# روش‌های تحقیق برای امنیت سایبری

توماس دبلیو. ادگار[۱]

دیوید او. مَنز[۲]

[۱] Thomas W. Edgar
[۲] David O. Manz

ساینگرِس نشانی از الزِویر می‌باشد.

خیابان ۵۰ هَمپ شایِر، طبقه پنجم، کمبریج، اِم اِی ۰۲۱۳۹، ایالات متحده.

حق تکثیر شرکت الزِویر ۲۰۱۷. تمامی حقوق حفظ شده‌اند.

هیچیک از بخش‌های این نشریه در هیچ قالبی یا به هیچ روش الکترونیکی یا مکانیکی از جمله کپی‌برداری، ضبط کردن یا هرگونه ذخیره اطلاعات و سیستم بازیابی بدون مجوز از سوی ناشر، مجدداً تولید یا منتقل نخواهد شد. جزئیات درمورد چگونگی اخذ مجوز، اطلاعات بیشتر در مورد مجوز سیاست‌های ناشر و مقررات ما با سازمان‌ها از جمله مرکز مجوز حق‌چاپ[۳] و آژانس صدور مجوز حق چاپ[۴] در وب سایت ما به نشانی http://www.elsevier.com/permissions قابل بررسی می‌باشد.

این کتاب و مشارکت‌های فردی موجود در آن تحت محافظت حق چاپ از سوی ناشر قرار دارد (غیر از آنچه در این‌جا ذکر شده است).

## اعلامیه

دانش و بهترین تمرین در این زمینه به‌طور مستمر در حال تغییر است. همانطور که تحقیق جدید و تجربه، دانش ما را وسعت می‌بخشند، تغییرات در روش‌های تحقیق، تمرین‌های حرفه‌ای یا درمان پزشکی ممکن است ضروری به حساب آیند.

کاروران پزشکی و محققین می‌بایست همیشه به تجربیات و دانش خویش در ارزیابی و استفاده از هرنوع اطلاعات، روش‌ها، ترکیبات یا تجربیات توصیف شده در اینجا تکیه کنند. در استفاده از چنین اطلاعات یا روش‌هایی، آن‌ها می‌بایست متوجه ایمنی خود و ایمنی سایرین از جمله احزابی که نسبت به آن‌ها مسئولیت حرفه‌ای دارند، باشند.

در حد کامل قانون، نه ناشر و نه نویسندگان و نه هیچیک از همکاران یا ویراستاران، مسئولیتی در برابر آسیب و یا خسارت به اشخاص یا دارایی که به عنوان مسئولیت محصولات به شمار می‌رود، سهل انگاری یا به نحوی دیگر، هرگونه استفاده یا عملکردی در محصولات، دستورالعمل‌ها یا ایده‌های موجود در این مقاله را بر عهده نمی‌گیرند.

---

۳ Copyright Clearance Center
۴ Copyright Licensing Agency

**داده فیپا در کتابخانه انگلستان**

ثبت کاتالوگ برای این کتاب در کتابخانه انگلستان قابل دسترسی است.

**داده فیپا کتابخانه ملی کنگره آمریکا**

ثبت کاتالوگ برای این کتاب در کتابخانه ملی کنگره آمریکا قابل دسترسی است.

شماره استاندارد بین المللی کتاب: ۲- ۸۰۵۳۴۹- ۰-۱۲- ۹۷۸

جهت کسب اطلاعات در مورد تمامی نشریه‌های ساینگرس از وب سایت ما به نشانی https://www.elsevier.com/ دیدن فرمایید.

با هم برای افزایش و رشد کتابخانه‌ها در کشورهای در حال توسعه کار می‌کنیم.

*ناشر:* تاد گرین[۵]

*دبیر تحویل و تحول:* برایان رومِر[۶]

*مدیر تحریریه پروژه:* آنا والوتکِویچ[۷]

*مدیر تهیه کننده پروژه:* پونیتاواتی گویندراخان[۸]

*طراح جلد:* مارک راجِرز[۹]

حروف چینی: شرکت با مسئولیت محدود اِم پی اِس، چِنای، هندوستان

[۵] Todd Green
[۶] Brian Romer
[۷] Anna Valutkevich
[۸] Punithavathy Govindaradjane
[۹] Mark Rogers

## درباره نویسندگان

**توماس دبلیو ادگار** دانشمند ارشد تحقیقات امنیت سایبری در آزمایشگاه ملی شمال غربی پاسیفیک می‌باشد. او تحقیقات خود را در حوزه پروتکل‌های ارتباطات ایمن، مدیریت اعتماد رمزنگاری، محافظت زیرساخت‌های حیاتی و توسعه رویکرد علمی در امنیت سایبری تکمیل کرده است. علاقه‌مندی‌های تحقیقاتی ادگار شامل شالوده علمی امنیت سایبری و درخواست علمی بر اساس راه‌حل‌های امنیت سایبری برای اقدامی مهم و محیط‌های زیرساخت‌های حیاتی می‌شود. تجربیات وی به فرایندهای علمی، امنیت زیرساخت‌های حیاتی، توسعه پروتکل، جرم‌یابی قانونی سایبری، امنیت شبکه و تِست بِد و تجربه کردن، تکیه دارد. ادگار دارای مدرک لیسانس و فوق لیسانس رشته علوم کامپیوتر به‌ویژه تضمین اطلاعات از دانشگاه تولسا می‌باشد.

**دیوید او. منز** اخیراً به عنوان یک دانشمند ارشد امنیت سایبری در ریاست عمومی امنیت ملی در آزمایشگاه ملی شمال غربی پاسیفیک شناخته شده است. او دارای مدرک کارشناسی در رشته علوم اطلاعات و کامپیوتر از کالج رابرت دی کلارک آنِرز در دانشگاه آورگن و مدرک دکترای علوم کامپیوتر از دانشگاه ایداهو می‌باشد. فعالیت منز در آزمایشگاه ملی شمال غربی پاسیفیک شامل انعطاف‌پذیری شرکت و امنیت سایبری، ارتباطات ایمن سیستم کنترل و امنیت زیرساخت‌های حیاتی می‌شود. فعال‌کردن تحقیقات وی، کاربردی از روش‌های تحقیق مرتبط برای امنیت سایبری (علوم امنیت سایبری) می‌باشد. قبل از فعالیت خود در آزمایشگاه ملی شمال غربی پاسیفیک، منز به مدت ۵ سال به عنوان محقق در پروتکل‌های مدیریت کلیدی گروه در مرکزی برای سیستم‌های ایمن و قابل اعتماد در دانشگاه ایداهو (یو از آی) مشغول بود. به علاوه منز تجربه تدریس دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد رشته علوم کامپیوتر در دانشگاه ایداهو و دانشکده الحاقی در دانشگاه ایالتی واشنگتن را دارد. منز مؤلف مشترک نوشته‌ها و ارائه‌های متعددی در زمینه امنیت سایبری، امنیت سیستم کنترل و مدیریت کلیدی رمزنگاری بوده است.

## پیش گفتار

حوزه امنیت شاید با عنوان امنیت، امنیت سایبری، تضمین اطلاعات، امنیت اطلاعات یا هر چیز دیگری که نامیده شود- بسیار ناامیدکننده است، میدانی است که هر دو با سرعت یخبندان حرکت می‌کنند و به معنای واقعی کلمه شکل خود را در یک شب تغییر می‌دهند. چالش‌های بسیاری وجود دارد! اتصال دو سیستم متفاوت قبلی و اغلب خصوصیات امنیت سیستم (و ضعف‌ها) کاملاً متفاوت خواهند بود. تغییر جامعه کاربران به‌عنوان مثال، تغییر یک سرویس دولتی بسیار منظم به یک خانه و روش شناسی‌هایی که ما آن‌ها را با نام امنیت می‌پذیریم، غیرقابل قبول می‌شوند. یک خانواده ۵ ساله را اخراج نمی‌کنند زیرا او یک گذرواژه می‌نویسد! به عنوان دانشمند، ما چگونه باید این تفاوت‌ها را اندازه‌گیری کنیم؟

سؤالی درمورد اینکه امنیت واقعاً به چه معنایی می‌باشد، وجود دارد. می‌توانیم به صورت غیررسمی آغاز کنیم و بگوییم که امنیت یعنی کسب اطمینان از اینکه سیستم‌ها "آنچه که ما می‌خواهیم" را انجام دهند. گام بعدی ما می‌تواند این باشد، دیدن اینکه سیستم در واقع آنچه که ما می‌خواهیم را انجام می‌دهد یا خیر؟ و به سوی طراحی امنیت در آن گام برداریم. اما با در نظر گرفتن طبقه‌بندی‌ها مانند محرمیت، راستی و در دسترس بودن. این‌ها اغلب به منظور تعیین این است که آیا این خصوصیت‌ها حفظ شده‌اند یا خیر، تا برای گروه بندی کردن "چیزی که ما می‌خواهیم" به قطعات قابل کنترل مورد استفاده، قرار گیرند. اگر یکی از دقت زیاد ریاضیات محض فاصله بگیرد، تشخیص یک مشکل با طراحی امنیتی آن آسان است. ویژگی‌های امنیتی ذاتاً خوب یا بد نیستند. قضاوت این ارزش بسته به موقعیت دارد. اگر ما در تلاش برای بستن بات نِت اسپم هستیم، اکثر ما امیدوار هستیم که ویژگی "در دسترس بودن" شکست بخورد. ممکن است مالکان (یا موجران) بات نت‌ها مخالف باشند. آیا راهی وجود دارد که بتوانیم برای دیدن اینکه چه زمانی در دسترس قرار می‌گیرد، یک آزمایش کلی انجام دهیم؟

به علاوه، دغدغه‌های احتمالی امنیتی جدید، همیشه در حال ظهور هستند. بحث‌های حال حاضر که: آیا حریم خصوصی زیرمجموعه امنیت است؟ در مورد سیستم‌های فیزیک سایبری به چه صورت است و آیا خطی میان رویکردهای تاب‌آوری خطا که از شکست‌های مکانیکی جلوگیری می‌کنند و ویژگی‌های امنیتی که تلاش بر حفظ در دسترس‌بودن دارند، وجود دارد؟ اگر ما در مورد یک نیروگاه هسته‌ای یا اتومبیل خودران صحبت کنیم، تفاوتی وجود دارد؟ در اینجا یک نوع جدیدتر

وجود دارد. یادگیری ماشین در همه جا موجود است، اگر الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده شده در انتخاب متقاضی شغل (برای مثال) منجر به تبعیض نژادی در بخش‌های مختلف جامعه شود، یک مسئله امنیتی است؟ یادگیری ماشین خصمانه چیست و آیا می‌تواند شکست بخورد؟ سؤالات بسیاری وجود دارد و به نظر می‌رسد این حوزه بیشتر گسترش یابد تا کاهش. ما به عنوان محققان و دانشمندان، باید تصمیم بگیریم که چگونه به نحوی مفید به این سؤالات پاسخ دهیم.

خوشبختانه اگرچه حوزه امنیت، پاسخ‌های آسانی به خود نمی‌دهد، پیشرفت‌هایی در چگونگی نزدیک‌شدن ما به چنین پرسش‌هایی در مورد امنیت صورت گرفته است و این به یکی از مشارکت‌های نوظهور علم جامعه امنیتی تبدیل شده است. کمک‌کردن به خواننده در کشف چگونه مطرح کردن و پاسخ دادن به چنین سؤالاتی با استفاده از روش‌شناسی علمی که در این کتاب از سوی دکتر منز و آقای ادگار می‌درخشد، به عنوان یک امر عملی می‌باشد. آن‌ها با مطرح کردن مجموعه‌ای از ایده‌ها که برای محققین مفید خواهند بود، از چگونه آغاز کردن تحقیق در حوزه امنیت تا فکر کردن از طریق انواع تحقیقات علمی که بیشترین کاربرد را خواهند داشت، به این حوزه پرداخته‌اند. به‌علاوه، آن‌ها با درگیر کردن آزمایش، عملیات (اجرا و پیاده سازی) در محیط دنیای واقعی (به‌ویژه هنگامی که استطاعت مالی برای خراب کردن سیستم تحت نظارت را ندارید!) و از طریق کپی کردن و سایر روش‌ها نتایجی را به وجود آورده که پایه و اساس کار سایر محققین خواهند بود، ملاحظات پیچیده‌تری را درنظر گرفته‌اند. نویسندگان با تسهیل درک چگونه به‌کار بردن مفاهیم علمی سنتی، کار فوق‌العاده‌ای انجام داده‌اند و این امر به محققین جدید و تمرین‌کنندگان در این حوزه برای دست‌یابی به نتایجی که در برابر آزمون زمان مقاومت می‌کنند، کمک خواهد کرد.

آخرین تفکر. علم مانند امنیت پیچیده است. ما همیشه نمی‌توانیم تمامی متغیرها را کنترل کنیم، به علاوه همیشه نمی‌دانیم دقیقاً چه چیز را باید اندازه‌گیری کرد. باید به‌خاطر داشت که امنیت، خود، یک حوزه جدید است و ما تاکنون نتوانسته‌ایم به دقت قابل توجه‌ای از اندازه‌گیری که در رشته‌های باسابقه مانند فیزیک و حتی مجلل‌ترین آزمایشگاه‌های فیزیک که امروز هنوز ابزارهای اندازه‌گیری و سنسورهای تقویت شده با نوار چسب و فویل را مشاهده می‌کنیم و یافت می‌شود، دست بیابیم. علم مانند امنیت به‌طور مستمر در حال اصلاح است. افرادی مانند ما که بر این رشته همچنان جدید از رویکرد فوق دقیق سؤالات امنیتی فعالیت دارند، اغلب در حال فراگیری چگونه پیش‌بردن این علم و امنیت هستیم. از

نویسندگان که رویکرد علمی امروز را بیان کردند تشکر فراوان می‌کنم، با امید بر اینکه این مقاله منجر به حمایت از کارهای در حال حاضر و بهبود سایر فعالیت‌ها در آینده شود.

دِبورا آ. فرینک[۱۰]

[۱۰] Deborah A. Frincke

# مقدمه

## هدف

کار کردن به عنوان محققین حرفه‌ای در آزمایشگاه تحقیقات ملی ایالات متحده برای ما دو چشم انداز منحصر به فرد را به ارمغان آورده است. اولاً به صورت منحصر به فرد درگیر و آگاه به پیوند تحقیقات علمی، دولتی و صنعتی که هر یک دارای ادراک و روندهای محرمانه هستند، شده‌ایم. ثانیاً ما در محیطی کار می‌کنیم که اغلب قادر به فعالیت با محققین و مصاحبت کردن از طریق طیف گسترده‌ای از زمینه‌ها می‌باشیم، مانند: زیست شناسی، شیمی، بوم شناسی، فیزیک و غیره. با توجه به این دیدگاه‌هایی که ما داریم، با گذشت چندین سال، متوجه شدم که امنیت سایبری تا چه میزانِ کمی از روش‌های علمی را درک و در آن نفوذ می‌کند.

امنیت سایبری شاخه‌ی جدید و نوپایی از علم می‌باشد. همانطور که به صورت طبیعی از حوزه علم کامپیوتر رشد کرد، در علم ریاضیات به صورت قدرتمند جایگیر شد. با توجه به نوپایی نسبی این علم، برنامه‌های دانشگاهی امنیت سایبری تکمیل نشده و روش‌های علمی آن نیز به دانشجویان آموزش داده نمی شود. ما معتقد هستیم که این هسته و مرکز در عدم توانایی این زمینه برای ایجاد نظریه‌های جامع و مؤثر می‌باشد. در این مورد یک کتاب مرجع مورد نیاز است که رویکرد علمی در امنیت سایبری و اهمیت دقت ویژه در تحقیق را ارائه دهد.

