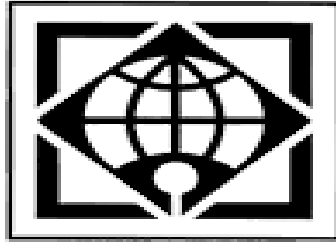


سورة الاحقاف

MRTsoft

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی



IMAM KHOMEINI
INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

مطالعه سینماتیک خال‌های سایه‌ای لکه‌های خورشیدی

استاد راهنما:

دکتر هاشم حامدی وفا

نگارش:

مریم توفیقی

تیر ۱۳۹۰

چه روزها که يك به يك غروب شد نیامدی

چه بغضها که در گلو رسوب شد نیامدی

خلیل آتشین سخن، تبر به دوش بت شکن

خدایمان دوباره سنگ و چوب شد نیامدی

برای ما که دل شکسته ایم و خسته ایم نه

ولی برای عده ای چه خوب شد نیامدی

تمام روزهای هفته مرا در انتظار جمعه ام

دوباره صبح، ظهر، غروب شد نیامدی

تقديم به...

همسرم

مادرم

وروح بزرگ پدرم

چکیده

در این رساله برآنیم تا مشخصه های فیزیکی مربوط به سینماتیک خال های سایه ای، یکی از ساختارهای ریز در سایه ی لکه های خورشیدی (ساختارهای مغناطیسی که بر روی سطح خورشید تاریک ظاهر می شوند) را به دست آوریم. در فصل اول تاریخچه رصد و مطالعه لکه های خورشیدی توضیح داده شده است. در فصل دوم ماهواره ی هینوده و ابزارهای رصدی آن مورد توجه قرار گرفته است. در فصل سوم روش های قطعه بندی برای تفکیک خال های سایه ای از زمینه اطرافشان، همچنین روش قطعه بندی مورد استفاده در این تحقیق و نیز الگوی ردیابی خال ها در تصاویر متوالی توضیح داده شده است و لکه های مورد بررسی معرفی شده اند. در بخش چهارم، خال ها در دسته های متفاوت (محیطی/مرکزی مختل نشده، محصول ادغام/ شکافت یا منجر به ادغام/شکافت) طبقه بندی شده و نمودارهای مختلف بر اساس پارامترهای متفاوت خال ها تحلیل شده است. به خصوص مشخصه های خال های مختل نشده (آنهایی که نه محصول ادغام/شکافت اند و نه منجر به ادغام/شکافت شده اند) مورد مطالعه قرار گرفته است و بسیاری از نتایج دیگر محققان مورد تایید قرار گرفته است. همچنین نیمه عمر این خالها به روش خاصی محاسبه گردید. خال های مرکزی (محیطی) نیمه عمری حدود ۳ دقیقه (۵ دقیقه) دارند.

از جمله نتایج به دست آمده دیگر چنین است:

- در بسیاری از موارد مساحت خال ها بعد از شدت آنها به بیشینه ی مقدار خود می رسد،
- نسبت شدت خال ها به شدت پس زمینه شان حداقل ۱٫۲ و حداکثر کمتر از ۲٫۶ می باشد،
- نمودار نسبت مساحت در اولین تصویر از طول عمر به مساحت در آخرین تصویر حضور خال و نیز مساحت بیشینه به مساحت در اولین تصویر حضور خال نشان می دهد که در خال هایی که منجر به شکافت می شوند، به طور عمده بیشینه در آخرین تصویر رخ می دهد اما برای

خال های مختل نشده این گونه نیست و بیشینه در هر تصویری از حضور خال ممکن است
رخ دهد.

قدردانی

خدای بزرگ را شاکرم که مرا در اتمام این رساله یاری نمود.

سپاسگزارم از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر هاشم حامدی وفا که این پروژه با راهنمایی های بی دریغ و صبورانه ایشان به سرانجام رسید.

قدردانم از پدر بزرگوام که مشوق اصلی من در راه ادامه تحصیل بود. روحش شاد.

متشکرم از مادر مهربانم که دلسوزانه، در حقم زحمات بسیاری را متحمل شده است.

همچنین از همسر عزیزم که در طول مدت این پروژه همواره من را حمایت نموده سپاسگزارم.

فهرست مطالب

۱-مقدمه

۱۲	۱-۱- موقعیت و تحول
۱۴	۲-۱- روشنایی، ساختار مغناطیسی و دینامیکی
۱۴	۳-۱- اندازه
۱۶	۴-۱- طول عمر
۱۶	۵-۱- اثر ویلسون
۱۷	۶-۱- ساختار ریز نیمسایه ای
۱۸	۷-۱- ساختار ریز سایه ای
۱۸	۱-۷-۱- خال سایه ای
۱۹	۲-۷-۱- هسته تاریک (Dark nucleus)
۱۹	۳-۷-۱- مولفه ی پخشی (Diffuse Component)
۱۹	۴-۷-۱- پل های نوری (Light Bridges)
۲۰	۸-۱- مشخصه های فیزیکی خال های سایه ای
۲۴	۹-۱- تطابق خال های سایه ای با مدل های رایج توصیف کننده ی ساختار مغناطیسی لکه
۲۴	۱-۹-۱- مدل خوشه
۲۴	۲-۹-۱- مدل همگن

