



Design, construction and evaluation of cow's milk adulteration monitoring system

Raheb Frotan Bigbaghloo¹, Ali Hassanpour^{2✉} and Faroogh Sharifian³

¹Phd student, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

²Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

³Associate Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

 ✉ Corresponding author: a.hassanpour@urmia.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 2024-11-03

Accepted: 2025-05-10

Published: 2025-05-31

Keywords:

Detection of Milk adulteration, Simultaneous measurement, Electrical and Optical Resistance.

ABSTRACT

Background: Milk is one of the most widely consumed foods, but the failure to detect its counterfeiting by existing devices has created a serious challenge for the dairy industry. Among the counterfeiting of milk, the addition of water, salt, and powdered ingredients can be mentioned, and to detect it, several characteristics of milk must be monitored.

Aims: the aim of this research was to measure the electrical and optical resistance of milk simultaneously and showed that this method can detect combined adulteration of milk.

Methods: A proposed system was developed which includes a sensor and processor unit. In this device; by passing a direct current through the milk, charged suspended materials were absorbed on the surface of the electrodes and caused the dilution of the milk. In the sensor unit two sensors, a conductivity meter and a photocell were used. These sensors through measuring the electrical and optical resistance of the milk simultaneously, showed the purity or adulteration of the milk based on the voltage of the sensors. A factorial design was used to process the data. The treatments were excess water, excess brine, 70% skimmed milk, 70% skimmed milk with water and excess brine. The volume of additives was 5, 10, 20, 30 and 40% of the sample volume.

Results: The results showed that changes in electrode and photocell voltages were significant ($P < 0.05$) in all treatments, and the data correlation coefficient was more than 0.95.

Conclusion: It seems that by measuring the electrical and optical resistance of milk simultaneously, it is possible to detect combined adulterations of milk.



Extended Abstract

Introduction: Milk is considered one of the most essential and most consumed food items due to its constituent elements. Today, the failure to recognize adulterated milk by existing devices; has caused the dairy products industry to face a serious challenge. The methods of measuring the quality and adulteration of milk have been specified according to the standards and many tools and devices have been made based on its physical, chemical and electrical characteristics. Of course, the quality of milk is also measured by methods such as Soxhlet, Dornik and Gerber, but these methods are laboratory and require their materials and equipment, and are beyond the scope of non-professional milk industry activists. This research hypothesizes that any quantitative and qualitative manipulation of milk causes a change in the concentration of milk, the amount of ions per unit volume of milk, or both of them, which is an obvious thing. With this assumption, a device that can monitor these two parameters simultaneously in the milk, will be able to detect common milk adulteration with high accuracy. Using the electric conductivity of milk with alternating current in detecting some frauds and pollution; has become more common, but the use of direct current is not allowed due to the polarization of the electrodes and the hydrolysis of the milk. Meanwhile, when direct current passes through the tap, a thin layer of charged suspended material is absorbed and deposited on the surface of the electrodes. This process dilutes the concentration of milk and can be used to measure its adulteration by using the optical properties of milk.

Material and methods: In this research, the proposed system was built and after pouring the prepared sample into the glass, the lid was placed on the glass. By pressing the start button, the electric current was established in the electrodes, lamp and photocell, and after one minute, the voltage of the electrode and photocell was measured, and the voltage values were displayed by LCD, and the data in the worksheet was registered. A completely

randomized design was used to analyze the data, and the independent factors were pure milk, 70% skimmed milk, milk with the addition of water and the addition of salt water, skimmed milk with the addition of water and the addition of salt water. The response factors were the voltages of the photocell and the electrodes sensors. The experiment was repeated three times. In this research, regression equations were used to code the device program. This system has two measuring parts and a display, which measuring part includes milk glass, probe, electrodes, photocell sensor and LED lamp.

Results and discussion: The results showed that the addition of any adulteration materials to milk causes a change in milk concentration or ion density per unit volume of milk, therefore, simultaneous monitoring of these two parameters can be effective in detecting milk adulteration. The addition of water to the milk diluted the concentration of the milk and decreased the ion density per unit volume, so the electrode voltage decreased and the photocell voltage increased. In skimmed milk, with the removal of fat globules from the milk, the concentration of the milk was diluted, but the ion density per unit volume of the milk increased, therefore the voltage of both the electrode and the photocell increased. In the combination of these two adulterations, this situation, caused a double increase in the photocell voltage and a slight change in the electrodes voltage compared to the normal state of the milk. Adding salt water to the milk did not have much effect on the photocell voltage, but its impact on the electrode voltage was noticeable.

Conclusion: Simultaneous measurement of several properties of milk is a new method to detect combined milk adulteration. In this research, the electrical and optical properties of the milk were monitored simultaneously. The results showed that the voltage changes of the photocell sensor and the electrode sensor can detect the combined adulteration of the milk.



پژوهش‌های صنایع غذایی

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۵۶۹۱، شاپا چاپی ۵۱۵x-۲۰۰۸

<https://foodresearch.tabrizu.ac.ir>



طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه پایش قلب در شیر گاو

راهب فروتن بیگ‌باغلو^۱، علی حسن‌پور^۲ و فاروق شریفیان^۳

^۱ دانش‌آموخته دکترای مکانیک بیوسیستم، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

^۲ استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

^۳ دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

✉ مسئول مکاتبه: a.hassanpour@urmia.ac.ir

چکیده

مشخصات مقاله

زمینه مطالعاتی: شیر یکی از پرمصرف‌ترین مواد غذایی محسوب می‌شود اما عدم تشخیص تقلبات تلفیقی آن توسط دستگاه‌های موجود؛ موجب شده است که صنعت فرآورده‌های لبنی با چالش جدی روبرو شود. از تقلبات تلفیقی شیر می‌توان افزودن همزمان آب، نمک و مواد پودری را نام برد که برای تشخیص آن، باید چند ویژگی شیر بطور همزمان پایش شود.

هدف: این پژوهش با هدف سنجش همزمان مقاومت الکتریکی و اپتیکی شیر انجام گرفت و نشان داد با این روش می‌توان تقلبات تلفیقی شیر را تشخیص داد.

