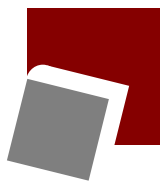


وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه  
گاوزنگ - زنجان



# نوسان های آرام مغناطوهیدرو دینامیکی تاج خورشید

پایان نامه دکتري

عباس عابدینی

استاد راهنما: دکتر حسین صفری  
دکتر سعداله نصیری قیداری

۲۵ شهریور ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به

پدر و مادرم که وجودم جز مدیه وجودشان  
نیست. همسر مهربانم، که سایه مهربانش  
سایه سار زندگیم و فرزندانم که زیبایی  
زندگیم مدیون حضور سبز آنهاست.

# شکر و قدردانی

از استاد عزیزم جناب آقای دکتر حسین صفری بخاطر زحمات و راهنماییهای ارزشمندشان بسیار سپاسگزارم و از خداوند بزرگ برای ایشان آرزوی سلامتی و موفقیت مسئلت می نمایم.

در طول دوره دکترا و همچنین دوره کارشناسی ارشد همواره از حمایت ها و راهنماییهای استاد ارجمندم جناب آقای دکتر سعداله نصیری قیداری برخوردار بودم. بخاطر همه این زحمات و خوبیها از ایشان سپاسگزارم.

از دوستان عزیزم آقایان جواهریان، برجی، فرزادیان، دکتر مجتبی نصیری زرنندی و عابدی و خانمها تاران، قنبرزاده، فرهنگ، مردمی، جباری و بازرگان به دلیل مشورتهای و کمک های دوستانه و بی دریغشان تقدیر و تشکر می نمایم.

در پایان از تمامی کارکنان دانشگاه علوم پایه زنجان از جمله کتابخانه، آموزش، سلف سرویس، سایت کامپیوتر آقایان ریاحی، ثبوتی و خانمها غفرانی و میهن پرست بخاطر همکاریهای صمیمانه شان کمال تشکر را دارم.

## چکیده

در این رساله، نوسانات آرام پلاسمای تاج مطالعه می شود. اثر غیر یکنواختی میدان مغناطیسی و غیر همگنی دما روی وجوه نوسانی آرام حلقه های تاج مورد بررسی قرار می گیرد. حلقه های تاج خورشید بصورت لوله های شار پلازما با بتای کم با میدان مغناطیسی غیر یکنواخت با لایه بندی چگالی در امتداد میدان مغناطیسی در نظر گرفته می شوند. معادلات مغناطو هیدرو دینامیکی خطی شده در شرایط بتای کم به معادله کلاین- گوردون تبدیل می شوند. معادله کلاین - گوردون با در نظر گرفتن شرایط مرزی مناسب برای شرایط مختلف بصورت تحلیلی و عددی حل می شود. نتایج حاصل از معادله نشان می دهند فرکانسها و نسبت آنها برای امواج مغناطو هیدرو دینامیکی آرام تابع حساسی نسبت به شیب دما و ارتفاع مقیاس فشار است. ولی با تغییر ضریب غیر همگنی میدان مغناطیسی فرکانسها و نسبت آنها به آرامی تغییر می کنند برای مثال با افزایش ضریب غیر همگنی میدان مغناطیسی به حداکثر مقدار خودش فرکانس ها کمتر از ۱۰ درصد تغییر می کنند. در ادامه، تاج خورشید بصورت یک محیط مغناطیده و به شکل نیم دایره که میدان گرانش بر امتداد آن تصویر شده گرفته شده و منابع گرمایش و سرمایش تاج مثل تابش، رسانش و ویسکوزیته نیز به مدل اضافه می شود. معادلات مغناطو هیدرو دینامیکی خطی شده به یک معادله دیفرانسیل مرتبه چهار از سرعت اختلالی تبدیل می شوند. معادله حاصل با اعمال شرایط مرزی مناسب برای شرایط مختلف در حضور عوامل اتلاف انرژی حل می شوند. از جوابهای معادله معلوم می شود شیب دمای باعث کاهش فرکانس ها و نسبت آنها در مقایسه با حالت همدمای می شود ولی نسبت فرکانس ها در مقایسه با خود فرکانس ها حساسیت بیشتری به شیب دما دارند. تابش تاثیر چندانی روی فرکانس های نوسانی و میرایی حلقه های نوسانی ندارد ولی رسانش و ویسکوزیته تاثیر زیادی روی فرکانس های نوسانی و میرایی دارند. رسانش عامل اصلی در

