پردازش عددی تصاویر در نگهداری آثار هنری

نوشتهٔ جان اف. آسموس
مجلهٔ بایت، مارس ۱۹۸۷
ترجمهٔ کلود کرباسی

بخش عمدهٔ میراث فرهنگی ــ هنری محفوظ در موزه‌های جهان جنبهٔ بصری دارد و آثاری چون انواع نقاشی، طراحی، چاپ مرکبی و تیزابی یا اشیاء سه‌بعدی کنده‌کاری‌شده یا قالب گرفته، نظیر تندیسها، را در برمی‌گیرد. در بین این آثار، فقط شمار اندکی هنوز همان منظری را دارند که در زمان آفریده شدنشان داشتند. با گذر زمان و تأثیر نور و گرما، رنگها دگرگون‌و لعابها تیره می‌شوند. بین اثر هنری و محیط پیرامون آن واکنشهای شیمیایی رخ می‌دهد. اثر ممکن است در آب دریا مانده، زیر خاك مدفون شده یا صرفاً مدتی در معرض هوای پاك یا آلوده قرار گرفته باشد. در موارد بسیاری، بدرفتاری عمدی یا سهوی باعث خرابی اثر شده است. و در سایر موارد، هنرمند اولیه، هنرمندان بعدی یا مرمتگران، موضوع اصلی را پوشانده یا تغییر داده‌اند.

متخصصان نگهداری آثار هنری به تحلیل، تعبیر و درمان بیماریهایی می‌پردازند که آثار کهن بدانها دچار می‌شوند. برخی درمانهای متداول از جمله عبارتند از تجدید لعاب و آستر نقاشیها، وصالی سفالینه‌های شکسته و متوقف کردن خوردگی آثار فلزی. فهرست کامل آثار و مسایلی که در نگهداری میراثهای فرهنگی مورد توجه قرار می‌گیرند تقریباً نامتناهی است، و از زنبیل حصیری تا بنای تاج محل و از رنگ برگشتگی کاغذ تا دیوارنبشتهٔ ماتیکی را شامل می‌شود.

پیشرفتهای تکنولوژیك چند دههٔ اخیر، یك‌سلسله انقلاب را در نگهداری آثارهنری و رشته‌های وابسته، مانند باستان‌شناسی، تاریخ‌هنر و انسان‌شناسی، به‌وجود آورده‌اند. آگاهی و ادراك در این زمینه‌ها با رواج روش‌شناسیها و ابزارهای علمی و فنی به حدی خارق‌العاده افزایش یافته‌است. بررسی‌های غیرمخرب درونی به کمك اشعهٔ ایکس و تاریخ‌گذاری براساس کربن رادیواکتیف از دیرباز در این رشته‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. متعاقباً فهرست این فنون کمکی توسعه‌یافته، فلوئورسانس دربرابر اشعهٔ ایکس[1]، کاربرد میکروسکوپ الکترونیك[2]، کروماتوگرافی گازی[3]، طیف‌نگاری جرمی[4] و رادیوگرافی نوترونی[5] را در بر گرفته، حتی فراتر از اینها، اسپکتروسکوپی فوتوآکوستیك[6]، میکروسکوپی مبتنی‌بر ثبت انتشار الکترونی[7]، ردیابی عناصر موجود در مقادیر ناچیز[8] یا با نسبت‌های متفاوت ایزوتوپی، ترمولومینسانس[9]، کاربرد ریزبین لیزری[10] و بسیاری روشهای دیگر را شامل شده است. نتیجه، فراهم آمدن زیربنایی

1— X-ray fluorescence
2— Electron microscopy
3— Gas chromatography
4— Mass spectrography
5— Neutron radiography
6— Photoacoustic spectroscopy
7— Scanning transmission electron microscopy
8— Trace element research
9— Thermoluminescence
10— Laser microprobe

تحقیقی، استوار برتحلیل‌های عینی به جای ذهنی، بوده است.

در مرمت آثار هنری، این نوآوری‌ها به‌تشخیص بخشهای اصیل اثر هنری (که باید حفظ شوند) از بخشهای افزوده شده در مرمت‌ها (که باید حذف گردند) کمك می‌کنند. مرئی ساختن درون موضوع گاهی مسایلی را در مورد ساختمان اثر، مراحل آفرینش آن، اثر قدیمتری که احتمالا در زیر آن پنهان‌شده، یا تکنیك‌های هنری رایج درعصر به‌وجود آمدن آن را آشکار می‌سازد. از این‌رو جای شگفتی نیست که یکی از متداولترین روشهای تشخیص در مرمت آثار هنری براشعهٔ ایکس مبتنی است، همچنان که در بسیاری رشته‌های دیگر (مثلا پزشکی) مرسوم است.

در برابر، شکل، رنگ و بافت سطح اثر، ویژگیهای اساسی آثار هنری بصری هستند. بررسی و درك این‌ویژگی‌ها بیش از اندازه‌گیری‌های‌تحلیلی و استنتاجی به جوهر هنرهای بصری نزدیك است. متخصصان نگهداری‌آثار هنری ازچشم، میکروسکوپ و دوربین عکاسی بسیار بیشتر از حتی اشعهٔ ایکس بلندآوازه استفاده می‌کنند. به این لحاظ، وسایل بررسی بصری بیش از همه دارای ارتباط مستقیم با وظایف وابسته به نگهداری آثار هنری جلوه‌گر شده‌اند.

اصلاح تصاویر به کمك کامپیوتر در زمینه‌های گوناگون بسیار مفید افتاده است. تشخیص پدیده‌ها از راه دور[11]، علم نجوم و به‌ویژه تشخیص‌های پزشکی با پیدایش و رواج این تکنولوژی به طی گامهای بلند نایل آمده‌اند. نگهداری آثار هنری نیز آغاز به بهره‌گیری از این روشها کرده است.

آغاز کار با لئوناردو داوینچی

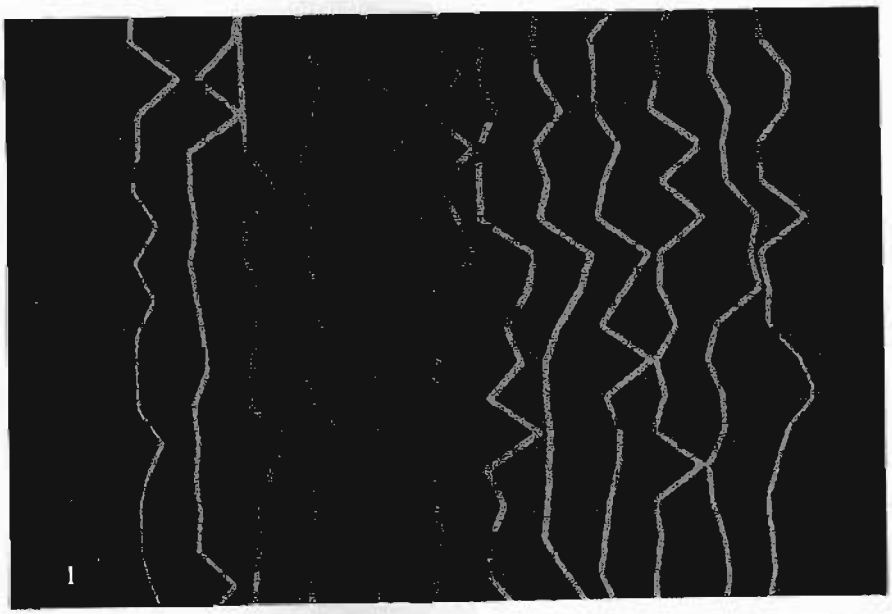
ترویج اصلاح تصاویر با نگهداری آثار هنری، بس بجا، با اثری از بزرگترین میانجی هنر و دانش، لئوناردو داوینچی[12]، آغاز شد.

در سالهای پیش از ۱۵۰۰ میلادی، لئوناردو در خدمت دوك لودوویکو[13] در میلان کار می‌کرد. علاوه‌بر وظایفش به عنوان مهندس نظامی و سیویل، نقاش دربار و برپاکنندهٔ نمایش‌های سرگرم‌کنندهٔ چشمگیر بود. او نقاشی دیواری معروف شام آخر[14] را در کلیسای دومینیکن سانتاماریا دله‌گراتزیه[15] اجرا کرد. این هنرنمایی باعث شد که دولتشهر نوپا و پرتوان فلورانس، لئوناردو را برای ترسیم نقاشی دیواری باز هم بزرگتری درتالار مجلس قانونگذاری خود، تالار پانصد تن[16] در پالاتزو وکیو[17]ی فلورانس، اجیر کند.

متأسفانه لئوناردو در مورد رنگهای خود با مشکلات فنی و در برابر سفارش‌دهندگان اثر بامسایل سیاسی مواجه شد. بزرگترین سفارش او، نقاشی دیواری نبرد آنگیاری[18]، ناتمام ماند. جمهوری فلورانس در جنگ به زانو درآمد و در پی آن از موضع قدرت فرو افتاد. جورجو وازاری[19]، هنرمند وابسته به خاندان مدیچی[20]، که متعاقباً به قدرت رسید، دیوارهای تالار موردنظر را با تصاویری در وصف پیروزیهای منجر به شکوه فرمانروایان تازه تزیین کرد. وازاری تاریخ را از نو نگاشت، و نقاشی لئوناردو دیگر هرگز دیده نشد.

در سال ۱۹۷۵، شهر فلورانس از مؤسسه‌ام، ادارهٔ طرح مطالعات هنری و علمی دانشگاه کالیفرنیا در سان‌دیه‌گو[21]، دعوت کرد که بقایای نقاشی دیواری لئوناردو را جستجو کند. در طی چند دههٔ پیش از آن شواهدی تاریخی گردهم آمده بود، حاکی از آن که وازاری محتملا اثر لئوناردو را خراب نکرده، بلکه صرفاً آن را پیش از تجدید نقاشی‌های تالار پوشانده است. وظیفهٔ مؤسسه‌ام ابداع یك روش غیرمخرب برای «نگاه کردن» به زیر صدها مترمربع نقاشی وازاری و یافتن چند مترمربع از اثر ناتمام لئوناردو در لایه‌ای عمیقتر بود. پس از یافتن آن، اثر لئوناردو می‌توانست بدون ایجاد خلل در نقاشی وازاری، مثلا با بیرون آوردن آن با شکافتن دیوار کاخ از خارج، بدر آورده و به نمایش گذاشته شود.

