Research Paper

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
**Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)**

**Web site:**
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

**Email:**
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

**Vol. 14**
**No. 1 (53)**

**Received:**
2023-08-05

**Accepted:**
2024-04-24

**Pages: 89-99**

# Effect of Tillage Direction and Straw Mulch on Precipitation Use Efficiency in Wheat Rainfed Land in a Semi-Arid Region

**Alireza Vaezi[1], Samira Rezayipour[2], Mohammad Babaakbari[3] and Fereshte Azarifam[4]**

1) Professor, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2) Master's degree in Soil Physics and Conservation, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
3) Assistant Professor, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
4) Ph.D. Student in Soil Physics and Conservation, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
*Corresponding author emails: vaezi.alireza@gmail.com

**Abstract:**

**Background and aim:** Soil properties and management methods can affect plant growth and crop yield in agricultural areas. Rainfed agriculture is a dominant farming type in the world, which covers about 80% of the world's cultivated land and about 67 % of agricultural lands in Iran. Most of rainfed lands are in slope areas and tilled along slope, an incorrect method which accelerates water erosion. Controlling soil erosion and storing precipitation water in soil is the first step to conserve soil and water resources and increasing crop yield in rainfed lands. The change of tillage direction from along slope to contour line and maintaining crop residues can affect water loss, Precipitation use efficiency (PUE) and crop yield in rainfed areas. This study was carried out to investigate the effect of tillage direction and wheat straw mulch on water loss, crop yield and precipitation used efficiency in a winter wheat rainfed land.

**Methods:** The study was carried out in a rainfed lands with sandy loam soil under a slope of 10% in west of Zanjan, North West of Iran. field experiments were conducted at two tillage direction: along slope and contour line, and five wheat straw mulch application levels (control, 25, 50, 75 and 100%) with three replications. Precipitation data (height, duration and intensity) was taken from the Agricultural Meteorological Station located in the University of Zanjan, about 800 m from the study field. Winter wheat was cultivated at the plots early autumn and harvested early summer. Water loss from the plots was measured for each rainfall event resulting runoff at the plots during nine months growth period. Wheat grain yield was determined for each plot and accordingly precipitation use efficiency (PUE) in kg/ha.mm was computed based on wheat grain yield (kg/ha) per effective precipitation during growth period (mm). Soil properties and winter straw mulch characteristics were determined using the conventional methods in the lab and the variance analysis was used for determination of independent effect of tillage direction and straw mulch level and interactions between the two factors.

**Results:** Eighty-two precipitation events were occurred in the area during a 9 months winter wheat growth period, which rainfalls included 88% from it. Most of rainfalls occurred in October that resulted most water loss at the plots. Water loss at the plots tilled contour line was 14% lower than the plots tilled along slope. However, water loss between the two tillage directions was no significant, whereas wheat grain yield as well as PUE were significantly affected by tillage direction. Straw mulch considerably affected on water loss, wheat grain yield and PUE. An obvious decrease was found in water loss with increasing in straw mulch level. The lowest water loss among different mulch levels was in 100% mulch level for the two tillage directions (63% for along slope tillage and 64% for contour line tillage). Significant interaction of the two factors was observed just for wheat grain yield. The highest wheat grain yield was in 75% mulch level which was about 27% (2.04 ton/ha) and 34% (2.45 ton/ha) bigger than control treatment, respectively. The highest PUE was also in 75% mulch level both in along slope tillage (7.2 kg/ha.mm) and contour line tillage (8.6 kg/ha.mm), which was 27% and 34% higher than control treatment, respectively.

**Conclusion:** Results show the precipitation use efficiency (PUE) is an improper index for evaluation of the role of precipitation in crop production in wheat rainfed lands. This index can be affected by both tillage direction and wheat straw mulch application in rainfed lands. These two management methods are independent factors which affects strongly on the wheat grain yield and in consequence on the PUE. The change of tillage direction from along slope to contour line along and application of 75% mulch level (equal to 4.5 ton/ha) are proper strategies for conservation of soil and water and improving the utilization of precipitation in wheat rainfed lands.

**Keywords:** Conservation tillage, Contour line tillage, Grain yield, Runoff, Crop yield

مقاله پژوهشی

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

**نشریه حفاظت منابع آب و خاک**

**آدرس تارنما:**
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

**پست الکترونیک:**
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

**سال چهاردهم**
**شماره ۱ (۵۳)**

**تاریخ دریافت:**
۱۴۰۲/۰۵/۱۴

**تاریخ پذیرش:**
۱۴۰۳/۰۲/۰۵

**صفحات: ۹۹-۸۹**

# اثر جهت خاک‌ورزی و مصرف مالچ کاه و کلش بر کارآیی بهره‌مندی از آب باران در کشتزارهای دیم گندم منطقه نیمه‌خشک

**علی رضا واعظی[۱]، سمیرا رضایی پور[۲]، محمد بابا اکبری ساری[۳] و فرشته آذری فام[۴]**

۱) استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی. دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
۲) دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان.
۳) دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی. دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
۴) دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان.
* ایمیل نویسنده مسئول: vaezi.alireza@gmail.com

**چکیده:**

**زمینه و هدف:** ویژگی‌های خاک و روش‌های مدیریتی می‌توانند بر رشد و عملکرد گیاه در مناطق کشاورزی تاثیرگذار باشند. کشاورزی دیم یک روش غالب کشاورزی در جهان است که حدود ۸۰ درصد از زمین های زیر کشت جهان و ٦٧ درصد از زمین های کشاورزی ایران را پوشش می دهد. بیشتر اراضی دیم در نواحی شیب دار و در امتداد شیب خاک‌ورزی می شوند که روشی نادرست بوده و فرسایش آبی را تسریع می کند. کنترل فرسایش خاک و ذخیره آب بارندگی در خاک اولین گام برای حفظ منابع خاک و آب و افزایش عملکرد محصول در اراضی دیم است. تغییر جهت خاک‌ورزی از امتداد شیب به خط کانتور و حفظ بقایای محصول می تواند بر اتلاف آب، افزایش کارآیی مصرف بارندگی (PUE) و عملکرد محصول در مناطق دیم تأثیر بگذارد. این مطالعه به‌منظور بررسی تأثیر جهت خاک‌ورزی و سطح مصرف مالچ بر کارآیی بهره‌مندی بارندگی در کشتزارهای دیم گندم انجام گرفت.

**روش پژوهش:** این مطالعه در زمین‌های دیم با خاک لوم شنی با شیب ۱۰ درصد در غرب استان زنجان انجام شد. آزمایش‌های صحرایی در دو جهت خاک‌ورزی: در امتداد شیب و خطوط کانتور و پنج سطح مصرف مالچ کاه گندم (شاهد، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) با سه تکرار انجام شد. داده های بارش (ارتفاع، مدت و شدت) از ایستگاه هواشناسی کشاورزی واقع در دانشگاه زنجان در فاصله حدود ۸۰۰ متری از مزرعه مورد مطالعه گرفته شد. گندم زمستانه در اوایل پاییز در کرت ها کشت و اوایل تابستان برداشت شد. هدررفت آب از کرت ها برای هر رویداد بارندگی حاصل از رواناب در کرت ها در طول دوره رشد نه ماهه اندازه گیری شد. عملکرد دانه گندم برای هر کرت تعیین شد و بر این اساس راندمان مصرف بارندگی (PUE) بر حسب کیلوگرم در هکتار بر اساس عملکرد دانه گندم (کیلوگرم در هکتار) به ازای هر بارندگی موثر در طول دوره رشد محاسبه شد. خصوصیات خاک و مالچ کاه گندم با استفاده از روش های مرسوم در آزمایشگاه تعیین شد و از آنالیز واریانس برای تعیین اثر مستقل جهت خاک‌ورزی و سطح مصرف مالچ کاه و برهمکنش بین دو عامل استفاده شد.