تغییر فرکانس ها و ویسکوزیته عامل اصلی میرایی حلقه های نوسانی است. نتایج حاصل از لوله های شار غیر همدمما در حضور رسانش و یا ویسکوزیته در یک بازه معین با مشاهدات سازگار است ولی با ترکیب هر دو عامل رسانش و ویسکوزیته جوابها در بازه وسیعتری با مشاهدات سازگارند. در انتها، نوسان آرام از تصاویر فرابنفش دور تلسکوپ اس دی او استفاده می شود پیوندهای نوسانی وجوه آرام بین ۱- ۱۷ دقیقه و زمان میرایی حدود ۳۰ دقیقه استخراج می شوند.

**واژه‌های کلیدی:** خورشید، تاج و وجوه نوسانی آرام

# فهرست

پنج	چکیده	.....
۱	پیش‌گفتار	.....
۵	مروری بر خورشید	۱
۵	۱.۱ مقدمه	.....
۶	۲.۱ ساختار درونی خورشید	.....
۹	۳.۱ ساختار بیرونی خورشید	.....
۹	۱.۳.۱ جو درونی خورشید	.....
۱۱	۲.۳.۱ جو بیرونی خورشید	.....
۱۶	۴.۱ نوسانات خورشید	.....
۱۷	۵.۱ معادلات مغناطو هیدرو دینامیکی	.....
۱۸	۱.۵.۱ معادلات ماکسول	.....
۲۰	۲.۵.۱ معادلات هیدرو دینامیکی سیالات	.....
	۳.۵.۱ معادلات مغناطو هیدرو دینامیکی و تقریب‌های قابل قبول آن در جو خورشید	.....
۲۱	.....	.....
۲۲	۴.۵.۱ امواج مغناطو هیدرو دینامیک	.....

۲۲	سرعت امواج مغناطو هیدرو دینامیک	۵.۵.۱
۲۴	پارامتر بتای پلاسمای خورشید	۶.۵.۱
۲۴	معادلات خطی شده مغناطو هیدرو دینامیک	۷.۵.۱
۲۹	مشاهده امواج مغناطو هیدرو دینامیک سریع	۸.۵.۱
۳۰	مشاهده امواج مغناطو هیدرو دینامیک آرام	۹.۵.۱
۳۳	۲ اثر غیریکنواختی میدان مغناطیسی روی وجوه نوسانی آرام تاج	
۳۳	مقدمه	۱.۲
۳۵	توصیف مدل و معادلات	۲.۲
۳۸	حل معادله دیفرانسیل ۹.۲	۳.۲
۳۸	نوسانات یک حلقه تاج بی درو	۱.۳.۲
	لوله های شار با میدان مغناطیسی غیر یکنواخت که پایه های آن بطور	۲.۳.۲
۴۰	محدود در رنگین سپهر فرورفته اند	
	تاثیر غیر یکنواختی دما بر وجوه نوسانی لوله های شار با سطح مقطع غیر	۳.۳.۲
۴۳	یکنواخت	
۴۷	نتیجه گیری	۴.۳.۲
۴۹	۳ نوسان و میرایی وجوه آرام حلقه های تاج داغ	
۴۹	مقدمه	۱.۳
۵۱	توصیف مدل و معادلات	۲.۳
۵۶	حل معادله ۲۳.۳	۳.۳
۵۶	پریود نوسانات در یک لوله تاج بی درو با لایه بندی چگالی و دما	۱.۳.۳
۵۷	نوسانات لوله شار در حضور تابش	۲.۳.۳
۵۹	نوسان و میرایی در حضور ویسکوزیته	۳.۳.۳



