است. بنابراین ساختار یک ائتلاف را برای  $n$  شریک به صورت  $\{S_1, S_2, \dots, S_m\}$  نشان داده می‌شود.

جهت تخصیص مجدد آب و منافع خالص از رابطه (۱۸) استفاده می‌شود:

$$(18)$$

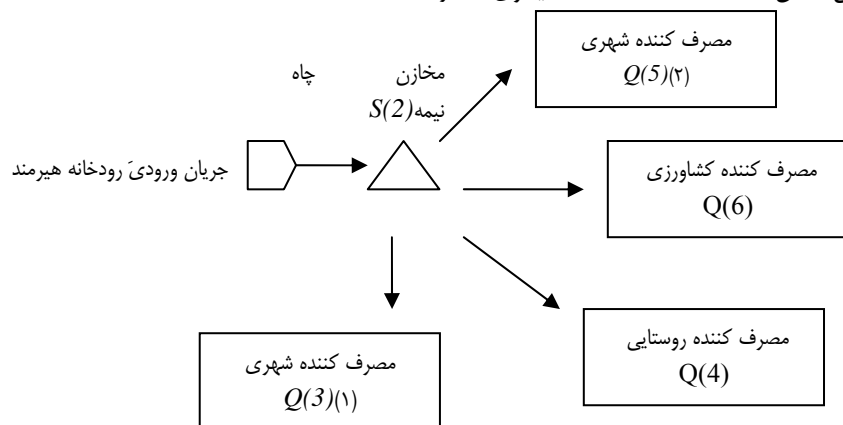
آب چاه نیمه می‌شود مصارف کشاورزی می‌باشد که اراضی بخش پشت آب و شیب آب شهرستان زابل که در حدود ۴۶ هزار هکتار می‌باشد از طریق آب چاه نیمه آبیاری می‌شوند. شکل (۲) تصویری شماتیکی از شبکه آبیگر چاه نیمه در سیستم را نشان می‌دهد. گره‌های تقاضا در مدل عبارتند از گره اول که با شماره ۱ مشخص می‌شود جریان ورودی رودخانه هیرمند به مخازن چاه نیمه می‌باشد. گره ۲ مخازن چاه نیمه، گره ۳ آب شرب زابل، گره ۴ آب شرب روستاها، گره ۵ آب شرب زاهدان و گره ۶ مصارف کشاورزی می‌باشد.

### ۳- بحث و نتایج

در مدل لکسیکوگرافیکی ابتدا آب به مصرف کننده مهمتر و بعد از اینکه نیاز آن بر طرف شد به مصرف کننده بعدی تخصیص و نیاز آبی مصرف کننده اول به صورت یک محدودیت وارد مدل شد به همین ترتیب آب به همه مصرف کنندگان تخصیص داده می‌شود. ترتیب اهمیت مصرف کنندگان آب مخازن چاه نیمه براساس سیاستهای مدیران دولتی به ترتیب آب شرب زابل، آب شرب روستاها، آب شرب زاهدان و کشاورزی می‌باشد. فاکتور وزنی در این مطالعه برای همه تقاضاکنندگان برابر و مساوی یک در نظر گرفته شد. ضریب آبکاهی و یا تلفات آب در مطالعه شامل تبخیر و نفوذ آب می‌باشد که ضریب تبخیر و نفوذ در منطقه به ترتیب ۰/۷ و ۰/۰۸۳ است (Kekah et al. 2004) برای کانالهای آبرسانی برای مصرف شرب چون کانالها به صورت لوله می‌باشد ضریب نفوذ و تبخیر صفر در نظر گرفته شد. با توجه به مطالب گفته شده مقدار آب تخصیصی به هر بخش با استفاده از مدل LMWSR تخمین زده شد که نتایج آن به صورت نسبت آب عرضه شده به آب مورد تقاضا در جدول ۱ آورده شده است. چنانچه این نسبت برابر با یک باشد یعنی همه نیاز گره تقاضا برطرف شده است.

