Animal Production Research

Vol. 11, No. 3, 2022 (55-66)
doi: 10.22124/AR.2022.20726.1651
eISSN: 2538-6107 pISSN: 2252-0872

University of Guilan

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

Prediction of body weight of Sistani cows using computer vision

M. Khojastehkey[1], A. Sadeghipanah[2], N. Asadzadeh[2], A. Aghashahi[3], M. Keikhah Saber[4], M. Bitaraf Sani[5*], S. Esmaeilkhanian[3]

1. Assistant Professor, Animal Science Research Department, Qom Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qom, Iran
2. Assistant Professor, Animal Science Research Institute of Iran, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3. Associate Professor, Animal Science Research Institute of Iran, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
4. Assistant Professor, Animal Science Research Department, Sistan and Baluchestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zahedan, Iran
5. Assistant Professor, Animal Science Research Department, Yazd Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yazd, Iran

(Received: 12-10-2021 – Accepted: 25-04-2022)

Introduction: Sistani cows are generally restless animals; therefore, controlling, treating, and weighing them is difficult. On the other hand, recording the weight of domestic animals, including Sistani cows, is inevitable, because it provides a good scale for management decisions in the herd such as balancing the diet, changing environmental conditions, or determining the time of slaughter of fattening animals. In addition to scales, various methods are commonly used to measure the body weight of large animals. Some of these methods include the use of weight-meters, appraisal assessments, and the use of mathematical models. One of the new methods for predicting livestock weight is artificial intelligence. Because some reports are indicating that artificial intelligence could facilitate the weighing process of animals, this study was performed to predict the body weight of Sistani cows using computer vision technology.

Materials and methods: The data required for this study were recorded in the Zahak breeding station located in Sistan and Baluchestan province of Iran. The recording operation involved the weighing and biometric measurement of about 190 Sistani cattle, including calves, heifers, and male and female animals, every three months during a year. At the time of weighing, images of the lateral view of each animal were taken and recorded using the CANON SX150IS digital camera. During this period, a total of 358 weight records of Sistani cows at different ages were recorded. The digital images were initially preprocessed using MATLAB software, and then some morphological features were extracted from each image. For predicting the weight of Sistani cows via the Artificial Neural Network (ANN), the extracted features of images were introduced to the ANN model as input and the weight of cows as output. The "feed-forward neural network", which was trained by the "error propagation" algorithm, was used to predict the weight of cows. The function used in the hidden layer of the ANN model was sigmoidal and in the output layer was linear. An ANN model which had the highest precision and lowest error was selected as the final model for predicting the animal weights. The criteria for selecting the best model were the highest determination coefficient (R^2) and the lowest mean square error (MSE) compared to other available models.

Results and discussion: Out of 22 features extracted from each image, only 15 of them, which had a higher correlation with the body weight of cows at different ages, were selected as effective features. As result, equivalent

* Corresponding author: mbetaraf58@gmail.com

diameter, major axis length, minor axis length, bounding box, convex area, filled area, area, perimeter, and the number of non-zero pixels of the image (NNZ) had the highest correlation with the cattle weights (P<0.01) and used as effective features to train the ANN model. The final ANN model had 15 neurons in the input layer including selected image features, 11 neurons in the hidden layer, and one neuron in the output layer including the weight of the cows. The precisions of the artificial neural network in the training, validation, and test phase were 0.974, 0.970, and 0.981, respectively. The results showed that the final ANN model had acceptable precision in all light, medium, and heavy-weight cows, and the size and the age of animals did not have a significant effect on the precision of the artificial neural network model. A correlation between the actual weight of Sistani cows and the weights predicted by the ANN model was 98.3%. The average error of the model in predicting the weight of cows was 1.11%. In the practical test, a 2.32 kg deviation was observed between the predictions of the ANN model and actual weights in Sistani cows. The accuracy of the ANN model for predicting the weight of Sistani cows in the present study is acceptable and within the range of the other reports.

Conclusions: The proposed method based on image processing and ANN, had acceptable results in predicting the weight of Sistani cows. Given the difficulties of weighing Sistani cows as heavy livestock and sometimes the time-consuming process, it seems that the use of new technologies such as computer vision methods can be a good alternative to conventional weighing methods and facilitate and reduce recording costs of Sistani cows.

Keywords: Computer vision, Weight prediction, Sistani cattle, Artificial intelligence

How to cite this article:

Khojastehkey M., Sadeghipanah A., Asadzadeh N., Aghashahi A., Keikhah Saber M., Bitaraf Sani M. and Esmaeilkhanian S. 2022. Prediction of body weight of Sistani cows using computer vision. Animal Production Research, 11(3): 55-66. doi: 10.22124/AR.2022.20726.1651

تحقیقات تولیدات دامی

سال یازدهم/شماره سوم/پاییز ۱۴۰۱ (۶۶-۵۵)

Animal Production Research

دانشگاه گیلان

مقاله پژوهشی

پیش‌بینی وزن بدن گاوهای سیستانی با استفاده از بینایی رایانه‌ای

مهدی خجسته کی[۱]، ابوالحسن صادقی پناه[۲]، نادر اسدزاده[۲]، علیرضا آقاشاهی[۳]، مرتضی کیخا صابر[۴]، مرتضی بیطرف ثانی[۵*]، سعید اسماعیل خانیان[۳]

۱- استادیار، بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قم، ایران

۲- استادیار، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳- دانشیار، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- استادیار، بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان و بلوچستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زاهدان، ایران

۵- استادیار، بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات ،آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵)

