

کاربرد ایزوتوپ های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریوم در برآورد سهم رودخانه ها در تغذیه آبخوان کم عمق حوضه گرگانرود قره سو

یعقوب نیک قوجق^۱، حسین محمدزاده^۲، حمیدرضا ناصری^۳

۱- دانشجوی دکترای دانشگاه شهید بهشتی تهران

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی تهران

(yaghobnick@gmail.com)

خلاصه

نمونه برداری از آب بارش، آب رودخانه و آب زیرزمینی در حوضه آبریز گرگانرود قره سو طی دو فصل خشک و تر انجام گردید و به منظور تعیین مقادیر ایزوتوپ های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریوم مورد آنالیز قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصله، خط آب جوی محلی حوضه آبریز گرگانرود قره سو در استان گلستان برای نخستین بار بصورت رابطه $\delta D = 4.476 \delta^{18}O - 3.395$ تعیین گردید و شیب کم آن با شیب خط جوی مناطق خشک جهان مطابقت نشان می دهد. در این مطالعه همچنین با استفاده از مقادیر میانگین ایزوتوبی $\delta^{18}O$ و δD میزان تغذیه آبخوان از منشاء های مختلف بررسی گردید و مشخص شد که سهم آب رودخانه ها در تغذیه آبخوان کم عمق محدوده مورد مطالعه حدود ۸۰ درصد و سهم بارش سطح دشت حدود ۲۰ درصد می باشد.

کلمات کلیدی: ایزوتوپ های پایدار، برآورد تغذیه آبخوان

۱. مقدمه

ایزوتوپ های محیطی بطور معمول در مطالعات ژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی بکار گرفته می شوند. ایزوتوپ های پایدار اکسیژن ۱۸ (^{18}O) و دوتریوم (D) در آب بطور گسترده بعنوان ردیابهای طبیعی در درک فرآیندهای هیدروژئولوژیکی نظیر بارش، تغذیه آب زیرزمینی، ارتباط بین آبهای سطحی و زیرزمینی و هیدروژئولوژی حوضه آبریز مورد استفاده قرار می گیرند.

ترکیب ایزوتوپ های پایدار ^{18}O و D آب در طبیعت تقریباً مشابه با ترکیب آنها در آبهای جوی باقی می ماند که این به معنای ثبت شرایط اولیه تشکیل آبهای جوی است و می تواند بعنوان یک ردیاب طبیعی پایدار بکار گرفته شود. بر این اساس، بعد از جمع آوری اطلاعات آب جوی و ایزوتوپ های پایدار ^{18}O و D در آب زیرزمینی و تحلیل ساختار هیدروژئولوژیکی و جریان آب زیرزمینی در منطقه هدف، می توان شرایط نواحی تغذیه ای آب زیرزمینی و منابع مختلف تغذیه ای را تعیین کرد (Clark and Fritz, 1997). علاوه بر این، مطالعه ایزوتوپ های پایدار ^{18}O و D می تواند در شناسایی نواحی مختلف تغذیه آبخوان به ما کمک کند. در این مطالعه سعی گردید تا با نمونه برداری و آنالیز ایزوتوپ های پایدار ^{18}O و D آب باران، رودخانه و آب زیرزمینی ضمن مشخص نمودن معادله خط آب جوی محدوده مورد مطالعه، سهم رودخانه ها در تغذیه آبخوان کم عمق استان گلستان تعیین گردد.

