

# تحلیل سنجش از دور در باره آسب پوشش گیاهی پیرامون کارخانه‌های ذوب فلز در شبه جزیره کولا<sup>۱</sup>، روسیه

نویسنده: کی. میگولا

ترجمه: محمد امین عارف‌زاده

(دانشجوی دوره دکتری رشته جغرافیا - دانشگاه تهران)

## ۱- مقدمه:

شبه جزیره کولا در بردارنده تعدادی از مهمترین منابع معدنی در روسیه شمالی است. بیشتر ذخایر شناخته شده را آهن، مس، نیکل فلزات غیر آهنی و فلزات کمیاب، فسفات، میکا و خاکهای رس تشکیل می‌دهد. بهره‌برداری از این منابع عظیم در اوائل دهه ۱۹۳۰ شروع شد، و در نتیجه شهرهای معدنی، کارخانه‌های ذوب فلز، و دیگر تأسیسات زیر بنایی بیشتر در طی سالهای بعد ساخته شد (لوزین<sup>۲</sup> و دیگران ۱۹۹۴). بهره‌برداری از منابع به تغییرات قابل ملاحظه‌ای در وضعیت محیط منجرگردید (کمیته دولتی روسیه در حمایت از طبیعت ۱۹۸۹). این کمیته ارزیابی انجام داد مبنی براین که در پایان دهه ۱۹۸۰، همه ساله بالغ بر ۸۵۰/۰۰۰ تن از مواد مضر به بیرون انتشار می‌یابد که این مواد شامل ۶۵۰/۰۰۰ تن دی اکسید گوگرد است (دوی‌بان<sup>۳</sup> ۱۹۹۲).

بزرگترین مشکلات و مسائل محیطی در پیرامون مجموعه کارخانه‌های نیکل نزدیک مرز نروژ، و اطراف مراکز ذوب فلز سورونیکل<sup>۴</sup> (منچوگورسک) رخ داد. پوشش گیاهی نزدیک کارخانه‌های ذوب فلز در طی چند دهه اخیر به شدت کاهش یافته است و انتشار آن به تخریب و انهدام زیاد جامعه گیاهی در نواحی همجوار منجر شده است (به تصاویر (۱) و (۲) نگاه کنید). تنها برخی از دره‌های عمیق و تنگ و زمینهای مرطوب از این تخریب محفوظ ماند بطوریکه هنوز دارای مقادری پوشش گیاهی سبز هستند. خاک بدون پوشش گیاهی در بسیاری از جاهای مخصوص نواحی پوشش قابل رؤیت است، و فرسایش خاک به آسانی از نبود پوشش گیاهی تبعیت می‌کند (کریچکوف<sup>۵</sup> ۱۹۹۳). و در آنجا تحولی تدریجی از منطقه تخریب شده به سوی بیشتر اکوسیستمهای دست نخورده به

انستیتوی تحقیقات جنگلی فنلاند، ایستگاه تحقیقاتی روانیمی<sup>۶</sup> صندوق پستی ۱۶-۹۶۳۰۱-SF روانیمی فنلاند (دریافت شده در سی‌ام ماه می سال ۱۹۹۵، بخش آخر چهاردهم فوریه ۱۹۹۶)

## خلاصه:

انتشار دی اکسید گوگرد فراوان و فلزات سنگین از کارخانه‌های ذوب فلز نیکل و مس در شبه جزیره کولا، در روسیه، تخریب و انهدام شدید پوشش گیاهی را در نواحی اطراف در طی چند دهه گذشته باعث شده است. در اقدامی بمنظور نمایان ساختن تغییرات در وضعیت پوشش گیاهی در حصول و حوش کارخانه‌های ذوب فلز «منچوگورسک»<sup>۷</sup> تصاویر ماهواره لندست MSS در جهت ارائه تحلیلی تصویری از سالهای ۱۹۸۹، ۱۹۸۶، ۱۹۸۰، ۱۹۷۸ در چند مقطع تهیه شد. به موجب مقایسه و ارزیابی مقادیر از شاخص تفاوت پوشش گیاهی طبیعی شده NDVI در سالهای مختلف، به روشنی تخریب در بخش پوشش گیاهی سبز و تازه در طی دوره زمانی سنجش شده قابل تشخیص است. طبقه‌بندی نظارت شده در بررسی از تصاویر مؤید همین روند است که: پوشش گیاهی اطراف کارخانه‌های ذوب فلز به شدت سیر انهدام را متحمل شده است. ترکیبی بزرگ از تصاویر بهم پیوسته موزائیکی سنجنده TM از کانالهای ۳، ۴، ۶ و وسیله مدل توزیعی از دی اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>) پوشیده شده و به روشنی نشان داد که ناحیه با تراکم برابر با متوسط سالیانه ۶۰-۴۰ میکرومتر (M<sup>3</sup>) از دی اکسید گوگرد به شدت آسیب دیده است.

نگاره (۱): چشم انداز به شدت آلوده شده (طبقه طیفی ۱) نزدیک کارخانه ذوب مس و نیکل در منچوگورسک. فقط برخی درختان جوان غان و سالیکس نجسات یافته‌اند نشانه‌هایی از فرسایش بر روی دامنه تپه قابل مشاهده است.



نگاره (۲): آسیب شدید پوشش گیاهی (طبقه ۲ طیفی) ۸ کیلومتری جنوب کارخانه‌های ذوب فلز درختان اکثراً از بین رفته‌اند و فقط پوشش گیاهی باقیمانده را قطعاتی زمین پوشیده از درختان کوتاه تشکیل می‌دهد.



در پاسخ به این نیازها «طرح تخریب جنگل لاپلند»<sup>۱</sup> به صورت برنامه تحقیقی و انضباطی پنج ساله در سال ۱۹۸۹ تاسیس شد که این برنامه بر مطالعه و بررسی آلودگی حاصل تأکید داشت. هدف اولیه از طرح، تصفیه اثرات فاصله انتشار از کولا به جنگلهای لاپلند است و شانزده طرح زیربنایی بیانگر تمام زمینه‌های تحقیق محیطی، از طبقه‌بندی مطالعات هواشناسی تا شیعی حیاتی است. اهداف مربوط به زیر طرح ۵، یعنی سنجش از دور، شامل تعیین میزان تخریب و انهدام جنگل است که می‌تواند به کمک تصاویر ماهواره با توجه به تغییرات اخیر در

توپوگرافی و شرایط خاک وابسته است. اثرات آلودگی به روشنی می‌تواند (برای نمونه، فقدان گلستگ‌های انگلی، درختان باخزان) به فاصله تقریبی ۴۰ تا ۶۰ کیلومتر تشخیص داده شود (تیکانن و نایملا ۱۹۹۵). مشکلات اکولوژیکی زیادی در شبه جزیره کولا در قالب دانش عمومی در اواخر دهه ۱۹۸۰ قرار گرفت (کین نونن و وارمولا ۱۹۹۰). شرح گزارشهای اولیه در مورد بازتاب فاجعه روسی نگرانی جدی و نامحدودی را در عموم پدید آورد. در نتیجه فراخوانی برای یک کار تحقیقی دشوار در مورد اکوسیستمهای جنگل شمالی ایجاد شد (تیکانن و وارمولا ۱۹۹۱).





حرارتی منتشر شده (TM6) و تمرکز دی اکسید گوگرد پیش بینی شده نشان داده می‌شد.

## ۲- روش‌ها و مواد:

### ۲-۱- بررسی ناحیه

شبه جزیره کولای شمال در غربی‌ترین بخش از کشور روسیه است که در شمال دایره قطبی و شرق «Finnish Lapland» واقع شده است و به وسیله یک ناهمواری و برجستگی پیچیده - ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر ارتفاع سطح کاملاً هموار با بلندترین زمین بایر کوهستانی تا ارتفاع ۱۳۰۰ متر مشخص می‌شود (نگاره ۳). اساس زمین‌شناسی آنرا اغلب تخته سنگهای بلورین دوره پرکامبرین تشکیل می‌دهد.