پست‌ترین نقطه آن آبیگر گودزره با ۴۷۰ متر ارتفاع از سطح دریاست. متوسط بارندگی آن در سال ۵۸ میلیمتر و میزان تبخیر منطقه حدود ۴۰۰۰ الی ۵۰۰۰ میلیمتر می‌باشد. منطقه سیستم جزئی از حوضه آبریز رودخانه هیرمند به شمار می‌رود. این حوزه در بخش میانی مرزهای شرقی ایران و در مجاورت کشورهای افغانستان و پاکستان قرار گرفته است. در داخل این حوزه، کلیه رودخانه‌ها به سمت هامون پوزک، ساپوری و هیرمند جریان یافته و سپس به شوره زار گودزره در خاک افغانستان تخلیه می‌شوند. رودخانه هیرمند منبع اصلی تأمین آب آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی سیستم است و لذا حیات سیستم وابسته به این رود می‌باشد. تأسیسات آبی عمده این رودخانه در خارج از کشور شامل سد کجکی و سد ارغنداب است. از تأسیسات مهم این دو رودخانه در کشور می‌توان سه مخزن چاه نیمه را ذکر کرد که در نزدیکی روستایی به همین نام ساخته شده است. این مخازن به وسیله دیواره‌ای مصنوعی به نام سد چاه نیمه احاطه شده اند. سد مزبور از نوع خاکی است. ظرفیت سه مخزن چاه نیمه در حدود ۶۶۰ میلیون متر مکعب می‌باشد. کانال آبرسانی به این مخازن با ظرفیت ۱۶۰ متر مکعب در ثانیه و به طول ۴ کیلومتر و شیب ۱/۸۰۰۰ از دهنه ورودی رودخانه سیستم در مرز ایران و افغانستان تا مخزن اصلی چاه نیمه امتداد دارد.

حوزه آبریز مورد بررسی در این مطالعه مخازن چاه نیمه واقع در منطقه سیستم می‌باشد. جریان ورودی به داخل مخازن چاه نیمه آب رودخانه هیرمند می‌باشد که از کشور افغانستان سرچشمه می‌گیرد. مصرف کنندگان آب چاه نیمه در منطقه سیستم شامل مصرف کنندگان آب شرب شهرستان زابل، روستاهای سیستم، آب شرب شهرستان زاهدان و مصارف کشاورزی می‌باشد. آب شرب ۱۰۰ درصد ساکنین روستاها و شهر زابل و همچنین ۶۰ درصد از ساکنین شهرستان زاهدان از آب چاه نیمه تأمین می‌شود که از سال ۱۳۸۴ آب چاه نیمه به زاهدان انتقال داده شده است. استفاده دیگری که از



شکل ۲- تصویر شماتیک از حوزه آبریز چاه نیمه

جدول ۱- نسبت رضامندی عرضه به تقاضا بر مبنای روش LMWSR

ماه	شرب زابل	شرب روستاها	شرب زاهدان	کشاورزی	مخازن
مهر	۰/۹۹	۰/۹۴	۱	-	۰/۴۵
آبان	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۷۲
آذر	۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۷۰
دی	۱	۱	۱	۰/۸۰	۰/۵۲
بهمن	۰/۹۷	۱	۱	۰/۵۹	۰/۵۹
اسفند	۱	۱	۰/۹۹	۰/۴۹	۰/۵۳
فروردین	۱	۰/۹۲	۰/۹۶	۱	۰/۵۳
اردیبهشت	۱	۰/۹۹	۰/۹۴	-	۰/۹۹
خرداد	۱	۰/۹۹	۱	-	۰/۹۶
تیر	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۹۹	-	۰/۹۰
مرداد	۰/۹۷	۱	۰/۹۰	-	۰/۸۵
شهریور	۰/۹۵	۰/۹۸	۱	-	۰/۷۹

محصولاتی که در این مطالعه برای مدل برنامه ریزی آب آبیاری در نظر گرفته شده است دو محصول گندم و جو می‌باشد. به دلیل اینکه مدل بزرگ نشود محصولاتی انتخاب شده که بیشترین سطح زیر کشت و اهمیت را در منطقه داشتند. بنابراین در منطقه پشت آب و شیب آب دو محصول گندم و جو بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده اند و مردم این منطقه بیشتر به کشت این دو محصول می‌پردازند.