۶۲	نوسان و میرایی در حضور رسانش	۴.۳.۳
۶۴	پریود نوسانات در حضور رسانش، ویسکوزیته و تابش	۵.۳.۳
۶۴	نتیجه گیری	۴.۳
۶۷	مشاهده امواج مغناطوهیدرودینامیکی آرام با تجزیه تحلیل تصاویر تلسکوپ اس دی او	۴
۶۷	مقدمه	۱.۴
۶۸	تاریخچه کاوشگرهای فضایی خورشیدی	۲.۴
۷۴	اصول پردازش تصویر دیجیتال	۳.۴
۷۷	تجزیه و تحلیل تصاویر تلسکوپ اس دی او	۴.۴
۸۳	ضرایب معادله دیفرانسیل ۲۲.۳	آ

# لیست تصاویر

- ۱.۱ نمای از بخش های مختلف ساختار درون و جو خورشید. . . . . ۷
- ۲.۱ نمای از قسمت های مختلف لکه خورشیدی که اندازه آن با اندازه زمین مقایسه شده است. . . . . ۹
- ۳.۱ نحوه تغییر دما در رنگین سپهر و ناحیه گذار. . . . . ۱۰
- ۴.۱ راست) تاج در یک خورشید گرفتگی کامل گرفته شده توسط فرید اسپیناگ در ۱۹۹۸. چپ) تاج در طول موج ایکس نرم گرفته شده توسط فضا پیمایی یوهکو در ۱۹۹۲. . . . . ۱۲
- ۵.۱ سرعت فاز امواج مغناطو هیدرو دینامیکی بر حسب  $\theta$  برای حالت های مختلف . ۲۷
- ۶.۱ وجوه نوسانی سوسیسی و کینگ . . . . . ۲۹
- ۱.۲ نمای از مدل تعادلی لوله شار. همان طوریکه از شکل دیده می شود، لوله شار متقارن نسبت به راس، با میدان مغناطیسی غیر یکنواخت  $\vec{B} = (B_r(r, z), 0, B_z(r, z))$  که در آن چگالی در امتداد محور استوانه به طور نمای از راس به پایه کم می شود. طول کل لوله  $2l = 2(h + L)$  و  $2h$  بخشی از طول لوله فرورفته در پایه سرد رنگین سپهر است. . . . . ۳۶

- ۲.۲ نمودار پاشندگی وجوه نوسانی امواج ایستاده آگوستیک در یک لوله همدم با میدان مغناطیسی یکنواخت. در اینجا فرکانس به فرکانس قطع و طول حلقه به ارتفاع مقیاس فشار بی بعد شده است. خطوط توپر و گسسته به ترتیب نشاندهنده وجوه نوسانی زوج و فرد می باشد. . . . . ۳۹
- ۳.۲ تغییرات نسبی وجوه نوسانی  $(\omega_k(\eta) - \omega_k(\eta = 0))/\omega_k(\eta = 0)$  اول تا چهارم ناشی از غیر یکنواخت بودن میدان مغناطیسی نسبت به فرکانس لوله های شار با میدان یکنواخت بر حسب  $L/\Lambda_0$  در لوله های شار همدم با  $\eta = 0.7$ . ۴۱
- ۴.۲ نسبت فرکانس های نوسانی لوله های شار همدم  $\omega_2/2\omega_1$  و  $\omega_3/3\omega_1$  در لوله های شار با میدان مغناطیسی غیر یکنواخت و میدان میدان مغناطیسی یکنواخت بر حسب  $L/\Lambda_0$ . . . . . ۴۲
- ۵.۲ تغییرات نسبی وجوه نوسانی  $(\omega_k(\eta) - \omega_k(\eta = 0))/\omega_k(\eta = 0)$  اول و دوم در حضور میدان مغناطیسی غیر یکنواخت و پایه های محدود فرو رفته در رنگین سپهر بر حسب  $L/\Lambda_0$  رسم شده است. . . . . ۴۳
- ۶.۲ نسبت فرکانسهای نوسانی  $\omega_2/2\omega_1$  و  $\omega_3/3\omega_1$  در حضور میدان مغناطیسی غیر یکنواخت ( $\eta \neq 0$ ) با پایه های فرورفته در رنگین سپهر با  $h = 0.1L$  که بر حسب  $L/\Lambda_0$  رسم شده است. . . . . ۴۴
- ۷.۲ تغییر نسبی فرکانسها  $\Delta\omega_k/\omega_k(\eta = 0)$  برای وجوه نوسانی زوج ( $k = 1$ ) و فرد ( $k = 2$ ) بر حسب  $L/\Lambda_0$  با  $\eta$  و  $\lambda$  رسم شده است. در اینجا  $\Omega_{ch} = 10\Omega_c$ ،  $\Lambda_0 = \Lambda_0(0)$  و  $c_s = 150\text{ km s}^{-1}$  و  $g = 270\text{ m s}^{-2}$  گرفته شده است. . . . . ۴۵

