

«یادداشت فنی»

تعیین عیار ماده معدنی با استفاده از شبکه عصبی MLP و تکنیک پردازش تصویر

مهدی ذاکری خطیر^{۱*}؛ امید شاه حسینی^۲؛ سید ضیاءالدین شفائی^۳؛ محسن رحیمی^۴

۱- عضو هیات علمی، جهاد دانشگاهی واحد تربیت مدرس، M.Zakeri@acecr.ac.ir

۲- پژوهشگاه نیرو، omid.shahhoseini@gmail.com

۳- دانشیار دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، kaveh_shafaei@yahoo.com

۴- عضو هیات علمی، جهاد دانشگاهی واحد تربیت مدرس، mrahimi@modares.ac.ir

(دریافت ۵ خرداد ۱۳۸۷، پذیرش ۳ خرداد ۱۳۸۸)

چکیده

در این مقاله امکان تعیین عیار مواد معدنی با استفاده از شبکه عصبی و تکنیک پردازش تصویر مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های مورد استفاده در این طرح از معدن چغارت یزد تهیه و تعداد آنها نیز ۱۰۰ عدد بوده است. در این طرح با تهیه عکس از نمونه‌های پودر شده با دوربین عکاسی دیجیتالی حرفه‌ای و با استفاده از ویژگی‌های تصویری عکس‌ها شامل سه رنگ اصلی قرمز، آبی و سبز (RGB) تصاویر و ویژگی‌های بافتی هارلیک شامل انرژی^۱، آنتروپی^۲، کنتراست^۳ و یکنواختی تصاویر^۴ و علم پردازش تصاویر با شبکه عصبی MLP^۵ اقدام به تعیین عیار ماده معدنی مورد نظر نموده ایم. شبکه عصبی تعیین شده در ابتدا با ۷۰ نمونه آموزش داده شده و سپس با ۳۰ نمونه واقعی آزمایش گردیده است. در این طرح از سه روش برای آموزش شبکه عصبی استفاده شده که در روش اول تنها سه رنگ اصلی (میزان سطح خاکستری در هر پیکسل)، در روش دوم سه رنگ اصلی به همراه انحراف معیار آنها و در روش سوم سه رنگ اصلی به علاوه ویژگی‌های بافتی تصاویر که در بالا ذکر شد به عنوان ورودی شبکه در نظر گرفته شده است. در نهایت شبکه طراحی شده با استفاده از روش اول قادر به پیش بینی عیار آهن با دقت ۹۵/۲ درصد در روش دوم با دقت ۹۶/۹ درصد و در روش سوم با دقت ۹۷/۷۲ درصد می‌باشد.

کلمات کلیدی

عیار ماده معدنی، پردازش تصویر، شبکه عصبی MLP، آموزش شبکه عصبی.

* عهده‌دار مکاتبات

۱- مقدمه

$(t,v)=(r+dx,s+dy)$ می‌باشد. $|0|$ نیز مقدار یک تابع را نشان می‌دهد.

۱-۲- آنتروپی یا بی‌نظمی تصویر

آنتروپی یا بی‌نظمی تصویر در واقع میزان پیچیدگی یک تصویر را مشخص می‌کند. در واقع تصاویر با پیچیدگی‌های بیشتر از آنتروپی بالاتری برخوردار هستند. در زیر فرمول مورد استفاده در احتساب آنتروپی آورده شده است:

$$Entropy = -\sum_i \sum_j p_d(i, j) \log p_d(i, j) \quad (2)$$

که در آن i و j بیکسل‌های تصاویر گرفته شده می‌باشد و ماتریس P نیز ماتریس تصادفی می‌باشد. بیشترین مقدار آنتروپی زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار روشنایی تصویر با فرکانس آن برابر شود که در این حالت معمولاً هیستوگرام تصویر حالت همشکل دارد. کمترین مقدار آنتروپی نیز برابر صفر می‌باشد و زمانی است که تمامی بیکسل‌های تصاویر دارای یک شدت روشنایی باشد.

۲-۲- درجه خاکستری یک تصویر

معیاری برای بیان میزان تنوع و اختلاف مکانی یک تصویر است. فرمول مورد استفاده برای وضوح تصویر بصورت زیر می‌باشد:

$$Contrast = \sum_i \sum_j (i - j)^2 p_d(i, j) \quad (3)$$

که همانند فرمول قبل i و j درایه‌های بیکسل تصاویر و $p(i,j)$ ماتریس تصادفی می‌باشد.