چکیده

از آنجا که استفاده از روش‌های جایگزین، از جمله روش‌های مبتنی بر استفاده از هوش مصنوعی، می‌توانند فرآیند وزن‌کشی دام‌ها را تسهیل کند، مطالعه حاضر با هدف پیش‌بینی وزن گاوهای سیستانی با استفاده از فناوری بینایی رایانه‌ای انجام شد. بدین منظور، گاوهای سیستانی موجود در ایستگاه زهک برای یک دوره یک‌ساله وزن‌کشی شده و به‌طور هم‌زمان از نمای جانبی هر دام، تصاویر دیجیتال تهیه شد. تصاویر دیجیتال ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Matlab مورد پیش‌پردازش قرار گرفت و سپس برخی خصوصیات شکل‌شناسی از هر یک از آنها استخراج شد. برای پیش‌بینی وزن گاوها، خصوصیات استخراج شده از تصاویر به عنوان ورودی و وزن هر دام به عنوان خروجی جهت آموزش به شبکه عصبی مصنوعی معرفی شد. مدلی که دارای بالاترین دقت و کمترین خطا بود به عنوان مدل نهایی جهت پیش‌بینی وزن دام‌ها انتخاب شد. بر اساس نتایج، قطر معادل، طول محور اصلی، طول محور فرعی، جعبه محاطی، مساحت قسمت محدب، مساحت ناحیه پر شده، محیط تصویر، مساحت تصویر و تعداد نقاط سفید تصویر دارای همبستگی بالاتری با وزن گاوهای سیستانی بود ($P<0/01$). مدل شبکه عصبی مصنوعی توانست با دقت ۹۷/۴ درصد، وزن گاوهای سیستانی را از روی خصوصیات تصاویر دیجیتال آن‌ها پیش‌بینی کند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد، فناوری بینایی رایانه‌ای، قابلیت مناسبی برای پیش‌بینی وزن گاوهای سیستانی داشته و می‌تواند جایگزین روش‌های متداول کنونی شود.

واژه‌های کلیدی: بینایی رایانه‌ای، پیش‌بینی وزن، گاو سیستانی، هوش مصنوعی

* نویسندهٔ مسئول: mbetaraf58@gmail.com

doi: 10.22124/AR.2022.20726.1651

مقدمه

مهار گاوهای سیستانی که از جمله گاوهای کوهان‌دار و متعلق به گونه بوس ایندیکوس هستند به جهت خوی ناآرام و نیمه‌وحشی این گاوها مشکل است و انجام تیمارهای روزمره این گاو نظیر خون‌گیری، سم‌چینی و وزن‌کشی آن با دشواری‌هایی همراه است Sargolzehi, 1998; Bazi *et al.,* (2006). ثبت رکورد وزن در دام‌های اهلی و از جمله گاوهای سیستانی اجتناب‌ناپذیر است و علاوه بر آنکه توزین گاوها، امکان مقایسه عملکرد تولیدی دام‌ها را فراهم می نماید، تغییرات این رکوردها معیار مناسبی را برای تصمیم گیری‌های مدیریتی در گله نظیر تغییر جیره غذایی، تغییر شرایط محیطی و یا تعیین زمان کشتار گله فراهم می‌کند. برای اندازه‌گیری یا برآورد وزن بدن دام‌های بزرگ، علاوه بر باسکول، استفاده از روش‌های مختلفی متداول است. برخی از این روش‌ها شامل استفاده از وزن- متر، ارزیابی چشمی و استفاده از مدل‌های ریاضی پیش‌بینی وزن بدن است (Mahmoud *et al*., 2014). پیش‌بینی وزن دام با استفاده از ارزیابی چشمی یک مهارت انفرادی است که بر اساس آن یک فرد بر حسب تجربه می‌تواند از روی ظاهر دام، وزن آن را به‌صورت تقریبی پیش‌بینی نماید. روش چشمی اغلب با اشتباهاتی همراه است و درصد خطای آن نیز قابل توجه است. به عنوان مثال، حیوانات با رنگ روشن و سفید معمولاً بزرگ‌تر از حیوانات با رنگ تیره به نظر می‌رسند و یا اینکه، برخی دام‌ها دارای اسکلت بزرگ‌تر از حد معمول هستند که همین موضوع باعث برآورد بیش از حد واقعی وزن دام می شود (Otoikhian *et al*., 2008). در استفاده از مدل‌های ریاضی به منظور پیش‌بینی وزن دام معمولاً اندازه‌های بدن شامل ارتفاع جدوگاه، دور سینه، عمق سینه، طول بدن، استخوان پیشانی، ارتفاع کپل، فاصله بین چشم‌ها، طول گوش، عرض گوش و طول دم که با وزن زنده دام ارتباط ریاضی دارند به عنوان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در مدل های برآورد وزن، مورد استفاده قرار می‌گیرند. نتایج بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که دور سینه، طول بدن، عرض لگن و ارتفاع جدوگاه مناسب‌ترین و مطمئن‌ترین فراسنجه‌ها برای پیش‌بینی وزن زنده دام هستند (Atta and el-Khidir, 2004; Abegaz and Awgichew, 2009; Tasdemir *et al*., 2011). وزن-متر بر اساس ارتباط ریاضی بین ابعاد بدن و وزن دام‌های اهلی ابداع شده است (De Villers *et al*., 2010). البته کالیبره نمودن وزن-متر برای نژادهای مختلف از یک گونه دام‌های اهلی که از لحاظ فیزیولوژیکی متفاوت هستند، کار دشواری است. برای مثال گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهند استفاده از نوارهای وزن‌کشی کالیبره شده برای پیش‌بینی وزن گاوهای هلشتاین یا سایر نژادهای گوشتی اروپایی در مورد پیش‌بینی وزن گوساله‌های آفریقایی، عملکرد مناسبی نداشته و وزن گوساله‌ها را بیش از حد واقعی پیش‌بینی کرده است (Wangchuk *et al*., 2017). روش دیگر برای پیش‌بینی وزن دام، استفاده از هوش مصنوعی است. هوش مصنوعی فناوری مبتنی بر علوم رایانه و شامل هر نوع سیستمی است که می‌تواند واکنش هایی مشابه رفتارهای هوشمند نظیر درک مسائل پیچیده، شبیه‌سازی فرآیندهای فکری و استدلالی، یادگیری و توانایی کسب دانش و استدلال برای حل مسایل مختلف داشته باشد (Yudkowsky, 2008). در این فناوری که در سال‌های اخیر توسعه قابل توجهی یافته است، معمولاً با استفاده از امکانات نرم افزاری و سخت افزاری در علوم رایانه و بهره‌گیری از ابزارهای داده‌کاوی نظیر شبکه عصبی مصنوعی، اقدام به پیش‌بینی وزن بدن دام‌های اهلی از روی اندازه‌های بدنی آن‌ها می‌کنند. این فناوری در حال حاضر مورد توجه قرار گرفته و به دلیل سهولت استفاده و دقت پیش‌بینی بالا، امکان جایگزین شدن آن با روش‌های سنتی و قدیمی پیش‌بینی وزن دام نظیر نوار وزن‌کشی و یا استفاده از معادلات خطی وجود دارد (Yudkowsky, 2008). تاکنون مطالعات متعددی بر مبنای استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و پردازش تصویر برای پیش‌بینی وزن بدن دام انجام شده است. به عنوان مثال محققان در مطالعه‌ای با استفاده از پردازش تصویر گاومیش‌ها موفق شدند تا با دقت ۹۰ درصد، وزن زنده دام را از روی مساحت جانبی آن پیش‌بینی کنند (Negretti *et al*., 2008a). در یک مطالعه با استفاده از پردازش تصاویر حرارتی نسبت به پیش‌بینی وزن گاو اقدام نمودند. نتایج نشان داد که مدل آماری مورد استفاده برای پیش‌بینی وزن دارای دقت برابر با ۷۹/۸ درصد است و خطای مدل نیز ۲۰/۲ درصد گزارش شد (Stajnko

