

## ارزیابی داده های خروجی از حسگر اندازه گیر بلادرنگ رطوبت خاک با استفاده از شبکه عصبی

مهرنوش جعفری<sup>1</sup>، احمد بناکار<sup>2</sup>، عباس همت<sup>3</sup> و آذر خورسندی<sup>4</sup>

<sup>1</sup> دانشجوی دکترا مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

<sup>2</sup> استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

<sup>3</sup> استاد گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

<sup>4</sup> فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

\*نویسنده مسئول:

تهران - دانشگاه تربیت مدرس - دانشکده کشاورزی - گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی

صندوق پستی: 336-14115 تلفن: 021-48292302 فکس: 021-48292200

پست الکترونیکی: [ah\\_banakar@modares.ac.ir](mailto:ah_banakar@modares.ac.ir)

تاریخ دریافت: 91/12/1 تاریخ پذیرش: 92/3/1

### چکیده

محتوای رطوبتی خاک، یکی از مهمترین ویژگی های فیزیکی تاثیر گذار بر تولیدات کشاورزی می باشد. استفاده از حسگرهای خازنی، روشی برای تخمین محتوای رطوبت خاک می باشد. در این روش، خاک به عنوان بخشی از دی الکتریک حسگر خازنی محسوب می شود. در این تحقیق، داده های خروجی از یک حسگر خازنی که به شکل فرکانس بودند توسط شبکه عصبی مورد برازش قرار گرفته و با نتایج حاصل از رگرسیون مقایسه شدند. در ارزیابی استاتیکی داده ها شبکه عصبی جواب مناسبتری با خطای به مراتب کوچکتری و با ضریب تبیین بالاتری نسبت به پاسخ رگرسیون داد. نتایج نشان داد، با استفاده از شبکه عصبی طراحی شده در برازش داده های تست دینامیکی ضریب تبیین بالاتری ( $R^2=0/94$ ) به نسبت رگرسیون ( $R^2=0/7$ ) حاصل شد. اما در تست مجدد شبکه طراحی شده برای داده های دینامیکی، بوسیله داده های تست استاتیکی نتایج مطلوبی حاصل نشد. بدلیل اینکه داده های خروجی از حسگر علاوه بر محتوای رطوبت، به درجه حرارت، جنس خاک و سایر پارامترهای خاک نیز وابسته است، نمی توان یک شبکه عصبی واحد جهت ارزیابی هر دوسری داده های تست استاتیکی و دینامیکی این حسگر اندازه گیری رطوبت طراحی نمود.

**واژگان کلیدی:** شبکه عصبی، ضریب تبیین، رگرسیون.

### مقدمه

اندازه گیری رطوبت خاک بصورت بلادرنگ می باشد. در حسگرهای خازنی دو یا چند صفحه فلزی بوسیله صفحات عایق از هم جدا می شوند. صفحات فلزی به عنوان الکترود حسگر خازنی عمل می کنند. حساسیت رطوبت سنجی حسگرها به میدان مغناطیسی ایجاد شده بین الکترودها بستگی دارد (Whalley et al., 1992).

لیو و همکاران (1996) یک حسگر اندازه گیر رطوبت مبنای دی الکتریک را تحت شرایط دینامیکی ارزیابی کردند. نتایج آزمایشات نشان داد که امکان استفاده از حسگر بصورت بلادرنگ وجود دارد، ولی در خصوص مسائل مهمی همچون موقعیت الکترودها و تماس خاک با الکترود تاکید نمود. آزمون های تکمیلی نشان داد که این حسگر رطوبتی نه تنها به رطوبت پاسخ می دهد بلکه به مقدار نمک، درجه حرارت و بافت خاک نیز عکس العمل نشان می دهد.