۲-۳- انرژی یک تصویر

انرژی یک تصویر در واقع بیان کننده یکنواختی تصویر می‌باشد و به همین دلیل معیار مناسبی برای تخمین آشفتگی تصویر می‌باشد. هرچه قدر یکنواختی تصویر کمتر باشد انرژی تصویر نیز کاهش می‌یابد. در ذیل به ارائه فرمول هموزنیتته و انرژی تصویر می‌پردازیم.

$$Energy = \sum_i \sum_j \{p_d(i, j)\}^2 \quad (4)$$

$$Hemogenity = \sum_i \sum_j \frac{1}{1 + (i - j)^2} p_d(i, j) \quad (5)$$

استفاده از علم پردازش تصویر چند سالی است که به طور گسترده‌ای وارد فعالیتهای معدنی گردیده است. برای اولین بار هرالیک^۶ و همکارانش در سال ۱۹۷۳ [۱] ویژگی‌های بافتی تصاویر را معرفی نمودند. این ویژگی‌ها که در ابتدا در سینما علوم پزشکی و ماشین‌های تصویری مورد استفاده قرار گرفت شامل آنتروپی، کنتراست، انرژی و یکنواختی [۲] تصویر بودند. کاربرد این ویژگی‌ها بیشتر به منظور اندازه‌گیری اندازه ذرات مواد معدنی مورد استفاده قرار گرفته بود [۳]. در جدیدترین کار تیابت^۷ و همکارانش در سال ۲۰۰۶ کاربرد شبکه عصبی و علم پردازش تصویر را در اندازه‌گیری دانه‌بندی مواد معدنی روی نوار مقاله مورد بررسی قرار داد [۴]. استفاده از علم پردازش تصویر و شبکه عصبی در تعیین عیار مواد معدنی کار بسیار جدیدی می‌باشد. تازه‌ترین تلاش در این زمینه توسط سینگ^۸ و همکارانش در سال ۲۰۰۵ بوده است که طبقه‌بندی مواد معدنی بر اساس پرعیار و یا کم عیار بودن آنها بوده است [۵]. آنها در این طرح از علم پردازش تصویر و شبکه عصبی شعاعی استفاده نموده اند. یکی از مهم‌ترین کاربردهای شبکه عصبی شعاعی امروزه در سنجش از راه دور تصاویر ماهواره‌ای و طبقه‌بندی نمودن آنها می‌باشد [۶]. علم پردازش تصویر در واقع یک شبیه‌سازی از چشم انسان می‌باشد که قادر به تشخیص تفاوت‌ها است. این امر یک شبکه عصبی و یا هر سیستم هوشمند را قادر به تشخیص مواد معدنی با ارزش از گانگ خواهد ساخت.

۲-مبانی تئوری در پردازش و استخراج ویژگی‌های تصویر

برای پردازش تصویر از ویژگی‌های بافتی تصویر استفاده شده است. این ویژگی که به نام ویژگی‌های هارلیک معروف هستند دارای تعریف و فرمول‌های ماتریسی خاصی هستند. در زیر تعاریف و فرمول‌های ویژگی‌های ذکر شده آورده شده است: ماتریس P : یک ماتریس تصادفی از مرتبه $G \times G$ می‌باشد و عناصر آن برای یک بردار تغییر مکان $d=(dx,dy)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P(i, j) = \left| \{((r, s), (t, v)) : I(r, s) = i, I(t, v) = j\} \right| \quad (1)$$

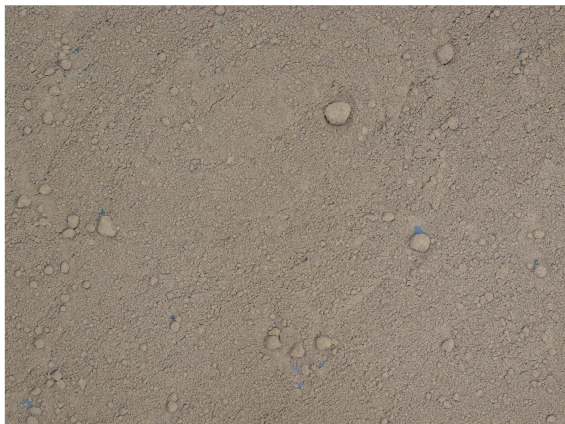
که در اینجا $I(0,0)$ نشان دهنده یک تصویر به اندازه $N \times N$ و با G مقدار خاکستری می‌باشد. و $(r,s), (t,v) \in N \times N$ و همچنین

