



دانشگاه تبریز

دانشکده فیزیک

گروه فیزیک اتمی و مولکولی

**پایان نامه**

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک-لیزر

**عنوان**

کاربرد روش اپتیک فعال در کاهش ابیراهی و تصحیح جبهه موج در تلسکوپ اشمیت - کاسگرین

**اساتید راهنما**

دکتر ابراهیم صفری

دکتر میر حجت کرمانی

**پژوهشگر**

حبیبه پورحسن

شهریور ۱۳۹۳

تقدیم به

مقدس ترین واژه های زندگی ام

پدر و مادر عزیزم

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم

به آمان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پر مهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در کتب عشق شما آموختم و هرچه بگوختم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را سپاس توانم بگویم

امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

ره آوردی گران سگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان شکر کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم کونه غبار گسختگی تان را بزداید.

بوسه بر دستان پر مهرتان

## شکر و قدر دانی

به مصداق «من لم يشكر المخلوق لم يشكر الخالق» بسی شایسته است از اساتید

جناب آقایان دکتر ابراهیم صفری و دکتر میرحجت کرمانی اساتید راهنمای این بنده که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سراسی علم و دانش را بارانهای نایابی های کار ساز و سازنده بارور ساختند؛ تقدیر و شکر نمایم.

(وینز کیم و یعلهم الکتاب و الحکم).

معلمت ز عرش برتر باد همیشه تو سن اندیشه ات مظرباد

به نکته های دلاویز و گفته های بلند صحیفه های سخن از تو علم پرور باد

بچنین از پدر و مادر عزیز، دلوز و مهربانم و خانواده عزیزم که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمودند تا با حمایت های همه جانبه در

محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم؛ سپاسگزاری نمایم.

شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا بر منتهای همت خود کامران شدم.

نام خانوادگی دانشجو: پورحسن	نام: حبیبه
عنوان پایان نامه: کاربرد روش اپتیک فعال در کاهش ابیراهی و تصحیح جبهه موج در تلسکوپ اشمیت - کاسگرین	
اساتید راهنما: دکتر ابراهیم صفری و دکتر میرحجت کرمانی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: فیزیک گرایش: لیزر	
دانشگاه: تبریز دانشکده: فیزیک تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ۱۳۹۳ تعداد صفحه: ۱۲۸	
کلید واژه: تلسکوپ، اپتیک فعال، ابیراهی، جبهه موج، اشمیت - کاسگرین	
<p>چکیده: فناوری اپتیک فعال نقش موثری را، در پیشرفت تلسکوپ‌های بازتابی بر عهده دارد. این فناوری با تقلیل اثرات ناشی از عوامل خارجی همچون گرانشی، گرمایی و ... امکان ساخت تلسکوپ‌های با قطر بزرگ را فراهم می‌سازد. استفاده از این فناوری، دستیابی به سامانه‌های با کیفیت بالا که به‌عنوان یک ضرورت در طراحی سامانه اپتیکی مطرح‌اند را امکان‌پذیر می‌سازد. تصویری با کیفیت بالا توسط سامانه اپتیکی، زمانی ایجاد می‌شود که میزان ابیراهی‌ها در آن به حداقل رسیده باشند. برای این منظور سامانه اپتیکی مورد نظر را توسط نرم‌افزار اسلو شبیه‌سازی و سپس با استفاده از روابط جمع سیدل، میزان ابیراهی‌ها را در سطوح اپتیکی محاسبه کرده‌ایم. پس از آن با به‌دست آوردن میزان تغییرات لازم بر روی سطوح اپتیکی، تغییرات را در نرم‌افزار اعمال کرده و جبهه موج تشکیل شده به‌وسیله آرایش اپتیکی را، مورد بررسی و مطالعه قرار دادیم. برای مطالعه جبهه موج از چند جمله‌ای‌های زرنیک استفاده کرده و کیفیت تصویر تشکیل شده را توسط طرح نقطه‌ای، منحنی‌های برخورد پرتو و تابع پخش‌شدگی مورد سنجش قرار دادیم. با بررسی مکانیزم کاهش ابیراهی‌ها و افزایش کیفیت تصویر تشکیل یافته، از طریق روش‌های مذکور که کارآیی اپتیکی سامانه را بیان می‌کنند، توانستیم بدین ترتیب برای طراحی بهینه سامانه‌های اپتیکی بهره‌برداری کنیم.</p>	