تابع آب- محصول برای دو محصول گندم و جو بر مبنای رابطه (۱۵) به صورت زیر بدست آمد:

$$Ya / Ym = -0.97 + 0.16W - 0.067W^2 \quad (۲۳)$$

$$Ya / Ym = -0.6 + 0.1W - 0.0037W^2$$

پس از بدست آوردن تابع آب- محصول برای محصولات می‌توان سود را برای بخش کشاورزی با استفاده از رابطه (۱۶) بدست آورد. بعد از تخمین تابع سود، تابع تقاضای آب آبیاری برای بخش کشاورزی را با استفاده از قیمت‌های سایه‌ای که از تابع سود بدست می‌آید تخمین زد. برای این منظور سمت راست محدودیت منابع آب را تغییر و به ازای هر تغییر در محدودیت منابع آب یک قیمت سایه‌ای بدست می‌آید.

$$NB_{jt} = 3910201320 - 9.3 \times 10^{31} Q(k_1, j, t)^{-4} - 3300Q(k_1, j, t) \quad (۲۰)$$

$$NB_{jt} = 7087521243 - 6.8 \times 10^{32} Q(k_1, j, t)^{-4} - 3500 Q(k_1, j, t) \quad (۲۱)$$

$$NB_{jt} = 4750906305 - 9.3 \times 10^{31} Q(k_1, j, t)^{-4} - 3200Q(k_1, j, t) \quad (۲۲)$$

برای بخش شرب این نسبت بین ۰/۸۹ و ۱ متغیر است و در اکثر ماهها این نسبت برابر با یک است و بیانگر آن است که نیاز آب شرب در این ماهها به طور کامل تامین شده است. بخش شرب نسبت رضایتمندی بالاتری نسبت به بخش کشاورزی دارد. با توجه به نیاز آبی هر بخش در مجموع ۱۲ ماه بیشترین آب به بخش کشاورزی و کمترین به شرب زابل تخصیص یافته است. حدود ۶۰ درصد از آب مخازن به ترتیب به بخش کشاورزی و ۸ درصد بخش شرب تعلق گرفته است.

برای بدست آوردن توابع سود خالص بر مبنای رابطه (۱۴) برای هر یک از گره‌های تقاضا، ابتدا توابع تقاضا بر اساس روابط (۱۱) و (۱۲) برای یک دوره ۴۸ ماهه (۱۳۸۴-۱۳۸۷) تخمین زده شد سپس توابع سود ناخالص با استفاده از رابطه (۱۳) بدست آمد که در این رابطه  $P_0 = 4000$  ریال در نظر گرفته شد که حداکثر قیمتی است که در طی دوره مورد بررسی برای آب پرداخت شده است. بعد از تخمین سود ناخالص با کسر هزینه‌های عرضه آب که به ترتیب ۳۳۰۰ ریال برای شرب زابل، ۳۵۰۰ ریال شرب زاهدان و ۳۲۰۰ ریال شرب روستاها به ازای هر متر مکعب می‌باشد سود خالص به صورت زیر برای هر یک از گره‌های تقاضا بدست آمد:



با استفاده از همین روش ۳۰ جفت قیمت سایه‌ای و مقدار تقاضای آب تخمین و تابع تقاضا آب آبیاری با استفاده از روشهای اقتصادسنجی برآورد شد. که به صورت زیر می‌باشد.

