

شناسایی میزان تقلب آب در آبلیموی طبیعی با استفاده از جدول جستجوی منطق فازی

علیرضا یوسفی^{۱*}، شهلا خدابخش اقدم

۱ - استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی دانشگاه بناب، بناب، ایران
۲- مدرس گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، مراغه، ایران
(تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۵)

چکیده

در این تحقیق که برای اولین بار در مورد تقلبات در ایران انجام گرفته، میزان وجود تقلب آب در آبلیموی طبیعی با استفاده از مدلسازی سیستم فازی تعیین شد. مشخصه های pH، هدایت الکتریکی (EC)، کنتراست و همگنی (بدست آمده از تصویر نمونه ها) به عنوان ورودی و میزان وجود تقلب آب به عنوان خروجی سیستم مدل در نظر گرفته شد. از درصد های تقلب ۰ (آبلیموی طبیعی)، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۳۰ و ۴۰ برای آموزش سیستم مدلسازی و از ۷/۵، ۱۲/۵، ۲۰ و ۳۵ درصد وجود تقلب آب برای آزمون کردن سیستم استفاده شد. از سیستم استنتاجی فازی ممدانی (Mamdani's FIS) و بکارگیری تابع عضویت مثلثی بعلاوه استفاده از هفت قانون، برای مدلسازی استفاده شد. برای تعیین کارایی سیستم فازی در تشخیص میزان تقلب موجود، از پارامتر های آماری ضریب تبیین (R^2) و RMSE^۱ استفاده شد. بر اساس نتایج، مقدار بالای R^2 و کم RMSE که به ترتیب برابر با ۰/۹۹ و ۱/۶۷ بودند نشان داد که سیستم استنتاج فازی یک ابزار قوی در تعیین میزان تقلب آب در آبلیموی طبیعی می باشد.

کلید واژگان: آبلیمو، تقلب، مدلسازی، منطق فازی

* مسئول مکاتبات: a_yousefi@bonabu.ac.ir

1. Root Mean Square Error

۱- مقدمه

نام علمی لیموترش *Citrus-aurntifolia* بوده و منشا آن جزایر شرقی کشور هندوستان می باشد. لیمو ترش ها شامل دو گروه عمده لمون ها (Lemons) و لایم ها (Limes) می باشند که مهمترین تفاوت این دو گروه اندازه، شکل، رنگ و میزان اسیدیته آن هاست [۱]. هند با تولید حدود ۲۰۶۰۰۰۰ تن بزرگترین تولید کننده لیموترش در جهان می باشد. پس از آن به ترتیب مکزیک با ۱۸۸۰۰۰۰ تن، آرژانتین با حدود ۱۲۶۰۰۰۰ تن، برزیل با ۱۰۶۰۰۰۰ و اسپانیا با ۸۸۰۰۰۰ تن تولید قرار دارند. ایران در این رده بندی با سطح زیر کشت ۱۸۵۸۱ هکتار و تولید ۳۵۷۱۴۹ تن، در جایگاه نهم جهان قرار دارد [۴]. آبلیمو فراورده ای تخمیر نشده است که به روش های مکانیکی از آندوکارپ میوه تازه ی سالم و رسیده لیمو (لایم) تهیه و در بسته بندی های مناسب نگهداری می شود و به عنوان چاشنی در تهیه و طبخ انواع غذا ها کاربرد دارد [۲، ۵-۶]. امروزه پدیده تقلب به طور گسترده ای در جوامع مختلف توسط افراد سود جو به طور عمدی و حساب شده در مواد غذایی اعمال می گردد. می توان گفت تنها کشورهایی که از یک سو استاندارد های مناسبی برای مشخصات کمی و کیفی مواد غذایی تدوین نموده اند، و از سویی دیگر قوانین و مقررات سنگینی برای مقابله با متخلفین وضع نموده اند و با قدرت آن ها را اعمال نموده اند، از این گرفتاری تا حدود زیادی در امان بوده اند. آبلیمو جزء مواردی است که از قدیم در آن تقلب صورت می گرفته است، از جمله اضافه کردن آب به آن، مخلوط کردن مقداری کاه زیر با آب نیمه گرم و استفاده از عصاره آن در تهیه آبلیمو و اضافه کردن اسیدهای معدنی و یا آلی به مخلوط رقیق شده آبلیمو می توان اشاره کرد. در پاره ای از موارد تنها مقداری آب به لیموی آب گرفته و چرخ شده اضافه می کنند و پس از مدتی مخلوط را به هم زده و قسمت مایع را جدا کرده و مقداری جوهر لیمو به آن می افزایند. با افزایش تقاضا برای محصولات غذایی با کیفیت و سالم،

