

## فهرست مطالب

پیشگفتار مترجم ۷  
پیشگفتار ۹

۱. صادرات سیبری - هواشناسی و خاستگاه آب و هوا ۱۵
۲. جریان‌های پاتاگونیا - ماجرای ۳۸ روزهی ماژلان ۲۹
۳. نیرویی ده‌ها برابر - گنجینه‌های غرق‌شدهی  
دزدان دریایی ۴۷
۴. قدرت توفند (هاریکن - هیچ‌جا در امان نیست ۶۱
۵. گردباد دوروتی - پیچندها و چرخندهای پهن‌دشت ۷۱
۶. واپسین ماجراجویی بزرگ - پرواز بالن بر فراز  
کره‌ی زمین ۸۵
۷. دگرگونی‌ها - ابرها می‌گریند ۱۰۳
۸. تسخیر بام دنیا - برف، بوران و بهمن ۱۱۵
۹. تایتانیک غرق‌نشده - شکافته‌شده بر اثر

برخورد کوه یخ ۱۲۷

۱۰. بادهای موسمی (مونسون) و سایر بادهای بزرگ -

مرگ و بازسازی ۱۳۹

۱۱. گاهواره‌ی تمدن - سیلاب‌ها دره‌ی نیل را غنی و

حاصلخیز می‌کنند ۱۵۳

۱۲. سیلاب‌های معاصر - میسوری و می‌سی‌سی‌پی ۱۶۵

۱۳. ال‌نینو - این جریان اسرار آمیز ۱۷۷

۱۴. اقلیم در حال تغییر ما - گرمایش جهانی و

آینده‌ی دگرگون‌مان ۱۸۹

پیوست الف - قدرت باد ۲۲۷

پیوست ب - قدرت آب ۲۳۷

نمایه ۲۴۵

## پیشگفتار مترجم

هواشناسی علمی سهل و ممتنع است. از این بابت که هر روزه وضع هوا و پیش‌بینی آن را از رسانه‌ها می‌شنویم و می‌بینیم، امری پیش‌پا افتاده به نظر می‌رسد. اما از دیدگاه کارشناسان این رشته، پیچیدگی‌های آن بسی پر دامنه است و برای این‌که کسی در این حوزه ورزیده شود باید به میزان زیادی در علوم ریاضی، فیزیک، شیمی، ترمودینامیک، نجوم و ... مهارت یابد.

شاید به علت دشواری و تخصصی بودن علم هواشناسی است که مطالب مربوط به این زمینه در حوزه‌ی «قابل فهم همگان»، چه به صورت مقاله و رساله یا در قالب کتاب، بسیار معدود است. از میان کتاب‌های منتشر شده در زمینه‌ی هواشناسی برای همگان هم، آن‌ها که درخور توجه و مفید باشند، چندان زیاد نیستند. از این رو همیشه در پی یافتن یک چنین کتابی بودم.

ویژگی این کتاب، علاوه بر توضیح و تشریح مباحث هواشناسی (بیشتر در قالب ماجراهای تاریخی)، این است که بزرگترین معضل امروز بشر، یعنی تخریب محیط زیست و در رأس آن گرمایش جهانی را نشانه رفته است. هر چند که در مورد پیامدهای گرمایش جهانی که هم اکنون در جریان است، در این کتاب همه‌ی اتفاقات ذکر نشده، و سرنوشت دهشتناک آینده‌ی این سیاره‌ی خاکی و موجودات زنده‌ی آن به‌طور تام و تمام بیان نشده است، اما دورنمای کلی این آینده‌ی شوم به حد کافی

ترسیم شده است. آیا آگاهی نسبت به عوامل و پیامدهای این فاجعه، می‌تواند مانع از وقوع همه‌جانبه‌ی آن گردد و یا دست کم آن را به عقب اندازد؟ فقط می‌توان به شاید گفتن و امیدوار بودن بسنده کرد. اصل این کتاب به همت و مهربانی دوست فرهیخته و گرامی‌ام، دکتر مهناز نوروزی، فراهم آمده است. از این بابت و از جهات بسیار دیگر از ایشان سپاسگزارم.

