

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
1	فصل اول: مقدمه‌ای در مورد لیزر و مکانیزم ایجاد آن
1	1-1- تعریف لیزر
1	2-1- تاریخچه لیزر
2	1-2-1. تاریخچه‌ی استفاده از لیزر در مرمت
7	3-1- قسمت‌های مختلف یک دستگاه لیزر
7	1-3-1. منبع انرژی
7	2-3-1. محیط فعال
7	3-3-1. سیستم تشدید کننده یا سازوکار پسخوراند
8	4-1- مکانیزم ایجاد لیزر
8	1-4-1. گسیل و جذب نور
9	2-4-1. برهم‌کنش تابش و ماده
13	5-1- انواع لیزر
14	1-5-1. لیزرهای آلاییده شده با عایق یا جامد
15	2-5-1. لیزرهای مایع رنگی
16	3-5-1. لیزرهای گازی
18	4-5-1. لیزرهای دیودی یا نیمه هادی
19	5-5-1. لیزر الکترون آزاد
20	6-1- خواص تابش لیزر
20	1-6-1. شدت
20	2-6-1. راستایی پرتو
21	3-6-1. همدوسی
21	1-4-6-1. همدوسی زمانی
22	2-4-6-1. همدوسی فضایی
23	4-6-1. تک‌فامی
23	5-6-1. درخشندگی
24	7-1- مکانیزم تأثیر لیزر در پاکسازی
27	8-1- انواع پاکسازی لیزری

27	1-8-1. پاکسازی لیزری با بخار
28	2-8-1. پاکسازی لیزری خشک
29	9-1- مزایای استفاده از سیستم پاکسازی لیزری
29	1-9-1. عدم تماس
29	2-9-1. ایمنی مناسب و تأثیرات محیطی ناچیز
30	3-9-1. انتخابی بودن
30	4-9-1. عمل موضعی
30	5-9-1. کنترل راحت و تطبیق پذیری
30	6-9-1. حفظ نقوش برجسته و جزئیات سطح
31	7-9-1. امکان استفاده در محل های مختلف
31	10-1- محدودیت ها و معایب سیستم های پاکسازی لیزری
31	1-10-1. تغییر رنگ
32	2-10-1. هزینه ی بالا.....
33	فصل دوم: بررسی انواع لکه های موجود روی کاغذهای تاریخی.....
33	1-2-1- لکه ها
34	1-1-2. جوهر
35	2-1-2. چای و قهوه
35	3-1-2. انواع چسب ها
36	1-3-1-2. چسب های شیشه ای و پوششی
37	2-3-1-2. چسب کاغذی
37	3-3-1-2. سریش و سریشم
38	4-1-2. چربی و روغن
39	5-1-2. داغ آب
40	6-1-2. رنگ و روغن
40	7-1-2. زنگ آهن
40	8-1-2. قارچ و عوامل بیولوژیک
42	1-8-1-2. علل آلودگی کاغذ به قارچ
44	2-8-1-2. فاکسینگ

45	 9-1-2. گرافیت و مداد
45	 10-1-2. گرد و خاک
45	 11-1-2. لای
45	 12-1-2. مرکب
47	 13-1-2. موم
47	 2-2- معایب روش‌های معمول و متداول
48	 1-2-2. روش مکانیکی
49	 2-2-2. روش شیمیایی
49	 3-2-2. روش دستگاهی
فصل سوم: کاربرد لیزر Nd:YAG با طول‌موج 532 نانومتر برای تعدادی از لکه‌های	
50	 موجود بر روی کاغذهای تاریخی
50	 1-3- استفاده از پاکسازی لیزری
50	 1-1-3. چسب‌های شیشه‌ای و پوششی
51	 2-1-3. چسب‌های کاغذی و اسکاچ
51	 3-1-3. سریش و سریشم
52	 4-1-3. قارچ‌ها و عوامل بیولوژیک
53	 5-1-3. گرافیت و مداد
53	 6-1-3. گرد و خاک
53	 7-1-3. مرکب
54	 فصل چهارم: آزمایشات
54	 1-4- مقدمه
55	 2-4- نمونه‌سازی
55	 1-2-4. آهار زنی و مهره‌کشی
56	 2-2-4. لکه‌گذاری
56	 3-4- پیرسازی مصنوعی
57	 4-4- پاکسازی لیزری
58	 5-4- بررسی نتایج
59	 1-5-4. لکه‌های ناشی از مرکب
59	 1-1-5-4. مرکب سنتی تاریخی