انتظارات برای طراحی روش هایی که کار کنترل کیفی مواد غذایی را با سرعت و دقت بالا انجام دهد و در عین حال دارای صحت بالایی باشد افزایش یافته است. بینایی کامپیوتری یکی از این روش ها می باشد که به علت خودکار بودن، غیر مخرب بودن و مناسب بودن قیمت روش های بر پایه آن، امروزه برای کنترل کیفیت و یا شناسایی تقلبات (محصولات بی کیفیت) مواد غذایی به کار می رود [۷]. تصویر برداری فراطیفی^۲ روش دیگری است که برای تشخیص کیفیت بسیاری از محصولات مورد استفاده قرار می گیرد. باربین^۳ و همکاران [۸] با استفاده از این روش و کار کردن در محدوده طول موج مادون قرمز ۱۷۰۰-۹۰۰ نانومتر، کیفیت ۷۵ قطعه گوشت را با دقت بالا تعیین کردند. هوش مصنوعی از ابزار هایی می باشد که امروزه در شبیه سازی و پیش بینی بسیاری از فرایندهای غذایی مورد استفاده قرار می گیرد. در سال ۱۹۶۵، زاده، مجموعه های فازی را معرفی کرد که از طریق آن کنترل داده ها و اطلاعات غیرمطلق امکانپذیر بود. یک مجموعه فازی به عنوان یک مدل فازی با مفهوم انسانی تعریف گردید. یعنی در واقع سیستم مدلسازی فازی یک مدلسازی زبانی می باشد که توسط مقادیر فازی بیان می گردد. آیوانو^۴ و همکاران [۹] با استفاده از سیستم استنتاج فازی Takagi-Sugeno میزان قهوه ای شدن دو ماده غذایی را در حین فرایند بدست آوردند. لی^۵ و همکاران [۱۰] و [۱۱] برای بدست آوردن قطعات هویج و سیب با کیفیت مناسب از نقطه نظر باقیماندن مواد عطر و طعمی در آن از سیستم فازی Mamdani استفاده کردند.

هدف از این تحقیق تعیین میزان تقلب وجود آب در آبلیموی طبیعی به کمک جدول جستجوی منطق فازی^۶ بود. برای این منظور از مشخصه های pH، EC^۷ (هدایت الکتریکی) و دو پارامتر استخراجی از تصویر نمونه ها به کمک پردازش تصویر

2. Hyperspectral

3. Barbin

4. Ioannou

5. Li

6. Fuzzy Logic Table Look-up Scheme

7. Electrical Conductivity

فاصله ۲۵ سانتیمتری نمونه‌ها و موازی با آن روی پایه ثابت قرار گرفته و عکسبرداری با نرم افزار Zoom Browser Ex.5 انجام گرفت. ماتریس همزمانی سطح خاکستری^۸ یکی از پرکاربردترین تکنیک های آنالیز بافت تصویر است که در آن مشخصه های بافت توسط برخی روش های آماری از ماتریس

همزمانی $p(k,l)$ بدست می آیند [۱۲]. قبل از ساختن ماتریس دو پارامتر θ (جهت جفت های پیکسلی) و d (فاصله بین جفت های پیکسلی) انتخاب می گردند. جهت θ یکی مقادیر ۰، ۹۰، ۴۵ و ۱۳۵ می باشد و فاصله ذکر شده وابسته به ریزنمایی بافت است. در بسیاری از موارد در صنایع غذایی d معمولاً طبق خواص ماده غذایی مورد مطالعه بدست می آید. زمانی که اطلاعات کافی از انتخاب فاصله مناسب وجود ندارد، مقدار ۱ یا گروهی از مقادیر مختلف معمولاً مورد استفاده قرار می گیرند. ماتریس از شمردن جفت های پیکسلی $(x_1, y_1)(x_2, y_2)$ با مقادیر خاکستری k و l در جهت θ و فاصله d به وجود می آید. سپس ماتریس همزمانی، با معادله ذیل نرمال می شود:

$$P(k,l) = \frac{p(k,l)}{R} \quad (1)$$

که در اینجا R تابع نرمال بوده که معمولاً به عنوان مجموع ماتریس تنظیم می شود. از معادله ذکر شده در بالا، چندین پارامتر به دست می آید، که دو مشخصه ذیل معمول ترین آن ها است که در این بررسی از آن ها به عنوان ورودی سیستم مدلسازی فازی استفاده شد [۱۲].

