چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علوم زمین
The 42nd National Geosciences Congress
www.geoconf.ir

The feasibility of automated gemstones identification using optical properties and Artificial Intelligence (AI)

Morteza Razmara[1]

[1]Department of Geology, Ferdowsi university of Mashhad, Iran

Abstract

An innovation method has been invented to automatically characterize the type of gemstones by optical properties of gemstones, digital image analysis and Artificial intelligence (AI). The method relies on digital image acquisition, optical properties of gemstones analysis and image processing by Artificial intelligence (AI). 3200 series of digital images were taken from 320 samples from different areas of turquoise (Neyshabour mine) and demantoid (Kerman) and then transmitted to a database. Basic optical properties of gemstones (color, transparency, luster, fractures, cleavages, inclusions, pleochroism, phenomenon and birefringence) are selected. Crystals of demantoid with green to yellowish-green color, crystal clusters and single crystals as large as 10–20 mm (most range from 2 to 10 mm in diameter) have been selected in the study area.

The accuracy of gemstone identification using the method was %94 for turquoise and %95 for demantoid respectively. The method is applicable to other gemstones and by help of non-automated methods, it is possible to recognize the gemstone samples with the accuracy of more than 98%.

Keywords: gemstone; Artificial intelligence (AI), demantoid, turquoise

امکان سنجی شناسایی اتوماتیک (خودکار) گوهرسنگ ها با استفاده از خواص اپتیکی گوهرسنگ ها و هوش مصنوعی (AI)

مرتضی رزم آرا[1]، محمد کاظمی[2]، امیرعباس کاظمی[2]، مینا کاریزنویی[1]، رحیم آل شیخ[1]، الهه فروزان[2]، ابوالفضل درویش[1]

[1]گرایش گوهرشناسی کاربردی و کانیهای صنعتی، دانشگاه فردوسی مشهد

[2]گروه پردازش هوشمند یاقوت، مستقر در پارک علم و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد

خلاصه

روشی نوآورانه برای شناسایی اتوماتیک (خودکار) گوهرسنگ ها با استفاده از خواص و پدیده های ویژه نوری گوهرها، تجزیه و تحلیل تصویری دیجیتال و هوش مصنوعی (AI)، ابداع گردیده است. این روش بر تهیه تصاویر دیجیتال، تجزیه و تحلیل خواص اپتیکی گوهرسنگ ها و پردازش این تصاویر توسط هوش مصنوعی (AI)، متکی است. ۳۲۰۰ سری تصویر دیجیتال از ۳۲۰ نمونه از نمونه های مختلف فیروزه نیشابور و دمنتوئید کرمان تهیه و سپس به پایگاه داده ها منتقل شد. خواص نوری گوهرسنگ ها شامل رنگ، شفافیت، درخشندگی، شکستگی، رخ، ادخال ها (inclusions)، چندرنگی (pleochroism) و پدیده های اپتیکی ویژه انتخاب گردید.

بلورهای دمنتوئید با رنگ های سبز تا زرد مایل به سبز، خوشه‌های بلوری و تک بلورهایی به بزرگی ۱۰ mm تا ۲۰ mm (میانگین ۱۰ mm) از مناطق مورد مطالعه انتخاب شده‌اند.

دقت شناسایی فیروزه با کیفیت عالی نیشابور با استفاده از این روش ۹۴٪ و برای دمنتوئید ۹۵٪ بود. این روش برای سایر گوهرسنگ ها نیز قابل اجرا است و با کمک پارامترهای غیراتوماتیک، امکان شناسایی گوهرها با دقت بیش از ۹۸٪ امکان پذیر خواهد شد.

