



تعیین لایسیمتری تبخیرتعرق و ضریب گیاهی گندم در دشت تبریز و مقایسه آن با روش پیشنهادی فائو ۵۶

ازدر عنابی میلانی^{۱*}، شیوا موسوی منش^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۹

چکیده

این مطالعه برای تعیین تبخیرتعرق و ضریب گیاهی گندم رقم الوند در طول فصل رشد در دشت تبریز توسط لایسیمتر زهکش دار و مقایسه آن با مقدار برآوردی توسط روش پنمن مانیتث FAO-56 انجام شد. مقدار تبخیرتعرق با اندازه‌گیری عوامل معادله بیلان آبی در طی چهار سال در دوره‌های ده روزه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که متوسط این کمیت در طول فصل رشد ۷۳۲ میلی‌متر بوده است که از این مقدار به طور متوسط ۱۳۲ میلی‌متر توسط بارندگی تأمین می‌گردد و بقیه (۶۰۰ میلی‌متر) باید توسط آبیاری تأمین شود. تبخیرتعرق اندازه‌گیری شده تطابق مناسبی ($R^2 = 0.92$, $NRMSE = 0.11$) با مقدار برآورد شده توسط روش پیشنهادی FAO-56 (۷۲۱ میلی‌متر) داشت. متوسط تبخیرتعرق مرجع برای طول دوره رشد گندم در یک مطالعه هم‌زمان لایسیمتری ۷۱۵ میلی‌متر اندازه‌گیری گردید که همخوانی خوبی ($R^2 = 0.98$, $NRMSE = 0.08$) با مقدار برآورد شده توسط روش پنمن-مانیتث پیشنهادی فائو (۷۴۳ میلی‌متر) داشت. مقدار ضریب گیاهی متوسط برای کل دوره رشد ۱/۰۲ محاسبه شد که به طور متوسط برای اوایل دوره رشد، اواسط دوره و دوره رشد انتهایی به ترتیب ۰/۵۴، ۱/۲۲ و ۰/۳۹ بود.

واژه‌های کلیدی: بیلان رطوبت خاک، پنمن-مانیتث، تبخیرتعرق مرجع، گندم

مقدمه

سرانه سالیانه آب در دنیا ۶۵۰۰ متر مکعب است) و از این نظر رتبه ۶۹ را در بین ۱۷۷ کشور مورد بررسی دارد (World Bank, 2013). استان آذربایجان شرقی و دشت تبریز با میانگین بارندگی به ترتیب ۲۵۰ و ۲۸۵ میلی‌متر در ناحیه نیمه‌خشک واقع شده‌اند. پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی در سطح کشور (Anonymous, 2014) نشان می‌دهد که استان‌های شمالی کشور و از جمله استان آذربایجان شرقی به شدت‌های مختلف تحت تأثیر خشکسالی قرار دارند. به علت کاهش منابع آب استان و به ویژه دشت تبریز استفاده مدبرانه از منابع آب و صرفه‌جویی آب در امر آبیاری بسیار حائز اهمیت می‌باشد. برای برنامه‌ریزی در سطح کلان، تعیین الگوی کاشت برای دشت‌های مختلف و اجرای پروژه‌های آبیاری، علاوه بر مطالعه‌های اجتماعی و اقتصادی و بررسی منابع موجود، یکی از فاکتورهای اساسی، تعیین نیاز آبی محصولات مختلف می‌باشد. چرا که تنها با آگاهی از نیاز آبی گیاهان می‌توان از منابع موجود آب استفاده بهینه و اقتصادی به عمل آورد. پژوهشگران برای ارزیابی و تعیین میزان دقت روش‌های برآورد آب مورد نیاز گیاهان، نیازمند به تعیین

تقاضای رو به رشد جهانی برای آب، استفاده بهینه از آن را به ویژه در بخش کشاورزی که به تنهایی بزرگترین مصرف کننده آب است، گریزناپذیر می‌سازد. اهمیت مدیریت منابع آب به واسطه افزایش جمعیت و تقاضای آب به ویژه در خاورمیانه که جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود، واضح و روشن است. ایران جزء کشورهایی است که دچار محدودیت‌های شدید منابع آب بوده و بحران آب در آینده کاملاً ملموس است که عمدتاً به واسطه هم‌افزایی اثرات خشکی و تقاضای روزافزون آب به ویژه در بخش کشاورزی است. سرانه آب تجدیدپذیر در کشور ۱۶۵۹ متر مکعب است (متوسط

^۱ استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
(*نویسنده مسئول: a_o_milani@yahoo.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.171004.1057

^۲ کارشناس آزمایشگاه، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

نشریه ۵۶ (Allen et al., 1998) می‌باشد. در این روش تبخیرتعرق با ترکیب تبخیرتعرق مرجع حاصل از معادله پنمن-مانتیت و ضریب گیاهی گیاه مورد نظر، برآورد می‌شود. مقایسه نتایج حاصل از روش پنمن-مانتیت و داده‌های لایسیمتری نشان‌دهنده دقت بیش‌تر نسبت به سایر روش‌های برآورد تبخیرتعرق مرجع، بوده است (Smith et al., 1992; Onnabi Milani and Neyshabouri, 2018). اهمیت گندم به دلیل ارزش راهبردی آن در کالاهای تغذیه ایرانیان است، چراکه قسمت اعظم انرژی و پروتئین دریافتی مردم ایران از طریق این گیاه تامین می‌شود. عملکرد دانه گندم تحت تأثیر شدت تنش و مرحله رشدی است که تنش در آن به وقوع پیوسته باشد (Salter and Good, 1994). مطالعات فراوانی برای تعیین نیاز آبی گندم به طور مستقیم (Singh and Handal, 1989; Farshi, 1993; Vaziri, 1993; Shariati, 1995; Razavi, 1997; Sattar, 1998; Meyer et al., 1999; Guerra and Jacomazzi, 2001) و به صورت غیر مستقیم و از روی داده‌های هواشناسی و ویژگی‌های خاک و گیاه (Doorenbos and Pruitt, 1977; Cooper, 1980; Bunyolo et al., 1985; Singh and Handal, 1989; Farshi et al., 1997) صورت گرفته و بر اساس نوع رقم و شرایط آب و هوایی، مقادیر متفاوت نیاز آبی از ۳۰۹ تا ۸۵۰ میلی‌متر به دست آمده است. کم‌ترین مقدار تبخیرتعرق فصلی ۳۰۰ تا ۳۶۰ میلی‌متر از هندوستان (Mogensen and Reedy and Bhardwaj, 1982) و دانمارک (et al., 1985) گزارش شده است. در هندوستان به علت کوتاه بودن دوره رشد و در دانمارک به علت دمای پایین در طول فصل رشد، مقادیر تبخیرتعرق پایین است. در مقابل بیش‌ترین مقدار تبخیرتعرق گیاه گندم ۸۱۸ میلی‌متر مربوط به استرالیا (Cooper, 1980) و ۸۵۰ میلی‌متر مربوط به کرج ایران (Shariati, 1995) می‌باشد. اطلاعات به دست آمده از شرایط آب و هوایی مختلف نشان داده است که برای دوره رشد نسبتاً کوتاه، تبخیرتعرق ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر در هندوستان و زامبیا (Bunyolo et al., 1985) اندازه‌گیری شده است ولی در جنوب غربی آمریکا جایی که طول دوره رشد طولانی‌تر است و مرحله توسعه رشد با دماهای بالا هم‌زمان است، تبخیرتعرق در محدوده ۶۵۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر از آریزونا (Singh and Handal, 1989) تبخیرتعرق گندم را به روش‌های مستقیم

تبخیرتعرق پتانسیل در شرایط مزرعه‌ای هستند. لایسیمتر یکی از مهم‌ترین دستگاه‌هایی است که برای تعیین دقیق نیاز آبی محصولات متداول گردید و امروزه لایسیمترهای وزنی که دقت بالایی دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. نیاز آبی محصول طبق تعریف عبارت است از عمق آب مورد نیاز برای برآورده کردن آب از دست رفته در طی تبخیرتعرق از محصول بدون بیماری که در یک مزرعه بزرگ تحت شرایط بدون محدودیت آب و عناصر غذایی خاک رشد کرده و بیش‌ترین مقدار محصول را تولید می‌کند (Doorenbos and Pruitt, 1977). تبخیرتعرق (ET) جزء کلیدی و حیاتی چرخه هیدرولوژیکی است و به صورت مجموع آب ازدست رفته از گیاه (تعرق) و سطح خاک (تبخیر) تعریف می‌شود (Rawat et al., 2017). برای به دست آوردن نیاز آبی (تبخیرتعرق گیاه) روش‌های مختلفی ابداع شده است که برخی از آن‌ها میزان تبخیرتعرق را از روی روابط نظری و تجربی برآورد می‌نمایند و برخی دیگر آن را به طور مستقیم اندازه‌گیری می‌کنند. یکی از روش‌های دقیق اندازه‌گیری تبخیرتعرق گیاه روش بیلان آبی و تعیین پارامترهای آن توسط لایسیمتر می‌باشد. تبخیرتعرق یک گیاه تابع سه عامل اصلی شرایط آب و هوایی، ویژگی‌های گیاه و شرایط محلی و عملیات زراعی (مدیریت مزرعه) می‌باشد (Doorenbos and Pruitt, 1977). در شرایط مدیریت بهینه برای رسیدن به بیشینه مقدار محصول (تغذیه مناسب گیاهی، رطوبت کافی ناحیه ریشه، عدم محدودیت عوامل بازدارنده مانند شوری، آفات، بیماری و غیره) تنها دو عامل شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های گیاه تعیین کننده نیاز آبی محصول خواهند بود. در اندازه‌گیری نیاز آبی یک محصول این دو عامل توأمأً اندازه‌گیری می‌شوند ولی با توجه به اینکه این اندازه‌گیری توسط لایسیمتر پرهزینه و وقت‌گیر است، در برآورد نیاز آبی، این دو عامل از هم جدا شده و اولی به عنوان تبخیرتعرق مرجع و دومی به عنوان ضریب گیاهی تعریف می‌شوند. به علت آنکه عامل اول تنها به شرایط آب و هوایی منطقه بستگی دارد به آسانی و به طور قابل قبولی از روی داده‌های هواشناسی قابل برآورد می‌باشد. در نتیجه داشتن ضریب گیاهی یک محصول در طول دوره رشد، برای تعیین نیاز آبی آن کافی خواهد بود. روش عمومی و کاربردی برای برآورد نیاز آبی گیاه و پایش بیلان آبی خاک که به طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش پیشنهادی فائو در

