# Research Paper

## Evaluation of Applied Water in the Farms and Gardens Equipped with the Smart Water Meters in Arsenjan Plain, Fars province

Mohammad Ali Shahrokhnia [1]*, Amir Eslami [2], Akbar Jokar [3]
1. Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
2. Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
3. Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

**Received**: 2020/11/22
**Revised: 2021/05/15**
**Accepted: 2021/06/09**

**Use your device to scan and read the article online**

DOI: 10.30495/wej.2021.26605.2280

**Keywords:**
Water requirement, Penman-Montieth, National Water Document

**Abstract**

**Introduction:** Volumetric delivery of water by installing smart water meters on the agricultural wells could be an effective action for proper use of water and increase the water productivity. In recent years, the smart water meters were used at Arsenjan plain in Fars province for volumetric water delivery.

**Methods:** In this study, the applied water and the water productivity in some of the Arsenjan plain farms and gardens were evaluated. Twelve farms were selected for each of the three products; winter wheat, tomato and pomegranate. Well discharge, crop yield, volume of applied water was measured using smart meters. The actual values were also measured. The values of irrigation water productivity and total water productivity was calculated. The differences between applied water and some water requirement scenarios were compared using t-test.

**Findings:** Results showed that the values of applied water and discharge in the smart meters were 21 and 25 percent less than the actual measured values, respectively. Therefore, the performance accuracy of the studied smart water meters was low. The average irrigation water productivity of wheat, tomato and pomegranate was 0.93, 7.75 and 1.44 kg/m3, respectively. The average applied water in the studied farms and gardens were 43 percent more than the required values estimated by Penman-Montieth method. Finally, it was suggested that in order to improve the performance of smart meters, the calibration of these meters should be considered more carefully.

Citation: Shahrokhnia MA, Eslami A, Jokar A. Evaluation of applied water in the farms and gardens equipped with the smart water meters in Arsenjan plain, Fars province Water Resources Engineering Journal. 2022; 15(53): 13- 28.

***Corresponding author:** Mohammad Ali Shahrokhnia
**Address:** Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
**Tell:** +989177109159
**Email:** mashahrokh@yahoo.com

# Extended Abstract

## Introduction

Considering that agriculture is dependent on water, the highest amount of water consumption in the country is related to the agricultural sector. In Fars province, which is one of the most important agricultural producing provinces of the country, the water balance of most of the plains of the province is negative, and this situation indicates that the amount of exploitation is more than the capacity of the plains. A water meter is a tool that is used to measure the flow or volume of irrigation water. The question that has always been raised is what is the accuracy of the meters, what kind of meter should be used to deliver the volume of water to the fields, and if these meters are installed in an area, what is the result of using them. If the meter, in addition to measuring water, also has the ability to control the use of resources, it is called a smart meter. Previous studies have shown that although smart water meters have been used in different parts of the country, few reports have been published about the accuracy of these meters' performance in field conditions. Few researches have been published regarding the use of smart water meters in other parts of the world. Considering that Arsanjan Fars city is one of the leading cities in installing and operating smart water meters, the purpose of this research was to investigate the accuracy and amount of delivered water in farms and gardens equipped with smart water meters in this region.

## Materials and Methods

Arsanjan city was the first city in Fars province where smart meters were installed and operated. For this reason, there is more information about smart meters in this city and it was selected for this research. In this research, 12 pomegranate orchards, 12 wheat fields and 12 tomato fields were selected and investigated in order to check the accuracy of the smart water meters installed in the Arsanjan plain of Fars province. For this purpose, during one year, the flow rate measured by each working meter was read and compared with the measured flow rate of water coming out of the well. The flow rate of the well was measured three times depending on the condition of the water coming out of the well pipe with different tools and at the same flow rate that was the same as the flow rate at the time of operation. The actual amount of irrigation water for each farm per year was obtained by multiplying the flow rate by the duration of each irrigation and the number of times of irrigation. The amounts of water delivered by smart meters were also read. The yield of each wheat field and pomegranate orchard was measured at the end of the season. In tomato fields, in each harvest, the measured yield and the total yield were obtained from the total yield of each harvest. The productivity of irrigation water was obtained by dividing the yield by the volume of irrigation water. The amount of total water productivity was also calculated by dividing the yield by the sum of irrigation water volume and effective rainfall. Various statistical indices were used to compare the actual values of the measured water with the values obtained from the smart meters. The annual water requirement values were estimated using the National Water Requirement Document and Penman-Montieth method and were compared with the actual irrigation water and delivered water values estimated by smart meters. In the Penman-Montieth method, the water requirement was estimated once using long-term meteorological statistics (the last ten years) and once using short-term meteorological statistics of one year (the year of the experiment). The actual measured values of discharge, applied water volume and water productivity were compared with the values obtained from smart meter data using t-test and the significance of the differences was investigated. Also, the actual and estimated volumes of applied water were compared with three water demand scenarios using the t-test.

## Findings

In the wheat fields, the average real flow rate was 19.6 liters per second, and the average flow rate shown by smart meters (14 liters per second) was 29% lower than the actual

value. That is, in practice, the flow of water discharged from the well was higher than the value shown by the smart meter. Based on the t-test, the difference between real flow rates and smart meter flow rates was statistically significant at the 1% level. The actual average volume of delivered water in the investigated wheat fields was 7385 cubic meters per hectare, which was higher than the average volume of delivered water based on smart meters (5430 cubic meters per hectare). The difference of these volumes of delivered water was also significant at the 1% level based on the t-test. The statistical difference between the delivered water by the smart meter with the water demand of National Water Requirement Document and the 10-year Penman Montieth water requirement was not significant at the 5% level, but it was significant with the one-year Penman Montieth water requirement. The average productivity of irrigation water based on real data and smart meters was 0.93 and 1.35 kg/m3, respectively. The number related to the smart meter is about 45% different from the actual value, but these differences were statistically significant at the 10% level and not significant at the 5% level. In tomato fields, the average real flow rate and the flow rate displayed by smart meters were 15.8 and 13 liters/second, respectively, and the flow rate displayed by smart meters was on average 18% less than the actual flow rate. The average volume of water actually delivered (13889 m3/ha) was also higher than the volume of water reported by smart meters (11885 m3/ha). Of course, the difference in the volume of actual and smart meters delivered water was not statistically significant at the 5% level. The average water productivity based on real data and smart meters was 7.75 and 9.98 kg/m3, respectively. The productivity of the smart meter was 29% higher than the actual values, and this difference was statistically significant at the 10% level. In pomegranate orchards, the average real flow rate and smart meter flow rate were 17.2 and 12.4 liters/second, respectively, and the smart meter flow rate was about 28% lower than the actual value. Based on the t-test, the difference between these two flow groups was statistically significant at the level of 1%. The actual amount of irrigation and total water productivity was 1.44 and 1.06 kg/m3, respectively. Irrigation and total water productivity based on smart meters was 1.84 and 1.28 kg/m3, respectively. The difference between the actual calculated irrigation water productivity and smart meters was statistically significant at 7%, but the difference in total water productivity was significant at 5%. The percentage difference in irrigation water productivity was 28% and the percentage difference in total water productivity was 21%.

## Discussion

The comparison of the total data of the actual flow rate and the flow rate of smart meters in the three investigated products shows that the difference between the flow rate of smart meters and the actual flow rate was about 25%, which was statistically significant at the level of 1%. The difference between the amount of delivered water by smart meters and actual delivered water was about 21%, which was significant at the level of 1%. The difference between the delivered water by smart meters compared to the National Water Requirement Document, one-year water requirement and 10-year water requirement was 9, 13 and 12%, respectively, which was not significant at the 5% level. The difference of actual delivered water compared to the National Water Requirement Document, one-year water requirement and 10-year water requirement was 37, 43 and 42%, respectively, which was significant at the 1% level. The difference between the one-year water requirement and the 10-year water requirement and the National Water Requirement Document was 1% and 4%, respectively. The difference between National Water Requirement Document and 10-year water requirement was about 3%. Irrigation water productivity calculated using smart meter data had a difference of 33% compared to real water productivity, which was statistically significant at the 5% level.

## Conclusion

The results of this research showed that, in general, the flow rate reported by smart

meters in the studied farms and gardens was lower than the actual flow rate. Therefore, the volume of delivered water by smart meters will be less than the actual delivered water. The amount of water productivity calculated using the data of smart meters will be higher than the water productivity calculated based on real data. The average of 21% difference between the delivered water values of smart meters and the actual values is high. But considering the greater difference in the delivered irrigation water compared to the amount of water required (43%), it can be said that the existence of smart meters is more useful than their absence. Therefore, it is suggested to carry out more investigations regarding the possibility of better calibration of smart meters so that the performance of existing meters can be improved if possible.

## Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

## Funding

No funding.