۳- آزمایش‌ها

۳-۱- تهیه نمونه و تصاویر

۱۰۰ عدد نمونه مورد نظر از معدن سنگ آهن چغارت تهیه شده و پس از پودر سازی، حل و آنالیز شدند. پس از مشخص شدن عیار، نمونه‌ها با استفاده از دوربین عکاسی مدل FUJI S7000 با وضوح ۱۳ مگاپیکسل توسط عکاس حرفه‌ای در آتلیه عکس‌برداری شدند. ثابت بودن میزان نور و مکان دوربین برای تمامی نمونه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. ضمناً تمامی نمونه‌ها در دمای محیط خشک شدند تا میزان رطوبت تاثیری بر کیفیت تصاویر نداشته باشد. شکل ۱ تا ۳ سه نمونه از تصویر تهیه شده از نمونه‌ها را برای مثال نشان می‌دهد.

روش مشخصی جهت تعیین این تعداد ارایه نشده است و بیشتر یک کار تجربی است. تابع تحریک به کار رفته در سراسر شبکه از نوع تانسیگ^{۱۱} یا سیگموئید است که با جستجوی این نام در راهنمای نرم افزار مطلب^{۱۱} شکل آن را می‌توان یافت. تعداد نرون‌های لایه خروجی ۱ است که خروجی آن درصد عیار تخمین زده شده به صورت نرمالیزه شده بین ۰ تا ۱ است و لذا با ضرب آن در عدد ۱۰۰ درصد واقعی به دست می‌آید. سایر پارامترهای شبکه، مقادیر پیش فرض در نرم افزار مطلب در نظر گرفته شده‌اند و حائز اهمیت چندان نیستند. اشکال ۴ تا ۶ شبکه عصبی استفاده شده در این پروژه را نشان می‌دهد.



شکل ۳: تصویری از نمونه عکس‌برداری شده با عیار آهن ۲۷/۷۸



شکل ۱: تصویری از نمونه عکس‌برداری شده با عیار آهن ۶۶/۳ درصد

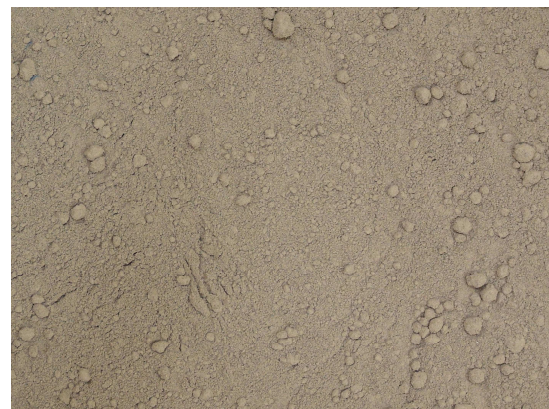
۳-۳- آموزش شبکه عصبی

برای آموزش نرم‌افزار از ۷۰ نمونه آهن استفاده شده است و با استفاده از ۳۰ نمونه به اعتبارسنجی مدل شبکه عصبی پرداخته شد. در این پروژه از ۳ روش مختلف استفاده گردید که توضیحات آن به شرح زیر می‌باشد:

در روش اول فقط از ویژگی‌های رنگ استفاده شده است. این ویژگی‌ها شامل میانگین سطح خاکستری هر سه کانال قرمز، سبز و آبی است و لذا بردار ویژگی حاصله ۳ خواهد بود.

در روش دوم باز هم از ویژگی‌های رنگ اما متفاوت با روش اول استفاده شده است. این ویژگی‌ها عبارتند از میانگین و انحراف معیار پیکسل‌ها (سطوح خاکستری) در هر سه کانال رنگی. لذا طول بردار ویژگی ۶ خواهد بود.

