Case Study :The Water Balance of the Aquifer in Borkhar Area, Isfahan

R. Haghighat,
Acad. Mem., Dept. of Earth Sciences, Shahid Beheshti Univ.

The average annual precipitation in Iran is only about 250 mm and the performance of other factors involved does not allow for the losses in our reservoirs to be compensated for.

Climatic conditions, spatial and temporal distribution of precipitation, increasing water use, disproportionate withdrawals in violation of laws and regulations for the equitable use and distribution of water are the causes for the water crisis Iran is facing and the great danger our groundwater resources are encountering.

Investigations on the ground water resources in Borkhar plain in Isfahan show an annual withdrawal of 45 MCM in excess of the quantity the resources can provide. This rate of water withdrawal has caused a corresponding annual decline of 0.5 meter in the aquifer water level. This is while the inflow from neighboring basins and from branching channel from the Zayandeh Rood River have been recharging the aquifer.

مطالعه موردی : بیلان آب آبخوان دشت برخوار اصفهان

(دریافت : ۷۹/۱۰/۱ پذیرش : ۸۰/۷/۱۷)

رضا حقیقت*

چکیده

میزان ریزش‌های جوی متوسط سالیانه کشور تنها حدود ۲۵۰ میلیمتر می‌باشد ونتیجه عملکرد سایر عوامل به نحوی است که اغلب کاهش میزان ذخایر (به ویژه ذخایر آب زیرزمینی) ما را جبران نمی‌کنند[۱ و ۲].

شرایط اقلیمی، نحوه توزیع زمانی و مکانی ریزش‌های جوی، رشد بی‌رویه جمعیت، مصرف فزاینده آب، برداشت‌های حساب نشده ناشی از عدم رعایت قوانین و مقررات استفاده و توزیع عادلانه آب، میهن ما را با بحران کم آبی و یا بی‌آبی مواجه نموده، منابع آبی و به ویژه ذخایر آب زیرزمینی کشور را تهدید می‌نمایند.

بررسی‌های انجام شده در مورد آب‌های زیرزمینی دشت برخوار اصفهان، اضافه برداشتی معادل ۴۵ میلیون مترمکعب آب در سال را نشان می‌دهد. با چنین برداشتی، سطح آبخوان به طور متوسط سالیانه نیم متر افت نموده است. این در شرایطی است که آب‌های ورودی از حوضه‌های مجاور و آب کانال آبیاری منشعب از زاینده‌رود آبخوان را تغذیه نموده‌اند.

مقدمه

عبارت کلی بیلان آب بیانگر تساوی بین واردات و تلفات آب می‌باشد که برای دوره‌های طولانی مدت برآورد می‌شود (تغییرات ذخیره صفر فرض می‌شود):

$$P=R+E_r+I \qquad (۱)$$

که :

P ریزش‌های جوی (باران، برف و ریزش‌های پنهان)؛ R رواناب (جریان سطحی)؛ E_r تبخیر و تعرق واقعی؛ I نفوذ.

با توجه به این که

$$I=\Delta I + I_\omega \qquad (۲)$$

داریم:

$$P = R + E_r + (\Delta I + I_\omega) \qquad (۳)$$

$(\Delta I + I_\omega)$: رواناب دیررس (هیپودرمیک) + رواناب زیرزمینی (نمودار ۱).

با فرض این که تغییرات ذخیره در سال‌های متوالی موازنه شده و به سمت یک مقدار متوسط میل نماید، لذا تلفات آب به شرح ذیل می‌باشد:

$$Q = R + (\Delta I + I_\omega) \qquad (۴)$$

با توجه به شرایط مذکور و برای دوره‌های طولانی معادله ۳ بیلان به صورت زیر در می‌آید :

$$P = E_r + Q \qquad (۵)$$

معمولاً به جای مؤلفه E_r از D (کمبود رواناب) استفاده می‌شود و لذا داریم [۹]:

$$P= D + Q \qquad (۶)$$

با در نظر گرفتن میزان کل آب‌های برداشتی (q) از آب‌های سطحی و زیرزمینی داریم :

$$P = E_r + Q + q \qquad (۷)$$

در صورت وجود ارتباط زیرزمینی آب با حوضه‌های مجاور (مقادیر مثبت یا منفیω) داریم :