## Authors' contributions

Design and conceptualization: Mohammad Ali Shahrokhnia, Amir Eslami,
Methodology and data analysis: Mohammad Ali Shahrokhnia, Akbar Jokar,
Supervision and final writing: Mohammad Ali Shahrokhnia.

## Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

# مقاله پژوهشی

# بررسی میزان آب کاربردی در مزارع و باغات مجهز شده به کنتورهای هوشمند آب در دشت ارسنجان فارس

محمدعلی شاهرخ نیا[۱*]، امیر اسلامی[۲]، اکبر جوکار[۳]
۱. دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.
۲. استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
۳. استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

**تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۲**
**تاریخ داوری: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵**
**تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۹**

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI:
10.30495/wej.2021.26605.2280

**واژه‌های کلیدی:**
نیاز آبی، پنمن مانتیث، سند ملی آب

## چکیده

**مقدمه:** تحویل حجمی آب از طریق نصب کنتور بر روی چاه‌های کشاورزی، یکی از اقدامات مؤثر در جهت استفاده درست از آب و افزایش بهره‌وری آب است. چند سالی است که در دشت ارسنجان فارس، از کنتورهای هوشمند آب به‌منظور تحویل حجمی آب استفاده شده است. در این تحقیق به بررسی میزان مصرف آب و بهره‌وری آب در تعدادی از مزارع و باغات این منطقه پرداخته شده است.

**روش:** بدین منظور سه محصول گندم، گوجه فرنگی، و انار انتخاب و در هر محصول ۱۲ مزرعه یا باغ انتخاب گردید. در طول یکسال دبی چاه، میزان محصول، میزان مصرف آب آبیاری از طریق کنتور هوشمند و مقدار واقعی مصرف آب اندازه‌گیری گردید. میزان بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کل محاسبه شد. تفاوت بین میزان آب کاربردی و سناریوهای مختلف نیاز آبی با استفاده از آزمون تی مقایسه گردید.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که میزان دبی و آب کاربردی به دست آمده از کنتورهای هوشمند بترتیب ۲۵ و ۲۱ درصد کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی با کنتور و فلوم بود که نشان از دقت پایین عملکرد کنتورهای هوشمند دارد. بهره‌وری آب آبیاری در سه محصول گندم، گوجه فرنگی و انار بترتیب ۰/۹۳، ۷/۷۵ و ۱/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب بود. به طور میانگین میزان آب داده شده در مزارع و باغات مورد بررسی ۴۳ درصد بیشتر از میزان آب مورد نیاز به روش پنمن مانتیث بود.

**نتیجه‌گیری:** در نهایت پیشنهاد گردید به جهت بهبود عملکرد کنتورهای هوشمند، امر واسنجی این کنتورها با دقت بیشتری مدنظر قرار گیرد.

* **نویسنده مسئول:** محمدعلی شاهرخ نیا
**نشانی:** بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز، ایران.
**تلفن:** ۰۹۱۷۷۱۰۹۱۵۹
**پست الکترونیکی:** mashahrokh@yahoo.com

## مقدمه

با توجه به اینکه کشاورزی وابسته به آب است، بیشترین میزان مصرف آب کشور مربوط به بخش کشاورزی است. در استان فارس که یکی از مهمترین استانهای تولید کننده محصولات کشاورزی کشور می‌باشد، تقریباً بیلان آب تمام دشت‌های استان منفی است و این وضعیت گویای این است که مقدار بهره‌برداری انجام‌شده بیش تر از ظرفیت دشت‌ها می‌باشد (۱۵).

کنتور آب ابزاری است که به‌منظور اندازه‌گیری دبی یا حجم آب کاربردی مورداستفاده قرار می‌گیرد. موضوع استفاده از کنتور در بهره‌برداری از منابع آب و بحث تحویل حجمی آب نیز از سال ۱۳۶۱ در زمان تصویب قانون توزیع عادلانه آب مدنظر قانون‌گذاران قرارگرفته است. سؤالی که همیشه مطرح بوده این است که کنتورها چه دقتی دارند، برای تحویل حجمی آب به مزارع از چه نوع کنتوری استفاده شود و در صورت نصب این کنتورها در یک منطقه، نتیجه استفاده از آن‌ها چیست. کنتورها را می‌توان بر اساس سیستم اندازه‌گیری به انواع متفاوتی مانند کنتور مکانیکی، کنتور الکترومغناطیس، کنتور اولتراسونیک و کنتور هوشمند تقسیم کرد که هر نوع کنتور، ممکن است خود به انواع مختلف تقسیم شود (۲۱). درصورتی‌که کنتور علاوه بر اندازه‌گیری، توان کنترل بهره‌برداری از منابع را نیز دارا باشد، به آن کنتور هوشمند اطلاق می‌شود. تاکنون تحقیقاتی در خصوص دقت و نقاط قوت و ضعف انواع کنتورهای آب در دنیا انجام شده است (۱، ۶، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۲). در مقاله ای به معرفی کنتورهای هوشمند آب و برق پرداخته و مزایای آن را جهت کنترل برداشت از آبهای زیرزمینی برشمرده اند (۷). کنتورهای هوشمند آب مورد استفاده در یک منطقه شهری نیز مورد بررسی قرار گرفته و ضمن برشمردن منافع کنتورها در برآورد تلفات آب در شبکه، اذعان داشته‌اند که این کنتورها نیاز به بررسی¬های بیشتری دارند (۱۴). با مروری بر منافع و مشکلات کنتورهای هوشمند به این جمع‌بندی رسیده اند که استفاده از کنتورهای هوشمند می¬تواند در مدیریت منابع آبی بسیار مفید باشد، لیکن در کشورهای در حال توسعه می‌تواند هزینه‌های زیادی را در بر داشته باشد، ضمن اینکه به دقت عملکرد این کنتورها باید توجه شود (۴). در نظر گرفتن یارانه مشروط برای کشاورزانی که بطور داوطلبانه اقدام به نصب کنتورهای هوشمند در مزرعه خود می‌کنند، روشی موثر برای توسعه استفاده از کنتورهای هوشمند و کنترل تخصیص منابع آب می تواند باشد (۱۰).

