تخمین تغذیه آب زیرزمینی زیر حوضه کرون در منطقه اصفهان با استفاده از مدل CRD

سمیه سلطانی گردفرامرزی [۱] جهانگیر عابدی کوپایی [۲]

(دریافت ۸۷/۱۲/۷ پذیرش ۸۹/۵/۳۰)

چکیده

به‌منظور مدل‌سازی و مدیریت منابع آب، تعیین تغذیه خالص آب زیرزمینی امری ضروری است. مدل حرکت تجمعی بارش که بر اساس تعادل آب زیرزمینی است، به‌دلیل سادگی و حداقل نیاز به پارامترهای تصادفی، به‌طور گسترده برای تخمین تغذیه آب زیرزمینی به کار می‌رود. بارندگی مهم‌ترین منبع تغذیه آب زیرزمینی در حوضه کرون واقع در اصفهان به‌شمار می‌رود. منطقه مورد مطالعه در ناحیه خشک و نیمه خشک قرار گرفته و به جز بارندگی منبع دیگری برای تغذیه آبهای زیرزمینی وجود ندارد. تخمین تغذیه آبهای زیرزمینی از بارندگی کار ساده‌ای نیست زیرا به پارامترهای نامعلومی وابسته است. در این تحقیق از مدل CRD به‌منظور تغذیه آب زیرزمینی حوضه کرون استفاده شد. این مدل نسبت به دیگر روشهای کلاسیک تخمین تغذیه آبهای زیرزمینی به داده‌های زیادی نیاز ندارد. بهینه کردن این روش با کوچک کردن جذر میانگین مربع خطا بین داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده سطح ایستابی، انجام شد. بر اساس مدل CRD، میانگین سالانه تغذیه آب زیرزمینی از طریق بارندگی در زیرحوضه کرون در استان اصفهان حدود ۴۸/۰۷ میلیون متر مکعب برآورد گردید.

واژه‌های کلیدی: تغذیه آب زیرزمینی، تعادل آب زیرزمینی، بارندگی، ناحیه خشک، کرون، CRD

Quantification of Groundwater Recharge in the Karvan Aquifer in Isfahan (Iran) Using the CRD Model

Somayeh Soltani Gerdefaramarzi [1] *Jahangir Abedi Koupai [2]*

(Received Feb. 26, 2009 Accepted Aug. 21, 2010)

Abstract

Identification of the net groundwater recharge is essential for groundwater modeling and water resources management. Due to its simplicity and its minimum stochastic parameter requirements, the CRD model has been widely applied to estimate recharge. Rainfall is the main source of groundwater recharge in the Karvan area in Isfahan (Iran). The area is located in the semi-arid zone and there is no source of recharge other than rainfall. Estimation of groundwater recharge from rainfall is not an easy task since it depends on many uncertain parameters. The cumulative rainfall departure (CRD) model was used in this study to estimate the net groundwater recharge from rainfall. The cumulative rainfall departure (CRD) model is based on the principle of water balance and does not require much data as is the case with other conventional methods of recharge estimation. The CRD model was conducted using the optimization method to minimize the root mean square error (RMSE) between the measured and the simulated groundwater head. The results indicated that the annual amount of groundwater recharge from rainfall in the Karvan Aquifer in Isfahan is about 48.07 million m^3.

Keywords: Groundwater Recharge, Water Balance, Rainfall, Arid Regions, Karvan, CRD.

۱- دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان،
(نویسنده مسئول)۳۹۱۳۴۳۳ (۰۳۱۱) koupai@cc.iut.ac.ir

1. Ph.D. Student of Irrigation and Drainage, College of Agriculture, Isfahan University of Tech., Isfahan
2. Assoc. Prof. of Water Eng., College of Agricultural, Isfahan University of Tech., (Corresponding Author) (+98 311) 3913433 koupai@cc.iut.ac.ir