$$Q = 1.45 \times 10^{11} P^{-1.10} \quad (24)$$

برای بدست آوردن سود حاصل از آبی که به بخش کشاورزی داده می‌شود مانند توابع سود بخش شرب عمل شد و مساحت زیر منحنی تقاضا به عنوان سودی که از بخش کشاورزی بدست می‌آید در نظر گرفته شد. هزینه‌های عرضه آب هم شامل هزینه‌های لایروبی انهار و کانالها و همچنین هزینه‌های تعمیر و نگهداری در سال ۱۳۸۴ در نظر گرفته شد که برابر با ۶۰۰۰ ریال به ازای هر متر مکعب بدست آمد. (شرکت آب منطقه‌ای شهرستان زابل ۱۳۸۷).

$$NB = 1.1 * 10^{11} Q(k_1, j, t) - 2.44 * 10^{11} - 6000Q(k_1 jt) \quad (25)$$

با داشتن توابع سود هر یک از گره‌های تقاضا بر مبنای مدل HERBM می‌توان به تخصیص بهینه آب دست یافت. جدول ۲ مقایسه بین مقدار آب تخصیصی به هر گره تقاضا را بر مبنای تخصیص اولیه و تخصیص بهینه نشان می‌دهد.

نتایج مقایسه بین تخصیص اولیه و تخصیص بهینه نشان می‌دهد که آب تخصیصی در ماه مهر بر مبنای تخصیص بهینه برای شرب زابل و زاهدان به ۰/۵۸۹ و ۱/۲۶ میلیون متر مکعب نسبت به تخصیص اولیه افزایش و برای شرب روستاها به ۱/۴۷ میلیون متر مکعب کاهش یافته است. که درصد تغییرات برای آنها به ترتیب ۰/۱۷، ۰/۰۸ و ۰/۰۷- درصد می‌باشد. همچنین در ماه آبان میزان آب تخصیصی به شرب زابل تغییری نکرده، شرب زاهدان کاهش و شرب روستا و کشاورزی افزایش یافته است. در کل برای شرب زابل تغییرات آب تخصیص داده شده در دو حالت اولیه و بهینه اندک بوده و برای بسیاری از ماهها میزان تغییرات صفر ولی در بخش کشاورزی میزان تغییرات بیشتر و در همه ماهها افزایش و یا کاهش آب تخصیص داده شده مشاهده می‌شود. با استفاده از توابع سود هر گره تقاضا و مقدار آب تخصیص به هر گره در دو حالت اولیه و بهینه می‌توان سود در هر گره تقاضا را بدست آورد.

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد با انتقال آب بین مصرف کنندگان آب شرب مقدار سود کل افزایش می‌یابد. به طوریکه برای بخش شرب زابل سود به میزان ۱۰۵۵، در بخش شرب زاهدان ۲۹۲۵ و برای شرب روستاها ۸۴ میلیون ریال افزایش یافته است. ولی در بخش کشاورزی انتقال آب باعث کاهش سود به میزان ۳۹۹ میلیون ریال

شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد میزان کل آب تخصیصی برای هر چهار بخش افزایش یافته است.

سومین مدل از مدل‌های مرحله دوم مدل CWAM، بازی مشارکتی برای تخصیص منافع خالص از یک ائتلاف معین (CRG) می‌باشد.

در مدل CRG چهار شریک به عنوان بازیکن (شرب زابل، شرب روستاها، شرب زاهدان، کشاورزی) در نظر گرفته شد که منجر به تشکیل ۱۵ ائتلاف غیر تهی می‌شود. وقتی که شرکاء در ائتلافات متفاوتی شرکت می‌کنند میزان آبی که به آنها تخصیص می‌یابد و سودی که تعلق می‌گیرد متفاوت می‌باشد. در جدول ۴ سود خالص در دو حالت تخصیص اولیه و تشکیل ائتلاف برای ماه دی آورده شده است. (برای کاهش حجم مطالعه از آوردن دیگر ماهها خودداری شده است)

