تعامل آب‌های سطحی-زیرزمینی
در حوضه دریایی کابل

نجیب الله سدید

سرطان ۱۳۹۹

EUROPEAN UNION

واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان
AREU
تحقیق برای افغانستان بهتر

واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان

مقاله تحلیلی

تعامل آب‌های سطحی-زیرزمینی در حوضه دریایی کابل

نجیب الله سدید

سرطان ۱۳۹۹

مترجم: عزیزالله اسفندیاری

شماره استندرد بین المللی کتاب ۹۷۸-۹۹۳۶-۶۴۱-۹۱-۴

کد نشریه: ۲۰۰۵ د

© ۱۳۹۹ واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان

این نشریه میتواند فقط برای اهداف غیر تجارتی و درصورت یادآوری نویسنده و منبع نقل وقول استناد و یا تکثیر گردد. نظریات ذکر شده در این نشریه مربوط به نویسنده میشود و انعکاس دهنده نظریات AREU نمیباشد. تمام حقوق ناشر محفوظ است. هرگاه این نشریه چاپ مجدد، ذخیره و یا به صورت برقی به دسترس گذاشته میشود، باید خط ارتباطی به سایت انترنتی (www.areu.org.af)AREU در آن چاپ و یا روی صفحهٔ انترنتی گذاشته شود. برای هر گونه استفاده که در بالا مشخص نگردیده است، باید اجازه قبلی به صورت تحریری از شرکت ناشر، واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان با ارسال ایمیل به areu@areu.org.af یا با تماس گرفتن با ۱۵ ۳۴ ۲۲۱ ۲۰ (۰) ۹۳+ اخذ گردد.

درباره واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان

واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان یک نهاد مستقل تحقیقاتیِ مستقر در کابل می باشد که در سال ۲۰۰۲ با همکاری جامعه بین المللی در افغانستان تاسیس گردید. هدف این نهاد تحقیقاتی انجام وَ عرضهٔ تحقیقات با کیفیت عالی، مبنی بر شواهد، مرتبط با پالیسی و انتشار نتایج حاصلهٔ آنها و همچنان ترویج فرهنگ پژوهش و مطالعه می باشد. واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان در سال ۲۰۲۰ به عنوان یک نهاد غیر انتفاعی در وزارت اقتصاد ثبت گردید. طبق گزارش پوهنتون پنسیلوانیا، واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان منحیث یک نهاد پژوهشی دارای جایگاه عالی در افغانستان بوده و در بین نهاد های پژوهشی درآسیای میانه در رده سوم قرار دارد. این نهاد با پالیسی سازان، جامعهٔ مدنی، محققان و محصلان به منظور تحقق اهداف خویش ارتباط برقرار می نماید تا استفاده از نشرات مبنی بر شواهد و کتابخانهٔ این واحد ترویج یافته، ظرفیت تحقیقی آنها تقویت شود و فرصت ها برای بازتاب اندیشه ها، مناظره ها و تحلیل ها ایجاد گردد. واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان توسط هیأت مدیره اداره می شود که متشکل از نمایندگان ادارات تمویل کننده، سفارتخانه ها، سازمان ملل متحد و دیگر سازمان های چندجانبه، جامعه مدنی و کارشناسان مستقل می باشد.

واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان برنده جایزه بهترین نهاد تحقیقاتی بین المللی سال ۲۰۱۸ مجله پراسپیکت بریتانیا (Prospect Magazine) گردیده است.

تمویل کننده اساسی:

نهاد انکشافی بین المللی سویدن Swedish International Development Cooperation Agency (SIDA)

تمویل کنندگان برنامه ها:

پروژه های مشخص واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان در سال ۲۰۲۰ توسط نهاد های بین المللی ذیل تمویل گردیده است:

European Union (EU), Global Challenges Research Fund (GCRF), Central Asia Regional Economic Cooperation Institute (CAREC), The Foundation to Promote Open Society (FPOS), The French Medical Institute for mother and children (FMIC), The Royal United Services Institute (RUSI), Institute for Integrated Transitions (IFIT), and UN Women.

همچنان این اداره عضویت شبکه های جهانی ذیل را دارا میباشد:

The RESOLVE Network, Global Challenge Research Fund (GCRF), The School of Oriental and African Studies (SOAS), Secure Livelihoods Research Consortium (SLRC), A Conflict Sensitive Unpacking of The EU Comprehensive Approach to Conflict and Crisis Mechanism (EUNPACK), ADB- Asian Think Tanks Network (ATTN) and The Regional Environmental Centre for Central Asia (CAREC).

در مورد نویسنده:

نجیب الله سدید در انستیتوت فدرال انجنیری و تحقیقاتی آبراه‌ها در آلمان به عنوان محقق همکار (associate researcher) فعالیت می‌کند. وی در حال انجام تحقیق در مورد خصوصیات رسوب شناسی آب (hydrosedimentological) دریاها و نهرها در محیط کوهستانی است. آقای سدیدکاندیدای دکتورا در پوهنتون اشتوتگارت آلمان است.

سپاسگزاری:

نویسنده‌ی این تحقیق از وزارت انرژی و آب دولت جمهوری اسلامی افغانستان، ریاست مدیریت منابع آبی، ریاست عمومی حوضه دریایی کابل و مقامات حوضه دریایی کابل میانه به خاطر ارائه اطلاعات مرتبط به هایدروسیدیمینتولوژی و ابزارهای تکنولوژی تدارکاتی برای اجرای تحقیقات ساحوی، اظهار قدردانی می‌کند.

نویسنده همچنان از وزارت معادن و پترولیم دولت جمهوری اسلامی افغانستان، اداره سروی جیولوژی افغانستان و اداره سروی جیولوژی ایالات متحده به دلیل ارائه اطلاعات نظارت بر آب‌های زیرزمینی، سپاسگزاری می‌کند.

لازم است از دو فردی که با ارائه نظرات شان در مورد نسخه‌های اولیه این تحقیق ما را همکاری نموده اند، تشکر کنم. فرصتی که این عزیزان برای بررسی این مقاله و طرح دیدگاه های عالمانه شان هدیه کردند، ستودنی است.

همچنان، از تلاش‌های خستگی ناپذیر توبی میلر، شهناز فقیری و احمد مسعود برای ویراستاری دقیق این اثر، طراحی و تبدیل آن از یک پیش‌نویس ساده به نسخه نهایی قابل نشر، تشکر می کنم.

پیشگفتار

واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان افتخار دارد که مقاله تحقیقاتی خویش تحت عنوان "تعامل آبهای سطی-زیرزمینی درحوضه دریایی کابل" نوشته نجیب الله سدید را که به همکاری مالی سخاوتمندانه اتحادیه اروپا تهیه شده است و بخشی از پروژه تلاش های تحقیقاتی سه جانبه در بخش های اساسی مدیریت منابع طبیعی است، به خوانندگان محترم ارائه مینماید.

آب های زیرزمینی – منبع اصلی تامین آب باشندگان کابل – در دو دهه گذشته به شدت مورد استفاده سوء قرار داشته است، که سبب پایین رفتن جدی سطح آب شده است. در حالی که عدم توازن بین تغذیه آب و میزان استفاده از آن یکی از علل اصلی کاهش سطح آب پنداشته می شود، افزایش سریع شهرنشینی سهم اندک تغذیه آب از سطح زمین را محدودتر ساخته است؛ از این رو، تنها دریا ها و نهرها به عنوان منابع تغذیه باقی مانده اند.

این تحقیق میزان تغذیه آبهای زیرزمینی را در حوضه های فرعی کابل مرکزی، کابل بالایی/پغمان، لوگر، شمالی و پنجشیر اندازه گیری می کند. مطالعه کنونی از سه رویکرد استفاده می کند: (الف) بیلانس بودجه آب در مقیاس حوضه آبی؛ (ب) بیلانس آب طول دامنه دریا؛ و)ج) شکل گیری تپههای آب زیرزمینی به ترتیب با استفاده از معادله ۱۹٦۷ رشد آب های زیرزمینی هانتوش برای تخمین مازاد/ کسری آب، تلفات انتقال آب از طریق بستر دریا و نرخ تغذیه آب های زیرزمینی.

در سال های آبی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸، بیلانس آب در مقیاس حوضه آبی در حوضه فرعی کابل تنها در سال های ۲۰۰۹، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ مثبت بوده است، در حالی‌که در حوضه فرعی پنجشیر، در همه سال ها، مازاد آب وجود داشته است. اندازه‌گیری میدانی تخلیه جریان دریا در دو یا چند بخش دریا به هدف تحلیل بیلانس آب طول دامنه دریا نشان داد که میزان انتقال آب تحت تاثیر خصوصیات رسوبی بستر و ساحل دریا، در جاهای مختلف، متفاوت است. تجزیه و تحلیل GWM، با توجه به محدوده قیمت (۰.۰۱ تا ۰.۱۵) برای آبدهی خاص سفره آب و قیمت (۱۰ متر در روز تا ٦۰ متر در روز) به عنوان نرخ نفوذپذیری آب، سازگاری قوی را بین رشد مشاهده شده آب زیرزمینی در مجاورت دریاها با چاه‌ها و رشد محاسبه شده آب زیرزمینی، نشان می دهد. نتایج تحلیل GWM طیف گسترده‌ای از نرخ تغذیه با حداکثر دو مرتبه بزرگی را برای سال‌های آبی ۲۰۰۴ - ۲۰۱۳ نشان می دهد. بخش عمده احیای آب‌های زیرزمینی از ماه اکتوبر تا ماه می رخ می دهد؛ با این حال، دریاهای پغمان، شکردره و استالف در نتیجه جریان آب‌های اضافی کوهستانی، شاهد دوره‌های طولانی تغذیه از ماه سپتامبر تا جولای می باشد.

برای استفاده بهینه از دوره محدود تغذیه، پیشنهاد می شود پلان‌گذاری شهری/شهرک‌ها تغییر کند و روکش هایی به کار گرفته شود که قابلیت نفوذ آب را دارد، کارهای هدایت دریاها به گونه‌ای اجرا شود که بیشترین میزان تصفیه سواحل را ممکن سازد و حوضه‌های دریایی چارج آب بیشتری به منظور تغذیه از طریق آب‌های سطحی و زیر سطحی، ایجاد شود.

جای دارد در همینجا از حمایت همه جانبه دولت جمهوری اسلامی افغانستان و به صورت مشخص وزارت انرژی و آب و تیم شان برای فراهم نمودن تجهیزات تخنیکی که زمینه انجام تحقیق را مهیا ساخت سپاسگزاری نمایم. امیدوارم این مقاله در عرصه پالیسی سازی کمک نموده و زمینه همکاری ذینفعان را برای ذخیره آبهای زیرزمینی مساعد بسازد.

با احترام

داکتر اورځلا نعمت

رییس واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان

فهرست مطالب

درباره واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان ..... أ
در مورد نویسنده: ..... ب
سپاسگزاری: ..... ج
پیشگفتار ..... د
چکیده ۲
۱. مقدمه ۳
۲. اهداف اصلی تحقیق ٦
۳. روش تحقیق ۷
۳. ۱. ساحه تحقیق ۷
۳. ۲. تعیین حجم نفوذ آب سطحی ۱۰
۳. ۲. ۱. بیلانس بودجه آب در مقیاس حوضه ۱۰
۳. ۲. ۲. بیلانس آب طول دامنه دریا (Reach Length Water Balance) ۱۲
۳. ۳. تعیین حجم تغذیه آب‌های زیرزمینی ۱۴
۴. نتایج مطالعه ۲۱
۴. ۱. بیلانس بودجه آب ۲۱
۴. ۱. ۱. منطقه کابل ۲۱
۴. ۱. ۲. منطقه پروان-کاپیسا (حوضه فرعی پنجشیر) ۲۳
۴. ۲. نتایج بیلانس آبی طول دامنه دریا (Reach length water balance results) ۲۷
۴. ۳. نتایج تحلیل تپه‌های آب زیرزمینی ۲۹
۴. ۳. ۱. حوضه فرعی کابل مرکزی ۲۹
۴. ۳. ۲. حوضه فرعی کابل بالایی/پغمان ۳۱
۴. ۳. ۳. حوضه فرعی لوگر ۳۳
۴. ۳. ۴. حوضه فرعی شمالی ۳۴
۴. ۳. ۵. حوضه فرعی ده‌سبز ۳٦
۵. نتیجه‌گیری و سفارشات پالیسی ۴۰
۵. ۱. نتیجه‌گیری ۴۰
۵. ۲. سفارشات پالیسی برای بازتولید بهتر آب‌های زیرزمینی ۴۱

چکیده

آب زیرزمینی – منبع اصلی تامین آب باشندگان کابل – در دو دهه گذشته به شدت مورد استفاده سوء قرار داشته است، که سبب پایین رفتن جدی سطح آب شده است. در حالی که عدم توازن بین تغذیه (recharge) آب و میزان استفاده از آن یکی از علل اصلی کاهش سطح آب پنداشته می شود، افزایش سریع شهرنشینی سهم اندک تغذیه آب از سطح زمین را محدودتر ساخته است؛ از این رو، تنها دریاها و نهرها به عنوان منابع تغذیه باقی مانده اند.

این تحقیق میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی را در حوضه‌های فرعی (sub-basins) کابل مرکزی، کابل بالایی/پغمان، لوگر، شمالی و پنجشیر اندازه‌گیری می‌کند. مطالعه کنونی از سه رویکرد استفاده می‌کند: (الف) بیلانس بودجه آب در مقیاس حوضه آبی (basin-scale water budget balance)؛ (ب) بیلانس آب طول دامنه دریا (river reach length water balance)؛ و (ج) شکل‌گیری تپه‌های آب زیرزمینی (groundwater mounding) به ترتیب با استفاده از معادله ۱۹٦۷ رشد آب‌های زیرزمینی هانتوش برای تخمین مازاد/کسری آب، تلفات انتقال آب از طریق بستر دریا و نرخ تغذیه آب‌های زیرزمینی.[۱]

در سال های آبی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸، بیلانس آب در مقیاس حوضه آبی (basin-scale) در حوضه فرعی کابل تنها در سال های ۲۰۰۹، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ مثبت بوده است، در حالی‌که در حوضه فرعی پنجشیر، در همه سال ها، مازاد آب وجود داشته است. اندازه‌گیری میدانی تخلیه جریان (flow discharge) دریا در دو یا چند بخش دریا به هدف تحلیل بیلانس آب طول دامنه دریا (RLWB) نشان داد که میزان انتقال آب (transmission rate) تحت تاثیر خصوصیات رسوبی بستر و ساحل دریا، در جاهای مختلف، متفاوت است. تجزیه و تحلیل GWM، با توجه به محدوده قیمت (۰.۰۱ تا ۰.۱۵) برای آبدهی خاص (specific yield) سفره آب و قیمت (۱۰ متر در روز تا ٦۰ متر در روز) به عنوان نرخ نفوذپذیری آب، سازگاری قوی را بین رشد مشاهده شده آب زیرزمینی در مجاورت دریاها با چاه‌ها و رشد محاسبه شده آب زیرزمینی، نشان می دهد. نتایج تحلیل GWM طیف گسترده‌ای از نرخ تغذیه با حداکثر دو مرتبه بزرگی (orders of magnitude) را برای سال‌های آبی ۲۰۰۴ - ۲۰۱۳ نشان می دهد. بخش عمده احیای آب‌های زیرزمینی از ماه اکتوبر تا ماه می رخ می دهد؛ با این حال، دریاهای پغمان، شکردره و استالف در نتیجه جریان آب‌های اضافی کوهستانی، شاهد دوره‌های طولانی تغذیه از ماه سپتامبر تا جولای می باشد. برای استفاده بهینه از دوره محدود تغذیه، پیشنهاد می شود پلان‌گذاری شهری/شهرک‌ها تغییر کند و روکش هایی به کار گرفته شود که قابلیت نفوذ آب را دارد، کارهای هدایت دریاها به گونه‌ای اجرا شود که بیشترین میزان تصفیه سواحل را ممکن سازد و حوضه‌های دریایی چارج آب بیشتری به منظور تغذیه از طریق آب‌های سطحی و زیر سطحی، ایجاد شود.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی کابل، تعامل آب سطحی-زیرزمینی، تغذیه آب زیرزمینی

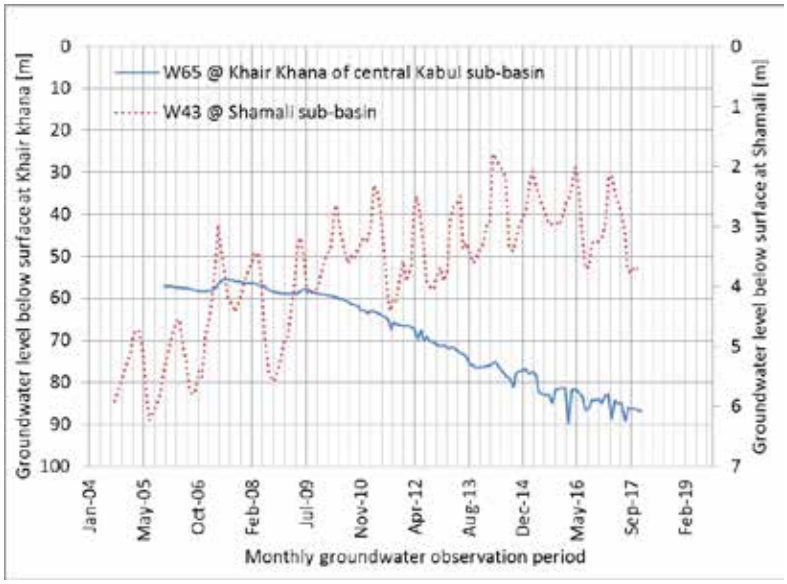
۱ م. س. هانتوش، «رشد و نزول تپه های آب زیرزمینی در پاسخ به تراوش یکنواخت»، تحقیقات منابع آب ۳ (۱۹٦۷): ۲۲۷-۲۳۴.

۱. مقدمه

سطح آب‌های زیرزمینی در اکثر حوضه‌های دریایی افغانستان در اثر استخراج بی رویه، شاهد کاهش شدید است. در حالی‌که در بخش‌های شهری کاهش جدی آب دیده می شود (مثلا، ۰.۷ تا ۱.۵ متر در سال در حوضه دریایی کابل مرکزی)[۲]، گزارش های اخیر همچنان از کاهش سطح آب در مناطق روستایی حکایت دارد که آب سطحی آن برای آبیاری مزارع محدود است، (مثلا، ۱ تا ۱.۵ متر در سال در جنوب غرب افغانستان)[۳]. این تحقیق تعامل آب‌های سطحی-زیرزمینی حوضه دریایی کابل را بررسی می‌کند و اهمیت دریاها و نهرها را در احیای دوباره آب زیرزمینی توضیح می دهد.

کاهش بی‌سابقه آب‌های زیرزمینی تامین آب آشامیدنی و آبیاری را در منطقه‌ای که همین اکنون هم به دلیل فصلی بودن شدید منابع آبی تحت فشار بیش از حد قرار دارد، به خطر می اندازد. منطقه شهری کابل که بیش از ۴,۸۶ میلیون نفر[۴] در آن زندگی می‌کنند، به لحاظ کمیت[۵] و کیفیت آب زیرزمینی مشکلات شدیدی را تجربه می‌کند[۶]. این امر بسیار نگران کننده است زیرا آب‌های زیرزمینی منبع اصلی تامین آب خانگی است. کاهش سطح آب زیرزمینی در نزدیک مرزهای حوضه آبی شدید است و در مناطق میانه حوضه فرعی کابل مرکزی، جایی که دریا کابل جریان دارد و آب‌های زیرزمینی را چارج می‌کند، کمتر است. بیشترین میزان کاهش آب زیرزمینی حدود ۳۰ متر در مدت ۱۴ سال، در منطقه خیرخانه مشاهده شده است که مربوط حوضه فرعی کابل مرکزی است. در همین حال، در حوضه‌های فرعی شمالی، ده‌سبز و لوگر سطح آب‌های زیرزمینی کاهش نیافته و حتی در برخی چاه‌ها شاهد افزایش آب‌های زیرزمینی هستیم (شکل ۱,۱).

شکل ۱,۱: نمونه‌ای از کاهش شدید آب زیرزمینی در منطقه خیرخانه واقع در حاشیه حوضه فرعی کابل مرکزی (رنگ آبی در محور چپ) و افزایش سطح آب زیرزمینی در نتیجه احیای آب‌های زیرزمینی در حوضه فرعی شمالی (رنگ سرخ، محور راست)



منبع: (صدیقی و دیگران، ۲۰۱۹)

۲ ت. ج. مك، م. پ. چورناک، و م. ر. طاهر، «روندها و پیامدهای سطح آب زیرزمینی برای استفاده پایدار آب در حوضه دریایی کابل، افغانستان»، مجله سیستم ها و تصامیم زیست محیطی ۳۳ (۲۰۱۳): ۴۵۷-۴٦٧.

۳ د. منسفیلد، «آب هرچقدر عمیق تر، آرام تر: کوکنار غیرقانونی و دگرگونی دشت‌های جنوب غربی افغانستان،» واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان، مقاله تحلیلی (issue paper)، شماره ۴۰ (کابل: واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان، ۲۰۱۸).

۴ اداره ملی احصائیه و معلومات، کتاب سال آماری ۲۰۱۸-۲۰۱۹ افغانستان (کابل: اداره ملی احصائیه و معلومات، ۲۰۱۹).

۵ صدیقی، م. ح.، الف. ح. شیرزی، ف. خسروی و س. ج. سعیدی، «گزارش بررسی و ارزیابی سطح آب زیرزمینی در حوضه دریایی کابل در سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۷» (۲۰۱۹)؛ م. ر. طاهر، م. پ. چورناک، و ت. ج. مك، «سطح آب هاي زيرزميني در حوضه دريايي كابل، افغانستان، ۲۰۰۴-۲۰۱۳» گزارش تحقیقات علمي سروی جیولوژیک ایالات متحده ۲۰۱۳-۱۲۹٦، (رستون، ویرجینیا، اداره سروی جیولوژیک ایالات متحده، ۲۰۱۴)؛ م.ح. صافی، الف. ج. کوهستانی، ل. ویجسیلر، م. ن. اقرار، و م. الف. نجف، "پتانشیل منابع آب، مشکلات کیفیت، چالش ها و راه حل ها در افغانستان (کابل)»، گزارش تحقیق علمی کمیته دانمارک برای کمک به پناهندگان افغان، (کابل: کمیته دانمارک برای کمک به پناهندگان افغان، ۲۰۱۳).

٦ گ. هوبن، ت. تونرمیر، ن. اقرار، و ت. هیمیلباخ، «هایدروجیولوژی حوضه دریایی کابل (افغانستان)، بخش دوم: ژئوشیمی آب‌های زیرزمینی» ژورنال هایدروجیولوجی. ۱۷ (۲۰۰۸): ۹۳۵-۹۴۸؛ صافی و دیگران، پتانشیل منابع آب».

بنابراین، کاهش سطح آب زیرزمینی در حوضه‌های فرعی کابل مرکزی و کابل بالایی/پغمان در حال رسیدن به مرحله هشدار است، اما اوضاع در حوضه‌های فرعی لوگر، شمالی و دەسبز باثبات است.

کاهش سطح آب زیرزمینی عمدتاً ناشی از عدم توازن استخراج و بازتولید آب است. استفاده بی‌سابقه از آب‌های زیرزمینی در شهر کابل ناشی از افزایش سریع شهرنشینی است. بر اساس برآوردها، میزان توسعه شهر بین سال های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸، تا حد اکثر ۱۳,۷ درصد بوده است[۷]. گسترش شهری به دلیل افزایش جمعیت فشار بیشتری روی منابع آب زیرزمینی وارد کرده است؛ در عین حال، بازتولید آب‌های زیرزمینی از طریق بارندگی مستقیم بر سطح زمین به‌طور چشمگیری کاهش یافته است، به ویژه در نتیجه شهرنشینی در مناطق شهری در حوضه‌های فرعی کابل مرکزی و کابل بالایی. ممکن است افزایش مناطق آسفالت شده، احیای آب‌های زیرزمینی از طریق بارش مستقیم را به شدت کاهش دهد زیرا زمین های قابل نفوذ بیشتری با گسترش شهر به سطوح غیر قابل نفوذ تبدیل می شوند[۸]. بارندگی مستقیم بر سطح زمین در منطقه‌ی کابل در احیای آب‌های زیرزمینی تاثیر ناچیزی دارد. با این حال، شهرنشینی سبب حفاظت در برابر فرسایش سواحل دریاها، سواحل نهرها و زهکشی های طبیعی می شود که عوامل اصلی بازتولید آب‌های زیرزمینی در منطقه کابل است[۹]. در نتیجه، سطح آب‌های زیرزمینی ممکن است همچنان کاهش یابد در حالی که تجمع آب باران بر روی سطوح آسفالت شده باعث جاری شدن سیل می شود که ناشی از فعالیت های انسانی است. با این حال، سطوح غیرقابل نفوذ به نوبه خود می‌تواند باعث کاهش قابل توجه اتلاف آب در اثر تبخیر و تعرق (evapotranspiration) شود زیرا مناطق اعمار شده تضییع رطوبت خاک را کاهش می دهد[۱۰].

بنابراین، آب‌های سطحی (یعنی دریاچه‌ها، دریاها و نهرها) منابع اصلی تغذیه آب‌های زیرزمینی اند. تغذیه آب‌های زیرزمینی در نتیجه تلفات انتقال (transmission loss) رخ می دهد زیرا به دلیل شیب قوی بین سطوح آب سطحی و زیرزمینی، تلفات انتقال ویژگی اصلی هایدرولوژیک دریاهاو جریان‌های متناوب است. نفوذ آب‌های سطحی به سفره های آب یک پروسه کند است و به نفوذپذیری بستر رود و سواحل و نیز به خصوصیات سفره آب مانند هدایت (رسانایی) هایدرولیک (k)، قابلیت انتقال (T) و میزان آبدهی خاص (Sy) بستگی دارد. مطالعه بیلانس جریان آب در دو ایستگاه اندازه‌گیری در امتداد دریا میدان، یعنی ایستگاه گلباغ (بالادست دریا) و چهلستون (پایین دست دریا) حاکی از سهم ۷۲ درصدی آن در احیای آب‌های زیرزمینی در حوضه فرعی دریایی کابل بالایی است[۱۱]. مطالعه ای که توسط بروشیرز و دیگران[۱۲] انجام شده است نشان می دهد که در حوضه فرعی دریایی کابل، مسیر جریان آب زیرزمینی جهت جریان آب سطحی را دنبال می‌کند. علاوه بر این، مطالعه سدید و دیگران نشان داد که نوسانات سطح آب زیرزمیني در چاه‌هاي نزديك دریاها در حوضه دریایی کابل با تغییرات تخلیه جریان (flow discharge) دریا رابطه همبستگی (correlation) قوی دارد، در حالي كه همبستگی آن با نرخ بارندگی ضعیف است[۱۳].

احیای آب‌های زیرزمینی از طریق آب‌های سطحی در حوضه دریایی کابل با دو چالش اساسی روبرو است: فصلی بودن و تغییر جریان دریا. در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، جریان دریاهاو نهرها شدیدا فصلی است، به این معنی که جریان دریا برای مدت قابل توجهی متوقف یا دریا خشک می شود. بر این اساس، تغذیه آب‌های زیرزمینی از طریق بستر رود و سواحل نیز محدود به فصل جریان آب است. دوره های طولانی خشکی در نتیجه تبخیر و تعرق از سطح زمین و استخراج آب از طریق پمپ، باعث ایجاد ناحیه اشباع نشده بین بستر دریا و سطح آب زیرزمینی می شود.

۷ الف. س. احمدی، و ی. کجیتا، "ارزیابی مسیر توسعه اراضی شهری در شهر کابل، افغانستان"، ژورنال بین المللی انجنیری شهری و سیویل، شماره ۲ (۲۰۱۷).

۸ مثلا، ک. ژانگ، ل. میاو، ح. وانگ، ج. هو، و ی. لی، "چگونه شهرنشینی سریع باعث بدتر شدن کیفیت آب زیرزمینی در مرکز ایالتی چین می شود،" مجله مطالعات زیست محیطی لهستان، ۲۹، (۲۰۱۹)، ۴۴۱-۴۵۰.

۹ شرکت بین المللی Proctor & Redfern Ltd، «سیستم آبرسانی، فاضلاب، زهکشی و پسماند جامد کابل بزرگ، ماسترپلان مشترک موقت»، گزارش برای اداره مرکزی مسکن و پلان گذاری شهری حکومت افغانستان، (سازمان جهانی صحت؛ برنامه توسعه سازمان ملل متحد [منتشر نشده]).

۱۰ م. مینیگ، تأثیر شهرنشینی روی تغذیه آب‌های زیرزمینی: مطالعه موردی دوبندورف، سویتزرلند، مکتب پلی تخنیک فدرال لوزان (EPFL) (لوزان: EPFL، ۲۰۱۷).

۱۱ شرکت بین المللی Proctor & Redfern Ltd، "آبرسانی، فاضلاب".

۱۲ ر. ی. بروشیرز، ، م. الف. اکبری، م. پ. چورناک، د. ک. مولر، و بی. سی. رودی (۲۰۰۵). موجودی منابع آب زیرزمینی در حوضه دریایی کابل، افغانستان، گزارش تحقیقات علمی سروی جیولوژیک ایالات متحده آمریکا ۲۰۰۵-۵۰۹۰ (رستون، ویرجینیا: اداره سروی جیولوژیک ایالات متحده ۲۰۰۵).