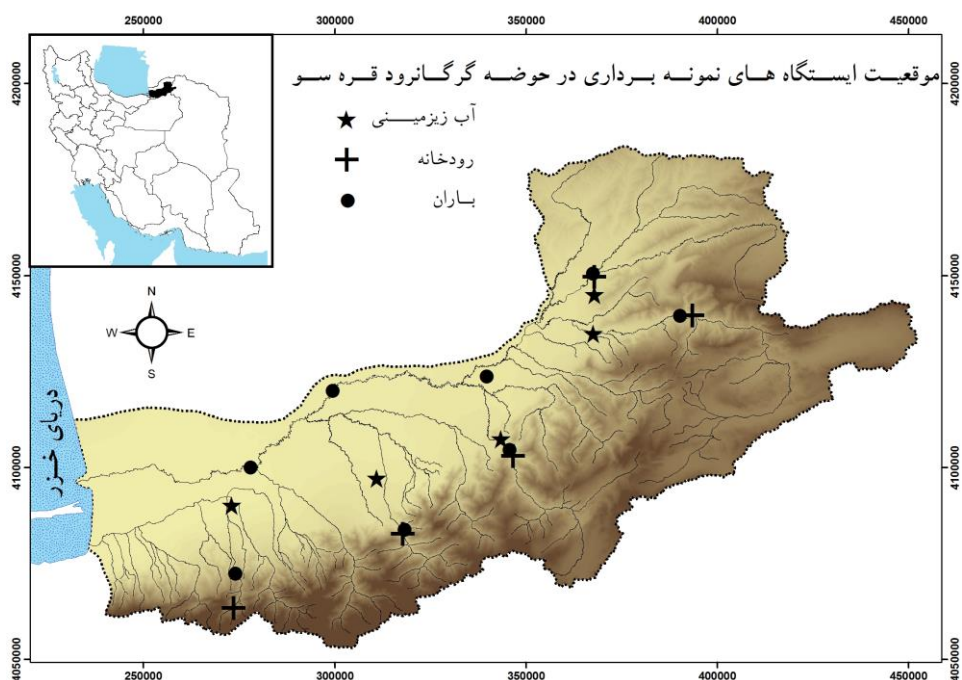
۲. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل حوضه آبریز درجه دو گرگانرود قره سو می باشد که بخش عمده ای از وسعت استان گلستان را شامل شده و حدوداً بین عرض های جغرافیایی $36^{\circ} 40'$ تا $37^{\circ} 30'$ شمالی و طول های جغرافیایی $53^{\circ} 50'$ تا $55^{\circ} 38'$ شرقی واقع شده است. تغییرات ارتفاع در این حوضه بطور تقریبی از ۲۷- متر تا ۳۸۰۰ متر است و ارتفاع متوسط آن حدود ۴۹۲ متر می باشد.

در دوره ۴۰ ساله منتهی به سال آبی ۸۵-۸۴ دمای متوسط سالانه منطقه مورد مطالعه ۱۶/۷ درجه سانتی گراد می باشد و حداقل دمای ماهانه در بهمن ماه برابر با ۶/۶۳ درجه سانتی گراد و حداکثر دمای ماهانه در مرداد ماه برابر ۲۷/۳۵ درجه سانتی گراد می باشد. متوسط بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه ۵۰۴ میلی متر می باشد. ماه بهمن با ۶۴/۵ میلی متر بارندگی پر بارانترین ماه و ماه خرداد با ۱۶/۳۳ میلی متر بارندگی کم بارانترین

ماه سال می باشد. متوسط سالانه تبخیر واقعی در منطقه مورد مطالعه برابر ۱۳۵۷ میلی متر می باشد که کمترین تبخیر در ماه دی به میزان ۳۷/۴ میلی متر و بیشترین تبخیر در ماه مرداد به میزان ۲۱۶/۴ میلی متر است (شرکت آب منطقه ای گلستان، ۱۳۸۸).

تنوع جغرافیایی استان گلستان از نواحی کوهستانی تا نواحی پست ساحلی خزر و مجاورت با بیابان قره قوم باعث تنوع اقلیمی از مناطق نیمه مرطوب در بخش جنوبی تا مناطق نیمه خشک در شمال استان شده است. با توجه به این تنوع جغرافیایی، کوچکترین تغییرات در بارش و سیستم های باران زای استان، اثرات مشهودی بر منابع آب استان دارد. آبخوان استان گلستان بصورت نواری در بخش میانی استان از حاشیه دریای خزر تا محدوده شهر کلاله بطول حدود ۱۲۰ کیلومتر و عرض حدود ۲۰ کیلومتر امتداد دارد. این آبخوان از لحاظ وسعت و توان آبدهی دارای شرایط هیدروژئولوژی خوبی است و بخش اعظم نیازهای شرب و حدود ۶۵ درصد از مصارف کشاورزی منطقه را تامین می کند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز گرگانرود قره سو و نقاط نمونه برداری آب

