نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، صفحه ۱۲۶ – ۱۰۹

تخمین حجم آب برداشتی الکتروپمپ‌ها از طریق پارامترهای مصرف انرژی و ارتفاع پمپاژ چاه (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی)

محمد حسن‌سقا [۱] *

تاریخ دریافت:
۱۳۹۷/۲/۲۵

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۷/۱۲/۱۱

کلمات کلیدی:
کنترل برداشت آب، مصرف انرژی، الکتروپمپ، منابع انرژی یارانه‌ای، ارتفاع پمپاژ، تخلیه آب خوان، کنتور آب، حجم برداشت آب.

چکیده

مدیریت برداشت از منابع آبی در سراسر جهان مستلزم به‌کارگیری روش‌ها و ابزارآلات اندازه‌گیری و نیروی انسانی است که هزینه‌ی بالایی را به بدنه حکمرانی منابع آب تحمیل می‌کند. هدف این مقاله ارایه روشی است که بتواند بدون دخالت نیروی انسانی و به‌کارگیری تجهیزات اندازه‌گیری، تخمین مناسبی از برداشت آب چاه‌ها ارایه نماید. بدین منظور ۳۸ حلقه چاه نمونه با شرایط مناسب (و با دسته‌بندی‌های مختلف از نظر ارتفاع پمپاژ) در استان خراسان جنوبی انتخاب شد. در این تحقیق با ثبت مقادیر برداشت حجم آب توسط الکتروپمپ و مقادیر مصرف انرژی پمپ (در طول یک بازه زمانی یکسان) و در نهایت برازش آماری آن‌ها برای چاه‌های انتخابی، یک ارتباط ریاضی برای تخمین حجم برداشت در یک باند خطای اطمینان مناسب به‌دست آمد. با به‌کارگیری این رابطه، می‌توان هزینه‌های انسانی و تجهیزاتی برای کنترل تخلیه چاه‌های آب را به حداقل ممکن رساند و یا تداوم کنترل بهره‌برداری از چاه را در صورت خرابی یا عدم وجود تجهیزات اندازه‌گیری با افزایش قابلیت اطمینان سیستم تضمین نمود. رابطه پیشنهادی بر روی ۱۶۲ چاه (با انتخاب تصادفی در همان استان) مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج نشان می‌دهد خطای این رابطه با منظور کردن تمامی عوامل بیرونی دخیل، نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده توسط کنتور آب بین ۵ تا ۱۹/۸ درصد است. معیار کارایی ضریب همبستگی (R) که برای ارزیابی رابطه پیشنهادی استفاده شد، برای داده‌های تحت آموزش ۰/۸۹ و برای داده‌های تحت ارزیابی حدود ۰/۸۰۲ به‌دست آمد.

۱. دکترای مهندسی برق – الکترونیک و کارشناس بهره‌برداری از تاسیسات شرکت مدیریت منابع آب ایران
hasansaqa@gmail.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

۱. مقدمه

خشکسالی و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط کره زمین، موجب ایجاد بحران‌های آبی شده و در بسیاری از نقاط دیگر، با ادامه این بهره‌برداری‌هامی‌توان بحران آبی پیش‌بینی نمود. به دلیل وابستگی معیشتی مردم نقاط مختلف کره زمین به آب، ایجاد این بحران می‌تواند بحران‌های اجتماعی و اقتصادی را به دنبال داشته باشد. رشد ناهمگون جمعیت و پراکندگی ناهمگون بارش‌ها و افزایش تقاضا برای برداشت منابع آب و مصرف آن در بخش‌های کشاورزی، شرب، خدمات و صنعت از جمله اصلی‌ترین مواردی هستند که موجب نگرانی دولت‌ها و حاکمیت آب شده اند. وجود اقتصاد سیاسی نیز در بسیاری از کشورها موجب هدر رفتن توامان منابع آب و انرژی شده به‌گونه‌ای که با در اختیار قرار دادن انرژی یارانه‌ای (برق و یا دیزل) به مالکین چاه‌ها به‌منظور پمپاژ آب کشاورزی هم منابع مالی و انرژی و هم منابع آبی این کشورها در حال کاهش است [۹]. به تعبیری دیگر با ادامه این روند ارزش آب به‌عنوان ماده‌ای مهم در چرخه حیات فراموش می‌شود و با تحمیل هزینه به نسل‌های آتی، توسعه پایدار کشورها را با خطر جدی مواجه می‌کند [۱].

در چند دهه اخیر برداشت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و شهری بدون اقدامات مؤثر در جهت بهره‌وری آن و بدلیل تقاضای بالا در این زمینه افزایش چشمگیری داشته است. تأمین آب‌شرب برای مردم و ایجاد امنیت غذایی و رونق کسب و کارها در بخش کشاورزی و صنعت از جمله مواردی است که در بسیاری از کشورها دولت‌ها را مجاب کرده تا بار ایجاد شغل را بر دوش منابع آبی تحمیل کنند در حالی که بدلیل گستردگی مکانی نقاط برداشت آب و هزینه بالای تجهیزات اندازه‌گیری موفقیت چندانی را در کنترل عرضه این منابع در جهت بهره‌وری مصرف کسب نکرده‌اند [۲].

روش‌های متفاوتی برای کنترل برداشت از منابع آبی و بویژه منابع آب زیرزمینی استفاده می‌شود که بر اساس یک تقسیم‌بندی پنجگانه [۱۴] شامل ۱- فرمان و کنترل ۲- جریمه (از جمله مالیات) ۳- پرداخت (از جمله یارانه) ۴- تخصیص (حقوق مالکیت معوق) ۵- ترغیب، می‌شوند. موارد ۲، ۳ و ۵ از جمله موارد انگیزشی (تشویقی یا تنبیهی) اند و سایر موارد به مدیریت برداشت آب زیرزمینی از طریق نظام هماهنگ اشتراک آب قابل دسترس و یا از طریق تحت تأثیر قرار دادن برداشت‌کننده‌های آب از جنبه‌های اجتماعی و زیست محیطی به حل مساله کمک می‌کنند. اگرچه در تعدادی از کشورها و با

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

هدف توسعه و اشتغال صرفاً به موارد تشویقی پرداخته می‌شود که در این صورت با ایجاد نگاهی یکسان و نهادینه شدن آن، ارزش خود را از دست می‌دهند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که تشویق و تنبیه در کنار هم می‌توانند در استفاده بهینه از منابع مفید باشند [۹].