۱۳ ن. سدید، س. هان، و س. ویپریخت (۲۰۱۶). "مروری بر خصوصیات هیدرو رسوبی (hydro-sedimentological) رودخانه‌های متناوب در منطقه کابل در حوضه دریایی کابل". در رسوب‌گذاري رودخانه، ویراستار: س. ویپریخت (اشتوتگارت: انتشارات Crc، ۲۰۱۶).

بعد از از سرگیری فصل جریان آب، لازم است زمانی بگذرد تا آب زیرزمینی در منطقه اشباع نشده واقعا مجددا چارج شود. بنابراین، بارندگی های کوتاه مدت که باعث ایجاد سیل های برق آسا می شوند، حتی نمی توانند آب‌های زیرزمینی را احیا کنند زیرا زمان لازم برای اشباع شدن منطقه اشباع نشده ممکن است بسیار طولانی تر از دوره بارندگی باشد. شواهد نشان می دهد که شمار وقوع باران های ناگهانی به دلیل تغییرات اقلیمی افزایش یافته است، در حالی که بارش‌های طولانی مدت کاهش یافته است[۱۴]. علاوه بر این، پوشش یخچالی که در طول تابستان های خشک ضامن تخلیه جریان است، در حال کاهش است. مطالعه اخیر در باره پوشش یخچال‌ها حاکی از کاهش ۱۵ درصدی آن در حوضه دریایی کابل در نتیجه‌ی تغییرات آب و هوایی در تنها ۲۵ سال است[۱۵]. بنابراین، در آینده، دریاهای دایمی بیشتری ممکن است به جریان متناوب تبدیل شوند و بر این اساس، مناطق اشباع شده در زیر دریاها و نهرها، به مکان های اشباع نشده تبدیل خواهند شد.

از سوی دیگر، به دلیل شهرنشینی، دریاها و نهرها دایما در حال از دست دادن سواحل طبیعی و دشت های سیلابی خود است. این سواحل و دشت ها در زمان وقوع سیل به عنوان حوضه‌های طبیعی نگهدارنده و چارج آب‌های زیرزمینی عمل می‌کند. دشت های سیلابی دریاها ممکن است مقدار قابل توجهی از آب سیلاب را در خود نگه دارند که به تدریج به آب‌های زیرزمینی نفوذ می‌کند. علاوه بر این، کارهای نادرست مربوط به هدایت دریاها، مانند محافظت از سواحل دریا از طریق اعمار دیوارهای محافظتی سیمانی و سنگی، باعث کاهش بیشتر ساحه نفوذپذیر دریاها می شود و در نتیجه چارج آب‌های زیرزمینی را کاهش می دهد.

آب زیرزمینی به مثابه منبع اصلی تامین آب آشامیدنی کابل هرگز پایدار نیست، نه به لحاظ کمیت و نه کیفیت. یک راه حل، تامین آب از مسیر دورتر از خارج حوضه دریایی کابل است. منابع باالقوه آب در بیرون از مرکز شهر کابل می‌تواند از آب سطحی، زیرزمینی یا ترکیبی از هردو به دست آید. منابع باالقوه آب زیرزمینی نزدیک عبارت است از حوضه‌های فرعی دریایی لوگر، کابل بالایی یا پغمان، ده‌سبز، شمالی و پنجشیر. برای سنجش پایداری این منابع، لازم است چگونگی تعامل آب سطحی-زیرزمینی مطالعه شود تا نرخ تغذیه آب زیرزمینی تعیین شود.

۱۴ و. ایش، ن. آخوندزاده، الف. نویر، الف. خوشبین، ف. هاترمن، ح. پایت، الف. کانلون، و ای. پاتون (۲۰۱۷). "تغییرات اقلیمی در افغانستان با استنتاج از بازتحلیل و آزمایش CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment)) - شبیه سازی‌های آسیای جنوبی". مجله اقلیم، شماره ۵، ۳۸ (۲۰۱۷)؛ UNEP، WFD و NEPA، تغییرات اقلیمی در افغانستان: تاثیر آن بر معیشت روستایی و مصئونیت غذایی چیست؟، (۲۰۱۶).

۱۵ س. ب. مهرجان، ای. جویا، ت. برومند، م. م. رحیمی، ک. الف. مظفری، ام. بارز، ت. سی شیرپا، و س. ر. بجراچاریا وضعیت و تغییرات ده ساله یخچال‌های طبیعی در افغانستان از دهه ۱۹۹۰ تاکنون کاتماندو: مرکز بین المللی انکشاف ۲۰۱۹).

۲. اهداف اصلی تحقیق

علی رغم سهم عمده آب سطحی در بازتولید آب زیرزمینی در حوضه دریایی کابل، تحقیقات بسیار اندکی تعامل آب سطحی-زیرزمینی را تعیین کرده است. بیلانس استخراج آب زیرزمینی و تغذیه آن می‌تواند از طریق تعیین سهم آب‌های سطحی در تغذیه آب زیرزمینی تقویت شود. یک استراتیژی برای مبارزه با کاهش سفره های آب زیرزمینی بازتاسیس پتانشیل طبیعی تغذیه از طریق بستر رود و سواحل دریا است، و نیز تاسیس ساحات اضافی غیر طبیعی برای تغذیه. یکی از پیش شرط های تدوین استراتیژی‌های بازتولید آب زیرزمینی سنجش رابطه آب سطحی و آب زیرزمینی است. بنابراین، هدف اصلی این تحقیق عبارت است از بررسی تعامل آب سطحی-زیرزمینی در حوضه دریایی کابل، که به مثابه مطالعه ابتدایی عمل خواهد کرد تا اهمیت دریاها و نهرها را در تغذیه آب زیرزمینی نشان دهد. به صورت مشخص تر، سه هدف اصلی برای این تحقیق تعیین شده است:

أ. بیلانس تازه آب در منطقه‌ی کابل که به صورت باالقوه می‌تواند به بازتولید آب زیرزمینی کمک کند، چیست؟

ب. حجم تلفات انتقال آب سطحی و تغییر آن در امتداد طولی کانال دریاهای پنجشیر، کابل، لوگر، میدان، پغمان، شکردره و استالف به دلیل نفوذ آب از طریق بستر و ساحل دریا، چقدر است؟

ج. سهم آب سطحی نفوذی در بازتولید آب زیرزمینی چیست؟ به عبارت دیگر، چند درصد آب نفوذی از طریق بستر رود و سواحل به گونه فعال در تغذیه آب زیرزمینی نقش دارد؟

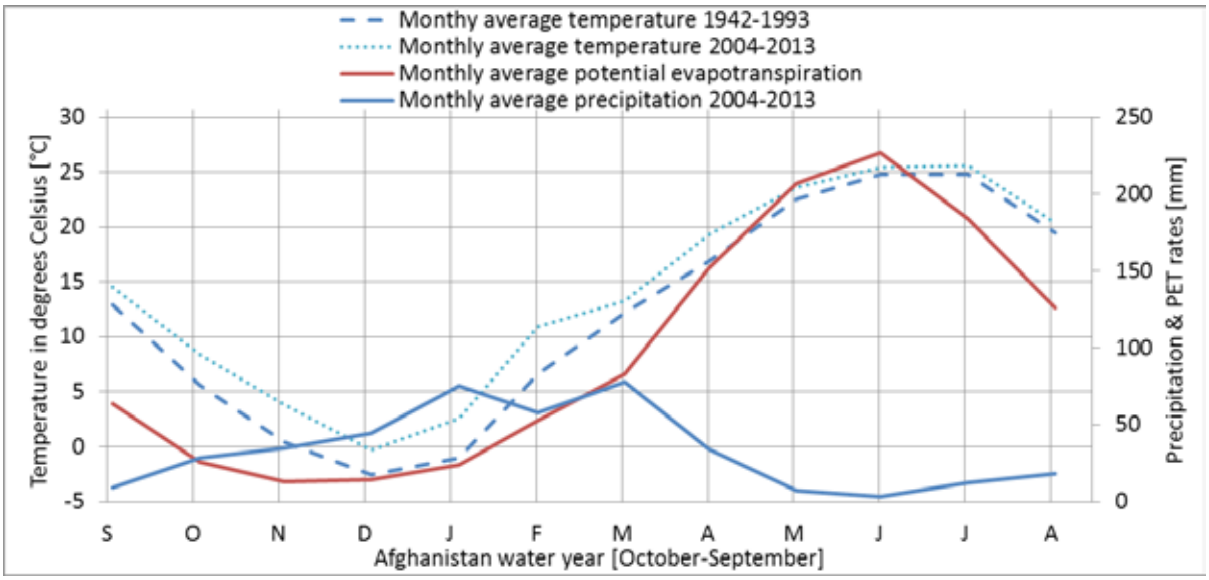
هدف این کار پژوهشی این است که نرخ تغذیه آب زیرزمینی در حوضه‌های فرعی دریایی کابل مرکزی، کابل بالایی یا پغمان، لوگر، ده‌سبز و شمالی را کشف کند. یافته های تحقیق مشخص خواهد ساخت که چگونه نرخ و مدت تغذیه آب زیرزمینی با تغییر جریان دریا و پارامترهای مشخص هر مکان مانند بستر رود و اندازه سواحل و خاصیت مواد، تغییر می‌کند. این اطلاعات به مدیران آب و پالیسی سازان کمک خواهد کرد پتانشیل های تغذیه آب زیرزمینی، محدودیت ها و فرصت های مدیریت پایدار آب زیرزمینی در کابل را فهم کنند.

۳. روش تحقیق

۳. ۱. ساحه تحقیق

حوضه دریایی منطقه‌یی کابل در اقلیم خشک تا نیمه خشک واقع شده است، و همانطور که در شکل ۳,۱ نشان داده شده است، میزان بارندگی ماهانه در میدان هوایی کابل به طور متوسط، بین ۰,۰ تا ۷۵ میلی متر در حال تغییر است. از آنجایی که کابل دارای زمستان های سرد، با حداقل دمای متوسط منفی ۲,۳ درجه سانتی گراد در ماه جنوری، و تابستان های گرم با متوسط حداکثر دمای ۴۰,۲ درجه سانتی گراد در ماه جولای است، نرخ تبخیر و تعرق احتمالی بیشتر از نرخ بارندگی در دوره های طولانی است. تازه ترین اندازه‌گیری دمای متوسط (۲۰۰۴-۲۰۱۳) نشان دهنده افزایش متوسط دما در طول سال به دلیل تغییر اقلیمی است.[۱۶]

شکل ۳,۱: اوسط اقلیم در کابل بر اساس داده های پروژه Agromet



PET = تبخیر و تعرق احتمالی

منبع: (وزارت زراعت، آبیاری و مالداری/اداره سروی جیولوژی ایالات متحده، ۲۰۱۳).

حوضه دریایی منطقه کابل به پنج حوضه فرعی آب زیرزمینی، یعنی کابل مرکزی، کابل بالایی/پغمان، لوگر، شمالی و دەسبز تقسیم شده است. دریا کابل در کابل مرکزی، پغمان، قرغه و دریاهای میدان در کابل بالایی/پغمان، دریا لوگر در لوگر، دریاهای شکردره و استالف در شمالی و دریا دەسبز در دەسبز برای تحقیقات RLWB و GWM انتخاب شد، همانطور که در شکل ۳,۲ نشان داده شده است.

حوضه‌های فرعی آب زیرزمینی در منطقه کابل از برآمدگی های صخره‌یی عظیم و گسل‌های کریستالی تشکیل شده است[۱۷]. حوضه‌های فرعی دریایی کابل و لوگر و نیز شمالی و پنجشیر با گسل‌ها از هم جدا شده اند، در حالی که حوضه فرعی کابل مرکزی و حوضه‌های فرعی دەسبز با تیغه‌های کوهستانی ناشی از برآمدگی صخره‌ها از هم جدا می شوند. مناطق کوهستانی پیرامون حوضه‌های فرعی و تیغه‌های درون این حوضه‌ها دارای رسوبات پنجه‌ای (مخروطی شکل) آبرفتی (alluvial fan deposits) در دامنه های خود است، از رسوبات درشت در نزدیکی منبع تا رسوبات ریزتر در لبه های دورتر[۱۸]. مواد رسوبی عمدتا از رسوبات دوره های سوم و چهارم زمین شناسی تشکیل شده است. رسوبات دوره چهارم در مناطق هموار مرکزي از آبرفت‌ها (alluvium) و بادرفت‌هایی (loess) تشکیل شده است که کمتر از ۸۰ متر ضخامت دارد. مواد رسوبی دوره سوم دارای عمق بیشتر تا اندازه ۱۰۰۰ متر است و شامل سنگ جوش های نیمه

۱۶ وزارت زراعت، آبیاری و مالداری/اداره سروی جیولوژیک ایالات متحده (USGS) پروژه Agroment: وضعیت از سپتامبر ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳. (رستون، ویرجینیا: اداره سروی جیولوژیک ایالات متحده، ۲۰۱۳).

۱۷ ر. گ. بوهانون، نقشه های جیولوژی و توپوگرافی چهارضلعی ۳۰′ x ۶۰′ جنوب کابل، افغانستان. نقشه شماره ۳۱۲۰ تحقیقات علمی سروی جیولوژیک ایالات متحده (رستون، ویرجینیا: سروی جیولوژیک ایالات متحده، ۲۰۱۰).؛ بروشیرز، موجودی منابع آب زیرزمینی؛ ت. ج. مک و دیگران، مدل مفهومی منابع آب در حوضه دریایی کابل، افغانستان، گزارش شماره ۲۰۰۹-۵۲۶۲ تحقیقات علمی سروی جیولوژی ایالات متحده (رستون، ویرجینیا: USGS، ۲۰۱۰).

۱۸ بروشیرز، موجودی منابع آب زیرزمینی؛ مک و دیگران، مدل مفهومی منابع آب.

مستحکم (semi-consolidated conglomerate) است[۱۹]. دریاها و دشت‌های سیلابی آنها از لایه نازکی از آبرفت کانالی تشکیل شده است. سفره آب حوضه دریایی کابل از یک سفره اولیه سطحی رسوبی و یک سفره زیرین ثانویه نیمه استحکام یافته دارای رسوبات سنگ جوش تشکیل شده است[۲۰]. نفوذپذیری سفره آب سطحی بین ۲.۳ x ۱۰-۵ تا ۱.۳ x ۱۰-۳ متر بر ثانیه در حال تغییر است؛[۲۱] با این حال، در سفره عمیق ثانویه، مقادیر نفوذپذیری بسیار پایین تر (۵.٦ x ۱۰-۸ تا ۱.۰ x ۱۰-۸ متر بر ثانیه) مشاهده شده است[۲۲]. مشخصات اصلی سفره های آب حوضه فرعی منطقه کابل در جدول ۳,۱ ذکر شده است.

جدول ۱.۳: مشخصات اصلی سفره های آب منطقه کابل بر اساس مطالعه بوخ (۱۹۷۱)

حوضه فرعی دریایی	اندازه (طول x عرض) [به کیلومتر]	برد هدایت هایدرولیک [متر بر ثانیه]	اوسط ضخامت [متر]	حد اکثر ضخامت [متر]	ماده سفره آب	سفره عمیق‌تر آب
کابل مرکزی	۹ x ۲,۵	۰,۵ x ۱۰-۴ تا ۷,۵ x۱۰-۴	۴۰ – ۸۰	۸۰	خاک زراعت (loam) ریگ و جغل	سنگ جوش، سنگ ریگی دانه درشت
ده‌سبز	۱۷ x ۱۵			۸۰	آبرفت (Alluvium) ، بادرفت (loess)	سنگ جوش
لوگر	۱۰ x ۳	۱,۴x۱۰-۴ تا ۱۳ – x۱۰-۴	۳۰- ۴۰	۷۰	ریگ، جغل و لایه های نازک خاک رس	سنگ جوش، سنگ ریگی دانه درشت
شمالی	۴۰ x ۱۰			۸۰	رسوبات آبرفتی (Fan alluvium)، آبرفت، بادرفت	سنگ جوش (<۱۰۰۰ متر)
پنجشیر	۲۲ x ۱۳			۸۰	آبرفت (Alluvium)، آبرفت کانال دریا river channel) (alluvium	سنگ جوش (<۱۰۰۰ متر)
کابل بالایی/ پغمان	٦ x ۴	۰,۲ x ۱۰-۴ تا ۳,۰- x۱۰-۴	۳۰ – ۷۰	۷۰	ریگ و جغل	سنگ جوش و سنگ ریگی

مشاهده آب‌های زیرزمینی در چاه‌های مجاور دریاهای کابل، پغمان، میدان، لوگر، شکردره، استالف و ده‌سبز برای تحلیل GWM انتخاب شده است. فرض بر آن است که چاه‌های دارای نوسانات فصلی سفره آب زیرزمینی عمدتا توسط جریان دریا چارج می شود، در حالی‌که چارج آب زیرزمینی در نواحی کوهستانی، یعنی تغذیه از طریق آبیاری و بارندگی مستقیم، در نوسانات سطح آب زیرزمینی نقش ناچیزی دارد. چاه‌های انتخاب شده بر اساس تأثیر پمپاژ بر مشاهدات سطح آب زیرزمینی باز هم فیلتر (غربال) می شوند، زیرا برخی از چاه‌ها به عنوان چاه آبرسانی عمومی استفاده می شود. بنابراین، چاه‌های تحت مشاهده برای ارزیابی تاثیرات پمپاژ بررسی می شود و تنها چاه‌هایی برای تحلیل GWM انتخاب می شود که تاثیر پمپاژ آب بر آن صفر یا جزئی باشد.

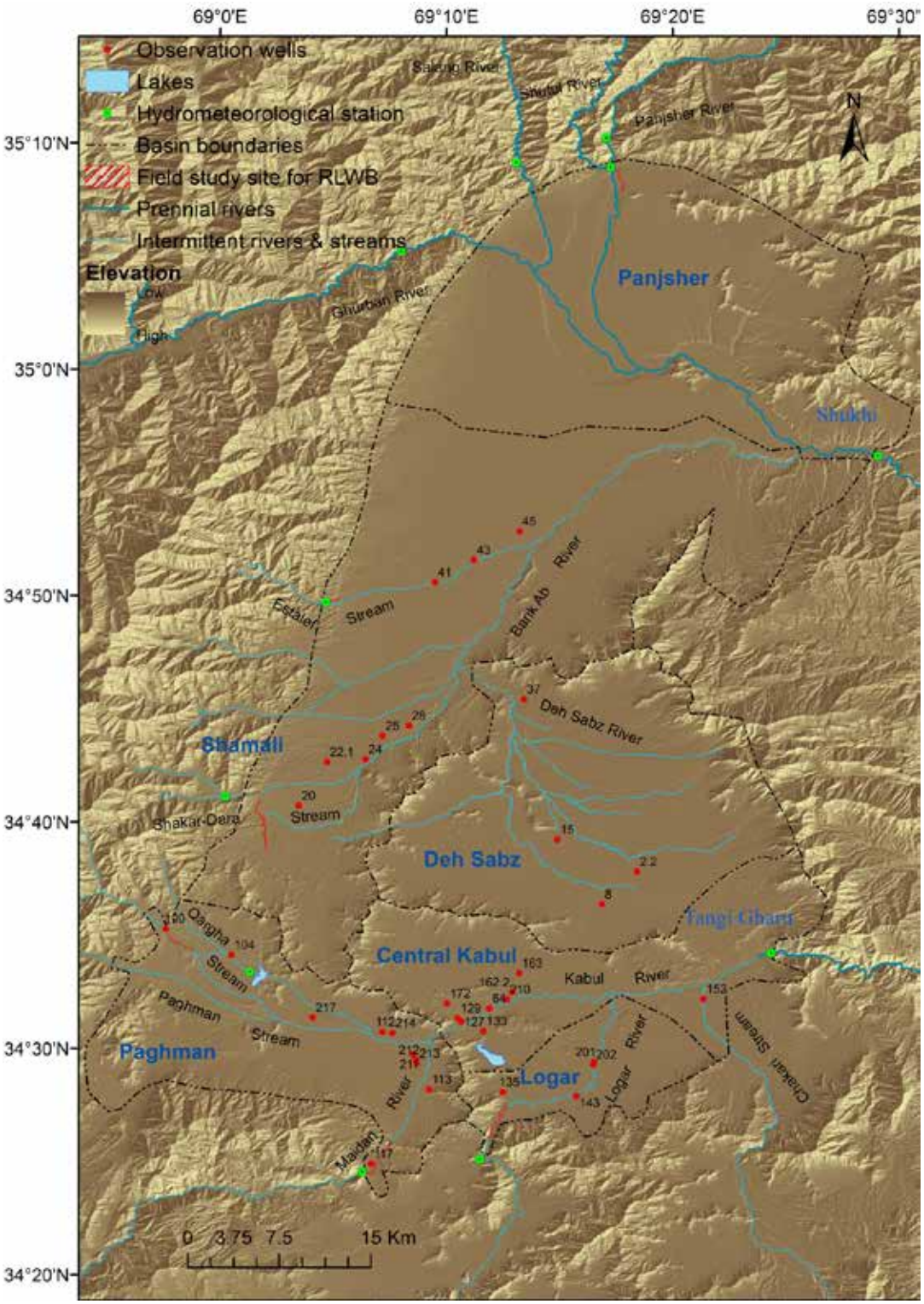
۱۹ هومیلیوس، ج. (۱۹٦۹). تحقیقات جیوالکتریک در شرق افغانستان*. مجله Geophysical Prospecting. شماره ۱۷، (۱۹٦۹)، ۴٦۸-۴۸۷.

۲۰ ر. گ. بوهانون، و ک. ج. ترنر، نقشه جیولوژی چارضلعی ۳۴٦۸، چارضلعی های چک وردک-سیاه گرد (۵۰۹) و کابل (۵۱۰)، افغانستان (سروی جیولوژیک ایالات متحده، گزارش دوسیه باز (open file report) شماره ۲۰۰۵-۱۱۰۷-ب. (رستون ویرجینیا: سروی جیولوژیک ایالات متحده، ۲۰۰۷)؛ مک و دیگران، مدل مفهومی منابع آب

۲۱ ای. بوخ، گزارش منابع آب زیرزمینی شهر کابل. مؤسسه فدرال علوم زمین و منابع طبیعی [منتشر نشده] شماره دوسیه ۰۰۲۱۰۱٦ (۱۹۷۱)؛ هووبن، «هایدروجیولوژی حوضه دریایی کابل».

۲۲ اداره همکاری‌های بین المللی جاپان، «بررسی پتانسیل منابع آب زیرزمینی در حوضه کابل، در جمهوری اسلامی افغانستان»، گزارش نهایی، چکیده، شرکت مشاوران سانیو، (کابل؛ سانیو ، ۲۰۱۱).

شکل ۲.۳: حوضه‌های دریایی منطقه کابل و پنج حوضه فرعی آن (کابل مرکزی، کابل بالایی/پغمان، لوگر، شمالی، ده‌سبز و پنجشیر)



RLWB = بیلانس آب طول دامنه دریا

منبع: (نقشه سایه روشن (hillshade) بر اساس داده (data) های ماموریت توپوگرافی رادار شاتل سروی جیولوژی ایالات متحده، دارای ریزلوشن ۲۰۰۰، ۸۵ متر)

۳. ۲. تعیین حجم نفوذ آب سطحی

رویکردها و روش‌های مختلفی برای سنجش ارتباط آب سطحی و آب زیرزمینی تدوین و استفاده شده است[۲۳]. روش‌های دسته اول نوعا با استفاده از آزمایش های کنترل شده[۲۴]، نظارت بر تغییرات حجم آب[۲۵] و حرارت به مثابه ابزاری برای ردیابی نفوذ آب، تخمین نقطه‌یی از میزان نفوذ آب از طریق بستر دریا ارائه می‌کند[۲۶]. روش‌های دسته دوم از اندازه‌گیری مستقیم جریان دریا در فصل جریان آب مانند RLWB[۲۷] و front tracking موج سیل استفاده می‌کنند[۲۸]. این روش ها تلفات انتقال یا نفوذ بستر رود را در مقیاس های مکانی بسیار بزرگتر تخمین می‌کنند. روش‌های دسته سوم از اندازه‌گیری های آب‌های زیرزمینی تحت بستر رود استفاده می‌کند و بنابراین به جای میزان نفوذ، تغذیه آب‌های زیرزمینی را برآورد می‌کند. GWM[۲۹] و تعیین سن آب‌های زیرزمینی (groundwater dating) (ردیاب‌های آب زیرزمینی از جمله شوری یا ایزوتوپ‌های پایدار، یعنی Carbon-۱۴ [^{14}C])[۳۰]، تغذیه آب‌های زیرزمینی را تخمین می‌کند که نمایانگر متوسط قیمت‌های مکانی و زمانی است.

برای روش‌های دسته نخست، متاسفانه داده‌هایی مانند تغییر در میزان آب و میزان نفوذ نقطه ای در حوضه دریایی کابل در دسترس نیست. به همین صورت، برای ردیابی موج سیل در روش‌های دسته دوم، اطلاعات دقیق زمان حرکت و سطح آب موجود نیست، زیرا سطح آب سطحی حوضه دریایی کابل تنها در چند ایستگاه دریا واقع در فاصله های دور از یکدیگر اندازه‌گیری می شود. به همین ترتیب، داده های مربوط به قدمت آب‌های زیرزمینی توسط ردیاب‌های محیطی مانند شوری، ایزوتوپ های پایدار (رادون، تریتیوم، $^{3}He/^{3}H$ و ^{14}C) تعیین می شود. داده‌های محدودی از طریق ردیاب آب‌های زیرزمینی در قسمت حوضه دریایی کابل[۳۱] در دسترس است، اما اندازه‌گیری مداوم ردیاب‌ها در آب‌های سطحی در نزدیکی چاه‌هایی که می‌تواند از نظر اثرات متقابل آب‌های سطحی و زیرزمینی مطالعه شود، وجود ندارد.

اغلب برای بهبود ضریب اطمینان نتیجه تحقیق، بیش از یک روش برای سنجش اثرات متقابل آب‌های سطحی و زیرزمینی به کار برده می شود. در ارتباط با حوضه دریایی منطقه کابل، جریان مداوم و اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی می‌تواند داده‌های کافی را برای استفاده از روش های RLWB و GWM فراهم کند.

۳. ۲. ۱. بیلانس بودجه آب در مقیاس حوضه

بیلانس بودجه آب با استفاده از یک معادله ابتدایی ($dV / dt = E-S$) محاسبه می شود. بر اساس این معادله، تغییر در میزان حجم آب، خواه مازاد آب باشد یا کسری (dV)، مساوی است با تفاوت بین ورودی و خروجی آب در یک دوره زمانی خاص. میزان آبریز ورودی (E) (inflow flux) شامل جریان ورودی از دریاهای متصل به حوضه دریایی، میزان بارندگی و مقدار منابع (به عنوان مثال، تأمین از مسافت طولانی) است. میزان آبریز خروجی (S) (outflow flux) از حجم خروجی دریاهایی که از حوضه دریایی بیرون می رود، میزان تبخیر و تعرق و میزان فرونشست آب (به عنوان مثال، برداشت آب برای تامین مسافت طولانی) تشکیل می شود.

---

۲۳ مثلا، م. شنافیلد، و پ. گ. کوک (۲۰۱۴). تلفات انتقال، نفوذ و تغذیه آب زیرزمینی از طریق بستر نهر موقت و متناوب: مروری بر روش های عملی شده. ژورنال آب شناسی، شماره ۵۱۱، (۲۰۱۴): ۵۱۸-۵۲۹.

۲۴ مثلا، د. ل. دونکرلی (۲۰۰۸). نفوذ پذیری سواحل در نهرهای موقتی زمین های خشک استرالیا: تفاوت هر مرحله در نتیجه به وجود آمدن گل و تشکیل رسوبات. ژورنال Earth Surface Processes and Landforms. شماره ۳۳، (۲۰۰۸): ۲۲۶-۲۴۳.

۲۵ مثلا، و. داهان، ب. تاتارسکی، ی. اینزل، سی. کلس، م. سیلی، و گ. بینیتو (۲۰۰۸) "دینامیک نفوذ آب سیلاب و تغذیه آب زیرزمینی در صحرای شدیدا خشک". مجله آب زیرزمینی، شماره ۴۶، (۲۰۰۸): ۴۵۰-۴۶۱.

۲۶ مثلا، سی. ای. هاچ، الف. ت. فیشر، ج. س. ریویناو، ج. کانستانتز، و سی. روهیل "سنجش تعامل آب سطحی و آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل سری زمانی (time series analysis) سوابق حرارتی بستر رودخانه: تدوین روش. مجله تحقیقاتی منابع آب.، شماره ۴۲ (۲۰۰۶).

۲۷ مثلا، ن. م. شمدل، ب. ت. نیلسون، و د. ک. استیون، "رویکردهای تخمین عدم قطعیت در توازن آب طول کانال"، مجله آب‌شناسی، شماره ۳۹۴، (۲۰۱۰): ۳۵۷-۳۶۹.

۲۸ مثلا، م. شنافیلد، پ. گ. کوک، ج. مک کلوم، و سی. تی. سیمونز "پاسخ سفره آب به گذرا بودن آب سطحی در رودخانه‌های منقطع: پاسخ سفره آب منقطع به موج های سیل". مجله تحقیقات منبع آب، ۴۸ (۲۰۱۲).

۲۹ هانتوش، "رشد و نزول"

۳۰ مثلا، الف. پ. اتکینسون، ی. کارت رایت، ب. س. گیلفیدر، د. ی. سیندون، ن. پ. اونلاند، و ح. هافمن "استفاده از ^{14}C و ^{3}H برای درک جریان و تغذیه آب‌های زیرزمینی در یک پنجره سفره آب (aquifer window)". ژورنال علوم آب شناسی و نظام زمین، شماره ۱۸، (۲۰۱۴): ۴۹۵۱-۴۹۶۴.

