

## حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی

محمد سعیدی مهر\*

محمود مختاری\*\*

### چکیده

از دیرباز تا کنون، فیلسوفان و عالمان علوم طبیعی به طرح دیدگاه‌های گوناگونی درباره «حرکت» به مثابه یکی از عام‌ترین پدیده‌های طبیعی پرداخته‌اند. ارسطو و به پیروی از او ابن‌سینا، در مباحث طبیعیات خویش، از حرکت به ویژه حرکت مکانی و خصوصیات آن سخن به میان آورده‌اند؛ اما در فیزیک جدید (فیزیک نیوتنی)، تصویر کم‌وبیش متفاوتی از حرکت به دست داده شده است. در مقاله حاضر، پس از مقایسه مبانی مفاهیم اصلی، و قوانین حرکت در طبیعیات ارسطویی و فیزیک نیوتنی، نشان داده می‌شود که نظریه ارسطو درباره حرکت، در بخش‌هایی، دستخوش ناسازگاری است و در اکثر موارد، با فیزیک نیوتنی اختلاف دارد؛ هرچند در برخی از قضایا و روابط، دارای شباهت‌های کلی با قوانین حرکت نیوتنی است. البته، نباید از این نکته غفلت کرد که هر یک از این دو نظریه، بخشی از دو نظام نظری کاملاً متفاوت و مبتنی بر دو نحوه ناهمسان از استدلال و استنتاج‌اند. شایان ذکر است که قوانین نیوتن در زمینه حرکت، با تغییر اساسی سنت ارسطویی، به نتیجه رسیده است؛ همچنین، قضایا و روابط ظاهراً مشابه هر یک از دو سنت ارسطویی و نیوتنی، به سختی در دیگری قابل اندراج است.

**کلیدواژه‌ها:** ارسطو، ابن‌سینا، فلسفه طبیعی، طبیعیات، حرکت مکانی، فیزیک نیوتنی.

saeedi@modares.ac.ir

\* دانشیار دانشگاه تربیت مدرس. دریافت: ۸۸/۲/۱۲ - پذیرش: ۸۸/۴/۲

\*\* دانشجوی دکتری فلسفه علم، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی. mahmoud.mokhtari@gmail.com

## مقدمه

از روزگار باستان تا روزگار امروز، «حرکت» که یکی از عام‌ترین پدیده‌های طبیعی به شمار می‌رود موضوع نظریه‌پردازی بسیاری از فیلسوفان و عالمان علوم طبیعی بوده است. ارسطو، به عنوان معلم اول، اصول و قوانینی را در باب «حرکت» بنیان نهاد که تأثیر فراگیری را در فلسفه طبیعی قرون باستان و میانه برجای گذاشت. گرچه برخی از پیروان مکتب ارسطو نوآوری‌های درخور توجهی را به نظام برساخته وی وارد کردند، اما هیچ‌کدام از پارادایم ارسطویی فراتر نرفتند: ارشمیدس<sup>(۱)</sup> به ارائه شاخه نظری مکانیک پرداخت و هیرون<sup>(۲)</sup> شاخه عملی و فنی تر آن را به دست داد. در اوایل دوران میانه، کارهای مکانیکی ارشمیدس بر جهان اسلام تأثیرگذار واقع شد؛ اما با وجود اینکه این کارها در قرن سیزدهم میلادی از یونانی به لاتین ترجمه شده بود، تا آغاز قرن شانزدهم، تأثیر قابل ملاحظه‌ای را در غرب بر جا نگذاشت. هیرون ماشین‌های پیچیده را به پنج ماشین ساده تقلیل داد: اهرم، چرخ و محور، قرقره، گوه، و پیچ. او با برقراری تعادل بین یک نیروی کوچک و یک وزنه بزرگ، قواعد ساده تناسب نیروهای ارسطویی را زیر سؤال برد؛ همچنین، این فرض فیزیک ارسطویی را که «هر حرکت جبری نیاز به محرکی دائمی دارد» به چالش کشید. با این حال، هیرون در مجموع به دنبال جایگزینی فلسفه طبیعی ارسطو با نوع جدیدی از فیزیک نبود. در حالی که کتاب مکانیک، نوشته هیرون، در غرب دوران میانه ناشناخته مانده بود، در قرن نهم میلادی، به زبان عربی ترجمه شد؛ ولی این ترجمه نیز تا این اواخر در غرب ناشناخته ماند.<sup>(۳)</sup>

دانشمندان مسلمان از قبیل جابر، کندی، ابن‌هیثم، و به ویژه ابوریحان بیرونی، در طی قرون میانه، روش آزمایش و کمی‌سازی را به کار بردند. ابوریحان، با اینکه بسیاری از اصول طبیعیات مشایی را پذیرفت، ولی حیز طبیعی عناصر را انکار کرد و روش استدلالی مشاییان را نیز مورد تعرض و حمله قرار داد. وی بر تکرار آزمایش، جلوگیری

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۱۷۵

از خطاهای نظام‌مند و خطاهای تصادفی، و نیز تحلیل کیفی مشاهدات تأکید داشت.<sup>(۴)</sup> ما در این مقاله، ذیل آرای ارسطو، به نمونه‌هایی از نظریات متمایز و مبسوط ابن‌سینا، به منزله فیلسوف برجسته دوره اسلامی، اشاره خواهیم کرد.

در فیزیک حرکت، انقلاب علمی با کارهای گالیله به وقوع پیوست و با قوانین نیوتن به نتیجه مطلوب رسید. البته، این مطلب به معنای نادیده گرفتن تلاش‌های اندیشمندان قبل از گالیله و نیوتن نیست؛ بلکه واقعیت این است که افق‌های جدید، در پرتو نظریات قبلی، فراروی عالمان قرار گرفت؛ چنان‌که خود نیوتن نیز برای توصیف جایگاه و موفقیتش از تعبیر «کوتوله‌ای ایستاده بر روی دوش غول‌ها» استفاده می‌کند و همچنین محدودیت نظریه‌اش، در حدود دو قرن بعد، توسط انیشتین نشان داده می‌شود.

فاصله زمانی میان ارسطو و نیوتن، حدود بیست قرن است؛ اما آیا فاصله طبیعیات ارسطویی و فیزیک نیوتنی نیز تا این اندازه زیاد است؟ آیا ارسطو می‌توانست همان کار نیوتن را انجام دهد و فیزیک را دو هزار سال به جلو بیندازد یا آنکه نظام ارسطویی به خطایی دچار شده بود که راه درست را بر فیزیک می‌بست؟ بسیاری از فیلسوفان، همچنان، اصول منطق و مابعدالطبیعه ارسطویی را معتبر می‌دانند؛ اما آیا هنوز برای طبیعیات ارسطویی می‌توان جایگاهی را متصور شد؟

هدف اصلی ما، در این مقاله، مطالعه مقایسه‌ای طبیعیات ارسطویی و فیزیک جدید<sup>(۵)</sup> در بحث «حرکت مکانی» است. در تبیین دیدگاه‌های طبیعیات ارسطویی، عمدتاً بر آرای ارسطو در کتاب *فیزیک* و *آرا و نیز آرای ابن‌سینا* در کتاب *طبیعیات شفا* (فن سماع طبیعی) تأکید می‌شود؛ همچنین، در بیان دیدگاه‌های فیزیک جدید، بخش‌هایی از کتاب *اصول ریاضی فلسفه طبیعی*<sup>(۶)</sup> (نوشته نیوتن) مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

مطالعه تطبیقی از این نوع می‌تواند با هدف تحقیق در تاریخ علم صورت گیرد؛ با این حال، ما - گرچه از اشارات تاریخی غافل نشده‌ایم - چنین هدفی را دنبال نکرده و درصدد تحلیل مبانی، قوانین، و نتایج حرکت‌شناسی ارسطویی در مقایسه با مکانیک نیوتنی برآمده‌ایم.

## مروری بر اصول طبیعیات ارسطویی

### جایگاه طبیعیات در فلسفه ارسطو

از نگاه ارسطو، فلسفه نظری از علوم طبیعی (مثل فیزیک و زیست‌شناسی) و همچنین علوم ریاضی و متافیزیک، تشکیل می‌شود. بنابراین، علم فیزیک جزئی از فلسفه طبیعی است و با دیگر بخش‌های نظام ارسطویی پیوند محکمی دارد. کتاب *فیزیک*، نوشته ارسطو، مشتمل بر هشت کتاب است و به موضوعاتی همچون «مبادی طبیعت»، «بخت و اتفاق»، «حرکت»، «مکان»، «زمان» و «خلأ» اختصاص دارد. ارسطو، بعد از بحث درباره مبادی طبیعت، اشیا را به دو دسته کلی تقسیم می‌کند و می‌گوید: بعضی از اشیا به واسطه طبیعت<sup>(۷)</sup> موجودند و بعضی به واسطه علل دیگر. برای مثال، حیوانات (و اجزای آنها)، گیاهان، و اجسام بسیط (خاک، آتش، هوا، و آب) به طبیعت موجودند و هرکدام دارای مبدأ حرکت و سکون هستند؛ ولی اشیای دیگر، از آنجا که محصول صنعت‌اند، هیچ محرک درونی<sup>(۸)</sup> برای تغییر ندارند. شایان ذکر است که طبیعت منشأ یا علت متحرک و ثابت بودن چیزی است که ذاتاً به آن تعلق دارد.<sup>(۹)</sup> از نظر ارسطو، شناخت طبیعت از جمله وظایف مربوط به طبیعیات (فیزیک) شمرده می‌شود.<sup>(۱۰)</sup>