اخیراً حوزه امنیت سایبری در مسابقه ملکه سرخ می‌باشد، بدین صورت که محققین دفاعی به منظور حفظ وضعیت موجود با حمله‌کنندگان منابع زیادی را توسعه می‌دهند. به هر حال، این زمینه در حال از دست رفتن است. کوشش عظیمی در تلاش برای پیشنهاد دادن اپلیکیشن کشنده‌ی بعدی یا بهره‌برداری از برنامه چندین ساله صورت گرفته است. تلاش ناکارا و کمی برای کشف اساسی علم امنیت سایبری وجود دارد. در سیاحت ما که به منظور کشف چگونگی تعریف و اندازه‌گیری امنیت سایبری انجام می‌شود، به این باور رسیده‌ایم که این حوزه تحقیقاتی ما، با استفاده از روش‌های تحقیق نیازمند توسعه می‌باشد. هدف این کتاب ارائه مقدمه‌ای از روش‌های تحقیق می‌باشد که ما یا کارمندانمان، در اجرای تحقیقات امنیت سایبری آن را مفید یافته‌ایم.

## خوانندگان

این کتاب برای دانشجویان مقطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دانشگاهیانی که به دنبال درک چگونه اجرا کردن تحقیق امنیت سایبری هستند، درنظر گرفته شده است. به علاوه، اطلاعات در این متن می‌تواند به عنوان متن مقدماتی برای تحقیقات علمی در مورد امنیت سایبری یا به عنوان راهنما و مرجع برای افرادی که به دنبال انجام تحقیقات ویژه می‌باشند، از سوی محققین مورد استفاده قرار گیرد. با مطالعه تمامی بخش‌های این کتاب، چشم اندازی در مورد علم امنیت سایبری و درکی در مورد موضوعات مختلف و روش‌های انجام تحقیق حاصل خواهد شد. به هر حال، اگر برای خواننده سؤال ویژه‌ای در مورد تحقیق پیش بیاید، در صورت تمایل می‌توانند برای یافتن پاسخ سؤال خویش تحقیق کنند و سپس این کتاب، مسیری را برای یاری رساندن در جهت مناسب‌ترین بخش مربوطه ارائه و فراهم خواهد کرد.

در حالی‌که این کتاب برای دوره‌های دانشگاهی طراحی شده است، اطلاعات موجود در این‌جا می‌تواند برای متخصصین حرفه‌ای در مورد امنیت سایبری نیز مفید و سودمند باشد. قطعاً این کتاب می‌تواند به عنوان مرجع و طراوت بخش محققین و توسعه‌دهندگان امنیت سایبری مورد استفاده قرار گیرد. تحقیقات قانونی سایبری نیازمند اطلاعات دقیق و روش‌شناسی رویه‌ای می‌باشد. به‌کار بردن روش‌شناسی و مفاهیم علمی روش‌شناسی می‌تواند دقت لازم برای توسعه شواهد پشتیبانی و برانگیختن شک و تردید به رقابت را فراهم آورد. پاسخ و تحلیل حادثه سایبری تا حد زیادی روند مطرح کردن سؤال و پاسخ دادن به فرضیه‌هایی از آنچه اتفاق افتاده، می‌باشد. روش‌های عینی و تجربی تحقیق، تکنیک‌های کمک‌کننده در این کوشش می‌باشند. امید ما بر این است که این کتاب بتواند دیدگاهی جدید و فرایند فکری در تمامی حوزه‌های امنیت سایبری برای محققین و کارشناسان این حوزه به ارمغان آورد.

## سازمان و شیوه

این کتاب در حدود دو مسیر استفاده سازماندهی شده است. اولین مسیر از اول تا آخر خواندن متداول به منظور یادگیری تمامی مفاهیم و تکنیک‌ها می‌باشد. مطالعه هر بخش در ادامه، منجر به بررسی اجمالی تمامی روش‌های تحقیق و نزدیک شدن به پاسخ سؤالات تحقیق خواهد شد. اطلاعات در بخش‌های قبلی وسیله نفوذ و قدرت بوده و در بخش‌های بعدی مطرح شده‌اند. به علاوه، دومین روش استفاده برای خوانندگانی است که دارای سؤال تحقیق ویژه یا طرحی که تمایل

به انجام دارند، می‌باشند. در بخش ۳ دلیل و برهان برای انتخاب رویکرد تحقیق و روش مطرح می‌شود و سپس با پوشش دادن این موضوعات، مسیر مناسب برای هر بخش را ارائه می‌دهد. این امر کاربرانی را فعال می‌کند که پس از هدایت و راهنمایی به اطلاعات مورد نیاز خویش به سرعت دسترسی می‌یابند. این کتاب به شش بخش مختلف تقسیم شده است. هر بخش پاره‌ای از اطلاعات را دربرمی‌گیرد: مقدمه‌ای بر علم و امنیت سایبری، پژوهش مشاهده‌ای، موردی، تجربی، کاربردی و موارد مفید جانبی. در هر قسمت بخش‌های متعددی وجود دارد. هر بخش موضوع مشخصی را دربرمی‌گیرد. روش تحقیق در هر بخش حاوی نمونه‌های تحقیق می‌باشد که با استفاده از روش‌های ویژه و دلیل و برهان موجود در پشت آن کمک به نشان دادن فرایند می‌کند. این مثال‌ها کاملاً بر اساس تحقیقات واقعی ما یا کارمندان و آن‌هایی که ما در انجام آن‌ها در گذشته آشنایی داریم، هستند. تمامی داده‌ها و نتایج ساختگی بوده و به‌منظور برجسته کردن جنبه‌ها و مسائل مربوط به فرایند تحقیق طراحی شده‌اند.

ما به صورت هدفمند از بیشتر روش‌های غیررسمی در این کتاب استفاده کرده‌ایم. هدف ما آموختن مفاهیم و روش‌های تحقیق قابل دسترسی و به صورت روزانه می‌باشد. امیدواریم که خوانندگان این شیوه را خواندنی و با شهامت درک کنند. ما به‌عنوان محققین حرفه‌ای آگاه هستیم و می‌بایست با واقعیت‌های انجام تحقیق مواجه شویم. به‌علاوه در حالی‌که برخی از فلسفه‌های علم مطرح شده‌اند، تلاش می‌کنیم محدودیت‌ها را در طول متن برطرف کنیم.

جهت کسب بینش بیشتر و مباحث سرگرم کننده، جعبه‌های مفصل که وسیله‌ای برای آزمایش خط انتقال می‌باشند را از متن ارائه داده‌ایم. دو نوع جعبه‌ی مفصل که برای آزمایش خط انتقال می‌باشند وجود دارد: آیا می‌دانستی؟[۱۱] و بررسی عمیق‌تر.[۱۲] جعبه‌های آیا می‌دانستید؟ از طریق احاطه کردن اطلاعاتی که در متن پوشش داده شده‌اند، واقعیت‌های جالب و سرگرم کننده‌ای را ارائه می‌دهند. جعبه‌های بررسی عمیق‌تر جهت کسب اطلاعات بیشتر در مورد یک موضوع مشخص، به بررسی عمیق‌تر موضوعات و خوانندگان مستقیم می‌پردازد. هدف این دو جعبه ارائه کمک آموزشی سرگرم کننده به دانشجویان و خوانندگان می‌باشد.

[۱۱] نام جعبه: Did You Know?

[۱۲] نام جعبه: Dig Deeper

## قدردانی

ما از تجربه، تخصص و تلاش‌های همکاران‌مان که به‌منظور تکمیل طیف کاملی از روش‌های تحقیق در موضوعات مورد نیاز مشارکت داشتند، قدردانی می‌کنیم.

بخش ۱: مارک تاردیف

بخش ۶: ساتیش چیکاگودار، سامرات چَترجی، دنیز جی. توماس، توماس ای. کارول، جورج مولِر

بخش ۷: توماس ای. کارول

تشکر ویژه از تیم ناشر ما در الزویر؛ برایان رومِر به‌منظور حمایت از ایده این کتاب و آنا والوتکِویچ که با بردباری، راهنمایی و کمک ما را در رسیدن به هدف‌مان یاری کردند.

در نهایت صمیمانه‌ترین قدردانی از همسر و فرزندانمان، شارون اِدگار، الکسیس اِدگار، کِتلین مَنز، متیو منز و هِنری منز می‌باشد. حمایت و شکیبایی همسران ما در این فرایند، امکان مثمرثمر واقع شدن این کتاب را فراهم کرد و فرزندان ما در این فرایند طولانی مدت با آوردن خنده بر لبان ما، همیشه یاری دهنده بوده‌اند. به‌علاوه از کتلین منز به‌دلیل نگاه ویراستانه‌ای که در طی این مسیر بر این کتاب داشته و با بررسی مهارت‌ها، مفاهیم نامفهوم حرفه‌ای ما را به شفافیت و متون مختصر تبدیل کرده است، قدردانی می‌شود.

# بخش

# مقدمه

برای طرح سؤالات جدید، احتمالات جدید، با توجه به مشکلات قدیم از یک زاویه‌ی جدید، نیاز به تخیلی خلاق است و پیشرفت واقعی در علم را نشان می‌دهد.

**آلبرت انیشتین**

# فصل ۱

# مقدمه‌ای بر علم

علم یک ابزار قدرتمند است که انسان‌ها از طریق آن به پیشرفت‌های شگفت‌انگیز اجتماعی و فنی دست یافته‌اند. علم ما را قادر ساخته است تا مکان و جایگاه خود را در عالم درک کنیم، از بیماری‌ها پیشگیری و آن‌ها را درمان کنیم و حتی اینترنت را ایجاد کنیم. پس چرا با چنین منبع قدرتمندی که ما در اختیار داریم، شیوه‌های علمی بیشتری را برای تحقیقات امنیت سایبری به‌کار نمی‌گیریم؟ در صورتی که ما خواهان این باشیم که امنیت سایبری به عنوان یک علم رشد کند و تکامل یابد، پس نیاز است تا تحقیقات خود را بر متدها و روش‌های علمی بیشتری، متمرکز کنیم.

هدف ما در این کتاب این مسئله است که اجرا و به‌کاربردن علم در زمینه‌ی تحقیقات امنیت سایبری با پیروی از متدها و روش‌های دقیق و تثبیت شده به چه معناست، را معرفی کند و در اختیار شما بگذارد. این کتاب خواستار استفاده از هزاران سال توسعه و پیشرفت روش علمی در دیگر زمینه‌ها و ارتقای اجرای تحقیقات امنیت سایبری به نوبه‌ی خود، به عنوان یک علم است. خروجی در نظر گرفته شده از استفاده از این کتاب، پژوهشی مرتبط، قابل تکرار و مستند است، به‌گونه‌ای که همکاران قادر به درک و سنجش‌گری و نقد پیامدها و نتایج آن هستند. تمرکز این کتاب بر جنبه تجربی و کاربردی علم یعنی روش‌های تحقیقی که می‌توانند برای اجرای تحقیقات شما مورد استفاده قرار گیرند، می‌باشد. با این وجود، چنان‌که ممکن است این اولین فعالیت و تلاش شما در دنیای علم باشد، در ابتدا توضیح این که علم چیست و ارائه‌ی یک مثال و نمونه از این که چطور در طول زمان علم تأثیر زیادی را بر دانش و درک ما داشته است، حائز اهمیت است.

در این فصل ما علم، تعریف مفاهیم مختلف علم، و چگونه علم می تواند در میان حوزه‌های مختلف پژوهشی ترویج یابد را مطرح و معرفی می‌کنیم. در ادامه برای (تفسیر) علم، توضیح موقعیت شیوه‌های مختلف مناسب در این طیف ارائه خواهد شد. سرانجام، مفاهیم علم از طریق مثالی ارائه خواهد شد. این مثال تصاعد تاریخی و پیشرفت آگاهی از طریق علم برای ما، که اکنون، سامانه خورشیدی شناخته شده، را کاوش خواهد کرد.

*روش های پژوهش امنیت سایبری. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-805349-2.00001-7
© ۲۰۱۷ Elsevier Inc. تمام حقوق محفوظ است.
PNNL under Contract No. DE AC05-76RL01830.

## فصل اهداف عملیاتی؛

- تعریف علم
- مرور کلی قالب‌های پژوهش و انواع شیوه‌های آن‌ها
- توضیح تداوم  پیوستگی یافتن و سلسله مراتب شواهد
- کاوش پیشرفت‌های علمی تاریخی در ستاره شناسی برای تناسب مفاهیم و راه‌کارها

## علم چیست؛

علم اصطلاحی است که بیش از حد، تحت مفاهیم بسیار مختلفی استفده شده است. درک این که علم نمایانگر سه چیز می‌باشد، مهم است: فلسفه، مجموعه‌ای از آگاهی و فرآیند دریافت و کشف آگاهی. فلسفه علم، بررسی آنچه که معنای ناظر جهان از درون آن است، می باشد. مجموعه‌ای از آگاهی علم؛ در محفظه قرار دادن هر آنچه که ما در مورد جهان آموخته‌ایم، می‌باشد. سرانجام، شیوه علم فرایندهای دقیق تولید شواهد، برای همانندسازی آگاهی از مشاهده جهان است. با اینکه تمام جنبه‌های علم موضوعات جذابی هستند که ارزش کاوش عمیق را دارند، این کتاب روی جنبه‌های عملی علم و روش‌های جمع‌آوری آگاهی در مورد فضای سایبری و امنیتی متمرکز شده است.

آنچه که علم نیست، مهندسی است. مهندسی دانش به‌دست آمده از طریق علم را به کاربردهای قابل استفاده و راه‌حل‌هایی برای چالش‌ها و مشکلات مورد بحث تبدیل می‌کند. در صورتی که به‌کارگیری فناورانه علم، علم نیست؛ این یک بخش استثنایی امنیت سایبری و مشابه علم است که اگر درست انجام شود، نیاز به فرآیندی دقیق دارد. فرآیند علم در قالب‌های معمول با هدف درک تدریجی اعتماد و اطمینان در آنچه که ما از مشاهده آموخته‌ایم، تکامل می‌یابد. برای دست‌یابی به این امر، شاخص‌های مهم چندگانه‌ای از روش‌های پژوهش وجود دارند. ابتدا، روش‌های تحقیق، رویکردی دقیق و منظم برای مطالعه فراهم می‌کنند. این تضمین می‌کند که اجرای تحقیق، درک و تصور کامل و منظم است. دوم، روش‌های تحقیق فرآیند نظریه‌های برپایه تجربی و آزمایش و مدل های مفهومی و قابل ادراک را ارائه می‌کند. سوم، روش‌های تحقیق تضمین می‌کنند که شاهد و اثبات توسط تفکر منطقی و با دلیل هدایت می‌شوند.

سرانجام، فرهنگ تحقیق با سطح خوبی از بدبینی و تردید برای به‌چالش کشیدن همیشگی رویکرد و نتایج حاصل برای ایجاد اطمینان در پذیرش دانش و آگاهی عجین شده است. برای دانش با دو ویژگی ارزشمند از طریق فرآیند پژوهش علم تلاش می‌شود. ابتدا، دانش پدیده‌ها و فرآیندهای که بر رفتار سیستم مؤثر هستند را توضیح می‌دهد. دوم، آن توانایی پیش‌بینی رویدادهای آینده با از تصویرسازی وضعیت موجود و محرک‌های احتمالی ارائه می‌کند. تجهیز شدن با این نوع دانش، ما قادر هستیم به طور مؤثری فناوری‌هایی که مشکلات اجتماعی را حل نموده یا برخی فرآیندهای بسیار مؤثری را ایجاد می‌کنند، مهندسی کنیم. در مورد امنیت سایبری، هدف بررسی‌های علمی، به‌دست آوردن آگاهی و دانش برای تعیین کیفیت امنیت و پیش‌بینی اینکه چه ابزارها و اقداماتی ما را قادر به خنثی کردن یا ممانعت کردن از حملات سایبری می‌کند، است.