**یافته‌ها:** ۸۲ رویداد بارشی در طول یک دوره ۹ ماهه رشد گندم زمستانه در منطقه رخ داد که میزان بارندگی ۸۸ درصد از آن بود. بیشتر بارندگی ها در ماه اکتبر اتفاق افتاد که منجر به بیشترین تلفات آب در کرت ها شد. هدررفت آب در خاک‌ورزی روی خطوط تراز ١٤ درصد کاهش یافت و مقدار عملکرد دانه گندم و کارآیی بهره‌مندی بارندگی ٦ درصد افزایش پیدا کردند. با این وجود، در هر دو روش مصرف مالچ موجب کاهش هدررفت آب، افزایش عملکرد دانه و کارآیی بهره‌مندی بارندگی شد. اثر متقابل معنی داری بین دو عامل فقط برای عملکرد دانه گندم مشاهده شد. بیشترین کاهش هدررفت آب در سطح ۱۰۰ درصد مصرف مالچ در هر دو جهت خاک‌ورزی: موازی شیب (٦٣/٣ درصد) و روی خطوط تراز (٦٤ درصد) بود. بیشترین مقدار عملکرد دانه (۲/۲۵ تن در هکتار) و کارآیی بهره‌مندی بارندگی (۷/۸۷ کیلوگرم در میلیمتر در هکتار) در تیمار ۷۵ درصد مالچ بود که به ترتیب معادل ۲۷ و ٣٤ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت.

**نتیجه‌گیری:** نتایج بیانگر نقش مؤثر مصرف مالچ در حفظ آب بارندگی و افزایش عملکرد محصول در هر دو جهت خاک‌ورزی در کشتزارهای دیم گندم بود. این شاخص می تواند تحت تأثیر جهت خاک‌ورزی و کاربرد مالچ کاه گندم در اراضی دیم باشد. این دو روش مدیریتی عوامل مستقلی هستند که به شدت بر عملکرد دانه گندم و در نتیجه بر PUE تأثیر می‌گذارند. به طور کلی بر اساس نتایج این پژوهش بکارگیری خاک‌ورزی روی خطوط تراز و مصرف مقدار مناسب مالچ نقش مؤثری در حفظ آب و خاک و افزایش تولید در کشتزارهای دیم دارد.

**کلیدواژه‌ها:** خاک‌ورزی حفاظتی، رواناب، کشت روی خطوط تراز، عملکرد محصول

**مقدمه**

در بین عوامل اقلیمی، بارندگی یکی از مهم ترین عوامل مؤثر بر مقدار رطوبت قابل استفاده گیاه و در نتیجه میزان تولید محصول است. در مناطق نیمه‌خشک به دلیل کمبود آب، عمده زراعت به شکل دیم است(Fatumah et al., 2021). با توجه به این که آب مورد نیاز گندم دیم از طریق بارش‌های آسمانی تأمین می‌شود، بکارگیری روش‌های مناسب کشاورزی مانند خاک‌ورزی مناسب و مصرف صحیح نهاده‌ها در افزایش تولید محصول در کشتزارهای دیم نقش اساسی دارد. یکی از مشکلات اساسی در کشتزارهای دیم شخم نامناسب و عدم حفظ بقایای گیاهی است. شخم موازی شیب و به طور سراسری به وسیله گاوآهن برگردان‌دار ، خاک را به شدت در معرض عوامل فرساینده مانند باران و باد قرار می‌دهد. جهت شخم نقش مهمی در هدررفت آب و خاک در کشتزارها ایفا می‌کند. در کشت موازی شیب به دلیل کاهش فرصت نفوذ آب، هدررفت آب به شدت افزایش می‌یابد. گزارش‌ها نشان می‌دهدخاک-ورزی مناسب و مدیریت صحیح بقایای گیاهی نقش کلیدی در افزایش بهره‌وری آب در کشت دیم دارد ( Wang and Shungguan, 2015).

کارآیی بهره‌مندی بارندگی یک عامل مؤثر برای تعیین روابط بین بارش و عملکرد محصول است ( Justice *et al*, 1991) این شاخص مهمترین عامل اقلیمی مؤثر بر کارآیی بهره‌مندی بارندگی در مفهوم هیدرولوژیکی آن، توزیع بارندگی است (Zhang *et al.*, 2014). پژوهشگران نشان داده‌اند که کاهش خاک‌ورزی، حفظ بقایای سطح خاک و مدیریت صحیح کشت، درصد بارندگی ذخیره شده به عنوان آب خاک در طول دوره آیش را افزایش می‌دهد (Peterson *et al.*, 1996). کارآیی بهره‌مندی بارندگی موضوعی مهم در کشتزارهای دیم هست (Li *et al.*, 2018). کشت دیم حدود ۸۰ درصد از زمین های زیرکشت کره زمین و ۶۰ درصد از کل تولیدات زراعی را شامل می شود (Barron and Tengberg., 2023). تولید محصول در این نوع کشاورزی به نزولات جوی بستگی دارد که در لایه‌های بالایی خاک ذخیره می شود و در دسترس ریشه های گیاه است. گندم به عنوان مهم‌ترین غله، تأمین‌کننده بیش از ۴۰ درصد غذای جمعیت جهان است. سطح زیر کشت گندم در ایران و دنیا به ترتیب ۶۹۰۷۰۰۰و ۱۹۹۸۳۰۰۰ هکتار و عملکرد آن به ترتیب ۱/۹۲ و۲/۶۵۷ تن در هکتار بوده است. میزان تولید سالانه گندم در ایران ۱۳/۳ میلیون تن است که این مقدار از زیر کشت بردن حدود ۷ میلیون هکتار از زمین‌های زراعی حاصل می‌شود که حدود چهار میلیون هکتار از آن، در مناطق نیمه‌خشک قرار دارد ( Fao., 2020; Agricultural statistics of Iran., 2022). به کارگیری روش مناسب برای حفظ آب در خاک، راهکاری مهم برای دستیابی به عملکرد بیشتر در کشتزارهای دیم است.

بسیاری از شیوه‌های مدیریت کشاورزی برای بهبود تولید محصول در مناطق دیم طی چند دهه گذشته مورد بررسی قرار گرفته‌اند که یکی از موفق‌ترین آنها خاک‌ورزی حفاظتی است. از آنجا که استفاده از روش خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش نفوذ آب (Jakab *et al.*, 2017)، کاهش تبخیر ( Mitchell *et al.*, 2012) و در نهایت افزایش بهره‌وری بارندگی می‌شود، بنابراین خاک‌ورزی حفاظتی به عنوان یک رویکرد مؤثر برای مدیریت بهره‌وری زیست‌بوم‌های کشاورزی به‌شمار می‌آید. جهت شخم نیز نقش مهمی در هدررفت آب در کشتزارها ایفا می‌کند. در کشت موازی با شیب به‌دلیل کاهش فرصت نفوذ آب، هدررفت آب به‌شدت افزایش می‌یابد که این موضوع هدررفت خاک و عناصر غذایی را به‌دنبال خواهد داشت ( Vaezi and Piri, 2017). پاریهار و همکاران (Parihar *et al.*, 2016) گزارش کردند که کشت همراه با عملیات شخم حفاظتی منجر به بیشترین عملکرد و بهره‌وری آب شده است. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.*, 2017) گزارش کردند افزایش تراکم گیاه از طریق ایجاد مانع در مقابل حرکت آب روی سطح خاک باعث افزایش نفوذ و کاهش هدررفت آب شد. علی و همکاران (Ali *et al.*, 2018) گزارش کردند باقی ماندن کاه و کلش گندم در خاک، باعث کاهش تبخیر آب از سطح خاک و افزایش ۵۰ درصدی کارآیی بهره‌مندی آب بارندگی شد. بررسی‌ها نشان داده که مالچ کاه می تواند تبخیر و فرسایش خاک را کاهش و ذخیره آب خاک را افزایش، دمای خاک را تنظیم و علف های هرز را کاهش دهد ( Akhtar et al., 2018, Gan *et al.*, 2013, Yang *et al.*, 2020). بنابراین در مناطقی که حفاظت از آب خاک اهمیت دارد، ذخیره آب معمولاً با روش‌های مدیریت خاک حاصل می شود. مالچ‌پاشی و کم‌خاک-ورزی اثرات مثبتی در افزایش نفوذ آب و کاهش تبخیر دارند (Riaz *et al.*, 2020).