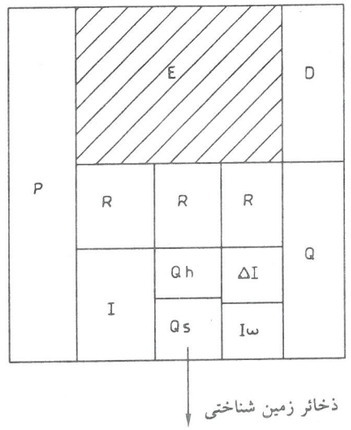
$$P = E_r + Q \pm \omega \qquad (۸)$$

در کلیه عبارات مذکور، مؤلفه‌های بیلان بر حسب میلی‌متر آب و یا حجم آب بیان می‌شوند (جدول ۱). همچنین می‌توان تلفات آب را به صورت درصدی از ریزش‌های جوی بیان نمود.

مدارک پایه‌ای که لازم است قبلاً تهیه شوند:

- نقشه توپوگرافی
- نقشه زمین شناختی عمومی
- نقشه سنگ شناختی (لیتولوژیک)

*عضو هیأت علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی



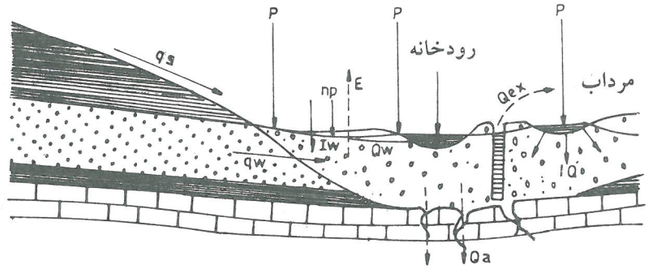
نمودار ۱- مؤلفه‌های بیلان آب [٦].

جدول ۱- بیلان کلی آب حوضه هیدرولوژیک (حوضه آبریز).

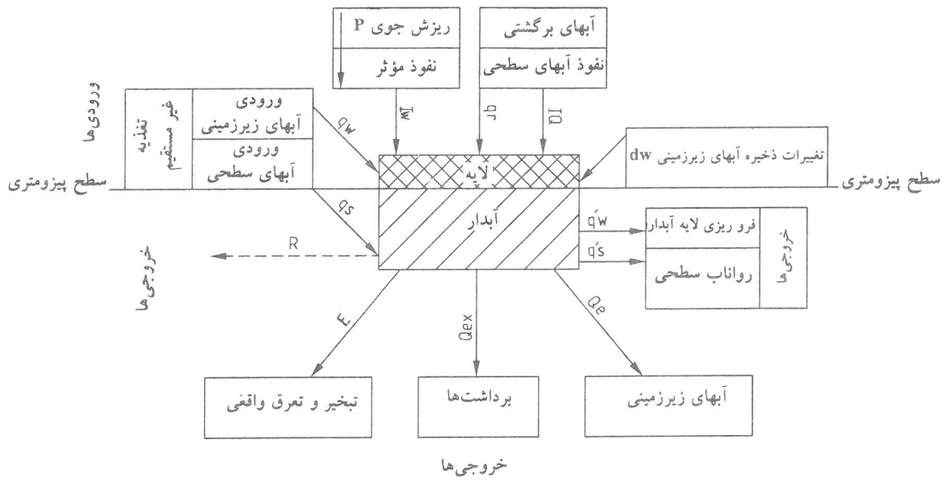
خروجی‌ها ارتفاع آب سالیانه، میلی‌متر یا میلیون مترمکعب در سال		ورودی‌ها ارتفاع آب سالیانه، میلی‌متر یا میلیون مترمکعب در سال
تبخیر و تعرق واقعی	E_r	تغذیه مستقیم :
رواناب [٤]	Q	باران کل : P
یاروند آب [٤]	R	
برداشت‌ها یا استخراج	Q_{ex}*	باران، برف، تگرگ و ریزش‌های پنهان (مه)
تلفات به سمت حوضه‌های هیدرولوژیک دیگر : q´		تغذیه غیر مستقیم یا عایدات از حوضه‌های هیدرولوژیک دیگر : q
- آب‌های سطحی q'_s		- آب‌های سطحی q_s
- آب‌های زیرزمینی q'_w		- آب‌های زیرزمینی q_w
کل مخارج (مصارف)		کل عایدات
±dw : تغییرات ذخایر**		
عایدات دوره بعدی :	-dw	عایدات دوره قبلی +dw
- آب‌های سطحی	q'_s	- آب‌های سطحی q_s
- آب‌های زیرزمینی	q'_w	- آب‌های زیرزمینی q_w