روش کار: یک سامانه پیشنهادی ساخته شد که دارای واحد سنجشگر و پردازشگر است. در این دستگاه با عبور جریان مستقیم از شیر، مواد معلق باردار در سطح الکترودها جذب شده و رقیق شدن شیر را سبب می‌شود. در واحد سنجشگر، از دو حسگر هدایت‌سنج و فتوسل استفاده شد. این حسگرها با سنجش همزمان مقاومت الکتریکی و اپتیکی شیر، خلوص یا تقلبات شیر را بر مبنای ولتاژ حسگرها نشان می‌دهند. برای پردازش داده‌ها، از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تیمارها عبارت بودند از آب اضافی، آب‌نمک اضافی، شیر ۷۰٪ چربی‌گیری شده، شیر ۷۰٪ چربی‌گیری شده با آب و شیر ۷۰٪ چربی‌گیری شده با آب‌نمک اضافی. حجم مواد افزودنی ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد حجم نمونه بود.

نتایج: نتایج نشان داد که تغییرات ولتاژ الکتروود و فتوسل در همه‌ی تیمارها، ($p < 0.05$) معنی‌دار بوده و ضریب همبستگی داده‌ها، بیش از ۰/۹۵ بدست آمد.

نتیجه‌گیری کلی: با سنجش همزمان مقاومت الکتریکی و اپتیکی شیر، می‌توان تقلبات تلفیقی شیر را تشخیص داد.

نوع مقاله:

علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۳/۸/۱۳

پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۲۰

انتشار: ۱۴۰۴/۳/۱۰

کلید واژه:

تشخیص تقلبات

شیر، سنجش

همزمان، مقاومت

الکتریکی و اپتیکی



پژوهش‌های صنایع غذایی / دوره ۳۵ شماره ۱، ۱۴۰۴، صفحات ۱۹ تا ۳۱

DOI: [10.22034/fr.2025.59051.1906](https://doi.org/10.22034/fr.2025.59051.1906)



مقدمه

شیر با توجه به ارزش غذایی بالای آن، در سبد مصرفی خانوارها از ضروری‌ترین و پرمصرف‌ترین مواد غذایی محسوب شده و منبع مهمی برای تامین پروتئین و کلسیم می‌باشد (هایموف و همکاران ۲۰۱۶). شیر گاو از لحاظ درصد ترکیبات، به شیر انسان شباهت زیادی دارد (هاشم‌زاده و همکاران ۲۰۱۱). فرآورده‌های لبنی به‌طور عمده از شیر گاو تولید می‌شود (رندفسکی و همکاران ۲۰۱۷). طبق آمار سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO¹) در سال ۲۰۲۲، میزان تولید سالیانه شیر در ایران بیش از ۷/۸ میلیون تن بود از این رو بخش مهمی از اقتصاد کشور را تشکیل می‌دهد.

در حالت طبیعی، شیر گاو ترکیبی از ۸۷/۵ درصد آب، ۴ درصد چربی، ۳/۲ درصد پروتئین و ۵/۳ درصد کربوهیدرات، مواد معدنی، ویتامین و مواد دیگری است که در آب معلق هستند (حسین و دیو ۲۰۱۳). درصد چربی و پروتئین در فصول گرم، کمتر شده و در فصول سرد، بیشتر می‌شود (هاشم‌زاده و همکاران ۲۰۱۱).

امروزه کیفیت شیر توسط برخی دامداران یا فروشندگان، طوری به صورت ماهرانه دستکاری می‌شود که اکثر دستگاه‌های آزمایشگاهی مانند کرایوسکوپ، میکروتستر و لاکتومتر در تشخیص درست کیفیت شیر، کارایی خود را از دست می‌دهند. از طرفی چون روش آزمایشگاهی نیز، پیچیده و زمان‌بر است، به همین جهت کیفیت‌سنجی شیر با تکیه بر فناوری‌های نوین، ضرورت بیشتری پیدا می‌کند.

روش‌های اندازه‌گیری کیفیت و تقلبات شیر طبق استانداردها، مشخص شده و ابزارها و دستگاه‌های متعددی بر اساس ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و الکتریکی آن ساخته شده است. البته با روش‌هایی مانند سوکسله، درنیک و گربر نیز کیفیت شیر اندازه‌گیری می‌شود ولی این روش‌ها، آزمایشگاهی بوده و مواد و تجهیزات خاص خود را می‌طلبد و تشخیص تقلب از توان فعالان غیرحرفه‌ای صنعت شیر خارج است. امروزه، تقلبات

متعددی در شیر انجام گرفته و به صورت کاذب، کیفی‌سازی می‌شود که رایج‌ترین آن عبارتند از: اضافه کردن آب به شیر، اضافه کردن آب‌نمک به شیر، چربی‌گیری شیر، چربی‌گیری و اضافه کردن آب یا آب نمک به شیر.

یکی از دلایل مهمی که باعث می‌شود تقلبات شیر توسط دستگاه‌های موجود، قابل تشخیص نباشد، این است که ارزیابی کیفیت شیر بر اساس یکی از خواص آن انجام می‌گیرد و همین مسئله باعث می‌شود در صورت دستکاری کمی شیر و کیفی‌سازی کاذب آن، قدرت تشخیص دستگاه از بین برود. از این منظر، دستگاهی که بتواند همزمان با استفاده از چندین خاصیت شیر، کیفیت آن را بسنجد بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

اگر به شیر، مایع رقیق‌کننده مانند آب اضافه شود تراکم یون در واحد حجم شیر کمتر می‌شود یا اگر به آن مواد پودری اضافه شود شیر نسبت به حالت طبیعی خود، غلیظ‌تر می‌شود که یک امر بدیهی است. فرضیه تحقیق این است که در صورت دستکاری همزمان کمی و کیفی شیر، تغییرات تراکم یون و غلظت شیر ملموس‌تر می‌شود. با این فرض، دستگاهی که بتواند این دو پارامتر را، همزمان در شیر پایش کند، قادر خواهد بود تقلبات رایج شیر را با دقت بالایی تشخیص دهد.