در کشاورزی دقیق به منظور مصرف بهینه نهاده ها، نیاز به ثبت پیوسته، تحلیل و مدیریت تغییرات درون مزرعه ای عوامل موثر بر عملکرد محصول می باشد. برای دستیابی به این هدف استفاده از حسگرهای بلادرنگ یکی از الزامات است. در حال حاضر دامنه وسیعی از حسگرهای تجاری وجود دارند که با استفاده از اصول فیزیکی مختلف قادر به اندازه گیری غیرمستقیم محتوای رطوبتی خاک هستند.

در مواد مرکب مانند خاک که از اجزاء متفاوتی شامل مواد معدنی، هوا و آب تشکیل شده، مقدار ثابت دی الکتریک خاک متناسب با توزیع اجزاء آن در حجم خاک می باشد. ضریب دی الکتریک ظاهری خاک با محتوای رطوبت تغییر می کند. در نتیجه جهت اندازه گیری محتوای رطوبتی خاک می توان از حسگرهای خازن مینا استفاده نمود (Topp et al., 1980). حسگرهای خازن-مینا به دلیل هزینه ساخت پایین و حساسیت بالا در برابر تغییرات رطوبت در خاک، وسیله ای مناسب برای

استاتیکی حسگر اندازه گیر رطوبت به صورت بلادرنگ با استفاده از نرم افزار متلب (Matlab) و ابزار رابط گرافیکی برازش تابع (nftool) و با استفاده از فرکانس های دریافتی دستگاه و همچنین خروجی نرمال مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت. شبکه طراحی شده جهت برازش داده ها از یک شبکه feedforward ساده با دو لایه (یک لایه مخفی و یک لایه خروجی) و با 10 نرون در لایه مخفی، تشکیل شده است. در لایه مخفی از تابع انتقال tan-sigmoid و در لایه خروجی از تابع انتقال خطی استفاده شد. 80 درصد داده ها در مرحله آموزشی، 10 درصد در مرحله تست و 10 درصد در مرحله ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت.

در ارزیابی داده های دینامیکی (مزرعه ای)، از شبکه عصبی feedforward ساده با دو لایه (یک لایه مخفی و یک لایه خروجی) استفاده شد. تعداد نرون های لایه مخفی بر روی برازش منحنی تاثیرگذار بوده، به نحوی که با افزایش تعداد نرون های لایه مخفی ضریب تبیین افزایش می یافت. در این تحقیق با تعداد 600 نرون در لایه مخفی حداکثر ضریب تبیین حاصل شد. در لایه مخفی از تابع انتقال tan-sigmoid و در لایه خروجی از تابع انتقال خطی استفاده شد. 80 درصد داده ها در مرحله آموزشی، 10 درصد در مرحله تست و 10 درصد در مرحله ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت.

#### نتایج و بحث

جدول 1 تاثیر تعداد نرون های لایه مخفی بر میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین را در مرحله آموزش برای هر دو تست استاتیکی و دینامیکی حسگر نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود همبستگی داده های تست استاتیکی دستگاه بالا بوده به نحوی که شبکه طراحی شده با تعداد 3 نرون در لایه مخفی نیز جواب قابل قبولی داده است. ولی بهترین کارایی شبکه با تعداد 10 نرون در لایه مخفی حاصل شد.

بررسی نتایج نشان داد، استفاده از شبکه عصبی در برازش داده های استاتیکی نسبت به کاربرد رگرسیون در تحلیل داده ها برتری نسبی داشته است (شکل 1). ضریب تبیین در نمودارهای رگرسیون شبکه عصبی ( $R^2=0/98$ ) به نسبت رگرسیون انجام شده توسط خورسندی و همکاران ( $R^2=0/91$ ) مقدار بالاتری را نشان داد (شکل 2).

با بررسی شکل 3، نتایج حاصل به دلیل اینکه مقدار خطای میانگین مربعات نهایی کوچک است و بین رفتار خطای مجموعه آموزشی با خطای مجموعه ارزیابی تشابه وجود دارد و هیچ بیش برازشی رخ نداده است، مطلوب می باشد.

