Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

# Implementation requirements for establishing rainfed almond orchard and developing it through a rainwater harvesting system at on-farm conditions

**Ali Reza Tavakoli**[*1] and **Seyed Reza Fatemi Motlagh**[2]

1. Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: ar.tavakoli@areeo.ac.ir
2. Agricultural Expert, Agricultural Jihad Organization of North Khorasan Province, Email: fatemimotlaghreza@gmail.com

**ARTICLE INFO**

**Article type:**
Research Paper

**Article history**
**Received:** 11 September 2025
**Revised:** 29 September 2025
**Accepted:** 08 October 2025
**Published online:** 12 November 2025

**Keywords:**
Evaporation, Green water productivity, Rainfed, Rainwater harvesting

**ABSTRACT**

To provide a correct and technical model of the construction of a rainfed almond orchard, this field research was carried out in the agricultural year of 2018-2019 in North Khorasan province, Bojnord region, Badranlu area, Serivan Tappe village, and on the land of the farmer and with the participation of the farmer for 4 years. Almond variety Faranis (Shahrood 12) with Shokofeh variety (for pollination, which was approved by the Agriculture and Natural Resources Research Center and has a certificate of health and authenticity, was prepared and cultivated, and compared with local cultivars (seed-based) of the region as a control. Climate parameters, including precipitation, temperature, relative humidity, and sunshine hours of the nearest meteorological station, were obtained and analyzed. To fill the holes, high-quality topsoil (combined with rotted manure and mycorrhizal fungi in the amount of about 70 g for each tree) was used. Seedling planting criteria (disinfection, root and top branch pruning, irrigation at the time of planting, soil restoration) were included in the work plan according to the instructions of the Education and Extension Institute. A rainwater harvesting system was established by observing the reduction of the runoff threshold and increasing the runoff coefficient, as well as the management of the runoff level. The spacing of the trees was 6 m by 6 m and in a semi-circle with a radius of 2.5 m, with a density of 267 plants per ha. The semi-circular system was created after the planting operation. The catch percentage (more than 98%) and the growth status of the trees (20-40 cm per year) indicate the success of the research. Comparing the rainfall productivity in the region's rainfed wheat fields and existing rainfed almond orchards (local variety) indicates the existence of local capacities and capabilities in improving green water productivity for constructing or modifying rainfed almond orchards by observing the criteria and installing a rainwater harvesting system, deep root development (up to 100 cm), and evaporation control.

Citation: Tavakoli, A. R., & Fatemi Motlagh, S. R. (2025). Implementation requirements for establishing a rainfed almond orchard and developing it through a rainwater harvesting system at On-farm conditions. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 13(3), 73-90.

**DOR:** 20.1001.1.24235970.1404.13.3.5.9

**Publisher:** Iranian Rainwater Catchment Systems Association
© Author(s)

***Corresponding author:** Ali Reza Tavakoli
**Address:** Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
**Tel:** +989024001970
**Email:** ar.tavakoli@areeo.ac.ir

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

# Implementation requirements for establishing rainfed almond orchard and developing it through a rainwater harvesting system at On-farm conditions

**Ali Reza Tavakoli**[*1], **Seyed Reza Fatemi Motlagh**[2]

1. Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: ar.tavakoli@areeo.ac.ir
2. Agricultural Engineering Expert, Agricultural Jihad Organization of North Khorasan Province, Email: fatemimotlaghreza@gmail.com

## EXTENDED ABSTRACT

**Introduction:** For more than 6.5 million ha of land under cultivation of rainfed crops, horticultural crops, and medicinal plants, along with several million ha of rainfed fallow land, it is essential to adopt intelligent and wise measures to benefit from and improve green water productivity. Globally, 80% of agricultural land is rainfed, and 60 to 70% of the world's food is produced from rainfed agriculture. About 81,000 ha of rainfed almond orchards, about 70,000 ha of rainfed grape orchards, more than 47,000 ha of rainfed fig orchards, 43,000 ha of medicinal plants, and thousands of ha of hazelnuts, olives, rose hips, and various medicinal plants, etc., and in total, more than 355,000 ha of rainfed orchards and medicinal plants in the country are considered as existing and tangible works of indigenous knowledge. Rainfed orchards constitute 13.1% of all orchards in the country and, with the production of 1.428 million tons of products, they provide only 5.9% of all orchard production. Rainwater harvesting systems refer to the process of harvesting rainwater and storing it on the ground or underground, in the soil, or in tanks for various industrial, drinking, livestock, and agricultural uses. The collected water from rainwater harvesting systems in arid and semi-arid regions around the world increases the amount of water use and productivity in these regions, which is mainly based on reducing the share of evaporation losses. Climate parameters, including precipitation, temperature, relative humidity, wind, and sunshine hours, were received from the nearest meteorological station and were under review and analysis. This research aimed to determine the rainfall productivity in peripheral rainfed wheat fields and existing rainfed almond orchards (local variety) and to provide a model for constructing or improving rainfed almond orchards by observing the criteria and installing a rainwater harvesting and evaporation control system that will lead to improving green water productivity.

**Methodology:** To provide a correct and technical model of the construction of a rainfed almond orchard, this field research was carried out in the agricultural year of 2018-2019 in North Khorasan province, Bojnord region, Badranlu area, Serivan Tappe village, and on the land of the farmer and with the participation of the farmer for four years. Almond variety was Faranis (Shahrood 12) with Shokofeh variety (for pollination), which was approved by the Agriculture and Natural Resources Research Center and has a certificate of health and authenticity. It was prepared and cultivated, and compared with local cultivars (seedlings) of the region as a control. Climatic parameters, including precipitation, temperature, relative humidity, and sunshine hours of the nearest meteorological station, were obtained and analyzed. To fill the holes, high-quality topsoil (combined with rotted manure and mycorrhizal fungi in the amount of about 70 g for each tree) was used. Seedling planting criteria (disinfection, root and top branch pruning, watering at the time of planting, soil restoration) were included in the work plan according to the instructions of the Education and Extension Institute. A rainwater harvesting system was established by observing the reduction of the runoff threshold and increasing the runoff coefficient, as well

***Corresponding author:** Ali Reza Tavakoli
**Address:** Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
**Tel:** +989024001970
**Email:** ar.tavakoli@areeo.ac.ir

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

as the management of the runoff level. The spacing of the trees was 6 m by 6 m and in a semi-circle with a radius of 2.5 m, with a density of 267 plants per ha. The semi-circular system was created after the planting operation.

**Results and Discussion:** Based on 30 years of Bojnord meteorological station statistics, the probability of annual rainfall of 284 mm is only 2.3%, the probability of rainfall of 256 mm is 19.4%, the probability of rainfall of 209 mm is 51.6%, and the probability of rainfall of 173 mm is about 75%. Based on the data recording, the percentage of seedlings (over 98%) and the growth status of trees (20-40 cm per year) indicate the success of the project. Based on field observations (research findings), one of the main reasons for the decline or insufficient growth of local almond trees was inappropriate substrate and a lack of deep root development. Collecting, directing, and storing moisture through a rainwater harvesting system, along with deep almond root development (up to 100 cm during the research period) due to the creation of a suitable substrate and the use of mycorrhiza fungi, ensured that the water needs of the trees were met without restriction. In addition, in rainfed conditions, any vegetative growth should be prevented to maintain a balance between the amount of soil moisture absorption by the roots and the amount of transpiration by the foliage, because an imbalance between absorption and transpiration will cause damage and even decline of the trees. Creating a rainfed runoff garden requires the provision of inputs that require different costs for each case. The most important cost items of constructing a rainfed orchard are digging a hole with a mechanical excavator, improving the runoff surface and creating a rainwater harvesting system, preparing seedlings, transporting seedlings, preparing and using rotted manure, preparing mulch (stone, plant, etc.), mycorrhiza fungi, filling the hole and planting, watering when transporting seedlings to the original location (if needed), and unforeseen costs. One of the approaches of this research was to introduce rainwater harvesting and green water management systems to experts and operators in Bojnord and other cities with this potential (Esfarayn, Shirvan, and Farouj). Therefore, in addition to expert visits to these cities, extension meetings were held with experts and farmers, and appropriate rainwater harvesting systems for existing rainfed almond orchards and for newly constructed rainfed orchards were explained.

**Conclusion:** Comparing the rainfall productivity in the region's rainfed wheat fields and existing rainfed almond orchards (local variety) indicates the existence of local capacities and capabilities in improving green water productivity for constructing or modifying rainfed almond orchards (Almond variety Faranis (Shahrood 12 with Shokofeh variety for pollination) by observing the criteria and installing a rainwater harvesting system, deep root development and evaporation control.

## Ethical Considerations

**Data availability statement:** The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

**Funding:** This research was conducted as a research and part of the results of a research project and was financially supported by the North Khorasan Agricultural Jihad Organization and the Agricultural Engineering Research Institute.

**Authors' contribution:** **Ali Reza Tavakoli** and **Seyed Reza Fatemi Motlagh**, as the authors of the paper, conducted all parts of the research and wrote the whole manuscript.

**Conflicts of interest:** The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

**Acknowledgment:** This project was implemented with the support of the Agricultural Jihad Organization of North Khorasan Province and the Agricultural Engineering Research Institute. Therefore, we would like to thank them, as well as the North Khorasan Agricultural Extension Coordination Management, the North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, and the Agricultural Jihad Management of Bojnord.

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

# الزامات عملیاتی احداث باغ بادام دیم از طریق استحصال آب باران در شرایط بهره‌بردار و توسعه آن

**علیرضا توکلی*[۱]، سیدرضا فاطمی امین[۲]**

۱. دانشیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، ar.tavakoli@areeo.ac.ir

۲. کارشناس مهندسی کشاورزی، سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان شمالی، fatemimotlaghreza@gmail.com

**مشخصات مقاله**

**نوع مقاله:**
پژوهشی

**تاریخچه مقاله**
**دریافت:** ۲۰ شهریور ۱۴۰۴
**بازنگری:** ۰۷ مهر ۱۴۰۴
**پذیرش:** ۱۶ مهر ۱۴۰۴
**انتشار برخط:** ۲۱ آبان ۱۴۰۴

**واژه‌های کلیدی:**
استحصال آب باران، بهره‌وری آب سبز، تبخیر، دیم

**چکیده**

به‌منظور ارائه الگوی صحیح و فنی از احداث باغ بادام دیم، این پژوهش مزرعه‌ای از سال زراعی ۹۸-۹۷ در استان خراسان شمالی، شهرستان بجنورد، منطقه بدرانلو روستای سریوان تپه و در زمین بهره‌بردار و به مدت ۴ سال با مشارکت بهره‌بردار اجرا شد. پس از انتخاب مکان موردنظر، رقم شاهرود ۱۲ به همراه رقم شکوفه (با هدف گرده‌افشانی) با پایه بادام تلخ که مورد تایید مرکز تحقیقات و باغبانی استان و دارای گواهی سلامت و اصالت بوده، تهیه و کشت و با ارقام محلی (بذری) منطقه به عنوان شاهد مقایسه شد. پارامترهای اقلیمی و قابل دسترسی شامل بارش، دما، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی توسط نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی دریافت و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. میانگین بارش چهار ساله (۱۳۹۷-۱۴۰۱) برابر ۱۸۸ میلی‌متر با پراکنش نسبتا مناسبی بوده است. ضوابط کاشت نهال (ضدعفونی، هرس ریشه و سرشاخه، آبیاری، ترمیم خاک بستر) مطابق با دستورالعمل موسسه آموزش و ترویج کشاورزی در برنامه کار قرار گرفت. در تهیه سامانه با رعایت کاهش آستانه رواناب و افزایش ضریب رواناب و نیز وضعیت سطح رواناب اقدام شد. فواصل درختان ۶ متر در ۶ متر و در حالت نیم دایره‌ای با شعاع دو و نیم متر با تراکم ۲۶۷ نهال در هکتار اجرا شد. سامانه نیم‌دایره‌ای (هلالی) پس از عملیات کاشت، ایجاد شد. اصول کار بر اساس راهنمای کاربردی که توسط معاونت ترویج منتشر شده، صورت گرفت. درصد گیرایی (افزون بر ۹۸ درصد) و وضعیت رشد درختان (۴۰-۲۰ سانتی‌متر در سال) حاکی از اجرای موفق پروژه است. علاوه‌بر این، مقایسه میزان بهره‌وری بارش در مزارع گندم دیم پیرامونی و باغات بادام دیم موجود (بذری)، حاکی از وجود ظرفیت‌ها و توان محلی در ارتقای بهره‌وری آب سبز برای احداث یا اصلاح باغات دیم بادام با رعایت ضوابط و تعبیه سامانه استحصال آب باران، توسعه عمقی ریشه (تا ۱۰۰ سانتی‌متر) و کنترل تبخیر است.