۱- مقدمه

تغذیه آب زیرزمینی به معنی اضافه شدن آب به منابع آب زیرزمینی است. منظور از این تعریف اضافه شدن هر آبی به آبخوان بدون در نظر گرفتن اصل و منشأ آن است. به‌منظور مدل‌سازی و مدیریت منابع آب، تعیین تغذیه خالص آب زیرزمینی امری ضروری به‌شمار می‌رود. استفاده از آبهای زیرزمینی برای گسترش مناطق شهری، صنعتی و کشاورزی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، اهمیت زیادی دارد [۱-۵]. تغذیه آبهای زیرزمینی به‌عنوان قسمت مهمی از چرخه هیدرولوژی محسوب می‌شود. تغذیه می‌تواند به‌صورت مستقیم با پخش آب در گودالهای وسیع و هدایت آب در چاههای تزریق یا به‌صورت غیر مستقیم از فعالیتهای انسان مانند آبیاری اراضی صورت گیرد. استفاده از مدل‌های کامپیوتری و ریاضی، مدیریت منابع آب زیرزمینی و سطحی و انتقال آلودگی به منابع آب زیرزمینی مستلزم فهم و درک درست از مفهوم تغذیه است [۶].

در مناطق خشک و نیمه خشک، تعیین تغذیه آب زیرزمینی همیشه یک چالش اساسی برای هیدرولوژیست‌ها محسوب می‌شود زیرا سرعت تغذیه نسبت به متوسط بارندگی سالانه و تبخیر و تعرق پایین بوده و تخمین دقیق تغذیه مشکل است [۱، ۵، ۷ و ۸].

بسیاری از پارامترها مانند خصوصیات خاک، توپوگرافی، مقدار بارش، تبخیر و تعرق و عمق سطح ایستابی بر روی میزان آب نفوذ یافته به‌صورت تراوش عمقی که منجر به تغذیه خواهد شد، مؤثرند. به‌دلیل وابسته بودن این پارامترها به عوامل مختلف نامعلوم در تخمین آن، روشهای محاسبه تغذیه معمولاً به نتایج متفاوتی منجر می‌شود. اگرچه روشهای مختلفی به‌صورت تجربی میزان تغذیه آب زیرزمینی را محاسبه می‌کنند، ولی هیچکدام از آنها کارایی و دقت لازم را ندارند [۸].

در تقسیم‌بندی که توسط اسکانلون و همکاران[1] در سال ۲۰۰۲ برای کمّی کردن تغذیه انجام شد، تغذیه به‌صورت مطالعات سطحی، مطالعات نواحی اشباع و مطالعات مناطق غیر اشباع طبقه‌بندی شد [۱ و ۹]. در آفریقای جنوبی برای تعیین میزان تغذیه، شبیه‌سازی نوسان آب در سطح ایستایی در برابر زمان بارش به‌کار گرفته شد. نتیجه این روش همان چیزی است که در مدل CRD وجود دارد [۱۰ و ۱۱]. این مدل فقط برای مناطقی کاربرد دارد که بارندگی، تنها منبع تغذیه باشد و برای مناطقی که جریان بین آبخوان‌ها وجود داشته باشد، کاربرد ندارد [۱۱]. خزایی و همکاران در سال ۲۰۰۳ به‌منظور بررسی تغذیه آب زیرزمینی نواحی خشک و نیمه خشک جنوب ایران مدلی را ارائه دادند که سطح ایستابی تخمین زده شده با سطح ایستابی اندازه‌گیری شده از چاههای مشاهده‌ای همخوانی داشت. نتایج نشان داد که به‌منظور تخمین دقیق از تغذیه، تقسیم منطقه به نواحی هیدرولوژیکی شبیه به هم، ضروری است [۲]. رحمانی و سدهی در سال ۱۳۸۳ به‌منظور ارائه مدل آماری و سپس پیش‌بینی وضعیت سطح آب زیرزمینی دشت بهار، از مدل سری‌های زمانی استفاده کردند. [۱۲]. کتیبه و همکاران، نوسانات سطح آب زیرزمینی در محدوده مرکزی طرح متروی اصفهان را با مدل ریاضی سه بعدی و با روش تفاضل محدود، مدل‌سازی کردند [۱۳]. بلوشا[2] در سال ۲۰۰۵ با استفاده از مدل CRD میزان تغذیه آب زیرزمینی از طریق بارندگی در نوار غزه در فلسطین را حدود ۴۳ میلیون متر مکعب برآورد کرد [۸]. لی و همکاران[3] در سال ۲۰۰۵ برای تخمین سرعت تغذیه آبهای زیرزمینی، از هیدروگراف‌های آب زیرزمینی به‌دست آمده از چاههای مشاهده‌ای در یک حوضه آبخیز کوچک استفاده کردند [۳]. در تحقیق دیگری، تغذیه آبهای زیرزمینی نوار غزه با استفاده از ضریب تغذیه برآورد شد. طبق نتایج، تغذیه آبهای زیرزمینی سالانه در منطقه در حدود ۴۱ میلیون مترمکعب به‌دست آمد [۸].