مقدمه.....	۱
<b>۱- بررسی منابع</b>	
۱-۱ تاریخچه ساخت تلسکوپ.....	۵
۱-۲ اپتیک فعال.....	۸
۱-۲-۱ ساختار اپتیک فعال.....	۹
۱-۲-۱ فرکانس فضایی.....	۱۲
۱-۳-۱ حسگر.....	۱۳
۱-۳-۱ حسگر نوری.....	۱۴
۱-۳-۱ انواع حسگر در اپتیک فعال.....	۱۵
۱-۳-۱-۳ حسگر جبهه موج.....	۱۵
۱-۳-۳-۱ آزمون هارتمن.....	۱۶
۱-۳-۳-۱-۲ حسگر جبهه موج هارتمن.....	۱۸
۱-۳-۳-۱-۳ حسگر جبهه موج Shack- Hartmann.....	۱۹
۱-۴ آشکارساز CCD.....	۲۱
۱-۵ بازسازی جبهه موج.....	۲۲
۱-۵-۱ چند جمله ای زرنیک.....	۲۴
۱-۶ موج و پرتو.....	۲۶
۱-۷ ابیراهی.....	۲۹
۱-۸ چند جمله ای ابیراهی.....	۳۰
۱-۸-۱ ابیراهی کروی.....	۳۴
۱-۸-۲ کما.....	۳۷
۱-۸-۳ آستیگماتیسم و انحنای میدان.....	۳۸
۱-۸-۴ واپیچش.....	۴۱
۱-۹ محاسبه ای از جمع سیدل.....	۴۲

## ۲- مبانی و روش ها

۴۷	۲-۱ مقدمه .....
۴۷	۲-۲ ردیابی پرتو .....
۵۰	۲-۳ توان اپتیکی .....
۵۰	۲-۳-۱ توان آینه در محیطی با ضریب شکست $n$ .....
۵۱	۲-۳-۲ توان سامانه‌های ترکیبی... ..
۵۲	۲-۳-۳ توان تلسکوپ دو آینه‌ای .....
۵۲	۲-۴ مخروط سان ها .....
۵۴	۲-۵ طراحی تلسکوپ دو آینه‌ای .....
۵۷	۲-۶ تئوری مرتبه سوم برای تلسکوپ دو آینه‌ای .....
۵۷	۲-۶-۱ تعریف کلی .....
۵۸	۲-۶-۲ محاسبه ابیراهی های آینه اصلی .....
۶۰	۲-۶-۳ محاسبه ابیراهی های آینه دوم .....
۶۴	۲-۶-۴ ابیراهی های سامانه دو آینه‌ای .....
۶۵	۲-۶-۵ سامانه استیگماتیسم .....
۶۶	۲-۶-۶ سامانه آپلانیتیک .....
۶۶	۲-۶-۷ سامانه پاداستیگمات .....
۶۷	۲-۷ تلسکوپ اشمیت- کاسگرین .....
۶۹	۲-۸ تئوری تیغه غیرکروی .....
۷۰	۲-۹ تیغه تصحیح کننده برای تمرکز کاسگرین .....
۷۲	۲-۹-۱ تلسکوپ Quasi-RC .....
۷۳	۲-۱۰ ارزیابی تصویر .....
۷۴	۲-۱۱ نمایش منحنی‌های برخورد پرتو و آنالیز برداری .....
۷۴	۲-۱۲ طرح نقطه‌ای .....

۷۶	۱۲-۲-۱ آنالیز اندازه لکه
۷۸	۱۳-۲ آنالیز جبهه موج
۷۹	۱۴-۲ تابع پخش شدگی
۸۱	۱۴-۲-۱ تبدیل سریع فوریه

### ۳- نتایج و بحث

۸۵	۳-۱ مقدمه
۸۵	۳-۲ مدل عددی
۸۷	۳-۳ نمایش نتایج سامانه کاسگرین
۸۹	۳-۳-۱ نمایش منحنی‌های برخورد پرتو و آنالیز برداری سامانه کاسگرین
۹۰	۳-۳-۲ نمایش نتایج طرح نقطه ای و آنالیز لکه هندسی سامانه کاسگرین
۹۱	۳-۳-۳ نمایش نتایج بازسازی و آنالیز جبهه موج سامانه کاسگرین
۹۳	۳-۳-۴ نمایش نتایج تابع پخش شدگی و طرح شدت انرژی سامانه کاسگرین
۹۴	۳-۴ نمایش نتایج سامانه استیگماتیسم
۹۵	۳-۴-۱ نمایش منحنی‌های برخورد پرتو و آنالیز برداری سامانه استیگماتیسم
۹۶	۳-۴-۲ نمایش نتایج طرح نقطه‌ای و آنالیز لکه هندسی سامانه استیگماتیسم
۹۷	۳-۴-۳ نمایش نتایج بازسازی و آنالیز جبهه موج سامانه استیگماتیسم
۹۹	۳-۴-۴ نمایش نتایج تابع پخش شدگی و طرح شدت انرژی سامانه استیگماتیسم
۱۰۰	۳-۵ نمایش نتایج سامانه آپلانتیک
۱۰۱	۳-۵-۱ نمایش منحنی‌های برخورد پرتو و آنالیز برداری سامانه آپلانتیک
۱۰۲	۳-۵-۲ نمایش نتایج طرح نقطه‌ای و آنالیز لکه هندسی سامانه آپلانتیک
۱۰۳	۳-۵-۳ نمایش نتایج بازسازی و آنالیز جبهه موج سامانه آپلانتیک
۱۰۴	۳-۵-۴ نمایش نتایج تابع پخش شدگی و طرح شدت انرژی سامانه آپلانتیک
۱۰۵	۳-۶ نمایش نتایج سامانه پاداستیگماتیسم
۱۰۵	۳-۶-۱ نمایش منحنی‌های برخورد پرتو و آنالیز برداری سامانه پاداستیگماتیسم