**استناد:** توکلی، علیرضا و فاطمی امین، سیدرضا. (۱۴۰۴). الزامات عملیاتی احداث باغ بادام دیم از طریق استحصال آب باران در شرایط بهره‌بردار و توسعه آن. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۳(۳)، ۷۳-۹۰.

**DOR:** 20.1001.1.24235970.1404.13.3.5.9

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

* **نویسنده مسئول:** علیرضا توکلی
**نشانی:** مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی، کشاورزی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
**تلفن:** ۰۹۰۲۴۰۰۱۹۷۰
**پست الکترونیکی:** ar.tavakoli@areeo.ac.ir

## مقدمه

برای افزون بر ۶/۵ میلیون هکتار اراضی تحت کشت محصولات زراعی، باغی و گیاهان دارویی دیم همراه با چند میلیون هکتار اراضی دیم آیش، ایجاب می‌کند که تدابیر کاربردی و اثربخشی برای بهره‌مندی و بهبود بهره‌وری آب سبز اتخاذ شود. در سطح جهان نیز ۸۰ درصد اراضی کشاورزی به صورت دیم بوده و ۷۰–۶۰ درصد غذای ساکنین جهان نیز از دیم تولید می‌شود (Falkenmark and Rockstro¨m, 2004). مصداقا کشاورزی دیم در کشور هندوستان ۴۰ درصد از تولید غلات غذایی را تشکیل داده و نیمی از جمعیت انسانی و دو سوم جمعیت دام را پشتیبانی می‌کند (Panwar et al., 2023; Jinger, 2017). حدود ۷۰ درصد از مردم هندوستان به کشاورزی مشغول هستند که عمدتاً دیم است (پنوار و همکاران، ۲۰۲۳). ضمن این‌که سرزمین‌های خشک تقریباً ۲۶ درصد از سطح زمین را دربر گرفته و جمعیت ۲ میلیارد نفری جهان را در خود جای می‌دهد (Vettera and Rieger, 2019). این مناطق نسبت به تغییرات اقلیمی، سطوح اقتصادی و سیاسی حساس و شکننده بوده و در واقع، رشد سریع جمعیت، بروز خشکسالی‌ها، عملکرد ضعیف مدیریت و حکمرانی بر منابع و وضعیت سیاسی ناپایدار، سبب شده است که فشار بر منابع طبیعی در سرزمین‌های خشک افزایش یابد (Vettera and Rieger, 2019; Sawalhah et al., 2018).

حدود ۸۱ هزار هکتار باغات بادام دیم، حدود ۷۰ هزار هکتار باغ انگور دیم، افزون بر ۴۷ هزار هکتار باغات انجیر دیم، ۴۳ هزار هکتار گیاهان داروئی و هزاران هکتار فندق، زیتون، گل محمدی، گیاهان دارویی، زرشک، عناب، سماق، خارشتر، آنغوزه، وشا، باریجه و آویشن و در مجموع افزون بر ۳۵۵ هزار هکتار باغات و گیاهان دارویی دیم کشور، به‌عنوان آثار موجود و عینی دانش بومی محسوب می‌شوند (بی‌نام، ۱۴۰۰). باغات دیم ۱۳/۱ درصد کل باغات کشور و با تولید ۱/۴۲۸ میلیون تن محصول، فقط ۵/۹ درصد کل تولیدات باغی را تامین می‌کند (بی‌نام، ۱۴۰۰). براساس آخرین اطلاعات منتشره از سوی سازمان خوار و بار جهانی، مقدار تولید بادام در سال ۲۰۲۲ میلادی ۳۲۱۴ هزار تن بوده است ایالات متحده امریکا با تولید حدود ۲ میلیون تن در سطح حدود ۳۸۰ هزار هکتار رتبه اول را دارد (Anonymous, 2021). کشورهای اسپانیا، ایران، مراکش، سوریه و ترکیه در رتبه های بعدی قرار دارند.

در خراسان شمالی که جمعا ۴۳/۵ هزار هکتار باغ وجود دارد، ۱۶/۷ درصد آن به‌صورت دیم بوده و از ۲۰۳/۶ هزار تن تولیدات باغی، ۱۷/۴ درصد آن از شرایط دیم بدست می‌آید (بی‌نام، ۱۴۰۰) که نسبت به شرایط کشوری هم از منظر سهم مساحت باغات دیم از کل مساحت باغات استان و نیز از منظر سهم تولید باغات دیم از کل تولیدات باغی استان، شرایط مطلوب‌تری دارد.

باغات بادام دیم استان خراسان شمالی عمدتا در شهرستان‌های اسفراین، بجنورد، فاروج و شیروان واقع بوده و میانگین حداکثر، متوسط و حداقل عملکرد بادام در این چهار شهرستان به‌ترتیب ۱۰۰۰، ۴۸۱ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار است که متوسط عملکرد دیم ۳۸ درصد عملکرد در شرایط آبی است که توجیه‌پذیر است. ضمنا متوسط عملکرد بادام دیم در اسفراین، بجنورد، فاروج و شیروان به‌ترتیب ۴۷۱، ۵۲۱، ۴۸۱ و ۳۳۷ کیلوگرم در هکتار است که به‌ترتیب ۵۲، ۳۵، ۴۶ و ۲۳ درصد عملکرد نسبت به شرایط آبی است. متوسط عملکرد بادام آبی در اسفراین، بجنورد، فاروج و شیروان به‌ترتیب ۹۰۶، ۱۴۷۵، ۱۰۵۰ و ۱۴۴۷ کیلوگرم در هکتار است (سازمان جهاد کشاورزی خراسان شمالی، ۱۴۰۲). خراسان شمالی دارای حدود ۹۰۰۰ هکتار محصولات باغی دیم است که حدود ۴۱۰۰ هکتار آن بادام است. متوسط عملکرد بادام دیم ۴۸۱ کیلوگرم در هکتار است (سازمان جهاد کشاورزی خراسان شمالی، ۱۴۰۲). روستای سریوان تپه از بخش بدرانلو شهرستان بجنورد خراسان شمالی یکی از مناطق مستعد برای کشت بادام به‌صورت دیم است. میزان بارش در این منطقه حدود ۳۰۰ میلی‌متر بوده و به‌طور سنتی، باغات بادام دیم وجود دارد که مشکلاتی نیز دارند که در صورت رفع مشکلات می‌توان وضعیت تولید را بهبود بخشید.

خاک‌های لخت نرخ فرسایش خاک بالاتری دارد و این معضلات به ویژه در مناطق حوضه مدیترانه مشهود است، از جمله راهکارها برای کنترل فرسایش خاک، استحصال و جمع‌آوری آب باران و عدم دستکاری در خاک (ناشی از عملیات زراعی و شخم اراضی) است (García-Ruiz, 2010, Rodrigo-Comino, 2018).

در شرایط حاضر یکی از معضلات اراضی دیم تحت کشت یا آیش و نیز عرصه‌های ملی کم‌بازده و مناطق بیابانی، وقوع سیلاب و تخریب و فرسایش خاک و هدرروی آب و خاک است. منشأ بسیاری از سیل‌ها را باید در خارج از محدوده بروز سیل جستجو کرد، جایی که جریان‌های کوچکی که قابل کنترل بودند، شکل می‌گیرند و پس از بهم پیوستن، ضمن هدر دادن منابع آب و خاک، خسارات جدی به بنیان‌ها و زندگی انسان وارد می‌کنند. لذا هر اقدامی برای مهار جریان سیلابی و مخرب بایستی از نقطه آغازین باشد. ایجاد سامانه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران در سطوح ریزحوضه (میکروکچمنت) و بزرگ حوضه (ماکروکچمنت) با مهار باران و ایجاد فرصت نفوذ، شرایط را برای نفوذ عمقی فراهم کرده و با تقویت سهم نفوذ، بخشی از رواناب را تبدیل به جریان زیرزمینی می‌کند. استفاده از روش‌های استحصال آب در محل، روانابی که از منطقه خارج می‌شود را کاهش، و آب ذخیره شده در پروفیل خاک را افزایش می‌دهد (حامی کوچه باغی و همکاران، ۱۴۰۰).

در زراعت گندم دیم مناطق همجوار، با فرض تولید ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار، با احتساب هر کیلوگرم ۱۳۰۰۰ تومان (مبنای قیمت سال ۱۴۰۱) و بدون فرض افت محصول، کل درآمد ناخالص برابر ۱۳ تا ۲۰ میلیون تومان در هکتار خواهد شد که حداقل ۴۰–۳۵

درصد آن را هزینه تولید تشکیل می‌دهد (داده‌های میدانی). این درآمد کفایت معیشت مردم را ننموده و گاهاً عملیات شخم (آن هم به‌طور نادرست و مخرب)، صرفا برای بقای مالکیت زمین صورت می‌گیرد، لذا استمرار این وضعیت، اصلاً وجاهت و توجیه ندارد.

در خصوص بادام با تولید ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم بادام در هکتار و با احتساب قیمت ۸۰ هزار تومان (مبنای قیمت سال ۱۴۰۱)، کل درآمد ناخالص ۳۲ تا ۸۰ میلیون تومان در هکتارخواهد بود (داده‌های میدانی). در این خصوص باید به عدم دستکاری در خاک، کاهش سهم تلفات تبخیری بارش و بهبود شرایط اکوسیستمی هم اشاره کرد که برای آن حد ارزش مالی نمی‌توان قائل شد.