به‌طور خلاصه روش اول وابسته به تعریف محدودیت‌های آبی از جمله تعریف آستانه سطح منابع آب (به‌طور مثال سطح سفره آب زیرزمینی) با مشخص بودن نقاط برداشت از منبع و اندازه‌گیری حجم برداشتی و در دسترس بودن اطلاعات آن برای نقاط مذکور است بنابراین در این روش می‌توان سیستم سهمیه‌بندی را برای میزان آب برداشتی اعمال نمود و آن را به‌صورت سالانه و بر اساس تغییرات سطح منابع آب بروزرسانی کرد. در مراجع [۱۷،۱۵] کنترل برداشت آب با محدودیت در سهمیه‌های انرژی (برق و یا سوخت فسیلی برای دیزل ژنراتورها) نیز برای این روش گزارش شده است. وجود ابزارهای اندازه‌گیری دقیق از جمله کنتورهای آب اصلی‌ترین نقش را در این روش ایفا می‌کند که به‌علت هزینه به نسبت بالای این ابزارها اجرای آن برای دولت‌ها دشوار خواهد بود.

در رویکرد مالیاتی (روش دوم) فرض می‌شود که مصرف‌کنندگان آب (از جمله کشاورزان) را می‌توان تحت تأثیر هزینه‌های آب قرار داد. در این روش نیز که مستلزم اندازه‌گیری برداشت آب است، می‌توان مالیات را بر روی انرژی مصرفی الکتروپمپ‌ها اعمال کرد. برای افزایش بازدارندگی از برداشت بی‌رویه آب، مالیات اعمالی باید بر اساس موقعیت، زمان و حجم اضافه برداشت دارای سطح‌بندی‌هایی باشد به‌ویژه اگر تقاضا و حجم آب دردسترس با زمان تغییرکند. به عنوان مثال میزان مالیات برای ترسالی و خشک‌سالی و یا یکسال آبی معمولی، نمی‌تواند یکسان باشد [۱۰].

در روش سوم فرض بر این است که پرداخت یارانه برای خرید تجهیزات آبیاری با بازدهی بالا و انتخاب نوع کشت برای منطقه می‌تواند به کاهش مصرف برداشت آب بیانجامد. لزومی برای اندازه‌گیری دقیق آب استحصالی در این روش وجود ندارد و بدون آن نیز می‌توان به کاهش برداشت‌ها امیدوار بود [۱۴]. به‌عنوان نمونه در کشور ایران نیز برای خرید تجهیزات آبیاری تحت فشار و احداث پروژه‌های آبیاری نوین، از چند سال اخیر یارانه، کمک‌ها و وام‌های بلاعوضی در نظر گرفته می‌شود. اصلی‌ترین مشکل این روش در پایداری آن است؛ علاوه بر ضرورت تأمین بودجه، هنگامی که یارانه‌ها متوقف شوند،کشاورزان ممکن است بار دیگر مصرف آب خود را برای حفظ درآمد خود افزایش دهند. البته استفاده از روش‌های نوین آبیاری و در نتیجه افزایش بازدهی آبیاری نیز در صورت افزایش سطح

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

زیر کشت منجر به کاهش مصرف آب نخواهد شد و در بسیاری موارد به‌دلیل عدم بازگشت آب به سفره‌های آب زیرزمینی می‌تواند موجب کاهش و افت سطح این منابع شود [۷].

روش چهارم بر اساس حقوق مالکیت فردی یا جمعی است که با حمایت از موسسات مرتبط از جمله تشکل‌های محلی و مردمی و تعاریف حق برداشت آب برای افراد بر اساس قوانین و مجوزها [۱۱] می‌توان به مصرف بهینه آب، بهره‌وری آن و جلوگیری از اضافه برداشت‌ها امیدوار بود. بدین‌ترتیب قوانین و روابط محلی ایجاد شده به کاهش هزینه‌های تحمیلی و برداشت آب می‌انجامد و حتی با تعریف حقوق مالکیت قابل معامله، توسعه بازارهای آب امکان‌پذیر خواهد شد.

ترغیب کاربران و شفاف‌سازی اطلاعات منبع آبی مشترک آنها (مانند کاهش سالانه سطح آب سفره آب زیرزمینی) و پیامدهای ناشی از مصرف زیاد آب و برگشت‌ناپذیری بسیاری از این پیامدها برای نسل‌های آینده راه حل پنجم است [۱۶].

قوانین متعددی در خصوص کنترل برداشت‌ها در کشورهای مختلف وجود دارد که در اکثر آنها به نصب ابزار اندازه‌گیری بر روی چاه‌ها اشاره می‌کنند. به‌عنوان نمونه آمارها نشان می‌دهند که با وجود تلاش‌های زیاد در کشور ایران طی ۱۰ سال گذشته حدود ۱۷ ٪ کل چاه‌های مجاز به ابزار اندازه‌گیری مجهز شده‌اند که با در نظر گرفتن عمر مفید و دوره استهلاک آنها، به ندرت کارایی خود را از دست خواهند داد و با وجود تلاش‌ها در جهت تجهیز چاه‌ها به ابزار اندازه‌گیری و حمایت قوانین بالا دستی هنوز چاه‌های زیادی وجود دارند که از این ابزارها بی‌بهره‌اند. در نمونه دیگر دشت روسلیون در جنوب فرانسه است که فقط یک درصد چاه‌های خانگی و ۴۰ تا ۶۳٪ چاه‌های کشاورزی به ابزار اندازه‌گیری مجهز شده‌اند [۱۲، ۶]. موارد متعددی از جمله هزینه بالای این ابزارها، عدم اشاعه فرهنگ استفاده مفید از آنها و عدم رضایت کشاورزان جهت کنترل آب برداشتی توسط دولت‌ها از جمله اصلی‌ترین علل به‌وجودآمدن این شرایط است.