۱۰۶.....	۳-۶-۲ نمایش نتایج طرح نقطه‌ای و آنالیز لکه هندسی سامانه پادآستیگماتیسم.....
۱۰۸.....	۳-۶-۳ نمایش نتایج بازسازی و آنالیز جبهه موج سامانه پادآستیگماتیسم.....
۱۰۹.....	۳-۶-۴ نمایش نتایج تابع پخش شدگی و طرح شدت انرژی سامانه پادآستیگماتیسم.....
۱۱۰.....	۳-۷-۷ نمایش نتایج سامانه Quasi-RC.....
۱۱۱.....	۳-۷-۱ نمایش منحنی‌های برخورد پرتو و آنالیز برداری سامانه Quasi-RC.....
۱۱۱.....	۳-۷-۷ نمایش نتایج طرح نقطه‌ای و آنالیز لکه هندسی سامانه Quasi-RC.....
۱۱۲.....	۳-۷-۳ نمایش نتایج بازسازی و آنالیز جبهه موج سامانه Quasi-RC.....
۱۱۴.....	۳-۷-۴ نمایش نتایج تابع پخش شدگی و طرح شدت انرژی سامانه Quasi-RC.....
۱۱۵.....	۳-۸ نتیجه گیری.....
۱۱۶.....	۳-۹ پیشنهادات.....
۱۱۷.....	پیوست.....
۱۲۱.....	<b>منابع</b> .....

- شکل ۱-۱: تلسکوپ شکستی گالیله [۱]..... ۵
- شکل ۲-۱: تلسکوپ بازتابی نیوتون [۱]..... ۶
- شکل ۳-۱: تلسکوپ بازتابی کاسگرین [۱]..... ۷
- شکل ۴-۱: ترکیب عدسی flint-crown..... ۷
- شکل ۵-۱: تلسکوپ اشمیت- کاسگرین..... ۸
- شکل ۶-۱: روش‌های اپتیک فعال: (الف) حلقه باز. (ب) حلقه بسته [۱۴]..... ۱۰
- شکل ۷-۱: سامانه اپتیک فعال تلسکوپ NTT در ESO [۱۱]..... ۱۱
- شکل ۸-۱: فرکانس فضایی و فرکانس فضایی زاویه‌ای [۱۲]..... ۱۳
- شکل ۹-۱: بازسازی جبهه موج از اندازه‌گیری شیب مکانی [۶]..... ۱۷
- شکل ۱۰-۱: طرح آزمون هارتمن: یک پرتو ورودی تحت زاویه  $\alpha$  نسبت به محور اپتیکی، با فاصله  $\Delta$  از محور اپتیکی متمرکز می‌شود [۱۸]..... ۱۸
- شکل ۱۱-۱: طرح حسگر هارتمن: یک جبهه موج تخت ورودی روی ماسک هارتمن یک طرح منظم از لکه‌ها را ایجاد می‌کند در حالی که جبهه موج دارای ابیراهی یک طرح بی‌نظم را ایجاد می‌کند، انحراف هر لکه منظم به شیب جبهه موج در روزنه بستگی دارد [۱۰]..... ۱۹
- شکل ۱۲-۱: طرح حسگر Shack- Hartmann: هر دسته عدسی شیب جبهه موج را میانگین‌گیری می‌کند و یک لکه روی CCD تولید می‌کند [۱۹]..... ۲۰
- شکل ۱۳-۱: اصول آرایه CCD: (الف) به‌طور متناوب، ولتاژ مثبت و منفی به الکترودها اعمال می‌شود. (ب) این کار باعث می‌شود حامل‌های باردار که توسط فوتون‌ها تولید شده‌اند به دیود بعدی جابه‌جا شوند. این جابه‌جایی با بسامد پالس ولتاژ اعمال شده اتفاق می‌افتد [۲۰]..... ۲۱
- شکل ۱۴-۱: اندازه‌گیری جابه‌جایی لکه‌ها برای جبهه موج ابیراهی دار [۲۵]..... ۲۲
- شکل ۱۵-۱: چندجمله‌ای زرنیک تا مرتبه پنجم [۲۷]..... ۲۷
- شکل ۱۶-۱: (الف) پرتوهای همگرا: جبهه موج یک شعاع مثبت از انحنای دارد، (ب) پرتوهای موازی: جبهه موج تخت است و (ج) پرتوهای واگرا: جبهه موج یک شعاع منفی از انحنای دارد [۲۹]..... ۲۸
- شکل ۱۷-۱: سیستم مختصات [۳۰]..... ۲۹
- شکل ۱۸-۱: هم‌ارزی پرتوها به وسیله تقارن چرخشی [۳۴]..... ۳۱
- شکل ۱۹-۱: ابیراهی‌های اصلی تک‌رنگ [۳۴]..... ۳۳
- شکل ۲۰-۱: مختصات قطبی برای مردمک [۳۴]..... ۳۴
- شکل ۲۱-۱: یک عدسی همگرای ساده با ابیراهی کروی فرودرستیده. هرچه پرتوها از محور دورتر باشند، در کانونی نزدیک‌تر به عدسی همگراییده می‌شوند [۳۱]..... ۳۵
- شکل ۲۲-۱: نمایش ترسیمی ابیراهی کروی (الف) ابیراهی طولی، ابیراهی کروی طولی ( $LA'$ ) برحسب