۲-ماهواره هینوده

۲۷	۱-۲- هینوده و ابزارهای رصدی آن
۳۰	۲-۲- تصویرگر با صافی گستره پهن (BFI)
۳۳	۱-۲-۲- مشاهده پذیرهای BFI
۳۳	۳-۲- تصویرگر با صافی گستره باریک (NFI)
۳۵	۱-۳-۲- مشاهده پذیرهای NFI
۳۶	۴-۲- قطبش سنج طیفی (SP)
۳۸	۱-۴-۲- مشاهده پذیرهای SP
۳۸	۵-۲- محصولات داده ای SOT

۳-تفکیک و ردیابی خال های سایه ای

۴۱	۱-۳- تفکیک سایه از نیمسایه
۴۲	۲-۳- روش قطعه بندی چند مرحله ای (MLT)
۴۴	۳-۳- هموارسازی

- ۴۴..... ۴-۳-۴- روش گسترش مرز
- ۴۵..... ۳-۵-۵- روش تعیین تقعر
- ۴۶..... ۳-۶-۶- روش تعیین تقعر با نوفه کم
- ۴۷..... ۳-۷-۷- انتخاب آستانه برای هر تصویر
- ۴۸..... ۳-۸-۸- ردیابی خال ها
- ۴۸..... ۳-۱-۱- طول عمر
- ۴۸..... ۳-۲-۱- مساحت
- ۴۸..... ۳-۳-۱- درخشندگی و مکان بیشینه ی شدت
- ۴۸..... ۳-۴-۱- وضعیت خال
- ۴۹..... ۳-۵-۱- سرعت
- ۴۹..... ۳-۱-۵-۱- تندی لحظه ای
- ۴۹..... ۳-۲-۵-۱- سرعت میانگین الف
- ۵۰..... ۳-۳-۵-۱- سرعت میانگین ب
- ۵۰..... ۳-۶-۱-۳- دسته بندی محیطی یا مرکزی

۴- تحلیل نتایج

- ۵۴..... ۴-۱- تقسیم بندی خال ها بر اساس شدت و مکان شکل گیری آنها بر روی سطح سایه
- ۵۶..... ۴-۲- تقسیم بندی خال ها بر اساس بیشینه مساحت در طول عمر و مکان تولد آن ها بر روی لکه
- ۵۸..... ۴-۳- تقسیم بندی خال ها بر اساس میانگین تندی لحظه ای
- ۵۹..... ۴-۴- تقسیم بندی خال ها بر اساس طول عمر
- ۵۹..... ۴-۵- مشاهده تحول یک خال
- ۶۰..... ۴-۵-۱- خالی که دوبار دچار شکافت شده است
- ۶۱..... ۴-۵-۲- خالی که نه حاصل شکافت است و نه ادغام و به شکافت منجر می شود
- ۶۳..... ۴-۵-۳- خالی که محصول ادغام است و دچار شکافت می شود
- ۶۵..... ۴-۵-۴- خالی که محصول شکافت است و به ادغام منجر می شود
- ۶۶..... ۴-۶-۶- مشخصه های فیزیکی خال های سایه ای
- ۶۶..... ۴-۶-۱- درخشندگی
- ۶۷..... ۴-۶-۲- مساحت
- ۶۷..... ۴-۶-۳- تندی لحظه ای
- ۶۸..... ۴-۶-۴- طول عمر
- ۶۸..... ۴-۷-۷- مقایسه مشخصه های فیزیکی خال های سایه ای محیطی و مرکزی
- ۶۸..... ۴-۷-۱- درخشندگی
- ۶۹..... ۴-۷-۲- مساحت

- ۷۰..... ۳-۷-۴- تندی لحظه ای
- ۷۰..... ۴-۷-۴- طول عمر
- ۷۱..... ۵-۷-۴- سرعت میانگین
- ۷۱..... ۸-۴- همبستگی شدت و مساحت یک خال
- ۷۵..... ۹-۴- مقایسه مساحت بیشینه، مساحت در تصویر تولد و مساحت در تصویر مرگ
- ۷۵..... ۱-۹-۴- خالهای منجر به شکافت که نه محصول ادغامند و نه شکافت
- ۷۷..... ۲-۹-۴- خال های منجر به شکافت که خود محصول شکافتند
- ۷۹..... ۳-۹-۴- خال های منجر به شکافت که حاصل ادغامند
- ۸۱..... ۴-۹-۴- خال های مختل نشده
- ۸۴..... ۵-۹-۴- مقایسه مساحت بیشینه، مساحت در تصویر تولد و مساحت در تصویر مرگ برای لکه ی دوم
- ۸۵..... ۱۰-۴- بررسی مشخصه های فیزیکی خال های مختل نشده
- ۸۶..... ۱-۱۰-۴- طول عمر
- ۸۹..... ۲-۱۰-۴- مساحت
- ۹۰..... ۳-۱۰-۴- شدت
- ۹۲..... ۴-۱۰-۴- تندی لحظه ای
- ۹۲..... ۵-۱۰-۴- سرعت میانگین
- ۹۴..... ۶-۱۰-۴- همبستگی های احتمالی
- ۹۵..... در نمودار شکل ۴-۶۵ میانگین درخشندگی بر حسب طول عمر رسم شده است.
- ۹۷..... ۱-۶-۱۰-۴- همبستگی بین سرعت میانگین خال های سایه ای مختل نشده و دیگر مشخصه های فیزیکی آن
- ۹۸..... ۷-۱۰-۴- مسیر خال های مختل نشده
- ۱۰۱..... ۸-۱۰-۴- بررسی مشخصه های فیزیکی خال های مرکزی و محیطی مختل نشده