et al., 2010). همچنین از فناوری پردازش تصویر برای پیش‌بینی وزن گوساله‌های آنگوس و نلور استفاده شد. مدل پیشنهادی وزن دام‌ها را با دقت معادل ۰/۶۹ تا ۰/۸۴ پیش-بینی کرد (Gomes *et al*., 2016). در مطالعه‌ای دیگر، اندازه های بدن گاوهای هلشتاین با استفاده از تجزیه و تحلیل تصویر دیجیتال تعیین و وزن زنده گاوها با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیون پیش‌بینی شد. ضریب همبستگی بین مقادیر وزن زنده برآورد شده از روش هوش مصنوعی با وزن واقعی دام‌ها به میزان ۰/۹۷ برآورد شد (Tasdemir *et al*., 2011). در یک مطالعه با استفاده از پردازش تصویر، وزن خوک‌ها با خطای متوسط کمتر از پنج درصد پیش‌بینی شد که البته مقدار خطای مدل در نژادهای مختلف متفاوت بود و در برخی از نژادها به کمتر از دو درصد نیز می‌رسید (Li *et al*., 2015). در یک تحقیق، برآورد وزن دام به وسیله مدل رگرسیون چندگانه از روی اندازه‌های بدنی گاو در تصاویر نمای جانبی و نمای بالایی از پنج تا ۱۱/۷ درصد خطا داشت و وزن گاوها به‌طور متوسط، ۲۱/۸ کیلوگرم نسبت به مقادیر واقعی انحراف داشت (Seo *et al*., 2011). مطالعه حاضر با هدف طراحی و تولید یک مدل هوشمند با استفاده از فناوری پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی وزن گاوهای سیستانی در ایستگاه زهک استان سیستان و بلوچستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

رکوردبرداری فنوتیپی و تصویربرداری: داده‌های مورد نیاز در این تحقیق در ایستگاه پرورش و اصلاح نژاد گاوهای سیستانی زهک واقع در استان سیستان و بلوچستان تهیه و ثبت شد. عملیات ثبت رکورد شامل وزن‌کشی حدود ۱۹۰ راس گاو سیستانی شامل گوساله، تلیسه و دام‌های مولد نر و ماده بود که در طول یک سال و تقریباً هر سه ماه یک بار انجام شد. در زمان رکوردبرداری گاوها، همزمان از نمای جانبی آنها تصاویری با استفاده از دوربین دیجیتال CANON مدل SX150IS تهیه و ثبت شد. در هنگام وزن-کشی و همچنین تصویربرداری، گاوها در باکس انفرادی مهار شده بودند و تصویربرداری از آنها از فاصله ثابت دو متری و از نمای جانبی سمت چپ انجام شد. در این مدت مجموعاً ۳۵۸ رکورد وزن از گاوهای سیستانی در سنین مختلف ثبت شد.

آماده‌سازی و ویرایش اولیه تصاویر: تصاویر دیجیتال برداشت شده از گاوها برای استفاده در تجزیه و تحلیل‌های بعدی نیازمند پردازش اولیه بود. پردازش تصاویر با استفاده از رابط گرافیکی GUI[1] در محیط نرم افزاری MATLAB انجام شد. در مرحله پردازش تصویر، ابتدا عکس‌ها از حافظه رایانه فراخوانی شد و سپس برخی ویرایش‌های لازم شامل جدا کردن تصویر اصلی از پس‌زمینه، تنظیم بزرگ‌نمایی تصویر، تبدیل تصویر رنگی به سیاه و سفید، فیلترینگ و قطعه‌بندی به منظور استفاده از بخشی از یک تصویر انجام گرفت.

استخراج خصوصیات از تصاویر و انتخاب خصوصیات موثر: استخراج خصوصیات از تصویر در واقع تولید مجموعه‌ای از فراسنجه‌های عددی از هر تصویر بود. این کار با استفاده از برخی توابع و دستورات موجود در محیط نرم افزار MATLAB (2018) انجام شد. محیط GUI امکان فراخوانی تصاویر، تبدیل تصاویر و پردازش تصاویر دیجیتال را برای کاربر فراهم نموده و به‌صورت تخصصی برای پردازش تصویر طراحی شده است. محیط GUI با استفاده از برنامه‌نویسی رایانه‌ای، یک سری ویژگی‌های منحصر بفرد از یک تصویر از جمله تعداد پیکسل‌ها، ابعاد تصویر، خصوصیات رنگ‌ها و غیره را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. برخی از مهمترین این خصوصیات شامل میانگین، انحراف معیار، فاصله‌ها، زاویه‌ها، مساحت، محیط، طول محور اصلی[2]، طول محور فرعی[3]، قطر معادل[4]، تعداد نقاط غیر صفر تصویر و فاصله اقلیدسی بود. ویژگی‌های مذکور بر اساس خصوصیات و مختصات نقاط و پیکسل‌های داخل و حاشیه تصویر هر گاو با نرم افزار محاسبه می‌شود. به عبارتی هر پیکسل درون تصویر دارای یک مقدار و ارزش عددی است که این ارزش در تصاویر سیاه و سفید به‌صورت ۰ و ۱ تعریف می‌شود و در تصاویر رنگی از ۱ تا ۲۵۵ تغییر می‌کند. علاوه بر مقادیر عددی پیکسل‌ها در هر تصویر، فاصله نقاط با یکدیگر و نیز تعداد نقاط هر تصویر نیز باعث ایجاد خصوصیات منحصر بفرد برای آن تصویر می-

