

پردازش تصویر، ابزاری برای شناسایی ویژگی‌های مواد معدنی

فرزانه خرم، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده فنی دانشگاه تهران، حسین معماریان، استاد دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، بهزاد تخم‌چی، استادیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود، حمید سلطانیان زاده، استاد دانشکده برق و کامپیوتر، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران،

چکیده

در سال‌های اخیر تکنیک پردازش تصویر، به دلیل کاربردی بودن و سازگاری آن با مشاهدات انسان، به سرعت به ابزار مهمی برای پژوهش در جنبه‌های متفاوت علمی و مهندسی تبدیل شده است. علم پردازش تصویر در واقع شبیه‌سازی از چشم انسان است، که با کمی کردن ویژگی‌های موضوع مورد مطالعه، هر سیستم هوشمند را قادر به تشخیص تفاوت‌ها می‌سازد. این تکنیک با ارتقا بخشیدن به مشاهدات انسانی و به علت انجام خودکار آنالیز تصاویر، کاهش هزینه، افزایش سرعت و انعطاف پذیری؛ به عنوان روشی برتر در بسیاری از جنبه‌های کاربردی، شناخته شده است. اساسی‌ترین نقش پردازش تصویر در این قبیل عملیات، استخراج ویژگی‌های گوناگون تصویر به عنوان پارامترهای مؤثر در تفکیک و طبقه‌بندی تصویر مورد مطالعه، با استفاده از سیستم‌های هوشمند است. کلمات کلیدی: پردازش تصویر، سیستم‌های هوشمند، طبقه‌بندی تصویر

۱- مقدمه

اسکنرهای MRI^(۵) پزشکی را متحول کردند. صنعت چاپ استفاده‌کننده بعدی این دستاورد بود. به همین ترتیب دنیای صنعت با روبات‌هایی که عملاً می‌بینند، یعنی در واقع با ظهور بینایی ماشین^(۶) متحول شد و هنوز هم در حال تحول است. علوم زمین نیز از این تکنیک نوین در بخش‌های مختلف بهره‌برده است. امروزه پژوهشگران، پژوهش‌های گسترده‌ای در مورد امکان تأثیر این تکنیک در بهبود نتایج مطالعات خود، انجام می‌دهند.

مواد خام معدنی اغلب از زیر زمین به دست می‌آید و از قبل کمتر دانشی در مورد آن وجود دارد، این امر پیچیدگی‌ها و مشکلات زیادی را در عملیات معدنکاری ایجاد می‌کند. درک و دریافت رفتار مواد معدنی متفاوت، مستلزم داشتن اطلاعات زیادی درباره کانی‌شناسی ذرات، تخلخل، بافت، سختی،

پردازش تصویر، با گسترش روش‌های مختلف اخذ اطلاعات، مانند حسگرها^(۱) و دوربین‌ها، در چند دهه اخیر از هر دو جنبه نظری و عملی پیشرفت‌های چشمگیری داشته است. سرعت این پیشرفت به اندازه‌ای بوده، که هم اکنون به راحتی می‌توان رد پای پردازش تصویر را در بسیاری از علوم و صنایع مشاهده کرد. ابتدایی‌ترین کاربرد پردازش تصاویر رقمی (دیجیتال)^(۲) در دهه‌های ۶۰ و ۷۰ قرن بیستم در زمینه نظامی و جاسوسی بود که باعث شد نیاز به تصاویر با کیفیت بالاتر به وجود آید. پس از آن مصارف دیگری برای تصاویر رقومی سطح زمین پیدا شد، که کاربرد تصاویر چند طیفی^(۳) در کشاورزی و جنگل‌داری از آن جمله است. از اواسط دهه هفتاد تا اواسط دهه هشتاد، اختراع اسکنرهای CAT^(۴) و

درجه آزادی کانی و گستره وسیعی از دیگر خصوصیات ماده مورد نظر است. به این منظور روش‌های مختلفی توسعه پیدا کرده و روش‌های سنتی به مرور جای خود را به روش‌های جدید داده‌اند، که سرعت اجرای بالاتر و هزینه کمتری دارند، یا به صورت مکمل در کنار آنها برای دستیابی به هدف مورد نظر، استفاده شده‌اند. با وجود همه این تحولات، هنوز در برخی شرایط، نظر و قضاوت متخصصان در شناسایی و تشخیص ویژگی‌های گوناگون، جایگاه با اهمیت خود را حفظ کرده است. بدیهی است که پیشرفت و توسعه پردازش تصویر، به همراه کمی کردن ویژگی‌های ظاهری موضوع مورد بررسی در تصویر و یاری روش‌های هوشمند، که با یادگیری، ادراک و استدلال؛ سیستمی خودکار جهت کاربردی شدن این تکنیک فراهم می‌آورد، موجب جهش عظیمی در پیشرفت بخش‌های مختلف این حوزه خواهد بود. در این مقاله پس از ذکر مختصری از مبانی پردازش تصویر، کاربردهایی از تشخیص الگو بر پایه آنالیز تصویر در حوزه علوم زمین شرح داده خواهد شد.

۲- پردازش تصویر چیست؟

تصویربرداری نیازمند حس‌گری حساس به امواج الکترومغناطیسی با طول موج مشخصی است. این طول موج بسته به نوع حس‌گر مورد استفاده در کارهای مختلف، متفاوت است. به طور مثال تصاویر به دست آمده در روش رادار نفوذی زمین^(۱)، حاصل از امواج رادیویی منعکس شده از لایه‌های زیرین زمین است، بدین ترتیب دستگاه گیرنده مورد استفاده به عنوان حس‌گر این امواج را دریافت می‌کند. دوربین‌های عکاسی معمولی حساس به نور مرئی با طول موج ۳۷۰ تا ۷۸۰ نانومتر هستند. هر تصویر رقمی را می‌توان ماتریسی دو بعدی در نظر گرفت، که هر زوج از اندیس‌های سطری و ستونی آن میزان روشنایی مرتبط با یک نقطه (پیکسل) تصویر را مشخص می‌کند. این روشنایی حاصل از مقدار نور تابشی از منبع نور و مقدار نور منعکس شده به وسیله اشیای صحنه در هنگام تصویربرداری است. روشنایی هر پیکسل در اغلب تصاویر

مقداری از ۰ تا ۲۵۵ را شامل می‌شود، که مقادیر پایین‌تر نمایانگر پیکسل‌های روشن‌تر و مقادیر بالاتر نمایانگر پیکسل‌های تیره‌تر هستند. در مورد تصاویر رنگی به هر پیکسل سه مقدار مربوط به مؤلفه‌های قرمز و آبی و سبز اختصاص داده می‌شود، که مقادیری از ۰ تا ۲۵۵ را دارا می‌باشند. هرچه مقادیر هر سه مؤلفه رنگی بیشتر باشد، رنگ حاصل از ترکیب این مؤلفه‌ها به سفید نزدیک‌تر خواهد بود. از آنجا که دقت نتایج حاصله در تکنیک پردازش تصویر وابستگی شدید به شرایط تصویربرداری دارد، تعیین موقعیت مناسب دوربین و منبع نور یکی از مهم‌ترین مراحل در ایجاد یک سیستم بینایی موفقیت‌آمیز است. بدین ترتیب به دست آوردن تصاویر با کیفیت بالا، به طور عمده نقش مهمی در کاراتر کردن عملیات پردازش و قابل اعتماد کردن نتایج آنها دارد. به منظور استفاده از این تکنیک برای دستیابی به هدف مورد نظر، پس از تصویربرداری باید پردازش‌های لازم بر روی پیکسل‌ها انجام شود. پردازش کلی بر روی تصاویر به ترتیب مراحل پیش پردازش تصویر، بخش بندی، نمایش و توصیف و تشخیص و تعبیر را شامل می‌شوند.

پیش پردازش

وظیفه اصلی پیش پردازش، بهبود تصویر به وسیله روش‌هایی است که امکان توفیق سایر پردازش‌ها را نیز افزایش دهد. پیش پردازش به طور معمول شامل روش‌هایی برای بهبود تمایز و حذف نوفه است. ویژگی این مرحله که پردازش سطح پایین تصویر خوانده می‌شود، این است که ورودی آن تصویر بوده و نتیجه حاصل از اجرای پیش پردازش روی آن هم یک تصویر خواهد بود [۱]. پیش پردازش تصویر بسته به هدف مورد نظر، روش‌های مختلفی را در بر می‌گیرد [۱]. در شکل ۱ تصویر حاصل از رسوبات رودخانه‌ای به همراه شدت روشنایی مربوط به آن در یک نیم‌رخ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، پس از اجرای یکی از انواع پیش پردازش گرچه تصویر به ظاهر مات‌تر شده، با این حال

تفاوت شدت روشنایی درون دانه و لبه‌های آن، واضح‌تر و تیزتر مشخص می‌شود.

بخش بندی

به طور کلی بخش بندی فرآیندی است که تصویر ورودی را به قسمت‌ها یا اجزای تشکیل دهنده‌اش تقسیم می‌کند. خروجی مرحله بخش بندی داده‌های پیکسلی خام است، که مرز یک ناحیه یا تمام نقاط درون آن ناحیه را تشکیل می‌دهند. نمایش مرزی وقتی مفید است که مشخصات خارجی شکل نظیر گوشه‌ها یا خمیدگی‌ها مورد نظر هستند. نمای ناحیه‌ای نیز وقتی مفید است که خواص درونی بخش‌های تصویر چون بافت ناحیه، مورد توجه باشد [۱]. همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، اجزای تشکیل دهنده تصویر که دانه‌های رسوبات رودخانه‌ای هستند، پس از بخش بندی ناحیه‌ای به طور کامل از یکدیگر جدا شده‌اند.

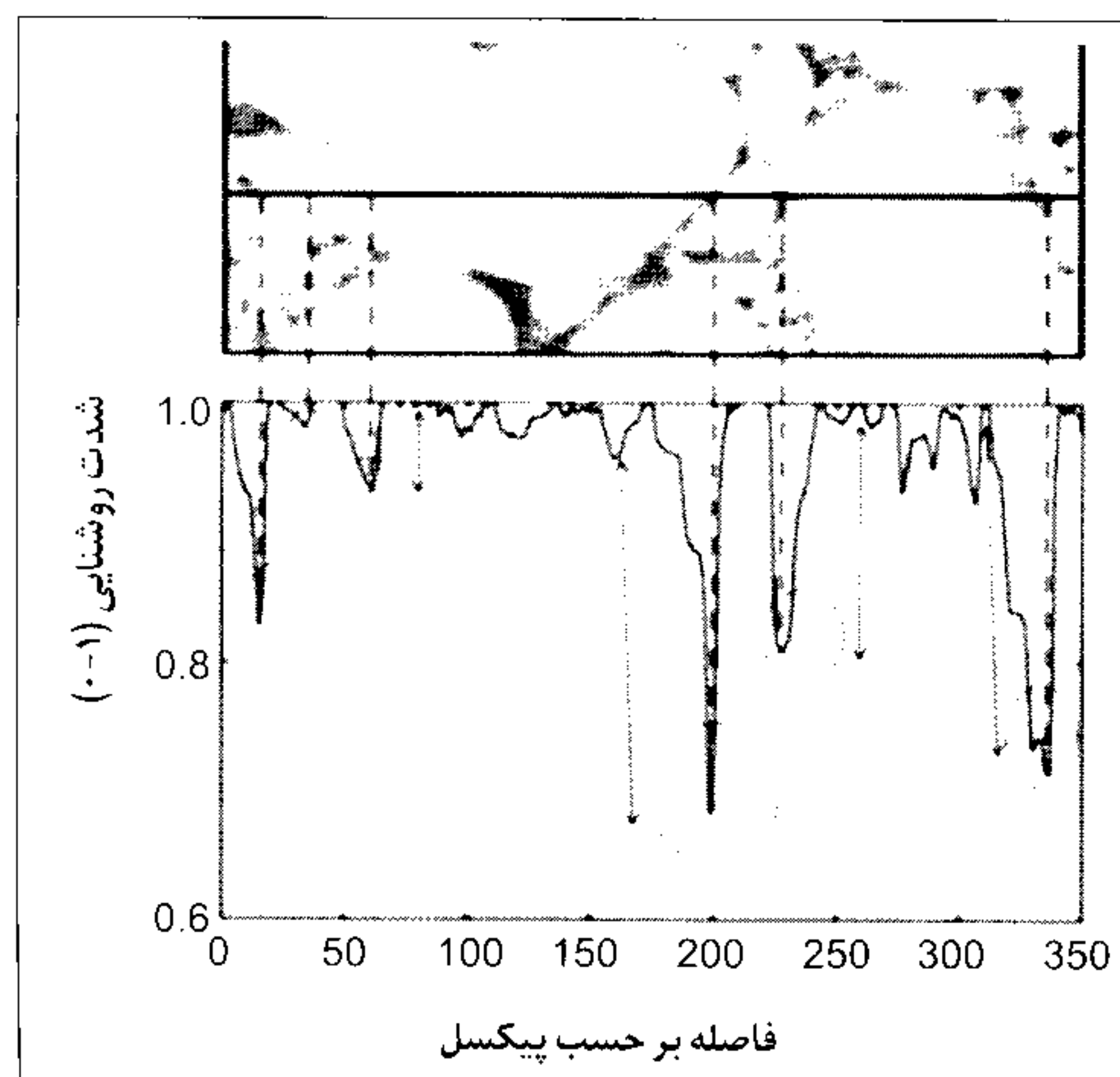
نمایش و توصیف

داده‌های خام به شکلی که برای پردازش رایانه‌ای مناسب باشد، در تصویر نمایش داده می‌شود. توصیف، که انتخاب ویژگی نیز خوانده می‌شود، به استخراج ویژگی‌هایی از تصویر می‌پردازد که مقداری از اطلاعات کمی مورد نظر را به ما