۵- نتیجه گیری

- ۱۰۵..... ۱-۵- نتیجه گیری
- ۱۰۶..... مراجع

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: محدودیت های پراش برای نوارهای طیفی در مجموعه ی اپتیکی جانبی FPP ۳۰
- جدول ۲-۲: خصوصیات BFI ۳۱
- جدول ۲-۳: ویژگی های SOT/NFI ۳۴
- جدول ۲-۴: ویژگی های نقشه برداری SP ۳۷
- جدول ۲-۵: انواع داده های Hinode/SOT بر حسب سطح ۳۹
- جدول ۲-۶: انواع داده های SOT بر حسب نوع رصد ۳۹
- جدول ۴-۱: تقسیم بندی کل خال ها بر اساس وضعیت شکافت/ ادغام و مرکزی/محیطی بودن ۵۲

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱: نمونه ای از یک لکه خورشیدی که در طول موج ۴۳۰۵ آنگستروم G-Band به دست آمده است. ۱۱
- شکل ۲-۱: نمودار پروانه ای فعالیت خورشیدی. ۱۳
- شکل ۳-۱: نمودار توزیع فراوانی مساحت سایه برای مجموعه داده ای شامل ۲۴۶۱۵ خال سایه ای. ۱۵
- شکل ۴-۱: سرعت خط دید پلاسما برای یک خال مرکزی. ۲۲
- شکل ۵-۱: سرعت خط دید پلاسما برای یک خال محیطی. ۲۳
- شکل ۲-۱: طراحی از مجموعه ی تلسکوپ اپتیکی SOT (OTA) ۲۸
- شکل ۲-۲: طرح واره ی اپتیکی ابزارهای OTA . FPP از آینه های اولیه و ثانویه ، CLV ، PMV ، TTM تشکیل شده است. ۲۹
- شکل ۲-۳: میدان دید BFI روی یک مگنتوگرام از قرص کامل خورشید گرفته شده توسط SOHO / MDI ۳۲
- شکل ۲-۴: میدان دید NFI روی یک مگنتوگرام از قرص کامل خورشید ثبت شده توسط (SOHO/MDI) ۳۵
- شکل ۳-۱: مثالی از روش ردیابی چند آستانه ای با انتخاب چهار آستانه ی شدت به کار گرفته شده برای یک نمونه نمودار شدت. ۴۳
- شکل ۳-۲: تعیین مرز خال های سایه ای در روش ردیابی چند آستانه ای ۴۳
- شکل ۳-۳: نمایش قطعه بندی تصویر در روش گسترش مرز. ۴۵
- شکل ۳-۴: نمودار فرضی برای تعیین تقعر. ۴۶
- شکل ۳-۵: فراوانی شدت تمام خانه های درخشان در یک تصویر قطعه بندی شده از سری زمانی. ۴۷
- شکل ۳-۶: نوار مرزی تعیین شده به منظور تعیین خال های محیطی و مرکزی ۵۰
- شکل ۴-۱: نمودار فراوانی مساحت لحظه ای خال های به دست آمده از قطعه بندی ای که در مرحله ی تعیین تقعر برای مسیر های افقی و عمودی سه خانه ی انتخابی یک در میان و برای مسیرهای مورب خانه ی مجاور _ بدون فاصله _ در نظر گرفته شود (خط پر) و خال های به دست آمده از قطعه بندی ای که در مرحله ی تعیین تقعر برای هر دو مسیر ۲ خانه در نظر گرفته شود (خط نقطه). ۵۳
- شکل ۴-۲: نمودار فراوانی مساحت لحظه ای خال های به دست آمده از قطعه بندی ای که در مرحله ی تعیین تقعر برای مسیر های افقی و عمودی سه خانه ی انتخابی با فاصله سه خانه از یکدیگر و برای مسیرهای مورب ۲ خانه ی مجاور در نظر گرفته شود (خط پر) و خال های به دست آمده از قطعه بندی ای که در مرحله ی تعیین تقعر برای هر دو مسیر ۳ خانه در نظر گرفته شود (خط نقطه). ۵۴
- شکل ۴-۳: تقسیم بندی خال ها به سه دسته بر اساس شدت و موقعیت مکانی آنها. ۵۵
- شکل ۴-۴: تقسیم بندی خال ها به دو دسته محیطی و مرکزی و موقعیت مکانی آنها. ۵۶
- شکل ۴-۵: نمایش تقسیم بندی خال ها بر اساس مساحت متوسط در طول عمرشان بر روی زمینه سایه. ۵۷
- شکل ۴-۶: نمایش تقسیم بندی خال ها بر اساس میانگین تندی لحظه ای بر روی زمینه سایه ۵۸