مشکل بعدی وجود بهره‌برداران غیرمجاز است که بدون مجوز دولت‌ها اقدام به حفر چاه و بهره‌برداری از آب می‌کنند. حتی در بسیاری از موارد ممکن است بدلیل عدم همکاری بین سازمان‌های ذیصلاح امکاناتی از قبیل انشعابات برق و یارانه‌های کشاورزی نیز دریافت کنند. وجود این‌گونه بهره‌برداران و عدم اشراف دقیق دولت‌ها از حجم برداشت دقیق آب توسط آنها ادامه همکاری با بهره‌برداران مجاز را دشوار می‌کند. به‌گونه‌ای که دولت‌ها قوانین و آیین‌نامه‌هایی را به‌منظور پر و

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

مسلوب‌المنفعه کردن این گونه چاه‌ها وضع می‌کنند. به‌عنوان نمونه در کشور ایران نیز با تعریف و اجرای طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی، علاوه بر نصب کنتور بر روی چاه‌های آب مجاز، مسدود کردن چاه‌های غیر مجاز نیز به‌صورت همزمان دنبال می‌شود.

یکی دیگر از مشکلات که می‌خواهیم آن را اصل پدربزرگی بنامیم، تخصیص بر اساس سابقه حفر چاه می‌باشد. به‌گونه‌ای که در حقیقت مالکین چاه بر اساس سابقه تاریخی چاه آن را از اجداد خود به ارث می‌برند. بنابراین در صورت وجود چنین اصل و قانونی در کشوری، در صورت تکمیل ظرفیت بهره‌برداری از منابع آب، امکان اشتراک گذاری این منابع برای افراد جدید وجود نخواهد داشت. در این صورت و بر اساس حمایت‌های قانونی، مالکین خود را در استفاده از آب بی‌رقیب می‌یابند و به راحتی از انجام قوانینی که به‌زعم خود در تضاد با بهره‌برداری حداکثری آنها از منابع آب باشد سر باز می‌زنند.

به‌عنوان نمونه در تحقیقی که در ایالت جورجیا آمریکا در سال ۲۰۰۳ انجام شد، استفاده از کنتورها به‌عنوان مؤلفه مهمی در ارزیابی‌های مدیریتی مصرف آب کشاورزی مد نظر قرار گرفت. با وجود این که کنتور آب می‌تواند موجب بهبود و تقویت سیستم مدیریتی فردی و عمومی در زمینه مصرف آب شود، ارزیابی‌ها نشان داد که اکثریت کشاورزان آنجا (که بعضاً دارای تحصیلات دانشگاهی بودند) به لزوم نصب و کارآمد بودن کنتور اعتقادی نداشتند و در برخی موارد حتی با آن مقابله می‌کردند. این دسته از کشاورزان معتقدند که این گونه تجهیزات در آینده به ابزاری برای کنترل توسط دولت و لزوم پاسخگویی آنها تبدیل خواهد شد. یکی از مهمترین مسائل و نگرانی‌های کشاورزان در این منطقه، الزام آنها به قوانین وضع شده در خصوص خرید، نصب و استفاده از کنتور بود. علاوه بر این، مسائلی همچون هزینه خریداری و راه اندازی کنتور، تردید در زمینه مزایای بالقوه کنتورها، ترس از مقررات بعدی (ایجاد برخی محدودیت‌ها در زمینه میزان برداشت آب در آینده) ، و کاهش راندمان پمپ و متعاقباً مخارج ناشی از تغییر منصوبات درون چاهی متناسب با میزان برداشت مورد انتظار دولت، از مهمترین نگرانی‌های جامعه کشاورزان بود. مهمترین روش پیشنهاد شده توسط تعداد انگشت شماری از کشاورزان جهت افزایش همراهی با اجرای این طرح، تأمین تمام یا بخشی از هزینه نصب کنتور توسط دولت بود [۱۳].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

۲. روش تحقیق و توصیف داده‌ها

همان‌گونه که در بخش قبل در زمینه روش‌های کنترل حجم تخلیه آب چاه‌ها بـه اختصـار بیـان شـد، تمامی این روش‌ها چه به‌صورت مستقیم و چه غیرمستقیم نیاز به اندازه‌گیری حجم تخلیه آب دارند. بـا توجه به وضع موجود اندازه‌گیری‌ها به سه روش انجام می‌شود.

۱. اندازه‌گیری دبی واقعی به‌صورت حجمی و یا با خط‌کش جت و اظهارات مالکین چاه‌هـا در خصـوص ساعت کارکرد و یا محاسبه آن از روی اطلاعات برق مصرفی.

۲. در برخی موارد حجم مجاز مندرج در پروانه بهره‌برداری ملاک عملکرد قرار می‌گیرد.

۳. در صورتی که چاه به کنتور یا سایر دستگاه‌های اندازه‌گیری مجهز باشد، اندازه‌گیری‌ها بـر ایـن مبنـا خواهد بود.

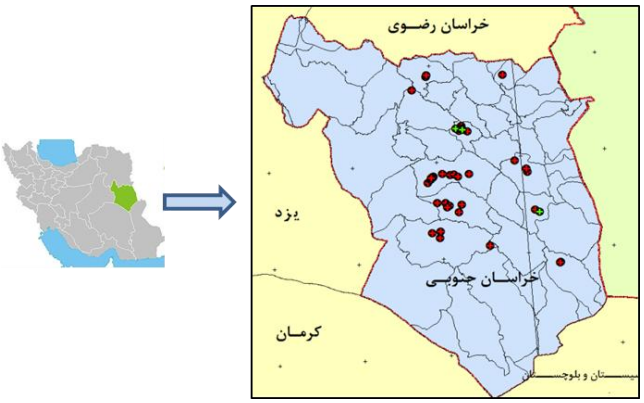
بنابراین وجود تخمین نزدیک به واقعیت و بدون دخالت افراد (به منظور کـاهش سوءاسـتفاده‌هـای فردی و احتمال تبانی افراد) برای حجم تخلیه آب چاه‌ها بسـیار مـؤثرتر و دقیـق‌تـر از روش اول و دوم خواهد بود. روش سوم نیز حتی بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های ذکر شده در بخش قبل در بسیاری از موارد هزینه زیادی خواهد داشت. به‌طور مثال متوسط قیمت خرید یک فلومتر الکترومغنـاطیس و یـا پروانه‌ای مناسب با قطر ۸ اینچ بترتیب کمتر از ۱۰۰۰ دلار [۱۸] و ۸۰۰ دلار [۱۳] نیسـت و بـا فـرض هزینه‌های تعمیر و نگهداری و قرائت این کنتورها (که معمولاً در سطح وسیعی از یک دشت بـا محـیط خشن نصب می‌شوند) برای یک دوره ۷ ساله (به فرض عمر مفید کنتورها در همـین حـد) حـدود ۵۰۰ دلار برآورد کنیم در مجموع برای یک دشت شامل فقط ۵۰۰ حلقه چاه آب باید برای تجهیز چاه‌هـا بـه فلومتر الکترومغناطیس حدود ۷۵۰ هزار دلار بپردازیم.