1. Graphical user interfaces
2. Major axis length
3. Minor axis length
4. Equivalent diameter

شود. برای مثال در مورد دو ویژگی محیط و مساحت بدن گاوها، نرم افزار با توجه به تعداد نقاط حاشیه و دور تصویر هر گاو، محیط آن را محاسبه و گزارش می‌کند و با شمارش تعداد نقاطی که سطح بدن دام را پوشانده است مساحت بدن را محاسبه و گزارش می‌نماید.

از بین ۲۲ ویژگی انتخاب شده فقط ۱۵ مورد که با وزن بدن گاوها در مقاطع زمانی مختلف همبستگی بالاتری داشتند به عنوان ویژگی‌های موثر انتخاب شدند. برآورد ضرایب همبستگی پیرسون بین خصوصیات عددی تصاویر و وزن گاوهای سیستانی با استفاده از نرم افزار SPSS (2016) انجام شد. در شکل ۱ نمونه‌ای از مراحل آماده‌سازی تصویر نمایش داده شده است.

انجام داده‌کاوی اطلاعات: داده‌کاوی در واقع کشف ارتباط ریاضی بین خصوصیات عددی استخراج شده از تصاویر با وزن گاوهای سیستانی بود. مراحل داده‌کاوی با استفاده از محیط شبکه عصبی مصنوعی نرم افزار Matlab انجام شد. شبکه عصبی پیش‌بینی شده از نوع "شبکه عصبی پیش-خور[1]" بود که با الگوریتم "پس‌انتشار خطا[2]" آموزش داده شد. تابع مورد استفاده در لایه دوم از نوع سیگموئیدی و در لایه سوم از نوع خطی بود. اطلاعات ورودی به شبکه عصبی مصنوعی شامل ۱۵ مورد از خصوصیات انتخاب شده از تصاویر دیجیتال و اطلاعات خروجی شبکه عصبی شامل وزن گاوها بود که در آموزش شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفت. از مجموع ۳۵۸ تصویر موجود، تعداد ۴۳ تصویر به‌صورت تصادفی انتخاب و برای آزمون عملی نهایی مورد استفاده قرار گرفت و ۳۱۵ تصویر باقیمانده برای آموزش، اعتبارسنجی و آزمون اولیه مدل با نسبت ۸۰، ۱۰ و ۱۰ درصد استفاده شد.

در مرحله آموزش، ویژگی‌های موثر به عنوان ورودی از یک سو و وزن دام‌ها به عنوان خروجی از سوی دیگر به شبکه عصبی معرفی شد. در مرحله آزمون عملی شبکه عصبی، هر یک از ۴۳ تصویر به‌صورت یک به یک به شبکه معرفی شدند. ابتدا ویژگی‌های موثر ۱۵گانه از هر تصویر استخراج و به مدل معرفی شد و بر اساس این ویژگی‌های ورودی، وزن دام‌ها به وسیله مدل پیش‌بینی شد. اختلاف وزن واقعی و وزن پیش‌بینی شده دام‌ها، دقت مدل را در آزمون عملی تعیین کرد. در نهایت مدل شبکه عصبی که دارای بالاترین دقت و کمترین خطا بود به عنوان مدل نهایی جهت تخمین وزن گاوها از روی تصاویر دیجیتال آنها معرفی شد. معیار انتخاب بهترین مدل، بالاترین ضریب تعیین مدل (R^2) و کمترین میانگین مربعات خطا (MSE) در مقایسه با سایر مدل‌های موجود بود.

نتایج و بحث

پردازش تصویر و انتخاب ویژگی‌های موثر: در جدول ۱ ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر همراه با ضریب همبستگی آنها با وزن بدن گاوها ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود تعداد ویژگی‌های تعریف شده، ۱۲ عدد و شامل مساحت (Area)، محیط (Perimeter)، قطر معادل (Equivalent diameter)، طول محور اصلی (Major axis length)، طول محور فرعی (Minor axis length)، جعبه محاطی (Bonding box)، مساحت محدب (Convex area)، انجماد (Solidity)، مساحت ناحیه پر شده (Filled area)، تعداد نقاط غیر صفر (NNZ)، تعداد نقاط غیر صفر در اسکلت تصویر (NNZ skeleton) و فاصله اقلیدسی (Euclidian distance) است که البته به‌صورت مجزا و برای دو نوع تصویر سیاه و سفید و تصاویر لبه‌گذاری شده مورد محاسبه و استخراج قرار گرفته است و با این حساب در مجموع در جدول ۱ تعداد ۲۲ ویژگی منحصر بفرد در دو ستون مجزا نمایش داده شده است. امکان محاسبه ویژگی فاصله اقلیدسی در تصاویر سیاه و سفید و امکان محاسبه تعداد نقاط سیاه و سفید در تصاویر لبه‌گذاری شده وجود نداشت و بنابراین مقداری برای آنها گزارش نشده است. میزان و شدت این همبستگی‌ها با توجه به ماهیت صفات مورد مطالعه متفاوت بود و از حداقل، ۰/۰۲ تا حداکثر، ۰/۹۶ تغییر می‌کرد. برای پیش‌بینی وزن گاوها از روی خصوصیات تصاویر دیجیتال، در مجموع ۱۵ ویژگی از ۲۲ ویژگی که با وزن گاوها ارتباط بیشتری داشت، به عنوان ویژگی‌های موثر در طراحی مدل نهایی استفاده شد.