ارسطو شناخت هر چیز را در گرو شناخت علل آن چیز می‌داند؛ از این‌رو، علت را می‌توان مبنای فیزیک ارسطو تلقی کرد. ارسطو، متناظر با چهار گونه پرسش از «چرایی»، علت را به چهار گونه تقسیم می‌کند و کار فیلسوف طبیعی را شناخت همه علل چهارگانه می‌داند. از نظر وی، اگر فیلسوف طبیعی مسائل خویش را به همه این علل (علت مادی، علت صوری، علت فاعلی، و علت غایی) بازگرداند، در علم خود - به درستی - به پرسش از «چرا» پاسخ خواهد داد.<sup>(۱۱)</sup>

### روش ارسطو

روش کلی ارسطو آن است که در مابعدالطبیعه خود، از کشف علل اولی آغاز می‌کند و با

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۱۷۷

منطق قیاسی<sup>(۱۲)</sup> نتایج علمی را به دست می‌آورد. البته، از آنجا که هر عالم طبیعی نسبت به تجربیات و مشاهدات روزمره حسّاس است و هدف وی شناخت همین مشاهدات است، ارسطو نیز در طبیعت‌شناسی خود از مشاهده بهره می‌برد؛ از این‌رو، شاید بتوان طبیعت‌شناسی ارسطو را از نظر صوری تجربی دانست، ولی مشاهدات برای وی صغرای قیاس هستند، نه پایه استقرا. همچنین، چنان‌که در بحث از نیروها ملاحظه خواهیم کرد، ارسطو از تئوری اقلیدسی «تناسب» به عنوان ابزار اصلی قانون‌سازی استفاده می‌کند.

دیدگاه ابن‌سینا در *طبیعیات شفا*، در باب وظیفه طبیعیات، به دیدگاه ارسطو شباهت دارد: علم طبیعی، هم اشتغال به صورت دارد و هم اشتغال به ماده. در اجسام بسیط، طبیعت همان صورت است؛ مثلاً صورت (نوعیه) آب، قوه‌ای است که هیولای آب را به نوعی از انواع جسم (یعنی آب) تبدیل کرده است و آثار محسوسی مانند سردی و سنگینی از آن (قوه) پیدا می‌شود. اما، در اجسام مرکب، طبیعت عین حقیقت صورت نیست، بلکه به منزله جزئی از صورت است؛ چراکه هیئت ترکیبی اجسام مرکب (مثل انسان)، تنها به سبب قوه (طبیعت) نیست که اجسام را بالذات به سوی جهتی حرکت می‌دهد. گرچه قوه برای ساخته شدن ماهیت لازم است؛ ولی طبیعت به تنهایی ماهیت مرکبات را نمی‌دهد، بلکه با زوایدی ماهیت را می‌سازد.<sup>(۱۳)</sup> ابن‌سینا، از نظر روش‌شناسی، کم‌وبیش پیرو ارسطوست. او معتقد است که عالمان طبیعی در تحقیقات خویش، همچون ریاضیدانان، از «برهان» سود می‌جویند.<sup>(۱۴)</sup>

در طبیعیات ابن‌سینا، برای حصول نتایج، از آزمایش یا استقرا استفاده نمی‌شود. البته برخی معتقدند که ابن‌سینا اصول کلی طبیعیات خود را از علم الهی اخذ می‌کرده، ولی از مشاهده یا تجربه و استقرای در طبیعت نیز سود می‌برده است. شاهد این مدعا، تجربیاتی است که ابن‌سینا در بحث «نفی خلأ» ذکر کرده است (مثل برگرداندن ظرف پر از آب و خالی شدن هوای بین دو ظرف).<sup>(۱۵)</sup> این اعتقاد، تا آنجا قابل قبول است که به اخذ

اصول طبیعیات از فلسفه اولی و توجه به مشاهدات مربوط می‌شود؛ ولی به نظر می‌رسد که این نوع توسل به مشاهدات را در معنای دقیق کلمه، نمی‌توان به کارگیری روش استقرایی دانست.

بر پایه آنچه گذشت، اصول کلی حاکم بر طبیعیات ارسطویی را می‌توان بدین صورت برشمرد:

(۱) اشیای عالم به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: بعضی به واسطه طبیعت موجودند و بعضی به واسطه علل دیگر. هرکدام از اشیای طبیعی دارای مبدأ حرکت و سکون هستند.

(۲) «شناخت» از جمله وظایف مربوط به فلسفه طبیعی است. همچنین، شناخت هر چیز در گرو شناخت علل آن چیز است. فیلسوف طبیعی شناخت همه علل چهارگانه را برعهده دارد.

(۳) اصول کلی طبیعیات از فلسفه اولی اخذ می‌شوند؛ همچنین، علم طبیعی به مدد مشاهدات (به عنوان صغرای قیاس) حاصل می‌شود.

### مروری بر اصول فیزیک نیوتنی

گرچه آزمون و تکرار مشاهده، در قرون میانه، بی سابقه نبوده است؛ ولی عموماً گالیله را به عنوان «پدر روش علمی جدید» می‌شناسند، چراکه روش و محتوای فیزیک وی خارج از پارادایم ارسطویی است. ارسطویان علم را برآمده از مجموعه‌ای از اصول کلی می‌دانستند، در حالی که گالیله از آزمایش به مثابه ابزار اصلی تحقیق و نظریه‌پردازی استفاده می‌کرد. وی برای بررسی حرکت و سرعت اجسام، آزمایش‌های سطح شیبدار و آونگ را ترتیب داد. گفتنی است که قانون سطح شیبدار را امتیاز مهم علم گالیله‌ای قلمداد می‌کنند. (۱۶)

مطالعات پیر دوئم،<sup>(۱۷)</sup> در باب وضعیت علم در قرون میانه، منشأ آثار فراوانی بوده

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۱۷۹

است. پیر دوئم مدعی شده است که نوشته‌های علمی قرون میانه، حاوی مؤلفه‌های علم جدید (به ویژه دیدگاه‌های سینماتیک و دینامیک گالیله) است یا دست‌کم نشانی از آن مؤلفه‌ها را دارد و علم جدید - در واقع - تکامل یافته دیدگاه‌های موجود در نوشته‌های علمی قرون میانه است.<sup>(۱۸)</sup> البته، برخی به مخالفت با این نظر برخاسته و گفته‌اند که علم جدید نتیجه کشمکش بین سنت‌های مختلف متنی، مفهومی، نظری، و عملی از قرون باستان تا میانه است و فلسفه طبیعی، ریاضیات، و مکانیک عملی، هریک مسائلی مطرح کرده‌اند که به شکل‌گیری «مکانیک نوین گالیله» انجامیده است. شایان ذکر است، ریشه‌یابی مؤلفه‌های علم جدید از موضوعات مناقشه‌برانگیز در حوزه تاریخ علم شمرده می‌شود؛ ولی عموماً اعتقاد بر این است که بنیان‌گذاران علم جدید از متون علمی قرون میانه آگاه بوده و حتی با برخی از بحث‌های آن متون سروکار داشته‌اند.<sup>(۱۹)</sup> به عنوان مثال، در کتاب *گفت‌وگوهای پیزایی*<sup>(۲۰)</sup> (نوشته گالیله)، دیدگاه‌های دانشمندان مسلمان - همچون ابن سینا، ابن هیثم، و ابن باجه - یافت می‌شود.<sup>(۲۱)</sup>

اما، نیوتن به تمام مجادلات فیلسوفان طبیعی درباره «حرکت» پایان داد. کارهای وی در حوزه مکانیک به قوانینی انجامید که بر همه اجرام زمینی و سماوی، و طبیعی و صناعی صدق می‌کنند. قوانین حرکت و نیز قانون گرانش عمومی نیوتن، برای انواع اجسام - در غیر از ابعاد خیلی کوچک و سرعت‌های خیلی بزرگ - برقرار است. نیوتن، در بخشی از کتاب *اصول ریاضی فلسفه طبیعی*، آنچه را قواعد استدلال در فلسفه می‌نامد بدین صورت بیان می‌نماید:<sup>(۲۲)</sup>

- (۱) ما برای تبیین نمودهای اشیای طبیعی نباید علت‌هایی را بپذیریم که بیش از آن چیزی باشند که درست و کافی است.
- (۲) بنابراین، برای آثار طبیعی یکسان، باید تا آنجا که ممکن است علل یکسانی را معین کنیم.

۳) کیفیات اجسام که نه افزایش و نه کاهش درجه می‌پذیرند، و در حدود تجربه ما به همه اجسام تعلق دارند، باید کیفیات عام همه اجسام (هر چه که هستند) به شمار آیند.

۴) ما، در فلسفه تجربی، گزاره‌های به دست آمده از پدیده‌ها با استقرای کلی را (به رغم هر فرضیه خلافی که قابل تصور باشد) باید گزاره‌هایی قطعاً یا تقریباً صادق بدانیم تا زمانی که با رخ دادن پدیده‌های دیگر، دقیق‌تر شوند یا در شمول استثناها قرار گیرند.

یادآوری می‌شود که نیوتن در قالب قاعده‌های اول و دوم، آنچه را در فلسفه علم به عنوان اصل همگونی طبیعت<sup>(۲۳)</sup> تلقی می‌شود پذیرفته است. ضمن اینکه قاعده سوم به معنای ملاک قرار دادن تجربه یا حس و پذیرش تعمیم نتایج آن است. به باور نیوتن، از کیفیات اجزا می‌توان به کیفیات کل پی برد. نیوتن، در قاعده چهارم، گزاره‌هایی را که مبتنی بر استقرا هستند درست می‌داند؛ گرچه امکان نقض این گزاره‌ها را نیز در آینده منتفی نمی‌شمارد.