ندارد و همکاران (2004) نشان دادند اثر درجه حرارت و بافت خاک به سادگی بر روی داده ها قابل اعمال بوده و فقط اثر دو عامل محتوای رطوبتی و نمک بر روی داده های خازن تأثیرگذار می باشد

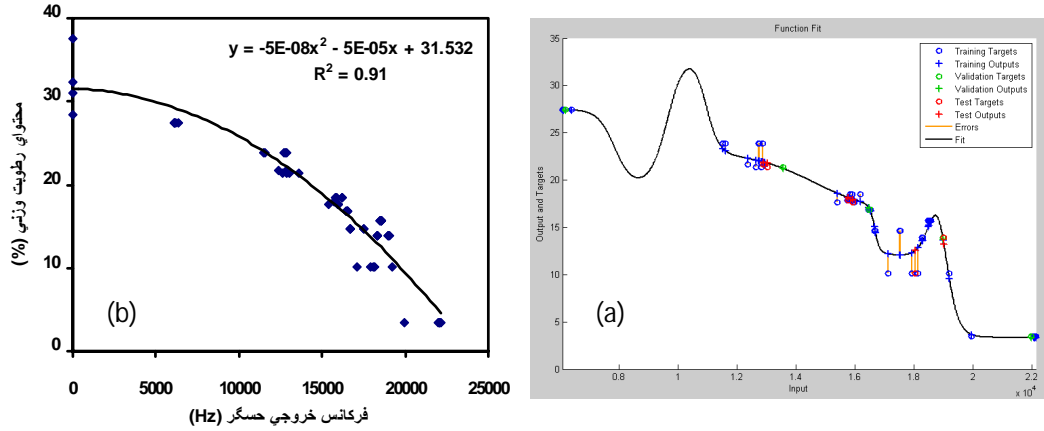
خورسندی و همکاران (2011) حسگر اندازه گیر رطوبت به صورت بلادرنگی را طراحی و ساختند که این حسگر از دو بخش تشکیل شده بود: سه الکتروود و یک مدار الکترونیکی. الکتروودها تیغه های فلزی بودند که در داخل یک قطعه فیبر استخوانی ثابت شده بودند. ولتاژ تحریک مدار برابر 12 ولت و خروجی آن بسامد بود. حسگر تحت شرایط استاتیکی و در خاکی با بافت لوم رسی سیلتی در آزمایشگاه واسنجی شد. با بهره گیری از نتایج این آزمون، حسگر ساخته شده در مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل داده ها نشان داد که رابطه بین محتوای رطوبت خاک و بسامد خروجی حسگر را می توان به صورت یک رابطه درجه دو نشان داد. خطای حسگر برابر 1/55% برآورد شد و بین مقادیر رطوبت اندازه گیری شده توسط حسگر و تعیین شده با روش وزنی رابطه خطی و معنی داری ( $R^2=0/70$ ) مشاهده شد. نتایج نشان داد که داده های خروجی حسگر علاوه بر محتوای رطوبت، به درجه حرارت خاک نیز وابسته است.

هدف این تحقیق بررسی داده های حاصل از ارزیابی استاتیکی و دینامیکی حسگر اندازه گیر رطوبت خاک ساخته شده توسط خورسندی و همکاران با استفاده از شبکه عصبی و مقایسه با کاربرد رگرسیون در تحلیل نتایج می باشد.