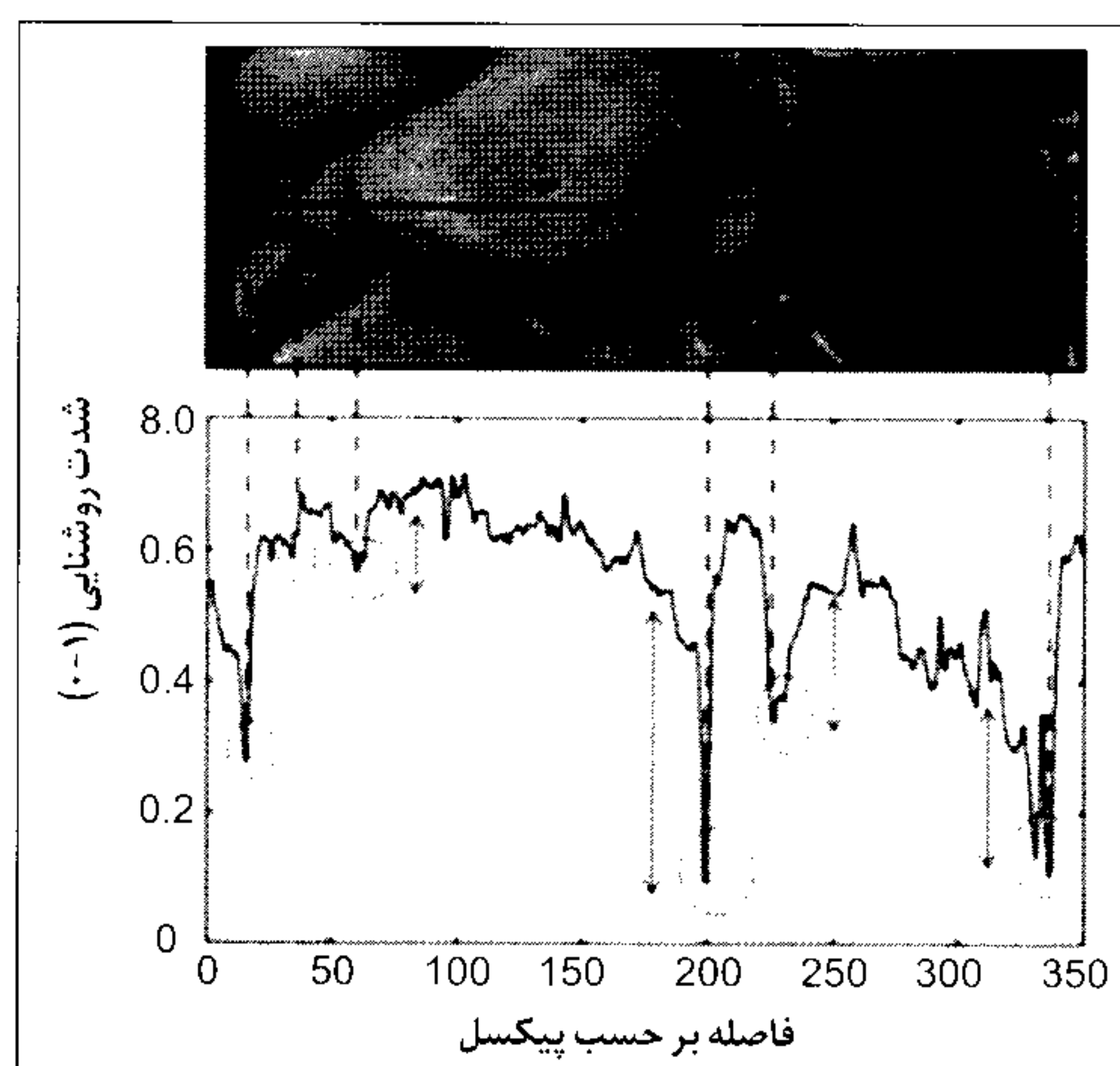
می‌دهند و یا برای تشخیص گروهی از اشیا از گروه دیگر اساسی هستند [۱]. یک روش مهم برای توصیف ناحیه، کمی سازی محتوای بافتی آن است. توصیف کننده بافت بیانگر، خواصی مانند همواری، زبری و منظم بودن یا تناوب تصویر را مشخص می‌کند که با ترتیب قرارگیری و جهت‌گیری پیکسل‌های با سطوح خاکستری متفاوت، نشان داده می‌شود. یکی از ساده‌ترین روش‌ها برای توصیف بافت، استفاده از گشتاورهای نمودار توزیع فراوانی سطح خاکستری تصویر است. این گشتاورها در تشخیص محتوای بافتی سطح خاکستری کمک می‌کنند. ویژگی‌های ریخت‌شناسی^(۱) اجزای تصویر، در نمایش و توصیف شکل ناحیه مفید هستند. از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های ریخت‌شناسی اجزای تصویر، طول محور بیشینه، طول محور کمینه، مرکز جزء، شعاع دایره محیطی، شعاع دایره محاطی و زاویه‌ای است که محور بیشینه با محور افق می‌سازد (شکل ۳). به همین ترتیب ویژگی‌های رنگی از جمله خصوصیات آماری مؤلفه‌های رنگی، توصیف کننده خوبی برای تصویر مورد نظر است.

تشخیص و تعبیر

تشخیص^(۲) فرآیندی است که بر اساس اطلاعات حاصل از توصیف‌گرها یک برچسب را به یک شیء نسبت می‌دهد.