ارتفاع پرتو (Y) رسم شده است. (ب) ابیراهی عرضی، ارتفاع نقطه برخورد پرتو در صفحه مرجع پیرامحوری ( $H'$ ) بر حسب شیب پایانی پرتو ( $\tan u'$ ) رسم شده است [۳۱]. ۳۶

شکل ۱-۲۳: هنگامی که کما وجود داشته باشد پرتوهایی که از بخش‌های بیرونی عدسی می‌گذرند در ارتفاع متفاوتی کانونی می‌شوند تا پرتوهایی که از ناحیه مرکزی عدسی می‌گذرند [۳۱]. ۳۷

شکل ۱-۲۴: تشکیل کمای مماسی و کمای افقی [۳۴]. ۳۹

شکل ۱-۲۵: آستیگماتیسم [۳۱]. ۳۹

شکل ۱-۲۶: آستیگماتیسم اولیه یک عدسی: (الف) آستیگماتیسم فرودرستیده. (الف) آستیگماتیسم فرادرسیده [۳۵]. ۴۰

شکل ۱-۲۷: واپیچش: (الف) واپیچش مثبت یا بالشی. (ب) واپیچش منفی یا بشکه‌ای [۱]. ۴۲

شکل ۱-۲۸: کمیت‌های استفاده شده برای محاسبه ثابت شکست (قانون اسنل) [۳۴]. ۴۳

شکل ۱-۲۹: بزرگنمایی عرضی [۳۵]. ۴۴

شکل ۱-۲: نمایش شکست پرتو [۱]. ۴۹

شکل ۲-۲: کانون پیرامحوری که همچنین کانون گاوسی نیز نامیده می‌شود [۳۵]. ۵۱

شکل ۲-۳: ترسیم مخروط سان‌ها با ثابت مخروطشان [۳۵]. ۵۴

شکل ۲-۴: پارامترهای مهم در تلسکوپ دو آینه‌ای [۱]. ۵۶

شکل ۲-۵: تلسکوپ اشمیت-کاسگرین [۱]. ۶۸

شکل ۲-۶: ارتباط بین تیغه مجازی در فضای شیئی با تیغه غیرکروی در فاصله  $g$  از تمرکز کاسگرین [۱]. ۶۹

شکل ۲-۷: طرح نقطه‌ای [۴۵]. ۷۵

شکل ۲-۸: طرح شبکه‌ای مردمک [۴۵]. ۷۶

شکل ۲-۹: انتخاب مرکز کره مرجع چنان‌که جبهه موج کمترین مقدار ابیراهی را داشته باشد [۴۵]. ۷۸

شکل ۲-۱۰: ارتباط بین مختصات تصویر و مردمک خروجی برای محاسبه تابع پخش‌شدگی [۴۵]. ۸۰

شکل ۳-۱: طرح نهایی تلسکوپ اشمیت-کاسگرین. ۸۶

شکل ۳-۲: منحنی‌های برخورد پرتو سامانه کاسگرین: الف- ابیراهی کروی طولی، ب- ابیراهی کروی مرتبه سوم. ۸۹