62	 2-1-5-4. مرکب سنتی مشکی
66	 3-1-5-4. مرکب سنتی قرمز
69	 2-5-4. لکه‌های ناشی از مداد
72	 3-5-4. لکه‌های ناشی از چسب
72	 1-3-5-4. نوار چسب کاغذی
74	 2-3-5-4. نوار چسب شیشه‌ای
77	 3-3-5-4. سریش
79	 4-5-4. لکه‌های ناشی از قارچ
82	 6-4- پاکسازی لیزری نمونه‌های تاریخی
87	 7-4- نتیجه‌گیری
90	 8-4- پیشنهادات
92	 پیوست
141	 پی‌نوشت
144	 منابع و مآخذ

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان جدول
۸۶	جدول (1-4) شرایط بهینه برای پاکسازی لیزری لکه‌های مختلف

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان شکل
2	شکل (1-1) نمودار طول موج‌های مختلف
10	شکل (2-1) طرح شماتیک جذب
10	شکل (3-1) طرح شماتیک گسیل خود به خود
11	شکل (4-1) طرح شماتیک گسیل القایی
12	شکل (5-1) طرح شماتیک یک لیزر جامد
15	شکل (6-1) فضای داخلی لیزر یگ نئودیمیم
16	شکل (7-1) طرح شماتیک یک لیزر مایع رنگی
17	شکل (8-1) طرح شماتیک یک لیزر گازی
19	شکل (9-1) طرح شماتیک یک لیزر دیودی
20	شکل (10-1) نمودار شماتیک لیزر الکترون آزاد
23	شکل (11-1) نمایشی از همدوسی
24	شکل (12-1) طرح شماتیک تأثیر پرتوی لیزر در پاکسازی لکه‌ها
25	شکل (13-1) تفاوت مراحل مختلف پاکسازی
25	شکل (14-1) نمودار ایشکاو از پارامترهای تأثیرگذار بر فرآیند پاکسازی
27	شکل (15-1) طرح شماتیک از تأثیر مخرب لیزر
28	شکل (16-1) پاکسازی لیزری با بخار
29	شکل (17-1) پاکسازی لیزری خشک
30	شکل (18-1) طرح شماتیک از تبخیر انتخابی
87	شکل (1-4) نمودار رابطه‌ی میزان پاکسازی لکه و افزایش چگالی انرژی
87	شکل (2-4) نمودار رابطه‌ی میزان از بین رفتن آهار و افزایش چگالی انرژی
88	شکل (3-4) نمودار رابطه‌ی میزان از بین رفتن چسبندگی بین الیاف و افزایش چگالی انرژی
88	شکل (4-4) نمودار رابطه‌ی میزان کشیده شدن الیاف به سمت بیرون و افزایش چگالی انرژی

فهرست عکس‌ها

صفحه	عنوان عکس
6	عکس (1-1) سیستم لیزر مخصوص کاغذ
17	عکس (2-1) نوعی لیزر گازی
24	عکس (3-1) نمونه‌ای از لیزر یگ نئودیمیوم
31	عکس (4-1) لیزر متحرک
32	عکس (5-1) زرد شدگی بر اثر تابش لیزر
34	عکس (1-2) سمت راست لکه‌ی جوهر قبل از درمان و سمت چپ لکه‌ی جوهر بعد از درمان
34	عکس (2-2) سمت راست اثر مهر قبل از درمان و سمت چپ اثر مهر بعد از درمان
36	عکس (3-2) لکه‌های ناشی از چسب‌های شیشه‌ای
37	عکس (4-2) نوار چسب‌های کاغذی
37	عکس (5-2) لکه‌های سریش اطراف قسمت مرمی
38	عکس (6-2) لکه‌های ناشی از غذا
39	عکس (7-2) لکه‌های چربی
39	عکس (8-2) سمت راست لکه‌ی داغ آب، قبل از درمان و سمت چپ بعد از درمان
40	عکس (9-2) لکه‌ی داغ آب
41	عکس (10-2) لکه‌های رنگی ناشی از قارچ‌های مختلف
42	عکس (11-2) تصویر میکروسکوپی آلترناریا
42	عکس (12-2) تصویر میکروسکوپی کتیموم
42	عکس (13-2) تصویر میکروسکوپی پنسیلیوم
42	عکس (14-2) تصویر میکروسکوپی اسپریلوس
44	عکس (15-2) لکه‌ی فاکسینگ
46	عکس (16-2) لکه‌های مرکب روی نوشته‌ها
46	عکس (17-2) لکه‌ی ناشی از خوردگی مرکب آهنی، مازویی
47	عکس (18-2) لکه‌های ناشی از پخش شدن مرکب
48	عکس (19-2) امکان آسیب رسیدن به کاغذ هنگام استفاده از روش‌های مکانیکی
50	عکس (1-3) نمونه کاغذ دارای چسب شیشه‌ای، سمت راست قبل از درمان و سمت چپ بعد از درمان
51	عکس (2-3) تصویر پشت و روی نمونه کاغذی دارای نوارچسب کاغذی