- ۸.۲ رابطه پاشندگی برای وجوه نوسانی ایستاده لوله های شار همدم (  $\lambda \rightarrow 1$  ) و غیر همدم (  $\lambda = 10$  ) بازای  $\eta = 0.7$  برای وجوه نوسانی زوج و فرد باهم مقایسه شده اند. مقادیر عددی انتخابی برای کمیتها در اینجا مثل شکل ۷.۲ است. . . . . ۴۶
- ۹.۲ نسبت فرکانسهای نوسانی  $\omega_2/2\omega_1$  که بر حسب  $(L/\Lambda_0)$  برای مقادیر مختلف  $\lambda$  در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت (  $\eta = 0$  ) و غیر یکنواخت (  $\eta = 0.7$  ) رسم شده است. . . . . ۴۷
- ۱.۳ پریود های هماهنگ اصلی (ردیف اول)، پریودهای هماهنگ دوم (ردیف وسط) و نسبت پریود ها ( ردیف آخر) برحسب طول لوله شار، بازای  $T_{base}$  و  $\lambda$  های مختلف. ۵۶
- ۲.۳ پریود های هماهنگ اصلی (ردیف اول)، پریودهای هماهنگ دوم (ردیف وسط) و نسبت پریود ها (ردیف آخر) بازای  $T_{base}$  و  $\lambda$  های مختلف در حضور تابش و لایه بندی گرانشی برحسب طول لوله های شار رسم شده است. . . . . ۵۸
- ۳.۳ زمان میرایی نوسانات ( $\tau_d$ ) هماهنگهای اول و دوم برحسب دقیقه (ردیف اول)، و کیفیت میرایی ( $\tau_d/p$ ) (ردیف پایین) بازای  $T_{base}$  و  $\lambda$  های مختلف در حضور تابش و لایه بندی گرانشی بر حسب طول لوله شار رسم شده است. . . . . ۵۹
- ۴.۳ پریود های هماهنگ اصلی (ردیف اول)، پریودهای هماهنگ دوم (ردیف وسط) و نسبت پریود ها (ردیف آخر) بازای  $T_{base}$  و  $\lambda$  های مختلف در حضور ویسکوزیته و لایه بندی گرانشی برحسب طول لوله های شار رسم شده است. . . . . ۶۰
- ۵.۳ زمان میرایی نوسانات ( $\tau_d$ ) هماهنگهای اول و دوم برحسب دقیقه (ردیف اول)، و کیفیت میرایی ( $\tau_d/p$ ) (ردیف پایین) بازای  $T_{base}$  و  $\lambda$  های مختلف در حضور ویسکوزیته و لایه بندی گرانشی بر حسب طول لوله شار رسم شده است. . . . . ۶۱

