اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۴، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶، ص ۲۸۶-۲۷۵

شناسایی حوضه‌های آبریز و پتانسیل‌سنجی تولید توان از نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک در استان کردستان

یونس نوراللهی[۱]، حسین یوسفی[۲*]، مهیار طاهری باویل علیائی[۳] و محمد محمدی[۴]

۱. دانشیار دانشکدهٔ علوم فنون نوین دانشگاه تهران

۲. استادیار دانشکدهٔ علوم فنون نوین دانشگاه تهران

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی صنایع دانشگاه تهران

٤. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکدهٔ علوم فنون نوین دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۸/۰۳؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۱/۲۵)

چکیده

انرژی برق‌آبی یکی از منابع مهم انرژی‌های تجدیدپذیر است. نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک در حال تبدیل‌شدن به پرکاربردترین گزینه از نیروگاه‌های برق‌آبی هستند که می‌توانند در مکان‌های کوچک و دورافتاده به‌کار گرفته شوند و قادر به تولید برق ارزان، پاک و قابل‌اطمینان هستند. در کشور ایران و اغلب کشورهای درحال‌توسعه انتقال برق به مناطق دورافتاده به‌دلایلی همچون هزینهٔ انتقال زیاد و عدم تأمین مناسب میزان برق مورد نیاز با مشکلات فراوانی روبه‌روست. بنابراین، نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک می‌توانند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب به‌منظور تأمین برق مورد نیاز مورد توجه قرار گیرند. هدف مطالعهٔ حاضر امکان‌سنجی و پتانسیل‌سنجی تولید برق از نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک در استان کردستان است. بنابراین، حوضه‌های آبریز استان بررسی شده و میزان دبی هریک از حوضه‌ها براساس میزان متوسط بارش، متوسط دما و مساحت تخمین زده شد. سپس با توجه به محدودیت‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی در نظر گرفته‌شده نقاط مناسب به‌منظور احداث نیروگاه‌های برق‌آبی تعیین شد. درنهایت، میزان توان تولیدی هریک از حوضه‌ها محاسبه شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهندهٔ امکان احداث ۳٤٥٥ نیروگاه برق‌آبی کوچک در استان کردستان است که درنهایت در صورت احداث نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک در همهٔ مناطق پیشنهادی امکان تولید ٤۹۲ مگاوات برق فراهم است.

کلیدواژگان: ارزیابی منابع، پتانسیل‌سنجی، توان برق‌آبی، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

* نویسندهٔ مسئول

Email: Hosseinyousefi@ut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

جوامع بشری در سال‌های اخیر توسعهٔ بسیار زیادی را تجربه کرده‌اند؛ اما این توسعهٔ روزافزون با مصرف بسیار زیاد انرژی همراه بوده است. براساس گزارش سازمان انرژی آمریکا، میزان نرخ رشد مصرف انرژی در سال ۲۰۳۰ به نسبت سال ۲۰۰۴ به‌میزان ۵۷ درصد افزایش خواهد یافت [۱]. در حال حاضر سهم سوخت‌های فسیلی نسبت به سایر منابع تأمین انرژی بیشتر است؛ اما این مصرف بیش از اندازه مشکلاتی را نیز به همراه داشته است. مشکلاتی از قبیل آلودگی‌های زیست‌محیطی و مهم‌ترین آنها گرمایش زمین بر اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای که زندگی موجودات زنده را در معرض خطر قرار داده است. براساس پروتکل کیوتو، کشورها بر آن شده‌اند تا منابع انرژی بهره‌ور و پاک‌تری را جایگزین سوخت‌های فسیلی کنند. همچنین افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی به تسریع در امر جایگزینی آنها منجر شده است. درنهایت، همهٔ عوامل به ایجاد حرکتی سریع به سوی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر منجر شده است [۲].

انرژی برق‌آبی سال‌هاست که در دنیا استفاده می‌شود؛ به‌طوری که می‌توان گفت قدیمی‌ترین و بیشترین سهم را در میان انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید دارد [۳]؛ اما روش استفاده از آن بیشتر مربوط به انرژی ذخیره‌شده در پشت سدها بوده است. این در حالی است که دریاچه‌های ایجادشده در پشت سدها غالباً موجب تغییرات آب و هوایی و اقلیمی و در پاره‌ای اوقات نیز تأثیرات اجتماعی برای ساکنان مناطق مجاور آنها می‌شود [۴]؛ اما راه دیگری نیز برای استفاده از این انرژی وجود دارد و آن استفاده از نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی است. در این نیروگاه‌ها غالباً از انرژی جریان آب در یک مسیر انحرافی و یا در مخازن ذخیرهٔ کوچک استفاده می‌شود. در مراجع بین‌المللی تعریف یکسانی به‌منظور درنظرگرفتن ظرفیت نیروگاه‌های کوچک آبی وجود ندارد. با این‌حال، در بسیاری از مطالعات صورت‌گرفته کمترین و بیشترین توان در نظر گرفته‌شده برای نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی به‌ترتیب برابر ۲/۵ و ۲۵ مگاوات تعریف شده است. با توجه به تعریف کمیسیون اروپا، بیشترین توان تولیدی نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی کمتر از ۱۰ مگاوات در نظر گرفته شده است [۵]. برخی از مزیت‌های اصلی نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

- پروژهٔ برق‌آبی کوچک مقرون‌به‌صرفه است و می‌توان از آن در یک دورهٔ کوتاه‌مدت بهره‌برداری کرد.
- برق تولیدشده از پروژه‌های برق‌آبی کوچک ارزان است و با توجه به هزینهٔ کم ساخت‌وساز برای استفاده در مناطق روستایی مناسب است.
- ایستگاه‌های برق‌آبی کوچک غیرآلاینده هستند و نیازی به سوخت برای تولید انرژی ندارند.
- دورهٔ عمر پروژه‌های کوچک آبی طولانی است به‌گونه‌ای که برخی ایستگاه‌های تأسیس‌شده عمری بیش از ۵۰ سال دارند که هنوز هم به‌صورت کارآمد فعالیت می‌کنند.

همچنین در کشورهای اروپایی به‌دلایلی همچون نبود مکانی مناسب برای تأسیس پروژه‌های بزرگ و تأثیرات زیست‌محیطی سازه‌های پروژه‌های بزرگ برق‌آبی توجه بیشتری روی پروژه‌های کوچک برق‌آبی صورت گرفته است [۶].

