



الکتریسیته و مغناطیس

# الکتریسیته و مغناطیس

کایل کر کلند

ترجمه ی  
جمیل آریایی

زمشات ماریار

# فهرست مطالب

۹	پیشگفتار
۱۱	مقدمه
۱۳	<b>۱. الکتروسیسته</b>
۱۳	تندر
۱۵	قانون کولن و میدان‌های الکتریکی
۱۷	جوراب‌های چسبان و جرقه‌های جنبان
۱۸	رساناها و عایق‌ها
۲۰	کپی گرفتن: دستگاه‌های کپی
۲۲	سیم‌های برق‌دار و بارهای در حال جریان
۲۳	مدارهای الکتریکی
۲۷	<b>۲. مغناطیس</b>
۲۸	میدان مغناطیسی زمین
۲۹	نیروها و میدان‌های مغناطیسی
۳۴	دیدن درون بدن: تصویربرداری تشدید مغناطیسی
۳۸	قطارهای پروازی مغناطیسی
۴۱	<b>۳. الکترومغناطیس</b>
۴۱	الکترومگنت‌ها
۴۲	مدارهای الکتریکی و میدان‌های مغناطیسی
۴۴	یافتن سلاح‌های دفن‌شده: آشکارسازهای فلزی
۴۵	قانون فارادی
۴۷	ضبط‌صوت‌های نواری و دیسک‌های کامپیوتری
	بانکداری مغناطیسی:
۴۹	کارت‌های اعتباری و کارت‌های پرداخت وام

۵۳	<b>۴. نیروی محرکه‌ی الکتریکی</b>
۵۳	باتری‌ها و جریان مستقیم
۵۶	قانون اهم
۵۸	شرکت‌های برق و جریان‌های متناوب
۶۳	اهمیت زمین‌دار کردن
۶۵	خاموشی سراسری و خاموشی محدود
۶۷	منابع الکتریسیته در آینده
۷۱	<b>۵. حرکت با الکتریسیته</b>
۷۱	کار کردن با الکتریسیته
۷۳	موتورهای الکتریکی
۷۶	اتومبیل‌ها و قطارهای الکتریکی
۸۱	صنعت الکتریسیته‌محور آینده
۸۷	<b>۶. الکترونیک</b>
۸۸	سیلیکون و میکروچیپ‌ها
۹۰	دیودها و ترانزیستورها
۹۳	کامپیوترها
۹۹	گیرنده‌های رادیویی
۹۹	ظرفیت و القاء
۱۰۳	دیدن از دور: تلویزیون
۱۰۶	آبرساناها
۱۰۹	<b>۷. ضبط و ذخیره‌ی موسیقی و فیلم</b>
۱۰۹	موسیقی از دستگاه
۱۱۱	تحلیل طیفی و تبدیل فوریه
۱۱۴	ضبط صوت‌ها و نوارها
۱۱۶	ضبط آنالوگ و دیجیتال
۱۲۰	DCها و DVDها
۱۲۲	روش‌های پخش موسیقی و فیلم در آینده

## ۸. الکتروسیسته، مغناطیس، و حیات

۱۲۵

۱۲۵

۱۲۷

۱۳۰

۱۳۳

۱۳۶

۱۴۰

حیوانات الکتریکی

یونها و کانالهای یونی

الکتروسیسته‌ی عضله

الکتروسیسته‌ی قلب

الکتروسیسته‌ی مغز

حیوانات قطب‌نما دار

۱۴۵

## نتیجه‌گیری

۱۴۷

۱۴۹

۱۵۵

واحدهای SI و تبدیل‌ها

فرهنگ اصطلاحات

نمایه



## پیشگفتار

بمب‌های هسته‌ای که در سال ۱۹۴۵ پایان جنگ جهانی دوم را رقم زدند، نمایشی قانع‌کننده و هراسناک از قدرت فیزیک بودند. انفجارهای هسته‌ای که دست‌آورد بهترین ذهن‌های علمی تنی چند از دانشمندان دنیا بودند، شهرهای هیروشیما و ناکازاکی ژاپن را با خاک یکسان کردند و ژاپن را به تسلیم بی‌چون و چرا واداشتند. بمب اتمی هرچند تأثیرانگیزترین مثال بود، اما در طول جنگ جهانی دوم دنیا را از حضور فیزیک و فیزیکدان‌ها آگاه کرد. از بمب‌های سدّشکن که در مسیر جریان آب حرکت می‌کردند گرفته تا مین‌های شناور زیر سطح دریاها که با خاصیت مغناطیسی بدنه‌ی کشتی‌ها به حضور آن‌ها پی می‌بردند و منفجرشان می‌کردند، جنگ جهانی دوم به اندازه‌ی هر چیزی دیگری، چالشی برای علم نیز بود.

