بسم الله الرحمن الرحیم

مهندسی خورشیدی فرآیندهای حرارتی

(۱)

(اصول و مبانی)

فصول ۱ تا ۱۱

مولفین

J.A.Duffie

W.A.Beckman

مترجمان

مهندس یاسر طاهری

کارشناس ارشد مکانیک

مهندس مهران دیبا

کارشناس ارشد برق

مهندس فرهاد مختاری

کارشناس ارشد مکانیک

نشرنوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

نشرنوآور

سرشناسه	: دافی، جان ا.، ۱۹۲۵ - م. Duffie, John A.
عنوان و نام پدیدآور	: مهندسی خورشیدی فرآیندهای حرارتی ۱ (اصول و مبانی از فصل ۱ تا ۱۱کتاب لاتین)
وضعیت ویراست	: ویراست۲
مشخصات نشر	: تهران : نوآور،۱۳۹۴ .
مشخصات ظاهری	: ۴۴۰ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۳۵-۳
وضعیت فهرست نویسی	: فیپای مختصر
یادداشت	: فهرستنویسی کامل این اثر در نشانی: http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است
یادداشت	: کتاب حاضر ترجمه فصول ۱ تا ۱۱ از ویرایش سوم کتاب " Solar engineering of thermal processes " است .
شناسه افزوده	: بکمن، ویلیام ا.، ۱۹۳۵ - م.
شناسه افزوده	: Beckman, William A.
شناسه افزوده	: طاهری، یاسر، ۱۳۴۳ - ، مترجم
شناسه افزوده	: دیبا، مهران، ۱۳۶۴ - ، مترجم
شناسه افزوده	: مختاری، فرهاد، ۱۳۶۵ - ، مترجم
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۸۵۲۴۷۰

مهندسی خورشیدی فرآیندهای حرارتی (۱) ـ اصول و مبانی

مترجمان: مهندس یاسر طاهری ـ مهندس مهران دیبا ـ مهندس فرهاد مختاری

ناشر: نوآور

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

ناظر چاپ: محمدرضا نصیرنیا

نوبت چاپ:

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۳۵-۳

مرکز پخش:

نوآور: تهران ـ خ انقلاب، خ فخررازی، خ شهدای ژاندارمری نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶

تلفن: ۹۲ ـ ۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مص متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از ا عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حراه