- شکل ۴-۷: نمایش تقسیم بندی خال ها بر اساس طول عمر بر روی زمینه سایه..... ۵۹
- شکل ۴-۸: نمایش تحول یک خال که پس از یک شکافت دچار شکافت دیگری می شود..... ۶۰
- شکل ۴-۹: نمایش موقعیت خالی که تحول آن در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است..... ۶۱
- شکل ۴-۱۰: تحول خالی که نه محصول شکافت است و نه ادغام و به شکافت منجر می شود..... ۶۲
- شکل ۴-۱۱: موقعیت مکانی خالی که در شکل ۴-۱۰ تحول آن نمایش داده شده است..... ۶۳
- شکل ۴-۱۲: نمونه ای از تحول یک خال. یک ادغام و یک شکافت پیاپی..... ۶۴
- شکل ۴-۱۳: مکان و مسیر خالی که در شکل ۴-۱۲ تحول آن نشان داده شده است..... ۶۴
- شکل ۴-۱۴: تحول خالی که پس از جدا شدن از خالی دیگر (تصویر چهارم) دچار ادغام با خال دیگری می شود..... ۶۵
- شکل ۴-۱۵: مسیر و موقعیت خالی که تحول آن در شکل ۴-۱۴ نمایش داده شده است..... ۶۶
- شکل ۴-۱۶: نمودار فراوانی نسبی درخشندگی لحظه ای کل خال های ردیابی شده..... ۶۶
- شکل ۴-۱۷: نمودار فراوانی نسبی مساحت لحظه ای کل خال های ردیابی شده..... ۶۷
- شکل ۴-۱۸: نمودار فراوانی نسبی تندی لحظه ای کل خال های ردیابی شده..... ۶۷
- شکل ۴-۱۹: نمودار فراوانی نسبی طول عمر کل خال های ردیابی شده..... ۶۸
- شکل ۴-۲۰: نمودار فراوانی نسبی درخشندگی لحظه ای کل خال ها (نقطه چین)، خال های مرکزی (خط پُر سیاه) و خال های محیطی (خط پُر طوسی)..... ۶۹
- شکل ۴-۲۱: نمودار فراوانی نسبی مساحت لحظه ای کل خالها (خط چین)، خال های مرکزی (خط پُر سیاه) و محیطی (خط پُر طوسی)..... ۶۹
- شکل ۴-۲۲: نمودار فراوانی نسبی تندی لحظه ای کل خال ها (نقطه چین)، خال های مرکزی (خط پُر سیاه) و محیطی (خط پُر طوسی)..... ۷۰
- شکل ۴-۲۳: نمودار فراوانی نسبی طول عمر کل خال ها (نقطه چین)، خال های مرکزی (خط پُر سیاه) و محیطی (خط پُر طوسی)..... ۷۰
- شکل ۴-۲۴: الف) نمودار فراوانی سرعت میانگین الف. ب) نمودار فراوانی سرعت میانگین ب برای کل خال ها (نقطه چین)، خال های مرکزی (خط پُر سیاه) و خال های محیطی (خط پُر طوسی)..... ۷۱
- شکل ۴-۲۵: نمودار درخشندگی و مساحت یک خال بر حسب زمان در طول عمرش..... ۷۲
- شکل ۴-۲۶: نمودار فراوانی نسبی کمیت فاصله زمانی بین بیشینه شدن مساحت و بیشینه شدن شدت برای کل خال ها (خط پُر) و خال های مختل نشده (خط چین). در محور عمودی فراوانی ها به مجموع کل فراوانی ها یکه شده اند..... ۷۳
- شکل ۴-۲۷: نمودار فراوانی نسبی کمیت فاصله زمانی بین بیشینه شدن مساحت و بیشینه شدن شدت برای خال های مرکزی (خط پُر) و خال های محیطی (خط چین)..... ۷۳
- شکل ۴-۲۸: نمودار فراوانی نسبی کمیت فاصله زمانی بین بیشینه شدن مساحت و بیشینه شدن شدت برای کل خال ها (خط پُر) و خال های مختل نشده (خط چین) ردیابی شده از لکه دوم مورد بررسی..... ۷۴
- شکل ۴-۲۹: نمودار فراوانی نسبی کمیت فاصله زمانی بین بیشینه شدن مساحت و بیشینه شدن شدت برای خال های مرکزی (خط پُر) و خال های محیطی (خط چین) ردیابی شده از لکه دوم مورد بررسی..... ۷۴
- شکل ۴-۳۰: فراوانی $R_{e/f}$ (خط پُر) و $R_{max/f}$ (نقطه خط) برای الف) خال های مرکزی و ب) خال های محیطی که نه محصول ادغامند و نه شکافت اما دچار شکافت شده اند..... ۷۶