۳. روش انجام کار

نمونه برداری از آب باران، رودخانه و آب زیرزمینی در استان گلستان طی دو مرحله در فصل تر (پاییز و زمستان ۱۳۹۳) و فصل خشک (تابستان ۱۳۹۴) به تعداد ۳۷ نمونه انجام گردید. جمع آوری نمونه های آب باران در ایستگاه های باران سنجی منتخب و نمونه های آب رودخانه در محل ایستگاه های آبسنجی منتخب و نمونه های آب زیرزمینی از تعدادی از چاه های صنعتی فعال با عمق کمتر از ۵۰ متر در محدوده مورد مطالعه انجام شد و نمونه های آب در بطری های پلی اتیلنی ۳۰ میلی لیتری جمع آوری و به منظور انجام آنالیز به کشور کانادا ارسال گردید. نمونه های جمع آوری شده در آزمایشگاه آبشناسی ایزوتوپی دانشگاه اتاوا کانادا بروش طیف سنجی جرمی نسبت ایزوتوپی (IRMS) مورد آنالیز قرار گرفتند. دقت انجام آزمایش برای $\delta^{18}\text{O}$ برابر ۰/۱۵ پرمیل (per mil) و برای δD برابر ۲ پرمیل (per mil) می باشد.

در این مطالعه ابتدا خط آب جوی محدوده مورد مطالعه تعیین گردید و سپس بر اساس نتایج آنالیز مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ و δD در نمونه های جمع آوری شده به بررسی ارتباط بین بارندگی و آب زیرزمینی پرداخته شد.

جدول ۱- پارامترهای اندازه گیری شده

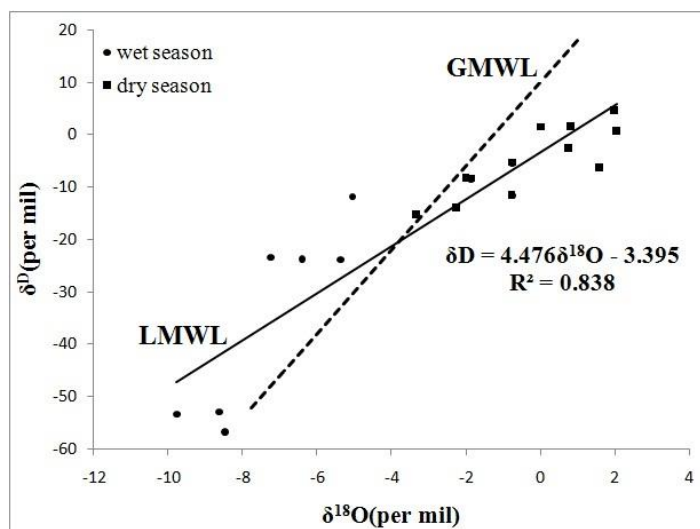
Season	Type	$\delta D(\text{per mil})$	$\delta^{18}O(\text{per mil})$
Wet	Precipitation	-53.29	-9.78
Wet	Precipitation	-23.43	-7.24
Wet	Precipitation	-56.73	-8.49
Wet	Precipitation	-23.68	-6.4
Wet	Precipitation	-52.85	-8.64
Wet	Precipitation	-11.81	-5.04
Wet	Precipitation	-23.84	-5.36
Wet	River	-38.28	-7.99
Wet	River	-64.22	-9.54
Wet	River	-67.53	-9.69
Wet	River	-54.49	-8.72
Wet	River	-66.87	-10.06
Wet	Groundwater	-46.89	-8.41
Wet	Groundwater	-50.76	-7.19
Wet	Groundwater	-42	-7.03
Wet	Groundwater	-53.77	-8.51
Wet	Groundwater	-47.86	-6.54
Dry	Precipitation	-6.27	1.597
Dry	Precipitation	-13.96	-2.249
Dry	Precipitation	-5.34	-0.748
Dry	Precipitation	-11.63	-0.755
Dry	Precipitation	0.73	2.062
Dry	Precipitation	-8.21	-1.983
Dry	Precipitation	-15.32	-3.328
Dry	Precipitation	1.49	0.019
Dry	Precipitation	-2.56	0.768
Dry	Precipitation	1.54	0.825
Dry	Precipitation	4.68	2.005
Dry	Precipitation	-8.39	-1.847
Dry	Groundwater	-57.18	-8.039
Dry	Groundwater	-46.46	-5.535
Dry	Groundwater	-59.64	-8.82
Dry	Groundwater	-44.47	-5.424
Dry	Groundwater	-56.75	-7.413
Dry	River	-52.76	-7.05
Dry	River	-66.74	-8.925
Dry	River	-59.26	-8.137