فهرست مطالب

فصل اول: تابش خورشیدی

۱-۱- خورشید

۱-۲- ثابت خورشیدی

۱-۳- توزیع طیفی از تابش در بیرون از جو زمین

۱-۴- تغییر تابش در خارج از جو زمین

۱-۵- تعاریف

۱-۶- جهت تابش مستقیم

۱-۷- زوایای ردیابی سطوح

۱-۸- نسبت تابش مستقیم روی سطح شیبدار به تابش مستقیم روی سطح افقی

۱-۹- سایه

۱-۱۰- تابش مربوط به خارج از جو زمین روی یک سطح افقی

۱-۱۱- خلاصه

فصل دوم :تابش خورشیدی قابل دریافت

۲ـ۱ تعاریف

۲-۲- گرماسنج‌ها و مقیاس‌های گرماسنجی

۲-۳- پیرانومترها

۲-۴- اندازه‌گیری مدت تابش خورشید

۲-۵- داده‌های تابش خورشیدی

۲-۶- تضعیف تابش خورشیدی ناشی از اتمسفر

۲-۷- تخمین تابش خورشیدی متوسط

۲-۸- تخمین تابش در آسمان بدون ابر و صاف

۲-۹- توزیع ساعت‌ها و روزهای صاف و ابری

۲-۱۰- مولفه مستقیم و پراکنده تابش ساعتی

۲-۱۱- مؤلفه‌های مستقیم و پراکنده مربوط به تابش روزانه

۲-۱۲- مؤلفه‌های پراکنده و مستقیم مربوط به تابش ماهیانه

۲-۱۳- تخمین تابش در هر ساعت با استفاده از داده‌های روزانه

۲-۱۴- تابش روی سطوح شیبدار

۲-۱۵- تابش بر روی سطوح شیبدار: آسمان ایزوتروپیک

نشر نوآور
تلفن: ۶۶۴۸۴۱۹۱

۲-۱۶- تابش روی سطوح شیبدار: آسمان غیرایزوتروپیک
۲-۱۷- افزایش تابش
۲-۱۸- تابش مستقیم روی سطوح متحرک
۲-۱۹- تابش متوسط روی سطوح شیبدار: آسمان ایزوتروپیک
۲-۲۰- تابش متوسط روی سطوح شیبدار: روش kT
۲-۲۱- اثرات جهت سطح دریافت‌کننده بر روی HT
۲-۲۲- بهره‌برداری
۲-۲۳- بهره‌برداری کلی
۲-۲۴- بهره‌برداری روزانه
۲-۲۵- خلاصه مطالب

فصل سوم: عناوین برگزیده از انتقال حرارت

۳-۱- طیف الکترومغناطیسی
۳-۲- تشعشع فوتونی
۳-۳- جسم سیاه: جاذب و منتشرکننده‌ی کامل
۳-۴- قانون پلانک و قانون جابجایی وین
۳-۵- معادله‌ی استفان – بوتنزمن
۳-۶- جدول‌های تابشی
۳-۷- شدت تابش و شار
۳-۸- تبادل تابش مادون قرمز بین سطوح خاکستری
۳-۹- تابش آسمان
۳-۱۰- ضریب انتقال حرارت تابشی
۳-۱۱- همرفت طبیعی بین صفحات موازی هموار و بین سیلندرهای هم‌مرکز
۳-۱۲- توقف همرفت
۳-۱۴- حصارهای موج‌دار V شکل
۳-۱۴- روابط انتقال حرارت برای جریان داخلی
۳-۱۵- ضرایب همرفت باد
۳-۱۶- انتقال حرارت و افت فشار در صفحات سوراخ‌دار و بسترهای گروهی
۳-۱۷- محاسبه‌ی ضریب کارایی- NTu برای مبدل‌های حرارتی

فصل چهارم: خصوصیات تشعشعی مواد تیره

نشر نوآور
تلفن: ۶۶۴۸۴۱۹۱

۴-۱- ضریب جذب و شدت نشر
۴-۲- قانون کیرشهف
۴-۳- قابلیت بازتاب صفحات
۴-۴- روابط بین ضریب جذب، شدت نشر، و ضریب بازتاب
۴-۵- شدت نشر پهن باند و ضریب جذب
۴-۶- محاسبات شدت نشر و ضریب جذب
۴-۷- اندازه‌گیری خصوصیات تشعشعی سطح
۴-۸- سطوح انتخابی
۴-۹- سازوکار انتخاب
۴-۱۰- خصوصیات بهینه
۴-۱۱- وابستگی زاویه‌ای ضریب جذب خورشیدی
۴-۱۲- ضریب جذب گیرنده‌های محفظه
۴-۱۳- سطوح بازتاب‌کننده آینه‌ای

فصل پنجم: عبور تشعشع از طریق شیشه: تشعشع جذب‌شده

۵-۱- بازتاب تشعشع
۵-۲- جذب بوسیله شیشه
۵-۳- خصوصیات نوری سیستم‌های پوشش
۵-۴- ضریب عبور برای تابش پراکنده
۵-۵- حاصلضرب ضریب عبور– ضریب جذب
۵-۶- وابستگی زاویه‌ای $\tau\alpha$
۵-۷- وابستگی طیفی ضریب عبور
۵-۸- اثرات لایه‌های سطح بر روی ضریب عبور
۵-۹- تابش خورشیدی جذب شده
۵-۱۰- متوسط ماهیانه تابش جذب شده
۵-۱۱- ضریب جذب فضاها
۵-۱۲- ضریب جذب سلول‌های فتوولتاییک
۵-۱۳- خلاصه مطالب