شکل ۳-۳: طرح نقطه‌ای سامانه کاسگرین. ۹۰

شکل ۳-۴: طرح جبهه موج سامانه کاسگرین. ۹۳

شکل ۳-۵: سامانه کاسگرین: الف- تابع پخش‌شدگی، ب- طرح شدت انرژی. ۹۴

شکل ۳-۶: منحنی برخورد سامانه آستیگماتیسم: الف- ابیراهی کروی طولی، ب- ابیراهی کروی مرتبه سوم. ۹۶

- شکل ۷-۳: طرح نقطه ای سامانه استیگماتیسم. ۹۷.....
- شکل ۸-۳: طرح جبهه موج سامانه استیگماتیسم ۹۸.....
- شکل ۹-۳: سامانه استیگماتیسم: الف- تابع پخش شدگی، ب- طرح شدت انرژی..... ۹۹
- شکل ۱۰-۳: منحنی برخورد سامانه آپلانتیک: الف- ابیراهی کروی طولی، ب- ابیراهی کروی مرتبه سوم. ۱۰۱.....
- شکل ۱۱-۳: طرح نقطه‌ای سامانه آپلانتیک. ۱۰۲.....
- شکل ۱۲-۳: طرح جبهه موج سامانه آپلانتیک. ۱۰۳.....
- شکل ۱۳-۳: سامانه آپلانتیک: الف- تابع پخش شدگی، ب- طرح شدت انرژی..... ۱۰۴
- شکل ۱۴-۳: منحنی برخورد سامانه آپلانتیک: الف- ابیراهی کروی طولی، ب- ابیراهی کروی مرتبه سوم. ۱۰۶.....
- شکل ۱۵-۳: طرح نقطه ای سامانه پاد استیگماتیسم..... ۱۰۷
- شکل ۱۶-۳: طرح جبهه موج سامانه پاد استیگماتیسم..... ۱۰۸
- شکل ۱۷-۳: سامانه پاد استیگماتیسم: الف- تابع پخش شدگی، ب- طرح شدت انرژی..... ۱۰۹
- شکل ۱۸-۳: منحنی برخورد سامانه Quasi-RC: الف- ابیراهی کروی طولی، ب- ابیراهی کروی مرتبه سوم. ۱۱۱.....
- شکل ۱۹-۳: طرح نقطه‌ای Quasi-RC..... ۱۱۲
- شکل ۲۰-۳: طرح جبهه موج سامانه Quasi-RC..... ۱۱۳
- شکل ۲۱-۳: سامانه Quasi-RC: الف- تابع پخش شدگی، ب- طرح شدت انرژی..... ۱۱۴

جدول ۱-۱: توان‌های ابیراهی اصلی جبهه موج در مختصات جسم (Y) و مختصات مردمک (I) [۳۱]. ۴۲