بررسی دقیق پتانسیل‌سنجی نیروگاه‌های آبی به ابزارآلات و روش‌های دقیقی نیاز دارد. سیستم اطلاعات جغرافیایی[1] ابزار قدرتمندی است که امکان ثبت، نگهداری و ساماندهی و تحلیل انواع داده‌های مکانی و جغرافیایی را در انواع مختلف سیستم‌های مختصات، فراهم می‌کند. سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزاری قدرتمند برای انتخاب مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی با درنظرگرفتن معیارهای مهندسی، اقتصادی، زیست‌محیطی و مسائل اجتماعی است [۷ و ۸]. بسیاری از محققان همچون گویال و همکارانش [۹]، لارنتیس و همکارانش [۱۰] و بلمونته و همکارانش [۱۱] از سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌منظور بررسی میزان پتانسیل و مکان‌یابی نیروگاه‌های کوچک آبی بهره گرفته‌اند. کارول و همکارانش [۱۲] با استفاده از ابزار سیستم اطلاعات جغرافیایی به شناسایی مکان‌های مناسب به‌منظور احداث نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی (کمتر از ۱ مگاوات) در ایالات متحده پرداخته‌اند. پاخارل [۱۳] با استفاده از ابزار سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌منظور شناسایی مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی در مناطق روستایی نپال[2] را تجزیه و تحلیل مکانی کرده است. راماچاندرا و همکارانش [۱۴] سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری

1. Geographic Information System
2. Nepal

Archive of SID
www.SID.ir

به‌منظور ارزیابی به‌کارگیری نیروگاه‌های آبی کوچک در منطقهٔ کارناتاکا[1] کشور هند را ایجاد کرده‌اند. داس و پال [۱۵] مکان‌های مناسب را به‌منظور تأسیس نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی در منطقهٔ غرب بنگال کشور هند با استفاده از ابزار سیستم اطلاعات جغرافیایی شناسایی کرده‌اند. کاسری و همکارانش [۷] قسمت کوهستانی حوضهٔ آبریز رودخانهٔ کوپیلی[2] در آسام[3] هند را با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی در زمینهٔ به‌کارگیری نیروگاه برق‌آبی کوچک تحلیل کردند و میزان توان تولیدی و مقدار کاهش CO_2 ناشی از این اقدام را به‌دست آوردند. در تحلیل صورت‌گرفته توسط کوسا و همکارانش [۱۶] امکان‌سنجی طرح‌های برق‌آبی کوچک در استان ناخن راتچاسیما[4] در تایلند به‌دست آمد. بر این اساس، شش مکان مناسب برای استفاده از مخزن و ۱۱ مکان مناسب به‌منظور استفاده از بند انحرافی تعیین شد.

اوهاناکین و همکارانش [۱۷] در نیجریه و همچنین کوچوکالی و باریس [۱۸] در ترکیه، وضعیت فعلی تولید برق‌آبی کوچک، پتانسیل و آیندهٔ استفاده از آن را بررسی کردند. کوسینک [۱۹] نیز در آمریکا پتانسیل تولید برق‌آبی کوچک را ارزیابی کرد؛ با این تفاوت که در این تحقیق مکان‌های مناسب از نظر میزان بازدهی قیمت انتخاب شد. در این میان، شاید جامع‌ترین پتانسیل‌سنجی توان تولید برق‌آبی توسط دپارتمان انرژی آمریکا صورت گرفته است [۲۰]. در این تحقیق کشور آمریکا به ۲۰ منطقهٔ هیدرولوژیکی تقسیم شده و در هریک از آنها با تخمین دبی در کل رودخانه‌های منطقه سعی شده است تا پتانسیل توان تولیدی از برق‌آبی کوچک هر منطقه تعیین شود. در این تحقیق بر آن هستیم تا با استفاده از ابزار سیستم اطلاعات جغرافیایی به ارزیابی پتانسیل تولید برق از نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی در استان کردستان ایران بپردازیم.

مواد و روش‌ها

استان کردستان با مساحتی حدود ۲۹۱۳۷ کیلومترمربع در غرب ایران در مجاورت خاک عراق بین ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۴ دقیقهٔ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد و از شمال به استان آذربایجان غربی و قسمتی از استان زنجان از جنوب به استان کرمانشاه از شرق به استان همدان و قسمت دیگری از استان زنجان و از غرب به کشور عراق محدود است. این استان یکی از استان‌های شاخص ایران از نظر تعداد رودخانه و دبی آنهاست. تأمین برق مورد نیاز در استان کردستان با مشکلات عدیده‌ای روبه‌رو است که در زیر به برخی از دلایل عمدهٔ آن اشاره کرده‌ایم.

- از آنجا که استان کردستان جزء مناطق کوهستانی ایران است، نصب و راه‌اندازی تجهیزات مورد نیاز برای انتقال برق به تجهیزات خاصی نیاز دارد که به تحمیل هزینه‌های سنگینی منجر می‌شود.
- هزینهٔ نگهداری از تجهیزات انتقال برق به‌دلیل فواصل بسیار زیاد مناطق روستایی از یکدیگر و نبود راه‌های مناسب زیاد است.
- اتلاف زیاد در شبکهٔ انتقال برق به‌دلیل وجود خطوط انتقال طولانی.

بنا به‌دلایل یادشده، به استفاده از روش‌های دیگری به‌منظور تأمین برق استان نیاز داریم. بنابراین، با توجه به مزیت‌های یادشده برای پروژه‌های برق‌آبی کوچک در سالیان اخیر توجه بسیاری روی پروژه‌های برق‌آبی کوچک در استان صورت گرفته است. میزان پتانسیل تولید برق از نیروگاه‌های برق‌آبی حدود ۵۰ هزارمگاوات ساعت پیش‌بینی می‌شود که در حال حاضر حدود ۷۶۷۰ مگاوات بهره‌برداری شده و نیز حدود ۶۶۰۰ مگاوات در دست ساخت است. همین‌طور به‌منظور بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک بیش از ۳ هزار محل در ایران شناسایی شده است [۲۱ و ۲۲]. مهم‌ترین مزیت استفاده از نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک در ایران استفاده از آنان به‌منظور تأمین برق مورد نیاز مناطق دورافتاده است.

در این تحقیق فقط به بررسی تولید برق از نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی در این استان پرداخته‌ایم و انرژی آبی مرتبط با احداث سدها به‌دلیل نیازمندبودن مطالعات متعدد اجتماعی و زیست‌محیطی به‌منظور احداث سدها و امکان تأثیرات مخرب زیستی و اجتماعی آنها بررسی نشده است. در زمینهٔ نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک دو عنصر دبی و هد در نقاط مختلف رودخانه اهمیت بسزایی دارند؛ که ارزیابی دقیق منابع آب به برنامه‌ریزی موفق در زمینهٔ احداث نیروگاه‌های برق‌آبی

1. Karnataka
2. Kopili
3. Assam
4. Nakhon Ratchasima

Archive of SID

www.SID.ir

منجر خواهد شد. شکل ۱ نشان‌دهندهٔ مراحل تعیین پتانسیل تولید برق از نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی است.

