

واژه‌های کلیدی: آستانه مصرف آب، تنش آبی، حوزه  
 گرگان‌رود، شاخص تنش آبی، میزان مصرف آب، نرخ جمعیت

#### مقدمه

آب ماده‌ای است با تنوع بسیار زیاد که در بخش‌های مختلف  
 جوامع انسانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان آب تجدیدپذیر که  
 در یک کشور تولید می‌شود، مهم‌ترین شاخص تعیین‌کننده مرزهای  
 طبیعی در توسعه اجتماعی است، مگر این‌که تکنولوژی در مقیاس  
 بالا جهت انتقال آب از کشورهای همسایه به منطقه در دسترس  
 باشند [۱۶]. میزان آب در دسترس بستگی به موقعیت منطقه در  
 سیستم تبادل بخار آب کره زمین دارد، که بخار آب اقیانوس‌ها را بر  
 فراز قاره‌ها جابجا می‌کند. بارش در هر منطقه آب را در حوضه به  
 جریان می‌آورد و در نهایت آب حاصل از بارش وارد آبخوان‌ها و  
 رودخانه‌ها می‌شود.

هم‌چنین آب در دسترس تعیین‌کننده میزان رشد جمعیت در هر  
 منطقه بوده و در تولید غذا و علوفه و نیز مصرف آب برای انسان  
 و دام نقش مهم و اساسی ایفا می‌نماید. طبق مطالعات انجام شده،  
 سرانه مصرف آب در جهان ۱۲۵۰ مترمکعب در سال برآورد شده  
 است [۱۶].

جامعه به این میزان آب، هم برای تولید محصولات گیاهی که  
 در آن آب در فرآیندهای تولید محصولات گیاهی مصرف می‌شود،  
 و هم در کشاورزی، صنعت و منابع زیستی متکی است. برخی از  
 استفاده‌های اولیه آب به آب‌های سطحی مربوط می‌شود که در  
 آن جهت تولید نیروی برق آبی، جهت‌یابی دریایی و رقیق کردن  
 پساب‌ها و یا ماهی‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. کیفیت آب متاثر  
 از آب آلوده پساب‌ها، آبتشویی اراضی کشاورزی و یا سایر کاربری‌ها  
 همانند انبار پسابها و فعالیت‌های شهری است.

باتوجه به ویژگی‌های مختلف آب، تأمین آن مشکلاتی نیز در پی  
 دارد [۲۱] آب مازاد در طی فصل مرطوب باعث طغیان و آب‌گرفتگی  
 شده و خرابی‌های وسیعی را به‌ویژه در مناطق باتراکم جمعیتی بالا  
 در پی خواهد داشت. سطح ایستابی بالای منابع آب‌های زیرزمینی  
 باعث بروز آبگرفتگی می‌شود. دوره‌های خشک به‌دلیل کمبود آب  
 موجب از بین رفتن گیاه شده و تأمین آب را پیچیده می‌کند [۹].  
 هم‌چنین یک ماده فعال از لحاظ شیمیایی و فیزیکی است که به  
 صورت متناوب هم در سطح زمین و هم در زیرزمین در جریان است  
 و در بسیاری از فرآیندهای محیط زیستی دخیل است که به موجب

## بررسی وضعیت و ارزیابی میزان کمبود و تنش آبی منابع آب حوزه آبخیز گرگان‌رود با استفاده از شاخص فالکن‌مارک

ادیت عیشویی<sup>۱</sup>، میرحسن میریعقوب‌زاده<sup>۲</sup>، کاکا شاهدی<sup>۳</sup>  
 تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۷

#### چکیده

وجود آب جهت ادامه حیات موجودات زنده فاکتور بسیار مهم  
 و اساسی و در عین حال یک اصل بنیادی در زمینه توسعه جوامع  
 انسانی به شمار می‌رود. ادامه روند نامطلوب وضعیت منابع آبی  
 در سطح جهان و پیش‌بینی‌های صورت گرفته مبنی بر این‌که  
 وضعیت تخصیص آب در وضعیت بحرانی قرار دارد، محققین  
 و نهادهای بین‌المللی را بر آن داشته تا مطالعات گسترده‌ای را  
 در زمینه منابع آبی و مدیریت آن‌ها اعمال نمایند. بر این اساس  
 شاخص‌های متفاوتی برای سنجش وضعیت منابع آب، تعیین میزان  
 فقر ناشی از کمبود آب و تنش آبی پیشنهاد داده‌اند. در تحقیق  
 حاضر، شاخص فالکن‌مارک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها  
 در زمینه بررسی وضعیت منابع آب جهت بررسی میزان مصرف  
 سرانه آب در ارتباط با نرخ رشد جمعیت در حوضه گرگان‌رود  
 که یکی از پرآب‌ترین حوضه‌های کشور واقع در شمال کشور  
 و شرق دریای خزر می‌باشد، مورد مطالعه قرار گرفته است. بر  
 اساس نتایج بدست آمده شاخص فالکن‌مارک مقدار عددی بیش  
 از ۳۰۰۰ را کسب نموده، که نشان‌دهنده وضعیت مناسب منابع  
 آب این حوضه بوده و در حال حاضر تنش آبی در آن مشاهده  
 نمی‌شود. بخش کشاورزی بیش‌ترین مصرف آب در این منطقه را  
 به خود اختصاص داده است. پس از کشاورزی، بیش‌ترین مصرف  
 آب در منطقه مربوط به شرب بوده و صنعت بخش بسیار ناچیزی  
 از میزان مصرف را دربر می‌گیرد.

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع  
 طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران.
۲. استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران، نویسنده  
 مسئول،  
 Email: M.miryaghoubzadeh@urmia.ac.ir
۳. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،  
 ایران.

آن فعالیت‌های کاربری اراضی به بازخورد ثانویه منابع، انتقال داده می‌شوند. علاوه بر آن، وابستگی انسان و طبیعت به آب، نقش کلیدی و مهمی در انتقال بیماری ایفا می‌نماید [۱۶].

باتوجه به این‌که آب منبعی تجدیدپذیر است، اما در صورتی که میزان مصرف از میزان تولید پیشی بگیرد، کلیه ذخایر تخلیه خواهند شد [۱۶].