- شکل ۴-۳۱: فراوانی $R_{e/f}$ (خط پُر) و $R_{max/f}$ (نقطه خط چین) برای کل خال هایی که نه محصول ادغامند و نه شکافت، اما دچار شکافت شده اند. ۷۶
- شکل ۴-۳۲: نسبت $R_{e/f}$ بر حسب $R_{max/f}$ (الف) خال های مرکزی (ب) خال های محیطی که نه محصول شکافت اند و نه ادغام، اما به شکافت منجر می شوند. ۷۷
- شکل ۴-۳۳: نسبت $R_{e/f}$ بر حسب $R_{max/f}$ برای کل خال هایی که نه محصول شکافت اند و نه ادغام اما به شکافت منجر می شوند. ۷۷
- شکل ۴-۳۴: فراوانی $R_{e/f}$ (خط پُر) و $R_{max/f}$ (نقطه خط) برای الف) خال های مرکزی و ب) خال های محیطی که محصول شکافت اند و دوباره دچار شکافت شده اند. ۷۸
- شکل ۴-۳۵: فراوانی $R_{e/f}$ (خط پُر) و $R_{max/f}$ (نقطه خط) برای کل خال هایی که محصول شکافت اند و دوباره دچار شکافت شده اند. ۷۸
- شکل ۴-۳۶: نسبت $R_{e/f}$ بر حسب $R_{max/f}$ (الف) خال های مرکزی (ب) خال های محیطی که خود محصول شکافت اند و به شکافت نیز منجر می شوند. ۷۹
- شکل ۴-۳۷: نسبت $R_{e/f}$ بر حسب $R_{max/f}$ برای کل خال هایی که خود محصول شکافت اند و به شکافت نیز منجر می شوند. ۷۹
- شکل ۴-۳۸: فراوانی $R_{e/f}$ (خط پُر) و $R_{max/f}$ (نقطه خط) برای الف) خال های مرکزی و ب) خال های محیطی که محصول ادغام اند و دچار شکافت شده اند. ۸۰
- شکل ۴-۳۹: فراوانی $R_{e/f}$ (خط پُر) و $R_{max/f}$ (نقطه خط) برای کل خال هایی که محصول ادغام اند و دچار شکافت شده اند. ۸۰
- شکل ۴-۴۰: نسبت $R_{e/f}$ بر حسب $R_{max/f}$ (الف) خال های مرکزی (ب) خال های محیطی که خود محصول ادغام اند و به شکافت منجر می شوند. ۸۱
- شکل ۴-۴۱: نسبت $R_{e/f}$ بر حسب $R_{max/f}$ برای کل خال هایی که خود محصول ادغام اند و به شکافت منجر می شوند. ۸۱
- شکل ۴-۴۲: فراوانی $R_{e/f}$ (خط پُر) و $R_{max/f}$ (نقطه خط) برای خال های مختل نشده الف) مرکزی و ب) محیطی. ۸۲
- شکل ۴-۴۳: فراوانی $R_{e/f}$ (خط پُر) و $R_{max/f}$ (نقطه خط) برای کل خال های مختل نشده. ۸۲
- شکل ۴-۴۴: نسبت $R_{e/f}$ بر حسب $R_{max/f}$ برای خال های مختل نشده الف) مرکزی و ب) محیطی. ۸۳
- شکل ۴-۴۵: نسبت $R_{e/f}$ بر حسب $R_{max/f}$ برای کل خال های مختل نشده. ۸۳
- شکل ۴-۴۶: نمودار نسبت $R_{e/f}$ بر حسب $R_{max/f}$ برای کل خال هایی که نه محصول شکافت اند و نه ادغام و به شکافت منجر می شوند از لکه دوم. ۸۴
- شکل ۴-۴۷: نمودار نسبت $R_{e/f}$ بر حسب $R_{max/f}$ برای کل خال هایی که محصول شکافت اند و به شکافت منجر می شوند از لکه دوم. ۸۴
- شکل ۴-۴۸: نمودار نسبت $R_{e/f}$ بر حسب $R_{max/f}$ برای کل خال هایی که محصول ادغام اند و به شکافت منجر می شوند از لکه دوم. ۸۵
- شکل ۴-۴۹: نمودار نسبت $R_{e/f}$ بر حسب $R_{max/f}$ برای کل خال های مختل نشده از لکه دوم. ۸۵
- شکل ۴-۵۰: فراوانی طول عمر خال های سایه ای مختل نشده (خط پُر سیاه). ۸۶
- شکل ۴-۵۱: نمودار لگاریتم طبیعی تعداد خالهای مرکزی مختل نشده که همزمان زنده اند. ۸۷
- شکل ۴-۵۲: نمودار لگاریتم طبیعی تعداد خالهای محیطی مختل نشده که همزمان زنده اند. ۸۸
- شکل ۴-۵۳: نمودار لگاریتم طبیعی تعداد خالهای مرکزی مختل نشده که همزمان زنده اند (مربوط به داده دوم). ۸۹
- شکل ۴-۵۴: نمودار لگاریتم طبیعی تعداد خالهای محیطی مختل نشده که همزمان زنده اند (مربوط به داده ی دوم). ۸۹