جنگ جهانی دوم، همگان، از جمله رهبران نظامی شکاک، را قانع کرد که فیزیک علمی ضروری است. بگذریم که دست‌آوردهای این علم به مراتب از کاربردهای نظامی آن فراتر است. اصول فیزیک بر همه‌ی بخش‌های جهان هستی و همه‌ی جنبه‌های زندگانی آدمی حاکم است. گردبادها، موتور اتومبیل‌ها، عینک‌ها، آسمان‌خراش‌ها، و نیز راه رفتن و دویدن ما انسان‌ها از قوانین علمی تبعیت می‌کنند. اهمیت فیزیک در زندگی روزمره اغلب تحت‌الشعاع عناوینی چون سلاح‌های هسته‌ای یا واپسین نظریه‌های چگونگی آغاز جهان هستی بوده است. فیزیک در دنیای ما مجموعه‌ای از چند جلد کتاب است که هدف آن کندوکاو طیف کامل کاربردها، وصف تأثیر فیزیک در فن‌آوری و جامعه، و نیز کمک به انانی است که می‌خواهند طبیعت و رفتار جهان هستی و همه‌ی بخش‌های برهم‌کنش‌کننده‌ی آن را درک کنند. در این مجموعه به شاخه‌های عمده‌ی فیزیک پرداخته شده است که عبارت‌اند از

- نیرو و حرکت
- الکتریسته و مغناطیس
- زمان و ترمودینامیک
- نور و اپتیک
- اتم و ماده

• ذرات و جهان هستی<sup>۱</sup>

در هر یک از کتاب‌های این مجموعه نخست مفاهيم بنيادی شرح داده شده و آنگاه کاربردهای گوناگونی که این مفاهيم در آن‌ها به کار رفته‌اند. فیزیک موضوعی ریاضی است، اما در این کتاب‌ها به ایده‌ها پرداخته شده است تا به ریاضیات. تنها معادلات ساده آورده شده‌اند. خواننده به دانش خاصی از ریاضیات نیاز ندارد، هرچند درک جبر پایه می‌تواند به فهم مطلب در چند مورد کمک کند. تعداد عناوین ممکن برای طرح در هر یک از این کتاب‌ها عملاً نامحدود است، اما تنها برای یک کاربرد جا هست و با کمال تأسف کاربردهای جالب باید حذف می‌شدند. با وجود این، هر جلد این مجموعه مطالب متنوعی را کندوکاو می‌کند و همه‌ی جلدها بخشی را به فهرست کتاب‌ها و سایت‌های اینترنتی اختصاص داده‌اند که برای مطالعه‌ی بیشتر لازم است. این بخش‌ها تنها حالت نمونه دارند و به فرصت‌های کندوکاو بسیاری اشاره می‌کنند که در دسترس‌اند.

روزی در کنفرانسی شرکت داشتم که دانشجوی جوانی از گروهی از اساتید پرسید آیا او به آخرین ویرایش یکی از کتاب‌های درسی فیزیک نیاز دارد یا نه. یکی از اساتید پاسخ داد که نه، چون اصول فیزیک سال‌هاست که تغییر نکرده. آنچه استاد گفت در بسیاری از موارد درست است که خود گواهی بر توانمندی فیزیک است. گواه دیگر بر اهمیت فیزیک تعداد حیرت‌آور کاربردهایی است که بر شالوده‌ی این اصول استوارند و این کاربردها با آهنگ خیره‌کننده‌ای رو به افزایش و تغییرند. موتورهای بخار جای خود را به موتورهای احتراق داخلی اتومبیل‌ها و جت‌های جنگنده داده‌اند و سیم‌های تلفن اندک اندک با فیبرهای نوری، ارتباطات ماهواره‌ای، و تلفن‌های موبایل جایگزین می‌شوند. هدف این دوره کتاب‌ها این است که خواننده تشویق شود تا اهمیت فیزیک را در هر سو و در هر تلاشی، چه در گذشته، چه در حال حاضر، و چه در سال‌هایی که از این پس خواهند آمد، ببیند.