به‌عنوان مثال تأثیر اقلیم رویکردی است که به‌طور کلی وابسته به خشکسالی است، پدیده‌ای که تحت وقایع نیمه‌دوره‌ای اقلیمی و غیرقابل کنترل رخ می‌دهد. این وقایع باتوجه به این‌که بخش‌های عمومی از اقلیم نیمه‌خشک را شامل می‌شوند، عموماً غیر نرمال هستند. از منظر مربوط به آب، اثرات اجتماعی خشکسالی، بازتاب نبود تعادل در برخی محدوده‌های طبیعی مناطق نیمه خشک است، که با وجود نوسان‌های میان سالی در میزان بارش باران ایجاد می‌شوند و در سیستم شار بخار آب هوایی کره زمین تولید می‌شوند [۱۶]. در این خصوص مطالعات مختلفی در زمینه شاخص‌های مطالعه وضعیت منابع آب و به تبع آن تنش آبی صورت پذیرفته است. شاخص‌های منابع آب در استان خراسان جهت بررسی تعادل منابع آب توسط شاهدی و طالبی حسین‌آباد [۲۰] مورد استفاده قرار گرفتند و بر اساس شاخص فالکن‌مارک مشخص نمودند که منطقه تحت تنش آبی می‌باشد و جهت مدیریت منابع آب در منطقه پیشنهاداتی را ارائه دادند که از آن جمله می‌توان به کاهش مصارف متناظر با افزایش بهره‌وری آب با روش‌های مختلف از جمله کشت گلخانه‌ای و بهبود روش‌های آبیاری و نیز تخصیص بهینه منابع آب به بخش‌ها و فعالیت‌های مختلف که همان مدیریت تقاضا می‌باشد، اشاره نمود. مردانی و همکاران [۱۲] جهت بهینه‌سازی مبادلات آب مجازی از شاخص‌های متنوعی از جمله فالکن‌مارک استفاده نمودند که بر اساس نتایج حاصل از مطالعات آن‌ها در زمینه واردات آب مجازی، میزان خالص مبادلات آب محاسبه شده و مبادلات آب جهت مقابله با توزیع نامناسب نزولات جوی در استان اصفهان کمک شایانی نموده‌اند. ویتیل و میشر [۲۱] از شاخص فالکن‌مارک و مدل SWAT به‌منظور تعیین میزان تنش آبی استفاده نمودند. در این مطالعه، منابع آب سبز و آب آبی بررسی شدند و به این نتیجه دست یافتند که منابع آب آبی به صورت چشم‌گیری کاهش یافتند که به‌دلیل شرایط اقلیمی منطقه ساوانا در آمریکا افتاده، درحالی‌که منابع آب سبز بر اساس الگوی کاربری اراضی حساسیت بیشتری در مقابله با تغییرات داشتند، که با بررسی منابع آب منطقه و استفاده از شاخص‌های تنش آبی می‌توان کمبود منابع آب را شناسایی و مدیریت نمود.

مهم‌ترین تأثیر آب در جریان زندگی، این است که تعیین‌کننده میزان آسیب‌پذیری ماده زنده در مقابل تغییرات کمی و کیفی آب است. در مناطقی با آب و هوای گرم که میزان بسیار زیادی آب را وارد حوضه می‌کردند تا جبران کمبود آب در زمان خشک شدن هوا باشد. هیامس [۱۰]، روند کاهش برخی از تمدن‌ها را به روابط بین

انسان، خاک و آب ربط داده است، که در نهایت این کاهش منجر به فرسایش یا شوری خاک، کاهش میزان حاصل‌خیزی خاک و توقف تولید گیاهی شده است.

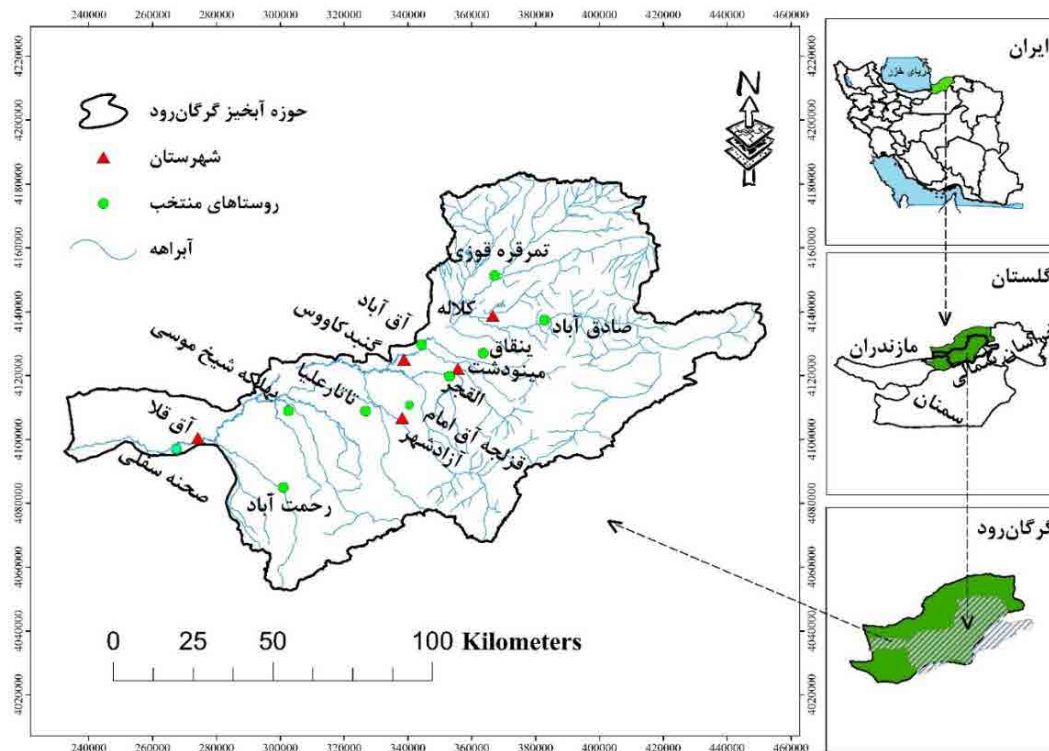
جایی که با کمبود آب مواجه هستیم و منابع مالی و تکنولوژی لازم جهت انتقال آب وجود ندارد، موانع بسیاری در راه توسعه خواهند بود. امروزه این مشکلات به‌طور کلی تحت عنوان خشکسالی و بیابان‌زایی مطرح می‌شوند. بررسی‌های اخیر بیش‌تر بر روی مشکلات پخش آب و موضوعات مرتبط با خشکسالی، بیابان‌زایی، آلودگی و تنش محیط زیست در حال انجام هستند. این مسائل می‌توانند تحت عنوان تنش آبی ایجاد شده توسط انسان و محیط زیست مورد بحث قرار گیرند [۳]. اثرات تنش آبی، خشکسالی متناوب، خشکی مناطق طبیعی و تنش آبی اجتماعی به هم مرتبط بوده و کنش متقابل آن‌ها، جامعه را با خطر مواجه خواهد کرد.