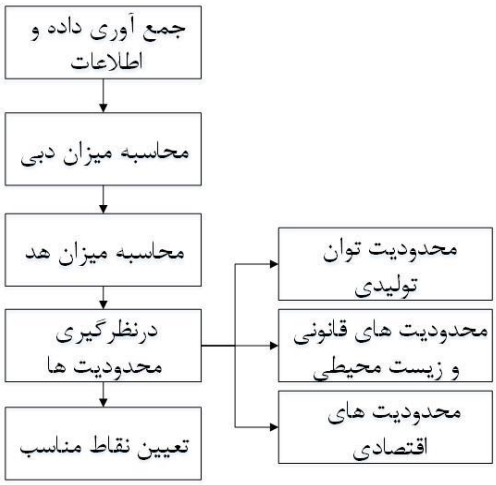
برآورد دبی نقاط مختلف رودخانه

با توجه به پراکندگی زیاد رودخانه‌ها و زیرحوضه‌های آنها، تحلیل جغرافیایی تأثیر بسیار مهمی در این بخش دارد. بنابراین، در این قسمت از نرم‌افزار ArcMap و ابزار قدرتمند ArcHydro استفاده شد؛ که قابلیت تحلیل‌های مختلف از شرایط جغرافیایی رودخانه و زیرحوضه را دارد. به‌منظور تخمین دبی آبریزها می‌توان از مدل‌های متفاوتی استفاده کرد، اما به‌دلیل نبود اطلاعات لازم مدل‌های برآورد میزان دبی آبریزها در این تحقیق از روش دیگری استفاده شد که از سوی دپارتمان انرژی آمریکا توسعه داده شده است [۲۰]. در این مدل، ایالات متحده به ۲۰ منطقهٔ هیدرولوژیکی تقسیم و در هر منطقه سعی شده است تا براساس رابطهٔ ۱ ارتباطی را بین میزان دبی ثبت‌شده در ایستگاه با داده‌های متوسط بارش در حوضهٔ آبریز P، متوسط دما در حوضهٔ آبریز T و مساحت حوضهٔ آبریز A برقرار شود.

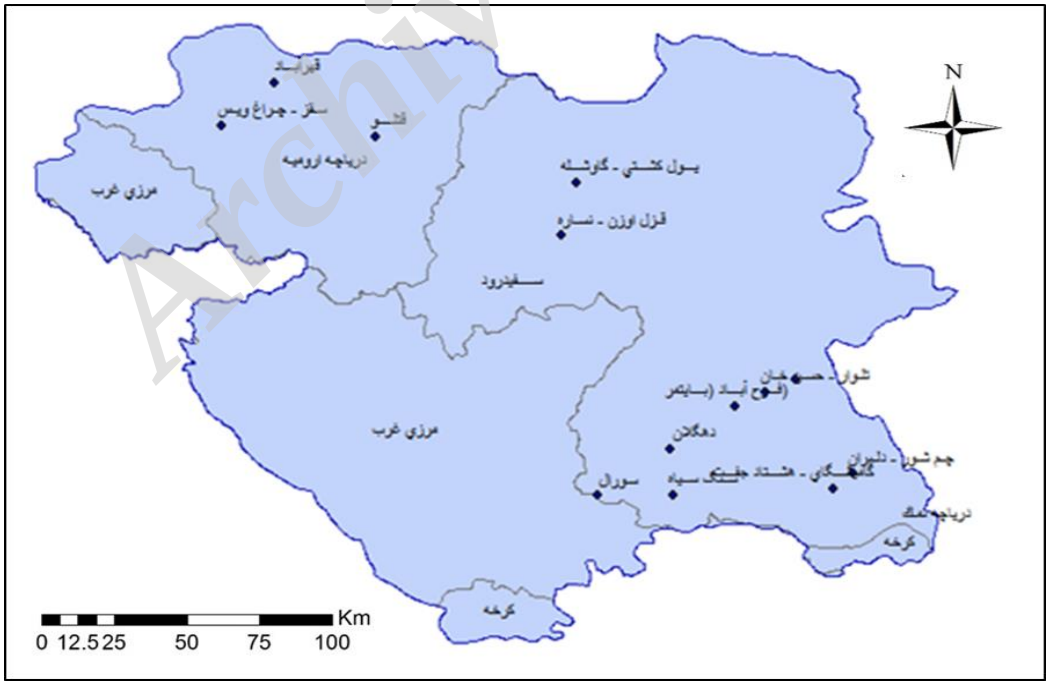
$$Q = e^{a} \times A^{b} \times P^{c} \times T^{d} \qquad (۱)$$

که در آن e عدد نپر است. همچنین a، b، c و d مقادیری هستند که در هر منطقه به دست خواهند آمد تا با استفاده از آنها دبی نقاطی تعیین شوند که فاقد داده دبی هستند.

در این تحقیق داده‌های مربوط به میزان دبی ایستگاه‌های هیدرومتری از شرکت منابع آب منطقه‌ای استان اخذ شد [۲۳]. جدول ۱ نشان‌دهندهٔ مشخصات حوضه‌های آبریز استان کردستان است. شکل ۲ نشان‌دهندهٔ حوضه‌های آبریز اصلی استان کردستان است.



شکل ۱. مراحل پتانسیل‌سنجی تولید توان برق‌آبی



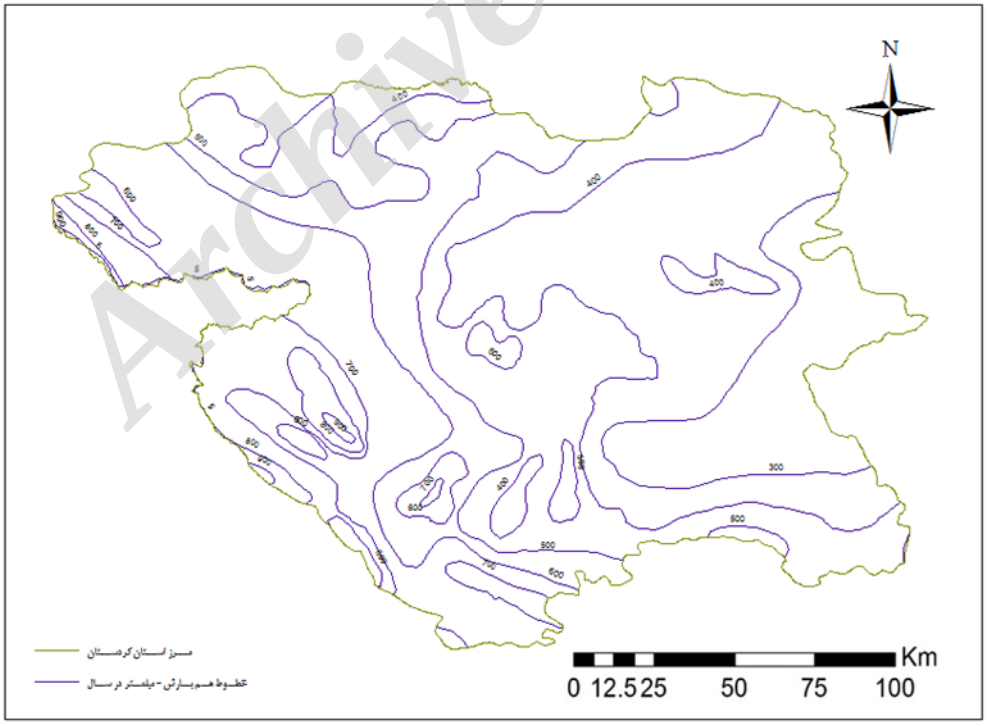
شکل ۲. حوضه‌های آبریز استان کردستان

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱. مشخصات حوضه‌های آبریز ایستگاه‌های استان کردستان

