

انتخاب منطقه مناسب در تولید گندم با استفاده از مفهوم رد پای آب و روش‌های تصمیم‌گیری اجتماعی (مطالعه موردی: استان اصفهان)

محمد رضا گلابی^۱، فریدون رادمنش^{۲*}، علی محمد آخوندعلی^۳، محمدحسین نیک‌سخن^۴

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. استاد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴. دانشیار، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۳/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۰۵/۱۵)

چکیده

با بررسی هرچه دقیق‌تر رد پای آب در محصولات کشاورزی و همچنین، تغییرات آن در دوره زمانی بلندمدت می‌توان بهره‌برداری از منابع آب را مدیریت کرد. مطالعه حاضر با هدف بررسی روند سالانه رد پای آب در تولید گندم در شهرهای استان اصفهان و انتخاب مناسب‌ترین شهر این استان برای کشت گندم طی دوره آماری ۱۳۶۹-۱۳۹۵ انجام شد. به منظور بررسی امکان وجود روند در سری زمانی رد پای آب در تولید گندم از آزمون روندیابی من‌کندال و تخمین‌گر شیب سن استفاده شد. بعد از رتبه‌بندی شهرها از منظر رد پای آب و روند رد پای آب، با استفاده از قوانین انتخاب اجتماعی (SCR)، بهترین شهر برای کشت گندم در استان اصفهان مشخص شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد متوسط رد پای آب کل در تولید گندم در استان اصفهان برابر $4122/73$ (m^3/ton) بود و با توجه به آماره من‌کندال مشاهده شد که روند کاهش و افزایش وجود دارد و این روند در حالت کاهش و در حالت افزایشی برای هیچ یک از شهرهای استان معنادار نبود. با توجه به مقدار شیب سن، دامنه تغییرات این شیب نیز برای رد پای آب کل برابر 93 (m^3/ton) بود. همچنین، نتایج بیان‌کننده این موضوع بود که مقدار شاخص رد پای آب در تولید یک محصول در یک منطقه، معیار قابل قبولی برای انتخاب آن منطقه برای کشت آن محصول نیست و با بررسی روند این شاخص و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری همچون قوانین انتخاب اجتماعی، می‌توان منطقه مناسب برای کشت هر محصول را تشخیص داد و تغییر الگوی کشت را در سیاست کار خود به منظور حفظ منابع آبی و افزایش بهره‌وری محصولات قرار داد. در مطالعه حاضر از نظر رد پای آب، فریدون‌شهر به عنوان بهترین شهر برای کشت گندم در استان اصفهان انتخاب شد.

کلیدواژگان: اصفهان، تحلیل روند، تخمین‌گر شیب سن، رد پای آب، قوانین انتخاب اجتماعی، من‌کندال.

مقدمه

آب به عنوان نوعی ورودی حیاتی برای تولید غذا به منظور پشتیبانی از زندگی انسان محسوب می‌شود. امروزه، به لحاظ رشد جمعیت، نیاز به غذای بیشتر، گسترش صنعت و فعالیت‌های اقتصادی، سرانه منبع تجدیدشونده رو به کاهش است و آب به عنوان یک منبع کمیاب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تلقی می‌شود. تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به میزان یک سوم جمعیت فعلی افزایش خواهد یافت و در صورتی که روندهای کنونی رشد مصرف و درآمد ادامه پیدا کنند، طبق برآوردهای FAO، تولیدات کشاورزی باید تا سال ۲۰۵۰، تا ۶۰ درصد افزایش یابد تا امکان تأمین نیاز مورد انتظار تغذیه انسان و دام وجود داشته باشد [۱]. به این منظور، توسعه روش‌های مدیریتی کارآمد و جدید که بتوان با آن مقدار آب واقعی مصرفی را محاسبه کرد، امری لازم و ضروری است. در سال‌های اخیر با ظهور شاخص رد پای آب که نشان‌دهنده مقدار واقعی آب مصرفی براساس شرایط و اقلیم هر منطقه است، دریچه‌ای برای انجام پژوهش‌ها به منظور مدیریت نوین منابع آب با رویکرد یکپارچه باز شده است [۲]. شاخص رد پای آب برای نخستین بار توسط هواکستر در سال ۲۰۰۲ معرفی شد و در سال‌های اخیر به طور گسترده‌ای توسط متخصصان در نقاط مختلف دنیا استفاده شده است [۳]. برای مثال، محمدی و همکاران (۲۰۱۷) انتخاب بهترین استان در تولید سیب‌زمینی با استفاده از شاخص رد پای آب را بررسی کردند. پژوهشگران یادشده بیان کردند که استان‌های همدان و سمنان به ترتیب به عنوان بهترین و نامناسب‌ترین استان‌ها برای کشت سیب‌زمینی هستند [۸]. علیقلی‌نیا و همکاران (۲۰۱۶) به تخمین و ارزیابی رد پای آب محصولات عمده کشت شده در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد در بین محصولات مطالعه‌شده، گندم و یونجه بیشترین رد پای آب را داشتند [۲]. یوسفی و همکاران (۲۰۱۸) برای تعیین مطلوب‌ترین شهرستان استان تهران برای کاشت محصولات باغی و زراعی از شاخص رد پای آب استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد بیشترین کمترین میانگین رد پای آب به ترتیب مربوط به محصول گندم و سیب بوده است. همچنین، برای محصولات زراعی به‌خصوص گندم و جو، شهرستان‌های ورامین و اسلامشهر

نسبت به سایر شهرستان‌ها در اولویت‌اند، ولی برای محصولات باغی، شهرستان دماوند در اولویت است [۹].