۳۱ بروشیرز، "موجودی منابع آب زیرزمینی"؛ هووبن، "هایدروجیولوژی حوضه دریایی کابل"؛ م. ح. صافی، ن. اقرار، و ج. وایتاکا "هشدار ملی در مورد کاهش آب انبارهای زیرزمینی و کاهش کیفیت آب شهر کابل و پاسخ فوری به بحران های آب آشامیدنی" نشست بانک جهانی با حمایت کمیته دانمارک برای کمک به پناهندگان افغان (DACAAR)، (کابل: DACAAR ، ۲۰۱۹).

$$\frac{dV}{dt} = E - S$$

$$\Delta V = \text{مساحت حوضه دریایی} x\left[\text{تبخیر و تعرق واقعی} - \text{بارندگی}\right] + \text{آبریز خروجی} - \text{آبریز ورودی}$$

$$\Delta V = Inflow\ fluxes - Outflow\ Flux + [Precipitation\ - Actual\ evapotranspiration] x basin\ area$$

آبریز ورودی و خروجی عبارتند از مقدار حجمی (volumetric) اندازه‌گیری شده تخلیه جریان روزانه بر اساس متر مکعب در هر ماه از دریای بالادست که در حوضه دریایی می ریزد و از آن خارج می شود. نرخ متوسط ماهانه بارندگی و تبخیر و تعرق با مساحت حوضه دریایی ضرب می شود تا مقدار حجم خالص بر اساس متر مکعب در هر ماه، به دست آید. انتروال واحد زمانی برای بیلانس آب ۱ ماه است زیرا نرخ بارندگی و تبخیر و تعرق به صورت ماهوار سنجیده می شود. نرخ تقریبی متوسط بارندگی ماهوار از بارندگی هایی به دست می آید که در چندین ایستگاه آب و هوا شناسی در هر حوضه فرعی دریایی اندازه‌گیری می شود. نرخ متوسط ماهوار تبخیر و تعرق از تبخیر و تعرق واقعی (ETa) به دست می آید که با استفاده از مدل عملیاتی (Simplified Surface Energy Balance) SSEBop ثبت می شود[۳۲]. مدل SSEBop ذرات تبخیر و تعرق را که در اثر تصویربرداری حرارتی از طریق طیف سنج تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS)، از راه دور تولید می شود و هر ۸ روز یکبار جمع آوری می شود، با تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش شاخص حرارتی، ترکیب می‌کند. بهره برداری از آب‌های زیرزمینی برای تامین آب خانگی در معادله بیلانس آب در نظر گرفته نشده است، زیرا هدف اصلی تخمین مازاد و کسری بالقوه ماهوار آب طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۸ است.

در صورتی که قیمت (VΔ) مثبت باشد، مازاد آب وجود دارد که می‌تواند آب‌های زیرزمینی را چارج کند و همچنان برای نیازهای آب آشامیدنی خانگی، آبرسانی به فواصل دور و سایر مقاصد استفاده شود، بدون اینکه باعث کاهش بیشتر آب زیرزمینی شود. در صورتی که قیمت (VΔ) منفی باشد، کسری آب وجود دارد که عمدتاً با تبخیر و تعرق از رطوبت خاک خارج می شود و می‌تواند باعث کاهش بیشتر سطح آب‌های زیرزمینی شود.

در حوضه‌های فرعی کابل مرکزی، کابل بالایی / پغمان و لوگر، بیلانس آب از اکتوبر ۲۰۰۷ تا سپتامبر ۲۰۰۸ محاسبه شده است. بیلانس آب بین ایستگاه هاي اندازه‌گیری واقع در حوضه فرعی کابل بالایی / پغمان، (دریای پغمان در قلعه ملك، دریای میدان در تنگی سیدان و خروجی دریاچه قرغه)، حوضه فرعی لوگر (دریای لوگر در سنگی نوشته) و حوضه فرعی کابل مرکزی (دریای کابل در تنگی غارو) چنانچه در شکل ۳,۲ نشان داده شده است. متأسفانه، در مورد نهر چکری، تنها داده های اوسط ماهوار تاریخی سال‌های ۱۹۶۵ تا ۱۹۸۰ در دسترس است؛ بنابراین، برای سنجش بیلانس آب، حد اوسط تخلیه جریان ماهوار تاریخی به کار گرفته می شود. چندین مخزن و منبع قابل شناسایی است، مانند کانال تره‌خیل (که آب دریای لوگر را عمدتا برای آبیاری به کابل مرکزی و حوضه‌های فرعی لوگر می رساند) و کانال وزیر آباد که منبع اصلی بازگشت آب به دریای کابل است. تاکنون هیچ داده‌ای در مورد میزان جریان آب در این مخازن و منابع در دسترس نیست. با توجه به ابعاد نسبتاً کوچك تر کانال هاي ناشی از این مخازن و منابع در مقایسه با دریای کابل ، فرض بر این است که این منابع سهم اندکی در بیلانس مجموعی آب دارند و از این رو تاثیر خالص آن بر بیلانس آب ناچیز محسوب می شود.

میزان بارش ماهانه از طریق نرخ متوسط اندازه‌گیری شده در دارالامان، بادام باغ، تنگی سیدا، سنگی نوشته، و قلعه ملک به دست می آید. نرخ متوسط ماهوار ETa از داده های حاصله از مدل SSEBop برای منطقه بگرامی به دست می آید که دارای پوشش گیاهی خفیف است و کمابیش بیانگر قیمت متوسط برای هر سه حوضه فرعی مورد نظر است. از آنجایی که ممکن است نرخ ETa بر اساس موقعیت مکانی و روش‌های محاسبه بسیار متفاوت باشد، در محاسبه بیلانس آب، مقدار±۲۵فیصد در ارزیابی حساسیت آن در نظر گرفته می شود.

در حوضه‌های فرعی شمالی و پنجشیر، بیلانس آب با توجه به تخلیه آب در چندین ایستگاه اندازه‌گیری دریاهای بالادست در مناطق هموار شمالی، پروان و کاپیسا و یک ایستگاه اندازه‌گیری جریان خروجی در منطقه گلوگاه شوخی در ولایت کاپیسا محاسبه می شود، همانطور که در شکل ۲.۳ نشان داده شده است. ایستگاه های اصلی سنجش بالادست برای دریای پنجشیر در تنگی گلبهار، برای دریای غوربند در پل اشاوه، برای دریای سالنگ در باغ لاله و برای دریای شوتول در باغ عمومی قرار دارند. سه رود اصلی اندازه‌گیری نشده به مناطق زیر حوضه فرعی پنجشیر می ریزد. شباهت مورفولوژی و موقعیت دره باعث می شود سنجش تقریبی تخلیه جریان از دریاهای شکردره و استالف در حوضه فرعی دریایی شمالی ممکن شود. دریای‌های شکردره، استالف، گل دره، فرزه و ده‌سبز و همچنان

۳۲ گ. ب. سینی، م. بودی، ج. پ. ویردین، و الف. م. میلیسه "سنجش از دور با استفاده از رویکردSimplified Surface Energy Balance برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی از مزارع آبیاری شده". Sensors ۷ (۲۰۰۷): ۹۷۹-۱۰۰۰؛ گ. ب. سینی، س. بومس، ر. ک. سینگ، پ. ح. گودا، ن. م. ولپوری، ح. الیمو، و ج. پ. ویردین "نقشه برداری عملیاتی تبخیر و تعرق با استفاده از حسگر از راه دور و مجموعه داده‌های هوا (Weather Datasets): پارامتربندی جدید برای رویکرد SSEB". ژورنال انجمن منابع آب امریکا. ۴۹، شماره ۹، (۲۰۱۳): ۵۷۷-۵۹۱.

چندین دریای کوچک مانند کلکان از دره های کوچک کوه های صافی به سمت دشت های شمالی جاری می شوند. در بین دریاها و نهرها در حوضه فرعی شمالی، فقط شکردره و استالف اندازه‌گیری شده اند. هایدروگراف دریاها و نهرهای اندازه‌گیری نشده بر اساس پهنه‌ی آبریز (آبگیر) آنها به رویت دریاهای اندازه‌گیری شده سنجیده می شود، زیرا فرض بر این است که تمام دره های پایین کوه های صافی میزان بارش یکسانی را دریافت می‌کنند و خصوصیات خاک و پوشش زمین در این مناطق تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. لذا، خروجی آب دریاهای اندازه‌گیری نشده به سادگی با ضرب کردن سطح تخلیه دریاهای اندازه‌گیری شده با عدد کسر حاصل از پهنه آبریز اندازه‌گیری نشده بر پهنه آبریز اندازه‌گیری شده، تعیین می شود. سرانجام، تخلیه جریان آب دریای دەسبز با مدل ساده بارندگی-رواناب (rainfall-runoff) با استفاده از اوسط بارندگی در کابل مرکزی به عنوان نقطه اصلی سنجش، برآورد می شود. دریای دەسبز دریای ای متناوب است که در اثر بارندگی در زمستان و اوایل بهار جریان پیدا می‌کند و در بقیه ماه های سال خشک است.

جریان ورودی از حوضه‌های فرعی شمالی و دەسبز در دو سناریو در نظر گرفته شده است: (ا) جریان ورودی از شمالی و دەسبز در بیلانس آب حوضه فرعی پنجشیر شامل است؛ و (ب) فرض می شود جریان ورودی از شمالی و دەسبز به طور کامل در حوضه‌های فرعی شمالی و دەسبز نفوذ می‌کند و به بیلانس آب در حوضه فرعی پنجشیر کمک نمی‌کند. غرض از مطالعه سناریو این است که سطح بالقوه سهم حوضه‌هاي فرعی شمالي و دەسبز در بیلانس آب حوضه فرعی پنجشیر آشکار شود. حد اوسط بارندگی ماهوار از طریق نرخ متوسط اندازه‌گیری شده در ایستگاه های آب و هوا شناسی در تنگی گلبهار، باغ لاله، باغ عمومی، پل اشاوه و شوخی به دست می آید. حد اوسط ماهوار ETa از داده‌های مربوط به مدل SSEBop برای منطقه گلبهار به دست می آید. بر خلاف حوضه‌های کابل، ETa حوضه فرعی پنجشیر در ولایت پروان - کاپیسا از یک مکان به مکان دیگر خیلی متفاوت نیست، زیرا پوشش گیاهی به طور یکنواخت توزیع شده است. با این وجود، نرخ ETa حوضه فرعی پنجشیر به اندازه ۱۰± در حال تغییر است تا حساسیت آن در محاسبه بیلانس آب ارزیابی شود.

۳. ۲. ۲. بیلانس آب طول دامنه دریا (Reach Length Water Balance)

RLWB به طور گسترده برای تخمین تلفات انتقال دریا استفاده شده است۳۳. تلفات انتقال از طریق بستر رود و سواحل می‌تواند با اندازه‌گیری تخلیه جریان آب در چندین بخش متوالی دریا، تعیین شود. تلفات انتقال صرفا تفاوت بین تخلیه جریان آب در بخش های تقاطع دریاهای بالادست و پایین دست است، در حالی‌که سایر منابع و مخازن جریان آب به شمول نرخ تبخیر نیز مد نظر گرفته می شود. سنجش تخلیه جریان می‌تواند با استفاده از مدل ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) - نشانگرهای صوتی داپلر برای اندازه‌گیری جریان) با دقت کافی انجام شود. سهم تلفات انتقال در تغذیه آب زیرزمینی وابسته به شیب بین نقطه فوقانی سطح و آب زیرزمینی، طول دوره جریان، نفوذپذیری بستر رود و میزان تبخیر و تعرق است. تلفات انتقال به دست آمده با استفاده از RLWB اطلاعات مهمی درباره نفوذپذیری بستر رود و سواحل نیز ارائه می‌کند. دامنه مطلوب برای مطالعه RLWB، یک دریا یا نهر دارای جریان آزاد است که نرخ افت (استخراج آب) و منبع (ورود آب از مجاری فرعی) آن صفر یا معین باشد.

در دامنه انتخاب شده، می توان چند مقطع عرضی (cross-section) را برای RLWB انتخاب کرد تا تغییر تلفات انتقال در پایین دست رود در امتداد مسافت طولی دریا یا نهر بررسی شود. فاصله بین دو مقطع مجاور باید به گونه ای انتخاب شود که اختلاف تخلیه جریان بین آنها قابل توجه باشد. تخلیه جریان با استفاده از دستگاه های (propeller current meter) PCM) و ADCP که توسط وزارت انرژی و آب تهیه شده است، اندازه‌گیری می شود. مقطع عرضی کانال به چند بخش فرعی با عرض مساوی تقسیم می شود و در هر بخش فرعی، عمق آب و سرعت متوسط جریان اندازه‌گیری می شود. تخلیه جریان برای هر بخش فرعی از طریق ضرب کردن سرعت متوسط جریان با مساحت جریان (عرض بخش فرعی x عمق آب) حاصل می شود. یکجا کردن تخلیه جریان همه بخش های فرعی مجموع تخلیه جریان کانال را نشان می دهد. بنابراین، در زمان اندازه‌گیری، عرض مرطوب شده کانال، سطح مقطع، عمق آب و سرعت متوسط جریان نیز به‌دست می آید. شکل ۳,۳ فعالیت‌های ساحوی را در دریا میدان و کانال آبیاری خواجه نشان می دهد که به ترتیب با استفاده از دستگاه های PCM و ADCP انجام شده است.

۳۳ ر. الف. پاین، م. ن. گوسیف، ب. ل. مک گلین، ک. ای. بنکالا، و س. م. ووندزل "بیلانس آب آب کانال و تبادل آن با جریان زیرسطحی در امتداد جریان سرچشمه‌های کوهستانی در مونتانا، ایالات متحده،" تحقیقات منابع آب ۴۵، (۲۰۰۹).

شکل ۳,۳: اندازه‌گیری تخلیه جریان برای تحقیقات در مورد تلفات انتقال بستر دریا (الف) دریا میدان با استفاده از دستگاه PCM و (ب) کانال آبیاری خواجه در ولایت کاپیسا با استفاده از دستگاه ADCP.

در حوضه فرعی دریایی کابل بالایی، دریاهای پغمان و میدان برای مطالعه RLWB انتخاب شده اند. تخلیه جریان در دو نقطه دریایِ پغمان اندازه‌گیری می شود. این جریان به سمت پایین دست تا یک مکان سوم در ایستگاه اندازه‌گیری قلعه ملک، جایی که دریا کاملاً خشک می شود، ردیابی می شود. فاصله مکان‌های دوم و سوم از اولین مکان اندازه‌گیری در امتداد پایین دست دریا به ترتیب ۱،۴۶۰ متر و ۴۲۰۵ متر است. به طور مشابه، میزان تخلیه جریان در دریای میدان در یک مکان واحد در بالادست ایستگاه اندازه‌گیری در تنگی سیدان (شکل ۳,۳a) اندازه‌گیری می شود و این دریا ۲،۸۵۰ متر پایین تر از پل گلباغ کاملا خشک می شود.

در حوضه فرعی شمالی، میزان تخلیه جریان در دریاهای شکر دره و استالف و کانال های آبیاری اندازه‌گیری می شود. در مورد دریای شکر دره، تخلیه جریان ابتدا در منطقه سرخ بلندی اندازه‌گیری می شود و جریان آب به سمت پایین دست ردگیری می شود، جایی که دریا در فاصله ۱۰۰۰ متر کاملا خشک می شود. علاوه بر این، یک کانال آبیاری که از دریای شکر دره آب می‌ِگیرد در سه مکان در پایین دست رود به ترتیب با مسافت ۳،۰۰۰ متر، ۳۵۰۰ متر و مکان چهارم در ۴۱۷۰ متر، جایی که کانال در آن کاملاً خشک می شود، اندازه‌گیری می شود. برای دریای استالف، یک کانال آبیاری در دو موقعیت اندازه‌گیری می شود. محل اول ایستگاه آب هوا شناسی است، و مکان دوم با فاصله ۹۵۰ متری در پایین دست قرار دارد و پایین تر از آن کانال در مسافت ۳،۶۵۰ متر به طور کامل خشک می شود.

در حوضه فرعی لوگر، دریای لوگر در دو نقطه پایین دست ایستگاه آب و هواشناسی سنگی نوشته به ترتیب در مسافت ۳،۲۹۰ متر و ۴،۰۸۰ متر پایین تر از مکان اول اندازه‌گیری می شود. این دریا در مکان سوم در منطقه سیاه بینی کاملاً خشک می شود.

در حوضه فرعی پنجشیر، کانال آبیاری موسوم به خواجه که آب را از دریای پنجشیر به زمین های زراعتی در کناره های شمالی دشت‌های پروان - کاپیسا منتقل می کند، برای بررسی تلفات انتقال انتخاب شده است. جریان آب درست در نقطه ورودی آب کانال اندازه‌گیری می شود و پس از آن مکان دوم در فاصله ۲،۰۰۰ متر در پایین دست در پل ولسوالی و مکان سوم در ۲،۸۰۰ متری در منطقه پل خواجه میرعلی اندازه‌گیری می شود.

به دلیل تلاطم جریان دریاها در حوضه فرعی پنجشیر در زمان اندازه‌گیری توسط دستگاه ADCP Qliner۲ ، اندازه‌گیری جریان آب نتوانست دقت لازم را به‌دست آورد. تثبیت دستگاه Qliner۲ بر روی سطح آب دشوار بود، وضعیتی که خطاهایی را در اندازه‌گیری به بار آورد. بنابراین، به عنوان یک گزینه بدیل، اندازه‌گیری جریان در سه نقطه کانال آبیاری انجام شد که در شکل ۳,۳b نشان داده شده است. دلیل استفاده از دستگاه ADCP در حوضه فرعی پنجشیر عمق زیاد آب و سرعتی است که باعث می شود دریاها و کانال آبیاری برای استقرار دستگاه PCM غیر قابل استفاده باشد. از سوی دیگر، دستگاه Qliner۲ وقتی نتیجه بهتری تولید می‌کند که عمق جریان آب زیاد باشد، بر خلاف شرایط کم عمق. در حوضه‌های فرعی کابل مرکزی و دەسبز، اندازه‌گیری جریان امکان پذیر نبود، زیرا هر دو به طور کامل یا جزئی خشک بودند و در بخش های محدودی از آن آب راکد وجود دارد.

مکان های اندازه‌گیری تخلیه جریان آب و موقعیت هایی که دریاها و کانال ها در آن خشک می شوند با استفاده از GPS مشخص شده اند. داده های حاصله از نقاط مختصات (x ، y) در ابزار ArcGIS استفاده می شود و متعاقباً فاصله بین مکان های اندازه‌گیری تخلیه جریان و همچنان مکان هایی که دریاها و کانال ها در آن به طور کامل خشک می شوند، مشخص می شود. فاصله ها با ترسیم خطوط در امتداد مسیر واقعی جریان با دقت مشخص می شوند.

لازم به یادآوری است که فاصله زمانی بین اندازه‌گیری تخلیه جریان در دو محل متوالی از ۳۰ دقیقه تجاوز نمی‌کند، هرچند می توان تصور کرد که در اواخر تابستان و دوره جریان کم آب، تخلیه جریان در یک روز واحد تغییر قابل توجهی نخواهد کرد؛ با این حال، در دوره آب شدن برف‌ها، تخلیه جریان ممکن است در طول یک روز به طور قابل توجهی تفاوت داشته باشد. با این وجود، حتی در ماه‌های ابتدایی تابستان (زمان آب شدن برف)، فاصله ۳۰ دقیقه ای بین اندازه‌گیری تخلیه جریان دو مکان متوالی می‌تواند یک فرض درست باشد.

تلفات انتقال به عنوان تفاوت بین تخلیه جریان در نقاط اندازه‌گیری بالادست و پایین دست بر حسب متر مکعب در هر ثانیه محاسبه می شود. تلفات انتقال را می توان در رابطه با طول دامنه بر حسب متر مکعب بر ثانیه ضرب در کیلومتر ($s*km/m^3$) یا متر مربع بر ثانیه (s/m^2) نشان داد. این کار با تقسیم قیمت تلفات انتقال با واحد متر مکعب در ثانیه بر فاصله بین محل های اندازه‌گیری در بالادست و پایین دست رود انجام می شود. این پارامتر تفاوت تلفات انتقال در طول کانال را نشان می دهد. تلفات انتقال همچنان به صورت مساحت مرطوب شده کانال بر اساس متر مکعب بر ثانیه ضرب در متر مربع ($s*m^2/m^3$) نشان داده می شود، یا بر حسب متر بر ثانیه (m/s) از طریق تقسیم تلفات انتقال بر مساحت مرطوب شده دامنه کانال. مساحت مرطوب شده دامنه کانال از طریق ضرب کردن حد اوسط محیط مرطوب سطح مقطع اندازه‌گیری شده بالادست و پایین دست با مجموع طول دامنه کانال به دست می آید. این پارامتر تلفات انتقال در هر واحد منطقه مرطوب شده کانال را بر حسب متر در ثانیه نشان می دهد.

۳. ۳. تعیین حجم تغذیه آب‌های زیرزمینی

با توجه به ماهیت فصلی بودن جریان اکثر رودها و نهرها در افغانستان، یک منطقه اشباع نشده بین آب‌های سطحی و سفره آب زیرزمینی تشکیل می شود که پس از از سرگیری جریان در دریاها و نهرها، ممکن است به طور جزئی یا کامل اشباع شود. اگر جریان آب سطحی به اندازه کافی طولانی باشد، بخشی از آب نفوذی از طریق بستر رود به سفره آب می رسد و این فرایند به عنوان شکل‌گیری تپه های آب زیرزمینی (GWM) شناخته می شود. بزرگی تپه (Δh) در سفره‌ای با قیمت خاص (Sy) تابع نسبت نرخ تغذیه (R) با نرخی است که قابلیت انتقال سفره آب (T) به آب اجازه می دهد به صورت جانبی حرکت کند. تغییرات سطح آب زیرزمینی را می توان از طریق مشاهدات سطح آب زیرزمینی، نسبتا دقیق محاسبه کرد. واکنش تپه آب زیرزمینی به نوسانات جریان دریا می‌تواند برای برآورد تغییرات در حجم ذخیره آب‌های زیرزمینی، و آب نفوذی دریا که سفره آب را چارج کرده است، استفاده شود. داده‌های مورد نیاز برای GWM عبارت است از افزایش سطح آب زیرزمینی (h)، مدت زمان جریان آب سطحی (t) و زمان تاخیر بین اوج جریان و افزایش سطح آب زیرزمینی تا نرخ تغذیه در حالت جریان آب، تخمین شود. افزایش سطح آب زیرزمینی از طریق داده های نظارتی بر آب‌های زیرزمینی قبل و بعد از یک رویداد جریان آب، ثبت می شود. به همین صورت، مدت زمان وقوع جریان برای هر سال آبی را می توان از هایدروگراف دریا به دست آورد. زمان تاخیر صرفاً تفاوت زمانی بین قله های تخلیه جریان و سطح آب‌های زیرزمینی است.

چندین روش تحلیلی و چند روش شبیه سازی تفاوت عددی (برای مثال، Modflow) برای تخمین میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی قابل استفاده است. یکی از پرکاربردترین راه حل‌های تحلیلی برای تجزیه و تحلیل GWM توسط هانتوش ارائه شده است. وی یک معادله دو بعدی را برای جریان آب زیرزمینی پیشنهاد کرد و آن را به عنوان رشد و نزول تپه ها در پاسخ به تراوش یکنواخت توصیف کرد، با این فرمول:

$$h^2 - h_0^2 = \mathrm{Z(x,y,t)} = \frac{\nu R}{K_h}\int_0^t \left[erf\left(\frac{\frac{w}{2}+x}{\sqrt{4\nu t}}\right)+erf\left(\frac{\frac{w}{2}-x}{\sqrt{4\nu t}}\right)\right]\left[erf\left(\frac{\frac{l}{2}+y}{\sqrt{4\nu t}}\right)+erf\left(\frac{\frac{l}{2}-y}{\sqrt{4\nu t}}\right)\right] \quad 3.1$$ ۱.۳

$$\nu = \frac{\mathrm{K\bar{b}}}{S_y} \quad ۲.۳$$

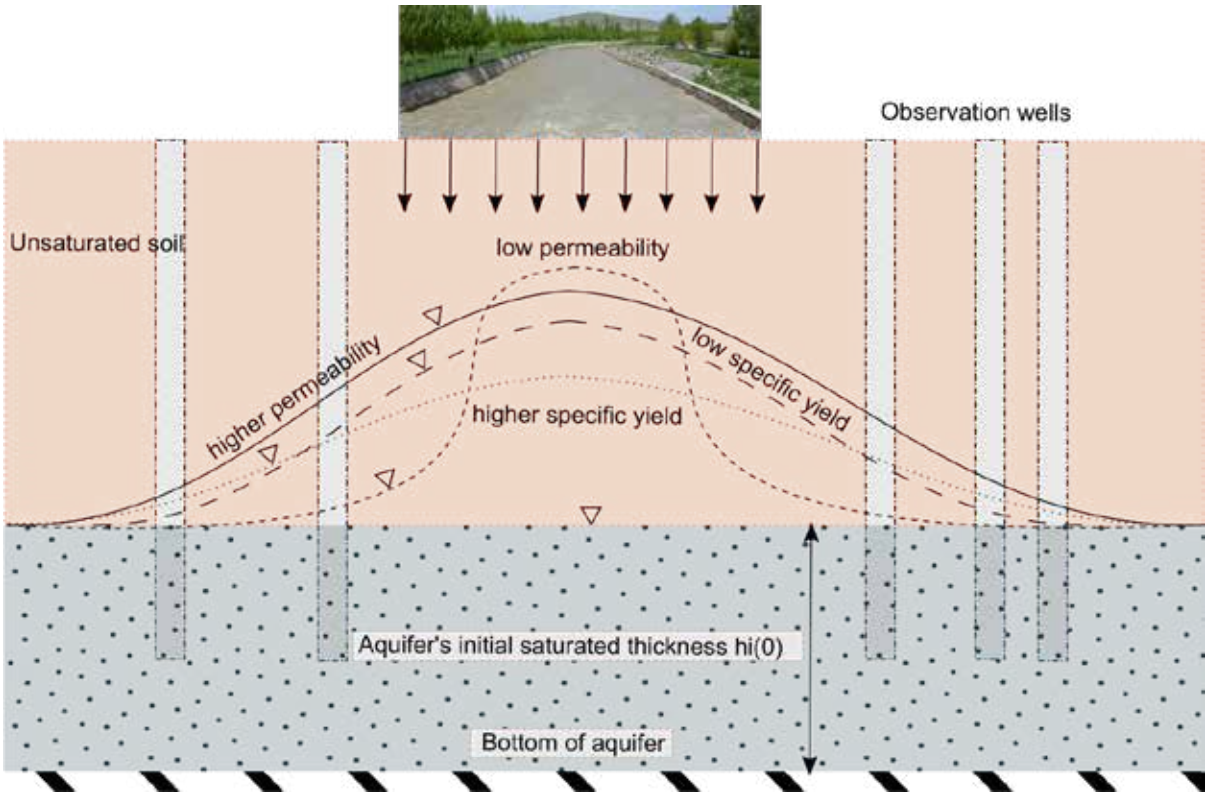
$$\bar{\mathrm{b}} = 0.5[h_i(0) + h(t_1)] \quad ۳.۳$$

شرح فرمول:

(l) و(w) به ترتیب ابعاد ساحه تغذیه در جهت (y) و (x) هستند؛ از این رو، طول و عرض دریا یا مسیر جریان آن به (m) نشان داده شده است. (x,y) مختصات نقاط مشاهده (چاه‌های مورد مشاهده) است.(h) و(h_0) به ترتیب راس آب زیرزمینی (groundwater head) زیر تپه و راس استاتیک اولیه (initial static head) قبل از تغذیه است (یعنی ضخامت اشباع شده اولیه سفره آب بر حسب متر). در روش به اصطلاح تقریب متوالی (successive approximation)، یک عدد ثابت خطی ($\bar{b}$) در m برای تخمین ارتفاع تپه آب زیرزمینی به کار برده می شود.(t) و(t_1) به ترتیب زمان (بر حسب روز) از وقت شروع تغذیه و زمان استفاده شده در تقریب متوالی را نشان می دهد. خواص سفره آب با هدایت هایدرولیک افقی (horizontal hydraulic conductivity) (k_h). بر حسب متر در روز نشان داده شده، آبدهی خاص(S_y) بی‌بعد و ضریب انتشار(v) در متر مربع در روز نشان داده می شود. تابع خطا(erf) که به نام تابع خطای گاوس (Gauss error function) نیز شناخته می شود و در آخر، (R) میزان تغذیه را بر حسب متر در روز نشان می دهد[۳۴].

تحلیل حساسیت سفره آب واضح می سازد که با افزایش قیمت هدایت هایدرولیکی افقی (k_h)، ارتفاع حداکثر تپه آب زیرزمینی (h) دقیقا در زیر حوضه آب کاهش می یابد، اما در ساحه افزایش پیدا می‌کند، همانطور که در شکل ۳,۴ نشان داده شده است. آبدهی خاص از سفره آب (S_y)، ابزاری است برای اندازه‌گیری منفذ (porosity) سفره آب و به این صورت تعریف می شود: حجم واقعی آبی که می‌تواند از یک واحد سفره آب تخلیه شود. حداکثر ارتفاع تپه با افزایش (S_y) کاهش می یابد، زیرا سفره آب در مقایسه با زمانی که آبدهی خاص (specific yield) پایین تر است، آب بیشتری را در هر واحد حجم ذخیره می‌کند. اطلاعات بیشتر در مورد حساسیت پارامترهای معادله هانتوش را می توان از کارلتون بدست آورد[۳۵].