$$CON = \sum_{n=0}^D n^2 \left(\sum_k \sum_{|k-l|=n} P(k,l) \right) \quad (2)$$

این مشخصه نشان دهنده میزان کنتراست تصویر نمونه هاست و در واقع تنوع شدت سطوح خاکستری را بیان می کند.

در نرم افزار مطلب ۷ شامل کنتراست و همگنی به عنوان ورودی، و از میزان وجود آب در آبلیمو به عنوان خروجی سیستم فازی استفاده شد و بدین ترتیب با استفاده از سیستم استنتاج Mamdani مقادیر آب موجود در آبلیموی طبیعی تعیین شد.

۲- مواد و روش ها

لیمو ترش های استفاده شده در این تحقیق از نوع لایم بود که در شهرستان جهرم تولید و از پنج بازار محلی مختلف در شهرستان مشهد خریداری شدند و در همان روز مورد آزمایش قرار گرفتند. ابتدا لیمو ها شسته شده و به وسیله چاقو از وسط به دو نیم تقسیم شدند و با استفاده از آبلیمو گیری دستی آب آن ها گرفته شده و سپس توسط توری پارچه ای صاف گردیدند. سپس نمونه ها به ترتیب با ۰ (آبلیموی طبیعی)، ۱۰، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد آب قابل شرب شهری در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به خوبی توسط همزن مغناطیسی (۱۰۰ دور در دقیقه) مخلوط شده و برای انجام آزمایش های بعدی آماده سازی شدند.

اندازه گیری pH و EC نمونه ها

pH و EC هر یک از نمونه ها در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به ترتیب توسط pH متر (مدل Metrohm 744، سوئیس) و EC متر (مدل AZ instrument 86505، چین) در سه تکرار اندازه گیری شد و میانگین داده ها به عنوان ورودی سیستم مدلسازی فازی در نظر گرفته شدند.

استخراج خصوصیات تصویر نمونه ها

جهت عکسبرداری از نمونه ها، ۲۰ میلی لیتر از هر نمونه درون ظرف پیت آزمایشگاهی ریخته شد. تجهیزات عکسبرداری شامل یک اتاقک تاریک (جهت جلوگیری از ایجاد نوسان در عکسبرداری و عدم بازتاب نور) و دو لامپ فلورسنت بود. عکسبرداری با استفاده از دوربین دیجیتال (Canon Power shot 1000D) متصل به رایانه صورت گرفت. دوربین در

نسبی یک مقدار ورودی به زیر مجموعه ها را بیان می کند. توابع عضویت را به صورت های مختلفی می توان نشان داد، ولی معمولاً برای کارهای آزمایشگاهی و کاربردی مدل های خطی آن مانند توابع مثلثی بسیار پرکاربردتر است که در این تحقیق نیز، این شکل از تابع عضویت بکار برده شد. در این پژوهش از جدول جستجوی فازی برای تعیین میزان تقلب آب در آبلیموی طبیعی استفاده شد. برای دستیابی به این مهم مراحل زیر تحت نرم افزار برنامه نویسی مطلب ۷ انجام پذیرفت.

مرحله اول-تعریف کردن مجموعه های فازی به طوری که تمام فضای ورودی و خروجی داده ها را بپوشاند: ورودی های فازی شامل pH، هدایت الکتریکی، کنتراست و همگنی بود که به ترتیب به ۴، ۶، ۷ و ۷ مجموعه فازی تقسیم شدند. به علاوه یک خروجی (میزان آب در آب لیموی طبیعی) شامل ۷ مجموعه فازی طراحی شد.

مرحله دوم-تولید یک قانون فازی به صورت ترکیبی از ورودی ها و خروجی: رابطه زیر نشان می دهد که جفت های ورودی-خروجی به وسیله یک قانون فازی قابل تولید شدن هستند.

$$(x_1^p, x_2^p, x_3^p, x_4^p, y_1^p) \Rightarrow IF-THEN rules \quad p=1,2,\dots,n \quad (4)$$

که x_1 تا x_4 متغیرهای ورودی و y_1 متغیر خروجی و p تعداد جفت های ورودی-خروجی می باشد. برای جلوگیری از اثر همپوشانی مجموعه ها، متغیرها به توابع عضویتی متناسب شدند که درجه عضویت بالاتری را تولید می کردند.