ابعاد اجتماعی و کاهش نگرانی‌های اقتصادی، جلب مشارکت بهره‌برداران در به‌کارگیری فنون جدید، ایجاد درآمد و معیشت کافی برای ساکنین و جلوگیری از مهاجرت و تخلیه روستاها و کلاته‌ها، دنبال کردن زنجیره کار و تولید در منطقه و نیز جلوگیری از برداشت‌های احتمالی از منابع آب زیرزمینی از جمله ضرورت‌های اجتماعی و زیست محیطی اجرای چنین پروژه‌هایی با مشارکت بهره‌برداران است.

در مناطقی که سالانه دارای حداقل ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر بارش باشند، کشت گیاه برخی گیاهان سازگار به‌صورت دیم به‌راحتی امکان‌پذیر است چرا که بارش منبع اصلی آبی است که بر تولید محصول در مناطق نیمه خشک تأثیر می‌گذارد (Gan et al., 2013, Nyakudya et al., 2014, Zhou et al., 2015). به‌دلیل عدم کفایت کل نزولات جوی و پراکنش مکانی ـ زمانی نامتناسب آن، کشت بادام دیم از ریسک پذیری بالایی برخوردار است و به ناچار بایستی حداقل در طول فصل زراعی، ۴–۳ مرتبه آبیاری صورت پذیرد (توکلی، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۲). با توجه به مشکلات تامین آب به‌ویژه از جهات اقتصادی، درصورتی‌که بتوان رواناب ناشی از نزولات جـــوی را در حوضه‌های مشخص، جمع‌آوری، ذخیره و در اختیار محصول قرار دارد، می‌توان نیاز آبی آن را تأمین و عملکرد آن را بهبود وتثبیت بخشید (توکلی، ۱۳۸۶). زارع (۱۳۷۸) نشان داد که علیرغم پایین بودن عملکرد بادام در شرایط دیم، تولید آن از مزیت نسبی برخوردار است.

سامانه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران به فرآیند جمع آوری آب باران و ذخیره آن بر روی زمین یا زیرزمین، در خاک یا در مخازن برای مصارف مختلف صنعتی، شرب، دام و کشاورزی اطلاق می‌شود. سامانه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران مجموعه ای از شیوه‌های توسعه یافته برای جمع‌آوری و استفاده از بارش و رواناب سطحی به جای استفاده از آب‌های زیرزمینی است. آب جمع‌آوری شده حاصل از استحصال و جمع‌آوری آب باران در مناطق خشک و نیمه خشک در سراسر جهان، میزان مصرف و بهره‌وری آب را در این مناطق افزایش می‌دهد که عمدتاً بر کاهش سهم تلفات تبخیری استوار است (توکلی و همکاران، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱؛ توکلی و قدمی فیروزآبادی، ۱۴۰۰).

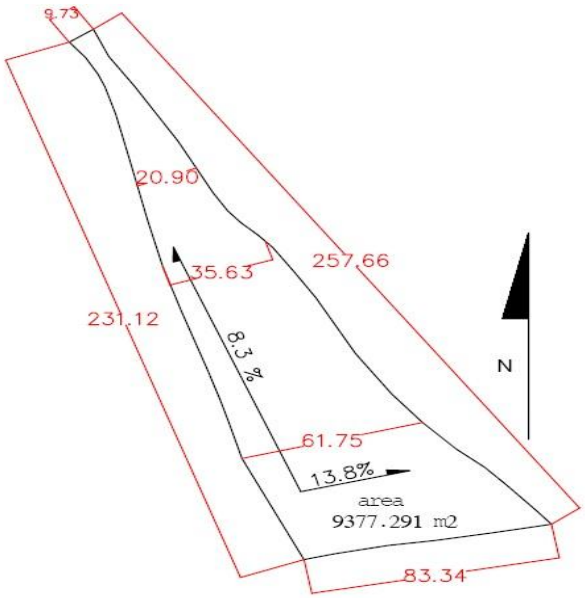
سامانه‌هایی که به‌صورت نیم‌دایره، هلالی یا ابروئی ایجاد می‌شوند، در امتداد خطوط منحنی ارتفاعی به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که رو به شیب بوده و با پشته‌ای جریان روانابی را کنترل می‌کند (توکلی و همکاران، ۱۴۰۰). پشته‌ها معمولاً از خاک ساخته شده و با موادی چون سنگ، استحکام‌بخشی می‌شود. فاصله بین هر پشته بین ۱ تا ۸ متر بوده و ارتفاع پشته‌ها بین ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع آن در دو انتهای هلال کم می‌شود (Oweis et al., 2012).

اساساً احداث سامانه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران بایستی در مکان‌های مناسب و نسبت‌های مناسب (طراحی صحیح) انجام تا بر جریان‌های زیست‌محیطی تأثیر منفی نداشته باشد (Panwar et al., 2023). شیوه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران، نتایج امیدبخشی را برای کاهش مخاطرات، افزایش عملکرد و ایجاد تاثیرات مثبت بر سایر بخش‌های اکوسیستم ایفا می‌کنند (Maher et al., 2021). استحصال و جمع‌آوری آب باران روشی است که از قدیم‌الایام در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار می‌گرفته است (Oweis et al., 2001). احداث قنات، آب‌بندان‌های استان‌های شمالی، بندسارها، خوشاب، سامانه‌های مدیریت سیل و رواناب، تغذیه آبخوان‌ها و سامانه‌های کوچک استحصال و جمع‌آوری آب باران در انجیرستان‌های استهبانات نمونه‌هایی از مصادیق دانش بومی و قدمت‌دار مدیریت باران در ایران محسوب می‌شود. هدف این تحقیق، انتقال دانش و بهبود مهارت بهره‌برداران در استفاده بهینه و حداکثری از بارش از طریق احداث و ایجاد باغ بادام دیم تحت سامانه‌های استحصال آب باران بوده است.

## مواد و روش تحقیق

### منطقه مورد مطالعه

به‌منظور ارائه الگوی صحیح و فنی از احداث باغ بادام دیم، این پژوهش مزرعه‌ای (آنفارم) از سال زراعی ۹۸–۹۷ در استان خراسان شمالی، شهرستان بجنورد، منطقه بدرانلو روستای سریوان تپه و در زمین بهره‌بردار و با مشارکت بهره‌بردار به مدت ۴ سال اجرا شد (شکل ۱). محل اجرای پژوهش مزرعه‌ای (مزرعه بهره‌بردار آقای قنبرعلی یاوری) روستای سریوان تپه، بدرانلو، بجنورد در موقعیت طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۳ دقیقه و ۲۵ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۴ دقیقه و ۳۷ ثانیه شمالی و ارتفاع از سطح دریای ۸۲۴ متر واقع است. زمین انتخاب شده به مساحت حدود ۱ هکتار (۹۳۷۷ متر مربع) که در دو جهت شیب داشته (۸/۳ درصد شمال شرقی و ۱۳/۸ درصد غربی) که نمای کلی آن در شکل ۱ نشان داده شده است.




**شکل ۱- نقشه محل اجرای پروژه**
**Figure 1- Map of the research location**

## روش تحقیق

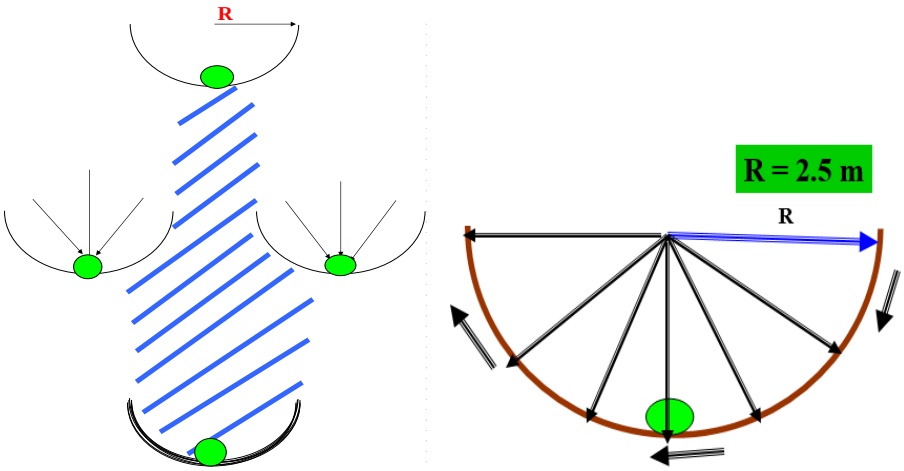
پس از انتخاب مکان موردنظر، رقم اصلاح شده به همراه رقم گردەزا (هر دو با پایه بادام تلخ) که مورد تایید مرکز تحقیقات و باغبانی استان و دارای گواهی سلامت و اصالت بوده، تهیه و کشت و با ارقام محلی (بذری) منطقه به‌عنوان شاهد مقایسه شد. دلایل انتخاب این ارقام، حساسیت رقم محلی (بذری) به سرمای بهاره، اختلاط بادام‌های شیرین و تلخ، و عملکرد کم‌تر آن در مقابل وجود پتانسیل عملکردی بالاتر در ارقام جدید بوده و اساسا ایجاد تنوع رقم در شرایط دیم، یک مزیت محسوب می‌شود. نمونه‌ای مرکب از خاک محل (عمق ۴۰-۰ سانتی‌متر) تهیه و در آزمایشگاه خاک و آب تجزیه و تحلیل شد (جدول ۱) و بر مبنای آن اقدام شد. لازم بذکر است از آن‌جایی‌که بستر ایجاد شده با خاک زراعی و سطحی پر شد، لذا تحلیل خاک سطحی مد نظر قرار داشت. ضمنا خاک زیرین که غیرزراعی بوده (و احتمالا محدودیت‌هایی داشته) برای ایجاد پشته در سامانه استحصال آب باران استفاده شد. مطابق با تحلیل نمونه خاک در آزمایشگاه، خاک مزرعه بدون محدودیت شوری بوده است. مطابق با حفاری با بیل مکانیکی و شواهد موجود، خاک مزرعه دارای عمق مناسب بوده است.

**جدول ۱- نتیجه آزمون نمونه خاک**
**Table 1- Soil sample test results**

| Critical limit حد بحرانی | Results نتیجه آزمون خاک | Unit واحد | Parameter پارامتر |
|---|---|---|---|
| - | 36 | درصد % | Clay رس |
| - | 40 | درصد % | Sand شن |
| - | 24 | درصد % | Silt سیلت |
| - | CL | - | Texture بافت |
| < 7.5 | 7.23 | - | pH اسیدیته خاک |
| < 2 | 0.642 | دسی‌زیمنس بر متر ds/m | EC شوری |
| < 16 | 18.75 | درصد % | TNV میزان آهک خاک |
| > 1 | 0.78 | درصد % | OC مواد آلی |
| > 1 | 0.156 | درصد % | N نیتروژن کل |

برای تهیه بستر، چاله‌هایی به ابعاد تقریبی ۱ متر × ۱ متر × ۱ متر با بیل مکانیکی ایجاد شد و پس از خارج سازی خاک زیرین، از خاک زراعی سطحی برای پرکردن مجدد چاله استفاده شد. خاک زیرین برای تعبیه پشته‌ها، به‌کار گرفته شد. فواصل درختان ۶ متر در ۶ متر و در حالت نیم دایره‌ای (هلالی) با شعاع دو و نیم متر با تراکم ۲۶۷ نهال در هکتار تعریف و اجرا شد. در شکل ۲ آرایش سامانه به‌کار رفته و شعاع

نیم‌دایره (۲/۵ متر) نشان داده شده است. محل قرارگیری درخت و سامانه مربوطه نیز مشخص است. قسمت هاشور خورده، سطح رواناب برای هر درخت (A) است که رواناب هدایت و به پای درخت (سطح هدف) می‌رسد.