شکل ۴.۳: توصیف نموداری تپه های آب زیرزمینی زیر دریای فرضی به عنوان حوضه تغذیه و شکل تپه با توجه به مقادیر بالا و پایین (kh) و (Sy)



۳۴ هانتوش، "رشد و نزول".

۳۵ گ. ب. کارلتون "شبیه سازی تپه‌های آب‌های زیرزمینی زیر حوضه‌های نفوذی آب طوفان‌های فرضی"، گزارش تحقیقات علمی سروی جیولوژی ایالات متحده آمریکا ۲۰۱۰-۵۱۰۲، (رستون، ویرجینیا: سروی جیولوژی ایالات متحده، ۲۰۱۰).

این معادله بر اساس چندین فرض استوار است، از جمله (۱) سفره آب فاقد محدوده مشخص، ایزوتروپیک (isotropic) و همگون است؛ (۲) سطح آب زیرزمینی افقی است؛ (۳) سفره آب دارای حد نامتناهی است؛ و (۴) جریان کاملا افقی است.

در تمام حوضه‌های فرعی مربوط حوضه دریایی منطقه کابل، سفره آب کم عمق فوقانی که در تماس مستقیم با آب‌های سطحی قرار دارد، تعریف نشده در نظر گرفته می شود[۳۶]. با این حال، نتایج آزمایش اخیر پمپاژ انفرادی ۲۰ حلقه چاه دارای عمق بین ۳۶ متر تا ۱۱۶ متر نشان می دهد سفره آب در حوضه‌های فرعی کابل مرکزی، کابل بالایی/پغمان و لوگر نیمه محدود یا کاملاً نشتی است. با این وجود، سفره آب کم عمق فوقانی که از دریاهاآب می گیرد، می‌تواند غیر محدود فرض شود. سفره آب در ذات خود به ندرت ایزوتروپیک و همگون است؛ بلکه غالباً غیر ایزوتروپیک و ناهمگن است. در این مطالعه، عامل ناهمگنی هدایت هایدرولیکی افقی باهدایت هایدرولیکی عمودی به صورت پیش فرض ۱۰ در نظر گرفته شده است، زیرا لایه های خاک رس که در گزارش بوخ[۳۷] آمده است ممکن است نفوذپذیری عمودی را در جهت عمودی حتی به مقادیر کلان تر غیر ایزوتروپیک کاهش دهد ($K_h/K_v > 10$).

فرض سطح افقی آب‌های زیرزمینی نیز ممکن است با مشاهدات آب زیرزمینی به ویژه در حوضه‌های فرعی شمالی، کابل بالایی/پغمان تضاد داشته باشد، زیرا سطح آب‌های زیرزمینی نشان می دهد شیب نسبتاً قوی از دهنه دره به سمت کف حوضه دریایی از شیب سطح زمین پیروی می‌کند. از آنجایی که مشاهدات جریان بسیار نزدیک به دریاهاو نهرها عمدتا با تغذیه از آب‌های سطحی کنترل می شوند، فرض بر این است که سطح آب زیرزمینی شیب دار بر محاسبات رشد آب‌های زیرزمینی تأثیر نمی گذارد.

عدم محدودیت حجم سفره های آب که در معادله هانتوش فرض شده است ممکن است بر محاسبه رشد آب‌های زیرزمینی در حوضه دریایی منطقه کابل تأثیر بسزایی داشته باشد، زیرا همه حوضه‌های فرعی این منطقه محاط به کوه‌ها اند. بنابراین، این فرض که اندازه سفره آب غیرمحدود است نقض می شود. یک راه سازش تقریبی با فرض غیر محدود بودن سفره آب می‌تواند این باشد که آب‌های زیرزمینی به طور مداوم برای آبرسانی و آبیاری در حوضه‌های دریایی منطقه کابل استفاده می شود. برداشت مداوم آب‌های زیرزمینی ممکن است باعث شود که رشد سطح آب زیرزمینی نتواند از طریق تغذیه به مرز حوضه دریایی برسد. مشاهدات آب‌های زیرزمینی در چاه‌های واقع در مناطق دور از دریاها در مرز حوضه‌های فرعی این فرض را تأیید می‌کند، زیرا سطح آب‌های زیرزمینی در دوره تغذیه در مقایسه با آب‌هایی که در نزدیکی دریاها قرار دارند تحت تأثیر قرار نمی گیرند (شکل ۱,۱).

فرض آخر در مورد جریان کاملاً افقی، بعد از جاری شدن آب نفوذی از بستر دریا به سمت آب‌های زیرزمینی، صادق است. درست در زیر بستر دریا، جریان به شدت عمودی و دورتر است و به دلیل نفوذپذیری بالاتر افقی سفره‌های آب در مقایسه با نفوذپذیری عمودی آن، بعد افقی جریان افزایش می یابد.

یک مزیت روش تحلیلی ۱۹۶۷ هانتوش این است که به دلیل استفاده از تغییرات سطح آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده، این روش نرخ واقعی تغذیه را بیان کند نه نرخ نفوذ آب را. نقص یا ضعف این روش مربوط به فرضیات آن است. در طبیعت، محیط متخلخل سفره آب غالباً با ناهمگنی همراه است و متضمن تغییر در خصوصیات جیولوژیک در امتداد جهت طولی است که نشانگر غیر ایزوتروپیک بودن آن است. در موارد غیر ایزوتروپی عمودی، ارتفاع تپه آب زیرزمینی در معادله هانتوش دست کم گرفته می شود. غیر ایزوتروپی بودن به این معنا است که در جهات مختلف هدایت هایدرولیکی متفاوت وجود دارد. با این وجود، در زیر بستر دریا، قابلیت هدایت هایدرولیک به شدت تحت کنترل ماده آبرفتی است و بنابراین، ممکن است کمتر تحت تأثیر غیر ایزوتروپی بودن آن قرار بگیرد.

در اجرای این تحقیق، برای محاسبه ارتفاع حداکثری تپه های آب زیرزمینی در مرکز حوضه دریایی و نیز در فاصله مشخص از مرکز حوضه، از نسخه SI اسپرید شیت (spreadsheet) کارلتون[۳۸] استفاده شده است. ضخامت سفره آبی اشباع شده$hi(۰)$ ، هدایت هایدرولیک افقی (Kh)، آبدهی خاص (Sy)، اندازه حوضه دریایی (طول و عرض)، نرخ چارج (R) و مدت زمان (t) ورودی های ((input spreadsheet هستند. دریاهاو نهرها در واقع به عنوان یک حوضه طولانی مستطیل تغذیه عمل می‌کنند. طول مسیر دریا (L) در هر حوضه فرعی آب زیرزمینی، طول حوضه دریایی است و حد اوسط عرض دریا (W) عرض حوضه دریایی است.

برای مطالعه GWM، دامنه انتخاب شده دریا باید در مجاورت خود دارای چاه‌های نظارتی باشد، زیرا همبستگی (correlation) بین وقوع جریان دریاها و نوسانات سطح آب زیرزمینی، اساس این تحقیق را تشکیل می دهد. مشاهده سطح آب‌های زیرزمینی در افغانستان به ندرت انجام می شود و داده‌های اندازه‌گیری مداوم بسیار محدود است، به استثنای حوضه دریایی کابل که از سال ۲۰۰۴ به بعد، داده های مربوط به ۷۰ حلقه چاه تحت نظارت اداره جیولوژی افغانستان (AGS) و ۱۰ حلقه چاه تحت نظارت کمیته دنمارک برای کمک به

۳۶ بوخ، "گزارش منابع آب زیرزمینی شهر کابل"؛ هوبن، "هایدروجیولوژی حوضه دریایی کابل"

۳۷ بوخ، "گزارش منابع آب زیرزمینی شهر کابل"

۳۸ کارلتون، "شبیه سازی تپه‌های آب زیرزمینی".

پناهندگان افغان، موجود است[۳۹]. اغلب چاه‌های تحت مشاهده برای تامین آب خانگی استفاده می شود که پمپ های دستی در آن نصب شده است. داده‌های به‌دست آمده در هنگام پمپاژ آب یا بعد از پمپاژ طولانی تر، نوسانات غیر واقعی در سطح آب‌های زیرزمینی را نشان می دهد و از این رو شامل تحلیل نشده است. چاه‌های مورد مشاهده که برای مطالعه GWM در نظر گرفته شده است در جدول ۳,۲ آورده شده است.

جدول ۲.۳: شماره شناسایی چاه‌های مورد مشاهده در بانک اطلاعاتی اداره جیولوژی افغانستان، فاصله مشخص آنها از نقطه مرکزی منبع آب سطحی، عرض آب‌های سطحی و نیز خصوصیات فرضی سفره‌های آب بر اساس گزارش بوخ و جانسون[۴۰].

حوضه فرعی دریایی کابل مرکزی							
چاه‌های مورد مشاهده و نزدیکی آنها با ذخایر آب سطحی						خواص مورد استفاده سفره آب	
شماره شناسایی چاه	نام دریا	فاصله با دریا (متر)	عرض دریا (متر)	طول دریا (متر)	ضخامت اشباع شده h_i (متر)	K_h [متر در روز]	S_y [-]
۶۴	دریای کابل	۲۰۰	۵۸	۲۷,۵۰۰	۵۶	[۶۰-۱۰]	[۰,۱۵-۰,۰۱]
۱۲۷	--	۱۳۵	۳۸	--	--	--	--
۱۲۹	--	۴۲۵	۳۰	--	--	--	--
۱۳۳	--	۹۵۷	۵۰	--	--	--	--
۱۵۲	--	۱,۰۱۸	۳۵	--	--	--	--
۱۶۲,۲	--	۵۹۶	۴۸	--	--	--	--
۱۶۳	--	۱,۷۹۰	۳۲	--	--	--	--
۱۷۲	--	۱,۸۱۰	۳۰	--	--	--	--
۲۱۰	--	۱۳۸	۳۸	--	--	--	--
حوضه فرعی دریایی ده‌سبز							
۲,۲	دریاها و نهرهای متناوب	۱,۲۰۰	۲۰	۲۸,۰۰۰	۵۶	[۳۰-۱۰]	[۰,۱۵-۰,۰۳۵]
۸	--	۸۹۰	۱۰	۱۶,۵۰۰	--	--	--
۱۵	--	۱,۶۵۰	۱۵	--	--	--	--
۳۷	--	۶۱۷	۱۵	۲۸,۰۰۰	--	--	--
حوضه فرعی دریایی کابل بالایی/پغمان							
۱۱۳	دریای میدان	۵۸۵	۴۰	۱۴,۲۳۰	۵۲	[۳۰-۱۰]	[۰,۱۵-۰,۰۳۵]
۱۱۷	--	۳۱۰	۱۸	--	--	--	--
۲۱۱	--	۱,۲۰۰	۲۵	--	--	--	--

۳۹ طاهر، "سطح آب‌های زیرزمینی"؛ صدیقی، "گزارش بررسی و ارزیابی آب‌های زیرزمینی".

۴۰ بوخ، «گزارش منابع آب زیرزمینی شهر کابل»؛ الف. ی. جانسون «آبدهی خاص: تدوین آبدهی خاص مواد مختلف»، مقاله سروی جیولوژی تامین آب ۱۶۶۲-D (واشنگتن، دی سی: مطبعه دولت ایالات متحده، ۱۹۶۷).

۲۱۲	--	۹۹۰	۲۵	--	--	--	--
۲۱۳	--	۸۳۰	۲۵	--	--	--	--
۱۰۰	دریای پغمان	۱۲۰	۲۰	۲۴,۸۰۰	۵۰	[۳۰-۱۰]	[۰,۱۵-۰,۰۳۵]
۱۰۴	--	۱۵۰	۵	۷,۰۰۰	--	--	--
۱۱۲	--	۷۱۵	۲۸	۲۴,۸۰۰	--	--	--
۲۱۴	--	۷۲۵	۲۵	--	--	--	--
۲۱۷	--	۹۱۵	۲۰	--	--	--	--
حوضه فرعی دریایی لوگر							
۱۳۵	دریای لوگر	۱,۰۰۰	۲۰	۲۰,۰۰۰	۵۸	[۱۱۰-۱۰]	[۰,۱۵-۰,۰۲۵]
۱۴۳	--	۱۶۰	۲۵	--	--	--	--
۲۰۱	--	۸۰	۲۰	--	--	--	--
۲۰۲	--	۱۰۰	۳۰	--	--	--	--
حوضه فرعی دریایی شمالی							
۲۰	شکردره/باریک آب	۱۶۰۰	۲۵	۶۰,۰۰۰	۴۰	[۶۰-۱۰]	[۰,۱۵-۰,۰۱]
۲۲,۱	--	۱,۹۰۰	۱۶	--	--	--	--
۲۴	--	۳۵۵	۱۶	--	--	--	--
۲۵	--	۸۴۰	۲۰	--	--	--	--
۲۸	--	۶۹۰	۱۷	--	--	--	--
۴۱	استالف/باریک آب	۱۴۰	۲۰	۲۳,۴۰۰	--	--	--
۴۳	--	۱۴۵	۱۵	--	--	--	--
۴۵	--	۱,۲۵۰	۱۵	--	--	--	--

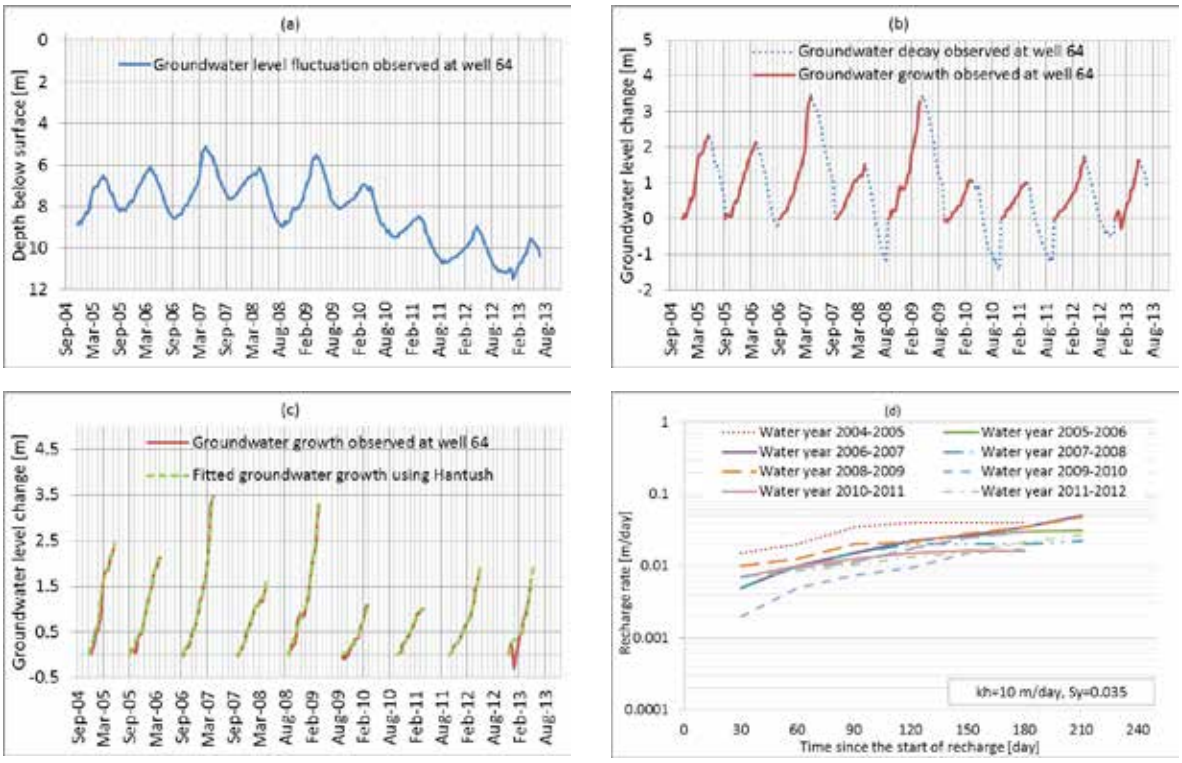
طرزالعمل تحلیل GWM در چهار گام ذیل تشریح شده است:

۱. داده‌های مربوط به سطح آب زیرزمینی برای یافتن حداکثر و حداقل سطح آب در هر سال آبی بررسی می شود. حداکثر سطح آب معمولاً بین ماه های مارچ و جون رخ می دهد و حداقل سطح آب بین ماه های آگست و اکتوبر اتفاق می افتد، همانطور که در مثال مشاهده آب‌های زیرزمینی در چاه شماره ٦٤ در حوضه فرعی کابل مرکزی در شکل ۳,۵a نشان داده شده است.

۲. برای هر سال آبی، پایین ترین سطح آب زیرزمینی به عنوان مرجع محاسبه تغییر خالص در نتیجه برداشت آب (تغییر منفی) یا تغذیه (تغییر مثبت) در نظر گرفته می شود. سطح آب‌های زیرزمینی از پایین ترین سطح مرجع کسر می شود تا نقطه حداقل سال آینده مشخص شود. روش محاسبه با در نظر گرفتن پایین ترین سطح آب زیرزمینی سال آینده به عنوان مرجع، تکرار می شود. تغییر سطح آب زیرزمینی با گذشت زمان، وقتی در جهت مثبت افزایش می یابد حالت رشد را نشان می دهد و وقتی کاهش پیدا می‌کند، حالت نزول را نشان می دهد. حالت رشد سطح آب زیرزمینی با فرآیندهای تغذیه از طریق آب‌های سطحی، آبیاری و بارندگی مستقیم ارتباط دارد و حالت نزول نشانه گسترش تپه ها و استخراج آب است. مدت زمان رشد سطح آب زیرزمینی بر اساس اختلاف زمانی بین شروع و پایان، محاسبه می شود (شکل ۳,۵b).

۳. برای حل معادله هانتوش (۱.۳)، رشد آب زیرزمینی از طریق تغییر نرخ تغذیه در مدت زمان رشد، با سطح تپه‌های آب تنظیم می شود. در صورت ضرورت دستیابی به سازگاری بهتر با رشد سطح اندازه‌گیری شده، نرخ تغذیه به صورت ماهانه تعدیل می شود (شکل ۳,۵c).

٤. متعاقباً، نرخ تغذیه، با استفاده از هایدروگراف دریا اندازه‌گیری شده، بارش و میزان تبخیر و تعرق، به رویت تغییرات وارده در تخلیه جریان تأیید می شود. این مقایسه بسیار ضروری است زیرا می توان اثر تغذیه آب‌های زیرزمینی را از سطح آب و آبیاری یا بارندگی مستقیم تشخیص داد. اگرچه نمی توان سهم هر منبع چارج را از طریق این مقایسه تعیین کرد، تأثیر کیفی سایر منابع چارج را می توان مشاهده کرد (شکل ۳,۵d).



شکل ۵.۳: مراحل تخمین تغذیه آب‌های زیرزمینی با استفاده از رویکرد تپه آب زیرزمینی هانتوش (۱۹٦۷) (a) سطح آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده برای چاه شماره ٦۴ واقع در فاصله ۲۰۰ متری دریای کابل (b) رشد آب‌های زیرزمینی (خط سرخ پیوسته) و زوال آب‌های زیرزمینی (خط آبی منقطع) (c) رشد آب زیرزمینی تنظیم شده و محاسبه شده با استفاده از معادله هانتوش و (d) نرخ تغذیه آب‌های زیرزمینی با ارائه آمار رشد آب‌های زیرزمینی در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳.

منبع: داده‌های آب زیرزمینی (صدیقی و دیگران، ۲۰۱۹).

همانطور که قبلاً ذکر شد و به طور گسترده توسط کارلتون مطالعه شده است[۴۱]، معادله هانتوش به هدایت هایدرولیک (نفوذپذیری خاک)، آبدهی خاص خاک (تخلخل خاک)، ضخامت سفره آب اولیه (ضخامت خاک اشباع شده) و ابعاد حوضه دریایی (طول و عرض حوضه) حساس است. در طبیعت، قیمت (k_h) در هر مکان معمولاً به لحاظ مرتبه بزرگی چندین برابر متفاوت است. قیمت (k_h) برای حوضه دریایی منطقه کابل که توسط بوخ[۴۲] گزارش شده است حداقل به اندازه یک مرتبه بزرگی (order of magnitude)، در حال تغییر است؛ بنابراین، قیمت آن بین ۱۰ متر در روز تا ۱۱۰ متر در روز در حال تغییر است. قیمت آبدهی خاص (S_y) نیز ممکن است بسیار متفاوت باشد، این وضعیت اصولا بسته به ویژگی‌های خاک مانند اندازه دانه، تخلخل، بافت خاک و تراکم خاک در نتیجه سیمانی شدن (cementation) است. قیمت (S_y) برای هر سفره آب مطابق گزارش جانسون[۴۳] می‌تواند حداقل دو برابر تفاوت داشته باشد. بوخ[۴۴] قیمت (S_y) را برای سفره‌های کم عمق ۰.۰۷۵ و برای لایه پایین تر جوش سنگ‌ها در حوضه دریایی منطقه کابل قیمت بسیار پایین تر ۰,۰۲۵ را اعلام کرد. بنابراین، قیمت(S_y) برای تحت پوشش قرار دادن طیف وسیعی از تغییرات آن و ارزیابی حساسیت(S_y) در تعیین نرخ‌های تغذیه، بین ۰,۰۱ تا ۰,۱۵ تغییر می‌کند. با این وجود، برای دستیابی به دقت بیشتر، آزمایش های جامع تر پمپاژ سفره آب نیاز است تا مقادیر (k_h) و (S_y) و محدوده تغییرات آنها در همه حوضه‌های فرعی در منطقه کابل تعیین شود.

ضخامت اولیه خاک اشباع شده یا ضخامت سفره آب می‌تواند چندین برابر تفاوت داشته باشد. کف یک حوضه دریایی ممکن است بیشترین ضخامت (hi) را داشته باشد در حالی که با پیشرفت به سمت مرز حوضه، این ضخامت به تدریج کاهش می یابد. در مورد منطقه کابل، اطلاعات کافی در مورد ضخامت (hi) در دسترس است. بنابراین، (hi) از تحلیل حساسیت خارج شده است. طول (l) و عرض (w) حوضه نمی توانند تفاوت زیادی داشته باشند، زیرا اندازه‌گیری سایت به راحتی انجام می شود. با این وجود، عرض دریاهاو نهرها ممکن است به شدت متفاوت باشد، که می‌تواند بر چارج مجموعی هر واحد در سطح مقطع تأثیر بگذارد. در این تحقیق، حد اوسط عرض دریا فرض شده است. تحلیل حساسیت (k_h) و (S_y) تأثیر آنها بر تخمین متوسط نرخ چارج هر حوضه فرعی را آشکار خواهد ساخت.

جدول ۳,۳ خلاصه تغییر پارامترهای تحلیل حساسیت از تحلیل مرجع

حوضه فرعی	پارامترها	تحلیل مرجع	تحلیل حساسیت ۱	تحلیل حساسیت ۲	تحلیل حساسیت ۳	تحلیل حساسیت ۴	تحلیل حساسیت ۵
کابل مرکزی	Kh (متر در روز)	۱۰	۱۰	۶۰	۶۰	۶۰	۳۰
Sy (-)		۰,۰۳۵	۰,۰۷۰	۰,۰۱۰	۰,۰۳۵	۰,۱۵	۰,۱۵
لوگر	Kh (متر در روز)	۱۰	۱۱۰	۱۰	۳۰		
	Sy (-)	۰,۰۲۵	۰,۰۲۵	۰,۰۷	۰,۱۵		
کابل بالایی/ پغمان	Kh (متر در روز)	۱۰	۳۰	۳۰			
	Sy (-)	۰,۰۳۵	۰,۰۳۵	۰,۱۵			
شمالی	Kh (متر در روز)	۱۰	۶۰	۶۰	۶۰		
	Sy (-)	۰,۰۵	۰,۰۳۵	۰,۰۱	۰,۱۵		
دەسبز	Kh (متر در روز)	۱۰	۳۰	۳۰			
	Sy (-)	۰۰۳۵	۰,۰۳۵	۰,۱۵			

۴۱ کارلتون، "شبیه سازی تپه‌های آب زیرزمینی".

۴۲ بوخ، «گزارش منابع آب زیرزمینی شهر کابل»

۴۳ جانسون، «آبدهی خاص»

۴۴ بوخ، «گزارش منابع آب زیرزمینی شهر کابل»

۴. نتایج مطالعه

۴. ۱. بیلانس بودجه آب

نتایج بیلانس بودجه آب شبکه های دریایی منطقه کابل در حوضه‌های فرعی کابل، کابل بالایی یا پغمان و لوگر و شبکه های دریایی پروان - کاپیسا در حوضه فرعی پنجشیر به ترتیب در شکل ۴,۱ (a و b) و شکل ۴,۲ (a و b) نشان داده شده است. شکل های ۴,۱ (a) و ۴,۲ (a) مقدار مجموعی آبریز ورودی، آبریز خروجی و تفاوت بین آنها را بر حسب متر مکعب در ثانیه در محور عمودی سمت چپ و متوسط نرخ ماهوار بارش و ETa را در میلی متر در محور عمودی راست نشان می دهد. شکل های ۴,۱ (b) و ۴,۲ (b) میزان حجمی متوسط بارش ماهوار و ETa را بر حسب متر مکعب را در محور عمودی راست و متوسط حجمی تلفات انتقال را بر حسب متر مکعب در محور عمودی سمت چپ نشان می دهد. بخش های دارای سایه آبی که خارج از بخش های دارای سایه صورتی امتداد یافته است، بیانگر سهم بارندگی در بازسازی آب‌های زیرزمینی است. بخش‌های سایه دار آبی رنگ در پشت مناطق سایه دار صورتی نشان دهنده نرخ های ETa بزرگتر از نرخ بارندگی است. بنابراین، آب رسوب شده به دلیل تبخیر و تعرق بالا قبل از نفوذ به آب‌های زیرزمینی از بین می رود.

٤. ١. ١. منطقه کابل

در منطقه کابل، سهم بارندگی در بازسازی آب‌های زیرزمینی از ماه نوامبر تا اپریل به طول می انجامد که در این مدت نرخ ETa در مقایسه با بقیه سال در پایین ترین حد قرار دارد. دومین عامل کمک کننده در احیای آب‌های زیرزمینی تلفات انتقال از طریق بستر دریا و سواحل در نتیجه نفوذ آب است. تلفات انتقال عبارت است از تفاوت بین آبریز ورودی و آبریز خروجی. آبریز ورودی برای منطقه کابل عبارت است از مجموع حد اوسط تخلیه جریان روزانه که در سنگ نوشته، تنگی سیدان، قلعه ملک، بند امیر غازی اندازه‌گیری می شود و جریان خروجی دریاچه قرغه به ترتیب به سمت دریاهای لوگر، میدان، پغمان و چکری. آبریز خروجی عبارت است از حد اوسط میزان تخلیه روزانه که در ایستگاه تنگی غارو در پایین دست دریای کابل اندازه‌گیری می شود. مناطق سایه دار سبز در شکل ۴,۱ (a) تفاوت بین آبریزهای ورودی و خروجی را نشان می دهد. تمام قیمت‌های مثبت تفاوت بین آبریزهای ورودی و خروجی، بیانگر تلفات انتقال بین ایستگاه های شبکه دریایی بالادست و پایین دست است. بیشترین تلفات انتقال بین ماه های نوامبر تا اپریل مشاهده می شود. کمترین میزان آن بین ماه های جون تا اکتوبر است، زیرا هم آب برای آبیاری مصرف می شود و هم هردو دامنه بالادست و پایین دست خشک می شوند. قیمت‌های منفی تفاوت بین آبریزها حاکی از افزایش جریان آب در پایین دست است که بین ماه مارچ و می رخ می دهد. در این مدت، بارندگی های اولیه بهار در منطقه شهری کابل منجر به رواناب (runoff) قابل توجهی می شود که از طریق کانال هایی مانند وزیر آباد به دریای کابل تخلیه می شود. متأسفانه، داده های مربوط به جریان کانال های زهکشی شهری در دسترس نیست؛ بنابراین، نمی توان تلفات انتقال در این دوره را برآورد کرد. البته این بدان معنی نیست که آب در اثر نفوذ در این دوره از بین نمی رود؛ بلکه، تفاوت آبریز منفی محاسبه تلفات انتقال را غیرممکن می سازد.

مازاد یا کسری آب حجمی خالص به عنوان تابعی از میزان حجمی بارش و ETa بر حسب متر مکعب در شکل ۴,۱ (b) ترسیم شده است. از ماه نوامبر تا اپریل، مازاد خالص بیلانس آب (مثبت) مشاهده می شود و کسری آن از ماه می تا اکتوبر است.