آب و هوای آن به طور طبیعی سرد است: متوسط درجه حرارت در ژانویه ۸- درجه سانتیگراد در امتداد ساحل شمالی و ۱۲- تا ۱۵- درجه سانتیگراد در مرکز شبه جزیره است. تابستان عموماً سرد، بارانی و کوتاه با متوسط درجه حرارت ژوئن از ۸ تا ۱۴ درجه سانتیگراد است. تقریباً نیمی از سطح جزیره را جنگل می‌پوشاند که آن ترکیبی از درختان مخروطی<sup>۱۱</sup> چون کاج صنوبر<sup>۱۲</sup> و صنوبر نروژی<sup>۱۳</sup> و درختان خزان دار<sup>۱۴</sup> از قبیل غان (توس)<sup>۱۵</sup> و زبان گنجشک<sup>۱۶</sup> صنوبر لزان<sup>۱۷</sup> و توسکا<sup>۱۸</sup> است. پوشش گیاهی زمین جنگل را انبوه خزه و لایه‌ای از گل‌سنگ<sup>۱۹</sup> و بوته‌های کوتاه معتدل شامل می‌شود و گیاهان از تراکم کمتری برخوردارند. از دو کارخانه صنعتی که بدترین شکل آلودگی را داشته‌اند، نیکل در حاشیه شمالی، جنگل کوهستانی غان و بناحیه نمایان توندرا، و منچوگورسک، در ۲۰۰ کیلومتری جنوب، در ناحیه شمالی جنگل صنوبر واقع می‌شود.

### ۲-۲- مطالب دیجیتال

در نتیجه چهار تصویر از سنجنده MSS ماهواره لندست برای تحلیل سری‌های زمانی انتخاب گردید: ۲۸ ژوئن ۱۹۷۸ (۱۲- ۲۰۲)، ۲۴ جولای ۱۹۸۰ (۱۲- ۲۰۳)، ۲۶ ژوئن ۱۹۸۶ (۱۲- ۱۸۸) و ۵ آگوست ۱۹۸۹ (۱۲- ۱۸۸). ناحیه تحت پوشش توسط این تصاویر ۱۸۵×۱۸۵ کیلومتر از مرز فنلاند تا کنار کارخانه‌های منچوگورسک را شامل می‌شود. زمینه محدوده تحلیل شده ۳۰×۵۰ کیلومتر، حول وحوش شهر منچوگورسک را می‌پوشاند. تصاویر از سالهای ۱۹۷۸ و ۱۹۸۶ مقداری ابری هستند، اما ناحیه مورد نظر اطراف شهر منچوگورسک به قدر کافی برای استنتاج این قسمت از تصاویر استفاده شده، روشن بود. برای ادامه سنجش، نواحی ابری به همان روش برای تمام چهار تصویر خالی پوشانده شدند.

چهارعکس رنگی مرکب از تمام لاپلند شرقی و کولای شرقی از طریق استفاده از تصاویر لندست TM<sup>۵</sup> بود: ۹ جولای ۱۹۸۵ (۱۲- ۱۸۸)، ۲۰ جولای ۱۹۸۷ (۱۱- ۱۹۱)، ۳۱ آگوست ۱۹۹۰ (۱۳- ۱۸۹)، ۱۳ جولای ۱۹۹۳ (۱۲- ۱۹۰).

تخریب ناحیه جنگلی اطراف کارخانه‌های ذوب فلز «منچوگورسک» تشخیص داده شود.

روش نمونه‌گیری شیب که در طرح تخریب جنگل لاپلند بکار گرفته شده است (تیکانن و نیکولا ۱۹۹۱) نقطه شروع خوبی برای آگاهی و اهداف نمونه‌ای بود، اما کاربری روشهای سنجش از دور می‌تواند دید صحیح‌تری از پدیده‌ها را بدست دهد. تحلیل چند زمانه از تصویر گرفته شده و تغییر روشهای بازیابی قادر است تا برخی از اطلاعات تاریخی را در مورد کاهش مستمر پوشش جنگلی نشان دهد.

سنجش از دور به عنوان ابزاری برای بدست آوردن اطلاعات در باره کاهش جنگل و تغییرات اصلی در آن در بسیاری از جاها، از قبیل قطع و سوزاندن درخت، کاربرد دارد. نوعی روش برای تغییر و نحوه بازیابی که بر مقایسه تصاویر چند زمانه است وجود دارد - از طریق رویکردی نو به روشهایی که توسط (سینگ<sup>۹</sup> ۱۹۸۹) جمع آوری شده است. اساساً اکثر مطالعات اخیر و کاربرها به فهرست کردن و مدیریت جنگل مرتبط است (لی کی<sup>۱۰</sup> ۱۹۹۰). غالباً نمایش تغییرات ایجاد شده به وسیله آلودگی هوا امری دشوار است (وگل من<sup>۱۱</sup> ۱۹۹۰). یکی از پیشگامان (مورشا ۱۹۷۴، ۱۹۷۳) بود، که زیان گاز دی اکسید گوگرد مناطق «اوا» و «اوتشاریو» را با استفاده از تصاویر ماهواره تکنولوژی منابع طبیعی (ERTS<sup>۱۲</sup>) تعیین کرد. البته حالت قدیمی و کلاسیک آن مجموعه مراکز ذوب فلز<sup>۱۳</sup> «سادیبری» ناحیه بزرگ تخریب شده در اثر آلودگی اطراف آن بود (پیت بلادو، آمیرو<sup>۱۴</sup> ۱۹۸۲).

تحلیل تصویر چند زمانه ماهواره لندست MSS از همان ناحیه توسط (آلوم و در زینگر<sup>۱۵</sup> ۱۹۸۷) به وضوح تغییرات اخیر را در پوشش گیاهی نشان می‌دهد.

تومرویک<sup>۱۶</sup> و دیگران (۱۹۹۲) چگونگی انتشار از مجموعه مراکز ذوب نیکل در نزدیکی مرز نروژ را نشان داده‌اند بخصوص اینکه پوشش گیاهی گل‌سنگ روی زمین در خلال سالهای ۱۹۸۹ - ۱۹۷۳ در حال تخریب بود. همان ناحیه توسط «کاپوتز<sup>۱۷</sup>» و دیگران (۱۹۹۲) با استفاده از روش فهرست بندی مقطعی پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. آسیب بر جنگل اطراف «منچوگورسک» از طریق روشهای سنجش از دور در شکلی اجمالی مطالعه شد. تحلیل مقدماتی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست TM<sup>۱۸</sup> به وسیله «میکولا<sup>۱۹</sup>» و «ریناری<sup>۲۰</sup>» (۱۹۹۲) و میکولا (۱۹۹۵) انجام شد.

اهداف اولیه این بررسی در ابتدا نشان دادن وسعت و اندازه تخریب شدید مراکز ذوب مس و نیکل در نزدیکی منچوگورسک بود، و در مرحله بعد آشکار نمودن ناحیه آسیب دیده در گذشته نزدیک بود که توسط طبقه‌بندی نظارت نشده چند زمانه و تحلیل چند زمانه از شاخص تفاوت پوشش گیاهی طبیعی (NDVI) از برش عرضی بود. به علاوه وضعیت پوشش گیاهی سبز در کولای غربی لاپلند شرقی در مقیاس بزرگ توسط تفسیر بصری تصاویر چند زمانه TM که توسط مدل توزیمی دی اکسید گوگرد پوشش یافته بود، توصیف می‌شد. همچنین ارتباط بین انرژی



نگاره (۳): ناحیه مورد مطالعه: مستطیل حاصل از خطوط شکسته سیاه تغییر ناحیه مورد تحلیل را مشخص می‌کند و کادر سفید تحلیل برش عرضی NDVI ناحیه مورد نظر را نشان می‌دهد.

و مرتب شدند. (ثیت و اصلاح). اندازه هر عنصر تصویری (پیکسل<sup>۳</sup>) بوسیله نزدیکترین روش هشتاد متر در هشتاد متر (۸۰×۸۰ متر) دو باره نمونه‌گیری شد. محدودیت خطای RMS به اندازه نیمی از اندازه عنصر تصویری بود. اولین تغییر شکل مرحله برای رسیدن به این سطح از دقت در میان تصویر کافی بود.