در صنایع غذایی، از هدایت الکتریکی برای تشخیص آلودگی آب، فعالیت میکروبی مواد غذایی، ارزیابی کیفیت عسل، روغن خوراکی، گوشت، میوه و آب میوه استفاده می‌شود و مقدار آن با دما، مقدار رطوبت و یون‌های آزاد؛ بصورت خطی افزایش می‌یابد (کاپتان و همکاران ۲۰۱۶). در شیر، هدایت الکتریکی به یونیزه شدن نمک‌های محلول مانند کلریدها برمی‌گردد و مقدار آن در شیر طبیعی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بین ۴ تا ۵/۵ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر متغیر است (مابروک و پتی ۲۰۰۳). از دلایل افزایش غلظت سدیم، کلر و یون‌های لاکتات در شیر، به ترتیب می‌توان بیماری ورم پستان و ترشیدگی شیر را نام برد که

¹ Food and Agriculture Organization

از دستگاه‌ها و ابزارهای کیفیت‌سنج شیر، می‌توان اکومیلک، کرایوسکوپ، میلکوتستر، دانسیومتر یا لاکتومتر را نام برد که معایب هر کدام به ترتیب بحث می‌شود. از دستگاه اکومیلک برای تعیین درصد ترکیبات شیر از جمله درصد آب، پروتئین، چربی، دانسیته و مواد جامد شیر استفاده می‌شود. این دستگاه گران قیمت بوده و کاربری آن، به آموزش تخصصی نیاز دارد؛ همچنین در اندازه دستی ساخته نشده و حمل و نقل آن راحت نیست و از طرفی دقت لازم را ندارد.

از لاکتودانسیومتر برای اندازه‌گیری وزن مخصوص یا دانسیته شیر استفاده می‌شود. ولی اگر به شیر، آب اضافه شود، وزن مخصوص آن کاهش می‌یابد و اگر چربی شیر جدا شود، وزن مخصوص آن افزایش یافته و کاهش وزن با افزایش آب، جبران می‌شود؛ بنابراین اگر هر دو تقلب، همزمان صورت گیرد، دانسیته معیار مناسبی جهت تشخیص این نوع تقلب نخواهد بود.

از دستگاه کرایوسکوپ برای اندازه‌گیری نقطه انجماد شیر استفاده می‌شود. نقطه انجماد شیر از -0.53°C تا -0.57°C درجه سلسیوس متغیر بوده و عواملی مانند مواد جامد محلول در شیر همچون لاکتوز، نمک‌ها و گاز کربنیک محلول، باعث انجماد شیر در زیر صفر درجه می‌شود. با افزودن آب به شیر، نقطه انجماد آن افزایش یافته و به نقطه انجماد آب یعنی صفر درجه سلسیوس نزدیک‌تر می‌شود. همچنین وقتی شیر کمی ترشیده شود یا به آن آب نمک اضافه گردد نقطه انجماد آن باز کاهش می‌یابد بنابراین در شرایط تقلبی، عدم انجماد آن در صفر درجه سلسیوس، دلیل بر سالم بودن شیر نبوده و شاخص خوبی برای ارزیابی نخواهد بود (حکمتی ۱۹۹۱).

از دستگاه اسیدسنج^۱ برای اندازه‌گیری میزان اسیدیته شیر استفاده می‌شود. این دستگاه علاوه بر میله سنجش^۲ الکتروشیمیایی، دارای یک دماسنج بوده و اسیدیته شیر را متناسب با دمای شیر نشان می‌دهد. در حالت دست نخوردگی شیر؛ می‌توان عفونی بودن شیر، فساد باکتریایی یا وجود کلستروم در شیر را با این

هدایت الکتریکی را افزایش می‌دهند (ماتجه و همکاران ۲۰۰۲). ولی افزایش درصد چربی، اثر معکوس بر هدایت الکتریکی دارد چون گلبول‌های چربی، مانع حرکت و تبادل یون‌های الکتریکی در بین الکترودها می‌شوند از این‌رو هدایت الکتریکی شیر کامل از پس چرخ، کمتر بوده و در خامه نیز با افزایش درصد چربی، هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد (لاتون و پتیک ۱۹۹۳). هدایت الکتریکی شیر به عنوان شاخصی برای پی بردن به وجود آب اضافی در شیر، افزودن خشی‌کننده‌ها به شیر، تشخیص بیماری ورم پستان و همچنین کنترل تغلیظ مواد جامد در طی فرآیند تبخیر است.

اندازه‌گیری رسانایی شیر با جریان مستقیم، با فرآیند انعقاد همراه است. بدین ترتیب که جریان گذرنده در مدت زمان کوتاهی موجب الکترولیز آب شیر و تصعید گازهای اکسیژن و هیدروژن از قطب‌ها شده و با انعقاد شیر، جریان متوقف می‌شود (هیوستون ۱۹۶۱). از پارامترهای مطالعه شده در پدیده الکترولیز، کمیت-هایی مانند حجم و غلظت الکترولیت، فاصله بین الکترودها، دمای کاری، مکان یا موقعیت الکترودها و طول الکترودها را می‌توان نام برد که نتایج تحقیقی نشان داد فقط سه مورد اول در فرآیند الکترولیز موثر بوده است (اپو ۲۰۱۵). از طرف دیگر یک طرفه بودن جهت جریان، موجب پلاریزه شدن الکترودها (لمپرت ۱۹۷۸) و جذب یون‌های آزاد مواد جامد شیر و تشکیل رسوب در سطح الکترودها می‌شود (رندفسکی و همکاران ۲۰۱۷). اندازه‌گیری هدایت الکتریکی با جریان مستقیم، موجب الکترولیز آب در محلول و پلاریزه شدن الکترودها می‌شود بطوری‌که شدت جریان مدار در مدت زمان کوتاهی با خشک شدن محلول، به صفر کاهش می‌یابد (رندفسکی و همکاران ۲۰۱۷). در این راستا، ملالی و همکاران، تحلیلگر رقومی ساختند که با جریان متناوب کار کرده و با استفاده از هدایت الکتریکی و شدت جریان الکتریکی، کیفیت شیر را ارزیابی نموده و تقلبات شیر را در چهار سطح نشان می‌داد.

¹ Ph meter² probe

دستگاه تشخیص داد (تیموری یانسری ۲۰۰۶). ولی این دستگاه نیز سازوکاری برای تشخیص تقلبات تلفیقی شیر را ندارد.

هدایت‌سنج^۱ دستگاهی است که با جریان متناوب، میزان هدایت الکتریکی مواد غذایی را اندازه‌گیری می‌کند (کاپتان و همکاران ۲۰۱۶). این دستگاه در صورت اضافه شدن آب نمک به شیر، کارایی خود را از دست می‌دهد. علتش این است که کاهش یون‌های ناشی از افزودن آب در واحد حجم، با اضافه شدن نمک به شیر جبران می‌شود.