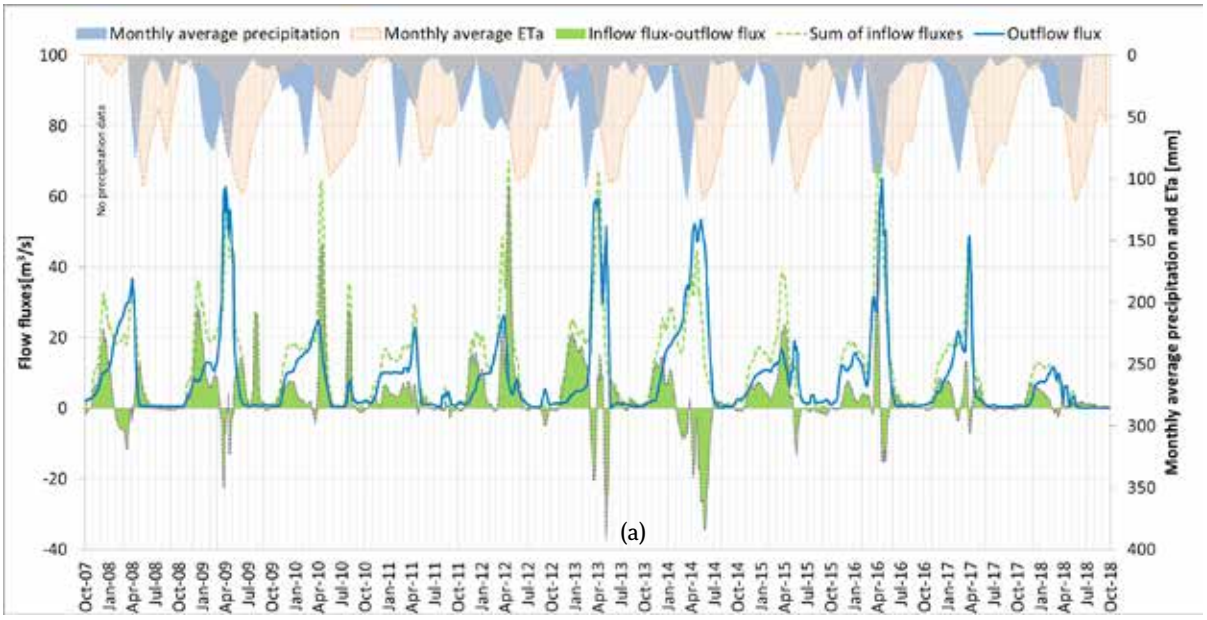
در این تحقیق، ETa بر اساس مدل SSEBop[۴۵] تخمین شده است که عمدتا با توجه به پوشش گیاهی سطح زمین، از یک مورد تا مورد دیگر بسیار متفاوت است. قیمت‌های ETa برای منطقه کابل از ساحه بگرامی واقع در فاصله بین منطقه مرکزی شهر کابل و منطقه روستایی در حوضه فرعی لوگر با پوشش گیاهی معتدل انتخاب شده است. بنابراین، ممکن است قیمت‌های ETa برای منطقه شهری کابل که دارای پوشش گیاهی بسیار کمتر است، بیش از حد در نظر گرفته شده باشد. بنابراین، بیلانس بودجه آب نیز متعاقباً برای کاهش ۲۵٪ و افزایش ۲۵٪ در نرخ ETa محاسبه می شود. کاهش نرخ ETa مازاد خالص آب را به طور چشمگیری افزایش می دهد و به پایین آمدن شدید کسری خالص آب منجر شده است، در حالی که در نتیجه افزایش ۲۵٪ نرخ Eta، کسری آب در همه سالهای تحت بررسی مشاهده می شود، به جز مازاد اندکی در سال ۲۰۱۳. اندازه حجمی مازاد و کسری خالص آب برای هر سه مورد ETa در جدول ۴,۱ خلاصه شده است.

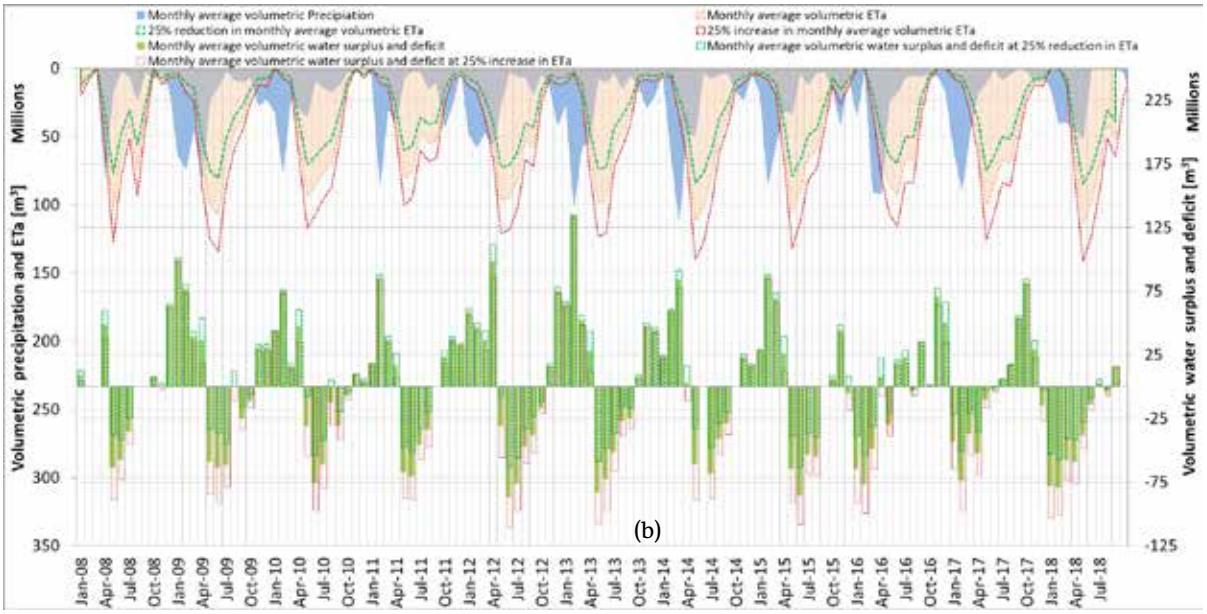
۴۵ سینای، «نقشه برداری عملیاتی از تبخیر و تعرق».

جدول ۴,۱: مازاد و کسری سالانه آب در حوضه دریایی منطقه کابل (کابل بالایی/پغمان، حوضه فرعی کابل مرکزی و لوگر)

سال	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸
مازاد 10^6 (متر مکعب)	*۱۲۸,۶	۳۱۳,۲	۱۹۶,۲	۲۵۰,۱	۳۳۲,۹	۳۷۸,۶	۲۰۹,۹	۲۶۰,۵	۲۰۶,۳	۱۸۸,۶	**۱۸,۴۶
کسری 10^6 (متر مکعب)	۱۵۶,۳	۲۲۱,۰	۲۱۸,۲	۲۱۷,۶	۲۹۵,۹	۲۶۰,۲	۱۹۸,۸	۲۶۴,۵	۲۲۴,۷	۲۳۳,۴	۳۳۰,۴
۲۵٪ کاهش در نرخ ETa											
مازاد 10^6 (متر مکعب)	*۱۴۷,۵	۳۵۶,۹	۲۱۹,۱	۲۷۲,۱	۳۶۳,۲	۴۰۶,۴	۲۳۵,۹	۲۹۵,۰	۲۵۱,۱	۱۹۸,۷	**۲۰,۸
کسری 10^6 (متر مکعب)	۱۰۴,۶	۱۳۸,۰	۱۲۷,۹	۱۵۳,۰	۱۹۴,۸	۱۷۷,۴	۱۲۹,۸	۱۷۹,۱	۱۴۸,۱	۱۳۴,۵	۲۳۲,۲
۲۵٪ افزایش در نرخ ETa											
مازاد 10^6 (متر مکعب)	*۱۱۲,۰	۲۸۰,۷	۱۷۸,۲	۲۲۸,۱	۳۰۲,۵	۳۵۰,۸	۱۹۴,۷	۲۳۴,۲	۱۶۸,۹	۱۷۸,۶	**۱۶,۱
کسری 10^6 (متر مکعب)	۲۱۰,۴	۳۱۵,۴	۳۱۳,۴	۲۸۲,۲	۳۹۷,۲	۳۴۹,۹	۲۷۸,۶	۳۵۸,۰	۳۰۶,۶	۳۳۲,۲	۴۲۸,۸

* برای ماه های جنوری تا مارچ سال ۲۰۰۸، هیچ داده‌ای در باره بارندگی وجود ندارد. ** داده‌های بارندگی برای سال ۲۰۱۸ محدود به ماه‌های جنوری تا سپتامبر است.





شکل ۴,۱: بیلانس بودجه آب در مقیاس حوضه آبی (Basin-Scale Water Budget Balance) برای حوضه دریایی کابل (حوضه‌های فرعی کابل مرکزی، کابل بالایی/پغمان و لوگر) (a) حد اوسط روزانه آبریز ورودی، آبریز خروجی و متوسط نرخ ماهوار ETa و بارندگی (b) میزان حجمی ETa و بارندگی و همچنان مجموع مازاد و کسری آب

منابع: داده های بارندگی جمع آوری شده توسط وزارت انرژی و آب، و وزارت زراعت، آبیاری و مالداری؛ داده های هایدروگراف دریا جمع آوری شده توسط وزارت انرژی و آب. داده ETa جمع آوری شده توسط اداره جیولوژی ایالات متحده (USGS) و مرکز مشاهده و علوم منابع زمین (EROS)

همانطور که نشان داده شد، در منطقه کابل، میزان بارش و زمان وقوع آن عناصر اساسی بیلانس آب است. سطح بارندگی در ماه های زمستان و اوایل بهار مهم ترین نقش را در تولید مازاد آب دارد که ممکن است تا حدودی به تغذیه آب‌های زیرزمینی کمک کند. کل بارش‌های دیگر در ماه‌های تابستان و اواخر تابستان ممکن است از سطح زمین تبخیر شود و به بازتولید آب‌های زیرزمینی کمک نکند. در سال های دچار کسری آب، نه تنها چارج آب‌های زیرزمینی کاهش می یابد بلکه تأمین آب خانگی از آب‌های زیرزمینی ممکن است عامل دیگری برای کاهش بیشتر سطح آب زیرزمینی شود. بنابراین، بسیار مهم است که با ایجاد شرایط مناسب در مقیاس سیستم دریا و نیز ایجاد حوضه‌های چارج مصنوعی اضافی، از مازاد آب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی استفاده شود.

٤. ١. ٢. منطقه پروان-کاپیسا (حوضه فرعی پنجشیر)

به دلیل پوشش گیاهی متراکم در حوضه فرعی پنجشیر، قیمت متوسط ماهوار ETa در مقایسه با حوضه دریایی کابل بسیار بزرگتر است. بالاترین نرخ ETa بین ماه‌های اپریل تا اکتوبر رخ می دهد؛ میزان ETa در بقیه ماه‌های سال، به دلیل کاهش دما و پوشش گیاهی، به صورت قابل توجهی کاهش می یابد. مهمتر از همه، بیشترین میزان بارندگی در سال در دوره ETa پایین رخ می دهد، که به طور قابل توجهی به بیلانس مثبت آب در حوضه فرعی پنجشیر کمک می‌کند.

آبریزهای ورودی و خروجی نشان دهنده رژیم غالب جریان آب شدن برف است که اوج جریان در ماه جون قرار دارد. در حوضه فرعی پنجشیر، آبریزهای ورودی و خروجی در دو دوره قابل مطالعه است. در دوره‌های جریان بالا (اپریل تا آگست)، آبریز خروجی به جز در سال های ۲۰۰۹، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸، بزرگتر از آبریز ورودی است. ناهنجاری ناشی از بزرگی آبریز خروجی نسبت به آبریز ورودی ممکن است دو دلیل داشته باشد. اول، ممکن است یک خطای سیستماتیک اندازه‌گیری در ایستگاه های اندازه‌گیری بالادست یا پایین دست رود سبب تخمین کمتر تخلیه جریان در بالا دست رود یا تخمین بیش از حد آن در پایین دست رود شده باشد. بنابراین، روش تخمین تخلیه جریان باید ارزیابی شود تا کشف شود که خطای اندازه‌گیری تا چه حد ممکن است بر بزرگی آبریز خروجی در ایستگاه شوخی تأثیر داشته باشد. دوم، ممکن است بزرگی آبریز خروجی در طول دوره پرجریان ناشی از آبگیری (exfiltration) آب زیرزمینی در کناره حوضه فرعی پنجشیر در منطقه شوخی ولایت کاپیسا باشد. ضخامت سفره آب در گلوگاه دره به شدت کاهش می یابد و در نتیجه، ظرفیت ذخیره سازی در مقایسه با حوضه فرعی پنجشیر کاهش می یابد. مشاهده سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه شوخی سطح آب را در کناره‌های

دره تا حد ۲,۵ متر پایین نشان می دهد[۴۶]. نتایج شبیه سازی آب‌های زیرزمینی توسط Modflow همچنان جهت جریان آب زیرزمینی از حوضه فرعی پنجشیر به سمت شوخی را با شیب قابل توجهی نشان می دهد[۴۷]. رفتار مختلف آبریزهای ورودی خروجی در سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ در مقایسه با بقیه سال‌ها قابل بحث است. میزان آبگیری (exfiltration) در شوخی ممکن است به میزان اشباع شدگی ذخیره آب‌های زیرزمینی حوضه فرعی پنجشیر بستگی داشته باشد. وقتی ذخیره آب زیرزمینی حوضه فرعی پنجشیر به اشباع کامل نرسد، ممکن است آبگیری (exfiltration) رخ ندهد؛ بنابراین، آبریز خروجی کمتر از آبریز ورودی است. تقریباً ۱۶٪ آب‌های آبیاری در ولایت های پروان و کاپیسا توسط آب‌های زیرزمینی تأمین می شود[۴۸]؛ بنابراین، استخراج و تغذیه ذخیره آب‌های زیرزمینی در حوضه فرعی پنجشیر مدام تکرار می شود. با این وجود، یک تحقیق جامع لازم است تا ابتدا بررسی شود که آیا آبگیری (exfiltration) رخ می دهد یا خیر و در صورتی که رخ می دهد، در چه حد است.

بنابراین، در این تحقیق، دوره ای که در آن آبریز خروجی بزرگتر از آبریز ورودی است از تحلیل بیلانس آب حذف شده است. هرچند نمی توان نرخ تلفات انتقال در دوره ای که آبریز ورودی کوچکتر از آبریز خروجی است را تخمین کرد، تلفات انتقال اتفاق می افتد، چنانچه در سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ تلفات انتقال بالایی در دوره های پر جریان مشاهده شده است. با این حال، می توان تلفات انتقال را در اواخر تابستان و ماه های زمستان (سپتامبر تا اپریل) تخمین کرد، زیرا آبریزهای ورودی در این دوره غالباً بزرگتر از آبریزهای خروجی است.

مازاد و کسری حجم آب در نتیجه بیلانس بودجه آب در حوضه فرعی پنجشیر در شکل ۴,۲ (ب) نشان داده شده است. مازاد و کسری حجم ماهوار آب برای ماه‌هایی محاسبه می شود که تفاوت آبریز ورودی و خروجی آن مثبت باشد؛ بنابراین، دوره‌های با آبریز منفی بین جریان ورودی و جریان خروجی (آبریز خروجی بزرگتر از آبریز ورودی) از تحقیق خارج شده است. علاوه بر این، برای درک حساسیت قیمت ETa، متوسط ماهوار به اندازه ۱۰٪ افزایش داده می شود و متعاقباً ۱۰٪ کاهش داده می شود. مازاد حجمی آب (مثبت) و کسری آب (منفی) بر حسب میلیون متر مکعب در چارت‌های ستونی (column charts) سبز نشان داده شده است. حساسیت ETa برای افزایش ۱۰٪ و کاهش ۱۰٪، به ترتیب با خطوط منقطع نارنجی و سبز روشن (mint) نشان داده شده است.

نتایج بیلانس آب در موردی که آبریز ورودی شمالی و ده‌سبز در آن شامل است، در قالب چارت ستونی به رنگ سبز روشن نشان داده شده است. در همه موارد حوضه فرعی پنجشیر، مازاد آب بیشتر از کسری آن است، عمدتا به دلیل بارندگی بیشتر در مقایسه با حوضه دریایی منطقه کابل، هرچند که قیمت Eta در آن بزرگ تر است. مازاد زیاد آب در ماه های فبروری تا اپریل مشاهده می شود، دوره ای که در آن نرخ بارندگی در بالاترین حد و نرخ ETa در پایین حد قرار دارد، در حالی که کسری آب در ماه های جون تا سپتامبر رخ می دهد، وقتی نرخ ETa و تقاضا برای آبیاری در بالاترین حد قرار دارد. تغییر نرخ Etaبه اندازه۱۰±فیصد تنها تغییرات جزئی را در مازاد و کسری خالص آب آشکار کرد.

وقتی آبریز ورودی حوضه فرعی شمالی و ده‌سبز شامل شوند، مازاد آب افزایش قابل توجهی نشان می دهد. خلاصه ای از مازاد و کسری سالانه آب در جدول ۴,۲ آورده شده است.

۴۶ صافی، «پتانسیل منابع آب».

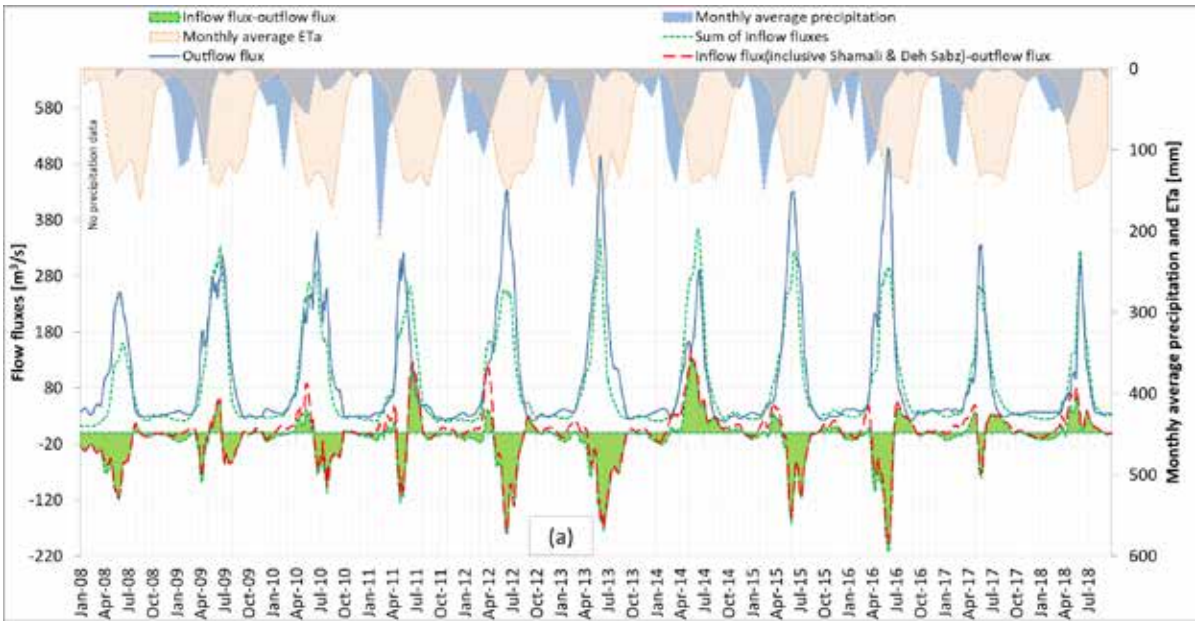
۴۷ مک، مدل مفهومی منابع آب

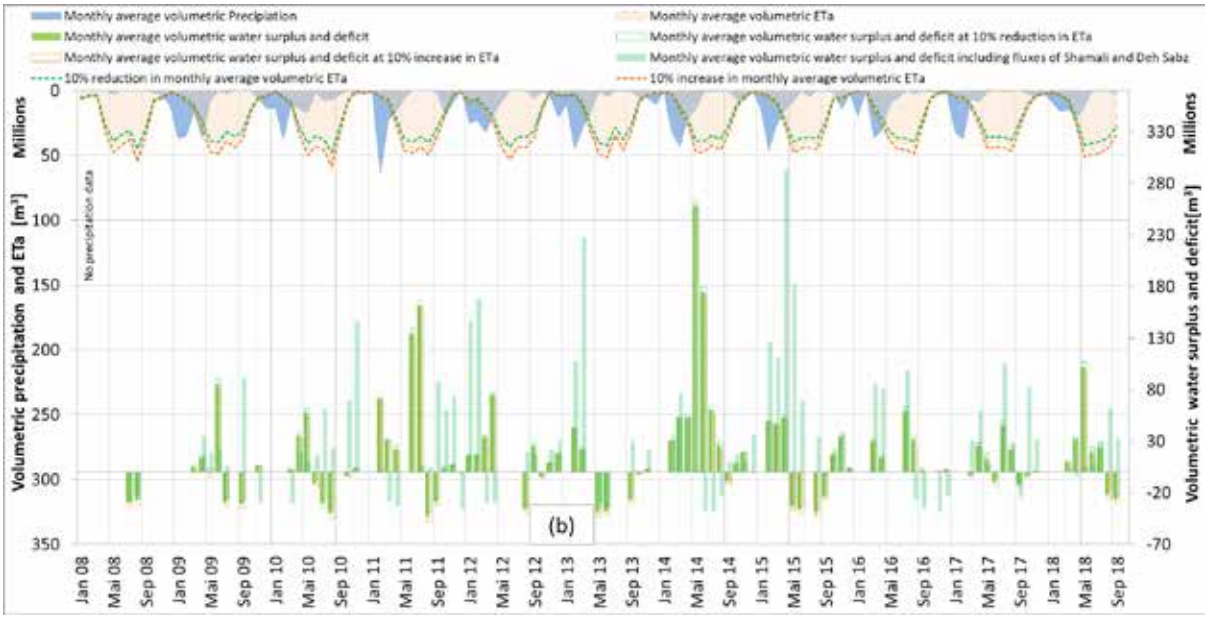
۴۸ س. س. شویر «وضعیت فعلی خشکسالی در افغانستان، ارزیابی و کاهش شدت خشکسالی در جنوب غرب آسیا». انستیتوت بین المللی مدیریت آب. (۲۰۰۱).

جدول ۴,۲: مازاد و کسری بیلانس سالانه آب در حوضه فرعی پنجشیر (پروان-کاپیسا)

سال	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸
مازاد 10^6 (متر مکعب)	*۰,۰	۱۱۱,۲	۹۹,۳	۴۳۱,۷	۱۹۳,۳	٦٦,۸	٦۸۲,۷	۲۰۲,۹	۱۴۰,۰	۱۰۷,۷	**۱۸٦,۸
کسری 10^6 (متر مکعب)	٥٦,٦	٦۱,۷	۸٥,۲	۷۴,۰	۴۰,۹	۱۰۷,۲	۹,۴	۱۳۳,۸	۰,۰	۳۰,۰	۴۸,۲
آبریز ورودی شمالی و دەسبز											
مازاد 10^6 (متر مکعب)	*۰,۰	۲۰۱,۸	۳۲٦,٥	٥۷۷,٦	۴۷۴,۳	۱٦۹,۴	۹۱٥,۹	۳٦۴,۸	۲٦٥,۲	۳۰٦,٦	**۳۲۰,۱
کسری 10^6 (متر مکعب)	٥۷,۸	٦۰,۹	٦۱,۸	۹٥,۱	٦٥,۸	۹۹,٦	۳,٥	۱۲۳,۹	۲۹,۱	٥,۸	۴٦,٦
۱۰٪ کاهش در ETa											
مازاد 10^6 (متر مکعب)	*۰,۰	۱۲۳,٦	۱۰۷,۹	۴۴٥,۹	۲۰۲,٦	٦۸,٦	۷۰٥,۰	۲۰۸,۴	۱٥۴,۹	۱۲۲,۹	**۲۰۳,٥
کسری 10^6 (متر مکعب)	۴۸,۲	٥۴,۰	۷۱,۰	٦٦,۱	۳٥,٦	۹۴,۳	٦,۳	۱۱۸,٦	۰,۰	۲۱	۴۱,۱
۱۰٪ افزایش در ETa											
مازاد 10^6 (متر مکعب)	*۰,۰	۱۰۲,۳	۹۰,٦	۴۱۷,٥	۱۸۴,۳	٦٥,۱	٦٦۰,٥	۱۹۷,٥	۱۲٥,۱	۹۲,٦	**۱۷۰,۲
کسری 10^6 (متر مکعب)	٦٥,۱	۷۳,۰	۹۹,٥	۸۱,۹	۴٦,۲	۱۲۰,۱	۱۲,٦	۲۴۹,۱	۰,۰	۳۹,۰	٥٥,۲

* برای ماه های جنوری تا مارچ سال ۲۰۰۸، هیچ داده‌ای در باره بارندگی وجود ندارد. ** داده‌های بارندگی برای سال ۲۰۱۸ محدود به ماه‌های جنوری تا سپتامبر است.





شکل ۴.۲: بیلانس بودجه آب در مقیاس حوضه آبی (Basin-Scale Water Budget Balance) برای حوضه فرعی پنجشیر (a) حد اوسط روزانه آبریز ورودی، آبریز خروجی و متوسط نرخ ماهوار ETa و بارندگی (b) میزان حجمی ETa و بارندگی و همچنان مجموع مازاد و کسری آب

منابع: داده های بارندگی جمع آوری شده توسط وزارت انرژی و آب، و وزارت زراعت، آبیاری و مالداری؛ داده های هایدروگراف دریا جمع آوری شده توسط وزارت انرژی و آب. داده ETa جمع آوری شده توسط اداره جیولوژی ایالات متحده (USGS) و مرکز مشاهده و علوم منابع زمین (EROS)

بر خلاف حوضه دریایی کابل، در حوضه فرعی پنجشیر، بیلانس آب در سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۸ مازاد زیادی را نشان می دهد. علی رغم این واقعیت که به دلیل ناهنجاری ناشی از بزرگی آبریز خروجی از آبریز ورودی در دوره های تابستان (جون-اکتوبر)، مازاد آب به شکل تلفات انتقال دریا (آبریز ورودی و خروجی) از تحلیل بیلانس آب حذف شده است، مازاد آب تقریباً در تمام سال‌های تحت بررسی نشان داده شده است. کسری آب تنها در اواخر تابستان (جولای-اکتوبر) رخ می دهد ، زمانی که نرخ ETa بالا و میزان بارش تقریباً صفر است. بودجه آب در بقیه سال مازاد را نشان می دهد که به طور قابل توجهی به بازتولید آب‌های زیرزمینی در زیر حوضه فرعی پنجشیر کمک می‌کند. آبریز خروجی بزرگ تر بر خلاف آبریز ورودی در لبه خروجی محدوده حوضه فرعی در منطقه شوخی نشان دهنده بازتولید کامل ذخیره سفره آب است که در طول دوره های پر جریان حتی باعث می شود که مجدداً آب را به آب‌های سطحی برگرداند.

همانطور که نشان داده شد، بیلانس آب به شدت تحت تأثیر نرخ ETa قرار دارد. متأسفانه، داده‌های مشاهداتی ETa که بتواند رویکرد SSEBop مورد استفاده در این تحقیق را تأیید کند، برای منطقه کابل وجود ندارد. بنابراین، قیمت مازاد و کسری آب برای سال‌های مورد بررسی باید به عنوان قیمت های نسبی در نظر گرفته شود. خطا در تخمین ETa ممکن است برای حوضه‌های فرعی کابل مرکزی و کابل بالایی، در مقایسه با حوضه فرعی پنجشیر، بزرگتر باشد، زیرا منطقه اعمار شده (آسفالت شده) ولایت کابل بزرگ و پوشش گیاهی آن کمتر است، امری که می‌تواند به شدت بر نرخ ETa تأثیر بگذارد. در حوضه فرعی پنجشیر، سطح زمین دارای پوشش گیاهی یکنواخت است که می‌تواند به توزیع یکنواخت تر ETa نیز کمک کند. با این حال، عدم قطعیت رویکرد SSEBop ممکن است هر دو حوضه فرعی را به یک اندازه تحت تأثیر قرار دهد.

۲.۴. نتایج بیلانس آبی طول دامنه دریا (Reach length water balance results)

نتایج RLWB حوضه‌های فرعی کابل بالایی/پغمان، شمالی، لوگر و پنجشیر در جدول ۳,۳ خلاصه شده است. پارامترهای اصلی عبارتند از تخلیه بخش بالادست (US)، تخلیه بخش پایین دست (DS)، طول دامنه، محیط مرطوب، حداکثر عمق آب و سرعت متوسط بخش و تلفات انتقال در هر واحد ساحه مرطوب.

در حوضه فرعی کابل بالایی/پغمان، تلفات انتقال در دامنه دریاهای مورد بررسی میدان و پغمان به ترتیب از ۱,۰x ۱۰-۵ متر در ثانیه تا ۵-۵,۶۳x۱۰ متر در ثانیه در حال تغییر است. میزان تلفات انتقال حدود پنج برابر بزرگتر دریای پغمان در مقایسه با دریای میدان را می توان تا حدی از این طریق توضیح داد که دریای میدان دارای رسوبات بسیار درشت (یعنی سنگریزه تا ریگ) است، بر خلاف رسوبات بستر دریای میدان که حاوی مقدار زیاد رسوبات نرم (به عنوان مثال، خاک رس و گل). به همین صورت، در حوضه فرعی شمالی، میزان تلفات انتقال دریای شکردره بین $۴,۲x ۱۰^{-۵}$ متر در ثانیه و $۱,۰x ۱۰^{-۴}$ متر در ثانیه در حال تغییر است و این رقم در مورد کانال آبیاری دریای استالف بین $۵,۱x۱۰^{-۵}$ متر در ثانیه و $۱,۳۹x۱۰^{-۴}$ متر در ثانیه در حال تغییر است. میزان تلفات انتقال مشابه دریای پغمان است، زیرا دریاهای شکردره و استالف هر دو دارای شباهت های hydro-sedimentological قوی هستند.