کنتور هوشمند آب و برق، ترکیبی از یک کنتور دیجیتال برق، یک کنتور حجمی آب و مجموعه‌ای جهت مدیریت مصرف آب و برق می¬باشد. این کنتور با اندازه‌گیری توان مصرفی، دبی لحظه‌ای و حجم آب کاربردی را محاسبه و ثبت می‌کند. در کنتور هوشمند آب و برق، تعداد زیادی منحنی مشخصه پمپ گنجانده شده است. با اندازه‌گیری توان مصرفی می‌توان دبی متناظر با آن را بر اساس منحنی‌های پمپ محاسبه نمود. با استفاده از یک نرم افزار و کارتی هوشمند، می‌توان میزان حقابه مجاز و همچنین برنامه زمان بندی را به کنتور وارد کرد. بر این مبنا این کنتور قابلیت دارد که هر زمان که میزان آب مصرفی به حقابه مجاز چاه رسید و یا هر زمان که مدت اعتبار حقابه به پایان رسید، دستور قطع برق را به کنتاکتوری که در تابلو فرمان پمپ وجود دارد، صادر نماید (۱۲). با تکمیل سخت‌افزار کنتوردیجیتال برق و اضافه نمودن نرم‌افزار، کنتور هوشمند آب قابلیت اندازه‌گیری همزمان پارامترهای آب و برق را ایجاد می‌نماید. تلفیق این قابلیتها در یک دستگاه باعث عدم قرائت های تکراری از طرف شرکت های آب منطقه‌ای و توزیع برق می‌گردد. استفاده از کنتورهای مذکور باعث می‌شود که کشاورزان برای حقابه خود، برنامه ریزی نموده و گیاهانی کشت نمایند که توجیه اقتصادی بیشتری داشته و در نتیجه بهره‌وری مصرف آب زیر زمینی افزایش خواهد یافت (۱۳). مهمترین عامل مؤثر در بهبود هیدروگراف دشت اسفراین، کنترل برداشت های بیش از حد مجاز چاه‌های دارای پروانه توسط کنتورهای هوشمند آب و برق بوده است (۲۳). مصرف انرژی چاهها در زنجان پس از نصب کنتورهای هوشمند حدود ۲۵٪ کاهش یافت. بعد از نصب کنتورهای هوشمند، کشاورزان منطقه برای استفاده بهینه از منابع آب سهمیه بندی شده، نسبت به مکانیزه کردن آبیاری و استفاده از روشهای آبیاری قطره‌ای و بارانی اقدام نموده و بدون کاهش در میزان سطح کشت و محصول برداشتی و با اعمال راهکارهای مدیریت مصرف در بخشهای آب و برق، موجب کاهش هزینه برق و آب مصرفی خود نیز شده اند (۸). نتایج بررسی میدانی کنتورهای هوشمند نصب‌شده در چند شهر از استان خراسان نشان داد که حدود ۷۸٪ از چاه‌های مورد بررسی به کنتور مجهز بودند و حدود ۵۰٪ از کشاورزان اطلاع چندانی از این کنتورها نداشتند. حدود ۱۵٪ از بهره‌برداران از عملکرد این کنتورها رضایت نداشتند (۵). با نصب کنتورهای هوشمند آب و برق، شرکت توزیع برق استان فارس توانست ضمن نوسازی تجهیزات اندازه‌گیری فرسوده قبلی، امکان مدیریت پیک بار را در تابستان فراهم نماید بطوریکه در تابستان سال ۹۴ توانست مقام اول مدیریت مصرف را در کشور به خود اختصاص دهد (۳). با نصب و بهره‌برداری از کنتور هوشمند آب و برق در دشت‌های داراب و ارسنجان، ضمن ایجاد امکان وصول مطالبات معوق در خصوص حق‌النظاره‌ها و هزینه‌های کارشناسی از بهره‌برداران، ابزار مدیریت بیش از ۲۰ درصد اضافه برداشت چاه‌های این دشت‌ها را فراهم و امکان پیگیری مستند خسارات وارده به آبخوان را در این دشت‌ها مهیا کرده است (۹). پس از نصب کنتورهای هوشمند و قبل از اعمال سهمیه‌ها در شهرستان ارسنجان که کنتورها به صورت آزمایشی مورد استفاده قرار گرفتند، حدود ۵۲ درصد کنتورهای نصب شده به میزان سهمیه یا کمتر از سهمیه مجاز از چاهها بهره‌برداری کرده و حدود ۴۸ درصد از چاهها بیش از میزان مجاز اقدام به بهره‌برداری از چاهها نمودند. بررسی ها نشان داد که ۳۷ درصد از چاهها بین یک تا دو برابر سهمیه مجاز اقدام به بهره‌برداری نمودند. به نظر می¬رسد استفاده از کنتورهای هوشمند به‌منظور مدیریت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، می‌تواند نقش موثری بر وضعیت منابع آب کشور داشته باشد به شرطی که تصمیمات مدیریتی صحیحی در این خصوص اتخاذ گردد (۹). در تحقیقی دیگر، رضایت مندی کشاورزان از کنتورهای هوشمند را در کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نگرش کشاورز نسبت به حفاظت آب، درک ارزش حفاظت از آب از دید کشاورز، عادلانه بودن نصب کنتور، مفید بودن کنتور، درآمد، تصور کشاورز از

تأثیرش در حفاظت آب، دسترسی به منابع مورد نیاز جهت حفاظت آب، تحصیلات و آموزش پس از نصب کنتور به ترتیب تأثیر مثبت و معنی¬داری بر رضایتمندی کشاورزان از نصب کنتور داشته است (۱۱). جمع بندی بررسی‌های گذشته نشان می دهد که اگرچه کنتورهای هوشمند آب در نقاط مختلف کشور مورد استفاده قرار گرفته، لیکن تاکنون گزارش‌های اندکی در مورد دقت عملکرد این کنتورها در شرایط مزرعه‌ای، منتشر شده است. در خصوص استفاده از کنتورهای هوشمند آب در سایر نقاط دنیا نیز تحقیقات اندکی منتشر شده است. با توجه به اینکه شهرستان ارسنجان فارس یکی از شهرستان‌های پیشرو در امر نصب و بهره‌برداری از کنتورهای هوشمند آب بوده، هدف از این تحقیق بررسی دقت و میزان مصرف آب در مزارع و باغات مجهز شده به کنتورهای هوشمند آب در این منطقه بوده است.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور بررسی دقت عملکرد کنتورهای هوشمند آب نصب‌شده در دشت ارسنجان فارس ۱۲ باغ انار، ۱۲ مزرعه گندم و ۱۲ مزرعه گوجه فرنگی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور در طول یک سال زراعی(۹۷-۹۸)، دبی اندازه‌گیری شده توسط هر کنتور در حال کارکرد قرائت و با دبی اندازه‌گیری شده آب خروجی از چاه مقایسه گردید. دبی چاه بسته به وضعیت آب خروجی از لوله چاه با ابزارهای مختلف و در یک دبی که همان دبی زمان بهره‌برداری بود، سه مرتبه در طول فصل زراعی اندازه‌گیری گردید. ابزارهای مورد استفاده عبارت از فلوم WSC تیپ‌های ۳و ۴ و میکرومولینه واسنجی‌شده بودند. در سیستم‌های آبیاری سطحی که آب چاه به داخل کانال های خاکی مزرعه‌ای تخلیه میشد، به منظور اندازه‌گیری دبی از فلوم های WSC استفاده شد. درمواردی که آب به داخل کانالی با پوشش بتنی تخلیه می‌شد و امکان استفاده از فلوم نبود، با استفاده از میکرومولینه سرعت جریان عبوری از مقطع اندازه‌گیری و با ضرب سرعت در سطح مقطع جریان، دبی عبوری از مقطع تعیین شد. اندازه‌گیری سرعت با توجه به عمق جریان آب در دو عمق (۲۰ و ۸۰ درصد) و در فواصل عرضی ۱۰ سانتی‌متری انجام شد. در مزارعی که تحت سیستم آبیاری قطره‌ای بودند. حجم آب عبوری در مدت زمانی مشخص، در ابتدای لوله‌های نواری (تیپ) با استفاده از کنتورهای کوچک واسنجی‌شده در نقاط مختلف مزرعه اندازه‌گیری شد. در سیستم‌های آبیاری بارانی، بوسیله دو یا سه لوله، آب خروجی از هر آبپاش به داخل یک بشکه که حجم آن قبلا اندازه‌گیری شده بود هدایت و مدت زمان پر شدن آن بشکه اندازه‌گیری می‌گردید. مقادیر آب کاربردی واقعی هر مزرعه (V)در سال، از ضرب دبی (Q) در مدت زمان هر آبیاری (t) و تعداد دفعات آبیاری (m) به دست آمد (رابطه ۱). مقادیر آب تحویلی توسط کنتورهای هوشمند نیز قرائت گردید. میزان عملکرد محصول در هر مزرعه گندم و باغ انار در پایان فصل اندازه¬گیری گردید. در مزارع گوجه‌فرنگی، در هر بار برداشت محصول، عملکرد اندازه‌گیری و عملکرد کل از مجموع عملکرد هر بار برداشت به دست آمد. میزان بهره‌وری آب آبیاری ($WP_i$) با استفاده از رابطه (۲) از تقسیم میزان محصول تولیدی (y) بر میزان آب آبیاری کاربردی ($V_i$) به‌دست آمد. مقدار بهره‌وری آب کل($WP_t$) نیز از تقسیم میزان محصول تولیدی به مجموع آب آبیاری و باران موثر محاسبه گردید(رابطه ۳) .

$$V = Q.t.m \quad (۱)$$

$$WP_i = \frac{y}{V_i} \quad (۲)$$

$$WP_t = \frac{y}{V_i + V_p} \quad (۳)$$

با توجه به اینکه معمولا دبی خروجی از چاه در ابتدای روشن کردن پمپ زیادتر است، اندازه‌گیری‌ها در چاه‌هایی انجام شد که مدتی از روشن شدن آن‌ها می‌گذشت. دبی خروجی از چاه، در اولین نقطه ممکن بعد از خروج از چاه اندازه‌گیری گردید تا سایر عوامل مانند تبخیر و نشت از کانال تاثیری بر میزان دبی نگذارد .