عکس (3-3)	سمت راست لکه‌ی سریشم همراه با لکه‌ی چسب شیشه‌ای قبل از پاکسازی و سمت
52	چپ بعد از پاکسازی لیزری
عکس (4-3)	لکه‌های قارچ بر روی یک سیاه‌قلم قرن 19م
52	
عکس (5-3)	زدودن گرد و غبار با استفاده از لیزر یاگ نئودیمیم در طول موج 1064 nm
53	
عکس (1-4)	تصویر آهار زنی با نشاسته
56	
عکس (2-4)	تصویر مهره‌کشی کاغذهای آهار زده
56	
عکس (3-4)	تصویر محفظه‌ی پیرسازی
57	
عکس (4-4)	تصویر لیزر Nd:YAG مورد استفاده برای پاکسازی لکه‌های ایجاد شده
57	
عکس (5-4)	تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200X سمت چپ کاغذ واتمن
58	خام، سمت راست کاغذ واتمن آهارزده، مهره‌کشی و پیرسازی شده را نشان می‌دهد
59	
عکس (6-4)	نقاط لیزر شده‌ی I1-1 تا I1-3
59	
عکس (7-4)	نقاط لیزر شده‌ی I1-4 تا I1-6
60	
عکس (8-4)	نقاط لیزر شده‌ی I1-7 تا I1-9
60	
عکس (9-4)	لکه‌ی مرکب میرزا غلامرضا قبل از پاکسازی شیمیایی
60	
عکس (10-4)	لکه‌ی مرکب میرزا غلامرضا بعد از پاکسازی شیمیایی
60	
عکس (11-4)	تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200x سمت چپ کاغذ با آهار
61	نشاسته و سمت راست لکه‌ی مرکب میرزا غلامرضا را نشان می‌دهد. (نمونه‌های شاهد)
عکس (12-4)	تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 50x سمت چپ پاکسازی
61	شیمیایی و سمت راست پاکسازی لیزری لکه‌ی ناشی از مرکب میرزا غلامرضا را نشان می‌دهد
عکس (13-4)	تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200x سمت چپ پاکسازی
62	شیمیایی و سمت راست پاکسازی لیزری لکه‌ی ناشی از مرکب میرزا غلامرضا را نشان می‌دهد
عکس (14-4)	تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 400x سمت چپ پاکسازی
62	شیمیایی و سمت راست پاکسازی لیزری لکه‌ی ناشی از مرکب میرزا غلامرضا را نشان می‌دهد
عکس (15-4)	نقاط لیزر شده‌ی I 2-1 تا I 2-3
63	
عکس (16-4)	نقاط لیزر شده‌ی I 2-4 تا I 2-6
63	
عکس (17-4)	نقاط لیزر شده‌ی I 2-7 تا I 2-9
63	
عکس (18-4)	نقاط لیزر شده‌ی I 2-10 تا I 2-12
63	
عکس (19-4)	نقاط لیزر شده‌ی I 2-13 تا I 2-15
63	
عکس (20-4)	لکه‌ی مرکب سنتی سیاه قبل از پاکسازی شیمیایی
64	
عکس (21-4)	لکه‌ی مرکب سنتی سیاه بعد از پاکسازی شیمیایی
64	