از سیستم بویایی و چشایی الکترونیکی برای ارزیابی عطر و طعم مواد غذایی مانند روغن زیتون، روغن کلزا، ماهی و تخم‌مرغ استفاده می‌شود. در یک تحقیقی، کیفیت روغن دانه کلزا با سیستم بویایی و چشایی الکترونیکی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد سیستم چشایی نسبت به سیستم بویایی از حساسیت بسیار بالایی برخوردار است ولی مدل پیشگویی مجموع حداقل مربعات جزئی داده‌های سیستم بویایی قادر است تغییرات کیفی - حسی نمونه‌ها را پیش‌بینی نماید (نیا کوثری و زندی ۲۰۱۳).

مقاومت اپتیکی مایعات یکی از ویژگی‌هایی است که با استفاده از آن، می‌توان رقیق یا غلیظ بودن مایعات را با اندازه‌گیری زاویه شکست نور تشخیص داد. وقتی طیف نوری از محیط رقیق وارد محیط غلیظ می‌شود امتداد طیف ورودی با طیف خروجی، زاویه‌ای می‌سازد که به زاویه بریکس مشهور است. هرچه زاویه بریکس بیشتر باشد، محیط دوم غلیظ‌تر است. از این خاصیت برای تشخیص غلظت مایعات شفاف مانند روغن استفاده می‌شود. در مایعات غیر شفاف مانند شیر، اندازه‌گیری بریکس چندان رایج نیست.

در این تحقیق سامانه‌ای با هدف تشخیص تقلبات تلفیقی شیر، طراحی شد که مجهز به حسگرهای هدایت‌سنج و فتوسل بود. در ابتدا عوامل موثر بر طراحی حسگرها، مانند فاصله و طول الکترودها، دما و حجم شیر نمونه، شدت جریان الکتریکی لامپ

الای‌دی و الکترودها در حالت‌های مختلف، بررسی و بهینه شد (فروتن بیگباغلو و همکاران ۲۰۲۰). چون این سامانه با جریان مستقیم کار می‌کند، شدت جریان الکتریکی بالا، موجب الکترولیز شدن شیر و پلاریزاسیون الکترودها شده و با بهینه شدن پارامترهای طراحی، کنترل شد. نوآوری طرح در این است که در واحد زمان، از دو حسگر هدایت‌سنج و فتوسل برای ارزیابی شیر استفاده شده تا تقلبات تلفیقی شیر تحت هر شرایطی تشخیص داده شود. دیگر نوآوری طرح آن است که از خاصیت رسوب‌گذاری مواد معلق باردار شیر روی الکترودها در جهت اندازه‌گیری تغییرات غلظت شیر استفاده شده که در نوع خود بی‌نظیر است. به عبارتی وقتی جریان الکتریکی از شیر رقیق عبور می‌کند با جذب شدن مواد باردار روی الکترودها، شیر رقیق‌تر شده و مقاومت اپتیکی شیر کاهش می‌یابد. این روند در شیر غلیظ (در حالت تقلب) مقاومت متفاوتی از خود نشان می‌داد که وجه تمایز شیر سالم از شیر تقلبی بود. بعد از ساخته شدن دستگاه، مقاومت الکتریکی و مقاومت اپتیکی شیر در تیمارهای مختلف تقلب، بطور همزمان اندازه‌گیری شد و ولتاژ الکترود و فتوسل محاسبه گردید. سپس با بدست آوردن ضریب همبستگی و معادلات رگرسیون حاکم بر ولتاژهای حسگر هدایت‌سنج و فتوسل، امکان تشخیص تقلبات شیر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ابزارهای اندازه‌گیری

برای اندازه‌گیری اسیدیته و دمای شیر نمونه، به ترتیب از اسیدسنج و دماسنج استفاده شد. سنجش مقاومت الکتریکی و اپتیکی شیر نیز توسط سامانه پیشنهادی انجام گرفت که در ادامه، شرح داده شده است.

سامانه پیشنهادی

این سامانه دارای دو قسمت سنجشگر و نمایشگر می‌باشد که قسمت سنجشگر آن شامل لیوان شیر، میله سنجش، الکترودها، حسگر فتوسل و لامپ الای‌دی می‌باشد که در شکل ۱ نشان

¹ Ec meter

انجام گرفت. جهت تثبیت دما در طول آزمایش، شیر در فلاکس نگهداری گردید. در هر بار تهیه نمونه، شیر فلاکس بهم زده شد تا کاملاً یکنواخت گردد. گنجایش لیوان شیر ۴۵ سی سی است برای تهیه نمونه‌ی شیر با ۵ درصد آب، ابتدا ۴۲/۷۵ سی سی شیر سالم به ظرف ریخته شد و ۲/۲۵ سی سی آب به آن اضافه شد. سپس با همزن، یکنواخت گردید و مورد استفاده قرار گرفت. مقدار آب اضافه شده به شیر در تیمارهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد آب اضافی با احتساب گنجایش لیوان (۴۵ سی سی) به ترتیب ۴/۵، ۹، ۱۳/۵ و ۱۸ سی سی بود. در سامانه پیشنهادی؛ ابتدا نمونه‌ی آماده شده، در لیوان ریخته شد و با گذاشتن درپوش روی لیوان، میله سنجش در داخل شیر فرو رفت. با فشار دادن کلید استارت، جریان الکتریکی در الکترودها، لامپ و فتوسل برقرار شد و بعد از یک دقیقه، ولتاژ الکتروود و فتوسل اندازه‌گیری شد و مقادیر ولتاژها توسط ال سی دی، نمایش داده شد و داده‌ها در کاربرگ، ثبت گردید. آزمایش در سه نوبت تکرار شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت^۱ ورژن ۱۰ استفاده شد. معادلات رگرسیونی و نمودارهای مربوطه نیز از نرم‌افزار اکسل^۲ ورژن ۲۰۰۷ بدست آمد. این روند در همه‌ی تیمارها بصورت مشابه تکرار شد با این تفاوت که در تهیه‌ی تیمار آب نمک، مقدار ۱۲/۴۲ گرم در لیتر؛ نمک خوراکی به آب اضافه شد. این مقدار بر اساس تجربه چشایی و به منظور خارج کردن شیر از حالت بی‌مزه‌گی ناشی از افزودن آب، تهیه شده بود. اسیدیته آب توسط اسیدسنج در مقدار ۷/۲ پایش شد تا در اثر دمای محیط، تغییر نکند. برای چربی‌گیری شیر، ابتدا شیر به مدت ۳۰ دقیقه در ظرف نگهداری شد و پس از جمع شدن چربی در سطح شیر، با استفاده از روش سرریز کردن، چربی از شیر جدا شد. در همه‌ی آزمون‌ها، حجم نمونه در ۴۵ سی سی، دمای شیر در ۲۵ درجه سلسیوس، اسیدیته شیر در ۶/۲ تا ۶/۷، جریان لامپ در ۱۴/۵ میلی آمپر، جریان الکترودها در ۳/۸ میلی آمپر و اسیدیته آب نمک در ۷/۲، ثابت نگهداشته شد و بعد از هر بار آزمایش، میله سنجش اسیدسنج، سطح فتوسل، سطح لامپ و سطح الکترودها کاملاً پاک شدند.