**شکل ۲–شماتیکی از سامانه جمع‌آوری آب باران به شیوه نیم‌دایره‌ای**

**Figure 2– Schematic diagram of a semicircular rainwater harvesting system**

برای محاسبه شعاع نیم‌دایره (R) از رابطه ۱ استفاده شده است (Tavakoli et al., 2021):

$$A = 2R \times 3R = 6R^2 = \begin{pmatrix} 25\ m^2 & 5 \times 5 & or & R = 2.04\ m \\ 49\ m^2 & 7 \times 7 & or & R = 2.86\ m \\ 81\ m^2 & 9 \times 9 & or & R = 3.67\ m \end{pmatrix} \quad (۱)$$

با توجه به این‌که خاک لایه‌های زیرین دارای ویژگی زراعی و باغی بوده، برای پر کردن چاله‌ها از خاک سطحی مرغوب (و ترکیب با کود دامی پوسیده و قارچ همزیست مایکوریزا به میزان حدود ۷۰ گرم برای هر درخت) استفاده شد. لازم به ذکر است که کل چاله با خاک مرغوب پر نشده و حدود ۲۰ سانتی‌متر پائین‌تر قرار داشت تا فرصت نفوذ فراهم شود.

ارقام بادام پیوندی در اسفند ۱۳۹۷ به محل اجرا منتقل و بلافاصله کشت صورت گرفت. ارقام پیوندی روی بادام پایه تلخ پیوند شده بودابن نهال‌ها در هنگام کشت، دوساله بوده و پس از حذف شاخه‌های مازاد و ارتفاع اضافی، ارتفاع آن‌ها در حدود ۷۰–۶۰ سانتی‌متر تنظیم شد. ضمن حذف ریشه‌های زخمی و آسیب‌دیده، ریشه‌های بادام در محلول پرالیناژ قرار گرفته، ضدعفونی شده و سپس کشت انجام شد. از آن‌جایی‌که رطوبت خاک در زمان انتقال نهال ریشه‌دار استاندارد (تهیه شده از نهالستان مجاز) در اواخر اسفند، کافی نبود، لذا به‌منظور جلوگیری از جذب رطوبت ریشه توسط خاک، اقدام به آبیاری به میزان ۲۰ لیتر به‌ازای هر نهال شد. بر این اساس تیمارهای این پژوهش میدانی (تحقیقی ترویجی) عبارت بود از: رقم شاهرود ۱۲ (فرانیس) به همراه رقم گرده‌زا (شکوفه) (پیرخضری، ۱۳۹۸) به همراه رقم بذری (شاهد). ضوابط کاشت نهال (ضد عفونی، هرس ریشه و سرشاخه، ترمیم خاک بستر) در برنامه کار قرار داشت (توکلی و همکاران، ۱۳۹۷). در تهیه سامانه به مفاهیم کاهش آستانه رواناب و افزایش ضریب رواناب و نیز وضعیت سطح رواناب توجه شد تا حجم رواناب بیش‌تری به پای نهال رسیده و ذخیره شود. سامانه جمع‌آوری آب باران انتخاب شده در این پژوهش مزرعه‌ای، سامانه نیم‌دایره‌ای (یا هلالی یا ابروئی) بوده و آب باران جمع شده، فرصت نفوذ در پای درختان را پیدا می‌کرد. از آن‌جایی‌که در طی سنوات اجرا و به‌ویژه پس از انتقال نهال به محل اجرا، بنا به دلایل مختلف، ممکن است تعدادی از نهال‌ها آسیب دیده و خشک شوند، در سال ۹۸ به تعداد ۱۲ نهال، واکاری صورت گرفت. یکی از اقدامات مدیریتی در انجام این پژوهش، حفظ رطوبت خاک بود. بدین‌منظور اقدام به ایجاد مالچ خاکی (بهم زدن خاک پای درختان با چنگک و قطع ارتباط با لایه‌های زیرین) و مالچ گیاهی (جمع کردن علف‌های هرز در پای درختان و قرار دادن سنگ روی آن‌ها که جابه‌جا نشوند)، شد. پس از کاشت درختان، سامانه نیم‌دایره‌ای برای هر درخت ایجاد و با قراردادن سنگ و فشرده‌سازی، نسبت به استحکام آن‌ها در مقابل تخریب، اقدام شد. در سطح رواناب (منطقه هاشور خورده شکل ۲) و برای هدایت رواناب به سطح هدف (محل قرارگیری درخت)، اقدام به حذف علف‌های هرز در سطح رواناب و تسطیح نسبی خاک شد. در طی سنوات اجرا و به‌عنوان اقدامات مرحله داشت، کنترل علف‌های هرز در سطح رواناب و در پای درختان، مبارزه با آفات (با سم دیازینون و مطابق با توصیه کارشناس فنی)، ترمیم سامانه صورت گرفت. پارامترهای اقلیمی و قابل دسترسی شامل بارش، دما، رطوبت نسبی، باد و ساعات آفتابی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی دریافت و در مرحله بررسی و

تحلیل قرار گرفت. میزان و پراکنش بارش و نیز تعیین بازه‌های بدون بارش بررسی شد. دوره آماری نزدیک‌ترین ایستگاه همراه با آمار بلند مدت ایستگاه بجنورد نیز بررسی و تحلیل شد.

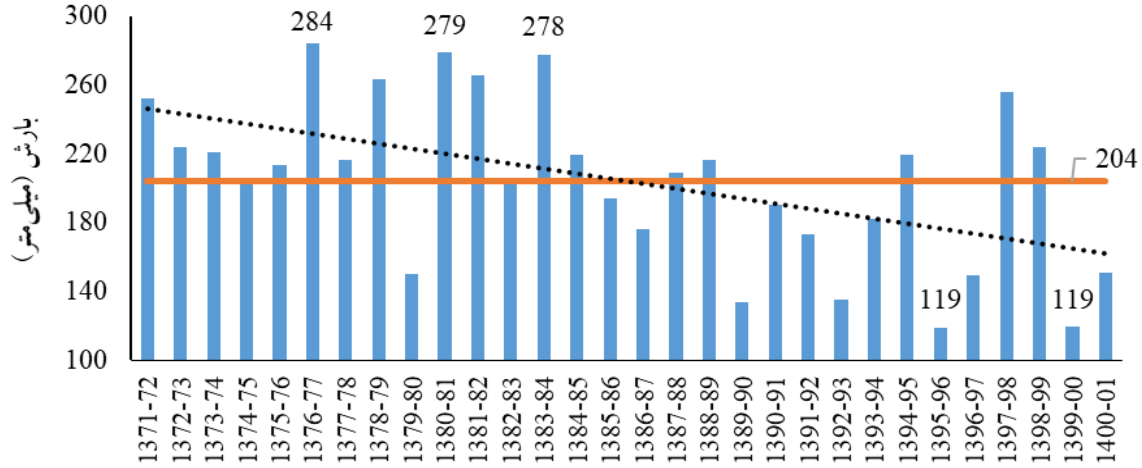
## نتایج و بحث

### وضعیت پارامترهای اقلیمی محل اجرای طرح

وضعیت بارش بازه ۳۰ ساله ۱۴۰۱-۱۳۷۱ در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است. میانگین بارش ۲۰۴ میلی‌متر است، درحالی‌که میانگین بارش ۱۵ ساله ابتدایی ۲۳۱ میلی‌متر، ۱۵ ساله منتهی به ۱۴۰۱، برابر ۱۷۷ میلی‌متر و میانگین ۵ سال اخیر ۱۸۰ میلی‌متر بوده است (شکل ۳ و ۴). دو برداشت مهم از روند بارشی منطقه قابل دریافت است، الف) روندی نزولی کل بارش و دیگری نوسانات بارشی. در شرایط دیم هر دو این موضوعات، اثرات مهمی بر تولید در شرایط دیم دارد. بیش‌ترین میزان بارش (۲۷۸ تا ۲۸۴ میلی‌متر) در نیمه اول بازه ۳۰ ساله واقع بوده و کم‌ترین میزان بارش ۱۱۹ میلی‌متر که در سنوات اخیر رخ داده است. ۸ سال از ۱۵ سال نیمه دوم بازه ۳۰ ساله، دارای بارش کم‌تر از میانگین بوده است (۵۳ درصد سال‌ها). تابع نزولی بارش سنوات ۳۰ ساله در رابطه ۲ نشان داده شده است:

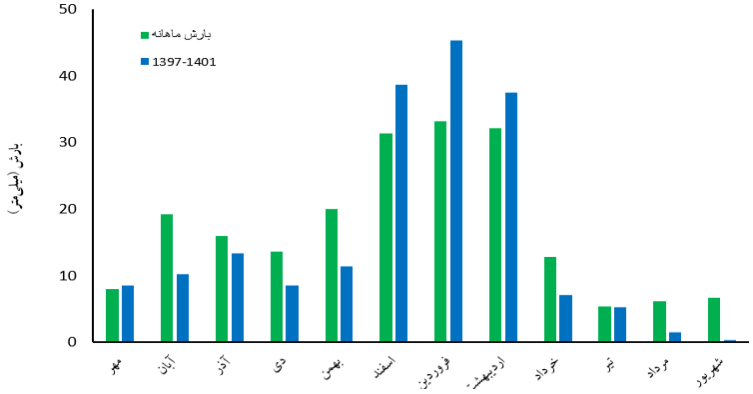
$$Prec. = -2.91\,X + 249.2 \qquad R^2 = 0.28 \qquad R^2\text{adj} = 0.25 \qquad \text{F} = 11.1 \qquad (۲)$$

که در آن ضریب X بیانگر میزان کاهش سالانه بارش (Prec.) نسبت به سال قبل است. با توجه به ضریب تعیین (تشخیص $R^2$)، ضریب تعیین اصلاح شده ($R^2$adj) و مقدار F، رابطه مذکور از نظر آماری کاملا معنی‌دار است. دو برداشت مهم از روند بارشی منطقه قابل دریافت است، الف) روندی نزولی کل بارش و ب) نوسانات بارشی در طی سنوات. در شرایط دیم هر دو این موضوعات، اثرات مهمی بر تولید در شرایط دیم دارد.