- شکل ۴-۵۵: نمودار فراوانی نسبی مساحت لحظه ای برای کل خال های مختل نشده. (ب) نمودار فراوانی نسبی مساحت میانگین برای کل خال های مختل نشده. ۹۰
- شکل ۴-۵۶: نمودار فراوانی نسبی درخشندگی لحظه ای (ب) نمودار فراوانی نسبی درخشندگی میانگین برای کل خال های مختل نشده. ۹۰
- شکل ۴-۵۷: فراوانی نسبی شدت لحظه ای (ب) فراوانی نسبی شدت میانگین سایه ی زمینه در محل هر خال. ۹۱
- شکل ۴-۵۸: فراوانی نسبی نسبت شدت لحظه ای هر خال به شدت سایه زمینه اش و (ب) فراوانی نسبی نسبت شدت میانگین هر خال به شدت سایه زمینه اش. ۹۱
- شکل ۴-۵۹: نمودار پراکندگی شدت هر خال بر حسب شدت سایه ی زمینه محل آن. ۹۲
- شکل ۴-۶۰: نمودار فراوانی نسبی تندی لحظه ای در هر تصویر، (ب) نمودار فراوانی نسبی میانگین تندی لحظه ای برای خال های مختل نشده. ۹۲
- شکل ۴-۶۱: نمودار فراوانی نسبی سرعت میانگین الف (ب) نمودار فراوانی نسبی سرعت میانگین ب برای خال های مختل نشده. ۹۳
- شکل ۴-۶۲: نمودار پراکندگی سرعت میانگین الف بر حسب سرعت میانگین ب برای خالهای مختل نشده. ۹۳
- شکل ۴-۶۳: نمودار پراکندگی میانگین مساحت بر حسب طول عمر برای خال های مختل نشده. ۹۴
- شکل ۴-۶۴: نمودار میانگین تندی لحظه ای بر حسب طول عمر برای خال های مختل نشده. ۹۴
- شکل ۴-۶۵: نمودار پراکندگی میانگین درخشندگی بر حسب طول عمر برای کل خال های مختل نشده. مساحت کمتر (بیشتر) از ۰.۵ ر. ثانیه قوس مربع با علامت مثلث (بعلاوه) نشان داده شده است. ۹۵
- شکل ۴-۶۶: نمودار میانگین تندی لحظه ای بر حسب میانگین شدت برای خال های مختل نشده. ۹۵
- شکل ۴-۶۷: نمودار بیشینه ی مساحت بر حسب بیشینه ی شدت برای خال های مختل نشده. خال هایی که طول عمر کمتر (بیشتر) از ۱۰ دقیقه دارند با نماد مثلث (بعلاوه) نمایش داده شده اند. ۹۶
- شکل ۴-۶۸: نمودار میانگین مساحت بر حسب میانگین تندی لحظه ای برای خال های مختل نشده. ۹۶
- شکل ۴-۶۹: نمودار میانگین شدت بر حسب الف (سرعت میانگین الف ب) سرعت میانگین ب. ۹۷
- شکل ۴-۷۰: نمودار میانگین مساحت بر حسب الف (سرعت میانگین الف ب) سرعت میانگین ب. ۹۷
- شکل ۴-۷۱: نمودار میانگین تندی لحظه ای بر حسب الف (سرعت میانگین الف ب) سرعت میانگین ب. ۹۸
- شکل ۴-۷۲: مسیر حرکت خال های مختل نشده با مساحتی بیشتر از ۱۷ خانه. ۹۹
- شکل ۴-۷۳: مسیر حرکت خال های مختل نشده با مساحتی کمتر از ۱۷ خانه. ۹۹
- شکل ۴-۷۴: مسیر حرکت خال های مختل نشده با جابجایی بیشتر از ۱۵۰ کیلومتر. ۱۰۰
- شکل ۴-۷۵: مسیر حرکت خال های مختل نشده با جابجایی کمتر از ۱۵۰ کیلومتر. ۱۰۰
- شکل ۴-۷۶: مسیر حرکت روشنترین خال ها (با درخشندگی بیش از ۰.۳ شدت شیدسپهر آرام). ۱۰۱
- شکل ۴-۷۷: نمودار میانگین شدت بر حسب طول عمر برای خال های مختل نشده مرکزی (نماد مثلث) و محیطی (نماد ستاره). ۱۰۱
- شکل ۴-۷۸: نمودار میانگین مساحت بر حسب طول عمر برای خال های مختل نشده مرکزی (نماد مثلث) و محیطی (نماد ستاره). ۱۰۲
- شکل ۴-۷۹: نمودار تندی لحظه ای بر حسب طول عمر برای خال های مختل نشده مرکزی (نماد مثلث) و محیطی (نماد ستاره). ۱۰۲