شکل ۲ اجزای سیستم فازی ممدانی استفاده شده در این تحقیق را نشان می دهد که اجزای ورودی و خروجی سیستم در آن نشان داده شده است.

$$HOM = \sum_k \sum_l \frac{1}{1+(k-l)^2} P(k,l) \quad (3)$$

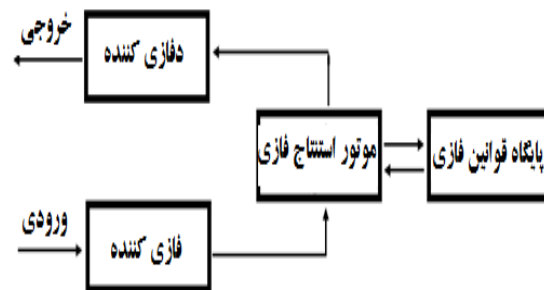
این مشخصه نشان دهنده میزان همگنی در تصاویر نمونه هاست.

پارامترهای بافت نمونه که در بالا ذکر شد، با استفاده از جعبه ابزار پردازش تصویر نرم افزار برنامه نویسی مطلب (R2007b) و در قالب دستورات سازگار با این زبان برنامه نویسی تعریف و سپس از هر نمونه استخراج شد.

تعریف توابع عضویت^۹ و ساختار جدول

جستجوی فازی

ساختار عمومی سیستم استنتاج فازی در شکل ۱ نشان داده شده است. به طور خلاصه یک سیستم استنتاج فازی دارای چهار قسمت اصلی شامل فازی کننده^{۱۰}، پایگاه قوانین فازی^{۱۱}، موتور استنتاج فازی^{۱۲} و دِفازی کننده^{۱۳} می باشد.



شکل ۱ ساختار عمومی سیستم استنتاج فازی.

فازی کننده داده های ورودی را به درجه ای از عضویت تبدیل می کند، که این عمل با جستجو در یک یا چند تابع عضویت مختلف صورت می گیرد. به جای تعلق کامل یک مقدار ورودی به یک مجموعه، در سیستم منطق فازی تعلق نسبی ورودی ها به هر یک از زیرمجموعه ها مد نظر قرار می گیرد. یک تابع عضویت به صورت یک عدد بین ۰ و ۱ میزان تعلق

قرار گرفت. به علاوه عملگر T-norm حداقل^{۱۶} (رابطه ۶) که در آن a و b دو مجموعه اختیاری هستند و تکنیک نافازی کننده درجه کشش مرکزیت^{۱۷} بر هر قانون اعمال شد.

$$T_{\min}(a, b) = \min \min(a, b) = a \wedge b \quad (6)$$

نافازی کننده درجه کشش مرکزیت میزان y^* را به عنوان مرکز سطح پوشش داده شده با تابع عضویت B' معرفی می کند که مقدار آن از رابطه ۷ بدست می آید:

$$y^* = \frac{\int y \mu B'(y) dy}{\int \mu B'(y) dy} \quad (7)$$

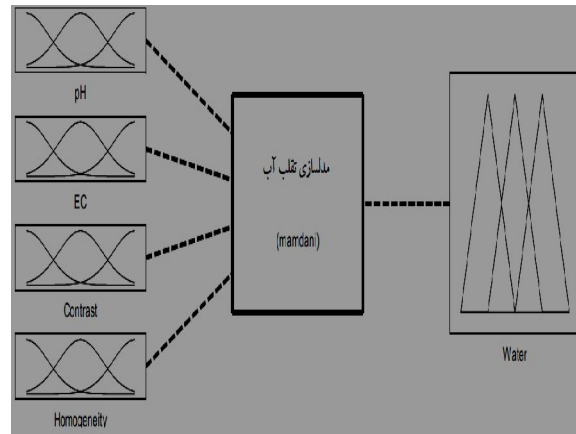
که یک انتگرال قراردادی است [۱۳].