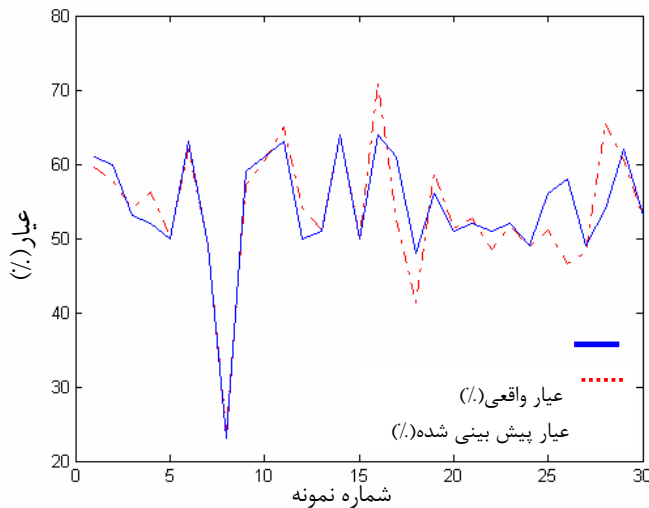
در روش سوم هم از ویژگی‌های رنگی و هم بافتی استفاده شد. ویژگی‌های رنگی همان ویژگی‌های استفاده شده در روش اول هستند و ویژگی‌های بافتی ۴ مقدار آنتروپی، انرژی، کنتراست و یکنواختی محاسبه شده از روی ماتریس‌های هم رخداد در ۴



شکل ۲: تصویری از نمونه عکس‌برداری شده با عیار آهن ۳۲/۱۱ درصد

۳-۲- شبکه عصبی مورد استفاده

شبکه عصبی به کار رفته از نوع چند لایه MLP با یک لایه مخفی^۹ است. تعداد نرون‌های ورودی را ویژگی‌های به کار رفته در هر روش تعیین می‌کنند. میزان نرون‌های مخفی به صورت تجربی ۵ عدد در نظر گرفته شده است. توجه شود که تاکنون



شکل ۴: مقایسه بین عیار واقعی و پیش‌بینی شده در روش اول

$$\left[\frac{C_{re} - C_{pr}}{C_{re}} \right] \times 100 \quad (۶)$$

که:

C_{re} عیار حقیقی و C_{pr} عیار پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی می‌باشد.

میانگین خطای ایجاد شده با استفاده از فرمول ۶ و با استفاده از روش اول برابر ۴/۸ درصد می‌باشد.

ضمناً بررسی‌های انجام شده از نتایج موید این مطلب نیز می‌باشد نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که که رابطه معنی داری بین میزان خطا و عیار ماده معدنی وجود ندارد.

۴-۲- نتایج آزمایش‌ها با استفاده از روش دوم

روش دوم استفاده شده در شبکه عصبی استفاده از میانگین و انحراف از معیار سه رنگ اصلی می‌باشد و تفاوت آن با روش اول در مقدار اطلاعات ورودی به شبکه عصبی بوده و در این روش این مقدار ۶ می‌باشد. جدول شماره ۲ میزان ویژگی‌های استفاده شده در روش دوم را برای ۱۰ نمونه اول نشان می‌دهد. با استفاده از ویژگی‌های ذکر شده در روش دوم و با استفاده از شبکه عصبی انتخابی عیار ۳۰ نمونه مورد آزمون، تخمین زده می‌شود.

خطای بوجود آمده با استفاده از فرمول ۶ محاسبه شده است که نتایج حاصله در شکل شماره ۵ آمده است.

با توجه به شکل ۵ مشخص است که خطای بین عیار پیش‌بینی شده با عیار واقعی در روش دوم کمتر از روش اول بوده و به مقدار میانگین ۳/۱ درصد کاهش یافته است.

زاویه ۰،۴۵،۹۰ و ۱۳۵ درجه و فاصله بین پیکسلی ۱ هستند. در این حالت طول بردار ویژگی حاصله ۷ خواهد بود.

۴- نتایج

در آزمایش‌ها در هر ۳ روش، تصاویر ۱ تا ۷۰ به شبکه آموزش داده شدند و تصاویر ۷۱ تا ۱۰۰ به عنوان تصاویر آزمون مورد استفاده قرار گرفتند. جهت انتخاب بهترین روش، خطای حاصل از قدرمطلق تفاوت بین درصد عیار واقعی و درصد عیار پیش‌بینی شده در ۳۰ تصویر آزمون مذکور در هر روش محاسبه شد. در زیر نتایج آزمایش‌ها با سه روش مذکور توضیح داده شده است.