تغذیه آب زیرزمینی از بارندگی، مهم‌ترین منبع تغذیه در منطقه کرون محسوب می‌شود. به‌دلیل موقعیت جغرافیایی منطقه کرون که در ناحیه خشک و نیمه خشک قرار گرفته است، منبعی غیر از بارندگی برای تغذیه منطقه وجود ندارد. متوسط بارندگی در منطقه بر اساس آمار موجود، ۱۸۵ میلی‌متر است که فقط قسمتی از آن تبدیل به تراوش عمقی و تغذیه می‌شود و بخش عمده‌ای از آن تبخیر می‌گردد. هدف از این تحقیق، استفاده از مدل CRD[4] برای تخمین تغذیه آب زیرزمینی از طریق بارندگی در زیرحوضه کرون بود. این مدل نسبت به دیگر روشهای کلاسیک تخمین تغذیه آبهای زیرزمینی به داده‌های زیادی نیاز ندارد و از داده‌های بارندگی ماهانه، آمار سطح ایستابی، ضریب ذخیره آبخوان و آمار دبی‌های خروجی و ورودی به آبخوان برای تخمین تغذیه آبهای زیرزمینی استفاده می‌کند.

۲- مواد و روشها

۲-۱ مدل CRD

مدل CRD اولین بار توسط بردنکمپ و همکاران[5] در سال ۱۹۹۵ پیشنهاد شد. تئوری این روش بر اساس تعادل آبهای زیرزمینی در یک آبخوان است. این موازنه به‌صورت زیر تشریح می‌شود [۱۱]

$$R = Q_p + Q_{out} - Q_{in} + \Delta h_i \times A \times S \qquad (۱)$$

[1] Scanlon et al.

[2] Baalousha
[3] Lee et al.
[4] Cumulative Rainfall Departure (CRD)
[5] Bredenkamp et al.

که در این رابطه
R کل تغذیه آبخوان $[L^3/T]$، Q_p دبی پمپاژ $[L^3/T]$، Q_{out} دبی خروجی از آبخوان $[L^3/T]$، Q_{in} دبی ورودی به آبخوان $[L^3/T]$، Δh_i تغییر در سطح ایستابی $[L]$، A مساحت آبخوان و S ضریب ذخیره آبخوان است. بردنکمپ یک رابطه خطی بین تغییرات ماهانه در سطح آب و حرکت باران تجمعی فرض کرد. این رابطه به‌صورت زیر بیان می‌شود

$$CRD_i = CRD_{i-1} + (p_i - C) \qquad (۲)$$

که در این رابطه
CRD_i حرکت تجمعی باران برای ماه iام [L]، CRD_{i-1} حرکت تجمعی باران برای ماه i-1ام [L]؛ P_i بارندگی [L/T]، C میزان حد آستانه جایی که دیگر تغذیه اتفاق نمی‌افتد. این معادله، رابطه بین دو مقدار CRD در دو مدت زمانی متوالی را نشان می‌دهد. رابطه کلی که برای تبدیل تغذیه خالص از روش CRD مورد استفاده قرار می‌گیرد به‌صورت زیر است [۸]

$$h_i = h_{i-1} + \frac{R}{S} + \frac{Q_{in} - Q_{out}}{S \times A} - \frac{Q_p}{S \times A} \qquad (۳)$$

که در این رابطه
R تغذیه خالص که به‌صورت ضریبی از بارندگی بیان می‌شود، h_i بار درماه iام و h_{i-1} بار در ماه i-1ام بر حسب متر است. میزان دبی پمپاژ و آمار بارندگی معمولاً با دقت خوبی اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین اگر دبی ورودی و ضریب ذخیره تعیین گردد، تنها پارامتر مجهول در رابطه بالا R است. مدل CRD با رسم نوسانات سطح ایستابی به‌دست آمده از رابطه ۳ در مقابل سطح ایستابی اندازه‌گیری شده از چاههای مشاهده‌ای صورت می‌گیرد. بهترین برآورد تغذیه، زمانی است که اختلاف بین مقادیر سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده به حداقل برسد. این امر با کوچک کردن میزان خطای مجذور میانگین ریشه بین مقادیر سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده امکان‌پذیر است.