کلمات کلیدی: گوهرسنگ، هوش مصنوعی (AI)، فیروزه، دمنتوئید،

۱) مقدمه

در دهه‌های اخیر، پیشرفت‌های چشمگیر در زمینه‌ی هوش مصنوعی و یادگیری عمیق، بویژه با استفاده از شبکه‌های عصبی، منجر به ایجاد فرصت‌های جدید در بسیاری از زمینه‌های کاربردی شده است. یکی از این زمینه‌های پویا، گوهرشناسی است که با بهره‌گیری از فناوری های نوین، به بهبود فرآیندهای گوناگون از جمله تشخیص و دسته‌بندی گوهرها پرداخته است. هویت یک گوهرسنگ با استفاده از ترکیبی از مشاهدات بصری و تجزیه و تحلیل های اسپکتروشیمیایی می تواند تعیین شود [۱]. شناسایی، طبقه بندی و بررسی خواص نوری گوهرسنگ ها اغلب با استفاده از ابزارهای گوهرشناسی مرسوم (شامل ریفرکتومتر، پلاریسکوپ، طیف سنج، دایکروسکوپ و نور فرابنفش) و همچنین ابزارهای پیشرفته

شامل طیف سنج های فروسرخ، رامان و طیف سنج لومینسانس، پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)، طیف‌سنج‌های مرئی-فرابنفش، کاتدولومینسنس، EDSXRF، LA-ICP، XANES و EXAFS صورت می گیرد. از آنجا که همه آزمایشگاه های گوهرشناسی به این ابزارهای پیشرفته دسترسی ندارند، شناسایی دقیق گوهرسنگ ها معمولا دشوار و وقت گیر است. بنابراین، شناسایی گوهرسنگ ها از طریق تکنیک های اتوماتیک مبتنی بر تصاویر، جذاب است [۲]. با ترکیب الگوریتم Random Forest با هیستوگرام رنگی RGB دقت ۶۹/۴٪ بدست آمده است [۲]. برای دقت های بالاتر، نیاز است تا فناوری هوش مصنوعی (AI) از مدل‌های یادگیری آموزشی با اطلاعات جامع بر روی مجموعه داده‌های متعدد استفاده نماید تا به گوهرشناسان کمک کند تا هویت، اصالت و کشور مبدا گوهرسنگ‌ها را تعیین کنند [۳]. مجموعه داده‌های چندگانه جامع شامل تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از طیف‌سنج‌های نوری و شیمیایی و همچنین اطلاعاتی است که منجر به شناسایی ویژگی‌های گوهرسنگ‌های عمل آوری شده یا بهسازی شده می‌شوند [۳]. این نیاز اساسی، به توسعه روش‌های نوآورانه تشخیص و دسته‌بندی گوهرها با بهره‌گیری از هوش مصنوعی منجر شده است.

در سال های اخیر، پیشرفت های سریع در فناوری، بویژه هوش مصنوعی (AI)، بخش های مختلف را متحول کرده است و گوهرشناسی نیز از این قاعده مستثنی نیست. استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی، نحوه عملکرد گوهرشناسی را متحول و باعث ایجاد نوآوری، کارایی و تجربیات ارزشمند می‌شود [۴].

هدف از این تحقیق ارزیابی امکان توسعه یک الگوریتم هوش مصنوعی است که امکان شناسایی اتوماتیک (خودکار) گوهرها، با کمک ویژگی‌های نوری آنها فراهم می‌کند. تصاویر میکروسکوپی از سنگ ها با روشهای قضاوت حرفه ای اتخاذ شده توسط یک متخصص کانی شناسی در تعیین یک سنگ قیمتی ناشناخته، از طریق بررسی اپتیکی، شبیه سازی می شود. در واقع، الگوریتم هوش مصنوعی در نظر گرفته شده، روش قضاوت حرفه ای اتخاذ شده توسط یک متخصص گوهرشناسی در شناسایی یک گوهرسنگ ناشناخته از طریق بررسی های بصری نمونه و آنالیزهای دردسترس را شبیه سازی می نماید. از طریق بهره‌گیری از تکنولوژی و هوش مصنوعی در زمینه شناسایی گوهرسنگ ها، امکانات جدیدی برای بازاریابی، تجارت و حفظ اعتبار در صنعت گوهرسنگ ها به وجود می آید.