بررسی تحقیقات یادشده بیان‌کننده نگرانی‌های بسیار جدی متخصصان منابع آب از افزایش تقاضای آب در بخش کشاورزی و اعمال تنش‌های روزافزون به منابع آب شیرین در نقاط مختلف دنیا به دلیل زیاد شدن تقاضای محصولات کشاورزی و تغییر اقلیم بوده است. افزایش میانگین دمای سطح جهان، سبب تغییر در پارامترهای آب‌وهوایی مانند بارش و تبخیر و تعرق شده است که این امر به نوبه خود رد پای آب در تولید محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۰]. برای آمادگی در برابر آثار نامطلوب این تغییرات و کاهش خسارت‌های ناشی از آن، بررسی روندها و تغییرات معمول رد پای آب در تولید محصولات کشاورزی در هر منطقه اقدامی ضروری است تا اینکه سیاست‌ها و برنامه‌های مناسبی برای توسعه و مدیریت منابع آب اتخاذ شود. بررسی روند علاوه بر مشخص کردن نوسانات طولانی‌مدت فرایندهای دخیل در این متغیر، دوره تناوب و دیگر خصوصیات آنها را مشخص می‌کند [۱۱]. به این منظور، طی سال‌های گذشته محققان روش‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری را برای بررسی روند ارائه داده‌اند. آزمون‌های پارامتری نسبت به آزمون‌های غیرپارامتری توان بیشتری در تشخیص روند دارند و هنگام استفاده از آنها باید داده‌ها تصادفی (مستقل) و دارای توزیع نرمال باشند. از طرف دیگر، آزمون‌های غیرپارامتری در صورت تصادفی بودن داده‌ها، قابل استفاده‌اند و به نرمال بودن داده‌ها حساس نیستند [۱۲-۱۴]. آزمون‌های من‌کنندال و اسپیرمن نمونه‌هایی از آزمون‌های غیرپارامتری هستند که در تحقیقات بررسی روند از آنها استفاده می‌شود.

از طرفی، با بررسی مقدار شاخص و نیز بررسی روند رد پای آب در تولید یک محصول به‌تنهایی مشخص می‌شود که کم بودن دو گزینه یادشده در بلندمدت در تولید یک محصول در یک منطقه، معیار قابل قبولی برای انتخاب آن منطقه برای کشت آن محصول نیست. بنابراین، باید این دو موضوع را با هم بررسی کرد و از این طریق، مناطق مستعد کشت یک محصول را شناخت. به این منظور، استفاده از شبیه‌های رفع اختلاف اهمیت می‌یابد. از آنجا که تصمیم‌گیرندگان به اندازه کافی اطلاعات دقیقی در مورد مناطق کشت محصولات مختلف ندارند تا بتوانند ترجیحات و اولویت‌های آن مناطق را

می‌توان به دید واقعی از منابع و مصارف آب دست یافت تا بتوان سیاست‌ها و برنامه‌های مناسبی به منظور حفظ منابع آبی و افزایش بهره‌وری محصولات اتخاذ کرد؟»

مواد و روش‌ها

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۴۴/۲۹۱ کیلومترمربع، حدود ۶/۲۵ از مساحت کشور را به خود اختصاص داده و بین طول‌های ۳۰ درجه و ۴ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. در مطالعه حاضر داده‌های ماهانه هواشناسی شامل داده‌های بارش (میلی‌متر)، کمترین و بیشترین دما (C°)، رطوبت نسبی (درصد)، ساعت‌های آفتابی (ساعت) و سرعت باد (متر بر ثانیه) در مقیاس ماهانه برای محاسبه نیاز آبی گیاه گندم توسط نرم‌افزار CropWat8.0 استفاده شد. مشخصات گیاه خاک نیز با استفاده از آمارنامه‌های سازمان جهاد کشاورزی و اطلاعات کارشناسان کشاورزی تعیین شدند. این نرم‌افزار با استفاده از معادله فائو-پنمن-مونتیث به محاسبه تبخیر و تعرق می‌پردازد. فائو-پنمن-مونتیث یکی از معادلاتی است که به صورت تئوری براساس توازن روی یک سطح پوشیده از گیاه ارائه شده و در حال حاضر، به عنوان دقیق‌ترین استانداردترین روش برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع که اساس محاسبات نیاز آبی است، به کار می‌رود [۱۹]. همچنین، به منظور محاسبه رد پای آب، داده‌های مربوط به سطح زیر کشت، تولید و عملکرد محصولات کشاورزی نیز از آمارنامه‌های سازمان جهاد کشاورزی کل کشور برای دوره ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۵ برای هر ایستگاه استفاده شد. مشخصات ایستگاه‌های مطالعه‌شده در جدول ۱ آمده است.

بررسی کنند، بنابراین تمایل دارند تا به صورت راهبردی عمل کنند. به همین دلیل، نوع دیگری از قوانین تخصیص که ضد راهبردی بودند، توسعه داده شدند [۱۵]. از شبیه‌های پرکاربرد و مؤثر در این حوزه می‌توان قوانین انتخاب اجتماعی را نام برد که اخیراً مورد توجه محققان زیادی در حوزه تخصیص و مدیریت منابع و مصارف آب قرار گرفته‌اند. برای مثال، رید و همکاران (۲۰۱۳) به منظور حل مشکل انتخاب منبع کارمایه در فیربنکس آلاسکا که شامل طیف وسیعی از ذی‌نفعان با معیارهای مختلف اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و زیست‌محیطی در تصمیم‌گیری می‌شد، از شبیه‌های انتخاب اجتماعی، چانه‌زنی بازگشتی و چندمعیاره و چند تصمیم‌گیرنده برای ارائه بهترین راه حل استفاده کردند [۱۶]. همچنین، از قوانین انتخاب اجتماعی در مباحث تجارت آب و نیز جنبه‌های اقتصادی آن به‌وفور استفاده شده است [۱۷ و ۱۸].