۴-۱- نتایج آزمایش‌ها با استفاده از روش اول

همانگونه که در بالا نیز بدان اشاره شد در روش اول از ویژگی‌های شامل میانگین سطح خاکستری هر ۳ کانال قرمز، سبز و آبی استفاده شده است. در این روش میانگین سه رنگ آبی، سبز و قرمز در هر پیکسل و در نهایت در کل تصویر محاسبه شده است. در جدول شماره ۱ میانگین سه رنگ اصلی محاسبه شده برای ۱۰ نمونه آموزشی برای مثال آمده است.

جدول ۱: داده‌های استخراج شده از تصاویر آموزشی در روش سوم

شماره تصویر	میانگین کانال قرمز	میانگین کانال سبز	میانگین کانال آبی	عیار (%)
۱	۱۲۰/۹	۱۱۳/۵	۱۰۲/۵	۵۷
۲	۱۴۵/۶	۱۳۴/۲	۱۱۹/۴	۲۷
۳	۱۲۲/۴	۱۲۲/۹	۱۱۱/۶	۵۵
۴	۱۴۰/۳	۱۲۴/۷	۱۰۷	۲۹
۵	۷۳/۹۳	۷۳/۰۵	۶۴/۵۹	۶۶
۶	۱۲۱/۶	۱۰۸/۱	۹۲/۸۷	۵۴
۷	۸۳/۱۹	۸۰/۹۱	۷۲/۹۸	۶۶
۸	۸۰	۷۸/۲۸	۶۸/۴۵	۶۶
۹	۸۰	۷۸/۲۸	۶۸/۴۵	۶۶
۱۰	۱۵۳/۶	۱۳۸/۸	۱۱۸/۳	۳۲

پس از محاسبه میانگین سه رنگ اصلی هر تصویر با استفاده از ۳۰ نمونه آزمون به پیش‌بینی عیار نمونه‌ها پرداخته شده است. شکل شماره ۴ مقایسه‌ای بین عیار واقعی و عیار پیش‌بینی شده با استفاده از روش اول است.

برای محاسبه خطای ایجاد شده در پیش‌بینی عیار توسط شبکه عصبی از فرمول ۶ استفاده شد:

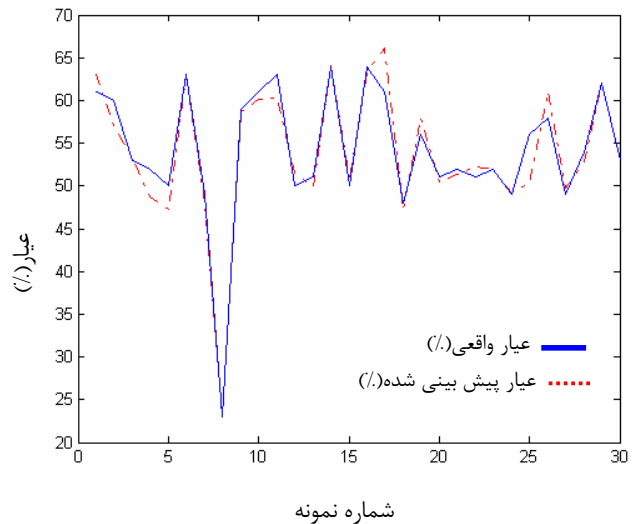
جدول ۲: داده‌های استخراج شده از تصاویر آموزشی در روش دوم

شماره تصویر	میانگین کانال قرمز	میانگین کانال سبز	میانگین کانال آبی	انحراف معیار کانال قرمز	انحراف معیار کانال سبز	انحراف معیار کانال آبی	عیار (%)
۱	۱۲۰/۹	۱۱۳/۵	۱۰۲/۵	۱/۰۷۳	۰/۹۷۴	۱/۰۲۹	۵۷
۲	۱۴۵/۶	۱۳۴/۲	۱۱۹/۴	۱/۲۱۹	۱/۲۰۸	۱/۳۲۵	۲۷
۳	۱۲۲/۴	۱۲۲/۹	۱۱۱/۶	۱/۵۶۴	۱/۸۱۲	۲/۰۶۷	۵۵
۴	۱۴۰/۳	۱۲۴/۷	۱۰۷	۱/۳۸۶	۱/۳۵۲	۱/۳۱۲	۲۹
۵	۷۳/۹۳	۷۳/۰۵	۶۴/۵۹	۱/۰۰۸	۱/۱۷	۱/۵۴۱	۶۶
۶	۱۲۱/۶	۱۰۸/۱	۹۲/۸۷	۱/۲۶۲	۱/۰۹۳	۱/۱۱	۵۴
۷	۸۳/۱۹	۸۰/۹۱	۷۲/۹۸	۰/۹۲۳	۰/۹۰۱	۰/۸۲۵	۶۶
۸	۸۰	۷۸/۲۸	۶۸/۴۵	۰/۹۰۹	۱/۰۱۲	۱/۰۸۹	۶۶
۹	۸۰	۷۸/۲۸	۶۸/۴۵	۰/۹۰۹	۱/۰۱۲	۱/۰۸۹	۶۶
۱۰	۱۵۳/۶	۱۳۸/۸	۱۱۸/۳	۱/۱۸۴	۱/۱۷۳	۰/۹۸۵	۳۲