برای مقایسه مقادیر واقعی آب کاربردی اندازه‌گیری شده با مقادیر به دست آمده از کنتورهای هوشمند از شاخص‌های آماری مختلفی شامل میانگین خطای دبی مطلق و میانگین خطای نسبی استفاده گردید. مشخصه‌های آماری خطای میانگین مربعات(RMSE) ، خطای میانگین مربعات نرمال شده(NRMSE) ، ضریب تغییرات خطای میانگین مربعات نرمال شده(PRMSE) ، و آزمون مربع کای (CHISQ)با استفاده از فرمول های ۴ تا ۷ استفاده گردید (۲۰). در این روابط $y_i$, $y_{min}$, $y_{max}$ بترتیب مقادیر i ام، حداقل و حداکثر متغیر واقعی، iتعداد اعداد از ۱ تا n ، $x_i$ متغیر مورد بررسی i ام و n تعداد متغیر مورد بررسی می باشد .

$$AME = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - x_i| \quad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - x_i)^2} \quad (۵)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{y_{max} - y_{min}} \quad (۶)$$

$$PRMSE = \frac{RMSE}{AME} \quad (۷)$$

مقادیر نیاز آبی سالیانه با استفاده از سندملی آب و روش پنمن مانتیث برآورد و با مقادیر آب کاربردی واقعی و آب کاربردی برآورد شده توسط کنتورهای هوشمند مقایسه گردید. در روش پنمن مانتیث نیاز آبی یکبار با استفاده از آمار هواشناسی بلندمدت (ده سال اخیر) و یکبار با استفاده از آمار هواشناسی کوتاه مدت یکساله (سال انجام آزمایش) برآورد گردید. هر ۱۲ مزرعه گوجه‌فرنگی به سیستم آبیاری قطره‌ای مجهز بودند. از ۱۲ مزرعه گندم، ۲ مزرعه با سیستم آبیاری قطره‌ای، ۳ مزرعه با سیستم آبیاری بارانی و ۷ مزرعه با سیستم آبیاری سطحی آبیاری می‌شدند. در برآورد نیازهای آبی، راندمان سیستم آبیاری قطره‌ای، ۹۰ درصد و آبشویی نیز در نظر گرفته شد (۲). مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی دبی، حجم آب کاربردی و بهره‌وری آب با استفاده از آزمون t، با مقادیر به دست آمده از داده‌های کنتورهای هوشمند مقایسه گردید و معنی‌دار بودن تفاوت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مقادیر واقعی و برآورد شده آب کاربردی با سه سناریوی نیاز آبی با استفاده از آزمون t مقایسه شد.

## نتایج

### نتایج مزارع گندم

جدول ۱ مشخصات پارامترهای اندازه¬گیری شده در مزارع گندم مورد بررسی را نشان می‌دهد. مزارع انتخابی دارای عملکرد از ۵/۴ تا ۶/۷ تن در هکتار و سطح کشت ۲ تا ۱۲ هکتار بودند. میانگین، حداقل و حداکثر مقادیر دبی و حجم آب کاربردی مزارع در دو حالت اندازه‌گیری شده واقعی و برآورد شده بوسیله کنتورهای هوشمند نیز نشان داده شده است. همچنین در این جدول مقادیر نیاز آبی گندم در سه حالت سندملی، پنمن مانتیث یکساله و پنمن مانتیث ۱۰ ساله آورده شده است. ملاحظه می‌گردد که میانگین دبی‌های واقعی ۱۹/۶ لیتر بر ثانیه بوده که میانگین دبی نشان داده شده توسط کنتورهای هوشمند (۱۴ لیتر بر ثانیه)، از مقدار واقعی ۲۹ درصد کمتر بوده است. یعنی در عمل دبی آب تخلیه شده از چاه بیشتر از مقدار نشان داده شده توسط کنتور هوشمند بوده است. جدول ۲ نتایج انجام آزمون t برای بررسی تفاوت دو به دوی مقادیر دبی واقعی، دبی به دست آمده از کنتور هوشمند و سناریوهای مختلف نیاز آبی را نشان می‌دهد. بر اساس آزمون t تفاوت دبی‌های واقعی و دبی کنتورهای هوشمند از نظر آماری در سطح ۱ درصد معنی-دار شد.

**جدول ۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در مزارع گندم مورد بررسی**

| پارامتر | سطح کشت (هکتار) | عملکرد (تن در هکتار) | دبی واقعی (لیتر بر ثانیه) | دبی کنتور هوشمند (لیتر بر ثانیه) | حجم آب کاربردی واقعی (مترمکعب در هکتار) | حجم آب کاربردی کنتور هوشمند (مترمکعب در هکتار) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| حداقل | ۲ | ۵/۴ | ۴/۰ | ۳/۸ | ۳۸۴۷ | ۱۳۶۳ |
| حداکثر | ۱۲ | ۶/۷ | ۳۶/۳ | ۲۲/۲ | ۱۰۱۱۴ | ۶۸۱۳ |
| میانگین | ۵/۸ | ۶/۲ | ۱۹/۶ | ۱۴/۰ | ۷۳۸۵ | ۵۴۳۰ |
| انحراف معیار | ۳/۴۰ | ۰/۳۹ | ۱۱/۷۱ | ۷/۳۰ | ۲۲۴۰ | ۱۴۳۲ |
| خطای استندارد میانگین | ۰/۹۸ | ۰/۱۱ | ۳/۳۸ | ۲/۱۱ | ۶۴۷ | ۴۱۴ |
| نیاز آبی از سندملی (مترمکعب در هکتار) | | | | | ۵۵۵۰ | |
| نیاز آبی پنمن مانتیث یکساله (مترمکعب در هکتار) | | | | | ۴۴۳۰ | |
| نیاز آبی پنمن مانتیث ده ساله (مترمکعب در هکتار) | | | | | ۵۱۳۰ | |

**جدول ۲- نتایج بررسی تفاوت سناریوهای مختلف توسط آزمون t برای مزارع گندم**

| پارامتر | میانگین تفاوت | درصد تفاوت | مقدار t | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|
| دبی (واقعی-کنتور هوشمند) | ۵/۶۳ | ۲۹ | ۳/۴۶ | ۰/۰۰۵ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-کنتور هوشمند) | ۱۹۵۶ | ۲۶ | ۳/۹۸ | ۰/۰۰۲ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-سندملی) | ۱۸۳۶ | ۳۳ | ۲/۸۴ | ۰/۰۱۶ |
| حجم آب کاربردی(سندملی-کنتور هوشمند) | ۱۲۰ | ۲ | ۰/۲۹ | ۰/۷۷۶ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-پنمن مانتیث یکساله) | ۲۹۵۶ | ۶۶ | ۴/۵۷ | ۰/۰۰۱ |
| حجم آب کاربردی(پنمن مانتیث یکساله-کنتور هوشمند) | ۱۰۰۰ | ۶ | ۲/۴۲ | ۰/۰۳۴ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-پنمن مانتیث ۱۰ ساله) | ۲۲۵۶ | ۴۳ | ۳/۴۹ | ۰/۰۰۵ |
| حجم آب کاربردی(پنمن مانتیث ۱۰ ساله-کنتور هوشمند) | ۳۰۰ | ۲۴ | ۰/۷۲ | ۰/۴۸۴ |
| بهره وری آب آبیاری(واقعی-کنتور هوشمند) | ۰/۴۲ | ۴۵ | ۱/۹۲ | ۰/۰۸۲ |
| بهره وری آب کل(واقعی-کنتور هوشمند) | ۰/۱۵ | ۳۸ | ۳/۱۶ | ۰/۰۰۹ |

جدول ۱ نشان داد که میانگین حجم واقعی آب کاربردی مزارع گندم مورد بررسی ۷۳۸۵ مترمکعب در هکتار بوده که از میانگین حجم آب کاربردی بر اساس کنتورهای هوشمند (۵۴۳۰ مترمکعب در هکتار) بیشتر بود. تفاوت این احجام آب کاربردی نیز بر اساس آزمون t در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). از نظر آماری تفاوت بین حجم آب کاربردی واقعی با نیاز آبی سند ملی در سطح ۵ درصد و با پنمن مانتیث ۱ ساله و ۱۰ ساله در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. تفاوت آماری بین حجم آب کاربردی کنتور هوشمند با نیاز آبی سندملی و نیاز آبی پنمن مانتیث ۱۰ ساله در سطح ۵ درصد معنی‌دار نگردید، اما با نیاز آبی پنمن مانتیث یکساله معنی‌دار گردید. به بیان ساده، میزان آب

کاربردی واقعی مزارع گندم مورد بررسی ۶۶ درصد بیشتر از نیاز آبی گیاه در همان سال و ۴۳ درصد بیشتر از نیاز آبی بلند مدت ۱۰ ساله بوده است. اما اگرچه تفاوت آب کاربردی گزارش شده توسط کنتورهای هوشمند اختلاف کمی با مقادیر نیاز آبی یکساله (۶٪) و سند ملی (۲٪) داشته، اما این به معنی خوب کار کردن کنتورهای هوشمند نیست. چون تفاوت ۲۶ درصدی حجم آب کاربردی برآورد شده توسط کنتورهای هوشمند با حجم آب کاربردی واقعی نشان می‌دهد که میزان آب کاربردی برآورد شده توسط کنتورهای هوشمند دقیق و قابل اعتماد نبوده است. جدول ۳ سایر پارامترهای آماری محاسبه شده برای مقایسه مقادیر آب کاربردی کنتورهای هوشمند و سناریوهای مختلف نیاز آبی با مقادیر واقعی آب کاربردی را نشان می‌دهد. با توجه به تعاریف شاخص‌های مذکور، هرچه مقدار یک شاخص بخصوص کمتر باشد، سناریوی مربوطه دارای اختلاف کمتری با مقدار واقعی است. بنابراین مشاهده می‌گردد که درصد تفاوت میزان آب کاربردی بر اساس کنتور هوشمند (نسبت به آب کاربردی واقعی) کمتر از بقیه سناریوهای نیاز آبی است. پس از آب کاربردی کنتور هوشمند، بترتیب نیاز آبی سندملی، پنمن مانتیث بلندمدت و پنمن مانتیث یکساله قرار می‌گیرند. همین روند در تغییرات سایر پارامترهای آماری مورد بررسی نیز مشاهده می¬گردد. جدول ۴ مقادیر بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کل را بر اساس داده‌های واقعی و داده‌های کنتورهای هوشمند نشان می‌دهد. میانگین بهره‌وری آب آبیاری بر اساس داده‌های واقعی و کنتورهای هوشمند بترتیب ۰/۹۳ و ۱/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود که عدد مربوط به کنتور هوشمند حدودا ۴۵ درصد با مقدار واقعی اختلاف دارد، ولی این اختلافات از نظر آماری در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار گردید و در سطح ۵ درصد معنی‌دار نگردید (جدول ۲). بهره‌وری آب کل بر اساس داده-های واقعی و داده‌های کنتورهای هوشمند بترتیب ۰/۶۴ و ۰/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود که تفاوت این دو گروه داده از نظر آماری در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید.