### مقایسه مفاهیم مربوط به حرکت در طبیعیات ارسطویی و فیزیک جدید

با توجه به تعریف «طبیعت» به عنوان مبدأ حرکت و تغییر، شناخت معنای حرکت و احکام آن مبنای طبیعت‌شناسی ارسطو واقع می‌شود.<sup>(۲۴)</sup> بنابراین، ارسطو به بحث درباره حرکت می‌پردازد و موضوعات مکان، زمان و... را نیز به تبع آن مورد بررسی قرار می‌دهد. وی اکثر بخش‌های کتاب فیزیک خود (حدود سه چهارم آن) را به عموم مباحث مربوط به حرکت اختصاص داده است.

از نظر ارسطو، «حرکت» عبارت است از: تحقق (یا فعلیت) آنچه بالقوه وجود دارد، از آن جهت که بالقوه وجود دارد.<sup>(۲۵)</sup> ارسطو محرک و متحرک را ملازم یکدیگر می‌داند: حرکت، تحقق قوه شیء قابل حرکت (متحرک) توسط آن چیزی است که توان علت حرکت شدن را دارد (محرک)؛ همچنین، فعلیت محرک غیر از فعلیت متحرک نیست.



حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۱۸۱

ارسطو توضیح می‌دهد که محرک، به سبب تأثیر بر متحرک، محرک است و متحرک، به سبب پذیرش این تأثیر است که متحرک می‌باشد؛ و این یک فعلیت است با دو توصیف مختلف.<sup>(۲۶)</sup> از این گذشته، وی اشاره می‌کند که حرکت در عام‌ترین و ابتدایی‌ترین معنایش، تغییر مکان است که آن را «نقل مکان»<sup>(۲۷)</sup> می‌نامیم.<sup>(۲۸)</sup>

ارسطو در ابتدا به بحث درباره نامتناهی و نیز ماهیت مکان و زمان می‌پردازد و پس از بیان و نقد نظریات حکمای قبل از خود، دیدگاهش را در این‌باره ارائه می‌کند. تفصیل استدلال‌های ارسطو از عهده این مقاله خارج است؛ از این‌رو، در مقاله حاضر، به مروری بر دیدگاه وی (و نیز ابن‌سینا) در زمینه مفاهیم یادشده بسنده می‌شود:

**نامتناهی:** ارسطو معتقد است که چون علم طبیعت با مقادیر مکانی و حرکت و زمان سروکار دارد، و هریک از اینها ضرورتاً یا متناهی است یا نامتناهی؛ از این‌رو، بحث درباره اینکه آیا مقدار محسوس نامتناهی وجود دارد، و ماهیت آن چیست، وظیفه فیزیکدان است.<sup>(۲۹)</sup> از نظر ارسطو، کمیت نامتناهی کمیتی است که همواره بتوانیم بخشی از آن را جدا کنیم، افزون بر آنچه قبلاً جدا شده است.<sup>(۳۰)</sup> او معتقد است: مقدار محسوس نامتناهی به صورت بالفعل وجود ندارد؛ بلکه فقط به صورت بالقوه، از طریق «کاهش» (تقسیم نامتناهی)، وجود می‌یابد.<sup>(۳۱)</sup> ناگفته نماند که ارسطو و ابن‌سینا باور ویژه‌ای به عدم امکان سرعت نامتناهی داشته‌اند. از نظر ابن‌سینا، حرکتی در طبیعت وجود دارد که حرکتی سریع‌تر از آن موجود نیست.<sup>(۳۲)</sup>

در فیزیک جدید، همین اعتقاد به «نامتناهی بالقوه»<sup>(۳۳)</sup> وجود دارد؛ مثلاً میدان‌هایی که به صورت تابع  $1/r^2$  تغییر می‌کنند (از جمله پتانسیل الکتریکی و گرانشی)، در مرکز بار و جرم، باید بی‌نهایت شوند. اما این مفهوم در واقع عبارت است از: پتانسیل بالقوه بی‌نهایت. یعنی اگر پتانسیل با کاهش فاصله از مرکز ( $r$ ) چنان کاهش می‌یابد که اگر در مرکز قابل اندازه‌گیری بود مقدار آن بی‌نهایت می‌شد و حال آنکه از یک نقطه‌ای به بعد،

عملاً راهی برای کاهش فاصله (و بالتبع اندازه‌گیری پتانسیل) وجود ندارد.<sup>(۳۴)</sup>

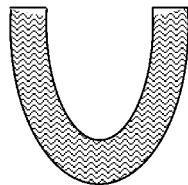
هرچند «بی‌نهایت» کاربرد فراوانی در فیزیک دارد، ولی این امر به آن معنا نیست که فیزیکدانان قائل به «وجود واقعی مقدار محسوس نامتناهی» باشند؛ چراکه وجود چنین مقداری به نقض قوانین زیادی منجر خواهد شد، مسئله‌ای که فیزیکدانان حاضر به پذیرش آن نیستند. برای مثال، در فیزیک، بی‌نهایت بودن سرعت (که بیانگر امکان حضور هم‌زمان یک ذرهٔ مادی در دو مکان خواهد بود) یا بی‌نهایت بودن انرژی به معنای واقعی نیست. «بی‌نهایت» می‌تواند به معنای مقداری بیشتر از یک مقدار معین یا قابل اندازه‌گیری باشد، و به هر حال باید از نظر فیزیکی معنادار باشد. همچنین، از طرف دیگر، بی‌نهایت کوچک‌ها (یا آنچه ارسطو «نامتناهی از طریق تقسیم» می‌نامید) در ریاضی و فیزیک با عنوان «حساب بی‌نهایت کوچک‌ها»<sup>(۳۵)</sup> معروف است. گفتنی است که بی‌نهایت کوچک‌ها را نخستین بار نیوتن ابداع کرد و آن را در فیزیک به کار گرفت.

مکان: ارسطو معتقد است که اگر حرکت نسبت به مکان وجود نداشت، مکان در نظر نمی‌آمد.<sup>(۳۶)</sup> با توجه به واقعیت جایگزینی متقابل اجسام است که وجود مکان بدیهی گرفته می‌شود. وقتی که با بیرون رفتن جسمی از مکانی، جسم دیگری همان مکان را اشغال می‌کند، به نظر می‌رسد که مکان متفاوت با همهٔ اجسامی است که در آن وارد می‌شوند و جای یکدیگر را می‌گیرند. ارسطو معتقد است: اشیا ابتدا نیاز دارند مکان داشته باشند؛ از این رو، مکان، نخستین چیز است. وی، همچنین، معتقد است که وقتی اشیای داخل مکان از بین می‌روند، وجود مکان پایان نمی‌یابد.<sup>(۳۷)</sup>

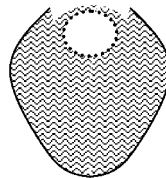
از این گذشته، ارسطو برای مکان‌ها و جهت‌ها قائل به قوه و اثر است: جابه‌جایی‌های اجسام طبیعی اصلی<sup>(۳۸)</sup> (عناصر)، مثل آتش، خاک، و مانند آنها، نشان می‌دهد که مکان، نه تنها یک چیز است، بلکه اثر خاصی را نیز اعمال می‌کند. برای مثال، «بالا» و «پایین» صرفاً دو جهت متمایز نسبی نیستند؛ بلکه «بالا» مکانی است که آتش و آنچه سبک است

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۱۸۳

به آنجا می‌رود.<sup>(۳۹)</sup> ضمن اینکه ارسطو مکان را به «داخلی‌ترین حد، بدون حرکت حاوی»<sup>(۴۰)</sup> تعریف می‌کند و آن را نوعی «سطح» در نظر می‌گیرد. در تعریف مکان، «بدون حرکت بودن» دارای اهمیت خاصی است؛ مثلاً مکان قایقی که در رودخانه‌ای در حال حرکت است کل رودخانه است، نه سطح (داخلی توده آب) که حاوی قایق می‌باشد.<sup>(۴۱)</sup> برخی از حکما (همچون زنون) این اشکال را وارد می‌کردند که خود مکان هم نیازمند مکان است؛ از این رو، باید توضیح داده شود که مکان مکان چیست؟ ارسطو، در پاسخ، ادعا می‌کند که چنین نیست که هرچه هست در مکان باشد؛ بلکه فقط جسم قابل حرکت نیاز دارد که در مکان باشد. بنابراین، خود مکان - که بدون حرکت است - نیازمند مکان نیست.<sup>(۴۲)</sup> ارسطو، در باب ماهیت مکان، معتقد است: مکان، چون از شیء جدایی پذیر است، صورت نیست؛ همچنین، از آنجا که حاوی است، ماده نیز به حساب نمی‌آید.<sup>(۴۳)</sup> ابن‌سینا نیز پس از استدلال بر وجود خارجی مکان،<sup>(۴۴)</sup> و بررسی و نقد دیدگاه‌های مختلف در باب ماهیت مکان،<sup>(۴۵)</sup> آن را سطحی می‌داند که نهایت جسم حاوی (جسم متمکن) است.<sup>(۴۶)</sup> وی در ادامه به تشریح این امر می‌پردازد که مکان شیء، گاه سطحی واحد است و گاه از ترکیب چند سطح به وجود می‌آید. برای مثال، وقتی که در میان آب کوزه‌ای، جسم دیگری قرار بگیرد که آب بر آن محاط باشد (شکل الف - ۱)، مکان آب عبارت خواهد بود از: سطح مقعر کوزه (نه مجموع آن سطح مقعر و سطح محدب جسم درون آب)؛ زیرا سطح مقعر به تنهایی برای احاطه کافی است و دو سطح مزبور متباین هستند و از مجموع آنها یک سطح درست نمی‌شود تا مکان آب باشد. اما، وقتی که ظرفی U شکل داریم که حاوی آب است (شکل ب - ۱)، از مجموع سطح‌های ملایقی (سطح مقعر پایینی، سطح بالایی که نسبت به آب تحدب دارد، و دو سطح افقی بالای ظرف) یک سطح درست می‌شود. گفتنی است که این مجموع به منزله مکان واحد آب است و اجزای آن اجزای مکان به شمار می‌روند.<sup>(۴۷)</sup>