۴-۳- نتایج آزمایش‌ها با استفاده از روش سوم

همانگونه که در قبل نیز بدان اشاره شد ویژگی‌های تصویر در روش سوم علاوه بر سه رنگ اصلی ویژگی‌های بافتی نیز می‌باشند. این ویژگی‌ها شامل آنتروپی، کنتراست، انرژی و یکنواختی تصویر می‌باشد. فرمول‌های محاسباتی این ویژگی‌ها قبلاً ارائه گردید.

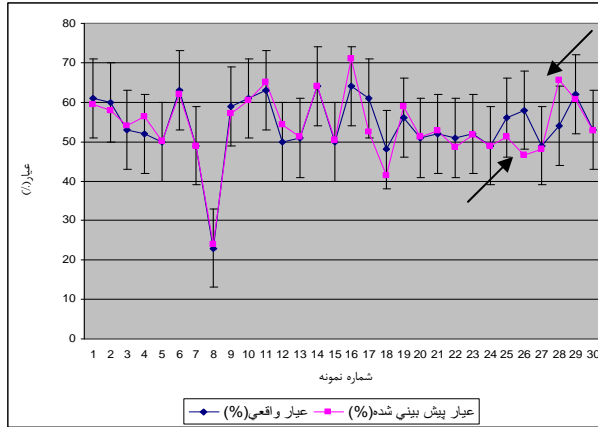
با توجه به این مسائل میزان ورودی شبکه عصبی در این روش ۷ می‌باشد. در جدول ۳ میزان ویژگی‌های اشاره شده آمده است. نتایج حاصله در شکل ۶ نشان داده شده که بیانگر کاهش خطا در روش سوم می‌باشد. در این روش میانگین خطای محاسبه شده ۲/۲۸ درصد بدست آمده که نسبت به روش اول کاهش ۰/۷۸ درصدی را نشان می‌دهد.



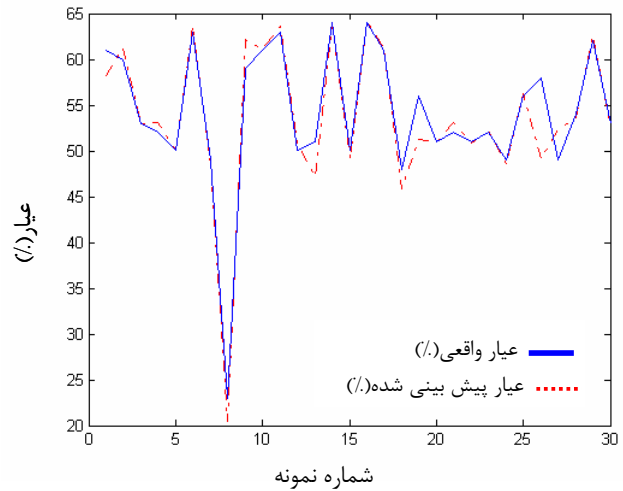
شکل ۵: مقایسه بین عیار واقعی و پیش بینی شده در روش دوم