جدول ۱-۲: تطابق ضرایب بسط سری با ضرایب سیدل [۳۱]. ۴۵

جدول ۱-۳: شکل تلسکوپ کاسگرین: علامت کمیت‌های ردیابی پرتو پیرامحوری. ۴۹

جدول ۲-۲: طبقه بندی مخروط‌سان‌ها با ثابت مخروط‌شان [۳۲]. ۵۳

جدول ۱-۳: پارامترهای پیرامحوری تلسکوپ اشمیت- کاسگرین در مقیاس متر. ۸۷

جدول ۲-۳: مشخصات فیزیکی تیغه اشمیت. ۸۷

جدول ۳-۳: مقادیر پیرامحوری سامانه کاسگرین. ۸۸

جدول ۴-۳: ضرایب سیدل سامانه کاسگرین در مقیاس میلی متر. ۸۸

جدول ۵-۳: ضرایب ابیراهی جبهه موج سامانه کاسگرین. ۹۲

جدول ۶-۳: مقادیر پیرامحوری سامانه استیگماتیسم. ۹۴

جدول ۷-۳: ضرایب سیدل سامانه استیگماتیسم در مقیاس میلی متر. ۹۵

جدول ۸-۳: ضرایب ابیراهی جبهه موج سامانه استیگماتیسم. ۹۸

جدول ۹-۳: مقادیر پیرامحوری سامانه آپلانتیک. ۱۰۰

جدول ۱۰-۳: ضرایب سیدل سامانه آپلانتیک در مقیاس میلی متر. ۱۰۰

جدول ۱۱-۳: ضرایب ابیراهی جبهه موج سامانه آپلانتیک. ۱۰۳

جدول ۱۲-۳: مقادیر پیرامحوری سامانه پاد آستیگماتیسم. ۱۰۵

جدول ۱۳-۳: ضرایب سیدل سامانه پاد آستیگماتیسم در مقیاس میلی متر. ۱۰۵

جدول ۱۴-۳: ضرایب ابیراهی جبهه موج سامانه استیگماتیسم. ۱۰۸

جدول ۱۵-۳: مقادیر پیرامحوری برای سامانه Quasi-RC. ۱۱۰

جدول ۱۶-۳: ضرایب سیدل سامانه Quasi-RC در مقیاس میلی متر. ۱۱۰

جدول ۱۷-۳: ضرایب ابیراهی جبهه موج سامانه Quasi-RC. ۱۱۳

جدول ۱: ضرایب زرنیک تا مرتبه پنجم. ۱۱۹

جدول ۲: ضرایب زرنیک از مرتبه پنجم تا مرتبه هشتم. ۱۲۰

## مقدمه

می‌توان بخشی از پیشرفت‌های بزرگ امروز علم ستاره‌شناسی را مدیون تلسکوپ‌های بزرگ (کلاسیکی و مدرن) دانست. تلسکوپ‌های عظیم‌الجثه امروزی، دارای تکنولوژی‌های پیشرفته، پانل‌های کنترل کننده سامانه و کارآیی بالایی هستند. اندازه ساختاری و تکنولوژی تلسکوپ‌های امروزی و همچنین مطالبات علمی برای درک عمیق از عالم هستی، سبب مطرح شدن علم اخترفیزیک به‌عنوان دانشی مهم و حیاتی شده است.

از حدود ۴۰۰ سال پیش که بشر توانست اجرام آسمانی را با چشم مسلح ببیند، تغییرات چشمگیری در زمینه اندازه و کارآمدی تلسکوپ شده است به‌طوری‌که تلسکوپ‌های موجود در دنیا مثلاً تلسکوپ آرسیبو<sup>۱</sup> در آمریکا قطری حدود ۳۰۰ متر (که ساختار آن گریگوری است) یا تلسکوپ Keck قطری برابر ۱۰ متر داشته باشد.

در ۲۰ سال اخیر تلسکوپ‌ها از لحاظ اندازه قطر مردمک ورودی، پیشرفت چشمگیری داشتند. به‌طوری‌که این امر عامل افزایش سه برابری نورجمع‌آوری شده توسط تلسکوپ‌ها شده است. با این حال اندازه و دقت یک تلسکوپ تنها معیارهای مهم در ساخت آن نیستند بلکه بهره‌برداری موثر از یک تلسکوپ و توانایی اندازه‌گیری و کنترل سریع از ویژگی‌های مهم در ساختار یک تلسکوپ است.

استفاده از تداخل‌سنج‌های بزرگ از پیشرفت‌های قابل ذکر در ساختار تلسکوپ‌ها می‌باشد. توان تفکیک این تداخل‌سنج‌ها هزاران مرتبه بهتر از توان تفکیک تلسکوپ‌های بزرگ است و کشف چنین تداخل-سنجی‌هایی پیشرفت مهمی در زمینه اپتیک تداخل‌سنجی به‌شمار می‌آید.

---

<sup>1</sup>Arecibo

از پیشرفت‌های قابل توجه دیگر در زمینه ساختار تلسکوپ‌های مدرن استفاده از اپتیک فعال<sup>۱</sup> یا تطبیقی<sup>۲</sup> است.

تلسکوپ‌های بزرگ پیشین که ساختاری غیرفعال داشتند و از هیچ وسیله اصلاح کننده داخلی، برای بهبود کیفیت تصویر استفاده نمی‌شد در نتیجه نیاز به استفاده از آینه‌های محکم با ضریب انبساط گرمایی پایین بود، به طوری که این عمل باعث افزایش وزن آینه و هزینه طرح می‌شد.

برای کاهش وزن آینه‌ها و هزینه طرح، ساختار اپتیک سبک وزن پیشنهاد شد که در این ساختار از ابزار built-in به عنوان تنظیم کننده داخلی استفاده کردند تا میزان نوسانات گرمایی و گرانشی کاهش یابد. بنابراین ابزار تنظیم کننده شکل و فاصله آینه‌ها، که در فرکانس فضایی پایین حدود چند هرتز کار کند به عنوان اپتیک فعال مطرح می‌شود.

اولین پیشرفت‌ها در زمینه اپتیک فعال در سال ۱۹۶۰ مطرح شد. در این روش امکان تبدیل سطوح اپتیکی کروی به غیرکروی وجود دارد که باعث کاهش خطاها بین آینه‌های تلسکوپ شده و موقعیت کنترل آینه‌ها به وسیله تغییر انحنای آنها ایجاد می‌شود و در نتیجه عملکرد محدودیت پراش به دست می‌آید.