11— Remote sensing
12— Leonardo da Vinci
13— Duke Ludovico [Sforza]
14— *Last Supper*
15— Santa Maria delle Grazie
16— Hall of the Five Hundred
17— Palazzo Vecchio
18— *Battle of Anghiari*
19— Giorgio Vasari
20— Medici
21— Project for Art/Science Studies, University of California, San Diego



۱ــ تصویر بهسازی نشدهٔ سی‌ــاسکن مافوق صوت دیوار شرقی بالاتزووکیو، که طبیعت ناهمگون مصالح ساختمانی را نشان می‌دهد.

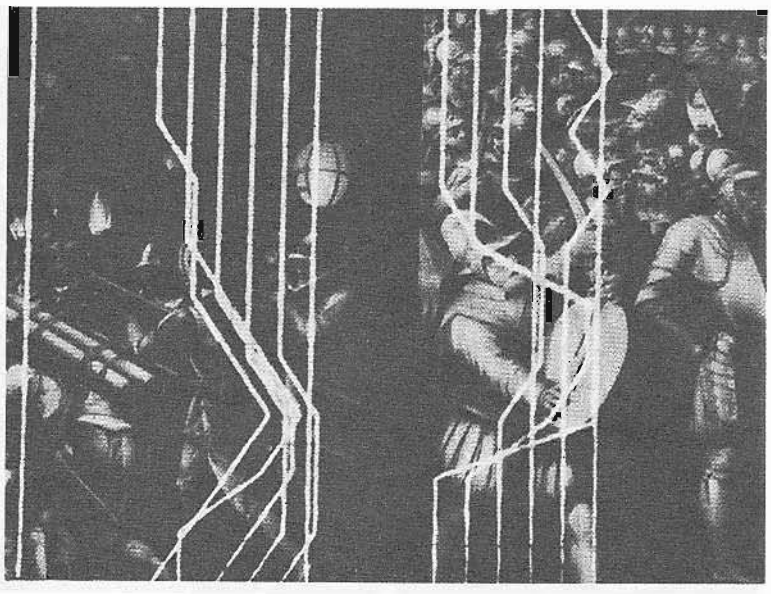
ما روشهایی چون دید دمایی[۲۲]، اشعهٔ ایکس، تحریك نوترونی[۲۳]، هدایت الکتریکی[۲۴] و مایکروویو[۲۵] را در نظر گرفتیم. سرانجام، در پی آزمایشها و بازسازیهای تصنعی در آزمایشگاه، ردیابی به کمك پژواك[۲۶] (مشابه سونار[۲۷]) را برگزیدیم.

در طی سالهای ۱۹۷۶ و ۱۹۷۷، دهها هزار پژواك مافوق صوت از یك موج حامل با تواتر یك مگاهرتز در سطوح نقاشیهای وازاری در تالار پانصد تن به‌دست‌آوردیم (مرجع ۱ را ببینید). مصالح ساختمانی دیوارهای کاخ از آجر، سنگ و ملاط تشکیل شده‌اند و بسیار ناهمگون هستند، به‌طوری که پژواك‌های ثبت شده بسیار ناصاف بودند. تصویر ۱ نمونه‌ای پردازش نشده از یك چنین تصویر سی‌ــاسکن[۲۸] پژواکی درون دیوار را نشان می‌دهد. (تصویر سی‌ــاسکن یك تصویر دوبعدی از شدت پژواك بازگشتی از یك عمق یا دامنهٔ اعماق معین است.) اینگونه شواهد می‌توانستند دلایلی حاکی از وجود یك «جزیره» مسطح رنگ درون دیوار کاخ در برداشته باشند.

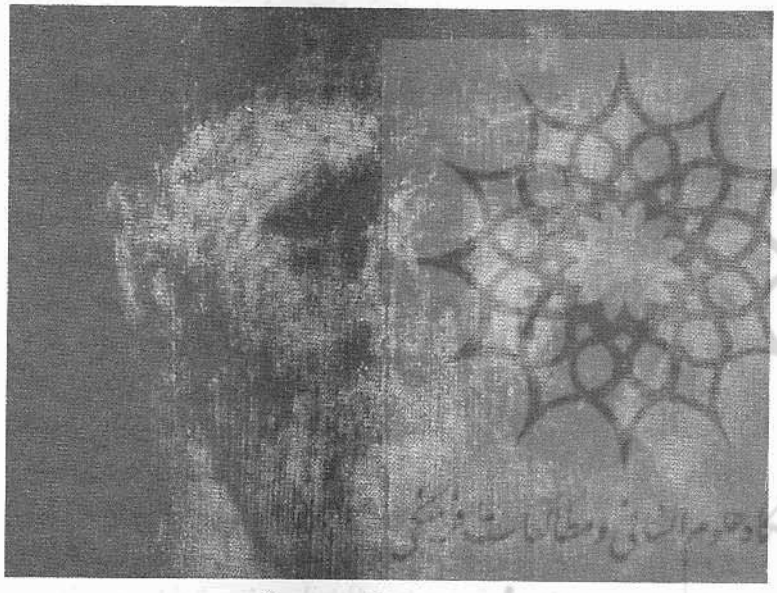
پیشرفت راستین در اوایل ۱۹۷۷، هنگامی که به پردازش عددی تصاویر سی‌ــاسکن پژواکی آغاز کردیم، به‌زودی دریافتیم که سیگنال[۲۹]های ناشی از ناهمگونی‌های بی‌نظم مصالح ساختمانی فاقد همخوانی فضایی خواهند بود. برای مقابله با این امر، دیوار را به شبکه‌ای شطرنجی از خطوطی به فاصلهٔ یك پا از یکدیگر تقسیم کردیم. سپس ۱۰ قرائت در نزدیکی (اما نه روی) هر یك از نقاط تقاطع خطوط انجام دادیم و میانگین مربوط به هر یك از نقاط را به دست آوردیم. امید داشتیم که به این ترتیب، نسبت سیگنال به نویز[۳۰] را افزایش داده، بازتاب همگنی از یك سطح یکدست واقع در عمق (مانند یك نقاشی مدفون در دیوار) را میسر سازیم.

در عمل معلوم شد که چنین است. همچنان که در تصویر ۲ دیده می‌شود، ما دامنهٔ پژواك مافوق‌صوت مربوط به هر پیکسل[۳۱] را با میانگین ۱۰ پژواك‌مافوق صوت مربوط به همسایگی آن جایگزین کردیم. دامنهٔ حاصل در محل هر پیکسل با انحراف جانبی خط اسکن نشان داده شده است؛ خطوط مستقیم قائم،

22— Thermovision
23— Neutron activation
24— Electrical conductivity
25— Microwave
26— Ultrasonic echolocation
27— Sonar
28— C-scan
29— Signals (علایم دریافتی)
30— Noise (علایم مزاحم فرعی)
31— Pixel



۲ــ تصویر میانگین گرفتهٔ سی‌ــاسکن مافوق صوت دیوار شرقی پالاتــزو وکیو، نشان‌دهندهٔ وجــود لایــه‌ای مسطح و یکدست در عمق دیوار، که محتملا به‌نقاشی‌دیواری ببرد آنگیاری، اثر لئوناردو داوینچی، مربوط است.



۳ــ تصویر رادیوگرافی اثــری از رامبران، که درهم‌آمیختن دو چهره، یکی مربوط به اثر نهایی و دیگری برملا شده از سطح زیرین، را نشان می‌دهد.

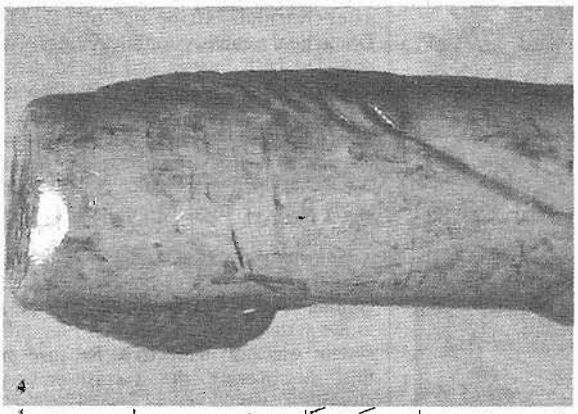
نمایانگر غیاب پژواك همگن (و لذا هرگونه ساختار مسطح زیرین) هستند. تمامی سی‌ــاسکن بر تصویری از نقــاشی وازاری در آن منطقه منطبق شده است. چنان‌که می‌بینید، بازگشت نیرومند و متمرکزی در منطقه پایین، در جایی که دو نقاشی دیواری به هم می‌رسند، خودنمایی می‌کند. محل آن با یکــی از نقاطی که به اعتبار تحلیل شواهد تاریخی می‌بایست محل اثر لئوناردو باشد مطابقت دارد. به عقیدهٔ ما این مناسبترین مکان برای جستجوی اثــر گمشدهٔ لئوناردو است.

روشن ساختن تصاویر

همچنان که پیش از این اشاره کــردیم، بخش معتنابهی از فن نگهداری آثار هنری به بررسی و تعبیر عکسها و رادیوگرافی‌ها مربوط می‌شود. غالباً یك رادیوگرافی از یك پردهٔ نقاشی انجام می‌شود تا ترکیب قدیمتری که در زیر سطح مرئی پنهان شده است آشکار گــردد. عموماً رادیوگرافــی حاصل، مخلوطی از تصویــر رویی، تصویر نهفته و منظــر اشعهٔ ایکس محمل اثر (بوم یا چوب) خواهد بود. تصویر اشعهٔ ایکسی از یك نقاشی رامبران[32] که در تصویر ۳ نشان داده شده چنین ویژگی‌های مختلطی را برملا می‌سازد.