از این گذشته، تنظیم طیفی عکسها با حذف اثرات جو، زاویه خورشید و خرابی احتمالی اسکنر ماهواره مورد نیاز قرار گرفت (نگاره ۴). و روش همبستگی مرکب بکار گرفته شد (اولسون<sup>۳۱</sup>، ۱۹۹۳). پوشش داخل چارچوب معرف تقریباً ۱/۰۰۰ هکتار جنگل، آب و زمین کوهستانی بایر برای رسیدن به اهداف معین و اصولی انتخاب شد. این ناحیه در حدود ۱۰۰ کیلومتری شمال غربی از منبع آلودگی، در منطقه‌ای بیابانی و بدون راه

باندهای ۶ و ۴ و ۱ به رنگهای قرمز، سبز و آبی نشان داده شد. نمودار خطوط اصلی و شبکه یک کیلومتر در یک کیلومتر (1km\* 1km) از مدل دی اکسید گوگرد، با استفاده از اطلاعات شبکه اصلی پنج کیلومتر در پنج کیلومتر از «توین» و دیگران (۱۹۹۳) ساخته شد. بنابراین مؤلفین، مدل توزیعی نسبتاً خوب سالیانه از تمرکز متوسط دی اکسید گوگرد، تا حدود فاصله چند کیلومتری از کارخانه‌های ذوب فلز رایش بین می‌کند.

### ۳-۲ - تحلیل تصویر

تمام مراحل تصحیح عکس با استفاده از برنامه‌های تدریجی و مداوم عکس ERDAS به انجام رسید. تغییر در پیش از عمل تحلیل و بازبایی اطلاعات در دو مرحله صورت گرفت. ابتدا تصاویر به طور هندسی ترکیب



واقع شده بود و تحلیل بصری از عکسها و تفاوتها هیچگونه تغییرات قابل ملاحظه‌ای را در طی دوره بررسی، از قبیل قطع یا سوزاندن جنگل نشان نداد.

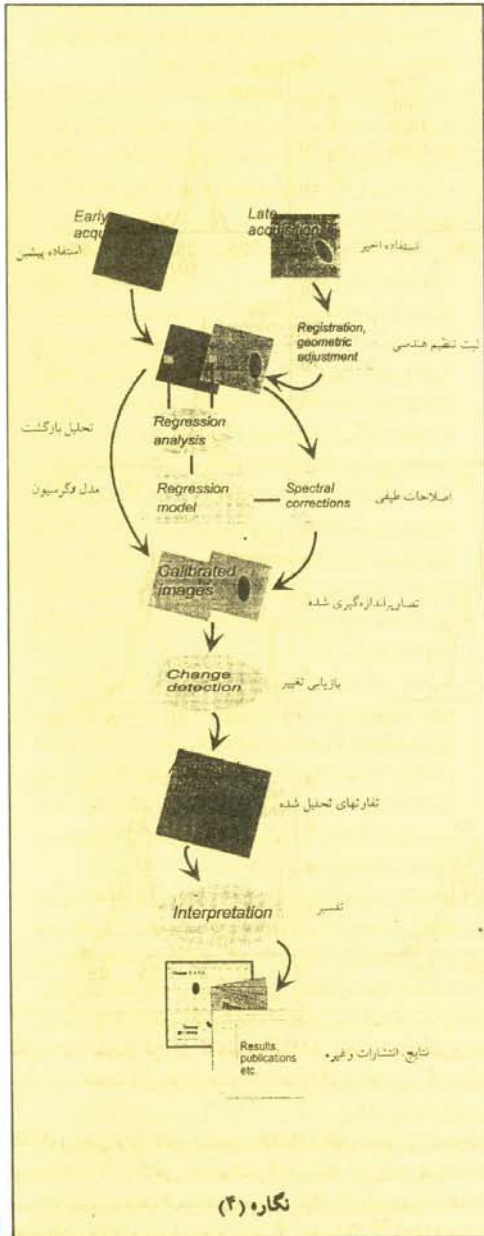
هر باند در استفاده بعدی همچون هدف و عملکرد تمام باندهای مورد استفاده قبلی پیش بینی شد. این عملکردهای خطی در اندازه‌گیری تمام سه عکس اولیه در همسان بودن تازه‌ترین واحد طیفی مورد استفاده قرار گرفت. نگاره (۵) توزیع فراوانی ارزش اطلاعات را در چارچوب زمینه قبل و بعد از اندازه‌گیری نشان می‌دهد.

چون دستیابی به اطلاعات واقعیت زمین امکان پذیر نبود، از یک طبقه بندی نظارت نشده استفاده گردید. تکنیک‌های بهبود و روشهای طبقه‌بندی در این دوره بررسی و مورد سنجش قرار گرفت. طبقه بندی از کاتالهای اصلی نتوانست طبقات قابل تفسیری را بوجود آورد. تغییر اجزاء ترکیب دهنده اصلی را از نظر اندازه و بعد از ۴ به ۲ کاهش داد. اجزاء ترکیب دهنده اصلی در استفاده آخرین تصویر محاسبه شد، و در ادامه مقایسه همان ضرایب در تغییر شکل تمام تصاویر بکار رفت. تنها دو جزء اول که ۹۵ درصد از انحراف معیار (واریانس) تصویر چند باند را تفسیر کرد، در محاسبات زیادی مورد استفاده قرار گرفت.

از روشهای خوشه بندی امتحان شده، ISODATA (تکنیکهای تحلیل اطلاعات خود سازمان یافته راهنمای زمینه ERDAS ۱۹۹۴) ترکیب شده با طبقه بندی حداقل فاصله بعدی بیشترین نتایج رضایت‌بخش را نشان داد. فایده و خوبی روش خوشه‌بندی توسط مقایسه و چگونگی روشن بودن روش تفکیک بین زمین بایر و برهنه کوهستان و ناحیه آسیب دیده و تخریب شده به شکل بصری تشخیص داده شد.

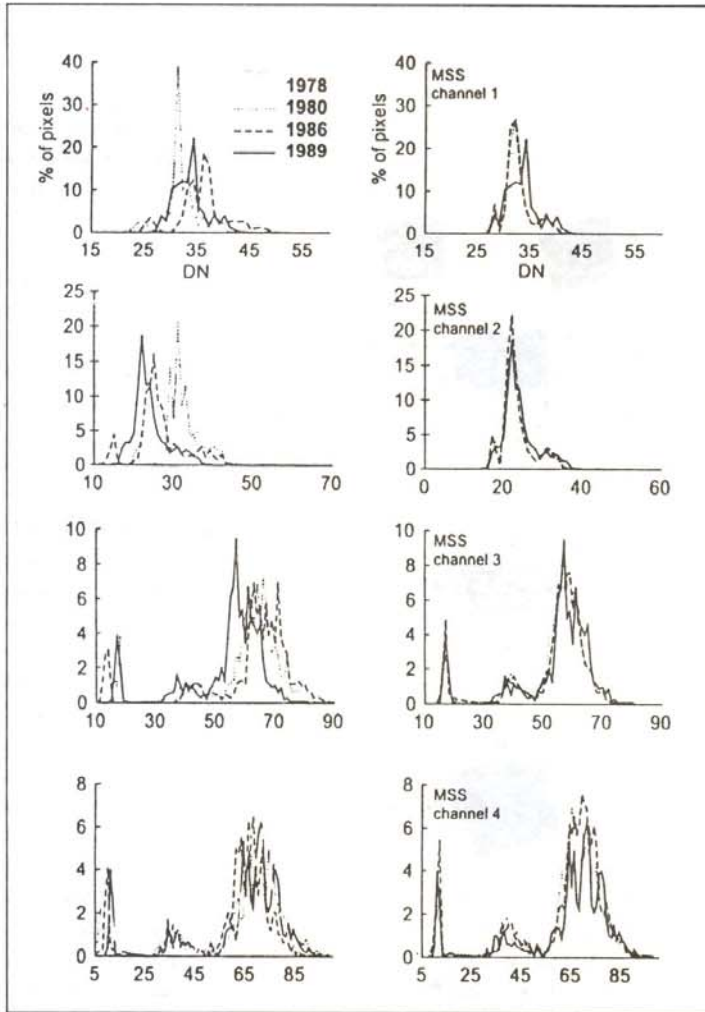
ISODATA یک الگوریتم تکراری است که مبتنی بر فواصل طیفی حداقل در تعیین پیکسل‌های گروهها کاربرد دارد. روند با عددی مشخص شده از میانگین‌های خوشه اختیاری آغاز می‌شود. در طی یک مرحله و روند تکراری این میانگین‌ها، میانگین‌های طبقات را در اطلاعات تغییر می‌دهد، عدد نخستین از خوشه‌ها در محدوده‌ای قرار داده شده که میدان الگوریتم طبقه‌بندی در تفکیک نواحی کوهستانی بایر و بدون درخت در اطراف کارخانه‌های نتیجه‌ای در بر نداشت. عدد حداقل از طبقات در موردی این جدایی حاصله ۶ بود. بطوری که این عدد مبنایی برای طبقه‌بندی طیفی انتخاب شد. طبقات تنظیم شده توسط تعریف و تصریح خوشه‌ها در فضای ترکیب نوری قرار داشتند و نقطه مقابل آنها بر حسب وضعیت پوشش گیاهی خود به خود تشخیص داده شده بود. این امر توسط مقایسه موقعیت مناطق طبقه بندی شده با تمام سوابق و عکسهای جمع آوری شده در طی چندین عملیات میدانی به انجام رسید (به نگاره‌های (۱) و (۲) نگاه کنید). در تعیین کمیت و مقدار ارتباط فضایی در طبقات طیفی و منبع آلودگی، فاصله متوسط بین پیکسل‌ها در دسته‌های مختلف و منبع آلودگی محاسبه گردید (ناحیه کارخانه ذوب منچوگورسک).