۲-۲- مطالعات حوضه کرون

زیر حوضه کرون در غرب زیر حوضه نجف‌آباد و به شکل یک مستطیل و در امتداد شمال غرب-جنوب شرق گسترده شده است (شکل ۱). مساحت زیر حوضه، ۷۲۰ کیلومتر مربع است که ۳۵۰ کیلومتر مربع آن را دشت و ۳۷۰ کیلومتر مربع بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. این منطقه از نظر ژئومورفولوژی به‌صورت مستطیلی با کشیدگی زیاد و در جهت شمال غرب به جنوب شرق بوده به‌طوری‌که طول آن بیش از حدود چهار برابر عرض آن است. آب زیرزمینی از نظر کیفی در زیر حوضه کرون بدون محدودیت و با کیفیت مناسب است. به‌طور کلی می‌توان گفت جهت شوری آب زیرزمینی مورد بحث از شمال غرب به سمت جنوب شرق و همسو با جهت آب زیرزمینی است. در زیر حوضه کرون طبق آخرین آمار، ۴۰ حلقه چاه عمیق با متوسط دبی ۵/۹ و ۳۵۸ حلقه چاه نیمه عمیق با متوسط دبی ۴ لیتر بر ثانیه موجود است که در سال آبی ۸۱-۸۰ جمعاً ۱۲/۱ میلیون متر مکعب از آب آبخوان آبرفتی را تخلیه نموده‌اند. قناتهای زیر حوضه کرون تقریباً پرآب‌ترین و با ارزش‌ترین قناتهای موجود در سطح استان اصفهان هستند ولی در سالهای اخیر با کاهش شدید آبدهی روبرو شده و در حال حاضر دبی متوسط آبدهی آنها حدود ۹/۷ لیتر در ثانیه است و طی فصول مختلف سال، نوسان آبدهی نسبتاً زیادی دارند. تعداد کل قناتهای موجود در این حوضه ۵۸ رشته است [۱۴].

۲-۲-۱- بیلان آبخوان در زیر حوضه کرون

متوسط بارندگی در سطح آبخوان برابر ۱۸۵ میلی‌متر برآورد شد. با توجه به وسعت آبخوان (۲۸۷/۸ کیلومترمربع)، حجم باران نازل بر سطح آن حدود ۵۳/۲ میلیون مترمکعب است که با توجه به ضریب نفوذپذیری و توزیع بارندگی، حدود ۸ میلیون مترمکعب آب به آبخوان اضافه شده است. از میان حجم آب مورد استفاده کشاورزی در سطح آبخوان، به‌طور متوسط ۲۴/۳ میلیون متر مکعب آب از طریق منابع آب زیرزمینی موجود در محدوده بیلان برداشت می‌شود. از طریق چشمه مرغاب نیز از خارج از محدوده آبخوان، حدود ۱۳/۴ میلیون متر مکعب آب وارد محدوده بیلان می‌گردد و ۲۹/۷ میلیون متر مکعب آب، صرف آبیاری اراضی کشاورزی می‌شود که با توجه به درصد نفوذ، حدود ۷/۱ میلیون متر مکعب آب از این طریق وارد آبخوان می‌شود. با توجه به ارتفاع ریزشهای جوّی ، سطح آب ورودی از طریق جبهه‌ها متغیر است ولی به‌طور متوسط معادل ۲۸/۵ میلیون متر مکعب برآورد شده است [۱۴].