معیار های تعیین کارایی مدل

عموماً کارایی یک مدل بر اساس مقایسه مقادیر محاسبه شده پیش گویی شده^{۱۸} و داده های بدست آمده از آزمایش^{۱۹} تعیین می شود. در این پژوهش با استفاده از ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطاها (RMSE) کارایی مدل فازی در تعیین میزان تقلب وجود آب در آبلیموی طبیعی سنجیده شد. کارایی مدل با افزایش R^2 و کاهش RMSE افزایش می یابد [۱۴].

۳- نتایج و بحث

شکل ۳ توابع عضویت مربوط به یکی از ورودی ها (کنتراست) و خروجی مدل یعنی همان میزان تقلب آب موجود در آبلیموی طبیعی را نشان می دهد. در انتها در قسمت فازی کننده، ارزش های بدست آمده توسط موتور استنتاج فازی، به یک مقدار عددی تبدیل می گردد.



شکل ۲ سیستم استنتاج ممدانی استفاده شده جهت تخمین میزان

تقلب آب در آبلیموی طبیعی

مرحله سوم محاسبه درجه قوانین فازی ایجاد شده در مرحله دوم: در برخی از موارد قانون های ناسازگاری ایجاد می شود که باید با اعمال درجه قانون، ناسازگاری ایجاد شده را برطرف کرد. قوانین ناسازگار به قوانینی اطلاق می شود که در آن قانون ها قسمت مقدم^{۱۴} قانون که شامل IF می باشد یک عبارت مشترک بوده در حالی که قسمت تالی^{۱۵} که شامل THEN می باشد با یکدیگر تفاوت دارند. در این حالت با بدست آوردن درجه قانون مطابق با رابطه زیر، قانون دارای بالاترین درجه حفظ و مابقی قوانین ناسازگار حذف می شوند.

$$D(rule) = \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^p} * (x_i^p) \mu_{B_i^p} * (y^p) \quad (5)$$

در این رابطه A_i^p -امین تابع عضویت i -امین ورودی، B_i^p قانون خروجی، i یعنی i -امین خروجی مدل، p شاخص قانون، x_i^p و y^p به ترتیب i -امین ورودی از p -امین قانون و p -امین قانون از متغیر خروجی می باشند. مقدار درجه قانون از ۰ تا ۱ متغیر است.

مرحله چهارم -ایجاد پایگاه قوانین فازی: با نوشتن مجزای هر قانون در نهایت پایگاه قوانین فازی تشکیل شد. در این پژوهش سیستم استنتاج Mamdani به دلیل سادگی آن مورد استفاده

16. Minimum

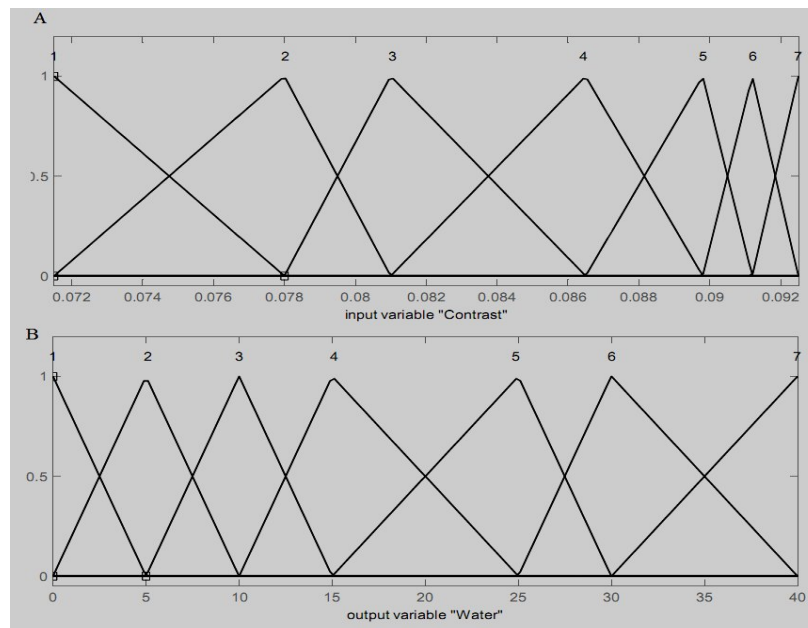
17. Center of gravity defuzzifier

18. Predicted

19. Experimental

14. Antecedent

15. Consequent



شکل ۳ توابع عضویت مربوط به (A) ورودی کنتراست و (B) خروجی میزان تقلب آب.