جدول ۳: داده‌های استخراج شده از تصاویر آموزشی در روش سوم

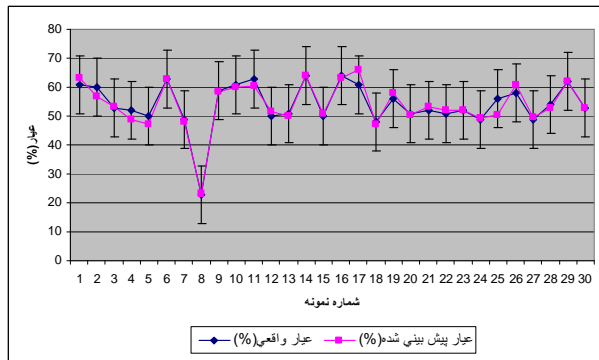
شماره تصویر	میانگین کانال قرمز	میانگین کانال سبز	میانگین کانال آبی	آنتروپی	کنتراست	انرژی	یکنواختی	عیار (%)
۱	۱۲۰/۹	۱۱۳/۵	۱۰۲/۵	۱/۱۱E+۰۹	۴/۸۳E+۰۷	۵/۳۲E+۱۴	۵/۵۱E+۰۷	۵۷
۲	۱۴۵/۶	۱۳۴/۲	۱۱۹/۴	۱/۱۰E+۰۹	۴/۷۲E+۰۷	۴/۶E+۱۴	۵/۵E+۰۷	۲۷
۳	۱۲۲/۴	۱۲۲/۹	۱۱۱/۶	۱/۱۴E+۰۹	۲/۶۱E+۰۷	۷/۷۵E+۱۴	۶/۰۹E+۰۷	۵۵
۴	۱۴۰/۳	۱۲۷/۷	۱۰۷	۱/۱E+۰۹	۴/۰۲E+۰۷	۴/۳E+۱۴	۵/۶۵E+۰۷	۲۹
۵	۷۳/۹۳	۷۳/۰۵	۶۴/۵۹	۱/۱۶E+۰۹	۲/۴۹E+۰۷	۹/۶۸E+۱۴	۶/۱۳E+۰۷	۶۶
۶	۱۲۱/۶	۱۰۸/۱	۹۲/۸۷	۱/۱۲E+۰۹	۳/۰۵E+۰۷	۹/۹۵E+۱۴	۵/۹۴E+۰۷	۵۴
۷	۸۳/۱۹	۸۰/۹۱	۷۲/۹۸	۱/۱۵E+۰۹	۲/۴۸E+۰۷	۹/۴۱E+۱۴	۶/۱۳E+۰۷	۶۶
۸	۸۰	۷۸/۲۸	۶۸/۴۵	۱/۱۶E+۰۹	۲/۲E+۰۷	۹/۸۸E+۱۴	۶/۲۳E+۰۷	۶۶
۹	۸۰	۷۸/۲۸	۶۸/۲۵	۱/۱۶E+۰۹	۲/۲E+۰۷	۹/۸۸E+۱۴	۶/۲۳E+۰۷	۶۶
۱۰	۱۵۳/۶	۱۳۸/۸	۱۱۸/۳	۱/۱۰E+۰۹	۴/۲۵E+۰۷	۴/۱۹E+۱۴	۵/۶۱E+۰۷	۳۲



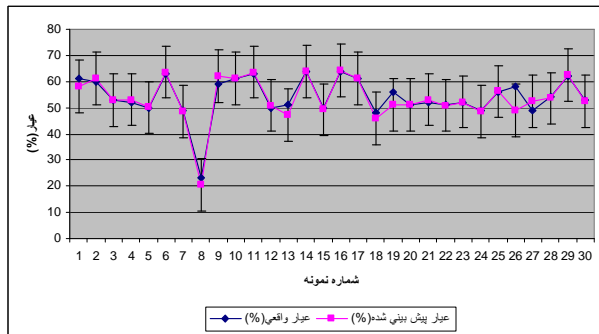
شکل ۷: نمودار عیار پیش‌بینی شده با محدوده دقت ۹۵ درصد و عیار واقعی در روش اول



شکل ۶: مقایسه بین عیار واقعی و پیش‌بینی شده در روش سوم



شکل ۸: نمودار عیار پیش‌بینی شده با محدوده دقت ۹۵ درصد و عیار واقعی در روش دوم



شکل ۹: نمودار عیار پیش‌بینی شده با محدوده دقت ۹۵ درصد و عیار واقعی در روش سوم

دو مورد دیده شده است، خطای ایجاد شده را شاید بتوان مربوط به خطای عکس‌برداری و یا خطای تعیین عیار نمونه‌ها به روش شیمیایی دانست. بررسی دقیق‌تر رابطه بین خطای‌های