آوردند. بیشترین مقدار ضریب گیاهی گندم در پژوهش‌های (Tyagi et al., 2000; Liu et al., 2002; Hunsaker et al., 2005; Laaboudi et al., 2015; Rawat et al., 2017) به ترتیب ۱/۲۴، ۱/۱۹ تا ۱/۳۵ برحسب شرایط اقلیمی مختلف، ۱/۴۲ و ۱/۴۴ به دست آمده است. Ebrahimi Pak (2009) بیشترین و کمترین مقدار ضریب گیاهی گندم برای شهرکرد را به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۹۱ به دست آورد. در یک مطالعه لایسیمتری مقادیر ضریب گیاهی برای چهار مرحله رشد گندم در زرقان فارس به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۶۸، ۱/۱۱ و ۰/۵۱ اندازه‌گیری گردید (Niazi et al., 2005). در پژوهشی مشابه در مشهد ضرایب گیاهی برای مراحل چهارگانه به ترتیب ۰/۳، ۰/۸، ۱/۱۴ و ۰/۴ تعیین گردید (Ghaemi et al., 2013). Shahrokhnia (2009) توسط لایسیمتر وزنی مقدار ضریب گیاهی گندم را برای مراحل رشد سه‌گانه (ابتدایی، میانی و انتهایی) به ترتیب ۰/۶۱، ۱/۴۵ و ۰/۲۷ تعیین کرد و اذعان نمود که مقدار ضریب گیاهی به دست آمده برای مرحله میانی رشد بیش‌تر از مقدار ارائه شده توسط FAO است. این اعداد بیش از پیش لزوم تعیین K_c برای ارقام پرمحصول جدید (و نه صرفاً اتکاء به اعداد ارائه شده توسط FAO) را روشن‌تر می‌سازد. Doorenbos and Pruitt (1977) پیشنهاد کردند که نیاز است مقادیر K_c به صورت تجربی با استفاده از لایسیمتر برای گیاه و منطقه مورد نظر تعیین گردد. Doorenbos and Pruitt (1977) و Allen et al., (1998) ضرایب گیاهی را برای تعدادی از گیاهان و شرایط آب و هوایی مختلف ارائه کردند، اما به لزوم واسنجی محلی آن‌ها برای شرایط آب و هوایی معین تأکید کرده‌اند. بر این اساس، این پژوهش با هدف (۱) تعیین تبخیرتغرق و نیاز آبی گندم در دوره‌های ده روزه، ماهانه و کل فصل رشد برای استفاده بهینه از منابع محدود آب در دشت تبریز، (۲) تعیین ضرایب گیاهی برای مراحل مختلف رشد (تا با برآورد تبخیرتغرق مرجع با استفاده از داده‌های هواشناسی بتوان با دقت بیش‌تری تبخیرتغرق گندم را برآورد کرد) و (۳) مقایسه نتایج تبخیرتغرق و ضرایب گیاهی اندازه‌گیری شده با مقادیر برآورد شده توسط روش پیشنهادی فائو ۵۶ (تا در صورت بالا بودن دقت این روش، از آن برای برآورد نیاز آبی در مناطقی که دسترسی به لایسیمتر وجود ندارد، استفاده گردد) انجام شد.

و غیر مستقیم تعیین نمودند. تبخیرتغرق فصلی به دست آمده از لایسیمتر برابر ۳۰۹ میلی‌متر بود. روش استفاده از تخلیه رطوبت خاک، تبخیرتغرق را ۱۲۴ میلی‌متر بیش‌تر از لایسیمتر برآورد کرده بود و تبخیرتغرق پتانسیل در طول فصل رشد توسط روش پنمن اصلاح شده، پاپاداکیس، تشت تبخیر و جنسن-هیس به ترتیب ۳۲۸، ۳۱۴، ۳۷۸ و ۴۳۷ میلی‌متر به دست آمد. در روش غیرمستقیم برآورد تبخیرتغرق گندم بیش‌تر دو روش مد نظر می‌باشد که اولی اندازه‌گیری تبخیر از تشت و برآورد تبخیرتغرق محصول با استفاده از نسبت ETC/Ep می‌باشد که برای محصولات مختلف توسط پژوهشگران تعیین شده‌اند (Choudhary and Kumar, 1980; Jalota et al., 1980; Shimshi et al., 1981; Miller and Hang, 1982; Bunyolo et al., 1985). در روش دوم نیز مقدار ETo توسط معادلات تجربی تعیین می‌شود و سپس با استفاده از ضریب گیاهی مقدار تبخیرتغرق محصول برآورد می‌گردد. یکی از معمول‌ترین منابع برای تعیین K_c ، نشریات FAO می‌باشند که بیش‌ترین مقدار آن برای گندم ۱/۲۵ در مرحله میانی رشد و کمترین آن ۰/۲۵ و در انتهای رشد و رسیدگی کامل می‌باشد (Doorenbos and Pruitt, 1977; Allen et al., 1998). اما به علت شرایط آب و هوایی و رقم مورد کاشت متفاوت در نقاط مختلف دنیا، ضرایب گیاهی مختلفی برای این گیاه گزارش شده است که بیش‌ترین مقدار آن ۱/۹ در مرحله میانی رشد در ایران (Shariati, 1995) و استرالیا (Meyer et al., 1999) و کمترین مقدار آن نیز ۰/۱ و مربوط به انتهای رشد در منطقه‌ای در تگزاس آمریکا (Anonymous, 2003) می‌باشد. Singh and Handal (1989) نیز در پژوهش خود متوسط ضریب گیاهی را در طول فصل رشد در روش‌های پنمن اصلاح شده، پاپاداکیس، تشت تبخیر، جنسن-هیز و لایسیمتر به ترتیب ۰/۹۴، ۰/۹۸، ۰/۸۲، ۰/۷۱ و ۱/۰۰ به دست آوردند. در پژوهشی که Guerra and Jacomazzi (2001) در ناحیه سرادو برزیل انجام دادند، ضریب گیاهی برای ابتدای رشد ۰/۸۲ اندازه‌گیری گردید و در منطقه تگزاس آمریکا (Anonymous, 2003) بین ۰/۱ تا ۰/۵ برآورد شد. Laaboudi et al., (2015) در شرایط مختلف آب و هوایی الجزایر از نیمه‌مرطوب تا خیلی‌خشک، مقدار ضریب گیاهی مرحله ابتدایی گندم را از ۰/۵ تا ۰/۷ به دست

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

این پژوهش به مدت چهار سال در دشت تبریز و در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خسروشاه (طول جغرافیایی $39^{\circ} 02' 46''$ و عرض جغرافیایی $42^{\circ} 58' 37''$) به مرحله اجرا در آمد. بر اساس اطلاعات ایکاردا (De Pauw, 2003) دشت تبریز با زمستان سرد و تابستان گرم از نظر تقسیم‌بندی آب و هوایی به روش یونسکو (UNESCO, 1979) در ناحیه نیمه‌خشک واقع شده است و دارای ۵ ماه خشک، ۵ ماه مرطوب و ۲ ماه متوسط از نظر بارندگی است. بر اساس اطلاعات اداره کل هواشناسی استان، متوسط دمای سردترین و گرم‌ترین ماه سال به ترتیب $-1/4$ و $26/2$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از کل 267 میلی‌متر بارندگی سالیانه (متوسط ۳۰ ساله)، ۴۳ درصد (115 میلی‌متر) در بهار، ۶ درصد (16 میلی‌متر) در تابستان، ۲۶ درصد (69 میلی‌متر) در پاییز و ۲۵ درصد (68 میلی‌متر) در زمستان اتفاق می‌افتد. شکل ۱ رژیم آب و هوایی ایستگاه تبریز را نشان می‌دهد.

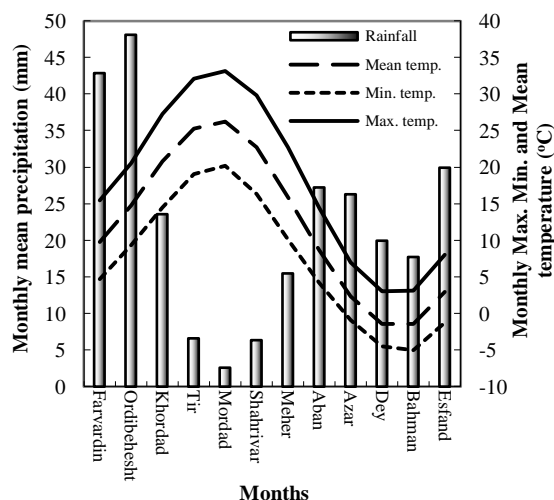


Figure 1- Climate regime of Tabriz plain based on 30 years weather data of Tabriz weather station

شکل ۱- رژیم آب و هوایی دشت تبریز براساس آمار ۳۰ ساله ایستگاه هواشناسی تبریز

برای اجرای آزمایش ابتدا دو قطعه زمین در کنار هم هر کدام به مساحت 3600 متر مربع (60×60 متر) که در اطراف آن تا شعاع 500 متری هیچ‌گونه مانعی نبود در نظر گرفته شده و در وسط هر کدام یک لایسیمتر حجمی زهکش‌دار بدون سطح ایستابی از نوع تعادل آبی با سطح مقطع دایره به شعاع و ارتفاع $1/5$ متر با کف مخروطی شیب‌دار حاوی سنگریزه به عنوان فیلتر و یک خروجی با

قطر 40 میلی‌متر برای خارج کردن زه‌آب کار گذاشته شد (Aboukhaled et al., 1982). قبل از نصب لایسیمتر نیم‌رخ در نزدیکی محل نصب حفر شده و به دقت لایه‌بندی آن تعیین گردید. جاگذاری لایسیمتر مطابق استاندارد (Aboukhaled et al., 1982) انجام گرفت. افق‌های خاک مطابق لایه‌بندی اولیه خاک، به دقت در داخل لایسیمتر قرارداد شدند تا حتی‌الامکان خاک داخل لایسیمتر از نظر لایه‌بندی و تراکم با خاک خارج آن مشابه باشد. یکی از لایسیمترها برای اندازه‌گیری تبخیرتقرق مرجع تحت کاشت چمن قرار گرفت و لایسیمتر دیگر برای کاشت گندم استفاده شد. در شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب لایسیمترهای مورد استفاده برای گندم و چمن نشان داده شده است.