برای آموزش سیستم مدل، آبلیموی طبیعی با درصدهای ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۳۰ و ۴۰ درصد با آب قابل (آبلیموی طبیعی)، هدایت الکتریکی، کنتراست و همگنی (بدست آمده شرب شهری مخلوط شده و در سه تکرار هر یک از مشخصه های pH، هدایت الکتریکی، کنتراست و همگنی (بدست آمده

جدول ۱ میانگین داده های ورودی به سیستم مدل فازی جهت آموزش

همگنی تصویر	کنتراست تصویر	EC (میکرو زیمنس)	pH	میزان تقلب آب (درصد)
۰/۹۵۴۰±۰/۰۰۰۲	۰/۰۹۲۵±۰/۰۰۰۳	۴/۸±۰/۰۲	۲/۲±۰/۰۱	۰
۰/۹۵۴۵±۰/۰۰۰۱	۰/۰۹۱۲±۰/۰۰۰۱	۴/۷۴±۰/۰۱	۲/۲۸±۰/۰۱	۵
۰/۹۵۵۱±۰/۰۰۰۲	۰/۰۸۹۸±۰/۰۰۰۳	۴/۶۹±۰/۰۰	۲/۳۸±۰/۰۱	۱۰
۰/۹۵۶۴±۰/۰۰۰۳	۰/۰۸۶۵±۰/۰۰۰۲	۴/۵۸±۰/۰۲	۲/۴±۰/۰۰	۱۵
۰/۹۵۹۵±۰/۰۰۰۵	۰/۰۸۱۱±۰/۰۰۰۲	۴/۴۱±۰/۰۱	۲/۴۳±۰/۰۱	۲۵
۰/۹۶۱۰±۰/۰۰۰۱	۰/۰۷۸۰±۰/۰۰۰۴	۴/۱۸±۰/۰۲	۲/۴۶±۰/۰۰	۳۰
۰/۹۶۴۰±۰/۰۰۰۳	۰/۰۷۱۵±۰/۰۰۰۲	۳/۹۱±۰/۰۲	۲/۵±۰/۰۰	۴۰

میکروزیمنس در آبلیموی طبیعی به ۳/۹۱ میکروزیمنس در آبلیمو با ۴۰ درصد تقلب می رسد. کنتراست و همگنی دو خصوصیت متضاد در بررسی بافت تصاویر هستند که افزایش یکی باعث کاهش مقدار دیگری می شود [۳ و ۱۲]. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می شود با افزایش میزان آب در آبلیمو از ۰ تا ۴۰ درصد مقدار کنتراست تصاویر از ۰/۰۹۲۵ به

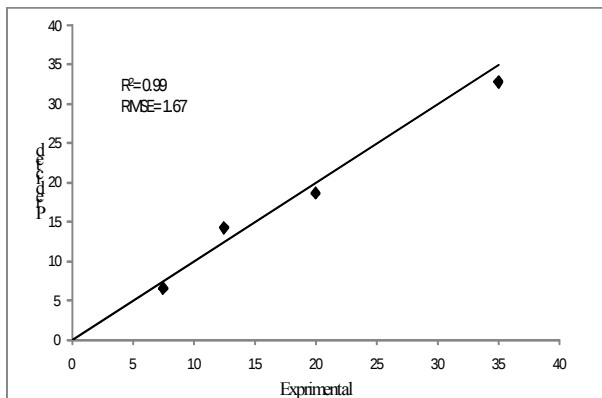
همانطور که در این جدول مشاهده می شود pH طبیعی آبلیمو ۲/۲ می باشد، پر واضح است که با افزایش میزان آب از ۵ تا ۴۰ درصد مقدار pH افزایش می یابد به طوری که در آبلیمو با ۴۰ درصد تقلب میزان pH به ۲/۵ می رسد. همانگونه که مسلم است به دلیل اسیدی بودن آبلیمو، با افزایش میزان آب، هدایت الکتریکی (EC) آن کاهش می یابد به طوری که از ۴/۸

مجموعه چهار عضوی از ورودی ها به یک مقدار خروجی نسبت داده شد. جدول ۲ قوانین استفاده شده در سیستم مدل را نشان می دهد.