۱. در همین مجموعه با ترجمه‌ی اختر رجیبی منتشر شده است.



## مقدمه

واژه‌ی الکتریسته از واژه‌ی یونانی *elektron* می‌آید که به معنی «کهربا» است. کهربا ماده‌ی سخت زردرنگ گیاهان است. یونانیان باستان پی برده بودند که مالیدن قطعه‌ای کهربا با پارچه‌ی پشمی خواصّ جالبی به این ماده‌ی ارزانی می‌دارد تا بتواند جرقه بزند یا اشیای کوچک و سبک را جذب کند. نه یونانیان و نه هیچ تمدن باستانی دیگر نمی‌دانستند که چرا این پدیده‌ها رخ می‌دهند.

قرن‌ها گذشت تا مردم الکتریسته را درک کردند. بنجمین فرانکلین در قرن هیجدهم نشان داد که تندر نوعی پدیده‌ی الکتریکی است و تنها در اواخر قرن نوزدهم بود که سر ژوزف جان تامسون الکترون را کشف کرد، ذره‌ی کوچکی که در فرآیند مالیدن کهربا با پارچه‌ی پشمی منتقل می‌شود و این مواد را از لحاظ الکتریکی باردار می‌کند. بشر توانست مایل‌ها سیم را برای رساندن برق به خانه‌ها و کارخانه‌ها از تیرهای برق بیاویزد، چون الکتریسته روش ارزان و مناسبی برای فراهم کردن انرژی بود.

مغناطیس نیز مسیر مشابهی را پشت سر گذاشته است. یونانیان باستان آهن مغناطیسی شده را در اطراف شهر مگنیزیا کشف کردند و به کاربرد آن در قطب‌نما دست یافتند که راهنمای ملوانان در دریانوردی بود. اما نیرویی که قطب‌نما را وادار می‌کرد به سوی شمال نشانه رود برای ملوانان آغازین ناشناخته بود.

پدیده‌های الکتریسته و مغناطیس، از جمله میدان مغناطیسی زمین، در قرن نوزدهم با پژوهش‌های هانس کریستیان اورستد و مایکل فارادی درهم آمیختند. اورستد کشف کرد که جریان‌های الکتریکی میدان‌های مغناطیسی تولید می‌کنند و فارادی کشف کرد که میدان‌های مغناطیسی متغیر جریان‌های الکتریکی تولید می‌کنند. از این‌رو رابطه‌ی تنگاتنگی بین الکتریسته و مغناطیس وجود دارد.

در این کتاب، که الکتریسته و مغناطیس نام دارد، الکتریسته، مغناطیس، و رابطه‌ی میان این دو را مطالعه می‌کنیم که الکترومغناطیس را می‌سازد و بخش مهم و فراگیر دنیای مدرن ماست. (نور که پدیده‌ای است الکترومغناطیسی، در

مجموعه‌ی کتاب‌های «فیزیک در دنیای ما» کتاب ویژه‌ای به خود اختصاص داده است و در اینجا به آن نخواهیم پرداخت. برخی قطعاتِ تجهیزاتی که تا اندازه‌ی کافی الکتریسته به آن‌ها نرسد سبب قطع برق می‌شود که فاجعه‌بار است، از جمله خاموشی‌یی که در ماه اگوست سال ۲۰۰۳ در شمال شرق ایالات متحده و بخشی از کانادا رخ داد. بدون قطارهای بین‌شهری و زیرزمینی، چراغ‌های راهنمایی، چراغ‌برق‌های خیابانی، و همه‌ی ملزوماتی که الکتریسته ممکن کرده است، نیویورک سیتی و شهرهای دیگر به یک باره از کار می‌افتند.