داده شده است. مدار شبیه‌سازی شده این سامانه با نرم‌افزار پروتئوس، در شکل ۲ آورده شده است.



Figure 1- the scheme of the proposed system (A-measurement unit 1-photocell sensor 2- led lamp 3- electrode plates 4- plastic cup B-processing and display unit)

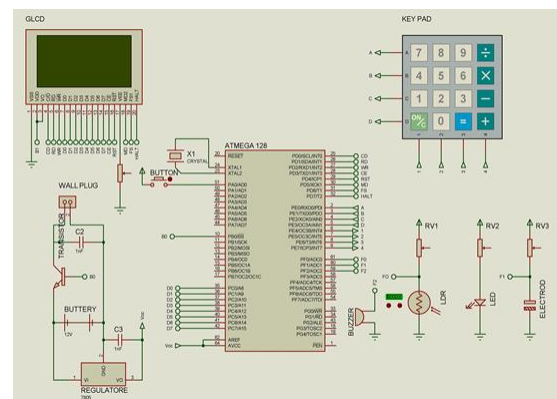


Figure 2- The simulated circuit of the proposed system with Proteus software

روش تهیه نمونه، آزمایش، داده‌برداری و تحلیل ابتدا ظرف شیر با آب گرم و مواد شوینده کاملاً شسته شد و ضدعفونی گردید تا عاری از هر گونه آلودگی میکروبی باشد. شیر با رعایت اصول بهداشتی و با دوشش گاوهای سالم، تهیه و در دمای زیر ده درجه سلسیوس به آزمایشگاه منتقل و در یخچال نگهداری شد. جهت تهیه‌ی نمونه، ابتدا شیر در دمای محیط نگهداری شد. و با رسیدن به ۲۵ درجه سلسیوس آزمایش‌ها

² Excel

¹ Design Expert

ارزیابی و اعتبارسنجی سامانه

با توجه به اینکه جریان الکتریکی دو سر الکتروود و لامپ، در نتیجه آزمایش تاثیر مستقیم داشت بنابراین جهت اعتبارسنجی سامانه، مقادیر آن‌ها بطور مرتب پایش شده و به ترتیب در ۳/۸

میلی آمپر و ۱۴/۵ میلی آمپر تنظیم و تثبیت می‌شد. این روند در حسگر فتوسل به شکل دیگری بود. ابتدا سطح فتوسل کاملاً پاک شده و میله سنجش در لیوان خالی قرار داده شد. با روشن شدن لامپ، مقدار ولتاژ فتوسل قرائت شده و در صورت مغایرت با مقدار استاندارد، رفع عیب گردید.

Table 1- Properties of Dependent Test Factors

Factor Name	Response Name	Obs	Min	Max	Mean
A- Pure milk	R ₁ –Electrodes Voltage	3	2.98	2.98	2.98
	R ₂ –Photocell Voltage	3	3.98	4	3.99
A-70% fatness milk	R ₁ –Electrodes Voltage	3	2.94	3.04	2.99
	R ₂ –Photocell Voltage	3	3.91	4.05	3.98
A-%Added water in milk	R ₁ –Electrodes Voltage	3	2.84	3	2.93
	R ₂ –Photocell Voltage	3	3.97	4.18	4.07
A-%Added salt water in milk	R ₁ –Electrodes Voltage	3	3.05	3.21	3.12
	R ₂ –Photocell Voltage	3	3.98	4.19	4.08
A-%Added water in 70% fatness milk	R ₁ –Electrodes Voltage	3	2.84	3	2.93
	R ₂ –Photocell Voltage	3	4	4.2	4.1
A-%Added salt water in 70% fatness milk	R ₁ –Electrodes Voltage	3	3.1	3.21	3.11
	R ₂ –Photocell Voltage	3	4	4.18	4.09

Table 2- Analysis of Electrodes Voltage and PhotoCell Voltage Variance with One Factor Design

Source	df	Mean of Squares of Electrodes Voltage	Mean of Squares of PhotoCell Voltage	p-value Prob>F	Model Result
A-%Added water in milk	4	0.011	0.021	<0.0001	Significant
A-%Added salt water in milk	4	0.009	0.016	<0.0001	Significant
A-%Added water in 70% fatness milk	4	0.009	0.016	<0.0001	Significant
A-%Added salt water in 70% fatness milk	4	0.01	0.015	<0.0001	Significant

Table 3- Correlation Coefficients of Electrodes Voltage with One Factor Design

Source	Std.Dev.	Mean	C.V%	R-Squared	Adj R-Squared	Pred R-Squared
A-%Added water in milk	0.013	2.94	0.46	0.96	0.944	0.9
A-%Added salt water in milk	0.01	3.12	0.33	0.97	0.96	0.93
A-%Added water in 70% fatness milk	0.013	2.93	0.46	0.95	0.93	0.89
A-%Added salt water in 70% fatness milk	0.013	3.12	0.41	0.96	0.94	0.91

Table 4- Correlation Coefficients of PhotoCell Voltage with One Factor Design

Source	Std.Dev.	Mean	C.V%	R-Squared	Adj R-Squared	Pred R-Squared
A-%Added water in milk	0.014	4.07	0.35	0.97	0.96	0.94
A-%Added salt water in milk	0.018	4.09	0.45	0.95	0.93	0.88
A-%Added water in 70% fatness milk	0.01	4.11	0.24	0.98	0.97	0.96
A-%Added salt water in 70% fatness milk	0.012	4.1	0.29	0.97	0.96	0.94