- عکس (22-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200x سمت چپ کاغذ با آهار
 64 نشاسته و سمت راست لکه‌ی مرکب سنتی سیاه را نشان می‌دهد. (نمونه‌های شاهد)
- عکس (23-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 50x سمت چپ پاکسازی
 65 شیمیایی و سمت راست پاکسازی لیزری لکه‌ی ناشی از مرکب سنتی سیاه را نشان می‌دهد
- عکس (24-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200x سمت چپ پاکسازی
 65 شیمیایی و سمت راست پاکسازی لیزری لکه‌ی ناشی از مرکب سنتی سیاه را نشان می‌دهد
- عکس (25-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 400x سمت چپ پاکسازی
 66 شیمیایی و سمت راست پاکسازی لیزری لکه‌ی ناشی از مرکب سنتی سیاه را نشان می‌دهد
- عکس (26-4) نقاط لیزر شده‌ی I 3-1 تا I 3-3
 66
- عکس (27-4) نقاط لیزر شده‌ی I 3-4 تا I 3-6
 66
- عکس (28-4) نقاط لیزر شده‌ی I 3-7 تا I 3-9
 66
- عکس (29-4) لکه‌ی مرکب سنتی قرمز قبل از پاکسازی شیمیایی
 67
- عکس (30-4) لکه‌ی مرکب سنتی قرمز بعد از پاکسازی شیمیایی
 67
- عکس (31-4) سمت چپ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200x از کاغذ با آهار
 نشاسته و سمت راست تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 50x از لکه‌ی مرکب
 68 سنتی قرمز و محل برخورد پالس لیزر را نشان می‌دهد
- عکس (32-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 15x سمت چپ پاکسازی
 68 شیمیایی و سمت راست پاکسازی لیزری لکه‌ی ناشی از مرکب سنتی قرمز را نشان می‌دهد
- عکس (33-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200x سمت چپ پاکسازی
 68 شیمیایی و سمت راست پاکسازی لیزری لکه‌ی ناشی از مرکب سنتی قرمز را نشان می‌دهد
- عکس (34-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 400x سمت چپ پاکسازی
 69 شیمیایی و سمت راست پاکسازی لیزری لکه‌ی ناشی از مرکب سنتی قرمز را نشان می‌دهد
- عکس (35-4) نقاط لیزر شده‌ی P1-1 تا P1-3
 69
- عکس (36-4) نقاط لیزر شده‌ی P1-4 تا P1-6
 69
- عکس (37-4) نقاط لیزر شده‌ی P1-7 تا P1-9
 70
- عکس (38-4) نقاط لیزر شده‌ی P1-10 تا P1-12
 70
- عکس (39-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200x سمت چپ کاغذ با آهار
 70 نشاسته و سمت راست لکه‌ی مداد را نشان می‌دهد
- عکس (40-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 50x سمت چپ پاکسازی
 71 مکانیکی و سمت راست پاکسازی لیزری لکه‌ی مداد را نشان می‌دهد

- عکس (41-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200x سمت چپ پاکسازی مکانیکی و سمت راست پاکسازی لیزری لکه‌ی مداد را نشان می‌دهد 71
- عکس (42-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200x سمت چپ کاغذ با آهار نشاسته و سمت راست زائده‌های ناشی از جداشدن چسب کاغذی را نشان می‌دهد 73
- عکس (43-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 50x سمت چپ زائده‌های ناشی از جداشدن چسب کاغذی و سمت راست پاکسازی لیزری لکه‌های ناشی از جداشدن چسب کاغذی را نشان می‌دهد 73
- عکس (44-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200X، تصویر سمت چپ پاکسازی شیمیایی لکه‌ی ناشی از چسب کاغذی و تصویر سمت راست، پاکسازی لیزری آن را نشان می‌دهد 74
- عکس (45-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 400X، تصویر سمت چپ پاکسازی شیمیایی لکه‌ی ناشی از چسب کاغذی و تصویر سمت راست، پاکسازی لیزری آن را نشان می‌دهد 74
- عکس (46-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200 X سمت چپ کاغذ با آهار نشاسته و سمت راست نوار چسب شیشه‌ای را نشان می‌دهد 75
- عکس (47-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 50x لکه‌ی ناشی از نوار چسب شیشه‌ای را نشان می‌دهد 76
- عکس (48-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200X، تصویر سمت چپ پاکسازی شیمیایی لکه‌ی ناشی از چسب شیشه‌ای و تصویر سمت راست، پاکسازی لیزری آن را نشان می‌دهد 76
- عکس (49-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 400X، تصویر سمت چپ پاکسازی شیمیایی لکه‌ی ناشی از چسب شیشه‌ای و تصویر سمت راست، پاکسازی لیزری آن را نشان می‌دهد 76
- عکس (50-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200x سمت چپ کاغذ با آهار نشاسته و سمت راست لکه‌ی سریش را نشان می‌دهد 77
- عکس (51-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 50x سمت چپ پاکسازی شیمیایی و سمت راست پاکسازی لیزری لکه‌ی سریش را نشان می‌دهد 78
- عکس (52-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 200x سمت چپ پاکسازی شیمیایی و سمت راست پاکسازی لیزری لکه‌ی سریش را نشان می‌دهد 78
- عکس (53-4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی 400x سمت چپ پاکسازی