Figure 2- Wheat lysimeter at its initial stage
شکل ۲- لایسیمتر گندم در اوایل مراحل رشد



Figure 3- Grass lysimeter with FDR access tube

شکل ۳- لایسیمتر چمن و لوله اندازه‌گیری رطوبت در وسط آن در سال اول و قبل از کاشت برای مدیریت مناسب آبی و کودی، نمونه‌های خاک از لایه‌های مختلف نیم‌رخ خاک تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها تعیین گردید که نتایج به دست آمده در جدول ۱ ارائه شده است.

که عمق قرار گرفتن تانسیموتر اخیر با افزایش عمق ریشه افزایش یافته و در نهایت در عمق ۳۰ سانتی متری خاک ثابت گردید.

برای جلوگیری از تنش رطوبتی و نگهداشتن رطوبت خاک داخل لایسیمتر نزدیک به رطوبت گنجایش مزرعه‌ای، دو عدد تانسیموتر یکی در عمق ۶۰ سانتی متری و ثابت و دیگری هنگام کاشت در عمق ۱۰ سانتی متری قرار داده شد

Table 1- Physio-chemical properties of soil of lysimeters

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی خاک محل قرارگیری لایسیمترها

Depth (cm)	EC (dS m ⁻¹)	pH	Organic C		N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Saturation (%)	Soil Particles (%)			Soil Texture
									Sand	Silt	Clay	
0-30	3.7	7.6	0.59	0.06	12.0	400	36	41	38	21	Loam	
30-60	5.0	7.9	0.27	0.03	4.4	270	32	49	33	18	Loam	
60-95	8.0	7.9	0.10	0.00	2.6	210	25	67	11	22	Sandy Clay Loam	
95-110	8.7	8.0	0.06	0.00	0.8	130	25	77	18	5	Loamy Sand	
110-150	18.4	7.9	0.08	0.00	1.2	210	32	47	40	13	Loam	

داده می‌شد. البته با توجه به عدم استقرار به موقع چمن در سال اول، اندازه‌گیری ET_o در سال اول اجرای پژوهش میسر نگردید و در سال اول مقدار ET_o از طریق معادله ۴ محاسبه شد.

$$ET_o = K_p \times E_p \quad (۴)$$

که در آن K_p ضریب تشت تبخیر کلاس A است که بر اساس شرایط آب و هوایی دشت تبریز و جدول ارائه شده توسط (Doorenbos and Pruitt, 1977; Allen et al., 1998) برابر ۰/۶۵ اختیار شد و E_p تبخیر انباشته از تشت تبخیر کلاس A در فواصل ده روزه می‌باشد. برای مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر تعرق گندم با مقادیر برآورد شده، از روش پیشنهادی فائو ۵۶ استفاده گردید در این روش که امروزه به عنوان روش مرجع توسط FAO ارائه شده و به طور گسترده به کار گرفته می‌شود، برای برآورد تبخیر تعرق مرجع از روش پنمن-مانتیث (Allen et al., 1998) استفاده می‌شود که به صورت معادله ۵ ارائه شده است.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (۵)$$

که در آن ET_o تبخیر تعرق مرجع (میلی متر در روز)، R_n تشعشع خالص (مگاژول بر متر مربع در روز)، G جریان دمای خاک (مگا ژول بر متر مربع در روز)، T دمای هوا در ارتفاع ۲ متری (درجه سانتی‌گراد)، u₂ سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)، e_s و e_a به ترتیب فشار بخار اشباع و واقعی (کیلوپاسکال)، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) و γ ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. بعد از برآورد تبخیر تعرق مرجع، مقدار تبخیر تعرق گندم از

زمانی که مکش خاک در یکی از تانسیموترها به ۰/۱ بار بیش‌تر از مکش مربوط به رطوبت گنجایش مزرعه‌ای می‌رسید، آبیاری انجام می‌گرفت. در طول فصل رشد، آماربرداری و اندازه‌گیری پارامترهای فرمول بیلان آبی خاک انجام گردید. علاوه بر پارامترهای فرمول بیلان آبی خاک، میزان تبخیر از تشت کلاس A در طول فصل رشد ثبت گردید. در هر دوره ده روزه و همچنین در طی کل دوره رشد تبخیر تعرق محصول توسط معادله بیلان آبی خاک (معادله ۱) محاسبه گردید.

$$ET_c = P + I - D - R + \Delta SW \quad (۱)$$

که در آن ET_c تبخیر تعرق گیاه، P مقدار بارندگی، I مقدار آبیاری، D مقدار آب زهکشی، R مقدار رواناب سطحی و ΔSW تغییرات رطوبت خاک در ابتدا و انتهای هر دوره می‌باشد. تمامی پارامترهای معادله بیلان آبی حسب میلی‌متر می‌باشد. ΔSW از معادله ۲ محاسبه می‌شود.

$$\Delta SW = SW_1 - SW_2 \quad (۲)$$

مقدار بارندگی از ایستگاه هواشناسی مرکز (به فاصله تقریبی ۱۵۰ متر از لایسیمتر) اخذ گردید. مقدار آبیاری داخل لایسیمتر توسط کنتور و حجم آب خروجی از زهکش توسط استوانه مدرج یک لیتری اندازه‌گیری گردید. بعد از تعیین تبخیر تعرق بالقوه گندم در هر دوره ده روزه، ضریب گیاهی برای آن دوره از طریق معادله ۳ تعیین شد.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (۳)$$

که در آن K_c ضریب گیاهی گندم و ET_o تبخیر تعرق مرجع می‌باشد که توسط لایسیمتر چمن اندازه‌گیری می‌گردید. آبیاری چمن به طور روزانه انجام می‌گرفت و به طور متوسط در هر روز ۱۰۰ لیتر آب به داخل لایسیمتر

معادله ۶ برآورد گردید.

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (۶)$$

که در آن ET_c تبخیرتغرق برآورد شده گندم، K_c ضریب گیاهی ارائه شده توسط فائو برای گندم (Allen et al., 1998) و ET_o تبخیرتغرق مرجع برآورد شده توسط معادله پنمن-مانتیت (معادله ۵) می‌باشد. در پایان هر فصل رشد، عملکرد دانه و کاه برای بوته‌های داخل لایسیمتر اندازه‌گیری شده و پارامترهای شاخص برداشت و کارایی مصرف آب (WUE) برای آن تعیین گردید.

نتایج و بحث

برای تعیین میزان تبخیرتغرق و ضریب گیاهی گندم رقم الوند نتایج چهار ساله با هم ادغام شد. میانگین عملکرد بیولوژیک و دانه در داخل لایسیمتر ۱۸/۳۲ و ۷/۴۵ تن در هکتار به دست آمد و براساس آن بهره‌وری آب داخل لایسیمتر بر پایه عملکرد بیولوژیک و دانه به ترتیب ۲/۵۰ و ۱/۰۲ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه شد. متوسط شاخص برداشت در طی چهار سال ۰/۴۱ تعیین گردید.

تبخیرتغرق

کل متوسط مقدار تبخیرتغرق گندم از کاشت (اول آبان ماه) تا برداشت (آخر تیر ماه) (۲۷۳ روز) در طی این چهار سال برابر ۷۳۲/۲ میلی‌متر اندازه‌گیری گردید. از این مقدار ۵۵/۴ میلی‌متر در پاییز و زمستان (۱۴۹ روز) و بقیه یعنی ۶۷۶/۸ میلی‌متر در بهار و تابستان (۱۲۴ روز) صورت گرفته است. در طول همین دوره روش فائو ۵۶ مقدار تبخیرتغرق گندم را ۷۲۰/۷ میلی‌متر برآورد نمود که حدود ۱/۶ درصد کم‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر است. این نتایج با نتایج Farshi (1993) و Shariati (1993) که مقدار متوسط تبخیرتغرق گندم را در کرج (آب و هوایی کمابیش مشابه دشت تبریز) به ترتیب ۷۴۹/۹ و ۷۵۹ میلی‌متر به دست آوردند و همچنین با نتایج Sattar (1998) در اصفهان با ۶۶۲ میلی‌متر، مطابقت دارد ولی با نتایج برآورد تبخیرتغرق از روی داده‌های هواشناسی توسط Farshi et al. (1997) اختلاف زیادی دارد به طوری که میزان تبخیرتغرق برآورد شده برای گندم در دشت تبریز، ۵۱۱/۶

