

استفاده از روش موازنه جرم ایزوتوپ برای تعیین نسبت تبخیر به تعرق جهت انتخاب مناسب‌ترین

تاریخ کاشت

رایحه میرخانی^{۱*}، محمد سجاد قوامی^۲، ناصر خالق پناه^۳

۱. پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی: ۳۱۴۸۵-۴۹۸، کرج- ایران.

۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، صندوق پستی: ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱، اصفهان - ایران.

۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، صندوق پستی: ۶۶۱۷۷۱۵۱۷۵، سنندج - ایران.

چکیده

تبخیر باعث غنی شدن $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ در آب موجود در سطح خاک و تخلیه در بخار خروجی می‌شود، در حالی که فرآیند تعرق اثر معنی‌داری بر تفکیک $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ ندارد. این امر سبب می‌شود، اثر ایزوتوپی تبخیر از تعرق متفاوت باشد. دو روش ایزوتوپی، موازنه جرم ایزوتوپ (IMB) و کیلینگ پلات برای تفکیک تبخیر و تعرق توسعه یافته‌اند. در مقایسه با کیلینگ پلات، موازنه جرم ایزوتوپ یک تکنیک ساده برای تخمین شار متوسط زمانی تبخیر و تعرق در شرایط مزرعه است، با این حال نتیجه آن تنها یک تخمین متوسط زمانی از تبخیر خاک برای یک دوره معین می‌باشد. هدف از این مطالعه تنظیم تاریخ کاشت برای گندم زمستانه در منطقه شرق اصفهان (رودشت) با استفاده از روش موازنه جرم ایزوتوپ با توجه به اثرات تغییرات آب و هوایی بود. این مطالعه نشان داد در صورتی که زمان کاشت گندم زمستانه در این منطقه در ابتدای ماه نوامبر باشد، در مقایسه با زمان کاشت در ماه اکتبر یا دسامبر عملکرد بیولوژیکی و دانه گندم را افزایش می‌دهد. این امر احتمالاً به دلیل تاج پوشش بهتر محصول بوده که بر میزان تعرق و در نتیجه عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد.

کلید واژه‌ها: تبخیر، تبخیر و تعرق، موازنه جرم ایزوتوپ، زمان کاشت.

Using isotope mass balance method to determine the evaporation to evapotranspiration ratio for adjusting planting date

R. Mirkhani^{1*}, M. S. Ghavami², N. Khaleghpanah³

1. Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), P.O. Box 31485498, Karaj, Iran.

2. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, P.O. Box: 8415683111, Isfahan, Iran.

3. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, P.O. Box: 6617715175, Sanandaj, Iran.

Abstract

Evaporation (E) causes enrichment of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ in the near surface soil water and depletion in the emitted vapour, while transpiration (T) does not cause significant fractionation of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$. This makes the isotopic signatures of evaporation and transpiration different. Two isotopic methods to separate E and T have been developed, including isotope mass balance (IMB) and Keeling Plot. Compared to Keeling Plot, IMB is relatively simple technique for assessing time-averaged fluxes of E and T under field condition. However, its result is only a time-averaged estimation of soil evaporation for a given period within the entire crop. The objective of this study was adjusting planting date for winter wheat by isotope mass balance method due to the effects of climate change in the east of Isfahan (Rudasht). The study showed that winter wheat obtained higher biomass and grain yield in Rudasht when planted in early November than that in October or December. This was likely due to the better crop canopy cover that affects the rate of transpiration and consequently biological yield and grain yield accumulation.

Keywords: Evaporation, Evapotranspiration, Isotope Mass Balance, Planting date.