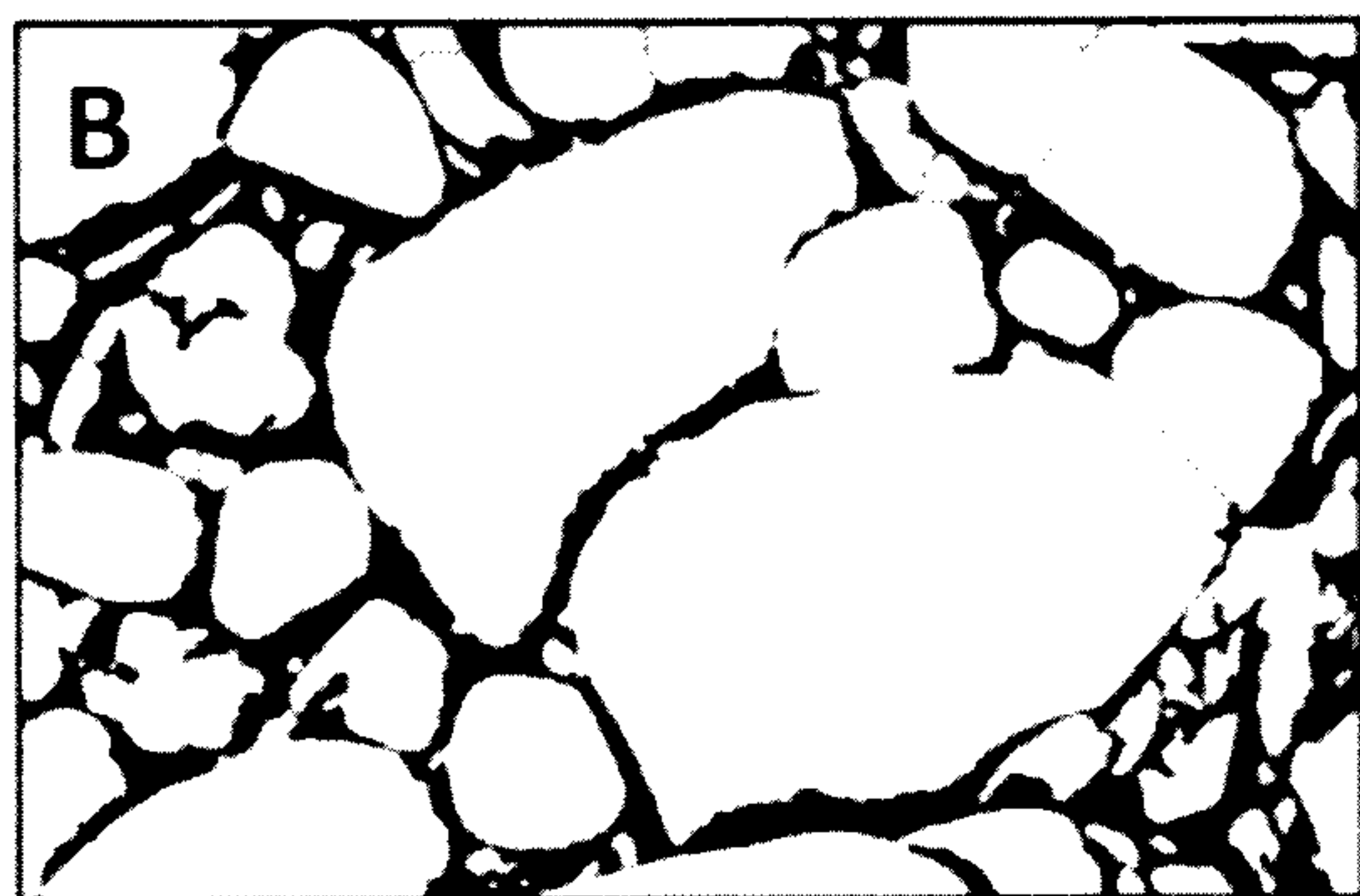


ب

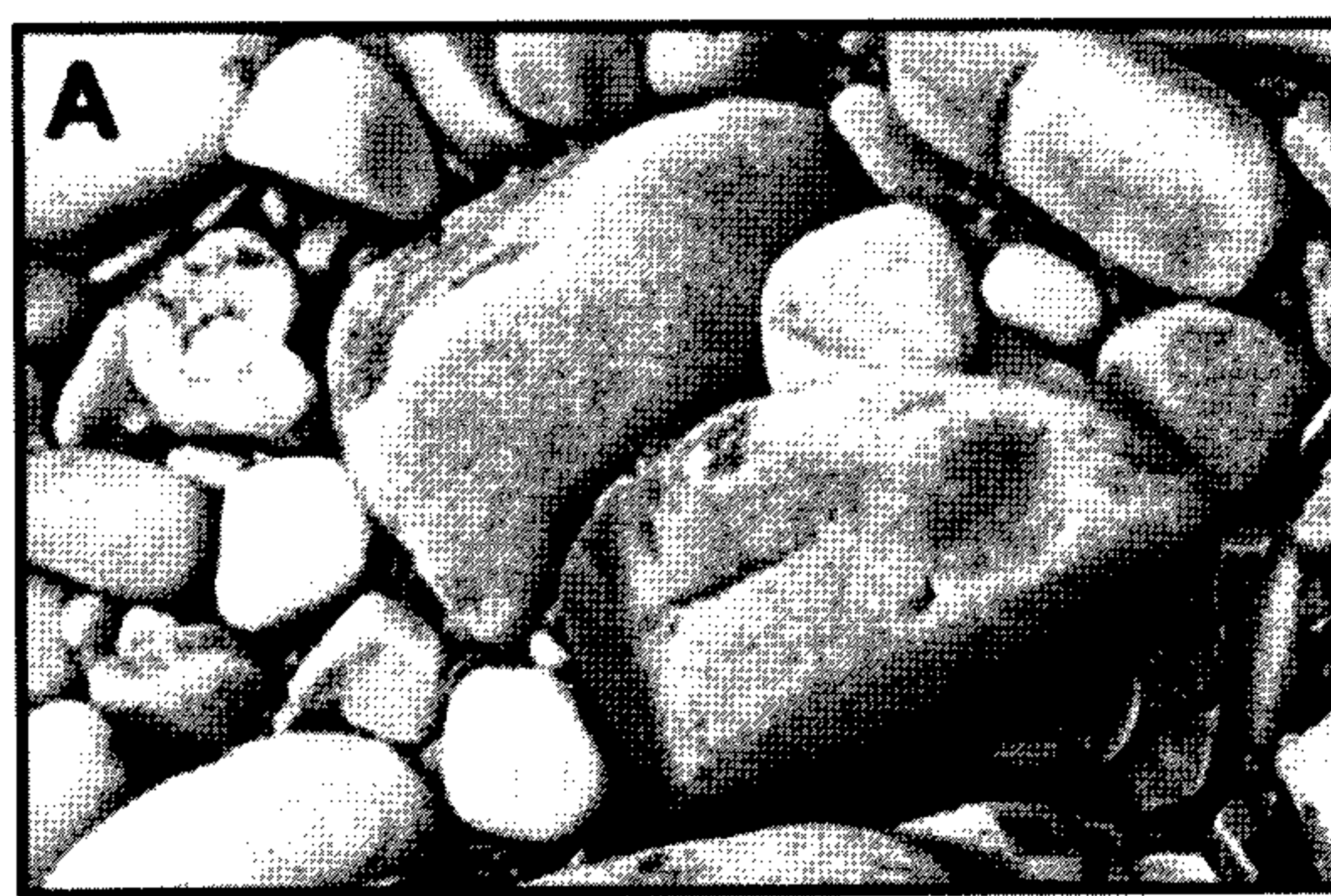


الف

شکل ۱- نیمرخ شدت روشنایی در نمونه‌ای از رسوبات رودخانه‌ای
(الف) تصویر سطح خاکستری، (ب) تصویر پیش پردازش شده [۲].



ب

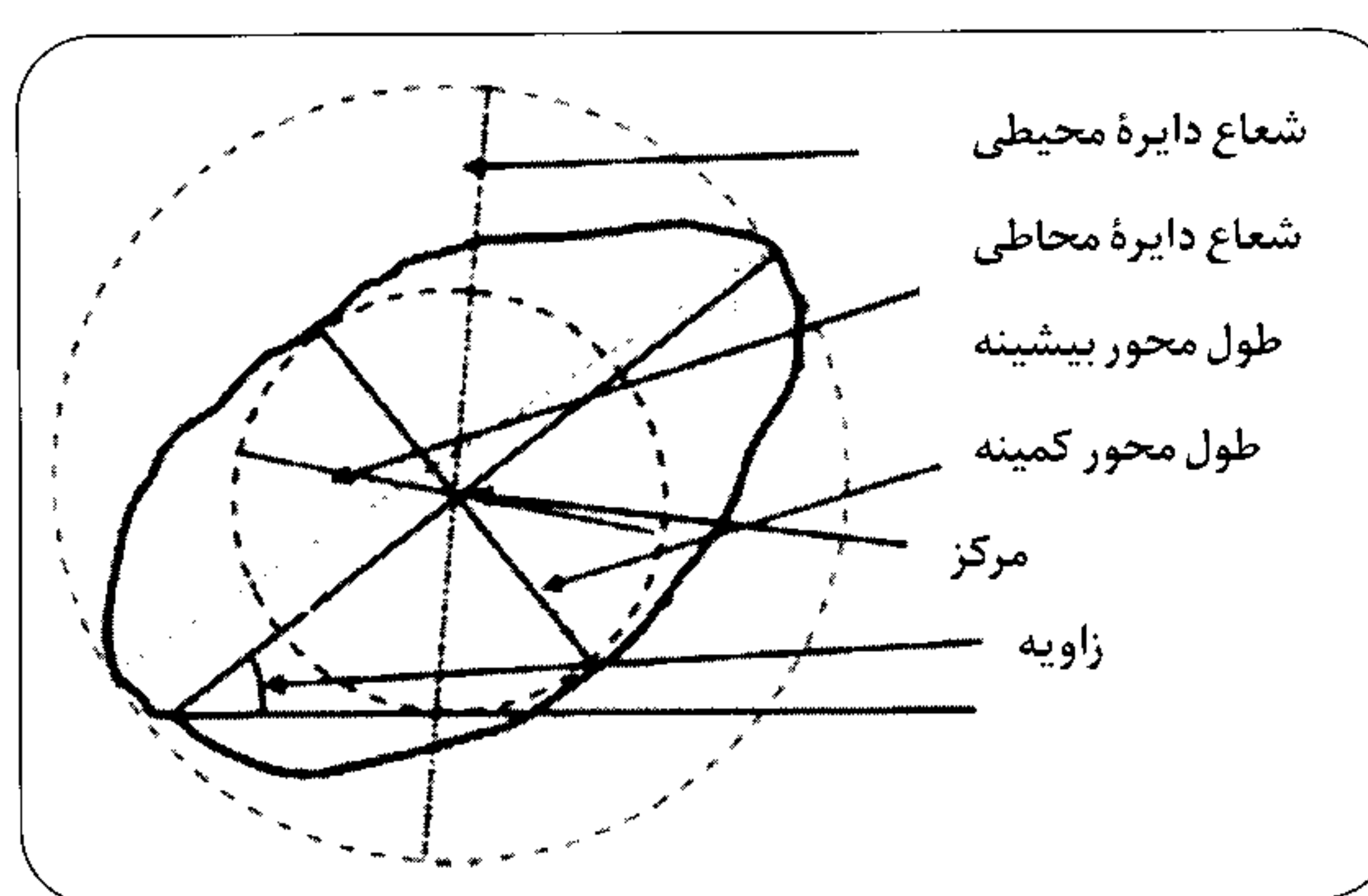


الف

شکل ۲- بخش بندی نمونه‌ای از رسوبات رودخانه‌ای. الف) تصویر اولیه، ب) تصویر بخش بندی شده [۲].

شبکه عصبی و علم پردازش تصویر را در اندازه‌گیری دانه بندی مواد معدنی روی نوارنقاله مورد بررسی قرار دادند. "گراهام" و همکاران [۲]، با گرفتن تصاویر از رسوبات رودخانه‌ای میادین مختلف با رسوبات متفاوت، اقدام به تعیین ابعاد رسوبات رودخانه‌ای کردند. آنها تصاویر را از فاصله ۱/۵ متری سطح زمین گرفتند، به صورتی که قدرت تفکیک مکانی هر پیکسل در روی زمین ۰/۷ میلی متر بود. سپس به وسیله بخش بندی تصاویر، اجزای مختلف معرف دانه‌های رسوبات رودخانه‌ای را از یکدیگر جدا کرده و به ابعاد دانه‌های رسوبی دست پیدا کردند. "رائو" در سال ۲۰۰۰ یک سیستم آزمایشی برای استنتاج اطلاعات سه بعدی از داده‌های دو بعدی را در دانشگاه ایلینویز طراحی کرد. سیستمی که رائو برای اندازه‌گیری ساختار دانه‌ها تعریف کرده بود، از سه دوربین برای تصویربرداری متعام از یک دانه در یک زمان تشکیل شده بود. با شمارش تعداد پیکسل‌ها در یک فضای تعریف شده حول دانه مورد نظر در تصویر، در هریک از این سه چشم انداز مذکور می‌توان به میزان حجم دانه دسترسی پیدا کرد [۵].

تشخیص کانی‌ها: در سال ۲۰۰۶ "دونسکوی" و همکاران [۶] از ویژگی‌های بافتی نمونه‌های آهن در زیر میکروسکوپ، برای شناسایی و تشخیص هماتیت، گوتیت و انواع متخلخل آنها از یکدیگر، استفاده کردند. این شناسایی بر پایه انعکاس متفاوت اکسیدها و هیدروکسیدها استوار بوده است. آنها پردازش تصاویر را با استفاده از نرم افزاری انجام دادند که در



شکل ۳- نمایش تعدادی از ویژگی‌های ریخت‌شناسی یک دانه رسوبی در تصویر

این فرآیند روش‌های گوناگونی از جمله طبقه بندی نظارت شده^(۱)، نظارت نشده^(۲) و تخمین^(۳) را شامل می‌شود. تعبیر^(۴) با عناوین فهم تصویر یا تحلیل صحنه نیز خوانده می‌شود. در این فرآیند با استفاده از کلیه اطلاعات حاصل از مراحل قبل، محتویات تصویر شرح داده شده و با معنا دادن به یک مجموعه از اشیای تشخیص داده شده، به تصویر معنا داده می‌شود.

۳- کاربرد تکنیک پردازش تصویر در علوم زمین

استفاده از علم پردازش تصویر، چندسالی است که به طور گسترده‌ای وارد مطالعات زمین شناسی و معدنی شده است. برای اولین بار "هرالیک" و همکاران [۳] ویژگی‌های بافتی تصاویر شامل آنتروپی، کنتراست، انرژی و یکنواختی تصویر که قبلاً در سینما و علوم پزشکی مورد استفاده قرار گرفته بودند را معرفی کردند. به دنبال آن، "هیابت" و همکاران [۴] کاربرد

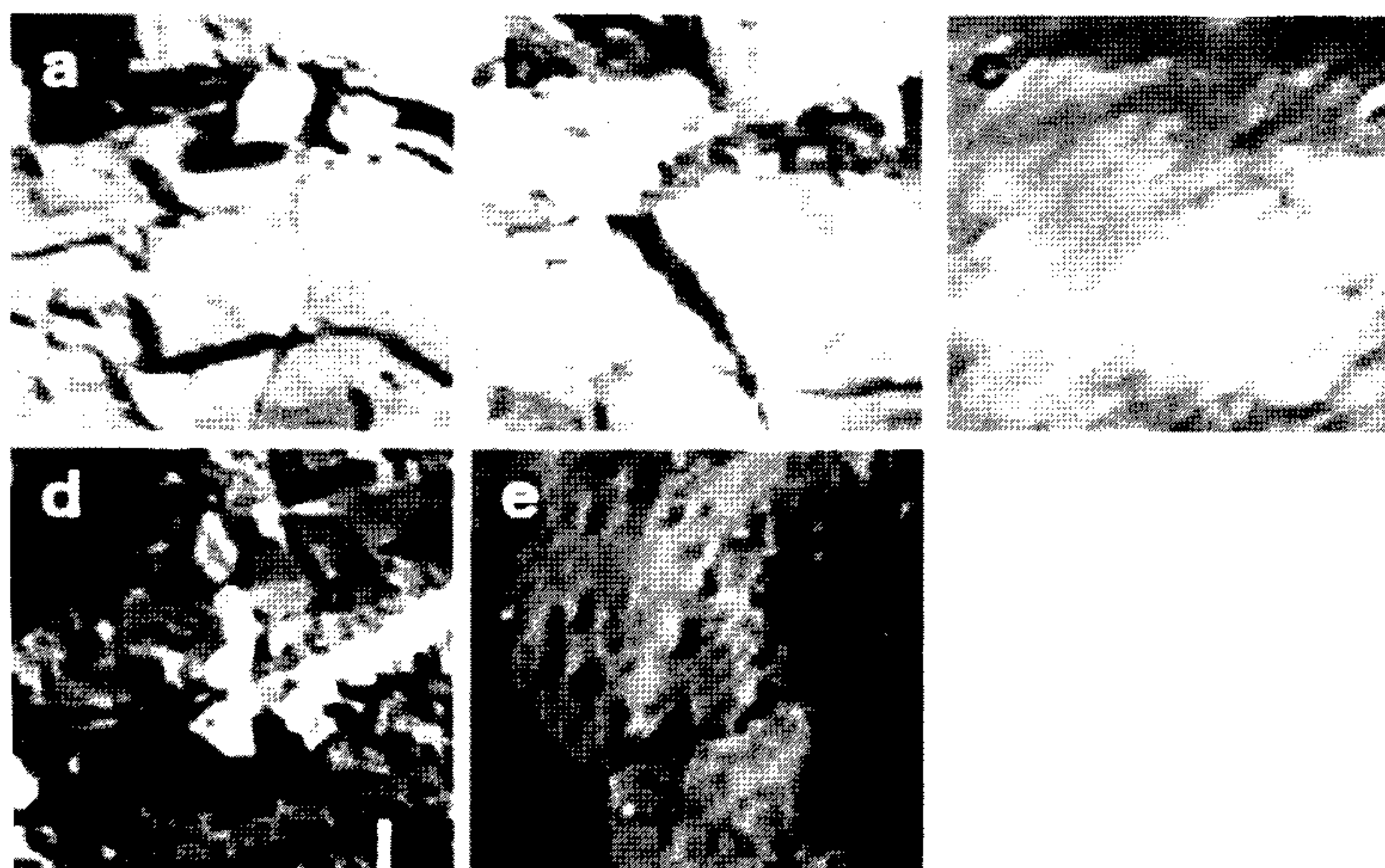
شناسایی و تفکیک لیتولوژی‌های متفاوت که دربرگیرنده درصد متفاوتی از کانی‌های مختلف هستند، اهمیت خاصی دارد. این اهمیت به لحاظ دستیابی به اهدافی مانند محدود کردن ناحیه اکتشافی در مراحل اولیه اکتشاف و کاهش هزینه فرآوری کانه پس از استخراج است. به منظور طبقه‌بندی لایه‌های مختلف در یک معدن آهن با عیار متفاوت آهن، "سینگ" و همکاران [۱۲] تعدادی تصویر از فاصله چندمتری از ۵ لایه مورد بررسی تهیه کرده و از ویژگی‌های رنگی موجود در تصاویر به منظور طبقه‌بندی آنها استفاده کردند. بررسی آنها نشان داد که لایه‌های حاوی درصد بالاتری از آهن، تیره‌تر بوده و میانگین سطح خاکستری کمتری دارند. همچنین بررسی مقادیر کمی ویژگی‌های بافتی تصاویر مربوط به هر لایه، مقدار آشفستگی بالایی تصویر را در لایه‌ای که لیتولوژی آهن با میان لایه‌های شیل مخلوط است، نشان داد (شکل ۴).