**شکل ۳- میزان سالانه بارش طی سنوات ۱۴۰۱-۱۳۷۱ و مقایسه هر یک نسبت به میانگین بلندمدت**

**Figure 3- Annual precipitation during the years 1371-1401 and comparison of each with the long-term average**




**شکل ۴- پراکنش ماهانه بارش در بجنورد**

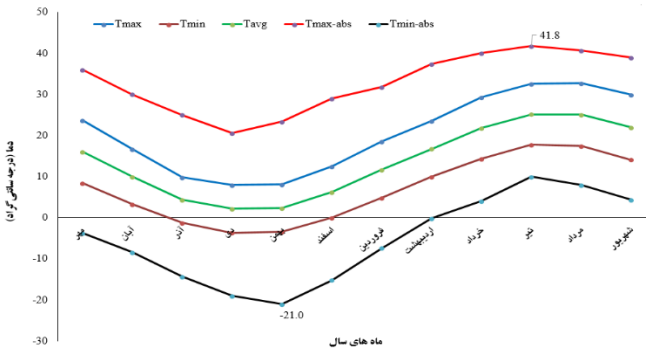
**Figure 4- Monthly precipitation distribution in Bojnord**

روند تغییرات متوسط ماهانه بارش ایستگاه بجنورد، در شکل ۴ نشان داده شده است. بدیهی است پراکنش بارش پارامتر مهمی در طراحی باغ دیم و توفیق آن محسوب می‌شود. عمدتا، بارش‌ها در ماه‌های غیر فصل رشد بوده و در زمان رشد و نمو گیاهان، بارش‌ها به حداقل می‌رسد. هرچه بازه‌های بدون بارش بیش‌تر باشد، ریسک احداث باغ بادام دیم، افزایش می‌یابد. یکی از پارامترهای مهم در تحلیل شرایط، میانگین تغییرات دما (دمای حداکثر، دمای حداقل، متوسط دما، حداکثر مطلق دما و حداقل مطلق دما) است که در شکل ۵ این تغییرات برای ماه‌های مختلف سال نشان داده شده است. دمای حداکثر مطلق و دمای حداقل مطلق به‌ترتیب ۴۱/۸ و ۲۱- درجه سانتی‌گراد بوده است.

افزایش دمای حداکثر به‌طور نگران‌کننده‌ای افزایشی است (شکل ۶) به‌نحوی که در بازه‌ای ۱۸/۷ درجه سانتی‌گراد بوده و به ۲۲/۲ درجه سانتی‌گراد رسید. روند صعودی دمای حداکثر طی سنوات ۳۰ ساله در رابطه ۳ نشان داده شده است:

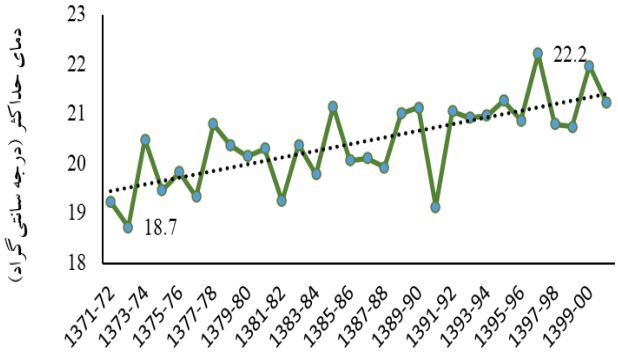
$$Tmax. = 0.068\,X + 19.38 \qquad R^2 = 0.50 \qquad R^2\text{adj} = 0.48 \qquad \text{F} = 27.7 \qquad (۳)$$

که در آن ضریب X بیانگر میزان افزایش سالانه دمای حداکثر (Tmax.) است. با توجه به ضریب تعیین (تشخیص $R^2$)، ضریب تعیین اصلاح شده ($R^2$adj) و مقدار F، رابطه مذکور از نظر آماری کاملا معنی‌دار است.



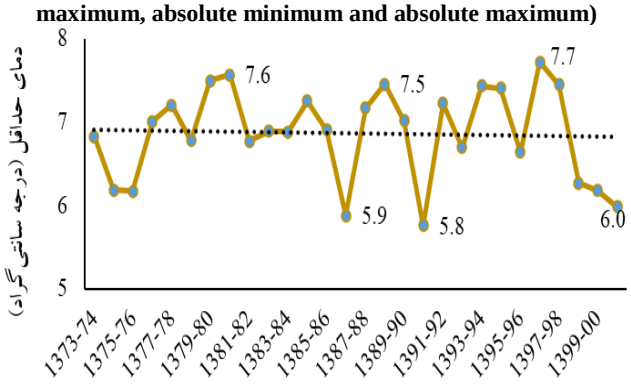

**شکل ۵- تغییرات دمای ماهانه (میانگین، حداقل، حداکثر، حداقل مطلق و حداکثر مطلق)**

**Figure 5- Monthly temperature changes (average, minimum, maximum, absolute minimum and absolute maximum)**



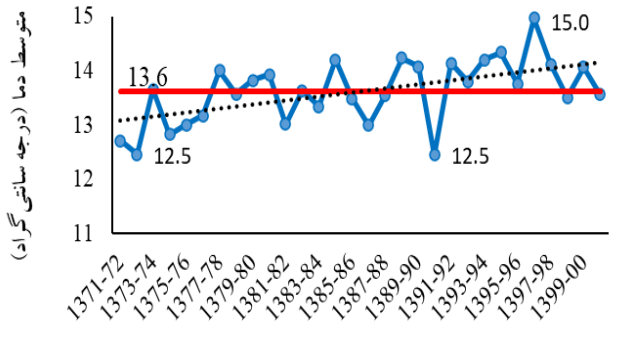

**شکل ۶- تغییرات دمای میانگین حداکثر سالانه**

**Figure 6- Changes in average annual maximum temperature**



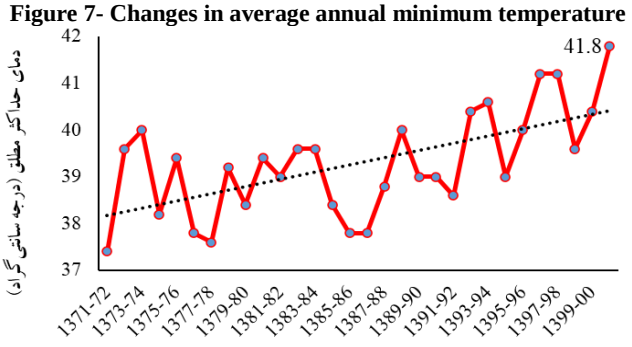

**شکل ۷- تغییرات دمای میانگین حداقل سالانه**

**Figure 7- Changes in average annual minimum temperature**



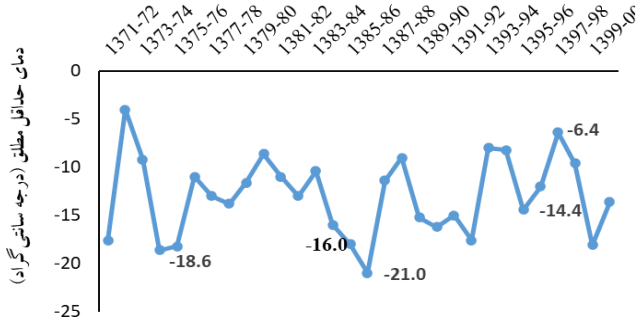

**شکل ۸- تغییرات متوسط دمای سالانه**

**Figure 8- Average annual temperature changes**




**شکل ۹- تغییرات دمای حداکثر مطلق طی سنوات مختلف**

**Figure 9- Changes in absolute maximum temperature over different years**




**شکل ۱۰- تغییرات دمای حداقل مطلق طی سنوات مختلف**

**Figure 10- Changes in absolute minimum temperature over different years**

میانگین دمای حداقل دارای نوسانات طی بازه ۳۰ ساله است (شکل ۷) به‌نحوی که در محدوده ۵/۸ تا ۷/۷ درجه سانتی‌گراد نوسان داشته است. روند تغییرات میانگین دمای حداقل طی سنوات ۳۰ ساله، به‌دلیل این‌که از نظر آماری، رابطه معنی‌داری وجود نداشته، لذا رابطه استخراجی نیز ذکر نشد.

اگرچه روند تغییرات متوسط دما که حاصل میانگین وزنی دمای حداکثر و حداقل است، افزایشی است (شکل ۸) اما از آن‌جایی‌که دمای حداکثر، افزایشی و دمای حداقل، کاهشی بوده و تبخیر نیز کاهشی است، به‌نظر می‌رسد سهم اثرات نزولی بودن دمای حداقل از سهم اثرات صعودی بودن دمای حداکثر، بیش‌تر است. روند افزایشی متوسط دمای طی سنوات ۳۰ ساله در رابطه ۴ نشان داده شده است:

$$Tavg. = 0.036\,X + 13.2 \qquad R^2 = 0.29 \qquad R^2\text{adj} = 0.26 \qquad \text{F} = 11.4 \qquad (۴)$$

که در آن ضریب X بیانگر میزان افزایش سالانه متوسط دما (Tavg.) است. با توجه به ضریب تعیین (تشخیص $R^2$)، ضریب تعیین اصلاح شده ($R^2$adj) و مقدار F، رابطه مذکور از نظر آماری کاملا معنی‌دار است.

دمای حداکثر مطلق، همانند دمای حداکثر روند افزایشی را نشان می‌دهد (شکل ۹)، اگرچه دمای حداکثر مطلق، فقط یک کمیت نشانگر بوده و دامنه فراگیری آن محدود است، اما قطعا بایستی به‌عنوان یک پارامتر اقلیمی دارای اثرات خاص خود، بدان پرداخت.

روند صعودی دمای حداکثر مطلق طی سنوات ۳۰ ساله در رابطه ۵ نشان داده شده است:

$$Tmax - abs. = 0.078\,X + 38.1 \qquad R^2 = 0.37 \qquad R^2\text{adj} = 0.55 \qquad \text{F} = 16.4 \qquad (۵)$$

که در آن ضریب X بیانگر میزان افزایش سالانه دمای حداکثر مطلق (Tmax-abs) است. با توجه به ضریب تعیین (تشخیص $R^2$)، ضریب تعیین اصلاح شده ($R^2$adj) و مقدار F، رابطه رابطه مذکور از نظر آماری کاملا معنی‌دار است.

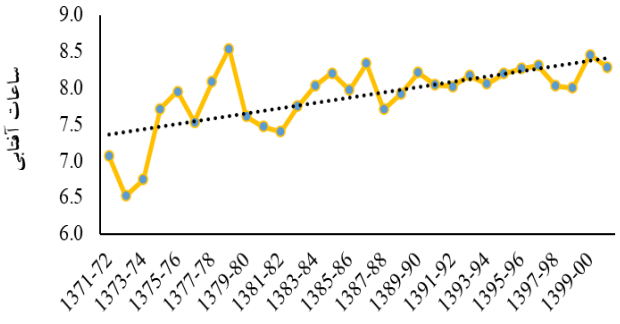
تغییرات دمای حداقل مطلق، همانند تغییرات دمای حداقل بوده (شکل ۱۰) و رسیدن به دمای ۱۸/۱- و ۲۱- اثرات خاص خود را از منظر بروز خسارات سرمازدگی به شاخه‌ها و حتی تنه درختان خواهد داشت. روند تغییرات دمای حداقل مطلق طی سنوات ۳۰ ساله، به‌دلیل این‌که از منظر آماری، رابطه معنی‌داری وجود نداشته، لذا رابطه استخراجی نیز ذکر نشد.