* آب‌های برداشتی به خارج از محدوده بیلان آب منتقل می‌شوند (تلفات کلی).

** تغییّر در میزان ±dw ذخیره با تغییر در میزان Q موازنه می‌شود. در صورتی که تغییرات ذخیره (±dw) به اندازه A± تغییر کند مقدار Q به اندازه A ± تغییر می‌کند.



شکل ۱- شمای جزء به جزء ورودی‌ها و خروجی‌های آب آبخوان [۷].



نمودار ۲- شمای مؤلفه‌های اصلی بیلان آب آبخوان[۷].

- نقشه قابلیت نفوذ عمومی
- نقشه سازندهای سطحی (آبرفت‌ها، لایه‌های تخریبی (هوازده) ، واریزه‌ها، و غیره ...)
- نقشه خاک‌ها (خاک‌شناسی)
- نقشه زمین ریخت‌شناختی (ژئومورفولوژیک)
- نقشه آب‌های زیرزمینی

بیلان آب آبخوان [۸]

ورودی‌ها و خروجی‌ها در یک آبخوان مطابق شکل ۱ و نمودار ۲ بیان می‌شوند :

ورودی‌ها : P ریزش‌های جوی؛ q_s رواناب سطحی برجستگی‌های مشرف؛ q_w جریان زیرزمینی آب لایه‌های آبدار مجاور؛ I_w نفوذ مؤثر؛ I_Q نفوذ آب‌های سطحی.

خروجی‌ها و تلفات : E_r تبخیر و تعرق واقعی؛ Q_{ex} استخراج آب‌های زیرزمینی؛ Q_e تلفات در لایه‌های آبدار عمقی؛ np تراز پیزومتری.

بنابراین، فرمول بیلان آب زیرزمینی عبارت است از:

$$P+IQ+q_r+q_w+q_s=E_r+R+Q_e+Q_{ex}+q'_w+q'_s\pm d_w \quad (۹)$$

$$I_{wt}+IQ+q_r+q_w+q_s = - + - + Q_e+Q_{ex}+q'_w+q'_s\pm d_w \quad (۱۰)$$

و برای یک آبخوان تحت فشار مجزا:

$$I_w = Q_e + Q_{ex} \pm dw \quad (۱۱)$$

یادآوری می‌شود که تغذیه مستقیم بر روی منطقه تغذیه آبخوان (یعنی رخنمون‌های لایه زمین شناسی که سنگ مخزن آبخوان را تشکیل می‌دهند) انجام می‌شود.

این تغذیه شامل ریزش‌های جوی (با نفوذ مؤثر)، نفوذ آب‌های سطحی و نفوذ آب‌های برگشتی می‌باشد.

در صورت انتقال آب‌های استخراج شده به خارج از محدوده بیلان آب، پارامتر q_r از معادلات ۹ و ۱۰ حذف می‌شود.

