تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۳ | شماره ۲ | اردیبهشت ۱۴۰۱ (ص ۳۶۶-۳۵۵)

DOI: https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2022.332235.669100

(مقاله علمی - پژوهشی)

Determination of Water Requirement, Crop Coefficient and Water Productivity of Grapevines Trained in Two Trellises and Creeping Systems in Malekn Region

OMID OROUJIAN MASHHADI[1], SEYED MAJID MIRLATIFI[1*], HOSSEIN DEHGHANISANIJ[2]

1. Department of Water Management and Engineering, Collage of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extention Organization (AREEO), Karaj, Iran.
(Received: Oct. 19, 2021- Revised: Jan. 29, 2022- Accepted: Feb. 26, 2022)

ABSTRACT

Vineyard irrigation scheduling according to actual crop water requirements in the arid and semiarid regions is crucial to improve water productivity and maintain sustainable production. This experiment was carried out to evaluate water consumption ($ET_{C,a}$), crop coefficient (K_c) and water productivity of grapevine in the Malekan region located in the eastern Azerbaijan province. Two different field experiments in the form of complete randomized design with three replications were carried out during the 2020 growing season in two vineyards with trellis and creeping trained systems under subsurface drip irrigation (SDI). The grape's $ET_{C,a}$ was determined by measuring the components of the water balance equation including variations of soil moisture at different levels of the root zone. In order to prevent water stress, the soil moisture content was kept to the range of the readily available water during the whole growing period. The grape's $ET_{C,a}$ was 451, 394 mm, respectively, in the trellis and creeping system. Accordingly, water productivity was 5.83 and 6.1 kg per cubic meter of $ET_{C,a}$. Maximal daily K_c was 0.8–0.9, respectively, in the trellis and creeping system, implying that the maximum daily actual water consumption was lower than the calculated corresponding reference evapotranspiration.

Keywords: Evapotranspiration, Micro Irrigation, Sultana Cultivar, Water Consumption.

*Corresponding Author's Email: Mirlat_m@modares.ac.ir

برآورد نیاز آبی، ضریب گیاهی و بهره‌وری آب انگور در دو سیستم کشت داربستی و خزنده در منطقه ملکان

امید عروجیان مشهدی[۱]، سید مجید میرلطیفی[۱*]، حسین دهقانی سانیج[۲]

۱. گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۲۷- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۹- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۷)

چکیده

اعمال مدیریت آبیاری باغ‌های انگور بر اساس نیاز آبی گیاه در نواحی خشک و نیمه‌خشک به‌منظور بهبود تولید پایدار و بهره‌وری آب از اهمیت بسیاری برخوردار است. به‌منظور برآورد نیاز آبی، ضرایب گیاهی و بهره‌وری آب انگور رقم سلطانی در منطقه ملکان در استان آذربایجان شرقی دو پژوهش مزرعه‌ای در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در دو سیستم کشت داربستی و خزنده، تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیر سطحی در سال ۱۳۹۹ انجام شد. با استفاده از داده های حاصل از اندازه‌گیری‌های دوره‌ای اجزای بیلان آب در مزرعه، نیاز آبی ($ET_{C,a}$) محاسبه گردید. کلیه عملیات داشت به‌صورت بهینه انجام و در طول آزمایش سعی شد باتوجه‌به نتایج اندازه‌گیری رطوبت خاک، با انجام آبیاری به موقع، رطوبت خاک از حد رطوبت سهل الوصول کمتر نگردد تا گیاه دچار تنش رطوبتی نشود. میانگین $ET_{C,a}$ انگور در طول دوره رشد در کشت داربستی ۴۵۱ میلی‌متر و در کشت خزنده ۳۹۴ میلی‌متر بود. بهره‌وری آب به ازای هر متر مکعب تبخیر-تعرق و آب آبیاری به ترتیب در کشت داربستی ۵/۸۳ و... کیلوگرم و در کشت خزنده به ترتیب ۵/۸۳ و ۶/۱ کیلوگرم بود. حداکثر ضریب گیاهی (K_C) انگور در کشت داربستی ۰/۹ و در کشت خزنده ۰/۸۲ بود که نشان داد میزان تبخیر-تعرق واقعی انگور در طول فصل رشد همواره کمتر از تبخیر-تعرق مرجع بوده‌است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، آب مصرفی انگور، تبخیر-تعرق، رقم سلطانی.

مقدمه

انگور یکی از مهم‌ترین محصولات باغی در ایران و دنیا است که از دوران کهن مورداستفاده انسان بوده است. بر اساس مدارک تاریخی موجود کشت و کار انگور به هزاره قبل از میلاد می‌رسد. انگور در مقابل کم‌آبی مقاوم بوده اما تولید محصول با عملکرد مناسب و باکیفیت مرغوب، نیازمند تأمین آب موردنیاز انگور به‌خصوص در مراحل بحرانی است. نیاز آبی سالانه انگور وابسته به شرایط اقلیمی، بافت خاک، رقم کشت‌شده و روش آبیاری می‌تواند متفاوت باشد (Nejatiyan, 2014). عمده آب تأمین‌شده برای گیاه به‌واسطه تعرق از برگ‌ها و تبخیر از سطح خاک به اتمسفر برگردانده می‌شود (Netzer *et al.*, 2009). اگر آب در دسترس گیاه برای تأمین تبخیر-تعرق[۱] انگور کافی نباشد، کاهش عملکرد و دیگر شاخص‌های کمی از قبیل تعداد خوشه، اندازه خوشه، وزن حبه‌ها و غیره را در پی خواهد داشت (Smart & Coombe, 1983). اعمال آبیاری بیش از نیاز گیاه علاوه بر این‌که هزینه‌بر هست، باعث کاهش محتوای قند حبه‌های انگور، افزایش بیش از حد رشد رویشی شاخ و برگ‌ها و درنتیجه افزایش سایه‌اندازی روی خوشه‌ها و ایجاد بیماری‌های قارچی می‌گردد. همچنین نفوذ عمقی آب به ناحیه زیرین توسعه ریشه گیاه، منجر به آبشویی نیترات و سایر املاح موردنیاز گیاه به آب‌های زیرزمینی می‌گردد (Bravdo & Hepner, 1987). بنابراین با تعیین دقیق مقدار نیاز آبی گیاهان و تدوین برنامه منظم آبیاری می‌توان مقدار آب بهینه را در اختیار گیاه قرار داد و مشکلات ناشی از بیش بود و کمبود آب پیشگیری نمود (Houry, 2017). آگاهی از نیاز آبی گیاه یکی از عوامل مهم برای بهبود بهره‌وری آب در بخش کشاورزی است.

مقدار تبخیر-تعرق گیاه (ET_C) مهم‌ترین فاکتور در تدوین برنامه آبیاری است. میزان ET_C با اندازه‌گیری پیوسته تغییرات رطوبتی خاک توسط لایسیمتر و سپس استفاده از رابطه بیلان آب در خاک قابل محاسبه است. همچنین می‌توان از طریق تخمین تبخیر-تعرق مرجع (ET_o) و با استفاده از ضریب گیاهی (K_c) آن را برآورد نمود (Doorenbos & Pruitt, 1977). ضریب گیاهی (K_c) یک گیاه خاص از نسبت تبخیر-تعرق گیاه به تبخیر-تعرق گیاه مرجع (چمن یا یونجه) محاسبه می‌شود (Allen *et al.*, 1998).

* نویسنده مسئول: Mirlat_m@modares.ac.ir

۱ Evapotranspiration

مقدار ضریب گیاهی وابسته به عواملی مانند نوع سیستم کشت، فاصله ردیف کشت وغیره، است (Netzer *et al*., 2009).