(شکل ب - ۱)



(شکل الف - ۱)

نیوتن در کتاب *اصول ریاضی فلسفه طبیعی* به تعریف برخی از مفاهیم جدید مانند جرم، اندازه حرکت، اینرسی، نیرو، و شتاب می‌پردازد (البته مفهوم «شتاب» را پیشتر، و برای نخستین بار، گالیله مطرح کرده بود). او در حاشیه کتاب یاد شده می‌گوید: من زمان، فضا، مکان، و حرکت را که همه به خوبی آنها را می‌شناسند تعریف نمی‌کنم. با این حال، وی تأکید می‌کند که این کمیت‌ها فقط باید بر اساس رابطه‌ای که با اشیای محسوس<sup>(۴۸)</sup> دارند تصور شوند. نیوتن، در ادامه، مفاهیم جدید پیش‌گفته را به مطلق و نسبی، واقعی و ظاهری، و ریاضی و عادی تفکیک می‌کند و به توضیح هریک از این مفاهیم می‌پردازد. ورود مفاهیم جدید نیوتنی از قبیل اندازه حرکت، نیرو، و شتاب (و تبیین مفاهیم آشنای قبلی)، در حوزه مکانیک، بسیار بااهمیت است. به نظر می‌رسد، یکی از مهم‌ترین تفاوت‌ها میان فیزیک قدیم و جدید تفاوت میان مفاهیم کلیدی آن دو باشد؛ بنابراین، «مفهوم‌سازی» نقشی اساسی را در تحول فیزیک ایفا کرده است.

نیوتن ماهیت فضای مطلق را بی‌ارتباط با اشیای خارجی، و جدای از جسم می‌داند و اعتقاد دارد که همواره یکسان و ثابت<sup>(۴۹)</sup> است. اما، از نظر وی، فضاهای نسبی عبارت‌اند از: نحوه‌های مختلفی که ما فضای مطلق را اندازه می‌گیریم. به عبارت دیگر، فضای نسبی بُعد یا مقداری قابل حرکت از فضای مطلق است که حواس ما بسته به موقعیتش نسبت به اجسام آن را تعیین می‌کند. شکل و اندازه این دو یکی است، اما از نظر عددی همواره یکی نمی‌مانند؛ مثلاً اگر زمین را سیستم مرجع بگیریم، با حرکت

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۱۸۵

زمین، فضای هوای اطراف ما نسبت به زمین یکسان می‌ماند، ولی این هوا به طور پیوسته بخش‌های مختلف فضای مطلق را اشغال می‌کند.

به بیان نیوتن، «مکان» قسمتی از فضا است که هر جسم آن را اشغال می‌کند؛ همچنین، مطابق با فضا، «مکان» یا مطلق است یا نسبی. نیوتن بر عبارت «قسمتی از فضا» در تعریف یادشده تأکید می‌ورزد، و می‌گوید که منظور او موقعیت یا سطح خارجی جسم نیست؛ چراکه مکان اجسام همانند<sup>(۵۰)</sup> پیوسته یکسان است، ولی سطح این اجسام - به علت تفاوت شکل آنها - اغلب یکی نیست. به علاوه، «مکان کل» جمع مکان‌های اجزاست.<sup>(۵۱)</sup> در فیزیک نیوتنی، مکان هر جسم را با مختصات مرکز جرم آن مشخص می‌کنند؛ مختصاتی که در فضای سه‌بعدی با سه عدد بیان می‌شود.<sup>(۵۲)</sup>

همان‌طور که پیشتر گفتیم، ارسطو «مکان» را داخلی‌ترین حد (بدون حرکت جسم حاوی) می‌داند؛ در حالی که فضا و مکان نیوتنی اصولاً سطح نیستند. اما از آن جهت که ماهیت حرکت مکانی در فیزیک ارسطو (یا حرکت در مکان)، به تبع تعریف مکان، نسبت به چیزی مستقل از جسم متحرک - یعنی مرجع بدون حرکت - لحاظ می‌شود، قابل قیاس با حرکت نسبت به چارچوب یا فضای مطلق نیوتنی، که مستقل از جسم است، به نظر می‌رسد. خلأ: از نظر ارسطو، «خلأ» به معنای مکانی که شیئی در آن وجود ندارد امکان‌پذیر نیست. او معتقد است: کسانی که به وجود خلأ اعتقاد دارند، حداکثر، ممکن است که بخواهند شرط حرکت رو به بالا را، هر چه که هست، خلأ بنامند.<sup>(۵۳)</sup> شایان ذکر است که ابن‌سینا، علاوه بر نفی قوه محرکه خلأ در حرکت جسم متخلخل به سمت بالا، قوه جاذبه‌ای را نیز که طرفداران خلأ در مورد مکش و حبس آب (در آبنزک و آبدزدک) به آن اشاره می‌کردند نفی کرده است.<sup>(۵۴)</sup> یکی از ادله ارسطو در نفی خلأ این است که اگر خلأ وجود داشته باشد، هیچ‌کس نمی‌تواند به این مسئله پاسخ دهد که چرا شیئی که به حرکت درآورده شده است مثلاً باید در اینجا بایستد و نه در آنجا؛ به طوری که شیء یا ساکن

خواهد بود یا تا ابد حرکت خواهد کرد، مگر اینکه شیئی قوی‌تر در مسیر آن قرار بگیرد.<sup>(۵۵)</sup> چنان‌که می‌بینیم، ارسطو «خلأ» را با توسل به تجربیات روزمره ناممکن می‌داند؛ حال آنکه در فیزیک جدید، با فرض عدم مقاومت هوا، دست به استنتاج از مشاهدات می‌زنند. ارسطو، اگر خلأ را ممکن می‌دانست، نتیجه مورد قبول فیزیک نیوتنی را که «جسم یا ساکن است یا تا ابد به حرکت خود ادامه می‌دهد» نفی نمی‌کرد.

گالیله، هرچند به اثر مقاومت هوا در سقوط آزاد اجسام آگاه بود؛ ولی در عمل، راهی برای حذف آن نداشت. بویل<sup>(۵۶)</sup> در طی سال‌های ۱۶۵۷-۱۶۵۹، دست به طراحی و ساخت یک پمپ هوا زد. او با این دستگاه، آزمایش‌هایی را برای بررسی ویژگی‌های هوا و خلأ انجام داد. نیوتن، به دنبال آشنایی با پمپ خلأ (و امکان کاهش مقاومت هوا)، تصوّر حذف هوا و آزمایش فکری حرکت در خلأ را در ذهن خود یافت. وی در حاشیه کتاب اصول ریاضی فلسفه طبیعی، پس از اشاره به مقاومت هوا در بحث حرکت، امکان حذف مقاومت هوا را مطرح کرده؛ شبیه به آنچه در ماشین خلأ بویل انجام شده است.<sup>(۵۷)</sup>

امروزه، در فیزیک عملی، «خلأ» مفهوم نسبی به شمار می‌رود (نه مطلق)؛ همچنین، فیزیکدانان دست‌یابی به خلأ کامل را امکان‌پذیر نمی‌دانند.<sup>(۵۸)</sup> ضمن اینکه در مباحث حرکت - در فیزیک کلاسیک - در حالت ساده، از آثار هوا صرف‌نظر، و در حالت‌های واقعی، با روابط تجربی - مهندسی، اثر هوا را لحاظ می‌کنند.

زمان: ارسطو معتقد است که ما فقط وقتی زمان را درمی‌یابیم که به حرکت (با نشان‌گذاری قبل و بعد) توجه کرده باشیم؛ همچنین، فقط وقتی که قبل و بعد را در حرکت درمی‌یابیم، می‌گوییم: «زمان سپری شده است». بر این اساس، وی زمان را به «مقدار حرکت بر حسب جلو و عقب»<sup>(۵۹)</sup> تعریف می‌کند؛<sup>(۶۰)</sup> اما، در جای دیگری، آن را مقدار هر نوع حرکت (پیوسته) می‌داند، از آن حیث که مطلقاً حرکت است (و نه نوع خاصی از حرکت).<sup>(۶۱)</sup>

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۱۸۷

بیان ابن‌سینا درباره ماهیت زمان (برحسب ویژگی تقدّم و تأخّر در حرکت)، نظر ارسطو را تبیین می‌کند. ابن‌سینا خاطر نشان می‌کند که در مورد مسافت، آنچه متقدّم است با متأخّر جمع می‌شود (اجتماع در وجود می‌یابد)؛ همچنین، امکان دارد که آنچه متقدّم است متأخّر قرار گیرد (با تغییر جهت حرکت). اما، این امور در خصوص حرکت ممکن نیست. پس، تقدّم و تأخّر در حرکت ویژگی‌ای دارد که ارتباطی با مسافت ندارد و به دلیل همین تقدّم و تأخّر است که حرکت قابل مقدار می‌گردد. نتیجه نهایی آن است که زمان، مقدار حرکت است؛ از آن جهت که منقسم به متقدّم و متأخّر می‌شود (البته به لحاظ مسافت نه زمان).<sup>(۶۲)</sup>

در ضمن، «آن»<sup>(۶۳)</sup> عبارت است از: «کران یا حدّ زمان». در واقع، آنچه با «آن» کراندار شده است، زمان در نظر گرفته می‌شود.<sup>(۶۴)</sup> ارسطو با توجه به اینکه هیچ چیز - به جز نفس - شایستگی شمردن را ندارد، معتقد است که اگر نفس وجود نداشت، زمان به وجود نمی‌آمد؛ مگر آنچه زمان صفت آن است، یعنی در صورتی که حرکت بتواند بدون نفس وجود داشته باشد و قبل و بعد صفات حرکت باشند، و اینها از آنجا که قابل شمارش هستند زمان باشند.<sup>(۶۵)</sup>

نیوتن معتقد است که زمان مطلق (واقعی و ریاضی)، بدون ارتباط با اشیای خارجی، به طور ثابت جریان دارد و نام دیگر آن «استمرار»<sup>(۶۶)</sup> است. زمان نسبی (ظاهری و عادی) مقداری محسوس و خارجی - خواه دقیق و خواه ناموزون - از مدّت با استفاده از حرکت است که عموماً به جای زمان واقعی به کار می‌رود؛ همچون یک ساعت، یک روز، و یک سال.