۴. ترکیب ایزوتوپی بارندگی

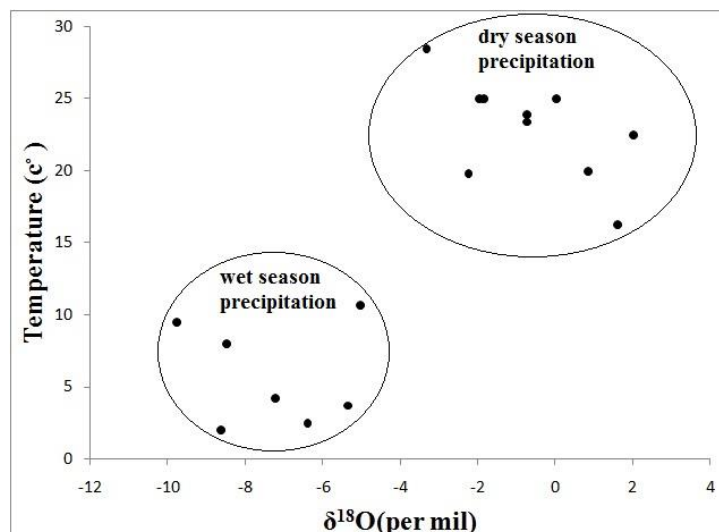
ترکیب ایزوتوپ های پایدار ^{18}O و D آب باران بر روی نمودار ترسیم گردید (شکل ۲) و رابطه زیر با همبستگی خوبی بدست آمد:

$$(1) \delta D = 4.476 \delta^{18}O - 3.395 \quad R^2 = 0.838$$

رابطه فوق بیانگر خط بارندگی محلی (LMWL) در استان گلستان می باشد که در آن δD و $\delta^{18}O$ به ترتیب مقادیر ایزوتوپ های دوتریوم و اکسیژن ۱۸ بر حسب پرمیل (per mil) می باشد. خط بارندگی محلی نسبت به خط بارندگی جهانی (GMWL) با شیب برابر با ۸، دارای شیب متفاوت می باشد که این امر نشان دهنده تاثیر شرایط محلی و منطقه ای بر روی ترکیب بارندگی است. همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می گردد خط بارندگی محلی دارای شیب کمتری بوده و این امر بیانگر وقوع پدیده تبخیر ثانویه و تغییرات فصلی بارندگی می باشد (Clark and Fritz, 1997). میانگین مقادیر $\delta^{18}O$ و δD آب بارندگی به ترتیب برابر $2/9 -$ و $16/2 -$ پرمیل می باشد. مقادیر ایزوتوپی بارش های محدوده مورد مطالعه در فصل خشک بیشتر (غنی تر) از فصل تر بوده و نشاندهنده تاثیر افزایش دما در این فصل است (شکل ۳).