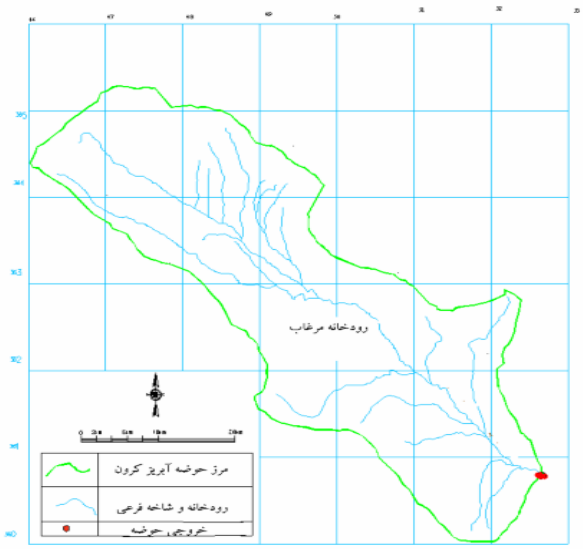
۲-۲-۲- بارندگی

در مناطقی که رواناب ناچیز فرض می‌شود، مهم‌ترین قسمت تغذیه آبهای زیرزمینی، بارندگی است. بر اساس آمار سازمان آب منطقه‌ای اصفهان در زیر حوضه کرون شش ایستگاه باران‌سنجی وجود دارد و آمار بارندگی به‌صورت روزانه ثبت می‌شود. به‌منظور بررسی وضعیت پارامترهای مهم اقلیمی زیر حوضه مورد بحث، از اطلاعات ایستگاههای کلیماتولوژی قلعه ناظر، دولت‌آباد، اشن، سد زاینده‌رود، دامنه فریدن و تیران استفاده شد. متوسط بارندگی درازمدت سالانه زیر حوضه کرون ۱۸۵ میلی‌متر، متوسط تبخیر

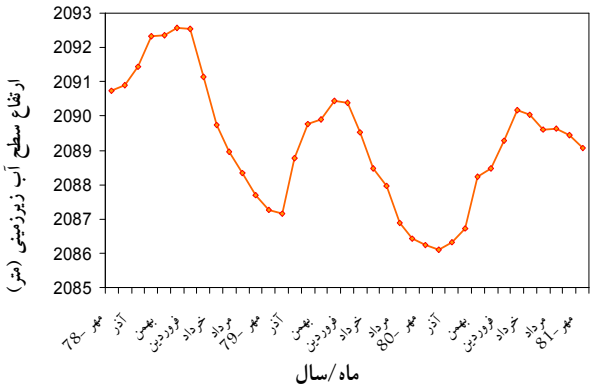
درازمدت سالانه حدود ۲۲۸۶ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ۱۲/۳ درجه سلسیوس برآورد شده است [۱۴].

۲-۲-۳- نوسانات سطح ایستابی

بر اساس آمار شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، به‌منظور اندازه‌گیری نوسانات سطح ایستابی زیرحوضه کرون از آمار ماهانه ۱۵ چاه پیزومتری استفاده می‌گردد. با توجه به دوره زمانی مورد نظر در این مطالعه، از آمار بارندگی و نوسانات سطح ایستابی در طول دوره زمانی ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۱ به‌منظور تخمین تغذیه استفاده گردید. متوسط تغییرات سطح ایستابی زیر حوضه کرون در شکل ۲ رسم شده است.



شکل ۱- زیر حوضه کرون



شکل ۲- متوسط تغییرات ماهانه سطح ایستابی در زیر حوضه کرون

۲-۲-۴- پارامترهای هیدرولیکی

پارامترهای هیدرولیکی آبخوان معمولاً با استفاده از نتایج آزمایش چاههای پمپاژ به‌دست می‌آید. جدول ۱ خلاصه نتایج آزمایش چاههای اکتشافی پمپاژ شده در زیر حوضه کرون را نشان می‌دهد. مقدار متوسط ضریب قابلیت انتقال، از ۲۵۰ تا ۴۰۰۰ متر مربع در روز متفاوت است. مقادیر ضریب ذخیره آبخوان نیز مطابق جدول از $۱/۳۶\times۱۰^{-۲}$ تا $۳/۱۵\times۱۰^{-۵}$ تغییر می‌کند [۱۴].

جدول ۱- لیست چاههای اکتشافی پمپاژ شده و ضرایب هیدرودینامیک زیر حوضه کرون [۱۴]

ردیف	نام محل چاه اکتشافی	زیر حوضه	متوسط ضریب قابلیت انتقال	متوسط ضریب ذخیره
۱	اکتشافی تندران E7	کرون	۱۰۰۰	$۲/۵\times۱۰^{-۴}$
۲	اکتشافی علویجه	کرون	۳۰۰۰-۴۰۰۰	$۳/۱۵\times۱۰^{-۵}$
۳	اکتشافی قلعه ناظر	کرون	۲۵۰-۳۰۰	$۱/۳۶\times۱۰^{-۲}$