میلی‌متر می‌باشد (Farshi et al., 1997) که نسبت به نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر (روش لایسیمتر) حدود ۳۰ درصد کم‌تر است. البته اختلاف اساسی در میزان تبخیرتغرق از میزان ضریب گیاهی انتخاب شده توسط آن‌ها ناشی می‌شود چرا که اختلاف مقدار تبخیرتغرق مرجع در هر دو روش کم است. متوسط کل مقدار تبخیرتغرق مرجع در طول فصل رشد گندم در طی این چهار سال در یک مطالعه لایسیمتری چمن برابر ۷۱۵/۴ میلی‌متر اندازه‌گیری گردید و تبخیرتغرق مرجع برآورد شده برای دشت تبریز توسط پنمن-مانتیت FAO و Farshi et al. (1997) به ترتیب ۷۴۳/۳ و ۷۴۴/۷ میلی‌متر بوده است و ملاحظه می‌گردد که اختلاف کم (حدود ۴ درصد) می‌باشد و هم‌چنان که قبلاً اشاره گردید علت اصلی اختلاف در تبخیرتغرق گندم بین روش اندازه‌گیری مستقیم توسط لایسیمتر و روش برآورد توسط Farshi et al. (1997) از ضریب گیاهی ناشی می‌شود که در تشریح ضریب گیاهی به این اختلاف پرداخته خواهد شد. Mohseni Movahed et al. (2011) نیز در اراک نتایج مشابهی در خصوص کم برآورد تبخیرتغرق گندم توسط Farshi et al. (1997) به دست آوردند با این تفاوت که کم برآوردی در اراک (۸ درصد) بسیار کم‌تر از پژوهش جاری بود. در شکل ۲ روند تغییرات تبخیرتغرق مرجع و گندم ارائه شده است. همان طوری که ملاحظه می‌شود در تبخیرتغرق‌های کم (قدرت تبخیرکنندگی کم اتمسفر) میزان تبخیرتغرق برآورد شده توسط روش FAO-56 بیش‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر است (تا اواخر اردیبهشت) ولی در تبخیرتغرق‌های زیاد (از اول خرداد تا پایان فصل رشد گندم) این روند برعکس شده و مقدار اندازه‌گیری شده بیش‌تر از روش FAO-56 می‌باشد. همین روند در مورد تبخیرتغرق مرجع نیز دیده می‌شود و این مسأله حاکی از آن است که علت بیش‌تر بودن تبخیرتغرق اندازه‌گیری شده گندم نسبت به برآورد شده در ماه‌های گرم و برعکس، از تبخیرتغرق مرجع ناشی می‌شود. منحنی یک به یک تبخیرتغرق مرجع (شکل ۵) این مورد را بهتر توضیح می‌دهد.

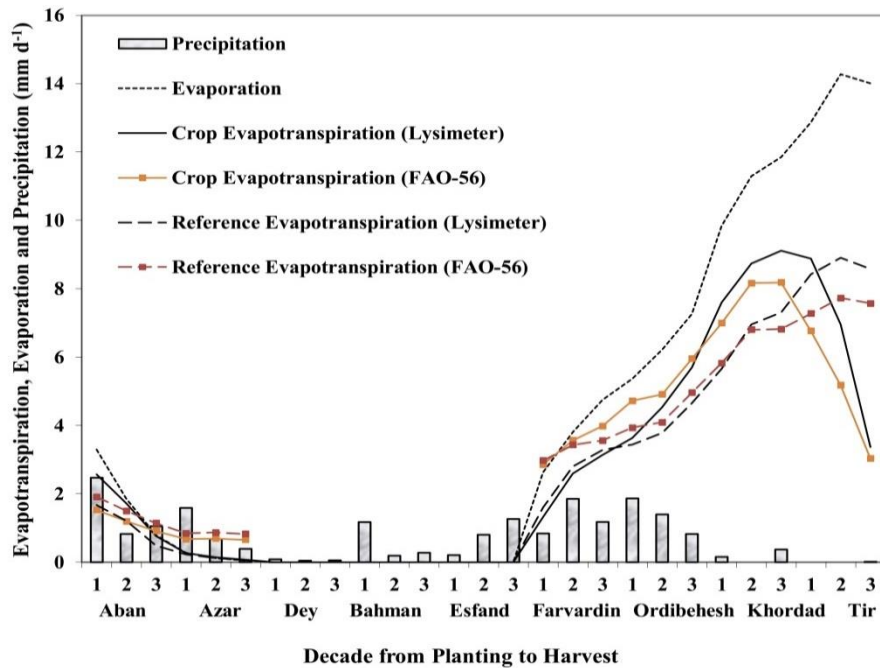


Figure 4- Crop and reference evapotranspiration, evaporation and precipitation during wheat growing season (4 years average)

شکل ۴- روند تغییرات تبخیر، تبخیرتعرق مرجع و محصول و بارندگی در دوره‌های ده روزه از کاشت تا برداشت (متوسط چهار ساله)

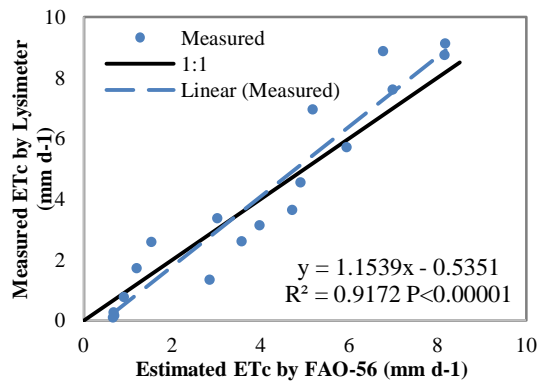


Figure 6- Measured crop evapotranspiration against estimated crop evapotranspiration by FAO

شکل ۶- مقادیر تبخیرتعرق گندم اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر و برآورد شده توسط روش FAO ۵۶ اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر با مقدار برآورد شده توسط روش FAO-56 کم است حتی در تبخیرتعرق‌های زیاد (۸ میلی‌متر بر روز) اختلاف تنها حدود ۰/۷ میلی‌متر بر روز (۸ درصد) است. مقایسه مقدار تبخیرتعرق گندم برآورد شده به روش FAO-56 و روش Farshi et al., (1997) نشان داد که استفاده از روش FAO-56 برای تعیین ضریب گیاهی گندم در طول دوره رشد بسیار دقیق‌تر از ضرایب گیاهی استفاده شده توسط Farshi et al., (1997) است. در کل مطالعات انجام شده در نقاط مختلف دنیا نشان داده است که تبخیرتعرق گندم براساس شرایط آب و هوایی منطقه (قدرت تبخیرکنندگی

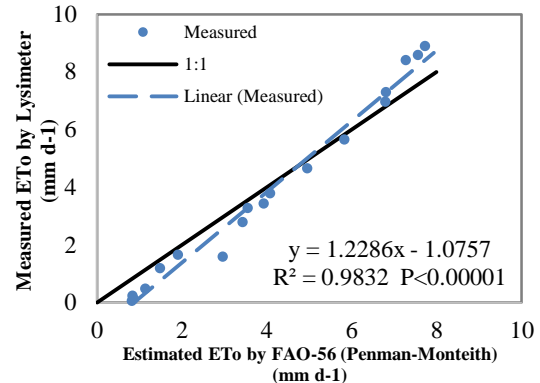


Figure 5- Measured reference evapotranspiration against estimated reference evapotranspiration by FAO

شکل ۵- مقادیر تبخیرتعرق مرجع اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر و برآورد شده توسط روش پنمن-مانتیت FAO همان طوری که دیده می‌شود در تبخیرتعرق‌های کم‌تر از ۵ میلی‌متر بر روز، مقدار تبخیرتعرق برآورد شده بیش‌تر از اندازه‌گیری شده است و بر عکس در تبخیرتعرق‌های بیش‌تر از ۵ میلی‌متر بر روز، تبخیرتعرق اندازه‌گیری شده بیش‌تر از برآورد شده می‌باشد. این مطلب توسط Onnabi Milani and Neyshabouri (2018) و Onnabi Milani (2006) نیز نشان داده شده است. البته مقداری از انحراف بین تبخیرتعرق مرجع اندازه‌گیری شده و برآورد شده، در تبخیرتعرق گندم با وارد شدن ضریب گیاهی تعدیل می‌یابد به طوری که همانطوری که در شکل ۴ دیده می‌شود اختلاف تبخیرتعرق گندم

دشت تبریز نیز در جدول ۲ ارائه شده است. همان طوری که ملاحظه می‌شود بیش‌ترین مقدار تبخیرتغرق مربوط به خرداد ماه و برابر ۲۶۳/۷ میلی‌متر (۸/۵۱ میلی‌متر بر روز) است که مصادف با تشکیل سنبله، مرحله گل‌دهی و تشکیل دانه می‌باشد و مراحل بیش‌ترین نیاز گیاه به آب هستند. در مقابل کم‌ترین مقدار تبخیرتغرق در آذر ماه اتفاق می‌افتد (۰/۱۶ میلی‌متر بر روز) که علت امر پایین بودن قدرت تبخیرکنندگی آتمسفر می‌باشد (شکل ۲).