از آنجا که هیچ‌گونه تحقیق و پژوهشی در زمینه روندیابی رد پای آب و انتخاب مناطق مستعد کشت محصولات کشاورزی با استفاده از شبیه‌های رفع اختلاف انجام نشده است، بنابراین هدف از مطالعه حاضر ابتدا بیان کردن مقدار رد پای آب آبی، آب سبز و رد پای آب کل در ایستگاه‌های منتخب استان اصفهان برای محصول گندم و سپس بررسی روند سالانه رد پای آب در تولید گندم است و در آخر، منطقه مستعد کشت گندم از منظر اجزای رد پای آب با استفاده از قوانین انتخاب اجتماعی مشخص می‌شود. این بررسی در ارزیابی منابع آب کنونی و آینده و همچنین امنیت غذایی در استان اهمیت زیادی دارد و سؤال اساسی تحقیق حاضر این است: «آیا با استفاده از مفهوم رد پای آب و روندیابی آن در دوره مطالعه‌شده و استفاده از قوانین انتخاب اجتماعی،

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مطالعه‌شده

نام ایستگاه	نوع اقلیم ایستگاه	عرض جغرافیایی	ارتفاع	طول جغرافیایی
اردستان	خشک	۳۳/۳۸	۱۲۵۲	۵۲/۳۸
اصفهان	خشک	۳۲/۶۲	۱۵۵۰	۵۱/۶۶
خوانسار	نیمه‌خشک	۳۳/۲۳	۲۳۰۰	۵۰/۳۲
سمیرم	نیمه‌خشک	۳۱/۱۵	۲۲۷۴	۵۱/۷۰
شهرضا	خشک	۳۱/۹۸	۱۸۴۵	۵۱/۸۳
فریدن	نیمه‌خشک	۳۲/۹۶	۲۲۹۰	۵۰/۳۶
فریدون‌شهر	نیمه‌مرطوب	۳۲/۹۳	۲۴۹۰	۵۰/۱۰
کاشان	خشک	۳۳/۹۸	۹۸۲	۵۱/۴۵
نجف‌آباد	خشک	۳۲/۶۳	۱۶۴۱	۵۱/۳۷
نطنز	خشک	۳۳/۵۳	۱۶۸۴/۹	۵۱/۹۰

رد پای آب^۱

رد پای آب یک محصول تولیدکننده یا مصرف کننده به سه جزء رد پای آب سبز، آبی و خاکستری تقسیم می شود [۲۰]. رد پای آب آبی به بخشی از آب مصرفی که از منابع آب سطحی و یا زیرزمینی تأمین شده و در تولید محصول استفاده می شود، اشاره دارد. در مقابل، رد پای آب سبز به سهم آب حاصل از بارندگی مرتبط است [۲۱]. رد پای آب را می توان از راه های مختلفی نظیر افزایش بازده محصول، استفاده از سیستم های آبیاری کارآمد، کاهش تبخیر و تعرق (به طور مثال، استفاده از مالچ)، کاهش هدررفت کود، افزایش استفاده مؤثر از بارش، بهینه سازی کاشت محصول و انتخاب محصولات زراعی با عملکرد بیشتر، نیز کاهش داد [۲۲ و ۲۳]. رد پای کل آب برای محصولات زراعی در حال رشد حاصل جمع دو جزء رد پای آب آبی و رد پای آب سبز است (رابطه ۱). رد پای آب در بخش کشاورزی برحسب مترمکعب بر تن بیان می شود که معادل لیتر بر کیلوگرم است. جزء آبی و سبز رد پای آب در تولید یک محصول، از تقسیم جزء آب آبی و جزء آب سبز مصرفی گیاه به متوسط عملکرد محصول محاسبه می شود (روابط ۲ و ۳) [۲۴].

$$W.F.proc. = W.F.proc.green + W.F.proc.blue \quad (1)$$

$$W.F.proc.green = CWUgreen/Y \quad (2)$$

$$W.F.proc.blue = CWUblue/Y \quad (3)$$

که در این روابط، $W.F.proc.$: رد پای آب (m^3/ton)، $W.F.proc.green$ و $W.F.proc.blue$ به ترتیب رد پای آب سبز و آب آبی (m^3/ton)، $CWUgreen$ و $CWUblue$ به ترتیب جزء آب سبز و آب آبی گیاه (m^3/ha)، Y : عملکرد محصول (ton/ha) است.

اجزای آب سبز و آبی مصرفی گیاه (CWU)، از مجموع تبخیر و تعرق روزانه در تمام دوره رشد گیاه به صورت روابط ۴ و ۵ محاسبه می شوند:

$$CWU_{green} = 10 * \sum_{d=1}^{lgP} ET_{green} \quad (4)$$

$$CWU_{blue} = 10 * \sum_{d=1}^{lgP} ET_{blue} \quad (5)$$

که در آن ET_{green} نشان دهنده تبخیر و تعرق آب سبز و ET_{blue} نشان دهنده تبخیر و تعرق آب آبی است. عدد ۱۰ نیز به منظور تبدیل عمق آب در میلی متر به حجم آب در سطح زمین بر حسب m^3/ha به کار می رود. lgP طول دوره رشد در واحد روز را نشان می دهد. تبخیر و تعرق آب سبز یعنی تبخیر و تعرق حاصل از بارش را می توان با حداقل مقدار بین تبخیر و تعرق گیاه (ET_c) و بارش مؤثر (P_{eff}) برابر در نظر گرفت. تبخیر و تعرق آب آبی نیز مساوی تبخیر و تعرق گیاه منهای بارش مؤثر است. اما زمانی که بارش مؤثر بیش از تبخیر و تعرق گیاه باشد، مقدار آن صفر است (روابط ۶ و ۷) [۲۴].

$$ET_{green} = \min(ET_c, P_{eff}) \quad (6)$$

$$ET_{blue} = \max(0, ET_c - P_{eff}) \quad (7)$$

همچنین، شایان یادآوری است که رد پای آب آبی محصولات تولیدی به آب آبیاری مرتبط است و از طریق نیاز آبیاری در سطح زیر کشت واقعی در هر سال محاسبه می شود. نیاز آبیاری نیز با توجه به نوع محصول و بارندگی طی سال متفاوت بوده و کاملاً مبتنی بر وضعیت واقعی محصولات کشاورزی است. رد پای آب سبز نیز به بارندگی مؤثر مرتبط است [۲۰].