آزمایش‌ها

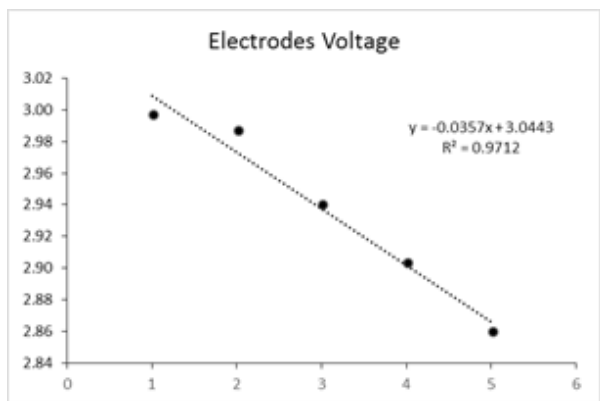
در این تحقیق از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد و فاکتورها یا تیمارهای مستقل، عبارت بودند از شیر خالص، شیر با آب اضافی، شیر با آب نمک اضافی، شیر ۷۰٪ چربی‌گیری شده، شیر ۷۰٪ چربی‌گیری شده با آب اضافی و شیر ۷۰٪ چربی‌گیری شده با آب نمک اضافی. فاکتورهای وابسته یا پاسخ نیز عبارت است از ولتاژ الکتروود و ولتاژ فتوسل. مشخصات فاکتورهای مستقل و وابسته، در جدول ۱ نشان داده شده است. حجم آب و آب‌نمک اضافی، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد حجم نمونه (۴۵ سی‌سی) بود.

تغییرات ولتاژ الکتروود و فتوسل در شیر خالص

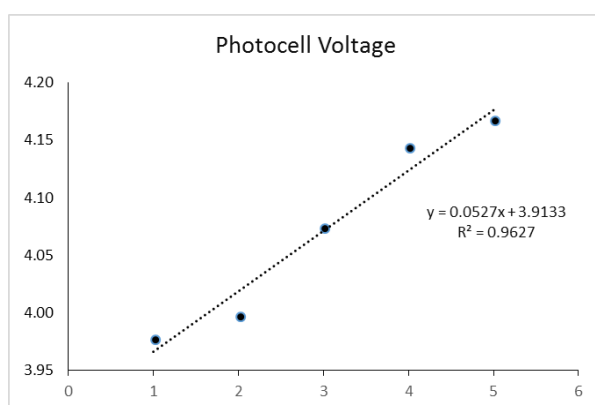
میانگین ولتاژ الکتروود و فتوسل در شیر خالص؛ به ترتیب ۲/۹۸ و ۳/۹۹ ولت بدست آمد که متوسط انحراف ولتاژ فتوسل، ± 0.01 ولت بود. با انحراف بیشتر این مقادیر در تیمارهای تقلبی، قدرت تشخیص و تفکیک تقلبات شیر، راحت‌تر انجام می‌گیرد.

تغییرات ولتاژ الکتروود و فتوسل در شیر با آب اضافی

شکل ۳ a و b، به ترتیب تغییرات ولتاژ الکتروود و فتوسل در شیر با آب اضافی را نشان می‌دهد. طبق نمودار ۳ a، متناسب با افزایش آب به شیر، ولتاژ الکتروود، 0.14 ولت کاهش یافت. دلیل آن کاهش تراکم یون در واحد حجم شیر بود که موجب کاهش تبادل بار الکتریکی بین الکتروودها و نهایتاً کاهش جریان الکتریکی الکتروود گردید. طبق نمودار ۳ b، متناسب با افزایش آب به شیر، ولتاژ فتوسل، 0.19 ولت افزایش یافت که دلیل آن، رقیق شدن شیر و افزایش شدت نور گذرنده از شیر بود. با افزایش شدت نور تابیده به سطح فتوسل؛ مقاومت آن کاهش یافت و موجب افزایش جریان گذرنده از مدار گردید و چون فتوسل با مقاومت کمکی مدار، به صورت سری قرار گرفته بود؛ در نهایت، افزایش شدت نور، باعث افزایش ولتاژ فتوسل شد.



a



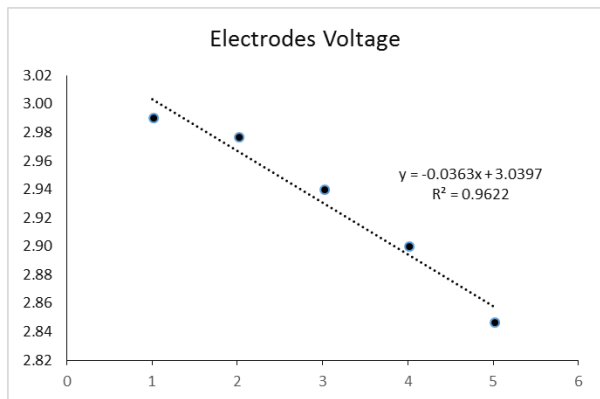
b

Figure 3- Changes in voltage of a) electrode b) photocell according to added water in milk.

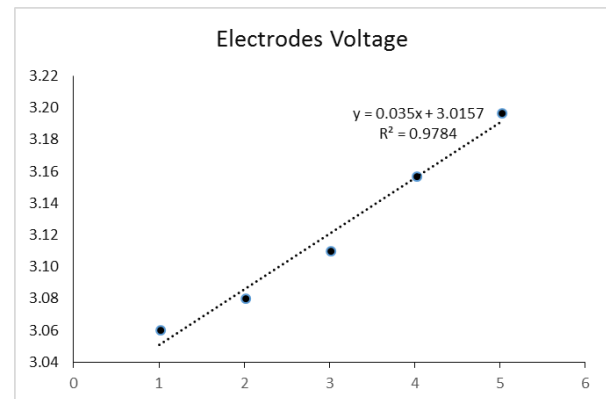
The vertical axis is the voltage values in volts and the horizontal axis, from left to right, is the percentage of adulteration in 5, 10, 20, 30 and 40 percent of the sample volume in cc