**جدول۳- پارامترهای آماری مربوط به اختلاف مقادیر آب کاربردی به روش های مختلف با مقادیر واقعی در مزارع گندم**

| پارامتر آماری | کنتور هوشمند | پنمن مانتیث یکساله | پنمن مانتیث ۱۰ ساله | سندملی آب |
|---|---|---|---|---|
| RMSE | ۲۵۴۷ | ۳۶۵۲ | ۳۱۱۳ | ۲۸۲۳ |
| NRMSE | ۰/۴۱ | ۰/۵۸ | ۰/۵۰ | ۰/۴۵ |
| PRMSE | ۳۴/۵ | ۴۹/۴ | ۴۲/۱ | ۳۸/۲ |
| AME | ۲۱۵۷ | ۳۰۸۹ | ۲۷۳۹ | ۲۵۲۹ |
| CHISQ | ۱۶۸۹۸ | ۳۶۱۲۵ | ۲۲۶۶۳ | ۱۷۲۳۳ |
| %AME | ۲۹ | ۴۲ | ۳۷ | ۳۴ |

**جدول ٤- بهره‌وری آب کاربردی در مزارع گندم مورد بررسی**

| پارامتر | بهره‌وری آب آبیاری واقعی (کیلوگرم بر مترمکعب) | بهره‌وری آب آبیاری کنتور هوشمند (کیلوگرم بر مترمکعب) | بهره‌وری آب کل واقعی (کیلوگرم بر مترمکعب) | بهره‌وری آب کل کنتور هوشمند (کیلوگرم بر مترمکعب) |
|---|---|---|---|---|
| حداقل | ۰/۵۸ | ۰/۷۹ | ۰/۴۶ | ۰/۵۷ |
| حداکثر | ۱/۵۲ | ۴/۲۶ | ۰/۹۴ | ۱/۴۳ |
| میانگین | ۰/۹۳ | ۱/۳۵ | ۰/۶۴ | ۰/۷۹ |
| انحراف معیار | ۰/۳۴ | ۰/۹۳ | ۰/۱۶ | ۰/۲۲ |
| خطای استندارد میانگین | ۰/۱۰ | ۰/۲۷ | ۰/۰۵ | ۰/۰۶ |

## نتایج در مزارع گوجه‌فرنگی

جدول ۵ مقادیر عملکرد، دبی و حجم آب کاربردی مزارع گوجه‌فرنگی مورد بررسی را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات عملکرد در مزارع انتخابی از حداقل ۷۱ تا حداکثر ۱۲۵ تن در هکتار متغیر بود. مساحت مزارع نیز از ۰/۴ تا ۱۱ هکتار و بطور میانگین ۴/۹ هکتار بود. میانگین دبی واقعی و دبی نمایش داده شده توسط کنتورهای هوشمند بترتیب ۱۵/۸ و ۱۳ لیتر بر ثانیه که دبی نمایش داده شده توسط کنتورهای هوشمند به طور میانگین ۱۸ درصد از دبی واقعی کمتر بود. البته بر اساس آزمون t تفاوت دبی‌های واقعی و دبی کنتورهای هوشمند از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نگردید، اما می‌توان گفت در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار است (جدول ۶). البته این تفاوت دبی، تاثیر خود را بر تفاوت در میزان آب کاربردی گذاشته است. کمتر بودن دبی کنتورهای هوشمند نسبت به دبی واقعی باعث می شود کشاورزان بتوانند بیشتر از سهمیه تخصیصی آب دریافت کنند. به عبارت دیگر، کمتر از مقدار آبی که

دریافت کرده‌اند از سهمیه ایشان کم می‌شود. تاثیر این تفاوت دبی، در میزان حجم آب کاربردی واقعی و گزارش شده توسط کنتورهای هوشمند نیز قابل مشاهده است. ملاحظه می‌گردد که میانگین حجم آب کاربردی واقعی (۱۳۸۸۹ مترمکعب در هکتار) نیز از حجم آب گزارش شده توسط کنتورهای هوشمند (۱۱۸۸۵ مترمکعب در هکتار) بیشتر بوده است. البته تفاوت در مقادیر آب کاربردی واقعی و کنتورهای هوشمند نیز از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نگردید.

از نظر آماری تفاوت نیاز آبی سند ملی با مقادیر آب کاربردی واقعی (۷۱٪) و آب کاربردی کنتورهای هوشمند (۴۶٪) در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید. نیاز آبی پنمن مانتیث یکساله، با میزان آب کاربردی واقعی (۳۶٪) در سطح ۱ درصد دارای تفاوت معنی‌دار و با آب کاربردی کنتورهای هوشمند (۱۷٪) تفاوت معنی‌داری نداشت. تفاوت نیاز آبی پنمن مانتیث ۱۰ ساله نیز با مقادیر آب کاربردی واقعی (۶۷٪) و آب کاربردی کنتورهای هوشمند (۴۳٪) در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید. جدول ۷ پارامترهای آماری مربوط به تفاوت مقادیر آب کاربردی واقعی با سایر سناریوهای مورد بررسی در مزارع گوجه‌فرنگی را نشان می‌دهد. بررسی این شاخص‌ها نشان می‌دهد که کمترین تفاوت بین سناریوهای مورد بررسی و مقادیر آب کاربردی واقعی، متعلق به کنتور هوشمند می‌باشد، و پس از آن بترتیب نیاز آبی یکساله، نیاز آبی ۱۰ ساله و نیاز آبی سندملی.

جدول ۸ مقادیر بهره‌وری آب را بر اساس داده‌های واقعی و داده‌های کنتورهای هوشمند نشان می‌دهد. با توجه به اینکه گوجه‌فرنگی یک گیاه صیفی است و معمولا در فصل رشد آن بارندگی اتفاق نمی‌افتد، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کل یکسان می‌شود. میانگین بهره‌وری آب بر اساس داده‌های واقعی و کنتورهای هوشمند بترتیب ۷/۷۵ و ۹/۹۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود که بهره‌وری مربوط به کنتور هوشمند ۲۹ درصد بیشتر از مقادیر واقعی است که این اختلاف از نظر آماری در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار گردید(جدول ۶). مشاهده می‌گردد که حداکثر بهره‌وری آب گوجه‌فرنگی بر اساس داده‌های کنتورهای هوشمند به حدود ۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب رسیده که غیر واقعی است. دلیل این امر غیر واقعی بودن دبی کنتور هوشمند می‌باشد.