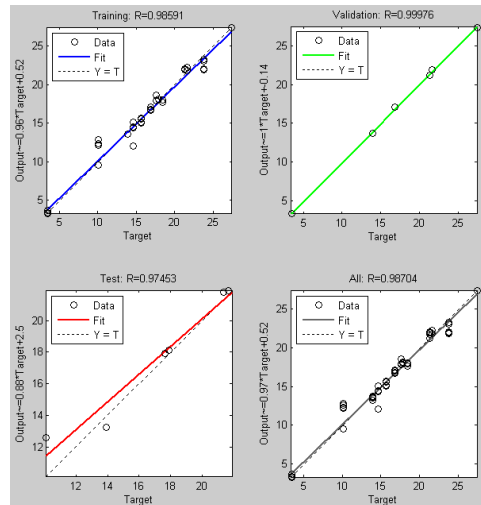
#### مواد و روش ها

در تست استاتیکی حسگر، ابتدا 20 سطح رطوبتی مجزاء با رطوبت های وزنی در دامنه یک تا 38% ساخته شد. این محدوده رطوبتی، از خاک نسبتاً خشک تا خاک نزدیک به اشباع را در بر داشت. با ثبت محتوای رطوبت وزنی هر نمونه و اندازه گیری خروجی حسگر در این سطح رطوبتی، منحنی واسنجی حسگر، با استفاده از نرم افزار Excel به دست آمد (Khorsandi et al., 2011).

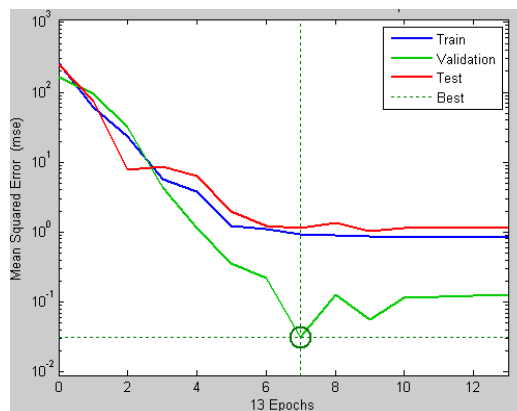
در آزمایش دینامیکی حسگر، قطعه ای از زمین با بافت لوم رسی سیلتی به ابعاد 10×9 متر به قطعاتی مساوی به ابعاد 10×1 متر برای 9 عبور 10 متری حسگر و ثبت خروجی، تقسیم گردید. آزمایش به این صورت انجام شد که ابتدا قبل از هر عبور با استفاده از روش نمونه برداری، نقاط مش بندی شده برای تعیین محتوای رطوبت وزنی مورد نمونه برداری قرار گرفت. سپس با حرکت تراکتور با سرعت پیشروی 0/5 متر بر ثانیه از روی خطوط، خروجی حسگر در عمق های 20 و 30 سانتی متر با نرخ نمونه برداری 10 نمونه در ثانیه، در این نقاط ثبت شد (Khorsandi et al., 2011). نتایج حاصل از تست



شکل 1. مقایسه برازش منحنی با استفاده از (a) رابط گرافیکی برازش منحنی نرم افزار Matlab و (b) رگرسیون (خوړسندی و همکاران - 2011)  
 Fig 1. Comparison of curve fitting with a) Matlab software neural network fitting tool and b) Regression (Khorsandi et al. 2011)

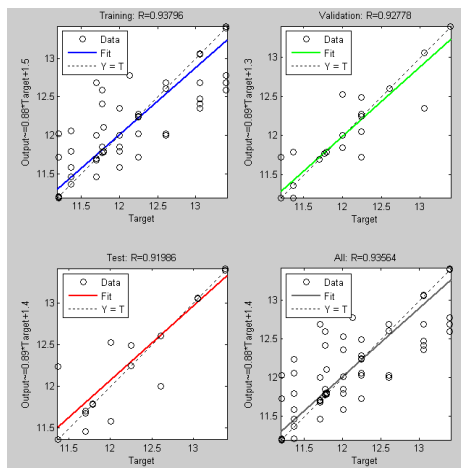


شکل 2. نمودارهای رگرسیون شبکه-تست استاتیکی  
 Fig 2. Network regression diagrams- Static test



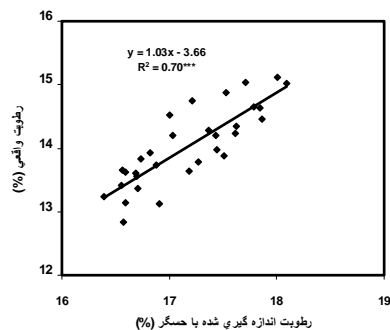
شکل 3. نمودار کارایی شبکه-تست استاتیکی  
 Fig 3. Network performance diagram-Static test