بیلان آب در سفره‌های آبرفتی رودخانه‌ای

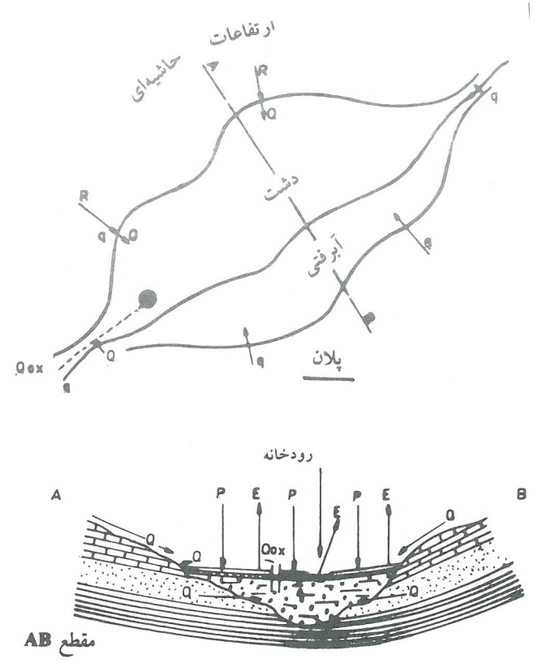
ورودی‌ها: P ریزش‌های جوی بر روی پهنه دشت آبرفتی رودخانه‌ای (تغذیه مستقیم)؛ q، واردات غیر مستقیم توسط روند آب ارتفاعات حاشیه‌ای، بده‌های آب زیرزمینی و فروریزی زیرزمینی آب لایه‌های آبدار مجاور.

خروجی‌ها و تلفات : E تبخیر و تعرق واقعی؛ Q_{ex} استخراج آب‌های زیرزمینی با انتقال آب به خارج از محدوده بیلان آب (شکل ۲).

بیلان آب زیرزمینی در سازندهای سخت

بیلان آب زیرزمینی در سازندهای سخت همانند بیلان در سازندهای آبرفتی متکی بر مطالعات زمین شناختی و آب شناختی مفصل و دقیق می‌باشد. ساختارهای هیدروژئولوژیک سازندهای سخت، مخازن طبیعی زیرزمینی هستند که تنظیم کننده عایدات آبی می‌باشند. معادله بیلان عبارت است از :

$$P = E_r + R + Q_e + Q_{ex} \pm d_w \quad (۱۲)$$



شکل ۲- مؤلفه‌های بیلان لایه آبدار (آبخوان) آبرفت رودخانه‌ای [۷].

توصیه‌های کلی برای برقراری بیلان آب

در امر برقراری بیلان، رعایت نکات زیر قویاً توصیه می‌شود :

- عدم به کار گیری واژه درصد : درصد نفوذ یا درصد رواناب، برای مثال قاعده $\frac{1}{3}$: $\frac{1}{3}$ نفوذ، $\frac{1}{3}$ رواناب، $\frac{1}{3}$ تبخیر و تعرق واقعی و یا ۴۰٪ نفوذ در آهک و غیره.

برای مثال، نفوذ عبارت است از ارتفاع تیغه آب (بر حسب میلی‌متر) و مازاد میزان آبی است که به صورت تبخیر و تعرق واقعی و روند آب مصرف شده است. از آنجا که دو جزء اخیر در زمان و در مکان پراکندگی از خود نشان می‌دهند، عبارت درصد فاقد هرگونه واقعیت علمی می‌باشد.

کلیه دقت‌های ممکن در تعیین کمی اجزای بیلان به عمل آید. در این راستا، داده‌های اصلی، مانند باران سنجی و رواناب به دقت شناخته شوند. نباید به میانگین‌های عددی اکتفا شود. لذا لازم است از روش‌های تطبیقی شامل سطح سنجی (پلانیمتری) همبارش‌ها (به ویژه در مناطق ناهموار)، منحنی های تجمعی، منحنی دبی‌های طبقه‌بندی شده، منحنی‌های فراوانی و به طور کلی تحلیل‌های آماری استفاده شود. در تعیین میزان تبخیر و تعرق واقعی و نفوذ مؤثر دقت شود. این امور با اندازه‌گیری میزان آنها توسط تبخیر سنج (نوع پیچ[1]) یا طشت‌های تبخیر سنج و نوسانات تراز پیزومتری میسر است.