با توجه به ابهام موجود در مفهوم واژه «خارجی»، در عبارت یادشده از نیوتن («بدون ارتباط با اشیای خارجی»)، مفهوم زمان مطلق نیوتنی به روشنی معلوم نیست. آیا اگر هیچ حرکتی در عالم خارج از ذهن وجود نداشت، زمان مطلق تصوّر می‌شد؟ اگر زمان

ارسطویی را مقدار حرکت بدانیم، به نظر می‌رسد که مفهومی معادل یا نزدیک به زمان نسبی یا غیرمطلق نیوتنی است؛ اما با لحاظ این نکته که ارسطو به مطلق حرکت نظر داشته، و هیچ‌گونه حرکت خاصی را در نظر نگرفته است، می‌توان گفت که مفهوم زمان، از نظر هر دو، استمراری مطلق است که به صورت ظاهری، با حرکات سنجیده می‌شود. در فیزیک غیرنسبیتی، زمان مطلق فرض می‌شود و به سیستم مختصات و سرعت آن بستگی ندارد.

**انواع حرکت:** ارسطو در کتاب فیزیک خود، پس از بیان مباحث مقدماتی، به انواع حرکات و تغییرات می‌پردازد. او معتقد است که حرکت در بین مقولات ده‌گانه، فقط می‌تواند در مقولات کیفیت، کمیت، و مکان وجود داشته باشد. به علاوه، حرکت حرکت<sup>(۶۷)</sup> نیز امر ممتنعی است.<sup>(۶۸)</sup>

اما، ابن‌سینا حرکت در مقوله وضع را نیز می‌پذیرد. یکی از ادله این فیلسوف بر ادعای یادشده آن است که ممکن است اجزای جسم از اجزای مکان مفارقت کنند، ولی کل جسم از مکان مفارقت نکند. در این صورت، حرکت مکانی واقع نشده؛ بلکه صرفاً حرکت وضعی انجام شده است. از نظر ابن‌سینا، فلک اقصی که فاقد مکان است حرکت مکانی ندارد، ولی قطعاً حرکت وضعی درباره آن صادق است.<sup>(۶۹)</sup>

احکام کلی حرکت در مورد انواع حرکت صادق‌اند؛ ولی از آنجا که تجربیات و مشاهدات ما اغلب از حرکت مکانی است، ارسطو غالباً به بیان مثال‌های مکانی حرکت می‌پردازد. به نظر می‌رسد که تفهیم موضوعاتی همچون قسمت‌پذیری متحرک، سرعت حرکت و نیز زمان حرکت جز از طریق حرکت مکانی (و مثال قریب به ذهن یک متحرک در مکان) به سادگی امکان‌پذیر نباشد. ضمن اینکه برخی از ادله و قوانین ارسطو در بحث حرکت (مثل ادله حرکت پرتابه‌ها و قوانین سقوط اجسام) به حرکت مکانی اختصاص دارند. از این رو، بخش عمده‌ای از مباحث حرکت ارسطویی درباره حرکت مکانی است.



## مقایسه قوانین حرکت مکانی در طبیعیات ارسطو و فیزیک نیوتنی

### قانون اول

ارسطو نخستین اصل را در حرکت بدین صورت بیان می‌کند: «هر متحرکی نیاز به محرکی جدا از خود دارد.»<sup>(۷۰)</sup> او معتقد است که شیء متحرک و مبدأ حرکت آن، همواره با هم هستند و بین آنها، هیچ واسطه‌ای نیست.<sup>(۷۱)</sup> برای تحلیل اصل حرکت از نظر ارسطو، لازم است که ابتدا برخی از طبقه‌بندی‌های وی از حرکت را مرور کنیم.

ارسطو معتقد است: حرکت اشیای متحرک یا از خود این اشیا ناشی می‌شود یا از شیئی دیگر؛ همچنین، حرکت اشیای متحرک یا طبیعی است یا غیرطبیعی و قسری<sup>(۷۲)</sup>. ارسطو توضیح می‌دهد که هرگاه مبدأ حرکت شیء در خود شیء باشد، می‌گوییم: «حرکت شیء طبیعی است.»<sup>(۷۳)</sup> اشیایی که حرکت آنها از خود آنها ناشی می‌شود دارای حرکت طبیعی هستند و ممکن نیست که ما این اشیا را دارای حرکت غیرطبیعی بدانیم؛ از این رو، به لحاظ منطقی، سه حالت ذیل را می‌توان برای حرکت هر شیء متحرک تصور کرد:

(۱) حرکت متحرک ناشی از خود آن، و حرکت طبیعی باشد.

(۲) حرکت متحرک ناشی از شیئی دیگر، و حرکت طبیعی باشد.

(۳) حرکت متحرک ناشی از شیئی دیگر، و حرکت غیرطبیعی باشد.

اما ارسطو قائل است که فقط اشیای زنده (حیوانات و گیاهان) توانایی دارند که خودشان را حرکت دهند، و این ویژگی حیات است؛<sup>(۷۴)</sup> بنابراین، حالت اول شامل اشیای غیرزنده نمی‌شود. تحقق حالت سوم نیز واضح است، زیرا اشیایی که دارای حرکت قسری و غیرطبیعی هستند، همواره، توسط شیئی غیر از خودشان حرکت داده می‌شوند. اما حالت دوم بحث‌برانگیز است.

در حالت دوم، حرکت متحرک ناشی از شیئی دیگر است؛ در حالی که حرکت آن طبیعی است و مبدأ حرکت در خود شیء می‌باشد. پس، در نتیجه فرض این حالت، آنچه

مبدأ حرکت شیء است محرک شیء نیست؛ چنان‌که ارسطو در ادامه تصریح می‌کند که شیء، خود را حرکت نمی‌دهد، بلکه در خود مبدأ حرکت دارد (البته، از مبدأ حرکت دادن شیئی یا علت واقع شدن برای حرکتی برخوردار نیست؛ بلکه مبدأ تحمل و قبول حرکت را دارد).<sup>(۷۵)</sup> بنابراین، ارسطو معتقد است که همه اشیا یی که در حرکت هستند باید توسط شیئی حرکت داده شوند. او اصل حرکت خود را چنین بیان می‌کند که در هر مورد، محرک باید از متحرک جدا باشد.<sup>(۷۶)</sup> بدین ترتیب، از این نظریه ارسطو که طبیعت یا قوه مبدأ حرکت شیء طبیعی است، تعبیری منسجم به دست می‌آید.<sup>(۷۷)</sup>

اصل ارسطو به صورت‌های مختلفی تفسیر شده است: اغلب فیلسوفان اسلامی معتقدند که هر متحرکی نیازمند محرکی غیر از خود است و در عین حال، محرک به نحوی با متحرک متحد می‌باشد؛ یعنی در متحرک حلول دارد و به صورت قوه‌ای در درون آن است. گفتنی است که این قوه، صورت نوعیه و طبیعت نامیده می‌شود. همچنین، با اینکه همه اجسام در جسم بودن با یکدیگر مشترک‌اند، اما در این قوه یا نیرو با یکدیگر متفاوت‌اند.<sup>(۷۸)</sup>

ابن‌سینا گرچه صورت را محرک ماده صاحب صورت می‌داند (که به جسمیت درآمده است)؛<sup>(۷۹)</sup> اما در مورد نحوه محرک بودن جسم، جدای از جسم متحرک، تبیینی دارد که در واقع، اعم از دیدگاه رایج در فلسفه اسلامی است. او معتقد است: اگر مبدأیی که در جسم است نتواند به تنهایی محرک واقع شود، بلکه با مشارکت محرکی که از متحرک جداست باعث حرکت شود، مبدأ حرکت نخواهد بود و این خلاف است. ابن‌سینا، سپس، چنین نتیجه‌گیری می‌کند: محرک بودن محرکی که از جسم جداست به این نحو نیست که مبدأ حرکت باشد؛ بلکه یا مبدأ حرکت (و یا قوه دیگری) به جسم می‌دهد تا به آن - در حرکت کردن - یاری رساند و بر قوه‌اش بیفزاید، یا به واسطه غایت و سرمشق بودن محرک است، یا اینکه مجموع دو امر اخیر.<sup>(۸۰)</sup>

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۱۹۱

به علاوه، ابن‌سینا در بحثی که با عنوان «طبیعی به قیاس امر خارج» مطرح کرده، قائل شده است که گاهی حرکت طبیعی است، نه به قیاس طبیعت مخصوص چیزی، بلکه به قیاس اموری از خارج. مثلاً «سوختن» برای گوگرد، هنگامی که به آتش برسد، طبیعی است؛ همچنین «مجدوب شدن» برای آهن، هرگاه که با مغناطیس مقارن شود، طبیعی است.<sup>(۸۱)</sup> در این نمونه‌ها، محرک خارجی ذاتش محسوس و تأثیرش نامحسوس است؛ یعنی نسبت محرک خارجی به آنچه از آن متأثر شده، که دلیل بر موجب شدن آن است، پدیدار نیست. ابن‌سینا در چنین مواردی، به صورت اصل موضوعی، مسلم می‌گیرد که حرکت آهن به سمت آهن‌ربا به سبب قوه‌ای است که در آهن وجود دارد و مبدأ حرکت و فعل آن می‌شود.<sup>(۸۲)</sup>

براساس این نظریه ابن‌سینا، می‌توان جذب مغناطیسی آهن را بدین صورت تبیین کرد: آهن قوه یا مبدأ متحمل نوعی از حرکت شدن را دارد که در نزدیکی آهن‌ربا فعلیت می‌یابد و اگر آهن‌ربا نبود، آهن چنین حرکتی را نداشت؛<sup>(۸۳)</sup> از این‌رو، محرک جدای از متحرک است. در این مورد، محرک صورت جسم نیست؛ بلکه آهن‌ربا به یکی از نحوه‌های پیش‌گفته ابن‌سیناست (مثلاً، به تعبیر وی، آهن‌ربا به واسطه افزایش قوه - و نیز غایت بودن - محرک است، ولی مبدأ حرکت نیست؛ بلکه مبدأ متحمل حرکت شدن در خود آهن است).