نام ایستگاه	نام رودخانه	دبی سالیانه (مترمکعب/ثانیه)	مساحت حوضهٔ آبریز (کیلومترمربع)	متوسط دما در حوضهٔ آبریز (فارنهایت)	متوسط بارندگی سالیانه در حوضهٔ آبریز (میلی‌متر)
چراغ ویس	سقز	۲/۷	۳۵۶/۳۲	۴۶/۹	۳۹۹/۶
قهرآباد	آلتون	۱/۷۸	۱۴۴/۲۳	۵۱/۰	۲۸۹/۳
قتلو	خورخوره	۲/۵۱	۱۲۱۷/۲۹	۴۵/۴	۳۹۴/۳
گاوشله	یول کشتی	۳/۸۷	۸۲۲/۲۲	۴۵/۵	۳۲۷/۴
نساره	قزل‌اوزن	۲/۹۹	۱۶۶۰/۴۴	۴۵/۹	۳۸۹/۹
دهگلان	تلوار	۲/۹۶	۲۱۸/۸۵	۴۶/۰	۴۲۸/۲
سنگ سیاه	تلوار	۲/۸۲	۹۶/۴۲	۴۵/۸	۴۶۳/۵
فرح‌آباد	تلوار	۳/۰۵	۱۷۳۷/۵۷	۴۷/۳	۴۱۳/۶
هشتادجفت	کامیشگای	۳/۰۱	۷۸/۶۶	۴۵/۶	۴۱۴/۸
دلبران	چم شور	۲/۶۷	۶۲۰/۱	۴۸/۵	۴۵۰/۴
حسن‌خان	تلوار	۲/۹۱	۲۴۶۳/۶۸	۴۷/۸	۴۰۶/۹
شادی‌آباد	چم شور	۲/۹۱	۱۵۲۹/۱۴	۴۸/۸	۴۰۹/۵

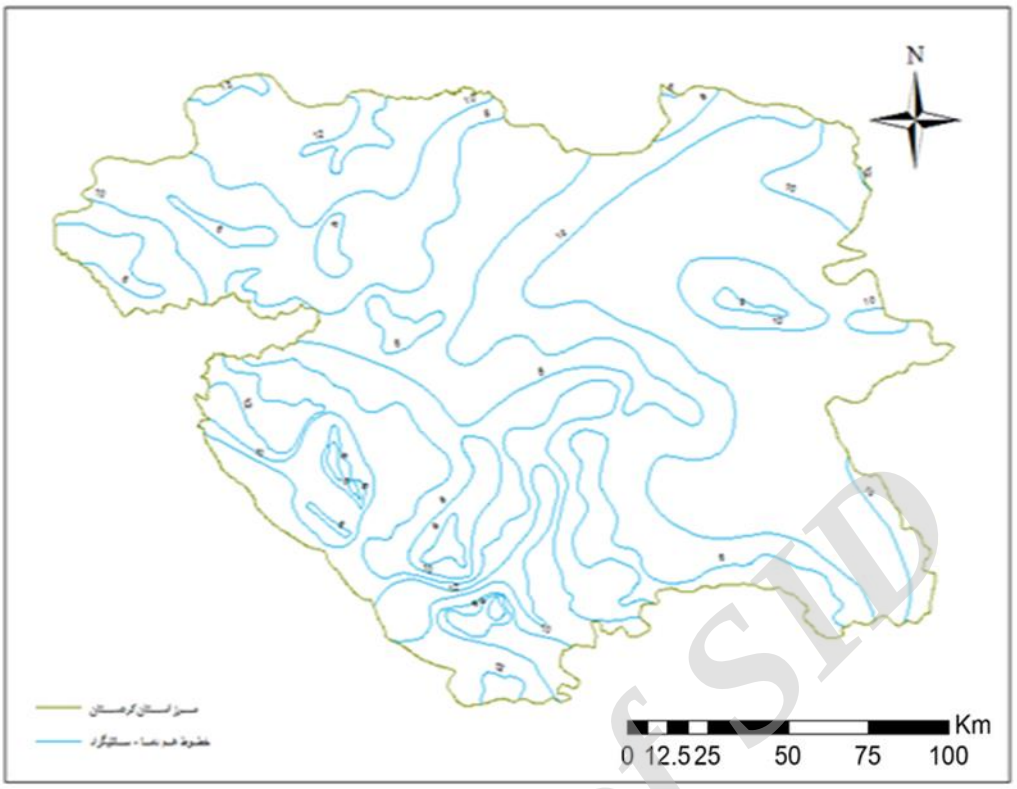
به‌منظور محاسبهٔ میزان متوسط بارش و دما در هر یک از ایستگاه‌ها از نقشهٔ هم‌بارش و هم‌دما در استان کردستان استفاده شده که به‌ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ آورده شده است. همچنین به‌منظور محاسبهٔ میزان مساحت هر حوضه (A) از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. شکل ۵ نشان‌دهندهٔ نقشهٔ رودخانه‌ها و آبراهه‌های استان و حوضه‌های آبریز آنهاست که از آن به‌عنوان ورودی ابزار ArcHydro استفاده می‌شود. شکل ۶ نشان‌دهندهٔ محدودهٔ حوضه‌های آبریز هر ایستگاه حاصل از نرم‌افزار ArcHydro است.