فصل ششم: کلکتورهای صفحه تخت

۶-۱- تشریح کلکتورهای صفحه تخت

نشر نوآور
تلفن: ۶۶۴۸۴۱۹۱

۶-۲- معادلات اساسی موازنه انرژی صفحه تخت
۶-۳- توزیع دمایی در کلکتورهای صفحه تخت
۶-۴- ضریب اتلاف حرارتی کلی کلکتور
۶-۵- توزیع دما بین لوله‌ها و ضریب بازدهی کلکتور
۶-۶- توزیع دمایی در جهت جریان
۶-۷- ضریب تفکیک گرمایی و ضریب جریان کلکتور
۶-۸- میزان تابش بحرانی
۶-۹- دماهای متوسط سیال و صفحه
۶-۱۰- حاصلضرب ضریب عبور- ضریب جذب مؤثر
۶-۱۱- اثرات گرد و خاک و سایه
۶-۱۲- اثرات ظرفیت گرمایی در کلکتورهای صفحه تخت
۶-۱۳- هندسه‌های صفحه گرم‌کننده مایع
۶-۱۴- هوا گرمکن‌ها
۶-۱۵- اندازه‌گیری کارایی کلکتور
۶-۱۶- خصوصیات کلکتور
۶-۱۷- آزمایشات کلکتور: کارایی، اصلاح‌کننده زاویه برخورد و ثابت زمانی
۶-۱۸- داده‌های آزمایش
۶-۱۹- تبدیل داده‌های آزمایش دمایی
۶-۲۰- اصلاحات شدت جریان نسبت به FRταn و FRUL
۶-۲۱- توزیع جریان در کلکتورها
۶-۲۲- کارایی کلکتور در محل طبیعی
۶-۲۳- ملاحظات عملی برای کلکتورهای صفحه تخت
۶-۲۴- قرار دادن همه آن‌ها با هم
۶-۲۵- خلاصه مطالب

فصل هفتم: کلکتورهای متمرکز

۷-۱- وضعیت‌های کلکتور
۷-۲- نسبت تمرکز
۷-۳- کارایی دمایی کلکتورهای متمرکز
۷-۴- کارایی نوری کلکتورهای متمرکز
۷-۵- آرایش‌های جاذب استوانه‌ای

نشر نوآور
تلفن: ۶۶۴۸۴۱۹۱

۷-۶- خصوصیات نوری کلکتورهای بدون تصویر
۷-۷- جهت‌گیری و انرژی جذب شده برای کلکتورهای CPC
۷-۸- کارایی کلکتورهای CPC
۷-۹- متمرکزکننده‌های تصویری خطی: هندسه
۷-۱۰- تصاویر ایجاد شده بوسیله متمرکزکننده‌های خطی کامل
۷-۱۱- تصاویری از متمرکزکننده‌های خطی غیرکامل
۷-۱۲- روش‌های ردیابی پرتو برای ارزیابی متمرکزکننده‌ها
۷-۱۳- اصلاح‌کننده‌های زاویه برخورد و توازن انرژی
۷-۱۴- متمرکزکننده‌های سهموی شکل
۷-۱۵- کلکتورهای با دریافت‌کننده مرکزی
۷-۱۶- بررسی‌های کاربردی

فصل هشتم: ذخیره انرژی

۸-۱- فرآیند بارگذاری و خروجی کلکتورهای خورشیدی
۸-۲- ذخیره انرژی در سیستم‌های فرآیند خورشیدی
۸-۳- مخزن آب
۸-۴- طبقه‌بندی در مخازن ذخیره
۸-۵- مخزنی با بستر متراکم
۸-۶- دیوارهای ذخیره‌سازی
۸-۷- ذخیره‌سازی فصلی
۸-۸- ذخیره انرژی تغییر فاز
۸-۹- ذخیره انرژی شیمیایی
۸-۱۰- مخزن باتری