قانون اول حرکت نیوتن به این صورت بیان می‌شود که هر جسمی به حالت سکون یا حرکت یکنواخت خود، در خط مستقیم، ادامه می‌دهد؛ مگر اینکه توسط نیروهای اعمال شده بر آن، مجبور به تغییر حالت شود.<sup>(۸۴)</sup> میزان مقاومت جسم، در مقابل تغییر حالت فعلی، «ماند» یا «اینرسی»<sup>(۸۵)</sup> جسم نامیده می‌شود.

فیلسوفان غربی معتقدند که از نظر ارسطو، هر متحرک به محرکی خارج از خود (و قهراً مغایر با خود) نیازمند است. آنان منظور ارسطو از این محرک را نیرویی می‌دانند که

از خارج از جسم به آن وارد می‌شود؛ از این‌رو، اصل ارسطو در تقابل با قانون «ماند» در فیزیک جدید قرار می‌گیرد. اما اگر مطابق تفسیر رایج در فلسفه اسلامی، بپذیریم که اصل حرکت ارسطو و قانون نیوتن، ناظر به مفهوم مشترکی نیستند، تضاد ظاهری بین آن دو از میان برداشته می‌شود.<sup>(۸۶)</sup>

به نظر می‌رسد که مقصود ارسطو از «محرک جدا از متحرک» جسم خارج از متحرک است (و نه صورت نوعیه)؛ چراکه گفته شد که ارسطو آشکارا تعبیر مبدأ یا علت حرکت واقع شدن را برای طبیعت یا صورت، نفی می‌کند و آن را به معنای مبدأ تحمّل حرکت می‌گیرد، و اصولاً از همین تعبیر - که شیء نمی‌تواند خود را حرکت دهد - به آن اصل رهنمون می‌شود که محرک باید غیر از متحرک باشد.

برخلاف فیزیک جدید، که قوانین حاکم بر جسم را مورد مطالعه قرار می‌دهد، ارسطو شناخت طبیعت به هر دو معنای ماده و صورت را جزء فیزیک می‌دانست؛ از این‌رو، پذیرش این قول که منظور ارسطو از «محرک جدا از متحرک» صورت جسم باشد ممکن می‌گردد. اما به نظر می‌رسد، این تعبیر با مشکل دیگری مواجه خواهد بود: با توجه به اینکه خود صورت نیز (بالعرض) حرکت می‌کند، و متحرک است، محرک این حرکت چیست؟ به عبارتی، متحرک باید مغایر با مجموع ماده و صورت آن باشد و نه فقط مغایر با ماده.

### قانون دوم

ارسطو معتقد است که قواعد تناسب در حرکت مشاهده می‌شود و نسبت بین نیروی محرک و وزن در یک مورد، متناسب با این نسبت در مورد دیگر است؛ به طوری که هر نیرو باعث می‌شود که مسافتی یکسان در زمانی یکسان طی شود. اگر نیروی A جسمی به وزن B را به اندازه مسافت G در مدت زمان D حرکت داده باشد، همان نیرو - در همان

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۱۹۳

مدت زمان - وزن B 1/2 را دو برابر مسافت G، و در مدت زمان D 1/2، وزن B 1/2 را به اندازه کل مسافت G حرکت خواهد داد. به همین ترتیب، اگر نیروی محرک A وزن معین B را به اندازه مسافت معین و در مدت زمان معینی حرکت دهد، و نصف مسافت را در نصف مدت زمان بپیماید، نصف نیروی محرک E=1/2 A نصف وزن B Z=1/2 را به اندازه همان مسافت و در همان مدت زمان حرکت خواهد داد.<sup>(۸۷)</sup> صورت بندی ریاضی قانون تناسب در حرکت ارسطو به شکل زیر قابل ارائه است:

$$\frac{A}{B} = \frac{D}{G} \approx \frac{A}{\frac{1}{2}B} = \frac{2G}{D} \approx \frac{A}{\frac{1}{2}B} = \frac{G}{\frac{1}{2}D}$$

$$\frac{A}{B} = \frac{D}{G} \approx \frac{A}{B} = \frac{\frac{1}{2}G}{\frac{1}{2}D} \approx \frac{\frac{1}{2}A}{\frac{1}{2}B} = \frac{G}{D}$$

اگر پارامترهای فرمول بالا را با تسامح، توسط نمادهای فیزیک جدید به نمایش

بگذاریم (نیروی F، وزن mg، فاصله d، و زمان t)، آن گاه می توانیم بگوییم:

$$\frac{F}{mg} = \frac{d}{t} \rightarrow F = mg \frac{d}{t} \rightarrow = mg.v$$

در فرمول اخیر، v سرعت جسم است.<sup>(۸۸)</sup> ملاحظه می شود که اگر نیروی محرک صفر باشد، سرعت صفر خواهد بود و جسم حرکتی نخواهد داشت؛ در حالی که طبق قانون دوم نیوتن، تغییر حرکت متناسب با نیروی محرک اعمال شده، و در جهت خط مستقیمی است که نیرو اعمال شده است.<sup>(۸۹)</sup> قانون دوم نیوتن در کتاب خود وی، به صورت ریاضی بیان نشده است، ولی در فیزیک جدید به این شکل بیان می شود:<sup>(۹۰)</sup>

$$\vec{F} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} \rightarrow F = m \cdot \vec{a}$$

در این فرمول،  $\vec{a}$  شتاب<sup>(۹۱)</sup> جسم یا میزان تغییر سرعت در واحد زمان است. اگر نیروی اعمال شده صفر باشد، شتاب جسم (و نه سرعت آن) صفر خواهد بود؛ یعنی جسم تغییر سرعت نخواهد داشت. بنابراین، اگر سرعت جسم صفر باشد (جسم ساکن)، جسم به سکون

خود ادامه می‌دهد و اگر سرعت آن صفر نباشد، با همان سرعت به حرکت خود ادامه می‌دهد. ارسطو به دنبال بحث از تناسب نیروها، قاعده‌ای را مطرح می‌کند؛ بدین ترتیب که اگر نیروی  $E$  و زنه  $Z$  را به اندازه مسافت  $G$  و در مدت زمان  $D$  حرکت دهد، لزوماً استنباط نمی‌شود که  $E$  می‌تواند دو برابر  $Z$  را به اندازه نصف مسافت  $G$  در همان مدت زمان حرکت دهد. در واقع، ممکن است که هرگز باعث هیچ حرکتی نشود.<sup>(۹۲)</sup> البته در فیزیک جدید، وقتی نیروی اصطکاکِ سطحی که جسم روی آن قرار گرفته است لحاظ می‌شود، بیان ارسطو پذیرفتنی است؛ چراکه نیروی اصطکاک برخلاف جهت حرکت و نیروی

محرک عمل می‌نماید، و مقدار آن نیز متناسب با وزن جسم است:  $f = \mu \cdot mg$

در این فرمول،  $f$  نیروی اصطکاک و  $\mu$  ضریب اصطکاک مربوط به جنس سطوح در تماس است؛ همچنین،  $mg$  وزن جسم است. پس، اگر وزن جسم دو برابر شود، نیروی محرک قبلی نمی‌تواند آن را حرکت دهد و نیرو باید دو برابر شود. در واقع، می‌توان گفت که آنچه ارسطو در مورد آن بحث می‌کرده نیروی محرک برای غلبه بر اصطکاک بوده است؛ حال آنکه در قانون نیوتن، نیروی اصطکاک به عنوان یکی از نیروهای خارجی اعمال شده بر جسم در  $F$  لحاظ می‌شود. از طرفی، نیروی وزن در راستای حرکت نیست تا بر آن غلبه کنیم، و تأثیر آن فقط در اصطکاک لحاظ می‌شود.

ابن‌سینا محدودیت‌هایی را برای قانون تناسب ارسطویی ذکر می‌کند: حرکت متحرک‌های طبیعی، هرچه پیش می‌روند، تندتر می‌شود و این حرکت - در دو نیمه مسافت - متفاوت است (آنچه پرتاب شده در آخرش کندتر است)، و لازم نیست تا مسافت‌هایی که در دو نیمه زمان پرتاب پیموده شده‌اند مساوی باشند؛ خواه قسری و خواه طبیعی.<sup>(۹۳)</sup> قول ابن‌سینا به واقعیتی که مورد تأیید فیزیک نیوتنی است اشاره می‌کند: مسافت‌های طی شده در برش‌های مختلف از حرکت پرتابه (و هر حرکت شتابدار) با هم متفاوت هستند. این قول، از این لحاظ، قول درستی است. همچنین، اینکه

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۱۹۵

حرکت سقوط آزاد یک سنگ (که حرکت طبیعی متحرک است) رفته رفته تندتر می‌شود صحیح است؛ ولی چنین نیست که حرکت پرتابه در انتها کندتر باشد.