## انواع علم؛

علم می‌تواند قالب‌های بسیاری را داشته باشد. در تلاش و تحقیق ما برای دانش، ما حوزه‌های بسیار متفاوتی از مطالعه را کشف کردیم. هر رشته (حوزه) نمایانگر یک مجموعه‌ای از سؤالاتی است که برای پاسخ‌دادن به آن‌ها، چالش‌های منحصر به فردی مطرح می‌شود. به‌دلیل این چالش‌ها، هر حوزه رویکردی برای تحقیقات علمی برای تولید بهتر شواهد تجربی برای تئوری‌های معتبر را توسعه داده است. خارج از این رویکردها یک مجموعه از روش‌های تحقیق که توسط انجمن‌های پژوهشی برای ادامه ساخت پایه دانش خود استفاده شده‌اند، از بین رفته است. جدول مقابل مرور کلی و خلاصه‌ای از انواع مختلف پژوهش‌ها با مثالی از حوزه‌های مطالعاتی را ارائه می‌دهد. همان‌طور که شما در جدول ۱,۱ می‌بینید، هر رشته‌ای از پژوهش روی قالب‌های مختلفی از روش‌های تحقیق تکیه دارد. با این حال، هر زمینه‌ای تمام قالب‌های روش‌های تحقیق را در برخی سطوح استفاده می‌کند. اکثریت این کتاب، قالب‌های روش‌های کاربردی و مفید خاص و تحقیقاتی را پوشش می‌دهد. این قالب‌ها تحقیق شامل روش‌های مشاهده‌ای، ریاضیاتی، تجربی است.

**مشاهده ای؛**

پدیده جذب، فرورفتن و درگیر شدن در یک سیستم بزرگ‌تر پویا است. محقق می‌تواند جایی که تحرکات کمتر سروصدا ایجاد می‌کنند را در نظر بگیرد؛ اما انجام آزمایشی عاری از تأثیر متغیرهای کنترل نشده یا غیرقابل کنترل، امکان‌پذیر نیست. غالباً صحنه آزمایش یا جهان کوچک توسعه داده می‌شود که این یک ساده سازی محیط طبیعی برای به‌دست آوردن درکی از روابط پایه میان متغیرهای مربوط به پدیده مورد علاقه است. اکثریت مطلق پژوهش علمی در برخی از آزمایش‌های مشاهده‌ای، کاربرد ساده برای دست‌یابی به درک، به کار گرفته می‌شوند. یک مثال تحقیقات بیولوژیکی استفاده از کشش‌های کنترل شده ژنتیکی آزمایشگاهی است.

**جدول ۱,۱ شاخه های تجربی و توضیحی علم**

| شاخه های علم | رویکرد علمی محرک | نمونه حوزه های مطالعه |
|---|---|---|
| علوم فیزیکی | علوم فیزیکی با ارزیابی و تأیید تجربی کنترل شده تئوری‌ها جمع آوری شده است. | فیزیک و شیمی |
| علوم زندگی | علوم زندگی دارای یک تقاطعی میان روش‌های مشاهده‌ای برای یادگیری در مورد سیستم‌های زندگی و پژوهش‌های تجربی از چگونگی زندگی کارهای علم شیمی موجود است. | بوم شناسی و بیولوژی |
| علوم اجتماعی | شامل تحقیقات توصیفی یا کیفی است. بهترین مدل های منا سب و م شاهده تعریف برای مدل‌های عملیاتی به کار می برد. | روانشناسی؛ جامعه شناسی؛ جرم شناسی |
| علوم ریاضات | از طرح های فرمول بندی شده، منطقی و ریاضی برای تعریف و کاوش فضای انتزاعی و مدل‌های مفهومی استفاده می‌کند. | ریاضیات و منطق |
| علوم اطلاعات | حوزه محاسباتی که از الگوریتم‌ها برای تولید مدل‌ها و فرضیه‌های از داده تجربی و عملی استفاده می‌کند. | یادگیری ماشینی؛ هوش مصنوعی |

اراده و حرکت برای توضیح آن پاسخ‌ها برای مواد شیمیایی یا دارویی، و رشته کشت میکروب در آزمایشگاه برای مطالعه پایه‌های سلول‌های بیولوژیکی (زیست شناختی) بدون ترکیب این رشته‌های عملی با یک سازوکار زندگی است. مثالی دیگر،

اجرای آزمایش‌های فیزیکی است که با شتاب دهنده‌ها برای کنترل انرژی و محل برخورد ذرات زیراتمی انجام شده است تا بتواند نتایج حاصل از این برخورد را جمع‌آوری کند. در تمام این موارد هر کس می‌تواند استدلال کند راه‌اندازی آزمایشگاهی مصنوعی که در آن نتایج ممکن است منعکس کننده آنچه در طبیعت اتفاق می‌افتد، نباشد. با این حال، جمع‌آوری داده در مورد برخورد ذرات زیراتمی در طبیعت عملی نیست و آزمایش مواد شیمیایی و دارویی بر روی انسان به عنوان آزمایشات اولیه غیراخلاقی است. بسترهای آزمایش برای پیشرفت دانش ما الزامی هستند.

**ریاضیات؛**

برخلاف تحقیقات مشاهده‌ای و تجربی، تحقیقات ریاضیاتی مبتنی بر اثبات و دلایل شکلی و منطقی است. اینجا یک بحث همیشگی و پایدار در مورد اینکه آیا ریاضیات واقعاً یک علم است وجود دارد، زیرا علم متکی بر شواهد است نه منطق. ما این بحث را به دیگران واگذار خواهیم کرد. اینکه چه چیزی درست است این است که، پیشرفت‌های ریاضیات غالباً پیش‌رانی برای پیشرفت‌ها در علوم تجربی و مشاهده‌ای است. ریاضیات برای جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل و پردازش الزامی است.

**تجربی؛**

محقق کنترل کامل بر آغاز رویداد مورد مشاهده و سازوکارهای جمع‌آوری داده دارد. تمام متغیرها شناخته شده‌اند و می‌توانند هریک را ثابت نگاه داشت یا متغییر ساخت تا نتایج حاصل از این تغییرات بر روی رویداد مورد نظر را ارزیابی نمود. یک مثال انجام آزمایش‌هایی روی یک زیرلایه خالص برای تعیین وضعیت آن (گاز، مایع، جامد) در دماها و فشارهای مختلف است. مرز میان تحقیقات مشاهده‌ای و آزمایشگاهی در بهترین حالت یک خط باریک و مبهم است. پژوهش به آزمایش‌های کنترل شده برای تولید درک اساسی و آزمایش‌های مشاهده‌ای برای آزمودن تناسب و ارتباط درک اساسی با رویداد در طبیعت نیازمند است. در هر دو مورد نتایج مبتنی بر مشاهده است. یک قالب تحقیقاتی دیگری که ما پوشش می‌دهیم، تحقیقات کاربردی است. تحقیقات کاربردی مفاهیم و روش‌های فنی را از شکل‌های دیگر تحقیقات برای مطالعه و ارزیابی توانایی ما برای به‌کاربردن دانش برای حل یا مشخص کردن یک مشکل اجتماعی همچون اهرم به‌کار می‌گیرد.

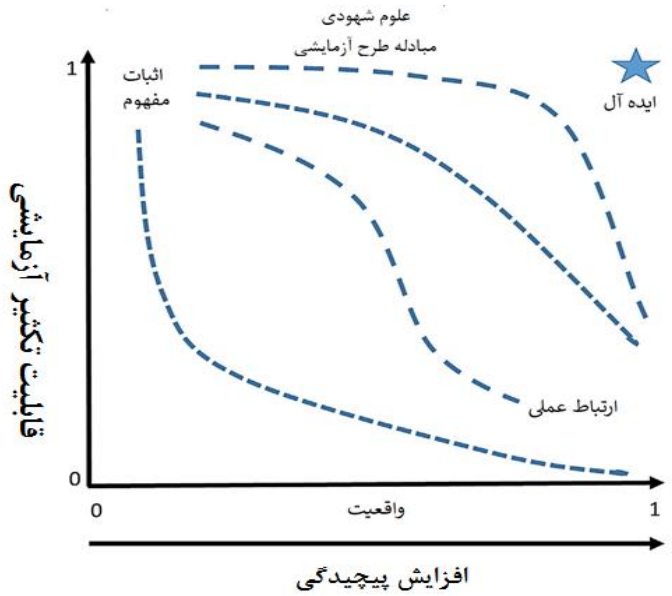
تحقیقات کاربردی یک موضوع اساسی در تحقیقات امنیت سایبری است زیرا تمام مشاهدات امنیتی یک سیستم به کارگرفته شده است.

## علم در هم آمیخته است...

تعریف کوتاهی از علم نوعاً شامل مفاهیم دست‌یابی سیستماتیک (اصولی و منظم) به آگاهی از جهان طبیعی و فیزیکی از طریق جمع‌آوری داده و آزمایش‌ها است. پالایش این تعریف گیج کننده و حیرت‌آور است زیرا نحوه عملکرد علم بسیار آشفته و درآمیخته تر از توصیف مفاهیم است. اساس و بنیان علم اجرای آزمایش‌ها برای کاوش روابط و علیت رویداد مورد نظر است. یک فرضیه غالب در بحث کاربرد روش علمی برای امنیت سایبری این است که محیط سایبر دائم در حال تغییر و در راه‌های غیرقابل پیش‌بینی است. نظریه آزمایش تکرارپذیر در یک محیط سایبر گاهی اوقات نمایی دست‌نیافتنی است. اساساً تحقیق در امنیت سایبری یک علم مشاهده‌ای است که در آن ما می‌توانیم آنچه که رخ می‌دهد را در روش‌ها و مقیاس‌های مختلف مشاهده کنیم. ما قادر به اجرای کاملاً کنترل شده آزمایش‌ها در مقیاس‌ها نیستیم که برای ارتباط عملیاتی معنی‌دار هستند. تاریخچه غنی از علوم کاربردی دقیقاً با این معضل وجود دارد. ما روی بسیاری از علوم مشاهده‌ای برای درک جهان پیرامون خود و برای پیش‌بینی آنچه در حال رخ دادن است، استناد می‌کنیم. مثال‌ها شامل علوم فضایی، بوم شناسی، آب شناسی، کشاورزی و کیهان شناسی است. گذشته از پیچیدگی تلاش و کوشش، دامنه‌ها همانند علم اقتصاد تنها مشاهده‌ای نیستند اما همچنین عمیقاً تحت تاثیر قضاوت‌ها، برداشت‌ها و ارزش‌های فرهنگی انسان قرار می‌گیرند. در عملکرد این حوزه‌ها، این غالباً اتفاق می‌افتد که پیشرفت از طریق ترکیبی از آزمایشات و مشاهدات رخ می‌دهد که مقیاس-های مختلفی را در بر می‌گیرند. به عنوان یک مثال اساس علم فضا (جو) درک روابط میان درجه حرارت و فشار با ایجاد یک نمودار سه گانه برای فازهای آب تحت شرایط مختلف است. راین نمودارها می‌توانند با اجرای آزمایش‌های کنترل شده در یک آزمایشگاه توسعه بیابند. درون آزمایش‌ها و نمودارهای حاصل مدل‌های فرآیندهای جوی که نمی‌توانند به سادگی با آزمایش‌های کنترل شده مورد بررسی قرار گیرند، را شکل می‌دهند. ما قادر به تولید ابرهای همگن در مقیاس‌های چندین کیلومتری برای سنجش رفتار آن‌ها نیستیم. به‌همین ترتیب ما می‌توانیم آزمایش‌هایی روی حیوانات آزمایشگاهی انجام دهیم تا بینشی در مورد تأثیر و عوارض جانبی داروهای جدید داشته باشیم، اما هیچ جایگزینی برای آزمایشات انسانی برای

تعیین تأثیرات بر روی انسان وجود ندارد. تنوع در ژنتیک، فرهنگ، گزینه‌های سبک زندگی و تولید غذا، تفکیک تأثیر دارو بر واکنش افراد از تغییرات جمعیت را بسیار دشوار می‌کند.

شکل ۱,۱ نمودار تصویری از پیشرفت علم مشاهده‌ای و تبادل بین آزمایش‌های ساده است که نتایج قابل تولید و تفسیر و تکرار در مقابل واقع‌گرایی تجسم یافته در آن آزمایشات نسبت به فرآیندهای طبیعی را که خواهان درک آن هستیم، ایجاد می‌کند. مسیر ارتباط عملیاتی ناشناخته است، اما تجربه نشان می‌دهد که عدم شروع با آزمایش‌های ساده اغلب منجر به حواس پرتی و تعصب می‌شود که مانع پیشرفت هدف بصیرت می‌شود. آنچه این مسئله را دشوار می‌سازد این است که اغلب بهترین تلاش‌های ما منجر به باورهایی محکم می‌شود که درست نیستند. در غیاب آزمایشاتی برای به‌چالش کشیدن فرضیات ما، پیشرفت ظاهری که ما ایجاد کرده‌ایم، یک خیال و توهم است.




**شکل ۱,۱**

تکرار آزمایشی در برابر ارتباط عملی.

علم امنیت سایبری ویژگی‌های مشابهی با علوم شهودی دارد که در قسمت بالا فهرست شده‌اند. تبادل میان آزمایش‌های ساده و ارتباط عملی، بخشی از گفتگوی درحال پیشرفتِ جامعه در مورد چگونگی افزایش سخت‌گیری علمی تحقیقات جهت فهم بهتر سیستم‌های سایبری می‌باشد. مبحث زیر از توسعه‌ی مدل خورشید مرکزی سیستم خورشیدی به عنوان

نمونه‌ای از تکامل دانش و اصول بنیادی در حوزه نجوم بهره می‌برد، جایی که مقیاسی که در آن می‌توانیم آزمایش‌ها را انجام دهیم به شدت با مقیاس پدیده‌هایی که می‌خواهیم آن‌ها را درک کنیم تفاوت دارد. هدف از این کار ارائه‌ی نمونه‌ای است که بتواند باعث تکامل و تحول پژوهش‌ها و بینش سیستم‌های سایبری شود. مسیر اکتشاف لزوماً با توضیحات تجربی در مورد چگونگی کارکرد سیستم آغاز می‌شود. هدف همواره بایستی حرکت به سمت نظریه‌های فیزیکی و ریاضی باشد که به توضیح اصول فیزیکی و سیستم‌ها پرداخته و به تحقق سیستم‌های سایبری عمومیت می‌بخشد. نمونه‌ی سیستم خورشیدی نیز تأثیر دیدگاهِ مشاهده‌گر در مورد آنچه که مشاهده شده است را برجسته می‌سازد. در حرکت از سمت یک دنیای زمین مرکزی به سمت یک سیستم خورشیدی مرکزی در درون یک دنیای گسترده، پیشرفت‌های اساسی وجود دارد که تنها دلیل آن این است که مأمور تحقیق می‌توانست داده‌های مشابه را از چشم اندازی متفاوت تجزیه و تحلیل کند.

## سلسله مراتب شواهد

همه‌ی شواهد عملیِ ارائه شده توسط روش‌های تحقیق یکسان نیستند. برخی از روش‌های تحقیق نسبت به دیگر روش‌ها، شواهد قوی‌تری را ایجاد می‌کنند، در حالی که برخی نیز طبقه‌بندی‌های مرتبط با شواهد، با نام سلسله مراتب شواهد، را ارائه می‌دهند. بحث در مورد "*سلسله مراتب شواهد*" به این معنی نیست که روش‌های "بهتر" یا "بدتر" در تحقیقات امنیت سایبری قطعی شده‌اند و قادر به تغییر نیستند. بیشتر بحث در مورد پرداختن به این موضوع نیز بود. هرچند، برای یک خواننده‌ی کنجکاو، خوب است که به این نکته نیز اشاره شود که محاسن و معایب برگرفته از روش‌های مختلف تحقیق، به ویژه روش‌های مشاهداتی، در این کتاب ارائه شده‌اند. امید است این بحث خوانندگان را ترغیب کند تا در مورد نوع تحقیق انجام گرفته جهت ایجاد پرونده‌ای برای یا علیه هر گونه جایگاهی پرسش کنند. یک سوال ساده در مورد نوع مطالعه یا آزمایشی که شما استفاده می‌کنید به شما کمک خواهد کرد تا سودمندی و کاربردی بودن را صرف‌نظر از نوع طبقه‌بندی ترسیم کند.