فصل نهم: بارهای فرآیند خورشیدی

۹-۱- مثال‌هایی از بارهای وابسته به زمان
۹-۲- بارهای آبگرم
۹-۳- بارهای گرمایی فضا، روز-درجه‌ها و دمای تعادل
۹-۴- ضرائب اتلاف ساختمان
۹-۵- ظرفیت ذخیره انرژی ساختمان
۹-۶- بارهای سرمایش

نشر نوآور
تلفن: ۶۶۴۸۴۱۹۱-۳

۹-۷- بارهای گرمایشی استخر شنا

فصل دهم: محاسبات حرارتی سیستم

۱۰-۱- مدل های اجزاء

۱۰-۲- ضریب مبدل حرارتی کلکتور

۱۰-۳- ضرائب اتلاف لوله و کانال

۱۰-۴- کنترل‌ها

۱۰-۵- آرایش‌های کلکتور: اتصالات سری

۱۰-۶- کارایی کلکتورهایی که بصورت جزئی سایه‌دار شده

۱۰-۷- آرایش‌های سری با بخش‌های دارای جهت‌های مختلف

۱۰-۸- استفاده از معادلات تصحیح شده کلکتور

۱۰-۹- مدل‌های سیستم

۱۰-۱۰- کسر خورشیدی و کسر ذخیره خورشیدی

۱۰-۱۱- خلاصه

فصل یازدهم: علم اقتصاد فرآیند خورشیدی

۱۱-۱- هزینه سیستم‌های فرآیند خورشیدی

۱۱-۲- متغییرهای طراحی

۱۱-۳- شاخص‌های مزیت اقتصادی

۱۱-۴- کاهش قیمت و تورم

۱۱-۵- ضریب ارزش فعلی

۱۱-۶- روش صرفه‌جویی طول عمر مفید

۱۱-۷- ارزیابی دیگر شاخص‌های اقتصادی

۱۱-۸- روش P_1، P_2

۱۱-۹- عدم قطعیت‌ها در تحلیل‌های اقتصادی

۱۱-۱۰- تحلیل اقتصادی با استفاده از کسر صرفه‌جویی خورشیدی

۱۱-۱۱- خلاصه مطالب

نشر نوآور
تلفن: ۶۶۴۸۴۱۹۱ — ۰۲۱

اصول

در بخش اول با نظریه‌های اصولی و مراحل انجام محاسبات سروکار داریم، که باید بـه منظـور درک چگونگی عملکرد فرآیندهای خورشیدی و پیشگویی کارایی آن‌ها دریافت شوند. پنج بخش اول مبنـایی برای فصل شش می‌باشند. در فصل شش معادلاتی را برای یک کلکتور ارائه می‌دهیم که خروجی مفیـد را بصورت عبارات مرتبط با تابش خورشیدی و اتلافات بیان می‌کند. یک موازنه انرژی ارائه می‌شـود کـه بطور کلی انرژی مفید دریافتی را بصورت اختلاف (مثبت) بین انرژی خورشیدی جذب شـده و اتلافـات حرارتی بیان می‌کند.

فصل اول مربوط به ماهیت تابش منتشر شده توسط خورشید و برخورد آن به جو زمین اسـت. ایـن فصل شامل بررسی‌های هندسی یعنی جهتی که از آن تابش مسـتقیم خورشـیدی دریافـت مـی‌شـود و زاویه‌ی برخورد آن بر روی سطوح مختلف و مقـدار تابشـی دریـافتی در محـدوده‌هـای زمـانی مختلـف می‌باشد. فصل بعدی اثرات جو بر روی تابش خورشیدی،داده‌های تشعشعی موجود و چگونگی پـردازش این داده‌ها و تبدیل آن‌ها به اطلاعاتی که نهایتاً خواستار آن می‌باشیم و تابش برخوردی بر روی سـطوح با جهت‌گیری‌های مختلف را در برمی‌گیرد.