فصل‌های کتاب الکتریسته و مغناطیس، شما را با اصول این شاخه از فیزیک آشنا می‌کند و آنگاه کاربردهای بس گسترده‌ی آن‌ها را می‌کاود. درک الکتریسته و مغناطیس به انسان این توانایی را می‌بخشد که این نیروها را به شیوه‌ای کارآ به کنترل درآورد و هم‌چنان بر تعداد زیاد وسایل الکتریکی بیافزاید. وسایل الکتریکی نه تنها برای آنان که روزانه به اداره رفت و آمد می‌کنند حیاتی است بلکه مدارهای الکترونیکی ضرورتی هستند برای خلبان‌های جنگنده‌هایی که در هواپیماهای خود آسمان را می‌شکافند و مانور می‌دهند دیگر وسایل الکتریکی برای ضبط و پخش موسیقی به کار رفته‌اند و کیفیت‌شان از استوانه‌های حلبی و مومی دیروزی به دیسک‌های فشرده‌ی امروزی (CDها) ارتقا یافته است. کامپیوترها همه جا را تسخیر کرده و شیوه‌ی ارتباطات، تجارت، خواندن اخبار را برای مردم دگرگون ساخته‌اند که امروزه بیشتر از طریق الکترونیکی یا با اینترنت انجام می‌شود. آینده نیز نوید پیشرفت‌های بیشتر را می‌دهد.

الکتریسته نه تنها نیروی محرکه‌ی فن‌آوری تمدن امروزی است بلکه نیروی پیشران بدن انسان نیز هست. لوئیجی گالوانی دریافت که اگر به پای قورباغه محرک الکتریکی اعمال شود پای قورباغه تکان می‌خورد. این واقعیت که در درک زیست‌شناختی عضلات استخوان‌بندی، قلب، و مغز نقش بسزایی دارد، موضوع فصل پایانی کتاب الکتریسته و مغناطیس است. جاندارانی چون بعضی از پرندگان، لاپشت‌های قهوه‌ای متمایل به قرمز دریایی، و خرچنگ‌های خاردار می‌توانند میدان‌های مغناطیسی را حس کنند و با استفاده از آن‌ها مسیر حرکت و سمت‌گیری خود را تعیین کنند. الکترومغناطیس با نقشی که در فن‌آوری، زیست‌شناسی، و رویدادهای طبیعی از جمله تندر دارد، اثرهایی تولید می‌کند که بر سرتاسر جهان هستی و همه‌ی ساکنان آن تأثیرگذار است.

## الکتریسیته

در روزگارانی بس دور، رومی‌ها نوعی ماهی را می‌شناختند که در دریای مدیترانه زندگی می‌کرد و می‌توانست خارها و سوزن‌های دردناکی را، حتی از راه بسیار دور، گسیل کند. رومی‌ها از این توانایی ماهی در شگفت بودند چون سوزن‌های او نامرئی بودند، از این نظر که این سوزن‌ها را می‌شد حس کرد اما نمی‌شد دید. پزشکان رومی از این ماهی برای درمان ورم‌های دردناک مفصلی و نیز سردردها و دیگر ناخوشی‌ها استفاده می‌کردند.

این ماهی که تورپیدو نام دارد مثالی است از نوعی ماهی الکتریکی. همه‌ی تمدن‌های بزرگ دنیای باستان، از جمله رومی‌ها، مصری‌ها، و یونانی‌ها، دست‌کم با یکی از گونه‌های این ماهی آشنایی داشتند. اما هیچ یک نمی‌دانستند که چشمه‌ی توان‌مندی اسرارآمیز این ماهی از کجاست که می‌تواند از راه دور در آب احساس شدید درد کرخ‌کننده‌ای را در آدمی به وجود آورد.

بیشتر فن‌آوری امروزی با الکتریسیته کار می‌کند و هرچند شیوه‌ی تولید آن با الکتریسیته‌ی ماهی یکی نیست اما هر دو از اصول یکسانی تبعیت می‌کنند. مردم دنیای باستان نمی‌توانستند از همه‌ی توانایی‌های این چشمه‌ی عظیم انرژی استفاده کنند چون آن‌ها فیزیک الکتریسیته را نمی‌دانستند. اما الکتریسیته همه‌جا هست، هم در فن‌آوری مدرن و هم در طبیعت. اثرهای آن بی‌شمار و گسترده هستند. مثال به ویژه تکان‌دهنده‌ی آن را می‌توان در آسمان در اثنای توفان تندری دید.

### تندر

تندر در آنی می‌آید و می‌رود، وانگهی نمی‌شود نادیده‌اش گرفت. برق تندر میلیون‌ها بار از لامپ‌های خانگی درخشان‌تر است و آن اندازه قوی است که هر آنچه را در مسیرش باشد ذوب یا بخار کند. آذرخش الکتریسیته‌ای است که قدرتی مثال‌زدنی دارد.