## پیشگفتار

پس از آن که به اتفاق دوست و مرشدم، شادروان ماریو سالوادوری، ماجرای چگونگی تخریب ساختمان‌ها و علت و پیامدهای زمین‌لرزه و آتشفشانی را نوشتم، احساس کردم که کماکان نیاز دارم به منشأ و تأثیر نیروهای طبیعی پی ببرم. قدرتمندترین تمام آن نیروها عبارت است از نیرویی که به ما حیات می‌بخشد، سیاره‌مان را گرم می‌کند، ما را در دریای نور فرو می‌برد و تمامی فاجعه‌ها و مصیبت‌های ناشی از وضع آب و هوا را سبب می‌شود: تابش خورشید.

هر روز، در جایی بر کوهی زمین باران می‌بارد، شاید به صورت سیلاب؛ باد می‌وزد، شاید با شدت توفند (هاریکن) یا تیفون (توفان دریایی)؛ و برف می‌بارد، شاید به صورت کولاک و بوران. در نوجوانی، تابستانی را در جزیره‌ای در میانه‌ی یک دریاچه اردو زده بودیم که آسمان خاکستری و هوا توفانی شد. روزهای متمادی باران تند و شلاقی می‌بارید و باد به شدت می‌وزید، کف‌های سفید روی دریاچه‌ی معمولاً آرام به هوا بر می‌خاست، و فرصت نمی‌داد که بر قایق خود سوار شویم و به ساحل برویم و مواد غذایی تهیه کنیم که ذخیره‌ی خوراکمان داشت ته می‌کشید. من، از روی سادگی و خامی کودکانه، تصور می‌کردم هرگز از آن زندان جزیره‌ای خلاصی نخواهیم یافت و مهم‌تر از همه، از گرسنگی خواهیم مرد. پدرم به من اطمینان می‌داد که هیچ اتفاقی نخواهد افتاد، و پس از سه

روز توفان فرو نشست و خاطر من آسوده شد. بعدها، در حالی که سوار بر يك كشتی نفربر بودم خشم توفان اقیانوس آرام شمالی، كولاك برف كوركننده‌ی شمال شرقی، و سیلاب ویرانگر را تجربه كردم و به چشم دیدم، اما همه‌ی این‌ها در قیاس با ویرانی‌ای که به دست خدا اتفاق افتاد و در داستان نوح در كتاب مقدس نقل شده است، نوازش طبیعت به حساب می‌آیند.

خداوند، پیش از آغاز باران چهل شبانه‌روزی، به عنوان تنبیه و مجازات خشونت و درنده‌خویی آدمی، به نوح حکم كرد که كشتی نوح را بسازد و گونه‌های برگزیده‌ی جانوران و پرندگان را نجات دهد. كشتی نوح باید ۱۳۴ متر درازا، ۲۲ متر پهنا و ۱۳ متر بلندا، و سه دكل می‌داشته است. نوح هفت روز فرصت داشته این كار را به انجام برساند (وظیفه‌ای سنگین برای يك مرد ششصد ساله) پیش از آن که سیلاب به راه افتد و قله‌ی كوه‌ها را هم بپوشاند، و همه‌ی موجودات زنده را جز آن‌ها که بر كشتی نوح در امنیت كامل آرمیده‌اند، نیست و نابود كند. این حكایت ظاهراً از قصه‌ای بین‌النهرینی راجع به توفان و سیل بزرگی برگرفته شده که بر لوحه‌ی یازدهم حماسه‌ی گیل‌گمش، با يك تفاوت، تا امروز حفظ شده است؛ آن تفاوت از این قرار است که آن كشتی ۵۴ متر مكعب حجم داشت.

این حكایت يك واقعیت فیزیکی را به حساب نیاورده است. از مجموع آب موجود در كره‌ی زمین، ۹۷ درصد در اقیانوس‌هاست و دو درصد به صورت یخ، عمدتاً در كلاهك‌های یخ قطبی، یافت می‌شود. يك درصد باقی مانده به صورت رودخانه‌ها، آب‌های زیرزمینی، و بخار موجود در هواست. اگر تمام یخسارهای موجود امروزی ذوب شود، سطح آب دریاها ۷۰ متر بالا خواهد آمد. در نتیجه امکان ندارد که آب قله‌ی كوه‌های بلند را بگیرد. در حالی که این داستان قطعاً جعلی و ساختگی است، اما نمادی از ویرانی و انهدامی است که ممكن است در دوره‌ای خاص از نیروهای طبیعی ناشی شده باشد. «دنیای» محدود و