۳- نتایج و بحث

بر اساس وجود شش ایستگاه باران‌سنجی در زیر حوضه کرون، کل زیر حوضه کرون به شش قسمت تقسیم شد. آمار بارندگی، نوسانات سطح ایستابی و دبی ورودی و خروجی زیر حوضه مورد مطالعه، از آمار سازمان آب منطقه‌ای اصفهان از سال ۱۳۸۲-۱۳۷۸ به‌دست آمد. داده‌های بارندگی ماهانه در مقابل داده‌های سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در شش قسمت زیرحوضه کرون در مقابل زمان، در برنامه Excel ترسیم شد (شکلهای ۳-۸). سطح ایستابی بر اساس رابطه ۳ با معلوم بودن ضریب ذخیره آبخوان، دبی ورودی و خروجی آبخوان و مساحت زیر حوضه کرون شبیه‌سازی شد. نتایج سطح ایستابی شبیه‌سازی شده بر روی همان نمودار بارندگی و نوسانات سطح ایستابی اندازه‌گیری شده، رسم گردید. رابطه بین بارندگی و سطح ایستابی همان‌طور که در رابطه ۳ توصیف گردید، به‌صورت خطی فرض شد. در آخرین مرحله، بهینه کردن این روش با استفاده از کوچک کردن خطای مربع میانگین ریشه بین داده‌های اندازه‌گیری شده و سطح ایستابی محاسبه شده، انجام شد. بهترین مقدار بهینه در کمترین مقدار خطای مربع میانگین ریشه به‌دست آمد. مقدار خطای مربع میانگین ریشه با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید

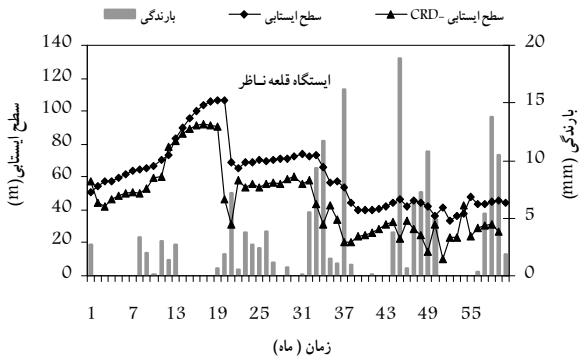
(۴)

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum\left(F\left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right) - f\left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right)\right)^2}}{n}$$

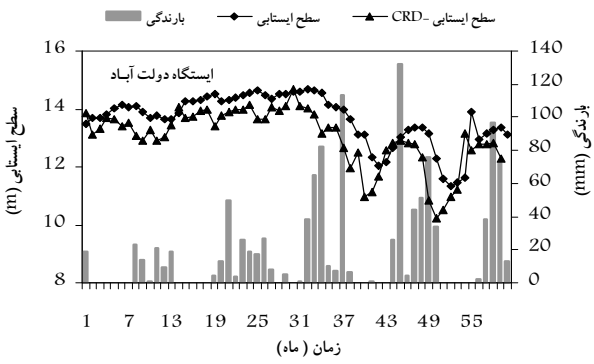
که در این رابطه

F مقادیر اندازه‌گیری شده، f مقادیر محاسبه شده و n تعداد مشاهدات است. بهترین تخمین تغذیه می‌تواند بر اساس رابطه ۳ برآورد گردد. مقدار جذر میانگین مربع خطا و CRD برای شش

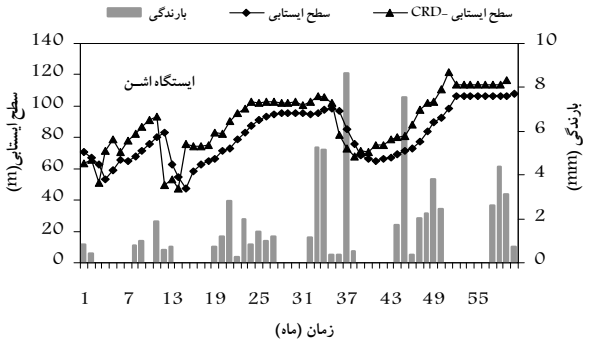
منطقه تفکیک شده در زیر حوضه کرون در جدول ۲ آمده است. همان‌طور که در رابطه ۳ تعریف شد، روش CRD به پارامترهای مختلفی وابسته است. تحلیل حساسیت نشان داد که پارامتر ضریب ذخیره در مقایسه با دیگر پارامترها مانند دبی ورودی و خروجی آبخوان، در تخمین میزان تغذیه مؤثرتر است. در نتیجه مقادیر ضریب ذخیره باید با دقت زیادی برآورد گردد تا مدل به درستی مقدار تغذیه را پیش‌بینی کند. در صورتی که ضریب ذخیره با میزان واقعی متفاوت باشد، جذر میانگین مربع خطا بزرگ خواهد شد. در این مطالعه به دلیل عدم برآورد دقیق میزان ضریب ذخیره، مقدار جذر میانگین مربع خطا کمی بزرگ به‌دست آمد. همچنین تحلیل حساسیت نشان داد که تغییر در دبی ورودی و خروجی آبخوان بر تخمین میزان تغذیه قابل صرف‌نظر کردن است. تغذیه آب زیرزمینی زیر حوضه کرون به‌عنوان درصدی از بارندگی با استفاده از مدل CRD حدود ۳۶/۱ درصد محاسبه گردید. از آنجا که متوسط بارندگی زیر حوضه کرون ۱۸۵ میلی‌متر در سال برآورد شده و مساحت این زیر حوضه حدود ۷۲۰ کیلومتر مربع است، میزان تغذیه آب زیرزمینی این زیر حوضه از طریق بارندگی حدود ۴۸/۰۷ میلیون متر مکعب تخمین زده شد.