شکل ۲- رابطه بین $\delta^{18}\text{O}$ و δD و معادله خط آب جوی برای بارش های استان گلستان



شکل ۳- تغییرات مقادیر ایزوتوپ پایدار $\delta^{18}\text{O}$ بارش های استان گلستان با دمای متوسط هوا

۵. ترکیب ایزوتوپی آب رودخانه ها

آب های جاری در رودخانه ها بر اساس زمان ورود به مجرای رودخانه پس از واقعه بارندگی شامل سه جزء اصلی است که شامل رواناب سطحی، جریان زیرسطحی و آب زیرزمینی (جریان پایه) می باشد. تفاوت بین زمان ورود جریان زیر سطحی و رواناب ها در یک واقعه بارش در حد چند ساعت بوده و بنابر این هر دو مربوط به واقعه بارش اخیر هستند و دارای ترکیب ایزوتوپی مشابه می باشند. بنابر این از دیدگاه ترکیب ایزوتوپی، آب رودخانه را می توان ترکیبی از رواناب و آب زیرزمینی دانست که رواناب شامل مجموع جریان زیرسطحی و رواناب سطحی می باشد (Lu et al., 2006). میانگین مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ و δD آب رودخانه به ترتیب برابر -۸‰ و -۵۸‰ پرمیل می باشد و دامنه تغییرات مقادیر ایزوتوپی آب رودخانه در فصول خشک و تر نسبتاً کم بوده و نسبت به میانگین مقادیر ایزوتوپی آب بارندگی بسیار کمتر (نهی تر) می باشد. این امر نشان می دهد که آب رودخانه عمدتاً از منشاء بارندگی های ارتفاعات بالادست حوضه آبریز می باشد.

۶. ترکیب ایزوتوپی آب زیرزمینی

میانگین مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ و δD آب زیرزمینی به ترتیب برابر $7/3 -$ و $50/5 -$ پرمیل می باشد و دامنه تغییرات مقادیر ایزوتوپی آب زیرزمینی در فصول خشک و تر نسبتاً کم بوده و نسبت به میانگین مقادیر ایزوتوپی آب بارندگی بسیار کمتر (تهی تر) و نسبت به مقادیر ایزوتوپی آب رودخانه اندکی بیشتر (غنی تر) است.

۷. موازنه جرمی ترکیب ایزوتوپی آب زیرزمینی

ترکیب مقادیر ایزوتوپی $\delta^{18}\text{O}$ و δD در آبهای جوی برای درک فرآیند تغذیه آبهای زیرزمینی از اهمیت فراوانی برخوردار است. ترکیب ایزوتوپی آب زیرزمینی معادل میانگین وزنی منشاء تغذیه نظیر ترکیب ایزوتوپی سالانه آب بارش و رودخانه است. از این رو، انحراف نسبت ایزوتوپی آب زیرزمینی از نسبت ایزوتوپی آب بارش قابل انتظار است. آب زیرزمینی در حوضه آبریز از طریق بارش بر روی دشت و همچنین از طریق زهکشی روانابهای مناطق کوهستانی توسط رودخانه های حوضه، تغذیه می شود. در مطالعات بیلان آب حوضه های آبریز، تعیین میزان دقیق نسبت تغذیه آبخوان از رودخانه ها و بارش سطح دشت اهمیت زیادی دارد.

ترکیب ایزوتوپ های پایدار آب زیرزمینی وابسته به ترکیب مقادیر ایزوتوپی $\delta^{18}\text{O}$ و δD و نسبت حجمی تغذیه از هر یک از منشاء های تغذیه آبخوان می باشد. با استفاده از تحلیل موازنه جرمی برای ترکیب های مقادیر ایزوتوپی $\delta^{18}\text{O}$ و δD ، درصد های تغذیه آبخوان از هر یک از منشاء های تغذیه ای را می توان برآورد نمود. در این مطالعه، اختلاط بین منشاء های مختلف تغذیه ای آبخوان با استفاده از معادله جبری خطی ساده ای تعیین می شود که بصورت زیر تعریف می گردد (Yeh et al., 2009):