بنابراین باید روشی را بیابیم که بتوانیم بدون دخالت کشـاورزان، مـالکین چـاه‌هـا و یـا بـه‌کـارگیری نیروهای قرائتگر و ناظرین کنتورها و تحمیل هزینه‌های تعمیـر و نگهـداری ایـن گونـه تجهیـزات، حجـم تخلیه چاه‌ها را تخمین بزنیم. به‌منظور یک روش جایگزین و یا موازی برای تخمین حجـم برداشـت آب و یا کشف تخلفات ناشی از دستکاری اینگونه تجهیزات با درصد خطای معقول تحقیقـی بـر روی ۲۰۰حلقـه چاه نمونه در استان خراسان جنوبی انجام شد. ۳۸ حلقه چاه کـه بـرای آمـوزش و بـه‌دسـت آوردن رابطـه تخمینی تعیین شده بودند، پارامترها و داده‌های خام آن‌ها به‌منظور برازش نمونه‌ها برای یک‌دوره یک‌سـاله ثبت شد و ۱۶۲ حلقه چاه دیگر در کلاسه‌های ۶ تایی به تفکیک ارتفاع پمپاژ ۸ متری به‌صـورت تصـادفی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

انتخاب شدند (صرفاً کلاسه اول با توجه به تعداد چاه‌های اندک با عمق کم در استان خراسان جنوبی تا ارتفاع پمپاژ ۱۶ متر انتخاب شد) تا در نهایت از این ۱۶۲ حلقه چاه به‌منظور ارزیابی رابطه پیشنهادی استفاده شود. داده‌هایی که ثبت و بررسی شد شامل دیماند قرائت شده، انرژی مصرفی (در یک دوره یک ساله)، دبی اندازه‌گیری شده، عمق نصب پمپ و بازدهی تقریبی پمپ و اطلاعات پروانه بهره‌برداری از جمله دبی و حجم مجاز پروانه بود. برای اینکه ۳۸ حلقه چاه مذکور شامل گستره قابل قبولی از چاه‌ها (از نظر عمق) شوند و از چاه‌هایی که دارای تجهیزات غیرمعقول می‌باشند (که داده‌های پرت را شامل می‌شوند) جلوگیری شود، ویژگی انتخاب این نمونه چاه‌ها به قرار ذیل تعیین شد؛

- عمق نصب پمپ چاه‌های نمونه تا ۲۴۰ متر در نظر گرفته شدند.
- برای هر بازه ۲۰ متری برای عمق نصب پمپ حداقل ۲ چاه نمونه در نظر گرفته شد.
- چاه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شدند که از انشعاب برق الکتروپمپ برای مصارف غیر استفاده نشود.
- با توجه به تعداد زیادپمپ‌های شناور برای چاه‌های آب در سطح کشور این نوع پمپ در انتخاب چاه‌های نمونه در نظر گرفته شد (البته با توجه به اینکه در این تحقیق، پارامتر اصلی ارتفاع پمپاژ آب است، نوع پمپ تفاوت زیادی ایجاد نمی‌کند)
- تمامی چاه‌ها مجهز به کنتور آب بودند.
- عمر استفاده از پمپ بیش از ۸ سال نباشد.



شکل ۱. موقعیت چاه‌های انتخابی در محدوده استان خراسان جنوبی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

موقعیت مکانی چاه‌های انتخابی در شکل (۱) نشان داده شده است. به‌منظور تخمین حجم برداشت آب از روی پارامترهای مصرفی برق و عمق پمپاژ چاه، شرایط و داده‌هایی که مورد اندازه‌گیری واقع شدند شامل موارد ذیل بود.

۱. دبی
۲. دیماند مصرفی الکتروپمپ
۳. میزان برق مصرفی (KWh)
۴. ارتفاع پمپاژ
۵. برق مصرفی در یک بازه زمانی (یکساله)
۶. حجم آب برداشت شده در همان بازه زمانی
۷. برق مصرفی به ازای تخلیه یک متر مکعب آب

به‌منظور تخمین حجم آب تخلیه چاه‌ها با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده می‌توان از روش‌های محاسباتی که در ادامه بیان می‌شود استفاده نمود.

۲-۱. روش وابسته به اندازه‌گیری دبی

با استفاده از این داده‌ها می‌توان از روش‌های معمولی مثل قرائت مستقیم کنتور و یا ضرب دبی در ساعت کارکرد برای تعیین حجم تخلیه آب چاه‌ها استفاده نمود. یعنی علاوه بر قرائت کنتور، می‌توان از فرمول زیر نیز حجم تخلیه آب چاه را محاسبه کرد [۵].

$$V = Q.T \qquad (۱)$$

که در این فرمول V حجم تخلیه چاه بر حسب متر مکعب و Q دبی چاه بر حسب مترمکعب بر ساعت و T زمان بر حسب ساعت است. میزان ساعت کارکرد پمپ (T) نیز بر اساس

$$T = \frac{Electrical\ energy}{Electrical\ power}\left(\frac{KW.h}{KW}\right) \qquad (۲)$$

محاسبه می‌شود [۸]. یعنی با تقسیم انرژی مصرفی در یک بازه زمانی بر توان کشیده شده توسط پمپ ساعت کارکرد پمپ محاسبه می‌شود. پارامترهای به‌کاربرده شده در این رابطه معمولاً از کنتورهای برق قابل استخراج می‌باشند. در این روش اگر چاه فاقد هرگونه وسیله اندازه‌گیری سرچاهی باشد مشکل اصلی محاسبه دبی خواهد بود که باید توسط افراد و با روش‌های تقریبی از جمله به‌کارگیری

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

خطکش جت تعیین شود و با توجه به این که دبی خروجی لوله در زمان راه‌اندازی پمپ با زمان پایدار شدن آب دهی متفاوت است نیاز به صرف زمانی حدود ۳۰ دقیقه (وابسته به شرایط چاه) پس از راه‌اندازی دارد. بنابراین از جمله اصلی‌ترین معایب این روش وابستگی به ثبت اطلاعات توسط افراد (مداخله فرد در ثبت اطلاعات و امکان دستکاری آن ها) و لزوم اندازه‌گیری مستقیم دبی است.