یکی از رتبه‌بندی‌های معمول، حداقل از جامعه پزشکی، برگرفته از تریشا گرینهالغ است، کسی که پیشنهاد داد انواع رتبه بندیِ جامعه تحقیقاتی از این سلسله مراتب پیروی کنند:

۱. بررسی و فراتحلیل‌های سیستماتیک از "کارآزمایی تصادفی کنترل شده (RCT) همراه با نتایج معین".

۲. کارآزمایی تصادفی کنترل شده (RCT) همراه با نتایج معین (بازه اطمینانی که با تأثیر قابل توجه آستانه از نظر بالینی هم‌پوشانی نداشته باشد).
۳. کارآزمایی تصادفی کنترل شده همراه با نتایج غیرمعین (برآورد نقطه‌ای که پیشنهاد دهنده‌ی یک تأثیر قابل توجه از نظر بالینی بوده اما همراه با بازه‌های اطمینانی که با آستانه‌ی این اثر هم پوشانی دارد.)
٤. مطالعات هم گروهی.
٥. مطالعات موردشاهدی.
٦. نظرسنجی‌های مقطعی.
۷. گزارش‌های موردی[۱]

این سلسله مراتب بر آزمایش های تصادفی و کنترل شده تأکید ویژه‌ای دارد. اما "ارزشمندتر" از یک آزمایش مجزا، یک گروه است، یعنی همان فراوانیِ آزمایش‌های دقیق و چندگانه که یافته‌های مشابهی به اصطلاح نتایج معینی را به اشتراک می‌گذارد. به‌همین دلیل تکرار دوباره‌ی پژوهش در هر زمینه‌ای مهم است، اما نبود پژوهش‌های قابل تکرار باعث می‌شود میدان امنیت سایبری مختل گردد. این تحلیل‌های عظیم از چندین آزمایش منجر به درک بنیادی در زمینه مطالعه‌ی ما می‌گردد.

در طبقات پایین‌ترِ این سلسله مراتب، انواع مختلفی از مطالعات مشاهداتی وجود دارد. لازم است بر این نکته تأکید گردد که انجام انواع مختلفی از پژوهش‌ها به شدت ارزش دارد. آن‌ها به ذات خود ارزش انجام دادن را دارند اما زمانی ارزش آن‌ها بیشتر می‌گردد که دیگر انواع پژوهش‌ها نتوانند انجام گیرند (به دلایل مالی، تکنیکی یا قومیتی). تصمیم بر انتخاب نوع پژوهش هرگز ارزشمند نیست، بلکه کمک به محقق و فهم بهتر شنونده نسبت به چگونگی تفسیر نتایج، عمل کردن بر مبنای نتایج و بهره‌وری از نتایج دارای ارزش می‌باشد. به عنوان مثال، یک مطالعه‌ی موردی که نتیجه‌ی آن ارتباط میان یک رفتار و یک پاسخ است بسیار متفاوت با یک آزمایشِ تصادفی کنترل شده‌ی فرضی-قیاسی است که نتیجه‌ی آن چیزی مشابه است. بازهم تأکید می‌شود که این موضوع ارتباط کمتری به ورودی و انجام پژوهش دارد و بیشتر به چگونگی بهره‌وری از نتایج مرتبط است.

یک سلسله مراتب دیگری که ارزش دارد مطرح شود برگرفته از مقاله‌ای در مورد تحقیقات مشاهداتی از جامعه پزشکی[۲] است، "مطالعات مشاهداتی: مطالعات هم گروهی و موردشاهدی" نوشته‌ی سونگ و همکاران که به بررسی تحقیقات مبتنی بر شواهد و اکتشافات (پزشکی) پرداخته و سطوح شواهد را شرح می دهد.

سطوح علم طب مبتنی بر شواهد

| سطح شواهد | مطالعات دارای صلاحیت |
|---|---|
| ۱ | کیفیت بالا، چند مرکزی یا تک مرکزی، کارآزمایی تصادفی کنترل شده دارای قدرت کافی؛ یا بررسی سیستماتیک این مطالعات. |
| ۲ | کیفیت پایین‌تر، کارآزمایی تصادفی کنترل شده؛ مطالعه‌ی هم گروهی وابسته به آینده؛ یا بررسی سیستماتیک این مطالعات. |
| ۳ | مطالعه مقایسه‌ای پس رویدادی؛ مطالعه موردشاهدی؛ یا بررسی سیستماتیک این مطالعات. |
| ۴ | موردهای مشابه. |
| ۵ | نظر کارشناس؛ گزارش موردی یا نمونه بالینی؛ یا شواهد مبتنی بر فیزیولوژی، پژوهش‌های بنیادی، یا "اصول اولیه". |

## از بطلمیوس تا انیشتین- علم و کشف طبیعت آسمان

از آغاز تمدن، آسمان شب خیال انسان را به خود جلب کرده و کنجکاوی و خلاقیت آن دسته از انسان‌هایی را که سعی در پیمودن زمین و دریا دارند، برانگیخته است. در طول این مسیر، آسمان شب به یک عنصر بنیادی در سیستم‌های مختلف اعتقادی تبدیل شده است، سیستم‌هایی که از قالب‌های کسل کننده مانند نجوم گرفته تا صاحبان دین مسیحیت که زمین را به عنوان مرکز خلقت خدا برپایه‌ی عهد عتیق درنظر گرفته بودند. مرزهای میان فعالیت‌های فیزیکی و ماورای فیزیکی اغلب نامشخص یا ناموجود بوده‌اند.

در اوایل توسعه تمدن، چرخه‌های زمین (روز)، مهتاب (ماه سی روزه) و خورشید (سال) مبنای زمان سنجی و تقویم‌ها شده‌اند. شواهدِ به‌جا مانده از تقویم‌های اولیه به ۸ هزار سال قبل از میلاد بازمی‌گردد. تمدن‌های اروپا، آسیا و آمریکا دست

به توسعه نسخه‌های خود زدند. اهمیت تقویم‌ها در تکرار سالانه‌ی رویدادهای مدنی و مذهبی و همچنین پیگیری تاریخچه-های مهم فرهنگی بوده است.

تقویم‌های اولیه بر پایه‌ی چرخه‌های ماه بودند. میانگین چرخه‌ی ماه ۲۹,۵ روز و ۱۲ چرخه‌ی ماه یک سال را به وجود می‌آورند که ۳۵۴ روز یا ۱۱,۲۵ روز کمتر از یک سال خورشیدی می‌باشد. تمدن‌های اولیه مبنا را با دوره‌های کبیسه منطبق می‌کنند تا تقویم را با رخدادهای فلکی تنظیم نمایند. این تنظیمات قرار بود اختیاری باشد و دقت آن تقویم‌ها پایین بود. مصری‌ها اولین تقویم خورشیدی شناخته شده را ساختند. چالش موجود در تقویم خورشیدی، وجود یک رخداد فلکیِ مجزا برای نشان دادن آغاز سال است. ستاره شباهنگ درخشان‌ترین ستاره در آسمان بوده و برای بخشی از سال توسط خورشید پنهان می‌شود. پیدایش دوباره‌ی این ستاره در شرق آسمان درست قبل از طلوع خورشید با طغیان رود نیل هم‌زمان شد. تشریق صبحگاهی این ستاره به عنوان نقطه‌ی شروع سال خورشیدی مصر به کار می‌رفته است.

در طول ۲۵۰۰ سال از دوره کلاسیک تاکنون، در مورد تحقیقات نجومی جهان و سیستم خورشیدی بسیار نوشته شده است. مقالات معاصری وجود دارند که تا دوره مدرن امروزی و نیز در تحلیل‌های تاریخیِ خط سیر اکتشافات نجومی در تمدن‌های موجود در آسیا، اروپا، آفریقا و آمریکا باقی مانده‌اند.

این مسئله کمترین آسیب را به رونق و پیچیدگی تحولِ درک فعلی ما از حالات اجرام آسمانی می‌رساند. هدف ابتدایی ما این است که در مورد کنش علمی و تأثیر فرهنگ از طریق آثار بطلمیوس، کوپرنیک، گالیله، کپلر، نیوتون و انیشتین مطالبی را یاد بگیریم.

## زنجیره‌ی علمی اکتشاف

از آنجایی که ما توسعه‌ی دانش خود را پیرامون منظومه‌ی شمسی بررسی می‌کنیم، درنظر داشتن و بررسی کردن اطلاعات در بستر زنجیره‌یِ فهمِ مواردی که به فهمِ بلوغِ بینش ما در چگونگی عملکرد سیستم‌های طبیعی کمک می‌کنند، مفید خواهد بود. این مسئله که توانایی ما برای ارزیابی جایگاه‌مان در این زنجیره، معمولاً توسط باورهای قوی خنثی می‌شوند، به عنوان یک پارادوکس است. دقیقاً به این دلیل است که روش علمی برای پیش‌روی و پیشرفت دانش ما از جهان اطرافمان ضروری است. روش علمی نیازمند این است که اعتقادات و اولویت‌ها، تابع داده و اطلاعات باشند.

| **مدل کامل تأیید شده برای استفاده‌ی کاربردی** | **مدل کلی برگرفته از نمونه‌های مشخص جهت آزمایش** | **مشاهدات محدود پدیده‌ای که فهم ناچیزی از آن موجود است.** |
|---|---|---|
| اجرا کردن: | پیش‌بینی کردن: | بررسی: |
| نظارت بر ادراکات | به چالش کشیدن و آزمودن مدل مفهومی | توضیح و تفسیر پدیده |
| حمایت از تصمیمات ارزیابی‌ها | سوالات ابطال‌پذیری که مدیریت‌کننده‌ی آزمایش‌ها هستند. | توسعه‌ی یک مدل مفهومی |

**شکل ۱,۲**

یک زنجیره‌ی علمی اکتشاف

شکل ۱,۲ یک تجسم و تصویری از یک زنجیره‌ی علمی اکتشاف است. بسیاری از تلاش‌ها برای فهم یک پدیده‌ی مشخص، با یک فهم بسیار ناچیز از آن‌چه که در واقع اتفاق می‌افتد و آن‌چه که تحریک‌کننده و یا باعث تغییراتی که مورد توجه محققان است، شروع می‌شود. این مسئله در سمت چپ تصویر آورده شده است. هنگامی که بررسی‌های جداگانه انجام می‌گیرند، طرح‌ها و الگوها معمولاً به وجود می‌آیند. این طرح‌ها از یک مدل مفهومی برای چگونگی انجام کار، پشتیبانی می‌کنند. این یک پروسه‌ی استقرایی از دریافت بررسی‌ها و مشاهدات خاص برای توسعه‌ی یک مدل کلی و عمومی است.

هنگامی که یک مدل مفهومی توسعه می‌یابد، به‌منظور صحت و درستی آن، می‌توان آن را مورد چالش و آزمون قرار داد. در وسط تصویر حوزه‌ی آزمایش‌های کلاسیک صورت‌گرفته در محدودیت‌های مدل علمی نشان داده شده است. این یک پروسه‌ی استنتاجی است که در این پروسه یک فهم و یا مدل عمومی و کلی مورد چالش و آزمایش و توسط مشاهدات و آزمایش‌های خاص مورد پالایش قرار می‌گیرند.

و در آخر، در سمت راستِ تصویر، جایی است که علم مفید واقع می‌شود. همانطور که توسط تکامل و تحول دانش ما از منظومه شمسی و جهان نشان داده خواهد شد، برای این که فهم به صورت مفید و تأثیرگذار واقع شود، نیاز نیست تا به‌صورت عالی و کامل باشد.

با این حال که زنجیره‌ی موجود در شکل به صورت منظم و سیستماتیک نشان داده می‌شود، اما فهم و پذیرش این موضوع که علم یک مسئله‌ی بسیار در هم آمیخته و آشفته است، بسیار با اهمیت است. ارزیابی و سنجش درست بلوغ فهم یک سیستم، چالش‌برانگیز است و اغلب یک بررسی مجزا، می‌تواند کاستی‌ها و معایب ویرانگرِ مدل‌های مقبول و پذیرفته‌شده را نشان دهد.

این امر که از انتهای سمت چپ زنجیره دوباره آغاز کنیم، نیازمند اراده و فروتنی است. همچنین در حوزه‌های علمی فشارهای اجتماعی وجود دارد که از همان چیزی که همه‌ی افراد خواهان آن هستند، جلوگیری می‌کنند، که این خواسته افراد درک و فهم کامل‌تری از چگونگی کار جهان است. روش علمی تمایل ما برای محقق بودن با شواهد آن‌چه که در واقع اتفاق می‌افتد، را به چالش می‌کشد. سیستم‌های باورها و اعتقادات فرهنگی اغلب بسیار قوی جایگیر شده‌اند که به چالش کشیدن آن‌ها توسط شواهد می‌تواند محقق را به مخاطره بیاندازد. با این وجود، در نهایت پیگیری دانش نمایانگر یک بازگشت از شواهدی غیرقابل انکار است.

**آیا می‌دانستید؟**

**در واقع اصطلاح تجاری "جابه جایی پارادایم" که عموماً مورد استفاده قرار می‌گیرد، ریشه در فلسفه علم دارد. در سال ۱۹۶۲ در کتاب "ساختار انقلاب‌های علمی" توماس کوهن، فیزیک‌دان و فیلسوف، عبارت جابه جایی پارادایم را با تلاش برای توضیح تأثیر اجتماعی بر علم ایجاد کرد. قضیه این است که مدل‌های مفهومی خاص و تئوری‌ها، در فرهنگ پژوهش و تحقیق جایگیر شده‌اند و یک لختی و سکون اجتماعی برای فاصله‌گیری از آن‌ها وجود دارد. برای تغییر یک چشم‌انداز و یا جابه‌جای پارادایم باورهای دیرینه در حوزه‌ها و زمینه‌های مورد مطالعه، نیازمند نتایج مهم و چشم‌گیر و یا بعضی نشانه‌ها و شواهد است.**

## مدل بطلمیوسی و دیگر فرضیات

زمین به عنوان مرکز عالم، و یا نظریه زمین مرکزی، در اوایل دوره‌ی کلاسیک (تقریباً قرن ۸ پیش از میلاد تا قرن ۶ پس از میلاد ) نظریه به عنوان بخشی از نجوم و فلسفه‌ی یونان به وجود آمد که به شدت بر ادراک و فهم علم و فلسفه در مدیترانه، جنوبی غربی آسیا، شمال آفریقا و اروپا تأثیرگذاشت. مشاهدات بنیادین قابل دسترس امروزه از خورشید، سیارات و ستاره‌ها که در حال چرخش دور زمین هستند و سکون ظاهری زمین نسبت به این چرخش‌ها، پایه و اساس توسعه‌ی ریاضیاتی بودند که مکان اجرام آسمانی را توضیح می‌دهد و پیش‌بینی می‌کند. مدل‌های جایگزین که مرکزیت را زمین قرار نمی‌داند، مطرح شدند، اما مدل زمین مرکزی تا زمانی که این نظریه توسط کوپرنیک در قرن ۱۶ به چالش کشیده شد و در آخر جای خود را به مدل خورشید مرکزی در قرن ۱۷ داد، پابرجا بود.