۲) چالش‌ها

پیاده‌سازی سامانه شناسایی و دسته‌بندی گوهرسنگ ها با استفاده از هوش مصنوعی و تکنیک‌های پیشرفته، همراه با چالش‌هایی متعددی است که نیازمند راه‌حل‌های موثر و نوآورانه می‌باشد. برخی از این چالش‌ها عبارتند از:

- قدرت تفکیک و توان تفکیک: استفاده از تصاویر با وضوح پایین یا حاوی نویز می‌تواند موجب افت دقت شناسایی گوهرسنگ ها شود. این چالش، می‌تواند دقت مدل‌ها در تشخیص ویژگی‌ها و الگوها را تحت تأثیر قرار دهد.

- محدودیت داده‌ها: محدودیت در دسترسی به داده‌های با تنوع کافی می‌تواند باعث کاهش کارآیی مدل‌ها در مواجهه با نمونه‌های جدید شود.

- پیچیدگی زیاد مدل‌ها: استفاده از مدل‌های پیچیده و عظیم ممکن است نیازمند توانمندی‌های محاسباتی بالا باشد و در عین حال، مسائل مربوط به تفسیر و شفافیت مدل‌ها، را پیچیده‌تر کند.

- تطابق با شرایط محیطی و اپتیکی متفاوت: تغییرات در شرایط محیطی و اپتیکی (همچون نور مستقیم یا سایه)، ممکن است باعث کاهش دقت شناسایی و دسته‌بندی گوهرسنگ ها شود. این چالش نیازمند توسعه راهکارهایی برای افزایش انعطاف‌پذیری سیستم است.

۲) مواد و روش ها

در این تحقیق تعداد ۳۲۰۰ نمونه گوهرسنگ از مناطق مختلف کشور (کرمان، نیشابور و تربت حیدریه) مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه ها در گروه های مختلف، دسته بندی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند: فیروزه، دمنتوئید، عقیق، زمرد، گارنت، آمتیست، سیترین، فلوئوریت، زبرجد، کوارتز، یاقوت سرخ، یاقوت کبود، توپاز، تورمالین و زیرکن.

در این تحقیق جهت شناسایی و دسته‌بندی دقیق گوهرها، از سه روش قدرتمند یعنی شبکه U2-Net، SVM و Random Forest Classifier به همراه تحلیل در فضای رنگی، بهره‌مند شده است.

۱) استفاده از شبکه‌هایU2-Net: شبکه‌های U2-Net به عنوان یک معماری موثر در تشخیص الگوها و ساختارهای تصویری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این شبکه‌ها به بهبود فرآیند استخراج ویژگی‌های تصویری از گوهرها کمک کرده و اطلاعات مفیدی را به دست می‌آورند.

۲) ترکیب با SVM: خروجی شبکه‌های U2-Net به عنوان ویژگی‌ها به مدل SVM وارد شده است. SVM با بهره‌گیری از این ویژگی‌ها، بهبود قابل توجهی در دقت شناسایی و دسته‌بندی گوهرها ایجاد می‌کند. این ترکیب امکان بهره‌مندی از قدرت شبکه‌های عصبی در تشخیص و ویژگی‌های تصویری استخراج شده را فراهم می‌کند.

۳) استفاده ازRandom Forest Classifier: این روش نیز به‌عنوان یک مدل یادگیری ماشین بر پایه درخت تصمیم (Decision Tree)، به تحلیل و دسته‌بندی تصاویر گوهرها می‌پردازد. با بهره‌گیری از آن در مرحله اولیه تحلیل تصاویر، مقایسه نتایج این روش با سایر روش‌ها امکان پذیر شده است.

۴) فضای رنگی: انتخاب فضای رنگی مناسب برای تصاویر گوهرها نقش حیاتی در دقت شناسایی و دسته‌بندی گوهرسنگ ها دارد. در این تحقیق، از فضای رنگی HSV برای تمایز بین انواع گوهرها استفاده شده است.