گروهی به رهبری جی.آر.دروزیك[33]، پس از

32— Rembrandt
33— J. R. Druzik

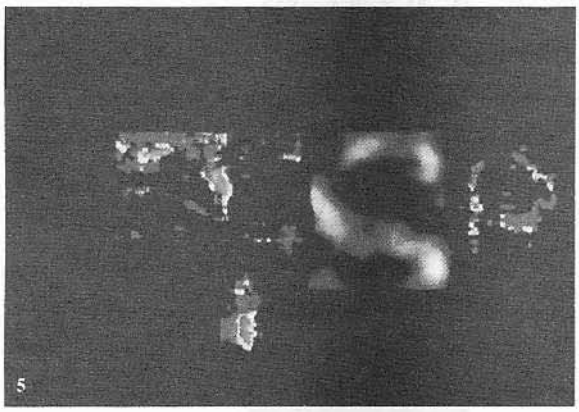


٤ــ دسته عصایی کنده‌کاری شده، مربوط به جزیرهٔ تاهیتی

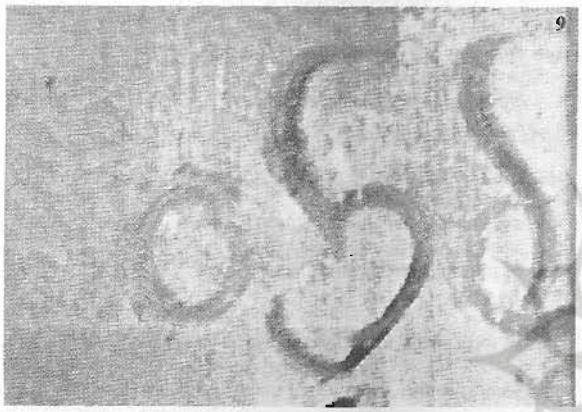
کوشش ناموفق به کاربرد میانگین پیکسل‌ها درمورد رادیوگرافی یك پردهٔ نقاشی یان‌ارامسوس کوئلینوس[۳۴]، متوجه شد که با صاف کردن تصویر به کمك F. F. T. [۳۵] می‌توان به وجهی بسیار مؤثر به زدودن طرح بالنسبه منظم بافت چوب اقدام کرد (مرجع ۲ را ببینید). سپس به تفریق یك تصویر پردازش شدهٔ اثر رویی به درجات خاکستری از کل تصویر اشعهٔ ایکس‌پردازش شده به درجات‌خاکستری دست زدند؛ و تصویر واضحتری از نقش زیرین به دست آوردند.

با تکمیل طرح جستجوی پردهٔ نبرد آنگیاری به کمك مافوق صوت، گروهم به مسالهٔ واضح ساختن یادداشتها و ترسیمها پرداخت. این طرحها برهمان عملیاتی استوار بودند که گروه دروزیك به‌طور مستقل در مورد رادیوگرافی‌ها به‌کار می‌برد.

یك مسألهٔ نوعی به عصای چوبینی که در تصویر ٤ نشان داده شده مربوط‌می‌شد. مالك آن متوجه شده بود که بردستهٔ عصا آثار خفیفی از خراشهایی برجا مانده که به‌طور عمده در اثر فرسایش از میان رفته‌اند. با این فرض که خراشها می‌توانستند بقایایی از یك یادداشت حك شده باشند، بخش مرکزی تصویر ٤ را (به نسبت ۳۰۰ در ٤۰۰ پیکسل) تجزیهٔ عددی کردیم. سپس برای حذف تداخل بصری بافت چوب از روش صاف کردن به کمك F. F. T. استفاده کردیم، و به‌دنبال آن ازمحاسبهٔ میانگین محدوده‌های ۵×۵ پیکسل برای پرکردن بخشی از گسستگی‌های خطوط بهره گرفتیم. سرانجام، با محاسبهٔ میانگین‌ها



۵ــ تصویر بهسازی شدهٔ دستهٔ عصا



٦ــ نمونهٔ امضاء پل‌گوگن

و اختلاف‌های خط به خط توانستیم اختلاف شدت نور مربوط به انحناء دستهٔ عصا را نیز خنثی کنیم.

نتیجهٔ این عملیات در تصویر ۵ ارائه شده است، ونشان می‌دهد که خراشهای موردنظر بقایای سه‌حرف الفبا هستند. از آنجا که عصای مزبور به جزیرهٔ تاهیتی[۳۶] مربوط می‌شد، که پل‌گوگن[۳۷]، نقاش‌معروف، سالها درآن‌کارکرده‌بود، نقش به‌دست‌آمده را باامضاء گوگن مقایسه‌کردیم (تصویر ٦ را ببینید). با درنظر گرفتن این که اولی برچوب کنده و دیگری با قلم‌مویی ترسیم شده بود، مشابهت این دو چشمگیر است. به‌علاوه گوگن علیل بود و در واپسین ایام عمر خود با عصا راه می‌رفت. اینگونه شواهد البته ثابت

34— Jan Erasmus Quellinus
35— Fast Fourier Transform (توضیح)
36— Tahiti
37— Paul Gaugin

نمی‌کنند که عصای موردنظر به دست گوگن حك شده است، ولی روآوردن به آزمایشهای فیزیکی به‌منظور تعیین قدمت و نوع چوب آن را گام معقول بعدی جلوه‌گر می‌سازند.

نقاشی و کاتالوگ سراسری ماه

تا اینجا از تصاویری سخن گفتم که اساساً یکرنگ هستند. چنین تصاویری فقط بخش آشکار کوه یخ شناور را تشکیل می‌دهند. بخش اعظم آثار هنری محفوظ در موزه‌ها چند رنگ هستند. در برابر، پردازش تصاویر رنگین بسیار دشوارتر از کار کردن با تصاویر یکرنگ است. نه‌تنها تصاویر تمام رنگی در عین‌حال سه منطقهٔ طیف مرئی (قرمز، سبز و آبی) را در برمی‌گیرند، بلکه مسایلی چون میزان اشباع، رنگمایه و ادراك بصری نیز به میان می‌آیند.

در سال ۱۹۷٤، گروهی از علاقه‌مندان به‌تماشای ماه گرد آمدند و «کنسرسیوم لاخولا»[38] را به‌منظور هماهنگ ساختن کوششهای پراکنده در جهت تنظیم «کاتالوگ کامل ماه» برپایهٔ داده‌های بی‌شمار گردآمده از راه دور تشکیل دادند. تا ۱۹۷۷، لارنس سودربلوم[39] و اریك الیاسون[40]، از اعضاء کنسرسیوم، موفق شدند یك سیستم کامپیوتری ۳۲ بیت[41] برای مقایسهٔ تصاویر ابداع کنند. در ۱۹۷۸، جیمز آرنولد[42]، یك عضو دیگر گروه، پیشنهاد کرد که از این سیستم برای بازیافتن منظر اولیهٔ تصاویر نفیسی که زیر پوشش لعابهای کهنه و زرد شده محبوسند استفاده شود. در اواخر آن سال، نخستین آزمایشهای چنین روشی در مرکز پردازش تصاویر سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده، واقع در شهر فلاگستاف ایالت آریزونا[43]، انجام گرفت.

موضوع اول، نسخه‌ای از باکرهٔ عذرا در میان صخره‌ها[44]، اثر داوینچی، قبل و بعد از زدودن لعاب آن توسط د.ام. دومرگ[45]، متخصص نگهداری آثار نقاشی بود. ما هر دو تصویر را تجزیهٔ عددی کردیم و از سیستم فلاگستاف گذراندیم، و سپس، از راه آزمون پیاپی، به تهیهٔ آلگوریتمی[46] برای دگرگون ساختن پخش‌آماری رنگهای پایه (R G B[47]) به‌نحوی که همانند تصویر فاقد لعاب شود دست زدیم. ازچنین آلگوریتمی متعاقباً می‌شد برای «تصحیح» سایر نقاشیها استفاده کرد.

متأسفانه (از دیدگاه طرح خودمان)، داده‌های حاصل از مشاهدات وویجر ۲[48] در نزدیکی مشتری آغاز به رسیدن به فلاگستاف کردند، و دست ما از سیستم کوتاه شد. در آن ایام، سیستم فلاگستاف به

۷ــ **لاجوکوندا**، اثر لئوناردو داوینچی، که به نام **مونالیزا** مشهور است.

38— La Jolla Consortium
39— Lawrence Soderblom
40— Eric Eliason
٤١— bit : مخفف binary digit ، به معنای رقم در مبنای دو دویی.
42— James Arnold
43— United States Geological Survey Image Processing Center, Flagstaff, Arizona.
44— *The Virgin of the Rocks*
45— D. M. Domergue
٤٦— algorithm : واژه‌ای مشتق از نام الخوارزمی، به معنای مجموعهٔ کامل دستورات لازم برای انجام یك کار.
٤٧— R. G. B. : اختصار اسامی سه رنگ پایه (قرمز، سبز و آبی) در تلویزیون‌های رنگی و مانیتورهای رنگی کامپیوترها.
48— Voyager 2

شیوهٔ گفت‌وشنودی[49] کار نمی‌کرد. از این‌رو، به‌دست آوردن آلگوریتم «لعاب‌زدا» مستلزم چندین تکرار آزمایش بود، که هر یك به حدود ۲۴ ساعت وقت نیاز داشت.

لیکن امکانات دیگری در دسترس ما قرار گرفت. انستیتوی فضایی کالیفرنیا اندکی‌پیش تشکیل شده بود، و به‌زودی یك IDIMS[50] (سیستم گفت و شنودی پردازش عددی تصاویر) در محل کارمان نصب شد. تصویر ۸ بیت ۵۱۲ در ۵۱۲ پیکسلی که به کار IDIMS می‌آمد، در پی تجربه با تجهیزات فلاگستاف، برایمان بسیار محدود کننده بود، ولی توانایی گفت‌وشنودی این سیستم بعداً ضروری جلوه‌گر شد.