در حوضه فرعی لوگر، تلفات انتقال دریای لوگر بین $۹,۷x۱۰^{-۶}$ متر در ثانیه و $۳,۰x۱۰^{-۵}$ متر در ثانیه در حال تغییر است. میزان تلفات انتقال آن نسبت به دریاهای شکردره، استالف و پغمان کوچکتر است، اما مشابه دریای میدان است، زیرا بستر دریای لوگر نیز دارای مقدار قابل توجهی رسوبات نرم است. معمولاً دریای لوگر از ماه جولای تا اکتوبر خشک می شود، اما آبگیری (exfiltration) آب‌های زیرزمینی از باتلاق بالادست در ایستگاه سنگی نوشته بخشی از آب دریا را تأمین می‌کند که در نهایت در حدود ۶,۵ کیلومتری در پایین دست رود از بین می رود. در حوضه فرعی پنجشیر، یک کانال آبیاری که از سوی محلی ها به نام کانال خواجه شناخته می شود، مورد تحقیق قرار گرفت. میزان تلفات انتقال کانال خواجه در محدوده مورد مطالعه بین $۲,۰x۱۰^{-۵}$ متر در ثانیه و $۸,۲ x۱۰^{-۵}$ m/s متر در ثانیه تغییر می‌کند. بستر کانال آبیاری خواجه عمدتاً ریگی یا گلی است و دارای نفوذپذیری نسبتاً خوبی است که امکان نفوذ به درون آب‌های زیرزمینی را می دهد؛ با این حال، دیوارهای سنگی کانال مانع تصفیه سواحل است. با توجه به تفاوت مواد بستر دریاهادر حوضه فرعی پنجشیر که عمدتا دارای بستر جغلی است در مقایسه با کانال های آبیاری، میزان تلفات انتقال کانال خواجه، تخمین تقریبی از میزان حداقلی تلفات انتقال را به دست می دهد.

تلفات انتقال برای دریاها و کانال‌ها در حوضه‌های فرعی شمالی، کابل بالایی/پغمان و لوگر نیز تخمین تقریبی از حداقل تلفات انتقال را نشان می دهد، زیرا این مطالعه در ماه جولای تا آگست انجام شده است که که دوره حد اقل تخلیه جریان است. تلفات انتقال آب در این دوره به طور کامل به بازتولید آب‌های زیرزمینی نمی انجامد، زیرا به دلیل بالا بودن میزان تبخیر از سطح خاک، بخش قابل توجهی از آب از بین می رود.

جدول ۴,۳: خلاصه بیلانس آب طول دامنه دریاها، نهرها و کانال های آبیاری در حوضه‌های فرعی کابل بالایی/پغمان، شمالی، لوگر و پنجشیر

رود / کانال	تخلیه بالادست (متر مکعب در ثانیه)	تخلیه پایین‌دست (متر مکعب در ثانیه)	طول دامنه (متر)	محیط مرطوب شده (متر)	عمق حد اکثری (متر)	سرعت متوسط جریان (متر در ثانیه)	تلفات انتقال در هر واحد ساحه مرطوب شده (متر مکعب در متر مربع)
حوضه فرعی کابل بالایی / پغمان							
دریای پغمان دامنه پ	۰,۳۷	۰,۱۸	۱,۴۶۰	۲,۸	۰,۳۲	۰,۵۱	۵,۶۳ x۱۰-۰۵
دریای پغمان دامنه ۲	۰,۱۸	۰,۰۰	۲,۷۴۵	۱,۸	۰,۴۰	۰,۳۵	۳,۶۶ x۱۰-۰۵
دریای میدان	۰,۲۰	۰,۰۰	۲,۸۵۰	۷,۰	۰,۳۰	۰,۱۵	۱,۰۰ x۱۰-۰۵
حوضه فرعی شمالی							
دریای شکردره	۰,۱۳	۰,۰۰	۱,۰۰۰	۱,۵	۰,۲۳	۰,۵	۸,۶۷ x۱۰-۰۵
شکردره (کانال آبیاری) دامنه ۱	۰,۵۳	۰,۳۹	۵۰۰	۲,۸	۰,۳۳	۰,۷	۱,۰۰ x۱۰-۰۴
شکردره (کانال آبیاری) دامنه ۲	۰,۳۹	۰,۱۰	۳,۰۰۰	۲,۳	۰,۳۵	۰,۵	۴,۲۰ x۱۰-۰۵
شکردره (کانال آبیاری) دامنه ۳	۰,۱	۰,۰۰	۶۷۰	۲,۲	۰,۱۹	۰,۳	۶,۷۸ x۱۰-۰۵
دریای / کانال آبیاری استالف دامنه ۱	۱,۰۵	۰,۲۸	۹۵۰	۳,۷	۰,۴۹	۰,۷۳	۱,۳۹ x۱۰-۰۴
دریای / کانال آبیاری استالف	۰,۲۸	۰,۰	۲,۷۰۰	۲,۲	۰,۳۳	۰,۴۵	۵,۱۰ x۱۰-۰۵
حوضه فرعی لوگر							
دریای لوگر دامنه ۱	۰,۱۴	۰,۰۷	۳,۲۹۰	۱,۴	۰,۲۲	۰,۴۲	۹,۶۷ x۱۰-۰۵
دریای لوگر دامنه ۲	۰,۰۷	۰,۰۰	۷۹۰	۳,۰	۰,۲۶	۰,۱۱	۲,۹۵ x۱۰-۰۵
حوضه فرعی پنجشیر							
کانال خواجه دامنه ۱	۹,۳۴	۸,۹۹	۲,۰۰۰	۱۰,۰	۱,۳۵	۰,۸۰	۲,۰۳ x۱۰-۰۵
کانال خواجه دامنه ۲	۸,۹۹	۸,۰۲۲	۸۰۰	۷,۰	۱,۲۴	۰,۷۷	۸,۲۲ x۱۰-۰۵

۴. ۳. نتایج تحلیل تپه‌های آب زیرزمینی

نرخ تغذیه از طریق عیار کردن تغییر سطح آب‌های زیرزمینی با نرخ رشد در معادله هانتوش (۱۹٦۷) تعیین می شود. نرخ تغذیه که عامل تغییر آب زیرزمینی در یک چاه خاص است به شکل خط واحد منقطع که دارای یک شماره شناسایی چاه است (به طوری که توسط بانک اطلاعاتی AGS داده شده است) و فاصله چاه از موقعیت آب مجاور (دریا یا نهر) در نمودارهای نیمه لگاریتمی نشان داده شده است. نتایج هر یک از چاه‌ها یک طیف ۱۰ ساله رشد آب‌های زیرزمینی را از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ احتوا می‌کند. تغییر سطح آب زیرزمینی از یک سال تا سال دیگر فرق می‌کند. میزان تغییر وابسته به حجم تخلیه در سال آبی و دوره جریان دریا و نیز میزان بارندگی است که تا حدی می‌تواند به رشد سطح آب زیرزمینی کمک کند. بنابراین، نرخ تغذیه مربوط هر سال آبی که سبب بازتولید تغییرات آب زیرزمینی می شود، توسط همان رنگ نشان داده می شود. تغییر در طول دوره تغذیه بر حسب روز نشان می دهد که کدام نرخ، رشد سطح آب زیرزمینی را تحت هدایت افقی خاص هایدرولیکی (kh)، آبدهی خاص (Sy)، ضخامت اشباع شده اولیه سفره آب، و حجم آب، بازتولید می‌کند. به عنوان مثال، اگر تغذیه در روز ۱۸۰، ۰.۱ متر در روز باشد، به معنای این است که نرخ ثابت تغذیه ۰.۱ متر در روز در کل دوره ۱۸۰ روزه باید دوام پیدا کند تا رشد آب زیرزمینی در یک چاه خاص تحت مشاهده رخ دهد. نرخ تغذیه به صورت ماهانه (۳۰ روز) تعیین می شود، زیرا اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی نیز هر ماه انجام می شود، به جز چاه شماره ٦۴؛ بنابراین، اولین نرخ‌های تغذیه در پایان هر ۳۰ روز ارائه می شود.

٤. ۳. ۱. حوضه فرعی کابل مرکزی

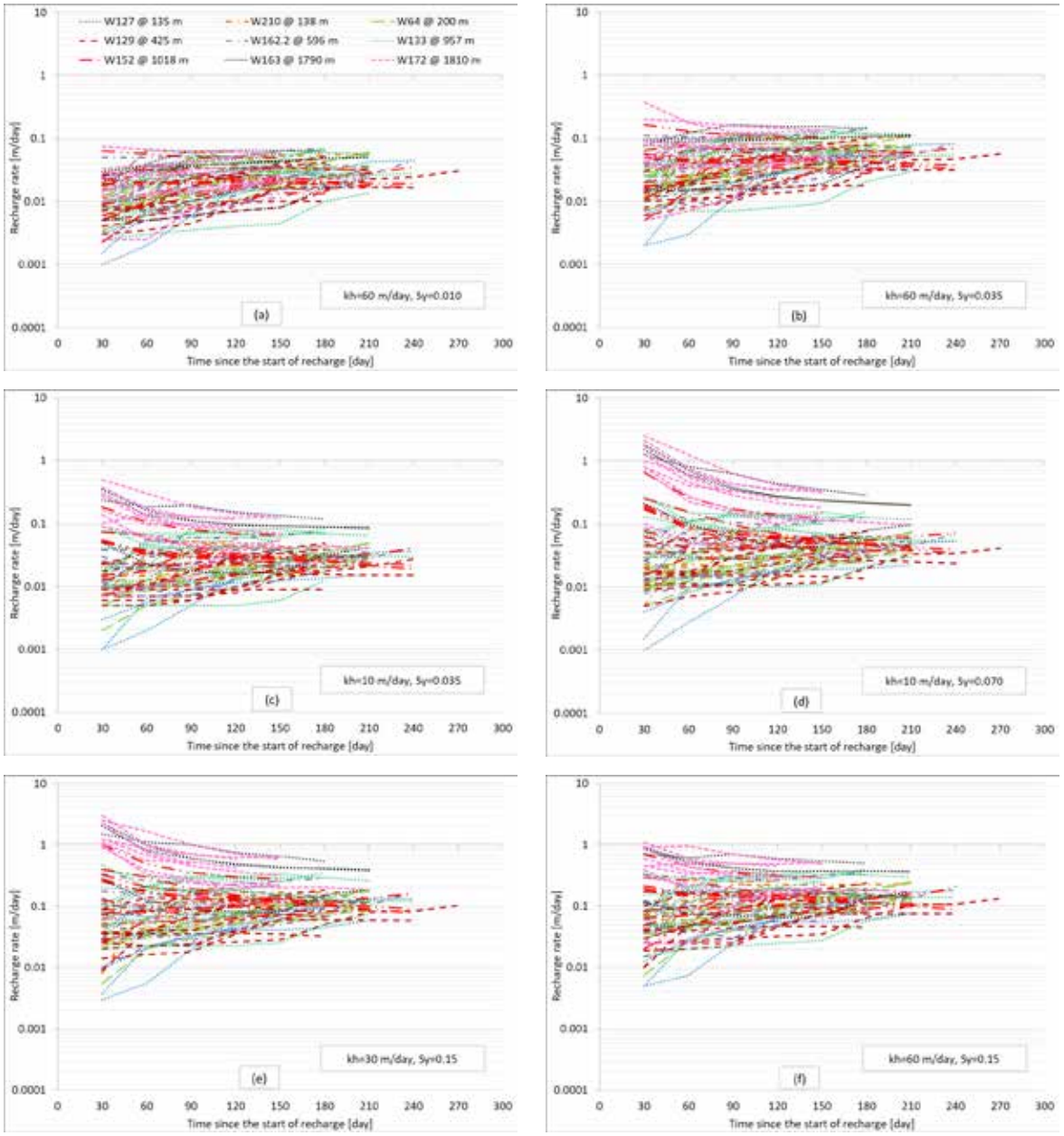
در حوضه فرعی کابل مرکزی، نرخ تغذیه که باعث رشد سطح آب زیرزمینی مورد مشاهده می گردد در شکل ۳.۳ (e) ،(d) ،(c) ،(b) ،(a) و (f) به ترتیب برای قیمت های ذیل نشان داده شده است: (kh = ٦۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۱)، (kh = ٦۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۷)، (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵)، و (kh = ٦۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵).

به طور کلی، در بیشتر سال‌های آبی، تغذیه آب‌های زیرزمینی در ۱۵۰ تا ۲۱۰ روز و حداکثر تا ۲۴۰ روز اتفاق می افتد. نرخ تغذیه برای چاه‌های نزدیک به دریا (به عنوان مثال، W۱۲۷ و W۲۱۰) و چاه‌هایی که بسیار دورتر از دریا قرار دارند (به عنوان مثال، W۱۷۲ و W۱٦۳) به طور قابل توجهی متفاوت است. بیشترین تغییرات درست پس از آغاز دوره چارج تا ۹۰ روز مشاهده می شود و پس از آن کاهش می یابد. به لحاظ نظری، نرخ تغذیه باید در دوره اولیه بسیار پایین باشد، تا یک حد معین افزایش یابد و برای بقیه دوره ثابت باقی بماند، مشابه افزایش آب سطحی در دریای کابل. دو دلیل ممکن است باعث تغییرات شدید نرخ چارج در دوره چارج اولیه باشد. چاه‌های تحت مشاهده اغلب دارای پمپ های دستی است و برای تأمین آب عمومی استفاده می شوند؛ بنابراین، سطح آب زیرزمینی مشاهده شده ممکن است ایستا (static) نباشد، بلکه پویا (dynamic) باشد. سطح آب زیرزمینی پویا ممکن است تحت تأثیر پمپاژ قرار بگیرد؛ بنابراین، ممکن است رشد سطح آب زیرزمینی دقیق نباشد. در حوضه فرعی کابل مرکزی، سطح آب زیرزمینی فقط چهار حلقه چاه (W٦۴ ، W۱۲۷ ، W۱۲۹ و W۱۳۳) بر اساس مشاهدات کمابیش ایستا اند و میزان چارج به دست آمده برای این چاه‌ها رفتار عادی نشان می دهد. به عنوان مثال، مشاهده آب زیرزمینی در چاه شماره W٦۴ به خوبی از طریق نرخ چارج پایین تر در دوره چارج اولیه بازتولید می شود، در حالی که نرخ چارج در پایان دوره چارج یک قیمت ثابت پیدا می‌کنند، همانطور که توسط خط سبز منقطع در شکل ۴,۳ نشان داده شده است.

ثانیاً، طیف (spectrum) تغییرات تغذیه به شدت تحت کنترل قیمت (kh) و (Sy) سفره آب قرار دارد. قیمت بالاتر (kh) و قیمت پایین تر (Sy) منجر به تغییر کمتر در تغذیه می شود، بر خلاف قیمت پایین تر (kh) و قیمت بالاتر (Sy). بنابراین، آن عده از قیمت های (Kh) و (Sy) که در آن تغییرات واقع بینانه نرخ تغذیه به وجود می آید ممکن است بهتر بتواند شرایط طبیعی را نشان دهند. پارامترهای کنترل کننده تغییرات چارج عمدتا خواص سفره آب است؛ بنابراین، معادله چارج آب‌های زیرزمینی هانتوش برای چند قیمت (kh) و (Sy) اجرا می شود تا میزان حساسیت این پارامترها تعیین شود. اگر بین میزان تغذیه که باعث رشد سطح آب زیرزمینی در چاه‌های نزدیک به دریا و چاه‌های دور از دریا سازگاری قوی وجود داشته باشد، حد مطلوب تلقی می شود. برای مثال، همانطور که در شکل ۴,۳ (b) و (c) نشان داده شده است، افزایش قیمت (kh) از ۱۰ متر در روز به ٦۰ متر در روز، در مقایسه با قیمت ۱۰ متر در روز، منجر به تغییرات کمتری در نرخ تغذیه می شود، زیرا قیمت بالاتر kh به این معنی است که آب نفوذی سریع‌تر حرکت می‌کند و حجم تپه های آب زیرزمینی را افزایش می دهد؛ بنابراین، تغییر در میزان تغذیه چاه‌های نزدیک دریا و چاه‌های دور از دریا کاهش می یابد. به همین صورت، حساسیت قیمت (Sy) در برابر طیف وسیعی از قیمت های بین ۰,۰۱ و ۰,۱۵ تحلیل شد.

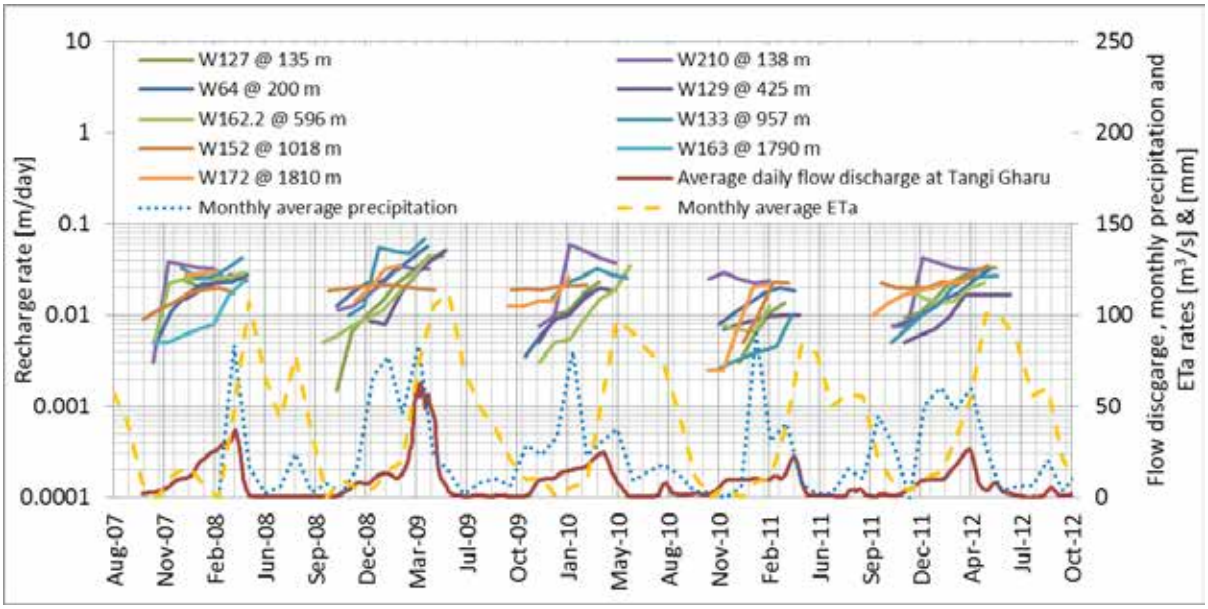
همانطور که در شکل ۴,۳ مشاهده می شود، نتایج نشان می دهد که قیمت پایین تر (Sy)، در مقایسه با قیمت بزرگتر (Sy)، منجر به تغییرات کمتر در چارج می شود، به ویژه در مرحله اولیه دوره چارج (۳۰ تا ۹۰ روز). از آنجا که قیمت بالاتر (Sy) به معنای آن است که سفره آب، در هر واحد حجم آب بیشتری ذخیره می‌کند، در نتیجه با یک نرخ چارج معین، ارتفاع تپه آب یا رشد سطح آب زیرزمینی در

سویه جانبی (lateral extent) پایین تر خواهد بود. بنابراین، برای تحقق رشد سطح آب زیرزمینی، نرخ چارج بالاتری در مقایسه با قیمت (Sy) لازم است. حساسیت خواص سفره آب تغییرات غیر خطی را در رشد سطح آب زیرزمینی آشکار می سازد، زیرا توسط یک معادله غیرخطی بیان می شود. تخمین زده می شود که در حوضه فرعی کابل مرکزی، به طور متوسط، نرخ چارج ۰,۰۲۵ متر در روز، ۰,۰۵۶ متر در روز، ۰,۰۴۶ متر در روز، ۰,۱۴ متر در روز، ۰,۲۳ متر در روز و ۰,۱۸ متر در روز به ترتیب برای قیمت های ذیل، رشد سطح آب زیرزمینی در همه چاه‌های مورد مشاهده را برآورده می‌کند: (kh = ۶۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۱)، (kh = ۶۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۷)، (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵)، (kh = ۶۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵).



شکل ۳.۴: تغییرات نرخ تغذیه آب زیرزمینی که رشد آب زیرزمینی در حوضه فرعی کابل مرکزی را در چهار حالت ترکیبی قیمت (kh) و(Sy) ، محقق می سازد: (a) kh = ۶۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۱ (b) kh = ۶۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵ (c) kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵ (d) kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۷ (e) kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵ (f) kh = ۶۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵

علاوه بر نرخ چارج، زمان تغذیه آب‌های زیرزمینی و وابستگی متقابل آن با پارامترهای بیلانس آب از اهمیت بالایی برخوردار است. شکل ۴,۴ تغییرات نرخ چارج با توجه به تخلیه جریان دریا، میزان بارش و میزان ETa در حوضه فرعی کابل مرکزی را نشان می دهد. همانطور که انتظار می رود، نرخ چارج به شدت تحت کنترل تخلیه جریان است، اما مدت زمان آن توسط ETa محدود می شود. این امر نشان می دهد که جریان بزرگتر در دریا منجر به افزایش نرخ چارج می شود تا زمانی که نرخ ETa به طور قابل توجهی افزایش یابد، که سبب متوقف شدن چارج آب‌های زیرزمینی می شود، زیرا آب نفوذی دریا به دلیل بالاتر بودن نرخ ETa، قبل از رسیدن به آب‌های زیرزمینی از بین می رود. بخش اعظم تغذیه آب‌های زیرزمینی بین ماه اکتوبر تا ماه می اتفاق می افتد و بالاترین نرخ چارج بین ماه جنوری و مارچ، زمانی که نرخ ETa پایین است، رخ می دهد. در حوضه فرعی کابل مرکزی، بارندگی، به ویژه اگر در تابستان (جون تا سپتامبر) اتفاق بیفتد، به بازتولید آب‌های زیرزمینی کمک نمی‌کند. چنین پنداشته می شود که سهم بارندگی در بقیه سال در تغذیه آب‌های زیرزمینی محدود به تولید رواناب (run-off) در دریاهاو نهرها باشد.



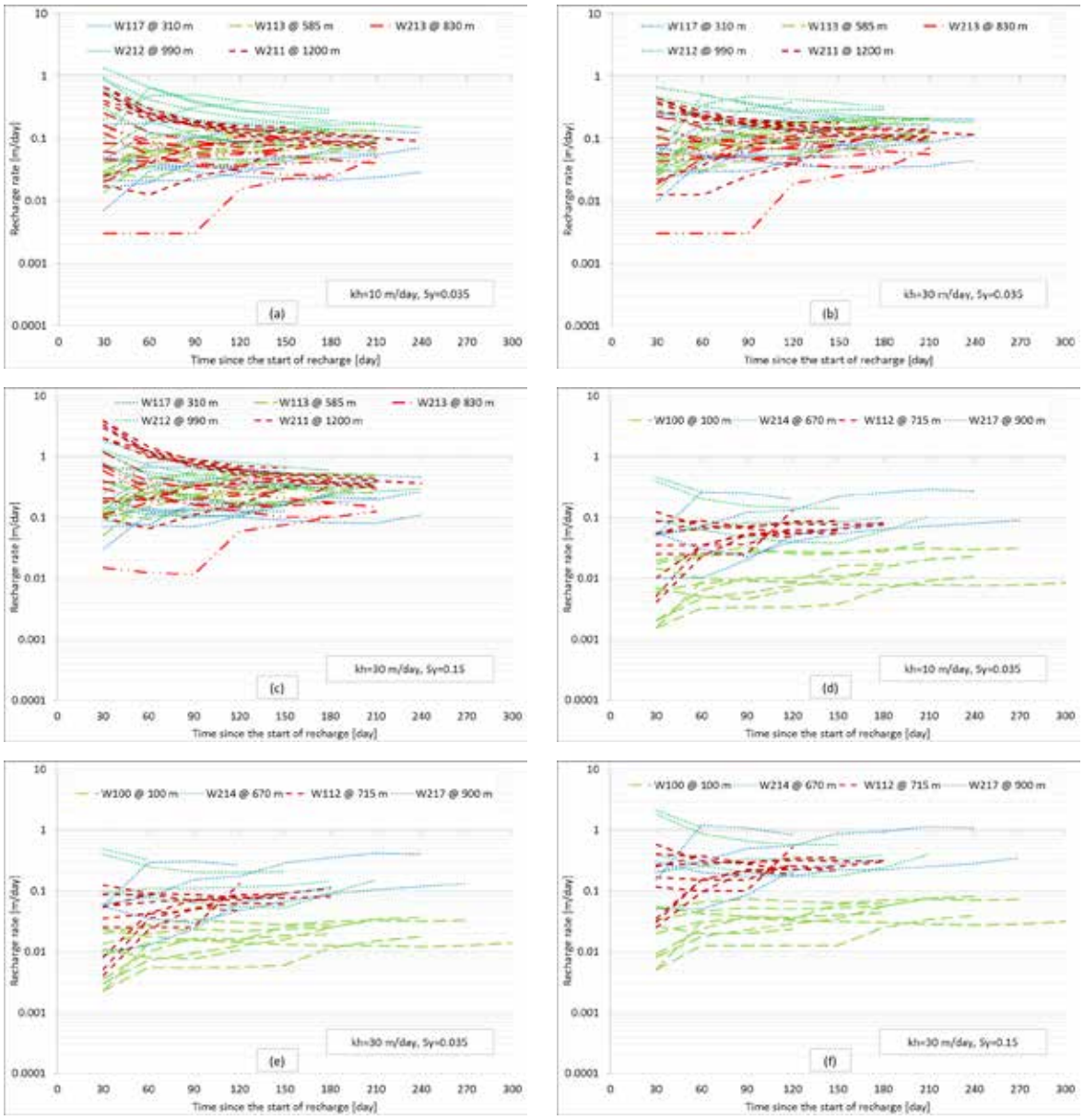
شکل ۴,۴: تغییرات نرخ چارج آب‌های زیرزمینی با توجه به تخلیه جریان دریا، میزان بارش و نرخ ETa در حوضه فرعی کابل مرکزی.

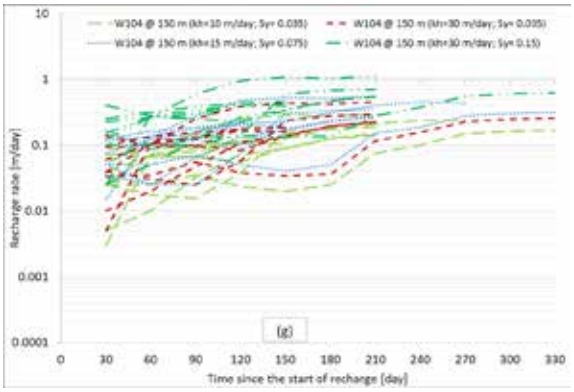
منابع: داده های بارندگی جمع آوری شده توسط وزارت انرژی و آب، و وزارت زراعت، آبیاری و مالداری؛ داده های هایدروگراف دریا جمع آوری شده توسط وزارت انرژی و آب. داده ETa جمع آوری شده توسط اداره جیولوژی ایالات متحده (USGS) و مرکز مشاهده و علوم منابع زمین (EROS)

٤. ٣. ٢. حوضه فرعی کابل بالایی/پغمان

در حوضه فرعی کابل بالایی/پغمان، نرخ چارج آب‌های زیرزمینی بر اساس رشد سطح آب زیرزمینی در چاه‌های نزدیک به دریاهای میدان و پغمان تخمین می شود که به ترتیب در شکل های ۴,۵ (a و c) و (e، f ، d و g) نشان داده شده است. تغییرات نرخ تغذیه در حوضه فرعی کابل بالایی/پغمان، مشابه حوضه فرعی کابل مرکزی، در چاه‌های نزدیک به دریای میدان در محدوده دو مرتبه بزرگی (two orders of magnitude) بین ۰,۰۱ متر در روز تا ۱,۰ متر در روز و در چاه‌های نزدیک به دریای پغمان پایین، بین ۰,۰۰۳ تا ۰,۳ متر در روز است. نرخ تغذیه برای قیمت‌های مختلف (kh) و (Sy) برای یگانه چاه در دریای قرغه (بالادست ورودی دریاچه قرغه) تغییرات بین ۰,۰۰۵ تا ۰,۵ متر در روز را نشان می دهد. به طور متوسط، نرخ تغذیه در دریای میدان، برای قیمت های آتی، به ترتیب ۰.۱۳٦ متر در روز، ۰.۱۳۸ متر در روز و ۰.۴۴ متر در روز است: (kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵) و (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵) به همین صورت، می توان متوسط تغذیه در دریای پغمان در حوضه فرعی پغمان پایین را برای قیمت های آتی به ترتیب ۰,۰۷۸ متر در روز، ۰,۰۹۷ متر در روز و ۰,۳۲ متر در روز تخمین کرد: (kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵) و (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵). در ساحه بالای قرغه، می توان نرخ تغذیه دریای قرغه در قسمت بالایی حوضه فرعی پغمان را برای قیمت های آتی، به ترتیب ۰,۱ متر در روز، ۰,۱٦ متر در روز، ۰,۲ متر در روز و ۰,۳۹ متر در روز تخمین کرد: (kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (kh = ۱۵ متر در روز، Sy = ۰.۰۷۵) و (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵).

همانطور که نشان داده شده، مدت زمان تغذیه در دریای پغمان می‌تواند حدود ۶۰ روز بیشتر از دریای میدان باشد، به ویژه برای چاه‌های شماره ۱۰۰ و ۱۰۴ که در بالادست حوضه فرعی کابل بالایی/پغمان قرار دارند. مشاهدات ساحوی و اندازه‌گیری تخلیه جریان در ایستگاه آب و هواشناسی قلعه ملک نشان می دهد که این دریا برای ۴ تا ۶ ماه خشک می شود. الگوی خشک شدن دریای پغمان از پایین دست است و در ماه های آخر تابستان تا بالادست امتداد می یابد، بنابراین، حتی وقتی دامنه پایین دست دریای پغمان خشک است، دامنه بالایی همچنان به تغذیه آب‌های زیرزمینی ادامه می دهد. سطح آب‌های زیرزمینی در حوضه فرعی کابل بالایی/پغمان دارای شیب قوی از دره پغمان به سمت مرکز کابل است که باعث می شود جریان آب زیرزمینی در عین مسیر جریان آب سطحی قرار بگیرد. جریان آب زیرزمینی زیرسطحی به دلیل MFR به رشد سطح آب زیرزمینی در منطقه پایین دست حوضه فرعی کابل بالایی/پغمان کمک می‌کند. مشاهدات ساحوی این تحقیق همچنان این ایده را تایید می‌کند که زمانی دامنه پایین دست دریا کاملاً خشک است، دامنه بالادست دریا همچنان جریان دارد (جدول ۳،۳ را ببینید).