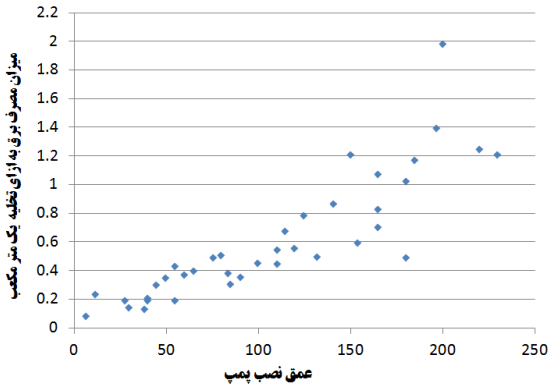
۲-۲. روش پیشنهادی

با توجه به اینکه میزان برق مصرفی چاه (KWh) و حجم تخلیه آب چاه را برای نمونه‌ها در یک بازه زمانی اندازه‌گیری نموده‌ایم می‌توانیم شاخص زیر را برای هر چاه تعریف کنیم.

$$\alpha_n = \frac{Electrical\ energy(t_1)}{V(t_1)} = \frac{Electrical\ power}{Q} \qquad (۳)$$

در اینجا شاخص α_n میزان مصرف انرژی برق به ازای تخلیه یک متر مکعب آب برای هر چاه است که از تقسیم انرژی الکتریکی در بازه زمانی t_1 بر حجم تخلیه چاه در همان بازه زمانی به‌دست می‌آید. البته به تعبیری دیگر α_n نشان دهنده ارتباط دبی با توان کشیده شده توسط پمپ نیز می‌باشد.

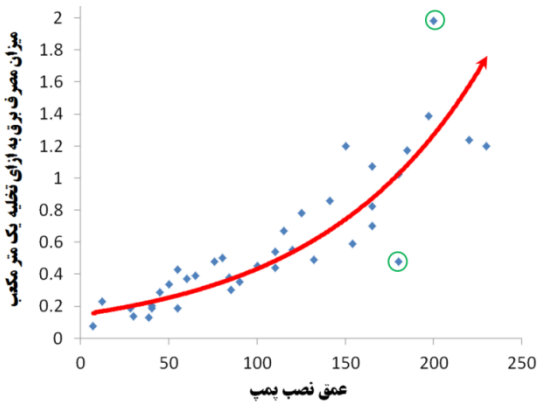
با رسم این شاخص به ازای عمق نصب پمپ و برازش منحنی این نمونه‌ها بر اساس تحلیل رگرسیون می‌توانیم رابطه‌ای برای تخمین میزان مصرف انرژی برق به ازای تخلیه یک متر مکعب آب و عمق نصب پمپ به‌دست آوریم. شکل (۲) نمودار پراکندگی نقاط (شاخص α_n) را به ازای عمق نصب پمپ برای چاه‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۲. پراکندگی شاخص α_n به ازای عمق نصب پمپ

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

با تحلیل و بررسی داده‌ها و حذف داده‌های دور افتاده [۴] می‌توان داده‌ها را با یک منحنی کـه در شکل (۳) نمایش داده شده است تخمین زد.



شکل۳. منحنی برازش شده از روی نمونه‌های شاخص α_n

رابطه نمودار نمایی شکل ۳ به ازای حداکثر رگرسیون و همبستگی داده‌ها بر اساس تخمین نمایی زیر به‌دست می‌آید.

$$\alpha = 0.1332\exp(0.0116x) \quad (۴)$$

که در این فرمول α همان میزان مصرف انرژی برق به ازای تخلیه یک متر مکعب آب برای هر چاه با عمق نصب پمپ (تقریباً معادل ارتفاع پمپاژ فرض شده است) x می‌باشد. در صـورتیکه مصـرف انـرژی الکتریکی چاه را بر α تقسیم کنیم میزان تخلیه آب معادل به‌دست می‌آید.

$$V = (7.507\exp(-0.0116x))(Electrical\ \ energy) \quad (۵)$$

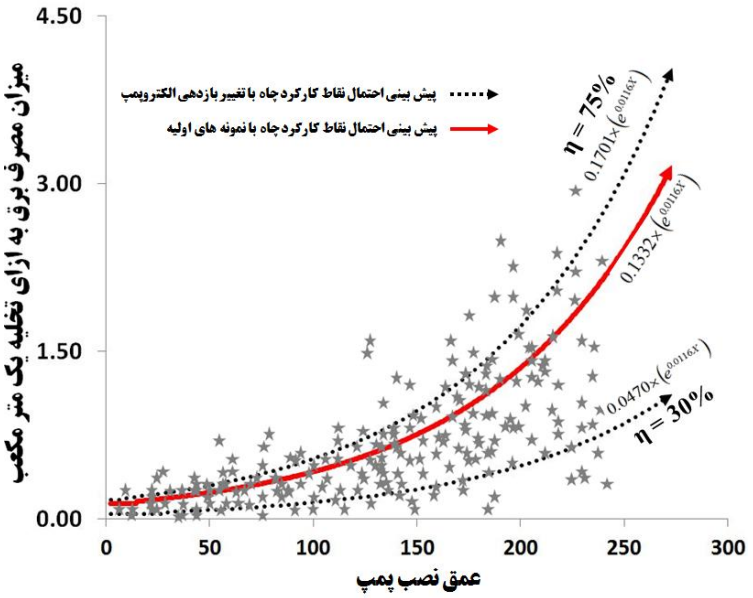
یکی از اصلی ترین دلایل انتخاب دو عامل مصرف انرژی و ارتفاع پمپاژ به‌عنوان متغیـر بـرای تخمـین حجم آب استخراجی، تأثیر زیاد این دو عامل بوده است. اگر در شکل (۲) تعداد نمونه‌ها را بدون هرگونه حذف داده‌های دور افتاده زیاد کنیم خواهیم دید که تخمین حجم صرفاً بـا اسـتفاده از تـابع پیشـنهادی خطای بالایی را در محاسبه حجم نهایی ایجاد می‌کند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