**جدول ۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده در مزارع گوجه‌فرنگی مورد بررسی**

| پارامتر | سطح کشت (هکتار) | عملکرد (تن در هکتار) | دبی واقعی (لیتر بر ثانیه) | دبی کنتور هوشمند (لیتر بر ثانیه) | حجم آب کاربردی واقعی (مترمکعب در هکتار) | حجم آب کاربردی کنتور هوشمند (مترمکعب در هکتار) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| حداقل | ۰/۴ | ۷۱ | ۴ | ۳/۸ | ۹۵۰۴ | ۵۱۷۴ |
| حداکثر | ۱۱ | ۱۲۵ | ۳۶/۳ | ۲۳/۳ | ۱۹۵۷۵ | ۱۶۸۷۳ |
| میانگین | ۴/۹ | ۹۹/۵ | ۱۵/۸ | ۱۳/۰ | ۱۳۸۸۹ | ۱۱۸۸۵ |
| انحراف معیار | ۳/۶۰ | ۱۸/۵۷ | ۹/۹۰ | ۷/۰۱ | ۳۴۳۰ | ۳۸۳۳ |
| خطای استندارد میانگین | ۱/۰۴ | ۵/۳۶ | ۲/۸۶ | ۲/۰۲ | ۹۹۰ | ۱۱۰۷ |
| نیاز آبی از سندملی (مترمکعب در هکتار) | | | | | ۸۱۳۰ | |
| نیاز آبی پنمن مانتیث یکساله (مترمکعب در هکتار) | | | | | ۱۰۱۹۰ | |
| نیاز آبی پنمن مانتیث ده ساله (مترمکعب در هکتار) | | | | | ۸۳۳۰ | |

**جدول ٦- نتایج بررسی تفاوت پارامترهای مختلف توسط آزمون t برای مزارع گوجه‌فرنگی**

| پارامتر | میانگین تفاوت | درصد تفاوت | مقدار t | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|
| دبی (واقعی-کنتور هوشمند) | ۲/۸۹ | ۱۸ | ۱/۸۷ | ۰/۰۸۹ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-کنتور هوشمند) | ۲۰۰۵ | ۱۴ | ۱/۷۳ | ۰/۱۱۱ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-سندملی) | ۵۷۵۹ | ۷۱ | ۵/۸۲ | ۰/۰۰۰۱ |
| حجم آب کاربردی(سندملی-کنتور هوشمند) | ۳۷۵۴ | ۴۶ | ۳/۳۹ | ۰/۰۰۶۰ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-پنمن مانتیث یکساله) | ۳۶۹۹ | ۳۶ | ۳/۷۴ | ۰/۰۰۳ |
| حجم آب کاربردی(پنمن مانتیث یکساله-کنتور هوشمند) | ۱۶۹۴ | ۱۷ | ۱/۵۳ | ۰/۱۵۴ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-پنمن مانتیث ۱۰ ساله) | ۵۵۵۹ | ۶۷ | ۵/۶۲ | ۰/۰۰۰۲ |
| حجم آب کاربردی(پنمن مانتیث ۱۰ ساله-کنتور هوشمند) | ۳۵۵۴ | ۴۳ | ۳/۲۱ | ۰/۰۰۸۳ |
| بهره وری آب آبیاری(واقعی-کنتور هوشمند) | ۲/۴۳ | ۲۹ | ۱/۷۶ | ۰/۱۰۵ |

**جدول۷- پارامترهای آماری مربوط به اختلاف مقادیر آب کاربردی واقعی با سایر روش‌ها در مزارع گوجه‌فرنگی**

| پارامتر آماری | کنتور هوشمند | پنمن مانتیث سال ۹۷-۹۸ | پنمن مانتیث بلند مدت | سندملی آب |
|---|---|---|---|---|
| RMSE | ۴۳۳۱ | ۴۹۴۶ | ۶۴۵۷ | ۶۶۳۰ |
| NRMSE | ۰/۴۳ | ۰/۴۹ | ۰/۶۴ | ۰/۶۶ |
| PRMSE | ۳۱/۲ | ۳۵/۶ | ۴۶/۵ | ۴۷/۷ |
| AME | ۳۳۸۸ | ۳۸۷۹ | ۵۵۵۹ | ۵۷۵۹ |
| CHISQ | ۲۹۴۱۹ | ۲۸۸۱۴ | ۶۰۰۵۵ | ۶۴۸۷۴ |
| %AME | ۲۴ | ۲۸ | ۴۰ | ۴۲ |

**جدول ۸- بهره‌وری آب کاربردی مزارع گوجه‌فرنگی انتخابی**

| پارامتر | بهره‌وری آب آبیاری واقعی (کیلوگرم بر مترمکعب) | بهره‌وری آب آبیاری کنتور هوشمند (کیلوگرم بر مترمکعب) |
|---|---|---|
| حداقل | ۴/۱۲ | ۴/۳۹ |
| حداکثر | ۱۳/۱۵ | ۲۳/۱۹ |
| میانگین | ۷/۷۵ | ۹/۹۸ |
| انحراف معیار | ۲/۳۲ | ۶/۰۱ |
| خطای استندارد میانگین | ۰/۶۷ | ۱/۷۳ |

## نتایج در باغات انار

بر اساس جدول ۹ عملکرد باغات انار مورد بررسی از ۳ تا ۲۷ تن در هکتار و سطح تحت کشت نیز از ۰/۸ تا ۴۵ هکتار متفاوت بود. میانگین عملکرد و سطح کشت باغات انار انتخابی بترتیب ۱۳/۶ تن در هکتار و ۹/۸ هکتار بود. جدول ۹ میانگین مقادیر واقعی آب کاربردی، دبی و آب کاربردی بر اساس کنتورهای هوشمند را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که میانگین دبی واقعی و دبی کنتورهای هوشمند بترتیب ۱۷/۲ و ۱۲/۴ لیتر بر ثانیه بوده که دبی کنتور هوشمند از مقدار واقعی حدودا ۲۸ درصد کمتر بوده است. بر اساس آزمون t نیز تفاوت این دو گروه دبی از نظر آماری در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱۰). تفاوت ۲۵ درصدی مقادیر آب کاربردی کنتور هوشمند با مقادیر واقعی نیز از نظر آماری معنی‌دار گردید. بر اساس جدول ۱۰ تفاوت نیاز آبی سندملی با مقادیر آب کاربردی واقعی (۱۷٪) و آب کاربردی کنتورهای هوشمند (۱۲٪) نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار نگردید. تفاوت نیاز آبی پنمن مانتیث یکساله با مقادیر واقعی آب کاربردی (۳۹٪) در سطح ۵ درصد معنی‌دار، اما با حجم آب کاربردی کنتورهای هوشمند (۵٪) معنی‌دار نبود. تفاوت نیاز آبی ۱۰ ساله نیز با مقادیر آب کاربردی واقعی (۲۲٪) و کنتور هوشمند (۸٪) معنی‌دار نگردید اگرچه تفاوت کمی با میزان آب کاربردی کنتور هوشمند داشت. اما به طور کلی می‌توان گفت میزان آب کاربردی باغات انار از میزان آب برآورد شده به روش پنمن مانتیث یا سند ملی بیشتر بوده است.

**جدول ۹- پارامترهای اندازه گیری شده در باغات انار مورد بررسی**

| پارامتر | سطح کشت (هکتار) | عملکرد (تن در هکتار) | دبی واقعی (لیتر بر ثانیه) | دبی کنتور هوشمند (لیتر بر ثانیه) | حجم آب کاربردی واقعی (مترمکعب در هکتار) | حجم آب کاربردی کنتور هوشمند (مترمکعب در هکتار) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| حداقل | ۰/۸ | ۳ | ۴ | ۳/۸ | ۴۶۴۴ | ۳۸۱۶ |
| حداکثر | ۴۵ | ۲۵ | ۳۲/۴ | ۲۲/۰ | ۲۳۱۳۰ | ۱۹۴۶۵ |
| میانگین | ۹/۸ | ۱۳/۶ | ۱۷/۲ | ۱۲/۴ | ۱۳۹۴۰ | ۱۰۵۱۹ |
| انحراف معیار | ۱۲/۷۱ | ۸/۷۴ | ۹/۹۴ | ۵/۹۳ | ۶۰۲۹ | ۴۶۰۹ |
| خطای استندارد میانگین | ۳/۶۷ | ۲/۵۲ | ۲/۸۷ | ۱/۷۱ | ۱۷۴۱ | ۱۳۳۰ |
| نیاز آبی از سندملی (مترمکعب در هکتار) | | | | | | ۱۱۹۶۰ |
| نیاز آبی پنمن مانتیث یکساله (مترمکعب در هکتار) | | | | | | ۱۰۰۴۰ |
| نیاز آبی پنمن مانتیث ده ساله (مترمکعب در هکتار) | | | | | | ۱۱۴۱۰ |

بر اساس جدول ۱۱، مقدار واقعی آب کاربردی کمترین تفاوت را با میزان آب کاربردی کنتورهای هوشمند داشته و پس از آن بترتیب با سندملی، پنمن مانتیث ۱۰ ساله و پنمن مانتیث یکساله. جدول ۱۲ مقادیر بهره‌وری آب باغات انار مورد بررسی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه میزان آب کاربردی واقعی از میزان آب کاربردی بدست آمده از کنتورهای هوشمند بیشتر بوده، میزان بهره‌وری آب واقعی کمتر از بهره‌وری آب محاسبه شده بر اساس داده¬های کنتورهای هوشمند خواهد بود. میزان واقعی بهره‌وری آب آبیاری و کل بترتیب ۱/۴۴ و ۱/۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب و بهره‌وری آب آبیاری و کل بر اساس کنتورهای هوشمند بترتیب ۱/۸۴ و ۱/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود. تفاوت بهره‌وری آب آبیاری محاسبه شده واقعی و کنتورهای هوشمند در سطح ۷ درصد از نظر آماری معنی‌دار گردید، لیکن تفاوت بهره‌وری آب کل در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. درصد اختلاف بهره وری آب آبیاری ۲۸ درصد و درصد اختلاف بهره وری آب کل ۲۱ درصد بود.