از دقت‌های غلط و شبهه آور ارقام و برآوردها اجتناب شود. در انجام هر عملی میزان خطاها محاسبه شوند. ارقام اعشاری کلاً حذف شوند، لذا، برای مثال ۱۵/ P=۱۱۸ به P=۱۱۸ تغییر می‌کند. گاه حتی واحدها به صورت ده تایی کمتر یا بیشتر گرد می‌شوند؛ لذا، میلی‌متر p=۱۲۰ عبارتی محتاطانه و صحیح‌تر است. در صورت عدم اطمینان از ارائه ارقام درست، بهتر است حدود تغییرات محتمل آنها قید شود، برای مثال p بین ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر. به اندازه‌گیری‌های مستقیم نسبت به برآوردهای حاصله توسط فرمول‌های تجربی اولویت داده شود. ترجیحاً عبارات حجمی (و به طور کلی مترمکعب بر سال) به کار روند.

[1] Piche

نقشه ۱- محدوده بیلان آب آبخوان دشت برخوار.

قبل از درج اختلاف بین واردات و مصارف، و مشخص نمودن تغییر ذخیره، لازم است حدود اشتباهات در محاسبه مؤلفه‌های اصلی بیلان بررسی شود. بدیهی است که تغییر ذخیره می‌بایست از حدود مذکور بزرگتر باشد.

در تدوین جداول و عبارات بیلان به سادگی برخورد شود. رعایت عوامل ثانویه، مثلاً در نظر گرفتن تغییرات ذخیره رطوبتی خاک در منطقه تهویه و یا تغییر ذخیره برف و یخچال‌های مشرف به حوضه آبریز (که معمولاً در بیلان‌های درازمدت از آنها صرف‌نظر می‌شود) بی فایده است. در واقع با توجه به دقت نسبی داده‌های اصلی بیلان آب، مد نظر قرار دادن عوامل ثانویه مذکور بی‌مورد می‌باشد؛ به علاوه برآورد آنها اغلب بسیار دشوار می‌باشد. در نهایت می‌توان مقادیر این پارامترها را که از طریق تجسس به دست آمده‌اند مد نظر قرار داد.

بیلان آب آبخوان دشت برخوار اصفهان

الف- محدوده بیلان

محدوده بیلان با توجه به پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری مشخص شده است (نقشه ۱).این گستره از شمال به ارتفاعات جعفرآباد و کوه دمبلینی، از شرق به خط تقسیم دشت کوهپایه سگزی و دشت برخوار، از جنوب به شهر اصفهان و از غرب به ارتفاعات موجود محدود شده است. وسعت این محدوده ۱۸۱۳/۶ کیلومترمربع می‌باشد.

ب- دوره بیلان

در این مطالعه، دوره بیلان سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ در نظر گرفته شده و کلیه مؤلفه‌های بیلان آب در این دوره مد نظر قرار گرفته‌اند[۷].

ج- معادلات بیلان

با احتساب حجم کل آب‌های وارده به سیستم دشت- آبخوان خارج شده از آن، تغییرات ذخیره آبخوان محاسبه شده است:

$$P+q+q_r = D_{p+q}+Q_{ex}+(\pm\Delta R) \qquad (۱۳)$$

با انتقال q_r به سمت راست معادله (۱۳):

$$P+q = D_{p+q}+(Q_{ex}-qr)+(\pm\Delta R) \qquad (۱۴)$$

با توجه به این که :

$$Q_{ex}-q_r=D_{ex}\ (R=0) \qquad (۱۵)$$

پس:

$$P+q = D_{p+q}+D_{ex}+(\pm\Delta R) \qquad (۱۶)$$

از آنجا که :

$$D_{p+q} + D_{ex} = DT \qquad (۱۷)$$

پس :

$$P+q = DT+ (\pm\Delta R) \qquad (۱۸)$$

و بالاخره :

$$P+q - DT= (\pm\Delta R) \qquad (۱۹)$$

شرح مؤلفه‌ها :

P : ریزش‌های جوی، q: آب ورودی به دشت و آبخوان دشت (آب‌های سطحی و زیرزمینی)، q_r : آب‌های برگشتی (شامل آب‌های مصرفی کشاورزی و فاضلاب‌های شهری وصنعتی)، D_{p+q} : تبخیر و تعرق واقعی حاصل از p+q، Q_{ex} : آب برداشتی از آبخوان (پمپاژ)، $\pm\Delta R$: تغییر ذخیره مخزن آبخوان، D_{ex} : تبخیر و تعرق واقعی آب پمپاژ شده D_T تبخیر و تعرق واقعی کل.