همانگونه که نتایج جداول ۴ نشان می‌دهد شرکت شرکاء در ائتلافات با سود و زیان همراه بوده است. به عنوان مثال اگر شرب زابل و زاهدان با هم یک ائتلاف تشکیل دهند به طوریکه آب بین آنها مبادله شود سود کل به میزان ۴ میلیون ریال نسبت به حالتی که ائتلاف تشکیل نمی‌دهند کاهش می‌یابد اما اگر در همین ماه شرب زاهدان و کشاورزی با هم ائتلاف تشکیل دهند و آب بین آنها مبادله شود سود به میزان ۱۳ میلیون ریال نسبت به حالت قبل از تشکیل ائتلاف افزایش می‌یابد.

برای بدست آوردن سهم هر یک از شرکاء از سودی که تحت تشکیل یک ائتلاف بدست می‌آید از مفهوم ارزش شاپلی استفاده شده که در جدول ۵ سهم هر یک از شرکاء شرکت‌کننده در ائتلاف بزرگ (شامل شرب زابل، زاهدان، روستا و کشاورزی) در ماه دی، آورده شده است. با مشخص شدن سهم هر یک از شرکت‌کنندگان در ائتلاف بزرگ و تخصیص مجدد سود بین آنها، پرداختهای جانبی که هر یک از شرکاء به دیگر شرکاء داشتند و همچنین منافع افزوده آنها حاصل از شرکت در ائتلاف بزرگ نیز در همان جدول ذکر شده است. برای شرکت‌کننده امناعی که از شرکت در ائتلاف بزرگ بدست می‌آورد برابر با  $v(\{i\}) - x(i) = e(\{i\}, x)$  است. پرداختهای جانبی به دیگر شرکت‌کنندگان عبارت است از تفاوت ارزشی که با شرکت در ائتلاف بدست می‌آید و ارزشی که به آن تخصیص داده می‌شود که برابر با  $NB_i - x(i)$  می‌باشد. پرداخت جانبی منفی به معنای دریافت از دیگر شرکت‌کنندگان می‌باشد.

جدول ۲- مقدار آب تخصیصی به مصرف کنندگان آب (میلیون متر مکعب)

کشاورزی	شرب روستا	شرب زاهدان	شرب زابل		
-	۱/۴۷۱	۱/۲۵۹	۰/۵۸۸	تخصیص اولیه	مهر
-	۱/۴۷۰	۱/۲۶۰	۰/۵۸۹	تخصیص بهینه	
-	-۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۷	درصد تغییرات	
۱۹/۷	۱/۲۵	۱/۰۵۴	۰/۷۲	تخصیص اولیه	آبان
۱۹/۸	۱/۲۶	۱/۰۵۰	۰/۷۲	تخصیص بهینه	
۰/۵	۰/۸	-۰/۳۹	۰	درصد تغییرات	
۲۱/۱	۰/۹۹	۱/۰۶	۰/۵۹	تخصیص اولیه	آذر
۲۱/۲	۰/۹۹	۱/۰۷	۰/۵۹	تخصیص بهینه	
۰/۵	۰	۰/۹۳	۰	درصد تغییرات	
۶۶/۲۴۰	۰/۹۳	۱/۰۲	۰/۹۲	تخصیص اولیه	دی
۶۶/۲۰۰	۰/۹۳	۱/۰۳	۰/۹۲	تخصیص بهینه	
-۰/۰۶	۰	۰/۹۷	۰	درصد تغییرات	
۷۷/۷	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۴۶	تخصیص اولیه	بهمن
۷۷/۸	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۴۶	تخصیص بهینه	
۰/۱۲	۰	۰	۰	درصد تغییرات	
۷۷/۷	۱/۳	۱/۰۷	۰/۸۵	تخصیص اولیه	اسفند
۷۷/۸	۱/۲	۱/۰۸	۰/۸۵	تخصیص بهینه	
۰/۱۳	-۰/۳۵	۰/۹۳	۰	درصد تغییرات	
۴۹/۶	۱/۰۶۴	۰/۶۵	۰/۴۲	تخصیص اولیه	فروردین
۴۹/۷	۱/۰۶۰	۰/۶۵	۰/۴۲	تخصیص بهینه	
۰/۲	-۰/۳۷	۰	۰	درصد تغییرات	
-	۱/۲۵	۰/۷۴	۱/۰۱۴	تخصیص اولیه	اردیبهشت
-	۱/۲۶	۰/۷۴	۱/۰۱۰	تخصیص بهینه	
-	۰/۷۹	۰	-۰/۳۹	درصد تغییرات	
-	۱/۴۵	۰/۹۵	۰/۵۴	تخصیص اولیه	خرداد
-	۱/۴۵	۰/۹۵	۰/۵۴	تخصیص بهینه	
-	۰	۰	۰	درصد تغییرات	
	۱/۶۰	۱/۳۹۱	۰/۸۷۷	تخصیص اولیه	تیر
	۱/۶۱	۱/۳۹۰	۰/۸۷۸	تخصیص بهینه	
	۰/۰۸۸	-۰/۱۴	۰/۰۵	درصد تغییرات	
	۱/۷۲۱	۱/۱۶	۰/۶۲	تخصیص اولیه	مرداد
	۱/۷۲۰	۱/۱۷	۰/۶۲	تخصیص بهینه	
	-۰/۰۶	۰/۸۵	۰	درصد تغییرات	
	۱/۷۲۲	۱/۲۷۱	۱/۰۷	تخصیص اولیه	شهریور
	۱/۷۲۰	۱/۲۷۰	۱/۰۸	تخصیص بهینه	
	-۰/۱۱	-۰/۰۸	۰/۹۲	درصد تغییرات	