آزمون من-کندال^۲

آزمون ناپارامتری من-کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه شد و سپس توسط کندال (۱۹۴۸ و ۱۹۷۰) بر پایه رتبه داده ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. این روش به طور متداول و گسترده ای در تحلیل روند سری های هیدرولوژیکی و هواشناسی به کار گرفته می شود [۲۵-۲۷]. از قوت های این روش می توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری های زمانی ای که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی کنند، اشاره کرد. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری های زمانی مشاهده می شود نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است [۲۸]. در این روش آماره S برای انجام آزمون من-کندال با استفاده از رابطه ۸ محاسبه شود.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (8)$$

متفاوتی گزینه های زیادی برای انتخاب در دسترس دارند. این روش با اصول تجمع اولویت ها در مفهوم می پردازد. نظریه انتخاب اجتماعی قابل اجرا در تصمیم گیری های کمیته ای، روند رأی گیری های سیاسی و بیشتر جنبه های اقتصاد و رفاهی است. در اینجا، برخی از قوانین رایج انتخاب اجتماعی برای پیدا کردن بهترین گزینه به لحاظ اجتماعی برای انتخاب بهترین شهر استان اصفهان برای تولید گندم از منظر رد پای آب و روند رد پای آب معرفی و اعمال شده است. از جمله روش های موجود در این زمینه می توان به روش های قانون کثرت^۳ (PR)، انتخاب کندورسه^۴ (CC) و امتیازدهی بردا^۵ (BS) اشاره کرد.

قانون کثرت (PR)

قانون کثرت یکی از روش های قدیمی انتخاب اجتماعی است. قانون کثرت، انتخابی را به عنوان بهترین در نظر می گیرد که بیشترین تعداد رأی دهندگان به خود را داشته باشد. این قانون بدون توجه به مطلوبیت های کمتر، بر اولویت نخست هر یک از اهداف تمرکز می کند [۳۱].

انتخاب کندورسه (CC)

بر اساس روش کندورسه، بهترین سناریو، آن است که بر اساس حداکثر توافق مدعیان باشد. در روش یادشده گزینه ها یا سناریوهای تخصیص به صورت رقابتی با یکدیگر مقایسه می شوند، به این صورت که تمامی سناریوها یک به یک با یکدیگر رقابت می کنند و نتیجه یک رقابت یک به یک، پیروزی سناریویی است که بیشترین برد یا برتری را کسب کرده است. در نهایت، گزینه یا سناریویی به عنوان گزینه مناسب مدیریتی انتخاب می شود که بیشترین پیروزی را کسب کرده باشد [۳۱].

امتیازدهی بردا (BS)

بر اساس امتیازدهی بردا، هر تصمیم گیرنده به آامین انتخاب خود که بیشترین ارجحیت را دارد و بیشترین مطلوبیت او است، امتیاز $m-i$ را اختصاص می دهد که در آن m تعداد انتخاب هاست. به بیان دیگر، امتیاز اختصاص داده شده به وسیله تصمیم گیرنده به یک انتخاب، تعداد دفعاتی است که آن انتخاب نسبت به انتخاب های دیگر

که در آن x_j مقدار داده j ام، n تعداد داده ها و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت است که از رابطه ۹ تعیین می شود:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (9)$$

آماره S به ازای n بزرگ تر یا مساوی با ۸ توزیع نرمال دارد و میانگین و واریانس آن از روابط ۱۰ و ۱۱ به دست می آید که در آن t_i تعداد داده های یکسان در دسته i ام است.

$$E(S) = 0 \quad (10)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (11)$$

آماره آزمون من-کندال یا Z نیز از رابطه ۱۲ به دست می آید. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و نبود روند در سری داده ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده هاست.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (12)$$

تخمین گر شیب سن^۱

در آزمون من-کندال شیب خط روند سری داده ها با روش تخمین گر سن (۱۹۵۰ و ۱۹۶۸) از رابطه ناپارامتری زیر محاسبه می شود (رابطه ۱۳) [۲۹ و ۳۰]:

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right] (\forall j > i) \quad (13)$$

که در آن، β برآوردگر شیب خط روند و X_j و X_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام و j ام هستند. مقادیر مثبت (منفی) β نشان دهنده روند افزایشی (کاهشی) در سری است.

قوانین انتخاب اجتماعی^۲ (SCR)

نظریه انتخاب اجتماعی با اصول انتخاب و اولویت اساسی مربوط به زمانی است که یک گروه از افراد با سلیقه های

3. Plurality Rule-
4. Condorcet Choice
5. Borda Scoring

1. Sen's Slope Estimator
2. Social Choice Rule

مقایسه میزان آب مصرفی محصول در دو جزء یادشده بدون در نظر گرفتن میزان عملکرد محصول در واحد سطح است.

با توجه به نتایج همچنین مشاهده شد که متوسط رد پای آب کل در تولید گندم در استان برابر $(m^3/ton) 4122/73$ است و بیشترین مقدار آن مربوط به شهر سمیرم و برابر $(m^3/ton) 6868/43$ بود که ۳۴ درصد مربوط به رد پای آب آبی و ۶۶ درصد مربوط به رد پای آب سبز بود. در رتبه بعدی فریدن قرار دارد و برابر $(m^3/ton) 5570/26$ است که ۳۹ درصد مربوط به رد پای آب آبی و ۶۱ درصد مربوط به رد پای آب سبز بود. در رتبه بعد کاشان قرار دارد با مقدار $(m^3/ton) 5404/20$ که ۱۰۰ درصد مربوط به آب آبی است. زیاد بودن درصد رد پای آب آبی بیان کننده وابستگی بیشتر این محصول به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است و کشت آنها سبب استفاده بیشتر از منابع آبی در دسترس می‌شود و می‌تواند در تحلیل منابع آبی منطقه بسیار تأثیرگذار باشد. کمترین رد پای آب کل نیز مربوط به نطنز و برابر $(m^3/ton) 1647/03$ است که این نیز ۱۰۰ درصد مربوط به آب آبی است و در رتبه بعدی شهرضا قرار دارد با مقدار $(m^3/ton) 2137/90$ که برای این شهر نیز ۱۰۰ درصد مربوط به آب آبی است. با توجه به سهم رد پای آب آبی در تولید گندم در استان اصفهان و با توجه به خشکسالی‌های اخیر و کمبود منابع آبی، باید از منابع آب موجود به بهترین شکل استفاده کرد و باید کشت این محصول در مناطق مختلف بازنگری و تحلیل اقتصادی شود. در شکل ۱ نمودار مقایسه رد پای آب در تولید محصول گندم در استان اصفهان رسم شده است.