**مقاومت سیال:** ارسطو معتقد است که سرعت دو وزنه سبک و سنگین در محیط‌های هوا و آب به دو علت می‌تواند متفاوت باشد: یا به علت تفاوت در محیطی که در آن حرکت می‌کنند (چنان‌که آب و هوا متفاوت اند)؛ یا به علت اینکه چیزهای دیگر یکسان‌اند، ولی دو جسم متحرک به علت زیادت سبکی یا سنگینی با هم تفاوت دارند. محیط واسطه به علت اینکه راه شیء متحرک را می‌بندد (به ویژه وقتی که خود واسطه برخلاف جهت در حال حرکت باشد)، باعث تفاوت می‌شود.

اگر  $A$  محیطی با غلظت  $B$  را در مدت زمان  $G$ ، و محیطی با غلظت  $D$  را در مدت زمان  $E$  طی کند (و فرض کنیم که طول دو محیط برابر است)، زمان حرکت، متناسب با تراکم جسم مانع شونده است:  $\frac{B}{D} = \frac{G}{E}$

مثلاً اگر هوا دو برابر رقیق‌تر از آب باشد، جسم مورد نظر خواهد توانست آب را - که تراکم آن دو برابر است - در دو برابر زمان هوا طی کند. یکی از دلایلی که ارسطو در اثبات عدم امکان خلأ ذکر می‌کند بر اساس همین بحث نسبت مقاومت سیال‌هاست: اگر خلأ وجود داشته باشد، هر مدت زمان (غیرصفر) که برای عبور جسم از خلأ فرض کنیم برابر با مدت زمان عبور جسم از محیطی با غلظت متناسب با آن زمان خواهد بود؛ در نتیجه، جسم این محیط را اعم از اینکه ملأ یا خلأ باشد در مدت زمانی برابر طی خواهد نمود، حال آنکه چنین امری محال است (پس، فرض خلأ باطل است).<sup>(۹۴)</sup>

همچنین، امروزه، در علم حرکت سیالات<sup>(۹۵)</sup> - علاوه بر سرعت سیال - پارامتر «ضریب روان بودن»<sup>(۹۶)</sup> سیال نیز حائز اهمیت است و سرعت جسم متحرک، در سیال، با مقدار این ضریب نسبت عکس دارد. اگر در فرمول تناسب نیروهای ارسطو، به جای وزن  $mg$ ، مقاومت را به صورت کلی لحاظ نماییم، آنگاه خواهیم داشت:

$$Force = (Resistance) \times (Rapidity)$$

برطبق این رابطه، نسبت نیروی محرک به مقاومت در یک محیط به محیط دیگر، برابر با نسبت سرعت‌های شیء در آن دو محیط است. ابن‌باجه نظریه‌ای تازه را مطرح ساخته و گفته که علت حرکت، همانا، زیادت نیرو بر مقاومت است:

$$Force - Resistance = Rapidity$$

بر اساس این رابطه، فرض حرکت یک متحرک با سرعتی معین (نه بی‌نهایت)، در محیطی با مقاومت صفر، امکان‌پذیر است. از آنجا که نظریه ابن‌باجه منجر به پذیرش حرکت در خلأ می‌شد، و این مسئله با سنت ارسطویی در تضاد بود، دانشمندانی از جمله ابن‌رشد به مخالفت با این نظریه برخاستند.<sup>(۹۷)</sup> گالیله، در گفت‌وگوهای پیرامونی، نظر ابن‌باجه را در مقابل ارسطو می‌پذیرد.<sup>(۹۸)</sup>

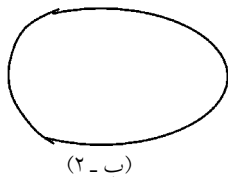
همچنین، به باور ابن‌سینا، اختلاف تندی و کندی یا به سبب اختلاف محیط واسطه، یا به سبب اختلاف امری در متحرک است؛ اما وی آنچه را به متحرک مربوط است محدود به سنگینی و سبکی (یا به تعبیر خود وی «اختلاف قوه میل») نمی‌داند، بلکه اختلاف شکل را نیز مؤثر می‌داند. برای مثال، اگر متحرک مربع باشد و مسافت را به سطح خود طی کند فرق دارد با آنکه مخروط باشد و از نوک به حرکت بپردازد، یا مربع باشد و به زاویه حرکت کند؛ چراکه محتاج است به اینکه مقدار زیادتری از جسمی را که با آن ملاقات می‌کند به حرکت درآورد، ولی جسم مخروط این حالت را ندارد. پس، در هر حال، آن که در دفع کردن، و شکافتن، توانایی بیشتری دارد قادر است که تندتر حرکت کند.<sup>(۹۹)</sup>

در حالی که ارسطو در کتاب فیزیک از اهمیت شکل متحرک غفلت کرده، ابن‌سینا به این امر توجه نموده است. البته، در علم حرکت سیالات امروزی، نکات فراوانی در خصوص اثر پارامترهای متحرک در نحوه حرکت آن در یک سیال مطرح می‌شود که بسیار پیچیده‌تر از آن چیزی است که ابن‌سینا به آن اشاره کرده است (از جمله اینکه، در

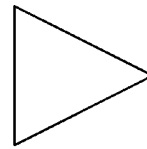


حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۱۹۷

حرکت، کلّ شکل متحرّک تعیین‌کننده است و نه فقط وجه رو به جلوی آن. برای مثال، مطابق بیان ابن‌سینا، متحرّک (الف - ۲) تندتر از متحرّک (ب - ۲) حرکت می‌کند، زیرا در دفع کردن و شکافتن تواناتر است؛ در حالی که براساس علم حرکت سیالات، می‌دانیم که خلأ یا فشار منفی نسبی که در پشت چنین جسمی ایجاد می‌شود، حرکت آن را کندتر می‌نماید و بیشترین سرعت از آن متحرّک دوکی شکل (ب - ۲) است.



(ب - ۲)



(الف - ۲)

**حرکت پرتابی:** در فیزیک ارسطو، تفاوت حرکت پرتابه‌ها با حرکت‌های دیگر در آن است که اشیایی که پرتاب می‌شوند، به رغم اینکه با آنچه به آنها انگیزه (تکان)<sup>(۱۰۰)</sup> داده است در تماس نیستند، به حرکت خویش ادامه می‌دهند که این امر نیازمند توجیه است. ارسطو در تبیین این مسئله می‌گوید: این حرکت یا به دلیل جایگزینی متقابل پرتابه و هواست (که برخی به آن باور دارند) یا به این علت است که هوای جلو برده شده، پرتابه را با حرکتی سریع‌تر از حرکت طبیعی‌اش - که با آن به سوی مکان مناسب<sup>(۱۰۱)</sup> حرکت می‌کند - جلو می‌برد.<sup>(۱۰۲)</sup> طبق این تبیین، در واقع، ارسطو خودِ هوای حرکت داده شده را محرّک پرتابه می‌داند.

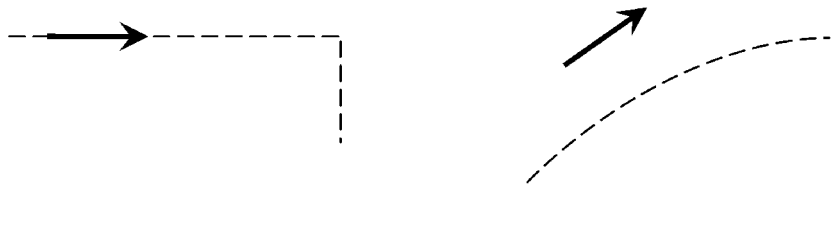
از نظر فیلوپونوس<sup>(۱۰۳)</sup> (یا همان «یحیای نحوی»)، استدلال ارسطو در حرکت پرتابه‌ها - به دلیل ناسازگاری با بحثی که خود ارسطو دربارهٔ مقاومت سیال دارد - پذیرفتنی نیست: ارسطو از طرفی محیط واسطه را مانع حرکت، و از طرف دیگر آن را محرّک حرکت پرتابه می‌داند. فیلوپونوس معتقد است که ادامهٔ حرکت پرتابه به دلیل خاصیتی است که وقتی شیء به حرکت درمی‌آید، در آن نهاده می‌شود. ابن‌سینا این نظر را چنین تقریر می‌کند: بعضی معتقدند که متحرّک از محرّک قوّه می‌گیرد و آن قوّه برای مدتی در متحرّک باقی می‌ماند تا اینکه تماس چیزها با آن و شکافتگی که باید در آنها به عمل آید سبب

اصطکاک شود و عاقبت آن قوه را باطل سازد؛ زمانی که آن قوه به این واسطه از میان رفت، میل طبیعی غلبه می‌کند و آنچه پرتاب شده بود به سوی میل طبیعی خود می‌رود.<sup>(۱۰۴)</sup> ابن‌سینا، هم تبیین ارسطو و هم تبیین فیلوپونوس را رد می‌کند. ابن‌سینا قائل است که متحرک از محرک قوه و میل می‌گیرد.<sup>(۱۰۵)</sup> تفاوت اساسی، میان نظریه ابن‌سینا و فیلوپونوس، در مفهوم «میل» است؛ این مفهوم، از نظر ابن‌سینا، نقش مهمی در علم حرکت دارد. ابن‌سینا معتقد است که هر حرکتی در حقیقت از میلی صادر می‌شود، و قوه محرکه به واسطه احداث میل است که حرکت‌دهنده است. آنچه «میل» نامیده می‌شود در یک «آن» به وجود می‌آید و اگر دفع یا فاسد نگردد، حرکتی که از آن ناشی می‌شود موجود خواهد شد.<sup>(۱۰۶)</sup>