مدت‌ها پیش از این که مردم بدانند تندر پدیده‌ای الکتریکی است، همیشه از

تماشای آن احساس شکوه و هراس کرده‌اند. به این دلیل نظریه‌های آغازین تندر سروکاری با الکتریسته نداشتند که به نظر می‌رسید وجه مشترکی بین تندر و ماهی الکتریکی یا کهریا یا پشم یونانی‌های باستان نباشد. اینان این دو ماده را به هم می‌مالیدند تا نیروهای ناآشنای جاذبه‌ای و دافعه‌ای به وجود آورند. تا این که سر و کله‌ی بنجمین فرانکلین (۱۷۰۶-۹۰)، دولت‌مرد آمریکایی تاجر و دانشمند، پیدا شد و مردم به رابطه‌ی بین تندر و الکتریسیته پی بردند.



شکل ۱.۱ این عکس چندین تندر را در شبی طوفانی نشان می‌دهد.

فرانکلین در سال ۱۷۵۲ در طوفان تندری بیرون رفت و آزمایشی با یک بادبادک و یک کلید انجام داد. فرانکلین استدلال کرد که الکتریسیته ناشی از جریان بارهاست و این بارهای الکتریکی در جو هستند که تندر را به وجود می‌آورند. در آزمایش فرانکلین، بارهای الکتریکی از طناب خیس بادبادک به پائین جریان می‌یابند و فرانکلین وجود آن‌ها را با ایجاد جرقه در کلیدی که به این طناب بسته بود به اثبات رساند.

امروزه فیزیکدان‌ها می‌دانند که اصطکاک در جو بالا بار الکتریکی تولید می‌کند. این فرآیند آنگاه رخ می‌دهد که ذرات کوچکی مانند قطرات آب و یخ به هم برخورد می‌کنند یا می‌سایند. در میان عوامل دیگر، باد این بارها را (بنا بر قانون کولن که در کادر زیر آن را توضیح داده‌ایم) از هم جدا می‌کند و بین هوای فوقانی

و سطح زمين نيروهاي الكتريكي قوي برقرار مي‌شود. اين نيروهاي الكتريكي گاهي آن قدر قوي هستند كه مو بر تن انسان سيخ مي‌کنند. اين نوعي فرآيند الكتريكي است: موها بارهاي الكتريكي همنام را جمع مي‌کنند و اين بارها با چنان نيروي قوي يكدیگر را دفع مي‌کنند كه موها را از هم رانده و تك تك آن‌ها به حالت ايستاده درمي‌آيند.

### قانون كولن و ميدان‌هاي الكتريكي

دو نوع بار الكتريكي داريم كه بنجمن فرانكلين آن‌ها را مثبت و منفي ناميد. كسي نمي‌داند كه بار الكتريكي چيست، اما بارها را مي‌توان به آساني از اثری كه بر يكدیگر دارند شناسايی كرد. بارهاي مثبت و منفي يكدیگر را جذب و بارهاي مثبت و همين‌طور بارهاي منفي يكدیگر را دفع مي‌کنند. در الكتريسته بارهاي ناهمنام يكدیگر را جذب و بارهاي همنام يكدیگر را دفع مي‌کنند.

نيروی بين دو بار الكتريكي  $Q_1$  و  $Q_2$  كه به فاصله‌ی  $r$  از هم قرار دارند از معادله‌ی زير به دست مي‌آيد:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

كه در آن  $k$  عددی است ثابت. اين معادله به پاس سهمی كه فيزيكدان فرانسوی شارل آگوستين دو كولن (۱۸۰۶-۱۷۳۶) در علم دارد، قانون كولن ناميده شده است. (يكای بار الكتريكي نیز كولن نام دارد. هر دو بار  $Q$  در اين معادله با تعداد كولن‌ها سنجيده مي‌شوند.) شكل اين معادله به معادله‌ی نيروی گرانشی بين دو جرم شبيه است كه اگر در آن  $Q$ ها را با  $m$  (كه جرم را نمايش مي‌دهد) و ثابت  $k$  را با ثابت  $G$  جاگزين كنيم نتيجه معادله‌ی جاذبه‌ی گرانشی خواهد بود. اين كه چرا بايد چنين باشد، يكي از جالب‌ترين اسرار طبيعت است.