NDVI (شاخص تفاوت پوشش گیاهی طبیعی شده نگاه کنید و گل من ۳۲) نسبت طبیعی و نرمال شده بین اشعه مادون قرمز (باند ۴ سنجنده



NDVI برای سالهای مختلف در امتداد ۲×۴ کیلومتر با حرکت در جهت برش عرضی شمال و جنوب منچوگورسک محاسبه شد (نگاره (۳)). مقادیر پیکسل کاربری روش حرکت میانگین را آسان کرد. در نتیجه مقادیر میانگین آسان شده و تفاوت آنها یک نمودار خطی از موجودات زنده را ترسیم نمود که مسیر تغییر موجودات زنده لایه سبز را در سالهای گذشته نشان می‌داد (کارپوتز<sup>۳۴</sup> و دیگران ۱۹۹۲).

تعیین رابطه کمی بین انتشار حرارتی (سنجیده ۶TM) و اثرات آلودگی زیر صحنه به اندازه ۵۰ کیلومتر از ناحیه کارخانه ذوب نیکل تحلیل و بررسی شد. از هر دو مورد یعنی شبکه دی اکسید گوگرد و باند ۶TM نمونه‌گیری مجدد شد و در تحلیلی به وسعت یک کیلومتر در یک کیلومتر، کاربری آسان ۵ کیلومتر در ۵ کیلومتر فیلتز میانی، و نموداری روشن از وابستگی به یکدیگر طرح ریزی شد.



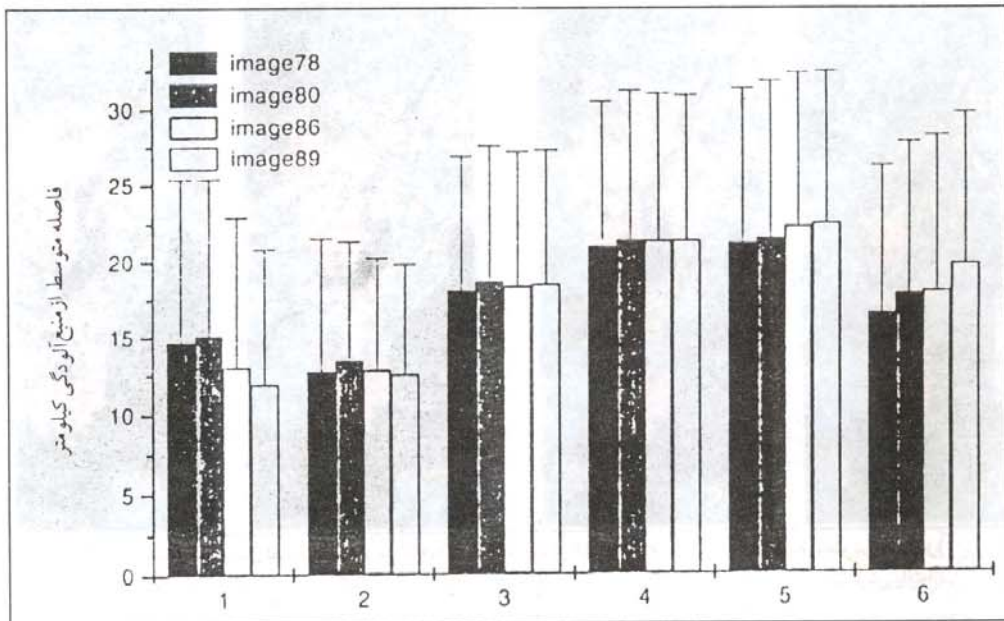
نگاره (۵): نمودار فراوانی کانالهای MSS از پنجره اندازه‌گیری در سالهای مختلف قبل (a) و بعد (b) از اندازه‌گیری چندین رگرسیون

**۳- نتایج**  
بنابر نتایج طبقه‌بندی از تصاویر چند زمانه (نگاره (۷)) آسیب در ناحیه جنگلی در امتداد شمال - جنوب قرار می‌گیرد و تقریباً اندازه آن ۴۰/۰۰۰ هکتار برآورد می‌شود. ناحیه تخریب شده در امتدادی دور از شمال تا جنوب است و فاصله‌های متوسط پیکسل (نگاره (۶)) و آزمایش بصری از شش طبقه طیفی نشان داد که طبقات ۱ و ۲ در اطراف ناحیه کارخانه هستند.

طبقه ۳ ارتباط کمتری را نشان می‌دهد و طبقات ۴ و ۵ پیوستگی فضایی مستقیم با منبع آلودگی ندارد. تفسیری همچون درجه

تخریب در طبقه ۱ منطقه‌ای را مجسم می‌کند که تنزل رتبه پوشش گیاهی در آن تقریباً کلی است و خاک برهنه و عریان تا حد زیادی در معرض دید قرار دارد (نگاره (۱)). در حالی که طبقه ۲ منطقه‌ای را با اندکی لایه میدانی سرزنده و روشن به استثنای یک لایه از درختان پژمرده را نشان می‌دهد (نگاره (۲)). طبقات ۳ و ۴ لایه‌ای از درختان و کاج جنگلی مخلوط را با تخریب کمتر نشان می‌دهد، و طبقه ۶ اغلب از درختان جوان جنگلی تومس<sup>۳۵</sup> (غان) ترکیب یافته است.

MSS) و بخش قرمز (کانال ۲ سنجیده MSS) از طیف انعکاسی است. این فهرست معمولاً در آگاهی دادن پوشش گیاهی بکار می‌رود و نشان داده است که نسبت نزدیک اشعه مادون قرمز به شکل قابل توجهی با مقدار موجودات زنده لایه سبز ارتباط و همبستگی دارد (تاگر<sup>۳۳</sup> ۱۹۷۹). مقادیر

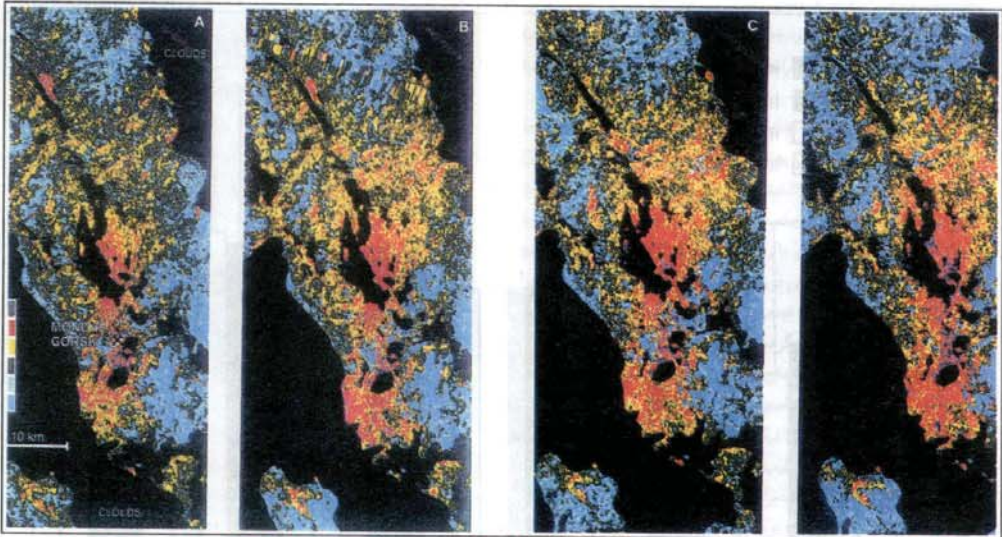


نگاره (۶): فواصل متوسط پیکسل طبقه طیفی از منبع آلودگی و انحراف معیارها - طبقات ۱ و ۲ در پیرامون ناحیه کارخانه و همچنین توصیف آسیب شدید.