- ۶.۳ پیرودهای هماهنگ اصلی (ردیف اول)، پیرودهای هماهنگ دوم (ردیف و سط) و نسبت پیرودها (ردیف آخر) بازای  $T_{base}$  و  $\lambda$  های مختلف در حضور رسانش گرمایی و لایه بندی گرانشی بر حسب طول لوله های شار رسم شده است. . . . . ۶۲
- ۷.۳ زمان میرایی نوسانات ( $\tau_d$ ) هماهنگهای اول و دوم بر حسب دقیقه (ردیف اول)، و کیفیت میرایی ( $\tau_d/p$ ) (ردیف پایین) بازای  $T_{base}$  و  $\lambda$  های مختلف در حضور رسانش گرمایی و لایه بندی گرانشی بر حسب طول لوله شار رسم شده است. . . . . ۶۳
- ۸.۳ پیرودهای هماهنگ اصلی (ردیف اول)، پیرودهای هماهنگ دوم (ردیف و سط) و نسبت پیرودها (ردیف آخر) بازای  $T_{base}$  و  $\lambda$  های مختلف در حضور تابش، ویسکوزیته، رسانش گرمایی و لایه بندی گرانشی بر حسب طول لوله های شار رسم شده است. . . . . ۶۵
- ۹.۳ زمان میرایی نوسانات ( $\tau_d$ ) هماهنگهای اول و دوم بر حسب دقیقه (ردیف اول)، و کیفیت میرایی ( $\tau_d/p$ ) (ردیف پایین) بازای  $T_{base}$  و  $\lambda$  های مختلف در حضور تابش، ویسکوزیته، رسانش گرمایی و لایه بندی گرانشی بر حسب طول لوله شار رسم شده است. . . . . ۶۶
- ۱.۴ نمای از ماهواره های استریو و مدار آنها . . . . . ۷۳
- ۲.۴ تصویر رنگی و کامل خورشید که در طول موج ۱۷۱ آنگستروم توسط اس دی او گرفته شده است. پیکان قرمز رنگ محل ناحیه فعال انتخاب شده را نمایش می دهد. ۷۹
- ۳.۴ بین دو خط زرد رنگ برای استخراج نوسان های آرام انتخاب شده است. . . . . ۸۰
- ۴.۴ محدوده انتخاب شده برای پردازش نقاط قرمز نشان دهنده خانه های انتخاب شده و خط مشکی نیمساز همان جهت انتشار موج طولی را نشان می دهد. . . . . ۸۰
- ۵.۴ تصویر فضا- زمان در راستای جهت انتشار امواج (امتداد نیمساز) قبل از اعمال صافی بازای  $t_0 = 36s$  و  $d_0 = 700Km$  . . . . . ۸۱

- ۶.۴ تصویر فضا- زمان در راستای جهت انتشار امواج (امتداد نیمساز) بعد از اعمال صافی بازای  $t_0 = 36s$  و  $d_0 = 70^{\circ}Km$  . . . . . ۸۱
- ۷.۴ نمودار دامنه بر حسب فرکانس حاصل از تبدیل فوریه، روی تصویر فضا- زمان، برای ۱۰۰ تصویر اس دی او که با فاصله زمانی ۳۶ ثانیه از هم گرفته شده اند. . ۸۲

## پیش‌گفتار

خورشید نزدیکترین ستاره به کره زمین است. شناخت دقیق از ساختار درون و جو خورشید و نحوه تحول آن باعث شناخت بهتر ما از ستاره‌های دور دست و کهکشانها می‌شود. روشهای مختلفی برای شناخت خورشید وجود دارد. یکی از این روشها لرزه‌نگاری خورشیدی<sup>۱</sup> است. خورشید در آن واحد میلیونها موج با فرکانس مختلف گسیل می‌کند که با تجزیه و تحلیل این امواج می‌توان به شناخت و درک بهتری از درون و جو خورشید دست یافت. در گذشته افراد مختلف با روش‌ها و ابزارهای متفاوت درون و جو خورشید را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در سال‌های اخیر با توسعه و پیشرفت کاوشگرهای زمینی و فضایی مجهز به دوربین‌های تصویر برداری با توان تفکیک بالا و طیف سنج‌های نوین، در طول موج‌های مرئی، ایکس، فرابنفش دور ( EUV<sup>۲</sup> ) و رادیویی، مشاهده امواج با فرکانس‌های مختلف و داده‌های مرتبط با فعالیت‌های سطح و جو خورشید بطور چشمگیری افزایش یافته است. خورشید از گاز پلاسمای داغ تشکیل شده است. سه روش عمده برای درک رفتار پلاسما و چگونگی تولید امواج توسط آن وجود دارد که عبارتند از: روش نظریه تعادل، روش نظریه مدار و روش تقریبی فرمول بندی معادلات مغناطو هیدرودینامیکی ( MHD<sup>۳</sup> ). این روش زمانی خوب است که مسافت آزاد میانگین ذرات گاز پلاسما در مقایسه با ابعاد مشخصه در سیستم پلاسما خیلی کوچک باشد. با توجه به اینکه در پلاسمای تاج خورشید مسافت آزاد میانگین ذرات خیلی کمتر از ابعاد مشخصه تاج می‌باشد در نتیجه حرکت دسته جمعی ذرات پلاسما و نوسانات آن به بهترین وجه در فرمول بندی مغناطو هیدرو دینامیکی قابل مطالعه است.