1. Feed-forward neural network
2. Back propagation

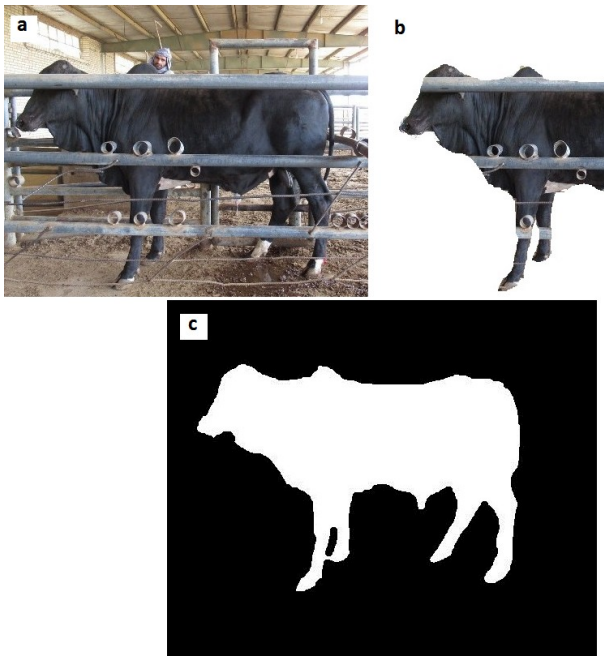

Fig. 1. Steps of image preparation of Sistani calves: colour image (a), fragmented image (b), and binary image (c)
شکل ۱- مراحل آماده‌سازی تصویر گوساله‌های سیستانی: تصویر رنگی (a)، تصویر قطعه‌بندی شده (b) و تصویر سیاه و سفید (c)

در طراحی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، ترکیب متفاوتی مورد استفاده و آزمایش قرار گرفت و در نهایت، مدلی که بالاترین دقت را داشت انتخاب و به عنوان مدل نهایی معرفی شد. در طراحی مدل شبکه عصبی مصنوعی آنچه باعث تغییر دقت می‌شود تعداد ورودی‌ها، تعداد نورون در لایه پنهان و توابع محاسباتی است. در مطالعه حاضر، ورودی‌های مدل و توابع ثابت و یکسان بود و فقط تعداد نورون های لایه پنهان به روش آزمون و خطا تغییر کرد تا بالاترین دقت بر اساس ضریب تعیین مدل حاصل شود. در این رابطه برای پیش‌بینی وزن گاوها از ۱۵ ویژگی استخراج شده از تصاویر که دارای همبستگی بیش از ۰/۸ با صفت مورد مطالعه بودند، به عنوان ورودی شبکه عصبی استفاده شد. از آنجا که خصوصیات شکل‌شناسی انتخاب شده عمدتاً با ابعاد تصویر مرتبط هستند و از طرفی افزایش وزن بدن گاوها در سنین مختلف با افزایش حجم و ابعاد بدن آنها همراه است، لذا وجود همبستگی مثبت و بالا بین ویژگی‌های شکل‌شناسی استخراج شده از تصاویر با وزن بدن حیوان در سنین مختلف قابل پیش‌بینی بود. این همبستگی‌های مثبت و بالا مبنای تهیه مدل ریاضی است که بر اساس آن با تغییرات اندازه بدن گاوها در سنین مختلف نظیر تغییر مساحت بدن، تغییر محیط و نظایر آن می‌توان وزن و ابعاد بدن در سنین مختلف را پیش‌بینی کرد. نتایج یک مطالعه نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین تغییر حجم و مساحت بدن گوسفند با تغییرات وزن آن‌ها وجود دارد و با تکیه بر این ارتباط، پیش-بینی وزن دام‌ها از روی اندازه‌های بدنی قابل انجام است (Cannas and Boe, 2003).

نتایج مطالعات متعدد در خصوص پیش‌بینی وزن بدن دام نشان می‌دهد که ویژگی‌های شکل‌شناسی در بیشتر موارد با تغییرات ابعاد و اندازه بدن دام مورد مطالعه دارای ارتباط ریاضی معنی‌داری هستند. در یک مطالعه با استفاده از خصوصیات شکل‌شناسی استخراج شده از تصاویر دیجیتال و شبکه عصبی مصنوعی، وزن بدن گوسفندان زندی پیش‌بینی شد (Khojastehkey *et al.*, 2016a). در مطالعه‌ای با کمک گرفتن از خصوصیات شکل‌شناسی نظیر مساحت، محیط و تعداد نقاط غیرصفر تصویر، اندازه‌های بدن در چهار نوع ماهی مختلف پیش‌بینی شد (Hao *et al*., 2016). همچنین محققان از خصوصیات شکل‌شناسی شامل مساحت، محیط، طول محور اصلی، طول محور فرعی و فاصله اقلیدسی برای پیش‌بینی مساحت پوست بره‌های گوسفند زندی استفاده نمودند (Khojastehkey *et al*., 2015b). تمامی گزارش‌های

جدول ۱- همبستگی بین خصوصیات استخراج شده از تصاویر با وزن گاوهای سیستانی
Table 1. Correlation between extracted features from pictures with the weight of Sistani cows

Extracted feature	Image type	
	Edged image	Black and White
Area	0.86	0.96
Perimeter	0.66	0.85
Equivalent diameter	0.7	0.95
Major axis length	0.9	0.93
Minor axis length	0.88	0.86
Bonding box	0.31	0.23
Convex area	0.94	0.94
Solidity	0.17	0.02
Filled area	0.77	0.96
NNZ	0.86	0.96
Skeleton NNZ	-	0.84
Euclidian distance	-0.92	-

ذکر شده، نتایج مطالعه حاضر در خصوص اثربخشی و ارتباط بالای ویژگی‌های شکل‌شناسی تصاویر دیجیتال با وزن گاوهای سیستانی را تأیید می‌کند.

پیش بینی وزن گاوهای سیستانی با استفاده از خصوصیات استخراج شده از تصاویر: نمودار کارآیی شبکه عصبی مصنوعی و نمودار دقت شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده به منظور پیش‌بینی وزن گاوهای سیستانی از روی خصوصیات تصاویر دیجیتال آنها به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. همچنین ساختار مدل نهایی شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی وزن گاوهای سیستانی در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می شود بهترین عملکرد شبکه عصبی در مرحله ۳ حاصل شده است. این نمودار نشان می‌دهد که عملکرد شبکه عصبی مناسب بوده است، زیرا نمودارهای مربوط به اعتبارسنجی و آزمون شبکه دارای تغییرات مشابه و یکسانی هستند و در نقطه‌ای که بهترین کارآیی به‌دست آمده است، بین این منحنی‌ها تقاطع وجود ندارد. میزان دقت شبکه عصبی مصنوعی بر حسب ضریب تعیین مدل در مرحله آموزش، ۰/۹۷۴، در مرحله اعتبارسنجی، ۰/۹۷۰، در مرحله آزمون، ۰/۹۸۱ و در مجموع مراحل، ۰/۹۷۴ برآورد شد که به عنوان دقت روش استفاده شده در نظر گرفته می‌شود.