سامانه اپتیک فعال برای اولین بار در سال ۱۹۸۹ در تلسکوپ NTT<sup>۳</sup> واقع در رصدخانه اروپا (ESO) و در سال ۱۹۹۲ برای تلسکوپ Keck (۱۰ متری) با آینه اصلی چند تکه، مورد استفاده قرار گرفت.

در فصل اول پایان نامه ساختار اپتیک فعال و اجزای مورد استفاده شده در این ساختار از جمله حسگر جبهه موج، آشکارساز و بازسازی جبهه موج با استفاده از چند جمله‌ای‌های زرنیک را بیان کرده‌ایم. سپس

---

<sup>۱</sup>Active Optics

<sup>۲</sup>Adptive Optics

<sup>۳</sup>New Technology Telescope

به تعریفی از موج و نور و توصیف آن در قالب چندجمله‌ای‌ها پرداخته‌ایم و در ادامه ارتباط بین چندجمله‌ای‌ها با ابیراهی‌ها، توصیف هریک از ابیراهی‌ها و ارتباط آنها با جمع‌های سیدل را بیان کرده‌ایم.

در فصل دوم ردیابی پرتو، مخروط‌سان‌ها، به‌دست آوردن ابیراهی در هریک از سطوح و تصحیح آن‌ها به-همراه روش‌های ارزیابی تصویر را شرح داده‌ایم.

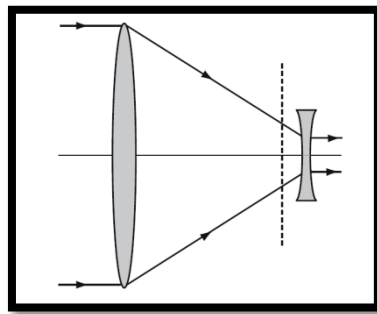
در فصل سوم این پایان‌نامه ابیراهی‌های موجود در یک تلسکوپ دو آینه‌ای را مورد بررسی و مطالعه قرار داده‌ایم و تصحیحات لازم را به‌وسیله نرم‌افزار اسلو بر روی سطوح اپتیکی اجرا کرده‌ایم و در آخر تصاویر به‌دست آمده برای هریک از حالت‌های ذکر شده در فصل دوم، نمایش داده شده است.



# ۱ بررسی منابع

## ۱-۱ تاریخچه ساخت تلسکوپ

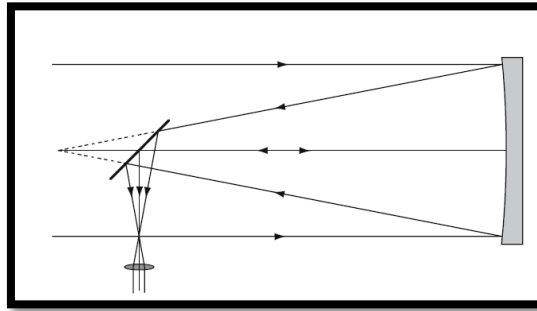
هزاران سال بود که رصد ستارگان فقط از راه چشم غیرمسلح انجام می‌گرفت. اولین مدارک استفاده از تلسکوپ مربوط به تلسکوپ شکستی است که در سال ۱۶۰۸ در هلند پدیدار شد و پیشرفت آن به سه نفر نسبت داده می‌شود: هانس لیپرتی و زاخاریاس جانشون که در میدل‌بورخ و جاکوب میتیوس در شهر آلکمار عینک ساز بودند. لیپرتی با کنار هم گذاشتن چند عدسی توانسته بود وسیله‌ای بسازد که اجسام دور را بزرگ‌تر نشان دهد. اما بدون شک اولین مخترع تلسکوپ شکستی گالیله شناخته شده است. او بود که برای اولین بار با استفاده از دو عدسی که خود ساخته بود توانست آسمان را رصد کند و به مشاهده ماه، قمرهای مشتری و سایر اجرام آسمانی بپردازد. بزرگ‌نمایی اولین تلسکوپ گالیله حدود ۳ برابر بود، ولی بعدها توانست تلسکوپی با بزرگ‌نمایی ۳۰ برابر نیز بسازد. با این وجود تلسکوپ‌های گالیله کیفیت بالایی نداشتند و دلیل آن مشکل بودن ساخت عدسی و همچنین وجود شیشه‌های نامرغوب بود.



شکل ۱-۱: تلسکوپ شکستی گالیله [۱].