فصل سوم به مجموعه‌ای از مسائل مربوط به انتقال حرارت که ناشی از فرآیندهای انرژی خورشیدی است، اشاره دارد که به عنوان مبنای تحلیل کلکتورها، واحدهای ذخیره و دیگر اجزا می‌باشند.

دو فصل بعدی مربوط به فعل و انفعالات تابش و مواد مات و شفاف است که شـامل انتشـار، جـذب، انعکاس و عبور انرژی خورشیدی و تابش با طول موج بلند می‌باشد. ایـن ۵ فصـل ابتـدایی بـه فصـل ۶ منجر می‌شود که بحث کلی و تحلیل کارآیی کلکتورهای صفحه تخت در این فصل بیـان مـی‌گـردد. در فصل ۷ کلکتورهای متمرکز و در فصل ۸ ذخیره‌ی انرژی در محیط‌های مختلف بررسی می‌شوند. فصـل ۹ بحث مختصری است از بارهای تحمیلی بر روی فرآیندهای خورشیدی و انواع اطلاعاتی که بایستی به منظور تحلیل فرآیند دانست.

فصل ۱۰ محلی است که در آن مباحث مربوط به مؤلفه‌های منحصربه‌فرد بـاهم ارائـه مـی‌شـوند تـا چگونگی کارکرد سیستم‌های فرآیند خورشیدی و طریقه‌ی تعیین کارایی طولانی‌مـدت آن‌هـا از طریـق شبیه‌سازی را نشان دهد. هدف، توانایی در پیشگویی کارآیی سیستم است، این نقطه‌ای است کـه در آن از مؤلفه‌ها به سمت سیستم پیش می‌رویم و می‌بینیم که چگونه رفتار سیستم ناپایـدار، قابـل محاسـبه است.

آخرین فصل بخش اول در مورد مسائل اقتصادی مربوط به فرآیندهای خورشیدی است. این بخـش شامل روشی است برای ترکیب تعداد زیادی از پارامترهای اقتصادی به صورت دو پارامتر که مـی‌تواننـد در بهینه‌سازی طراحی حرارتی و ارزیابی اثرات عدم قطعیت در یک تحلیل اقتصادی به کار گرفته شوند.

فصل اول
تابش خورشیدی

ساختار و مشخصه‌های مربوط به خورشید، تعیین‌کننده‌ی ماهیت انرژیی است که بـه فضـا مـی‌تابانـد. موضوع اصلی که در ابتدای این فصل به آن می‌پردازیم، مشخصه‌های انرژی در خارج از جو زمـین، شـدت آن و توزیع طیفی آن است. در ابتدا با تابشی با طول موج ۰/۲۵ تا ۳ میکرومتر برخـورد مـی‌کنـیم، میـزان سهمی که مربوط به تابش الکترومغناطیسی دربرگیرنده‌ی اکثر انرژی تابیده شده توسط خورشید است.

موضوع اصلی بعدی که در این فصل با آن مواجهیم، هندسه‌ی خورشیدی اسـت کـه بیـانگر مکـان خورشید در آسمان، جهتی که در آن جهت تابش مستقیم بر روی سطوحی با جهـات مختلـف برخـورد می‌کند و مسئله‌ی سایه می‌باشد. موضوع سوم در این بخش، مسئله‌ی تـابش خـارج از جـو زمـین روی سطوح افقی است، که از نظر تئوری نشان‌دهنده‌ی محدوده‌ی بالایی از تابش خورشیدی در دسترس، در سطح زمین است.

فهم ماهیت تابش مربوط به خارج از جو زمین، اثرات جهت یک سطح گیرنده و میزان تابش ممکـن از نظر تئوری در سطح زمین در درک و به‌کارگیری داده‌های مربوط به تابش خورشـیدی مهـم‌انـد، کـه موضوع فصل ۲ می‌باشد.