زندگی موجودات زنده و به‌ویژه انسان به جریان آب از مقیاس کوچک که یک گیاه باشد تا مقیاس جهانی که چرخه آب کره زمین را شامل شود، وابسته است. اختلالات جریان آب همان‌طور که پیش‌تر بدان اشاره شد، باعث ایجاد موانع در فرآیند حیات می‌شوند. این مشکلات و موانع بر چهار فاکتور اصلی از جمله: رطوبت خاک، تجدیدپذیری سیستم‌های منابع آب، کیفیت آب سالم و در دسترس بودن آن جهت مصارف عمومی، اثرگذار هستند [۶]. بدین ترتیب تعیین کمیت حساسیت منابع آب به دلیل نوسان متغیرهای اقلیمی و فعالیت‌های بشر (به‌عنوان مثال تغییر کاربری اراضی) گامی مهم برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در یک حوضه می‌باشد [۲۱، ۱۱]. در برخی سیستم‌های اجتماعی و محیط زیستی حتی هدررفت جزئی آب می‌تواند به شدت مخرب باشد. این بحران‌ها ممکن است با وخیم بودن کیفیت آب همراه باشد که باعث بروز بیمارهای مختلف از جمله بیماری ویا شود. به عبارت دیگر، خشکی پایدار و طولانی مدت می‌تواند باعث جمع شدن و نابودی ذخایر آب کشور شود، که حتی برای کشورهایی که دارای ذخایر مالی زیاد و ظرفیت‌های پیشرفته هستند نیز ایجاد بحران نماید [۹].

هدف از انجام این تحقیق، مشخص نمودن سرانه مصرف و میزان تنش آبی در مناطق گرگان‌رود با استفاده از شاخص فالکن‌مارک می‌باشد.

فالکن‌مارک یک نمونه از شاخصی را که ارزیابی کمی از تأمین آب در مقایسه با سرانه آب می‌باشد، را ارائه می‌دهد. این شاخص می‌تواند با تفسیر مقدار مطلق مثلاً کل رواناب یک حوضه، به شاخصی که ممکن است با اثرات خشکسالی نزدیکی داشته باشد، کمک کند. این نوع شاخص دارای یک مقیاس مکانی ذاتی است (مقیاس حوضه) اما می‌تواند در مقیاس‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرار گیرد. به‌عنوان مثال شاخص فالکن‌مارک در ماه‌ها یا هفته‌های سال با کم‌ترین میزان رواناب مورد توجه قرار می‌گیرد [۱۴].

مطالعه‌ای توسط براون [۲] در سال ۲۰۱۱ انجام شده و شاخص‌های تنش آبی و روش‌های محاسباتی آنها به تفکیک گردآوری و ارائه



شکل ۱: موقعیت منطقه گرگان رود

تحت خشکسالی بوده و نزدیک به تنش می‌باشد. دیگر شاخص‌ها نیز منطقه را به لحاظ پایداری منابع آبی بحرانی نشان دادند. در مطالعه دیگری [۱۸]، شاخص‌های تنش آبی از جمله شاخص فقر آبی و شاخص فالکن مارک مورد مطالعه قرار گرفتند و میزان همبستگی آن‌ها با شاخص توسعه انسانی مطالعه شده است. در این مطالعه، شاخص فقر آبی برای ایران معرفی شده است که معیارهایی علاوه بر فاکتور جمعیت (که در شاخص فالکن مارک مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد) را در محاسبات دخالت داده است، همانند سطح آموزش، اقتصاد، میزان مصرف آب و سلامت جامعه. در نهایت، ضریب همبستگی آن‌ها با شاخص توسعه انسانی تعیین شده و میزان شاخص فقر آبی ایران استخراج گردید که باتوجه به میزان آن، کشور ایران جزو مناطق دارای فقر آبی متوسط معرفی گردید.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز گرگان رود با مساحتی بالغ بر ۱۰ هزار کیلومترمربع یکی از حوضه‌های شمال شرق کشور می‌باشد که بخش وسیعی از آن در استان گلستان واقع شده است. این حوضه از جنوب مشرف به سلسله کوه‌های البرز، از شرق به کوه‌های آلاداغ و گلی داغ، از شمال به حوزه آبخیز اترک و از غرب به دریای خزر مشرف می‌باشد [۱]. این حوضه در محدوده جغرافیایی طول شرقی ۱۰' ۵۴° تا ۲۵' ۵۶° و عرض شمالی ۳۵' ۳۶° تا ۱۰' ۳۸° واقع شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه را در کشور نشان می‌دهد.

شده‌اند. براون [۲] در مطالعه خود شاخص فالکن مارک را جزو شاخص‌هایی که به نیاز آب بشر وابسته هستند، طبقه‌بندی نموده است و اشاره نموده که شاخص فالکن مارک یکی از مهمترین شاخص‌های تنش آبی جهت مطالعه نیاز و مصرف آبی می‌باشد.

در سال ۲۰۱۱ مطالعه‌ای در خصوص مقایسه دو شاخص تنش آبی در مقیاس بزرگ انجام گرفت [۱۵]. در این مطالعه شاخص فالکن مارک و نسبت بحرانی ( $CR^1$ ) به منظور مطالعه میزان مصرف آب در سه حوزه رودخانه بزرگ مقیاس در آمریکای شمالی، اروپا و جنوب آسیا مورد مطالعه قرار گرفتند که در آن پیچیدگی حوزه آبخیز و وسیع بودن منابع آبی و زمین‌شناسی منطقه و نیز معیارهای آسیب‌پذیری هر منطقه در شاخص‌ها مدنظر قرار گرفتند.

مطالعه دیگری نیز جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی تنش آبی فرامرزی در گذشته و آینده صورت گرفته است. در این مطالعه یکی از شاخص‌های مورد مطالعه شاخص فالکن مارک بوده که برای محاسبه تنش آبی مورد استفاده قرار گرفت [۱۳].