۵- نتیجه گیری

– میزان دقت در پیش‌بینی عیار توسط شبکه عصبی برای سه روش مورد استفاده به صورت زیر بوده است:

- روش اول (استفاده از سه رنگ اصلی تصاویر): ۹۵/۲٪
- روش دوم (استفاده از سه رنگ اصلی به علاوه انحراف معیار هر یک از آنها): ۹۶/۹ درصد
- روش سوم (استفاده از ویژگی‌های بافتی شامل آنتروپی، کنتراست، انرژی و یکنواختی [۱]) تصویر به علاوه سه رنگ اصلی): ۹۷/۷۲ درصد

نتایج بیانگر بیشترین دقت در روش سوم می‌باشد یعنی استفاده از سه رنگ اصلی و ویژگی‌های بافتی تصاویر در آموزش شبکه بیشترین دقت در تخمین عیارها را به دنبال داشت ولی از لحاظ میزان زمان پردازش تصویر با توجه به حجم داده‌های ورودی به شبکه، روش سوم بیشترین زمان را به خود اختصاص داده است. در شکل‌های شماره ۷ تا ۹ نمودار عیار پیش‌بینی شده با محدوده خطای ± 5 درصد به همراه نمودار عیار واقعی در سه روش مورد استفاده آمده است. در این اشکال نمودار عیار پیش‌بینی شده ترسیم و محدوده اطمینان ۹۵ درصد در آن مشخص شده است.

– همانگونه که در شکل ۷ با فلش مشخص شده است دو نقطه مربوط به نمونه شماره ۲۸ و ۲۶ از محدوده اطمینان خارج شده‌اند که داری بیشترین درصد خطا یعنی به ترتیب ۲۱/۵ و ۱۹/۷ درصد بوده‌اند. با توجه به اینکه این عدول فقط در همین

پی‌نوشت‌ها

-
- 1 - Energy
 - 2 - Entropy
 - 3 - Contrast
 - 4 - Homogeneity
 - 5 - Multi layer perceptron
 - 6 - Haralick
 - 7 - Thyabat
 - 8 - Singh
 - 9 - Hidden layer
 - 10 - Tansig
 - 11 - Matlab Software

ایجاد شده با عیار نمونه‌ها و یا ویژگی‌های رنگ و بافتی تصویر نیاز به مطالعات بسیار جامع و وسیع‌تری با نمونه‌های مختلف می‌باشد. در بقیه موارد در روش دوم (شکل ۸) و روش سوم (شکل ۹) هیچ نقطه‌ای از نمودار از محدوده اطمینان ۹۵ درصد خارج نشده است.

- بررسی‌های انجام شده از اشکال فوق بیانگر این مطلب است که رابطه معنی دار و جامعی بین عیار واقعی و خطاهای پیش‌بینی شده وجود ندارد.

برای عناصر دارای عیار پائین مانند طلا، نقره، پلاتین این روش کاربرد چندانی ندارد زیرا عیار در این عناصر در حد ppm بوده و میزان خطا بسیار افزایش پیدا می‌کند. تحقیقات گسترده‌تر به منظور رفع مشکلات پیش روی این روش می‌تواند کارایی دستاورد فوق را گسترده‌تر نماید.

۶-مراجع

- [1] Haralick, R.M., Shanmugam, K., Dinstein, I.; (1973); "IEEE Trans". Syst. Man Cybern. 3; pp. 610-621.
- [2] Petruk, W., (1991); "An image analysis and materials balancing procedure for evaluating ores and mill products to obtain optimum recoveries"; In: Proc. 23rd Ann. Meeting Canadian Mineral Processors, CIM, Ottawa, Canada, p. 19.
- [3] Petersen, K., Aldrich, C., Vandeventer, J.S.J.; (1998); "Analysis of ore particles based on textural pattern recognition"; Miner. Eng. 11 (10), pp. 959-977.
- [4] S.Al-hyabat, J.Miles, T.S.Koh; (2007); "Estimation of the distribution of particles moving on a conveyor belt"; Miner. Eng. 20 pp.72-83.
- [5] Veerendra Singh, S. Mohan Rao; (2005); "Application of image processing and radial basis neural network techniques for ore sorting and ore classification"; Miner. Eng. 18, pp. 1412-1420.
- [6] Bonifazi, G.ك (1995); "Digital multispectral techniques and automated image analysis procedures for industrial ore modelling"; Miner. Eng. 8 (7); pp. 779-794.