تلفن: ۲ — ۶۶۴۸۴۱۹۱

۱-۱- خورشید

خورشید کره‌ای از ماده‌ی گازی به شدت داغ و چگال، با قطر $۱/۳۹\times۱۰^{۳۹}$ متـر و بطـور متوسـط در فاصله‌ی $۱/۵\times۱۰^{۱۱}$ متری از زمین واقع است. همانطور که از زمین دیده می‌شود، خورشید هـر ۴ هفتـه یکبار حول محورش دوران می‌کند. هرچند مثل یک جسم جامد دوران نمی‌کند؛ هر دوران مـدار اسـتوا (میانی) در حدود ۲۷ روز و نواحی قطبی در حدود ۳۰ روز طول می‌کشد.

خورشید دارای یک دمای مؤثر جسم سیاه به مقدار ۵۷۷۷ کلوین می‌باشد.[۱] دما در نواحی داخلـی و

۱. دمای مؤثر جسم سیاه در ۵۷۷۷K دمایی می‌باشد که در آن جسم سیاه مقدار انرژی برابر با انرژی خورشید ساطع می‌کند. دماهای مؤثر دیگر می‌توانند تعریف شوند، بعنوان مثال دمایی که مطابق با دمای جسم سیاه می‌باشد طول موج حداکثر تابش مشابهی را بعنوان تابش خورشیدی ارائه می‌دهد (درحدود ۶۳۰۰k)

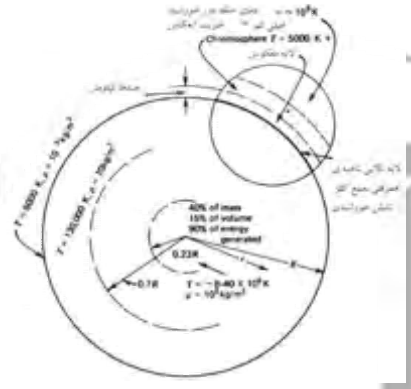
مرکزی ۸×۱۰^{۶} تا ۴۰×۱۰^{۶} کلوین و چگالی در حدود ۱۰۰ برابر دانسیته‌ی آب تخمین زده می‌شود. خورشید، یک راکتور هم‌جوش پیوسته است که برای گازهای سازنده‌اش به عنوان مخزن عمل می‌کند و از طریق نیروهای گرانشی، آن گازها را حفظ می‌کند. چندین فعل و انفعال هم‌جوش برای تأمین انرژی تابیده شده توسط خورشید پیشنهاد شده است. یکی از آن‌ها که به عنوان مهمترین فعل و انفعال در نظر گرفته می‌شود، فرآیندی است که در آن هیدروژن (یعنی هیدروژنی که ۴ پروتون دارد) ترکیب می‌شود تا هلیوم را شکل دهد (یعنی یک هسته‌ی هلیوم)؛ جرم هسته‌ی هلیوم کمتر از جرم هسته‌ی ۴ پروتون است، جرم در خلال فعل و انفعال از بین رفته و به انرژی تبدیل می‌شود.

انرژی تولیدی در بخش داخلی کره‌ی خورشیدی در دمای چند میلیون درجه، بایستی به سطح منتقل و سپس به داخل فضا تابیده شود. توالی فرآیندهای همرفتی و تابشی با انتشار، جذب و تابش مجدد و به طور متوالی رخ می‌دهد، تابش در هسته‌ی خورشید، بخش اشعه‌ی x و گامای طیف را دربرمی‌گیرد، و طول موج‌ها با افزایش فاصله شعاعی و همزمان با افت دما، افزایش می‌یابند.