تعیین عیار ماده معدنی: تعیین عیار ماده معدنی در مراحل مختلف اکتشاف مانند تعیین محدوده مناسب به منظور انجام اکتشاف تفصیلی، بلوک‌بندی ماده معدنی، تعیین ذخیره قطعی، انجام مطالعات اقتصادی و تشخیص کانه و باطله از یکدیگر؛ حائز اهمیت است. بدین منظور روش‌های متنوعی، از جمله روش‌های آنالیز شیمیایی و مطالعات میکروسکوپی مورد استفاده قرار می‌گیرند. "ذاکری خطیر" و همکاران [۱۴] با استخراج ویژگی‌های بافتی و رنگی تصاویر حاصل از

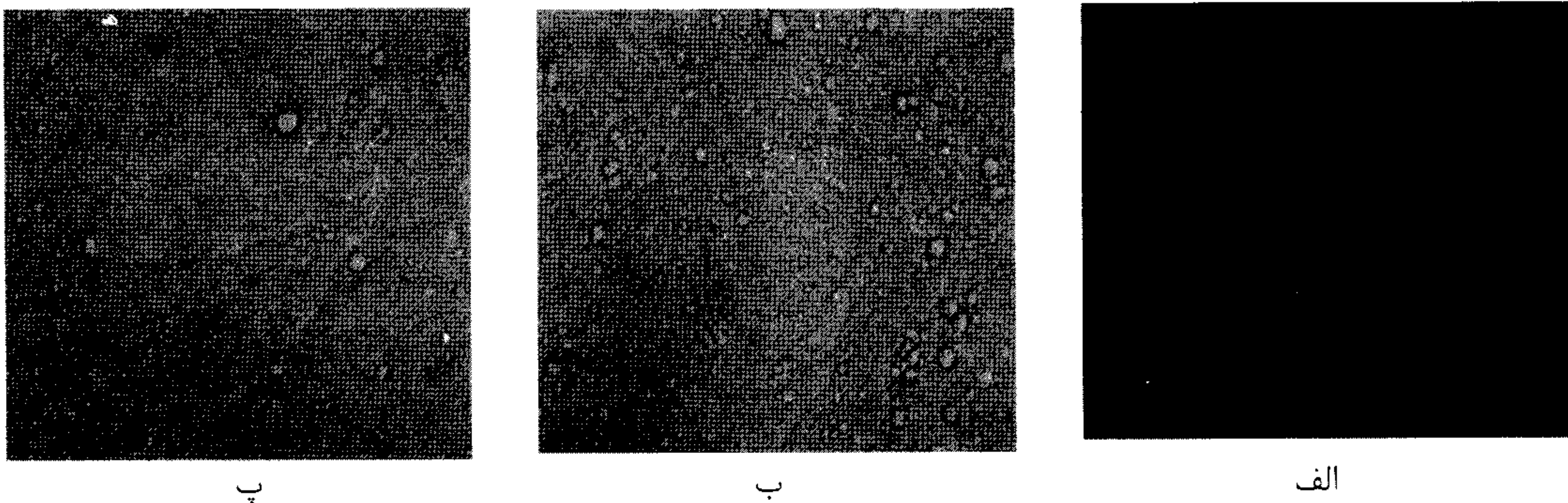
آن شناسایی بر پایه ویژگی‌های بافتی تصاویر صورت می‌گیرد. درپیش فرض این نرم افزار، ترکیب شیمیایی هماتیت، گوتیت و چندین کانی آهن دار دیگر، به همراه وزن اتمی عناصر تشکیل دهنده آنها نیز وجود دارد. بر این اساس خروجی این نرم افزار درصد کانی‌های تشکیل دهنده و درصد ترکیبات شیمیایی این کانی‌ها است.

جدا کردن کانه و باطله: تحقیقات زیادی نیز در زمینه استفاده از تکنیک پردازش تصویر، برای طبقه‌بندی مواد معدنی از نظر سنگ‌شناسی و جدا کردن کانه و باطله از یکدیگر، به منظور تأمین خوراک کارخانه فرآوری انجام شده است. "پرز" در سال ۱۹۹۹ [۷]، شناسایی ترکیب سنگ‌شناسی نمونه‌های معدنی موجود در تصویر را بر پایه استخراج ویژگی‌های رنگی نمونه‌ها و طبقه‌بندی آنها انجام داد. "اوستریچ" نیز در سال ۱۹۹۵ [۸]، در طی پژوهشی تلاش کرد، تا با استفاده از ویژگی‌های رنگی نمونه‌های معدنی موجود در تصاویر، ترکیب کانی‌های تشکیل دهنده نمونه را مشخص و طبقه‌بندی کند. **برنامه‌ریزی عملیات فلوتاسیون:** کاربرد دیگر این تکنیک در صنایع معدنی، برنامه‌ریزی عملیات فلوتاسیون است. فلوتاسیون یکی از مشکل‌ترین و چالش برانگیزترین فرایندها در عملیات معدن‌کاری است. در سال‌های اخیر موج جدیدی در زمینه استفاده از آنالیز تصویر در این عملیات ایجاد شده است [۹-۱۱].

تفکیک لیتولوژی‌ها: در مراحل مختلف اکتشاف و فرآوری،



شکل ۴- تصویر لایه‌های مختلف سنگ آهن مورد بررسی [۱۲].



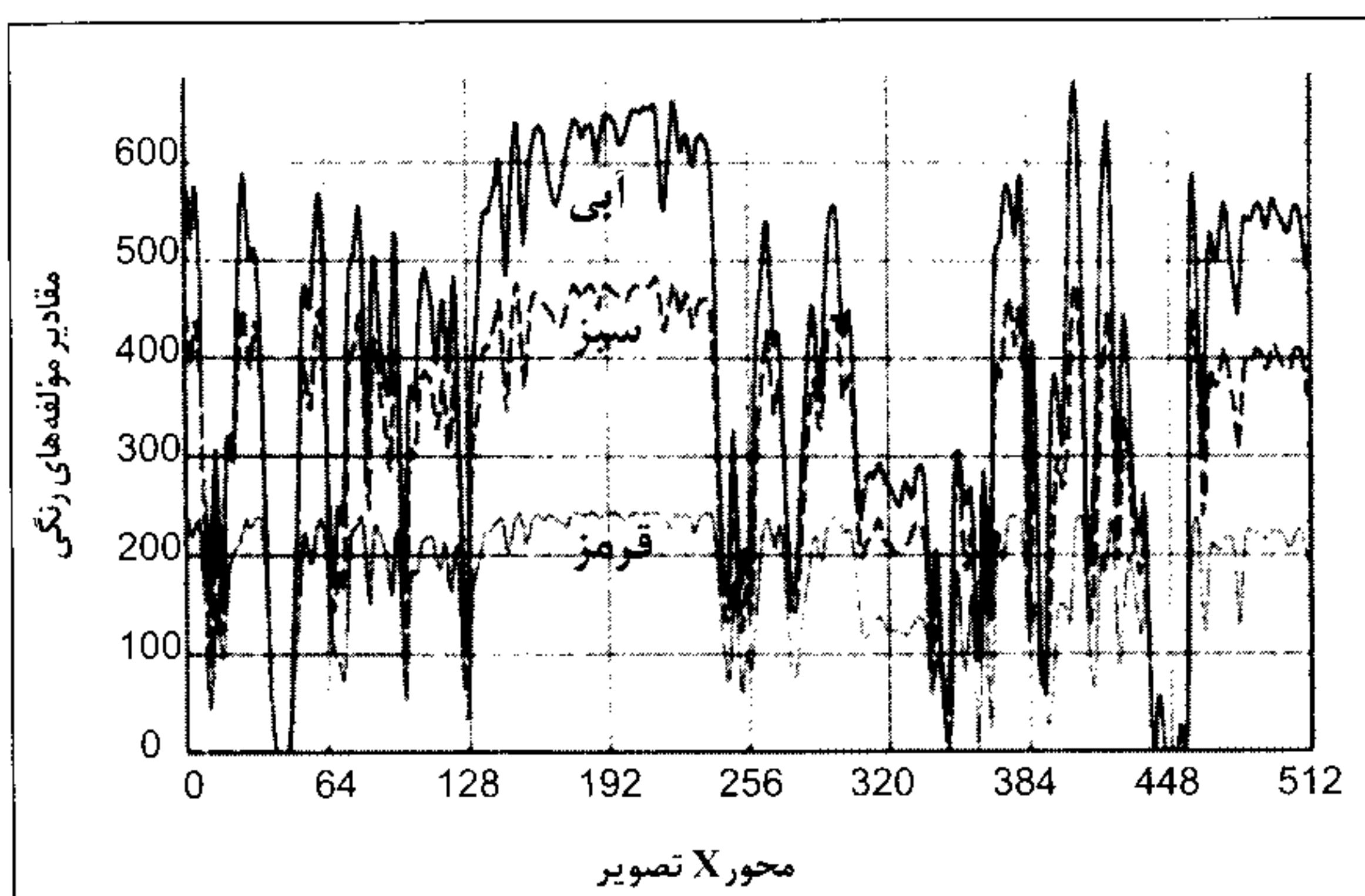
شکل ۵- تصاویری از نمونه‌های آهن. الف) با عیار ۶۶/۳ درصد، ب) با عیار ۳۲/۱۱ درصد، پ) با عیار ۲۷/۷۸ درصد [۱۳].

می‌شود، مقادیر مؤلفه‌های قرمز و آبی و سبز در محدوده‌ای از محور طولی در برگیرنده کانه پیریت روشن رنگ، یک بیشینه محلی را نشان می‌دهند.