پژوهش‌های زیادی در خصوص تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی انگور انجام‌شده است. تحقیقی که در مرکز تحقیقات کشاورزی دانشگاه کالیفرنیا طی سه سال انجام شد و نیاز آبی درختان انگور بالغ تحت سیستم آبیاری قطره‌ای به دست آمد. $ET_{C,a}$ در این تحقیق توسط یک لایسیمتر وزنی برآورد گردید. در این لایسیمتر دو درخت انگور قرار داشتند. آبیاری درختان به‌وسیله‌ی لترال های دارای قطره‌چکان داخلی بافاصله ۰/۳ متر از هم و دبی ۴ لیتر بر ساعت انجام شد. لوله‌های آبیاری توسط یک سیم در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از سطح زمین به‌صورت معلق قرار گرفتند. وزن لایسیمتر به‌صورت ساعتی ثبت گردید. برای تخمین پارامتر$ET_{C,a}$، تغییرات وزنی با حد آستانه تعریف‌شده که برابر ۱۶ لیتر بود مقایسه شد. در صورت تجاوز از حد آستانه تعریف‌شده، آبیاری توسط سیستم انجام می‌گرفت. $ET_{C,a}$ در طی سه سال زراعی ۷۰۸، ۸۳۸ و ۹۳۶ میلی‌متر گزارش شد (Williams *et al*., 2005).در پژوهشی دیگر، ETC_a انگور بیدانه طی شش سال در اسرائیل موردبررسی قرار گرفت. بدین منظور از ۱۲ لایسیمتر زهکش‌دار استفاده شد که دریکی از لایسیمترها برای اندازه‌گیری دقیق تبخیر، گیاهی مستقر نشد. تیمارها هرروز به‌وسیله ۴ قطره‌چکان با دبی ۲/۴ لیتر بر ساعت آبیاری شدند و مدیریت آبیاری بر اساس ۸۰ درصد نیاز آبی تا قبل از برداشت محصول و ۶۰ درصد نیاز آبی پس از برداشت محصول تا خزان انجام گرفت. میانگین $ET_{C,a}$ و تبخیر از خاک در کل فصل رشد به ترتیب برابر با ۱۲۲۲ و ۷۳ میلی‌متر بود. . همچنین حداکثر $ET_{C,a}$ در فصل‌های رشد، بین ۸/۶-۷/۲۶ میلی‌متر بر روز متغیر بود (Netzer *et al*., 2009). در یک پژوهش در نواحی مرکزی اسپانیا $ET_{C,a}$را طی سه فصل رشد ۵۵۰، ۳۷۷ و ۵۰۵ میلی‌متر گزارش کردند. این پژوهش با کمک یک لایسیمتر وزنی که دو درخت انگور در آن قرار داشتند انجام شد. مدیریت آبیاری تیمارها به‌وسیله قطره‌چکان با تأمین کامل نیاز آبی انجام شد. حداکثر K_c طی سه فصل رشد متوالی به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۶ و ۰/۷ گزارش شد (Lopez *et al*., 2012). طی یک تحقیق در منطقه آپولیا در جنوب ایتالیا میزان نیاز آبی انگور تحت سیستم آبیاری قطره‌ای از داده‌های ماهواره‌ای Landsat با استفاده از الگوریتم سبال برآورد شد. دقت این مدل با داده‌های لایسیمتری واقع در مزارع مورد مقایسه قرار گرفت و مقدار $ET_{C,a}$ انگور بین ۴/۱ تا ۴/۲ میلی‌متر بر روز گزارش شد(Silvia vanino *et al*., 2015). پژوهشی در کالیفرنیا با هدف محاسبه $ET_{C,a}$ انگور طی سه فصل رشد با استفاده از لایسیمتر وزنی انجام شد . در این پژوهش برای آبیاری تیمارها از قطره‌چکان‌هایی با دبی ۴ لیتر بر ساعت و فاصله ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. میانگین $ET_{C,a}$ طی سه فصل رشد ۹۴۹ میلی‌متر گزارش شد.

در تحقیقی دیگر نیاز آبی انگور تحت سیستم آبیاری قطره-ای در اسرائیل با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار در طی ۶ سال ارزیابی شد. مدیریت آبیاری تیمارها به‌وسیله قطره‌چکان‌هایی به فاصله ۳۰ سانتی‌متر و دبی ۱ لیتر بر ساعت با دور آبیاری روزانه برحسب ۱۰۰ درصد نیاز آبی انجام شد. نتایج نشان داد که میانگین $ET_{C,a}$ در طول فصل رشد برابر ۷۱۵ میلی‌متر بود. همچنین مقدار ماکزیمم K_c در فصل‌های رشد، بین ۰/۹-۰/۸ متغیر بود (Munitz *et al*., 2019).

مطالعات فراوانی در زمینه بهره‌وری[1] (WP) آب انگور تابه‌حال انجام‌شده است. طی یک پژوهش در اسپانیا، میانگین بهره‌وری آب به ازای واحد حجم تبخیر-تعرق (WP_{ET}) انگور طی سه سال درتیمارهای دیم، قطره‌ای زیر سطحی[2] (SDI) و آبیاری قطره‌ای[3] (DI) به ترتیب برابر با ۴/۱۵، ۳/۶۱ و ۳/۵۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد. میانگین عملکرد در تیمارهای دیم، SDI و DI به ترتیب برابر با ۱۱، ۱۲/۷ و ۱۱/۸ تن بر هکتار گزارش شد (Cancela et al., 2016). در پژوهشی WP_{ET} انگور تحت سیستم SDI طی ۲ سال در استرالیا مورد ارزیابی قرار گرفت. لوله آبیاری در فاصله ۲۵ سانتی‌متری از ردیف کشت و عمق ۲۵ سانتی‌متری از سطح خاک قرار داشت . فاصله قطره‌چکان‌ها ۴۰ سانتی‌متر و دبی ۱/۶ لیتر بر ساعت بود. WP_{ET} در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی ۵/۹ کیلوگرم به ازای یک متر مکعب تبخیر- تعرق گزارش شد (Phogat et al.,2017). در یک پژوهش واکنش درخت‌های مسن انگور به تغییر روش آبیاری سطحی به DI و بابلر را طی سه سال (۱۳۹۰-۱۳۸۸) در شهرستان میاندوآب موردبررسی قرارگرفت. نتایج نشان داد بیشترین WP_{ET} با ۲/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب آب مربوط به روش DI بود و WP_{ET} در آبیاری بابلر ۲/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب و در آبیاری سطحی حدود ۱/۴۸ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شد. با کاهش حجم آب مصرفی در روش DI و بابلر به نصف مقدار آن در روش آبیاری سطحی، عملکرد انگور به ترتیب ۲/۵ و ۳/۸ تن در هکتار کاهش یافت (Nikanfar and Rezaei, 2015). نتایج حاصل از تغییر روش آبیاری از جویچه‌ای به DI بر روی تاک‌های ۱۴ ساله در شهرستان ملایر همدان، طی دو سال زراعی نشان داد که WP_{ET} در دوتیمار DI به ترتیب با تعداد ۵

۱ Water productivity

۲ Subsurface drip irrigation

۳ Drip irrigation

قطره‌چکان و ۳ قطره‌چکان برای هر درخت با دبی ۴ لیتر بر ساعت در مقایسه با تیمار جویچه‌ای تحت مدیریت کشاورز بیشتر بود. WP_{ET} در دو تیمار DI به ترتیب ۸/۵ و ۱۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب و در تیمار جویچه‌ای ۴/۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود (Yulghonolu et al., 2017).

طی یک پژوهش در واشنگتن آمریکا، بهره‌وری آب انگور به ازای واحد حجم آب آبیاری (WP_I)، طی دو سال مورد بررسی قرار گرفت. فاصله ردیف‌های کشت و درختان به ترتیب ۲/۵ و ۱/۸ متر و نوع کشت داربستی بود. تیمارهای آبیاری شامل روش SDI و DI بودند. در هر دو روش SDI و DI برای هر درخت دو قطره‌چکان با دبی ۲ لیتر برساعت در نظر گرفته شد. میانگین عمق آبیاری در دو سال در هر دو روش آبیاری تقریبا برابر ۲۴۹ میلی‌متر بود. بر اساس نتایج میانگین WP_I طی دو سال به ترتیب در دو روش SDI و DI ۴/۱ و ۳/۷ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد (Xiaochi et al., 2020). در تحقیقی دیگر در اسپانیا، WP_I انگور طی سه سال در دو تیمار DI و SDI مورد ارزیابی قرار گرفت. لوله آبیاری در روش DI بر روی ردیف کشت و فاصله ۴۰ سانتی‌متری از سطح زمین و در روش SDI در عمق ۴۰ سانتی متری خاک قرار داشت. در هر دو روش SDI و DI هر درخت توسط دو قطره‌چکان با دبی ۲ لیتر بر ساعت آبیاری می‌شد. WP_I به ترتیب در تیمارهای SDI و DI ۳/۶۱ و ۳/۵۶ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شد (Cancela et al., 2016).