استفاده از آینه خمیده به جای عدسی، مدت کمی پس از اختراع تلسکوپ شکستی محقق شد. مزایای استفاده از آینه‌های سهمی گون بجای عدسی، از جمله کاهش ابیراهی کروی و عدم وجود ابیراهی رنگی باعث شد تعداد زیادی طرح پیشنهادی و چندین تلاش برای ساخت آینه بازتابی صورت گیرد و بالاخره

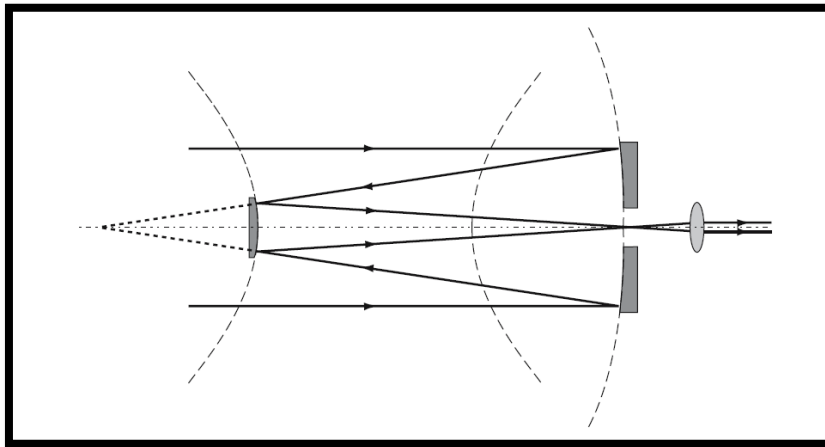
در سال ۱۶۶۸ ایزاک نیوتن اولین تلسکوپ بازتابی کاربردی را ساخت که بعدها تلسکوپ بازتابی نیوتنی نام گرفت. وسیله او از یک آینه مقعر و یک آینه تخت تشکیل می‌شد که در یک لوله قرار گرفته بودند. آینه تلسکوپ نیوتن از فلز ساخته شده بود و قطری در حدود ۵ سانتی متر داشت.



شکل ۱-۲: تلسکوپ بازتابی نیوتن [۱].

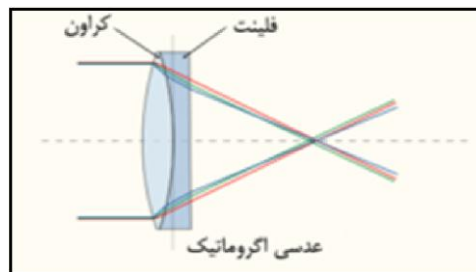
حدود ۴ سال بعد از اختراع نیوتن فردی بنام فرانچمن ان. کاسگرین طرح جدیدی را برای تلسکوپ نیوتن ارائه کرد. در این طرح، نور بازتاب شده از آینه مقعر به جای بازتاب از آینه تخت به وسیله یک آینه محدب به پشت لوله ارسال می‌شود. مهمترین مزیت این طرح کوتاه‌تر شدن طول لوله تلسکوپ در حدود نصف طول اولیه بود و این امر برای تلسکوپ‌های غول پیکر امروزی بسیار اهمیت می‌یابد. با این وجود طرح کاسگرین مورد استقبال قرار نگرفت و سال‌ها بعد دانشمندان به اهمیت آن پی بردند.

اختراع عدسی بی‌رنگ در سال ۱۷۳۳ خطای رنگی را اندکی تصحیح کرد و امکان ساخت عدسی‌هایی با فاصله کانونی کمتر که به کوتاه شدن لوله تلسکوپ می‌انجامید را فراهم ساخت. تلسکوپ‌های بازتابی اگرچه ابیراهی رنگی نداشتند، ولی طی قرن ۱۸ و ۱۹ آینه فلزی آنها (ساخته شده از مس و قلع) به سرعت تیره می‌شد. این مشکل با اندود کردن سطح شیشه با نقره در ۱۸۵۷ یا آلومینیم در سال ۱۹۳۲ حل شد.



شکل ۱-۳: تلسکوپ بازتابی کاسگرین [۱].

در سال ۱۹۳۰ عینک سازی بنام برنارد اشمیت وسیله جدیدی اختراع کرد. در این طرح یک تیغه شیشه‌ای بر دهنه تلسکوپ‌های بازتابی قرار می‌گرفت و ابیراهی کروی را از بین می‌برد و دیگر احتیاجی به ساخت آینه‌های سهموی نبود. علاوه بر این، این نوع تلسکوپ‌ها میدان دید بسیار بالایی داشتند و اگر با سامانه کاسگرین ترکیب می‌شدند تلسکوپی بدست می‌آمد که از هر جهت بر سایر تلسکوپ‌ها برتری داشت. امروزه بسیاری از منجمان نیمه آماتور از این تلسکوپ‌ها استفاده می‌کنند



شکل ۱-۴: ترکیب عدسی flint-crown