۰/۰۷۱۵ کاهش یافته در حالی که بالعکس میزان همگنی از ۰/۹۵۴۰ به ۰/۹۶۴۰ افزایش می یابد. با استفاده از هفت قانون، ورودی ها به سیستم مدل معرفی شدند، به این صورت که یک

جدول ۲ پایگاه قوانین ایجاد شده جهت مدل سازی با استفاده از جدول جستجوی فازی

میزان آب	THEN	همگنی	and	کنتراست	and	EC	And	pH	IF	شماره قانون
1	THEN	1	and	7	and	6	And	1	IF	1
2	THEN	2	and	6	and	5	And	2	IF	2
3	THEN	3	and	5	and	5	And	3	IF	3
4	THEN	4	and	4	and	4	And	3	IF	4
5	THEN	5	and	3	and	3	And	3	IF	5
6	THEN	6	and	2	and	2	And	4	IF	6
7	THEN	7	and	1	and	1	And	4	IF	7



شکل ۴ مقایسه بین داده های آزمایشگاهی و داده های بدست آمده از مدل.

واکیرو^{۲۰} و همکاران [۱۵] با استفاده از مدل سازی فازی و به کارگیری سیستم استنتاج Takagi-Sugeno به مدل سازی فرایند خشک شدن مانگو (*Mangifera indica* L.) در ۴ دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتیگراد پرداختند. آنان دریافتند که مدل سازی فازی دارای قابلیت بالایی (R^2 برابر با ۰/۹۹۸۳) در مدل سازی فرایند خشک شدن این محصول، در مقایسه با مدل سازی های ریاضی بر پایه تئوری و نیمه تجربی رایج می باشد. آیوانو و همکاران [۹] با استفاده از سیستم استنتاج فازی Takagi-Sugeno به بررسی میزان قهوه ای شدن شیر و تخم مرغ حین فرایند پرداختند. آن ها با استفاده از تابع عضویت

با توجه به این که مجموعه قوانین ناسازگاری در پایگاه قوانین فازی به وجود نیامد، در نتیجه درجه تمام قوانین نوشته شده ۱ در نظر گرفته شد. برای تست کردن سیستم مدل فازی از ۷/۵، ۱۲/۵، ۲۰ و ۳۵ درصد تقلب آب استفاده شد و با وارد کردن مشخصه های ورودی مربوط به آن (pH، هدایت الکتریکی، کنتراست و همگنی) به سیستم مدل و بدست آوردن مقدار تقلب از این سیستم، کارایی سیستم مدل در تخمین میزان تقلب از روی پارامتر های آماری R^2 و RMSE تعیین شد که در شکل ۴ نشان داده شده است. مقدار بالای R^2 و پائین RMSE که به ترتیب برابر با ۰/۹۹ و ۱/۶۷ بدست آمد، نشان داد که سیستم استنتاج فازی یک ابزار قوی در تعیین میزان تقلب آب در آبلیموی طبیعی می باشد. اگر چه مقادیر R^2 و RMSE بدست آمده برای مدل سازی بر اساس رگرسیون چند متغیره خطی که به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۳۳ بودند، برتری نسبی این روش را نسبت به روش مدل سازی بر اساس جدول جستجوی فازی نشان داد، ولی باید گفت که با تغییر تعداد قوانین پایگاه فازی و افزایش تعداد توابع عضویت دستیابی به دقت های بالاتر برای این روش مدل سازی امکان پذیر است.