باتوجه‌به این که انگور با سطح زیر کشت حدود ۱۱ هزار هکتار مهم‌ترین محصول باغی منطقه ملکان محسوب می‌شود (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۸) و بسیاری از کشاورزان نسبت به کشت این محصول مبادرت ورزیدند، بررسی‌ها نشان داد که تا کنون ضرایب گیاهی، نیاز آبی و بهره‌وری آب این محصول در این منطقه و مناطق دیگر کشور تعیین نشده است. این تحقیق با هدف تعیین تبخیر-تعرق واقعی، ضریب گیاهی و بهره‌وری آب انگور تحت سیستم آبیاری SDI در دو سیستم کشت داربستی و خزنده انجام شد. همچنین معادله ساده و کاربردی برای برآورد ضرایب گیاهی انگور در منطقه مطالعاتی بر اساس درجه-روز-رشد که برای تاریخ‌های کشت متفاوت قابل‌استفاده است، ارائه گردید.

مواد و روش‌ها

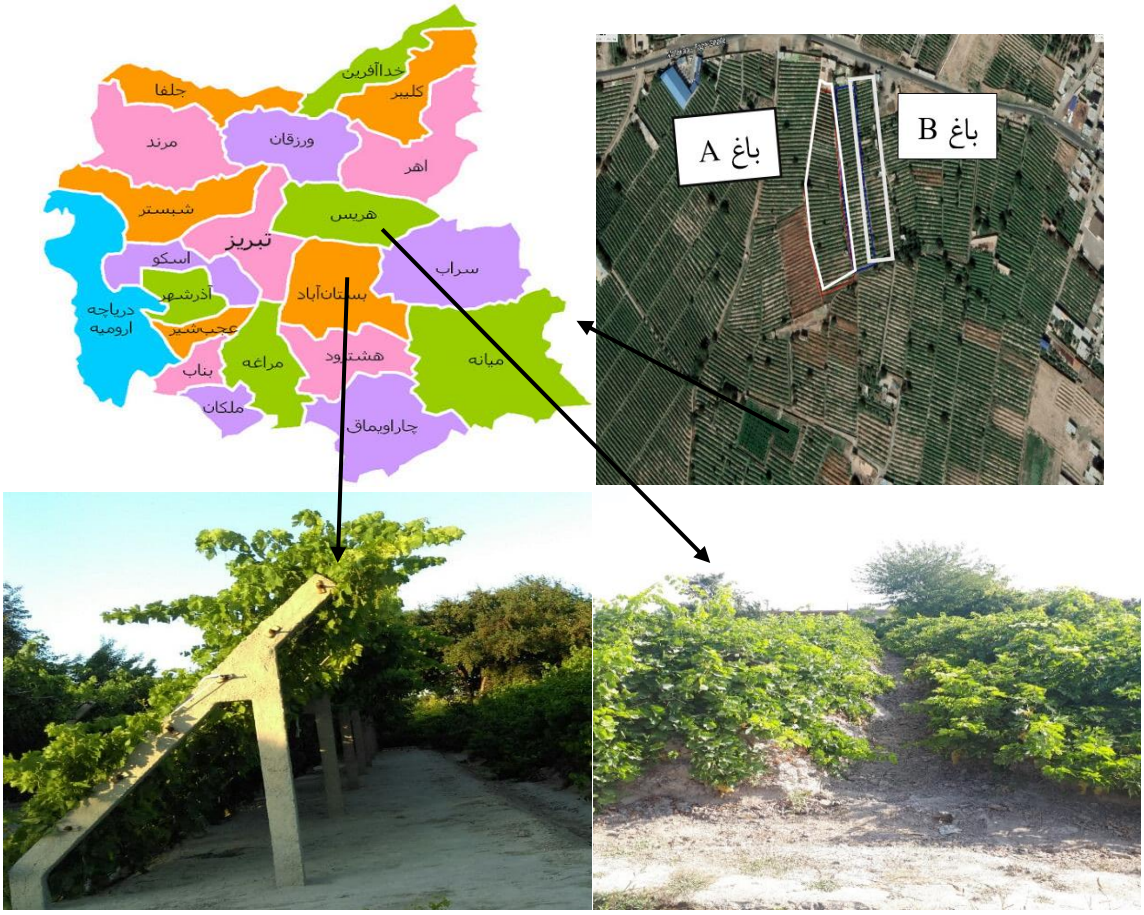
این تحقیق طی سال زراعی ۱۳۹۹ (۲۵ فروردین تا ۵ مهر) در دو تاکستان مجاور در شهرستان ملکان با موقعیت جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۳۰۲ متر از سطح دریا انجام شد. شهرستان ملکان طبق تقسیم‌بندی اقلیمی جزو مناطق سرد و خشک محسوب شده و میانگین بارش سالانه در این شهرستان ۲۵۵ میلی‌متر می‌باشد. رقم انگور مورد آزمایش سلطانی بود و در دو سیستم کشت متفاوت داربستی (A) و خزنده (B) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱). پیش از اجرای طرح، نمونه‌هایی از خاک (عمق‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی متری) و آب آبیاری هر دو مزرعه تهیه و به آزمایشگاه منتقل شدند. جدول (۱) ویژگی های آب آبیاری و جدول (۲) ویژگی‌های خاک دو مزرعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج آنالیز نمونه آب

منبع آب	هدایت الکتریکی(ds/m)	اسیدیته	کاتیون(meq/l)			آنیون (meq/l)	
			ca^{2+}	mg^{2+}	Na^{+}	Hco^{3-}	Cl^{-}
چاه	۰/۸۶۶	۷/۱۰	۳/۹۲	۴/۲۰	۰/۴۶	۴	۲/۸۰

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

	عمق خاک (سانتی متر)	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته گل اشباع	رطوبت حجمی ظرفیت زراعی(%)	رطوبت حجمی پژمردگی دائم(%)	مشخصات بافت (%)			بافت خاک
						رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	
باغ A	۳۰-۰	۱/۵۷	۷/۹	۲۹/۲	۱۴/۴۰	۲۵	۴۳	۳۲	لوم
	۶۰-۳۰	۱/۸۴	۷/۸	۲۸/۶۵	۱۳/۶۲	۲۵	۴۳	۳۲	لوم
	۹۰-۶۰	۱/۹۱	۷/۸	۲۸/۱۵	۱۳/۳۸	۱۴	۳۶	۵۰	لوم
	میانگین	۱/۷۷	۷/۸	۲۸/۶۶	۱۳/۸۰				
باغ B	۳۰-۰	۱/۶۷	۷/۹۵	۲۶/۶	۱۲/۱	۱۵	۴۰	۴۵	لوم
	۶۰-۳۰	۱/۹۶	۷/۸۶	۲۱/۸	۱۰/۷	۱۰	۲۰	۷۰	لوم شنی
	۹۰-۶۰	۲/۱۴	۷/۷۵	۱۸/۵	۸/۷	۱۲	۱۹	۶۹	لوم شنی
	میانگین	۱/۹۲	۷/۸۵	۲۲/۳	۱۰/۵				