آتمسفر)، طول دوره رشد (مصادف شدن دوره رشد با شرایط تبخیرکنندگی زیاد و برعکس) و نوع رقم بسیار متفاوت است. بیش‌ترین مقدار تبخیرتغرق گندم در دشت تبریز در دهه سوم خرداد اتفاق می‌افتد (۹/۱۱ میلی‌متر بر روز) که مصادف با مرحله تشکیل دانه است. کم‌ترین مقدار نیاز آبی هم مربوط به دهه سوم آذر است (۰/۰۸ میلی‌متر بر روز) که به علت سردی هوا گیاه آماده خواب زمستانی می‌شود (شکل ۴). تبخیرتغرق ماهانه گندم در

Table 2- The results of Mean monthly evapotranspiration, evaporation, precipitation, irrigation requirement and crop (K_C) and Pan (K_p) coefficients

جدول ۲- نتایج متوسط ماهانه تبخیرتغرق، تبخیر از تشت کلاس A، بارندگی، نیاز آبیاری و ضرایب گیاهی (K_C) و تشت تبخیر (K_p)

Month	Evapotranspiration				Precipitation (mm d ⁻¹)	Irrigation Requirement	Evaporation (Ep)	K _p	K _{CL}	K _{CF}	ETc/Ep
	Lysimeter		FAO-56								
	Reference	Crop	Reference	Crop							
Aban	1.12	1.68	1.52	1.21	1.45	0.33	1.98	0.57	1.50	0.80	0.85
Azar	0.14	0.16	0.84	0.68	0.89	0.00	0.15	0.93	1.20	0.80	1.11
Dey	-	-	-	-	0.06	0.00	-	-	-	-	-
Bahman	-	-	-	-	0.55	0.00	-	-	-	-	-
Esfand	-	-	-	-	0.76	0.00	-	-	-	-	-
Farvardin	2.58	2.38	3.33	3.47	1.29	1.09	3.76	0.69	0.92	1.04	0.63
Ordibehesht	3.98	4.66	4.35	5.19	1.35	3.31	6.31	0.63	1.17	1.20	0.74
Khordad	6.66	8.51	6.49	7.78	0.18	8.32	11.02	0.60	1.28	1.20	0.77
Tir	8.63	6.30	7.53	4.99	0.00	6.30	13.73	0.63	0.73	0.66	0.46
Average	3.89	3.98	4.04	3.89	0.86	3.23	6.21	0.63	1.02	0.97	0.64

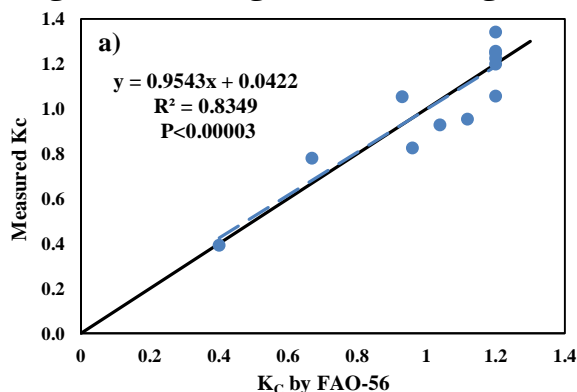
K_p, K_{CL}, K_{CF}, Ep و ETc به ترتیب ضریب تشت کلاس A، ضریب گیاهی حاصل از لایسیمتر، ضریب گیاهی فائو، تبخیر از تشت و تبخیرتغرق محصول می‌باشند.

مختلف الجزایر متوسط ضریب گیاهی گندم در طول دوره رشد در شرایط آب و هوایی خشک و بسیار خشک بیش‌تر از یک و در شرایط نیمه خشک و نیمه مرطوب کم‌تر از یک به دست آمد (Laaboudi et al., 2015). تمامی این پژوهش‌ها حاکی از آن است که متوسط ضریب گیاهی گندم در طول دوره رشد برای شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک نظیر دشت تبریز نمی‌تواند کم‌تر از ۰/۹ باشد و به همین دلیل است که تبخیرتغرق برآورد شده توسط (Farshi et al., 1997) به مقدار قابل توجهی کم‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده می‌باشد. البته باید اذعان داشت که ضرایب استفاده شده توسط ایشان بیش‌تر بر اساس ویرایش قدیمی تر FAO (Doorenbos and Pruitt, 1977) و ارقام قدیمی گندم که عملکرد کم‌تری داشته‌اند بوده است و ارقام جدید گندم به دلیل داشتن عملکرد بیش‌تر، نیاز آبی زیادتری نیز دارند. مقایسه ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده با ضرایب به دست آمده از جداول FAO (Allen et al., 1998) و (Farshi et al., 1997) برای طول دوره رشد به جز مرحله اولیه رشد (به دلیل عدم پوشش کامل و تأثیر شدید تبخیر از سطح خاک در میزان

ضریب گیاهی

متوسط چهار ساله ضریب گیاهی برای کل دوره رشد براساس نسبت تبخیرتغرق گندم (۷۳۲/۲ میلی‌متر) به تبخیرتغرق مرجع (۷۱۵/۴ میلی‌متر) برابر ۱/۰۲ به دست آمد (جدول ۲) در حالی که متوسط ضریب گیاهی استفاده شده توسط (Farshi et al., 1997) برای برآورد نیاز آبی گندم برای دشت تبریز برابر ۰/۷۰ بوده است. (Singh and Handal 1989) نیز در پژوهش خود که برای مقایسه روش‌های مستقیم و غیر مستقیم تعیین تبخیرتغرق گندم انجام داده بودند، متوسط ضریب گیاهی را در طول فصل رشد توسط لایسیمتر برابر ۱/۰۰ به دست آوردند که با پژوهش حاضر همخوانی بالایی دارد. (Abedinpour 2016) نیز متوسط ضریب گیاهی را برای گندم در کاشمر ۰/۹۶ تعیین نمود. (Tyagi et al., 2000) نیز در یک مطالعه لایسیمتری متوسط ضریب گیاهی را برای گندم در هندوستان (آب و هوای مرطوب) برابر ۰/۸۸ تعیین کردند. (Liu et al., 2002) متوسط ضریب گیاهی را در کل دوره رشد گندم در چین با استفاده از لایسیمتر ۰/۹۳ به دست آوردند. در پژوهشی در شرایط آب و هوایی

(2011) نیز همبستگی خوبی ($R^2 = 0.92$) بین ضریب گیاهی برآورد شده و ضریب گیاهی ارائه شده توسط FAO در غرب ایران (دشت آزادگان) به دست آوردند. با توجه به شکل ۷، علت مغایرت بین نتایج به دست آمده در پژوهش جاری در خصوص تبخیر تعرق گندم با آنچه که توسط Farshi et al., (1997) برای دشت تبریز ارائه شده است، مشخص می‌شود. همان طوری که در شکل ۷ دیده می‌شود ضرایب گیاهی استفاده شده توسط Farshi et al., (1997) در تمامی مراحل رشد (به جز دهه سوم فروردین) کم‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده بوده است. بر اساس روش پیش‌نهادی FAO برای تعیین ضریب گیاهی در اوایل دوره رشد که سهم بیش‌تر تبخیر تعرق را به علت کم بودن پوشش گیاهی، تبخیر به عهده دارد، از منحنی مربوطه استفاده می‌شود که بر اساس تناوب آبیاری و یا بارندگی و قدرت تبخیرکنندگی آن‌مسفر تعیین می‌شود.



تبخیر تعرق (Vieira et al., 2016) نشان داد که تطابق خوبی بین ضرایب گیاهی حاصل از روش FAO-56 و ضرایب گیاهی اندازه‌گیری شده وجود دارد، به طوری که خط رگرسیونی حاصل، تقریباً بر خط یک به یک منطبق است (شکل ۷). این تطابق نشان می‌دهد در صورتی که ضرایب ارائه شده توسط FAO برای شرایط آب و هوایی منطقه تصحیح شوند به خوبی قادرند تأثیر ویژگی‌های گندم را بر میزان تبخیر تعرق در طول دوره رشد نشان دهند و به شرط تعیین دقیق تبخیر تعرق مرجع، میزان تبخیر تعرق و نیاز آبی گندم را با دقت خوبی برآورد کنند. Vieira et al., (2016) نیز در برزیل تطابق خوبی بین ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده و FAO به ویژه برای مرحله میانی رشد به دست آوردند و بر لزوم تعدیل ضرایب ارائه شده FAO برای شرایط آب و هوایی منطقه طبق پیشنهاد FAO تأکید کردند. Rahimian et al.,

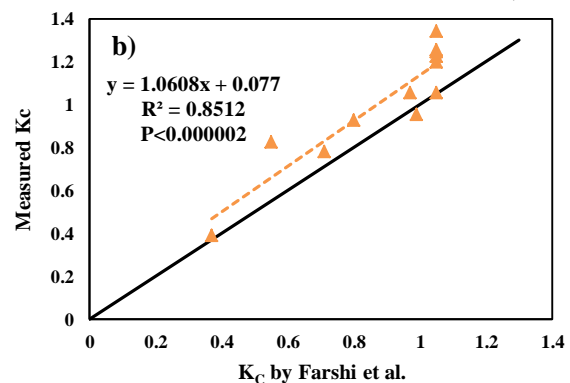
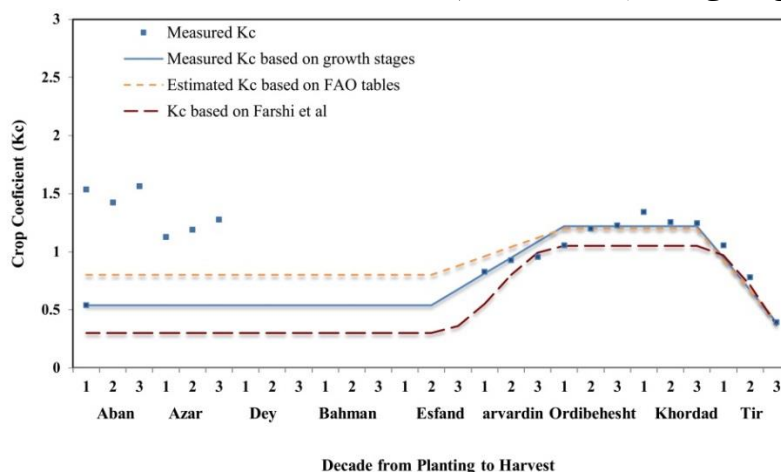


Figure 7- Measured crop coefficient (K_c) against estimated K_c by FAO-56 (a) and Farshi et al., (b) for Tabriz plain
 شکل ۷- ضرایب گیاهی اندازه‌گیری شده به ضرایب گیاهی به دست آمده از (a) جدول FAO و (b) Farshi et al., (1997) برای دشت تبریز