۳) نتایج و بحث

روشی برای شناسایی اتوماتیک (خودکار) کانیها با تجزیه و تحلیل تصویر دیجیتال با استفاده از خواص نوری بلورها در سال ۲۰۱۵ توسط مولف و همکاران صورت گرفت [۵]. در تداوم روش فوق، طرح شناسایی اتوماتیک (خودکار) گوهرسنگ های ناشناخته به کمک هوش مصنوعی گوهر (AIGAI) و ویژگیهای اپتیکی گوهرسنگ ها در نمونه های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. گوهرسنگ های زیر برای فرآیند اعتبار سنجی انتخاب شدند: ۱) فیروزه (با سیستم بلوری تریکلینیک) به عنوان کانی مات (اپک). ۲) گارنت دمنتوئید متعلق به رده کانیهای ایزوتروپ (همسانگرد)، ۳) زمرد (با سیستم بلوری هگزاگونال) متعلق به رده کانیهای انیزوتروپ (ناهمسانگرد) تک محوره دی کروئیسم.

نتایج حاصل از شناسایی فیروزه با روش Random Forest Classifier. نشان داد که دقت در این روش، ۶۲٪ بوده است (جدول ۱). نتایج حاصل از شناسایی فیروزه با روش SVM. نشان داد که دقت در این روش، ۷۰٪ بوده است (جدول ۲). در مقام مقایسه روش Random

Forest Classifier با روش SVM، نه تنها SVM دقت بیشتری در تشخیص انواع مختلف گوهرها داشته بلکه به نظر می‌رسد که با تعداد زیادی از داده‌ها می‌تواند تعاملی‌تر و دقیق‌تر پاسخ دهد. این امر نشان‌دهنده قدرت بالای SVM در مواجهه با داده‌های پیچیده و متنوع در زمینه گوهرها است (شکل ۱).

شکل ۱) فیروزه های نیشابور شناسایی شده به روش AIGAI.

در مرحله نهایی تحقیق، نتایج حاصل از ترکیب شبکه‌های U-Net با روش SVM و Random Forest Classifier در فضای رنگی مورد ارزیابی قرار گرفت. با تحلیل جداول و نمودارها، نتایج نشان می‌دهد که استفاده از SVM به همراه ویژگی‌های استخراج شده توسط U-Net ، نسبت به روش Random Forest Classifier، به دقت بالاتری در دسته‌بندی گوهرها منجر شده است. نتایج حاصل از ترکیب شبکه‌های U-Net با روش SVM و Random Forest Classifier در فضای رنگی نشان داد که دقت در این روش، ۹۴٪ بوده است (جدول ۳). مقایسه مستقیم بین نتایج این سه روش و روشهای ترکیبی، در انواع مختلف فیروزه، شناسایی با دقت بالای بین آنها را امکان پذیر می‌سازد. این تحقیق نه تنها بهبود قابل توجه در دقت شناسایی و دسته‌بندی گوهرها را نشان داده، بلکه نقاط قوت روش SVM را نیز برجسته کرده و آن را به عنوان روشی کارآمد و قابل اعتماد برای شناسایی و دسته‌بندی گوهرها در زمینه هوش مصنوعی معرفی می‌نماید.

جدول ۱) نتایج حاصل از شناسایی فیروزه با روش Random Forest Classifier. دقت در این روش، ۶۲٪ بوده است.

Classification Report:	precision	recall	f1-score	support
LightBlue	0.60	0.74	0.66	58
LightGreen	0.62	0.62	0.62	16
MediumBlue	0.06	0.04	0.05	25
MediumGreen	0.55	0.67	0.60	18
PersianBlue	1.00	0.89	0.94	28
StrongGreen	0.69	0.58	0.63	19
White	1.00	0.57	0.73	7
accuracy			0.62	171
macro avg	0.65	0.59	0.60	171
weighted avg	0.61	0.62	0.61	171

جدول ۲) نتایج حاصل از شناسایی فیروزه با روش SVM. دقت در این روش، ۷۰٪ بوده است.