در تحقیقی که توسط رجا و همکاران [۱۷]، جهت بررسی منابع آب محدوده مرودشت-خرامه صورت گرفته، میزان برداشت و مصرف آب و همچنین سطح ایستابی منطقه مشخص گردید و بر اساس داده‌های موجود، وضعیت پایداری منابع آب آن حوضه مطالعه شده است. شاخص‌های فالکن مارک، تنش آبی و شاخص کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل از جمله شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه بودند. بر اساس شاخص فالکن مارک، منطقه مرودشت-خرامه

1 Criticality Ratio

## روش تحقیق

در این مطالعه به منظور برآورد سرانه مصرف آب و مطالعه وضعیت منابع آب در حوزه گرگان رود، از شاخص فالکن مارک استفاده شده است. این شاخص وضعیت منابع آب و تنش آبی را بر اساس داده‌های مصرف آب و نرخ جمعیت محاسبه می‌کند. شاخص فالکن مارک به پایش وضعیت منابع آب به لحاظ کم آبی و یا قرارگیری تحت تنش در حوزه آبخیز پرداخته و نتایج حاصل از آن در بهبود شرایط و مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح منابع آب مورد استفاده قرار گرفته و بر این اساس در علم آبخیزداری حائز اهمیت می‌باشد.

## شاخص فالکن مارک

فالکن مارک، محقق سوئدی، در سال ۱۹۸۹ شاخصی را طراحی نمود که در زمینه محاسبه تنش آبی بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص بر پایه محاسبه آب در دسترس (جدول ۱ و شکل ۳) بر حسب جمعیت در سال در یک منطقه یا یک کشور پایه‌ریزی شده است. به منظور مشخص نمودن میزان تنش آب، کلاس‌های مختلف تنش آبی در جدول ۱ توسعه داده شده‌اند. سطح سرانه سالانه بین ۱۰۰۰ الی ۱۷۰۰  $m^3/capita/year$  به عنوان سطح آستانه معرفی می‌گردد که در کشورها یا مناطقی که در کلاس کم‌تر از ۱۰۰۰  $m^3/capita/year$  قرار بگیرند به عنوان مناطق تحت تنش آبی معرفی خواهند شد [۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۶] فالکن مارک و همکاران [۵]، طی تحقیقاتی کشورها را بر اساس میزان حجم سرانه منابع آب

تقسیم‌بندی نمودند که با استفاده از نسبت میزان مصرف کل آب در یک سال بر جمعیت کل منطقه (جدول ۴) میزان شاخص در منطقه مورد نظر بدست می‌آید.

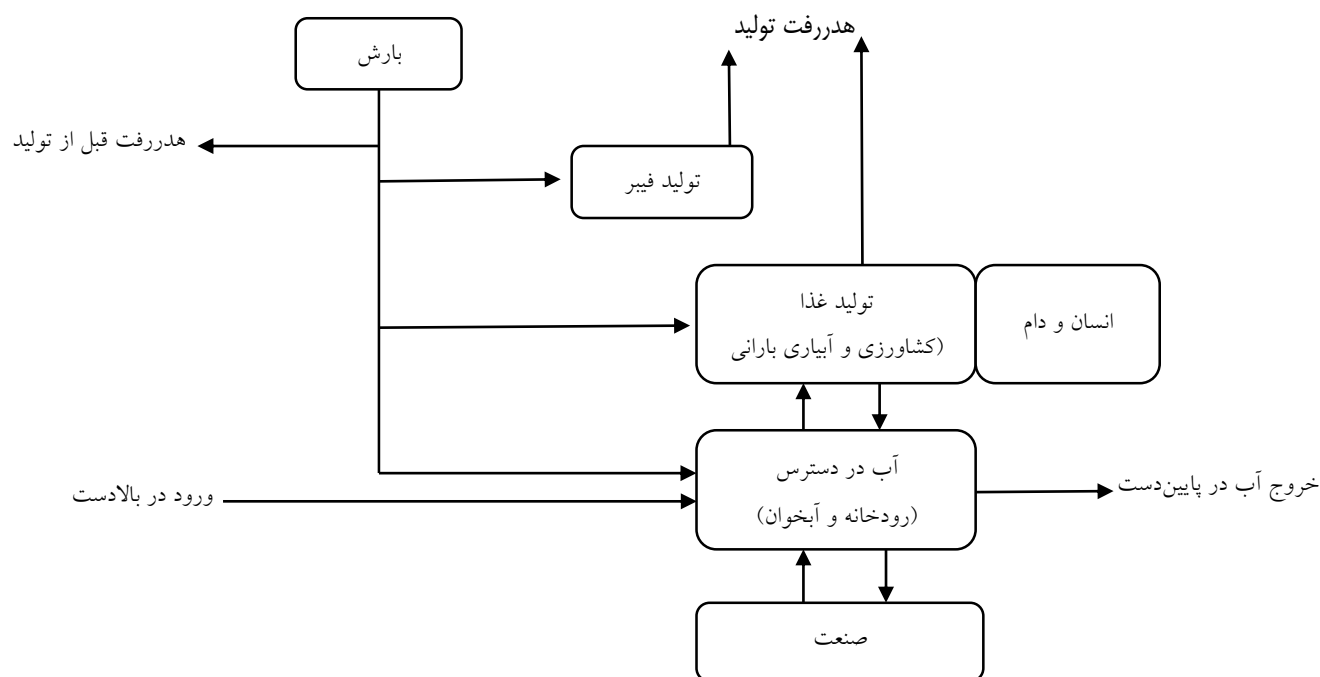
این شاخص عموماً در مقیاس کشوری استفاده می‌شود، با وجود مزایای بیان شده، این شاخص جهت برآورد تنش آب، معایب و محدودیت‌هایی نیز دارد:

(۱) آستانه‌های ارائه شده به تفاوت تقاضای آب بین کشورها با توجه به اختلافات فرهنگی و اقلیمی توجه ندارند.

(۲) استفاده از میانگین سالانه ملی جهت ارزیابی تنش آبی در مقیاس کوچک‌تر انجام می‌شود و متغیرهای فصلی مربوط به دسترسی به آب حذف می‌شوند.

(۳) شاخص فالکن مارک، کیفیت آب یا دسترسی به آب را نادیده می‌گیرد. این شاخص ممکن است قابلیت منابع آب را ارائه دهد اما در واقع امکان آلوده بودن آب وجود دارد و یا ممکن است آب در مخازن عمیق زیر زمینی نگهداری شود که آن را غیر قابل دسترس می‌نماید.