(2)

$$C(V_A + V_B) = AV_A + BV_B$$

$$C = A \frac{V_A}{V_A + V_B} + B \frac{V_B}{V_A + V_B} = A(1 - X) + BX$$

که در آن عبارات A و B و C به ترتیب بیانگر مقدار ایزوتوپ پایدار در آب بارندگی و آب رودخانه و آب زیرزمینی است. عبارت های V_A و V_B به ترتیب مقدار حجمی تغذیه از آب بارندگی و آب رودخانه می باشد. عبارت X نسبت تغذیه از آب رودخانه و عبارت $(1-X)$ نسبت تغذیه از بارش سطح دشت می باشد.

محاسبه نسبت تغذیه آبخوان از رودخانه ها و بارش سطح دشت با بکارگیری معادله شماره ۲ هم بر اساس میانگین مقادیر ایزوتوپی $\delta^{18}\text{O}$ و هم بر اساس میانگین مقادیر ایزوتوپی δD در آب بارش، آب رودخانه ها و آب زیرزمینی انجام گردید. بر اساس مقادیر ایزوتوپی $\delta^{18}\text{O}$ نتایج بدست آمده نشان دهنده سهم ۷۶ درصدی آب رودخانه ها و سهم ۲۴ درصدی بارش سطح دشت در تغذیه آبخوان می باشد. بر اساس مقادیر ایزوتوپی δD سهم رودخانه ها در تغذیه آبخوان برابر ۸۰ درصد و سهم بارش سطح دشت برابر ۲۰ درصد می باشد.

۸. نتیجه گیری

بر اساس نمونه برداری از آب بارش، آب رودخانه و آب زیرزمینی در حوضه آبریز گرگانرود قره سو و تعیین مقادیر ایزوتوپ های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریوم نمونه های جمع آوری شده، خط آب جوی محلی استان گلستان برای نخستین بار بصورت رابطه $\delta\text{D} = 4.476 \delta^{18}\text{O} - 3.395$ تعیین گردید و شیب کم آن با شیب خط جوی مناطق خشک جهان مطابقت نشان می دهد. همچنین با استفاده از مقادیر میانگین ایزوتوپی $\delta^{18}\text{O}$ و δD میزان تغذیه آبخوان از منشاء های مختلف بررسی گردید و مشخص شد که سهم آب رودخانه ها در تغذیه آبخوان کم عمق استان گلستان حدود ۸۰ درصد و سهم بارش سطح دشت حدود ۲۰ درصد می باشد و آب رودخانه عمدتاً از منشاء بارندگی های ارتفاعات بالادست حوضه آبریز می باشد. بنابراین لازم در برنامه ریزی های آبی منابع و مصارف آب حوضه گرگانرود قره سو به منظور حفاظت کمی و کیفی منابع آب سطحی در ارتفاعات حوضه آبریز گرگانرود قره سو که نقش عمده ای در تغذیه آبخوان دارد توجه ویژه ای در نظر گرفته شود.



۹. مراجع

کریمی، ح. (۱۳۹۲). "بررسی ترکیب ایزوتوپیهای پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریوم در بارشهای زاگرس غربی." نخستین همایش ملی کاربرد ایزوتوپ های پایدار، مشهد.

شرکت آب منطقه ای گلستان، (۱۳۸۸). "گزارش بهنگام سازی مطالعات منابع آب حوضه آبریز رودخانه های گرگانود و قره سو."

Clark, I., & Fritz, P. (1997). Environmental Isotopes in Hydrogeology. CRC Press. ISBN 1-56670-249-6.

Lu, H.Y., Peng T.R., Liu T.K., Wang C.H. and Huang C.C. (2006) Study of stable isotops in the Hsinchu-Miaoli area, Taiwan. Environ. Geol., 50(7), 885-898.

Yeh H.F., Lee C.H., Hsu K.C., Chang P.H. and Wang C.H. (2009). Journal of Environ. Eng. Manage., 19(4), 185-191.