بسته‌ی نگارنده‌ی این حکایت به راستی ممکن است بر اثر جاری شدن سیلاب ویران شده باشد، مانند نواحی حوضه‌ی رودخانه‌های بزرگ که حتی امروز هم گاهی زیر سیلاب می‌روند. می‌دانیم که دریای سیاه روزگاری يك دریاچه‌ی آب شیرین بود، که به اندازه‌ی دوسوم مساحت امروزی‌اش وسعت داشت. حدود هفت هزار و پانصد سال قبل، پس از ذوب شدن یخسارها در پی خاتمه‌ی آخرین دوران یخبندان، سطح آب دریا بالا آمد، و آب دریای مدیترانه به دره‌ی بسفر سرازیر شد. آب شور از دریای مرمره به آنجا جاری شد، و سطح دریای سیاه را حدود ۱۸۰ متر بالا برد و مرزها و کرانه‌های آن را وسعت بخشید. از آنجا که سطح دریا در هر روز حدود ۱۵۰ میلی‌متر بالا می‌آمد، ساکنان کرانه‌ی دریای سیاه این رویداد را در حکم يك سیلاب عظیم تلقی کردند، و شاید همین امر به شکل گرفتن آن قصه‌ی کتاب مقدس انجامید.

داستان آب و هوا و اقلیم به تمامی با حکایت نوع آدمی درآمیخته شده است. حدود چهار هزار و دویست سال قبل، مهد تمدن، در بهشت سرسبز عدن (باغ عدن) در هلال حاصلخیز بین رودخانه‌های دجله و فرات، دستخوش خشکسالی سیصد ساله‌اش شد. چشم‌اندازی خشک و بی‌آب و علف جای دره‌ی سرسبز و حاصلخیز و جامعه‌ی کشاورزی شکوفا و پررونقی را گرفت که در آن منطقه پا گرفته و رشد کرده بود. این اتفاق فقط جزئی از يك چرخه‌ی درازمدت سرمایه‌ی و خشکی

خشکسالی است که هنوز هم امروزه زندگی ما را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. در بین‌النهرین باستان، نه تنها خدایان جنگ (عشتر یا ایشتار)<sup>۱</sup> و آب (اننا)<sup>۲</sup> در میان خدایان دیگر وجود داشت، بلکه آب و هوا را هم باخدای خودش، اداد<sup>۳</sup> می‌شناختند.

چینی‌ها پیش از هزاره‌ی نخست، لك‌های خورشید را مشاهده کرده بودند؛ آن دریاهاى تاریك و سیاه بر سطح خورشید که بر توفان‌های مغناطیسی خورشیدی دلالت می‌کنند. به مرور زمان، پی بردند که فعالیت

۱. Ishtar

۲. Ea

۳. Adad

شدید لك خورشید از يك چرخه‌ی یازده ساله پیروی می‌کند. اما، ناگهان در دوره‌ی سال‌های ۱۶۴۵ تا ۱۷۱۵ فعالیت لك خورشید به نحو فاحشی کاستی گرفت، و تقریباً با يك دوره‌ی سرمای شدید در نیمکره‌ی شمالی منطبق شد که به این دوران *عصر یخبندان کوچک* لقب داده‌اند. این نمونه و بسیار مثال‌های دیگر تأثیر و نفوذ اقلیم و وضع آب و هوا بر فعالیت آدمی را نشان می‌دهند.

اندکی پیش از يك قرن پیش، روند دهشت‌زا و تهدیدآمیزی آغاز شد که تا امروز ادامه دارد و به موجب آن تأثیرگذاری فعالیت آدمی بر اقلیم و وضع آب و هوای آینده چشمگیر شد. انسان همواره تلاش کرده تا پیامدهای پدیده‌های آب و هوا را تحت کنترل خود درآورد - ساختن سرپناه برای در امان ماندن از باران، برف، و تأثیر سرما و گرمای شدید؛ حفر مجرا و کانال برای هدایت آب باران؛ و ساخت موج‌شکن برای فرو نشاندن و آرام کردن امواج اقیانوسی و ایجاد ساحل و بندرگاه امن. برای دستکاری‌های فعال در وضع هوا، مانند بارورسازی ابر برای ایجاد باران، نیز تلاش‌هایی صورت گرفته است. در اواخر قرن نوزدهم تغییرات خارج از اختیاری آغاز شد که صنعتی شدن سریع، گسترش مصرف سوخت‌های کربن‌پایه، و انفجار جمعیت به آن دامن زد. تغییرات اقلیم اکنون اسیر چنگال گرمایش جهانی است که دیگر نمی‌توان آن را به روندهای درازمدت «طبیعی» نسبت داد. هرچند تغییراتی که می‌توان آن‌ها را به گرمایش جهانی نسبت داد به تدریج در صف نخست قرار گرفته‌اند، ممکن است در قرن بیست و یکم دیگر این جایگاه را نداشته باشد، زیرا تغییرات ناگهانی فاحش و احتمالی در وضع اقلیم را می‌توان در این سیاره انتظار داشت با آنچه تا کنون مشاهده شده بسی متفاوت خواهد بود. تکوین و تکامل فهم بشر نسبت به تغییرات اقلیم و آب و هوا از طریق ارتباط برقرار کردن با ماجرای کسانی که در خلال این تغییرات زندگی کرده‌اند، در این کتاب تشریح شده است. این کتاب حکایتی است از روندهای درازمدت با دیدگاه بزرگ مقیاس، مانند چرخه‌های عصر