شکل ۱- باغ داربستی (A) در سمت چپ و باغ خزنده (B) در سمت راست

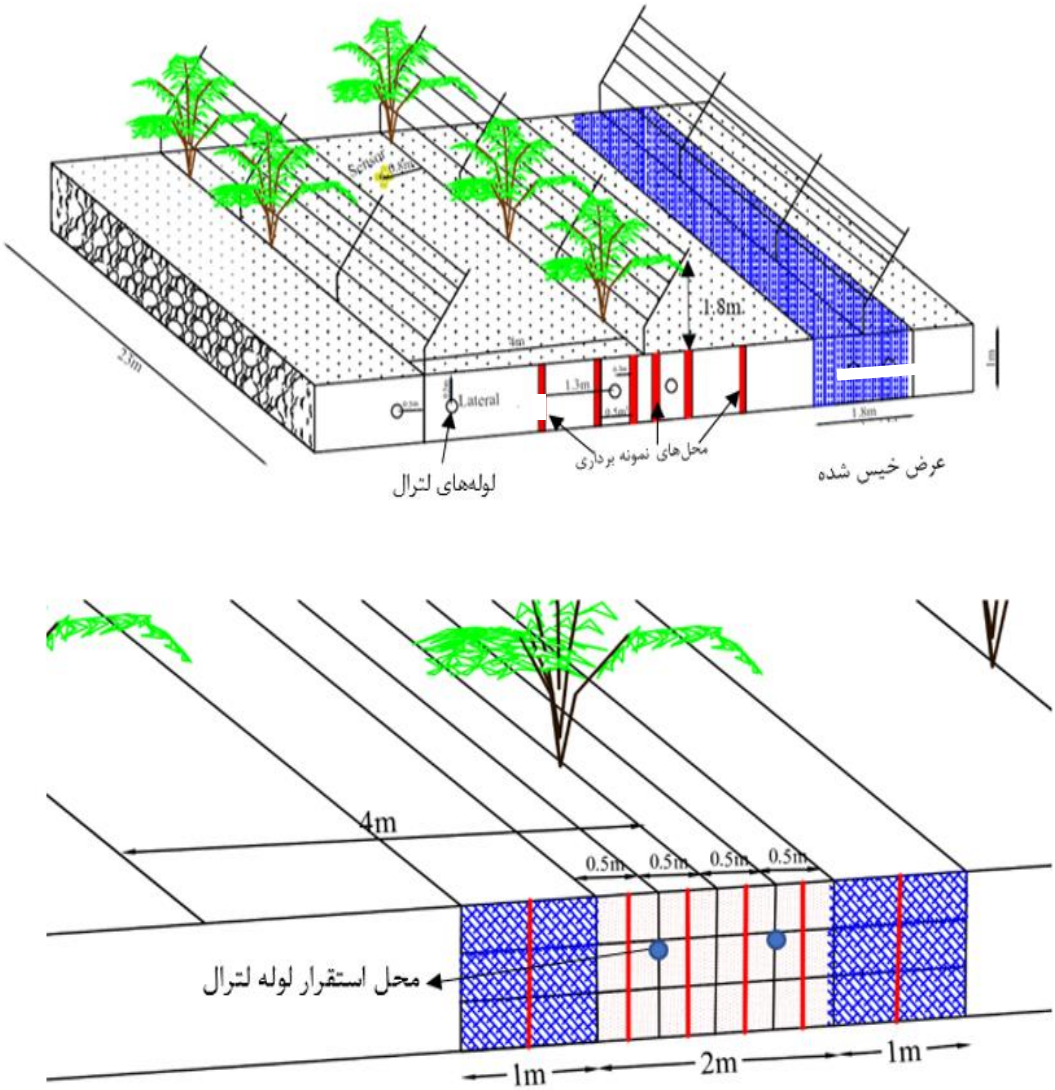
آبیاری در تیمارها باتوجه‌به رطوبت خاک قرائت شده توسط سنسور WATERMARK 200SS و همچنین نمونه‌برداری با مته در طول فصل رشد براساس میزان تخلیه رطوبتی از ناحیه توسعه ریشه انجام و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه اعمال گردید. آبیاری به نحوی انجام شد که رطوبت بعد از آبیاری به حد ظرفیت زراعی برسد و نفوذ عمقی اتفاق نیافتد. حد تخلیه مجاز رطوبتی (MAD) برای انگور بر اساس نشریه FAO 56، ۴۵ درصد در نظر گرفته شد. عمق خالص آبیاری براساس اندازه‌گیری رطوبت با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$I_n = \sum_{j=1}^{n}(\sum_{i=1}^{m}(w_{fci} - w_{Bi}) \times D_i)_j \quad \text{(رابطه ۱)}$$

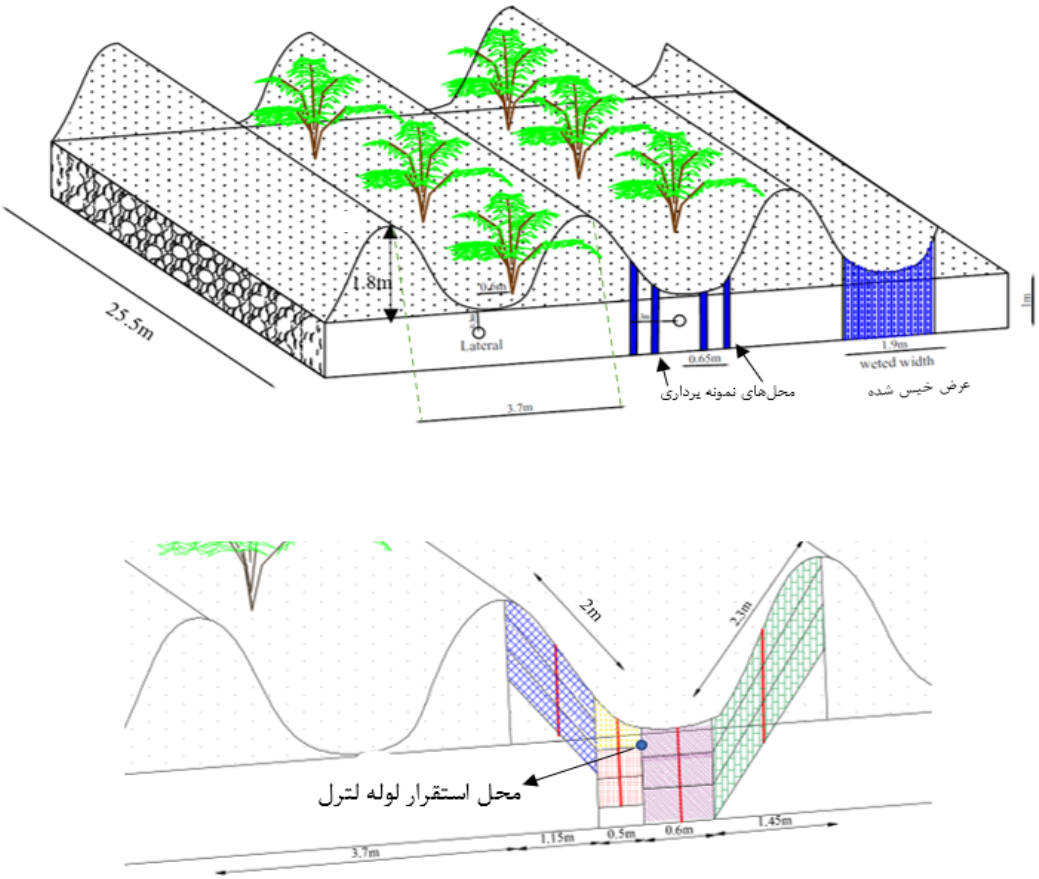
که در این رابطه I_n عمق خالص آبیاری بر حسب میلی‌متر، w_{fc} رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی (میلی‌متر)، Di عمق ناحیه ریشه (میلی‌متر)، m تعداد لایه‌های پروفیل خاک در ناحیه توسعه ریشه، i شمارشگر تعداد لایه‌ها، j شمارشگر تعداد محل‌های اندازه‌گیری رطوبت اطراف درخت، n تعداد محل‌های اندازه‌گیری رطوبت پروفیل خاک اطراف درخت و w_{Bi} رطوبت حجمی خاک پیش از آبیاری بر حسب درصد است.

درختان باغ A ۸ ساله و باغ B، ۳۰ ساله بودند. پژوهش حاضر به‌صورت دو آزمایش در قالب دو طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در باغ‌های A و B انجام شد. در باغ A فاصله‌ی ردیف‌های کشت، طول هر ردیف و فاصله درختان به ترتیب حدود ۴ ، ۲۳/۵ متر و ۸۰ سانتی‌متر بود. فاصله لوله‌های SDI از تنه‌ی درختان ۵۰ سانتی متر بود. لوله‌ها در دو طرف ردیف درختان تعبیه و در عمق ۵۰ سانتی‌متری از سطح خاک کارگذاری شدند. قطره‌چکان‌ها با دبی ۲/۱ لیتر بر ساعت داخل لوله لترال قرار داشته و فاصله قطره‌چکان‌ها از یکدیگر ۷۵ سانتی متر بود (دو قطره‌چکان برای هر درخت) عمق توسعه ریشه در این تیمار باتوجه‌به پروفیل حفر شده در سه مقطع متفاوت یک متر اندازه‌گیری شد (T1). در باغ B نیز که به‌صورت خزنده (جوی و پشته‌های بلند) احداث شده بود، در باغ B فاصله‌ی ردیف‌های کشت، طول هر ردیف و فاصله درختان به ترتیب حدود ۳/۷ ، ۲۵/۵ و ۲ متر بود. در این باغ در داخل جوی‌ها، یک لوله‌ی SDI در فاصله ۶۰ سانتی متر از تنه درختان و عمق ۳۰ سانتی متر از سطح خاک کارگذاری شد. قطره‌چکان‌های لوله لترال در داخل‌لوله وفاصله آن‌ها از یکدیگر ۳۷ سانتی متر و دبی هر قطره‌چکان ۲/۱ لیتر بر ساعت بود (پنج قطره چکان برای هر درخت). عمق توسعه ریشه در این تیمار باتوجه‌به پروفیل حفر شده در سه مقطع متفاوت، ۸۰ سانتی‌متر