به استثنای مؤلفه q، مابقی عناصر شرکت کننده در معادله بیلان آب قبلاً توضیح داده شده‌اند.

مؤلفه q : آب‌های ورودی به دشت و آبخوان دشت شامل آب‌های سطحی و زیرزمینی

الف- آب‌های سطحی وارده به دشت شامل :

q_c: آب وارده به دشت توسط کانال آبرسانی (آب وارده از خارج محدوده بیلان)

q_s: آب سطحی وارده به دشت از آبریزهای مشرف به دشت (حوضه آبریز)

ب- q_w: آب‌های زیرزمینی وارده به آبخوان از آبخوان‌های مجاور.

برآورد q_s :

میزان q_s با استفاده از فرمول زیر برآورده شده است [۳و ۹]:

$$q_s = A.P.C \qquad (۲۰)$$

A : مساحت محدود به ارتفاعات حاشیه دشت که در حوضه قرار دارند. کیلومترمربع $A=۴۲۰/۹$

P : ریزش‌های جوی (بارندگی) میلی‌متر $P=۱۰۳$

C : ضریب رواناب[۳] $C =٪۲۰$

$q_s = ۴/۸$ میلی‌متر

$q_s = ۴۲۰/۹ \times ۱۰^{۶} \times ۰/۱۰۳ \times ۰/۲ = ۸/۷$

میلیون مترمکعب

برآورد q_w:

میزان q_w بر اساس مقاطع جریان زیرزمینی ورودی و با استفاده از فرمول‌های زیر حاصل شده است:

$$q_i = T_i\, w_i\, I_i \qquad (۲۱)$$

$$q_w=\sum_{i=1}^{n} qi \qquad (۲۲)$$

$q_w=۱۳۴\times۱۰^{۶}$مترمکعب (میلی‌متر ۷۳/۸)

T_i: قابلیت انتقال به مترمربع بر روز، W_i عرض مقاطع به متر و I_i شیب هیدرولیک.

برآورد $\pm\Delta R$:

تغییر ذخیره مخزن از فرمول زیر محاسبه شده است :

$$\Delta R= A.\ \Delta H.\ S_c \qquad (۲۳)$$

A : مساحت آبخوان،

ΔH : تغییر تراز متوسط آبخوان که با استفاده از انطباق نقشه‌های ایزوپیزومتری بیشینه و کمینه و تهیه نقشه هم افت ترازپیزومتری به دست آمده است.

S_c : ضریب ذخیره آبخوان.

$\Delta R = ۱۸۱۳/۶ \times ۱۰^{۶} \times (-۰/۵۹) \times ۰/۰۵ = -۵۳/۵$

(میلی‌متر ۲۹/۵-) میلیون مترمکعب

با توجه به معادله (۱۹) و جایگزین نمودن مؤلفه‌های q خواهیم داشت:

$$P + (q_c+q_s+q_w)-DT= \pm \Delta R \qquad (۲۴)$$

مقادیر پارامترها در فرمول (۲۴) بر حسب میلیمتر آب:

$P=۱۰۳$، $q_c=۵۶۸$، $q_s = ۴/۸$، $q_w=۷۳/۸$ و $\Delta R= -۲۹/۵$.