قانون كولن مي‌گويد كه هر بار الكتريكي بر بارهاي الكتريكي ديگر اطراف خود نيرو وارد مي‌كند. فيزيكدان‌ها مناسب ديده‌اند كه بگويند هر بار ميدانی به نام ميدان الكتريكي در اطراف خود خلق مي‌كند. عبارت ميدان الكتريكي عبارتی انتزاعي برای مشخص كردن اثرهايی است كه بارها از حضور نيروهاي الكتريكي احساس مي‌کنند. فيزيكدان‌ها برای تجسم اين نيروها از مفهوم ميدان استفاده مي‌کنند.

بارها و ميدان‌هاي جوی اثرهاي پرقدرتی دارند. بارهاي ناهمنام يكدیگر را جذب مي‌کنند و اگر بتوانند در يك جا جمع مي‌شوند اما عامل بازدارنده‌ای هست كه از اين كار جلوگيري مي‌كند و هيچ راهی نيست كه آن‌ها بتوانند به يكدیگر

برسند تا اين كه نبروها به اندازه‌اي قوي مي‌شوند كه آن‌ها مسيري را در هوا شعله‌ور مي‌سازند كه همان تندر است.

هر تندري كه مي‌زند بيشتر اوقات از چهار ضربه تشكيل شده است. حركت بار كه جريان الكتريكي نام دارد بارهاي ناهمنام را در يك جا جمع مي‌كند. تندر جريان بارهاي الكتريكي بين دو جسم يا دو ناحيه است كه مي‌توانند دو ابر يا يك ابر و زمين باشند. انرژيي كه جريان توليد مي‌كند در مدت زمان بسيار كوتاهي دماي نوار تندر را به هزاران درجه مي‌رساند و مولكول‌هاي هوا را وادار مي‌كند جرقه بزنند. تندر به قدری داغ است كه به محض اصابت با زمين خاك شني را ذوب و ماده‌اي شيشه‌اي به نام فولگورايت توليد مي‌كند.

در هر لحظه‌ي مفروضي در كره‌ي زمين تعدادي در حدود ۲,۰۰۰ طوفان تندري رخ مي‌دهد و در هر ثانيه تعداد ۱۰۰ تندر به وقوع مي‌پيوندد. تندر مي‌تواند سبب آتش‌سوزي شود، جنگل‌ها را تخریب كند و به تأسيسات اطرف خود آسیب برساند يا آن‌ها را نابود كند. تندر مي‌تواند هم‌چنين بگشدد. تنها در ايالات متحده سالانه در حدود ۸۰ تا ۱۰۰ نفر بر اثر اصابت تندر جان خود را از دست مي‌دهند. گرچه امروزه مردم پي برده‌اند تندر نوعي پديده‌ي الكتريكي است، صدها سال پيش مردم بر اين باور بودند كه نواختن زنگ‌ها بلای تندر را دفع مي‌كند. اين باور نادرست زنگ‌نوازان را به هنگام طوفان‌هاي تندري به پشت‌بام ساختمان‌هاي بلند مي‌كشاند تا زنگ‌ها را به صدا درآورند و در نتيجه صدها زنگ‌نواز را تندر مي‌زد و به شدت مجروح مي‌ساخت. اين فعاليت عجيب و ناگوار هم‌چنان ادامه داشت تا اين كه دانش فزيك نشان داد بدترين كاري كه مي‌توان به هنگام طوفان‌هاي الكتريكي انجام داد اين است كه به ارتفاع رفت. قانون كولن مي‌گويد كه نبروهای الكتريكي بين بارهاي الكتريكي با زياد شدن فاصله‌ي بين آن‌ها کاهش مي‌يابد. نبروهای الكتريكي بارهاي جوي مي‌توانند آن قدر قوي باشند كه از اجسام بلند روي زمين جرقه بگيرند كه بهترين روش قرار گرفتن در معرض تندر است.

تمايبي كه تندر به برخورد با مرتفع‌ترين جسم دارد مقداري زيادي از توانايي آن مي‌كاهد. تندر تا اندازه‌اي قابل پيشگويي نيست اما ارتفاع را ترجيح مي‌دهد. آنچه گفتيم نسبي است چون تندر الزاماً بلندترين جسم ناحيه‌ي طوفان را نمي‌زند بلكه بلندترين جسم اطراف را مي‌زند كه در ازدحام سر برآورده است. درخت يا خانه‌اي كه از بقيه بلندتر باشد يا گلف‌بازي كه در ميدان گلف است در معرض تندر قرار مي‌گيرد. آسمان‌خراش‌ها هدف ايده‌الي براي تندر هستند. تندر سالانه