اندازه‌گیری شد. عمده توسعه ریشه در این تیمار به واسطه سیستم کشت خزنده درون پشته‌ها مشاهده گردید (T2) . در هر دو تیمار SDI کنترل حجم آبیاری توسط کنتور با دقت یک دهم لیتر که در ابتدای هر خط آبیاری SDI نصب بود، انجام گرفت. اندازه‌گیری رطوبت خاک پیش و پس از هر نوبت آبیاری یکی از مهم‌ترین بخش‌های برآورد تبخیر-تعرق می‌باشد. جهت بررسی تغییرات رطوبت با استفاده از دستگاه رطوبت سنج Watermark در تیمار T1 در فاصله ۸۰ سانتی‌متری ردیف کشت و اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری و مته در اعماق مشخصی از خاک (۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر) و در فواصل ۲۵ و ۷۵ و ۱۵۰ سانتی متری از دو طرف ردیف قبل و ۲۴ ساعت بعد هر آبیاری با سه تکرار در طول ردیف کشت (حجم کنترل)، اندازه‌گیری رطوبت انجام پذیرفت. در تیمار T2 نیز نمونه‌برداری با مته در فواصل ۳۰، ۲۵، ۱۰۵ و ۱۳۰ سانتی‌متری دوطرف لوله آبیاری قبل و ۲۴ ساعت بعد آبیاری انجام شد. در شکل‌های (۲) و (۳) محل استقرار لوله‌های لترال را نسبت به ردیف کشت، فواصل نمونه‌برداری با مته در طول ردیف کشت و عرض خیس شده اندازه‌گیری شده پس از آبیاری را به ترتیب در دو تیمار T1 و T2، نشان داده شده‌است. همچنین چگونگی شبکه‌بندی نیمرخ خاک در تیمارهای به‌منظور اندازه‌گیری تبخیر-تعرق واقعی ارائه گردید. در این تحقیق فرض شد که رطوبت اندازه‌گیری شده در این نقاط بیانگر میانگین رطوبت حجم کنترل است.



شکل ۲- نحوه استقرار لوله‌های لترال، فواصل نمونه‌برداری از ردیف و نحوه شبکه‌بندی نیمرخ خاک جهت محاسبه حجم آبیاری مورد نیاز و تبخیر-تعرق واقعی تیمار T1



شکل ۳- نحوه استقرار لوله‌های لترال، فواصل نمونه‌برداری از ردیف و نحوه شبکه‌بندی نیمرخ خاک جهت محاسبه حجم آبیاری مورد نیاز و تبخیر-تعرق واقعی تیمار T2

میزان $ET_{C,a}$ در تیمارها با استفاده از معادله بیلان آب در خاک (معادله ۲) در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک محاسبه شد. (Rosenberg *et al.*, 1983):

$$ET_{C,a} = P + I \pm \Delta S - DP - RO \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن $ET_{C,a}$ تبخیر-تعرق واقعی گیاه (میلی‌متر)، I عمق آبیاری (میلی‌متر)، P عمق بارندگی موثر (میلی‌متر)، ΔS تغییر در ذخیره رطوبتی خاک که به وسیله مته و سنسور WATERMARK اندازه‌گیری شد (میلی‌متر)، DP نفوذ عمقی (میلی‌متر)، RO رواناب سطحی (میلی‌متر) می‌باشد. به دلیل قطره ای بودن سیستم آبیاری، از تلفات رواناب سطحی صرف نظر شد. همچنین به دلیل عدم وقوع بارندگی در طول فصل رشد مقدار P صفر منظور شد.

تبخیر-تعرق مرجع (ET_o) روزانه با استفاده از آمار روزانه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ملکان (دمای حداقل وحداکثر روزانه، میانگین رطوبت، میانگین سرعت باد و ساعات آفتابی) که در فاصله سه کیلومتری محل اجرای طرح بود و سپس با استفاده از معادله پنمن- مانتیث (PM) محاسبه شد (Allen *et al.*, 1998):

(رابطه ۳)

$$ET_o = \frac{[0.418\Delta(R_n - G) + (900\gamma)(T + 273)U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

که در آن ET_o: تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن (میلی‌متر بر روز)، R_n: تشعشع خالص (مگاژول بر مترمربع)، G: شار حرارتی خاک (مگاژول بر مترمربع روز)، T: متوسط دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، γ: ضریب سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سانتی گراد)، U_2: سرعت باد در ارتفاع دومتری(متر بر ثانیه)، Δ: شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، و $e_a - e_d$: کمبود فشار بخار (کیلوپاسکال) می‌باشد.

سپس با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده $ET_{C,a}$ و ET_o محاسباتی، ضریب گیاهی (K_c) انگور تعیین شد (Allen *et al.*, 1998):

(رابطه ۴)

$$KC = \frac{ET_{C,a}}{ET_o}$$

برای مقایسه دو روش بیلان آب در خاک و روش محاسباتی (مبتنی بر تبخیر تعرق مرجع به‌دست‌آمده از رابطه پنمن مانتیث) تبخیر-تعرق محاسباتی (ET_{P-M}) در طول فصل رشد، با استفاده از معادله (۵) حاصل گردید (Alizadeh, 2008):

(رابطه ۵)

$$ET_{P-M} = 0.1U_d \times {P_d}^{0.5}$$

که در این معادله U_d: نیاز آبی روزانه (میلی‌متر بر روز) و P_d: درصد سطح سایه انداز گیاه است که با کمک دوربین دیجیتالی که بر روی یک پایه ۸ متری مستقر بود و نرم افزار Adobe photoshop 2020 اندازه‌گیری شد. مقدار U_d از معادله زیر حاصل شد:

$$U_d = ET_o \times K_{c-FAO} \quad \text{(رابطه ۶)}$$

که در این رابطه K_{c-FAO} مقدار K_c انگور براساس مقادیر ارائه شده در نشریه FAO56 می‌باشد.

همچنین درجه روز رشد[۱] (GDD)، با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (Kouchaki and Nasiri Mahalati, 1992):

$$GDD = \sum_i^n \left[\frac{T_{max}-T_{min}}{2} - T_b\right] \quad \text{(رابطه ۷)}$$

که در آن: T_{max} و T_{min} به ترتیب بیشترین و کمترین دمای روزانه (درجه سانتی‌گراد)، n: تعداد روزها و T_b: دمای پایه (برای انگور ۱۱ درجه سانتی‌گراد(Willian *et al*., 2015) می‌باشد.

برای ارزیابی بهره‌وری آب در سطوح مختلف دیدگاه‌های مختلفی وجود دارد. بهره‌وری آب تحت عناوین مختلف بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب مورداستفاده در تبخیر-تعرق گیاه تعریف می‌شود(Saafi *et al* ., 2017). در این پژوهش بهره‌وری آب براساس عملکرد محصول به ازای واحد حجم تبخیر-تعرق واقعی ($ET_{C,a}$) و واحد حجم آب آبیاری محاسبه شد (ER-Raki *et al*., 2020; Fernandez *et al*., 2020):

$$WP_I = \frac{Y}{\sum I} \quad \text{(رابطه ۸)}$$

$$WP_{ET} = \frac{Y}{ET_{C,a}} \quad \text{(رابطه ۹)}$$

که در این معادله Y: عملکرد محصول (میوه تازه) بر حسب کیلوگرم و $\sum I$ کل حجم آبیاری در طول فصل رشد (متر مکعب) می‌باشد.

از تاریخ ۷ شهریور ۱۳۹۹ به بعد، آبیاری به‌منظور جلوگیری از ترک خوردن حبه های انگور باتوجه‌به پرشدن کامل حبه‌ها، و همچنین افزایش میزان قند محصول طبق نظر کشاورزان متوقف گردید.

نتایج

در شکل (۳) روند تغییرات رطوبت تجمعی لایه‌های مختلف خاک در ناحیه توسعه ریشه در نقاط نمونه‌برداری شده توسط مته نمونه‌گیری خاک ترسیم شد. نیاز آبی درختان تا قبل از شروع آبیاری، از رطوبت موجود در خاک تامین می‌شد و در این بازه رطوبت خاک به‌صورت پیوسته اندازه‌گیری شد. آبیاری در زمانی که رطوبت خاک در حدود رطوبت سهل‌الوصول (RWC) بود، آغاز شد. بالا رفتن رطوبت از حد ظرفیت زراعی (F_C) در آبیاری دوم و سوم در تیمار T1 و در آبیاری دوم در تیمار T2 به‌دلیل آبیاری سنگین به‌منظور شستشوی نمک‌های انباشته شده در لایه‌های سطحی خاک بود. مقادیر آبیاری بیش از حد ظرفیت زراعی به عنوان نفوذ عمقی در نظر گرفته شد. میانگین رطوبت خاک در اعماق مختلف در طول بازه‌ی آبیاری بین رطوبت RWC و حد F_C تغییر کرد که این بازه رطوبتی معمولا دامنه رطوبت بهینه برای رشد و نمو گیاه در نظر گرفته می‌شود (Stegman *et al*., 1983). توقف آبیاری در بازه پایانی فصل طبق نظر کشاورزان به‌منظور جلوگیری از خسارت ناشی از ترک خوردن حبه‌های انگور و افزایش میزان قند محصول، باعث کاهش رطوبت خاک در این بازه زمانی شد.