ارزیابی روند رد پای آب

طبق نتایج بررسی روند سالانه رد پای آب آبی در تولید گندم (جدول ۳) مشاهده شد که بر اساس پارامتر من-کندال در ایستگاه‌های اردستان، خوانسار، سمیرم، شهرضا، کاشان و نجف‌آباد (۶۰ درصد ایستگاه‌ها)، روند سالانه رد پای آب آبی افزایشی بود و در هیچ یک از این شهرها این روند معنادار نبود. از طرفی، در شهرهای اصفهان، فریدن، فریدون‌شهر و نطنز (۴۰ درصد ایستگاه‌ها) این روند کاهش‌ی بود و در هیچ یک از شهرهای یادشده نیز این روند کاهش‌ی، معنادار نبود. از طرفی، با توجه به شیب سن مشاهده شد که حداکثر شیب مربوط به شهر سمیرم و

ترجیح داده شده است. به ازای هر انتخاب، امتیاز اختصاص داده‌شده به وسیله هر یک از تصمیم‌گیرندگان به صورت تجمعی محاسبه می‌شود. سپس، انتخاب با بیشترین امتیاز کل به عنوان انتخاب مجموعه‌ای بردا تعریف می‌شود [۳۱].

نتایج و بحث

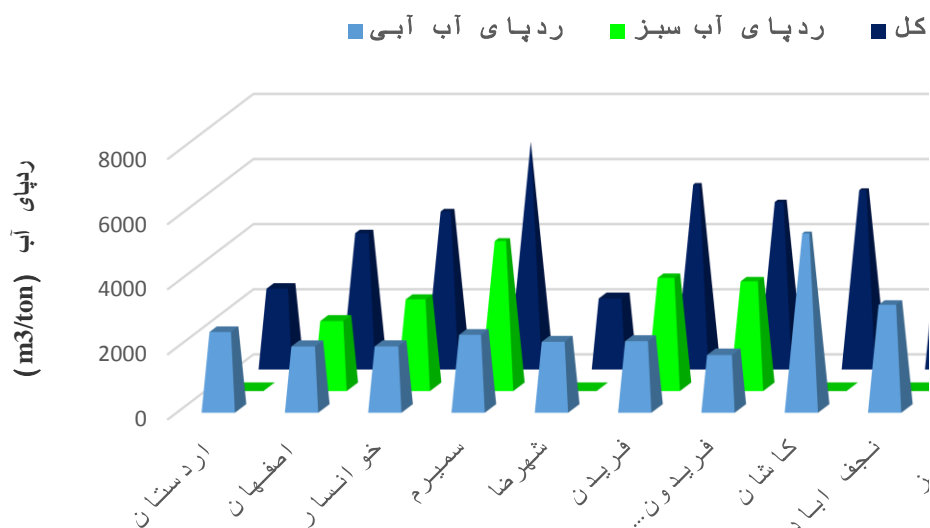
در مطالعه حاضر برای ارزیابی رد پای آب گندم در هر یک از شهرهای استان اصفهان و مقایسه آنها با یکدیگر، مقادیر رد پای آب گندم در دو جزء آب آبی، آب سبز و حاصل جمع آنها به عنوان رد پای آب کل، به تفکیک محاسبه و با هم مقایسه شدند.

ارزیابی رد پای آب

در مطالعه حاضر با در نظر گرفتن عملکرد گندم طی دوره آماری ۱۳۶۹-۱۳۹۵ میزان رد پای آب آبی و آب سبز در تولید گندم برآورد شده و نتایج مربوط به رد پای آب آبی و آب سبز و نیز رد پای آب کل در تولید گندم در جدول ۲ ارائه شده است. براساس نتایج، بیشترین رد پای آب آبی در تولید گندم مربوط به شهر کاشان و برابر $(m^3/ton) 5404/20$ و کمترین مقدار آن مربوط به شهر نطنز و برابر $(m^3/ton) 1647/03$ برآورد شد و به طور متوسط این مقدار برای استان اصفهان برابر $(m^3/ton) 2511/42$ به دست آمد. از مجموعه عواملی که در میزان رد پای آب آبی در تولید گندم دخالت دارد، می‌توان به نیاز آبی گندم، شرایط اقلیمی، نوع و راندمان آبیاری و عملکرد محصول در واحد سطح کشت اشاره کرد. در مطالعه حاضر به‌رغم نزدیکی ایستگاه‌های بررسی شده و مشابهت آب و هوایی و وضعیت اقلیمی، روند تغییرات نامنظمی در سری داده‌ها دیده می‌شود. همچنین مطابق با نتایج، بیشترین رد پای آب سبز در تولید گندم مربوط به شهر سمیرم و برابر $(m^3/ton) 4521/42$ و کمترین مقدار آن مربوط به شهر اصفهان و برابر $(m^3/ton) 2110/10$ برآورد شد و به طور متوسط این مقدار برای استان اصفهان برابر $(m^3/ton) 3222/62$ به دست آمد. همچنین، در جدول ۲ به بررسی نسبت تقسیم آب آبی به آب سبز و درصد آب مصرفی هر دو جزء (نسبت آب آبی و آب سبز به رد پای آب کل)، برای مقایسه رد پای آب در تولید گندم در شهرهای استان اصفهان پرداخته شد. علت این کار بی‌بعد کردن واحدهای رد پای آب در دو جزء رد پای آب آبی و رد پای آب سبز و امکان

