



استفاده از شبکه عصبی در تخمین غلظت رنگزا در محلول‌های دوجزئی با پویسگر

منصور مافی^۱، علی شمس ناتری^{۲*}

۱- کارشناس ارشد، گروه مهندسی نساجی، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، صندوق پستی: ۴۳۶۵۳ - ۴۱۹۹۸

۲- دانشیار، گروه مهندسی نساجی، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، صندوق پستی: ۴۳۶۵۳ - ۴۱۹۹۸

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۱۰ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۱/۹/۲۰

چکیده

روش متداول به منظور تعیین غلظت اجزای محلول مواد رنگزا جذب‌سنجی می‌باشد. اما این روش دارای مشکلات و محدودیت‌هایی می‌باشد. بنابراین استفاده از روش‌های ارزان‌تر و آسان‌تر بسیار مطلوب می‌باشد. این کار تحقیقاتی روش جدیدی را برای اندازه‌گیری غلظت محلول مواد رنگزا به کمک پویسگر بیان می‌نماید. در این روش از شبکه عصبی برای برقراری ارتباط بین پارامترهای رنگی RGB تصویر محلول اسکن شده و غلظت رنگزا استفاده گردید. در ادامه قابلیت پیشگویی روش استفاده از پویسگر با روش معمولی اسپکتروفوتومتری مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصله بیانگر قابلیت خوب روش در مقایسه با روش معمولی می‌باشد. واژه‌های کلیدی: تخمین، غلظت رنگزا، محلول‌های دوجزئی، اسپکتروفوتومتری، شبکه عصبی.

Dye Concentration Estimation in Bicomponent Solution by Neural Network Based Scanner

M. Mafi, A. Shams Nateri*

Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, University of Guilan, P.O.Box: 41997- 43653, Rasht, Iran

Received: 16-10-2011

Accepted: 29-02-2012

Available online: 10-12-2012

Abstract

Spectrophotometric technique is common method for measuring concentrations in dye mixture solution, but there are several problems and disadvantages in this technique. Therefore, application of inexpensive and uncomplicated methods is desirable. This research explains a new method for dye concentration measurement by a scanner. In this method neural network is used to make relationship between scanner RGB values and dye concentration in mixture. Then, this new method is compared with normal spectrophotometric method. The obtained results indicate that the performance of neural network based scanner method is comparable with normal spectrophotometric method. J. Color Sci. Tech. 6(2012), 247-251 © Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Estimation, Dye concentration, Bicomponent solution, Spectrophotometric, Neural network

۱- مقدمه

هر سل به طور معمول یک تابع غیر خطی ساده را روی جمع وزن داده شده ورودی‌هایش محاسبه می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که به طور کلی تمامی توابع عصبی بیولوژیکی (شامل حافظه) در نرون‌ها و اتصالات بین آنها ذخیره می‌شوند. یادگیری به عنوان ایجاد یک اتصال جدید یا تغییر اتصالات موجود دانسته شده است. یک شبکه عصبی یک مدل محاسباتی الهام گرفته از شبکه مصنوعی عصبی بیولوژیکی (ANN) است که شامل عناصر پردازش (نرون‌ها) و اتصالات بین آنها با ضرایب مربوطه (که وزن اتصالات نامیده می‌شوند) می‌باشد. وزن اتصالات حافظه سیستم نامیده می‌شود. معمولاً ANN‌ها تعلیم داده می‌شوند تا اینکه ورودی‌های ویژه به خروجی‌های مشخصی برسند. اصولاً تعداد زیادی جفت ورودی- خروجی برای تعلیم شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعلیم شبکه از طریق ایجاد یا تغییر وزن و بایاس (مقدار ثابت) بر پایه دسته ورودی‌ها و خروجی‌های متناظر در تعلیم صورت می‌گیرد [۱۳، ۴].

ورودی‌های یک نرون شامل بایاس و جمع ورودی‌های وزن داده شده آن است. خروجی نرون به ورودی‌های آن و تابع انتقال بستگی دارد. یک نرون تنها توانایی چندانی ندارد. از این رو چندین نرون برای ایجاد یک لایه و چندین لایه به منظور تشکیل یک شبکه چندلایه کنار هم قرار می‌گیرند. ساختار یک شبکه شامل توصیف تعداد لایه‌های شبکه، تعداد نرون‌ها در هر لایه، تابع انتقال هر لایه و نحوه اتصال آنها به یکدیگر است. بهترین ساختار مورد استفاده بسته به نوع مسئله متفاوت است [۱۴]. شبکه عصبی با معماری‌های مختلف در علم رنگ به کار گرفته شده‌اند.