با جایگزین نمودن مقادیر پارامترها در فرمول (۲۴) برای DT خواهیم داشت:

$DT=۷۷۹/۱\approx ۷۷۹$

روش استدلالی در محاسبه نفوذ مؤثر و نرخ آب‌های برگشتی

در دشت برخوار، کل برداشت از آب زیرزمینی از طریق چاه‌ها و قنوات ۲۴۷ میلی‌متر می‌باشد. (میلیون مترمکعب $Q_{ex}=۴۴۸$) که از این میزان ۲۹/۵ میلی‌متر آن به صورت افت باقی مانده است. مابقی آب برداشت شده از آبخوان توسط بارندگی، آب وارده توسط کانال آبیاری، آب وارده از آبریزهای مشرف به دشت (حوضه آبریز)، آب برگشتی پمپاژ و آب زیرزمینی ورودی به آبخوان جبران شده است. لذا می‌توانیم نفوذ مؤثر و نرخ آن را محاسبه نماییم:

Iw = کل آب برداشت شده از آبخوان –

(تغییرات ذخیره + آب زیرزمینی ورودی)

$I_w = ۲۴۷ - (۷۳/۸۹ + ۲۹/۵) = ۱۴۳/۶$ و یا ۱۴۳ میلی‌متر $\approx$

نرخ نفوذ مؤثر یا نرخ آب‌های برگشتی به آبخوان :

$$I_w= \frac{I_w}{(P+qc+qs+Q_{ex})}$$

$$I_w = \frac{۱۴۳}{(۱۰۳ + ۵۶۸ + ۴/۸ + ۲۴۷)} \times ۱۰۰$$

I_w=۱۵/۵ درصد

نتیجه‌گیری

- توسعه بهره‌برداری از آبخوان به هیچ وجه امکان‌پذیر نمی‌باشد. بی‌توجهی به این امر صدمات جبران ناپذیری را در پی خواهد داشت.

- نظارت منظم و مستمر بر آبخوان و تنظیم ذخایر آن در حد قابل قبول ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

- با توجه به محدودیت منابع آب منطقه و صرفه‌جویی در استفاده از آب، پیشنهاد می‌شود که روش آبیاری تغییر کند (سیستم آبیاری تحت فشار مورد مطالعه و تحقیق قرار گیرد).

قدردانی و تشکر

از اداره کل امور آب استان اصفهان و سازمان آب منطقه‌ای اصفهان که اطلاعات موردنیاز این پژوهش را در اختیار قرار داده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع و مراجع:

۱- اسناد و مدارک موجود در آرشیو وزارت نیرو، امور آب، از سال ۱۳۴۲ به بعد.

۲- سازمان تحقیقات منابع آب (تماب)، ۱۳۷۵، " بولتن وضعیت منابع آب کشور" ، شماره ۱۲، ۱۸۰ ص.

۳- علیزاده، ا. ، ۱۳۷٤، " اصول هیدرولوژی کاربردی "، انتشارات آستان قدس رضوی، ٦۳٤ ص.

٤- فرهنگ فنی آبیاری و زهکشی، ۱۳۵٤، انتشارات وزارت نیرو، ۳۹۱ ص.

۵- محمودی، ح.، ۱۳۷۷، " ویژگی آبخوان شمال- شمال شرق اصفهان (منطقه بین گرگاب و کمشچه) "، پایان نامه کارشناسی ارشد آب‌شناسی، ۱۱۵ص.

6- Castany, G. (1967), *" Traite Pratique des Eaux Souterraines "*, Dunod ed , PP80 and 91-93.

7- Castany, G. (1968), *" Prospection et Exploitation des Eaux Souterraines "*, Dunod ed, PP 541-543, 557 and 602-604.

8- Castany, G. (1965), *" Etablissement du Bilan Hydrique Global des Couches Aquifers "*, Reunion A.I.H., Hanovre.

9- Turc, L. (1954), *" Le bilan d'eau des sols : Relation Entre les Precipitations, I'Evaporation et I'Ecoulement"*,I bid., PP36-44.

تصحیح :

در مجله شماره ۳۸، در مقاله " *بهینه‌یابی اقتصادی سیستم لجن فعال*" صفحه ۳۵، در قسمت " *روش تعیین توابع هزینه واحدها* " اشتباه تایپی رخ داده است که ضمن پوزش بدینوسیله تصحیح می‌گردد.

غلط $(Y=nX^b)$

صحیح $(Y=aX^b)$