اسرار «لا جوکوندا»

محتملا مشهورترین و محبوبترین پردهٔ نقاشی‌در تمدن مغرب‌زمین، مونا لیزا[51] (یا لا جوکوندا[52]) ی لئوناردو داوینچی است، که در موزهٔ لوور[53] در پاریس نگهداری می‌شود. در حال حاضر، تصویر بانوی فلورانسی فقط شبحی از منظر اولیهٔ آن است. روی آن را لایهٔ ضخیمی از لعاب به رنگ سبز مایل به قهوه‌ای پوشانده است، و لعاب و لایه‌های رنگین، هر دو به حد وفور ترك‌خوردگی دارند. لرد کنث‌کلارك[54] عقید داشت که دستها و ابروهای این اثر بعد از سال ۱۵۵۰ توسط مرمتگری از نو ترسیم شده‌اند (مرجع ۳ را ببینید). کارلو پدرتی[55] داوینچی‌شناس معروف، تذکر داده است که نیمهٔ تیره شدهٔ تحتانی اثر باعث توهم غلط نیم‌تنه‌ای حجیم (شاید حامله) می‌شود (مرجع ٤ را ببینید).

۸ــ بخشی درشت شده از پردهٔ مونالیزا، که نمایانگر شدت ترك‌خوردگی رنگها و لعاب روی اثر است.

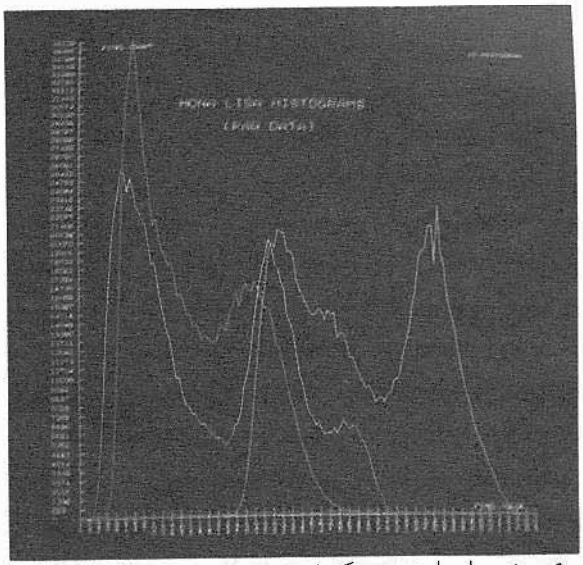
پدرتی به چند نکتهٔ ابهام‌انگیز در پردهٔ مونا لیزا اشاره کرد، که می‌توانستند موضوعات مناسبی برای کار پردازش تصویری ما قرار گیرند. وی موافقت کرد که یك تصویر دقیق رنگی به قطع بزرگ از پردهٔ مزبور را به این منظور از موزهٔ لوور تقاضا کند. در طی سه سال بعدی به‌طور متناوب به پردازش تصویری انواع یادداشتها و کتیبه‌ها ادامه دادیم، و منتظر عکس درخواست شده از لوور ماندیم، که همواره قرار بود با پست «هفتهٔ بعد» به دستمان برسد.

آنگاه، در ۱۹۸۱، والتر کرانکایت[56] به اطلاعمان رساند که در نظر دارد بخشی از نخستین برنامهٔ تلویزیونی خود، موسوم به «کیهان»[57]، را به کار پردازش تصویری ما در مورد مونا لیزا اختصاص دهد. با اظهار تأسف برای او توضیح دادم که عکس دقیقی از مونالیزا در اختیار نداریم که با آن کار بکنیم. کرانکایت با لوور تماس گرفت، و در کمتر از یك هفته به انتظار سه سالهٔ ما پایان داده شد.

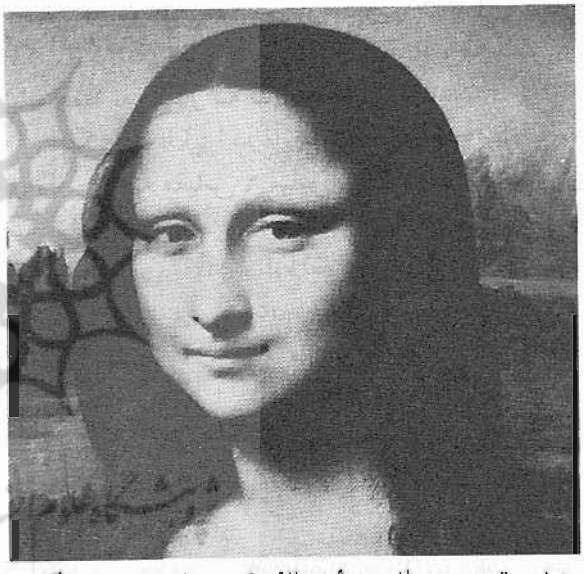
عکس مونا لیزا در آزمایشگاه JPL[58] متعلق به NASA[59] به مقیاس ٦ میلیون پیکسل در هر یك از سه طیف رنگین تجزیه شد. سپس طیف انتقالی حاصل از نمونهٔ لعابی را که مشابه لعاب روی پردهٔ مونا لیزا بود اندازه‌گیری کردیم. برای برنامهٔ «کیهان» کرانکایت، طیف انتقالی لعاب را از طیف کلی‌تصویر تفریق کردیم: آسمان از رنگ قهوه‌ای به رنگ آبی، پوست بانو از رنگ زرد به‌رنگ مرمر، و پارچهٔ لباسش

۴۹ــ interactive : گفت و شنودی (به پیشنهاد مترجم) این واژه در اصطلاح علوم کامپیوتری به تأثیر متقابل و (تقریباً) همزمان‌بین استفاده‌کننده (که خواسته‌های خود را از راه کلیدهای واحد تحریر به کامپیوتر ابلاغ می‌کند) و برنامهٔ جاری در کامپیوتر (که نتایج را به سرعت مثلا برصفحهٔ تلویزیون نمایش می‌دهد) اطلاق می‌شود.

50— Interactive Digital Image Manipulation System
51— Mona Lisa
52— La gioconda
53— Louvre
54— Lord Kenneth Clark
55— Carlo Pedretti
56— Walter Cronkite
57— Universe
58— Jet Propulsion Laboratory
59— National Aeronautics and Space Administration



۹ــ نمودار ارزش پیکسل‌های طیف‌های سه‌گانهٔ پردهٔ **مونالیزا**



۱۰ــ تصویری از پردهٔ **مونالیزا** پس از تصحیح رنگها برصفحهٔ تلویزیون رنگی. رنگها به حالت طبیعی بازگشته‌اند، ولی سطوحی بور در منطقهٔ موی سر پدید آمده‌اند.

از منظر کدر به رنگ سبز تیره تغییر شکل داد. سرانجام نیز یك مورخ هنر، امکانات بالقوهٔ تحلیل به کمك روش‌های «زوم»[60]، «پن»[61] و «اسپلیت اسکرین»[62] به منظور مقایسه را به اثبات رساند. محدودیت عمده‌ای که در این مورد بروز کرد، دقت حداکثر ۵۱۲×۵۱۲ پیکسل سیستم بود.

به سوی مونالیزای بی‌نقص

به منظور مطالعهٔ ژرفتر مونا لیزا و ایجاد تصویری که منظر اولیهٔ آن را به دست دهد ــ و همچنین به قصد ارزیابی کاربردهای تکنولوژی پردازش تصویری در زمینهٔ مرمت آثار هنری ــ ما کوششهای خود را فراتر از آزمایشهای اولیهٔ مربوط به ۱۹۸۱ ادامه دادیم (مرجع ۵ را ببینید).

اسلاید بزرگ و دقیق رنگینی که موزهٔ لوور از مونا لیزا ارسال داشت به ابعاد حدود ۱۰ در ۱۲/۵ سانتیمتر است. تصویر ۷، شکل اصلی آن را نشان می‌دهد. تصویر ۸، بخشی از آن را در برمی‌گیرد و شدت ترك‌خوردگی لایهٔ رنگ را نشان می‌دهد.

از یك میکرودانسیتومتر[63] با دهانهٔ ۰/۰۲ میلیمتر استفاده کرده، بخش مرکزی تصویر را اسکن[64] کردیم و سه فایل[65] عددی، هر یك مربوط به یکی از رنگهای پایه (قرمز، سبز و آبی)، به‌دست آوردیم. هر یك از فایل‌های عددی شامل ۲۶۰۰ خط اسکن می‌شد، که هرکدام در برگیرندهٔ اطلاعات مربوط به ۲۲۰۰ پیکسل بود. هر پیکسل عدد صحیحی بین صفر و ۲۵۵ را، که معرف درخشش آن در هر یك از رنگهای پایه بود، شامل می‌شد. عدد صفر، نمایانگر سیاهی بود و ۲۵۵ به حداکثر درخشش رنگ مورد نظر اشاره داشت.

حجم عظیم داده‌های عددی که از اسکن تصویر رنگی به‌دست آمد (۲۲۰۰×۲۶۰۰ پیکسل) چنان بود که نمی‌شد از آن به روشهای معمول استفاده کرد. از این‌رو تحلیلمان را به بخشی معادل ۱۰۲۴×۱۰۲۴ پیکسل با حداکثر دقت در مورد منطقهٔ سر و گردن و با نصف دقت (یك در میان) در مورد مابقی تصویر محدود کردیم. عملیات تحلیل و نمایش تصویر در

60— Zoom
61— Pan
62— Split-screen
63— Micro-densitometer

۶۴ــ scan : تجزیهٔ یك سطح (ردیف به ردیف، و مربع به مربع در هر ردیف) از نظر پدیده‌ای که بررسی می‌شود.