(۴) همین‌طور این شاخص منابع آبی مصنوعی همانند گیاهان مقاوم به شوری که میزان دسترسی به آب را محدود می‌کنند، وارد محاسبات نمی‌کند [۱۴، ۱۹ و ۲۲] (شکل ۲).



شکل ۲: آب در دسترس و مصارف آب در مقیاس منطقه‌ای [۳]



کمبود آب و میزان دسترسی به آب (مترمکعب/ظرفیت/سال)

شکل ۳: طبقه‌بندی شاخص کمبود منابع آب فالکن مارک

جدول ۲: ترکیب جمعیتی شهرهای واقع در حوضه گرگان‌رود

| نام شهر   | جمعیت کل | مرد    | زن     |
|-----------|----------|--------|--------|
| آزادشهر   | ۴۱۳۰۶    | ۲۰۴۴۵  | ۲۰۸۶۱  |
| آق‌قلا    | ۸۵۵۵۸    | ۴۲۲۳۱  | ۴۳۳۲۷  |
| رامیان    | ۵۴۰۶۲    | ۲۶۸۴۱  | ۲۷۲۲۱  |
| علی‌آباد  | ۶۸۳۸۱    | ۳۳۸۸۹  | ۳۴۴۹۲  |
| کلاله     | ۸۲۵۱۶    | ۴۱۱۵۴  | ۴۱۳۶۲  |
| گالیکش    | ۳۹۱۴۴    | ۱۹۱۵۶  | ۱۹۹۸۸  |
| گنبدکاووس | ۱۷۸۱۲۶   | ۸۹۲۹۷  | ۸۸۱۲۹  |
| مینودشت   | ۴۷۱۶۵    | ۲۲۸۵۹  | ۲۴۳۰۶  |
| جمع کل    | ۵۹۶۲۵۸   | ۲۹۵۸۷۲ | ۳۰۰۳۸۶ |

جدول ۱: طبقه‌بندی شاخص فالکن مارک در تعیین میزان تنش آبی

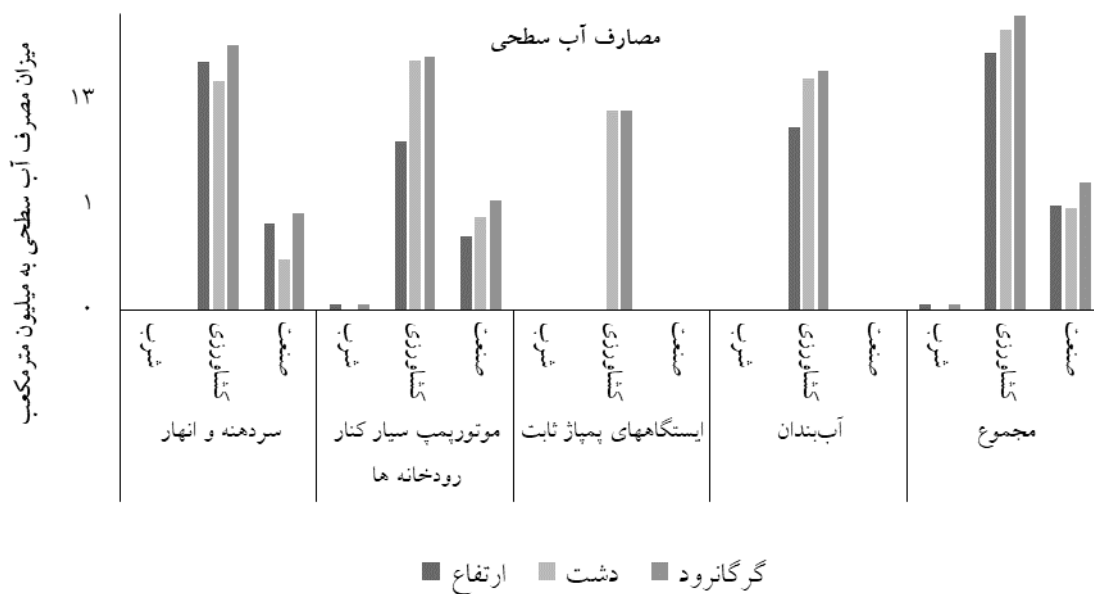
| کلاس          | شاخص m3/capita/year |
|---------------|---------------------|
| بدون تنش      | > ۱۷۰۰              |
| تحت تنش       | ۱۰۰۰ - ۱۷۰۰         |
| کمبود آب      | ۵۰۰ - ۱۰۰۰          |
| کمبود مطلق آب | > ۵۰۰               |

جدول ۳: میزان کل برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی در سال

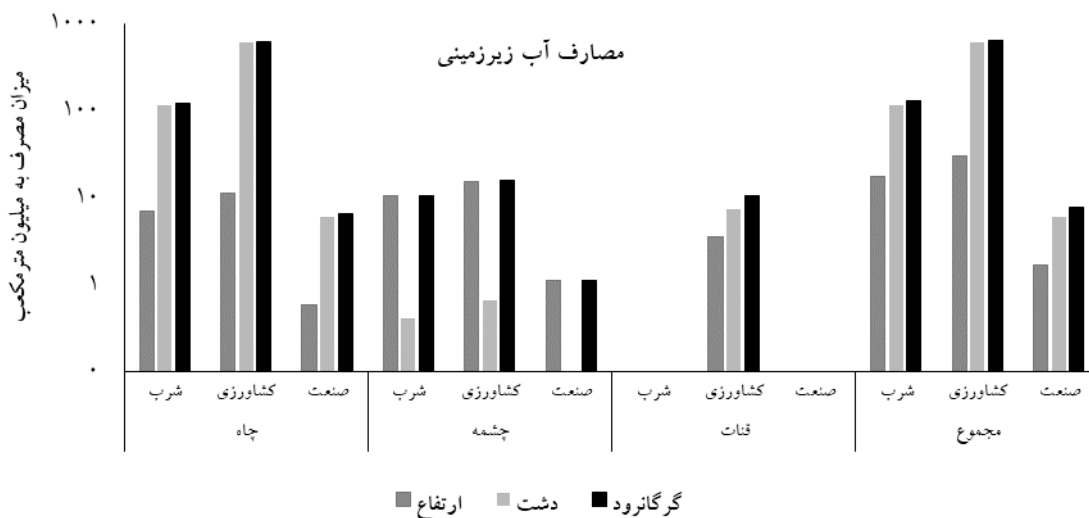
| مجموع برداشت (MCM) |        |                |        |                               |        |                        |        |       |        |
|--------------------|--------|----------------|--------|-------------------------------|--------|------------------------|--------|-------|--------|
| آب سطحی            |        | سردهنه و انهار |        | موتورپمپ سیار کنار رودخانه ها |        | ایستگاه‌های پمپاژ ثابت |        | مجموع |        |
| تعداد              | برداشت | تعداد          | برداشت | تعداد                         | برداشت | تعداد                  | برداشت | تعداد | برداشت |
| ۲۵۳۸               | ۱۹۲/۳۳ | ۳۳۴            | ۶۳     | ۱۸۵۳                          | ۵۵/۲۴  | ۲۹                     | ۱۳/۳۱۵ | ۴۷۵۴  | ۳۲۳/۸۹ |