یک ساختار شماتیکی از خورشید در شکل ۱،۱،۱ نشان داده شده است. تخمین‌زده می‌شود که ۹۰٪ انرژی، در ناحیه‌ی ۰ تا ۰/۲۳R تولید می‌گردد(R شعاع خورشید است)، که شامل ۴۰٪ جرم خورشید می‌باشد. در فاصله‌ی ۰/۷R از مرکز، دما تا حدود ۱۳۰۰۰۰ کلوین و چگالی تا $۷۰\ kg/m^3$ افت می‌کند. در اینجا فرآیندهای همرفت مهم‌اند و ناحیه‌ی مربوط به ۰/۷R تا ۱۰۰R به عنوان **ناحیه‌ی همرفتی** شناخته می‌شود. در محدوده‌ی این ناحیه، دما تا حدود ۵۰۰۰ کلوین افت می‌کند و چگالی در حدود $۱۰^{-۵}\ kg/m^3$ می‌باشد.

به نظر می‌آید سطح خورشید متشکل از اجزایی است (سلول‌های همرفتی نامنظم)، که ابعادی از ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلومتر دارند و عمر هر سلول چند دقیقه است. سایر مشخصه‌های سطح خورشید، سطوح تیره‌ی کوچکی هستند که روزنه نامیده می‌شوند و از نظر اندازه هم‌مرتبه‌ی سلول‌های همرفتی‌اند و نواحی تیره‌ی بزرگتر که لکه‌ی روی خورشید نامیده می‌شوند، اندازه‌ای متغیر دارند. لایه‌ی خارجی ناحیه‌ی همرفتی، **فوتوسفر (photosphere)** نامیده می‌شود. اگرچه این لایه چگالی کمی دارد، ولی قابل تعریف است (در حدود $۱۰^{-۴}$ که هوا در سطح دریا است). زمانی که گازهای تشکیل دهنده‌ی این قسمت شدیداً یونیزه شوند و بتوانند طیف پیوسته‌ای از تابش را جذب و منتشر کنند، این ناحیه ضرورتاً مات می‌باشد. فتوسفر، منبع اکثر تابش خورشیدی است.

در خارج از قسمت فوتوسفر، جو خورشیدی با شفافیت کمتر یا بیشتر می‌باشد که در مدت کسوف، از طریق چشم غیرمسلح یا از طریق ابزارهای خاص قابل رویت است. در بالای قسمت فوتوسفر، لایه‌ای از گازهای خنک کننده با عمق چند صد کیلومتر است که **لایه‌ی واگردان** نامیده می‌شود. در خارج از آن لایه‌ای با نام **کروموسپهر (choromphere)** وجود دارد که عمقش ۱۰۰۰۰ کیلومتر است. این یک لایه‌ی گازی با دمایی بالاتر از دمای ناحیه‌ی فوتوسفر است، اما چگالی پایین‌تری دارد. لایه‌ی بیرونی‌تر **هاله** نام دارد، ناحیه‌ای که چگالی خیلی پایین و دمای خیلی بالا ($۱۰^{۶}$ کلوین) دارد. برای اطلاعات بیشتر در مورد ساختار خورشید، نوشته‌های Thomas (۱۹۵۸) وRobinson (۱۹۶۶) را ببینید.



شکل ۱،۱،۱ ساختار خورشید.

تصویری ساده از خورشید، ساختار فیزیکی‌اش، دما و تغییرات چگالی به عنوان مبنـایی بـرای درک یکسان این مطلب است که درواقع، خورشید به عنوان تابنده‌ی سیاهی در دمای ثابت، عمـل نمـی‌کنـد. بلکه تابش خورشیدی منتشر شده، نتیجه‌ی کنش‌های چندین لایه است که تابش را با طول مـوج‌هـای مختلف جذب و منتشر می‌کنند. نتایج حاصل از تابش خورشیدی در خارج از جو زمین و توزیع طیفـی آن، درحال حاضر توسط روش‌های مختلفی و با چندین آزمایش اندازه‌گیری شده‌اند؛ در دو بخـش زیـر به نتایج اشاره شده است.

نشرنوآور
تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