در این تحقیق سعی شده است با استفاده از شبکه عصبی، رابطه‌ای بین مقادیر پارامترهای رنگی RGB به دست آمده از پوشش محلول‌های رنگزا و غلظت این محلول‌ها برقرار گردد. این روش در گذشته به منظور ایجاد ارتباط بین پارامترها مستقل و وابسته به دستگاه و اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها به کار برده شده است [۶]. که در این تحقیق برای اولین بار به منظور تعیین غلظت مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه قابلیت این روش با روش متداول جذب‌سنجی مقایسه می‌گردد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

مواد رنگزای مورد استفاده شامل مواد رنگزای راکتیو قرمز، زرد و آبی به ترتیب با نام‌های Cibacron Red GE، Cibacron yellow 2GE و Cibacron Blue GNE محصول شرکت سیبا می‌باشد.

۲-۲- روش کار

به منظور تهیه محلول‌های دوجزیبی از سه نوع رنگ قرمز، آبی و زرد استفاده گردید و سه دسته مختلف محلول دو جزیبی از ترکیب این

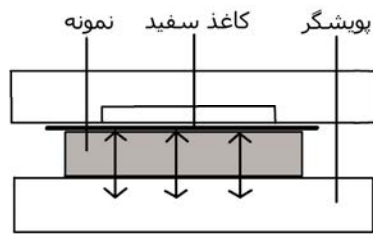
اگر بتوان اسپکتروفوتومترها را که امروزه به صورت گسترده‌ای برای اندازه‌گیری غلظت محلول‌های رنگزا مورد استفاده قرار می‌گیرند را با دستگاه‌های دریافت تصویر مانند پوششگرها جایگزین کرد، پیشرفت بزرگی در صرفه‌جویی زمان و هزینه اندازه‌گیری غلظت محلول‌های رنگزا حاصل می‌گردد [۱، ۲]. یکی از مسایل مورد توجه در استفاده از پوششگرها، کالیبراسیون این وسیله می‌باشد. اگر کالیبراسیون کالریمتریک دستگاه موفقیت‌آمیز باشد، اندازه‌گیری رنگ می‌تواند بوسیله یک سیستم بر پایه دستگاه انجام شود. اما این روش کالیبراسیون کالریمتریک دارای یک مشکل می‌باشد [۳]. در دستگاه‌های دریافت تصویر مانند پوششگرها و دوربین‌های دیجیتال، رنگ با سیستم وابسته به دستگاه RGB بیان می‌شود. از این رو در روش‌های معمول به منظور بدست آوردن اندازه‌گیری‌های دقیق و قابل اطمینان با استفاده از پوششگر بایستی مطابق رابطه ۱ ارتباطی بین فضا رنگ RGB وابسته به دستگاه پوششگر و مؤلفه‌های یک فضا رنگ مستقل از دستگاه مانند CIEXYZ یا CIELAB برقرار شود. هدف کالیبراسیون رنگ به دست آوردن تابع تبدیل g از مؤلفه‌های وابسته به دستگاه RGB به مؤلفه‌های CIEXYZ یا CIELAB است [۴، ۵]. به صورت ریاضی می‌توان نوشت:

$$[X, Y, Z] = g(R, G, B) \text{ یا } [L^*, a^*, b^*] \quad (1)$$

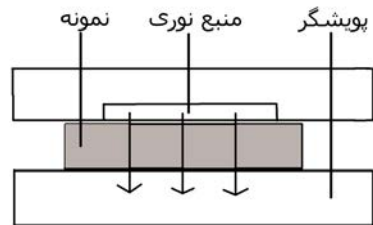
برای به دست آوردن این تابع تبدیل روش‌های مختلفی مانند شبکه عصبی، رگرسیون و غیره وجود دارد [۱۳-۶].