بررسی و مقایسه خروجی‌های مدل با وزن واقعی گاوهای سیستانی: انحراف اوزان واقعی گاوهای سیستانی از وزن‌های پیش‌بینی شده به وسیله مدل نهایی در جدول ۲ نشان داده شده است. ارائه ۴۳ تصویر مجزا به مدل نهایی به منظور پیش‌بینی وزن گاوهای سیستانی نشان داد که مدل هوشمند طراحی شده می‌تواند به خوبی وزن گاوها را از روی تصاویر دیجیتال آنها پیش‌بینی کند.

نتایج نشان داد درشتی و کوچکی اندازه جثه دام‌ها و سن آنها در دقت مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی وزن، تاثیر چندانی نداشته است و بر اساس نتایج جدول ۲، عملکرد مدل پیشنهادی در هر سه گروه وزنی سبک وزن، متوسط وزن و سنگین وزن با دقت قابل قبولی همراه بوده است.

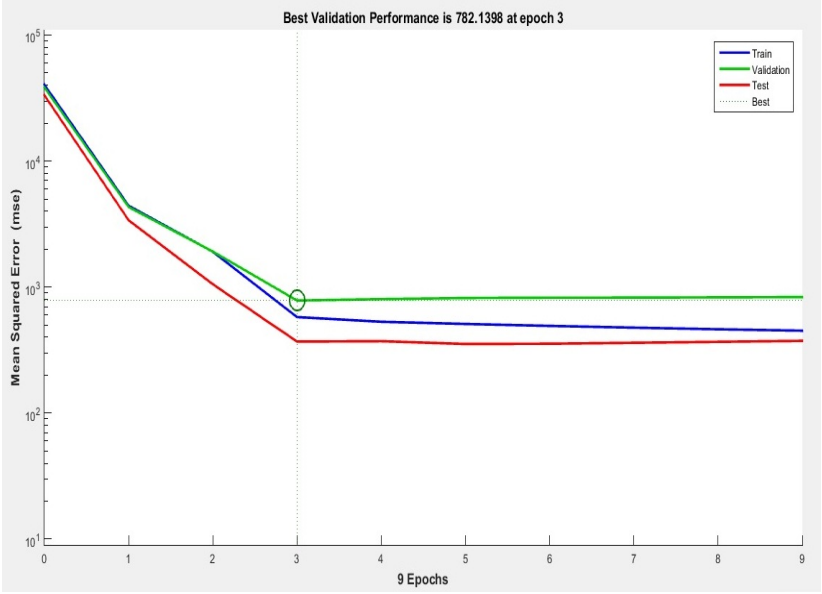

Fig. 2. Diagram of the artificial neural network efficiency to estimate the weight of Sistani cows using image features

شکل ۲- نمودار کارآیی شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی وزن گاوهای سیستانی از روی خصوصیات تصویر

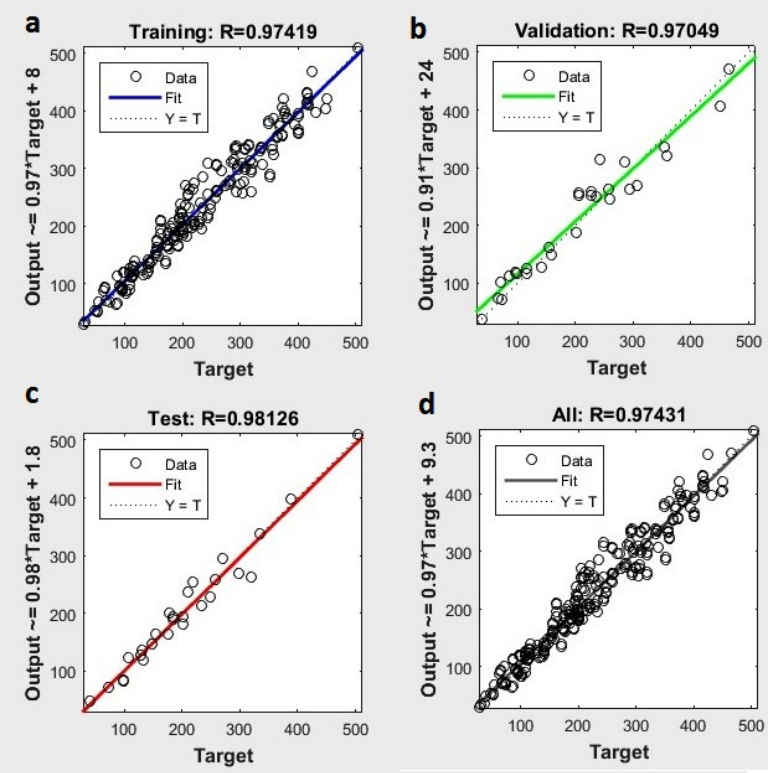

Fig. 3. Precision of neural network in estimating the weight of cows based on image features in training (a), validation (b), testing (c), and total steps (d)

شکل ۳- دقت شبکه عصبی در پیش‌بینی وزن گاوها از روی خصوصیات تصویر طی مراحل آموزش (a)، اعتبارسنجی (b)، آزمون (c) و مجموع مراحل (d)