تاکنون مطالعات متعددی درباره اثر روش خاک‌ورزی و مالچ‌پاشی در نقاط مختلف بر بهره‌وری آب در مزارع انجام شده است. با این وجود پژوهش‌های بسیار اندکی در مورد برهمکنش این دو عامل بر روی بهره‌مندی گیاه از آب بارندگی در کشتزارهای دیم منطقه نیمه‌خشک انجام شده است. اراضی دیم حدود ۶۷ درصد از زمین های کشاورزی ایران را پوشش می‌دهند. گندم بیشترین سطح زیر کشت را در کشتزارهای دیم مناطق نیمه‌خشک در برگرفته است. استان زنجان با برخورداری از ۳۸۲ هزار هکتار اراضی دیم یکی از مناطق نیمه‌خشک شمال غرب ایران است. سطح زیرکشت گندم دیم در این استان ۳۵۳ هزار هکتار و میانگین عملکرد آن ۹۳۴

کیلوگرم در هکتار است. عملکرد گندم دیم در این استان کمتر از بسیاری از نقاط دیم کشور است. به‌کارگیری روش‌های مدیریتی برای استفاده مؤثر از بارش‌های آسمانی در کشتزارهای دیم در استان ضروری است. از این رو این پژوهش با تکیه بر آزمایش‌های صحرایی با هدف بررسی اثرسطوح مختلف کاه و کلش گندم، جهت خاک‌ورزی و اثر متقابل آن‌ها از نظر محتوای رطوبتی خاک بر عملکرد گندم و کارآیی بهره‌مندی بارندگی انجام گرفت.

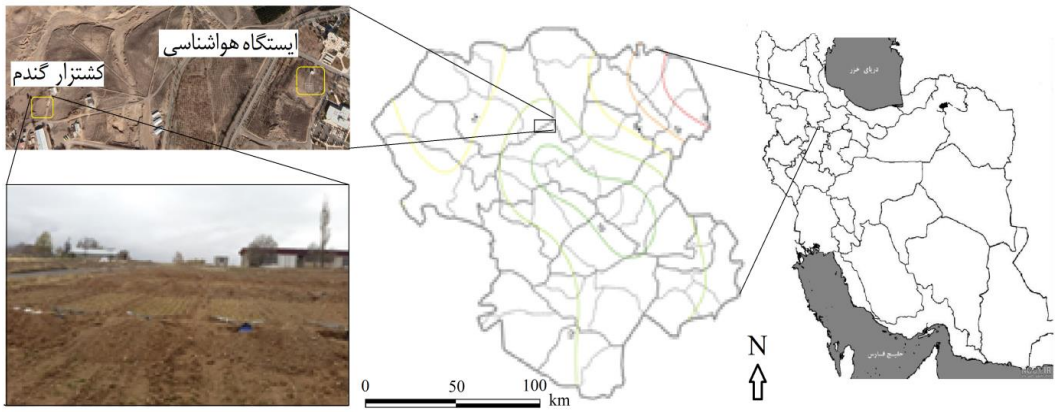
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در کشتزار گندم دیم با شیب ۱۰ درصد در شهرستان زنجان واقع بین عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۱/۲۴۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۱/۲۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و۲۳/۴۰۸ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۳/۴۱۹ دقیقه شرقی انجام گرفت (شکل ۱). رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه به ترتیب زریک[1] و مزیک[2] است. متوسط بارش سالانه منطقه ۲۷۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد است (Zanjan Water Organization, 2011). آزمایش در ۳۰ واحد آزمایشی (کرت) شامل دو جهت خاک‌ورزی (موازی شیب و روی خطوط تراز) و پنج سطح مصرف مالچ (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد پوشش سطح) با سه تکرار در قالب بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. کرت‌ها شامل ۱۵ کرت در جهت خطوط تراز و ۱۵ کرت در جهت موازی شیب بود.

### مصرف کاه و کلش گندم

از مالچ کاه و کلش گندم برای بررسی تأثیر آن در کاهش هدررفت آب و افزایش بهره‌مندی بارندگی استفاده شد. این مالچ پس از برداشت گندم به وسیله کمباین به شکل ایستاده روی خاک تا زمان شروع کشت بعدی (خرداد ۱۳۹۵) باقی می‌ماند. برای بدست آوردن مقدار کاه و کلش مصرفی برای ایجاد ۱۰۰ درصد پوشش مالچی یک کرت (۲ متر در ۵ متر) را معین کرده و سپس کاه و کلش بر سطح خاک کرت پخش گردید؛ به گونه‌ای که حدود ۱۰۰ درصد از سطح کرت توسط کاه و کلش پوشیده شد که به مقدار ۶ کیلوگرم کاه و کلش گندم برای پوشش ۱۰۰ درصد استفاده شد. کشتزار به دو بخش شامل ۱۵ کرت با خاک‌ورزی روی خطوط تراز و ۱۵ کرت با خاک‌ورزی موازی شیب جدا شد. در هر کرت به مقدار صفر، ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ کیلوگرم در ۱۰ مترمربع به ترتیب برای پنج سطح مالچ شامل صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد (که این مقادیر در هکتار معادل با صفر، ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ تن در هکتار می‌باشد) به صورت دستی با خاک مخلوط شد (شکل ۲).




**شکل۱. موقعیت جغرافیایی کشتزار دیم گندم در استان زنجان در شمال غربی ایران**

(ب) (الف)

**شکل۲. نمایی از کرت پوشیده شده با کاه و کلش گندم (الف) و مخلوط کردن کاه و کلش با خاک کرت‌ها (ب)**

**تعیین ویژگی‌های باران و خاک**

برای تعیین ویژگی‌های رخدادهای بارندگی (شدت، مدت و ارتفاع) از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنج خودکار ایستگاه هواشناسی دانشگاه زنجان با عرض جغرافیایی ″۲۰ ′۴۱ °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ″۹۹ ′۲۳ °۴۸ شرقی استفاده شد. برای آگاهی از ویژگی‌های خاک کشتزار، نمونه‌برداری خاک به صورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از خاک کشتزار انجام شد. در نمونه‌های خاک، توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری (Gee *et al*., 1986)، درصد سنگریزه به روش وزنی (Klute and Page, 1986) و کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (Walkley and Black, 1934) اندازه‌گیری شد. شوری خاک به وسیله ECسنج در عصاره گل اشباع خاک (Western, 1990)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون با اسید کلریدریک (Jones, 2001) اندازه‌گیری شد. همچنین در نمونه‌های خاک دست‌نخورده متوسط اندازه خاکدانه با استفاده از غربال معمولی به وسیله سری الک‌ها (۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌متر) (Kemper and Rosenau, 1986) و میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌های پایدار در آب به روش الک تر در ۱۰۰ گرم خاکدانه با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر (Yoder, 1936) به مدت ۱ دقیقه (Vaezi et al., 2016) اندازه‌گیری شد. چگالی ظاهری به روش سیلندر فلزی، نفوذپذیری خاک به روش استوانه مضاعف (Haise *et al*., 1956) و ظرفیت نگهداری آب خاک (FC) به روش مزرعه‌ای در سه تکرار اندازه‌گیری شدند.