برای تبخیر-تعرق مرجع ۳-۱ میلی‌متر بر روز و فواصل خیس شدن سطح خاک کم‌تر از یک هفته، محدوده ضریب گیاهی برای مراحل اولیه رشد، ۰/۸ تا ۱/۲ تعیین شده است که در پژوهش جاری براساس ویژگی‌های منطقه ۰/۸ در نظر گرفته شد (شکل ۸). پژوهش‌هایی نیز وجود دارند که نشان می‌دهند در اوایل دوره رشد در بعضی شرایط ضرایب گیاهی بیش‌تر از مورد انتظار است به عنوان نمونه در پژوهشی در گریفیس استرالیا (Meyer et al., 1999) در طول دوره رشد ابتدایی در بعضی دهه‌ها اعداد بزرگتری مانند ۱/۷۸ نیز دیده شده است، هر چند که متوسط ضریب گیاهی برای این مرحله ۰/۳ بوده است. Vieira et al., (2016) در مارینگا برزیل مقدار ضریب گیاهی گندم را برای مرحله ابتدایی رشد ۰/۳ تعیین

این مقدار توسط Farshi et al., (1997) برای دشت تبریز برابر ۰/۳ در نظر گرفته شده است ولی با توجه به اینکه در پژوهش حاضر به دلیل عدم ایجاد تنش آبی در مرحله اولیه رشد که سیستم ریشه‌ای گیاه سطحی است، آبیاری‌ها با تناوب دو روز صورت گرفته و با توجه به متوسط تبخیر تعرق مرجع برای اوایل دوره رشد (۰/۶۳ میلی‌متر بر روز) طبق منحنی ارائه شده توسط FAO، ضریب گیاهی برای اوایل دوره رشد زیاد بوده و اعداد دور از انتظاری مثل ۱/۵۷، ۱/۵۴ و ۱/۴۲ نیز دیده می‌شوند که علت امر زیاد بودن تبخیر از سطح خاک به دلیل مرطوب بودن پی در پی سطح خاک است ولی متوسط ضریب گیاهی برای دوره رشد ابتدایی ۰/۵۴ می‌باشد (شکل ۸) ولی در نشریه FAO ۵۶ (Allen et al., 1998)،

شده در ایران نشان می‌دهد که مقادیر متفاوتی برای ضریب گیاهی گندم در مرحله ابتدایی رشد بر حسب شرایط آب و هوایی و ارقام مورد مطالعه ارائه شده است. Niazi et al., (2013) در مشهد ۰/۳، (2005) در فارس ۰/۳۷، (2010) در Gholami et al., حوضه گرگانرود ۰/۴ و (1995) Shariati در کرج بین ۰/۵ تا ۰/۷۲ تعیین نمودند.



شکل ۸ - تغییرات ضریب گیاهی گندم در طول دوره رشد در دشت تبریز (متوسط چهار ساله)

Figure 8- Wheat crop coefficient during growing season at Tabriz plain (4 years average)

(2000)، ۱/۲۴ به دست آمده است که با نتایج پژوهش حاضر تطابق بیشتری دارند. برای انتهای دوره رشد و رسیدگی، ضریب گیاهی به دست آمده در این پژوهش (۰/۳۹) با مقدار برآورد شده توسط (Farshi et al., 1997) (۰/۳۷) و مقدار پیشنهادی FAO (Allen et al., 1998) برای برداشت محصول با دست (۰/۴) تقریباً یکسان است (شکل ۶). همانند مراحل ابتدایی و میانی رشد برای مرحله پایانی رشد نیز مقادیر متفاوتی از ضریب گیاهی گزارش شده است. مقدار ضریب گیاهی برای انتهای دوره رشد و رسیدگی فیزیولوژیکی در تگزاس امریکا (Anonymous, 2003) ۰/۱، مارینگا برزیل (Vieira et al., 2016) ۰/۳، هنان چین (Gao et al., 2009) ۰/۳۴، هاریانا هندوستان (Rawat et al., 2017) ۰/۴، گریفیس استرالیا (Meyer et al., 1999) و کارنال هندوستان (Tyagi et al., 2000) ۰/۴۲، سرادو برزیل (Guerra and Jacomazzi, 2001) ۰/۶۲، آریزونای آمریکا (Hunsaker et al., 2005) ۰/۶۵، مناطق مختلف الجزایر (Laaboudi et al., 2015) ۰/۶۷ تا ۱، شمال چین (Liu et al., 2002) ۰/۷۲ و کرج ایران (Shariati, 1995) ۰/۹۴ تعیین شده است که نتایج مربوط به کارتال و هاریانا هندوستان و گریفیس استرالیا با

کردند و اذعان داشتند که به دلیل عدم پوشش کامل در این مرحله و زیاد بودن تبخیر از خاک نسبت به تعرق گیاه، مقدار ضریب گیاهی با آنچه که FAO پیشنهاد کرده است متفاوت است. در هندوستان (Rawat et al., 2017) و (Tyagi et al., 2000) مقدار ضریب گیاهی برای مرحله ابتدایی رشد را به ترتیب ۰/۴ و ۰/۵ تعیین کردند که با پژوهش حاضر همخوانی خوبی دارد. پژوهش‌های انجام

برای اواسط دوره رشد (اول اردیبهشت تا آخر خرداد)، متوسط مقدار Kc در پژوهش ما ۱/۲۲ به دست آمد که بیشترین مقدار آن برابر ۱/۳۴ در دهه اول خرداد و کمترین مقدار ۱/۰۶ و مربوط به دهه اول اردیبهشت بوده است (شکل ۶). (Farshi et al., 1997) متوسط ضریب گیاهی را برای این مرحله، ۱/۰۵ در نظر گرفته‌اند. نشریه ۵۶ فائو برای شرایط آب و هوایی دشت تبریز (نیمه خشک و سرعت باد متوسط ۲ متر بر ثانیه) مقدار Kc را برای اواسط دوره رشد ۱/۲۰ تعیین کرده است که همخوانی بیشتری با نتایج پژوهش حاضر دارد. اعداد مختلفی نیز برای این دوره رشد از نقاط مختلف دنیا گزارش شده است به عنوان مثال در گریفیس استرالیا با وجود بیشینه مقدار ۱/۹، متوسط ضریب گیاهی برای اواسط دوره رشد ۱/۰۵ به دست آمده است (Meyer et al., 1999). در نشریه‌ای از مرکز آب و هوایی تگزاس آمریکا (Anonymous, 2003) ضریب گیاهی بین ۱/۰۵ تا ۱/۱۰ گزارش شده است. (Shariati 1995) نیز در منطقه کرج ضریب گیاهی برای مرحله میانی را بین ۱/۲۴ تا ۱/۹ به دست آورد. بیشترین مقدار ضریب گیاهی گندم در پژوهش‌های (Rawat et al., 2017) و (Tyagi et al.,

است. همان طوری که ملاحظه می‌شود بیش‌ترین مقدار ضریب گیاهی برابر $1/50$ و مربوط به آبان ماه است و چنانکه قبلاً توضیح داده شد این بالا بودن ضریب گیاهی به علت تبخیر زیاد از سطح خاک در اوایل دوره رشد و بعد از کاشت می‌باشد. با صرف‌نظر کردن از این مقدار بیش‌ترین مقدار ($1/28$) مربوط به ماه خرداد است و زمانیست که محصول به علت پوشش گیاهی کامل بیش‌ترین تبخیر تعرق را دارد.

تبخیر از تشت کلاس A

کل متوسط چهار ساله تبخیر از تشت کلاس A در دوره رشد گندم برابر $1143/0$ میلی‌متر بوده که $63/7$ میلی‌متر آن در پاییز و زمستان و بقیه یعنی $1079/3$ میلی‌متر در بهار و تابستان رخ داده است. بیش‌ترین مقدار تبخیر در دوره رشد گندم مربوط به دهه سوم تیر ماه است (شکل ۲) ولی با توجه به این که در این ماه، گندم مراحل پایانی رشد خود را می‌گذراند و به رسیدگی فیزیولوژیکی می‌رسد تبخیر تعرق کم‌تر از ماه خرداد است و به همین جهت نسبت تبخیر تعرق به تبخیر (ETc/Ep) سیر نزولی خود را می‌پیماید (جدول ۲). متوسط نسبت تبخیر تعرق گندم به تبخیر از تشت در کل دوره رشد $0/64$ به دست آمد. این نسبت برای پاییز و زمستان $0/87$ و برای بهار و تابستان $0/63$ محاسبه گردید. ولی بعد از کامل شدن پوشش گیاهی (اول اردیبهشت تا آخر خرداد) این نسبت به $0/76$ رسید. پژوهش‌های متعددی (Shimshi et al., 1981; Miller and Hang, 1982; Onnabi Milani, 2001) نشان داده است که مناسب‌ترین نسبت تبخیر تعرق گندم به تبخیر از تشت کلاس A بین $0/75$ تا $0/80$ می‌باشد که مطابقت خوبی با نتایج به دست آمده در پژوهش جاری دارد. از طرف دیگر نسبت‌های بزرگ‌تری مانند $1/4$ (Shariati, 1995) و $1/04$ (Razavi, 1997) نیز به دست آمده‌اند که با یافته‌های پژوهش حاضر کاملاً مغایرت دارند.