¹ rmirkhani@aeoi.org.ir

۱. مقدمه

برآورد میزان تبخیر مستقیم از خاک و تعرق از گیاه برای درک واکنش تولید محصول به ورودی‌های آبیاری یا بارندگی ضروری می‌باشد. تبخیر مستقیم از خاک به معنی از دست دادن آبی می‌باشد که در تولید موثر نیست. استراتژی‌های مدیریت بر حداقل رساندن از دست رفتن آب بصورت تبخیر به نفع تولید از طریق استفاده در تعرق تمرکز دارند. در کشاورزی انتظار می‌رود آب آبیاری و یا آب باران تا آنجا که ممکن برای تولید زیست توده محصول مورد استفاده قرار گیرد. هر نوع از دست دادن آب از خاک که به طور مستقیم مربوط به رشد محصول نباشد، مانند تبخیر (E)، زهکشی و رواناب، باید کاهش یابد. از دست دادن آب از خاک به هوا (تبخیر) از طریق یک تغییر فاز، یک فرآیند طبیعی است و به راحتی از تعرق گیاه (T) که فرآیند دیگر از دست دادن آب به شکل گازی است، در شرایط مزرعه قابل تمایز نمی‌باشد. با این حال، به منظور بررسی اثر شیوه‌های زراعی ابتدا باید تبخیر از تعرق تفکیک شود [۱-۲].

تبخیر و تعرق، اثر ایزوتوپی متفاوتی بر مولکول آب دارند. در فرآیند تبخیر از سطح خاک در زمان تغییر فاز از مایع به بخار، تغییر دیگری نیز در آب مایع رخ می‌دهد: تفکیک ایزوتوپ‌های ^{18}O و ^2H . با توجه به تفاوت خیلی کوچکی که در سرعت انتشار و انرژی تبخیر در میان مولکول‌های $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ ، $^2\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$ ، $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ ، $^2\text{H}_2^{16}\text{O}$ ، $^2\text{H}^1\text{H}^{18}\text{O}$ و $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ می‌باشد، میزان غنی شدن ^{18}O و ^2H در آب مایع باقی مانده و بخار ساطع شده در فرآیند تبخیر متفاوت است و به اصطلاح تفکیک ایزوتوپی رخ داده است. در نتیجه فرآیند تبخیر از خاک هم محتوی آب خاک و هم ترکیب ایزوتوپی آب خاک را تغییر می‌دهد. در مقابل، در فرآیند تعرق که به معنی از دست دادن آب از طریق روزنه و کوتیکول می‌باشد، ایزوتوپ‌های آب خاک را در شرایط ماندگار تفکیک نمی‌کند و در بیشتر موارد این اتفاق می‌افتد. بنابراین، تحت شرایط عمومی، ترکیب ایزوتوپی شار خروجی، یا همان بخار جابه‌جا شده در اثر تعرق، مشابه شار ورودی و یا آب ساقه است که از آب خاک حاصل شده است. این تفاوت در تفکیک ایزوتوپی بین تبخیر و تعرق اساس روش ایزوتوپی تفکیک تبخیر از تعرق است [۳-۴].

به طور کلی، دو روش ایزوتوپی برای تفکیک تبخیر و تعرق توسعه یافته‌اند، موازنه جرم ایزوتوپ (IMB) و کیلینگ پلات. در مقایسه با کیلینگ پلات، موازنه جرم ایزوتوپ یک تکنیک ساده برای تخمین شار متوسط زمانی تبخیر و تعرق در شرایط مزرعه است [۵-۶]. موازنه جرم ایزوتوپی یک روش ساده برای تفکیک تبخیر از تعرق می‌باشد، زیرا بر پایه تعادل جرمی مقدار (جرم) و ایزوتوپ‌های آب است. در ضمن، در عمل نیز ساده می‌باشد و می‌تواند برای طرح‌های آزمایشی در مزرعه استفاده شود، چرا که ترکیب ایزوتوپی بخار آب که کار دشواری در مزرعه می‌باشد اندازه‌گیری نمی‌شود. با این حال، نتیجه آن تنها یک تخمین متوسط زمانی از تبخیر خاک برای یک دوره معین می‌باشد [۱].