جدول ۲. رد پای آب و نسبت رد پای آب آبی به رد پای آب سبز محصول گندم در استان اصفهان

نام ایستگاه	رد پای آب آبی	رد پای آب سبز	رد پای آب کل	درصد رد پای آبی	درصد رد پای سبز	نسبت رد پای آبی به رد پای سبز
اردستان	۲۴۳۳/۵۵	۰/۰۰	۲۴۳۳/۵۵	۱۰۰	۰/۰۰	*
اصفهان	۱۹۹۷/۱۵	۲۱۱۰/۱۰	۴۱۰۷/۲۵	۴۸/۵۰	۵۱/۵۰	۰/۹۴
خوانسار	۱۹۹۸/۷۳	۲۷۶۱/۴۰	۴۷۶۰/۱۳	۴۲/۰۰	۵۸/۰۰	۰/۷۲
سمیرم	۲۳۴۷/۰۱	۴۵۲۱/۴۲	۶۸۶۸/۴۳	۳۴/۱۷	۶۵/۸۲	۰/۵۲
شهرضا	۲۱۳۷/۹۰	۰/۰۰	۲۱۳۷/۹۰	۱۰۰	۰/۰۰	*
فریدن	۲۱۵۶/۹۵	۳۴۱۳/۳۱	۵۵۷۰/۲۶	۳۸/۷۲	۶۱/۲۷	۰/۶۳
فریدون شهر	۱۷۳۹/۷۵	۳۳۰۶/۸۵	۵۰۴۶/۶۰	۳۴/۴۷	۶۵/۵۲	۰/۵۳
کاشان	۵۴۰۴/۲۰	۰/۰۰	۵۴۰۴/۲۰	۱۰۰	۰/۰۰	*
نجف‌آباد	۳۲۵۱/۹۱	۰/۰۰	۳۲۵۱/۹۱	۱۰۰	۰/۰۰	*
نطنز	۱۶۴۷/۰۳	۰/۰۰	۱۶۴۷/۰۳۳	۱۰۰	۰/۰۰	*
متوسط	۲۵۱۱/۴۲	۳۲۲۲/۶۲	۴۱۲۲/۷۳	۶۹/۷۸	۳۰/۲۱	۲/۳



شکل ۱. نمودار مقایسه رد پای آب محصول گندم در استان اصفهان

و حداقل شیب نیز مربوط به شهر فریدون شهر و برابر (m^3/ton) $۱۳۱/۴۵$ - بود. نتایج بررسی روند سالانه رد پای آب کل در تولید گندم بیان می‌کند که به جز ایستگاه‌های اردستان، سمیرم، شهرضا، کاشان و نجف‌آباد در بقیه ایستگاه‌ها این روند کاهشی است. همچنین، با توجه به شیب سن مشاهده شد که حداکثر شیب مربوط به شهر سمیرم و برابر (m^3/ton) $۴۲/۷۲$ بود و حداقل شیب نیز مربوط به شهر فریدون شهر و برابر (m^3/ton) ۱۳۶ - بود.

با توجه به اینکه بخش کشاورزی تکیه‌گاه اساسی در تأمین نیازهای غذایی کشور است و با توجه به اینکه

برابر (m^3/ton) $۲۷/۲۴$ بود و حداقل شیب نیز مربوط به فریدون شهر و برابر (m^3/ton) $۱۲/۰۳$ - بود. نتایج بررسی روند سالانه رد پای آب سبز در تولید گندم بیان می‌کند که در ایستگاه سمیرم این پارامتر روند افزایشی دارد و این روند افزایشی معنادار نبوده است. در باقی شهرها این پارامتر روند کاهشی داشت و در شهرهای اصفهان و فریدن، این روند کاهشی در سطح ۹۹ درصد معنادار بود.

همچنین، با توجه به شیب سن مشاهده شد که حداکثر شیب مربوط به شهر سمیرم است و برابر (m^3/ton) $۲۰/۸۳$ بود و بقیه ایستگاه‌ها شیب کاهشی دارند

اولویت‌بندی شدند و با اعمال قوانین انتخاب اجتماعی بهترین شهر برای کشت گندم برای هر جزء رد پای آب مشخص شد. همان طور که ملاحظه می‌شود، برای کشت گندم به صورت آبی (جزء آبی رد پای آب) طبق روش‌های بردا و کندورسه، فریدون‌شهر به عنوان برترین شهر انتخاب شد و برای کشت گندم به صورت دیم (جزء سبز رد پای آب) طبق روش‌های بردا و کندورسه، فریدون‌شهر و طبق روش قانون کثرت، سمیرم به عنوان برترین شهر انتخاب شد. همچنین، با بررسی روند کل رد پای آب طبق روش‌های بردا و کندورسه، فریدون‌شهر و طبق روش قانون کثرت، سمیرم به عنوان برترین شهر انتخاب شد.

جمعیت در حال افزایش است و نتیجه آن فشار روی منابع محدود آب است و به دنبال آن، امنیت غذایی در معرض خطر قرار می‌گیرد، بنابراین روندیابی رد پای آب در تولید گندم می‌تواند ما را راهنمایی کند که مشخص کنیم سطح خودکفایی در تولید گندم در هر شهر از استان باید در چه حد باشد و اصولاً از دیدگاه مصرف آب، تولید گندم در کدام شهر اهمیت بیشتر یا کمتری دارد.