با به‌کارگیری فرمول توان پمپ (۶) می‌توان بازدهی ۳۸ الکتروپمپ نمونه را به‌دست آورد،

$$Electrical\ \ power = \frac{Q.H.g.\rho}{Pump\ efficiency} \qquad (۶)$$

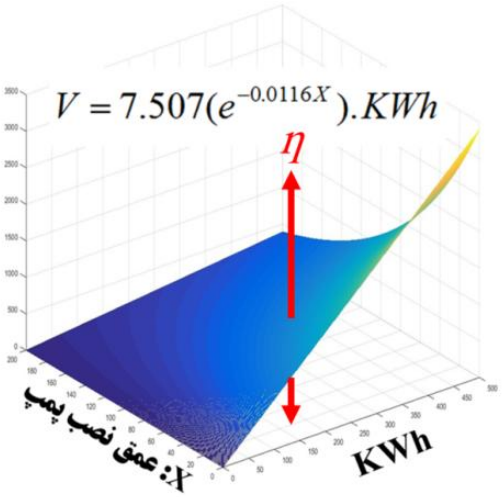
که در آن H ارتفاع پمپاژ، g شتاب جاذبه و ρ جرم مخصوص سیال است [۳]. تقریباً متوسط بازدهی‌های این ۳۸ الکتروپمپ نمونه ۵۹ درصد به‌دست آمد. با مطالعه منحنی پمپ و اطلاعات بازدهی الکتروپمپ‌های ساخت تعدادی شرکت‌های مطرح سازنده واحتمال انتخاب نامناسب نوع پمپ برای چاه و منظور کردن درصدی تخمینی برای استهلاک پمپ‌ها، حد پایین و بالای بازدهی الکتروپمپ‌ها بین ۳۰ تا ۷۵ درصد تخمین زده شد. با نشان دادن تمامی نمونه‌ها (۲۰۰ حلقه چاه) و نمودارهای نمایی ناشی از تخمین حد پایین و بالای بازدهی الکتروپمپ‌ها در شکل (۴) ملاحظه می‌شود که تغییرات شاخص α در دو باند نمایی تعریف شده محدود می‌شوند. بنابراین عامل سومی که تأثیر بسزایی در محاسبه حجم آب تخلیه شده خواهد داشت بازدهی پمپ است به این معنی که هر چه بازدهی یک الکتروپمپ به واحد نزدیک باشد مسلماً تمامی انرژی مصرفی را به کار مطلوب تبدیل می‌کند و برعکس.



شکل۴. تغییرات نمودار تخمینی با تغییر بازدهی (η) الکتروپمپ

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

بر اساس رابطه اخیر تغییرات حجم بر مبنای دو متغیر انرژی مصرفی و ارتفاع پمپاژ بر روی یک صفحه مانند آنچه که در شکل (۵) نمایش داده شده است خواهد بود که به‌طور تقریبی می‌توان گفت با اعمال بازدهی الکترو پمپ در رابطه (۵)، صفحه در راستای محور حجم بالا و یا پایین می‌رود.



شکل۵. نمودار سه بعدی تغییرات حجم بر مبنای دو متغیر انرژی مصرفی و ارتفاع پمپاژ در مقابل تغییرات بازدهی

براساس این تعاریف و اعمال تأثیر بازدهی در رابطه (۵) تخمینی پیشنهادی به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

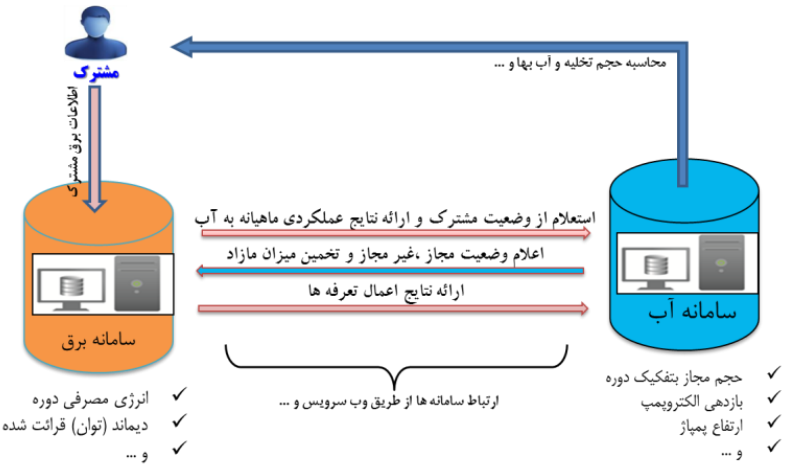
$$V = \left(7.507\exp\left(-0.0116x\right)\right)\left(\eta.Electrical\ energy\right) \quad (۷)$$

که در این رابطه η بازدهی الکتروپمپ یا بعبارتی کارایی الکتروپمپ در تبدیل قدرت ورودی به قدرت خروجی است.

از آنجا که رابطه پیشنهادی تا حدود زیادی مستقل از هرگونه اندازه‌گیری پارامترها در طول دوره بهره‌برداری است به‌کارگیری نیروی انسانی برای بخش آب را به حداقل می‌رساند و عملیاتی شدن آن نیز می‌تواند به ساده‌ترین شکل پیاده‌سازی شود. به‌عنوان مثال اگر بخش آب به اطلاعات مصرف برق مشترکین که توسط شرکت‌های توزیع نیروی برق جمع‌آوری می‌شود، دسترسی داشته باشد، می‌تواند با به‌کارگیری رابطه پیشنهادی به‌صورت سیستمی مصارف آب مشترکین را محاسبه و به مشترک اعلام

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

نماید. شکل (۶) نمونه‌ای بصری از سیستم ارتباطی سامانه‌های آب و برق را به‌منظور تعیین حجم آب خروجی چاه از روی برق مصرفی الکتروپمپ‌ها نشان می‌دهد.