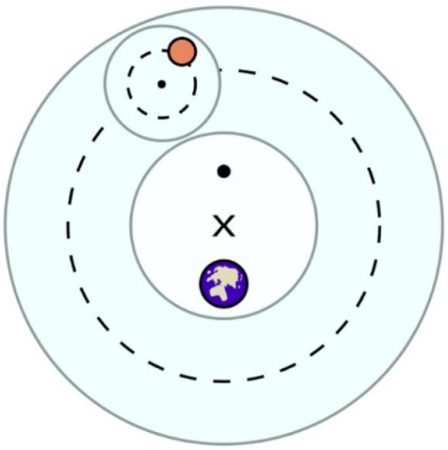
| بررسی عمیق‌تر: مسائل پیش‌رو و معکوس |
| --- |
| **یک مسئله‌ی پیش‌رو با دانش از عوامل علی شروع می‌شود و نتایج را محاسبه می‌کند.**<br>**یک مسئله‌ی معکوس با جمع‌آوری مشاهدات و تخمین عوامل علنی حل می‌شود.**<br>**تعداد زیادی از سؤالات در علم از جمله طبقه‌بندی و حرکات سیارات در منظومه شمسی از مسائل معکوس هستند.** |

مدل زمین مرکزیِ حرکت آسمانی، برای فهم و ادراک علم از چندین چشم‌انداز جالب است. اولین مسئله این است که پایه‌ی این مدل در شواهد تجربی و یا دانش کسب شده توسط ادراک و حواس ما قرار داده شده است. توانایی منجمان باستان برای سنجش و اندازه‌گیری مکان خورشید و سیارات با چشم غیرمسلح و توسعه‌ی تجسم ریاضیات از این محاسبات و حرکات، بسیار قابل توجه و فوق العاده بود. احتمالاً مشهورترین و ماندگارترین نویسنده کلادیوس بطلمیوس بوده است که مدل زمین مرکزی را در یک کار به نام *المجسطی* در قرن دوم پس از میلاد، استاندارد و متعارف کرد.

مدل بطلمیوسی به چندیدن فرضیات و تصورات افزون بر ثابت بودن و در مرکز عالم بودنِ زمین، نیازدارد. مشاهدات یک سیاره از زمین در طول زمان، مسیری را نشانه‌گذاری می‌کند که جهت را تغییر می‌دهد. همانطور که در شکل ۱,۳

نشان داده شده است، تجزیه و واکافت بطلمیوس از این پدیده متشکل از یک مدار بزرگ در اطراف زمین (فلک حامل) و یک فلک تدویر کوچک‌تر که یک مسیر دایره‌ای است که در فلک حامل می‌چرخد، است.

همانطور که در دانشنامه‌ی بریتانیکا در سال ۱۷۷۱ به چاپ رسیده است، تجسم مدل مفهومی بطلمیوسی در فرم معادله، ابزارهایی برای توسعه‌ی طرح در شکل ۱,۴ را فراهم کرده است، که این شکل نشان‌دهنده‌ی کارکرد معادلات نجومی برای فلک‌های حامل، فلک‌های تدویر و معدل‌المسیرها برای مکان‌های خورشید، عطارد و زهره نسبت به زمین است. ویژگی بارز در این شکل، حلقه‌های اپی‌سیکلیک است. این مسئله نیز جالب توجه است که خورشید و سیاره‌ها هرکدام دارای بسامدهای فلک‌های تدویر هستند.



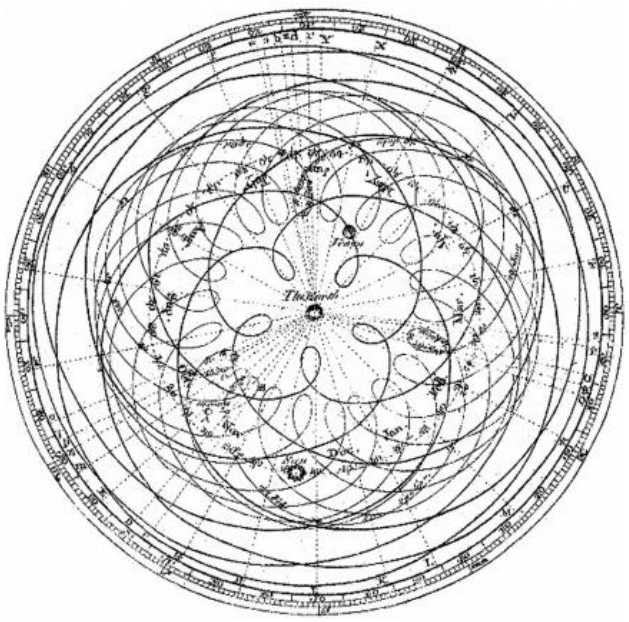

**شکل ۱,۳**

نجوم بطلمیوسی- شکل دایره‌ی بزرگ همراه با خط چین، فلک حامل و دایره‌ی کوچک همراه با خط چین، فلک تدویر می باشد. مرکز همان X است. نقطه سیاه، معدل‌المسیر و برای تنظیم فاصله خارج از مرکز بوده و زمین در مقابل معدل‌المسیر است.

شکل ۱,۴ این فرضیه را برجسته می‌سازد که اجرام سیاره‌ای جهت خود را در مدارهای پیچیده‌ی خود اطراف زمین تغییر می‌دهند. قانون لختی گالیله تا سال ۱۶۱۲ ناشناخته بود. نکته‌ی جالب درمورد این فرضیه این است که در اینجا یک مکانیزم پیشنهادی وجود ندارد که منجر به تغییر جهت خورشید یا سیاره‌ها گردد. شواهد تجربی تغییر جهت سیاره‌ها به اندازه کافی معتبر بود.

فرضیه‌ی دیگر مربوط به فاصله‌ی زمین تا ستاره‌ها بود. یک استدلال در دفاع از نظریه‌ی زمین مرکزی این بود که اگر زمین در حال حرکت باشد، در این صورت جایگاه‌های نسبی ستاره‌ها در صورت‌های فلکی نیز باید به دلیل اختلاف دیدِ وابسته به موقعیت نسبیِ زمین تغییر کند. به نظر می‌رسد ارتباط این صورت‌های فلکی میان ستاره‌هایشان پایدار باشد. خطای موجود در این شواهد این بود که منجمان یونانی و نسل بعدی آن‌ها فرض می‌کردند که ستاره‌ها به زمین از آنچه واقعاً هستند، نزدیک‌تر باشند.

فرضیه‌ی دیگر در نظریه بطلمیوسی این است که مدارهای بزرگِ (فلک حامل) سیاره‌ها حلقوی هستند. این فرضیه ریشه در این ایده‌ی فلسفی داشت که یک دایره به عبارتی یک چیزی از کمال مطلوب است. این یک مسئله‌ی اعتقادی بود که خلقت خدا لزوماً کامل است و بنابراین مدار سیارات حلقوی است. یک فرضیه‌ی الحاقی این نظریه این بود که اجرام آسمانی با یک سرعت پایدار حرکت می‌کردند.



**شکل ۱,۴**

گردش خورشید، عطارد و زحل به دور زمین از دایره‌المعارف بریتانیکا

## بررسی عمیق‌تر: سوگیری تأیید

تمایل به یادآوری یا تأکید بر روی شواهدی که نقطه نظرات شمت و یا عقاید از پیش تعیین شده گاهی اوقات تا آن‌جا پیش می‌رود که هرگونه مشاهده‌ای راکه اعتقادات را به چالش می‌کشد، به غلط رد کند.

مدل بطلیموسی بر مبنای عقاید پیش موجود درمورد برنامه خدا، شکل چرخش‌ها و فواصل از ستاره‌ها ساخته شد.

پیاده‌سازی صحیح از مدل علمی مکانیزمی است برای این که الزامی ایجاد کند که همه فرضیه‌ها مستند شوند و این که همه داده‌ها مورد توجه قرار گیرند.

داده‌ها فقط زمانی رد می‌شود که دلیلی برای دفاع از چنین کاری وجود داشته باشد. حتی با بهترین قصد، سوگیری تأیید می‌تواند یک مشکل مخرب در مواجه با شواهد باشد که فرضیه‌های طولانی مدت را به چالش می‌کشد، به غلط رد کند.

## آیا مدل بطلمیوسی منظومه خورشیدی مفید بود؟

با واپس‌نگری در می‌یابیم که منجمان باستان پیوستگی علم را به طور کامل پیاده‌سازی کرده‌اند. آن‌ها مشاهده کردند و یک مدل مفهومی ارائه دادند. این مدل با مشاهدات آن‌ها محاسباتی را برای پیش‌بینی وقایع سالانه اجرا کردند. این مدل برای تطبیق کامل با مشاهدات آن‌ها به مقدار مورد توجه‌ای تدبیر احتیاج داشت.

از منظر ردیابی یا پیش‌بینی وقایع سالانه ما این مدل چندان دقیق نبود، اما عملکرد نسبتاً مناسبی داشت. یک سؤال کاملاً متفاوت وسعت و گستردگی‌ای بود که مدل بیطلموسی حرکت سیارات در منظومه شمسی را نشان می‌داد. به عنوان نمایشی از منظومه شمسی، مدل بطلمیوسی به طور جدی ناقص بود. اعتقاد رایج در آن زمان نیز این مدل را که نمایانگر کل جهان بود را، نتیجه‌ای غیر قابل پشتیبانی می‌دانست.

تشخیص این مسئله که بیشتر علوم به‌منظور حل مشکلات مورد استفاده قرار می‌گیرد و از این جهت باید علوم سودمند و مفید باشد بسیار حائز اهمیت است. مشکلات و مسائل پیچیده عموماً تکرارهای بسیاری از طریق تداوم کشف علوم دارند، و اغلب درمی‌یابند که فرضیات پایه دارای نقص‌هایی بوده که باعث می‌شود مجدداً شروع به مشاهداتی نموده که از دیدگاه-های جدید تفسیر می‌شوند. درواقع هرگز نخواهیم دانست که آیا به درستی به آن‌ها رسیده‌ایم یا خیر؟! همیشه مشاهدات بیشتری وجود دارد که می‌تواند از طریق بدیع‌تری مورد توجه قرار گیرند که ایده‌ها و تفکرات جدیدی را شبیه‌سازی نمایند.

این معضل تعامل دانشمندان با سیاست‌گذاران است. سیاست گذاران علاقه‌مندند تا تصمیمات خود را بر مبنای قطعیت بنا نهند. یک دانشمند تنها می‌تواند که داده‌ها و تفسیرهای آن‌ها را به نمایش درآورد.

| **بررسی دقیق‌تر: مدل‌های فیزیکی و تجربی** |
| --- |
| مدل‌های تجربی برمبنای مشاهدات و روابط داده‌ها بنا نهاده شده و به منظور مشخصه‌سازی و پیش‌بینی وضعیت یک سیستم بکار می‌رود.<br>مدل‌های فیزیکی از ویژگی‌های مشخص و شناخته شده یک سیستم نشأت گرفته و از ابزارهایی برای اعمال این ویژگی‌ها به سیستم‌های مشخص استفاده می‌نمایند.<br>مدل بطلمیوسی جهان هستی یک مدل تجربی بوده که مقدمات و ترتیب سیارات و جهان هستی را تنها بر مبنای حدسیات و مشاهدات تخمین می‌زند. از طریق کارهای کپلر و نیوتون، مدل‌سازی فیزیکی از منظومه شمسی ممکن شد که بر مبنای ویژگی‌های بنیادی جرم، اینرسی و تکانه (مومنتم) بنا نهاده می‌شد. |

## ظهور مدل "هلیوسنتریک[۱۳]"

مدل ژئوسنتریک[۱۴] حدود ۱۵ قرن برنجوم مسلط بود. همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد، کلیسای کاتولیک مدل ژئو سنتریک – زمین مرکز را مطابق با تعالیم کتاب مقدس در نظر می‌گرفت. مثال از کتاب مقدس پاد شاه جیمز عبارتند از: "جهان نیز پایدار خواهد بود و دیگر تکان نخواهد خورد." کتابpsalm۱۰۴:۵ : می‌گوید"[خدا] بنیان زمین را بنا نهاد به‌گونه‌ای که نباید تا ابد برداشته شود." کتاب Ecclesiastes۱:۵ می‌گوید که" خورشید نیز طلوع می‌کند، و خورشید غروب می‌کند و به مکان خود که در آن طلوع کرده است می‌شتابد."

[۱۳] هلیوسنترینگ مدلی است که درآن زمین وسیارات بدور خورشید در مرکز جهان می‌چرخند.
[۱۴] مدلی که در آن زمین در مرکز قرار دارد

تقریباً به همان روشی که ستاره‌شناسان یونانی"فیلسوفان طبیعی" بودند، دانشمندان قرون وسطی و اوایل رنسانس غالباً روحانیون کلیسای کاتولیک بودند. پاپ‌ها، کاردینال‌ها و کشیش‌ها به طور فعال در مباحث مکانیک نجوم و ارتباط آن با کتاب مقدس مشارکت می‌نمودند. در نتیجه، بررسی امکان جایگزین کردن مدلی به جای مدل ژئوسنتریک چالش‌های بسیاری با ارتودکس علمی و نیز دینی به همراه داشت. زمینه فرهنگی نیز از این جهت مهم بود که کلیسای در قرن ۱۳ و۱۶ برای ریشه‌یابی و مجازات بدعت‌گذاران تفتیش عقاید می‌کرد. پیشنهاد جایگزینی برای مدل ژئوسنتریک خطر مورد قضاوت واقع شدن به عنوان یک بدعت‌گذار توسط تفتیش عقاید را داشت و عواقبی چون شکنجه و مرگ را در برداشت.

## نیکلاس کپرنیک"

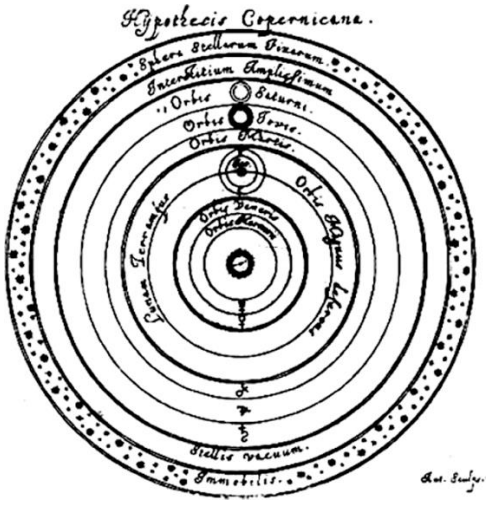
برخی اوقات گزارش‌هایی از برخی منجمان به ویژه منجمان غیرمسیحی ارائه می‌شد و مدل‌هایی را پیشنهاد می‌دادند که دیدگاه ژئوسنتریک را از دوره کلاسیک تا رنسانس به چالش می‌کشید، اما هیچ‌یک از آن‌ها زمان کار نیکلاس کپرنیک در اروپا نفوذ نکرد.

دو جنبه از مدل بطلمیوس کپرنیک را مشتاق نمود در میان منجمان مخالفتی درمورد ترتیب قرارگرفتن سیارات پس از زمین وجود داشت و تقویم‌هایی که براساس مدل بطلمیوس تنظیم شده بودند تا صحیح و دارای جهت‌گیری و بایاس شده بودند.

کپرنیک با حرکت دادن مرکز سیستم سیارات به سمت خورشید توانست ترتیب سیارات را حل کند (شکل۱,۵). همچنان مدل او به گونه‌ای بود که ماه در آن به دور زمین می‌چرخید. مدل او همچنان فرض می‌کرد که حرکت سیارات دایره‌ای بوده و سیارات با سرعت ثابت در گردش هستند که به صورت قابل توجه‌ای خطای موجود میان پیش‌بینی‌های او را با مدل هلیوسنتریک افزایش داد. در واقع، پیش‌بینی‌های او به هیچ وجه بهتر از پیش‌بینی‌های بطلیموس نبود.

دستاورد خارق‌العاده مدل کپرنیکاین بود که او مرجع خود را برای تحلیل آسمان شب به ایستادن بر فراز سیستم و مشاهده حرکات خورشید و سیارات از آن مرجع تغیر داد. مدل او فراتر از مشاهده تجربی ایستادن بر روی زمین ساکن بود. با این کار او توانست زمین را در محور خود بچرخاند و حرکت ظاهری خورشید و ستارگان را به آن چرخش نسبت

دهد. حرکت ظاهری سیارات ترکیبی از دوران آن‌ها و چرخش زمین بود. پیامد دیگر مدل او این بود که همه سیارات بدور خورشید در یک جهت درگردش‌اند با این تفاوت که سیارات نزدیک‌تر سریع‌تر بدور خورشید دور می‌زنند.