در جدول ۴ نتایج به‌دست‌آمده از کاربرد قوانین انتخاب اجتماعی ارائه شده است. برای استفاده از این رویکرد و تعیین شهر مناسب برای کشت گندم در استان اصفهان ابتدا از منظر رد پای آب و روند رد پای آب، شهرهای استان اصفهان

جدول ۳. مقادیر آماره من- کندال و شیب سن برای سری زمانی رد پای آبی در تولید گندم در مقیاس سالانه

نام ایستگاه	آب آبی		آب سبز		آب کل	
	آماره من- کندال	شیب خط روند	آماره من- کندال	شیب خط روند	آماره من- کندال	شیب خط روند
اردستان	۱/۵۱	۲۴/۵۶	-----	-----	۱/۵۱	۲۴/۵۶
اصفهان	-۰/۵۰	-۳/۹۹	-۳/۴۷***	-۳۹/۵۶	-۲/۴۶	-۴۳/۹۹
خوانسار	۰/۱۲	۲/۱۲	-۲/۱۶	-۷۰/۵۲	-۱/۲۲	-۴۹/۶۰
سمیرم	۰/۹۷	۲۷/۲۴	۰/۴۷	۲۰/۸۳	۱/۲۲	۴۲/۷۹
شهرضا	۱/۰۶	۲۰/۶۶	-----	-----	۱/۰۶	۲۰/۶۶
فریدن	-۰/۶۷	-۸/۷۵	-۳/۳۰***	-۱۰۲/۸۶	-۲/۴۶	-۱۰۳/۸۶
فریدون‌شهر	-۰/۸۷	-۱۲/۰۳	-۲/۴۶	-۱۳۱/۴۵	-۲/۱۱	-۱۳۵/۹۹
کاشان	۱/۰۲	۲۱/۴۱	-----	-----	۱/۰۲	۲۶/۴۲
نجف‌آباد	۰/۷۷	۸/۲۳	-----	-----	۰/۷۷	۸/۲۳
نطنز	-۱/۱۲	-۱۰/۱۰۳	-----	-----	-۱/۱۲	-۱۰/۱۰

علامت *** نشان‌دهنده معناداری در سطح ۹۹ درصد است و نبود این علامت بیان‌کننده نبود روندی معنادار در سری زمانی داده‌هاست.

جدول ۴. شهرهای منتخب برای هر یک از اجزای رد پای آب توسط روش‌های انتخاب اجتماعی

نام روش	آب آبی	آب سبز	آب کل
قانون کثرت	-----	سمیرم	سمیرم
امتیازدهی بردا	فریدون‌شهر	فریدون‌شهر	فریدون‌شهر
انتخاب کندورسه	فریدون‌شهر	فریدون‌شهر	فریدون‌شهر

نتیجه‌گیری

را در سیاست کار خود به منظور حفظ منابع آبی و افزایش بهره‌وری محصولات قرار داد.

پژوهش حاضر با هدف بررسی روند سالانه رد پای آب در تولید گندم در شهرهای استان اصفهان و انتخاب مناسب‌ترین شهر این استان برای کشت گندم انجام شد. نتایج نشان داد متوسط رد پای آبی در تولید گندم در استان اصفهان برابر (m³/ton) ۲۵۱۱/۴۲ بود که فقط

از آنجا که کشاورزی به عنوان مهم‌ترین بخش مصرف‌کننده آب در جهان سبب استفاده فشرده از منابع آب و تأثیر مستقیم بر کیفیت و کمیت آب شده است، بنابراین نیاز به مفاهیمی است که علاوه بر اینکه بتوان با آن نیاز واقعی هر محصول را به حساب آورد، بتوان بهترین مناطق را برای کشت هر نوع محصولی تشخیص داد و این

- [2]. Aligholinia T, Rezaie H, Behmanesh J, Montaseri M. Presentation of water footprint concept and its evaluation in Urmia lake watershed agricultural crops. *Journal of Water and Soil Conservation*. 2016; 23 (3): 337-344. [Persian]
- [3]. Ababaei B, Ramezani Etedali H. Estimation of Water Footprint parsts in National Wheat Production. *Journal of Water and Soil*. 2016; 29 (6): 1458-1468. [Persian]
- [4]. Chouchane H, Hoekstra AY, Krol MS, Mekonnen MM. Water footprint of Tunisia from an economic perspective. *Ecological Indicators*. 2015 May 1; 52: 311-319.
- [5]. Gholamhossien pour jafari nejad A, Alizadeh A, Neshat A. Study on Ecological Water Footprint and indicators of virtual water in Agricultural Section of Kerman Province. *Irrigation and Water Engineering Scientific Research Journal*. 2013; 4(3), 80-89. [Persian]
- [6]. HuiSu M, HuiHuang C, YangLi W, ToTso C, ShengLur, H. Water footprint analysis of bioethanol energy crops in Taiwan. *Journal of Cleaner Production*. 2015 Feb 1; 88: 132-138.
- [7]. Rodriguez CI, de Galarreta VR, Kruse EE. Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. *Journal of Cleaner Production*. 2015 Mar 1; 90: 91-96.
- [8]. Mohammadi A, Yousefi H, Noorollahi Y, Sadatinejad J. Choosing the best province in potato production using water footprint assessment. *Ecohydrology*. 2017; 4(2): 523-532. [Persian]
- [9]. Yousefi H, Mohammadi A, Noorollahi Y, Sadatinejad SJ. Water footprint evaluation of Tehran's crops and garden crops. *Journal of Water and Soil Conservation*. 2018; 24(6): 67-85. [Persian]
- [10]. Khaliq MN, Ouarda T, Gachon P, Sushama L, St-Hilaire, A. Identification of hydrological trends in the presence of serial and cross correlations: A review of selected methods and their application to annual flow regimes of Canadian rivers. *Journal of Hydrology*. 2009 Apr 30; 368(1-4): 117-130.
- [11]. Fang Sang Y, Wang Z, Liu CH. Comparison of the MK test and EMD method for trend identification in hydrological time Series. *Journal of Hydrology*. 2014 Mar 14; 510: 293-298.
- [12]. Chen H, Guo S, Xu CY, Singh VP. Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin. *Journal of Hydrology*. 2007 Oct 15; 344(3-4): 171-184.