**تعیین ویژگی‌های مالچ کاه و کلش**

برای تعیین مقدار عناصر موجود در کاه و کلش گندم، پس از خشک کردن در دمای ۷۰ درجه‌سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت و آماده سازی، هضم نمونه‌ها به روش اکسیداسیون تر انجام گرفت (Ehyaei and Behbahanizadeh, 1993). از عصاره‌های تهیه شده به روش هضم تر برای اندازه‌گیری نیتروژن، فسفر و پتاسیم استفاده شد. اندازه‌گیری نیتروژن با دستگاه کجلدال، اندازه‌گیری پتاسیم با روش شعله‌سنجی و به وسیله فلیم فتومتر و مقدار فسفر به روش رنگ‌سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۸۸۰ انجام شد (Klute and Page, 1986). همچنین اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم به روش جذب اتمی مدل Varian انجام شد. کربن آلی به روش والکلی-بلک (Walkley and Black, 1934) اندازه‌گیری شد.

**اندازه‌گیری عملکرد گندم دیم و کارآیی بهره‌مندی بارندگی**

برداشت گندم اواسط مرداد ۱۳۹۵ با دست از سطح کل کرت از ناحیه یقه گیاه انجام شد. نمونه‌ها برای اندازه‌گیری به آزمایشگاه منتقل گردید. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار داده شد. در نهایت عملکرد ماده خشک بر حسب کیلوگرم در هکتار به دست آمد. کارآیی بهره‌مندی بارندگی (PUE) بر اساس عملکرد دانه و مجموع بارندگی دوره رشد تعیین شد:

$$PUE = \frac{YG}{Pe} \quad (۱)$$

$$P_e = P\text{-}R \quad (۲)$$

که در آن: PUE کارآیی بهره‌مندی بارندگی برای دانه، $Y_G$عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)، R مقدار رواناب در طول دوره رشد ( میلی‌متر) و P مقدار بارندگی طی دوره رشد (میلی-متر)، $P_e$ مقدار بارندگی مؤثر طی دوره رشد (میلی‌متر) است.

**تجزیه و تحلیل داده‌ها**

اثرات جهت خاک‌ورزی و مقدار مصرف مالچ بر متغیرهای مورد بررسی (هدررفت آب، عملکرد دانه گندم و کارایی بهره‌مندی بارندگی در گندم دیم) به روش تجزیه واریانس با استفاده از آزمون دانکن بررسی شد و مقایسه میانگین‌ها برای تعیین مناسبترین روش مدیریتی انجام گرفت. تحلیل‌های آماری با نرم افزار SPSS نسخه ۲۳ و رسم نمودارها در محیط Excel انجام شد.

## نتایج و بحث

**ویژگی‌های خاک و کاه و کلش گندم**

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کشتزار در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به میانگین توزیع اندازه ذرات شن (۶۰/۳۲ درصد)، سیلت (۱۰/۰۸ درصد) و رس (۲۹/۶۰ درصد) بافت خاک کشتزار، لوم‌رسی‌شنی است. با توجه به درجه شوری خاک (۲/۵۷ دسی‌زینس بر متر) و واکنش (۷/۷۰)، خاک کشتزار در گروه خاک‌های غیرشور (Brady and Weil, 2002) قرار دارد. به علت کربنات کلسیم معادل بالا (بیش از ۱۰ درصد) خاک کشتزار جز خاک‌های آهکی (Tan, 2005) است. خاک کشتزار به لحاظ داشتن مقادیر کم‌تر ماده‌ی آلی (حداکثر ۱/۵ درصد) و فراوانی پایین رس، دارای خاکدانه‌های کوچک و ناپایدار (۰/۱۱ میلی‌متر) است. به دلیل وجود بافت درشت و سنگریزه‌ای (۳۱/۴۱ درصد)، چگالی ظاهری خاک ۱/۱۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ظرفیت نگهداری آب خاک پایین (۱۰/۴۲) و نفوذپذیری آن متوسط (۵ سانتی‌متر بر ساعت) بود. کاه و کلش گندم دارای مقداری پتاسیم (۱/۸۳درصد)، کلسیم (۰/۷۸ میلی-گرم بر کیلوگرم) و منیزیم (۱۶۳میلی‌گرم بر کیلوگرم) است. کاه و کلش گندم ۴۴ درصد کربن آلی و ۰/۸ درصد نیتروژن دارد و دارای نسبت بالای کربن به نیتروژن (حدود ۵۵) است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کشتزار دیم مورد مطالعه

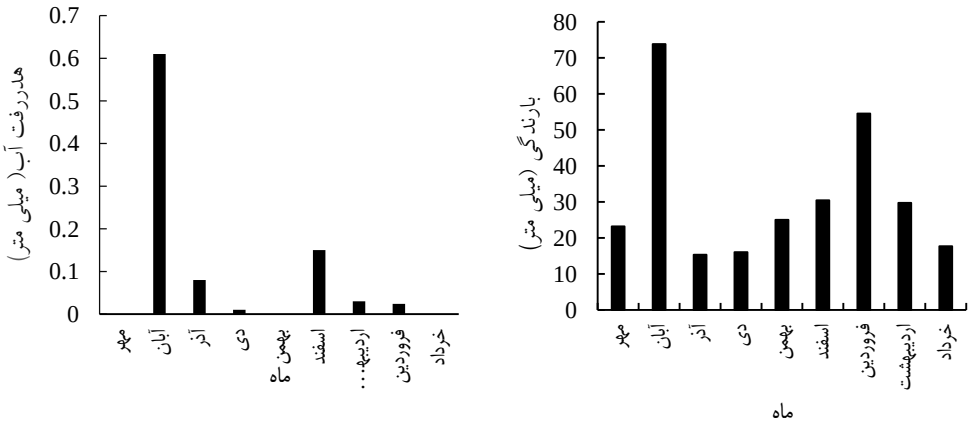
| ویژگی‌های خاک | میانگین |
|---|---|
| شن (٪) Sand (%) | ۶۰/۳۲ |
| سیلت (٪) Silt (%) | ۱۰/۰۸ |
| رس (٪) Clay (%) | ۲۹/۶۰ |
| سنگریزه (٪) Gravel (%) | ۳۱/۴۱ |
| میانگین وزنی قطر خاکدانه پایدار (mm) MWD | ۰/۱۱ |
| نفوذپذیری (cm/h) Infiltration rate | ۵/۰۱ |
| واکنش pH | ۷/۷۰ |
| هدایت الکتریکی (dS/m) | ۲/۵۷ |
| ماده آلی (٪) Organic matter (%) | ۰/۴۷ |
| چگالی ظاهری ($g/cm^3$) Bulk density | ۱/۱۴ |
| ظرفیت نگهداری آب ($cm^3/cm^3$) Field capacity | ۱۰/۴۲ |