یخبندان گرفته تا اقلیم‌های کوچک مقیاس در زادگاه و شهر خودمان.  
و همه‌ی این‌ها از خورشید آغاز می‌شوند!

## صادرات سیبری

### هواشناسی و خاستگاه آب و هوا

گاهی به حال خودم دلم می‌سوزد و  
و همیشه‌ی ایام،  
پر و بالی عظیم مرا به آسمان‌ها می‌برد.  
قصه‌ی سرخپوستی گمنام، اوجیبوا

همچنان که خورشید سپیده‌دمان از افق سر می‌زند، پرتوهای گرمابخش‌اش را به سوی ما روانه می‌کند، انرژی به ما می‌دهد تا جرئت پیدا کنیم به پیش برویم و با روز دیگری درگیر شویم. همان پرتوها زمین و اقیانوس‌ها را گرم می‌کنند، دمای سطح دریا را بالا می‌برند، سبب می‌شوند رطوبت از سطح دریاها تبخیر شود و تا جو بالا رود و ابرها را تشکیل دهد، و طی این فرایند، گردشی محلی را به حرکت در می‌آورد که سبب وزش باد می‌شود. اما این ماجرا که بادها از کجا می‌آیند، به سه دلیل، حکایت چندان ساده‌ای نیست.

اولاً، خورشید تابشگر کاملی نیست و مقدار تابش یکنواختی به سوی ما گسیل نمی‌کند. سطح آن خالدار (لکه لکه) و دارای مناطقی سردتر است که یک قرن پیش از میلاد و برای نخستین بار ستلرشنلسن چینی آن‌ها را مشاهده کردند. این مناطق سردتر به صورت لکه‌های تاریک ظاهر می‌شوند، که حدود هر یازده سال یک بار شدیدتر و با افزایشی در تابش خورشید توأم می‌شوند.

در نتیجه‌ی این **لکه‌های خورشیدی**، اختلاف در مقدار انرژی گسیل شده به زمین (و نیز به تمام سیارات دیگر در منظومه‌ی شمسی ما) حدود دو دهم درصد است. این اختلاف در میزان گسیل انرژی ظاهراً ناچیز است، اما سبب تداخل در سیگنال‌های رادیویی می‌شود و کافی است که برخی ناظران را به ادعای افزایش محصولات کشاورزی ناشی از افزایش دما سوق دهد. تأثیر دوم در آب و هوای جهانی از این واقعیت ناشی می‌شود که زمین خورشید را دور می‌زند؛ **اریستارخوس اهل سامرس** نخستین کسی بود که حدود ۲۳۰۰ سال قبل به این نکته پی برد اما در خلال قرن‌ها باورهای زمین مرکزی آرای او را پس راندند و سرکوب کردند. تا این که **کوپرنیک** در قرن شانزدهم مجدداً آن را کشف و شجاعانه اعلام کرد. هر چند که سیر حرکت

شکل ۱،۱ سفر زمین به دور خورشید.