شکل ۴-۸۰: نمودار الف) سرعت میانگین الف ب) سرعت میانگین ب بر حسب طول عمر برای خال های مختل نشده مرکزی (نماد مثلث) و محیطی (نماد ستاره). ۱۰۳

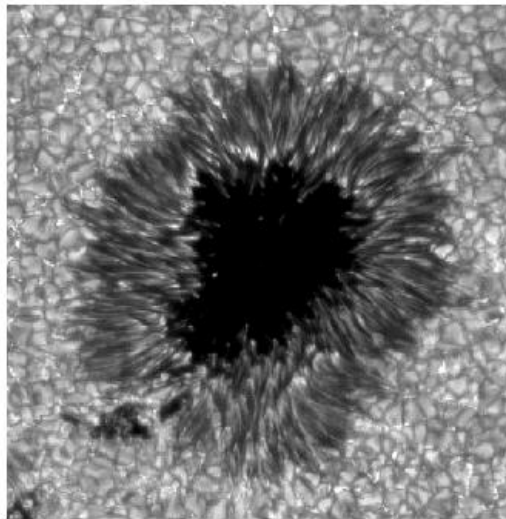
شکل ۴-۸۱: نمودار جابجایی مکان تولد تا مکان مرگ بر حسب طول عمر برای خال های مختل نشده مرکزی (نماد مثلث) و محیطی (نماد ستاره). ۱۰۳

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

لکه های خورشیدی^۱ ساختارهای مغناطیسی هستند که روی سطح خورشید، تاریک ظاهر می شوند. هر لکه خورشیدی توسط یک بخش مرکزی تاریک به نام سایه^۲ و یک هاله روشن تر به نام نیم سایه^۳ مشخص می شود. وجود نیم سایه، لکه^۴ ها را از لک^۵ های کوچکتر معمول متمایز می کند. عکسی از یک لکه خورشیدی که در طول موج ۴۳۰۵ آنگستروم G-Band به دست آمده در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: نمونه ای از یک لکه خورشیدی که در طول موج ۴۳۰۵ آنگستروم G-Band به دست آمده است.

مشاهداتی با چشم غیر مسلح از لکه ها از تمدن های بسیار دور ثبت شده است. به خصوص در چین باستان، اسنادی از رصدهای بسیار ناکامل نگهداری می کردند که به ۲۰۰۰ سال پیش برمی گردد. به هر حال کشف مجدد لکه ها توسط گالیله^۶، شینر^۷ و دیگران حدود سال ۱۶۱۱، به کمک تلسکوپ

¹ sunspots
² umbra
³ penumbra
⁴ spot
⁵ pore
⁶ Galilei
⁷ Scheiner

تازه اختراع شده، نشانی از آغاز مطالعه خورشید بود. در طول سالیان، نظریه های رایج توصیف کننده ماهیت لکه ها، دستخوش تجدید نظرهای بسیاری شده است.

کشف اثر ویلسون در ۱۷۶۹ به طور کامل تصور رایج از ساختار خورشید را، حداقل به طور موقت تغییر داد. از آنجا که لکه تاریک به نظر می رسید، اثر ویلسون توضیح می داد که لکه ها نسبت به نقاط دیگر سطح خورشید در لایه های عمیق تری واقع شده اند. لذا برای مدت زیادی اعتقاد بر این بود که داخل خورشید (در مقایسه با شیدسپهر روشن خارج لکه) تاریکی مطلق و بنابراین سرد است.

پیشرفت فهم ما از ماهیت لکه ها در ۱۹۰۸ به دست آمد، وقتی جورج الری هال^۱، وجود یک میدان مغناطیسی را در لکه ها اثبات کرد، [۱۴]. از آن پس میدان مغناطیسی به عنوان دلیل ریشه ای پدیده ی لکه ها پذیرفته شد.

۱-۱- موقعیت و تحول

تعداد لکه ها در طول چرخه ی خورشیدی تغییر می کند، [۱۷]، همانطور که اولین بار توسط هاینریش شوابه^۲ در ۱۸۴۳، [۲۹] کشف شد. زمان هایی نزدیک کمینه فعالیت خورشیدی وجود دارد که یک لکه هم در قرص خورشیدی وجود ندارد. در حالی که وجود ۱۰ لکه خورشیدی یا بیشتر در بیشینه ی فعالیت خورشیدی غیرمعمول نیست. بعدها، مشاهدات منظم روزانه از قرص خورشیدی با هدف شمارش تعداد لکه ها توسط رادولف ولف^۳ آغاز شد. به این ترتیب رابطه ای را برای شمارش تعداد لکه ها (که عدد زوریخ^۴ یا عدد ولف^۵ هم می نامند) معرفی کرد. اخیراً، در یک نمونه ی تا حد قوی تر، تعداد گروه لکه ها توسط هویت و شاتن^۶، [۱۸] معرفی شد.