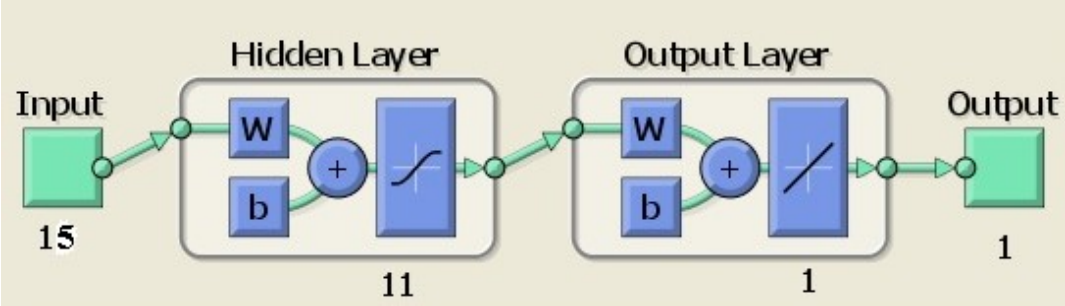

Fig. 4. Structure of the final artificial neural network to estimate the weight of Sistani cows

شکل ۴- ساختار مدل نهایی شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی وزن گاوهای سیستانی

جدول ۲- مقایسه انحراف وزن‌های واقعی گاوها از وزن پیش‌بینی شده به وسیله مدل نهایی

Table 2. The average deviation between actual and predicted weight for Sistani cows by the final model

Animal weight (kg)	Number of records	Average actual weight	Average predicted weight	Minimum deviation	Maximum deviation	Average deviation	Error (%)
Less than 140 kg	14	79.50	79.24	-0.60	24.15	-0.26	0.33
141-240 kg	14	198.29	203.91	1.97	-36.82	5.65	2.85
More than 240 kg	15	373.33	374.94	0.96	41.21	1.61	0.48
Mean		208.11	210.43	--	--	2.32	1.11

کمترین خطا و بالاترین دقت مربوط به پیش‌بینی وزن گوساله‌های کوچک و بیشترین خطا در پیش‌بینی وزن گوساله‌های با وزن متوسط حاصل شده است و گاوهای سنگین وزن نیز با درصد خطای برابر با ۰/۴۸، موقعیت دقت متوسطی را داشته‌اند. بین وزن واقعی گاوهای سیستانی و وزن‌های پیش بینی شده به وسیله مدل نهایی در مجموع ۴۳ مشاهده نهایی دارای همبستگی ۹۸/۳ درصدی بودند. متوسط میزان خطای برآورد شده در پیش‌بینی وزن گاوها از روی خصوصیات تصاویر آن‌ها با استفاده از مدل پیشنهادی به میزان ۱/۱۱ درصد برآورد شد و مدل نهایی با خطای متوسط برابر با ۲/۳۲ کیلوگرم، وزن گاوها را بیشتر از وزن واقعی پیش‌بینی نمود. درصد خطای برآورد شده برای پیش-بینی وزن گاوهای سیستانی با استفاده از مدل‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر مبتنی بر پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی، قابل قبول و در محدوده دقت مدل‌های گزارش شده در سایر مطالعات مشابه در دام‌های اهلی است. به عنوان مثال در مطالعه‌ای با استفاده از پردازش تصویر، وزن زنده گاومیش‌ها از روی مساحت جانبی آنها با دقت ۹۰ درصد پیش‌بینی شد و در نهایت، برآورد وزن دام‌ها از روی تصاویر، ۱/۰۸ درصد بالاتر از وزن‌های اصلی بود (Negretti *et al*., 2008a). هم‌چنین در مطالعه‌ای با استفاده از پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی اقدام به پیش‌بینی وزن خوک‌ها نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل‌های پیشنهادی با خطای کمتر از پنج درصد توانست وزن خوک ها را از روی تصاویر آن‌ها پیش‌بینی کند (Wang *et al*., 2008). در مطالعه‌ای دیگر از فناوری پردازش تصویر برای پیش‌بینی وزن گوساله‌ها استفاده نمودند. دقت مدل‌های طراحی شده برای پیش‌بینی وزن گوساله‌های آنگوس و نلور در مطالعه مذکور ۰/۶۹ تا ۰/۸۴ بود (Gomes *et al*., 2016)، که در مقایسه با برآوردهای مطالعه حاضر در مورد گاوهای سیستانی از دقت کمتری برخوردار است. در یک مطالعه با استفاده از رگرسیون خطی، وزن گوساله‌های سیستانی با استفاده از اندازه دور سینه آنها با دقتی برابر با ۰/۹۶ پیش-بینی شد (Mirzaei, 1995)، که دقت آن در مقایسه با

مطالعه حاضر اندکی پایین‌تر است. در مدل مبتنی بر پردازش تصویر از خصوصیات شکل‌شناسی استخراج شده از تصاویر دیجیتال به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده استفاده شد که از جمله مهمترین این ویژگی‌ها، مساحت و محیط بدن گاوهای سیستانی از نمای جانبی آنها بود. در روش پردازش تصویر بر خلاف روش‌های خطی، بجای استفاده از ابعاد مختلف بدن دام به‌طور مستقیم از مساحت و محیط جانبی بدن آنها به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده استفاده می‌کنند و این موضوع با توجه به همبستگی بسیار بالای مساحت جانبی دام‌های اهلی با وزن آنها احتمالاً می‌تواند باعث افزایش دقت مدل نهایی برای پیش‌بینی وزن گاوهای سیستانی شده باشد. نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که همبستگی بالا و معنی‌داری بین مساحت جانبی دام‌های اهلی با وزن زنده آن‌ها وجود دارد. این همبستگی در دام‌هایی نظیر گاو، گوسفند، بز، گاومیش و اسب به وسیله محققان دیگر گزارش شده است (Negretti *et al*., 2007). در یک مطالعه، مساحت جانبی بدن گوسفند و بز که با استفاده از پردازش تصاویر دیجیتال محاسبه شده بود به ترتیب ۹۵ و ۹۶ درصد با وزن بدن آنها همبستگی داشت. معادلات رگرسیون طراحی شده بر این اساس با دقت ۹۵ درصد موفق به پیش‌بینی وزن زنده گوسفند و بز شد (Negretti *et al*., 2008b). هم‌چنین محققان همبستگی بالای بین مساحت جانبی بدن در بره‌های زندی را با وزن زنده آن‌ها گزارش نموده و موفق شدند با استفاده از پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی با دقت ۹۵ درصد، وزن بره‌ها را از روی تصاویر دیجیتال آن‌ها پیش‌بینی کنند (Khojastehkey *et al*., 2016b). این گزارشات نتایج مطالعه حاضر را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