		درصد چشم انداز فرعی ناحیه طبقه بندی شده				تفسیر
طبقه کیفی		۱۹۷۸	۱۹۸۰	۱۹۸۶	۱۹۸۹	
۱	درصد	۲/۵	۲/۳	۲/۶	۴/۲	آسیب کلی، تقریباً تمام پوشش گیاهی آسیب دیده
	کیلومتر مربع	۲۵/۷	۲۳/۴	۲۶/۴	۲۳/۸	
۲	درصد	۷/۸	۱۲/۶	۱۳/۱	۱۴	تخریب شدید، لایه درخت آسیب دیده، لایه میدان فرسایش یافته
	کیلومتر مربع	۸۱/۱	۱۳۰/۱	۱۳/۵۶	۱۴۵/۴	
۳-۴-۵	درصد	۸۰	۴۷	۷۲/۵	۶۶/۲	جنگل درختان مخروطیان، درجه تخریب که قابل اعتماد باشد تشخیص داده نشده
	کیلومتر مربع	۸۲۹/۵	۷۶۸/۸	۷۵۲/۱	۶۸۵/۸	
۶	درصد	۹/۷	۱۱/۱	۱۱/۸	۱۵/۶	جنگل درختان غالب توس (غان)
	کیلومتر مربع	۱۰۰/۴	۱۱۴/۴	۱۲۲/۶	۱۶۱/۷	
جمع		۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	
		کیلومتر مربع	۱۰۳۶/۷	۱۰۳۶/۷	۱۰۳۶/۷	۱۰۳۶/۷

جدول (۱): نتایج طبقه بندی نظارت نشده از طبقات طیفی در طی سالهای ۱۹۷۸ - ۱۹۸۹ و تفسیر آنها از قبیل درجه تخریب





نگاره (۷): نتایج طبقه‌بندی نظارت شده از سالهای (a) ۱۹۷۸، (b) ۱۹۸۰، (c) ۱۹۸۶، (d) ۱۹۸۹، طبقات در جدول (۱) توصیف شده‌اند نواحی بدون پوشش گیاهی، فرسایش یافته و طبقات طیفی ۱ و ۲ در طول دوره تحلیلی گسترش یافته‌اند. نواحی تاریک و ابرها .... دریاچه‌ها و زمینهای کوهستانی در مقایسه بین دو تصویر پنهان مانده‌اند.

کولا را آشکار می‌کند. اطراف شهرکهای معدن نیکل و منچوگورسک می‌تواند به صورت یک تکه یا لکه قرمز روشن قابل نمایش باشد. این نشان می‌دهد که چگونه نواحی بدون پوشش گیاهی بصورت مؤثر طول موج حرارتی را انتشار می‌دهد. مدل تمرکز دی اکسید گوگرد ارتباط روشنی با نواحی بدون پوشش گیاهی و قرمز دارد. به نظر می‌رسد ارتباط تقریبی (۴۰-۶۰) میکرومتر دی اکسید گوگرد موجب ارتباط این چند تخریب شده باشد. بیشتر معرفی‌های مختصر و مفید از وابستگی به یکدیگر در مدل سولفور انتشار حرارتی در نگاره (۱۰) نشان داده شده است. همچنین ناحیه نزدیک و مجاور کارخانه‌های ذوب نیکل و (زاپولی آراینج<sup>۳۶</sup>) محلی که ارتباط دی اکسید گوگرد خیلی بالاست، انتشار زیاد انرژی حرارتی را نشان می‌دهد. اندازه ناحیه تخریب شده در اطراف مجموعه استخراج نیکل از آن کارخانه اطراف منچوگورسک کمتر و کوچکتر ظاهر می‌شود.

#### ۴- بحث و تبادل نظر

روشهای سنتز اذور قادر است که نتایج قابل دسترس و درستی را در تحلیل چشم انداز و در مقیاس بزرگ بدست دهد در صورتی که بکارگیری مواد لازم و اصولی واقعیت زمین مرتبط با طبقه‌بندی نظارت شده امکان پذیر باشد (کامپ بل<sup>۳۷</sup> ۱۹۸۷) در مورد مرز روسیه، جمع آوری اطلاعات درست در مورد مکان و شرایط موقعیت امکان کمی وجود داشت. نقشه‌ای محلی و قابل دسترس دارای مقیاس کوچکی بودند، و بنابراین ثبت

فرسایش شدید خاک و فقدان پوشش گیاهی بر روی سطح زمین در چندین ناحیه تخریب شده ویژگیهای اختصاصی طبیعی در این منطقه را بوجود می‌آورد - مخصوصاً بازتاب تشعشع نزدیک مادون قرمز کاهش یافته است. گسترش منطقه شدیداً تخریب شده در جدول (۱) خلاصه گردیده است. ناحیه طبقات طیفی ۱ و ۲ که بعنوان بدترین مناطق تخریب شده مورد تفسیر قرار گرفتند، بیش از ۸۰ کیلومترمربع در طی دوره مطالعه و تحلیل یعنی ۱۹۸۹ - ۱۹۷۸ رشد داشته‌اند. تصاویر طبقه بندی شده مربوطه در نگاره (۷) نشان داده شده است. مخصوصاً به نظر می‌رسد که مجاورت بدون واسطه از کارخانه‌های ذوب فلز انحطاط بیشتر و سنگین تری به همراه داشته‌اند.

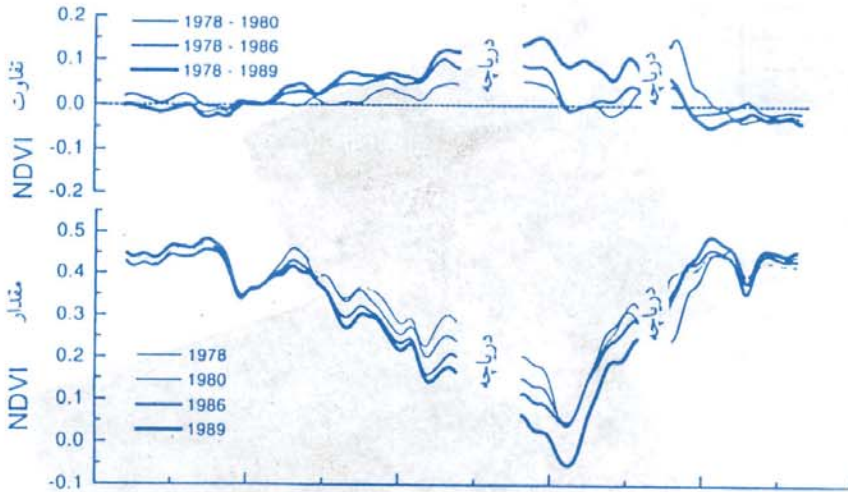
همچنین ارزیابی‌های NDVI از برسر عرضی شمال و جنوب کارخانه‌های ذوب به روشنی تخریب پوشش گیاهی سبز و زنده را از ۱۵ به ۲۰ کیلومتر نشان می‌دهد (نگاره (۸)). در فاصله ۰ تا ۱۰ کیلومتری شمال و جنوب منبع انتشار، دارای افت متوسطی به میزان ۰/۱ واحد در ارزیابی‌های NDVI در طی دوره ۱۹۸۹ - ۱۹۷۸ بود. لیکن برآورد هیچگونه افزایشی در اندازه میزان تخریب توسط این تکنیک میسر نیست - و تفاوت روشنی بین سالها در آن سوی فاصله ۲۰ کیلومتری شمال و ۱۵ کیلومتری جنوب منبع آلودگی وجود ندارد. تصویر ترکیبی رنگ (نگاره (۶)) از کانالهای ۶ (قرمز)، ۴ (سبز)، ۱ (آبی) در سنجنده TM برخی واقعیتهای جالب از وضعیت محیطی در غرب



K. Mikkola

نگاره (۸):

ارزیابی NDVI و  
تفاوت‌های بین  
سالهای ۱۹۸۹ -  
۱۹۸۷ در امتداد  
برش عرض‌کاهش  
سیستماتیک را  
می‌توان در طی  
دوره بررسی  
نمایان ساخت.