یک شبکه عصبی را می‌توان به عنوان یک جعبه سیاه^۱ در نظر گرفت که از طریق یک سری ورودی^۲ به دنیای خارج مرتبط است و از طریق یک سری خروجی^۳ بر دنیای خارج اثر متقابل دارد [۱۳]. کار یک شبکه ایجاد و برقراری یک مجموعه از نقشه‌ها بین ورودی و خروجی‌اش می‌باشد. آنچه که شبکه‌ها را غیر معمول و قدرتمند می‌سازد، توانایی آنها برای روبرو شدن با اطلاعات واقعی است که از طریق روابط و نظریه‌های موجود نمی‌توان بین آنان رابطه‌ای برقرار ساخت. به علاوه یک شبکه این توان را دارد که در صورت دریافت اطلاعات دقیق بیشتر، کارایی خود را با زمان بهبود بخشد [۱۴]. شبکه‌های عصبی مجموعه‌ای از پردازشگرهای مرتبط هستند که سل^۴ یا گره^۵ یا عصب^۶ نامیده می‌شوند و به تنهایی قابل برنامه‌ریزی نیستند.

- 1- Black box
- 2- Inputs
- 3- Outputs
- 4- Cell
- 5- Node
- 6- Neuron



روش انعکاسی



روش انتقالی

شکل ۱: پوشش محلول‌ها به روش انعکاسی و انتقالی.

۳- نتایج و بحث

پس از آموزش شبکه‌ها با معماری‌های مختلف به کمک پارامترهای رنگی به دست آمده نمونه‌ها به تفکیک روش پوشش، از شبکه آموزش دیده به منظور تخمین غلظت نمونه‌های آزمون استفاده گردید. مقدار درصد خطای نسبی بین مقادیر غلظت واقعی و غلظت تخمین زده شده محاسبه گردید و به تفکیک نوع رنگزا در سه مخلوط موجود در معماری‌های مختلف شبکه و روش پوشش در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. در جدول ۱ مقدار خطای نسبی تخمین غلظت در حالت پوشش انعکاسی آورده شده است. در این جدول بیشترین مقدار خطا مربوط به تخمین غلظت رنگ زرد در مخلوط با رنگ آبی بوده که مقدار آن در حالت استفاده از معماری متشکل از ۴ نرون در یک لایه با مقدار ۱۶,۴۴ درصد می‌باشد. کمترین مقدار خطا هم مربوط به تخمین غلظت رنگ قرمز در مخلوط با رنگ آبی می‌باشد که با دو معماری متشکل از یک لایه پنهان با ۲ و ۴ نرون در لایه با مقدار ۳,۴۲ درصد می‌باشد. همچنین با توجه به میانگین درصد خطای به دست آمده مربوط به هر معماری برای تمامی نمونه‌ها (میانگین ستون‌ها) می‌توان مشاهده نمود که استفاده از معماری متشکل از ۶ نرون در یک لایه بیشترین مقدار خطا را با رقمی برابر ۱۱,۸۴ درصد نشان می‌دهد. در ادامه از بررسی نتایج به دست آمده به تفکیک رنگزا در همه معماری‌ها (میانگین سطرها) مشاهده می‌شود که بیشترین میانگین خطا مربوط به رنگزای زرد در مخلوط با رنگزای آبی و کمترین مقدار خطا مربوط به رنگ قرمز در ترکیب با رنگ آبی می‌باشد.

رنگ‌ها حاصل شد. برای هر جزء رنگ ۶ غلظت ۰,۱، ۰,۲۵، ۰,۴، ۰,۵۵، ۰,۷ و ۰,۸۵ گرم بر لیتر در نظر گرفته شده که در ترکیب این غلظت‌ها در هر دسته ۳۶ محلول دوجزئی تهیه گردید.