**شکل ۱.۵**

مدل هلیوسنتریک ارائه شده توسط کپرنیک. ترتیب ثابت سیارات با گردش ماه بدور زمین، چرخش‌های دایره‌ای و سرعت‌های ثابت

نهایتاً، مدل کپرنیک برای حل مکان‌های تجربی سیارات در گستره زمانی به حرکت متقابل احتیاج نداشت. یک فرضیه بحث برانگیز از مدل کپرنیک این بود که ستارگان به اندازه کافی از زمین فاصله دارند و به طوری که تغییرات در جایگاه و موقعیت بدلیل اختلاف‌نظر از چرخش زمین قابل مشاهد نبود.

کپرنیک درباره انتشار نتایج خود محتاط بود و در ابتدا نتایج را فقط با همکاران نزدیک خود در سال ۱۵۱۴ به‌اشتراک گذاشت. او انتشار کار خود "درباره انقلاب‌های حوزه آسمانی" را تا سال ۱۵۴۳ به تأخیر انداخت و گزارش می‌شود که او دقیقاً در همین روزی که کار او از چاپگر خارج شد درگذشته است. کلیسا در ابتدا در مورد یافته‌های وی کنجکاوی فکری نشان داد و سرانجام آن را به عنوان یک متن بدعت‌آمیز تحریم کرد. نسخه اصلاح شده‌ی از کارهای او برای محاسبه تقویمی مجاز اعلام شد.

## آیا مدل کپرنیک یک پیشرفت بود؟

نکته جالب و قابل تأمل مدل کپرنیک از منظومه شمسی این است که فرضیات غلط بر مدارهای دایره‌ای و نه چرخش سیارات با سرعت ثابت، این مدل را به‌هیچ وجه دقیق‌تر از مدل بطلمیوسی نمی‌کند. سهم اصلی در تربیت صحیح سیارات و ساده سازی روابط مفهومی و ریاضی منظومه شمسی بود. وی همچنین مسئله را به خورشید و پنج سیاره شناخته شده محدود کرد. این یک عزیمت از مدل ابتدایی بود که تلاش بر توصیف همه جان هستی داشت به شمار می‌آمد. پیامد مهم دیگر کار او این بود که مسئله گردش زمین بدور خورشید را بدون مشاهده تغییر در روابط ستاره‌ها بدلیل اختلاف منظر، حل کرد. پیشنهاد او این بود که فواصل تا ستارگان به اندازه کافی زیاد است. به‌طوری که اختلاف منظر را نمی‌توان مشاهده کرد.

### بررسی عمیق‌تر: تیغ اوکهام

ویلیام اوکهام ۱۳۴۷-۱۲۸۷ این ایده ابتکاری را توسعه داد که در میان چندین فرضیه رقیب، فرضیه با کمترین مفروضات نسبت به مدل‌های پیچیده‌تر که در آن‌ها احتمال بروز خطا موجود است با باید پذیرفت. این روش که الزام رسمی و منطقی برای متدهای علمی نیست اما در سلوک علمی ترجیح دادن مدل‌های مفهومی ساده‌تر که به پیش-فرض‌های کمتری برای انجام پیش‌بینی‌های صحیح متکی هستند، ارزشمند بوده است.

اگر چه کپرنیک از ویلیام اوکهام پیش‌تر است، اما تأثیر او بر درک از حرکت سیارات کاهش تعداد فرضیات بوده که کاربردی از مفهوم تیغ اوکهام می‌باشد.

دانستن این نکته حائز اهمیت است که کپرنیک از مشاهدات مشابه منجمان قبل از خود استفاده کرده است. او اندازه‌گیری‌های بهتری یا پدیده‌های جدیدی برای تأثیرگذاری در مدل نداشته و نتایج او همچنان یک درک تجربی از نحوه حرکت اجرام آسمانی در طول زمان بود. این واقعاً یک دستاورد چشم‌گیر است، با توجه با اینکه وی در قرن‌های با عقاید تعصب‌آمیز تحصیل کرده بود.

## یوهانس کپلر

کپلر با تایکو برآهه (Tyco Brahe) کار می‌کرد که سهم او در نجوم جمع‌آوری اندازه‌گیری‌های تجربی با دقت بسیار بیشتر از آنچه که قبلاً به‌دست‌آمده بود می‌باشد. برآهه مدل خاص خود را ارائه داد که عناصر مدل‌های ژئوسنتریک و هلیوسنتریک را با هم ترکیب می‌کرد. در مدل او به درستی سیارات به دور خورشید و ماه به دور زمین می‌چرخید. منتها او به طور نادرست فرض کرد که خورشید به دور زمین می‌چرخد.

کپلر یک سری زمانی از اندازه‌گیری‌های براهه برای موقعیت مریخ بدست‌آورد و تمرکز او بر روی بهبود دقت مدل "هلیوسنتریک" بود. تحلیل داده‌های او نهایتاً این فرضیات را که سیارات دایره‌ایی بوده و اینکه سرعت سیارات ثابت می‌باشد را به چالش کشید. تحقیقات وی هندسه‌های متفاوت مدار مریخ را مورد بررسی قرار داد و دریافت که داده‌ها با فرمول بیضی متناسب هستند، زمانی که خورشید در یکی از کانون‌ها قرار داشته باشد او کار خود را درسال ۱۶۰۹ منتشر کرد. او کار خود را برای پنج سیاره شناخته شده ادامه داد و تعیین کرد که هر یک از آن‌ها می‌توانند به عنوان یک بیضی مدل شوند به طوری که خورشید در یکی از کانون‌های آن‌ها واقع شده باشند. این کار نیز در سال‌های ۱۶۱۷ و ۱۶۲۰ منتشر شد.

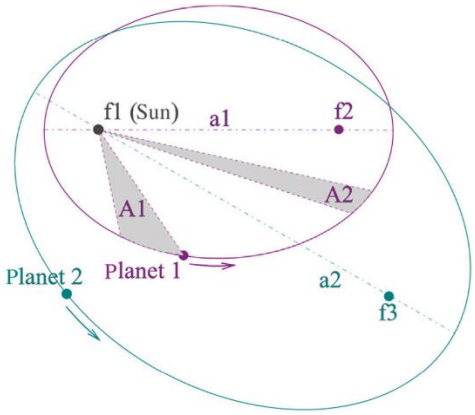
سهم عمیقی که کپلر فراتر از مدارهای بیضوی و سرعت متغیر حرکت سیارات است این است که او نتایج کار خود را به سه قانون حرکت سیارات تعمیم داد. دوقانون اول (شکل۱,۶) در سال ۱۶۰۹ منتشر شدند و سومین قانون در سال ۱۶۱۹ منتشر شد. قوانین کپلر چیزی حدود هشتاد سال به طور کامل نادید گرفته شدند.۳

## قوانین کپلر عبارتند از:

- مسیر سیارات در اطراف خورشید به شکل بیضی می‌باشد به‌طوری که مرکز خورشید در یکی از کانون‌های بیضی قرار داشته باشد (قانون بیضی‌ها).
- یک خط فرضی که از مرکز خورشید به مرکز سیارات کشیده شود مساحت یکسانی را در فواصل زمانی مساوی جاروب می‌کند (قانون مساحت های مساوی).

- نسبت مربع‌های دوره‌های هر دو سیاره‌ایی برابر است با نسبت مکعب‌های فاصله متوسط آن‌ها از خورشید (قانون هماهنگی).

قانون سوم کپلر دوره مدار یک سیاره را با شعاع متوسط آن مدار از خورشید مقایسه می‌کند. این قانون بیان می‌کند که نسبت مربع دوره تقسیم بر مکعب شعاع متوسط برابر است با یک مقدار ثابت.




**شکل ۱,۶**

قوانین اول و دوم کپلر. خورشید در کانون f ۱ قراردارد. مساحت‌ها A ۲ و A ۱ در فواصل زمانی یکسان برابر می‌باشد. سرعت سیاره در A ۱ از سرعت آن در A ۲ بیشتر است.

این ثابت در سرتاسر سیاره یکسان می‌باشد. این رابطه برای سایر اجرام در حال چرخش، مانند قمرهای مشتری و یا ماهواره‌های ساخت بشر که به دور زمین می‌چرخند، صادق می‌باشد.

مشارکت‌های کپلر یک مدل فیزیکی کلی است که حرکت سیارات را با دقت بسیار بیشتری نسبت به مدل‌های قبلی که براساس مدارهای دایره‌ای بودند نشان می‌دهند. یک نکته مهم در قانون دوم این است که سرعت سیاره باید در طول مدار تغییر کند تا در فواصل زمانی برابر مساحت‌ها یکسان باشند. هر چه که سیاره به خورشید نزدیک‌تر شود شتاب بیشتری می‌گیرد و هرچه که از آن فاصله می‌گیرد از شتابش کاسته می‌شود.

## سهم کپلر در در حوزه‌ی زنجیره‌ی علمی اکتشاف

کپلر نسبت به محققان ما قبل خود برتری داشت، داده‌های او نسبت به مشاهدات گذشته دقیق‌تر بود. با افزایش صحت و درستی او توانست تا چرخش خورشید را مورد تحقیق و بررسی قرار دهد و مدل بیضوی را توسعه بخشد. این مدل چنان

الهام‌بخش و تأثیرگذار می‌باشد، وی توانست در جهت بررسی دقیق‌تر حرکات سیاره‌ای، تصورات و عقاید کورکورانه‌ی مذهبی را به تعلیق اندازد. علاوه براین، ما را قادر ساخت تا مدل را به همراه قانون سوم او تعمیم دهیم و یک مدل یکپارچه‌ای را برای منظومه‌ی شمسی بیابیم. قانون سوم وی با سفرهای فضایی و ماهواره‌ها مرتبط می‌باشد.

به لحاظ کشفیات علمی، نتایج کپلر حاکی از این مسئله است که گذار از مرحله‌ی مدل‌های صرفاً تجربی به مدل فیزیکی ابتدائی، می‌تواند درجهت فرآیند پیش‌بینی به‌کار گرفته شود. مدل فیزیکی یک مدل ابتدائی است، به این معنا که او بینشی بنیادی از قوانین (خصوصیات) بنیادین توده (جرم) در حال حرکت، که در کار گالیله و نیوتن دنبال شد، را نداشت. اما قانون سوم او، امکان پیش‌بینی اندازه‌ی نصف شعاع یا میزان زمان یک گردش کامل (گردش زمین به دور خورشید) یا یک سیاره‌ی فرضی را با توجه به ثابت سیستم فراهم می‌آورد. در مورد منظومه‌ی شمسی مقدار ثابت (کمیت) با اجرام آسمانی که به دور خورشید می‌چرخند در ارتباط هستند. همچنین ثابت را (نوعی کمیت در علم فیزیک می باشد)، از طریق ماه و مشتری و ۴ قمرش، برای زمین می‌توان تخمین زد.

## گالیله

گالیله در اصلاح مدل خورشید مرکزی حرکت سیارات، به دو طریق سهم قابل توجه‌ای داشت، نخستین سهم وی در خصوص توسعه‌ی تلسکوپ بود که او را قادر ساخت تا با وضوح بیشتری نسبت به چشم غیرمسلح به مشاهده‌ی اجرام آسمانی بپردازد. نظریه‌ی زمین مرکزی نیازمند تمامی اجرام آسمانی برای چرخش به دور زمین به عنوان بخشی از خلقت جهان از سوی خداوند می باشد. گالیله توانست ۴ قمر مشتری که در حال چرخش به دور مشتری هستند را کشف نماید. این مشاهده از طریق مدل زمین مرکزی ناهماهنگ و نامتناجس بود. همچنین نظریه‌ی زمین مرکزی به عنوان یک تئوری (فلسفه‌ی) دینی یک نقص مهلک بود و در ادامه او به مشاهده‌ی گام سیاره‌ی زهره همانند گام‌های قمر زمین پرداخت. گام‌های سیاره‌ی شواهد اضافی مبنی بر این است که زمین مرکز منظومه‌ی شمسی نمی‌باشد.

دومین سهم گالیله در زمینه‌ی توسعه و دفاع از نظریه‌ی زمین مرکزی می‌باشد که فعالیت‌های وی منجر به اصل سکون (اینرسی) گردید. قانون او، همانطور که در عصر جدید ترجمه شده است، عبارت است از "حرکت یک جسم بر روی سطح تا زمانی در همان مسیر ادامه خواهد داشت که چیزی مانع حرکت جسم نشود." همانطور که فاینمن در سخنرانی در

مؤسسه فناوری کالیفرنیا موسوم به شرح داد[۴]" .... اگر شیئی در حال حرکت باشد، متوقف نخواهد شد و به حرکت خود به صورت ثابت و در یک خط ممتد و مستقیم به همان شکل ابتدائی به مسیر خود ادامه می دهد یا در صورتی‌که از ابتدا ایستاده بود همچنان سر جای خود می ایستد. البته به نظر نمی‌رسد که در طبیعت نیز به همین شکل باشد، اگر ما یک بلوک را بر روی سُر بدهیم، آن متوقف می‌شود اما به این معنی نیست که به حال خود رها نشده – بلکه در حال کشیده شدن بر روی میز می‌باشد. این امر نیازمند تصور قطعی برای یافتن قانون صحیح می‌باشد و این تصور و خیال پردازی از سوی گالیله مطرح گردید."

حرکت رجوعی یا جنبشِ پسروی سیارات در مدل بطلمیوسی (حرکات دایره‌ای بطلمیوس) را، بدون وجود نیروهایی مختل کننده حرکتشان نمی‌توان توجیه کرد. در مقابل مدل کوپرنیک امکان پیشروی سیارات، بر روی یک مدار ساده را ممکن ساخت. هم‌چنین گالیله به انجام یک سری آزمایش‌ها پرداخت که نشان داد، شتاب گرانش بر روی یک پرتابه، مستقل از نیروی رانشی بر روی پرتابه بود. به خصوص دو پرتابه، یکی از ارتفاع به سمت زمین پرتاب شد و دیگری از همان ارتفاع به صورت افقی به صورت همزمان به زمین برخورد کرد. به تدریج بی‌نیازی این نیروها، مبنایی بر این شد تا سیاره بر مبنای جاذبه‌ی گرانشی خورشید و سرعتش در فضا یک مدار را شکل دهد. فعالیت‌های گالیله از چند منظر جالب است. ابتدا اینکه او یافته‌های خود را بر مبنای مشاهدات و تجربه قرار داد. بخش اعظم تاریخچه‌ی علم در آن زمان با نگاه فلسفی آمیخته شده بود. همچنین این نکته قابل توجه است که گالیله و کپلر هم معاصر بودند. اعتقاد رایج بر این بود که گالیله از قوانین کپلر آگاهی داشت اما آن‌ها را نادیده گرفت. گالیله بحث در مورد مدارهای سیاره‌ای را همانند یک مدار دایره‌ای (مدور) ادامه داد. سومین دیدگاه در حوزه‌ی فرهنگی بود، مشاهدات و نتایج او با عقاید کلیسا مغایر بود. او را قبل از محکومیت به تفتیش عقاید در سال ۱۶۳۳متهم ساختند، اتهامات او بدین قرار بود[۵]:

- گالیله به شدت مظنون به بدعت‌گذاری گردید، عقایدی از این دست مانند؛ خورشید در مرکز جهان بی‌حرکت است و اینکه زمین در مرکز خود قرار نگرفته و در حال حرکت است. این ممکن است بعد از اینکه عقاید او بر خلاف کتاب مقدس اعلام شد به احتمال زیاد ممکن است فرد آن عقاید را حفظ کرده و از آن ها دفاع کند و او باید مورد "فحش، نفرین و نفرت" و عقاید از این دست قرار می‌گرفت.

- به دنبال تفتیش عقاید او به حبس رسمی محکوم شد و روز بعد این حبس به حبس خانگی مبدل گشت و باقی عمر خود را در این حبس باقی ماند.
- صحبت‌های متخلفانه‌ی او ممنوع گشت؛ و در عمل این موضوع در دادگاه اعلام نشد، انتشار هر یک از آثار او از جمله هر گونه نوشته‌ای که ممکن است در آینده نگارش کند ممنوع بود.