**جدول ۳- آب تخصیصی و سود کل در حالت تخصیص اولیه آب و تخصیص بهینه (میلیون متر مکعب، میلیون ریال)**

کشاورزی	شرب روستا	شرب زاهدان	شرب زابل	تخصیص اولیه	مقدار کل آب تخصیصی
۳۱۲/۴	۱۴/۳	۱۱/۷	۸/۲	تخصیص بهینه	
۳۱۲/۵	۱۵/۷	۱۲/۶	۸/۷	درصد تغییرات	
۰/۰۲۷	۱۰/۱۵	۸/۱۷	۶/۶۷	تخصیص اولیه	سود کل
۵۱۲۸۹۴	۵۹۳۶	۲۷۱۵۲	۸۰۱۹	تخصیص بهینه	
۵۱۲۴۹۱	۶۰۲۰	۳۰۰۷۷	۹۰۷۴	درصد تغییرات	
-۰/۰۷	۱/۴۱	۱۰/۷۷	۱۳/۱۶		

**جدول ۴- منافع خالص ائتلافات مختلف در ماه دی (میلیون ریال)**

دی			
افزایش	ائتلاف	تخصیص اولیه	شرب زابل
۰	۱۱۸۷	۱۱۸۷	شرب زاهدان
۰	۲۸۴۷	۲۸۴۷	شرب زابل و زاهدان
-۱	۴۰۳۳	۴۰۳۴	شرب روستاها
۰	۶۹۶	۶۹۶	شرب زابل و روستاها
-۱۵	۱۸۶۸	۱۸۸۳	شرب زاهدان و روستاها
-۹	۲۵۳۴	۲۵۴۳	کشاورزی
۰	۲۲۷۵۱۹	۲۲۷۵۱۹	شرب زابل و کشاورزی
-۳۷/۸	۲۲۸۶۶۸	۲۲۸۷۰۶	شرب زاهدان و کشاورزی
-۳۲	۲۳۰۳۳۴	۲۳۰۳۶۶	شرب روستاها و کشاورزی
-۵۲	۲۲۸۱۶۳	۲۲۸۲۱۵	شرب زابل، زاهدان و روستاها
-۹/۷	۴۷۲۰	۴۷۳۰	شرب زابل، زاهدان و کشاورزی
-۳۳	۲۳۱۵۲۱	۲۳۱۵۵۳	شرب زاهدان، روستاها و کشاورزی
۱۰۵	۲۳۱۱۶۷	۲۳۱۰۶۲	شرب زابل، روستاها و کشاورزی
-۵۲/۷	۲۲۹۳۴۹	۲۲۹۴۰۲	شرب زابل، زاهدان، روستاها و کشاورزی