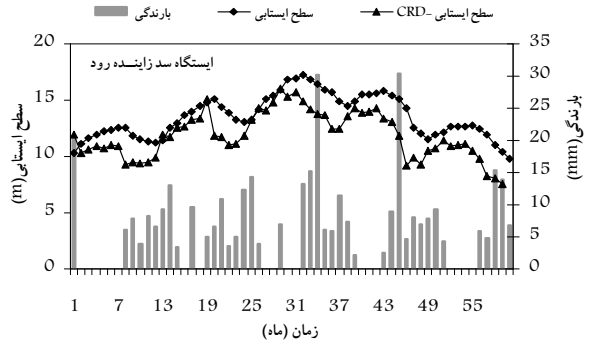
شکل ۳- رابطه بین بارندگی، سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و سطح ایستابی شبیه‌سازی شده به روش CRD در ایستگاه قلعه ناظر



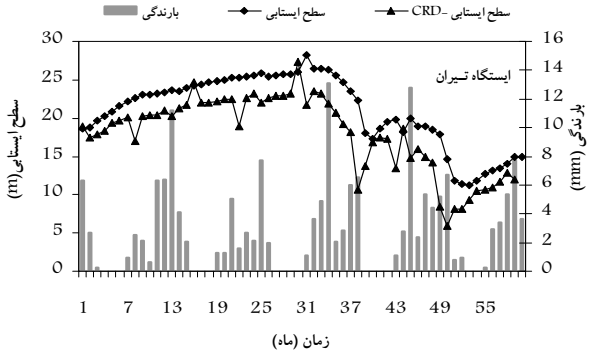
شکل ۴- رابطه بین بارندگی، سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و سطح ایستابی شبیه‌سازی شده به روش CRD در ایستگاه دولت آباد



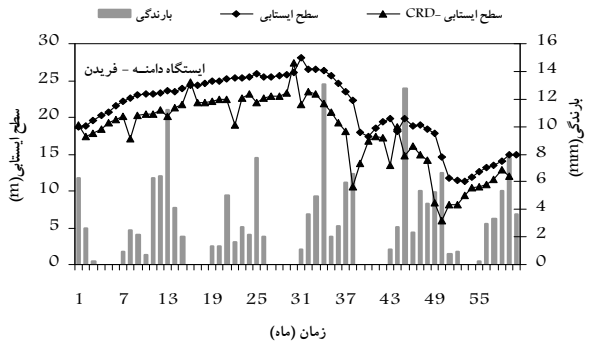
شکل ۵- رابطه بین بارندگی، سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و سطح ایستابی شبیه‌سازی شده به روش CRD در ایستگاه اشن



شکل ۶- رابطه بین بارندگی، سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و سطح ایستابی شبیه‌سازی شده به روش CRD در ایستگاه سد زاینده رود



شکل ۷- رابطه بین بارندگی، سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و سطح ایستابی شبیه‌سازی شده به روش CRD در ایستگاه تیران



شکل ۸- رابطه بین بارندگی، سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و سطح ایستابی شبیه‌سازی شده روش CRD در ایستگاه دامنه فریدن