لکه های خورشیدی همیشه درون مناطق فعال واقع اند که نوعاً یک ساختار مغناطیسی دوقطبی دارند. لکه ها، عموماً به کمربند فعالیت محدود می شوند که به عرض 40° در هر طرف استوای خورشیدی می رسد. عرض (جغرافیایی) مکان شکل گیری لکه ها در چرخه فعالیت خورشیدی تغییر می کند. لکه ها در ابتدای یک چرخه در عرض های جغرافیایی بالا (حدود 40°) ظاهر می شوند. در طول چرخه لکه های جدید در عرض های جغرافیایی پایین تر ظاهر می شوند به طوری که آخرین لکه های یک چرخه نزدیک استوا واقع اند. این رفتار اولین بار توسط کارینگتون^۷ مورد توجه واقع شد، [۷] و با نمودار معروف به نمودار پروانه ای می تواند به تصویر کشیده شود. چنین نموداری در شکل ۱-۲ رسم شده است. این حقیقت که لکه ها محدود به عرض های جغرافیایی پایین اند (ناحیه ی $40^{\circ} \pm$) و نیز اینکه عرض جغرافیایی قطب دنباله رو در یک ناحیه فعال نسبت به قطب پیشرو آن

¹ George Ellery Hale

² Heinrich Schwabe

³ Rudolf Wolf

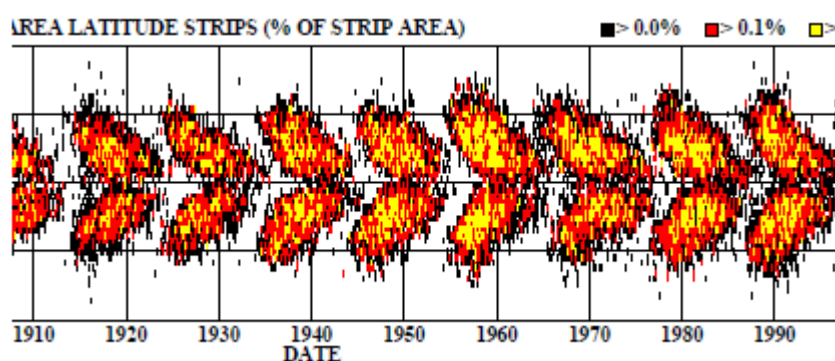
⁴ Zurich number

⁵ Wolf number

⁶ Hoyt & Schatten

⁷ Carrington

بیشتر است (قانون جوی^۱) می تواند توسط یک مدل نظری بازتولید شود. به این ترتیب لکه ها و مناطق فعال میزبان آن ها توسط خروج یک لوله شار مغناطیسی از سطح خورشیدی شکل گرفته اند. پیشنهاد شده که نزدیک سطح خورشیدی، این لوله شار به لوله های کوچکتر بسیاری شکسته می شود. بزرگترین لوله های شار لکه ها را تشکیل می دهند (به طور مثال رجوع شود به [۴۰]). لکه مرئی سطح مقطع این لوله شار با سطح خورشید است. زیرساخت سطح مقطع های این لوله ی شار تصور می شود که زیر منطقه همرفت شکل گرفته است. جایی که شدت میدان از مرتبه ی 10^4 گاوس است.



شکل ۲-۱: نمودار پروانه ای فعالیت خورشیدی: محور افقی زمان و محور عمودی عرض جغرافیایی خورشید را نشان می دهد.

لکه های خورشیدی قلب یک منطقه فعال را شکل می دهند. معمولاً یک عدم تقارن بین قطب های پیشرو و دنباله رو وجود دارد، به طوری که قطب دنباله رو معمولاً بیشتر حجم لکه را در بر دارد، در حالی که در برخی موارد، قطب دنباله رو ممکن است شامل حجمی مساوی لکه باشد. لکه ها و به خصوص گروه های لکه ای طبق ریخت ظاهری شان طبقه بندی می شوند، [۳۵].

شکل گیری لکه ها ذاتاً مربوط به شکل گیری مناطق فعال است. وقتی میزان شار مغناطیسی در حال افزایش است، لک ها شروع به شکل گیری می کنند. بعداً این لک ها رشد کرده و در همان زمان به سمت هم حرکت می کنند و یکپارچه می شوند، به این ترتیب یک لکه بزرگ را شکل می دهند. اغلب لکه های خورشیدی کوچکتر نیز به هم می پیوندند و لکه های بزرگتر را شکل می دهند. در رصدهایی دیده شده است که یک لکه بزرگ یک حافظه از تکه های اصلی تشکیل دهنده اش را نگه می دارد و نهایتاً دوباره به همان ها شکسته می شود، [۳۵] این مشاهدات مدل خوشه ای پارکر، [۳۵] را تأیید می کند [رجوع شود به فصل های بعد]. مقیاس زمانی برای تشکیل لکه خورشیدی بزرگ بین چند ساعت تا چند روز است. یک نظر این است که یکپارچه شدن لوله های شار کوچکتر به لکه های خورشیدی

¹ Joy