تغییرات ولتاژ الکتروود و فتوسل در شیر با آب نمک اضافی

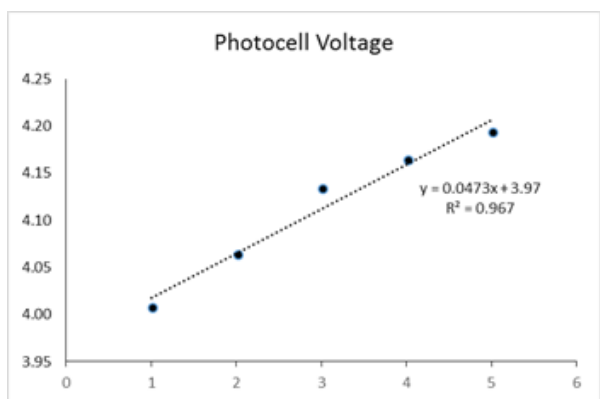
شکل ۴ a و b، به ترتیب تغییرات ولتاژ الکتروود و فتوسل با آب نمک اضافی شیر را نشان می‌دهد. با اضافه شدن آب نمک به شیر، نمک به یون‌های سازنده آن تبدیل شده و تراکم یون‌های آزاد در واحد حجم شیر بیشتر شد. در نتیجه طبق نمودار ۴ a، هدایت الکتریکی شیر با افزایش 0.16 ولت، به بیشترین مقدار خود رسید. اضافه شدن نمک به شیر، تاثیری در مقاومت اپتیکی آن ندارد. طبق نمودار ۴ b، با اضافه شدن آب تا 10% ؛ ولتاژ فتوسل، تغییر محسوسی نداشته ولی با افزایش درصد آب، ولتاژ فتوسل تا 0.14 ولت؛ افزایش نشان داده است.



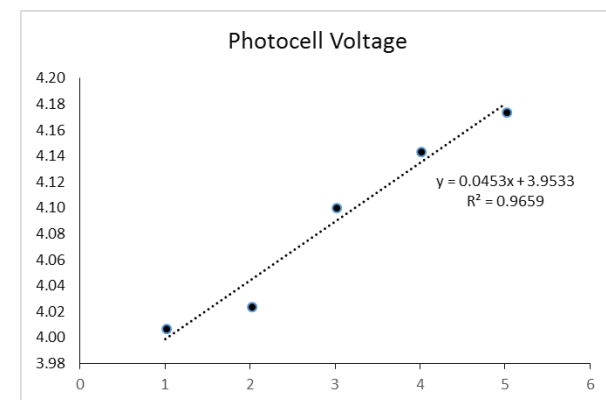
a



a



b



b

Figure 5- Changes in voltage of a) electrode b) photocell according to added water in 70% fatness milk.

The vertical axis is the voltage values in volts and the horizontal axis, from left to right, is the percentage of adulteration in 5, 10, 20, 30 and 40 percent of the sample volume in cc

با چربی گیری از شیر و خروج گلبول های آن، مقدار یون موجود در واحد حجم شیر بیشتر می شود ولی با افزایش آب به شیر، این مقدار دوباره کمتر شده و موجب کاهش هدایت الکتریکی شیر گردید. کمترین ولتاژ الکتروود طبق نمودار ۵ a، با ۰/۱۶ ولت کاهش، به ۲/۸۴ ولت رسید. شیر پس چرخ به علت چربی - زدایی، رقیق تر می شود. علت آن خروج گلبول های چربی و کاهش مواد جامد در واحد حجم شیر است (رندفسکی و همکاران ۲۰۱۷). با اضافه شدن آب به شیر، مقدار رقیق شدگی شیر دوباره افزایش یافته و باعث افزایش شدت نور گسیل شده به سطح فتوسل گردید. در نتیجه ولتاژ فتوسل مجدداً افزایش یافت. با توجه به نمودار ۵ b، ولتاژ فتوسل با ۰/۱۸ ولت افزایش، به بیشترین مقدار خود، ۴/۲ ولت رسید.

Figure 4- Changes in voltage of a) electrode b) photocell according to added salt water in milk.

The vertical axis is the voltage values in volts and the horizontal axis, from left to right, is the percentage of adulteration in 5, 10, 20, 30 and 40 percent of the sample volume in cc

تغییرات ولتاژ الکتروود و فتوسل در شیر ۷۰٪ چربی گیری شده میانگین ولتاژ الکتروود و فتوسل در این تیمار به ترتیب ۲/۹۹ و ۳/۹۸ ولت بوده که متوسط انحراف آن به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۷ ولت بود. این مقادیر به عنوان مقادیر مرجع محسوب می شود و هرچه میزان انحراف ولتاژ در تیمارهای تقلبات شیر از خط مرجع بیشتر باشد، دقت و قدرت تشخیص تقلبات افزایش می - یابد.

تغییرات ولتاژ الکتروود و فتوسل در شیر ۷۰٪ چربی گیری شده با آب اضافی

شکل ۵ a و b، به ترتیب تغییرات ولتاژ الکتروود و فتوسل با شیر ۷۰٪ چربی گیری شده با آب اضافی را نشان می دهد.

بیشتر شد و طبق نمودار ۶ a، هدایت الکتریکی شیر را به طور قابل توجهی افزایش داد. در این تیمار، ولتاژ الکتروود با ۰/۱۴ ولت افزایش، به بیشترین مقدار خود، ۳/۲ ولت رسید. از طرفی اضافه شدن نمک به شیر، به علت حل شدن، تاثیری در ولتاژ فتوسل نداشت و علت آن بی‌تاثیر بودن نمک یونیزه شده در مقاومت اپتیکی شیر است. بیشترین مقدار ولتاژ فتوسل طبق نمودار ۶ b، با ۰/۱۷ ولت افزایش، به ۴/۱۸ ولت رسید.

نتیجه‌گیری نهایی

در این تحقیق، قابلیت تشخیص تقلبات رایج شیر با سنجش همزمان مقاومت الکتریکی و اپتیکی شیر مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد افزودن هر گونه مواد تقلبی به شیر، موجب تغییر در غلظت یا تراکم یون در واحد حجم شیر شده و از این‌رو پایش همزمان این دو پارامتر می‌تواند در تشخیص تقلبات شیر کارساز باشد. افزودن آب به شیر، موجب رقیق شدن غلظت شیر و کاهش تراکم یون در واحد حجم شد. از این‌رو ولتاژ الکتروود، کاهش و ولتاژ فتوسل، افزایش یافت. در شیر چربی‌گیری شده، با خروج گلبول‌های چربی از شیر، غلظت شیر رقیق شد؛ ولی تراکم یون در واحد حجم شیر، افزایش یافت. به همین جهت ولتاژ الکتروود و فتوسل هر دو افزایش پیدا کرد. این وضعیت در حالت تلفیق این دو تقلب، باعث افزایش مضاعف ولتاژ فتوسل و تغییر ناچیز ولتاژ الکتروود نسبت به حالت طبیعی شیر شد. افزودن آب‌نمک به شیر، تأثیر چندانی در ولتاژ فتوسل نداشت، ولی اثر آن بر ولتاژ الکتروود محسوس بود. در بررسی پیشینه این تحقیق، اغلب عوامل موثر بر عفونت شیر یا عوامل اقلیمی موثر بر میزان پروتئین و چربی شیر، مطالعه شده است که بعلاوه عدم مشابهت با موضوع این تحقیق، نتایج مربوطه با نتایج تحقیق حاضر مقایسه نشد و در این مقاله گنجانده نشد.