تیبین  $R^2=0/7$  بدست آمد و در نتیجه معادله رگرسیون ارائه شده اعتبار بالایی نداشت. با استفاده از شبکه عصبی طراحی شده در برازش داده های تست دینامیکی ضریب تبیین بالاتری در حدود  $0/94$  بدست آمد. اما در تست مجدد شبکه طراحی شده برای داده های دینامیکی با داده های تست استاتیکی، نتایج مطلوبی حاصل نشد.



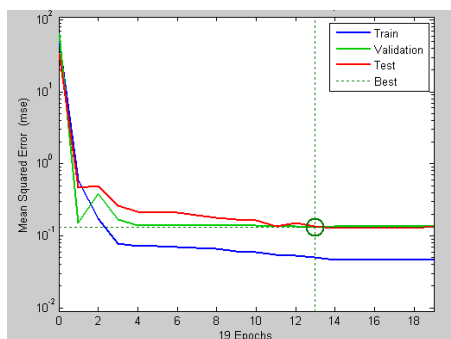
شکل 4. نمودار رگرسیون شبکه-تست دینامیکی

Fig 4. Network regression diagrams- Dynamic test



شکل 5. رابطه بین رطوبت اندازه گیری شده با حسگر با محتوای رطوبت واقعی (خورسندی و همکاران - 2011)

Fig 5. Relation between the measured soil moisture content by sensor and actual moisture content (Khorsandi et al. (2011))



شکل 6. نمودار کارایی شبکه- تست دینامیکی

Fig 6. Network performance diagram-Dynamic test

با توجه به جدول 1، در تست دینامیکی داده ها با استفاده از شبکه عصبی بهترین کارایی شبکه با تعداد 600 نرون در لایه مخفی بدست آمد. باید توجه داشت که در جدول 1 تنها مقدار مربعات خطا و ضریب تبیین در مرحله آموزش شبکه ذکر شده است. بنابراین با وجود اینکه ضریب تبیین در مرحله آموزش شبکه با 700 نرون در لایه مخفی بالاترین عدد بدست آمد  $(R^2=0/95)$ ، ولی در مرحله ارزیابی و تست با این تعداد نرون، نتایج مطلوبی حاصل نشد. با تعداد 600 نرون در لایه مخفی در هر سه مرحله آموزش، ارزیابی و تست بالاترین ضریب تبیین بدست آمد.

جدول 1. تاثیر تعداد نرون های لایه مخفی بر میانگین مربعات

خطا و ضریب تبیین در مرحله آموزش

Table 1. Effect of hidden layer neuron numbers on mean square error and  $R^2$

تعداد نرون	MSE	$R^2$
3	3.67	0.93
6	1.98	0.97
10	0.94	0.98
15	1.6	0.97
20	2.87	0.94

تعداد نرون	MSE	$R^2$
50	0.2	0.75
100	0.13	0.84
300	0.06	0.92
600	0.05	0.94
700	0.04	0.95

بررسی نتایج نشان داد، استفاده از شبکه عصبی در برازش داده های دینامیکی نسبت به کاربرد رگرسیون در تحلیل داده ها برتری دارد (شکل 4). در ارزیابی داده به وسیله رگرسیون ضریب تبیین  $R^2=0/7$  بدست آمد که در مقایسه با ضریب تبیین شبکه  $R^2=0/94$ ، کوچکتر می باشد (شکل 5). شکل 6 نشان می دهد نتایج حاصل به دلیل اینکه مقدار خطای میانگین مربعات نهایی کوچک است و بین رفتار خطای مجموعه آموزشی با خطای مجموعه ارزیابی تشابه وجود دارد و هیچ بیش برازشی رخ نداده است، مطلوب می باشند.