محلول‌ها درون سل پوشش شده و مقادیر پارامترهای رنگی RGB تصاویر اندازه‌گیری شد. عملیات پوشش به دو روش انعکاسی و انتقالی انجام گرفت. در حالت انعکاسی (شکل ۱) منبع نور و حسگر در یک طرف بوده و سل به کمک کاغذ سفید پشت‌پوش گردید. و در حالت پوشش انتقالی (شکل ۲) منبع نور و حسگر در دو طرف سل محلول بودند. لازم به ذکر است که در تمامی موارد پوشش کلیه تنظیمات پوششگر مانند تنظیمات گاما و مقدار روشنایی دستگاه ثابت بوده است. به منظور برقراری ارتباط بین پارامترهای رنگی و غلظت محلول‌ها از شبکه عصبی با ۷ معماری مختلف استفاده گردید که تمامی این شبکه‌ها دارای ۳ ورودی (مقادیر RGB) و دو خروجی (غلظت اجزای مخلوط دوتایی) می‌باشند. تفاوت این شبکه‌ها در تعداد گره‌ها و لایه‌های پنهان بود. تعداد نرون‌ها در ۵ معماری با یک لایه پنهان به ترتیب ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ نرون در لایه بوده است. در دو معماری دیگر دو لایه مخفی استفاده شد که در معماری اول ۳ نرون در لایه اول و ۲ نرون در لایه دوم، و در معماری دوم هر دو لایه دارای ۲ نرون بود. از ۱۰۸ محلول تعداد ۷۲ نمونه به منظور آموزش شبکه و تعداد ۳۶ نمونه باقی‌مانده جهت آزمون شبکه استفاده گردید که این نمونه‌ها با فاصله مساوی ۲ نمونه و در تمامی غلظت‌ها انتخاب شدند. به منظور محاسبه مقدار خطای روش از مقدار درصد خطای نسبی تخمین غلظت (E) با فرمول ۲ استفاده گردید، که در آن C_a مقدار غلظت واقعی و C_p مقدار غلظت تخمین زده شده است.

$$E = 100 \times \frac{|C_a - C_p|}{C_a} \quad (2)$$

همچنین به منظور مقایسه روش معرفی شده با روش متداول جذب‌سنجی، غلظت اجزای محلول‌های دوجزئی به روش متداول جذب‌سنجی و با استفاده از طیف جذبی محلول‌ها تخمین زده شد. به منظور اندازه‌گیری طیف جذبی محلول‌ها از دستگاه اسپکتروفوتومتر انتقالی UV-Vis با نام تجاری (Cintra10 UV/VIS)، در محدوده ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر و در فواصل ۲۰ نانومتری استفاده گردید و پوششگر مورد استفاده برای پوشش محلول‌ها از نوع پوششگر تخت دارای نام تجاری Benq و مدل ST-5550 بود. لازم به ذکر است که پوششگر مورد استفاده دارای امکان استفاده از دو نوع حالت پوشش به صورت انعکاسی و انتقالی می‌باشد. دو روش پوشش در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: میزان درصد خطای نسبی تخمین غلظت اجزای محلول‌ها در حالت پویش انعکاسی.

تعداد نرون	یک لایه مخفی			دو لایه مخفی			میانگین
	۲	۳	۴	۵	۶	۲-۲	
آبی ۱	۷,۵۲	۱۲,۸۲	۷,۱۹	۵,۶۷	۵,۶۹	۵,۳۹	۹,۶۲
زرد ۱	۷,۵۰	۶,۹۱	۱۶,۴۴	۶,۶۲	۱۲,۳۶	۷۰,۰۱	۱۴,۸۱
آبی ۲	۳,۹۰	۹,۷۱	۶,۱۵	۸,۴۰	۱۲,۱۹	۸,۱۴	۷,۸۲
قرمز ۲	۳,۴۲	۳,۵۳	۳,۴۲	۵,۷۵	۱۵,۷۱	۴,۱۵	۵,۹۵
قرمز ۳	۸,۵۳	۸,۶۰	۸,۲۴	۹,۷۸	۱۳,۵۹	۱۱,۲۱	۷,۳۷
زرد ۳	۸,۳۵	۹,۹۰	۷,۵۰	۸,۰۹	۱۱,۵۰	۹,۲۰	۵,۹۱
میانگین	۶,۵۴	۸,۵۸	۸,۱۶	۷,۳۹	۱۱,۸۴	۷,۵۲	۸,۵۸

جدول ۲: میزان درصد خطای نسبی تخمین غلظت اجزای محلول‌ها در حالت پویش انتقالی.