Classification Report:	precision	recall	f1-score	support
0	0.60	1.00	0.75	52
1	0.58	0.58	0.58	12
2	0.00	0.00	0.00	24
3	0.67	0.53	0.59	19
4	0.94	0.92	0.93	36
5	0.70	0.67	0.68	21
6	1.00	0.43	0.60	7
accuracy			0.70	171
macro avg	0.64	0.59	0.59	171
weighted avg	0.62	0.70	0.64	171

جدول ۳) نتایج حاصل از ترکیب شبکه‌های U-Net با روش SVM و Random Forest Classifier در فضای رنگی برای شناسایی فیروزه با کیفیت عالی (Persian Blue) نیشابور، دقت شناسایی فیروزه در این روش، ۹۴٪ بوده است.

Accuracy: 0.6198830409356725

Classification Report:

	precision	recall	f1-score	support
LightBlue	0.60	0.74	0.66	58
LightGreen	0.62	0.62	0.62	16
MediumBlue	0.06	0.04	0.05	25
MediumGreen	0.55	0.67	0.60	18
PersianBlue	1.00	0.89	0.94	28
StrongGreen	0.69	0.58	0.63	19
White	1.00	0.57	0.73	7
accuracy			0.94	171
macro avg	0.65	0.59	0.60	171
weighted avg	0.61	0.62	0.61	171

نتایج نشان داد که روش AIGAI پیشنهادی به طور قابل توجهی در تعیین گوهرسنگ های ناشناخته نیز موفق بوده است. بر اساس مطالعات کانی شناسی، گارنت های کوه گبری را می توان به ۴ نوع مختلف تقسیم کرد. نوع ۱) آندرادیت خالص (Adr>59)، نوع ۲) آندرادیت غنی از Al، نوع ۳) محلول جامد بین گروسولار و آندرادیت، نوع ۴) گروسولار. داده های XRD نیز نشان داد که کانی اصلی، گارنت آندرادیت است. اکثر نمونه های مورد مطالعه دارای رنگ همگن سبز یا سبز تیره بودند. با توجه به تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی محیط تشکیل، گارنت ها در منطقه مورد مطالعه تغییراتی را در ترکیب و ادخال ها (inclusion) نشان می دهند.

۴) نتیجه گیری

نتایج بدست آمده در مرحله امکان سنجی روشی شناسایی اتوماتیک (خودکار) گوهرسنگ ها، کارآیی و موفقیت آن در شناسایی گوهرسنگهای ناشناخته را اثبات می کند. نتایج نشان داد که ویژگی های رنگ، شفافیت، جلا، شکستگی، رخ، ادخال ها (inclusions)، چندرنگی (pleochroism)، پدیده های ویژه (phenomenon) و بیرفرنژانس، در فرآیندهای شناسایی گوهرسنگ ها، به طور قابل توجهی کارآمد هستند و اگر یک پایگاه داده گوهرسنگ ها به خوبی سازمان یافته در دسترس باشد، کارآمدی کافی برای شناسایی دقیق گوهرسنگ ها، امکان پذیر خواهد شد.

روش AIGAI، به طور موثری به غنی بودن پایگاه داده گوهرسنگها، طبقه بندی علمی گوهرها و همچنین درنظرگرفتن پدیده های ویژه در برخی از گوهرسنگها، بستگی دارد.

قدردانی ها:

از گرایش گوهر شناسی و کانیهای صنعتی در دانشگاه فردوسی مشهد و نیز گروه پردازش هوشمند یاقوت، مستقر در پارک علم و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تشکر می شود.

References

[1] **Breeding, C.** (2010) Developments in Gemstone Analysis Techniques and Instrumentation During the 2000s. Gems Gemol. 46, 241–257.

[2] **Chow, B. H. Y. and Reyes-Aldasoro, C. C.** (2022). Automatic Gemstone Classification Using Computer Vision. Minerals, Vol. 12, P. 60.

[3] **Nyfeler, D**. (2022) Gemtelligence: artificial intelligence is a gem's best friend. CSEM.

[4] **Miking page** (2023) How Artificial Intelligence is Revolutionizing the Jewelry Industry. Diamond.

[5] **Aligholi, S.; Khajavi, R. and Razmara, M. (2015)** Automated mineral identification algorithm using optical properties of crystals. Computers & Geosciences 85 (2015) 175–183.