ضریب تشت تبخیر

ضریب تشت تبخیر یکی از ضرایب بسیار مهمی است که می‌توان با استفاده از آن از اطلاعات سهل‌الوصول تبخیر برای برآورد تبخیر تعرق مرجع و در صورت وجود ضریب گیاهی یک گیاه، نسبت به برآورد نیاز آبی آن اقدام نمود که روشی بسیار ساده و کم‌هزینه می‌باشد. هر چند که ضرایب تشت تبخیر برحسب شرایط استقرار تشت،

پژوهش حاضر کاملاً منطبق است. در نتیجه می‌توان چنین استدلال نمود که ضریب گیاهی گندم رقم الوند بیش‌تر از آن چیزی است که توسط (Farshi et al., 1997) ارائه شده است و احتمال می‌رود که ارقام پرمحصول اصلاح شده جدید به علت داشتن ضریب گیاهی بالا نیاز آبی بیش‌تری نیز دارند و این همان چیزیست که باعث شده است FAO ضرایب گیاهی ارائه شده در نشریه ۲۴ خود را در نشریه ۵۶ اصلاح نماید. همچنین زیاد بودن ضرایب گیاهی و تبخیر تعرق گندم، توسط برخی از پژوهشگران در کشور نیز به اثبات رسیده است به عنوان مثال (Shariati (1993) میزان تبخیر تعرق پتانسیل گندم را برای مدت ۹۰ روز 850 میلی‌متر به دست آورد. همچنین (Sattar (1998) در اصفهان میزان تبخیر تعرق گندم را $634/5$ میلی‌متر اندازه‌گیری کرد و (Vaziri (1993) آب مصرفی گندم رقم قدس را در کرمانشاه در فصل رشد بهار 590 میلی‌متر تعیین نمود. تمامی این پژوهش‌ها و پژوهش حاضر لزوم تعیین ضریب گیاهی را برای ارقام پرمحصول و اصلاح شده جدید بیش از پیش نشان می‌دهد تا بتوان از اطلاعات تبخیر تعرق مرجع برآورد شده توسط روابط تجربی و به ویژه پنمن-مانتیت FAO که دقت قابل قبولی نیز دارند بهتر استفاده نمود. البته به این نکته هم باید اشاره نمود که برآورد تبخیر تعرق مرجع توسط فرمول پنمن-مانتیت هر چند که از نظر مقدار کل عددی برای دوره رشد گندم با نتایج به دست آمده از لایسیمتر اختلاف ناچیزی دارد ولی از نظر توزیع زمانی اختلاف در بعضی از دهه‌ها بیش‌تر است به گفته دیگر، فرمول پنمن-مانتیت میزان تبخیر تعرق مرجع را در اوایل دوره رشد گندم تا مرحله پنجه‌زنی بیش‌تر از مقدار واقعی و در اواخر رشد و کامل شدن پوشش گیاهی کم‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌کند، به طوری که از کل $743/3$ میلی‌متر تبخیر تعرق مرجع برآورد شده برای کل دوره رشد گندم، $70/8$ میلی‌متر (۱۰ درصد) در پاییز و زمستان و $672/5$ میلی‌متر (۹۰ درصد) در فصل رشد بهار صورت می‌گیرد در حالیکه از مقدار کل $715/4$ میلی‌متر تبخیر تعرق مرجع اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر برای همین مدت تنها $37/7$ میلی‌متر (۵ درصد) مربوط به پاییز و زمستان و بقیه یعنی $677/7$ میلی‌متر (۹۵ درصد) در فصل رشد بهار اتفاق می‌افتد (جدول ۲). ضریب گیاهی برای دوره‌های ماهانه نیز محاسبه و در جدول ۲ ارائه شده

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده در پژوهش، روش FAO56 مقدار تبخیرتعرق گندم برای دشت تبریز را به خوبی برآورد نمود به طوری که مقدار برآورد شده فصلی (۷/۲۰/۷ میلی‌متر) تنها ۱/۶ درصد از مقدار اندازه‌گیری شده (۲/۷۳۲ میلی‌متر) کم‌تر بود. روش FAO56 در تبخیرتعرق‌های پایین (کم‌تر از ۳ میلی‌متر بر روز) بیش برآورد و در تبخیرتعرق‌های بالا (بیش‌تر از ۵ میلی‌متر بر روز) کم‌برآورد نشان داد. همچنین مقدار تبخیرتعرق مرجع برآورد شده به روش FAO56 (پنمن-مانتیت) (۳/۷۴۳ میلی‌متر) با مقدار اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر (گیاه چمن) (۴/۷۱۵ میلی‌متر) توافق بسیار خوبی داشت. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که روش پنمن-مانتیت FAO با دقت خوبی می‌تواند تبخیرتعرق مرجع فصلی را برآورد کند و برای برآورد ماهانه و دهه‌ای و روزانه آن نیاز به واسنجی منطقه‌ای است. این واسنجی برای دشت تبریز به صورت معادله $ET_o = 1.23ET_{p-M} - 1.08$ به دست آمد. مقایسه ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده با ضرایب به دست آمده از جداول FAO برای طول دوره رشد (به جز مرحله اولیه رشد) نشان داد که تطابق خوبی بین ضرایب گیاهی حاصل از روش FAO-56 و ضرایب گیاهی اندازه‌گیری شده وجود دارد و به شرط تعدیل ضرایب گیاهی ارائه شده توسط FAO برای شرایط آب و هوایی (سرعت باد و رطوبت نسبی) منطقه مورد نظر، روش FAO با دقت قابل قبولی می‌تواند تبخیرتعرق محصول را برآورد نماید. البته با افزایش قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر میزان خطا افزایش یافته و نیاز به واسنجی منطقه‌ای خواهد بود. معادله بین تبخیرتعرق اندازه‌گیری شده و تبخیرتعرق برآورد شده توسط روش FAO برای گندم در دشت تبریز به صورت $ET_c = 1.15ET_{cFAO} - 0.54$ به دست آمد.

منابع

- Abedinpour, M. 2016. Determination of Wheat Growth, Crop Coefficient (Kc) and Water Stress Coefficient (Ks) under Different Salinity. Available at: <https://www.preprints.org/manuscript/201611.0091/v1/download>.
- Aboukhalel, A., Alfaro, A., Smith, M. 1982. Lysimeters. FAO Irrigation and Drainage No. 39. Rome.

رطوبت نسبی هوا و سرعت باد در محل، توسط FAO ارائه شده است با این حال با توجه به اینکه در شرایط مختلف مغایرت‌هایی دیده می‌شود اندازه‌گیری آن می‌تواند سودمند باشد. متوسط ضریب تشت تبخیر در دوره رشد گندم برابر ۰/۶۳ به دست آمد و در طول فصل رشد گندم بین ۰/۵ تا ۰/۸ در نوسان بود (جدول ۲). البته در آذر ماه ضریب تشت افزایش غیر منتظره‌ای داشته است که احتمالاً علت امر بالا بودن تبخیرتعرق چمن نسبت به تبخیر به دلیل گرمای سطح زمین بوده است. به گفته دیگر در این ماه به علت سردی هوا تبخیر از تشت بسیار کم بوده (۴/۴ میلی‌متر در ماه) ولی چون اوایل دوره سرما بوده هنوز زمین گرم بوده و چمن به علت ارتفاع کم توانسته از این گرما استفاده کرده و تبخیرتعرق نماید. البته به علت تبخیر و تبخیرتعرق کم در این ماه، وجود خطا در اندازه‌گیری آب خروجی لایسیمتر و تأثیر شگرف آن در نسبت تبخیرتعرق به تبخیر، دور از ذهن نیست.

بارندگی

متوسط کل مقدار بارندگی از کاشت تا برداشت در این چهار سال، ۱۹۸/۳ میلی‌متر بوده است که بسته به توزیع آن در طول فصل رشد، به طور متوسط مقدار ۱۳۲/۸ میلی‌متر (تقریباً ۶۷ درصد) مورد استفاده محصول قرار گرفته (باران موثر) و بقیه (۶۵/۵ میلی‌متر) به صورت نفوذ عمقی منطقه ریشه را ترک نموده است.

نیاز آبیاری

نیاز آبیاری کل گندم در طول فصل رشد برابر ۵۹۹/۴ میلی‌متر بوده است که از این مقدار ۹/۹ میلی‌متر هنگام کاشت و رشد اولیه در پاییز مورد نیاز است و بقیه (۵۸۹/۵ میلی‌متر) در بهار و تابستان سال بعد مورد نیاز خواهد بود. همان‌طور که از جدول ۲ و شکل ۲ مشخص است بیش‌ترین نیاز آبیاری گندم در دشت تبریز در ماه خرداد و دهه سوم این ماه می‌باشد چراکه از یک طرف در این محدوده زمانی قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر زیاد است و پوشش گیاهی کامل شده و به علت قرار گرفتن گیاه در مرحله گل‌دهی و تشکیل دانه شدت فتوسنتز و به تبع آن شدت تبخیرتعرق زیاد است و از طرف دیگر بارندگی بسیار ناچیز می‌باشد و در نتیجه آب از دست رفته در جریان تبخیرتعرق می‌بایست با آبیاری جبران گردد.