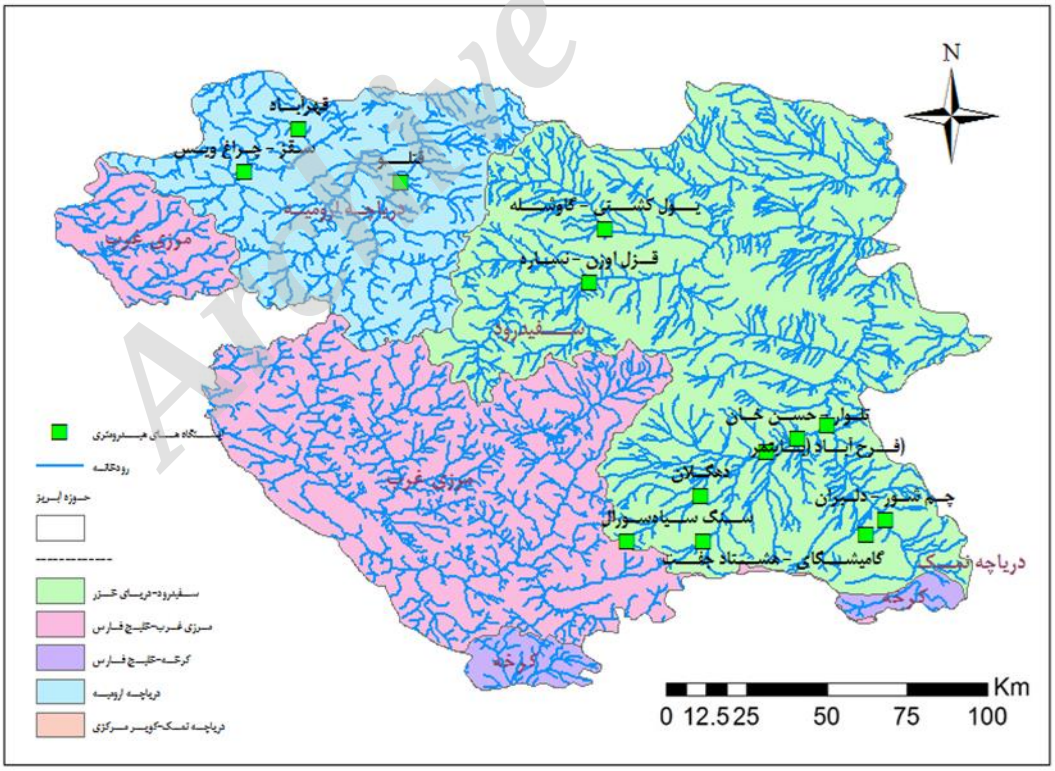
شکل ۳. نقشهٔ خطوط هم‌بارش در استان کردستان

Archive of SID

www.SID.ir

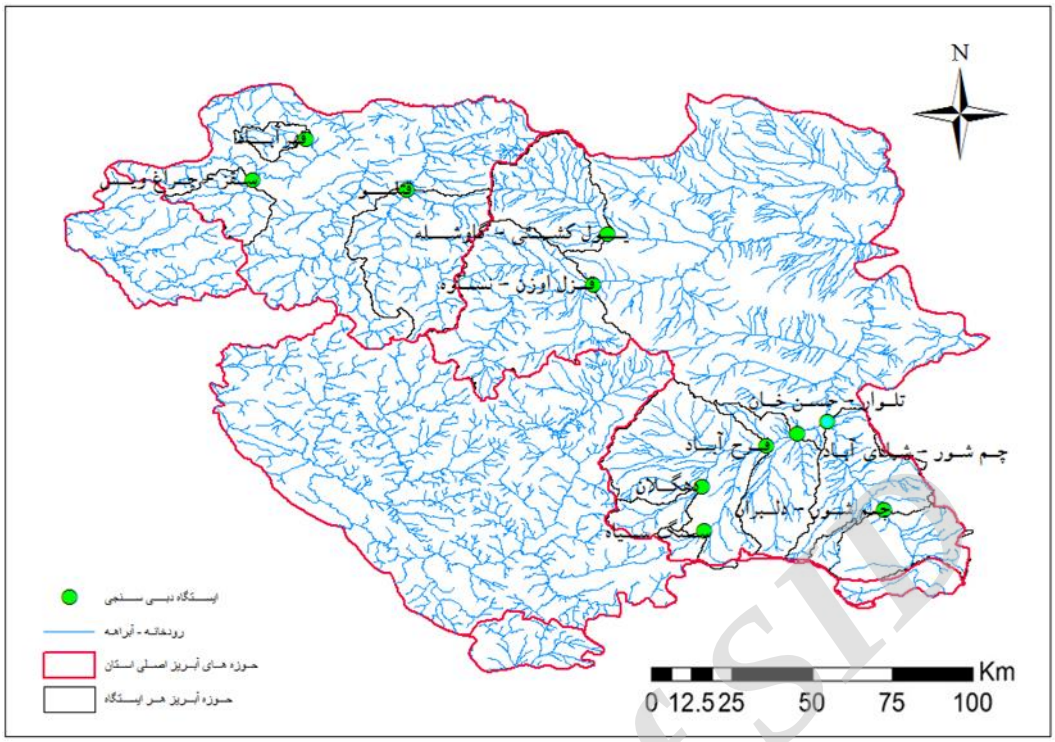


شکل ۴. نقشهٔ خطوط هم‌دما در استان کردستان



شکل ۵. نقشهٔ رودخانه‌ها، آبراهه‌ها و حوضه‌های آبریز در استان کردستان

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۶. حوضه‌های آبریز ایستگاه‌های دبی‌سنجی استان کردستان

برآورد میزان هد نقاط مختلف رودخانه

بهترین راه برای میزان هد، استفاده از شیب در هر نقطه از رودخانه است که بدین‌منظور از نقشهٔ DEM اصلاح‌شده[1] در ابزار ArcHydro، بهره گرفته شده است. واحدهای برق‌آبی کوچک به بند انحرافی نیاز دارند. رابطهٔ ۲ نشان‌دهندهٔ چگونگی محاسبهٔ میزان اختلاف هد است [۲۰].

$$H = tan(\varnothing) \times L \qquad (۲)$$

که در آن، H اختلاف هد برحسب متر، Ø شیب برحسب درجه و L نیز طول متوسط بند انحرافی برحسب متر است. به‌منظور به‌دست‌آوردن میزان طول متوسط بند انحرافی از مطالعات صورت‌گرفته در ایالات متحده [۲۰] استفاده شد؛ که در این تحقیق با توجه به شرایط کوهستانی استان کردستان، میزان طول متوسط بند انحرافی برابر ۱۵۰۰ متر در نظر گرفته شده است.

محاسبهٔ توان نقاط مختلف رودخانه

همان‌طور که اشاره شد، توان تولیدی نیروگاه‌های برق‌آبی به‌میزان دبی و هد بستگی دارد که در قسمت‌های قبل به چگونگی محاسبهٔ میزان دبی و هد پرداخته شد. معادلهٔ ۳ نشان‌دهندهٔ چگونگی محاسبهٔ بیشترین توان هر نقطه از رودخانه است.

$$P = \alpha \times Q \times H \times g \times \beta \qquad (۳)$$

که در آن ضریب α نشان‌دهندهٔ میزان بازده نیروگاه‌های برق‌آبی است که براساس نیروگاه‌های استفاده‌شده در مطالعهٔ موردی برابر ۸۰ درصد در نظر گرفته شده است. Q نشان‌دهندهٔ میزان دبی، H نشان‌دهندهٔ اختلاف هد، ضریب g نشان‌دهندهٔ شتاب گرانشی زمین است. به‌دلیل اینکه امکان استفاده از همهٔ دبی رودخانه در طرح‌های برق‌آبی کوچک مقدور نیست، ضریب β نشان‌دهندهٔ میزان استفاده از دبی آبریز است. به‌منظور حفظ اکوسیستم مسیر رودخانه و برداشت‌های احتمالی بعد از بند انحرافی میزان ضریب β برابر ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است.