### ویژگی‌های باران‌ها

در طی دوره رشد گندم ۸۲ مورد بارندگی رخ داد. مجموع بارندگی در طول دوره رشد ۲۸۵/۹۸ میلی‌متر بود که شامل ۸۸ درصد باران و ۱۲ درصد برف بود. شدت باران‌ها از ۰/۱۳ تا ۱۲/۱۱ میلی‌متر بر ساعت و مدت آن‌ها بین ۰/۵ و ۹ ساعت بود. بیشترین و کمترین میزان بارندگی ماهانه به ترتیب در آبان (۷۳/۸۳ میلیمتر) و آذر (۱۵/۳۷ میلیمتر) بود (شکل ۳). در طی دوره رشد گندم دیم، هفت رخداد بارندگی منجر به هدررفت آب در کرت‌ها گردید. این رخدادها به ترتیب در آبان که وضعیت خاک در اثر بارندگی روز قبل دارای محتوای رطوبتی بالا بود و اردیبهشت ماه که خاک خشک بود ولی شدت بارندگی بالا (۱/۷۸ میلی‌متر بر ساعت) بود، اتفاق افتاد. بیشترین هدررفت آب در ماه آبان که میزان بارندگی (۷۳/۸۳ میلی متر) بود، اتفاق افتاد و کمترین هدررفت آب در ماه‌های مهر، بهمن و خرداد میزان بارندگی پایین بود، رخ داد. بیشترین بارندگی (۷۳/۸۳ میلی متر) و هدررفت آب (۰/۶۱ میلی‌متر) در آبان ماه بود.

### تغییرات کارآیی بهره‌مندی بارندگی تحت تأثیر جهت خاک‌ورزی

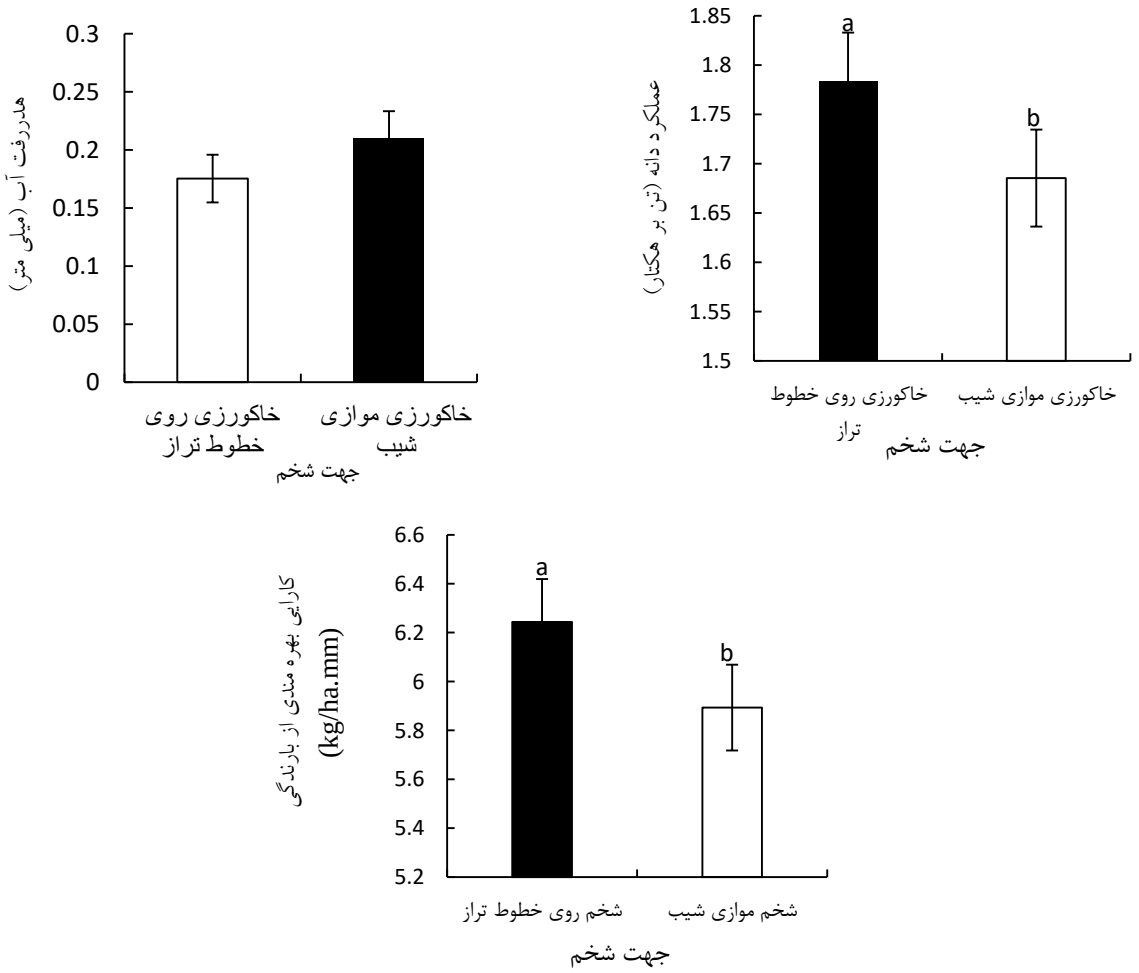
بررسی آماری نشان داد که جهت خاک‌ورزی تأثیر معنی‌دار بر روی هدررفت آب نداشت. با این وجود تأثیر آن بر عملکرد دانه ($p<0.05$) و کارآیی بهره‌مندی بارندگی ($p<0.01$) بود (جدول ۲ و شکل ۴). مقدار عملکرد دانه و کارایی بهره‌مندی بارندگی در روش خاک‌ورزی روی خطوط تراز ۶ درصد بیشتر از خاک‌ورزی موازی شیب بود. در خاک‌ورزی روی خطوط تراز پشته‌های کشت به عنوان مانعی در برابر جریان سطحی عمل کرده و فرصت نفوذ آب باران به خاک را افزایش می دهد و در نهایت محتوای آب خاک و کارآیی مصرف آب افزایش می یابد. گرچه مقدار این افزایش به ظاهر اندک است اما به نوبه خود نشانگر نقش تغییر جهت خاک‌ورزی در بهره‌مندی آب باران در کشت دیم هست که می‌تواند در افزایش کارآیی بهره‌وری آب و عملکرد محصول سودمند باشد. در پژوهشی نیک‌کامی و همکاران (Nikkami., *et al*. 2008) با بررسی اثر جهت خاک‌ورزی بر هدررفت آب در اراضی شیب‌دار نشان دادند که خاک‌ورزی عمود بر شیب باعث افزایش عملکرد محصول و کاهش هدررفت آب میشود. برخلاف نتایج این پژوهش در مورد هدررفت آب، بررسی‌ها در کشتزارهای با شیب مختلف در منطقه نیمه‌خشک نشان داد که مقدار هدررفت آب در روش خاک‌ورزی موازی شیب نسبت به خاک‌ورزی روی خطوط تراز ۶ برابر بیشتر بود (Vaezi and Zarinabadi, 2015). نادیه و همکاران (Ndiaye *et al*., 2005) در مطالعه‌ای تحت باران شبیه‌سازی نشان دادند که ضریب رواناب در شخم موازی شیب بیشتر از خاک‌ورزی روی خطوط تراز است.