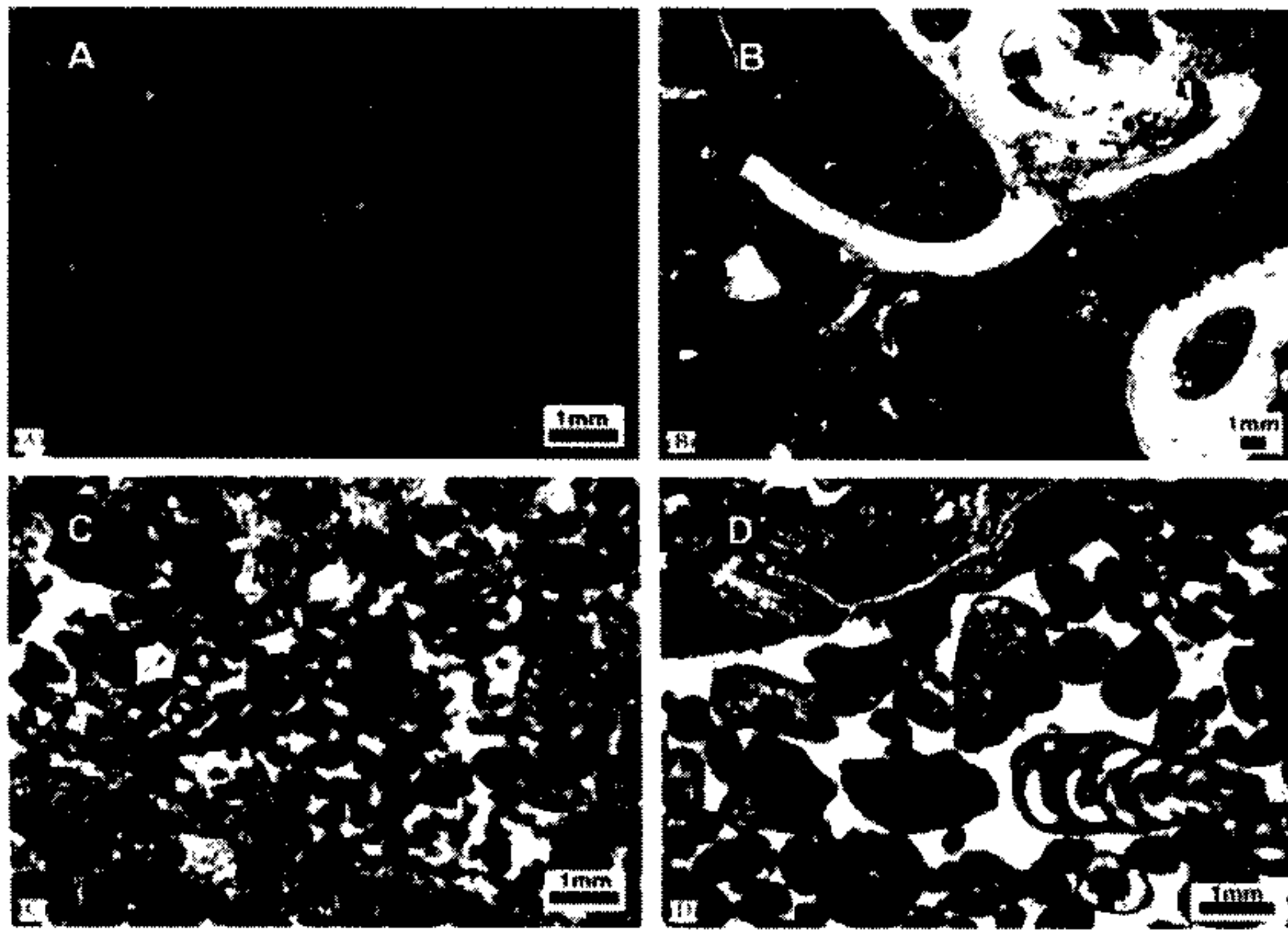
علاوه بر مطالعات میکروسکوپی به منظور تعیین فازهای مختلف کانی زایی، در طی تحقیقی "مارمو" و همکاران [۱۵]، به منظور تفکیک انواع مختلف سنگ آهک بر طبق طبقه‌بندی دانه‌ها، تصاویر تهیه شده از مقاطع نازک حاصل از کربنات‌های محیط‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. بر طبق طبقه‌بندی دانه‌ها، گرینستون‌ها^(۱) سنگ‌هایی فاقد گل‌های آهکی، پکستون‌ها^(۲) دارای دانه و مقداری گل کربناته، وکستون^(۳) نیز برای سنگ‌های آهکی گلی که حاوی بیش از ۱۰ درصد دانه هستند، به کار می‌رود. سنگ‌های آهکی دارای کمتر از ۱۰ درصد دانه را مادستون^(۴) می‌نامند. این محققان، انواع گرینستون، پکستون، وکستون و مادستون را بر اساس

نمونه‌های پودری و استفاده از آنها به عنوان ورودی تخمینگر هوشمند شبکه عصبی، سعی در به دست آوردن عیار آهن موجود در نمونه‌ها کردند. این گروه، مدل رگرسیونی را بر پایه این ورودی‌ها و مقادیر عیار هر نمونه، به عنوان خروجی شبکه عصبی، برای به دست آوردن عیار آهن طراحی کردند. در شکل ۵ دیده می‌شود که نمونه‌های با عیار بالاتر آهن، تیره‌تر هستند، این خصلت آنها باعث کم شدن میانگین مقادیر مؤلفه‌های رنگی تصویر و تأثیر آنها بر روی دیگر ویژگی‌های آماری مؤلفه‌های رنگی می‌شود. این امر دلیلی بر منطقی بودن طبقه‌بندی نمونه‌های موجود در تصاویر و پیش‌بینی عیار آهن به کمک آنها است.

مطالعات میکروسکوپی: در بسیاری از مواقع شناسایی و تشخیص فازهای کانی زایی متفاوت و درصد این فازها، بر پایه آنالیز تصاویر حاصل از مقاطع نازک و صیقلی، استوار است. مطالعه میکروسکوپی فازهای کانی زایی مختلف، به طور عمده بر پایه ویژگی‌های رنگی و بافتی فازهای متفاوت، که در میدان مورد بررسی مشاهده می‌شوند استوار است. علاوه بر آن، اطلاعاتی همانند شکل، رابطه فازها، اندازه دانه‌ها و تفاوت در خصوصیات نوری فازها در نور پلاریزه، در شناسایی نمونه‌ها و گونه‌های مختلف، دخالت می‌کنند. با توجه به اینکه پیکسل‌های روشن‌تر حاوی مقادیر بالای شدت روشنایی و هریک از مؤلفه‌های رنگی تشکیل‌دهنده تصویر هستند، همان‌طور که در شکل ۶ دیده



شکل ۶- مؤلفه قرمز و سبز و آبی توزیع شده در طول محور علامت‌گذاری شده در تصویر [۱۳]



شکل ۷- انواع سنگ آهک بر مبنای طبقه بندی دانه‌ها
(A) مادستون با اثرات بیولوژیکی عمیق دریایی، (B) وکستون با پوسته نرم تنان، (C) پکستون ریز با اثرات بیولوژیکی نادر، (D) گرینستون با پوسته موجودات دریایی [۱۵].

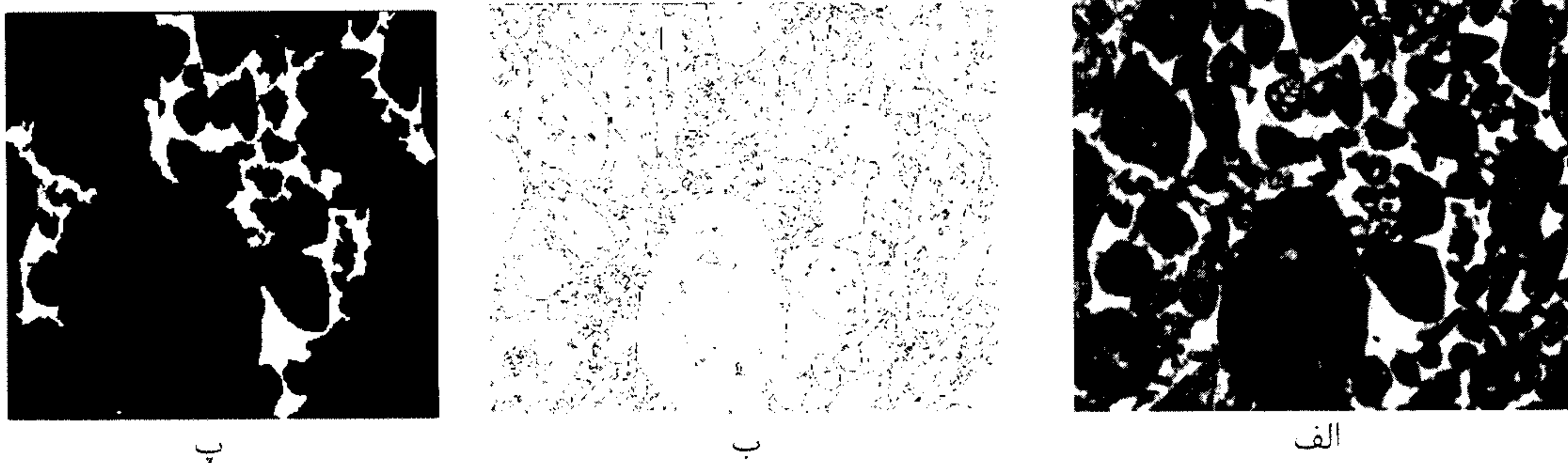
متخصصان انجام می‌شود. با چنین شرایطی دستیابی به یک سیستم کنترل کیفیت مناسب، غیر ممکن است؛ مگر این‌که یک حس‌گر به منظور دستیابی به ویژگی‌های مورد بررسی نمونه‌های معدنی بر پایه سیستم بینایی طراحی شود. پژوهش‌های انجام شده برای بررسی کاربرد تکنیک پردازش تصویر در این زمینه همانند سایر زمینه‌ها، تنها موقعی سودمند است که امکان کاربرد آن در راستای کنترل کیفیت و افزایش سرعت وجود داشته باشد. تاکنون پژوهش‌هایی در راستای دستیابی به این هدف انجام شده است.

تعیین اندازه ذرات حاصل از خردایش: لین و میلر در سال ۱۹۹۳ از تکنیک پردازش تصویر برای طراحی یک سیستم آنالیز^(۱)، به منظور تعیین اندازه ذرات خرده‌های سنگ استفاده کردند. "مارشالینگر" در سال ۱۹۹۷ با آنالیز تصاویر در صنعت، اندازه خرده‌سنگ‌های حاصل از خردایش و انفجار را به منظور ارتقاء روند خردایش و شیوه انفجار بررسی کرد [۱۷]. "گانتر" در سال ۱۹۸۵ روشی بر پایه بینایی ماشین، برای تعیین خصوصیت توزیع اندازه ذرات خرده‌سنگ‌های حاصل از انفجار در عملیات معدنی طراحی کرد. "لانگ" هم در طی رساله دکترای خود در سال ۱۹۹۰ مطالعه‌ای در راستای اندازه‌گیری آنالیز توزیع اندازه ذرات موجود بر روی نوار نقاله،

تصاویر دودویی و تصاویر نشان‌دهنده لبه‌های تصویر، که مناطق با تغییر ناگهانی سطح خاکستری در تصویر هستند، طبقه‌بندی کردند. گرینستون به علت بافت دانه‌دانه و قطعات اسکلتی و غیر اسکلتی موجود در آن، تعداد زیادی لبه را در تصویر تشکیل می‌دهد. در مقابل، مادستون به علت آنکه از بخش‌های همگن وسیعی تشکیل شده است، تعداد لبه زیادی از خود نشان نمی‌دهد. همچنین تعداد نواحی سفید رنگ در تصویر دودویی، به عنوان یکی از ویژگی‌های معرف گروه‌های مختلف سنگ آهک به شمار می‌رود. با تبدیل تصویر سطح خاکستری به فرم دودویی، مناطق سفید رنگ پرکننده‌های بین دانه‌ای، سیمان‌های کلسیت اسپاری و تخلخل قالبی را نشان می‌دهد. گرینستون‌ها به علت بافت دانه‌ای نسبت به مادستون‌ها، تعداد بیشتری نواحی سفید رنگ را داراست. مادستون و وکستون نواحی سفید رنگ زیادی را از خود آشکار نمی‌سازند.