---

<sup>۱</sup> Helioseismology

<sup>۲</sup> Extreme-Ultraviolet (EUV)

<sup>۳</sup> Magnetohydrodynamics (MHD)

در سالهای آتی با دنبال کردن و بسط مشاهدات و نظریه نوسانات لوله پلاسمای غوطه ور در میدان مغناطیسی و میرایی آنها با شبیه سازی تاج در مدل‌های مختلف تحت تاثیر لایه بندی گرانشی، دما، میدان مغناطیسی و عوامل انرژی از قبیل رسانش گرمایی، ویسکوزیته و تابش روی نوسانات حلقه های تاج مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت [۱-۳۷].

برای نمونه، آفمن و وانگ در سال ۲۰۰۲ با حل عددی معادلات خطی شده مغناطو هیدرو دینامیک پی بردند در لوله های شار با لایه بندی گرانشی رسانش مهمترین عامل میرایی امواج در حلقه های تاج همدم است. همچنین آنها با بررسی اختلاف فاز  $\frac{\pi}{4}$  بین نوسان شدت و نوسانات دوپلری سرعت نتیجه گرفتند که این اختلاف فاز ناشی از امواج ایستاده آرام در حلقه های تاج هستند [۲۵] که قبلا ساکورایی و همکاران درباره امواج ایستاده ادعا کرده بودند [۳۱]. دیمورتل و وهود اثر هر دو کمیت رسانش گرمایی و ویسکوزیته بر نوسانات امواج رونده و ایستاده در حلقه های تاج همدم را مورد بررسی قرار دادند. آنها یک زمان میرایی کمینه در حضور رسانش پیدا کردند ولی نتیجه گرفتند برای توجیه میرایی قوی باید ویسکوزیته به مدل اضافه شود [۱۰]. مندوزا، ایردلی و سیگالوتی اثر لایه بندی حاصل از گرانش در حضور ویسکوزیته را روی نوسانات تاج مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان می داد لایه بندی ناشی از گرانش روی پریود نوسان تاثیر چندانی نمی گذارد ولی زمان میرایی را بین ۱۰ - ۲۰ درصد در مقایسه با لوله همگن مشابه کاهش می دهد [۲۲]. تارپون، و همکاران در ۲۰۰۵ اثر غیریکنواختی دما را در حضور تابش و رسانش مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند زمان میرایی متناسب با پریود نوسانات و رسانش عامل اصلی میرایی نوسانات است [۳۳]. رابرتس نشان داد اثر لایه بندی گرانشی روی پریود های نوسانی لوله های شار داغ کوچک است [۲۸]. پندی و دیودی نشان دادن رسانش گرمایی و ویسکوزیته به تنهای قادر به توجیه میرایی نوسانات نیستند. فقط با ترکیب این دو اثر نتایج با مشاهدات وفق می کنند [۲۷]. مک اوان و همکاران در سال ۲۰۰۶ با استفاده از یک لوله شار با سطح مقطع ثابت و با میدان مغناطیسی یکنواخت در حضور لایه بندی چگالی ناشی از گرانش و دمای متغیر در امتداد لوله شار با استفاده از معادلات خطی شده مغناطو هیدرو دینامیک به



معادله کلاین-<sup>۱</sup> برای امواج ایستاده رسیدند. آنها با فرضهایی از قبیل: نازک بودن لوله شار، شرط بتای کم و غیره با حل کردن معادله کلاین گوردون با اعمال شرایط مرزی متفاوت نتیجه گرفتند که لایه بندی طولی اثر قابل ملاحظه ای نسبت به لایه بندی شعاعی روی پریودهای نوسانی و نسبت پریودهای  $(P_1/2P_2)$  وجوه نوسانی آرام دارد. مکنامورا و رابرتس ۲۰۱۰ [۱۷] با بررسی و مطالعه اثر رسانش گرمایی و ویسکوزیته بر وجوه نوسانی حلقه همدمما نتیجه گرفتند، اثر رسانش گرمایی روی پریودهای نوسانی قابل اغماض است.