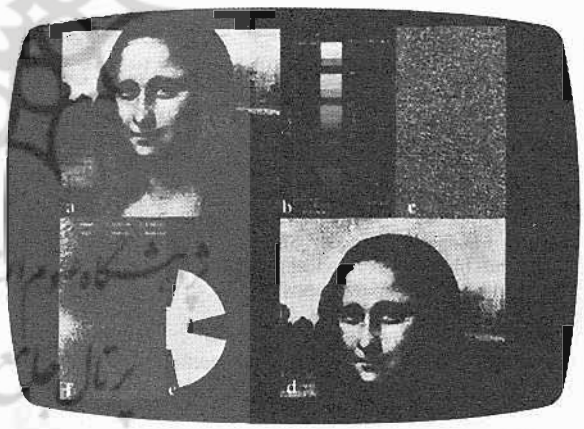
۶۵ــ file : واژه‌ای به معنای تحت‌اللفظی پرونده، که در علوم کامپیوتری به مجموعهٔ اطلاعات ثبت شده در حافظهٔ کامپیوتر در مورد پدیده‌ای که بررسی می‌شود اطلاق می‌گردد.

the hair region.

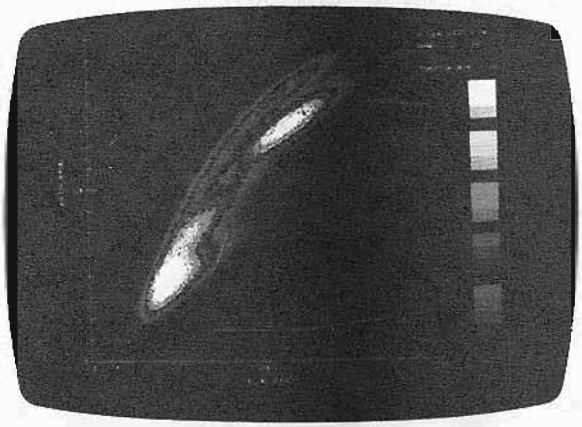
مرکز علمی آی.بی.ام.[66] در پالوآلتو[67] و با استفاده از «سیستم پردازش تصویری آی.بی.ام. ۷۳۵۰» و ایستگاه کار[68] آی.بی.ام. ۵۰۸۰ متصل به‌یك کامپیوتر آی.بی.ام. ۳۰۸۱ انجام گرفت. برخی‌از نرم‌افزارهای تجربی‌ای که در این بررسی به کار برده شدند در اصل برای پردازش داده‌های تصویری گردآوری شده در طی برنامهٔ مشاهدهٔ کرهٔ زمین تهیه شده بودند. بعضی روشهای مورد استفاده در نرم‌افزارهای مزبور، نتایج چندانی در اصلاح تصویر فراهم نیاوردند، ولی برخی دیگر، که ذیلا تشریح و مصور شده‌اند، بسی رضایتبخش جلوه‌گر شدند.

تصحیح رنگها

محتوای اطلاعاتی داده‌های مربوط به طیف‌های رنگین را می‌توان به‌طور آماری از طریق یك نمودار نشان‌دهندهٔ شمار پیکسل‌ها به ازاء میزان درخشش هر پیکسل نمایش داد. اینگونه نمودارها به ندرت به صورت ناقوسی شکل یك انتشار گوسی[69] درمی‌آیند. لیکن می‌توان میانگین و انحراف معیار انتشار را محاسبه و از این ارزشها برای به‌دست آوردن شیب و



۱۱ــ تصویر اصلاح‌شدهٔ منطقهٔ سر و گردن درمحدودهٔ توانهای آبی. این صافی همچنین بوری‌ها را کاهش می‌دهد.
a ــ تصویر اولیهٔ تجزیه شده در طیف آبی به درجات خاکستری. b ــ مقیاس‌های مورد استفاده در c، e و f. c ــ تصویر طیف فازها. d ــ تصویر تجزیه شده در طیف آبی به درجات خاکستری و صاف‌شده به شیوهٔ فوریه. e ــ صافی دوبعدی. f ــ تصویر طیف قدرت‌ها.



۱۲ــ نمودار دوبعدی ارزش‌های پیکسل‌ها در منطقهٔ سر و گردن. پیکسل‌های منعکس در داخل چندضلعی برای اصلاح عددی مناسبند.

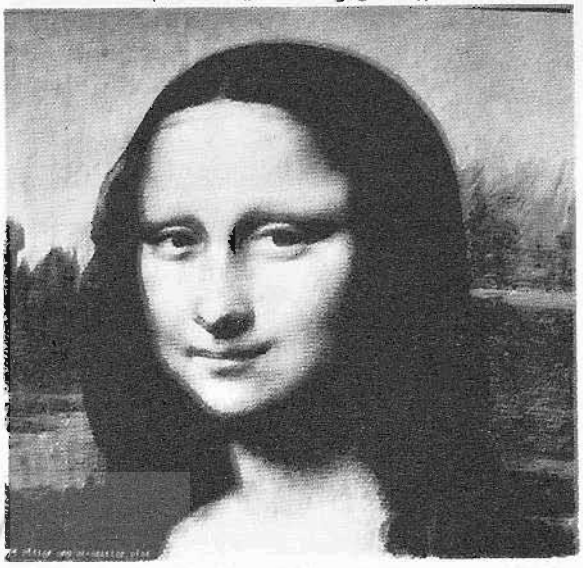
عرض از مبداء یك خط استفاده کرد. آنگاه از این خط برای تبدیل ارزش پیکسل‌ها به درجات‌خاکستری رنگ پایهٔ طیف مورد نظر بهره گرفته می‌شود. انتشار شدت تصویر مورد نظر را می‌توان با تنظیم عرض از مبداء خط (یعنی با افزودن یك انحراف معین به جدول ارزشهای تبدیل) تغییر داد.

با اندازه‌گیری میزان جذب نور یك نمونه لعاب و پذیرفتن آن که این میزان تقریباً با معکوس طول موج نور در آن رنگ متناسب است، ما توانستیم چنین تغییراتی را در انحراف‌های طیف‌های رنگهای پایه بدهیم (تصویر ۹ را ببینید). به عبارت دیگر، ما حساب کردیم که لعاب، هر یك از رنگها را به چه نسبتی تضعیف می‌کند، و آنگاه شدت هر پیکسل مربوط به رنگ مورد نظر را برنسبت تضعیف همان رنگ تقسیم کردیم، به‌طوری که عملا هر پیکسل را به ارزش اصلی خود بازگرداندیم. بدین‌سان هر پیکسل آبی به ۰/٤، هر پیکسل سبز به ۰/۲ و هر پیکسل قرمز به ۱/۰ تقسیم شد (یعنی در مورد رنگ قرمز تغییری لازم نیامد).

شکل حاصل مونا لیزا در تصویر ۱۰ نشان داده شده است. اکثر هنرشناسان کهنه‌کاری که این‌تصویر

66— I B M
67— Palo Alto
68— Workstation
69— Gaussian distribution

۱۳ــ تصویر پردهٔ **مونالیزا** پس از صاف کردن در محدودهٔ تواترهای معین، تصحیح رنگها و اصلاح به کمك نمودار تصویر ۱۲ و همچنین یك ماسك محاسبه شده. کاهش بوری‌ها، به‌ویژه در منطقهٔ مـوی سر آشکار است (با تصویر ۱۰ مقایسه کنید).



دگرگون شده را ملاحظه کرده‌اند اتفاق‌نظر دارند که مزاحمت ناشی از وجود لعاب به درستی برطرف گردیـده و رنگها طبیعـی‌تر شده‌انـد. متأسفانـه نورپردازی عکاسی، و همچنین ترك‌خوردگی لایهٔ رنگ، حالتی بور در سطح کار پدید آورده بود. بـا تصحیح انحراف، شدیدترین میزان بوری، عمدتاً در منطقهٔ موی سر، به صورت رگه‌های زشت آبی‌رنگ ظاهر می‌شد. برای رفع این نقیصه به اعمال زیـر پرداختیم.

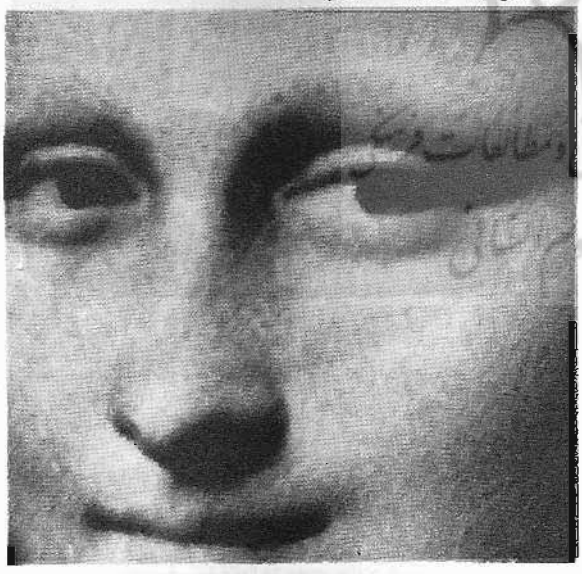
صاف کردن در محدوده‌های معین تواتر

از آنجا که بوری ناشی از ترك‌خوردگیهـای رنگ با نظم دوره‌ای توأم است، استفاده از روش‌های F. F. T. درخور می‌نمود. از این راه یك ماتـریس دوبعدی به‌دست آوردیم، که عناصر ترکیبـی آن نمایانگر فاز و دامنهٔ امواج فضایی تشکیل‌دهنـدهٔ تصویر بودند. سپس یك صافی دوبعدی برای تخفیف امواج مسبب بوری‌ها تهیه کردیم. با انجام F. F. T. معکوس بر ماتریس تصویر اصلاح شده و صافی فوق، تصویری به‌دست آمد که بوری‌های آن عمدتاً برطرف شده بودند.