۴- کنترل کیفیت در معدن‌کاری و بینایی ماشین

کنترل کیفیت، مجموعه عملیاتی همچون اندازه‌گیری یا آزمودن است که روی یک محصول یا کالا انجام می‌شود تا میزان مطابقت آن محصول با مشخصات فنی مورد نظر مشخص شود. به طور شاخص یک سیستم بازرسی کنترل کیفیت، تکنیک پردازش تصویر را در راستای استخراج اطلاعات از یک گروه تصاویر، برای شناسایی و تشخیص موضوع مورد مطالعه به کار می‌برد. بینایی ماشین یکی از شاخه‌های جدید علم هوش مصنوعی به شمار می‌آید که سعی دارد با پردازش تصاویر، توانایی دیدن و درک کردن را به کامپیوتر بدهد. تکنولوژی بینایی، ماشین مدیریت و کنترل کیفیت را ارتقاء داده و یک امتیاز برای صنایعی که این فناوری را به کار گرفته‌اند، به شمار می‌رود [۱۶]. به طور متداول و سنتی بازرسی عینی و کنترل کیفی در عملیات معدن‌کاری، در مرحله طبقه‌بندی و شناسایی اولیه سنگ‌شناسی و آنالیز نمونه‌های جمع‌آوری شده، به منظور تعیین عیار با نظر

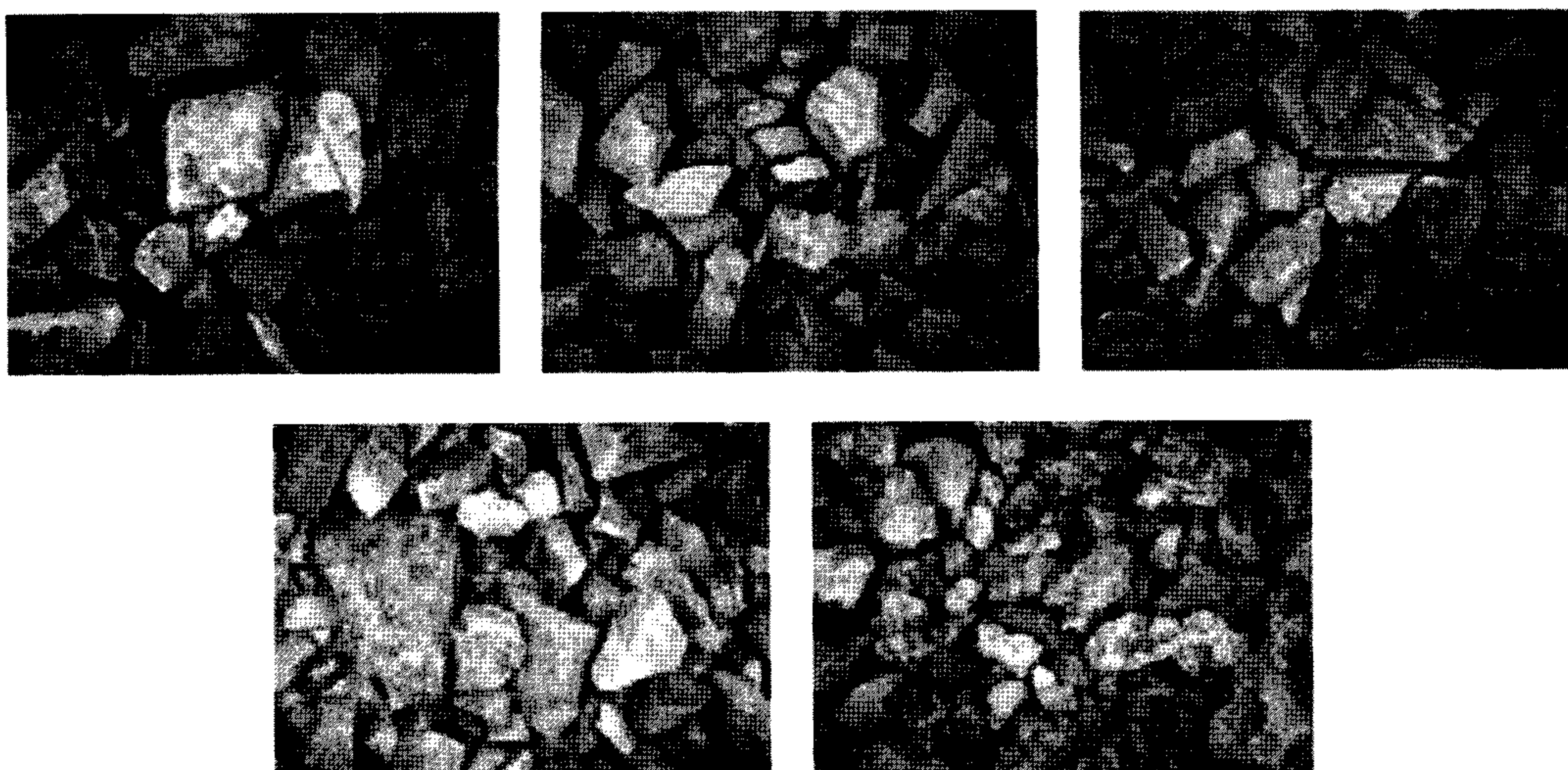


شکل ۸- پردازش تصویر نمونه‌ای از سنگ آهک. الف) تصویر گرینستون با سیمان کلسیت، ب، لبه‌های اجزای تشکیل‌دهنده تصاویر، پ) نواحی سفید به علت سیمان کلسیت بین دانه‌ای [۱۵].

مختلف گرفته شد. بدین ترتیب برای هریک از ۱۲۰ نمونه مقادیر ترکیبات مهم آنها به درصد و تعداد ۱۰ تصویر موجود بود. "کاترجی" به این منظور از رگرسیون شبکه عصبی چندلایه، برای پیش‌بینی عیار ترکیبات مهم استفاده کرد. بدین منظور به هر نرون لایه ورودی یک ویژگی تعلق می‌گیرد. همچنین عیار هریک از ترکیبات مهم که از آنالیز به دست آمده است، متعلق به نرون‌های لایه خروجی هستند. بدیهی است که پس از آموزش شبکه با ویژگی‌های تعدادی تصویر و عیار ترکیبات مربوط به آن تصاویر، این مدل قادر خواهد بود عیار ترکیبات مربوط به تصویر آزمایشی را در حالتی که ورودی شبکه، ویژگی‌های آن تصویر باشد، به دست آورد. در طی این تحقیق برای کنترل کیفیت آفلاین^(۱) در

با استفاده از تکنیک پردازش تصویر انجام داد [۱۸ و ۱۹]. کنترل خلوص کربنات کلسیم در سنگ آهک: "کاترجی" برای اولین بار در رساله دکترای خود در سال ۲۰۱۰ به بررسی تعیین عیار کلسیت، از روی ویژگی‌های رنگی و بافتی و ریخت‌شناسی تصاویر حاصل از خرده‌های سنگ آهک که در ابعاد ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر خرد شده بودند، پرداخت [۱۶].

بدین منظور از تعداد ۵ لایه موجود در یک معدن سنگ آهک، تعداد ۲۴ نمونه به وزن ۵ کیلوگرم جمع‌آوری شد. سپس نمونه‌ها به دو قسمت مساوی تقسیم شد، یک بخش از هر نمونه تحت شرایط مناسب و استاندارد برای تعیین عیار اکسید کلسیم، اکسید آلومینیوم، اکسید آهن و اکسید سیلیسیم تحت آنالیز قرار گرفت. از بخش دیگر تعداد ۱۰ تصویر در حالت‌های

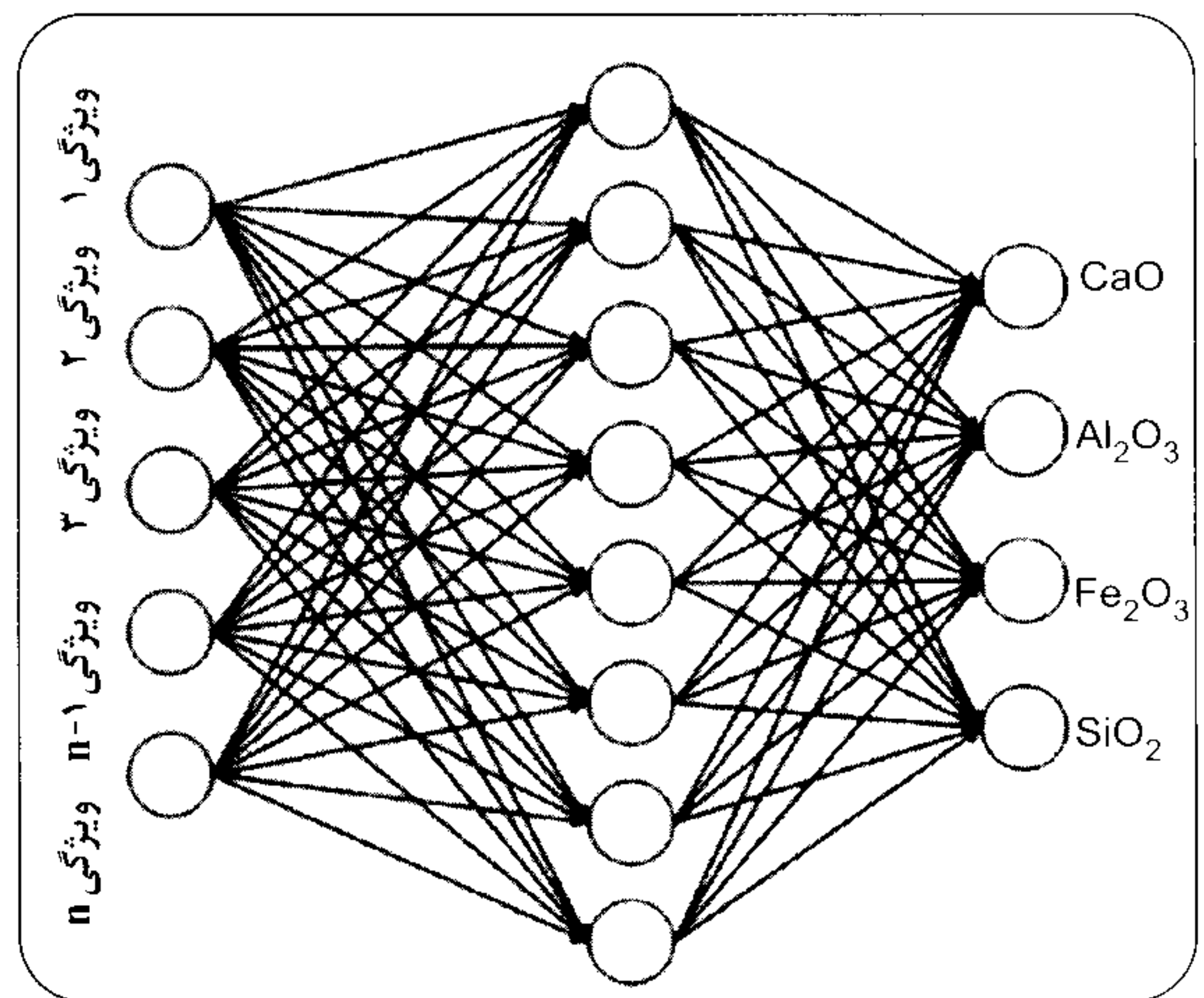


شکل ۹- تصاویر خرده‌های به دست آمده از لایه‌های متفاوت سنگ آهک [۱۶].

در صورت رفع کاستی‌هایش، قابلیت بالایی در زمینه تخمین عیار با امتیاز سرعت بالا و هزینه پایین خواهد داشت. این تحقیق، و پژوهش‌های مشابه، بستر مناسبی را برای توسعه تکنیک کارآمد پردازش تصویر در زمینه کنترل کیفیت در معادن فراهم می‌آورد. در حال حاضر نیز مطالعه‌ای در دانشکده فنی دانشگاه تهران، با هدف بررسی قابلیت کاربرد این تکنیک در زمینه تخمین خلوص کربنات کلسیم و درصد دولومیت در سنگ آهک یکی از معادن کشور، با استفاده از ویژگی‌های سنگ آهک در تصویر، در حال انجام است. بدین ترتیب نتایج مطالعه بر روی نمونه‌های سنگ آهک موجود در تصویر با ابعاد ۵ - ۲/۵ سانتی‌متر و ۲/۵ - ۱/۵ سانتی‌متر و ۱/۵ سانتی‌متر - چند میلی‌متر با یکدیگر مقایسه می‌شوند. انجام تحقیقات بیشتر و گسترده‌تر، به رفع چالش‌های موجود در مسیر کاربرد این روش کمک خواهد کرد.