جدول ۴: آمار جمعیتی استان طبق سرشماری‌های سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

| سال  | جمعیت استان گلستان | نرخ رشد (درصد) | تراکم جمعیت (نفر در کیلومتر مربع) |
|------|--------------------|----------------|-----------------------------------|
| ۱۳۸۵ | ۱۶۱۷۰۸۷            | ۱/۲۶           | ۸۰                                |
| ۱۳۹۰ | ۱۷۷۷۰۱۴            | ۱/۹            | ۸۷                                |
| ۱۳۹۵ | ۱۸۶۸۸۱۹            | ۱/۰۱           | ۹۱/۸                              |



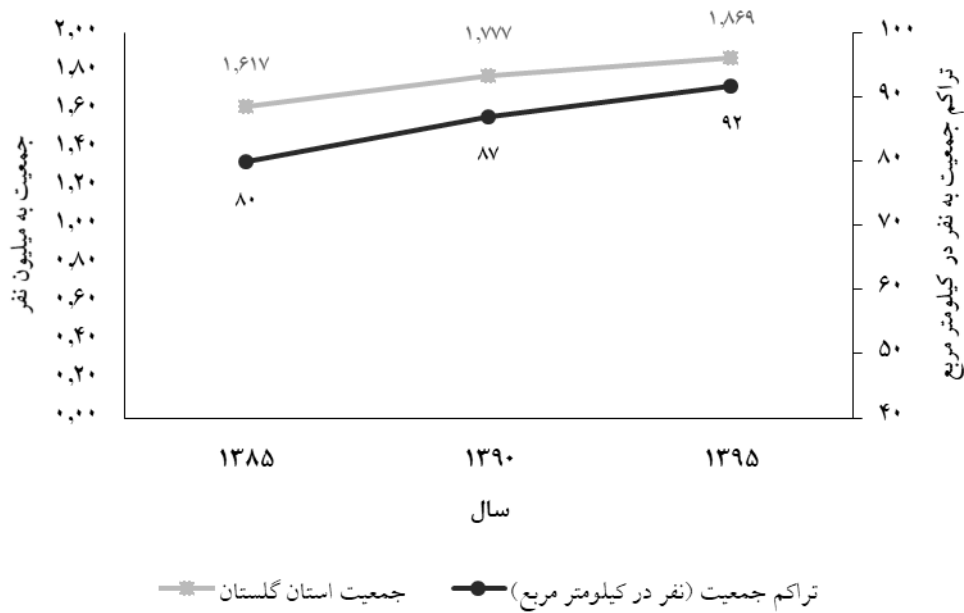
شکل ۴: میزان کل مصرف آب‌های سطحی در سال



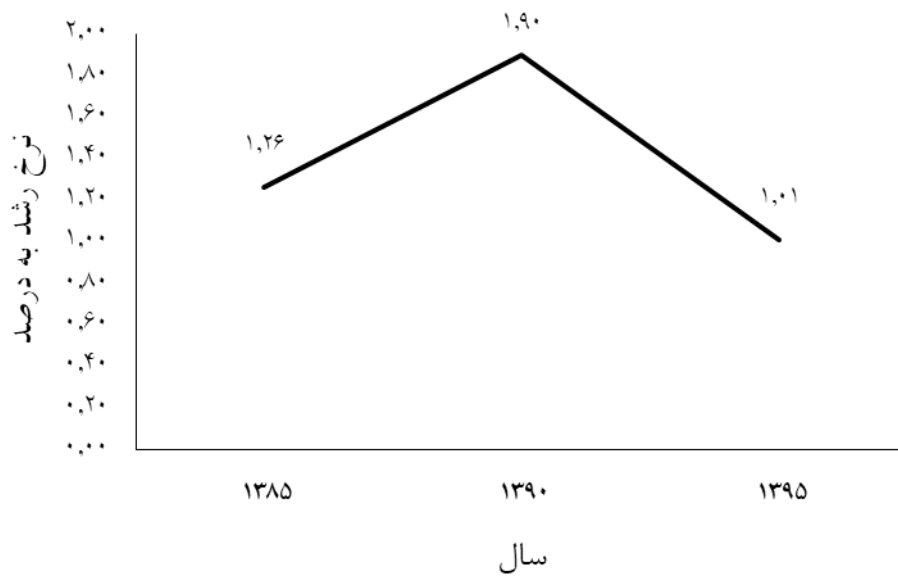
شکل ۵: میزان مصرف آب زیرزمینی در یک سال به میلیون مترمکعب

استان گلستان ۱/۰۱ درصد اعلام شده است و جزئیات آن در جداول ۲ و ۴ و شکل ۶ نشان داده شده است.

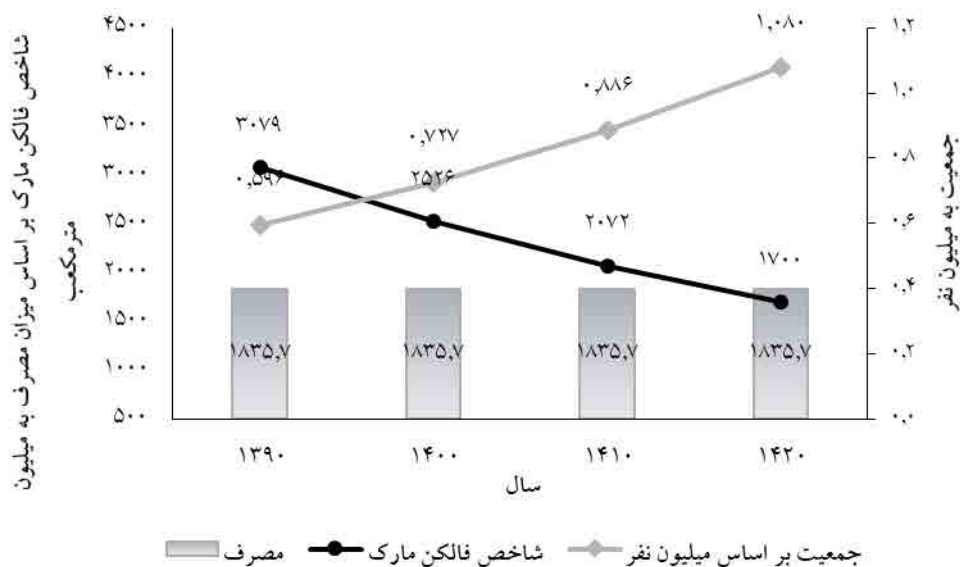
**نتایج**  
 نرخ رشد جمعیت در حوضه گرگانرود:  
 طبق گزارشات مرکز آمار ایران، نرخ رشد جمعیت در سال در