تغییرات ولتاژ الکتروود و فتوسل در شیر ۷۰٪ چربی‌گیری شده با آب نمک اضافی

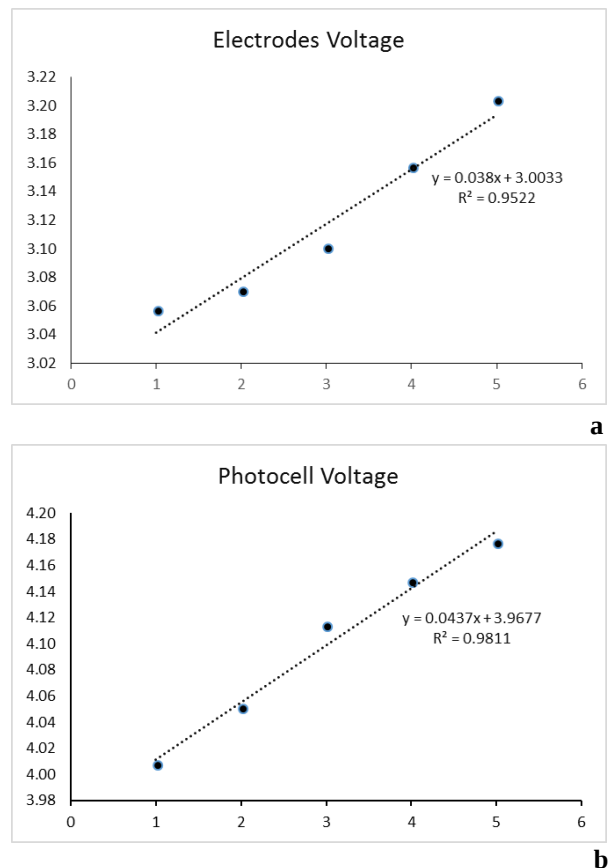


Figure 6- Changes in voltage of a) electrode b) photocell according to added salt water in 70% fatness milk.

The vertical axis is the voltage values in volts and the horizontal axis, from left to right, is the percentage of adulteration in 5, 10, 20, 30 and 40 percent of the sample volume in cc

تغییرات ولتاژ الکتروود و فتوسل با شیر ۷۰٪ چربی‌گیری شده با آب نمک اضافی، به ترتیب در شکل ۶ a و b نشان داده شده است. وقتی چربی شیر گرفته می‌شود، تراکم یون‌های آزاد موجود در واحد حجم شیر بیشتر می‌شود از طرفی با افزایش نمک به شیر و حل شدن در آن، تراکم یون‌های آزاد شیر دوباره

References

- Frota Bigbaghloo, R., Sharifian, F., and Hassanpour, A. (2020). Investigating the Possibility of Using Direct Electrical Current Polarization in Milk Quality Measurement. JFST No. 10 5, Vol. 17, p 151 – 158.
- Haimov-Kochman, R., Shore, Ls., and Laufer, N. (2016). The milk we drink, food for thought. Fertility and sterility 106(6): 1310-1.

- Hashemzadeh M., Khalajzadeh S., Amini K. and Yedi J., (2011) Seasonal changes in fat percentage, protein and raw milk density in an industrial farm in Dezful, the first national conference on new topics in agriculture, Pages 1 to 4.
- Hekmati, M. (1991). Principles of milk preparation. University of Tehran University Publishing Center Publications.
- Hossain, MB. & Dev, SR. (2013). Physiochemical characteristics of various raw milk samples in a selected dairy plant of Bangladesh. *International Journal of Engineering* 1(3): 2305-8269.
- Houston, g., (1961). Education Series Conductivity Guide. www.vl-pc.com. 800:522-7920.
- Kalantari, AS., Mehrabani-Yeganeh, H., Moradi, M., Sanders, Ah. and DeVries, A. (2010). Determining the optimum replacement policy for Holstein dairy herds in Iran. *Journal of dairy science* 93(5): 2262-70.
- Kaptan, B., Kayışoğlu, S., Demirci, M. (2016). The Relationship Between Some Physico-Chemical, Microbiological Characteristics and Electrical Conductivity of Milk Stored at Different Temperature. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*. 8 – 2.
- Lampert, I. M. (1978). *Modern Dairy Products*. Third edition, CRC.USA pp, 92-132, 157- 177.
- Lawton, B.A., & Pethig, R. (1993). Determining the fat content of milk and cream using AC conductivity measurements, *Measurement Science and Technology*. 4:38–41.
- Maatje, K., Huijsmans, P. J. M., Rossing, W., Hogewerf, P. H. (2002). The efficacy of inline measurement of quarter milk electrical conductivity, milk yield and milk temperature for the detection of clinical and subclinical mastitis. *Livest Prod Sci*, 30: 239-249.
- Mabrook, M., & Petty, M. (2003). Effect of composition on the electrical conductivity of milk. *Journal of Food Engineering*, 69(3):321-325.
- Malali, R., Bindushree, M. A., Naveen Kumar, K.S., Vaishali, S. & Rajashekhar, B.S. (2016). Implementation of Standardized Digital Milk Quality Analyzer. *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE)* 5(5).
- Niakousari, M., & Zandi, M. (2013). Electronic nose and tongue in food industry. Book (in farsi). Pages (80 – 82)
- Opu, Md S. (2015). Effect of Operating Parameters on Performance of Alkaline Water Electrolysis. *International Journal of Thermal & Environmental Engineering*. 9: 53-60.
- Rendevski, S., Sulaiman, A., Alkhanbouli, A. A., Al Shaabi, Kh., Ali Ahmed, S. A. (2017). Testing for Added Water in Milk with Handheld LCR Meter. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. 11: 23-30.
- Teymouri Yansari, A. (2006). *Milk production and processing*. Publisher of the Voice of Christ.