تفکیک اجزای تبخیر و تعرق در گندم زمستانه و ذرت بهاره طی تحقیقی در چین طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ با استفاده از موازنه جرم ایزوتوپی صورت گرفت. در این مطالعه مقایسه مالچ و پوشش (filming) در سطح خاک جهت به حداقل رساندن تلفات تبخیر خاک در آبیاری شیاری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سهم تبخیر از خاک در آبیاری شیاری با پوشش در گندم زمستانه حدود ۲۲ درصد از کل تبخیر و تعرق را شامل شده است. در مراکش، یک مطالعه با استفاده از کیلینگ پلات در اواخر بهار در گندم زمستانه تحت آبیاری غرقابی نشان داد که تبخیر از خاک حدود ۳۲ درصد از تبخیر و تعرق کل را شامل شده است. شبیه‌سازی با مدل AquaCrop نیز نتایج را تأیید کرد [۲].

۲. روش کار

مطالعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بصورت کرت‌های خرد شده در ۳ تکرار و در چهار سال زراعی در منطقه رودشت واقع در شرق اصفهان اجراء شد. کرت‌های اصلی ۳۵، ۵۵ و ۷۵٪ تخلیه مجاز رطوبتی و کرت‌های فرعی ارقام گندم پارسی، بم، ارگ، روشن و افق بودند. در این تحقیق از دستگاه نوترون‌متر برای اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک و تعیین زمان‌بندی تیمارهای آبیاری در فصل رشد استفاده شد.

جهت تعیین نسبت تبخیر به تعرق در سال‌های زراعی ۹۲-۹۳، ۹۳-۹۴، ۹۴-۹۵، ۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷ نمونه‌های خاک از ۸ عمق ۰-۱، ۱-۳، ۳-۵، ۵-۷، ۷-۱۰، ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۵ و ۲۵-۵۰ سانتی‌متری خاک در زمان‌های جوانه‌زنی^۲، پنجه‌زنی^۳، ساقه رفتن^۴ و مرحله آبستنی^۵ تهیه شد.

برای استخراج آب از نمونه‌های خاک جهت مطالعات ایزوتوپی از یک سیستم عصاره‌گیری متشکل از بلوک‌های حرارتی، حمام سرد، یک خنک‌کننده غوطه‌ور و دماسنج الکترونیکی برای کنترل دمای حمام سرد استفاده شده و نسبت ایزوتوپی در نمونه‌های آب آبیاری، بارندگی و عصاره‌های خاک توسط دستگاه طیف‌سنج لیزری (Picarro L1134-i) تعیین گردید.

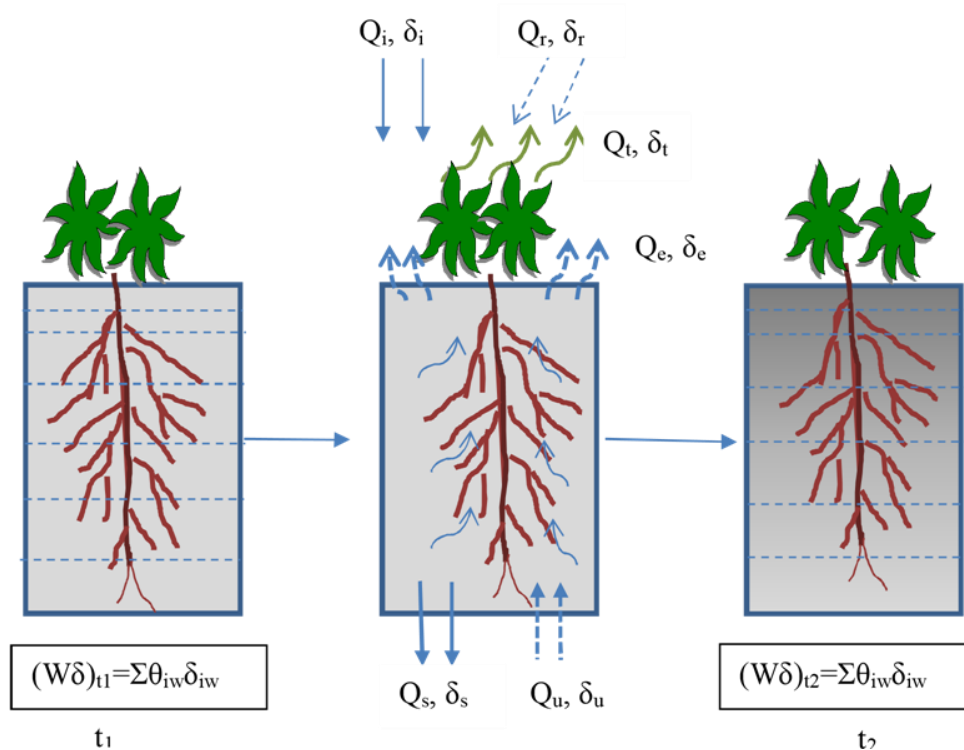
برای یک خاک مشخص با عمق خاص، مقدار و ترکیب ایزوتوپی آب (^2H و ^{18}O) در یک دوره معین در حال تعادل می‌باشند (شکل ۱) که می‌توان آن را به صورت زیر بیان کرد:

تعادل جرمی آب:

$$W_{t2} - W_{t1} = Q_i + Q_r + Q_u - Q_e - Q_t - Q_s \quad (1)$$

تعادل ترکیب ایزوتوپی آب:

$$(W\delta)_{t2} - (W\delta)_{t1} = Q_i\delta_i + Q_r\delta_r + Q_u\delta_u - Q_e\delta_e - Q_t\delta_t - Q_s\delta_s \quad (2)$$



شکل ۱. شمایی از مبانی و اصول روش موازنه جرم ایزوتوپی (IMB) جهت تفکیک تبخیر از تعرق

² Emergence

³ Tillering

⁴ Stem Elongation

⁵ Booting Stage

- W: مقدار آب خاک در یک عمق مشخص
 Q: مقدار آب داده شده یا خارج شده از خاک
 δ : ترکیب ایزوتوپی آب ($\delta^{18}\text{O}$ یا $\delta^2\text{H}$)، %
 t_1 و t_2 : زمان شروع و زمان پایان دوره مورد نظر
 i : آب آبیاری
 r : آب بارندگی
 u : جریان رو به بالای آب خاک
 e : تبخیر
 t : تعرق
 S : نفوذ عمقی

۳. نتیجه‌گیری

استفاده از تکنیک هسته‌ای و تفکیک تبخیر از تعرق در این منطقه نشان داد که بهترین زمان کشت گندم آبی (کشت غالب در منطقه) با توجه به تغییرات اقلیمی (کاهش بارندگی و افزایش دما) در فاصله زمانی ۱۰-۲۰ آبان ماه (اوایل نوامبر) می‌باشد (جدول ۱). به عبارت دیگر در صورتی که گندم در این فاصله زمانی کشت شود، بدلیل کاهش نسبت تبخیر به تبخیر و تعرق (E/ET)، بالاترین افزایش عملکرد محصول را خواهیم داشت (جدول ۲). این امر احتمالاً به دلیل تاج پوشش بهتر محصول بوده که بر میزان تعرق و در نتیجه عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد.