## سهم گالیله در حوزه‌ی زنجیره‌ی عملی اکتشاف

گالیله نقش اساسی در ادراک حرکت اجرام آسمانی به چندین طریق داشت. اولین مشارکت وی در زمینه‌ی ایجاد تلسکوپ بود که توانست بطلان عقاید تعصب آمیزی که بر قرن ۱۵ حاکم بوده را مشاهده نماید. دومین نقش قابل توجه وی، استفاده از نتایج تجربی در مقیاس‌های وسیع و گسترده و فراتر از قلمرو تجربیات بود. او قانون اینرسی خود را در حرکت سیارات بکارگرفت. در ابتدای این فصل ما اذعان کردیم که بسیاری حوزه‌های علمی وجود دارد که مقیاس آزمایشات در محیط‌های کنترل شده با مقیاس سیستمی که به دنبال درک آن هستیم متفاوت است. نجوم یک علم مشاهده‌ای است و گالیله نسبت به اعمال تجارب خود از این فصل با بحث و گفتگو در مورد شکل ۱،۱ و ارزش تجارب ساده به‌منظور پشتیبانی از فهم اتفاقات پیچیده آغاز گردید. پی بردن به تأثیر آزمایش‌های گالیله بر جرح و تعدیل رویکرد منجمان از دوره‌ی کلاسیک، و اینکه آیا با توجه به عدم انسجام میان آن نظریه و نتایج آزمایش‌ها، نظریه زمین مرکزی به مدت ۱۵ قرن تداوم خواهد داشت، غیرممکن است. با این وجود سیر تکاملی دانش ما در خصوص حرکات سیارات گواهی بر این مطلب است که آزمایشات در مقیاس‌های قابل کنترل قادرند تا ارتباط عمیقی درجهت فهم سیستم‌های بزرگ‌تر داشته باشند.

اقدامات گالیله با قوانین کپلر ادغام گشت و این امکان را فراهم ساخت تا نظریه‌ی زمین مرکزی حرکت سیاره‌ای که متکی به مشاهدات است و در مقیاس های مختلف از منظومه‌ی شمسی قابل تعمیم می‌باشد.

## اسحاق نیوتن

اسحاق نیوتن در روز کریسمس ۱۶۴۲، مصادف با روز مرگ گالیه چشم به جهان گشود. وی تأثیر به‌سزایی بر روی پژوهش‌های مبتنی بر شواهد علمی داشت و همچنین مطالعات محوری وی به نام " اصول ریاضی فلسفی طبیعی"، ابتدا در سال ۱۶۸۷ منتشر گردید و پایه‌ی مکانیک کلاسیک محسوب می‌شود. در این تئوری او قوانین مربوط به حرکت را ارائه کرده و جنبه‌هایی از قانون گرانش را توسعه بخشید.

قوانین حرکت نیوتن مجدداً به زبان انگلیسی در صفحه‌ی وب NASA مطرح شد: و این قانون بدین شرح می باشد:

اولین قانون بیان می‌کند که هر جسمی در جای خود ساکن است یا در خط ممتد به مسیر مستقیم ادامه می‌دهد مگر اینکه نیرویی خارجی آن شیء را مجبور به تغییر نماید. همچنین این تعریف به عنوان تعریف اینرسی برداشت می شود. در اینجا نکته‌ی قابل توجه این است در صورتی‌که نیروی برآیندی بر یک شیء وجود نداشته باشد (اگر نیروهای خارجی یکدیگر را دفع کنند) در آن صورت شیء سرعت یکنواخت خود را حفظ خواهد کرد. در صورتی‌که سرعت آن شیء صفر باشد در آن صورت شیء در جای خود ساکن باقی می‌ماند. اگر نیرویی خارجی بر شیء وارد شود در آن صورت سرعت به جهت آن نیروی وارد شده تغییر خواهد یافت.

قانون دوم نیوتن مربوط به نیروی خارجی می‌باشد، تغییر سرعت به جرم شیء بستگی دارد. نیرو موجب تغییر در سرعت شیء می‌شود؛ و تغییر سرعت موجب ایجاد نیرو می‌گردد. این معادله به دو صورت می‌باشد.

قانون سوم بیان می‌کند هر نیرویی در طبیعت، قطعاً نیروی دیگری با همان اندازه و در جهت مخالف آن وجود دارد. به بیان دیگر، اگر شیء A بر شیء B نیرو وارد نماید سپس شیء B به همان اندازه‌ی یکسان بر شیء A نیرو وارد می نماید. این نکته حائز اهمیت می‌باشد که نیرو بر اشیاء مختلف وارد می‌شوند. قانون سوم می‌تواند تولید نیروی برآر (مؤلفه‌ای از نیروی وارد شده بر یک جسم توسط سیال است که در راستای عمود بر راستای حرکت سیال وارد می‌شود.) توسط بال (هواپیما) و ایجاد رانش توسط موتور بیان کند.

نیوتن دو فرض ساده را مطرح کرد. اول اینکه تمامی اجرام (توده‌ها) نقطه‌هایی در فضا می‌باشند. یک نقطه در فضا هیچ حجمی ندارد. فرض دوم او اغلب به نام دستگاه مرجع لخت (اینرسی) نامیده شده است. این فرض، مشاهده‌گر را نسبت به حرکت مورد نظر جلب می‌نماید و این حرکت می‌تواند نشانگر یک بردار ساده، متشکل از سرعت و جهت می‌باشد. تعیین

مکان (تعیین موقعیت، تثبیت موقعیت) جایی است که مشاهدات کوپرنیک آغاز گردید و توسط گالیله ادامه یافت و با قوانین سه‌گانه‌ی نیوتن در مورد حرکت، ادغام شد.

براساس هدفمان، مقایسه‌ی قوانین کپلر و قانون اینرسی گالیله با قوانین نیوتن و قانون جهانی گرانش، بلوغ تداوم علمی را نشان می دهد (در شکل ۱,۲) قوانین کپلرو قوانین نیوتن در واقع یک رخداد را نشان می دهند.

تفاوت در سامانه‌ی پویا که آن‌ها را توصیف می‌نمایند، این است که کپلر قادر بود تا موقعیت سیارات را براساس یک‌سری از مشاهدات که نشانگر مسیر قبلی بودند را ترسیم و پیش‌بینی نمایند. نیوتن، پژوهش کپلر را به‌کار بست و از طریق بررسی نیروهای لازم برای سیارات که از مسیر مستقیم منحرف شده اند فراتر رفت. که قوانین کپلر نشان می‌دهد که چه اتفاقی رخ می دهد و قوانین نیوتن نشان می‌دهد چرا این اتفاق افتاد. همچنین نیوتن قانون جهانی گرانش را توسعه بخشید که این قانون نیروی مرکزی میان توده‌ها همانطور که یکی به دور دیگری در گردش است، را شرح می دهد. نیروهای مرتبط با قوانین نیوتن، بر روی مسیر یک شی که آن مسیر را در سخنان گالیله مختل می کند، تأثیرگذار است.

| **بررسی عمیق تر: دینامیک و سینماتیک** |
| --- |
| دینامیک و یا سینتیک در منابع قدیمی تر، بخشی از مکانیک کلاسیک می باشد که حرکت اجسام را که جرم و نیروهای وارد شده به آن ها مسیر حرکتشان را تغییر می دهد، مطالعه می کند.<br>سینماتیک شاخه ای از مکانیک کلاسیک است که مسیر اجسام را بدون توجه به نیروهایی که بر روی جسم عمل می کند را برای تعریف مسیر مطالعه می کند.<br>کپلر، سینماتیک حرکت سیارات را بنا نهاد و راه را برای نیوتن در توسعه دینامیک حرکت سیارات گشود. |

پیشرفت مضاعف از سوی نیوتن مربوط به تعمیم بخشیدن فهم اشیاء در حال حرکت بود. گالیله توانست تا آزمایشات خود را در مورد حرکت و سکون با توجه به نظریه مرکزیت کوپرنیک نشان دهد. قوانین نیوتن، بر اشیاء در حال حرکت صدق می‌کند و بیشتر بر جِرم دلالت دارد. پیشرفت نیوتن در حوزه‌ی مکانیک کلاسیک به‌واسطه‌ی هر آنچه در آن زمان قادر به مشاهده بود، محدود گشت. اکثریت قریب به اتفاق، هر آنچه که ما به‌واسطه‌ی حواسمان قادر به مشاهده‌ی آن هستیم این است که قوانین کلاسیک برای توصیف و شرح رویدادها و وقایع کافی هستند.

## سهم نیوتن در حوزه‌ی زنجیره‌ی علمی اکتشاف

نقش نیوتن در درک حرکات سیارات، گذار از مرحله‌ی *توصیف* پدیدارشناختی مدارهای سیاره ای با توجه به اندازه‌گیری موقعیت آن‌ها در طول زمان، به مرحله‌ی توسعه‌ی سه قانون بنیادین در خصوص حرکت که در مورد اجرام گرفته تا تحت پوشش قرار دادن بسیاری از دستورات بزرگ و مهم بود. ساده‌سازی فرض اجرام نقطه‌ای مقدار مشخصی از عدم صحت را نمایان می‌سازد اما در بیشتر مواردِ مربوط به اجرام، یعنی جایی که فاصله‌ی میان اجرام بیشتر از شعاعشان است و سرعت حرکت آن‌ها کمتر از سرعت نور باشد، در این حالت میزان نادرست کمتر است.

از دیگر مواردی که نیوتن در حرکات سیاره‌ای و پیش‌بینی نقش داشته است، توسعه‌ی دانش حسابان به منظور پرداختن به اجرامی است که بر اساس تغییر در نیرو و میزان شتاب از خود، کنش نشان می‌دهند. همچنین حسابان همزمان و مستقلاً توسط گوتفرید لایبنیتس توسعه یافت. استفاده از دانش حسابان برای تغییر میزان‌ها، زمینه را برای توسعه اثبات رسمی قوانین نیوتن فراهم آورد.

## آلبرت انیشتین

با توجه به موفقیت‌های نیوتن در گسترش مفاهیم آزمایش محور مکانیک، بر اساس مقیاس سیارات، طبیعی است تا بپرسیم تا چه حد امکان‌پذیر است تا مفاهیم نیوتن مربوط به اینرسی (سکون) را به مقیاس بسیار کوچک در حد اتم و در مقیاس بسیار بزرگ‌تری فراتر از سیارات، را گسترش داد. آیا رابطه‌ی اساسی میان جِرم، اینرسی و گرانش، همانطور که نیوتن توصیف کرده است، منطبق با مقیاس‌هایی فراتر از چارچوب ادراکی حواس انسان است؟ همیشه اینطور نیست، چارچوب مکانیک کلاسیک باید گسترش یابد.

آلبرت انیشتین نفر اول ثبات و تعادل در میان چارچوب ها بود. او همچنین دانشجوی کار کسانی بود که پیش‌تر آمده بودند. قوانین نیوتن برای دو قرن پایه‌های تحقیقات فیزیکی بوده و به‌طور مناسبی بسیاری از آنچه که انیشتین به عنوان یک دانشجو با آن‌ها مواجه بود را تعریف می‌نمودند. تحقیقات روی مرزهای ابعادی فرای آنچه که توسط نیوتن مطرح شده، همچون میدان های الکترومغناطیس ماکسول و فارادِی، مشکلاتی در توانایی تعمیم این قوانین ظاهر نمودند. این مشکلات ده‌ها سال قبل از آن‌که انیشتین به دنیا بیاید شناسایی شده بودند و موجب آگاهی کنجکاوی او شدند.

از دوران باستان تاریخچه حوادث یونان، در زمان نیوتن، بسیاری از نظریه‌های بنیادی ادارک ما از جهان و آسمان اطراف ما مبتنی بر مشاهدات توسط حواس بشری بودند. تلسکوپ گالیله اثری تکان دهنده از تأثیر یک فناوری نوظهور بر نحوه درک ما از جهان پیرامون خودمان است. چالش‌های قوانین نیوتن و فیزیک کلاسیک، به دلیل تحقیقات راه‌های جدید توسعه داده شده برای پدیده‌های حساس و مشاهده پذیر در جهان طبیعت که فرای درک مستقیم بشری هستند، پدیدار شدند. پدیده‌های جدید و سؤالات به عنوان ابزارهای تکمیل کننده حواس بشری، چالش اینکه چگونه چیزها کار می‌کنند، را ایجاد نمودند. ایده مشاهدات با نقطه نظر مشاهده کننده بیرونی؛ با مدل دوار کوپرنیک مرتبط، برای بیضی‌های کپلر اساسی بوده، توسط گالیله مورد بحث قرار گرفته و در تصورات انیشتین تسخیر و به کار گرفته شده است.

مؤلفه و عنصر اصلی انیشتین در کمک به اینکه چگونه ما امروز فیزیک بدنه‌های متحرک (مجموعه‌های در حال حرکت) را درک می‌کنیم، ثابت‌بودن سرعت نور است. او به‌علاوه پیشنهاد داد که حتی اگر تمام اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات مبتنی بر یک دستگاه مرجع، یا مشاهده نقطه مرتبط با چیزی که مورد مشاهده قرار گرفته بوده، باشد، سرعت نور هنوز ثابت است. این گزاره بسیط نتایج منطقی عمیقی دارد. اگر دو مشاهده کننده سرعت نور را اندازه‌گیری کنند و هر یک از آن‌ها ساکن و دیگری در حال حرکت مکرر مقارن با سرعت نور باشند، تنها راهی که هر دوی آن‌ها یک مقدار سرعت را اندازه‌گیری کنند این است که زمان برای فرد متحرک کندتر مشاهده شود. این پدیده اتساع زمان نامیده می شود. زمان به‌طور مطلق در ساختار نیوتنی ارزشی ندارد. زمان نسبی است. به طور مشابه فضای مطلق در قوانین نیوتن نیز قابل تغییر و زمان واقعی است و فضا پیوستار (وابستگی) چهاربعدی دارد. وجود انبوهی از توده و جرم در فضا موجب اعوجاج و آشفتگی در نمودار مکان- زمان می‌شود؛ مانند چرخش سیاره‌ها و ماهواره‌هایی که ما به عنوان مشاهده کننده انسان ناظر آن هستیم، در حقیقت کوتاه‌ترین مسافت بین دو نقطه در نمودار مکان- زمان منحنی است. در حوزه مکان- زمان، گرانش یک نیرو نیست اما ترجیحاً محصولی از توده‌های پیش‌رو است که کوتاه‌ترین مسیر را دارند.

نتیجه دیگری از کار انیشتین با رابطه جرم و انرژی در یک رابطه نسبی تعیین می‌شود که آن‌ها در همان زمان قابل فهم هستند. معادله مشهور $E=mc^2$ حالت‌های ساده‌ای است که انرژی متناسب با جرم ضرب در سرعت نور به‌توان دو است. این امر که سرعت نور ثابت بوده به این معنی است که اگر انرژی توده افزایش بیابد، جرم باید افزایش بیابد را ما پیش‌تر، مورد بحث قرار داده‌ایم. آب جوش برای درست کردن قهوه؛ و جرم آب متناسب با مقدار انرژی افزوده برای جوشاندن آب

تقسیم بر سرعت نور به‌توان دو است. هرچند این ارزش عملی بر درست کرده قهوه ندارد، پیامدهای مهمی برای اجزای زیراتمی و اساس شیمی مدرن و علم مواد دارد.

## آیا انیشتین موجب ارتقاء درک حرکت سیاره‌ای می‌باشد؟

نسبیت انیشتین بر زندگی روزمره ما در یک نسخه‌ای از راه‌های عملی تأثیر می‌گذارد. یک مثال آن ماهواره‌های مربوط به انتقال سامانه موقعیت‌یابی جهانی یا جی‌پی‌اس می باشند که سازگاری زمان مرتبط با اتساع زمان در سرعت‌های پیرامون زمین لازم و کافی است.