- [5] Robards, K. and Antolovich M. 1995. Methods for assessing the authenticity of orange juice, *Analyst*, 120: 1-28.
- [6] Siegmud, B., Derler, K. and Pfannhauser, W. 2004. Chemical and sensory effects of glass and laminated carton packages on fruit juice products—still a controversial topic. *Food Science and Technology*, 37: 481-488.
- [7] Brosnan, T. and Sun, D.W. 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision. *Journal of Food Engineering*, 61: 3-16.
- [8] Barbin, D., Elmasry, G., Sun, D.W. and Allen, P. 2012. Near-infrared hyperspectral imaging for grading and classification of pork. *Meat Science*, 90: 259-268.
- [9] Ioannou, I., Perrot, N., Curt, C., Mauris, G. and Trystram, G. 2004. Development of a control system using the fuzzy set theory applied to a browning process—a fuzzy symbolic approach for the measurement of product browning: development of a diagnosis model—part I. *Journal of Food Engineering*, 64: 497-506.
- [10] Li, Z., Vijaya Raghavan, G.S. and Wang, N. 2010. Apple volatiles monitoring and control in microwave drying. *Food Science and Technology*, 43: 684-689.
- [11] Li, Z., Vijaya Raghavan, G.S. and Wang, N., 2010. Carrot volatiles monitoring and control in microwave drying. *Food Science and Technology*, 43: 291-297.
- [12] Zheng, C., Sun, D.W. and Zheng, L. 2006. Recent applications of image texture analysis for evaluation of food qualities. *Trends in Food Science and Technology*, 17: 113-128.
- [13] Wang, L. X. 1997. A course in fuzzy systems and control. Prentice-hall international, Inc, 153-167.
- [14] Kingsly, A.R.P. and Singh, D.B. 2007. Drying kinetics of pomegranate arils. *Journal of Food Engineering*, 79: 741-744.
- [15] Vaquiro, H.A., Bon, J. and Diez, J.L. 2008. Fuzzy logic application to drying kinetics modeling. 17th IFAC World Congress, COEX, Korea, South, 2206-2211.
- [16] Saeidi, I., Hadjmohammadi, M.R., Peyrovi, M., Iranshahi, M., Barfi, B., Beig Babaei, A. and Mohammad Dust, A. 2011. HPLC determination of hesperidin, diosmin and eriocitrin in Iranian lime juice using polyamide as an adsorbent for solid phase extraction, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 56: 419-422.

ذوذنقه ای میزان سطح خاکستری تصاویر نمونه ها را به سه مجموعه در محدوده سیاه، در محدوده قهوه ای و در محدوده قهوه ای مایل به زرد تقسیم کردند و یک سیستم کنترلی فازی را ایجاد کردند که محدوده تغییر رنگ محصولات را حین فرایند شناسایی می کرد. سعیدی²¹ و همکاران [16] با استفاده از روش های استخراج فاز ثابت²² و کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) و از روی مقادیر هسپریدین، دیوسمین و اریوسیتترین به شناسایی آلبیموی طبیعی پرداختند.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق با بکارگیری مدلسازی بر اساس منطق فازی و استفاده از جدول جستجوی فازی، میزان تقلب آب در آلبیموی طبیعی تخمین زده شد. به دست آمدن R^2 بالا و RMSE پائین برای این تخمین نشان داد که از این جدول جستجو می توان به خوبی جهت تخمین میزان تقلب در محصولات مختلف غذایی نیز استفاده کرد.

۵- منابع

- [1] Movahednejad, M.H., Khoshtaghaza, M.H. and Abbasi, S. 2011. The effect of different juice extraction treatments on some qualitative properties of non-processed jahromi lime juice. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 42: 87-93.
- [2] Sedaghat, N. and Hosseini, F. 2011. Evaluation of physicochemical and sensory properties of PET containers packed lemon juice. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 8: 93-100.
- [3] Shahidi, F., Mohebbi, M. and Ehteiati, A. 2011. Image analysis of crumb digital images in Barbary bread enriched with soy flour. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 6: 247-253.
- [4] FAO, 2010. Food and Agricultural Organization of United Nations: Economic And Social Department: The Statistical Division.

21. Saeidi

22. Solid phase extraction

Detection of Water Fraud in Natural Lime Juice using Fuzzy Logic Table Look-Up Scheme

Yousefi, A. R. ^{1*}, Khodabakhsh Aghdam, S. ²

1. Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Bonab, Bonab, Iran
2. Department of Chemistry and Food Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran
(Received: 93/4/1 Accepted: 93/8/5)

For the first time in case of fraud detection in Iran, the amount of water as a fraud in natural lime juice was detected using fuzzy modeling system in the present study. Four parameters consisting pH, EC (electrical conductivity), contrast and homogeneity (obtained from the samples' images) were considered as input and the amount of water in natural lime juice was introduced as output of the fuzzy model system. Zero, 5, 10, 15, 25, 30 and 40% of water were used for system training and 7.5, 12.5, 20 and 35 % were used for testing the system. Mamdani's fuzzy inference system, triangle membership functions and 7 rules were used for fuzzy modeling. The performance of the model was determined using R^2 and RMSE statistical parameters. As a result, high value of R^2 (0.99) as well as low value of RMSE (1.67) demonstrated that fuzzy inference system can be used as an efficient method to estimate the amount of water fraud in natural lime juice.

Keywords: Fraud, Modeling, Fuzzy logic, Lime juice

* Corresponding Author E-Mail Address: a_yousefi@bonabu.ac.ir