ساعات آفتابی نیز روندی افزایشی دارد (شکل ۱۱) که بیانگر کاهش ساعات ابرناکی است. البته قاعدتا بایستی به زمان کاهش ساعات ابرناکی نیز توجه کرد که در فصل رشد گیاهان رخ می‌دهد یا خارج از فصل رشد و نمو گیاهان. روند صعودی ساعات آفتابی طی سنوات ۳۰ ساله در رابطه ۶ نشان داده شده است:

$$n = 0.0293\,X + 7.722 \qquad R^2 = 0.45 \qquad R^2\text{adj} = 0.43 \qquad \text{F} = 23.1 \qquad (۶)$$

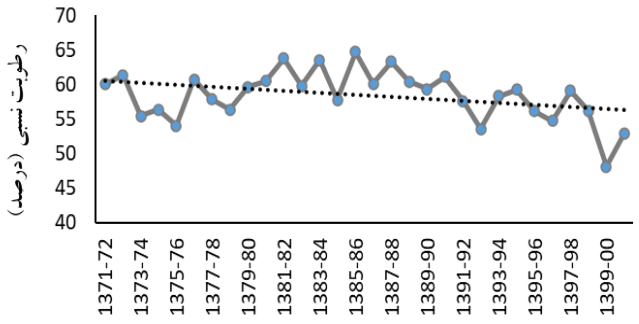
که در آن ضریب X بیانگر میزان افزایش سالانه ساعات آفتابی (n) است. با توجه به ضریب تعیین (تشخیص $R^2$)، ضریب تعیین اصلاح شده ($R^2$adj) و مقدار F، رابطه مذکور از نظر آماری کاملا معنی‌دار است.

روند نزولی رطوبت نسبی در شکل ۱۱ نشان داده شده است. کاهش رطوبت نسبی با روند کاهشی دما، همسو است. البته کاهش رطوبت نسبی در کاهش میزان بروز بیماری‌های قارچی، موثر است. روند تغییرات رطوبت نسبی طی سنوات ۳۰ ساله، به‌دلیل این‌که رابطه معنی‌داری وجود نداشته، لذا رابطه استخراجی نیز ذکر نشد.




**شکل ۱۱- تغییرات ساعات آفتابی طی سنوات مختلف**

**Figure 11- Changes in sunshine hours over different years**




**شکل ۱۲- تغییرات رطوبت نسبی طی سنوات مختلف**

**Figure 12- Relative humidity changes over different years**

بررسی احتمال وقوع بارش در تحلیل رشد و نمو باغات دیم و تحلیل برخی مخاطرات ناشی از بارش، موثر است. احتمال وقوع بارش از رابطه ۷ به‌دست آمده است.

$$\mu. = \frac{i}{(n+1)} \qquad (۷)$$

که در آن i و n به‌ترتیب شماره بارش (تنظیم نزولی بارش) و تعداد سال‌ها است.

بر اساس آمار ۳۰ ساله ایستگاه بجنورد، احتمال وقوع بارش سالیانه به میزان ۲۸۴ میلی‌متر، تنها ۳/۲ درصد است، احتمال وقوع بارش به میزان ۲۵۶ میلی‌متر برابر ۱۹/۴ درصد، احتمال وقوع بارش به میزان ۲۰۹ میلی‌متر برابر ۵۱/۶ درصد و احتمال بارش به میزان ۱۷۳ میلی‌متر، حدود ۷۵ درصد است.

## درصد گیرایی

درصد گیرایی (افزون بر ۹۸ درصد) و وضعیت رشد درختان (۴۰–۲۰ سانتی‌متر سالیانه) حاکی از توفیق پروژه است. به‌دلیل محدودیت زمانی اجرای پژوهش، دستیابی به عملکرد اقتصادی میسر نشد، اما وضعیت رشدی مطلوب، عدم مواجه با تنش تابستانه و مهم‌تر از همه، اصلاح رفتار بهره‌برداران و احداث باغ بر اساس ضوابط و معیارها از جمله دستاوردهای این پژوهش عرصه‌ای بوده است. پس از پژوهشی ۴ ساله در حوزه عون بن علی تبریز، گزارش شد که درصد زنده‌مانی کلیه گونه‌های درختی بسیار بالا بوده و از ۹۲/۶ درصد تا ۵۸ درصد متغیر بود (برزگر قاضی و همکاران، ۱۳۸۰). آن‌ها علت این توفیق را انتخاب گونه‌های مناسب و مقاوم به شرایط سخت اقلیمی و خاک و استفاده از بانکت‌های هلالی و مالچ پلاستیکی بر روی چاله نسبت دادند. آرایش حوضه‌ها و طراحی آن‌ها اهمیت فراوانی دارد. طی پژوهشی با ایجاد یک پشته به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر دور هر نهال، سطح آبگیر کوچکی را فراهم شد (Gupta and Mohan, 1991). در یک روش دیگر با استفاده از شیارهای نیم‌دایره‌ای برای مهار آب باران، نهال‌ها در وسط شیارها کشت شدند. کاربرد این تکنیک‌ها موجب افزایش میزان رشد و درصد زنده‌مانی نهال‌ها شد (برزگر قاضی و همکاران، ۱۳۸۰ ,Swatantra, 1994 ,Gupta and Mohan, 1991). با کشت چهار گونه درخت در محل تلاقی فاروهای متقاطع (سطوح آبگیر کوچک) گزارش شد که با این روش درصد زنده‌مانی و میزان رشد گونه‌ها افزایش می‌یابد (Kaarakka, 1996)، هم‌چنین بر موثر بودن روش تراس‌بندی در جمع‌آوری و استحصال آب باران در تجدید حیات مناطق خشک و نیمه خشک عربستان تأکید شد (Abdulaziz and Turbak, 2000).

## توسعه عمقی ریشه

چاله‌های ایجاد شده برای بستر نهال و به ابعاد تقریبی ۱ متر × ۱ متر × ۱ متر، تماما از خاک زراعی سطحی پر شده بود، لذا ضمن این‌که شرایط را برای ذخیره سازی رطوبت پدید فراهم کرده، بلکه همراه با کاربرد قارچ هم‌زیست مایکوریزا که سبب ریشه‌زایی می شود، سبب توسعه عمقی و حجمی ریشه‌ها شد که نتیجه آن افزایش حجم بزرگ‌تری از بستر خاک برای جذب رطوبت توسط ریشه‌ها بود. بر اساس مشاهدات میدانی (یافته‌های پژوهش) یکی از دلایل اصلی زوال یا رشد ناکافی درختان بادام بذری، بستر نامناسب و عدم توسعه عمقی ریشه بوده است. جمع‌آوری، هدایت و ذخیره‌سازی رطوبت از طریق سامانه استحصال آب باران (شکل ۲) همراه با توسعه عمقی ریشه بادام (تا ۱۰۰ سانتی‌متر در طول دوره پژوهش) باعث شد که نیاز آبی درختان بدون محدودیت، تامین شود. ضمن این‌که در شرایط دیم از هرگونه رشد رویشی جلوگیری می شود تا توازن بین میزان جذب رطوبت خاک توسط ریشه با میزان تعرق شاخ و برگ برقرار بوده و قطعا ناترازی بین جذب و تعرق، سبب آسیب و حتی زوال درختان خواهد شد.

## بهره‌وری آب سبز زراعت دیم

بخشی از اراضی دیم و شیب‌دار منطقه به زراعت دیم (گندم) اختصاص دارد که هر ساله برای کشت، شخم زده می‌شود و سبب فرسایش خاک شده و یکی از اهداف اجرای این پژوهش، تبیین مزیت نسبی ایجاد باغ دیم روانابی نسبت به زراعت گندم دیم است که متاسفانه همراه با شخم هر ساله و به‌دلیل شیب‌دار بودن، شخم‌ها در جهت شیب است که منجر به از دست دادن خاک مرغوب و رواناب بارش می‌شود. بر این اساس، این بررسی در ۷ مزرعه گندم دیم صورت گرفته است.

با توجه به قیمت فروش محصول و نیز درآمد حاصل از فروش محصول ثانویه (کاه)، کل درآمد ناخالص برآورد شد و بر اساس آن بهره‌وری اقتصادی بارش تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که ارقام جدید گندم دارای عملکرد بالاتری نسبت به رقم محلی دارند و به تبع، بهره‌وری آب سبز بالاتری نیز خواهند داشت. درحالی‌که بهره‌وری آب سبز گندم آذر۲ در بازه ۰/۲۲ تا ۰/۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب قرار دارد، بهره‌وری آب سبز برای ارقام جدید، ۰/۲۹ تا ۰/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد (جدول ۲). میزان درآمد ناخالص حاصل از مجموع درآمد حاصل از فروش دانه گندم و کاه بوده و بهره‌وری اقتصادی بارش بر اساس نسبت میزان درآمد ناخالص به بارش به‌دست آمد (جدول ۲).

**جدول ۲- شاخص‌های حاضر اراضی کشاورزی منطقه پژوهش (مزارع گندم در دو حالت کشت مرسوم و مدیریت برتر زراعی)**

**Table 2- Current indicators of rainfed agricultural lands in the research area (wheat fields in two modes of conventional cultivation and superior crop management)**

| | Farm1 | Farm2 | Farm3 | Farm4 | Farm5 | Farm6 | Farm7 | Avg. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V | Aza2 | kohdasht | Local | Local | Local | Aza2 | Local | - |
| SR | 150 | 150 | 200 | 220 | 200 | 200 | 200 | 186 |
| CR | barley | fallow | fallow | wheat | wheat | barley | wheat | - |
| A | 15000 | 40000 | 20000 | 15000 | 10000 | 10000 | 10000 | - |
| P | 1500 | 3200 | 1800 | 1500 | 800 | 1200 | 600 | - |
| Y | 1000 | 800 | 900 | 750 | 800 | 1200 | 600 | 864 |
| RWP | 0.37 | 0.29 | 0.33 | 0.27 | 0.29 | 0.44 | 0.22 | 0.32 |
| GI | 130 | 104 | 117 | 97.5 | 104 | 156 | 78 | 112 |
| SI | 20 | 20 | 15 | 20 | 15 | 10 | 10 | 16 |
| TGI | 150 | 124 | 132 | 99.5 | 119 | 166 | 79 | 128 |
| ERWP | 55350 | 45756 | 48708 | 36716 | 43911 | 61254 | 29151 | 47232 |

V= Variety, SR=Seed rate ($kg.ha^{-1}$), CR= Crop rotation, A= Area (ha), P= Production (ton), Y=Yield ($kg.ha^{-1}$), RWP= Rain water productivity ($kg.m^{-3}$), GI= Gross income ($10^6 Rials.ha^{-1}$), SI= Second income (Straw) ($10^6 Rials.ha^{-1}$), TGI= Total gross income ($10^6$Rials), ERWP= Economical rain water productivity ($Rials.ha^{-1}$), *= The price of 1401

## بهره‌وری آب سبز باغات بادام دیم

در بررسی بهره‌وری آب سبز باغات بادام دیم که به شیوه سنتی ایجاد شده و بسیاری فاقد سامانه جمع‌آوری آب باران هستند، نتایج بررسی ۱۰ باغ در جدول ۳ نشان داده شده است. بر این اساس، ۱) باغاتی که دارای ارقام محلی و بذری بوده، فاقد سامانه جمع‌آوری آب باران هستند و دارای تراکم زیاد، سبب شده که عموما ناموفق بوده و عملکرد اندکی داشته یا اصلا عملکردی نداشتند. ۲) باغاتی که دارای ارقام پیوندی بوده و فواصل لازم را رعایت کردند اما فاقد سامانه جمع‌آوری آب باران هستند و البته دارای عملکرد نسبتا مناسبی نیز هستند، برای این‌گونه باغات، اگر سامانه جمع‌آوری آب باران ایجاد و تمهیدات لازم برای ذخیره آب باران صورت گرفته و از تلفات تبخیری جلوگیری شود، می‌توان شاهد افزایش و تثبیت عملکرد و ارتقای بهره‌وری آب سبز بود. مقادیر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب سبز نیز حاکی از مزیت باغات بادام دیم دارای ارقام پیوندی و رعایت تراکم کشت است. اما باغات بادام با رقم محلی که فاقد رعایت تراکم کشت هستند (و فاقد سامانه استحصال آب باران نیز هستند) به‌دلیل نداشتن عملکرد، فاقد شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی بوده یا بسیار اندک است (جدول ۳).