محدودیت‌های در نظر گرفته‌شده

واضح است که به‌دلیل وجود محدودیت‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی همهٔ نقاط مطالعه‌شده برای احداث نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی مناسب نیستند. جدول ۳ نشان‌دهندهٔ معیارهای در نظر گرفته‌شده به‌منظور حذف نقاط نامطلوب و رسیدن به نقاط مناسب برای احداث

۱. این اصلاح به‌دلیل تطابق لایهٔ خطی رودخانه و لایهٔ DEM ارتفاعی و نیز پرکردن گودی‌های (برای جلوگیری از اشتباه در نرم‌افزار) یک حوضه صورت می‌پذیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک است. به‌منظور احداث نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی باید توان تولید بیشتر از ۱۰ کیلووات باشد تا صرفهٔ اقتصادی لازم را به‌دست دهد. در ضمن توان باید از ۳۰ مگاوات کمتر باشد تا نیاز به احداث سد و یا آبراهه‌ها بسیار پرهزینه نباشد [۲۰]. امکان احداث در مناطق با محدودیت‌های قانونی و زیست‌محیطی فراهم نیست. همچنین به‌منظور کاهش هزینه‌های احداث نیروگاه و هزینهٔ انتقال برق تولیدی محدودیت‌هایی در نظر گرفته شده است که در جدول ۲ در قالب محدودیت‌های اقتصادی بیان شده‌اند.

یافته‌ها و نتایج

در بخش قبل چگونگی پتانسیل‌سنجی تولید برق از نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی در استان کردستان شرح داده شد. همان طور که گفتیم به‌منظور محاسبهٔ میزان دبی از روش پیشنهادی دپارتمان انرژی آمریکا [۱۹] استفاده شده است. با اعمال رابطهٔ ۱ در هر حوضه و برازش مناسب، متوسط توان‌های a، b، c و d محاسبه شد. جدول ۲ نمایانگر مقادیر این ضرایب است. با توجه به نتایج جدول ۳ رابطهٔ ۱ به‌صورت رابطهٔ ۴ بازنویسی شد.

$$Q = e^{۱۲/۵۰۱} \times A^{۰/۰۴۸} \times P^{-۳/۲۳۵} \times T^{۰/۱۱۵} \qquad (۴)$$

به‌منظور تعیین میزان دبی خروجی نقاطی که میزان دبی آنها نامعلوم است از رابطهٔ ۲ استفاده شد. همین روند در زمینهٔ زیرحوضه‌های اصلی نیز انجام شد و محدودهٔ آنها با استفاده از نرم‌افزار ArcHydro تعیین شد (شکل ۷). درنتیجه، مقادیر P، T و A نیز در آنها مشخص شد و از رابطهٔ ۲ به‌منظور تعیین دبی متوسط سالانه در نقطهٔ خروجی برحسب مترمکعب بر ثانیه استفاده شد. شایان یادآوری است در شکل ۷ حوضه‌های اصلی و بزرگ‌تر مد نظر قرار گرفته و از برخی حوضه‌های کوچک‌تر صرف نظر شده است. (این کار به این دلیل است که حوضه‌های کوچک یادشده، ابتدای حوضه‌های آبریز بزرگ‌ترند و دبی در آنها زیاد نیست. بنابراین، می‌توان از آنها صرف نظر کرد.) درنهایت شش حوضه مطابق شکل ۷ مد نظر قرار گرفته است.

پس از تعیین دبی خروجی هر حوضه، گام بعدی مشخص‌شدن دبی هر نقطه از رودخانه در حوضه است. برای این کار یادآوری دو نکته ضروری است:

جدول ۲. معیارهای مطلوبیت مرتبط با نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک

نوع محدودیت	نام معیار	مقدار مجاز	مرجع
فنی	کمترین توان	۱۰ کیلووات	[۲۰]
	بیشترین توان	۳۰ مگاوات	[۲۰]
زیست‌محیطی	فاصله از شهرها	۲۰۰۰ متر	[۲۴]
	فاصله از مناطق حفاظت‌شده	۲۰۰۰ متر	[۲۵]
	فاصله از جنگل‌ها	۵۰۰ متر	[۲۶]
	فاصله از خطوط انتقال برق فشار متوسط	۳۰ متر	[۲۷]
	فاصله از خطوط انتقال برق فشارقوی	۶۰ متر	[۲۷]
	کمترین فاصله از راه‌های ارتباطی	۲۵۰ متر	[۲۴]
اقتصادی	بیشترین فاصله از راه‌های ارتباطی	۱۶۰۰ متر	[۲۰]
	بیشترین فاصله از مراکز جمعیتی (روستاها)	۱۶۰۰ متر	[۲۰]

جدول ۳. میزان متوسط ضرایب a, b , c و d

ضرایب	a	B	c	d
مقادیر	۱۲/۵۰۱	۰/۰۴۸	-۳/۲۳۵	۰/۱۱۵

Archive of SID

www.SID.ir

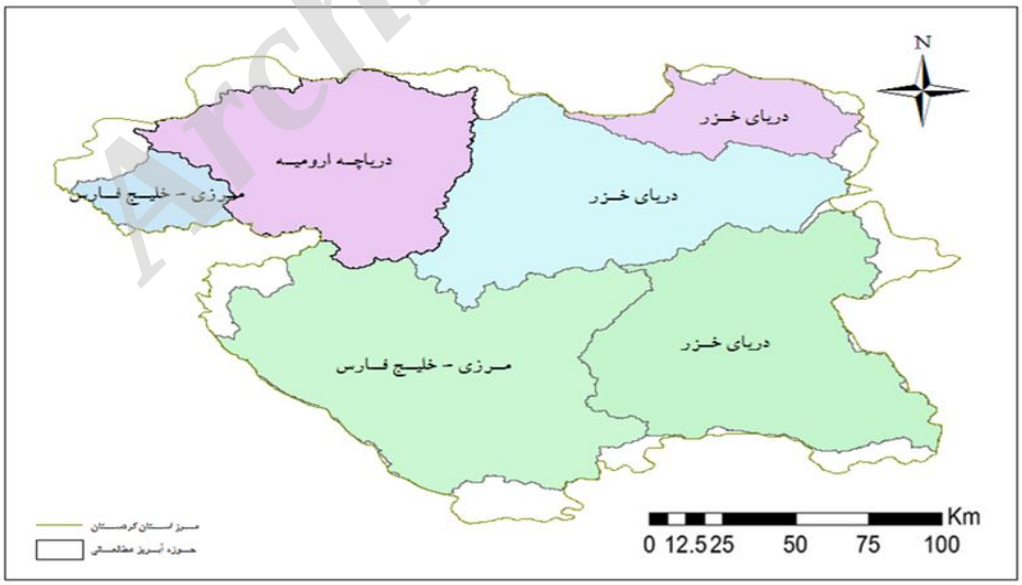
۱. با توجه به نقشهٔ DEM[1] و متعاقب آن لایه‌های DEM حاصل از ابزار ArcHydro، مرکز هر نقطه در رودخانه به‌عنوان یک نقطه از رودخانه در نظر گرفته شد که با به‌هم‌پیوستن این نقاط مسیر کل رودخانه به‌دست آمد.