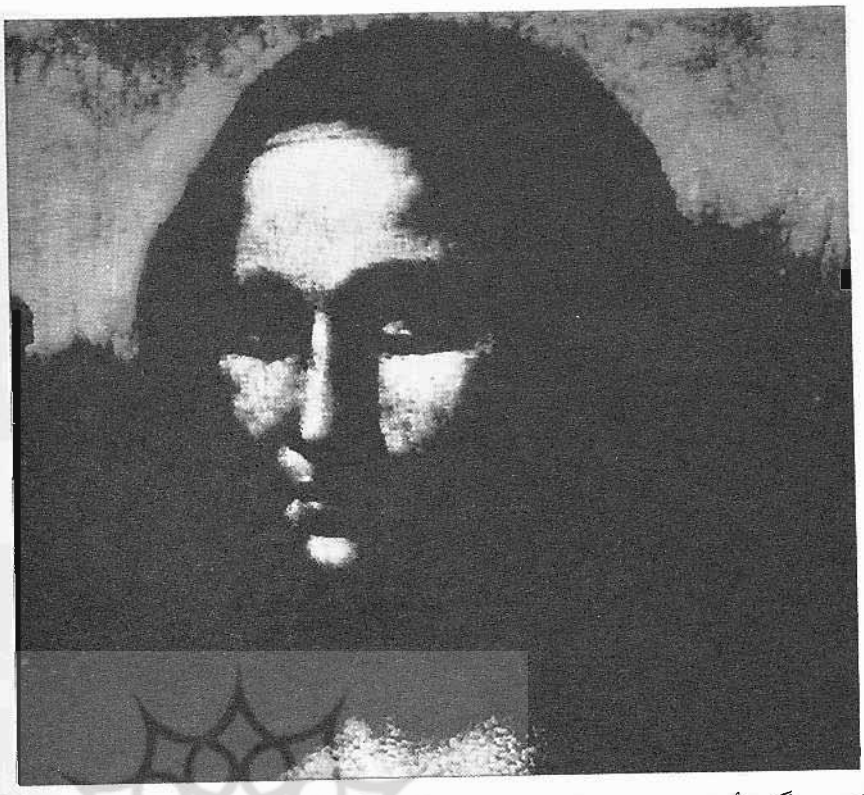
مراحل این روند را در تصویـر ۱۱ ملاحظـه می‌کنید. یك طیف از تصویر اصلی در گوشهٔ بالای سمت‌چپ دیده می‌شود. اطلاعات مربوط به‌فاز ماتریس ضریبهای فوریه[70] در گـوشهٔ بـالای سمت راست، و اطلاعات مربوط به «قدرت» در گوشهٔ پاییـن سمت چپ منعکس شده‌اند. (منظورم از «قدرت»، شدت واکنش در برابر F. F. T. است. عناصر درشت و دارای تواتر کم، مانند بینی و چشمها، واکنشی شدید دارند، حال آن که عناصر ریز و دارای تواتر زیاد، از قبیل رد قلم‌مویی یا ترك‌خوردگی رنگ، واکنشی ضعیف از خود نشان می‌دهند.)

برپایهٔ اطلاعات مستتر در تصویر قدرت طیفی، بطور گفت‌وشنودی یك صافی دوبعدی از ترکیب شکلهای قطاع و حلقه، نظیر آن که در نیمهٔ دوم گوشهٔ پایین سمت چپ تصویر دیده می‌شود، تهیه می‌گردد. تواترهایی که در محدودهٔ سفیـد قرار می‌گیرنـد پذیرفته می‌شوند، و آنهایی که در محدودهٔ تیره واقع می‌گردند حذف می‌شوند. نتیجهٔ F. F. T. معکوس امواج پذیرفته شده، تصویر مبتنی‌بر درجات خاکستری‌است

۱٤ــ تصویر درشت شدهٔ بخشی از تصویر ۱۳، که کاهش معتنابه ترك‌خوردگی‌ها را نشان می‌دهد (با تصویر ۸ مقایسه کنید).



70— Fourier



۱۵ــ تصویر دگرگون شدهٔ مونالیزا در اثر اتساع منطقه‌ای کنتراست و برابرسازی نموداری.

که در گوشهٔ پایین سمت راست دیده می‌شود. توجه کنید که بوری در منطقهٔ موی سر چه اندازه کاهش یافته است.

اثر گذاری بر داده‌های منتخب

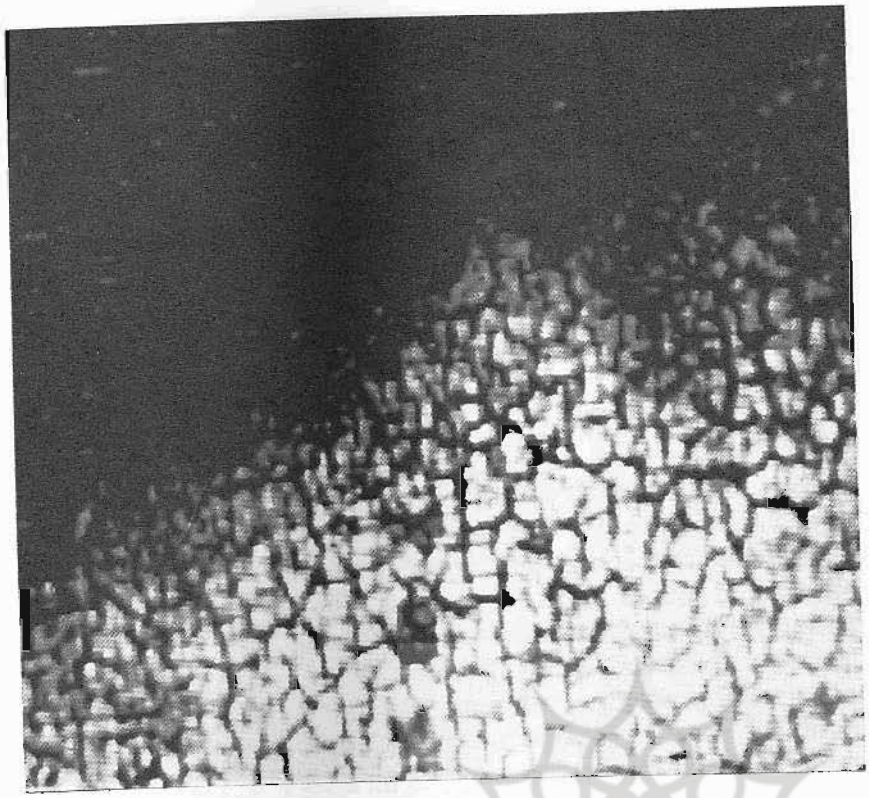
روشی دیگر برای تخفیف بیشتر بوری ناشی از ترك‌خوردگی رنگ، اثر گذاری انتخاب شده بر ارزشهای پیکسل‌های طیفهای سه‌گانه ــ یا به دیگر سخن، تعویض رنگ صحیح هر پیکسل به جای رنگ نامطلوب آن ــ است. چنین روش ساده‌نگرانه‌ای می‌تواند ذهنی‌گرایانه، دست و پاگیر و موجب اتلاف وقت باشد. روشی که ما برای حل این مسأله اتخاذ کردیم تحلیل داده‌های آماری پیکسل‌های معیوب به شکل جدول و نمودار بود. اطلاعات مشابهی را نیز در مورد ارزشهای مطلوب در همان منطقه گرد آوردیم.

یك نمودار سه‌بعدی نمایانگر شمار پیکسل‌های دارای ترکیب معینی از درخشش در دو طیف (آبی و سبز) در نامطلوبترین مناطق تصویر تهیه کردیم (شکل ۱۲ را ببینید). یك چند ضلعی مبتنی‌بر میزان و دامنهٔ تقریبی درخشش در پیرامون آن ارزشها ترسیم شد، و ماسکی به‌دست آمد که می‌توانست بر داده‌ها اعمال شود. تصویر ۱۳ نتیجهٔ کاربرد این روش را در مورد فایل‌های مونالیزای حاصل از تصحیح رنگ و عملیات F. F. T. نشان می‌دهد (آن را با شکل ۱۰ بسنجید). آشکارا، بوری موی‌سر برطرف شده است. بخش درشت‌شده‌ای از چهره نیز (تصویر ۱۴ را ببینید) تخفیف معتنابهی را درمنظر ترك‌خوردهٔ لایهٔ رنگ در مقایسه با تصویر ۸ نشان می‌دهد. کاربرد پیاپی این سه شیوه برملا نموده است که اثر مورد بحث در طی سالیان چگونه تغییر شکل یافته است.

گردن‌بند و آویز

رخدادی نه چندان شگرف با نخستین نظاره‌های مونالیزای تصحیح شده همراه گردید. تنی چند متوجه رد خفیف یك گردن‌بند شدند. رد مزبور از جمله سه یا چهار نقطهٔ مشخص و دارای فواصل برابر را در برمی‌گرفت. عده‌ای دیگر ساختار خفیفی شبیه یك خط‌الرأس کوهستانی در فاصلهٔ کوههای طرف راست سر مونالیزا (سمت چپ از دیدگاه بیننده) دیدند.

آشکارشدن جزییات تازه در اثر زدودن کدورت



۱۶ــ این تصویر درشت شدهٔ تصویر ۱۵ یك ردیف نقطه را آشکار نموده است، که می‌توانند دانه‌های یك گردن‌بند باشند.

لعاب روی اثر جای شگفتی نیست، اما معمایی را مطرح می‌سازد: آیا این ترسیمها جزء طرح اولیهٔ لئوناردو بوده‌اند؛ تغییراتی هستند که به دست او داده شده‌اند؛ نتیجهٔ مرمت‌ها یا خرابیهای عمدی یا سهوی بوده‌اند؛ یا صرفاً در محدودهٔ پدیدهٔ رورشاخ[۷۱] می‌گنجند؟ ما کوشیده‌ایم این مسأله را باز با کاربرد روشهای دیگر پردازش تصویری بررسی کنیم.