شکل ۵.۴: تغییرات نرخ تغذیه آب زیرزمینی که رشد آب زیرزمینی در حوضه فرعی کابل بالایی/پغمان را در چندین حالت ترکیب قیمت (kh) و(Sy) ، محقق می سازد: (a) دریای میدان (kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵) (b) دریای میدان (kh = ۶۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (c) دریای میدان (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵)، و (d) دریای پغمان (kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (e) دریای پغمان (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (f) دریای پغمان (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵) و (g) دریای قرغه

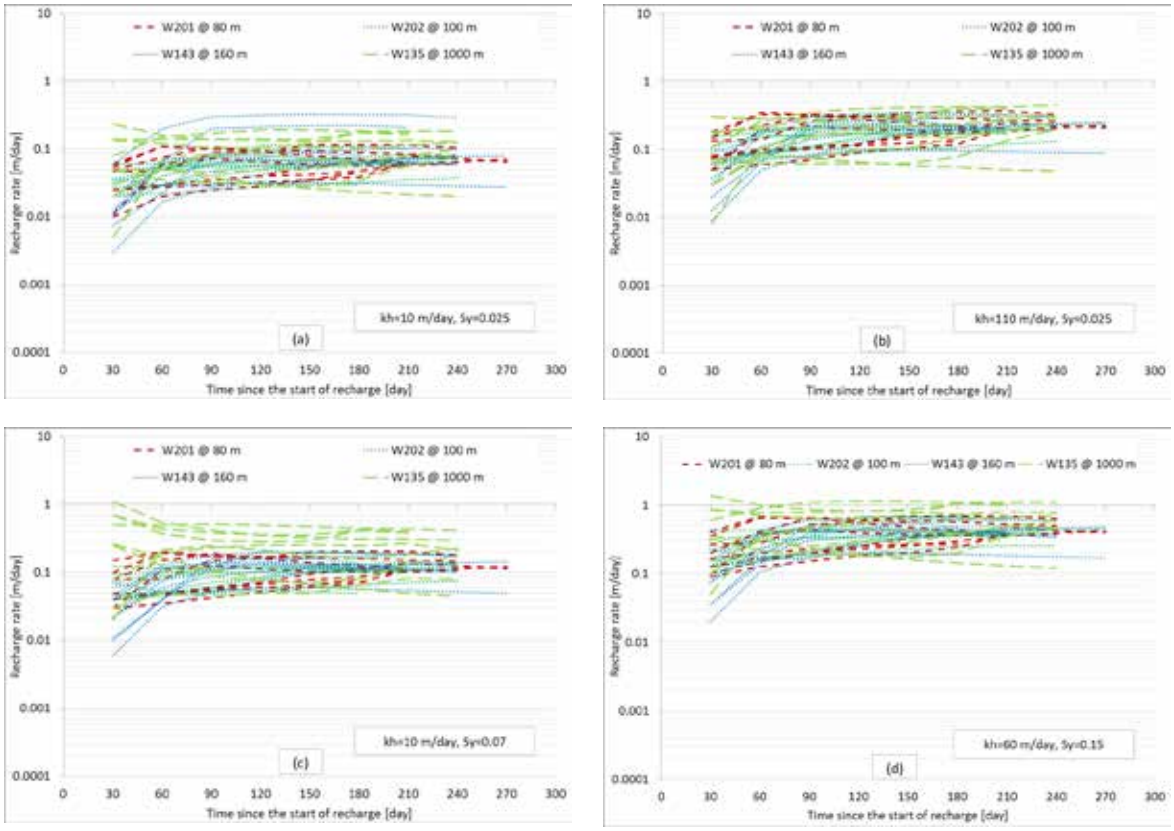
در حوضه‌های فرعی کابل بالایی/پغمان، تغییرات میزان تغذیه آب در دریای‌های پغمان و قرغه بالاتر از دریای میدان بوده است. این رفتار متمایز عمدتاً نتیجه MFR است که به طور قابل توجهی به چارج مجموعی آب‌های زیرزمینی کمک می‌کند که از ذخایر برف زمستانی کوه‌های صافی نشات می گیرد، در حالی که در دریای میدان، آبگیر (catchment) آن به سختی در زمستان برف دریافت می‌کند، و دلیل اصلی آن ارتفاعات بسیار پایین آن است. بنابراین، لازم است رویکرد جامع تری برای تهیه مدل آب‌های زیرزمینی به کار گرفته شود تا سهم MFR در حوضه‌های فرعی کابل بالایی/پغمان را به صورت جداگانه تعیین کند.

٤. ۳. ۳. حوضه فرعی لوگر

در حوضه فرعی لوگر، نرخ چارج آب‌های زیرزمینی بر اساس رشد سطح آب زیرزمینی در چاه‌های نزدیک به دریای لوگر برآورد می شود. تغییرات نرخ تغذیه آب برای قیمت‌های (kh = ۱۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۲۵)، (kh = ۱۱۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۲۵)، (kh = ۱۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۷)، و (kh = ۶۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۱۵) به ترتیب در شکل های ٦.۴ (c) ،(b) ،(a) و (d) نشان داده شده است. همانطور که در بالا اشاره شد، نرخ‌های تغذیه آب با یک مرتبه بزرگی (order of magnitude) بین ۰,۰۱ تا ۰,۲ متر در روز، ۰,۰۴ تا ۰,۴ متر در روز، ۰,۰۴ تا ۰,۵ متر در روز و ۰,۱ تا ۱ متر در روز به ترتیب برای چهار مجموعه قیمت (kh) و (Sy) تغییر پیدا می‌کند. به صورت متوسط، نرخ تغذیه آب برای قیمت های (kh = ۱۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۲۵)، (kh = ۱۱۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۲۵)، (kh = ۱۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۷) و (kh = ٦۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۱۵) به ترتیب عبارتند از ۰,۰۷۵ متر در روز، ۰,۱۸ متر در روز، ۰,۱۵ متر در روز و ۰,۴۱ متر در روز. تغییرات نرخ تغذیه آب برای دریای لوگر در حوضه فرعی لوگر کمترین تغییرات را در بین همه حوضه‌های فرعی نشان می دهد. نتایج به دست آمده برای بزرگ ترین قیمت (kh = ٦۰ متر در روز و ۱۱۰ متر در روز) نشان دهنده کمترین تغییرات در تغذیه آب هم در چاه‌های نزدیک به دریای لوگر و هم چاه‌های دور از دریا است و در سال های آبی مختلف (۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳) چنین بوده است.

حوضه فرعی لوگر نشان می دهد که قیمت های بالاتر (kh) و (Sy) بین رشد اندازه‌گیری شده آب زیرزمینی و رشد محاسبه شده آب زیرزمینی سازگاری مناسب ایجاد می‌کند. تنها نرخی که در آن تغییرات در چارج آب افزایش می یابد (kh = ۱۰ متر در روز و Sy = ۰.۰۷) است، که نشان می دهد قیمت پایین تر Kh و قیمت بزرگتر Sy خاصیت سفره آب در حوضه فرعی لوگر را بازتاب نمی دهد. علی رغم اختلاف روش هایی که برای تعیین نرخ چارج مورد استفاده قرار می گیرد، نتایج نرخ تغذیه برای (kh = ٦۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۱۵) به خوبی با مشاهدات Proctor & Redfern Int. Ltd.[۴۹] تطابق دارد.

۴۹ Proctor & Redfern Int. Ltd، « آبرسانی، فاضلاب «.



شکل ٦.۴: تغییرات نرخ تغذیه آب زیرزمینی که رشد آب زیرزمینی در حوضه فرعی لوگر را در سه حالت ترکیب قیمت (kh) و(Sy) ، محقق می سازد: (kh (a = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۲۵) (kh) (b = ۱۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۲۵)، (kh) (c = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۷)، و (kh) (d = ٦۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵)

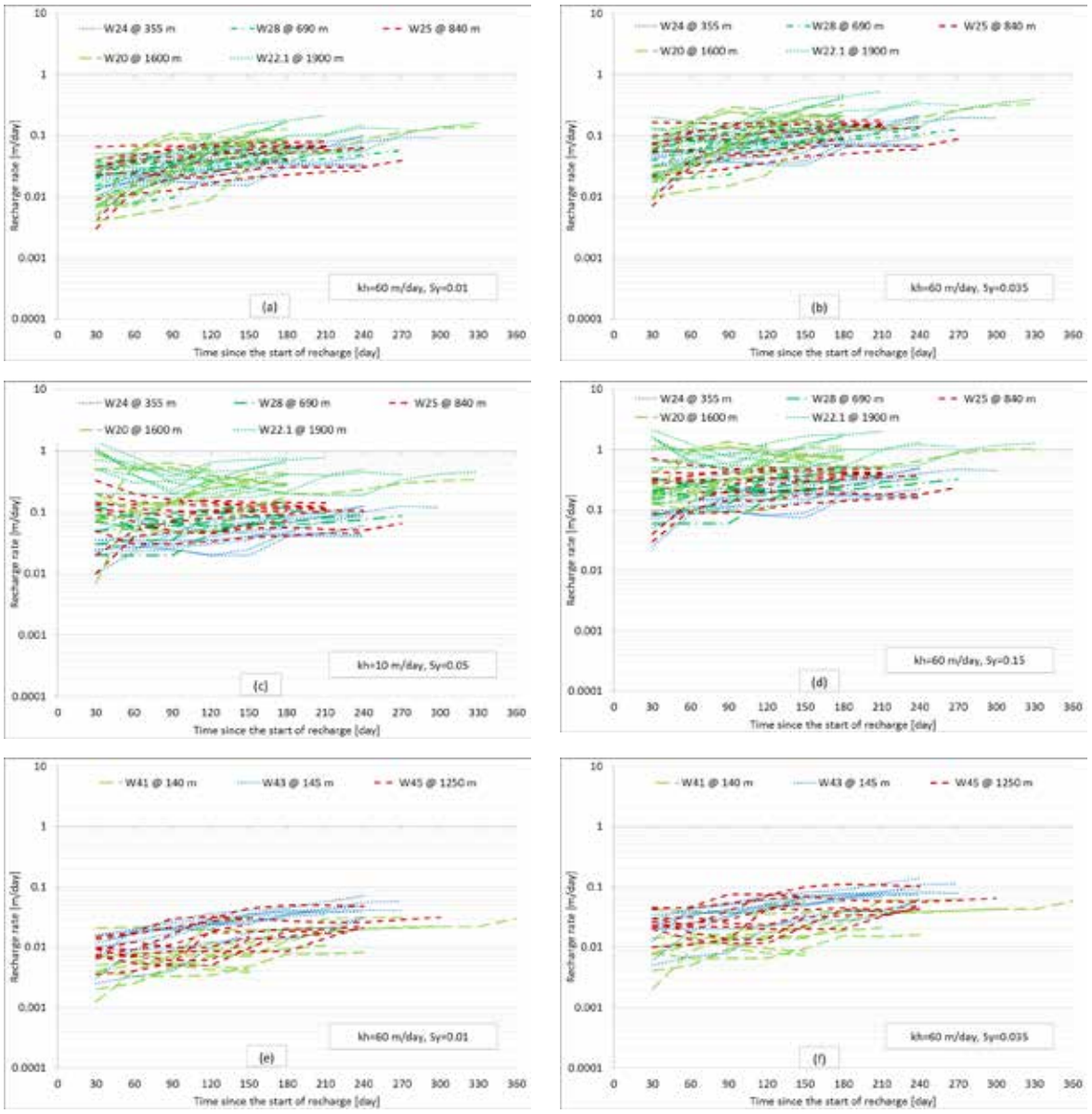
٤. ۳. ٤. حوضه فرعی شمالی

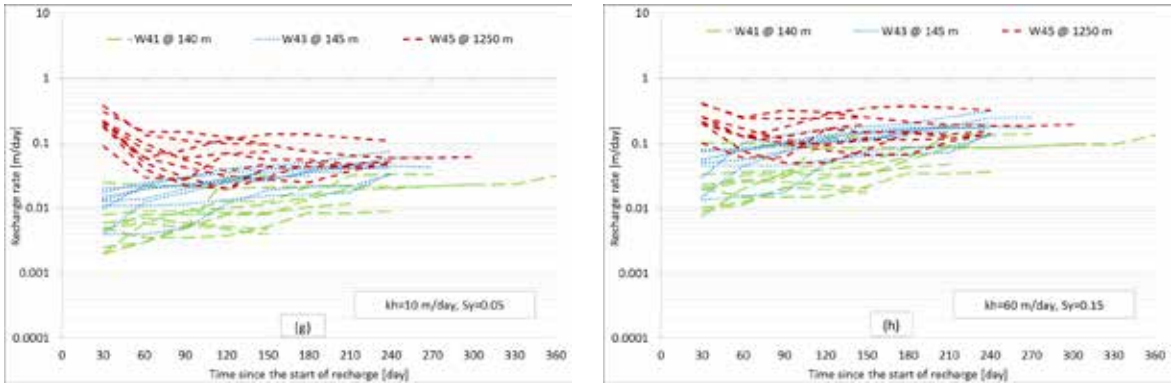
در حوضه فرعی شمالی، نرخ چارج آب‌های زیرزمینی بر اساس رشد سطح آب زیرزمینی در چاه‌های نزدیک به دریای شکردره و استالف برآورد می شود. تغییرات نرخ تغذیه آب برای قیمت‌های (kh = ٦۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۱)، (kh = ٦۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۳۵)، (kh = ۱۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۵)، و (kh = ٦۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۱۵) به ترتیب در شکل های ۷.۴ (a، b، c و d) و (e، f، g و h) نشان داده شده است. همانطور که نشان داده شد، تغییرات نرخ تغذیه از کمتر از دو مرتبه بزرگی (orders of magnitude) برای قیمت (kh = ۱۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۵) به کمتر از یک مرتبه بزرگی برای قیمت های (kh = ٦۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۳۵) و (kh = ٦۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۱) در دریاهای شکردره و استالف کاهش می یابد. از آنجایی که هم قیمت بزرگتر (kh) و هم قیمت پایین تر (Sy) باعث پخش سریعتر آب سطحی نفوذی در آب‌های زیرزمینی می شود، نتایج قیمت بزرگتر (kh = ٦۰ متر در روز) و قیمت پایین تر (Sy = ۰.۰۳۵ و ۰.۰۱) تغییرات کمتری را در چارج چاه‌هایی نشان می دهد که در فواصل مختلف از دریاها قرار دارد. روند فزاینده قیمت پایین تر Sy و قیمت بالاتر Kh در آغاز دوره تغذیه واقع بینانه تر است، زیرا نرخ تغذیه از تخلیه جریان در دریا پیروی می‌کند که به تدریج افزایش می یابد. نتایج به دست آمده برای قیمت Sy بالاتر از ۰.۱۵ و قیمتKh ٦۰ متر در روز، با توجه به قیمت بالاتر Sy، نشان می دهد که نرخ چارج اولیه بسیار بزرگ تر است.

متوسط نرخ چارج دریای شکردره برای قیمت های آتی را می توان در محدوده ۰,۰۴۸، ۰,۱۲، ۰,۱۸ و ۰,۴۴ متر در روز تخمین زد، در حالی که نرخ چارج دریای استالف پایین تر و در محدوده ۰,۰۲، ۰,۰۳۸، ۰,۰۴۳ و ۰,۱۲ متر در روز تخمین می شود: (kh = ٦۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۱)، (kh = ٦۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۳۵)، (kh = ۱۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۰۵)، و (kh = ٦۰ متر در روز؛ Sy = ۰.۱۵).

دریای‌های شکردره و استالف نیز مشابه دریای پغمان، در دره های باریکی جریان دارند. در حالی که هر دو دریا در دامنه پایین دست خشک می شوند، دامنه های بالادست آن در طول سال جریان دارد، که تضمین کننده MFR است. بنابراین، در برخی از سال های پر

آب، تغذیه آب‌های زیرزمینی از دامنه‌های بالادست پس از دوره های خشک تابستانی حدود ۳۰۰ روز نیز ادامه می یابد. مناطق بالادست در نزدیکی گلوگاه دره ممکن است بسیار بیشتر از مناطقی که در پایین دست قرار دارند تحت تأثیر چارچ تابستان باشد زیرا، در مناطق پایین دست، آب نفوذی در ساحه بزرگتری پخش می شود و در نتیجه باعث رشد کمتر آب زیرزمینی می شود. همین مساله ممکن است توضیح دهد که چرا چارچ بزرگتر باید از دریای شکردره بیاید، در مقایسه با دریای استالف، زیرا رشد سطح آب زیرزمینی شکردره از چاه‌های واقع در منطقه بالادست است.

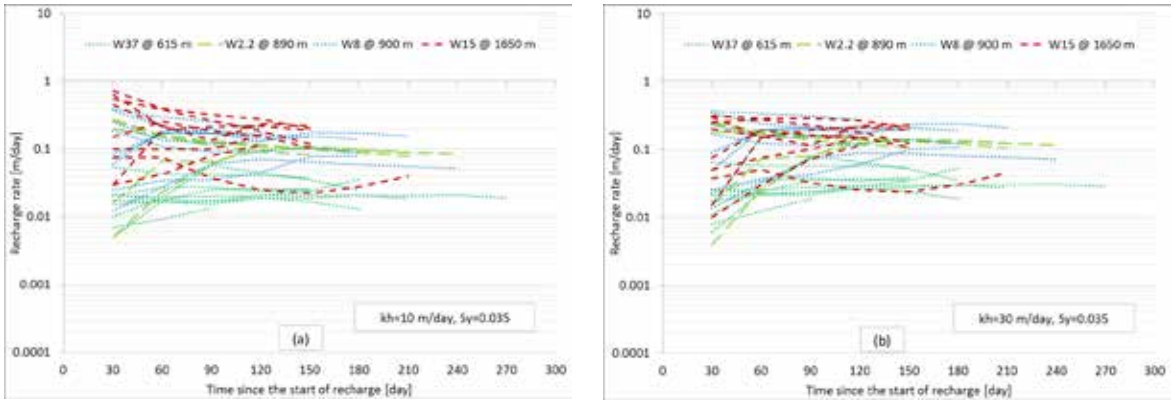


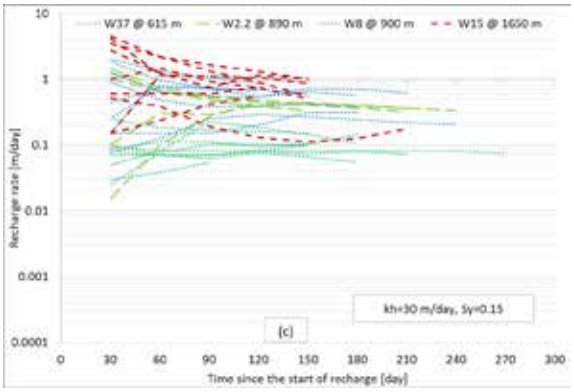


شکل ۷.۴: تغییرات نرخ تغذیه آب زیرزمینی که رشد آب زیرزمینی در حوضه فرعی شمالی را در چهار حالت ترکیب قیمت (kh) و(Sy) ، محقق می سازد: (a) شکردره (kh = ٦ متر در روز، Sy = ۰.۰۱) (b) شکردره (kh = ٦۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (c) شکردره (kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۵)، (kh) (d = ٦۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵) (kh) (e = ٦۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۱) (kh) (f = ٦۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵) (kh) (g = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۵) (kh) (h = ٦۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵)

٤. ۳. ۵. حوضه فرعی ده‌سبز

در حوضه فرعی ده‌سبز، نرخ چارج آب‌های زیرزمینی بر اساس رشد سطح آب زیرزمینی در چاه‌های نزدیک به دریاهای متناوب و کانال های آبیاری واقع در این حوضه فرعی برآورد می شود. نرخ چارج برای قیمت های (kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵) برآورد شده است، همانطور که به ترتیب در شکل ۴,۸ (b) (a) و (c) نشان داده شده است. نرخ چارج بر اساس دو مرتبه بزرگی (orders of magnitude) برای (kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵) و (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵)، به ترتیب بین ۰,۰۰۸ تا ۰,۸ متر در روز، ۰,۰۰۸ تا ۰,۳ متر در روز و ۰,۰۴ تا ۱,۴ متر در روز در حال تغییر است. به طور متوسط، می توان نرخ چارج حدوداً ۰,۱۲ متر در روز و ۰,۵۷ متر در روز را برای سه مجموعه قیمت Sy و Kh برای حوضه فرعی ده‌سبز برآورد کرد. در حوضه فرعی ده‌سبز، مدت زمان چارج می‌تواند به اندازه ۱۵۰ روز کوتاه باشد، زیرا دریاها در اثر بارندگی مستقیم جریان می یابد؛ بنابراین، رژیم جریان در دریاها بیشتر فصلی است و فاقد آب برف است، زیرا حتی مناطق مرتفع آن فاقد پوشش برف طولانی مدت است. دوره های چارج طولانی تر در بعضی از مناطق ممکن است به شدت به آبیاری زمین وابسته باشد که می‌تواند به تغذیه آب‌های زیرزمینی کمک کند. آب آبیاری تا حدودی از طریق کانال های آبیاری از دریاهای کابل و لوگر تأمین می شود.





شکل ۸.۴: تغییرات نرخ تغذیه آب زیرزمینی که رشد آب زیرزمینی در حوضه فرعی دەسبز را در دو حالت ترکیب قیمت (kh) و(Sy) ، محقق می سازد: (kh (a = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵) (kh) (b = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵)، (kh) (c = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵)

تخمین نرخ تغذیه آب صرفاً بر اساس رشد سطح آب زیرزمینی استوار است، با این فرض اساسی که افزایش آب زیرزمینی عمدتا توسط نفوذ آب‌های سطحی دریاها صورت می گیرد. این فرض ممکن است سبب تخمین بیش از حد نرخ تغذیه برای آن عده از حوضه های فرعی شود که زمین های زراعتی وسیع تری دارد، زیرا نفوذ آب از زمین های آبیاری ممکن است به طور قابل توجهی به بازتولید آب‌های زیرزمینی کمک کند. با این حال، آبیاری در ماه های تابستان آغاز می شود، که در طی آن میزان تبخیر و تعرق در مقایسه با بقیه ماه های سال در بالاترین حد قرار دارد؛ بنابراین، ممکن است آب نفوذی قبل از رسیدن به آبها، تبخیر شود. تلفات آب از طریق کانال های آبیاری و همچنان از مزارع محصولات خاص مانند برنج که ماندگاری آب در آن بیشتر است، حتی در تابستان، به تغذیه آب‌های زیرزمینی کمک می‌کند.

دوم، MFR نیز در تغذیه آب‌های زیرزمینی به ویژه در حوضه‌های فرعری شمالی و کابل بالا/پغمان و حوضه فرعی کوه‌های پر برف صافی و منطقه دەسبز، سهم دارد. کوه ها در مقایسه با کف حوضه دریایی بارش بیشتری دریافت می‌کنند؛ به ویژه، به دلیل خنک تر بودن هوا در ارتفاعات، بارش کوهستانی (orographic) در آن رخ می دهد. آب حاصل از باران و ذوب شدن برف از طریق ترک‌های موجود در قطعات صخره‌ها به سمت سفره آب کف حوضه دریایی راه باز می‌کند. بنابراین، در نظر نگرفتن MFR در رشد آب‌های زیرزمینی می‌تواند سبب شود نرخ چارج از طریق دریاها بیش از حد تخمین شود.

سوم، بارش مستقیم بر سطح زمین نیز ممکن است به تغذیه آب‌های زیرزمینی، به ویژه در حوضه‌های فرعی شمالی، لوگر، دەسبز و کابل بالایی/پغمان، که در آن هنوز سطوح وسیع قابل نفوذ وجود دارد، نقش داشته باشد. بارندگی از ماه نوامبر تا اپریل می‌تواند در تغذیه آب‌های زیرزمینی نقش داشته باشد، زیرا در این دوره، میزان تبخیر و تعرق در منطقه کابل در پایین ترین حد قرار دارد. خوشبختانه، بخش اعظم بارندگی‌های سال آبی نیز در ماه های زمستان و اوایل بهار رخ می دهد که بسته به شدت و مدت آنها، ممکن است به افزایش سطح آب زیرزمینی کمک کند.

میزان حجمی تغذیه آب‌های زیرزمینی بر حسب متر مکعب در ثانیه، از طریق ضرب نرخ متوسط چارج با ابعاد متوسط دریا (عرض دریا x طول دریا در حوضه فرعی) محاسبه می شود، همانطور که در جدول ۳,۲ برای تمام دریاهای تحت بررسی، ذکر شده است. حد اوسط میزان حجمی تغذیه آب‌های زیرزمینی از طریق دریاها و نهرهای تحت بررسی با نتایج تحقیق Proctor & Redfern Int. Ltd[۵۰] در جدول ۳.۴ مقایسه شده است.

۵۰ Proctor & Redfern Int. Ltd، « آبرسانی، فاضلاب «.

جدول ۴,۳: مقایسه میزان تغذیه آب زیرزمینی با تحقیق Proctor & Redfern Int. Ltd (۱۹۷۲) و بوخ (۱۹۷۱)، به گزارش (Tünnermeier و دیگران، ۲۰۰۵).

حوضه فرعی	دریاها	این تحقیق [متر مکعب بر ثانیه]				Proctor & Redfern (۱۹۷۲) Int. Ltd [متر مکعب بر ثانیه]
		Kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵	Kh = ۶۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵	Kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۷	Kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵	
کابل مرکزی	دریای کابل	۰,۵۹	۰,۷۲	۱,۸۰	۲,۹۴	۰,۸۲
کابل بالایی / پغمان	دریای میدان	Kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵	Kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵		Kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵	
		۰,۵۷	۰.۰۳۵		۱,۸	
	دریای پغمان	۰,۲۷	۰,۳۴		۱,۱۲	۰,۴۸
لوگر		Kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۲۵	Kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۷	Kh = ۱۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۲۵	Kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵	
	دریای لوگر	۰,۳۵	۰,۶۷	۰,۸۵	۱,۹۰	۲,۱۶
ده‌سبز		Kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵	Kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵		Kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵	
	دریای لوگر	۰,۵۰	۰,۵۰		۲,۴۷	
شمالی		Kh = ۶۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۱	Kh = ۶۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵	Kh = ۱۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۵	Kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵	
	دریای شکردره	۰,۶۶	۱,۶۰	۲,۵۶	۶,۱	
	دریای استالف	۰,۱۰	۰,۲۱	۰,۲۳	۰,۶۲	

قیمت‌های موجود در جدول ۴,۳ تخمین تقریبی از میزان حجمی چارج دریاهای تحت بررسی در هر پنج حوضه فرعی منطقه کابل را نشان می دهد. عدم قطعیت در برآورد عرض و طول دریا می‌تواند بر نتایج تأثیر بگذارد. عرض دریا، که به طور فعال امکان چارج آب‌های زیرزمینی را فراهم می‌کند، ممکن است از یک مکان تا مکان دیگر در امتداد دریا و همچنان با تغییر تخلیه جریان تغییر کند، به این معنا که با افزایش جریان دریا، عرض دریا افزایش می یابد. به همین صورت، تخمین طول دریا با عدم قطعیت روبرو است، که به طور فعال در چارج آب‌های زیرزمینی در حوضه فرعی نقش دارد. بعضی از مسیرهای دریا به شدت پر پیچ و خم است (به عنوان مثال، دریای لوگر و پایین دست دریای کابل)، که طبیعتا باعث همپوشانی رشد سطح آب زیرزمینی می شود. در این تحقیق، مسیر دریاها از جمله پرپیچ و خمی آن به عنوان طول دریا فعال در نظر گرفته شده است که در تغذیه آب‌های زیرزمینی نقش دارد. عامل مهم دیگر در برآورد حجمِ کل چارج آب‌های زیرزمینی مدت زمان است. بنابراین، به طور مثال، به رغم نرخ چارج نسبتاً خوب در حوضه فرعی ده‌سبز، دوره نسبتاً کوتاه آن منجر به کاهش حجم کل آب‌های زیرزمینی می شود.

با این وجود، مقایسه‌ی انجام شده نرخ متوسط تغذیه آب در حوضه‌های فرعی کابل مرکزی و کابل بالایی/پغمان را بر اساس (kh = ۶۰ متر در روز، Sy = ۰.۰۳۵) با قیمت گزارش شده توسط Proctor & Redfern Int[۵۱] نشان می دهد. با این حال، در حوضه فرعی لوگر، سازگاری خوبی با (kh = ۳۰ متر در روز، Sy = ۰.۱۵) به دست آمده است. به طور خلاصه، نرخ چارج به دست آمده از تنظیم معادله هانتوش با رشد آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده در چاه‌های مجاور، به قیمت‌های (kh) و (Sy) حساس است. برای بهبود دقت قیمت‌های (kh) و (Sy) لازم است یک آزمایش جامع پمپاژ انجام شود. آزمایش های پمپاژ در گذشته در منطقه کابل با استفاده از چاه‌های منفرد و بدون چاه تحت مشاهده انجام شده است، که تخمین درست قیمت (Sy) را دشوار می سازد. بنابراین، به شدت توصیه می شود آزمایش های پمپاژ در آینده در چندین چاه تحت مشاهده انجام شود تا به اصطلاح کاهش مخروطی (cone of depression) آب‌های زیرزمینی به درستی تشخیص شود، که به نوبه خود امکان تخمین درست قیمت‌های (Sy) را فراهم می‌کند.