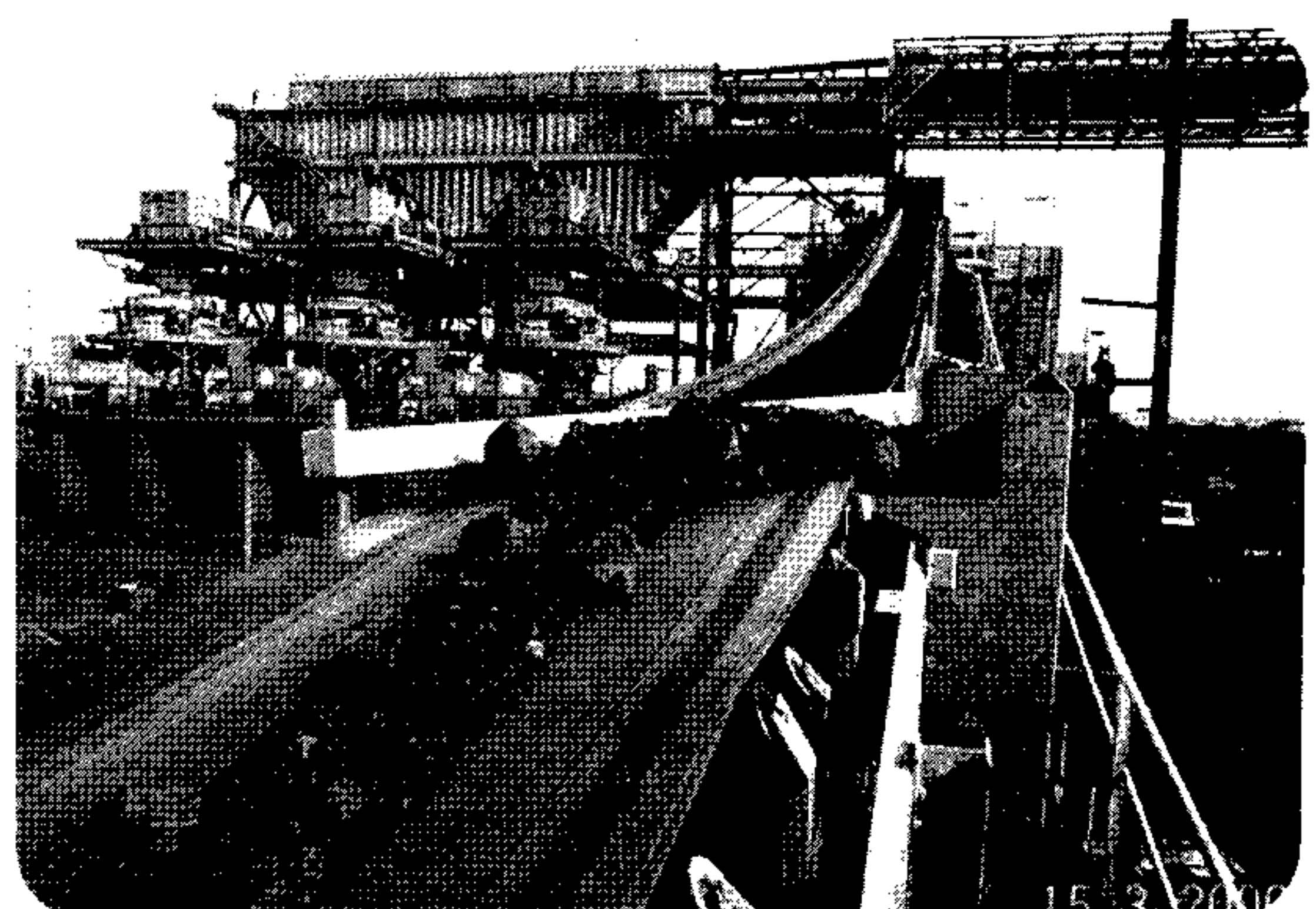
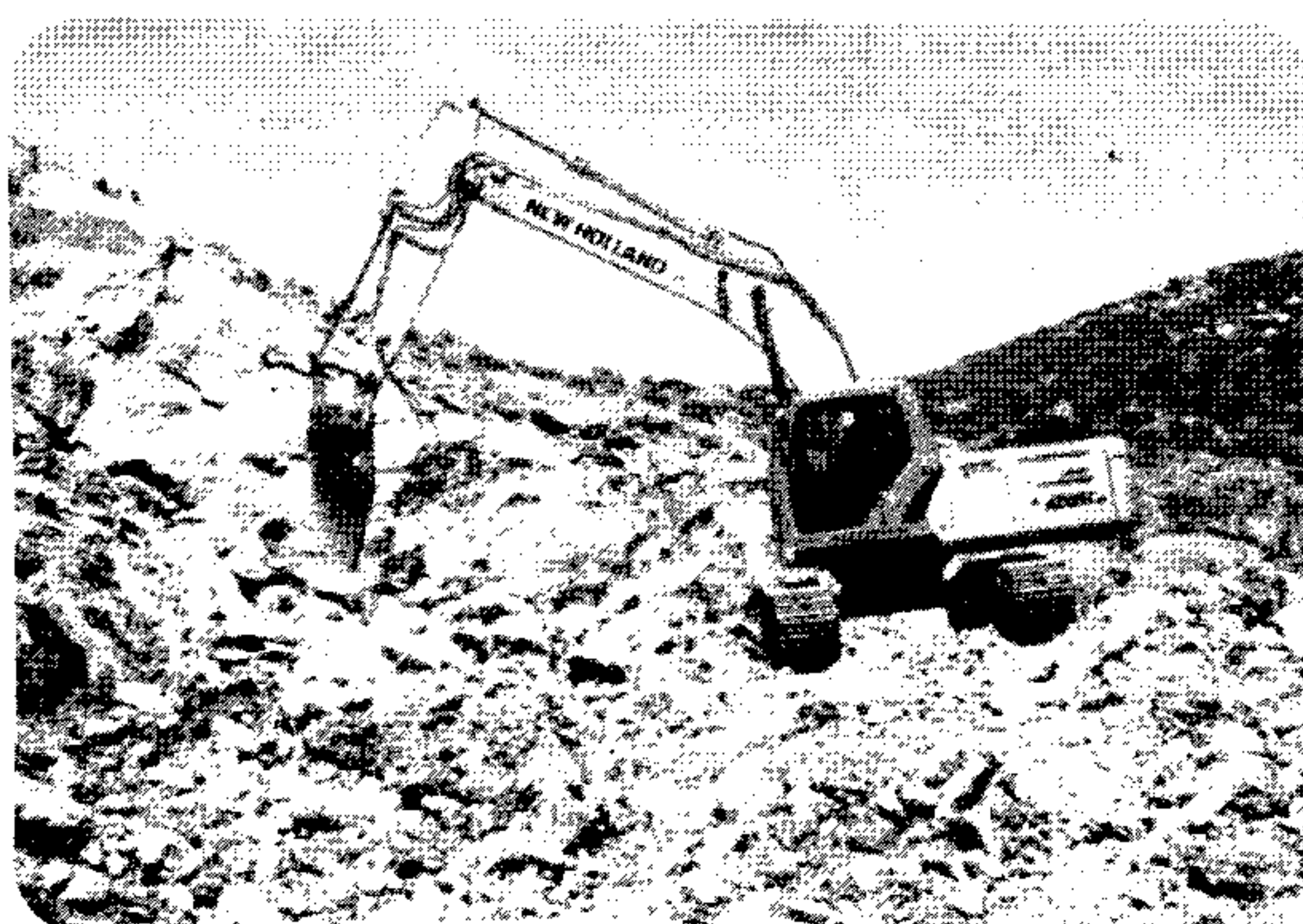
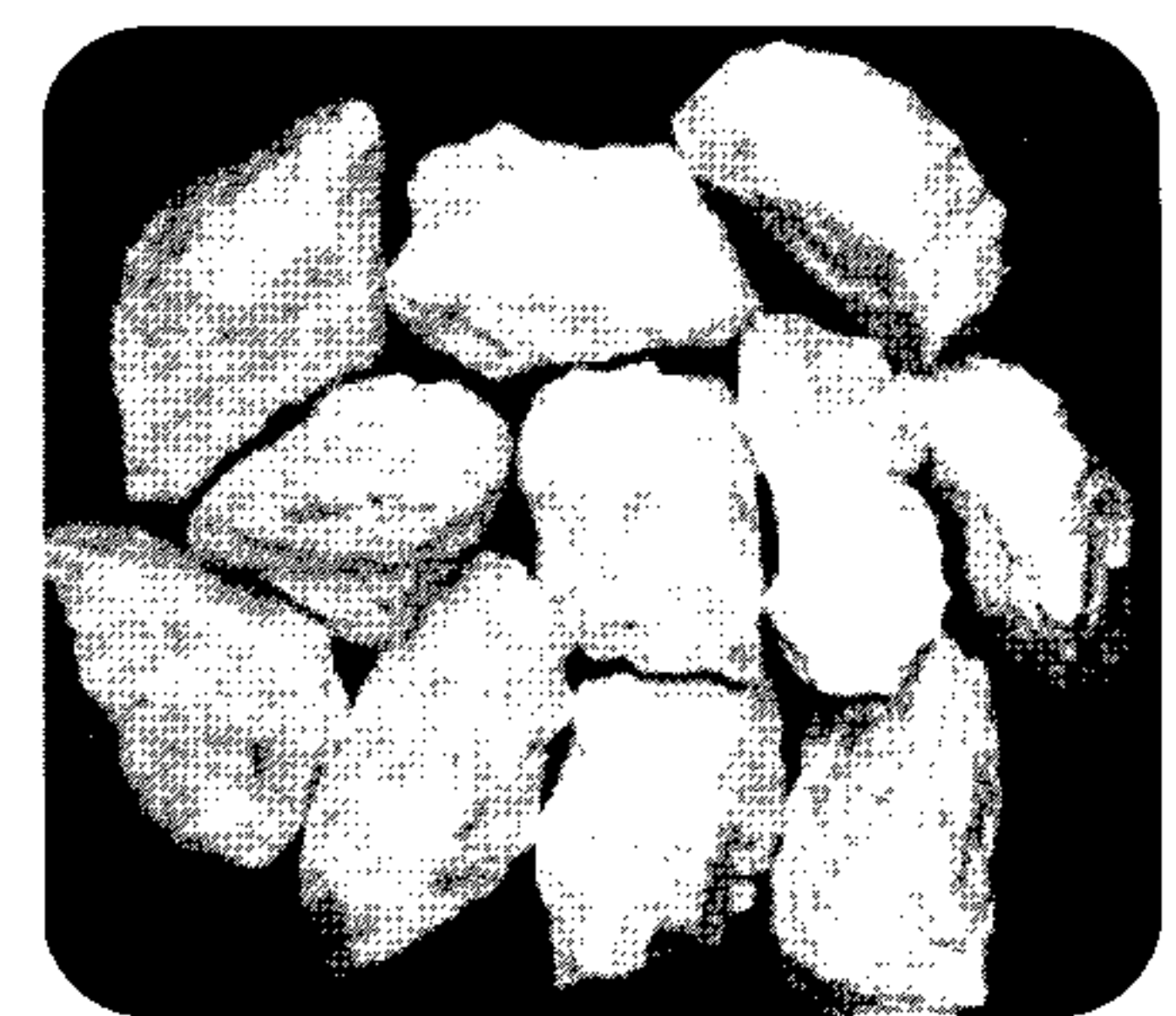
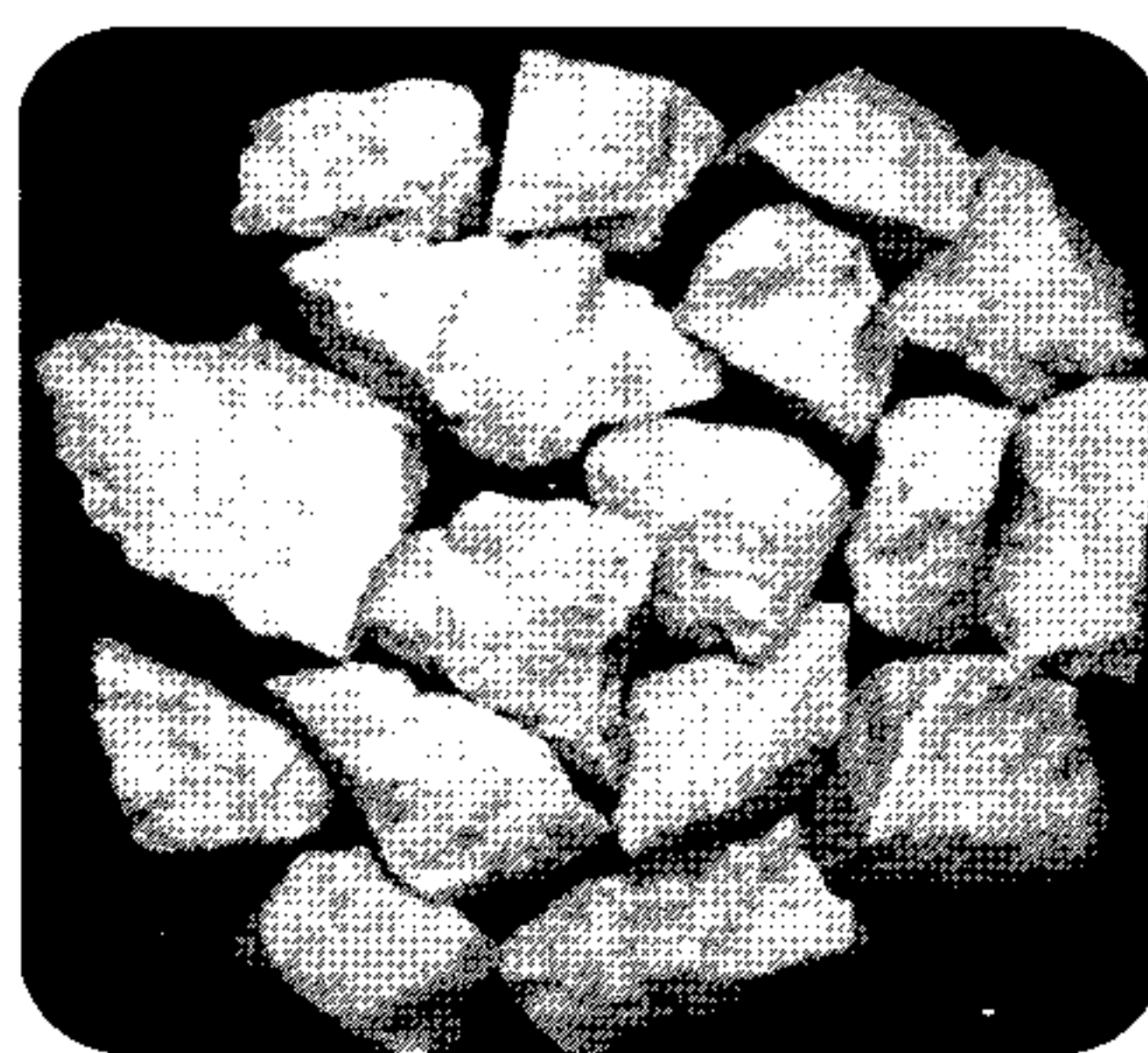
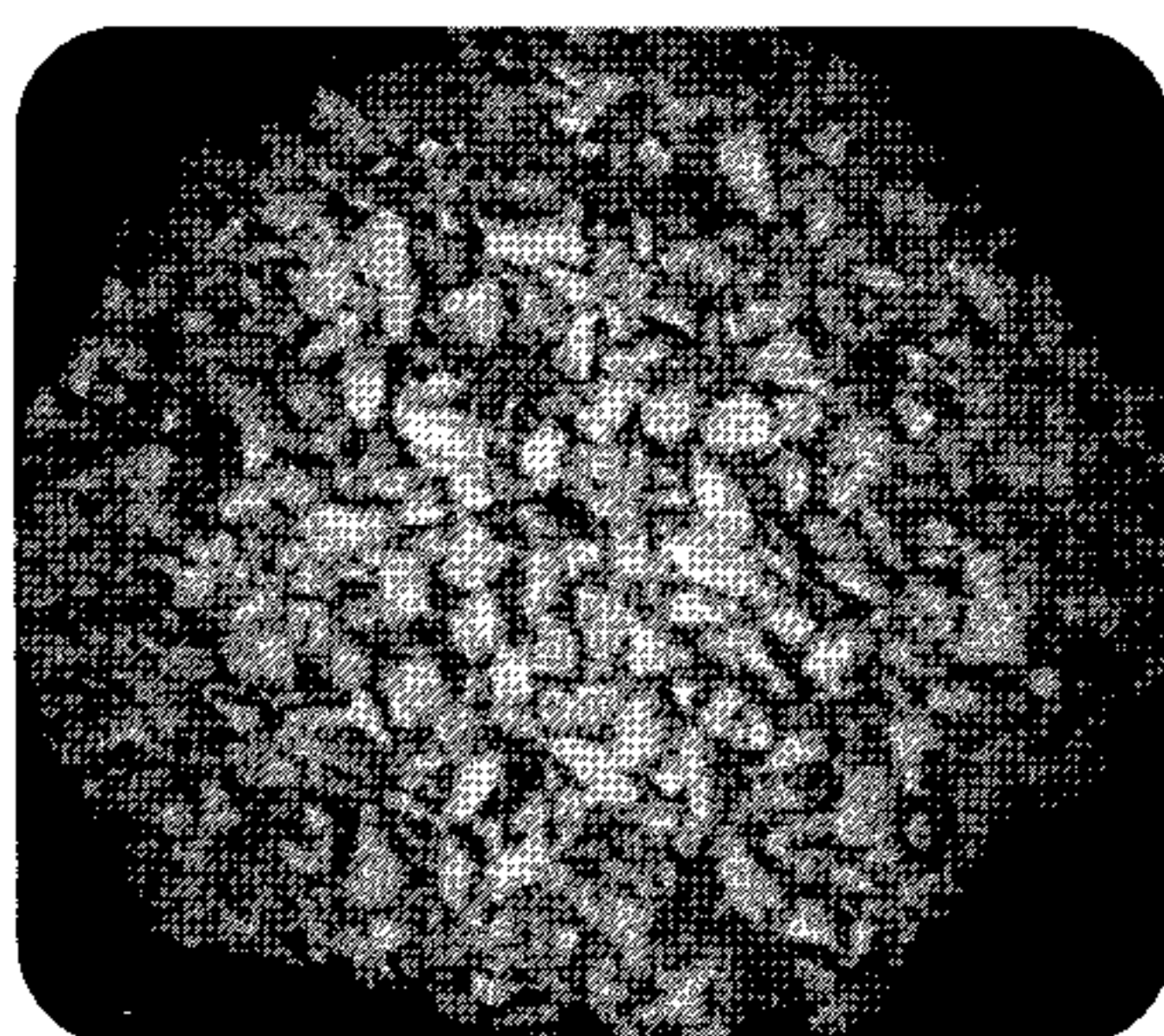
نتیجه

پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه کاربرد پردازش تصویر در علوم زمین، که نمونه‌هایی از آنها در این مقاله عرضه



شکل ۱۰- ساختار شبکه عصبی مورد استفاده برای پیش‌بینی عیار [۱۶].

معدن، با استفاده از مدل شبکه عصبی آموزش دیده شده، نمونه‌های جمع‌آوری شده مربوط به رخساره‌های لیتولوژیکی متفاوت موجود در معدن، در فاصله زمانی ۲ ساعت، در طی یک هفته مورد بررسی و پردازش تصویر قرار گرفته است. اعتبار سنجی نتایج این کنترل کیفیت و همبستگی بالای بین مقادیر ترکیبات با استفاده از آنالیز و مقادیر به دست آمده توسط پردازش تصویر نشان از این دارد، که این تکنیک



شد، نشان داد که نتایج آنالیز تصاویر با واقعیت‌های زمین‌شناسی بسیار سازگار است. این سازگاری می‌تواند به علت کمی‌سازی ادبیات توصیف ویژگی‌های معرف در زمین‌شناسی باشد. کمی‌سازی به کنترل عدم قطعیت‌ها و حذف خطاهای انسانی کمک می‌کند. همچنین اهمیت بسیار زیاد کنترل کیفیت آنالیز در مراحل مختلف عملیات معدن‌کاری و نیاز به بالابودن سرعت کنترل، این تکنیک سریع و ارزان و ساده را به عنوان یک گزینه مناسب پیش‌روی انسان قرار می‌دهد.

نظر به هزینه بالای عملیات متداول تشخیص، و مزایایی که پیش‌تر برای تکنیک پردازش تصویر اشاره شد، انجام تحقیقات گسترده‌تری در راستای رفع ضعف‌های موجود ضروری به نظر می‌رسد. از جمله دقت پایین این روش در برخی شرایط، عدم امکان استفاده کاربردی این روش در مورد تعیین عیار و ترکیب شیمیایی کانه‌های عیار پایین و هموار کردن مسیر رسوخ این تکنیک در عملیات شناسایی در مراحل مختلف معدن‌کاری را می‌توان نام برد.

منبع

- 1-Gonzalez, R. C, Woods, R. E, 2002, "Digital Image Processing", Prentice-Hall, NJ, USA, 793pp.
- 2-D. J. Graham, I. Reid, S. P. Rice, 2005. "Automated sizing of coarse-grained sediments: image processing procedures", Mathematical Geology, Vol.1, No. 2, pp, 1-28.
- 3-Haralick RM, Shanmugan K, Dinstien, 1973. "Textural features for image classification" IEEE Trans Syst Man Cybern, Vol.3, No. 6, pp, 61-70.
- 4-Hyabat, S. Al, Miles, J., Koh, T. S, 2007; "Estimation of the distribution of particles moving on a conveyorbelt"; Miner. Eng, Vol.20, No. 2, pp, 72-83.
- 5-Rao, C., Tutumluer, E. 2000. Determination of volume of aggregates: new image analysis approach, Proceedings of the 79th Annual Meeting, January 9-13, 2000, Transportation Research Board, Washington, DC, 2000, pp. 73- 80.
- 6-Donskoi, E., Clout, J.M.F., 2005. Recognition - a specialized software package for iron ore characterization. In: Iron Ore 2005. AusIMM, Fremantle, pp. 203-211.
- 7-Perez, C., Casali, A., Gonzalez, G., Vallebuona, G., and Vargas, R, 1999. Lithological composition sensor based on digital image feature extraction, genetic selection of features and neural classification, In Proc. of the Znt.Con. On Information Intelligence & Systems, IEEE, Bethesda, 1999, pp. 236-241.
- 8-Oestreich, J. Tolley, W. and Rice, D., 1995. The development of a color sensor system to measure mineral compositions, Minerals Engineering, Vol.1, No. 2, pp, 31-39.
- 9-Cipriano, A., Guarini, M., Vidal, R., Soto, A., Sepulveda, C., and Mery, D., 1998. A real time visual sensor for supervision of flotation cell, Mineral Engineering, Vol.11, No. 6, pp, 489-499.
- 10-Guarini, M., Cipriano, A., Soto, A., and Cueslaga, A., 1995. Using image processing techniques to evaluate the quality of mineral processing, In Preprints of the sixth international conference on signal processing, applications and technology, Boston, USA.
- 11-Moolman, D., Aldrich, C., Deventer, J. V., and Bradshaw, D. 1995. The characterization of froth surfaces and relation to process performance by using connectionist image processing techniques. Chemical Engineering Science Vol.8, No. 2, pp, 23-30.
- 12-Singh, V, 2010, Image processing applications for customized mining and ore classification



Saudi Society for Geosciences 2010, springer.

13- Bonifazi, G, 1995, Digital multispectral techniques and automated image analysis procedures for industrial ore modeling Mineral engineering, Vol.8, No. 7, pp, 779-794.

۱۴- ذاکری خطیر، مهدی، "تعیین عیار ماده معدنی با استفاده از شبکه عصبی و تکنیک پردازش تصویر"، نشریه علمی - پژوهشی "مهندسی معدن"، دوره سوم، شماره ششم، سال ۱۳۸۷، صفحه ۶۷ تا ۷۳

15- R.Marmo,S, Amodio, 2005, "Textural identification of carbonate rocks by image processing and neural network: Methodology proposal and examples" Computers & Geosciences, Vol.20, No. 7, pp, 649-659.

16- Chatterjee, S., 2006. "Geostatistical and image based quality control models for Indian mineral industry." Unpublished Ph.D. Thesis dissertation, IIT Kharagour, India.

17- Marschallinger R, 1997. "Automatic Mineral Classification in the Macroscopic Scale", Computers & Geosciences, Vol.23, No. 1, pp, 119-126.

18- Gunther, F'ranz-Martin Berger, 1985. "Software for a particle size analyzer based on image analysis techniques", Master's thesis, University of the Witwatersrand.

19- Lange T. B., (1990). "Measurement of the size distribution of rocks on a conveyor belt using machine vision". PhD thesis, University of the Witwatersrand.

اطلاعیه

مجله نظام مهندسی معدن با هدف ارتقاء کیفیت مقاله‌های دانشجویی، به مقاله‌های دانشجویی که توسط هیئت تحریریه انتخاب و به چاپ می‌رسد جوایزی اهدا می‌کند.

شرایط لازم

۱ - مقاله قبلاً در جای دیگری ارائه نشده باشد.

۲ - نویسنده اصلی مقاله در زمان ارائه و چاپ آن در مجله، دانشجو باشد.