$ET_{C,a}$ گیاه یا همان آب مصرفی گیاه با استفاده از تحلیل تغییرات رطوبت نیمرخ خاک به روش موازنه حجمی آب خاک طبق معادله (۲) در هر دو تیمار محاسبه گردید. در این روش از رطوبت خاک اندازه‌گیری شده در اعماق مختلف استفاده شد. تخلیه رطوبت خاک در یک بازه زمانی مشخص به عنوان $ET_{C,a}$ در آن دوره در نظر گرفته شد.

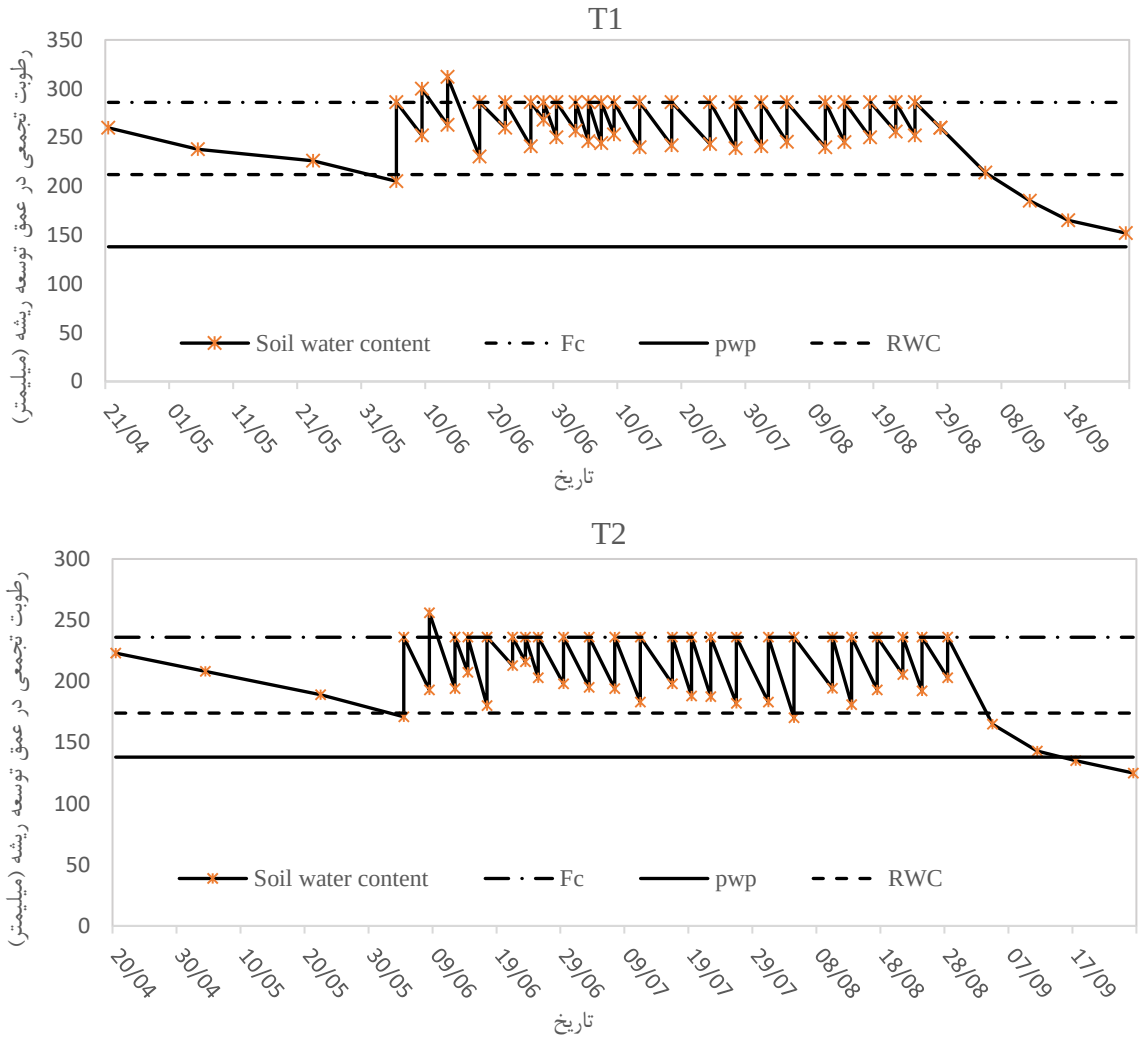
مقادیر تجمعی $ET_{C,a}$ و ET_{P-M} تیمارهای مورد بررسی در شکل (۵) نشان داده شده است. مقدار تجمعی $ET_{C,a}$ به ترتیب در تیمارهای T1 و T2 ، ۴۵۱ و ۳۹۴ میلی‌متر بود که این مقدار از مقادیر ارائه شده توسط (Picon toro *et al*., 2012) و (Munitz *et al*., 2019) که به ترتیب ۸۳۴ و ۷۱۵ میلی‌متر بودند، کمتر و با مقادیر ارائه شده توسط (Williams., 2014) و (Lopez *et al*., 2012) که به ترتیب ۴۳۰ و ۴۷۷ میلی‌متر بودند، مطابقت دارد. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار $ET_{C,a}$ در تیمارهای T1 و T2 به ترتیب حدود ۸ و ۲۲ درصد کمتر از مقدار محاسبه شده برای این تیمار به روش ET_{P-M}است. بخشی از این اختلاف‌ها می‌تواند ناشی از وقوع تنش خشکی در دو هفته پایانی فصل رشد باشد. باتوجه‌به اینکه گیاهان دارای مکانیسم‌های خاصی جهت مقابله با شرایط کم آبی می‌باشند، واکنش اولیه آن‌ها به تنش خشکی بسته شدن روزنه‌های برگ بوده که در نتیجه آن تبخیر-تعرق کاهش می‌یابد (Colom and Vazzana, 2003). همچنین یکسان نبودن ویژگی‌های گیاه و خصوصیات منطقه رشد با شرایط در نظر گرفته شده توسط فائو، منجر به عدم قطعیت در برآورد تبخیر-تعرق در روش‌های مبتنی بر ضریب گیاهی می‌گردد.

تغییرات $ET_{C,a}$و ET_{P-M} در هر دو تیمار ، طی فصل رشد در شکل‌های (۶) آورده شده است. افزایش فاصله $ET_{C,a}$ با ET_{P-M}

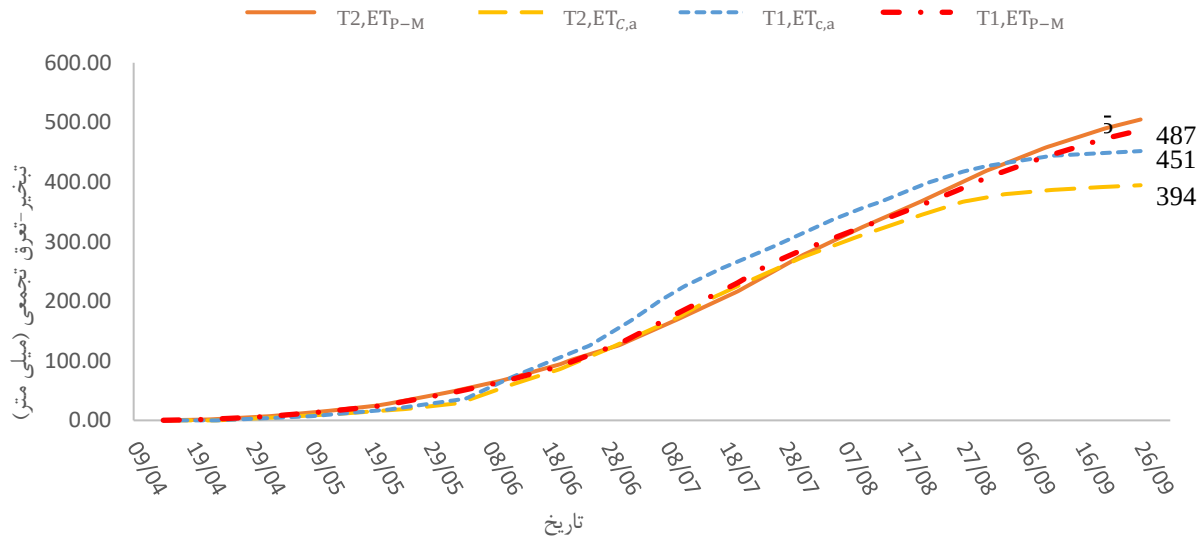
۱ Growing degree day

در بازه پایانی فصل به دلیل تنش خشکی وارد شده به گیاه در این بازه می‌باشد. مقدار $ET_{C,a}$ در تیمار T1 از ۰/۴۴ تا ۶/۶ میلی متر بر روز و در تیمار T2 از ۰/۵ تا ۵/۶ میلی‌متر بر روز متغیر بود.