**جدول ۵- سود خالص، پرداختهای جانبی و منافع اضافه شده به هر یک از شرکاء در ائتلاف بزرگ (میلیون ریال)**

منافع شرکت در ائتلاف بزرگ برای هر یک از شرکاء	پرداختهای جانبی هر یک از شرکاء تحت ائتلاف بزرگ	منافع اضافه شده به هر یک از شرکاء تحت ائتلاف بزرگ	
۱۱۴۴/۶	-۴۲/۰۵	-۲۴/۴	شرب زابل
۲۸۵۸/۴	۵/۸۴	۱۱/۴	شرب زاهدان
۶۹۵/۵	۱۴/۴۰	-۰/۵	شرب روستاها
۲۲۷۵۰۳/۵	۲۱/۹۶	-۱۵/۵	کشاورزی

**۴- نتیجه گیری**

نتایج مدل LMWSR نشان داد نسبت رضایتمندی برای آب شرب از ۰/۸۹ تا ۱ متغییر بوده و در بیشتر ماهها این نسبت برابر با یک است. برای بخش کشاورزی نیز نسبت رضایتمندی در ماه فروردین یک و برای دیگر ماهها کمتر از یک و بیشتر از ۰/۴۹ است. برای آبی که به مخازن تخصیص داده شده این نسبت برای همه ماهها کمتر از یک می باشد. نتایج حاصل از مدل HERBM تخصیص بهینه آب از لحاظ اقتصادی می باشد نتایج در مقایسه با تخصیص اولیه بر مبنای روش LMWSR نشان داد مقدار آب تخصیصی به هر گره در طی دوره مورد بررسی متفاوت بوده، به طوریکه هم

جدول ۵ منافی که به هر شرکت کننده در ائتلاف بزرگ با استفاده از مفهوم ارزش شاپلی تعلق می گیرد نشان می دهد. تخصیص مجدد سود برای یک ائتلاف بزرگ با مفهوم راه حل بازی مشارکتی (ارزش شاپلی) نشان می دهد در ماه آبان بیشترین سود متعلق به بخش کشاورزی می باشد. بنابراین بخش کشاورزی اصلی ترین شرکت کننده ائتلاف بزرگ می باشد و منافع آن از دیگر شرکاء بیشتر می باشد. در ماه آبان نیز شرب زابل در ازای تجارت آب با شرب زاهدان، روستاها و کشاورزی ۴۲ میلیون ریال پرداختهای جانبی به دیگر شرکاء داشته است و ۴۲/۴ میلیون ریال از منافع آن کم شده و منافع اضافه شده شرب زاهدان ۱۱/۴ میلیون ریال می باشد.

*Advances in Water Resources*, 30 (2007), pp. 528–542

Guldmann, J.M., Kucukmehmetoglu, M. (2004), "International Water Resources Allocation and Conflicts: The Case of the Euphrates and the Tigris." *42nd European Congress of the Regional Science Association*, August 27-31, 2002, in Dortmund, Germany

Kehkha, A., Cacho, O. and Hardaker, B. (2004), "water resource management focusing on drought mitigation in iran: the case of the sistan region." *48th Annual conference of the Australian Agricultural and Resource Economic Society*, Melbourne February 11<sup>th</sup> to 13<sup>th</sup>.

Mahan, R.C., Horbulykb, T. M. and Rowse, J. G. (2002), "Market mechanisms and the efficient allocation of surface water resources in southern Alberta." *Socio-Economic Planning Sciences*, 36, pp. 25–49.