۲۴/۰۰۰ هکتار است. و تراکم متوسط سالیانه دی‌اکسید گوگرد از ۸۰ تا ۲۰۰ میکرومتر تغییر می‌کند. مقایسه این برآوردها با آنها در این مطالعه امری دشوار است، زیرا تعریف از اکوسیستم تخریب شده تا اندازه‌ای نامفهوم است. در جنگلهای مخروطیان شمالی، درخت تنها بخش کوچک از انعکاس کلی محل را تشکیل می‌دهد. و روشن است که علامت طیفی لازم در تغییر دادن و ناپیدایی پوشش گیاهی در روی زمین اصولاً مربوط به نتیجه طبقه‌بندی است، و طبقات طیفی بوجود آمده دقیقاً حالت سایه بان را نشان نمی‌دهد. منطقه تحول از حالت تخریب به اکوسیستم‌های سالم به شرایط خاک در مقیاس متوسط و جا در مقیاس کوچک و تراکم‌های آلوده‌کننده در دراز مدت و به طور مستمر ارتباط پیدا می‌کند. در نیل به تفکیک بهتر و دقیق‌تر و تفسیری معتدلانه از مناطقی که تحت تأثیر کمتری واقع شده‌اند، روش ترکیبی طبقه‌بندی نظارت شده می‌بایست همراه با قدرت تفکیک تصویری بالایی بکار می‌رود.

افزایش تشعشع حرارتی از ناحیه تخریب شده ناشی از فقدان و آسیب پوشش گیاهی است. بنابراین گفته گاتس<sup>۲۵</sup> و دیگران (۱۹۶۵) گیاهان در طول موجهای بلندتر از ۲/۵ میکرومتر جذب می‌شوند و همچنین انرژی حرارتی را به طور مؤثری منعکس می‌سازند. لیکن، تصاویر تحلیل شده قبل از ظهر بدست آمده بودند، و این زمانی است که تبخیر ششیم به شکلی مؤثر سطح پوشش گیاهی را خنک می‌سازد، در حالی که تخته سنگها و شن‌های ناحیه تخریب شده به سرعت گرم می‌شوند و حرارت دریاقتی را منتشر می‌کنند. به نظر می‌رسد بازتاب و تشعشع حرارتی بالا در طرف فنلاند ناشی از اثرات چرای گوزن شمالی باشد (وارو<sup>۲۶</sup> و دیگران ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶). لایه ضخیم گلستگ در طرف مرز روسیه از خنکی و سردی خاک

نمونه‌های از واقعیت زمین عملی نبود. لیکن، در طی چندین مراجعه میدانی اطلاعات سودمندی در مورد نسبت تخریب ثبت شد و عکسهای برداشته شد (به نگاه‌های (۱) و (۲) نگاه کنید). و نقشه تقریبی از تغییر منطقه تخریب ترسیم گردید. این اطلاعات در جریان تفسیر نتایج طبقه‌بندی نظارت نشده<sup>۲۸</sup> بسیار سخت بود.

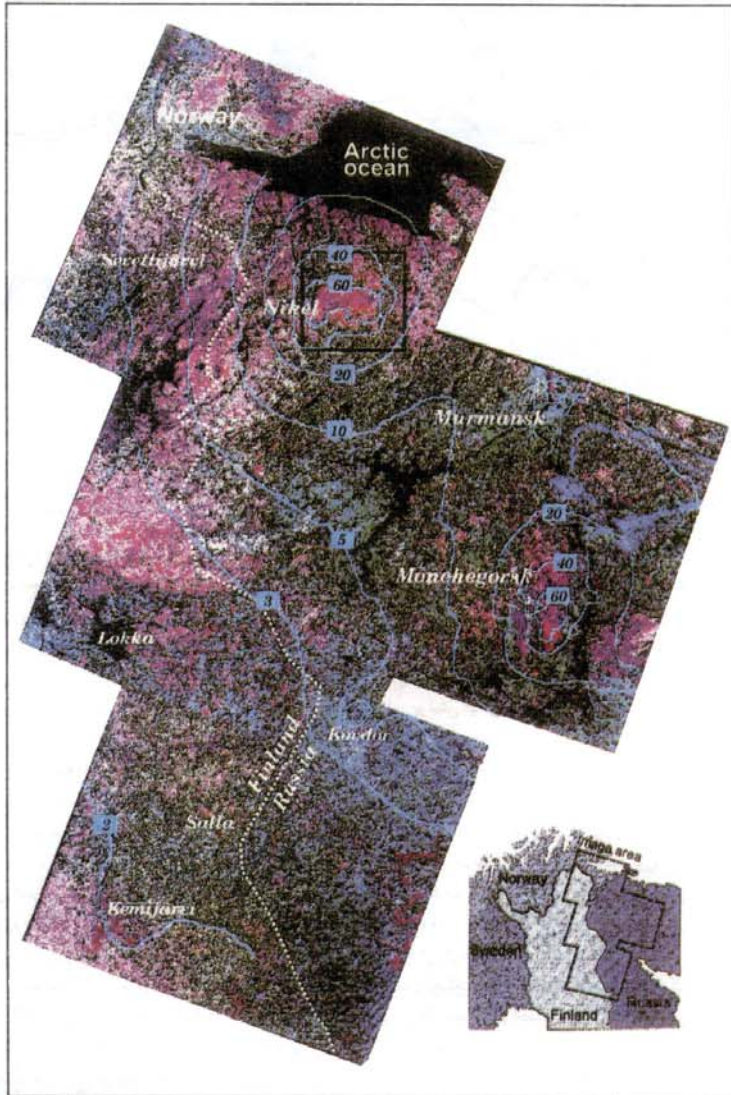
شکل کشیده شمالی - جنوبی از ناحیه تخریب در مورد توپوگرافی محلی باد امری لازم است، و در مقایسه ناحیه شمال منچوگورسک کاملاً هم سطح با جنوب زمین مرتفع کوهستانی کارخانه‌های ذوب فلز است. جهت باد غالب در ناحیه از جنوب غربی است (جویت جوگینا<sup>۳۹</sup> ۱۹۹۱). بهره‌مندی از سنگ معدن غنی سولفور (۲۸ درصد) که از (نوریلسک)<sup>۴۰</sup>، سبیری حمل در منطقه «کولوا» از ۱۹۶۴ آغاز گردید (لوزین<sup>۴۱</sup> و دیگران ۱۹۹۳) و احتمالاً این امر روند تخریب را سرعت بخشیده است. بر طبق طبقه‌بندی‌های چند زمانه و مشاهدات NDVI ناحیه بشدت آسیب یافته در نزدیک منبع آلودگی به طور قابل ملاحظه‌ای توسعه داده شده است. حتی به دو برابر که این به ذخیره و تراکم ذرات فلزی سنگین اشاره دارد، که خیلی دور رانده و پراکنده نمی‌شود، و نقش خیلی مهم را به همراه ذخیره خشک گوگرد در نزدیک‌ترین نواحی در چند سال گذشته بازی می‌کند. «نوجد<sup>۴۲</sup> و دیگران (۱۹۹۶)» و نوجدوکالوپس<sup>۴۳</sup> ۱۹۹۵ از تحلیل میدان درختان استفاده کردند تا چگونگی شدت تخریب را که از اوائل دهه ۱۹۵۰ شروع شده است، نشان دهند که هنوز در حال حاضر با سرعت تقریبی ۰/۵ کیلومتر در سال در حال پیشروی است.