اتساع منطقه‌ای کنتراست

بخشی از یك تصویر که برآن لایهٔ رنگی افزوده یا آن را به روشهای شیمیایی یا فرسایشی زدوده‌اند می‌تواند به صورت تغییرات خفیف شدت رنگ خودنمایی کند. برای تقویت این معیارها، ما یك اتساع منطقه‌ای کنتراست[۷۲] انجام دادیم. منطقه‌ای را به این منظور برگزیدیم و آمارهای آن را در طیفهای سه‌گانه محاسبه کردیم. سپس از آمارهای حاصل برای انجام یك «برابرسازی نموداری»[۷۳] در سراسر اثر استفاده کردیم. نتیجه «کش‌آمدن» شدت‌ها در منطقهٔ مورد نظر بود، به‌طوری که از طیف پویای کامل وسیلهٔ نمایش می‌شد برای تحلیل آن منطقه بهره گرفت. واضح است که سایر مناطق تصویر بدتر می‌شد. تصویر ۱۵ کاربرد این روش برمبنای آمارهای مربوط به منطقهٔ گردن را نشان می‌دهد. تصویر درشت شدهٔ منطقهٔ تحتانی گردن، که در تصویر ۱۶ منعکس‌شده، ساختار هندسی این «دانه‌های گردن‌بند» را نشان می‌دهد.

بهسازی شدت موضعی

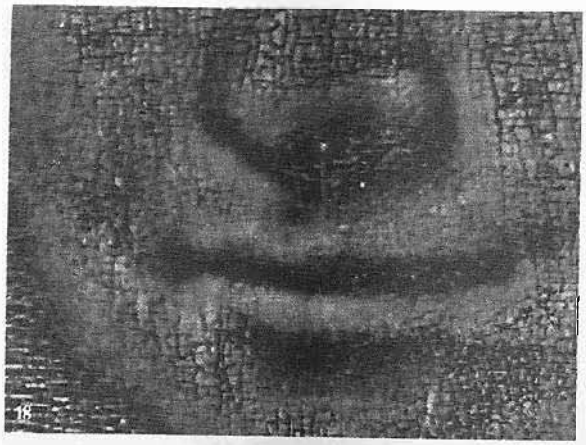
از روش استاندارد بهسازی لبه‌ها ــ مبتنی‌بر کاربرد عامل دیفرانسیل مضاعف لاپلاس[۷۴] ــ در مورد یك منطقهٔ ۵×۵ پیکسل می‌توانستیم برای آشکار ساختن جزییات دیگری استفاده کنیم. ولی روشی مناسبتر آن است که عموماً بهسازی شدت موضعی خوانده می‌شود. در این روش، ارزش تازهٔ پیکسل مورد نظر برپایهٔ میانگین و انحراف معیار پیکسل‌های درون یك مربع پیرامون آن و میانگین و انحراف معیاری مطلوب برای سراسر تصویر محاسبه می‌شود.

71 -- Rorschach
72 -- Contrast
73 -- Histogram equalization
74 -- Double-differentiation Laplacian operator

ما برای محاسبهٔ آمارهای موضعی خود از یك مربع ۳۱×۳۱ پیکسل استفاده کردیم. در پی چند آزمایش، ارزشهای ۱۲۸ و ۲۰ را به ترتیب برای میانگین و انحراف معیار مطلوب برگزیدیم.

تصاویر ۱۷ و ۱۸ نتیجهٔ کاربرد این روش در مورد داده‌های مربوط به هر سه طیف رنگ را نشان می‌دهند. از بررسی دقیق آنها چند ویژگی چشمگیر آشکار می‌شود. مهمتر از همه نظم آهنگین شدت در ترك‌خوردگی‌هاست. تقریباً همهٔ پیرامونها لبه‌ای نرم و یکدست دارند، گویی مرمتگری آنها را رتوش یا تمیز کرده است. دانه‌های گردن‌بند مشکوك نیز به چشم می‌خورند. و سرانجام، مشاهده می‌شود که بانو از خط پیرامون مرئی خود کوچکتر است. توجه کنید که حجاب آهار شدهٔ او هم در بالای موی سر و هم در انتهای فوقانی بازوی چپش (سمت راست ما) بلند شده است.

۱۷ــ تصویر **مونالیزا** پس از بهسازی شدت موضعی (با کاهش خطی به نسبت ۲). مناطق همواری که در امتداد پیرامونهای اصلی به چشم می‌خورند می‌توانند نمایانگر کار مرمتگر باشند.



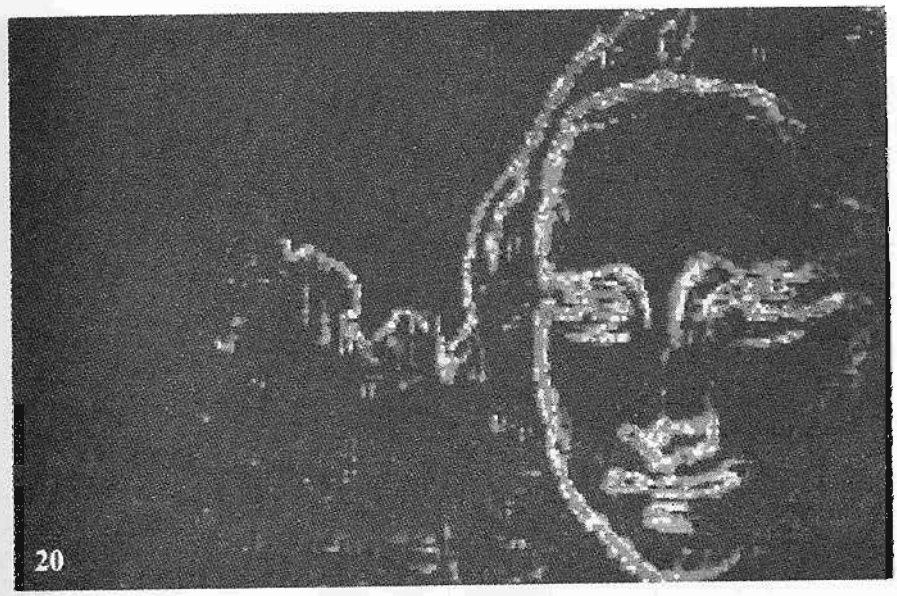
۱۸ــ تصویر درشت شدهٔ بخشی از تصویر ۱۷، که به ظن قوی از مرمت پیرامون دهان حکایت می‌کند.

۱۹ــ ارائهٔ طیف آبی **پردهٔ مونالیزا** به رنگهای کاذب که وجود احتمالی یك رشته کوه یا ژرفایی عظیم در سمت چپ چشم راست بانو را نشان می‌دهد.

عملیات تقطیع درجات

یك طبقه از عملیات پردازش تصاویر، گروه‌بندی طیف محدودی از ارزشهای پیکسل‌ها و انتساب یك رنگ اختیاری (رنگ‌آمیزی کاذب[۷۵]) یا درجه‌ای از خاکستری (ارائه به درجات خاکستری[۷۶]) به آنها جهت نمایش است. ما این شیوه را در مورد طیف آبی تصویر به کار بردیم و متوجه ساختار جالبی در فاصلهٔ بین کوهها و محدودهٔ سمت راست موی مونالیزا (سمت چپ خودمان) شدیم. تصویر درشت شدهٔ این

75— Pseudocolouring
76— Gray-level mapping



۲۰ــ دگرگونه‌ای با لبه‌های بهسازی‌شده ازتصویر مونالیزا، که پیرامون‌های منطقهٔ تهی سمت چپ چشم را مشخص می‌سازد. آن را با ساختار آشکار شده در تصویر ۱۹ مقایسه کنید.

منطقه (تصویر ۱۹ را ببینید) پیرامون و ساختاری‌را آشکار می‌سازد که به ادامهٔ کوهها تا درون این محدوده شباهت دارد. این را با تصویر ۲۰ مقایسه کنید، که دگرگونه‌ای با لبه‌های بهسازی شده از تصویر اصلی است و پیرامون این فاصله را چنان که با چشم دیده می‌شود نشان می‌دهد.

تاریخ و حدسیات

هنگامی که هنرمندی یك پردهٔ نقاشی ترسیم می‌کند، غالباً با نقاشی کردن بر بخشهای پیشین ترکیب مورد نظر در آن تغییراتی می‌دهد. با گذر زمان، اینگونه ترسیمهای زیرین رفته رفته در سطح اثر ظاهر می‌شوند، و به پنتیمنتو[77] معروفند. نقاط تیرهٔ برملا شده در پایین گردن مونالیزا، که به دانه‌های یك گردن‌بند می‌مانند، می‌توانند موردی از این زمره باشند. به نظر نمی‌رسد که نقاط مزبور در نتیجهٔ آسیب دیدن اثر به‌وجود آمده باشند؛ تنها خرابی پرده (ترك قائمی که در تصویر ۱۳ در بالای سر مونا لیزا دیده می‌شود) چندین سانتیمتر در سمت چپ این نقاط واقع است.

به‌علاوه دلایلی برای این باور که لئوناردو احتمالا طرح کار را با یك گردن‌بند آغاز کرده بود در دست داریم. اولی به رابطهٔ بین مونا لیزا و اثر رافائل[78] موسوم به لاموتا[79] (تصویر ۲۱ را ببینید)

۲۱ــ پردهٔ **لاموتا**، اثر رافائل، که محتملا از شکل مقدماتی پردهٔ **مونالیزا** (با گردن‌بند) ملهم است.