روش پیشنهادی در مطالعه حاضر مبتنی بر استفاده از پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی، نتایج قابل قبولی در پیش‌بینی وزن گاوهای سیستانی ارائه نمود. بنابراین با توجه به دشواری‌های وزن‌کشی گاوهای سیستانی به عنوان یک دام سنگین وزن و گاهاً ناآرام و زمان‌بر بودن این فرآیند، به نظر می‌رسد استفاده از فناوری‌های نوین نظیر روش‌های بینایی رایانه‌ای می‌تواند به خوبی جایگزین روش‌های وزن کشی متداول شده و باعث تسهیل و کاهش هزینه‌های ثبت رکورد در گاوهای سیستانی شود. با انجام مطالعات تکمیلی در مورد انواع مختلف تصویربرداری و تکرار این آزمایش، امکان تولید سیستم پیش‌بینی وزن بدن گاوهای سیستانی به‌صورت یک اپلیکیشن و بسته کاربردی وجود خواهد داشت.

فهرست منابع

Abegaz S. and Awgichew K. 2009. Technical bulletin no. 23. Estimation of weight and age of sheep and goat. Ethiopia sheep and goat productivity improvement program. ESGPIP=.Ethiopia

Atta M. and el-Khidir O. A. 2004. Use of heart girth, withers height and scapuloischial length for prediction of love weight of Nilotic sheep. Small Ruminant Research, 55: 233-237.

Bazi H., Rashki M., Naghz Ali A. and Keikhasalar A. 2006. An introduction to the identification and status of Sistani cattle in the Sistan region - Extension Magazine - Registration Number: 1238/85. Sistan Agricultural and Natural Resources Research Center. (In Persian).

Cannas A. and Boe F. 2003. Prediction of the relationship between body weight and body condition score in sheep. Italian Journal of Animal Science, 2: 527-529.

De Villers J. F., Gcumisa S. T. and Gumede S. A. 2010. Weight band to estimate the live weight of meat goats. Agri update: information from the KZN department of Agriculture environmental affairs and rural development, south Africa.

Gomes R. A., Monterio G. R., Assis G. J., Busato K. C., Ladeira M. M. and Chizzotti M. L. 2016. Technical note. Estimating body weight and body composition of beef cattle through digital Image analysis. Journal of Animal Science, 94: 5414-5422.

Hao M. Yu H. and Li D. 2016. The measurement of fish size by machine vision-A review. IFIP International Federation for Information Processing. IFIP AICT, 479: 15-32.

Khojastehkey M., Abbasi M. A., Akbari Sharif A. and Hassani A. M. 2016a. Estimating the weight of newborn lambs using digital image processing. Research and Construction, 29(112): 99-104. (In Persian).

Khojastehkey M. Aslaminejad A. A., Shariati M. M. and Dianat R. 2016b. Body size estimation of new born lambs using image processing and its effect on the genetic gain of a simulated population. Journal of Applied Animal Research, 44(1): 326-330.

Li Z., Luo Ch., Teng G. and Lin T. 2015. Estimation of pig weight by machine vision. A review. 7th International Conference on Computer and Computing Technology in Agriculture. Beijing, China. Pp. 42-49.

Mahmoud M. A., Shaba P. and Zubairu U. V. 2014. Live body weight estimation in small ruminant: areview. Global Journal of Animal Scientific Research, 2: 102-108.

Matlab. 2018. The Math Works, Inc., Natick, Massachusetts, United States.

Mirzaei H. R. 1995. Determining the growth and fattening potential of male Sistani calves in station and village conditions in Sistan, MSc Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian).

Negretti P., Bianconi G., Bartocci S. and Terramoccia S. 2007. Lateral trunk surface as a new parameter to estimate live body weight by visual image analysis. Italian Journal of Animal Science, 6: 1223-1225.

Negretti P., Bianconi G., Bartocci S., Terramoccia S. and Verna M. 2008a. Determination of live weight and body condition score in lactating Mediterranean buffalo by visual image analysis. Livestock Science, 113: 1-7.

Negretti P., Bianconi G., Bartocci S., Terramoccia S. and Noè L. 2008b. New morphological and weight measurements by visual image analysis in sheep and goats. New trends for innovation in the Mediterranean animal production, 6-8 November, Corte, France.

Otoikhian C. S. O., Otoikhian A. M., Akporhuarho O. P. and Isidahoman C. 2008. Correlation of body weight and some body measurement parameters in Quda sheep under extensive management system. African Journal of General Agriculture, 4: 129-133.

Sargolzehi A. 1998. Economic study of fattening the Sistani cattle in two traditional and industrial methods- MSc Thesis, Faculty of Economics, Allameh Tabatabaei University, Tehran, Iran. (In Persian).

Seo K. W., Kim H. T., Lee D. W. and Yoon Y. C. 2011. Image processing algorithms for weight estimation of dairy cattle. Journal of Bio System Engineering, 36: 48-57.

SPSS. 2016. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 24.0. Armonk, NY: IBM Corp.

Stajnko D., Vindiš P., Janžekovič M. and Brus M. 2010. Non invasive estimating of cattle live weight using thermal imaging. New trends in technologies: Control, management, computational intelligence and network systems. Meng Joo Er (Editor), Books on Demand publication.

Tasdemir S., Urkmez A. and Inal S. 2011. A fuzzy rule-based system for predicting the live weight of Holstein cows whose body dimensions were determined by image analysis. Turkish Journal of Electronic Engineering and Computer Science, 19: 689-703.

Wang Y., Yang W., Winter P. and Walker L. 2008. Walk-through weighing of pigs using machine vision and an artificial neural network. Biosystems Engineering, 100: 117-125.

Wangchuk K., Wangdi J. and Mindu M. 2017.Comparison and reliability of techniques to estimate live cattle body weight. Journal of Applied Animal Research, 46: 349-352.

Yudkowsky E. 2008. Artificial Intelligence as a Positive and Negative Factor in Global Risk, edited by Nick Bostrom and Milan M. Ćirković, 308-345. New York: Oxford University Press.