در این رساله با استفاده از معادلات مغناطو هیدرو دینامیکی، امواج مغناطو هیدرو دینامیکی ناشی از نوسان پلاسمای خورشیدی و عوامل موثر بر وجوه نوسانی امواج مغناطو هیدرو دینامیکی مورد مطالعه قرار گرفته و فصل های آن بصورت زیر سازمان یافته است. در فصل اول ابتدا خورشید بطور اجمالی معرفی و اهمیت مطالعه و تحقیق در زمینه خورشید ذکر می شود. سپس ساختار درونی و بیرونی خورشید و پدیده های خورشیدی توضیح داده می شود. در ادامه این فصل معادلات مغناطو هیدرو دینامیکی و تقریب های قابل قبول این معادلات برای توصیف رفتار پلاسمای خورشید ارائه می شود. در نهایت، نیرو های بوجود آورنده امواج مغناطو هیدرو دینامیکی، دسته بندی امواج مغناطو هیدرو دینامیکی به دو دسته سریع و آرام (از نظر سرعت فاز)، تاریخچه و نحوه مشاهده آنها بیان می شود. در فصل دوم تاج خورشید با لوله های شار با سطح مقطع غیر یکنواخت با لایه بندی چگالی مدل می شود. با فرض بی درو بودن لوله های شار، معادلات مغناطو هیدرو دینامیکی مختل و خطی سازی می شوند. با اتساع<sup>۲</sup> محور مختصات در امتداد لوله شار (به منظور غلبه نوسانات طولی بر نوسانات عرضی) معادلات مغناطو هیدرو دینامیکی به معادله کلاین-گوردون تبدیل می شوند. این معادله به صورت تحلیلی و عددی با اعمال شرایط مرزی مناسب برای لوله های شار مورد نظر حل شده و وجوه نوسانی آنها استخراج می شوند. تاثیر غیر یکنواختی میدان مغناطیسی، طول لوله های شار، عمق پایه های لوله

---

<sup>۱</sup> Klein-Gordon

<sup>۲</sup> Stretching

های شار فرورفته در لایه های سرد و چگال رنگین سپهر و غیر یکنواختی دما بر وجوه نوسانی این لوله ها و فرکانس قطع ظاهر شده در معادله کلاین-گوردون مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرند. در فصل سوم یک مدل واقعی تر برای بررسی وجوه نوسانی و میرایی حلقه های تاج داغ (با دمای بیش از ۶ میلیون درجه کلوین) در نظر گرفته می شود. بطوریکه در لوله های شار غیر همدمای علاوه بر لایه بندی گرانشی منابع گرمایش و سرمایش مثل تابش، رسانش و ویسکوزیته تراکمی نیز حضور دارند. معادلات مغناطو هیدرو دینامیکی مشابه فصل دوم مختل و خطی سازی می شوند. با ترکیب معادلات خطی شده یک معادله دیفرانسیل مرتبه چهار خطی برای سرعت اختلالی بدست می آید. معادله دیفرانسیل با اعمال شرایط مرزی مناسب ابتدا در حضور تک تک عوامل اتلاف انرژی و سپس در حضور ترکیبی از آنها بطور عددی حل و نتایج استخراج می شوند. در پایان این فصل نتایج حاصل از حل معادله دیفرانسیل با مقادیر مشاهداتی برای وجوه نوسانی و زمان میرایی مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند. در فصل چهارم ابتدا بطور خلاصه روش و مراحل پردازش تصاویر نجومی توضیح داده می شوند. در ادامه انواع صافی ها و طرز کار آنها معرفی می شوند. در انتها تصاویر حاصل از تلسکوپ اس دی او (SDO)<sup>۱</sup> مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته و پیوندهای نوسانی، زمان میرایی و طول میرایی امواج مغناطو آگوستیک آرام استخراج و با نتایج حاصل از مدل های نظری مقایسه شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند.