شکل۶. نمونه‌ای بصری از ارتباط سامانه‌های بخش آب و برق
برای تخمین حجم آب خروجی چاه با به‌کارگیری رابطه پیشنهادی

۳. نتایج

به‌منظور مقایسه دقت روش پیشنهادی، روش اندازه‌گیری دبی (و ضرب آن در ساعت کارکرد پمپ) و روش اندازه‌گیری حجم آب با کنتور آب بهمراه حجم آب مجاز مندرج در پروانه مورد تحلیل قرارگرفتند. بر اساس تحلیل‌های انجام شده نتایج به شرح جدول ۱ است.ارزیابی رابطه پیشنهادی نشان می‌دهد خطای این رابطه با منظور کردن تمامی عوامل بیرونی دخیل، نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده توسط کنتور آب بین ۵ تا ۱۹/۸درصد درحالی که همین خطا برای روش اندازه‌گیری دبی و ضرب آن در ساعت کارکرد پمپ بین ۲/۵ تا ۲۲ درصد است. معیار کارایی ضریب همبستگی (R) که برای ارزیابی رابطه پیشنهادی استفاده شد، برای داده‌های تحت آموزش ۰,۸۹ و برای داده‌های تحت ارزیابی حدود۰/۸۰۲ به‌دست آمد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

جدول ۱. مقایسه خطا و قابلیت اجرای روش‌های مطرح شده در بخش ۲

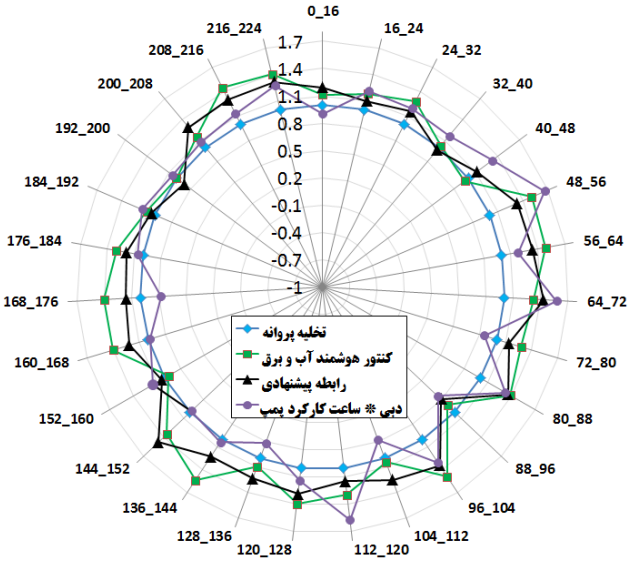
(خطای ذکر شده در جدول نسبت به میزان اندازه‌گیری با کنتور آب برآورد شده است)

هزینه اجرا	دخالت نیروی انسانی	متوسط خطای همه کلاسه‌ها (درصد)	بیشترین میانگین خطای یک کلاسه (درصد)	کمترین خطای موردی (درصد)	بیشترین خطای موردی (درصد)	روش
ناچیز	ندارد	۳,۳	۱۹	۵	۱۹,۸	رابطه پیشنهادی
متوسط (ناشی از به‌کارگیری نیروی انسانی)	دارد	۸,۵	۳۱	۲,۵	۲۲	دبی * ساعت‌کارکرد

مأخذ: نتایج تحقیق

برای مقایسه دقت روش‌های مذکور، شکل ۷ میانگین انحراف از حجم مجاز پروانه بهره‌برداری برای هر کلاسه (که به‌تفکیک عمق چاه تعریف می‌شوند) را نشان می‌دهد همان‌گونه که نشان‌داده شده‌است تمامی نمودارها بر اساس حجم مجاز مندرج در پروانه بهره‌برداری (دایره واحد آبی رنگ) نرمالیزه شده‌اند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]



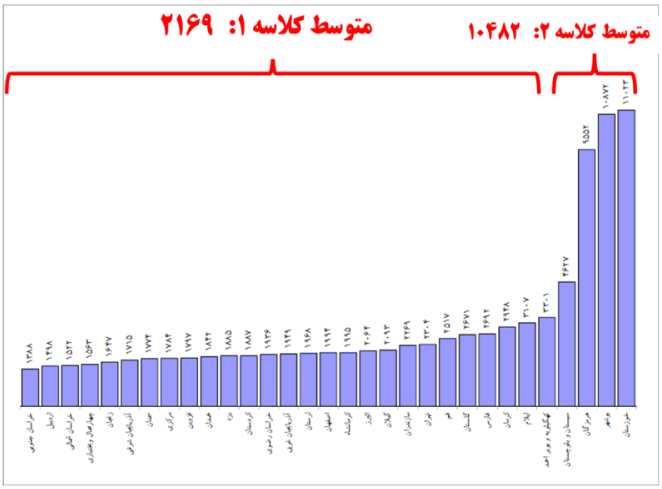
شکل۷. میزان برداشت آب نرمالیزه شده نسبت به حجم مجاز پروانه (دایره واحد آبی رنگ) به تفکیک بازه عمق چاه‌های انتخابی (کلاسه‌بندی شده). برای اندازه‌گیری از طریق ۱. کنتور آب (نمودار سبز رنگ) ۲. اندازه‌گیری دبی و ضربآن در ساعت کارکرد پمپ (نمودار با رنگ بنفش) ۳. روش پیشنهادی (نمودار سیاه رنگ).

عوامل بیرونی مانند وزن مخصوص آب، ساختار جداره چاه و موقعیت مکانی (هیدروژئولوژیکی) آن در دشت از نظر گذردهی مواد جداره چاه و در نتیجه تغییرات آبدهی چاه و هوادهی آن و استفاده‌های ثانویه از انشعاب برق چاه (از جمله برای روشنایی و ...) می‌توانند در خطای نهایی روش تخمینی پیشنهادی اثرگذار باشند.

البته این تأثیرات خطای ناچیزی را به رابطه پیشنهادی تحمیل می‌کنند. به‌طور مثال طبق محاسبات انجام شده حتی اگر استفاده ثانویه از انشعاب برق چاه به اندازه متوسط مصرف برق یک خانه باشد بر اساس متوسط مصارف خانگی در استان‌های مختلف که توسط شرکت‌های توزیع نیروی برق به‌صورت سالانه گزارش می‌شود حدود ۱ تا ۵ درصد خطا را به رابطه تحمیل خواهد کرد. برای توضیح بیشتر شکل ۸ متوسط مصارف برق خانگی استان‌ها را نشان می‌دهد که از گزارش سال ۹۴ شرکت توانیر استخراج شده است [۱۹] اگر استان‌ها را به دو کلاسه پرمصرف و کم مصرف تقسیم کنیم و متوسط مصرف برق هر کلاسه را محاسبه کنیم و معادل استخراج آب برای برق مصرفی یک چاه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