#### بحث

در ارزیابی استاتیکی داده ها همانطور که توسط رگرسیون جواب نسبتا مناسبی توسط خورسندی و همکاران بدست آمد، شبکه عصبی نیز پاسخ مطلوبی با ضریب تبیین بالاتری داد. ولی در ارزیابی داده های دینامیکی توسط رگرسیون ضریب

تفاوت در درجه حرارت مزرعه در روز آزمایش تست دینامیکی و آزمایشگاه در زمان تست استاتیکی حسگر، اعمال شود. بنابراین پیشنهاد می شود بر روی حسگر طراحی شده جهت اندازه گیری رطوبت به صورت بلادرنگ حسگرهایی جهت اندازه گیری دما، جنس خاک و سایر پارامترهای تاثیر گذار بر عملکرد حسگر نصب شود تا بتوان تاثیر سایر پارامترها به غیر از رطوبت را از خروجی حسگر حذف کرد.

همانطور که خورسندی و همکاران در گزارش خود اشاره کردند، مقدار ثابت دی الکتریک حسگر با درجه حرارت تغییر می کند. بدلیل اینکه داده های خروجی از حسگر علاوه بر محتوای رطوبت، به درجه حرارت، جنس خاک و سایر پارامترهای خاک نیز وابسته هستند، نمی توان یک شبکه عصبی واحد جهت ارزیابی هر دوسری داده های تست استاتیکی و دینامیکی حسگر اندازه گیری رطوبت، طراحی نمود. در نتیجه باید روی داده های تست دینامیکی حسگر اصلاحاتی از نظر

## REFERENCES

1. Andrade, P., Aguera, J., Upadhyaya, S., Jenkins, B., Rosa, U. & Josiah, M. (2001). Evaluation of a dielectric-based moisture and salinity sensor for in-situ applications. **ASAE Paper** No. 011010. St. Joseph, Mich.: ASAE.
2. Khorsandi A., Hemmat A., Masoumi A. , Amirfattahi R.. (2011). Design, Development and Evaluation of a Continuous *Capacitance*-based *Sensor* for On-the-Go *Soil Moisture* Content Measurement. **Iranian Journal of Biosystems Engineering**,42(1): 1
3. Topp, G.C., DDavis, J.L. & Annan, A.p. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**. 16: 574-582.
4. Whalley, W.R.& Stafford, J.V. (1992). Real-time sensing of soil water content from mobile machinery: Options for sensor design. **Computers and Electronics Agriculture**. 7: 269-284.

## EVALUATING THE OUTPUT DATA OF AN ON-THE-GO SOIL MOISTURE SENSOR WITH THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

M. Jafari<sup>1</sup>, A. Banakar<sup>2\*</sup>, A. Hemmat<sup>3</sup>, A. Khorsandi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PhD student of Tarbiyat Modares University

<sup>2</sup> Assistant professor of Tarbiyat Modares University, [ah\\_banakar@modares.ac.ir](mailto:ah_banakar@modares.ac.ir)

<sup>3</sup> Professor of Isfahan University of Technology

<sup>4</sup> Graduated student of Isfahan University of Technology

### Abstract

Soil moisture content is one of the most important physical characteristics which has a great effect on agricultural products. Using capacitance-based sensor is a method of measuring soil moisture content. In this method, soil is a part of capacitance-based sensor dielectric. In this research, output frequencies of a capacitance-based sensor were fitted with neural network and the results were compared with regression. Fitting the static test data with neural network showed an appropriate result similar to Khorsandi et al (2011) acceptable regression result. Results showed that the designed neural network for the dynamic dataset could attain a better coefficient of determination ( $R^2 = 0.94$ ) than the regression ( $R^2 = 0.7$ ). However, no appropriate result was achieved in testing the designed network for the dynamic data with the static one. In addition to the soil moisture content, the output data of sensor depends on the temperature, soil type and other soil parameters. So, it is not possible to design a unique neural network for both of the dynamic and static tests data of this sensor.

**Keywords:** Neural Network, coefficient of determination ( $R^2$ ), Regression