زمین در آسمان در ابتدا دایره‌ای تصور می‌شد، **یوهان کپلر** در ۱۶۰۹ نشان داد که این مسیر یک بیضی است که خورشید در یکی از کانون‌های آن قرار دارد (شکل ۱،۱). زمین در طی سفرش به دور خورشید، از نزدیک‌ترین فاصله به آن، ۱۴۶ میلیون کیلومتری در حدود چهارم ژوئیه و از دورترین فاصله به خورشید، در ۱۵۱ میلیون کیلومتری در حدود سوم ژانویه

می‌گذرد.<sup>۱</sup>

اما، مهم‌ترین تأثیر در ایجاد تابش نایک‌نواخت خورشید نه ناشی از مسیر بیضوی آن، بلکه نتیجه‌ی این واقعیت است که زمین حول محور خود می‌چرخد، سطح آن با گذر از روز، و قرار گرفتن رو به خورشید، به شب، و قرار گرفتن رو به عالم (جهان هستی) یخبندان، به تناوب گرم و سرد می‌شود. افزون بر این‌ها، این چرخش حول محوری اتفاق می‌افتد که حدود  $23/5^\circ$  درجه نسبت به صفحه‌ی بیضی، صفحه‌ای که مسیر زمین به دور خورشید آن را تعیین و تعریف کرده، مایل است. این کجی و میل علت پیدایش چهار فصل است. در نیمکره‌ی شمالی، در بیست و یکم یا بیست و دوم دسامبر (انقلاب

زمستانی)<sup>۲</sup> کجی و تمایل نسبت به خورشید حداکثر است، زیرا خورشید در این موقع بر فراز مدار رأس‌الجدی<sup>۳</sup> قرار دارد، هرچند که دو هفته بعد، مسیر مداری، حول خورشید، را به حداقل زاویه‌ی کجی نسبت به آن می‌رساند. در بیست و یکم یا بیست و دوم ژوئن (انقلاب تابستانی)<sup>۴</sup>، خورشید مستقیماً بالای مدار رأس‌السرطان<sup>۵</sup> قرار می‌گیرد، و نیمکره‌ی شمالی کم‌ترین کجی را نسبت به خورشید دارد، هرچند که دو هفته بعد، مسیر مداری زمین آن را به حداکثر کجی نسبت به خورشید می‌رساند. اختلاف در تاریخ‌های مربوط به این انقلاب‌ها از این واقعیت ناشی می‌شود که زمین در مدت ۳۶۵ روز و ۵۰ ساعت و ۴۸ دقیقه و ۷۶ ثانیه مدار گردش خود را به دور خورشید کامل می‌کند. از آنجا که نمی‌توانیم کسرهای روزها را جمع و جور کنیم، سال‌های کبیسه با یک روز اضافی در هر چهار سال یک بار در نظر گرفته شده است. برای دقت بیشتر و تصحیح اضافی به منظور جبران کمبودهای سال کبیسه، قرن‌های کبیسه هم منظور کردند، که در هر ۴۰۰ سال یک سال کبیسه را در نظر نمی‌گیرند (از روی آن می‌پزند)، تا هزاره را تصحیح کنند. از آنجا که هوای نیمکره‌ی شمالی در تابستان از زمستان گرم‌تر است،

---

<sup>۱</sup>. مسیر حرکت زمین حول خورشید در طی هزاران سال اندکی تغییر می‌کند به گونه‌ای که فواصل نقل شده در این‌جا فواصل فعلی‌اند.

<sup>۲</sup>۱. winter solstice

<sup>۳</sup>۲. Tropic of capricorn

<sup>۴</sup>۳. summer solstice

<sup>۵</sup>۴. Tropic of cancer

واضح است که زاویه‌ی کجی یا میل زمین در تشکیل آب و هوای این سیاره مهم‌تر است تا فاصله‌ی آن از خورشید. در بین این دو حد و نهایت (تابستان و زمستان) اعتدالین<sup>۱</sup> بهاری و پاییزی در بیست و یکم یا بیست و دوم مارس (دوم و سوم فروردین) و ۲۲ یا ۲۳ سپتامبر (سی و یکم شهریور و اول مهر)

قرار دارند که در این ایام خورشید مستقیماً بر فراز استوا قرار می‌گیرد و طول شب و روز یکسان است.