**جدول ۳- شاخص‌ها برای باغات بادام دیم موجود قدیمی و احداث شده جدید**

**Table 3- Indicators for existing old and newly constructed rainfed almond orchards**

| | Farm1 | Farm2 | Farm3 | Farm4 | Farm5 | Farm6 | Farm7 | Farm8 | Farm9 | Farm10 | Avg. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V | Local | Local | Local | Local | Local | New | New | New | New | New | |
| GA | 20 | 10 | 10 | 20 | 8 | 16 | 15 | 21 | 16 | 14 | 16.4 |
| GD | 4×4 | 3×4 | 4×4 | 4×4 | 2×5 | 5×10 | 5×10 | 5×10 | 5×10 | 5×10 | |
| Y (1) | ¥ | 300 | ¥ | ¥ | 150 | 450 | 400 | 460 | 500 | 500 | 462 |
| Y (2) | ¥ | ¥ | ¥ | ¥ | ¥ | 400 | 450 | 400 | 600 | 450 | 460 |
| Y (3) | ¥ | ¥ | ¥ | ¥ | ¥ | 550 | 500 | 550 | 600 | 550 | 550 |
| Avg. Y | 0 | 100 | 0 | 0 | 50 | 466 | 450 | 470 | 566 | 500 | 490 |
| RWP | 0 | - | 0 | 0 | - | 0.154 | 0.148 | 0.155 | 0.187 | 0.165 | 0.162 |
| GI | 0 | - | 0 | 0 | - | 372.8 | 360 | 376 | 452.8 | 400 | 380 |
| ERWP | 0 | - | 0 | 0 | - | 123040 | 118810 | 124090 | 149440 | 132010 | 129480 |

V= Variety, GA= Garden age, GA= Garden density, Y (1)= Yield at first yield ($kg.ha^{-1}$), Y (2)= Yield at second yield ($kg.ha^{-1}$), Y (3)= Yield at third yield ($kg.ha^{-1}$), Avg. Y= Average yield ($kg.ha^{-1}$), RWP= Rain water productivity ($kg.m^{-3}$), GI= Gross income ($10^6 Rials.ha^{-1}$), ERWP= Economical rain water productivity ($Rials.ha^{-1}$), *= The price of 1401, ¥= No yield

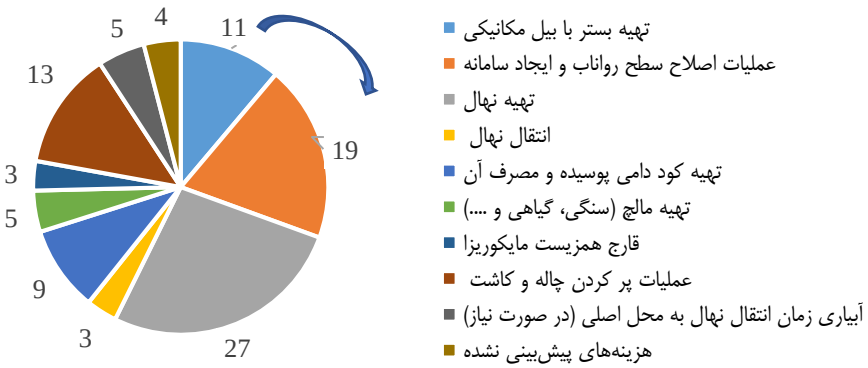
## هزینه‌های احداث باغ دیم

ایجاد باغ دیم مستلزم تامین نهاده‌هایی است که برای هر مورد، هزینه متفاوتی نیاز است. مهم‌ترین موارد هزینه‌ای احداث باغ دیم عبارت است از:

- کندن چاله با بیل مکانیکی
- عملیات اصلاح سطح رواناب و ایجاد سامانه
- تهیه نهال

- انتقال نهال (از نهالستان تا محل باغ)
- تهیه کود دامی پوسیده و مصرف آن
- تهیه مالچ (سنگی، گیاهی و ....)
- قارچ همزیست مایکوریزا
- عملیات پر کردن چاله و کاشت
- آبیاری زمان انتقال نهال به محل اصلی (در صورت نیاز)
- هزینه‌های پیش‌بینی نشده

سهم هر یک از این موارد هزینه‌ای در شکل ۱۳ نشان داده شده است که بیش‌ترین به تهیه نهال مناسب و اصلاح شده و انتقال از نهالستان تا محل باغ به میزان ۴۶ درصد کل هزینه اختصاص دارد. عملیات پر کردن چاله و کاشت و نیز تهیه بستر با بیل مکانیکی در رتبه‌های بعدی قرار دارند.




**شکل ۱۳- موارد هزینه‌ای احداث باغ دیم روانابی**
**Figure 13– Costs of constructing a rainfed runoff garden**

### توسعه دانش استحصال آب باران برای باغات دیم جدید و اصلاح باغات دیم موجود

یکی از رویکردهای این پژوهش، آشنایی کارشناسان و بهره‌برداران بجنورد و سایر شهرستان‌های دارای این پتانسیل (اسفراین، شیروان و فاروج)، ضمن بازدید کارشناسی از این شهرستان‌ها، نشست‌های ترویجی با کارشناسان و بهره‌برداران برگزار و شیوه‌های مربوط به استحصال آب باران برای باغات بادام دیم موجود و نیز برای باغات دیمی که جدیدا احداث می‌شدند، تشریح شد که مواردی به شرح ذیل، به‌طور مختصر اشاره می‌شود.

### شهرستان اسفراین

در شهرستان اسفراین که افزون بر ۲۲۹۵ هکتار باغ بادام دیم بارور (و ۴۹ هکتار غیربارور) موجود است، عمدتا در منطقه بام و نوده واقع است و دارای قدمت طولانی است و البته با مشکلات عدیده‌ای مواجه است. تصاویر منتخب مربوط به فعالیت ترویجی اصلاح باغات بادام دیم منطقه در شکل ۱۴ و فعالیت مر بوط به اصلاح باغ و ایجاد سامانه جمع‌آوری آب باران (نیم‌دایره‌ای) در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

### شهرستان شیروان

در شهرستان شیروان که افزون بر ۱۹۰ هکتار باغ بادام دیم بارور (و ۳۵ هکتار غیربارور) موجود است، عمدتا در منطقه لوجلی واقع است و دارای قدمت طولانی است و البته با مشکلات عدیده‌ای مواجه است. تصاویر منتخب مربوط به فعالیت ترویجی اصلاح باغات بادام دیم منطقه و ایجاد سامانه جمع‌آوری آب باران (نیم‌دایره‌ای) در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ نشان داده شده است.

### شهرستان فاروج

در شهرستان فاروج که افزون بر ۵۲۵ هکتار باغ بادام دیم بارور (و ۴۲ هکتار غیربارور) موجود است، عمدتا در منطقه خرق واقع است و دارای قدمت طولانی بوده و البته با مشکلات عدیده‌ای مواجه است. تصاویر منتخب مربوط به فعالیت ترویجی اصلاح باغات بادام دیم منطقه و ایجاد سامانه جمع‌آوری آب باران (نیم‌دایره‌ای) در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ نشان داده شده است.

**شهرستان بجنورد**

هم‌زمان با اجرای پروژه فعالیت‌های ترویجی برای اصلاح باغات بادام دیم ایجاد شده در منطقه بدرانلو و گریوان و ایجاد سامانه جمع‌آوری آب باران انجام و آموزش‌های لازم در سر باغ داده شد (شکل ۲۰).

**شکل ۱۴- فعالیت ترویجی اصلاح باغات بادام دیم و تشریح فرآیند کار در اسفراین**

**Figure 14- Promotional activity for the improvement of rainfed almond orchards and description of the work process in Esfarayen**

**شکل ۱۵- اصلاح باغ و ایجاد سامانه جمع‌آوری آب باران (نیم‌دایره‌ای) در اسفراین**

**Figure 15- Garden improvement and creation of a rainwater harvesting system (semicircular) in Esfarayen**

**شکل ۱۷- ایجاد سامانه جمع‌آوری آب باران (نیم‌دایره‌ای) در شیروان**

**Figure 17- Creating a rainwater harvesting system (semicircular) in Shirvan**

**شکل ۱۶- فعالیت ترویجی اصلاح باغات بادام دیم در شیروان**

**Figure 16- extension activity for improving rainfed almond orchards in Shirvan**

شکل ۱۸- نمایی از باغات بادام دیم فاروج

**Figure 18- View of Faruj's rainfed almond orchards**

شکل ۱۹- بازدید کارشناسی برای انجام فعالیت ترویجی به‌منظور اصلاح باغات بادام دیم فاروج

**Figure 19- Expert visit to carry out extension activities to improve rainfed almond orchards in Farouj**

شکل ۲۰- ایجاد سامانه جمع‌آوری آب باران در بجنورد

**Figure 20- Creating a rainwater harvesting system in Bojnord**

## نتیجه‌گیری

وجود خلاهای عملکردی، خلاهای بهره‌وری آب سبز و مصارف غیرمفید و تلفات آب سبز کاملا مشهود است و تکنیک‌ها و بسته‌های فنی و ترویجی می‌تواند بسیار تاثیرگذار و موثر باشند. تغییر رفتار و اصلاح نگرش جامعه هدف یکی از بازخوردها و نتایج برنامه است که به‌نظر می‌رسد با گسترش نتایج در سایر شهرستان‌ها، این هدف، محقق شده است. به هر حال اجرای این پروژه به‌منظور آشنایی و آموزش بهره‌برداران مرتبط با باغات بادام دیم، با تکنیک‌های درست و اصولی در استحصال آب باران، ذخیره‌سازی و جلوگیری از تبخیر آن است و به‌نظر می‌رسد اگر این تکنیک‌ها توسط بهره‌برداران در سطح منطقه فراگیر شود بتوان به حفظ منابع آبی کمک نمود. مقایسه میزان بهره‌وری بارش در مزارع گندم دیم پیرامونی و باغات بادام دیم موجود (بذری)، حاکی از وجود ظرفیت‌ها و توان محلی در ارتقای بهره‌وری آب سبز برای احداث یا اصلاح باغات دیم بادام با رعایت ضوابط و تعبیه سامانه استحصال آب باران و کنترل تبخیر است.