**جدول ۱۰- نتایج بررسی تفاوت پارامترهای مختلف توسط آزمون t برای باغات انار**

| پارامتر | میانگین تفاوت | درصد تفاوت | مقدار t | سطح معنی¬داری |
|---|---|---|---|---|
| دبی (واقعی-کنتور هوشمند) | ۴/۸۲ | ۲۸ | ۳/۱۳ | ۰/۰۱۰ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-کنتور هوشمند) | ۳۴۲۲ | ۲۵ | ۳/۱۵ | ۰/۰۰۹ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-سندملی) | ۱۹۸۰ | ۱۷ | ۱/۱۴ | ۰/۲۷۹ |
| حجم آب کاربردی(سندملی-کنتور هوشمند) | ۱۴۴۱ | ۱۲ | ۱/۰۸ | ۰/۳۰۲ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-پنمن مانتیث یکساله) | ۳۹۰۰ | ۳۹ | ۲/۲۴ | ۰/۰۴۷ |
| حجم آب کاربردی(پنمن مانتیث یکساله-کنتور هوشمند) | ۴۷۹ | ۵ | ۰/۳۶ | ۰/۷۲۶ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-پنمن مانتیث ۱۰ ساله) | ۲۵۳۰ | ۲۲ | ۱/۴۵ | ۰/۱۷۴ |
| حجم آب کاربردی(پنمن مانتیث ۱۰ ساله-کنتور هوشمند) | ۸۹۱ | ۸ | ۰/۶۷ | ۰/۵۱۷ |
| بهره وری آب آبیاری(واقعی-کنتور هوشمند) | ۰/۴۰ | ۲۸ | ۲/۰۴ | ۰/۰۶۷ |
| بهره وری آب کل(واقعی-کنتور هوشمند) | ۰/۲۱ | ۲۱ | ۲/۴۸ | ۰/۰۳۱ |

**جدول۱۱- پارامترهای آماری مربوط به اختلاف مقادیر آب کاربردی واقعی با سایر روش ها در باغات انار**

| پارامتر آماری | کنتور هوشمند | پنمن مانتیث سال ۹۷-۹۸ | پنمن مانتیث بلند مدت | سندملی آب |
|---|---|---|---|---|
| RMSE | ۴۹۷۱ | ۶۹۶۷ | ۶۳۰۳ | ۶۱۰۳ |
| NRMSE | ۰/۲۷ | ۰/۳۸ | ۰/۳۴ | ۰/۳۳ |
| PRMSE | ۳۵/۷ | ۵۰/۰ | ۴۵/۲ | ۴۳/۸ |
| AME | ۳۹۷۰ | ۵۷۸۳ | ۵۱۸۸ | ۵۰۰۵ |
| CHISQ | ۲۸۴۰۱ | ۵۸۰۱۲ | ۴۱۷۸۱ | ۳۷۳۷۰ |
| %AME | ۲۸ | ۴۱ | ۳۷ | ۳۶ |

**جدول ۱۲- بهره وری آب کاربردی باغات انار انتخابی**

| پارامتر | بهره وری آب آبیاری واقعی (کیلوگرم بر مترمکعب) | بهره وری آب آبیاری کنتور هوشمند (کیلوگرم بر مترمکعب) | بهره وری آب کل واقعی (کیلوگرم بر مترمکعب) | بهره وری آب کل کنتور هوشمند (کیلوگرم بر مترمکعب) |
|---|---|---|---|---|
| حداقل | ۰/۱۲ | ۰/۱۳ | ۰/۱۱ | ۰/۱۱ |
| حداکثر | ۴/۳۱ | ۶/۵۵ | ۲/۸۷ | ۳/۸۴ |
| میانگین | ۱/۴۴ | ۱/۸۴ | ۱/۰۶ | ۱/۲۸ |
| انحراف معیار | ۱/۵۰ | ۱/۹۵ | ۰/۹۹ | ۱/۱۴ |
| خطای استندارد میانگین | ۰/۴۳ | ۰/۵۶ | ۰/۲۹ | ۰/۳۳ |

## نتایج بررسی کل داده¬های مزارع و باغات

با توجه به اینکه داده¬های دبی و مصرف آب در سه محصول و برای هر محصول در ۱۲ مزرعه یا باغ اندازه‌گیری شده است، مجموع داده ها ۳۶ سری خواهد بود که می‌توان مجموع این داده‌ها را نیز با استفاده از آزمون تی مورد بررسی قرار داد. نتایج این بررسی در جدول ۱۳ نشان داده شده است. مقایسه کل داده-های دبی واقعی و دبی کنتورهای هوشمند نشان می‌دهد که تفاوت دبی کنتورهای هوشمند با دبی واقعی حدود ۲۵ درصد بوده که از نظر آماری در سطح ۱ درصد معنی‌دار می باشد. تفاوت حجم آب کاربردی کنتورهای هوشمند با آب کاربردی واقعی حدود ۲۱ درصد بوده که در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. تفاوت مصرف آب کنتورهای هوشمند نسبت به نیاز آبی سندملی، نیاز آبی یکساله و نیاز آبی ۱۰ ساله بترتیب ۹، ۱۳ و ۱۲ درصد بوده که در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست. تفاوت مصرف آب واقعی نسبت به نیاز آبی سندملی، نیاز آبی یکساله و نیاز آبی ۱۰ ساله بترتیب ۳۷، ۴۳ و ۴۲ درصد بوده که در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. تفاوت نیاز آبی یکساله با نیاز آبی ۱۰ ساله و نیاز آبی سندملی بترتیب ۱ درصد و ۴ درصد بود. تفاوت نیاز آبی سندملی و نیاز آبی ۱۰ ساله حدود ۳ درصد بود. بهره‌وری آب آبیاری با استفاده از داده‌های کنتورهای هوشمند نسبت به بهره‌وری آب واقعی ۳۳ درصد تفاوت داشته که از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

**جدول ۱۳- نتایج بررسی تفاوت پارامترهای مختلف توسط آزمون t برای کل داده‌ها**

| پارامتر | میانگین تفاوت | درصد تفاوت | مقدار t | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|
| دبی (واقعی-کنتور هوشمند) | ۴/۴۵ | ۲۵ | ۴/۹۳ | ۰/۰۰۰۰۲ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-کنتور هوشمند) | ۱۱۲۴ | ۲۱ | ۴/۴۷ | ۰/۰۰۰۰۸ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-سندملی) | ۳۱۹۲ | ۳۷ | ۴/۲۷ | ۰/۰۰۰۱ |
| حجم آب کاربردی(سندملی-کنتور هوشمند) | ۷۳۱ | ۹ | ۱/۰۷ | ۰/۲۹۳ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-پنمن مانتیث یکساله) | ۳۵۱۸ | ۴۳ | ۵/۱۴ | ۰/۰۰۰۰۱ |
| حجم آب کاربردی(پنمن مانتیث یکساله-کنتور هوشمند) | ۱۰۵۸ | ۱۳ | ۱/۸۲ | ۰/۰۷۸ |
| حجم آب کاربردی(واقعی-پنمن مانتیث ۱۰ ساله) | ۳۴۴۸ | ۴۲ | ۴/۷۵ | ۰/۰۰۰۰۳ |
| حجم آب کاربردی(پنمن مانتیث ۱۰ ساله-کنتور هوشمند) | ۹۸۸ | ۱۲ | ۱/۵۰ | ۰/۱۴۲ |
| بهره وری آب آبیاری(واقعی-کنتور هوشمند) | ۱/۰۹ | ۳۳ | ۲/۲۴ | ۰/۰۳۱ |
| بهره وری آب کل(واقعی-کنتور هوشمند) | ۰/۹۳ | ۳۰ | ۱/۹۳ | ۰/۰۶۲ |

## بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که به طور کلی، دبی گزارش شده توسط کنتورهای هوشمند در مزارع و باغات مورد بررسی کمتر از دبی واقعی بوده است. بنابراین حجم آب کاربردی بر اساس کنتورهای هوشمند نیز کمتر از حجم آب کاربردی واقعی و میزان بهره‌وری آب بر اساس داده های کنتورهای هوشمند بیشتر از بهره‌وری آب بر اساس داده¬های واقعی خواهد بود. به طور متوسط میزان دبی گزارش شده توسط کنتورهای هوشمند در مزارع گندم، گوجه فرنگی و باغات انار ۲۵ درصد کمتر از میزان دبی اندازه‌گیری شده واقعی بود. از نظر آماری در مزارع گندم و باغات انار، تفاوت دبی کنتورهای هوشمند و دبی اندازه گیری شده در سطح ۱٪ و تفاوت میزان حجم آب گزارش شده توسط کنتورهای هوشمند و آب کاربردی اندازه‌گیری شده نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. میزان میانگین مصرف آب به دست آمده از کنتورهای هوشمند برای سه محصول مورد بررسی ۲۷ درصد از میزان مصرف آب واقعی کمتر بود. در هر سه محصول گندم، گوجه فرنگی و انار، میزان آب کاربردی گزارش شده توسط کنتورهای هوشمند نسبت به هر سه روش برآورد نیاز آبی، اختلاف کمتری با مقادیر اندازه گیری شده مصرف آب داشت. به طور کلی میانگین میزان آب کاربردی در محصولات گندم، گوجه فرنگی، و انار به ترتیب ۶۶، ۳۶، و ۳۹ درصد بیشتر از نیاز آبی پنمن مانتیث در سال انجام پروژه بود. بنابراین میانگین اتلاف آب در سه محصول مورد بررسی ۴۷ درصد بوده که قابل توجه است .