شکل ۳. تغییرات ماهانه بارندگی و هدررفت آب طی دوره رشد گندم

**جدول ۲. تجزیه واریانس هدررفت آب، عملکرد دانه گندم و کارآیی بهره‌مندی بارندگی تحت تأثیر جهت خاک‌ورزی و سطح مصرف مالچ**

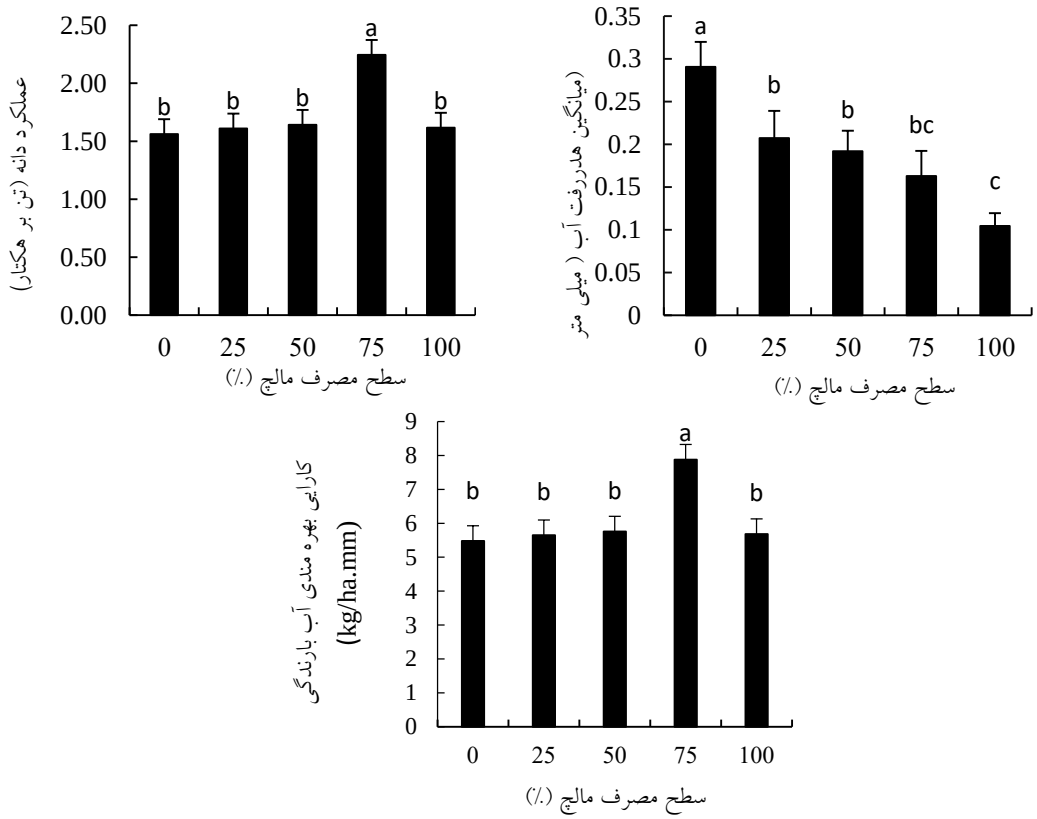
| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | |
|---|---|---|---|---|
| | | هدررفت آب | عملکرد دانه | کارآیی بهره‌مندی بارندگی |
| جهت خاک‌ورزی | ۱ | ۰/۰۱$^{ns}$ | ۰/۰۷$^{*}$ | ۳/۹۶$^{**}$ |
| سطح مصرف مالچ | ۴ | ۰/۰۲$^{**}$ | ۰/۴۹$^{**}$ | ۴/۷۹$^{**}$ |
| جهت خاک‌ورزی× سطح مصرف مالچ | ۴ | ۰/۰۰۱$^{ns}$ | ۰/۰۹$^{**}$ | ۰/۳۰$^{ns}$ |




**شکل ۴. اثرات جهت خاک‌ورزی بر هدررفت آب، عملکرد دانه و کارآیی بهره‌مندی بارندگی**

**کارآیی بهره‌مندی بارندگی تحت تأثیر مقدار مصرف مالچ**

اثر سطوح مختلف مالچ کاه و کلش گندم بر هدررفت آب، عملکرد دانه گندم و کارآیی بهره‌مندی بارندگی معنی‌دار بود ($p < 0.01$) (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین هدررفت آب در تیمار ۱۰۰ درصد مالچ کاه و کلش بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۷۵ درصد نداشت. بیشترین عملکرد دانه گندم (۲/۲۵ تن بر هکتار) و کارآیی بهره‌مندی بارندگی در تیمار ۷۵ درصد مالچ کاه و کلش (۷/۸ کیلوگرم برهکتار در میلیمتر) به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ و ۵۰ درصد مالچ کاه و کلش داشت (شکل ۵). این نتایج نشان می‌دهد که مصرف کاه و کلش گندم می‌تواند با افزایش نفوذ آب به خاک در کاهش تولید رواناب سودمند باشد (Vaezi and Bagheri, 2020). پژوهش ها نشان می‌دهند (Gao *et al*, 2019; Qin *et al*, 2015) برگرداندن کاه و کلش گندم به خاک تحت عنوان خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب و عملکرد محصول می شود. نتایج پژوهش واعظی (Vaezi, 2013) نشان داد افزودن مواد آلی به خاک از طریق حفظ بقایای گیاهی یک روش مناسب برای بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش کارآیی بهره‌مندی بارندگی است. همچنین یافته‌های کین و همکاران (Qin *et al*,2021) نشان داد افزودن و مخلوط کردن کاه و کلش گندم با خاک سبب افزایش عملکرد ذرت و کارآیی مصرف آب و نیتروژن می‌گردد.