شکل ۶: آمار جمعیت و تراکم جمعیت استان در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵



شکل ۷: نرخ رشد جمعیت استان به درصد در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵



شکل ۸: تغییرات شاخص فالکن مارک بر اساس تغییر جمعیت و میزان مصرف آب

### بحث و نتیجه‌گیری

افزایش جمعیت و عدم افزایش و کاهش مصرف، به مرز کمبود آب خواهد رسید. باتوجه به موارد ذکر شده می‌توان بیان داشت که در حال حاضر در منطقه مورد مطالعه مصرف بیش از حد وجود دارد و حتی با افزایش جمعیت تا دو برابر جمعیت کنونی با میزان مصرف موجود تهدید کم آبی در منطقه وجود نخواهد داشت (شکل ۸). بر اساس این شاخص می‌توان میزان مصرف را تا حد بهینه کاهش داد و همچنان شاخص فالکن مارک بالاتر از حد تنش آبی خواهد بود. در مطالعه صورت گرفته توسط رجا و همکاران [۱۷]، نیز این نتیجه حاصل شد که بهره‌برداری بیش از حد مجاز آب باعث بروز تنش آبی در منطقه شده بود و همین نتیجه نیز در مطالعه حاضر حاصل شد. در نتیجه تغییر الگوی بهره‌برداری از منابع آب در جهت حفظ و پایداری منابع بایستی اعمال گردد.

باتوجه به نتایج حاصل شده، این منطقه جزو مناطق پرآب طبقه بندی می‌شود و فقر آبی یا تنش آبی در آن مشاهده نمی‌شود اما با برداشت بیش از حد از منابع، منطقه با کمبود آب مواجه خواهد شد و همین امر با توجه به [۱۸] که ایران را جزو مناطق دارای فقر آبی متوسط تعیین نموده بود، صادق می‌باشد.

در مطالعه [۲۰]، به موضوع افزایش جمعیت و افزایش میزان مصرف آب به طبع آن اشاره شده و باتوجه به افزایش جمعیت در سال‌ها و دهه‌های اخیر مشاهده می‌شود که مصرف آب به نسبت افزایش محسوسی داشته است، هر چند الزامی بر خطی بودن رابطه بین جمعیت و مصرف آب وجود ندارد، اما با افزایش سطح رفاه و نیازهای آبی بشر، منجر به افزایش بیش از حد از منابع آب می‌شود و منطقه را با تنش آبی مواجه می‌کند که همین امر در بررسی حاضر کاملاً تایید شده و اشکال ۴ و ۵ گواه این مطلب می‌باشند.

نتایج مطالعه [۱۳] نشان دادند که جمعیت منطقه تحت تنش آبی انتظار می‌رود تا ۵۰٪ در مقایسه با جمعیت ده سال گذشته

با توجه به میزان جمعیت (جدول ۲ و ۴) و با در دست داشتن میزان مصرف آب در یک سال (اشکال ۴ و ۵)، شاخص فالکن مارک محاسبه شده و سرانه مصرف در حوضه گرگان‌رود  $3108/88$  بدست آمده است که باتوجه به جدول فالکن مارک منطقه بدون تنش آبی بوده و آب کافی در منطقه در حال حاضر وجود دارد. رقم بالاتر از ۱۷۰۰ همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است آستانه فالکن مارک در حوضه مورد نظر کمبود و تنش آبی وجود نداشته و تقسیم سرانه آب به درستی انجام شده است. اما باتوجه به نرخ رشد جمعیت در استان در حدود ۱/۹ درصد (شکل ۷) و در صورتی که نرخ مصرف آب ثابت فرض شود، پیش‌بینی می‌شود که با افزایش جمعیت با نرخ ثابت ۱/۹ درصد در سال، تا دو دهه آینده کمبود آب وجود نخواهد داشت اما مقدار این شاخص به آستانه ۱۷۰۰ خواهد رسید که تخصیص منابع آب و میزان برداشت برنامه‌ریزی‌های مدیریتی الزامی است. علاوه بر موارد ذکر شده و با توجه به میزان تراکم جمعیت و افزایش نرخ تراکم، میزان استفاده از آب بیش‌تر خواهد شد و برداشت از منابع آبی افزایش خواهد یافت. همان‌طور که در جدول ۳ و شکل ۵ مشاهده می‌شود، نرخ برداشت بسیار کم‌تر از میزان مصرف گزارش شده و این نشان‌دهنده کافی بودن منابع آب است که نیاز به برداشت از منابع زیرزمینی و سطحی را کم کرده است. باتوجه به شکل ۶ و با در دست داشتن رشد جمعیت و محاسبه آن اساس نرخ رشد ۱/۹ درصد، جمعیت منطقه مورد مطالعه تا سال ۱۴۲۰ به بیش از یک میلیون نفر خواهد رسید، اما با ثابت فرض نمودن میزان مصرف به دلیل عدم دسترسی به داده‌های مورد نیاز مصرف آب در سال‌های اخیر، با محاسبه مقدار  $1853$  میلیون مترمکعب در سال مشاهده می‌شود که مقدار شاخص تا سال ۱۴۲۰ بالاتر از ۱۷۰۰ می‌باشد و در سال ۱۴۲۰ با فرض



Africa. Population and Development Review, 16:81-94.

7. Falkenmark, M. and Rockström, J. 2006. The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management. 132(3): 129-132.