جدول ۲- نتایج تخمین تغذیه زیر حوضه کرون

ناحیه	CRD(%)	RMSE
قلعه ناظر	۸۱/۸	۰/۱۸۶
دولت آباد	۳۰/۰۱۱	۰/۱۰۶
اشن	۹/۵	۰/۱۲۴
سد زاینده رود	۱۰/۲۵	۰/۲۴۱
تیران	۹/۸۹	۰/۲۶۳
دامنه فریدن	۷۵/۰۹	۰/۱۴۱
میانگین	۳۶/۰۹	۰/۱۷۶

۴- نتیجه گیری

مدل CRD یک روش مناسب، ارزان قیمت و دارای ابزار کافی برای برآورد تغذیه خالص است. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که این روش نسبت به دیگر روشهای برآورد تغذیه به داده‌های کمتری نیاز دارد. مزیت این روش علاوه بر عدم نیاز به داده‌های مشکوک و غیر دقیق و ضرایبی که در دیگر روشهای تخمین تغذیه مورد نیاز است، کاربرد آسان آن است. تحلیل حساسیت نشان داد که این روش به میزان ضریب ذخیره نسبت به بقیه پارامترها حساس‌تر است. البته این روش محدودیتهایی در کاربرد نیز دارد که شامل عدم امکان استفاده این روش در آبخوان‌های تحت فشار و دارای ضریب ذخیره کم است. بهترین نتایج این روش در آبخوان‌های با ظرفیت ذخیره زیاد مشاهده شده است.

۵- قدردانی

به‌این وسیله از پروفسور Yongxin Xu به‌خاطر راهنمایی‌شان و همچنین شرکت آب منطقه‌ای اصفهان به‌خاطر در اختیار قرار دادن آمار این تحقیق ، قدردانی به‌عمل می‌آید.

۶- مراجع

1- Xu, Y., and Beekman, H. E. (Eds). (2003). *Groundwater recharge estimation in Southern Africa*, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Printed Mills Litho.

2- Khazaei, E., Spink, A. E. F., and Warner, J. W. (2003). "A catchment water balance model for estimating groundwater recharge in arid and semiarid regions of south-east Iran." *J. of Hydrogeology*, 11, 333-342.

3- Lee, J. Y., Yi, M. J., and Hwang, D. (2005). "Dependency of hydrologic responses and recharge estimates on water-level monitoring locations within a small catchment." *J. of Geosciences* 9(3), 277-286.

4- Bani Hashemi, S. A. R. (1995). "Natural groundwater recharge estimation and groundwater resources management." *Proc. of Regional Conference on Water Resources Management*, Isfahan, Iran.

5- De Vries, J. J., and Simmers, I. (2002). "Groundwater recharge: An overview of processes and challenges." *J. of Hydrogeology*, 10, 5-17.

6- Neff, B. P., Piggott, A. R., and Sheets, R.A. (2006). Estimation of shallow groundwater recharge in the great lakes basin." *Scientific Investigations Report 2005–5284, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey*, USA.

7- Weber, K., and Stewart, M. (2004). "A critical analysis of the cumulative rainfall departure concept." *J. of Ground Water*, 42(6), 935-938.

8- Baalousha, H. (2005). "Using CRD method for quantification of groundwater recharge in the Gaza strip, Palestine." *Environmental Geology*, 48, 889-900

9- Scanlon, B. R., Healey, R. W., and Cook, P. G. (2002). "Choosing appropriate techniques for quantifying techniques for quantifying groundwater recharge." *Hydrogeology*, 10, 18-39.

10- Baalousha, H. (2008). "Stochastic water balance model for rainfall recharge quantification in ruataniwha basin, New Zealand." *Environ. Geol. DOI 10.1007/s00254-008-1495-6*.

11- Xu, Y., and Van Tonder, G. (2001). "Estimation of recharge using a revised CRD method." *J. of Water S. A*., 27 (3), 341-343.

12- Rahmani, A., and Sedehi, M. (2005) "Predication of groundwater level changes in the plain of Hamedan-barhar using time series model." *J. of Water and Wastewater*, 51, 42-49. (In Persian)

13- Katibeh, H., Taheri, A., and Aboutalebi, M. (2003). "Modeling of groundwater fluctuations in the central area of Isfahan Metro Project." *J. of Water and Wastewater*, 46, 41-52. (In Persian)

14- Water organization of Isfahan and Chaharhmahal-Bakhtiari. (1999). *Report of Karvan and Najafabad sub-basin Studies, Isfahan, Iran.* (In Persian)