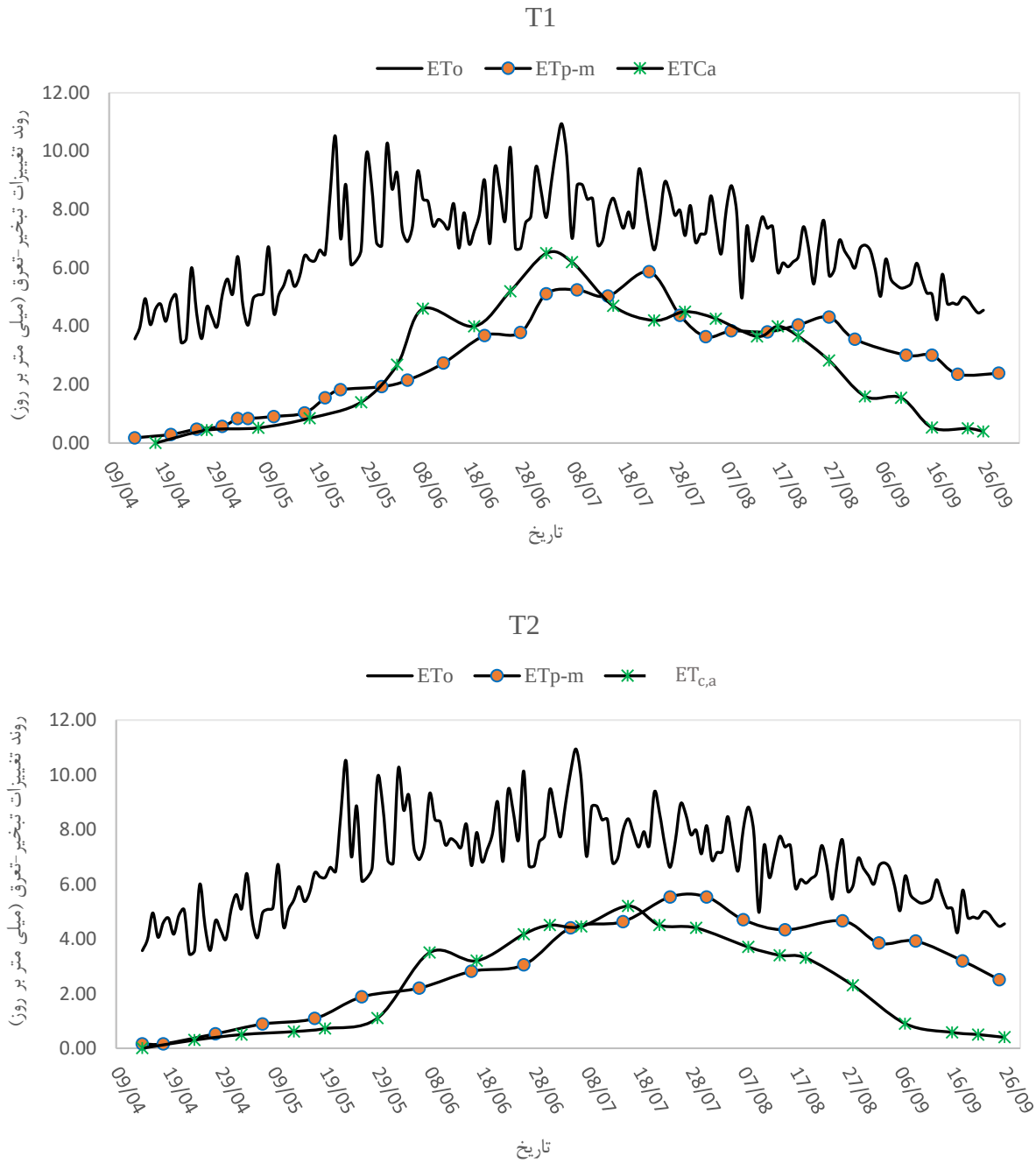
طول مراحل رشد اولیه، توسعه، میانی و پایانی به ترتیب ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۳۰روز تعیین شد.



شکل ۲- روند تغییرات رطوبت تجمعی خاک در عمق توسعه در تیمار T1 و T2



شکل ۴- مقادیر تجمعی $ET_{C,a}$ و ET_{P-M} در تیمارهای T1 و T2

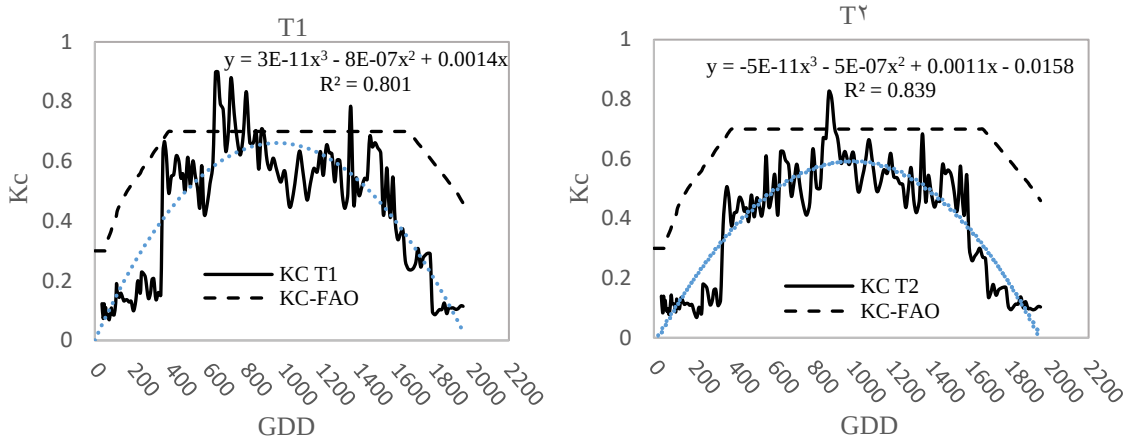


شکل ۵- تغییرات $ET_{C,a}$ و ET_{P-M} در تیمارهای T1 و T2 در طول فصل رشد

در شکل (۶) مقادیر K_c تیمارها در طول فصل رشد با استفاده از $ET_{C,a}$ و ET_o بر حسب GDD ارائه شده است. براساس مقادیر بدست آمده ضریب گیاهی، منحنی درجه سوم برازش داده شد. حداکثر مقدار K_c در این تحقیق در تیمارهای T1 (۰/۹) و T2 (۰/۸۲) از مقادیر ارائه شده توسط (Wang *et al.*, 2019) و (Picon-Toro *et al.*, 2018) که به ترتیب حداکثر مقدار K_c انگور را ۱/۱ و ۱ گزارش نمودند کم‌تر و از نتایج (Williams *et al.*, 2014)، (Civit *et al* 2018)، (Munitz *et al.*, 2019) و نشریه FAO56 که این مقدار را بین ۰/۷ تا ۰/۷۸ گزارش کردند، بیشتر است. علت تفاوت ضرایب گیاهی انگور در مناطق مختلف را می توان در تفاوت اقلیم، نوع رقم و نحوه کاشت دانست.

میزان عملکرد محصول در تیمارهای T1 و T2 به ترتیب ۲۶/۳ و ۲۴ تن بر هکتار بود. WP_{ET} به ترتیب در تیمارهای T1 و T2 ۵/۷ و ۵/۵۴ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد (جدول ۳) که با مقادیر گزارش‌شده توسط (Taisheng *et al.*, 2008)، (Phogat *et al.*, 2017) و (Ohaana *et al.*, 2020) که به ترتیب ۵/۶، ۵/۹ و ۶ کیلوگرم بر متر مکعب بودند مطابقت دارد. همچنین WP_I به ترتیب در تیمارهای T1 و T2، ۷/۱ و ۷ کیلوگرم بر متر

مکعب به دست آمد (جدول ۳) که با مقادیر گزارش‌شده توسط (Yulghonolu et al 2017)، که ۹/۴ کیلوگرم بر متر مکعب بود، کمتر و از مقادیر گزارش توسط (Cancela *et al*., 2016) و(Nikanfar and Rezaei 2015) که به ترتیب ۳/۳۶ و ۲/۲ کیلوگرم بر متر مکعب بودند، بیشتر بود.