8. Falkenmark, M. and Rockström, J., 2010. Building water resilience in the face of global change: From a blue-only to a green-blue water approach to land-water management. 136: 606-610

9. Funk, C. and Shukla, S., 2020. Drought Early Warning and Forecasting: Theory and Practice. Elsevier. chapter 6, 83-99

10. Hyams, E. 1976. Soil and Civilisation. New York; Harper and Row.

11. Konapala, G., Mishra, A.K., 2016. Three-parameter-based streamflow elasticity model: application to MOPEX basins in the USA at annual and seasonal scales. Hydrol. Earth Syst. Sci. 20 (6), 2545 (Teleconnection between low flows and large-scale climate indices in Texas River basins).

12. Mardani, M., Ziaei, S., and Nikouei, A. 2016. Optimization of Virtual Water Exchanges in the Regional Cultivation Pattern of Isfahan Province Using Multi-Criteria Planning Patterns. Iranian Journal of Agricultural Economics and Development, 25 (100):39-88.

13. Munia, H.A., Guillaume, J.H., Wada, Y., Veldkamp, T., Virkki, V. and Kummu, M., 2020. Future transboundary water stress and its drivers under climate change: A global study. Earth's future, 8(7), p.e2019EF001321.

14. Nepomilueva, D. 2017. Water scarcity indexes: water availability to satisfy human needs.

15. Perveen, S. and James, L.A. 2011. Scale invariance of water stress and scarcity indicators: Facilitating cross-scale comparisons of water resources vulnerability. Applied Geography, 31(1):321-328.

16. Pimentel, D. ed., 2012. Food and natural resources. Elsevier. Bachelor's thesis. PP:33.

17. Raja, O., Parsinejhad, M., Sohrabi, T., and Ahmad-Ali, KH. 2019. Status Investigation of the Marvdasht-Kharameh Water Resources Using Sustainability

همان منطقه، رشد داشته باشد که تنش آبی منطقه را متاثر می‌نماید، درحالی‌که تغییرات در میزان آب در دسترس اثر کمتری بر روی تنش آبی منطقه دارد. میزان جمعیت در دو سناریوی مختلف مطالعه شده و به این مهم دست یافتند که جمعیت اثر بسزایی در تنش آبی دارد که همین امر نیز در مطالعه حال حاضر صدق می‌کند و مصرف آب و رشد جمعیت بر میزان تنش آبی منطقه اثر بسیار بالایی دارد (شکل ۸).

#### پیشنهادات

طبق تحقیق انجام گرفته و نتایج حاصل پیشنهاد می‌گردد مطالعات بیان آب زیرزمینی در حوضه مذکور با وسعت بیشتری بلحاظ زمانی و مکانی صورت پذیرد تا میزان مصرف آب با میزان برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی مقایسه شده و متعادل گردد تا منطقه در آینده با مشکل کمبود منابع آب زیرزمینی مواجه نگردد، هم‌چنین پیشنهاد می‌گردد مدیریت کنترل شده بر تقسیم و تخصیص آب در حوضه مذکور صورت گیرد.

#### منابع

1. Azimi, M.A., Rahbar, G., and Mansouri, Sh. 2016. Locating and prioritizing suitable areas for flood spreading using GIS and Analytical Hierarchy process (AHP) Case study: Gorganrood watershed, Golestan). Iranian Journal of Environmental Science and Technology, 20 (4): 179-192.

2. Brown, A. and Matlock, M.D., 2011. A review of water scarcity indices and methodologies. White paper, 106, p.19.

3. Falkenmark, M. and Lundqvist, J. 1988. Land use for sustainable development: Strategies for crop production adapted to water availability. In Proceedings of the International Water Resources Association Congress, Ottawa.

4. Falkenmark, M. 1989. The massive water scarcity now threatening Africa: why isn't it being addressed? Ambio, 18(2):112-118.

5. Falkenmark, M., Lundqvist, J. and Widstrand, C. 1989, November. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development. In Natural resources forum. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd. (13(4): 258-267..

6. Falkenmark, M., 1990. Rapid population growth and water scarcity: The predicament of tomorrow's

21. Veetil, A.V., and Mishra, A.K. 2018. Potential influence of climate and anthropogenic variables on water security using blue and green water scarcity, Falkenmark index, and freshwater provision indicator. *Journal of environmental management*, 228 (2018): 346-362.

22. White, C. 2012. Understanding water scarcity: Definitions and measurements. *Global Water Forum*.

Analysis Indicators. *Iranian journal of Soil and Water Investigations*, 50(4): 897-909.

18. Rajabi, M., and Arab, D.R. 2006. The Water Poverty Index, an effective tool for assessing the state of the world's water resources. *Iran water resources management conference*. Iran.

19. Rijsberman, F.R. 2006. Water scarcity: fact or fiction? *Agricultural water management*, 80(1-3): 5-22.

20. Shahedi, M., Mehri and Talebi Hosseinabad, 2014. Presenting practical indicators to evaluate the water resources balance and sustainable development (Case study: Qarahqoom watershed). *Iranian journal of Water and Sustainable Development*, 1 (1): 73-79.



## Abstract

## Investigation of Water Resources and Water Scarcity in Gorganroud River Basin Using Falkenmark Index

E. Eishoei<sup>1</sup>, M. Miryaghoubzadeh<sup>2\*</sup>, K. Shahedi<sup>3</sup>

Received: 2020/12/10 Accepted: 2021/01/16

The presence of water is an important and fundamental factor for life. In addition, water supply is a principle in the development of societies. The unfavorable trend of water resources in the world and predictions reported the critical state of water, prompted researchers and international institutions to conduct extensive studies on water resources and related management. Due to the special sensitiveness of water resources management, various indices have been developed and presented to evaluate the current situation. In this study, Falkenmark index have been used to examine water scarcity using population rate and water consumption per capita in the Gorganroud basin. Gorganroud region is one of the lushest regions located north of Iran on the east side of Caspian Sea. According to Falkenmark index, which obtained to be more than 3000 in this area, shows that this basin is in good condition and no water scarcity is observed in it. Agriculture part consumes most of water supplied in this region which is followed by urban use or drinkable water and industrial use almost needs very low source of water.

**Keywords:** Falkenmark, Water scarcity, Water consumption, Per capita, Gorganroud river basin

---

1. PhD student in Watershed management engineering, Agriculture and Natural Resources faculty, Urmia University,  
2. Corresponding Author, Assistant Professor, Agriculture and Natural Resources faculty, Urmia University, Email: M.miryaghoubzadeh@urmia.ac.ir  
3. Associated Professor, Natural resources faculty, Sari Agricultural Science and Natural Resources University,