گرمای خورشید را واکنش گداخت (همجوشی) گرما هسته‌ای تأمین می‌کند که در اعماق هسته‌ی آن اتفاق می‌افتد. این واکنش عبارت است از فرابندی که در آن دو اتم در هم ادغام می‌شوند (در می‌آمیزند) تا اتم جدیدی پدید آورند و، آن‌طور که اینشتین نشان داد، مقادیر عظیمی انرژی رها کنند. گرمای خورشید در اطراف استوا دارای حداکثر شدت است؛ این نواحی هر روز شدیدترین گرما را از سر می‌گذرانند و تقریباً مستقیماً رو به خورشید قرار دارند. به این علت است که نواحی استوایی در تمام طول سال بسیار گرم‌اند. از سوی دیگر، نواحی قطبی، که روزها در آنجا طولانی‌تر است، فقط دمیدن گذرای از انرژی تابشی خورشید را دریافت می‌کنند زیرا روی آن‌ها به سوی فضای خارج است و نه به سوی خورشید (شکل ۲،۱). در نتیجه، قطب‌ها کماکان سرد باقی می‌مانند و بین تابستان و زمستان حد نهایت تغییرات وضع هوا در آنجا اتفاق می‌افتد.

#### پیمودن فضا

سطح خورشید فوق‌العاده داغ و دمای آن  $6,000^{\circ}\text{C}$  ( $11,000^{\circ}\text{F}$ ) است. همچنان که در یک روز آفتابی کنار دریا در برابر خورشید قرار می‌گیریم، می‌توانیم گرمای آن را حس کنیم و نورش را ببینیم. اما این انرژی چگونه به ما می‌رسد؟ انرژی خورشید از سه راه می‌تواند به ما منتقل شود: رسانش<sup>۲</sup>، همرفت<sup>۳</sup>، و تابش<sup>۴</sup>. رسانش یکی از وسیله‌های مستقیم انتقال است که در آن

<sup>۱</sup> equinoxes

<sup>۲</sup> conduction

<sup>۳</sup> convection

<sup>۴</sup> radiation

ذرات مرتعش با یکدیگر برخورد می‌کنند اما به محیطی رسانا مانند محیط موجود در دیگ آلومینیمی یا مسی منکی است، که این‌ها هر دو گرما را از شعله‌ی اجاق به محتویات دیگ منتقل می‌کنند. خلأ تقریبی فضا قطعاً چنین محیطی نیست، و حتی هوا بیشتر از آن که رسانا باشد، نارسناست. مثلاً، از خاصیت عایق‌بندی هوا برای عایق‌کاری پنجره‌های دوجداره بهره می‌گیرند که در آن‌ها لایه‌ی هوای قرار داده شده بین دو جام شیشه در زمستان گرمای اتاق را نگه می‌دارد در حالی‌که در تابستان از ورود هوای گرم بیرون به داخل جلوگیری می‌کند.

همرفت عبارت است از حرکت جریان‌های گاز یا مایع مانند آن‌ها که به صورت حباب در یک کتری آب جوش در حال حرکت مشاهده می‌شوند. بنابر اصل ارسیمیدس، بسته‌های [هوای] گرم‌تر (کم چگال‌تر) گرایش دارند از محیط سردتر پیرامونی (مایع یا گاز) بالا روند و به این ترتیب جریانی همرفتی برقرار کنند (شکل ۱، ۲). بعداً خواهیم دید که این جریان‌های همرفتی بر روی زمین در تکوین آب و هوا چقدر مهم‌اند، اما در فضای خلأ خارج از جو زمین، که فاقد ذرات هواست، محیط رساننده‌ای برای همرفت فراهم نمی‌آید.

سرانجام، تابش از منبعی چون خورشید مستلزم حرکت امواجی است که می‌توانند در هر محیطی، حتی در خلأ فضا حرکت کنند. نور مرئی که از خورشید گسیل می‌شود یکی از اشکال انرژی تابشی و آن است که به ما می‌رسد، اما تابش‌های متعدد دیگری هم هستند، از جمله فرسرخ، فرابنفش، پرتوهای ایکس و میکروموج‌ها، که همگی در رده‌ی امواج الکترومغناطیسی قرار می‌گیرند، که بی‌سروصدا و نامرئی در عالم در حرکت‌اند.

از تمام انرژی خورشید که به زمین می‌رسد، فقط حدود نصف آن بر سطح این سیاره فرود می‌آید و خشکی و دریا آن را جذب می‌کنند، در حالی که بقیه‌ی آن را جو یا به فضا باز می‌تاباند یا جذب می‌کند. جنگل‌های پرپشت و انبوه و توده‌های آب تقریباً ۹۰٪ تابشی را که از جو می‌گذرد و بر آن‌ها فرود

شکل ۱،۲ همرفت.