بر اساس نتایج یک بررسی توسط روسها<sup>۴۴</sup> (کورویوچکو ۱۹۹۳، ۱۹۹۰)، اندازه شدت آسیب باکوسیستم در اطراف منچوگورسک تقریباً

سطح زمین محافظت می‌کند. پوشش گل‌سنگ و خاک پرهنه که غالباً از گل‌سنگهای گوزن شمالی قدیمی‌تر است، پس از آتش زدن یا چرای مفرط امکان افزایش گرما از ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد است، در حالی که دمای روزانه به ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد.

باند حرارتی TM همیشه مانع از تحلیل‌های پوشش گیاهی می‌شود و دلیل این امر ممکن است محدودیت مقدار اطلاعات از پوشش گیاهی سالم و پیچیدگی تفسیر باشد: تابش منتشر شده ناشی از درجه حرارت زمین است، که نتایج حاصله از تعادل در میان شماره‌های از شدت جزئیات انرژی است (پرایس ۲۷، ۱۹۸۱). همچنین غالباً اندازه ۱۲۰ متری پیکسل برای استفاده در امر تهیه نقشه‌ای سودمند، کافی بنظر نمی‌رسد. بر طبق این بررسی استفاده از اطلاعات بازتاب حرارتی، نتایج سودمندی ارائه و نمایان می‌سازد، در صورتی که ترسیم نقشه‌های تجربی در مورد کاهش شدید پوشش گیاهی و فرسایش آبی میسر باشد. البته نواحی تخریب شده می‌تواند با استفاده دقیق‌تر دیگر نسبت‌ها و موضوعات کانال TM یا MSS آشکار شود، اما اطلاعات تصویر کانال حرارتی در نواحی پشدت تخریب شده می‌تواند به آسانی و سهولت مورد استفاده قرار گیرد.

تغییر و انحراف طیفی بین تصاویر در کاربریهای مختلف به فاکتورهای زیادی بستگی دارد. حالت جو هرگز ثابت نیست، و آزیوموت خورشید نسبت به روز و فصل تغییر می‌کند. همچنین ظرفیت رطوبت خاک و پوشش گیاهی در روزهای مختلف به طور محسوس تفاوت دارد، بنابراین تغییرات دوره‌ای در بازتاب طیفی انجام می‌شود (هام ۴۸، ۱۹۹۱) تغییرات واقعی در تحلیل تصویر چند زمانه چشم انداز مثل قطع درختان،



نگاره (۹): ترکیب مصنوعی و رنگی لندست TM از شرق لاپلند فنلاند و کولای غربی TM6 (وارد شده حرارتی) قرمز چاپ شده TM4 (نزدیک وارد شده) سبز و TM1 (سرخابی) آبی شماره خطوط هم پوشش تراکم متوسط سالیانه So2 را در مقیاس میکرومتر نشان می‌دهد. اطراف مستطیل نیکل ناحیه آلوده شده و ارزیابی آن را در نگاره (۱۰) نشان می‌دهد.



ناحیه آسیب دیده معرفی شده در این مطالعه می‌تواند تشخیص داده شود و نسبتاً قابل دسترس باشد.

#### ۵ - نتایج

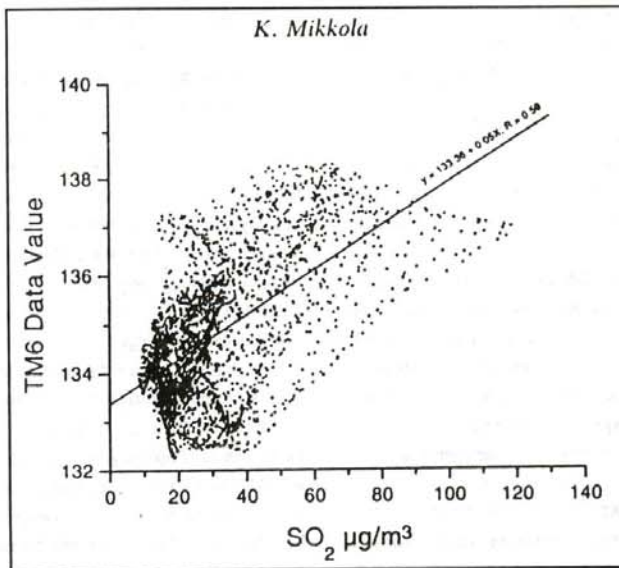
بر اساس نتایج طبقه‌بندی نظارت نشده، تخریب پوشش گیاهی در ناحیه اطراف منچوگورسک تقریباً به اندازه ۴۰/۱۰۰۰ هکتار برآورد می‌شود. ناحیه‌ای که میدان و لایه درخت در اثر گوگرد و آلوده کننده‌های فلزی سنگین کم و بیش از بین رفته است و تقریباً در طی دوره ۱۹۸۹ - ۱۹۷۸ دو برابر شده است. بنابر مشاهدات عینی، منطقه کم و تخریب پوشش گیاهی کند و آرام دهها کیلومتر از کارخانه ذوب فلز در حال گسترش است، اما در اثر فقدان اطلاعات فضایی قابل دسترس در مورد واقعیت زمین قابل تأیید نیست.

آسیب محیطی مورد آزمایش بر حسب گسترش و دقت در قسمت شمال ناحیه جنگلی بی‌نظیر است. اگر به انتشار آلودگیها در مقیاس فعلی اجازه داده شود، نابودی جنگلها در شبه جزیره کولای مرکزی ادامه خواهد یافت. □

آتش سوزیها در جنگل، مخصوصاً تغییرات فراهم شده بوسیله آلوده کننده‌های هوا، اهداف اصلی کاربری هستند و بنابراین از تغییر همه جانبه می‌باید استخراج شود.

میزان تخریب پوشش گیاهی در اطراف یک منبع انتشار به تدریج به طرف خارج آن تغییر می‌کند. طبقه‌بندی این استمرار امری اختیاری است، و نتایج طبقه‌بندی همواره به شدت به روشها و پارامترهای بکار رفته، بستگی دارد. لیکن استفاده از تصاویر اندازه گرفته شده چند زمانه نتایج قابل مقایسه در بین سال را بدست می‌دهد و میزان تغییر و مسیر را کاملاً خوب آشکار می‌سازد.

روش طبقه‌بندی نظارت شده در این بررسی توسط میانگین، بهترین دسترسی ممکن به دلایل زیادی نیست، اما بر طبق موضوع آن در ارائه پاسخهای رضایت‌بخش به مهمترین سئوالات در ارتباط با شکل، اندازه و توسعه اخیر ناحیه تخریب شده قابل تجربه است. در اثر روش بکار رفته، سطح دقیقی از نتایج، مبهم باقی می‌ماند. زیرا روشهای مختلف (طبقه‌بندی نظارت نشده، NDVI تحلیل برش عرضی و مشاهده تصویر حرارتی) منظره فضایی یکنواخت و روشنی را ارائه داده و ارزیابی از اندازه و شکل



نگاره (۱۰): روابط بین TM6 (بازتاب حرارتی) و تراکم SO2 بصورت مدل در ناحیه اطراف شهرکهای صنعتی نیکل و «زایونی ارنیچ» در ابعاد ۵۰×۵۰ کیلومتر.