شکست این کار به اشتباهات موقعیت‌یابی بیش از یک کیلومتر در یک بازه زمانی ۲۴ ساعته منجر می‌شود اما آیا این نسبیت به فهم ما اضافه شده و موقعیت سیاره‌ها را پیش‌بینی می‌کند؟ توسعه و به‌سازی نیوتن در مورد پایه‌های فیزیک کلاسیک ابزاری برای پیش‌بینی دقیق حرکت‌های مجموعه‌های سماوی با استفاده اصولی از نیروهای علیت و روابط با مدل‌های فیزیکی ارائه می‌کند. از این منظر، قوانین کلاسیک نیوتن برای حرکت کافی است و اگر حرکت سیاره‌ای به‌طور تنها مشاهده شود، این مشکل می‌تواند حل شده در نظر گرفته شود. با این وجود ماهیت تمام علم تجربی این است که همیشه اشتباهاتی وجود دارند. خواه این اشتباهات از سیستم اندازه‌گیری یا لرزش ذاتی سیستم مورد مشاهده، حاصل شود؛ چیزها خراب می‌شود. در واقع معادله‌های نسبیت اشتباه در مدارهای سیاره‌ای را در نظر می‌گیرند که سیستم وابسته به نیوتن آن‌ها را در برنمی‌گیرد.

جهانی که انیشتین مشاهده نمود بزرگ، احتمالاً فراتر از آنچه که اغلب ما می‌توانیم امروز در نظر بگیریم، است. کار او مهم است و سؤال سیاره‌ها در کجای سیستم خورشیدی خواهند بود، بی‌اهمیت نیست. منظومه خورشیدی واقعاً یک اثبات ساده از قوانین اصلی تئوری‌های او است. انیشتین دو تئوری نسبیت منتشر کرد. اولین مورد تئوری نسبیت خاص مشخص-کننده جرم‌ها در یک سرعت ثابت است. ده سال بعد، او تئوری نسبیت عام که با شتاب جسم در حرکت تطبیق داده شده است را مطرح کرد. فقط در دو سال آخر او تأیید نمود که نسبیت عام به چگالی انرژی‌های بسیار بزرگ مربوط به برخورد سیاه چاله‌ها مربوط است.

**شکل ۱,۷**

آزمایشگاه LIGO، هانفورد؛ واشنگتن

نسبیت انیشتین بر زندگی روزمره ما در یک نسخه‌ای از راه‌های عملی تأثیر می‌گذارد. یک مثال آن ماهواره‌های مربوط به انتقال سامانه موقعیت‌یابی جهانی یا جی‌پی‌اس می‌باشند که سازگاری زمان مرتبط با اتساع زمان در سرعت‌های پیرامون زمین لازم و کافی است. مشاهده‌های اخیر توسط موج گرانشی تداخل سنج لیزری (LIGO) (شکل ۱,۷) از امواج گرانشی در نمودار مکان- زمان ناهموار، که برای نتیجه حاصل از برخورد دو سیاه چاله مصور شده، تئوریزه شده‌اند. برای چنین مشاهده‌ای ممکن است، درک صداهایی نامطلوبی (نویزها) که در مقیاس‌های کوچک‌تر از اتم رخ می‌دهند الزامی و نیاز است. تئوری که انیشتین سال ۱۹۱۵ منتشر کرد توسط آزمایش‌های LIGO در سال ۲۰۱۶ تأیید شدند.

## نقش انیشتین در حوزه‌ی زنجیره‌ی علمی اکتشاف

تئوری نسبیت انیشتین و تشریح محدودیت‌های سازوکارهای کلاسیک دستگاه مرجع برای درک جرم و انرژی روی مقیاس‌های اجزای زیراتمی به امواج سیاه چاله‌ها بسط دادند. تأثیر عمیق انیشتین این است که صدسال پس از انتشار تئوری او، ما به کاوش روش‌هایی برای تأیید و اثبات یا رد آن‌ها ادامه می‌دهیم.

تناقضی در ظهور نظریه انیشتین وجود دارد. در اوایل این فصل، ما تصور می‌کردیم که پیوستگی علم جایی است که درک کم و ناچیزی از پدیده‌ها منجر به مشاهده‌های مفاهیم کلی یا مدلی مفهومی از چگونگی کار کردن پدیده‌ها می‌دهد.

مدل مفهومی پایه‌هایی برای آزمایش‌های خاص یا مشاهداتی که منجر به تعدیل، اصلاح و بهبود می‌شوند؛ ارائه می‌دهد. تکامل این مدل منجر به نظریه‌ها و قوانینی، بسیار شبیه کِپلر، گالیله و نیوتن و بسیاری دیگر می‌شود. با این کار او نظریه‌هایی در مقیاس‌های گسترده که ده‌ها سال برای توسعه روش‌هایی برای آزمودن آن‌ها نیاز است، توسعه داده است. تناقض اغلب برای درک این نظریه‌های تکامل، قوانین و تئوری‌هایی به‌دست آمده از مشاهدات و تجربیات است. انیشتین می‌توانست کارهای قبلی را برای اصل موضوع تئوری‌هایی برای مقیاس‌های مشاهدات و آزمایش‌هایی که برای او در آن زمان در دسترس نبودند، به‌کار برد.

یک سؤال جذاب این است که آگاهی انیشتین چقدر درک ما از حرکت سیاره‌ها و منظومه شمسی را گسترش داده است. کار کوپرنیک، کپلر، گالیله و نیوتن برای به‌چالش کشیدن مدل زمین در مرکز جهان و ارائه شواهدی بر وجود منظومه شمسی که می‌توانست تعریف شده و به عنوان بخشی از نظام عالم (کیهان) و نه مرکزیت جهان مدل‌بندی شود؛ به‌کار گرفته شدند. از منظر منظومه شمسی و حرکت سیاره‌ای، کار انیشتین برای به‌روزرسانی ادراک ما از مقیاس سیاره‌های منظومه شمسی لازم نیست. کار انیشتین مدل‌ها و محاسبات پیش‌فرض را ارتقاء داد. کار انیشتین و تئوری‌های او در محل حرکت سیاره‌ای در مفهوم ماده و انرژی اساسی است. از این منظر، کار انیشتین به‌طور اساسی درک ما از منظومه خورشیدی را در ساختار جهان بالا برد.

## جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این فصل بررسی اجمالی در مورد علم و نحوه‌ی عملکرد آن به دنبال بررسی مختصری از تاریخ پژوهش‌ها و تحقیقات در راستای درکی از حرکات سیارات منظومه‌ی شمسی ارائه می‌دهد. چندین جنبه‌ی کلیدی در اینجا وجود دارند که وجود این موارد کلیدی برای انجام فعالیت‌های علمی در حوزه‌ی تحقیقات امنیت سایبری لازم و ضروری می‌باشد.

استمرار علم، بستری را برای پژوهش‌های علمی مرتبط با بلوغ ادراکی در مورد رویدادهای مورد نظر ارائه می‌دهد. این موضوعات به‌دلیل انجام نتایج علمی در خصوص میدان تحقیق، اغلب به دلیل مدل‌های مفهومی ساختاریافته‌ی ضعیف که بر پایه‌ی اطلاعات و تفسیرهای ناکافی بنا شده‌اند با مشکل مواجه شده‌اند.

نظریه‌ی زمین مرکزی حرکات سیارات به دور زمین و عقایدی مبنی مرکزیت کره‌ی زمین در جهان یک مثال اولیه است. ما شاهد ارتقاء شناختیِ منظومه‌ی شمسی هستیم که مدل‌های عملیاتی لزوماً به‌معنای کاربردی بودن نیست. نظریه‌ی زمین مرکزی به‌منظور ثبت وقایع تاریخی و پیش‌بینی شروع فصول بود اما به‌شدت ناقص بود و نیازمند تغییر متناوب (دوره‌ای) به‌واسطه‌ی وقایع شناخته‌شده به جهت تنظیم و تعدیل مجدد بود با این حال مورد استفاده قرار گرفت.

با توجه به آنچه در مورد حرکت سیارات شرح داده شد، نظریه‌ی زمین مرکزی کاملاً اشتباه بود. مورد جالب توجه در اینجا، عدم ارائه‌ی صحیح از حرکت سیارات می‌باشد موجب ممانعت از توسعه و پیشرفت تقویم‌های آغازین نمی‌باشد.

توسعه‌ی نظریه‌ی خورشید مرکزی حرکت سیاره‌ای نیازمند تغییر در شاخص یا رویکرد کوپرنیک می‌باشد. مفهوم تغییر رویکرد یک ایده اصلی بود که به‌واسطه‌ی کوپرنیک به انیشتین منتقل گردید و این بنیان تئوری نسبیت عام بود.

اعتبار تئوری خورشید مرکز و رد تئوری زمین مرکزی نیازمند به‌کارگیری دو ابزار است. یک، تلسکوپ گالیله که وضوح کافی به منظور مشاهده‌ی اقمار مشتری در اختیار ما قرار می‌دهد و شواهد مربوط به این اقمار یک عقیده‌ی فاحش نادرست در این باور است که اجرام آسمانی که به دور زمین در گردش هستند.

نکته‌ی کلیدی ارتقاء قابلیت اندازه‌گیری و ایجاد قانون فیزیکی ابتدائی که حرکت ســـیاره‌ای عقب مانده را در غیاب نیروی ایجاد کننده‌ی آن به چالش می‌کشد.

تأثیر سیستم‌های اعتقادی فرهنگی بر روی ارتقاء تئوری خورشید مرکزی و زمین مرکزیِ حرکت سیاره‌ای نشان‌گر آن است که جدایی اکتشافات علمی از عقاید و باورها چگونه موجب ایجاد چالش می‌گردد. این یک دلیل بنیادین به‌منظور مطابقت با روش‌های علمی در انجام فعالیت‌های علمی می‌باشد. همچنین نظریه‌ی خورشید مرکزی موجب تغییر مقیاس‌های مدل از کل جهان به خورشید و ۵ سیاره‌ی قابل مشاهده معطوف ساخت.

فعالیت‌های کپلر و گالیله چارچوبی را برای کار نیوتن ایجاد کرد تا قوانین کلاسیک حرکت را ارتقاء بخشد. این یک مرحله‌ی گذار حیاتی و اساسی از مرحله‌ی مدل تجربی حرکت سیاره‌ای به مدل مبنایی قوانین فیزیکی تلقی می‌گردد و این مدل، فراتر از خورشید و هر سیاره و اجرام در حال حرکت تعمیم یافت.

تأثیر انیشتین متکی بر فهم ما از حرکت سیاره‌ای بود که بعدها موجب گسترش، حوزه‌ی منظومه‌ی شمسی گردید و آن را در جایگاه یک مرجع قرارداده که موجب ایجاد پلی بین ذرات ریز اتمی به سیاه‌چاله ها می‌شود.

## کشف در قلمرو درست و نادرست

بعد از ۲۵۰۰ سال از تحقیق و بررسی و کشفیات، منصفانه است که بپرسیم آیا دانش ما در زمینه‌ی منظومه‌ی شمسی و حرکت اجرام کامل است. همچنین گفتگو در مورد فلسفه‌ی علم و اینکه آیا نیوتن نادرست بود یا انیشتین درست، ادامه دارد. لازم است به این نکته توجه شود از آنجا که دیگران سعی داشتند تا دامنه‌ی توضیح را به سایر فضاها و مقیاس‌های فضایی گسترش دهند، اما آن را معیوب یافتند. اما نیوتون درمورد پیشرفت توضیح فیزیکی حرکت اجرام بر روی زمین و بسط آن‌ها به اجرام آسمانی، صحیح عمل کرد. تئوری‌های نسبیت انیشتین قادر بودند تا کمبودها و نقص‌ها را با تغییرات قابل توجه‌ای در درک این‌که چگونه جهان فیزیکی شناخته شده‌اند، به ما نشان دهند. به‌ویژه چارچوب مرجع ادراکی انیشتین مستقیماً توسط حواس انسان قابل درک نمی‌باشد.

علوم به جهت گردآوری شواهد در حمایت از کشفیات علمی امری بنیادی و مهم تلقی می‌گردد. چیزی که علم قادر به انجام آن است ارائه‌ی پاسخی کامل می‌باشد. طرح این سؤال که آیا نظریه نیوتن اشتباه بوده و نظریه انیشتین صحیح بوده است باعث می‌شود تا نکته‌ی اصلی را نگرفته است. نیوتن مجموعه‌ای از قوانین، برای توصیف و پیش‌بینی حرکت اجرام در بسیاری از مقیاس‌های مکانی و زمانی کافی بودند را، ارائه و توسعه داد.

آن دسته از قوانینی که در مقیاس‌های بسیار کوچک یا بسیار بزرگ یا درمورد سرعت که در حال نزدیک شدن به سرعت نور بوده است، با شکست مواجه شدند. تئوری‌های انیشتین با قوانین نیوتن منطبق بود و مقیاس‌های مکانی و زمانی را گسترش داد. در حوزه‌ی علم، شایستگی و اثربخشی نسبت به درست بودن و نادرست بودن تئوری‌ها بیشتر معنادار است زیرا علم به صورت مطلق عمل نمی‌کند. همانطور که از مثال‌ها پیدا است، اکتشافات علمی قادرند تا فهم ما را از جهان گسترش دهند و این دانش به پیشرفت‌های فنی منتج می‌شود که بسیاری از فعالیت‌های عادی که ما آن‌ها را در جامعه مسلم می‌دانیم، امکان‌پذیر می‌نماید.

الان در حال حاضر شما کاملاً می‌دانید که علم چیست و عملکرد آن چه میزان می‌تواند تأثیرگذار باشد، ما قبل از ورود به بحث روش تحقیق، یک فصل مقدماتی دیگر داریم. فصل بعد، مقدمه‌ای در مورد امنیت سایبری می‌باشد. در صورتی که شما دانش عمومی در مورد امنیت سایبری نداشته باشید، در فصل بعد دوره‌ی فشرده‌ای از امنیت سایبری را ارائه خواهد

داد. اگر شما پایه‌ای قوی در حوزه‌ی امنیت سایبری داشته باشید، مطالعه‌ی این بخش در مورد تعریف فضای سایبری و امنیت سایبری به‌منظور دستیابی به درک درستی از دیدگاه ما که زیربنای این کتاب است، همچنان به نفع شماست.

## پی نوشت‌ها:

[۱] تی. گرین هالگ. "چگونه یک مقاله را خواندن. گرفتنِ جهت شما (تصمیم گرفتن در مورد این که مقالات درمورد چه موضوعی هستند)." بی اِم جِی: هفته نامه پزشکی بریتانیا ۳۱۵,۷۱۰۲ (۱۹۹۷): ۲۴۶-۲۴۳. چاپ شده.

[۲] جی دبیلیو و کِوین سی. چانگ. "مطالعات مشاهده‌ای: مطالعات مورد شاهدی و هم گروه." مجله جراحی پلاستیک و ترمیمی ۱۲۶,۶ (۲۰۱۰): ۲۲۴۲-۲۲۳۴. پی ام سی. وب سایت. ۱۰ آوریل، ۲۰۱۶.

[۳] جی. جِی اوکِنور و ای. اِف. رابرستون (۱۹۹۶، فوریه و مارس). موضوع داستان: مدارها و جاذبه. بازیابی‌شده از http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/Bhistory/HistTopics/Orbits.html.

[۴] آر فِینمان (بدون تاریخ). متون خواندنی فینمان درمورد فیزیک جلد ۱ بخش ۹: قوانین حرکت نیوتون از سایت http://www.feynmanlectures.caltech.edu/I_09.htm.

[۵] دی. لیندِر (بدون تاریخ). محکومیت پاپ گونه گالیه در سال ۱۶۳۳. بازیابی‌شده در ۲۵ فوریه ۲۰۱۷، از سایت http://law2.umkc.edu/faculty/projects/ftrials/galileo/condemnation.html.