می‌آید جذب می‌کنند؛ در حالی که برف و یخ ۸۰٪ تابش فرودی بر خود را باز می‌تابانند، که همین امر دلیل دیگری است برای سرد بودن نواحی شمالگان که حتی تحت تابش مستقیم آفتاب هم کماکان سرد می‌مانند، در حالی که جنگل‌های استوایی بسیار گرم‌اند و گرم هم می‌مانند. به یاد داشته باشید که هوا تراکم‌پذیر است و هوای سرد متراکم‌تر - و بنابراین سنگین‌تر - از هوای گرم است، و از این رو گرایش به ماندن در سطح زمین دارد، حال آن که هوای گرم، به علت سبک‌تر بودن بالا می‌رود. در نتیجه، بر فراز مدارگان (نواحی حاره و استوایی)، هوایی که همیشه گرم می‌شود داغ است، در حالی که بر فراز قطب‌ها، هوا به علت فقدان تابش خورشیدی سرد باقی می‌ماند. از بخت خوش ما، کره‌ی زمین را هوایی در بر گرفته که بدن ما و گیاهان و رستنی‌های این کره از آن تغذیه می‌شوند: هوا گازی است متشکل از ۲۰٪ اکسیژن، ۷۸٪ ازت (نیتروژن)، و ۱٪ سایر گازها. هر چه از سطح زمین دور شویم هوا رقیق‌تر می‌شود. فشار هوا بر اثر ترکیب دو عامل کاهش پیدا می‌کند؛ یکی کاهش وزن ستون هوای واقع در بالای آن، و عامل دیگر، تا

حدود کمتری، عبارت است از کاهش نیروی ربایش گرانشی. وقتی بر فراز برون سپهر (حدود ۱۲۸۰ کیلومتری بالای سطح زمین) قرار می‌گیریم ذرات (مولکول‌های) هوایی دیگر در آنجا وجود ندارد، و ما به مرز فضا می‌رسیم. کاوش ما در منشأ باد و آب و هوا در زیر پوشش اَبست<sup>۱</sup>، حدود ۵۰ کیلومتر سطح زمین، صورت می‌گیرد.

یک اصل مبرم و درجه‌ی اول بر وضعیت هوا حاکم است: حرکت به سوی تعادل. هوای داغ، به علت سبک‌تر بودن، به سوی ارتفاعات سردتر می‌رود و جای هوای سردتری را می‌گیرد که دارد آنجا را ترک می‌کند، و هوای سرد به سوی نواحی گرم‌تر (داغ‌تر) کشیده می‌شود. هر یک از این حرکت‌ها گرانش توده‌های هوا را به یافتن دمای معتدل، نه خیلی گرم و نه خیلی سرد، نمایش می‌دهند. به طوری که قبلاً دیده‌ایم، هوای بر فراز ناحیه‌ی استوایی گرم و هوای واقع بر فراز نواحی قطبی سرد است. این دو توده هوای متضاد، که مرزی مادی و فیزیکی آن‌ها را از هم جدا نمی‌کند، نمی‌توانند مدتی طولانی باقی بمانند بدون آن که به سوی وضعیت تعادل بروند.

هرگاه به تراشه‌ای از جو که نقطه‌ی آغاز آن استوا است نگاه کنیم، هوای داغ را می‌بینیم که به بالا می‌رود و به شمال و جنوب، به سوی نواحی قطبی، حرکت می‌کند. این توده هوا در حدود یک سوم مسیر تا قطب‌ها، چندان سرد می‌شود که به زمین فرو می‌افتد و به دو شاخه تقسیم می‌شود. یکی به سوی استوا در امتداد سطح زمین بر می‌گردد، در این فرایند گرما دریافت و گردش همرفتی را به نام **یاخته‌ی هادلی** آغاز می‌کند؛ این نام از جورج هادلی حقوقدان قرن هجده انگلیس برگرفته شده، که برای نخستین بار آن را شناسایی کرد. شاخه‌ی دوم در امتداد سطح زمین به سوی قطب‌ها به حرکت در می‌آید، و گردش همرفتی دیگری را به نام **یاخته‌ی عرض‌های میانی** (شکل ۱،۳) برقرار می‌کند. این الگوی گردشی دوم در امتداد مسیرش به شمال (یا به جنوب در نیمکره‌ی جنوبی) به اندازه‌ی کافی گرما دریافت می‌کند که بالا برود تا این که به موضعی در حدود یک سوم فاصله‌اش تا قطب