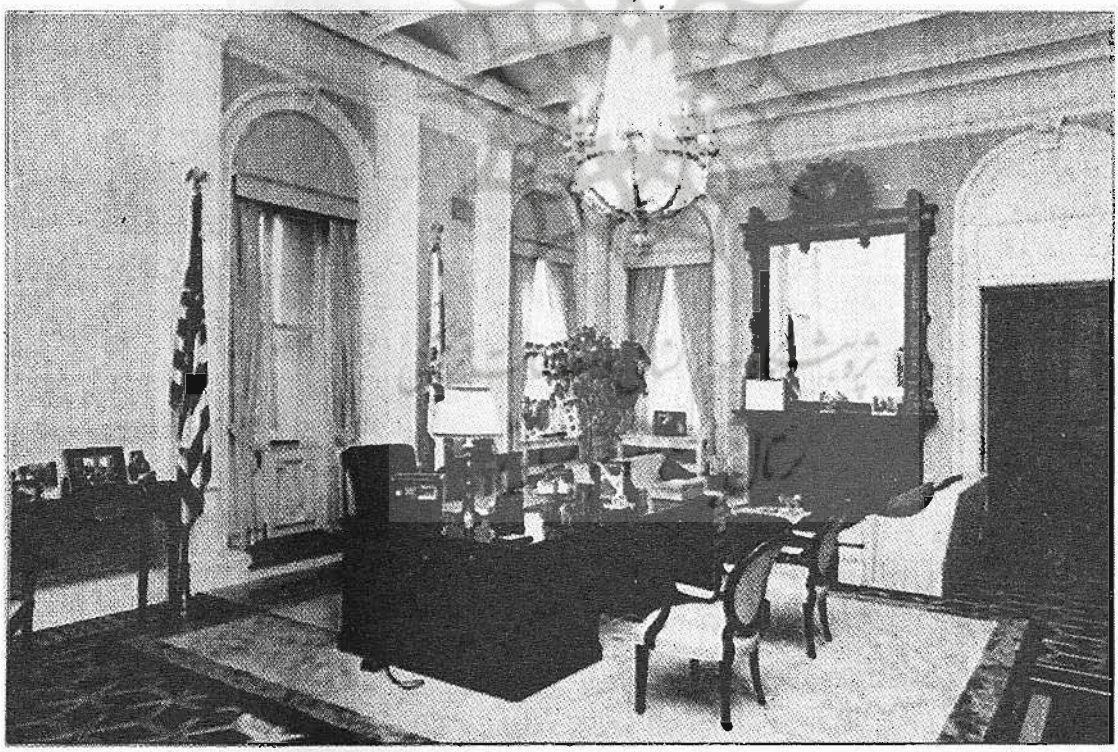
77— Pentimento (تحت‌اللفظی: پشیمانی)
78— Raphael
79— *La muta* (زن لال)

مربوط است. پژوهندگان بسیاری معتقدند که مشابهت‌های متعدد بین این دو اثر بر آن دلالت می‌کنند که رافائل از دیدار مراحل اولیهٔ ترسیم مونا لیزا در حوالی سال ۱۵۰۵ الهام گرفته است. تفاوتی چشمگیر آن است که نقاط مورد بحث به‌دقت در امتداد قائم منصف صورت قرار دارند، همچنان‌که در مورد بخش سمت چپ گردن‌بند لاموتا مشاهده می‌شود. از بررسی نقاشیهای لئوناردو چنین برمی‌آید که پیکرنماهای آثار پیش از مونا لیزا دارای گردن‌بند هستند، در حالی که هیچیك از آثار بعدی او چنین پیرایه‌ای ندارند. بنابراین دریافت، محتمل می‌نماید که لئوناردو ساده ساختن سبك کار خود را در طی اجرای پردهٔ مونا لیزا آغاز کرده باشد، نه پس از آن.

فضای خالی بین کوهها

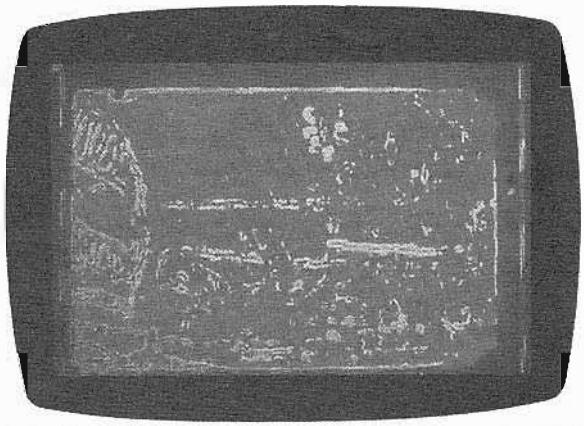
همچنان که در تصویر ۱۹ دیده شد، عملیات پردازش تصویری، احتمال وجود یك خطالرأس کوهستانی یا ژرفایی پرنشیب درسمت چپ سر مونالیزا را برملا کرد. این امر بسی معقول به‌نظر می‌رسد. اکثر نقاشیهای لئوناردو، برعکس محدودهٔ مشخصی که در رشته کوه پشت سر مونا لیزا به چشم می‌خورد، دارای رشته کوههای پی‌درپی هستند که در فاصلهٔ بسیار مستحیل می‌شوند. تغییر نوع ترك‌خوردگیها در امتداد مرز این محدوده (تصویر ۱۷ را ببینید) ممکن است بدان اشاره داشته باشد که مرمتگری آن را اصلاح کرده است. و چه‌بسا که کوههای واقع در دوردست در این میان از بین رفته باشند.

سرانجام، مسألهٔ تکه کوه نامتکی در سمت چپ فاصلهٔ مورد بحث وجود دارد. منظر بسیار دوری که این کوهها دارند از یك حجم نامتکی عظیم حکایت می‌کند، که عملا نمی‌تواند پابرجا بماند. اگر کوههایی که رد خفیفشان در این فاصله آشکار شده به‌راستی در این مکان بوده باشند، مسأله منتفی می‌شود، و خود اثر با آرایش هندسی بعضی نسخ کهنتر بهتر وفق می‌دهد (مرجع ۹ را ببینید).



۲۲ــ دفتر معاون ریاست جمهوری ایالات متحده در عمارت کهنهٔ دفتر اجرایی. پردازش عددی عکسهای امروزی و نقشه‌های مربوط به قرن نوزدهم به تجدید وضع اولیهٔ این تالار کمك می‌کند.

80— National Gallery of Art
81— University of Michigan
82— Armand Hammer Foundation
83— Microcomputers



۲۳ـ تصویر پردازش شده‌ای از یك غار نگارهٔ ماقبل تاریخ در فرانسه.

آیندهٔ پردازش تصاویر در نگهداری آثار فرهنگی

فقط بخش کوچکی از آزمایشگاههای نگهداری آثار فرهنگی در سراسر گیتی از بودجهٔ پژوهشی قابل ملاحظه‌ای برخوردارند. در نتیجه فقط شمار قلیلی از آنها موفق شده‌اند تجهیزات گستردهٔ پردازش تصاویر تهیه کنند. دو استثناء در این مورد عبارتند از کوششهای مشترك گالری ملی هنر[۸۰] و دانشگاه میشیگان[۸۱]، و ضبط عددی یکی از رسالات لئوناردو در NASA/JPL توسط بنیاد آرماند هامر[۸۲].

لیکن بخش عمدهٔ تلاش پژوهشگران در جهت استفاده از کامپیوتر در نگهداری آثار فرهنگی به رواج تکنولوژی پردازش تصاویر در قلمرو مایکرو کامپیوترها[۸۳] بستگی خواهد داشت. سخت‌افزارهای قادر به کارکردن بر تصاویر ۱۰۲٤×۱۰۲٤ پیکسل اکنون برای کامپیوترهای همخوان با IBM PC AT فراهم هستند. نمونه‌هایی از نرم‌افزارهای درخور نیز از جمله عبارتند از PCIPS (از IBM)، IMIGIT (از Chorus) و Image—Pro (از Media Cybernetics).

موزه‌ها آغاز به استفاده از سیستم‌های مبتنی‌بر PC کرده‌اند. گالری ملی[۸٤] لندن روشی را برای مراقبت و تعقیب خرابی آثار نقاشی ابداع کرده است. گالری ملی زلندنو سرگرم توسعهٔ سیستم بازیابی داده‌های خود به منظور پردازش تصاویر است. ادارهٔ طرح مطالعات هنری و علمی دانشگاه کالیفرنیا نیز می‌کوشد افقهای پردازش تصاویر به کمك مایکرو کامپیوتر را گسترش دهد. ما در حال حاضر با یك IBM PC XT به تلفیق تصاویری از دفتر معاون ریاست جمهوری در عمارت کهنهٔ دفتر اجرایی[۸۵] (تصویر ۲۲ را ببینید) با تصاویر تاریخی قطعاتی از طرح اولیهٔ آن، که به سالهای دههٔ ۱۸۸۰ مربوط می‌شود، مشغولیم. (هدف، کمك به برنامه‌ریزی مرمت و بازسازی تالار مزبور است.) دیگر فعالیتی که به کمك یك PC در دست داریم بهسازی غارنگاره‌های عصر حجر در لاسکو[۸۶] و اطراف آن در جنوب فرانسه است (تصویر ۲۳ را ببینید).

علاوه‌بر نکات‌اقتصادی وفنی‌فوق، مسألهٔ مقاومت روانی در برابر پردازش تصاویر ـ هم نزد کارگزاران نگهداری آثار فرهنگی و هم در اذهان عمومی ـ مطرح است. (جی. آرنولد[۸۷]، یکی از پایه‌گذاران روش تاریخ‌گذاری به کمك کربن رادیواکتیف، در طی مکاتبه‌ای که با من داشت، به‌یاد می‌آورد که در آن مورد نیز در بدو امر با بی‌تفاوتی و حتی مقاومت روبه‌رو شده بود.) پس از آن که ادارهٔ طرح مطالعات هنری و علمی دانشگاه کالیفرنیا مقالهٔ خود در مورد نتایج کار بر پردهٔ مونا لیزا را در طی کنفرانس اخیری راجع به نگهداری آثار فرهنگی ارائه کرد، بانویی از دانشمندان معروف در رشتهٔ نگهداری به ابراز تردید جدی در مورد کاربرد پردازش تصاویر در هنر پرداخت؛ و در خاتمه اظهار داشت: «و به‌علاوه شما هرگز مرا قانع نخواهیدکرد که لئوناردو آن درختان واقع در دوردست را به رنگ آبی ترسیم کرده است.» البته «آن درختان واقع در دوردست» در حقیقت کوه هستند؛ و کدورت زردفام لعاب کهنه شده حتی آن متخصص برجسته را گمراه کرده بود.

80— National Gallery of Art
81— University of Michigan
82— Armand Hammer Foundation
83— Microcomputers
85— Old Executive Office Building
86— Lascaux
87— J. Arnold