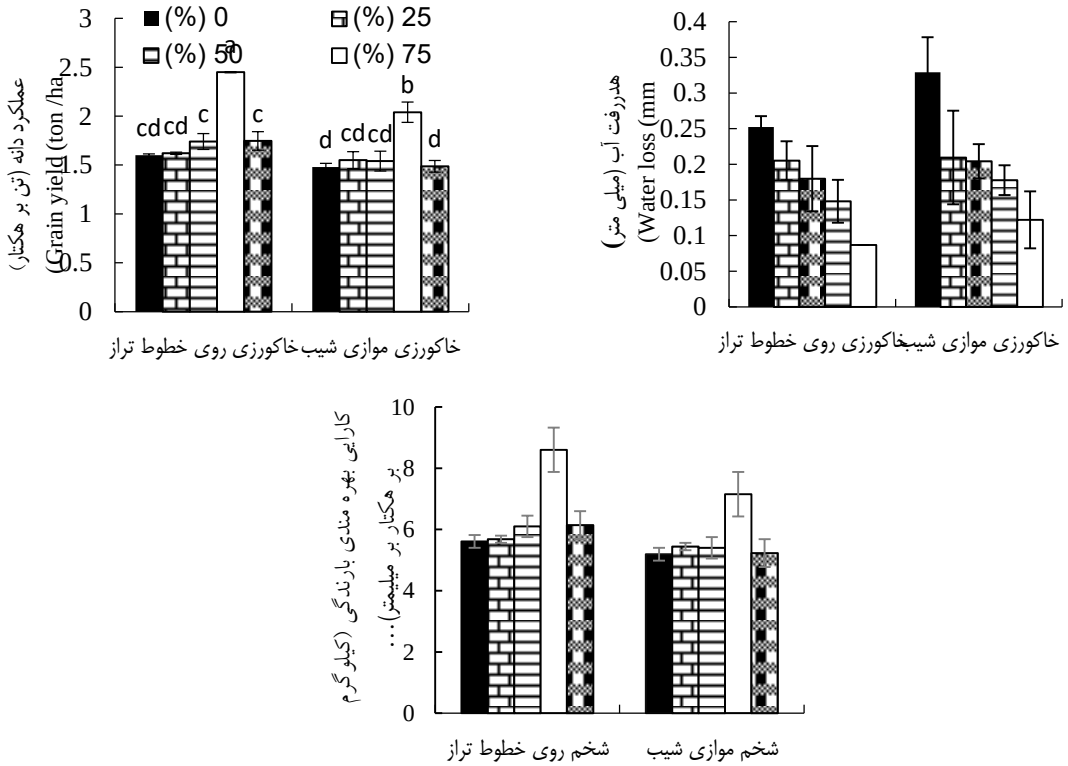

**شکل ۵. اثر سطح مالچ کاه و کلش گندم بر هدررفت آب، عملکرد دانه گندم و کارآیی بهره‌مندی بارندگی**

**برهمکنش خاک‌ورزی و مالچ بر هدررفت آب، عملکرد و کارآیی بهره‌مندی بارندگی**

نتایج نشان داد که برهمکنش میان جهت خاک‌ورزی و سطح مصرف مالچ کاه بر هدررفت آب معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد با وجود آنکه کارآیی بهره‌مندی بارندگی تحت تأثیر مستقل دو عامل جهت خاک‌ورزی و سطح مصرف مالچ بود، برهمکنش این دو عامل از نظر تأثیر بر کارآیی بهره‌مندی آب باران نیز معنی‌دار نبود (جدول ۳). شکل۶ بر همکنش سطوح مختلف مالچ کاه و کلش و جهت خاک‌ورزی بر هدررفت آب، عملکرد دانه گندم و کارآیی بهره‌مندی بارندگی را نشان می‌دهد. بیشترین عملکرد دانه گندم در سطح مالچ ۷۵ درصد بود که به ترتیب در خاک‌ورزی موازی شیب حدود ۲۷ درصد (۲/۰۴ تن در هکتار) و در خاک‌ورزی روی خطوط تراز ۳۴ درصد (۲/۴۵ تن در هکتار) بیشتر از تیمار شاهد بود. تفاوت معنی‌دار میان سطح ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد مصرف مالچ از نظر تأثیر بر عملکرد دانه بود؛ به طوری که عملکرد دانه در تیمار ۷۵ درصد مالچ در خاک‌ورزی موازی شیب (۲/۰۴ تن در هکتار) و خاک-ورزی روی خطوط تراز (۲/۴۵ تن در هکتار) به ترتیب ۲۹ و ۲۷ درصد بیشتر از تیمار ۱۰۰ درصد بود. همچنین بالاترین مقدار کارآیی بهره‌مندی بارندگی نیز در سطح مالچ ۷۵ درصد در خاک‌ورزی موازی شیب (۷/۲ کیلوگرم در هکتار) و خاک‌ورزی روی خطوط تراز (۸/۶ کیلوگرم در هکتار) بود که به‌ترتیب ۲۷ درصد و ۳۴ درصد بزرگ‌تر از تیمار شاهد بود (شکل ۶). این نتایج بیانگر آن است که جهت خاک‌ورزی و نیز سطح مصرف مالچ به عنوان عوامل مهم از نظر تأثیر بر عملکرد محصول و کارآیی بهره‌مندی بارندگی می‌باشند و نقش خاک‌ورزی روی خطوط تراز با نقش مصرف مالچ در بالا بردن کارآیی بهره‌مندی بارندگی همراه می‌باشد. مصرف کاه و کلش گندم در جهت خاک‌ورزی روی خطوط تراز می‌تواند به دلیل تأثیر مستقیم بر حفظ آب، کاهش تبخیر و افزایش ذخیره رطوبتی خاک موجب افزایش بهره‌مندی آب باران شود.

## نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که عملکرد دانه گندم، کارآیی بهره‌مندی بارندگی و هدررفت آب تحت تأثیر هر دو عامل جهت خاک‌ورزی و مقدار مصرف مالچ گندم قرار دارند. هدررفت آب در خاک‌ورزی روی خطوط تراز ۱۴ برابر کمتر از خاک-ورزی موازی شیب بود و این موجب شد مقدار کارآیی بهره-مندی بارندگی ۶ درصد افزایش یابد. تغییرات آشکاری از نظر هدررفت آب و کارآیی بهره‌مندی بارندگی طی دوره رشد به-ویژه در خاک‌ورزی موازی با شیب وجود داشت. همچنین با




**شکل ۶. برهمکنش میان سطوح مصرف مالچ و جهت‌های خاک‌ورزی بر هدررفت آب، عملکرد دانه گندم و کارآیی بهره‌مندی بارندگی**

افـزایش درصد مصرف مالچ کاه و کلش گندم به‌دلیل افزایش ظرفیت ذخیره آب، هدررفت آب کاهش یافت به‌طوری‌که با افزایش درصد مالچ گندم تا ۷۵ درصد مالچ کاه و کلش گندم (برابر با ۴/۵ تن در هکتار)، عملکـرد دانـه و کارآیی بهره‌مندی بارندگی به حداکثر مقدار (۲/۲ تن بر هکتار) رسید. برهمکنش میان جهت خاک‌ورزی و سطح مصرف مالچ از نظر عملکرد دانه گندم معنی‌دار بود با این وجود این تأثیر بر کارآیی بهره‌مندی بارندگی معنی‌دار نبود. این نتیجه نشان‌دهنده تأثیر مستقل مصرف کاه و کلش و جهت خاک‌ورزی است که هر دو عامل به نوبه خود موجب تغییر کارآیی بهره‌مندی بارندگی می‌شود. به‌طور کلی این پژوهش نشان داد که جهت خاک‌ورزی به‌عنوان عامـل مسـتقل از مالچ کاه و کلش گندم نقش مهمی در حفظ آب باران و افـزایش بهره‌مندی بارندگی گندم در کشتزارهای دیم دارد. از ایـن‌رو استفاده از خاک‌ورزی روی خطوط تراز و مصرف بقایـای گیاهی در کشتزارهای دیم از راهکارهـای مـدیریتی در کشتزارهای دیم مناطق نیمه‌خشک می‌توانند درنظر گرفته شوند.

**Reference:**

Ahmadi, A., Jafari V., Zand, H.P., & Zadeh, M.S. (2017). Changes in runoff and sediment production during growing season of rainfed chickpea (Case study: Ticme Dash, East Azarbaijan, Soil Conservation Research Station). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(2): 299-308. (In Persian with English abstract)

Agricultural statistics for the year 2022, volume three: horticultural products. Ministry of Agricultural Jihad, Program Deputy Economical Information and Communication Technology Center

Akhtar, K., Wang, W., Ren, G., Khan, A., Feng, Y., & Yang, G. (2018). Changes in soil enzymes, soil properties, and maize crop productivity under wheat straw mulching in Guanzhong, China. *Soil and Tillage Research*, 182: 94-102.
https://doi.org/10.1016/j.still.2018.05.007

Ali, S., Jan, A., Sohail, A., Khan, A., Khan, M.I., Zhang, J., & Daur, I. (2018). Soil amendments strategies to improve water-use efficiency and productivity of maize under different irrigation conditions. *Agricultural Water Management* 210: 88-95.
https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.009

Barron, J., & Tengberg, A. (2023). Rainfed systems intensification and scaling of water and soil management: four case studies of development in family farming. Department of soil and Environment, SLU.

Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A. C., & Soriano-Soto, M.D. (2001). Influence of soil propertis on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena 44*(1): 47-67.
https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00176-4
Brady, N. and Weil, R. 2002. The Nature and Properties of Soils, 13th Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. p. 960.
Ehyaei, M., and Behbahanizade, A. (1993). Description of soil and plant chemical decomposition methods. Soil & Water Research Institute. 1:893. [In Persian].
FAO. 2020. The State of Food and Agriculture (SOFA). Overcoming water challenges in agriculture. Rome
Fatumah, N., Tilahun, S.A., & Mohammed, S. (2021). Water use efficiency, grain yield, and economic benefits of common beans (Phaseolus vulgaris L.) under four soil tillage systems in Mukono District, Uganda. Heliyon 7(2): p. 06308.
https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06308
Gan, Y., Siddique, K.H., Turner, N.C., Li, X.G., Niu, J.Y., Yang, C., Liu, L., & Chai, Q. (2013). Ridge-furrow mulching systems an innovative technique for boosting crop productivity in semiarid rain-fed environments. Advances in Agronomy 118: 429-476.
Gao, H., Yan, C., Liu, Q., Li, Z., Yang, X., & Qi, R. (2019). Exploring optimal soil mulching to enhance yield and water use efficiency in maize cropping in China: A meta-analysis. Agricultural Water Management *225*: 105741.
Gee, G. W., Bauder, J. W., & Klute, A. 1986. Particle-size analysis Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. p. 383-411.
Haise, H.R. 1956. The use of cylinder infiltrometers to determine the intake characteristics of irrigated soils (Vol. 41, No. 7). Agricultural Research Service and Soil Conservation Service, US Department of Agriculture.
Jakab, G., Madarasz, B., Szabo, J.A., Toth, A., Zacháry, D., Szalai, Z., Kertesz, A., & Dyson, J. (2017). Infiltration and soil loss changes during the growing season under ploughing and conservation tillage. Sustainability *9*(10): p. 1726. https://doi.org/10.3390/su9101726
Jones, E.P. (2001). Circulation in the Arctic Ocean. Polar Research 20(2): 139-146. https://doi.org/10.1111/j.1751-8369.2001.tb00049.x
Justice, C.O., Dugdale, G., Townshend, J.R.G., Narracott, A.S., & Kumar, M. (1991). Synergism between NOAA-AVHRR and Meteosat data for studying vegetation development in semi-arid West Africa. International Journal of Remote Sensing 12(6): p.1349-1368.
Kemper, W.D., & Rosenau, R.C., 1986. Aggregate stability and size distribution. Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods 5: p. 425-442. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c17
Klute, A., &and Page, A.L. 1986. Methods of soil analysis. pt. 1. Physical and mineralogical methods. Agronomy (USA). no. 9.
Li, N., Zhou, C., Sun, X., Jing, J., Tian, X., & Wang, L. (2018). Effects of ridge tillage and mulching on water availability, grain yield, and water use efficiency in rain-fed winter wheat under different rainfall and nitrogen conditions. Soil and Tillage Research 179: 86-95. https://doi.org/10.1016/j.still.2018.01.003
Mitchell, J., Singh, P., Wallender, W., Munk, D., Wroble, J., Horwath, W., Hoga, P., Roy, R., & Hanson, B. (2012). No-tillage and high-residue practices reduce soil water evaporation. California Agriculture *66*(2): p. 55-61.mitchell https://doi.org/ 10.3733/ca.v066n02p55
Ndiaye B., Esteves M., Vandervaere J.P., Lapetite J.M. and Vauclin M. (2005). Effect of rainfall and tillage direction on the evolution of surface crusts, soil hydraulic properties and runoff generation for a sandy loam soil. Journal of Hydrology 307(1-4): p.294-311. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.10.016
Nikkami, D., Ardakani, A.J., & Movahed, F.B. (2008). Tillage management on sustainable rainfed agricultural resources. Journal of Applied Science *8*(18): 3255-3260.
Parihar, C.M., Jat, S.L., Singh, A.K., Kumar, B., Pradhan, S., Pooniya, V., Daija, A.C.V.J., Chaudhary, V., Jat, M.L., Jat, R.K., & Yadav, O.P. (2016). Conservation agriculture in irrigated intensive maize-based systems of north-western India: Effects on crop yields, water productivity and economic profitability. Field Crops Research 193: 104-116. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.03.013
Peterson, G.A., Schlegel, A. J., Tanaka, D.L., & Jones, O.R. (1996). Precipitation use efficiency as affected by cropping and tillage systems. Journal of Production Agriculture 9(2): 180-186.
Qin, W., Hu, C., & Oenema, O. (2015). Soil mulching significantly enhances yields and water and nitrogen use efficiencies of maize and wheat: a meta-analysis. Scientific reports *5*(1): 1-13.
Qin, X., Huang, T., Lu, C., Dang, P., Zhang, M., Guan, X.K., Wen, P.F., Wang, T.C., Chen, Y., & Siddique, K.H. (2021). Benefits and limitations of straw mulching and incorporation on maize yield, water use efficiency, and nitrogen use efficiency. Agricultural Water Management 256: 107128. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107128
Riaz, F., Riaz, M., Arif, M.S., Yasmeen, T., Ashraf, M.A., Adil, M., Ali, S., Mahmood, R., Rizwan, M., Hussain, Q., & Zia, A. 2020. Alternative and non-conventional soil and crop management strategies for

increasing water use efficiency. In Environment, climate, plant and vegetation growth. Springer, Cham, p. 323-338. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3_13

Tan, K.H. 2005. Soil Sampling Preparation and Analysis. 2nd Edition. Taylor and Francis/ CRC press.

Vaezi, A.R. (2013). Soil properties affecting rainfall water use efficiency (RWUE) in wheat dry-farming lands, NW Iran. Journal of Agricultural Science 5(6): 9. http://dx.doi.org/10.5539/jas.v5n6p9

Vaezi, A. R., & Bagheri, M. (2020). Effect of row spacing and tillage direction on water and soil losses in rainfed land. Applied Soil Research 8(1): 79-91.

Vaezi, A.R., Hasanzadeh, H., & Cerda, A. (2016). Developing an erodibility triangle for soil textures in semi-arid regions, NW Iran. Catena 142: 221-232.

Vaezi, A.R., &Piri, L. (2017). Water retention and wheat grain yield as affected by plough direction in a semi-arid rainfed land in west of Zanjan. Journal of Water and Soil Conservation 23(6): 285-299. (In Persian with English abstract)

Vaezi, A.R., and Zarrinabadi, E. (2015). Runoff and soil loss as affected by land use change and plough direction in poor vegetation cover pastures. Iranian Journal of Soil and Water Research 47(1): *87-98.*

Walkley, A. and Black I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science *37*(1): 29-38.

Wang, L.F., & Shangguan, Z.P. (2015). Water–use efficiency of dryland wheat in response to mulching and tillage practices on the Loess Plateau. *Scientific Reports* 5(1): 1-12. https://doi.org/10.1038/srep12225

Western, R.L. (1990). Soil testing and plant analysis: Soil Science Society of America journal, Madison Wisconsin. USA.

Yang, H., Wu, G., Mo, P., Chen, S., Wang, S., Xiao, Y., ang Ma, H., Wen, T., Guo, X., & Fan, G. (2020). The combined effects of maize straw mulch and no-tillage on grain yield and water and nitrogen use efficiency of dry-land winter wheat (Triticum aestivum L.). *Soil and Tillage Research*, 197: 104485. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104485

Yoder, R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. Agronomy Journal 28(5): 337-351.

https://doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x

Zanjan Water Organization. 2011. Study reports of Zanjan plain. Zanjan Water Organization, Press, p. 27-54. [In Persian].

Zhang, X., Moran M.S., Zhao X., Liu S., Zhou T., Ponce-Campos G.E., and Liu F. (2014). Impact of prolonged drought on rainfall use efficiency using MODIS data across China in the early 21st century. Remote Sensing of Environment 150: 188-197. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.003

**یادداشت ها**

۱ *Xeric*
۲ *Mesic*