## ملاحظات اخلاقی

**دسترسی به داده‌ها:** داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

**حمایت مالی:** این پژوهش در قالب پژوهش آزاد و بخشی از داده‌های طرح تحقیقاتی انجام شده و از موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی خراسان شمالی حمایت مالی دریافت نموده است.

**مشارکت نویسندگان:** بخش‌های مختلف مقاله توسط علیرضا توکلی و سیدرضا فاطمی امین انجام و نگاشته شده است.

**تضاد منافع نویسندگان:** نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

**سپاس‌گزاری:** اجرای این پروژه با حمایت سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان شمالی و موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی انجام شده است. لذا از آن‌ها و نیز مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی خراسان شمالی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان بجنورد تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع


۱. برزگرقاضـــی، اکبر، عبدی قاضـــی جهانی، اکبر، جوانشـــیر، عزیز و مقدم، محمد. (۱۳۸۰). جنگل‌کاری با آب باران و ارزیابی گونه‌های مختلف در کوه عون بن علی تبریز. دانش کشاورزی، ۴(۱۱)، ۵۶-۳۹.

۲. بی‌نام. (۱۴۰۰). آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸. وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، ۱۶۴.

۳. پیرخضری، محی‌الدین. (۱۳۹۸). ایجاد باغ بادام دیم (گام به گام با باغدار). نشر آموزش کشاورزی، ۷۲ص.

۴. توکلی، علیرضا. (۱۳۸۶). بررسی عکس‌العمل درختان بادام دیم نسبت به شیوه‌های مختلف جمع‌آوری و استحصال آب باران در حوضه‌های کوچک (MCWH) در منطقه آذربایجان‌شرقی. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، شماره ثبت ۸۶/۱۴۲۳.

۵. توکلی، علیرضا. (۱۳۹۲). تعیین مشخصه‌های فنی سامانه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران برای بادام دیم. تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۴(۲)، ۱۶-۱.

۶. توکلی، علیرضا، رمضانی اعتدالی، هادی، و سرائی تبریزی، مهدی. (۱۴۰۰). بهره‌وری آب سبز و روش‌های بهبود آن در کشاورزی. انتشارات دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین. (کتاب برتر چهارمین دوره ملی کتاب کشاورزی و منابع طبیعی کشور در سال ۱۴۰۱)

۷. توکلی، علیرضا، توکلی، محمدحسین و دماوندی، علی‌اکبر. (۱۴۰۱). عوامل و اجزای موثر بر شاخص بهره‌وری آب سبز. یازدهمین همایش سطوح آبگیر باران ایران، بجنورد، ۱۵ اسفند ۱۴۰۱.

۸. توکلی، علیرضا و قدمی‌فیروزآبادی، علی. (۱۴۰۰). مدیریت آب سبز و بهره‌وری آن در بخش کشاورزی. شماره فروست: ۶۱۱۲۷، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

۹. توکلی، علیرضا، کاووسی، بیژن و حاجی‌وند، شکرالله. (۱۳۹۷). راهنمای کاربردی و فنی احداث باغ‌های دیم. موسسه آموزش و ترویج کشاورزی.

۱۰. زارع، ابراهیم. (۱۳۷۸). مزیت نسبی تولید بادام در ایران. دانش کشاورزی، ۱۸(۲): ۳۶-۲۷.

۱۱. حامی‌کوچه‌باغی، محمدرضا، سهرابی، تیمور، نازی‌قمشلو، آرزو و توکلی، علیرضا. (۱۴۰۰). معرفی مدلی برای استحصال آب با توجه به ساختارهای متناسب با شرایط طبیعی. دانش آب و خاک، ۳۱(۳): ۱۲۵-۱۱۱. **https://doi.org/10.22034/ws.2021.12340**

۱۲. سازمان جهاد کشاورزی خراسان شمالی. (۱۴۰۲). سیمای کشاورزی استان خراسان شمالی، سازمان جهاد کشاورزی خراسان شمالی.


## References


1. Abdulaziz, S., & Turbak, A. L. (2000). Efficient use of rain water in irrigation in southwestern Saudi Arabia. *Abstracts of the Congress. Kenya Strategic Water Development*, Kenya.
2. Anonymous. (2021). *Agricultural statistical yearbook 2019-2020*. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Deputy of Planning and Economy. Information and Communication Technology Center. [In Persian]
3. Anonymous. (2021). Research and data to make progress against the world's largest problems. https://ourworldindata.org/grapher/grapes-production
4. Barzegarghazi, A., Abdi Ghazi Jahani, A., Javanshir, A., & Moghadam, M. (2001). Rainwater harvesting for afforestation and evaluation of different species in Oun-ebne-Ali Mountain, Tabriz. *Journal of Agricultural Knowledge*, *4*(11), 39–56. [In Persian]
5. Falkenmark, M., & Rockström, J. (2004). *Balancing water for humans and nature*. Earthscan Publications.
6. Gan, Y., Siddique, K. H. M., Turner, N. C., Li, X. G., Niu, J. Y., Yang, C., Liu, L., & Chai, Q. (2013). Chapter seven – Ridge–furrow mulching systems-an innovative technique for boosting crop productivity in semiarid rain-fed environments. *Advances in Agronomy*, *118*, 429–476. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405942-9.00007-4
7. García-Ruiz, J. M. (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, *81*(1), 1–11. https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.001
8. Gupta, G. N., & Mohan, S. (1991). Response of various tree species to management and their suitability on degraded sandy clay loam soil of semi-arid regions. *Indian Journal of Forestry*, *14*(1), 33–41.
9. Hami Koochbaghi, M. R., Sohrabi, T., Nazi Qamshloo, A., & Tavakoli, A. (2021). Introducing a model for water harvesting considering structures suitable for natural conditions. *Journal of Water and Soil Science*, *31*(3), 111–125. https://doi.org/10.22034/ws.2021.12340 [In Persian]
10. Jinger, D. (2017). Problems and prospects of rainfed agriculture in Rajasthan. *Agriculture World*, *3*(9), 26–34.
11. Kaarakka, V. (1996). *Management of bushland vegetation using rainwater harvesting in eastern Kenya* (No. 253). Acta Forestalia Fennica. 93 pp. https://doi.org/10.14214/aff.7515

12. Maher, J. T., Tadros, M. J., Al-Mefleh, N. K., Othman, Y. A., & Al-Assaf, A. (2021). Water harvesting techniques for improving soil water content, and morpho-physiology of pistachio trees under rainfed conditions. *Agricultural Water Management*, *243*, 106464. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106464
13. North Khorasan Agricultural Jihad Organization. (2023). *Agricultural profile of North Khorasan Province*. North Khorasan Agricultural Jihad Organization. [In Persian]
14. Nyakudya, I. W., Stroosnijder, L., & Nyagumbo, I. (2014). Infiltration and planting pits for improved water management and maize yield in semi-arid Zimbabwe. *Agricultural Water Management*, *141*, 30–46. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.04.010
15. Oweis, T., Prinz, D., & Hachum, A. (2001). *Water harvesting: Indigenous knowledge for the future of the drier environments*. International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).
16. Oweis, T., Prinz, D., & Hachum, A. Y. (2012). *Rainwater harvesting for agriculture in the dry areas*. CRC Press. ISBN 9780429185168
17. Panwar, P., Machiwal, D., Kumari, V., Kumar, S., Dogra, P., Manivannan, S., Bhatnagar, P. R., Tomar, J. M. S., Kaushal, R., Jinger, D., Sarkar, P. K., Baishya, L. K., Devi, N. P., Kakade, V., Singh, G., Singh, N. R., Singh, S. G., Patel, A., Renjith, P. S., Pal, S., Bhatt, V. K., Sharma, N. K., Khola, O. P. S., Radhakrishnan, S. K., Thilagam, V. K., Bhutia, P. L., Nath, K., Das, R., Daschaudhuri, D., Kumar, A., Panwar, G. S., Dwivedi, S. V., Kumar, S., & Singh, B. K. (2023). Sustainable water harvesting for improving food security and livelihoods of smallholders under different climatic conditions of India. *Sustainability*, *15*(12), 9230. https://doi.org/10.3390/su15129230
18. Pirkhezri, M. (2019). *Establishment of rainfed almond orchards (step by step with the gardener)*. Agricultural Education Publishing. [In Persian]
19. Rodrigo-Comino, J. (2018). Five decades of soil erosion research in "terroir". The state-of-the-art. *Earth-Science Reviews*, *179*, 436–447. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.02.014
20. Sawalhah, M., Al-Kofahi, S., Othman, Y. A., & Cibils, A. (2018). Assessing rangeland cover conversion in Jordan after the Arab spring using a remote sensing approach. *Journal of Arid Environments*, *157*, 97–102. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.07.003
21. Swatantra, S. D. (1994). Soil and water conservation in situ an innovative technique. *Indian Forester*, *120*(1), 30–34.
22. Tavakoli, A. (2007). *Investigation of rainfed almond trees response to different rainwater harvesting methods in small catchments (MCWH) in East Azerbaijan region* (Registration No. 1423/86). Final report of the research project, Dryland Agricultural Research Institute. [In Persian]
23. Tavakoli, A. (2013). Determination of technical specifications of rainwater harvesting and collection systems for rainfed almond. *Journal of Agricultural Engineering Research*, *14*(2), 1–16. [In Persian]
24. Tavakoli, A. R., Oweis, T., Sepaskhah, A. R., Mahdavi Moghadam, M., & Farayedi, Y. (2021). Growing fruit trees with rainwater harvesting in arid environments: The case of almond in Northwest Iran. *Water Harvesting Research*, *4*(1), 55–68. https://doi.org/10.22077/jwhr.2020.3340.1034
25. Tavakoli, A., & Ghadami Firouzabadi, A. (2021). *Green water management and its productivity in agriculture* (Serial No. 61127). Agricultural Engineering Research Institute. [In Persian]
26. Tavakoli, A., Kavousi, B., & Hajivand, S. (2018). *Practical and technical guide for establishing rainfed orchards*. Agricultural Education and Extension Institute. [In Persian]
27. Tavakoli, A., Ramezani Etedali, H., & Saraei Tabrizi, M. (2021). *Green water productivity and methods to improve it in agriculture*. Imam Khomeini International University Press. [In Persian]
28. Tavakoli, A., Tavakoli, M. H., & Damavandi, A. (2022). Factors and components affecting the green water productivity index. *11th Iranian Rainwater Catchment Systems Conference*, Bojnourd, March 6, 2022. [In Persian]
29. Vettera, T., & Rieger, A. (2019). Ancient water harvesting in the Old World Dry Belt synopsis and outlook. *Journal of Arid Environments*, *169*, 42–53. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.103996
30. Zare, E. (1999). Comparative advantage of almond production in Iran. *Agricultural Knowledge*, *18*(2), 27–36. [In Persian]
31. Zhou, L. M., Zhang, F., & Liu, C. A. (2015). Improved yield by harvesting water with ridges and subgrooves using buried and surface plastic mulches in a semiarid area of China. *Soil & Tillage Research*, *150*, 21–29. https://doi.org/10.1016/j.still.2015.01.006