شهرهای اردستان و خوانسار به این متوسط نزدیک‌اند. متوسط رد پای آب سبز نیز برابر $3222/62$ (m³/ton) بود و شهرهای فریدون‌شهر و فریدن به این متوسط نزدیک هستند و متوسط رد پای آب کل نیز برابر $4122/73$ (m³/ton) بود و شهرهای اصفهان و خوانسار به این متوسط نزدیک‌اند. همچنین، با توجه به آماره من- کندال مشاهده شد که روند کاهشی و افزایشی در شاخص رد پای آب آبی در تولید گندم وجود دارد، ولی این روند معنادار نیست و با توجه به مقدار شیب سن، دامنه تغییرات این شیب برابر 39 (m³/ton) بود. برای شاخص رد پای آب سبز با توجه به آماره من- کندال مشاهده شد که در ایستگاه سمیرم این پارامتر روند افزایشی دارد و این روند افزایشی معنادار نبوده است. در بقیه شهرها این پارامتر روند کاهشی دارد و در شهرهای اصفهان و فریدن این روند کاهشی در سطح ۹۹ درصد معنادار بود و با توجه به مقدار شیب سن دامنه تغییرات این شیب برابر 152 (m³/ton) بود. برای شاخص رد پای آب کل با توجه به آماره من- کندال مشاهده شد که روند کاهشی و افزایشی وجود دارد و این روند در حالت کاهشی و افزایشی معنادار نبود و با توجه به مقدار شیب سن، دامنه تغییرات این شیب برابر 93 (m³/ton) بود.

نتایج بیان کننده این حقیقت بود که کم بودن مقدار شاخص رد پای آب در تولید هر محصول، معیار قابل قبولی برای انتخاب آن منطقه برای کشت آن محصول نیست و آماره‌هایی همچون من- کندال و شیب روند می‌توانند در انتخاب منطقه مناسب برای کشت هر محصول مفید واقع شوند. اما چون کم بودن مقدار شاخص رد پای آب یا کاهش روند رد پای آب در تولید یک محصول در یک منطقه، معیار قابل قبولی برای انتخاب آن منطقه برای کشت آن محصول نیست. بنابراین بعد از رتبه‌بندی شهرها از منظر رد پای آب و روند رد پای آب، با استفاده از قوانین انتخاب اجتماعی (SCR)، فریدون‌شهر به عنوان مناسب‌ترین منطقه برای کشت گندم در استان اصفهان مشخص شد.

منابع

- [1]. Sohrabi R. Preparation of a mathematical model for calculating the optimal use of virtual water for supplying the required water to the region in terms of economic, social and food security. Master's Thesis. Sharif University of Technology. 2007. [Persian]

- [13]. Hamed KH, Rao AR. A modified Mann–Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*. 1998 Jan 30; 204(1-4): 182-196.
- [14]. Yue S, Pilon P, Phinney B, Cavadias G. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes*. 2002 Jun 19; 16(9):1807-1829.
- [15]. Arrow KJ, Sen AK, Suzumara K. (Eds.). *Handbook of Social Choice and Welfare*. vol. II. Elsevier Science, Amsterdam. 2005.
- [16]. Read L, Mokhtari S, Madani K, Maimoun M, Hanks C. A Multi-Participant, Multi-Criteria Analysis of Energy Supply Sources for Fairbanks, Alaska. *World Environmental and Water Resources Congress*. 2013: 1247-1257.
- [17]. Barberà S, Jackson M, Neme A. Strategy-proof allotment rules. *Games and Economic Behavior*. 1997 Jan 1; 18(1): 1–21.
- [18]. Easter W, Hearne R. Water markets and decentralized water resources management: international problems and opportunities. *Water Resources Bulletin*. 1995 Feb 1; 31(1): 9–20.
- [19]. Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. *Crop Evapotranspiration– Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. Drainage and Irrigation Paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome, 1998.
- [20]. Montaseri M, Rasouli Majd N, Behmanesh J, Rezaie H. Evaluation of Agricultural Crops Water Footprint with Application of Climate Change in Urmia Lake basin. *Journal of Water and Soil*. 2016; 30(4), 1075-1089. [Persian]
- [21]. Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM. *Water Footprint Manual*. State of the art 2009. Enschede: Water Footprint Network. 2009.
- [22]. Chukalla AD, Krol MS, Hoekstra AY. Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: effect of irrigation techniques, irrigation strategies and mulching. *Hydrology and Earth System Science*. 2015 Jun 16; 19: 4877-4891.
- [23]. Zhuo L, Mekonnen MM, Hokestra AY, Wada Y. Inter- and intra-annual variation of water footprint of crops and blue water scarcity in the Yellow River basin (1961–2009). *Advances in Water Resource*. 2016 Jan 1; 87: 29–41.
- [24]. Dota A, Theodossiou N. Estimation of green and blue water footprint. Application in the agricultural sector of Karditsa Prefecture. *Proceedings of the 12th International Conference on Protection and Restoration of the Environment*. 2014 Jul 1; 64-71.
- [25]. Mann HB. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*. 1945 Jul 1; 13(3): 245-259.
- [26]. Kendall MG. *Rank Correlation Methods*. Oxford, England: Griffin. 1948.
- [27]. Kendall MG. *Rank Correlation Methods*, 4nd Ed., Oxford, England: Griffin. 1970.
- [28]. Partal T, Kahya E. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*. 2005 Dec 23; 20(9): 2011–2026.
- [29]. Sen PK. Estimates of the regression coefficients based on Kendall’s tau. *Journal of the American Statistical Association*. 1968 Dec 1; 63(324): 1379-1389.
- [30]. Theil H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, Part 3. *Proc Koninklijke Nederlandse Akad Wetenschappen A*. 1950; 53:1397–1412.
- [31]. Alizadeh MR, Nikoo MR, Rakhshandehroo GR. Developing a Multi-Objective Conflict-Resolution Model for Optimal Groundwater Management Based on Fallback Bargaining Models and Social Choice Rules: a Case Study. *Water Resources Management*. 2017 Mar 1; 31(5): 1457–1472.