۲. یکی از خروجی‌های این ابزار، لایهٔ جریان تجمعی است. این لایه نمایانگر مقدار مساحت حوضهٔ آبریز هر نقطه است. بنابراین، با پیش‌رفتن در طول رودخانه و به سمت نقطهٔ خروجی حوضه، مقدار آن افزایش می‌یابد. این لایه دو استفادهٔ مفید دارد. اول اینکه با تبدیل آن به لایهٔ نقطه‌ای، لایهٔ مد نظر در بند قبل به‌وجود خواهد آمد. دوم اینکه از این لایه برای تخمین دبی در هر نقطه از رودخانه استفاده می‌شود. اگر در لایهٔ نقطه‌ای به‌دست‌آمده، مقدار عددی معادل با جریان تجمعی بر همین مقدار در خروجی (به‌عنوان بزرگ‌ترین مقدار جریان تجمعی در هر حوضه) تقسیم شود، نسبت به‌دست‌آمده می‌تواند به‌عنوان سهم هر نقطه از دبی خروجی تلقی شود. بنابراین، با ضرب این نسبت در دبی خروجی حوضه حاصل از رابطهٔ ۲ می‌توان به دبی هر نقطه از رودخانه دست یافت.

با این توضیحات روشن می‌شود که چرا از لایهٔ نقطه‌ای به‌جای خطی برای نمایش رودخانه‌ها استفاده می‌شود. علاوه بر این، توضیحات می‌توان اضافه کرد که با توجه به نوع تحلیل به‌کاررفته در این تحقیق وجود لایهٔ نقطه‌ای برای نمایش رودخانه‌ها اجتناب‌ناپذیر است، چراکه دبی، هد و توان در هر نقطه محاسبه شدند و سپس برخی از این نقطه‌ها به دلایلی که گفته خواهد شد؛ حذف شدند.

شکل ۸ نشان‌دهندهٔ مناطق مطلوب، برای احداث نیروگاه برق‌آبی کوچک است. مقدار توان تخمینی نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی که قابل احداث هستند در شکل ۹ نشان داده شده است.

جدول ۴ نشان‌دهندهٔ خلاصه‌ای از نتایج پتانسیل‌سنجی تولید برق از نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی در استان است. همان‌طور که از نتایج جدول ۴ مشاهده می‌شود، درمجموع امکان احداث ۳۴۵۵ نیروگاه برق‌آبی کوچک رودخانه‌ای با توان میانگین ۱۴۲ کیلووات در استان کردستان وجود دارد. میزان پتانسیل تولید برق از نیروگاه برق‌آبی کوچک در استان، درمجموع حدود ۴۹۲ مگاوات خواهد بود؛ که لازم است با یک برنامهٔ زمانی مشخص توسعه داده شود. نتایج نشان‌دهندهٔ این مطلب است که بیشترین و کمترین پتانسیل برای احداث نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک به‌ترتیب مربوط به حوضه‌های ۱ و ۲ است.



شکل ۷. حوضه‌های آبریز به‌دست‌آمده از نرم‌افزار ArcHydro در استان کردستان

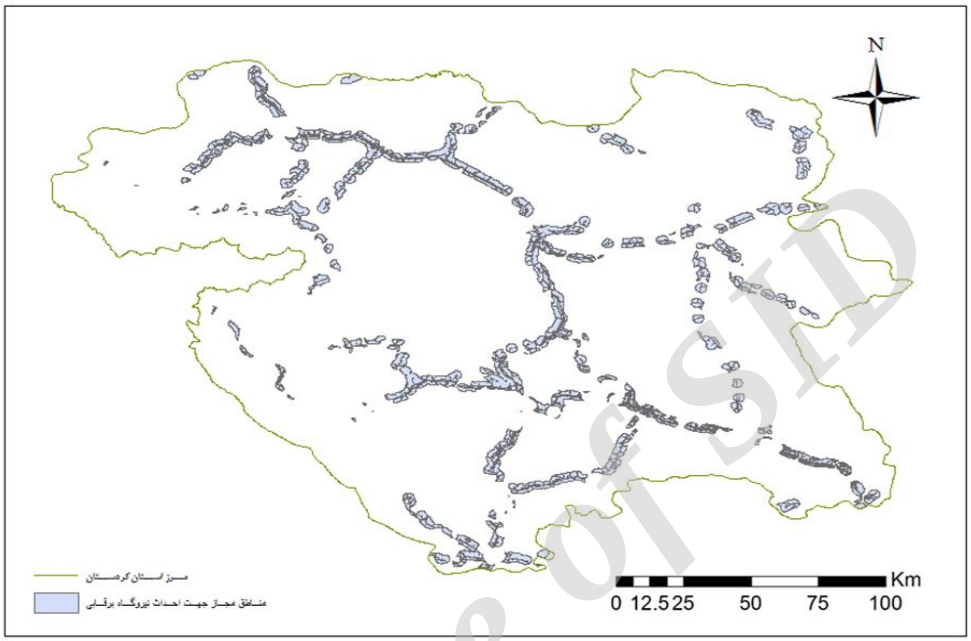
1. Digital Elevation Model

Archive of SID

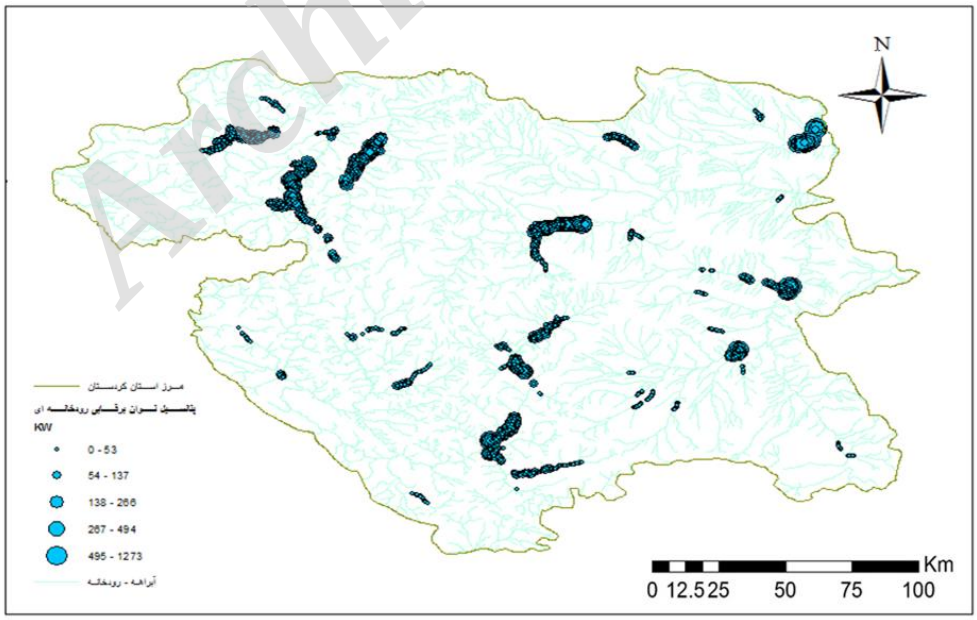
www.SID.ir

جدول ۴. میزان پتانسیل برق‌آبی در حوضه‌های مختلف استان کردستان

نام حوضه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	مجموع
تعداد نیروگاه	۱۲۲۴	۰	۱۰۹۷	۴۶۳	۲۱۰	۴۶۱	۳۴۵۵
توان (MW)	۱۹۹/۷۱۸	۰	۱۰۲/۵۹۱	۷۵/۲۶۲	۵۴/۴۱۲	۵۹/۶۱۳	۴۹۱/۵۹۶