میزان بهره‌وری آب آبیاری گندم، گوجه‌فرنگی و انار بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده بترتیب۰/۶۳، ۷/۷۵ و ۱/۴۴ کیلوگرم برمترمکعب و متوسط بهره‌وری آب این محصولات در استان فارس بترتیب ۰/۸۸، ۶/۲۷، ۱/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب است. متوسط میزان بهره‌وری آب آبیاری این سه محصول بر اساس داده‌های کنتورهای هوشمند بترتیب ۱/۱۱، ۹/۹۸، ۱/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب بود. داده های بهره‌وری آب نشان داد که بهره‌وری آب برآورد شده با استفاده از داده‌های کنتور هوشمند بیشتر از واقعیت بوده که این به دلیل کمتر نشان دادن دبی و آب کاربردی کنتور هوشمند نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده واقعی می‌باشد. بررسی مجموع داده‌های سه محصول نشان داد که تفاوت دبی کل حدود ۲۵ درصد و تفاوت آب کاربردی کل حدود ۲۱ درصد است. تفاوت حجم آب کاربردی واقعی با میزان نیاز آبی در سال انجام آزمایش حدود ۴۳ درصد بود. به طور کلی می‌توان گفت که میانگین ۲۵ درصدی تفاوت (خطای) دبی کنتورهای هوشمند با مقادیر واقعی زیاد است. این خطا می‌تواند عمدی یا غیر عمدی باشد. منظور از خطای عمد این است که ممکن است در حین واسنجی کنتورها، مسئول واسنجی کنتورها،

عمدا به گونه‌ای کنتور را تنظیم کند که آب بیشتری تحویل کشاورز گردد. خطای غیر عمدی ناشی از عملکرد یا نقاط ضعف کنتور می‌باشد. میانگین ۲۱ یا ۲۷ درصدی ( بترتیب مربوط به مجموع داده ها و میانگین سه محصول) تفاوت بین مقادیر آب کاربردی کنتورهای هوشمند با مقادیر واقعی نیز زیاد است. اما با توجه به تفاوت زیادتر مقدار آب آبیاری داده شده به مزارع نسبت به میزان آب مورد نیاز (۴۳٪)، می‌توان گفت وجود کنتورهای هوشمند از نبودن آنها مفیدتر بوده است.

## پیشنهادها

بایستی تمام چاه های آب در کشور به کنتورهای هوشمند جهت تحویل به اندازه آب مجهز گردند. با توجه به لزوم داشتن دقت کافی، لازم است از کنتورهای هوشمند دقیق برای تحویل آب کشاورزی استفاده شود. پیشنهادات می‌گردد بررسی‌های بیشتری در خصوص واسنجی بهتر کنتورهای هوشمند انجام گیرد تا بتوان در صورت امکان عملکرد کنتورهای موجود را بهبود بخشید.

## تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از حمایت‌های شرکت سهامی آب منطقه ای فارس، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

## حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

## مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: محمدعلی شاهرخ نیا، امیر اسلامی، روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: محمدعلی شاهرخ نیا، اکبر جوکار ؛
نظارت و نگارش نهایی: محمدعلی شاهرخ نیا

## تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

## References


1. Baum, M.C., Dukes, M.D., Haman, D.Z. 2015. Selection and use of water meters for irrigation water measurement. ABE18, IFAS Extension, University of Florida.
2. Bjorneberg, D.L. 2013. Irrigation methods. USDA Agricultural Research Service, Kimberly, ID, USA.
3. EDCFP. 2014. Investigating the status of water and electricity smart meters. Fars Province Electricity Distribution Company of Fars Province. No. 2094/5126. [In Persian]
4. Gupta, A.D., Pandey, P., Feijoo, A., Yaseen, Z.M., and Bokde, N.D. 2020. Smart water technology for efficient water resource management: a review. Energies, 13, 6268; doi:10.3390/en13236268.
5. Haghayeghi-Moghadam, S.A. 2014. The effect of installing smart meters in reducing water and energy consumption of agricultural wells. Technical report, Agricultural Engineering Research Institute. [In Persian]
6. Hanson, B.R., Schwankl, L.J., and Prichard, L. 2007. Measuring irrigation flows in a pipeline. University of California, Division of agriculture and natural resources, publication 8213.
7. Jahromi, H.N., Hamedani, M.J., Dolatabadi, S.F., Abbasi, P. 2014. Smart energy and water meter: a novel vision to groundwater monitoring and management. Procedia Engineering, 70, 877-881.
8. Mohammadi, B., Rezaei, A., and Sohail, H. 2013. Investigating the impact of using smart water and electricity meters on the energy consumption of agricultural customers. Second Sired Regional Conference, December 2013, Tehran, Iran. [In Persian].
9. Naseri, H.A. 2015. Analytical report on the performance of water and electricity smart meters installed in Darab and Arsanjan plains. Regional Water Company of Fars Province, Shiraz, Iran. [In Persian].
10. Ouvrard, B., Préget, R., Reynaud, A., Tuffery, L. 2020. Nudging and subsidizing farmers to foster smart water meter adoption. hal-02958784.
11. Qobadpour, R., Eskandari, F., and Jalali, M. 2018. Farmers' satisfaction from installing intelligent flowmeter on underground water wells (The case of Mahidasht county, Kermanshah Province). Journal of Agricultural Economics and Development, 32(1): 43-55. [In Persian].
12. RSAC. 2016. Report on the implementation of the project of equipping electric wells in the country

with smart water and electricity meters to deliver water volume to the users. Rahrwan Sepehr Andisheh Company, Tehran, Iran. [In Persian]
13. Rajabpour, H., Golzarnjad, M.R. and Ismaili, A. 2010. Smart meter of water and electricity, a solution for change in the amount of withdrawal from underground water. Proceedings of the first national conference to review the achievements of Iranian earth science researchers, 8-9 Khordad 89, Tehran, Iran. [In Persian].
14. Randall, T., and Koech, R. 2019. Smart water metering technology for water management in urban areas (analysing water consumption patterns to optimize water conservation). Water e-journal, online journal of the Australian Water Association, 4, 1, doi:10.21139/wej.2019.001.
15. RWCFP. 2016. Water resources database, Regional Water Company of Fars Province. Shiraz, Iran. [In Persian].
16. Richardson, W.B., Boethel, D.J., and Coreil, P.D. 2008. Irrigation flow measurement. Louisiana State University Agricultural Center, Pub. #3082 .
17. Sheffield, R.E., Henry, C.G., Bankston, D., Hadden, W.A. 2013. Measuring irrigation flow. Louisiana State University Agricultural Center, Pub. 3241-L.
18. Sood, R., Kaur, M., and Lenka, H. 2013. Design and development of automatic water flow meter. International Journal of Computer Science, Engineering and Applications, 3(3), 49-59 .
19. Styles, S. and Groundwater, L. 2012. Implementation of magnetic meter for irrigation volumetric measurement. ITRC paper No. P 12-006, presented at World Environmental and Water Resources Congress, May 20-24, 2012, Albuquerque, NM.
20. Tsay R.S. 2005. Analysis of financial time series, John Wiley & Sons.
21. van Zyl., J. 2011. Introduction to integrated water meter management. Edition 1, Water Research Commission, Republic of South America.
22. Wahl, T.L. and Magallanez, H. 2014. Low-cost pipeline flow meter. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Water Resources Research Laboratory, Denver, Colorado.
23. Yazdani, M. 2013. investigating the effect of using smart water and electricity meters on improving the hydrograph of the underground water level in Esfarain Plain. 7th National Congress of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchistan, Zahedan, Iran. [In Persian].