جدول ۱. نسبت تبخیر به تبخیر و تعرق در گندم زمستانه در منطقه رودشت اصفهان

سال زراعی	زمان کاشت	E/ET	جوانه‌زنی	پنجه‌زنی	ساقه رفتن	مرحله آبستنی	کل
۹۲-۹۳	۲۰ آذر ۹۲	E/ET دوره زمانی	۰/۳۳ ۱۰ دی ۹۲ - ۱۶ دی ۹۲	۰/۶۴ ۷ اسفند ۹۲ - ۱۳ اسفند ۹۲	۰/۴۳ ۵ فروردین ۹۳ - ۱۱ فروردین ۹۳	۰/۳۸ ۱۱ اردیبهشت ۹۳ - ۱۱ اردیبهشت ۹۳	۰/۴۴
۹۳-۹۴	۱۸ آبان ۹۳	E/ET دوره زمانی	۰/۳۷ ۲۸ آبان ۹۳ - ۴ آذر ۹۳	۰/۴۵ ۶ بهمن ۹۳ - ۱۲ بهمن ۹۳	۰/۳۰ ۱۱ اسفند ۹۳ - ۱۷ اسفند ۹۳	۰/۲۵ ۹ فروردین ۹۴ - ۱۵ فروردین ۹۴	۰/۳۴
۹۴-۹۵	۲ آذر ۹۴	E/ET دوره زمانی	۰/۳۷ ۱۱ آذر ۹۴ - ۱۷ آذر ۹۴	۰/۴۸ ۱۹ بهمن ۹۴ - ۲۵ بهمن ۹۴	۰/۳۴ ۱ فروردین ۹۵ - ۲۴ اسفند ۹۴	۰/۲۹ ۲۲ فروردین ۹۵ - ۲۸ فروردین ۹۵	۰/۳۷
۹۶-۹۷	۲۳ مهر ۹۶	E/ET دوره زمانی	۰/۴۳ ۲ آبان ۹۶ - ۸ آبان ۹۶	۰/۴۵ ۳ بهمن ۹۶ - ۹ بهمن ۹۶	۰/۳۳ ۴ اسفند ۹۶ - ۱۰ اسفند ۹۶	۰/۲۷ ۱ فروردین ۹۷ - ۷ فروردین ۹۷	۰/۳۷

• نسبت E/ET میانگین سه تیمار آبیاری است.

جدول ۲. عملکرد گندم در سال‌های مختلف زراعی در منطقه رودشت اصفهان

سال زراعی	زمان کاشت	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار)	عملکرد دانه (تن در هکتار)
۹۲-۹۳	۲۰ آذر ۹۲	۱۳/۸	۵/۱
۹۳-۹۴	۱۸ آبان ۹۳	۱۹/۴	۸/۳
۹۴-۹۵	۲ آذر ۹۴	۱۷/۶	۷/۵
۹۶-۹۷	۲۳ مهر ۹۶	۱۶/۷	۶/۳

• عملکردها میانگین سه تیمار آبیاری است.



۴. تشکر و قدردانی

این پروژه با حمایت آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و بصورت پروژه CRP به مدت ۵ سال در منطقه رودشت در شرق اصفهان اجراء شده است. بدینوسیله از حمایت‌ها و راهنمایی‌های خانم دکتر Lee Keng Heng تشکر و قدردانی می‌شود.

۵. منابع

- 1- IAEA, *Landscape Salinity and Water Management for Improving Agricultural Productivity*, final report of a coordinated research project (IAEA-TECDOC-1916, Vienna, 2020)
- 2- IAEA, *Managing irrigation water to enhance crop productivity under water-limiting conditions: a role for isotopic techniques*, final report of a coordinated research project (IAEA-TECDOC-1813, Vienna, 2017)
- 3- D.F. Ferretti et al. *Partitioning evapotranspiration fluxes from a Colorado grassland using stable isotopes: Seasonal variations and ecosystem implications of elevated atmospheric CO₂*, Plant and Soil. **55**, 254 (2003).
- 4- J.C.C. Hsieh et al. *Oxygen isotopic composition of soil water: implications for partitioning evapotranspiration*, Geoderma. **25**, 269 (1998).
- 5- D.G. Williams et al. *Components of evapotranspiration determined by stable isotope, sap flow and eddy covariance techniques*, Agricultural and Forest Meteorology. **125**, 241 (2004).
- 6- C. Zhang et al. *Partitioning field evapotranspiration fluxes by using stable oxygen isotope during different maize growth stages*, Journal of agricultural science. **4**, 11 (2012).