Madani, K. (2010), "Game theory and water resources." *Journal of Hydrology*, 381, pp. 225-238

Owen, G. (1995), "Game Theory" (3rd edition) Academic Press, New York.

Savenije, H.H.G., and Van der Zaag, P. (2000), "Conceptual framework for the management of shared river basins; with special reference to the SADC and EU." *Water Policy*, 2, pp. 9-45.

Salazar, R., Szidarovszky, F., Coppola, E. and Rojano, A. (2007), "Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico," *J. Environ. Manage.*, 84, pp. 560-571.

Wang, L., Fang, L., Hipel, K.W. (2006), "Basin-wide cooperative water resources allocation: Part II. Water and net benefits reallocation," *Technical Report No. 216-SM-280806*, Department of Systems Design Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.

Wang, L., Fang, L. and Hipel, K.W. (2007), "Mathematical programming approaches for modeling water rights allocation," *J Water Resour Plan Manage.*, 133(1), pp. 50–59

Wang, L. (2005), "Cooperative water resources allocation among competing users," Ph.D. thesis, Department of Systems Design Engineering, University of Waterloo,

Xu, Z., Kawamura, A., Jinno, K. and Kito. (1996), "Decision support system for water-supply risk management." *Proc. Int. Conf. on Ind. & Eng. Appl. of Artif. Intel. & Exp. Syst. Fukuoka, Japan*, pp. 234–240

افزایش و هم کاهش را داشته‌ایم. سود و مقدار آب تخصیصی در کل دوره مورد بررسی برای آب شرب در حالت تخصیص بهینه افزایش و برای بخش کشاورزی نسبت به تخصیص اولیه کاهش یافته است. تشکیل ائتلافات گوناگون نیز نتایج متفاوتی را در بر دارد بعضی از ائتلافاتی که تشکیل شد منجر به افزایش سود در نتیجه انتقال آب شده است و تشکیل بعضی از ائتلافات نیز با کاهش سود همراه بوده است. در جریان تخصیص مجدد سود بر مبنای مفهوم ارزش شاپلی بیشترین سود متعلق به شرب زاهدان بوده و دارای بیشترین دریافت‌های جانبی از دیگر شرکاء و منافع افزوده در طول کل دوره می‌باشد و کمترین سود هم متعلق به بخش کشاورزی بوده است. نتایج این مطالعه نشان داد تخصیص آب در منطقه با استفاده از تئوری بازی کارا می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده سهم مصرف کنندگان آب شرب بعد از تخصیص آب ۸ درصد، سهم مصرف کنندگان کشاورزی ۶۰ درصد و سهم محیط زیست (آبی که به مخازن تخصیص یافته) ۳۲ درصد می‌باشد.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1-Cooperative water allocation model
- 2-Maximal multiperiod network flow
- 3- Lexicographic minimax water shortage rate
- 4- Irrigation Water planning model
- 5- Hydrologic-Economic River Basin Model
- 6- Cooperative Reallocation Game
- 7-Value Shaply

#### ۵- مراجع

شرکت سهامی آب و منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، (۱۳۸۳)، گزارش وضعیت منابع آبی استان سیستان و بلوچستان. زاهدان.

قهرمان، ب. و ع. سپاس خواه. (۱۳۸۴)، "مدیریت بهره برداری از مخازن سدها"، تحقیقات منابع آب ایران، ۱(۲): ۱-۱۵

Abrishamchi, A., Danesh-Yazdi, M., and Tajrishy, M. (2011), "Conflict resolution of water resources allocations using game theoretic approach: the case of orumieh river basin in Iran." *AWRA 2011 summer specialty conference*. Snowbird, Utah

Dinar, A., and Letey, J. (1996), "Modeling economic management and policy issues of water irrigated agriculture". Praeger Publishers.

Ganji, A., Karamouz, M. and Khalili, D. (2006), "Development of stochastic dynamic Nash game model for reservoir operation. I. The symmetric stochastic model with perfect information."