۱۲۰متری که بازدهی پمپ η=۱ دارد را از رابطه پیشنهادی به‌دست آوریم. این مقدار برای کلاسه۱ (کم مصرف) تقریباً معادل ۴ هزار متر مکعب آب و برای کلاسه ۲ (پر مصرف) تقریباً معادل ۲۰ هزار متر مکعب آب خواهد بود که از چاه با عمق پمپاژ ۱۲۰ متر در مدت یکسال استخراج می‌شود. این در حالی است که میانگین مصرف برق کل چاه‌های نمونه‌برداری شده (۱۶۲ چاه با عمق پمپاژ ۱۰ تا ۲۴۰ متر) در طول یکسال حدود ۲۲۲۶۵۱ کیلووات ساعت معادل ۴۳۳۷۷۱ مترمکعب آب (برای یک چاه با عمق ۱۲۰ متر) خواهد بود. با این محاسبات واضح است که مصرف برق خانگی با متوسط ارایه شده در کلاسه ۱ حدود یک درصد و کلاسه ۲ حدود ۵ درصد خطا را به میزان اندازه‌گیری شده توسط رابطه پیشنهادی تحمیل می‌کند. لازم بذکر است برای استفاده ثانویه معادل یک مصرف خانگی کامل از انشعاب برق کشاورزی در استان‌هایی مثل خوزستان و بوشهر (که از تجهیزات برقی پر مصرف به‌ویژه در فصل تابستان استفاده می‌کنند) خطای حدود ۵ درصد به رابطه تحمیل خواهد شد. همان‌گونه که می‌دانیم تعداد کمی از مشترکین وجود دارند که از مصارف ثانویه استفاده می‌کنند.



شکل ۸. متوسط مصارف برق خانگی استان‌ها در گزارش سال ۹۴ شرکت توانیر

۴. جمع بندی و نتیجه‌گیری

بحران‌های آبی و خشکسالی‌های اخیر که نقاط مختلف کره زمین از جمله منطقه جنوب غربی آسیا را تهدید می‌کند نیازمند رویکردی جدید در مدیریت مصارف آب و انرژی است. در این مقاله با انتخاب

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

چاه‌های نمونه و با بررسی رابطه مصارف آب و برق روشی ساده و با دقت مناسب به‌منظور تخمین حجم آب برداشتی چاه‌ها توسط الکتروپمپ‌ها استخراج گردید که در فاز اجرایی مزیت‌هایی نسبت به روش‌های مرسوم دارد. عدم نیاز به حضور میدانی ماموران بخش آب بر روی چاه جهت اندازه‌گیری دبی، کنترل میزان مصرف انرژی برق و مدیریت توامان مصارف آب و برق با تخصیص یارانه‌ای انرژی از پیش تعیین شده در پروانه‌های بهره‌برداری به مالکین چاه‌ها، ایجاد قبض واحد آب و برق، کاهش بسیار زیاد هزینه‌ها در مقایسه با استفاده از ابزار اندازه‌گیری حجم آب بر روی چاه‌ها از جمله مزیت‌های به‌کارگیری این روش خواهد بود. به‌علاوه این روش می‌تواند به‌عنوان روشی موازی در کنار تجهیزات اندازه‌گیری منصوبه بر روی چاه، به‌منظور صحت‌سنجی مقادیر اندازه‌گیری شده و تداوم کنترل بهره برداری از چاه در صورت خرابی و یا عدم وجود تجهیزات اندازه‌گیری مناسب، استفاده شود.

منابع

[۱] عبدلی، محمدعلی و امیرمحمد یدقار (۱۳۸۵)، "انرژی، توسعه و محیط زیست"، نشریه انرژی ایران، شماره ۲۶، صص ۲۸-۱۹.

[۲] لقمان‌پور زرینی، رضا و طباطبایی کلور، سیدرضا و اسداله اکرم (۱۳۹۴)، پتانسیل‌سنجی صرفه‌جویی مصرف آب و انرژی استحصال آن در بخش زراعت (مطالعه موردی: استان یزد)، نشریه انرژی ایران، ۱۸(۳)، صص ۹۴-۷۷.

[۳] نوربخش، سیداحمد (۱۳۷۹)، پمپ و پمپاژ، چاپ ششم. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

[4] Asikoglu, Omer Levend (2017). "Outlier Detection in Extreme Value Series." neural networks 4.5.

[5] Davie Tim (2008), *Fundamental of Hydrology*. Second Edition, New York: Routledge.

[6] Desprats J-F, Rinaudo J-D and M. Montginoul (2011) Analyse de la Relation Entre le Type d'urbanisation et la Consommation en eau des me´nages – Le cas de l'agglome´ration dePerpignan. BRGM, Orle´ans.

[7] Grafton R.Q. et al. (2018) "The Paradox of Irrigation Efficiency". Science 361.6404. pp. 748-750.

[8] Halliday D., Walker J. and R. Resnick (2013). Fundamentals of Physics. John Wiley & Sons.

[9] Jaghdani T.J. and V. Kvartiuk (2018). "Water For Irrigation, Groundwater Depletion And Political Economy Of Energy Subsidy For Intensive

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

Groundwater Pumping In Iran". In 58th Annual Conference, Kiel, Germany, German Association of Agricultural Economists (GEWISOLA).
[10] Lenouvel V. and M. Montginoul (2010). Groundwater Management Instruments in a Conjunctive Use System: Assessing the Impact on Farmers' Income Using a Mixed Integer Linear Programming (MILP). Ger J Agric Econ 59(3), pp.158–172.
[11] Menard C. (2003) Lapproche neo-institutionnelle: des concepts, une methode, des results. Cahiers d'Economie Politique, No. 44, pp. 103–118.
[12] Montginoul M. and J.D. Rinaudo (2009) Quels Instruments pour ge´rer les pre´le`vements individuels eneau souterraine? Le cas du Roussillon. Economie Rurale, No. 310, pp. 40–56.
[13] Morrison Mark et al. (2003). "Attitudes of Georgia Irrigators Regarding the Use of Water Meters", Water Policy Working Paper 1.
[14] Salzman J. (2005). Creating Markets for Ecosystem Services: Notes from the Field. N Y Univ Law Rev 80(6), pp. 870–961.
[15] Shah T. (2008). Taming the Anarchy: Groundwater Governance in South Asia. Resources for the Future Press (RFF Press), Washington, p 310.
[16] Van Vugt M. (2009) Averting the Tragedy of the Commons: using Social Psychological Science to Protect the Environment. Curr Dir Psychol Sci 18(3), pp.169–173.
[17] Water for Food Daugherty Global Institute, (2018) annual report. available at: https://waterforfood.nebraska.edu .

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]