شکل ۸. مناطق مجاز در استان کردستان برای احداث نیروگاه برق‌آبی کوچک



شکل ۹. نقشهٔ ارزیابی توان برق‌آبی کوچک رودخانه‌های استان کردستان

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به امکان‌سنجی و پتانسیل‌سنجی تولید برق از نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک در استان کردستان با استفاده از نرم‌افزار GIS پرداخته شد. به‌دلایلی همچون کوهستانی‌بودن استان کردستان، هزینهٔ زیاد نگهداری تجهیزات انتقال برق به‌دلیل فواصل زیاد مناطق روستایی از یکدیگر و همچنین اتلاف زیاد در شبکهٔ برق این استان به‌عنوان مطالعهٔ موردی انتخاب شد. ابتدا با استفاده از ابزار ArcHydro حوضهٔ آبریز هر ایستگاه تعیین شد. سپس حوضه‌های آبریز استان به شش دسته گروه‌بندی شدند. پس از آن میزان دبی و هد نقاط مختلف محاسبه شد و درنهایت با درنظرگرفتن محدودیت‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی تعداد نیروگاه‌های قابل احداث و توان تولیدی حاصل از آنان در هر حوضه به دست آمد. نتایج نشان‌دهندهٔ امکان احداث ۳۴۵۵ نیروگاه برق‌آبی کوچک رودخانه‌ای در استان کردستان است که درمجموع امکان تولید ۴۹۲ مگاوات برق از نیروگاه‌های کوچک برق‌آبی فراهم است. در ادامهٔ کار حاضر می‌توان به بررسی سایر منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در استان کردستان پرداخت و در نهایت با محاسبهٔ پتانسیل منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در استان نقشهٔ راهی برای جایگزینی سیستم‌های فسیلی با سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر در این استان ارائه کرد.

منابع

[1]. Koç C. A study on the development of hydropower potential in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014;39:498-508.

[2]. Hajinezhad A, Abedi S, Ghobadian B, Noorollahi Y. Biodiesel production from Norouzak (Salvia lerifolia) seeds as an indigenous source of bio fuel in Iran using ultrasound. Energy Conversion and Management. 2015;99:132-40.

[3]. Brown A, Müller S, Dobrotkova Z. Renewable energy: Markets and prospects by technology. IEA information paper. 2011.

[4]. Ferreira JHI, Camacho JR, Malagoli JA, Júnior SCG. Assessment of the potential of small hydropower development in Brazil. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016;56:380-7.

[5]. Paish O. Small hydro power: technology and current status. Renewable and sustainable energy reviews. 2002;6(6):537-56.

[6]. Dursun B, Gokcol C. The role of hydroelectric power and contribution of small hydropower plants for sustainable development in Turkey. Renewable Energy. 2011;36(4):1227-35.

[7]. Kusre B, Baruah D, Bordoloi P, Patra S. Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India). Applied Energy. 2010;87(1):298-309.

[8]. Yi C-S, Lee J-H, Shim M-P. Site location analysis for small hydropower using geo-spatial information system. Renewable Energy. 2010;35(4):852-61.

[9]. Goyal MK, Singh V, Meena AH. Geospatial and hydrological modeling to assess hydropower potential zones and site location over rainfall dependent Inland catchment. Water Resources Management. 2015;29(8):2875-94.

[10]. Larentis DG, Collischonn W, Olivera F, Tucci CE. Gis-based procedures for hydropower potential spotting. Energy. 2010;35(10):4237-43.

[11]. Belmonte S, Núñez V, Viramonte J, Franco J. Potential renewable energy resources of the Lerma Valley, Salta, Argentina for its strategic territorial planning. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2009;13(6):1475-84.

[12]. Carroll G, Reeves K, Lee R, Cherry S, editors. Evaluation of potential hydropower sites throughout the United States. ESRI User Conference; 2004: Citeseer.

[13]. Pokharel S. Spatial analysis of rural energy system. International Journal of Geographical Information Science. 2000;14(8):855-73.

[14]. Ramachandra T, Kumar R, Jha S, Vamsee K, Shruthi B. Spatial decision support system for assessing micro, mini and small hydel potential. Journal of Applied Sciences. 2004;4(4):596-604.

[15]. Das S, Paul P. Selection of site for small hydel using GIS in the Himalayan region of India. Journal of Spatial Hydrology. 2006;6(1).

[16]. Kosa P, Kulworawanichpong T, Srivoramas R, Chinkulkijniwat A, Horpibulsuk S, Teaumroong N. The potential micro-hydropower projects in Nakhon Ratchasima province, Thailand. Renewable Energy. 2011;36(3):1133-7.

[17]. Ohunakin OS, Ojolo SJ, Ajayi OO. Small hydropower (SHP) development in Nigeria: an assessment. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011;15(4):2006-13.

[18]. Kucukali S, Baris K. Assessment of small hydropower (SHP) development in Turkey: Laws, regulations and EU policy perspective. Energy policy. 2009;37(10):3872-9.

Archive of SID

www.SID.ir

[19]. Kosnik L. The potential for small scale hydropower development in the US. Energy Policy. 2010;38(10):5512-9.

[20]. Hall D. Water Energy Resources of the United States with Emphasis on Low Head/Low Power Resources: Appendix B-Assessment Results by State. EERE Publication and Product Library, 2004.

[21]. Ghorashi AH, Rahimi A. Renewable and non-renewable energy status in Iran: Art of know-how and technology-gaps. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011;15(1):729-36.

[22]. Mazandarani A, Mahlia T, Chong W, Moghavvemi M. A review on the pattern of electricity generation and emission in Iran from 1967 to 2008. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010;14(7):1814-29.

[23]. Kurdistan Regional Water Authority. Cited 10 Jan 2016. Available from: http://www.kdrw.ir./

[24]. Satkin M, Noorollahi Y, Abbaspour M, Yousefi H. Multi criteria site selection model for wind-compressed air energy storage power plants in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014;32:579-90.

[25]. Gass V, Schmidt J, Strauss F, Schmid E. Assessing the economic wind power potential in Austria. Energy policy. 2013;53:323-30.

[26]. Noorollahi Y, Yousefi H, Mohammadi M. Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2016;13:38-50.

[27]. Office of Legal Affairs MoE. Transmission and distribution of electricity airlines privacy. Cited 10 Jan 2016. Available from: http://law.moe.gov.ir./

Archive of SID

www.SID.ir