۵۱ Proctor & Redfern Int. Ltd، « آبرسانی، فاضلاب ».

۵. نتیجه‌گیری و سفارشات پالیسی

۵. ۱. نتیجه‌گیری

همانطور که نتایج مطالعه نشان می دهد، پایداری آب‌های زیرزمینی در حوضه‌های دریایی منطقه کابل با چالش های بسیاری روبرو است، اما فرصت‌هایی نیز وجود دارد. اگر حوضه فرعی کابل مرکزی به عنوان بخشی جدایی ناپذیر از چهار حوضه فرعی همجوار آن در نظر گرفته شود، روشن می شود که مناطق دارای آب‌های زیرزمینی از بزرگ‌ترین مناطق استخراج آب دور نیست. تأمین آب از راه دور از حوضه‌های همجوار پنجشیر، شمالی و لوگر می‌تواند خلا بین موجودیت آب زیرزمینی و استفاده از آن را رفع کند و بنابراین، می‌تواند فشار بر آب‌های زیرزمینی را در حوضه فرعی کابل مرکزی به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهد.

بیلانس آب در مقیاس حوضه آبی (Basin-Scale Water Budget Balance) آشکار ساخت که مازاد و کسری آب، بسته به میزان بارش و تبخیر و تعرق، از یک سال آبی به سال دیگر بسیار متفاوت است. تغییر میزان بارندگی عامل اصلی بیلانس آب است، در حالی که نرخ ETa تغییر زیادی نمی‌کند. در سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ در حوضه‌های فرعی کابل مرکزی، کابل بالایی/پغمان و لوگر مازاد آب مشاهده شده است. در حالی‌که سال‌های دارای مازاد آب به تغذیه آب‌های زیرزمینی بیشتر کمک می‌کند، سال‌های خشک ممکن است سطح آب‌های زیرزمینی را بیشتر کاهش دهد، زیرا در سال‌های خشک، استخراج آب‌های زیرزمینی نمی‌تواند با نرخ محدود تغذیه جبران شود.

اوضاع در حوضه فرعی پنجشیر (ولایت‌های پروان و کاپیسا) با داشتن مازاد آب در طول سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۸ امیدوارکننده تر است. بیلانس آب حوضه فرعی پنجشیر نشان داد که آبگیری (exfiltration) آب زیرزمینی در زمان اوج جریان دقیقا در پایین‌دست حوضه فرعی در منطقه گلوگاه شوخی رخ می دهد. حجم آبریز خروجی دریای پنجشیر در ایستگاه شوخی نسبت به کل آبریزهای ورودی دریاهای پنجشیر، سالنگ، غوربند و شوتول که به ترتیب در ایستگاه های بالادست تنگی گلبهار ، پل اشاوه، باغ لالا [لاله؟] و باغ عمومی اندازه‌گیری شده است، بسیار بزرگ‌تر است. آبگیری (exfiltration) آب زیرزمینی نیز با مشاهدات سطح آب زیرزمینی در عمق به اندازه ۲,۵ متر در منطقه شوخی تقویت می شود. با این وجود، یک تحقیق جامع لازم است تا بررسی کند که آیا آبریز خروجی بزرگتر که در ایستگاه اندازه‌گیری شوخی ثبت شده است به دلیل exfiltration است یا یک خطای سیستماتیک در روش اندازه‌گیری، باعث ایجاد این ناهنجاری می شود. با وجود عدم قطعیت طبیعی در میزان بارندگی و تبخیر و تعرق تحلیل توازن آب اطلاعاتی را در مورد مازاد و کسری آب که بر بازتولید آب‌های زیرزمینی تاثیرگذار است، به دست داد.

RLWB از طریق اندازه‌گیری تخلیه جریان در دو یا بیشتر از دو دریا، نهر و کانال آبیاری در دریاهای میدان و پغمان واقع در حوضه فرعی کابل بالایی/پغمان، دریاهای لوگر در حوضه فرعی لوگر، دریاهای شکردره و استالف در حوضه فرعی شمالی و کانال آبیاری خواجه در حوضه فرعی پنجشیر انجام می شود. اندازه‌گیری ساحوی در ماه های جولای و آگست انجام می شود. در این دوره، دریاها و نهرها در منطقه کابل خشک می شوند زیرا تقاضا برای آب زراعتی در بالاترین حد قرار می گیرد و بیشتر آب برای آبیاری منحرف می شود؛ علاوه بر این، میزان تبخیر و تعرق در اوج است، به این معنی که تلفات انتقال در ماه های تابستان در پایین ترین حد قرار دارد. برای اجرای یک تحقیق جامع درباره تلفات انتقال دریا، RLWB باید در طول ماه‌های مارچ و می انجام شود تا از تأثیر تبخیر و تعرق جلوگیری شود. با این حال، تلفات انتقال به وجود آمده آشکار می سازد که خواص رسوبی بستر رود و سواحل یکی از اصلی ترین پارامترهای کنترل است، یعنی دریاها و نهرها با داشتن رسوبات درشت و سواحل طبیعی متضمن تلفات انتقال بیشتری اند.

تحلیل تپه‌های آب زیرزمینی با استفاده از معادله رشد آب‌های زیرزمینی هانتوش انجام می شود. تغییرات ماهوار سطح آب زیرزمینی که از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ در چاه‌های نزدیک به دریاها و نهرها در هر پنج حوضه فرعی اندازه‌گیری شده است برای تعیین نرخ تغذیه دریاها و نهرها استفاده می شود. تغذیه باعث تقویت رشد آب زیرزمینی مورد مشاهده می شود. نرخ تغذیه تغییراتی تا دو مرتبه بزرگی (two orders of magnitude) را بین مشاهدات انجام شده در چاه‌های مختلف (واقع در فاصله‌های متفاوت از دریا) نشان می دهد. این تغییرات همچنان به دلیل جریان های متنوع دریا، در سال‌های آبی مختلف (۲۰۰۴-۲۰۰۳) مشاهده شده است. تپه آب زیرزمینی به شدت توسط قیمت‌های (Sy) و (Kh) کنترل می شود؛ بنابراین، تحلیل حساسیت هر دو پارامتر نشان می دهد که بهترین سازگاری بین رشد سطح آب زیرزمینی مشاهده شده و محاسبه آن به ترتیب برای قیمت‌های ۰,۰۲۵ تا ۰,۱۵ متر در روز و ۳۰ متر در روز تا ۶۰ متر در روز به دست می آید. نرخ تغذیه آب به لحاظ دوره بستگی به سال آبی دارد، یعنی ممکن است سال‌های پر آب مدت زمان چارج را طولانی سازد. به همین ترتیب، یک سال پر آب رشد آب زیرزمینی را بیشتر تقویت می‌کند، که در افزایش میزان چارج نیز نمایان می شود، بر خلاف سال خشک که نرخ تغذیه در آن پایین تر است. این بدان دلیل است که نه تنها مدت زمان بلکه حجم تخلیه جریان نیز بر میزان چارج تأثیر می گذارد. عامل دوم تغییرات چارج آب، فاصله چاه‌ها از دریاها و نهرها است. چاه‌های نزدیک به منابع آب سطحی بیشترین تأثیرپذیری را دارند، در حالی که چاه‌های دورتر از نفوذ آب دریا کمتر تاثیر می پذیرد. در صورتی که رشد آب‌های زیرزمینی

در چاه‌های دور از دریا و چاه های نزدیک به دریا مشابه باشد، نرخ چارج در معادله هانتوش باید افزایش یابد تا رشد آب زیرزمینی قوی تری در ساحات دورتر از دریا ایجاد شود.

رابطه بین تغذیه، جریان دریا، بارندگی و ETa نشان می دهد که جریان دریا اصلی ترین عامل تخلیه در اکثر حوضه‌های فرعی است، در حالی که نرخ بالاتر ETa پارامتر اصلی موجب توقف تغذیه است. در حوضه‌های فرعی شمالی و کابل بالایی/پغمان، جریان به سمت پایین دره هایی مانند پغمان، شکردره و استالف حتی در ماه های تابستان باعث چارج آب‌های زیرزمینی زیرسطحی می شود، با وجود اینکه دریاها در پایین دست خشک است. رسوبات درشت پنجه‌ای آبرفت، همراه با نفوذپذیری بالاتر و شیب زیاد رسوبات سطح آب زیرزمینی، به آب سطحی در بالاترین دامنه دریاها فرصت می دهد در زیر سطح جریان یابد و به چارج آب‌های زیرزمینی در ماه های تابستان کمک کند. جریان زیرسطحی به نوبه خود باعث کاهش تلفات آب در اثر تبخیر و تعرق در دوره تابستان می شود، وقتی نرخ ETa بالا است. تغذیه آب‌های زیرزمینی در بیشتر حوضه‌های فرعی بین ماه های اکتوبر و می رخ می دهد، ولی بالاترین میزان چارج بین ماه های جنوری و اپریل اتفاق می افتد.

۵. ۲. سفارشات پالیسی برای بازتولید بهتر آب‌های زیرزمینی

دریاها و نهرها در نواحی دریایی منطقه کابل شدیدا فصلی اند و در بقیه سال به صورت جزئی یا کامل خشک می شوند، به جز دریاهای حوضه فرعی پنجشیر که می توان آنها را دریاهای دایم نامید. بنابراین، داشتن شرایط بهینه برای تغذیه آب‌های زیرزمینی در طول دوره جریان آب از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با اتخاذ پالیسی‌های جدید و تطبیق آنها توسط بخش های زیر، می توان شرایط چارج بهینه را به‌دست آورد:

- پلان گذاری شهری/شهرک‌ها (شهرداری کابل)

کابل شهری است در حال رشد سریع که نرخ توسعه مساحت آن بین سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۸، ۱۳,۷ درصد بوده است[۵۲]. گسترش مناطق شهری مستقیماً بر تغذیه آب‌های زیرزمینی تأثیر می گذارد، زیرا مناطق در معرض نفوذ آب به طور دایم به مناطق مسکونی تبدیل می شوند. گسترش ساحه شهری با افزایش آسفالت جاده ها، کوچه ها و پیاده‌روها همراه است. مهمتر از همه، شهرنشینی از فرسایش سواحل دریا ها، سواحل نهرها و کانال‌های زهکشی محافظت می‌کند، مجاری که تا قبل از آن به عنوان حوضه‌های نفوذ طبیعی عمل می‌کنند. شبکه‌ی زهکشی شدیداً محافظت شده شهری، رواناب جمع آوری شده سطح زمین را خیلی سریع‌تر به دریای کابل منتقل می‌کنند، که پس از اقامت کوتاه در آن، حوضه دریایی را ترک می‌کند؛ به همین صورت، در مناطقی که شبکه زهکشی دارای اتصال ضعیف باشند، آب انباشته شده روی سطح به آسانی تبخیر می شود بدون اینکه به بازتولید آب‌های زیرزمینی کمک کند. بارش مستقیم بر سطح زمین ممکن است نقش ضعیفی در بازتولید آب‌های زیرزمینی داشته باشد، اما زهکشی‌هایی که آب را از آبگیرهای مناطق شهری جمع آوری می‌کند، می‌تواند کمک کند.

مناطق آسفالت شده یا نفوذ آب را کاملاً از بین می برد یا میزان نفوذ را به شدت کاهش می دهد. نتیجه آب‌بندی کامل سطوح از طریق آسفالت همین اکنون هم به شکل جاری شدن سیل حتی در جریان یک بارش بسیار معتدل چند ساعته زندگی باشندگان کابل را تحت تأثیر قرار می دهد. علاوه بر این، تجمع آب روی سطح، جان و ملکیت افراد را به خطر می اندازد و بازتولید آب‌های زیرزمینی را محدود می‌کند.

یکی از راهکارهای مقابله با این نوع سیل ناشی از عوامل بشری این است که روسازی (pavement) جاده‌ها و طراحی سیستم زهکشی به شیوه ای انجام شود که اجازه می دهد نفوذ آب باران از طریق روکش متخلخل یا شکاف بین بلوک های غیرقابل نفوذ انجام شود. روکش‌های قابل نفوذ می‌تواند برای همه جاده‌ها و پیاده‌روهای کم تردد استفاده شود. در سطح خانوارها، خانواده‌ها باید از مزایای روکش‌های قابل نفوذ به لحاظ پتانشیل تغذیه آب‌های زیرزمینی و تأثیرات آن در جلوگیری از جاری شدن سیل آب باران، آگاه شوند. روسازی و زهکشی قابل نفوذ باید برای همه پروژه های آینده گسترش شهر کابل، و همچنان در مکان های فعلی که نیاز به تعویض یا ترمیم دارند، اعمال شود.

۵۲ احمدی و کجیتا، „ارزیابی توسعه اراضی شهری"

- تعدیل کارهای هدایت دریا

کارهای هدایت دریا (river training works) از جمله حفاظت از سواحل دریا تا کنون عمدتاً با تمرکز یک‌سویه بر جنبه های حفاظتی کار انجام شده است، در حالی که جنبه‌های زیست‌بومی (ecological) آن و تعامل سطح آب سطحی-زیرزمینی تا حد زیادی نادیده گرفته شده است. در منطقه کابل، سواحل دریا عمدتا به هدف جلوگیری از فرسایش سواحل و اطمینان از حفاظت در برابر سیل، به‌طور فزاینده‌ای توسط دیوارهای سنگی محافظت می شود. این حفاظها اغلب از طریق ساختن دیوارهای استحکامی سنگی انجام می شود، روشی که در آن شکاف بین سنگ‌ها با ملات سمینتی پر می شود، که در نتیجه مانع کامل ارتباط ساحل دریا با گیاهان و جانوران و آب‌های سطحی با آب‌های زیرزمینی می شود. دریای کابل، دریای میدان، بخش هایی از دریاهای پغمان و استالف نمونه های خوبی از این نوع محافظت از سواحل اند. در حالی که تغذیه آب‌های زیرزمینی در نتیجه بارندگی مستقیم بر سطح زمین سهم ناچیزی در احیای آب‌های زیرزمینی دارد، دریاها و نهرها بخش عمده ای از چارج آب‌های زیرزمینی را به عهده دارند. در سراسر جهان، روند جدیدی از طبیعی‌سازی مجدد دریاها و نهرها دیده می شود. در این روند، با از بین بردن موانع (به عنوان مثال، آب‌بندهای کوچک (weirs)، دیوارهای محافظتی و غیره) رابطه بین بدنه آب و محیط اطراف آن دوباره برقرار می شود، نه تنها برای بهبود تغذیه آب‌های زیرزمینی، بلکه برای دستیابی به وضعیت زیست محیطی خوب و بهبود کیفیت آب.

در افغانستان، کار هدایت دریاها (RTWs) توسط چندین اداره مانند وزارت شهرسازی و اراضی، وزارت احیا و انکشاف دهات، وزارت انرژی و آب، وزارت زراعت، آبیاری و مالداری و شهرداری‌ها انجام می شود؛ بنابراین، لازم است، در سطح دولت، سیاست جدیدی در رابطه با هدایت دریاها روی دست گرفته شود تا روش‌های سازگار با محیط زیست را جایگزین شیوه های قدیمی‌کند. به طور خاص، برای دستیابی به ساحه بیشتر تغذیه برای نفوذ آب‌های سطحی، بسترهای دریا به جای دیوارهای سنگی باید با تدابیر نفوذپذیر (به عنوان مثال، با پوشش سنگی (rip-raps)، پوشش گیاهی) محافظت شوند تا امکان تصفیه آب دریا و مسکن برای تنوع زیستی فراهم شود. به عنوان مثال، اگر حفاظ سنگی دریای کابل با یک حفاظ قابل نفوذ جایگزین شود، تغذیه آب‌های زیرزمینی ۱۰٪ تا ۱۵٪ افزایش می یابد.

- تغذیه مصنوعی

در حالی که شهرنشینی در کابل باعث کاهش سطح قابل نفوذ برای بازتولید آب‌های زیرزمینی شده است که به طور کامل قابل برگشت نیست، اقداماتی وجود دارد که می‌تواند تا حدودی چارج آب‌های زیرزمینی را جبران کند. سه روش متداول به عنوان تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی وجود دارد. روش نخست به عنوان چارج مستقیم سطح شناخته می شود که با عبور آب از محیط متخلخل (خاک)، امکان نفوذ آب به آب‌های زیرزمینی را فراهم می‌کند. از آنجایی که نفوذ از طریق سطح زمین رخ می دهد، این روش نیازمند سطوح زمین است که بتواند به عنوان حوضه‌های نفوذ آب استفاده شود. پیش نیاز ایجاد حوضه‌های نفوذ آب این است که اطمینان حاصل شود که منطقه نفوذ پذیر است (خاک قابل نفوذ است)؛ در غیر این صورت، آبگیر ممکن است به دلیل تبخیر، باعث از بین رفتن بیشتر آب شود.

حوضه‌های آبی غالباً در داخل سیستم دریا ایجاد می شوند، یعنی دشت‌های سیلابی سیستم دریا به عنوان حوضه طبیعی نگهدارنده آب عمل می‌کنند. این حوضه‌ها، از یک طرف، با پخش آب سیلاب در یک منطقه بزرگ، اوج‌گیری سیل را کاهش می دهد و از طرف دیگر فرصت تغذیه آب‌های زیرزمینی را فراهم می‌کند. در حوضه فرعی کابل مرکزی، دشت‌های سیلابی دریا کاملا به مناطق شهری تبدیل شده اند (اغلب با اسکان غیرقانونی)؛ بنابراین، ایجاد دوباره حوضه‌های نگهداری سیلاب دریا هر روز چالش برانگیزتر می شود. بنابراین، پیش شرط این کار، احیای دشت‌های سیلابی طبیعی دریاهااست. اما حوضه‌های فرعی کابل بالایی/پغمان، شمالی، لوگر و دەسبز دارای ساحات بزرگی از زمین برای چارج مستقیم آب زیرزمینی است. در حوضه فرعی شمالی، مردم به طور سنتی آب را از دریاها و نهرها به سمت برکه‌ها منحرف می‌کنند تا ابتدا مرغابی‌های وحشی و سایر پرندگان مهاجر را به آن منطقه جلب کنند و در نهایت آنها را شکار کنند. این برکه‌ها ممکن است برای مقاصد دیگر ایجاد شده باشد، اما زمینه نفوذ مقدار قابل توجه آب به زیرزمین و تغذیه آب زیرزمینی را فراهم می‌کند.

روش دوم برای چارج مستقیم آب‌های زیرزمینی، تزریق آب سطحی به سفره های آب است که به نام چارج مستقیم زیرسطحی یاد می شود. این روش می‌تواند به ویژه در حوضه دریایی کابل مرکزی تطبیق شود، جایی که زمین مساعد برای چارج سطحی محدود است. از آنجایی که در این روش ارتباط مستقیمی بین آب‌های سطحی و سفره آب برقرار می شود، خطر آلوده سازی آب‌های زیرزمینی توسط آب‌های سطحی، بالا است. علاوه بر این، اجرای چارج مستقیم زیرسطحی مستلزم هزینه های بالاتر است، زیرا در این روش، لازم است چاه‌های چارج اعمار شود. چارج مستقیم زیرسطحی را می توان در مقیاس‌های مختلف تطبیق کرد.

در مقیاس‌های کوچکتر، مانند ساختمان های دولتی و خصوصی، گردآوری آب باران و ذخیره سازی برف در چاه‌های کم عمق می‌تواند به مثابه بازتولید مصنوعی آب زیرزمینی عمل کند و همچنان به کاهش تجمع آب در سطح زمین کمک کند. یکی از مزایای چارج مستقیم زیرسطحی آب‌های زیرزمینی، به حداقل رساندن ضیاع آب در اثر تبخیر است، زیرا آب در چاه‌هایی ذخیره می شود که نسبت مساحت (area ratio) عمق به سطح (depth-to-surface) آن بزرگ است. چاه‌های کم عمق با حفر دستی به صورت سنتی در حیاط ساختمانهای خصوصی و برخی از ساختمانهای دولتی در کابل وجود دارد که برای برداشت آب زیرزمینی برای آشامیدن و آبیاری استفاده می شد. این چاه‌ها اکنون عمدتاً خشک شده اند، اما همین ساختار می‌تواند به راحتی برای ذخیره‌سازی آب باران/برف تعدیل شود. برای این کار، می توان آگاهی عمومی و پالیسی های حمایتی مانند کاهش هزینه آبرسانی برای آن دسته از خانواده هایی که در حیاط خود چاهی را برای تغذیه ایجاد کرده اند، را بررسی کرد.

در یک دوره کوتاه، طبیعی‌سازی مجدد سواحل دریاها (برقراری مجدد اتصال آب دریا با خاک اطراف آن) چارج آب‌های زیرزمینی در حوضه دریایی منطقه کابل را مستقیما افزایش خواهد داد. در دراز مدت، لازم است کارهای تحقیقاتی بیشتری در مورد تعیین مکان‌های خاص برای حوضه‌های نفوذ آب روی دست گرفته شود.

پیشنهادات شما

واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان میخواهد تا از پیشنهادات شما به عنوان استفاده کنندگان منابع تحقیقاتی این نهاد مستفید شود. شما چه خواننده دایمی انتشارات ما باشید، چه در یکی از ورکشاپ ها یا سخنرانی های این واحد شرکت کرده باشید، چه از کتابخانه استفاده کرده باشید و یا جدیدا با این سازمان آشنا شده باشید. نظریات و پیشنهادات شما برای ما ارزشمند است. نظریات شما برای ما کمک میکند تا هدف خود را به بهترین وجه تعقیب نموده و یافته های کاری خودرا به شکل بهتر با خوانندگان نشریات ما به اشتراک بگذاریم. سهل ترین راه برای ارائه پیشنهادات شما استفاده از این ایمیل آدرس میباشد. areu@areu.org.af

شما نیز میتوانید هر نظری که دارید از طریق شماره ۷۹۹۶۰۸۵۴۸ (۹۳+) در میان بگذارید. اما بعضی اطلاعات که عمدتا برای ما سودمند خواهند بود عبارتند از:

- چطور از نشریات واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان استفاده می کنید. (مطالعه انتشارات، شرکت در جلسات و غیره)؟
- به چه منظور از تحقیقات واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان استفاده می کنید؟
- به چه شکل انتشارات واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان را بدست می آورید؟
- از نسخه الکترونیکی استفاده میکنید یا نسخه چاپی؟
- چگونه انتشارات میتوانند اطلاعات را به شکل بهتری ارائه دهند؟
- نظر شما در مورد روند تحقیقاتی و نتایج ما چیست؟
- انتشارات یا رویداد های مورد علاقه شما در واحد تحقیق ارزیابی افغانستان کدام است؟
- به نظر شما ما چه کار های را بهتر میتوانیم انجام دهیم؟
- علاقه، ساحه و موقعیت کاری یا مطالعه شما کدام است؟
- عرصهٔ علاقمندی، اشتغال، مطالعه و موقعیت تان؟

لیست نشریات اخیر واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان

تمام نشریات در ویب سایت www.areu.org.af قابل دسترسی اند و اکثر آنها به صورت نسخه چاپی رایگان در دفتر واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان موجود میباشند.

تاریخ	نام نشریه	نویسنده	موجود به زبان دری	موجود به زبان پشتو	موضوع تحقیق	نوع نشریه
مارچ ۲۰۲۰	آیا دولت افغانستان میتواند در منازعه بین کوچی ها و ساکنین موفقانه مداخله کند؟	داکتر انتونیو جیستوزی	√	√	مدیریت منابع طبیعی	پالیسی نامه
مارچ ۲۰۲۰	تکنالوژی و کمک های بشردوستانه در افغانستان: استفاده از تکنالوژی برای جمع آوری اطلاعات و ارتباطات در شرایط نا امن	داکتر مینا رودریگو			مصئونیت اجتماعی	مقاله مقدماتی
جنوری ۲۰۲۰	مالیات، پیش شرط دولت سازی، مروری بر سیستم مالیاتی در افغانستان	سراج الدین ایثار			حکومتداری و اقتصاد سیاسی	پالیسی نامه
دسامبر ۲۰۱۹	خشونت علیه زنان در انتخابات پارلمانی سال ۱۳۹۷ افغانستان	نواه کوبورن و محمد حسن وفایی	√	√	جنسیت	مقاله اجمالی
دسامبر ۲۰۱۹	زون غذایی هلمند، توهم موفقیت	داکتر دیوید منسفیلد	√	√	مدیریت منابع طبیعی	مقاله تلفیقی
نوامبر ۲۰۱۹	منازعه کوچی - ده نشین در افغانستان کنونی	داکتر انتونیو جیستوزی	√	√	مدیریت منابع طبیعی	مقاله تلفیقی
سپتامبر ۲۰۱۹	روند اسکان کوچی ها در افغانستان و تاثیر آن بر منازعه	داکتر انتونیو جیستوزی	√	√	مدیریت منابع طبیعی	مقاله اجمالی
می ۲۰۱۹	آفتاب با دو انگشت پنهان نمیشود: مواد مخدر غیر قانونی و بحث ها روی توافق سیاسی در افغانستان	دیوید منسفیلد	√	√	مدیریت منابع طبیعی	مقاله معلوماتی
می ۲۰۱۹	پارلمان افغانستان: وظایف و صلاحیت های مندرج قانون اساسی و عملکرد آن بعد از سال ۲۰۰۱	داکتر شمشاد پسرلی، زلی مالیار	√	√	قانون اساسی	مقاله تحقیقی
مارچ ۲۰۱۹	زندگی با قرضه: محدودیت های قرضه غیر رسمی مصوونیت معیشتی در ولایت هرات	تام شاه، احسان الله غفوری	√	√	مصوونیت اجتماعی	مقاله مقدماتی
جنوری ۲۰۱۹	نقش دولت در مدیریت کوچ نشینی و نزاع بین کوچی ها-ده نشین ها	انتونیو گیستوزی	√	√	مدیریت منابع طبیعی	مقاله تحلیلی

دسامبر ۲۰۱۸	سازمان و تشکیلات ادارهٔ عامه در پرتو قانون اساسی قانون اساسی ۲۰۰۴ افغانستان	میرویس ایوبی، داکتر هارون رحیمی	√	√	قانون اساسی	مقاله تحلیلی
نوامبر ۲۰۱۸	خشک و دور از آب: کشت خشخاش و آینده ی ساکنان مناطق دشتهای جنوب غربی افغانستان	دیوید منسفیلد	√	√	مدیریت منابع طبیعی	مقاله تحلیلی
می ۲۰۱۸	ارزیابی تاثیر EUPOL در اصلاحات پولیس افغانستان	قیوم سروش	√	√	حکومتداری و اقتصاد سیاسی	مقاله مقدماتی
نوامبر ۲۰۱۸	خشک و دور از آب: کشت خشخاش و آینده ی ساکنان مناطق دشتهای جنوب غربی افغانستان	دیوید منسفیلد	√	√	مدیریت منابع طبیعی	مقاله تحلیلی
اکتوبر ۲۰۱۸	نوسان بین امید و ناامیدی: رفتار رای دهی شهروندان کابل در انتخابات ولسی جرگه ۲۰۱۸	محمد مهدی ذکی، صدیقه بختیاری و حسن وفایی			حکومتداری و اقتصاد سیاسی	مختصرنامه
اکتوبر ۲۰۱۸	دست بردن به خانه زنبور: مردم روستایی هلمند مبارزات ضد شورشگری را چطور میبینند	دیوید منسفیلد	√	√	مدیریت منابع طبیعی	مقاله تحلیلی
سپتامبر ۲۰۱۸	اهداف توسعه پایدار مربوط به صحت و نقش مراکز تحقیق پالیسی: ایجاد تحرک در جنوب آسیا	سید احمد میثم نجفی زاده			حمایت اجتماعی	گزارش
سپتامبر ۲۰۱۸	خشونت مبتنی بر جنسیت در میان کودکان بی جا شده داخلی در کابل: اقداماتی که باید انجام شود	لیه ویلفریدا و چونا چاوز			حمایت اجتماعی	پالیسی نامه
آگست ۲۰۱۸	سیاست ها در ماورای شواهد: مورد سوال قرار دادن ارتباط میان ارائه خدمات و مشروعیت دولت در افغانستان	اشلی جسکن و اورخَلا نعمت		√	حمایت اجتماعی	مقاله تحلیلی
جولای ۲۰۱۸	افراطگرا و فعال: افراطگرایی در بین محصلان پوهنتون در کابل هرات	ویدا مهران			حمایت اجتماعی	پالیسی نامه
می ۲۰۱۸	ارزیابی تأثیر EUPOL در اصلاحات پلیس افغانستان	قیوم سروش			حمایت اجتماعی	مقاله مقدماتی
می ۲۰۱۸	آب هرچه عمیق تر، آرام تر: کوکنار نا مشروع و تحول دشت های جنوب غرب افغانستان	دیوید منسفیلد	√	√	مدیریت منابع طبیعی	مقاله تحلیلی
حوت ۱۳۹۶	مصئونیت شهری: برنامه بازبینی بنای صلح شهری در افغانستان	یما ترابی	√	√	حمایت اجتماعی	پالیسی نامه

تمام نشریات واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان را میتوانید از صفحه انترنتی این اداره www.areu.org.af دریافت نمایید.

همچنان نسخه های چاپی بعضی از نشریات این اداره را میتوانید از دفتر واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان بدست آورید.

واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان
شماره تماس: ۵۴۸ ۶۰۸ ۷۹۹ (۰) ۹۳+
ایمیل: publications@areu.org.af
ویب سایت: www.areu.org.af

ISBN 978-9936-641-91-4