تعداد نرون	یک لایه مخفی			دو لایه مخفی			میانگین
	۲	۳	۴	۵	۶	۳-۲	
آبی ۱	۵,۷۹	۵,۰۰	۴,۵۱	۳,۸۶	۶,۷۰	۵,۷۱	۶,۵۵
زرد ۱	۱۰,۹۲	۱۵,۴۷	۱۴,۹۵	۱۵,۵۵	۹,۰۳	۷,۷۷	۱۳,۰۶
آبی ۲	۲,۵۷	۲,۴۲	۴,۳۷	۱,۹۲	۳,۳۰	۲,۷۲	۳,۰۹
قرمز ۲	۶,۴۳	۱,۳۳	۴,۴۸	۳,۸۶	۷,۱۹	۳,۴۵	۳,۴۴
قرمز ۳	۵,۶۴	۳,۵۶	۸,۳۸	۴,۷۱	۴,۱۲	۵,۸۶	۱۲,۹۵
زرد ۳	۵,۷۹	۵,۰۰	۴,۵۱	۳,۸۶	۶,۷۰	۵,۷۱	۶,۵۵
میانگین	۶,۱۹	۵,۴۶	۶,۸۷	۵,۶۳	۶,۱۷	۵,۲۰	۷,۶۱

دلیل اثر میزان انعکاس کاغذ به کار رفته و همچنین تکرار بیشتر پدیده سطحی در هنگام عبور نور از یک محیط به محیط دیگر باشد. به منظور مقایسه دقت روش معرفی شده با دقت روش متداول جذب‌سنجی، از طیف‌های جذبی محلول‌ها جهت تعیین غلظت نیز استفاده گردید. به این ترتیب که با استفاده از مقدار جذب در طول موج بیشترین جذب برای هر دو رنگزا در هر مخلوط یک دستگاه با دو معادله و دو مجهول تشکیل گردید و اقدام به حل این دستگاه با استفاده از اطلاعات نمونه‌های آموزش و تخمین غلظت نمونه‌های آزمون گردید، سپس مقدار درصد خطای نسبی پیش‌بینی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید. میانگین مقدار درصد خطای نسبی پیش‌بینی یا استفاده از روش جذب‌سنجی به تفکیک رنگزا در جدول ۳ آورده شده است.

در جدول ۲ نتایج مربوط به تخمین غلظت با استفاده از پارامترهای به دست آمده از روش پویش انتقالی آورده شده است. برطبق نتایج به دست آمده می‌توان مشاهده نمود که اختلاف قابل توجهی در بین استفاده از معماری‌های مختلف مشاهده نمی‌گردد و این مقدار خطا با مقدار نوسانی در حدود ۲,۵ درصد تغییر نموده است. اما در هنگام مقایسه میانگین درصد خطای نسبی تخمین غلظت به تفکیک رنگزا، مشاهده می‌گردد که رنگ زرد در مخلوط رنگ آبی بیشترین مقدار خطا و رنگ آبی در مخلوط با رنگ قرمز کمترین مقدار خطا را نشان می‌دهد. با توجه به جدول‌های ۱ و ۲، اندازه‌گیری غلظت اجزای محلول‌ها در حالت پویش انتقالی دارای دقت بیشتری نسبت به حالت پویش انعکاسی می‌باشد. دقت پایین در حالت پویش انعکاسی می‌تواند به

جدول ۳: مقدار درصد خطای نسبی پیش‌بینی غلظت نمونه‌های آزمون محاسبه‌شده به روش جذب‌سنجی.

قرمز ۳	زرد ۳	آبی ۲	قرمز ۲	آبی ۱	زرد ۱	
۱۴,۲۱	۱۵,۳۳	۲۱,۲۳	۱۵,۵۱	۱۰,۱۴	۱۱,۲۳	میانگین
۳,۵۳	۱۱,۹۸	۲۸,۴۲	۹,۹۲	۱۲,۲۷	۱۰,۴۹	انحراف معیار
۱۹,۳۱	۳۳,۸۴	۸۶,۸۷	۳۷,۸۷	۴۴,۳۶	۳۷,۰۱	حداکثر
۹,۱۹	۲,۱۶	۲,۱۵	۴,۳۱	۰,۰۶	۰,۴۹	حداقل