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrig. Drain. Pap. 56. FAO, Rome.
- Anonymous. 2014. IR. Of Iran Meteorological Organization. http://ndwmc.irimo.ir/parameters/weather/modules/cdk/upload/content/publications/114/142234161241781u779va81_0h11en1rjco bk875.pdf
- Anonymous. 2003. Crop coefficient and phenology. High Plains Regional Climate Center http://www.hprcc.unl.edu/crop/crop_wheat.txt
- Bank. Renewable internal freshwater resources per capita (cubic meters). Available at: <http://data.worldbank.org>.
- Bunyolo, A., Munyinda, K., Karamanos, R. E. 1985. The effect of water and nitrogen on wheat yield on a Zambian soil. II. Evaluation of irrigation schedules. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 16: 43–53.
- Choudhary, P. N., Kumar, V. 1980. The sensitivity of growth and yield of dwarf wheat to water stress at three growth stages. Irrig. Sci. 1:223–231.
- Cooper, J. L. 1980. The effect of nitrogen fertilizer and irrigation frequency on a semi dwarf wheat in southeast Australia. I. Growth and yield. 2. Water use. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 20: 359–369.
- De Pauw, E. 2003. Climate charts for CWANA and the Mediterranean countries. Agroecological Characterization Project. Natural Resources Management Program. ICARDA. Aleppo. Syria.
- Doorenbos, J., Pruitt, W. O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrig. Drain. Pap. 24. FAO, Rome.
- Ebrahimi Pak, N. A. 2009. Estimation of crop evapotranspiration coefficient of wheat at full irrigation and water stress condition. In Proceeding of 10th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction. Kerman, Iran. (In Farsi)
- Erie, L. J., French, O. F., Bucks, D. A., Harris, K. 1982. Consumptive use of water by major crops in the southwestern United States. U.S., Agric. Res. Serv. Conserv. Res. Rep. 29.
- Farshi, A. A. 1993. Determination of actual evapotranspiration of wheat by lysimeter and using of results for calibration of CROPWAT. Soil and Water Research Institute Annual Report: 149-154. (In Farsi).
- Farshi, A. A., Shariati, M. R., Jarollahi, R., Ghaemi, M. R., Shahabifar, M., Tavallaei, M.M. 1997. An Estimate of Water Requirement of Main Field Crops and Orchards in Iran. Vol 1. Field Crops. Nashr-e Amouzesh Keshavarzi, Karaj, Iran. PP. 900. (In Farsi).
- Ghaemi, M., Raeini Sarjaz, M., Mosavi, M. 2013. Estimating the crop coefficient and the water requirement of the Gascogne wheat by using energy balance method in Mashhad. Irrigation and Water Engineering, 3(11): 58-68. (In Farsi)
- Gao, Y. Duan, A., Sun, J., Li, F. Liu, Z., Liu, H., Liu, Z. 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. Field Crops Research, 111: 65-73.
- Gholami, M. A., Mirlatifi, S. M., Mohammadi, K., Alimohammadi, A. 2010. Estimating crop coefficient and actual evapotranspiration of wheat by remote sensing: A case study, Gorganrood command area, Golestan, Iran. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 2(4): 222-231. (In Farsi)
- Guerra, A. F., Jacomazzi, M. A. 2001. Class A pan evaporation method for wheat irrigation in the Cerrado region. Comunicado Tecnico Embrapa Cerrados, No. 58, 2 pp. <http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2001/comtec/comtec58a.pdf>.
- Hunsaker, D. J., Pinter Jr, P. J., Kimball, B. A. 2005. Wheat basal crop coefficients determined by normalized difference vegetation index. Irrigation Science 24: 1–14.
- Jalota, S. K., Prihar, S. S., Sundhu, B. A., Khera, K. L. 1980. Yield, water use, and root distribution of wheat as affected by presowing and postsowing irrigation. Agric. Water Manage. 2:289–297.
- Laaboudi, A., Allaoua, C., Hafouda, L., Ballague, D., Sbagoud, S., Meterfi, J., Herda, F. 2015. Crop coefficient and water requirement for wheat (*Triticum aestivum*) in different climate regimes of Algeria. Journal of Agricultural Policy and Research 3(8): 328–336.
- Liu, C., Zhang, X., Zhang, Y. 2002. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter. Agricultural and Forest Meteorology 111: 109–120.
- Meyer, W. S., Smith, D. J., Shell, G. 1999. Estimating reference evaporation and crop evapotranspiration from weather data and crop coefficients. Technical Report 34/98. CSIRO Land and Water. <http://www.clw.csiro.au/publications/technical98/tr34-98.pdf>
- Miller, D. G., Hang, A. N. 1982. Deficit, high-frequency sprinkler irrigation of wheat. Soil Science Society of America Journal, 46: 386-38.
- Mogensen, V. O., Jensen, H. E., Rab, M. A. 1985. Grain yield, yield components, drought sensitivity, and water use efficiencies of spring wheat subjected to water stress at various growth stages. Irrigation Science, 6: 131–140.
- Mohseni Movahed, S. A., Akbari, M., Dadivar, M., Khodshenas, M. A. 2011. Evaluation of yield, crop coefficient and water use efficiency of wheat proposed by FAO No. 33 paper and lysimeter in Arak. 3rd Irrigation and Drainage Network Management National Conference,

- March 1-3, 2011. Ahvaz, Iran.
- Niazi, J., Fooladmand, H.R., Ahmadi, S.H., Vaziri, J. 2005. Water requirement and crop coefficient of wheat in Zarghan area, Fars Province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 9(1): 1-8 (In Farsi).
- Onnabi Milani, A. 2001. Study of the combined effect of water and nitrogen fertilizer on wheat yield and nitrogen leaching. *Agricultural Scientific Information and Documentation Center, AREEO, No. 80/403: 1-14.* (In Farsi).
- Onnabi Milani, A. 2006. Evaluating direct and indirect estimation methods of reference evapotranspiration (ET_o). *Agricultural Scientific Information and Documentation Center, AREEO, Paper No. 85/1135: 1-54.* (In Farsi).
- Onnabi Milani, A., Neyshabouri, M. R. 2018. Comparison of some empirical estimating methods of reference evapotranspiration in Tabriz plain using lysimeter and proposing a model for its determination from climatic data. *Water and Soil Science*, 28(3): 53-64. (In Farsi).
- Rahimian, M. H., Poormohammadi, S., Mokhtari, M. H. 2011. Determination of winter wheat crop coefficient using Modis-derived vegetation indices: A case study of the Azadegan plain, Iran. 21st International Congress on Irrigation and Drainage, 15–23 October, Tehran, Iran.
- Rawat, K. S., Bala, A., Singh, S. K., Pal, R. K. 2017. Quantification of wheat crop evapotranspiration and mapping: A case study from Bhiwani District of Haryana, India. *Agricultural Water Management* 187: 200–209.
- Razavi, R. 1997. Determination of wheat water requirement using lysimeter. *Agricultural Scientific Information and Documentation Center, AREEO, No. 76/329: 1-10.* (In Farsi).
- Reedy, A. S., Bhardwaj, R. B. L. 1982. Water use studies in wheat as influenced by levels of nitrogen and phosphorus under limited and adequate irrigation. *Indian Journal of Agronomy*, 27: 22–27.
- Salter, P. J., Good, J. E. 1994. Crop response to water at different stage of growth, *Common Wealth Agric. Bur. Farham Royal, Bucks, England*, p. 246.
- Sattar, M. 1998. Determination of wheat potential evapotranspiration. *Agricultural Scientific Information and Documentation Center, AREEO, Paper No. 77/359: 1-12.* (In Farsi).
- Shahrokhnia, M. H. 2009. Determination of crop coefficient and evapotranspiration of Wheat and maize using the weighted lysimeter in Koshkak region, Fars. M. Sc. thesis in Mechanics of Agricultural Machinery Engineering, University of Shiraz. (In Farsi).
- Shariati, M. R. 1993. Determination of potential water requirement and crop coefficient of wheat. *Soil and Water Research Institute Annual Report: 160-164.* (In Farsi).
- Shariati, M. R. 1995. Determination of potential water requirement and crop coefficient of wheat. *Agricultural Scientific Information and Documentation Center, AREEO, No. 74/430: 1-14.* (In Farsi).
- Shimshi, D., Gairon, S., Rubin, J., Khilfa, M., Khilmi, Y. 1981. Field crops: Wheat. p. 7–15. In J. Shalhevet et al. (ed.) *Irrigation of field and orchard crops under semiarid conditions.* International Irrigation Information Center.
- Singh, R., Handal, S. S. 1989. Direct and indirect methods of estimation of evapo-transpiration in wheat (*Triticum aestivum*). *Indian Journal Agricultural Sciences*. 59(8): 508–514.
- Smith, M., Allen, R. G., Monteith, J. L., Pereira, L. S. Perrier, A., Pruitt, W. O. 1992. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. *Land and Water Development Division, Rome.*
- Tyagi, N. K., Sharma, D. K., Luthra, S. K. 2000. Evapotranspiration and crop coefficients of wheat and sorghum. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 126(4): 215–222.
- UNESCO. 1979. Map of the world distribution of arid regions. Map at scale 1:25,000,000 with explanatory note. *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris*, 54 pp. ISBN 92-3-101484-6.
- Vaziri, J. 1993. Determination of water requirement of wheat (Ghods) using lysimeter. *Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Annual Report: 121-126.* (In Farsi).
- Vieira, P. V. D., de Freitas, P. S. L., Biscaia, A. L., da Silva, R., Hashiguti, H. T., Rezende, R., Faria Jr, C. A. 2016. Determination of wheat crop coefficient (K_c) and soil water evaporation (K_e) in Maringa, PR, Brazil. *African Journal of Agricultural Research*. 11(44): 4551–4558.



Determination of evapotranspiration and crop coefficient of wheat, in Tabriz plain using lysimeter and comparing with FAO-56 approach

A. Onnabi Milani^{*1}, Sh. Mousavimanesh²

Received: 27/01/2018

Accepted: 29/01/2019

Abstract

A lysimetric study was conducted to determine the evapotranspiration (ET_c) and crop coefficient (K_c) of wheat (*Triticum aestivum* L., cultivar Alvand) during growing season in Tabriz plain, northwest of Iran. The obtained values were compared to estimations made by FAO-56 Penman-Monteith equation. Wheat evapotranspiration was measured in ten days interval using a drained lysimeter. Results indicated that seasonal ET_c of wheat is 732 mm, from which an average of 132 mm was supplied by precipitation and the remaining (i.e. 600 mm) by irrigation. Highest and lowest amount of ET_c was observed in 2nd decade of June and 2nd decade of December, respectively. The average amount of measured ET_c was in good agreement ($R^2=0.92$, NRMSE=0.11) with the estimated value by FAO-56 approach (721 mm). Similarly, the mean measured grass reference evapotranspiration value for the entire wheat growing season was 715 mm, which was statistically consistent with the estimated value (743 mm) obtained by FAO Penman-Monteith method ($R^2=0.98$, NRMSE=0.08). K_c for the initial stage, mid- and late season were 0.54, 1.22 and 0.39, respectively. The K_c values were also in close agreement with those estimated using modified empirical equation of FAO56-PM. in climatic condition of study region.

Keywords: Soil water balance, Penman-Monteith, Reference evapotranspiration, Wheat



¹ Assistant Professor, Soil and Water Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tabriz, Iran

(*Corresponding Author's Email Address: a_o_milani@yahoo.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.171004.1057

² B. Sc., Soil and Water Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tabriz, Iran