---

<sup>۱</sup> Solar Dynamics Observatory(SDO)

# فصل اول

## مروری بر خورشید

### ۱.۱ مقدمه

خورشید نزدیکترین ستاره به ماست که نور و گرمای حاصل از آن مایه حیات روی کره زمین است. خورشید ستاره ای از رشته اصلی با سن حدود ۴/۵ میلیارد سال با رده طیفی  $G_{\text{V}}$  دارای قدر مطلق  $+5$  و قدر ظاهری  $-26$  است. شعاع، جرم و تابندگی این کره غول پیکر که متشکل از گاز پلاسما است به ترتیب  $6/96 \times 10^5 \text{ Km}$ ،  $2 \times 10^30 \text{ Kg}$  و  $3/86 \times 10^{26} \text{ W}$  می باشد. خورشید از عناصر مختلف تشکیل شده است که فراوانی آنها در جدول ۱.۱ نشان داده شده است. خورشید پایدار امروزی در حال سوزاندن هیدروژن در مرکز خود است که با اتمام سوخت هیدروژنی و آغاز هلیوم سوزی به یک غول سرخ ناپایدار با درخشندگی زیاد تبدیل خواهد شد. در زمان هلیوم سوزی بادهای خورشیدی شدید از آن وزیدن گرفته و لایه های بیرونی آن به شکل سحابی سیاره ای به بیرون پرتاب خواهد شد و هسته ای تبهگن باقی مانده به یک کوتوله سفید تبدیل و بعد از مدتهای طولانی با ته کشیدن انرژی، به یک کوتوله سیاه کم فروغ تبدیل خواهد شد.

شناخت دقیق از ساختار درون و جو خورشید و نحوه تحول آن باعث شناخت بهتر ما از ستاره های دور دست و کهکشانها می شود. شکل ۱.۱ یک نمای کلی از ساختار درون و جو خورشید و بعضی از پدیده های خورشیدی را نمایش می دهد که در ادامه این فصل به اختصار توضیح داده می شوند

جدول ۱.۱: عناصر تشکیل دهنده خورشید و درصد فراوانی آنها

عنصر	در صد فراوانی (از کل اتمها)	در صد فراوانی (از جرم کل)
هیدروژن	۹۱/۲	۷۱
هلیوم	۸/۷	۲۷/۱
اکسیژن	۰/۰۷۸	۰/۹۷
کربن	۰/۰۴۳	۰/۴۰
نیتروژن	۰/۰۸۸	۰/۰۹۶۰
سلیکون	۰/۰۰۴۵	۰/۰۹۹
منیزیوم	۰/۰۰۳۸	۰/۰۷۶
نئون	۰/۰۰۳۵	۰/۰۵۸
آهن	۰/۰۰۳۰	۰/۱۴
سولفور	۰/۰۰۱۵	۰/۰۴۰

## ۲.۱ ساختار درونی خورشید

اگرچه داخل خورشید بطور مستقیم قابل مشاهده نیست ولی با روشهای مختلف از جمله اندازه گیری شار نوترینوها و لرزه نگاری خورشیدی حدس های هوشیارانه ای از ساختار و دینامیک درون خورشید بدست آمده است بطوریکه می توان فرض کرد درون خورشید مثل پیاز از لایه های متفاوت متحدالمرکز تشکیل شده که عبارتند از:

هسته: درونی ترین لایه ی خورشید شعاعی حدود  $R_{\text{cor}} = 0.25R_{\odot}$  دارد. در هسته همجوشی هسته ای هیدروژن رخ داده مقدار عظیمی از انرژی که حدود ۹۹٪ از کل انرژی مورد نیاز خورشید است، فراهم می شود. فشار گرمایی ناشی از واکنش هسته ای، به فشار گرانشی غلبه کرده و باعث پایداری آن می شود انرژی حاصل از واکنش هسته ای به آرامی از طریق پخش تابشی به بیرون نشت می کند.