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از روش استفاده از پویشرگر در هر دو حالت پویشر و مقایسه آنها با نتایج بدست آمده از روش متداول جذب‌سنجی مشاهده می‌شود که در تمامی حالت‌ها مقدار خطای روش معرفی شده از خطای روش جذب‌سنجی کمتر بوده و در نتیجه دقت روش معرفی شده بالاتر می‌باشد. لازم به ذکر است که به علت محدودیت در اندازه‌گیری محلول‌ها به غلظت بالا با استفاده از اسپکتروفوتومتر مجبور به رقیق کردن این محلول‌ها و سپس اندازه‌گیری طیف‌جذبی می‌باشیم که این امر خود به دلیل افزایش یک مرحله کار آزمایشگاهی باعث افزایش مقدار خطا در تعیین غلظت به روش جذب‌سنجی می‌شود، در حالی که در روش معرفی شده و استفاده از پویشر محدودیت استفاده از محلول‌های غلیظ تا حدودی وجود نداشته و احتیاج به رقیق نمودن محلول‌ها نمی‌باشد. همچنین با توجه به قیمت بسیار پایین پویشرگر مورد استفاده در این روش نسبت

به دستگاه اسپکتروفوتومتر به کار رفته در روش جذب‌سنجی می‌توان گفت که این روش با توجه به دقت بالاتر، روش ارزان‌تری نیز می‌باشد که به این دلایل یک روش بسیار مطلوب برای کاربران نیمه حرفه‌ای و غیر حرفه‌ای می‌باشد. لازم به ذکر است که این روش در غلظت‌های بالا دارای دقت بیشتری بوده و با کاهش غلظت از دقت آن نیز کاسته می‌شود. به طوری که در مواردی که نمونه‌ها نباید رقیق شوند روش پویشرگر نسبت به روش اسپکتروفوتومتری قابلیت بیشتری دارد زیرا در روش اسپکتروفوتومتری نمونه‌ها بایستی آنقدر رقیق شوند تا مقدار جذب آنها در محدوده دستگاه اسپکتروفوتومتر قرار گیرد. در حالی که در روش پویشرگر نیازی به رقیق کردن نیست. دقت روش شبکه عصبی به مقدار و نحوه آموزش و همچنین به تعداد نمونه‌های آموزشی بستگی دارد. به طوری که هرچه از تعداد بیشتری نمونه جهت آموزش استفاده گردد دقت روش افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش هزینه این روش می‌گردد.

۵- مراجع

- J. M. Hollas, Modern spectroscopy. Wiley InterScience, 4th Edition, (2003), 34-38.
- M. Andersson, Topics in color measurement. Licentiate Thesis, Linkoping studies in science and technology, Sweden. 2004
- R. Kang, Color scanner calibration. *J. Image. Sci. Technol.* 36(1992), 162-170.
- S. H. Amirshahi, F. Agahiyan, Computational color physics. Arkan, Isfahan, (2008), 125-30.
- M. Andersson, Guidelines for objective print quality measurements using flatbed scanners. Proceedings of the TAGA 2004 Conference, San Antonio, USA, (2004), 41-46.
- W. J. Jasper, E. V. Kovacs, G. Berkstresseriv, Using neural networks to predict dye concentrations in multiple dye mixtures. *Textile. Res.* 63(1993), 545-551.
- S. Bianco, F. Gasparini, R. Schettini, L. Vanneschi, Polynomial modeling and optimization for colorimetric characterization of scanners. DISCO, Department of Computer Science Systems and Communication. University of Milan-Bicocca, http://www.ivl.disco.unimib.it/papers2003/JEI-Scanner_rev2.pdf, accessed online Jan. 2008.
- S. Nateri, M. Mafi, Determination of natural dyes concentration by scanner. *Amirkabir J. Sci. Technol.* 70(2009), 81-88.
- K. Leo'n, D. Mery, F. Pedreschi, J. Leo'n, Color measurement in Lab units from RGB digital images. *Food Res. Inter.* 39(2006), 1084-1091.
- Y. T. Kim, Y. H. Cho, C. H. Lee, Y. H. Ha, Color look-up table design for gamut mapping and color space conversion. International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications 2003, Barcelona, Spain, (2003), 28-29.
- H. R. Kang, P. G. Anderson, Neural network applications to the color scanner and printer calibrations. *J. Elec. Image.* 1(1992), 125-135.
- A. Ver, M. Bacauskiene. Estimating ink density from color camera RGB values by the local kernel ridge regression. *Eng. App. Artificial. Intel.* 21(2008), 35-42.
- E. Sanchez, L. C. Sienencio, Artificial Neural Networks. 1st Edition. IEEE Press. (1992), 229-235.
- R. J. Schalkof, Artificial Neural Networks. McGraw-Hill International Editions. Singapore, (1997), 111-130