شکل ۶- ضرایب گیاهی تیمارهای T1 و T2 بر حسب GDD

جدول ۳- عملکرد و شاخص WP تیمارهای مورد مطالعه

تیمار	ETC_a(مترمکعب بر هکتار)	آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	WP_{ET}(کیلوگرم بر مترمکعب)	WP_I (کیلوگرم بر مترمکعب)
T1	۴۵۱۰	۳۷۰۴	۲۶۳۰۰	۵/۸۳	۷/۱
T2	۳۹۴۰	۳۴۲۸	۲۴۰۰۰	۶/۱	۷

نتیجه‌گیری

باتوجه‌به این‌که تعیین دقیق نیاز آبی گیاهان یکی از موارد ضروری برای رفع چالش‌های موجود در مساله مدیریت آبیاری است، در این پژوهش مقدار $ET_{C,a}$ باغ‌های انگور در دو سیستم کشت متفاوت داربستی و خزنده با کمک معادله بیلان آب برآورد گردید. مقدار $ET_{C,a}$ به ترتیب در تیمارهای T1 و T2، ۴۵۱ و ۳۹۴ میلی متر به‌دست آمد. تفاوت قابل توجه ۸ و ۲۲ درصدی $ET_{C,a}$با ET_{P-M} حاکی از اهمیت انجام مطالعات مزرعه‌ای به‌منظور تعیین نیاز آبی واقعی محصولات باغی در طول فصل رشد می‌باشد. ضرایب گیاهی انگور بر اساس گیاه مرجع چمن (ET_o)، به ترتیب در دوره‌های ابتدایی، میانی و پایانی رشد برای تیمار T1: ۰/۱۵، ۰/۷ و ۰/۴۵ و برای تیمار T2: ۰/۱۳، ۰/۶۵ و ۰/۴ برآورد گردید. همچنین در معادله‌ای که برای محاسبه ضریب گیاهی انگور ارائه گردید، به جای استفاده از مقیاس‌های زمانی مانند روز از سال یا روزهای پس از کشت، از پارامتر درجه روز رشد استفاده گردید که می‌تواند مقادیر ضرایب گیاهی را با وجود تفاوت در مراحل فنولوژیکی در مناطق مختلف با اطمینان بیشتری برآورد کند. WP بر اساس نسبت عملکرد بر $ET_{C,a}$ برای تیمارهای T1 و T2 به ترتیب ۵/۸۳ و ۶/۱ کیلوگرم بر متر مکعب تعیین شد. پیشنهاد می‌شود باتوجه‌به تنوع آب و هوایی در کشور، تفاوت در رقم و سیستم کشت انگور، مشابه این تحقیق در سایر نقاط ایران که کشت انگور رایج است انجام گردد. همچنین توصیه می‌شود برای اندازه‌گیری رطوبت جهت برآورد $ET_{C,a}$ در مطالعات بعدی از تجهیزات دقیق‌تری مانند TDR و یا نوترون متر استفاده شود.

سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله از مالک باغ، جناب آقای منصور صادقیان که در طول انجام این تحقیق کمال همکاری را مبذول فرمودند و امکانات خویش را در اختیار محققین قرار دادند، کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Publications *Fao. 300* p.

Alizadeh, A. (2008). *Trickle irrigation (principles and practices).* Mashhad, Iran. Astan ghods Imam Reza university. (In Farsi).

Cancela, J. J., Trigo-Córdoba, E., Martínez, E. M., Rey, B. J., Bouzas-Cid, Y., Fandiño, M., & Mirás-Avalos, J. M. (2016). Effects of climate variability on irrigation scheduling in white varieties of Vitis vinifera (L.) of NW Spain. *Agricultural Water Management*, *170*, 99-109.

Civit, B., Piastrellini, R., Curadelli, S., and Arena. A. P. (2018). The water consumed in the production of grapes for vinification (Vitis vinifera). Mapping the blue and green water footprint. *Ecological Indicators*. 85:236-243.

Doorenbos, J. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements: FAO, Roma (Italia).

Er-Raki, S., Bouras, E., Rodriguez, J. C., Watts, C. J., Lizarraga-Celaya, C., and Chehbouni., A. (2020). Parameterization of the AquaCrop model for simulating table grapes growth and water productivity in an arid region of Mexico. *Agricultural water management. 245:* 106585.

FAO Organization statistics (2020) http://fao.org/statistics/en .

Fernandez, J. E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez- Santana. V., and Cuevas, M.N. (2020). Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: a case study of a super high density olive tree orchard. *Agricultural water management*, (237): 106074

López-Urrea, R., Montoro, A., Mañas, F., López-Fuster, P., and Fereres, E. (2012). Evapotranspiration and crop coefficients from lysimeter measurements of mature 'Tempranillo'wine grapes. *Agricultural water management*, *112*, 13-20.

Munitz, S., Schwartz, A., and Netzer, Y. (2019). Water consumption, crop coefficient and leaf area relations of a Vitis vinifera cv. 'Cabernet Sauvignon'vineyard. *Agricultural Water Management*, *219*, 86-94

Nejatiyan, M. A. (2014). *Comprehensive guide to grape production and processing.* Agricultural education and promotion. (In Farsi). 316 p.

Netzer, Y., Yao, C., Shenker, M., Bravdo, B., and Schwartz, A. (2009). Water use and the development of seasonal crop coefficients for Superior Seedless grapevines to an open-gable trellis system. *Irrigation Science*. 27:109-120.

Nikanfar, R. and Rezaei, R. (2015). Response of old grapevine to switch irrigation system from surface to drip or babbler. *Iranian journal of Horticultural science and technology. (16)* 2, 161-170. (In Farsi).

Phogat, V., Skewes, M.A., Mccarthy, M.J., Cox, J., Simunek, J., and Petrie, P. (2017). Evaluation of crop coefficients, water productivity, and water balance components for wine grapes irrigated at different deficit levels by a sub-surface drip. *Agricultural Water Management. 180:* 22-34.

Picón-Toro, J., González-Dugo, V., Uriarte, D., Mancha, L. A., and Testi, L. (2012). Effects of canopy size and water stress over the crop coefficient of a "Tempranillo" vineyard in south-western Spain. *Irrigation Science*, *30*(5), 419-432.

Rosenberg, J.N., Blad, B., and Verma, S.B. (1983). Microclimate: The Biological Environment.

Taisheng, D., Shaozhong, K., Jianhua, Z., Fusheng, L., and Boyuan, Y. (2008). Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation. *Agriculture water management Journal.*, 95(6), 659-668.

Vanino, S., Pulighe, G., Nino, P., Michele, C., Blognesi, S. F., and D'Urso, G. (2015). Estimation of Evapotranspiration and Crop Coefficients of Tendone Vineyards using Multi-Sensor Remote Sensing Data in a Mediterranean Environment. Remote Sensing. 7:14708-14730.

Wang, S., Zhu, G., Xia, D., Ma, J., Han, T., Ma, T., ... and Shang, S. (2019). The characteristics of evapotranspiration and crop coefficient of an irrigated vineyard in Northwest China. *Agricultural Water Management*, *212*, 388-398.

Williams, L. E., Phene, C. J., Grimes, D. W., and Trout, T. J. (2003). Water use of mature Thompson Seedless grapevine in California. Irrigation Science. 22:11-18.

Williams, L. E., and Ayars, J. E. (2005). Water use of Thompson Seedless grapevines as affected by the application of gibberellic acid and trunk gridling-practices to increase berry size. *Agricultural and Forest Meteorology*. 129:85-94.

Williams, L.E. (2014). Determination of evapotranspiration and crop coefficient for a Chardonnay vineyard located in a cool climate. *American Journal of Enology and Viticulture, 65(2),* 159-169.

Yulghonolu, S. G., Abyaneh, H. Z., Nejatiyan, M. A., Maleki, M., and Karimi. (2017). Effects of altering furrow to drip irrigation systems on physiological traits and yield of Sultana grapevine (vitis vinifera L.). *Iranian Journal of Horticulture Science, 49(3), 743-753.*