- KRYUCHKOV, V.V., 1993, Extreme anthropogenic loads and the northern ecosystem condition *Ecological Applications*, 3, 622-630.
- LECKIE, D.G., 1990, Advance in remote sensing technologies for forest surveys and management, *Canadian Journal of Forest Research*, 20,464-483.
- LUZIN, G.P., PRETES, M., and VASILIEV, V.V., 1994, The Kola Peninsula: Geography, History and Resources *Arctic*, 47,1-15.
- MIKKOLAK, 1995 satellite imagery and the scope of Forest damage. In Kola peninsula pollutants and forest ecosystems in Lapland edited by E.Tikkanen, and I. Niemela (Jyväskylä Gummerus Kirjapaino OY). PP. 65-69.
- MIKKOLA, K., and RITARI, A., 1992, Satellite survey of forest damages, In Kola Peninsula pollutants and forest ecosystems in Lapland, edited by E. Tikkanen, and I. Niemela (Jyväskylä: Gummerus kirjapaino OY), pp. 65-69.
- MIKKOLA, K., and RITARI, A., 1992, Satellite survey of forest damage in the Monchegorsk area, Kola Peninsula. In Symposium on the State of the Environment and Environmental Monitoring in Northern Fennoscandia and the Kola Peninsula, edited by E. Tikkanen, M.Varmola, and T. Katermaa (Rovaniemi: Arctic Centre Publications). PP. 310-313.
- MURIHA, P.A., 1973, ERTS records SO<sub>2</sub> fume damage to forests, Wawa, Ontario, *Forestry Chronicle*, 49, 253-256.
- MURIHA, P.A., 1974, Detection of SO<sub>2</sub> fume damage to forest on ERTS-1 Imagery, *The Canadian Surveyor*, 28, 167-170.
- NÖJD, P., and KAUPPI, P., 1995, GROWTH of Scots pine in a changing environment, In Kola peninsula Pollutants and Forest Ecosystems in Lapland, edited by E. Tikkanen, and I. Niemela. (Jyväskylä: Gummerus kirjapaino OY), pp. 60-64.
- NÖJD, P.E. MIKKOLA, K., and SARANPÄÄ, P., 1996, History of forest damage in Monchegorsk, Kola: a retrospective analysis based on tree-rings, *Canadian Journal of Forest Research*. in press.
- PITBLADO, J.R., and AMIRO, B.O.M 1982, Landsat mapping of the industrialized vegetation communities of Sudbury, Canada, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 8, 17-28.
- PRICE, J.C., 1981, The contribution of thermal data in Landsat multispectral classification, *Photogrammetric Engineering*
- ALLUM, J.A.E., and DREISINGER, B. R., 1987, Remote sensing of vegetation change near Inco's Sudbury mining complexes. *International Journal of Remote Sensing*, 8, 399-416.
- CAMPBELL, J., B., 1987, Introduction to Remote Sensing, 1st edn (New York: Guilford Press).
- DOIBAN, V., PRETES, M., and SEKAREV, A., 1992, Economic development in the Kola Region, USSR: an overview, *polar Record*, 28, 7-16.
- ERDAS Field Guide 3rd edn. 1994 (Atlanta: Erdas Inc)
- GATES, D.M., KEEGAN, H.J., SCHLETER, J.C., and WEIDNER, V.R., 1965, Spectral properties of plants, *Applied Optics*, 4, 11-20.
- HÄME, T., 1991, Spectral interpretation of changes in forest using satellite scanner images. *Acta Forestalia Fennica*, 222,1-111.
- JEVTJUGINA, Z., 1991, The atmospheric pollution load on forest ecosystems in the central part of the Kola Peninsula. In Research into Forest Damage connected with Air Pollution on into Finnish Lapland and the Kola peninsula. In Research into Forest Damage connected with Air pollution in Finnish Lapland the Kola peninsula of the USSR, edited by E. Tikkanen, and M. Varmola, (Rovaniemi: Finnish Forest Research Institute), *Research Bulletin* 373, 132-141.
- KARPUTS, M.R., MORELEV, V.M., NILSON, L.P., and ROBERTS, D., 1992, Use of multiband space images to study geology and the environment based on the example of the western part of the Kol'skii Peninsula. *Soviet Journal of Remote Sensing*, 9, 864 - 873.
- KERSHAW, K.E., 1985, *Physiological Ecology of Lichens* (Cambridge: Cambridge University Press).
- KINNUNEN, K., and VARMOLA, M., 1990, Effects of Air Pollution and Acidification in Combination with Climatic Factors on Forests. soils and Waters in Northern Fennoscandia (Copenhagen: Nordic Council of Ministers).
- KRYUCHKOV, V.V., 1990, Extreme anthropogenic load and the state of the North Taiga ecosystem, In Air Pollutant and Acidification in Combination with Climatic Factors on Forests, Soils and Water in Northern Fennoscandia, edited by K.Kinnunen, and M. Varmola (Copenhagen: Nordic Council of Ministers), pp. 197-205.
- Vegetation damage around metal smelters.



## یادآوری:

- 1) Kola peninsula
- 2) Rovaniemi
- 3) Monchegorsk
- 4) Luzin
- 5) Doiban
- 6) Severonikel
- 7) Kryuchkov
- 8) Lapland
- 9) Singh
- 10) Leckie
- 11) Vogelmann
- 12) Earth Resources Technology Satellite
- 13) Sud bury
- 14) Pitblado and Amiro
- 15) AllumAnd Dreisinger
- 16) Tommervik
- 17) Mikkola

۱۸) سنجنده TM از سنجندهایی است که نسبت به سنجنده MSS از قدرت تفکیکی بالاتری برخوردار است (Thematic Mapper) و در سنجنش از دور به وسیله ماهواره لندست برخی از پاندهای سنجندها (امواج سوم و چهارم سنجنده MSS و چهارم تا هشتم سنجنده TM در طول موجهای).

- 19) Mikola
- 20) Ritari
- 21) Coniferous
- 22) Pine
- 23) Norway spruce
- 24) deciduoustrees
- 25) birch
- 26) ash
- 27) aspen
- 28) alder
- 29) Lichen
- 30) pixel
- 31) olsson
- 32) vogelmann
- 33) Tucker
- 34) Karputsetal
- 35) birch
- 36) Zapolyarnyj
- 37) Campbell
- 38) unsupervised classification
- 39) jevlugina
- 40) norilsk
- 41) luzin
- 42) nojd
- 43) kauppi
- 44) Kryuchkov
- 45) gates
- 46) vare
- 47) price
- 48) Ham

and Remot Sensing,, 47,229-236.

SINGH, A., 1989, Digital change detection technique using remotely - sensed data. *International Journal of Remote Sensing* , 10, 989-1003.

OLSSON, H., 1993, Regression functions for multitemporal relative calibration of thematic mapper data over boreal forest, *Remote Sensing of the Environment* , 46,89-102.

TIKKANEN, E., and MIKKOLA, K., 1991, The Lapland Forest Damage Project multidisiplinary cooperation in environmental sciences. In *Research into Forest Damage Connected with Air Pollution in Finnish Lapland and the Kola Peninsula of the USSR*. Edited by E. Tikkanen, and M. Varmola (Rovaniemi: Finnish Forest Research Institute), *Research Bulletin*, 373, 20-29

TIKKANEN, E., and NIEMELÄ, I., 1995, kola Peninsula Polutants and Forest Ecosystem in Lapland (JYVÄskylä: Gummerus kirjapaino OY).

TUCKER, C.J., 1979, Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation, *Remote Sensing of the Environment*, 8, 127-150.

TUOVINEN, J.P., LAURILA, T., LÄTTILA, H., RYABOSHABKO, A., BRUKIANOV, P., and KOROLEV, S., 1993, Impact of sulphur dioxide sources in Kola Peninsula on air quality in northermost Europe. *Atmospheric Environment*, 27A, 1379-1395.

TOMMERVIK, H., JOHANSES, B.E., and PEDERSEN, J.P., 1992, Use of multitemporal Landsat image data for mapping the effects from air pollution in the Kirkenes - Pechenga area in he Period 1973-1988 . *NORUT Report* , Tromso, Norway.

USSR STATE COMMITTEE FOR THE PROTECTION OF NATURE, 1989, Report on the State of the Environment in the USSR 1988 (Moscow: SCPN).

VOGELMANN, J.E., 1990, Comparison between two vegetation indices for measuring different types of Forest damage in the northeastern United States. *International Journal of Remote Sensing*. 11, 2281-2297.

VÄRE, H., OHTONEN, R., and OKSANEN, J., 1995, Effects of reindeer grazing on understory vegetation in dry pinus sylvestris forests, *Journal of Vegetation Science* 6, 523-530.

VÄRE, H., OHTONEN, R., and MIKKOLA . K., 1996, The effect and extent of heavy grazing by reindeer in oligotrophic pine heath in eastern Fennoscandia , *Ecography*. 19,245-253.