اما، از نظر پدیدارشناسی، چگونه می‌توان درک و تجربه‌ای از مفهوم میل قسری داشت؟ بر اساس دیدگاه ابن‌سینا، هنگامی که کسی بخواهد متحرک طبیعی را به قسر، یا قسری را به قسر دیگر ساکن کند، در آن صورت، قوتی بر مدافعه حس می‌کند که همان «میل» است.<sup>(۱۰۷)</sup> همچنین، ابن‌سینا معتقد است که هرچه جسم سنگین‌تر باشد، قبول تحریک قسری در آن کندتر می‌گردد. از نظر وی، اینکه اجسام کوچک از جمله خردل، کاه، و تراشه چوب هنگام پرتاب شدن - مانند اجسام سنگین - در هوا نفوذ نمی‌کنند، به این علت نیست که اجسام سنگین پرتاب شدن را بهتر می‌پذیرند، بلکه در بعضی از موارد به سبب آن است که اجسام کوچک قوه محرکه را به اندازه کافی از پرتاب‌کننده نمی‌گیرند تا قادر به شکافتن هوا شوند؛ همچنین، در برخی موارد دیگر به علت این است که اجسام کوچک متخلخل هستند و نمی‌توانند هوا را بشکافند، بلکه هوا در این‌گونه اجسام نفوذ می‌کند و تداخل دست می‌دهد که این مسئله سبب زائل شدن قوه‌ای می‌گردد که اجسام یادشده گرفته‌اند. ابن‌سینا قائل است که اگر سبکی و سنگینی را به تنهایی در نظر بگیریم و اسباب دیگر را ملاحظه نکنیم، آن که مقدارش کمتر است تحریک قسری را بهتر می‌پذیرد و تندتر حرکت می‌کند.<sup>(۱۰۸)</sup>

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۱۹۹

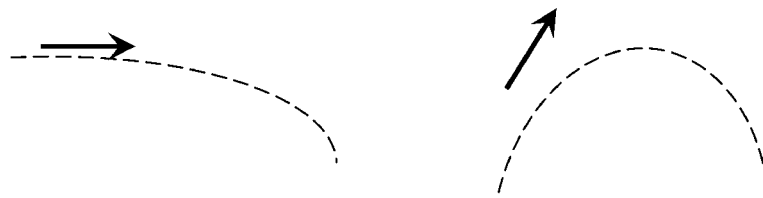
در مجموع، بر اساس فیزیک ارسطویی، لازم است که مسیر حرکت پیکانی که به صورت افقی و مایل پرتاب شده است، به ترتیب، مطابق شکل‌های (الف - ۳) و (ب - ۳) باشد. متحرک تا قبل از غلبه مقاومت هوا، به حرکت در مسیر خود ادامه می‌دهد؛ اما به محض رویارویی با نیروی مقاوم، از حرکت بازمی‌ایستد و مستقیماً سقوط می‌کند.



(ب - ۳)

(الف - ۳)

این در حالی است که بنابر فیزیک جدید، حرکت پرتابه با سرعتی اولیه صورت می‌گیرد؛ این حرکت، همچنین، حرکتی شتابدار تحت تأثیر نیروهای وزن و مقاومت هواست. در دیدگاه نیوتنی، جسم - آن‌گاه که پرتاب می‌شود - انرژی جنبشی‌ای را از پرتاب‌کننده دریافت می‌کند؛ به عبارتی، تکانه‌ای<sup>(۱۰۹)</sup> به جسم داده می‌شود که متناسب با سرعت اولیه و جرم جسم است. در طی حرکت پرتابه، بخشی از انرژی جسم صرف غلبه بر نیروی مقاومت هوا می‌شود؛ همچنین، متأثر از نیروی وزن، فاصله جسم از سطح زمین به مرور کاهش می‌یابد. بنابراین، مسیر حرکت پرتابه مطابق شکل‌های زیر خواهد بود:



(ب - ۴)

(الف - ۴)

از نظر برخی از تاریخ‌پژوهان عرصه علم، طرح مفاهیمی همچون «میل» (توسط

دانشمندان مسلمان) یا «نیروی جنبش»<sup>(۱۱۰)</sup> (توسط بوریدان)<sup>(۱۱۱)</sup> زمینه‌ساز شکل‌گیری قانون «اینرسی» در فیزیک نیوتنی بوده است.<sup>(۱۱۲)</sup> کوهن<sup>(۱۱۳)</sup> معتقد است که تغییر پارادایم ارسطویی دوره باستان به پارادایم قرون میانه، و تحلیل حرکت براساس نظریه «نیروی جنبش و تربیت» گالیله در پارادایم جدید، منجر به موفقیت گالیله شد.<sup>(۱۱۴)</sup>

در عین حال، باید توجه داشت که اولاً: عالمان سنت ارسطویی، در برخورد با مسئله پرتابه، دست به تبیینی می‌زدند که در فلسفه علم، با عنوان «تصحیح موردی»<sup>(۱۱۵)</sup> شناخته می‌شود و به هماهنگی و انسجام نظریه خدشه وارد می‌کند. البته، با توجه به جایگاه کلی مفهوم «میل» در علم حرکت از نظر ابن‌سینا، تبیین وی از حرکت پرتابی را نمی‌توان تصحیح موردی محسوب کرد؛ ولی نحوه استفاده از مفهوم «میل» دوگانه است، زیرا ابن‌سینا میل قسری را در پرتابه به نسبت عکس وزن جسم می‌گیرد، در حالی که همچون ارسطو - در میل طبیعی - قائل به نسبت مستقیم بین میل و وزن است. ثانیاً: تمایز میان مفهوم «میل» (یا نیروی جنبش) و «اینرسی»، در آن است که ارسطویان به دلیل اعتقاد به لزوم وجود نیرو یا قوه‌ای برای ادامه حرکت جسم، به طرح مفهوم «میل» روی آوردند؛ در حالی که اصولاً طرد این ذهنیت که حرکت مستلزم نیروست، موجب ارائه مفهوم جدید «اینرسی» شد. به عبارتی، این تغییر پارادایم، اساساً معنای آن دو مفهوم را نیز تغییر می‌دهد.

ناگفته نماند که در آثار ارسطو و ابن‌سینا، قانونی مشابه قانون سوم نیوتن - معروف به قانون عمل و عکس‌العمل - به چشم نمی‌خورد.

## نتیجه‌گیری

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۲۰۱

نگارش مقاله حاضر براساس پذیرش اصل «قیاس‌پذیری طبیعیات ارسطویی و فیزیک نیوتنی» صورت گرفته است. گرچه این دو نوع طبیعت‌شناسی، در مبانی، روش استدلال و نظریه‌پردازی، و تعریف مفاهیم، با یکدیگر تفاوت دارند؛ ولی از آنجا که در بحث حرکت جسم طبیعی، به موضوع واحدی نظر دارند و هدف هر دو نیز شناخت احکام و قوانین حرکت جسم است، قابل مقایسه هستند.

براساس آنچه گذشت، ناکامی فیزیک ارسطویی در شناخت درست حرکت مکانی - و قوانین آن - محصول چند عامل بوده است. به نظر می‌رسد که دسته‌بندی ارسطو از اشیای عالم، و تقسیم این اشیا به دو دسته طبیعی و غیرطبیعی، اصولاً یک نظام منسجم شناخت حرکت مکانی را از پیش منتفی می‌سازد. همچنین، بررسی محتوای قوانین ارسطو در زمینه حرکت، نشان می‌دهد که پاشنه آشیل ارسطویان، در بحث حرکت مکانی، تکیه آنان بر مفهوم مبدأ طبیعی حرکت است. این فرض، علاوه بر اینکه مانع تحوّل نظریه فیزیک ارسطویی می‌شود، منجر به این اصل می‌گردد که هر متحرک، به همراهی یک محرک نیاز دارد. گفتنی است که عدم توسل به آزمایش‌های طراحی شده (و فرض‌های ساده‌ساز) و بخصوص آزمایش‌های فکری - که نقش بسیار مهمی در پیشرفت علم جدید داشته‌اند - موجب شکل‌گیری نتایجی نادرست شده است؛ مثلاً ارسطو براساس استدلال نظری «خلاً» را غیرممکن دانست و این قضیه را که «جسم یا ساکن است یا تا ابد به حرکت خود ادامه خواهد داد» از پیش طرد کرد، در حالی که گالیله و نیوتن گرچه به خلاً دسترسی نداشتند، با فرض عدم مقاومت هوا به استنتاج از مشاهدات دست زدند. اصرار بر اصول ارسطو قرن‌ها ادامه یافت و برخی از پیش‌فرض‌های نادرست آن، مانع به ثمر رسیدن نظریه‌های ابداعی شد؛ چنان‌که فرض «عدم امکان خلاً» موجب عدم استقبال از نظریه حرکت ابن‌باجه گردید و فرض «نیازمندی هر متحرک به همراهی یک محرک» تبیین درست از حرکت پرتابی را به تأخیر انداخت. البته، تغییر نحوه نگرش

حاکم بر علم، فرایند ساده‌ای نیست؛ چنان‌که نظریه نیوتن حدود دویست سال حکومت کرد و نظریه «نسبیت» انیشتین، که اغلب کمیات نیوتنی را وابسته به ناظر معرفی نمود، بسیار متهورانه بود.

در این مقاله، نشان داده شد که برخی از تبیین‌های فیزیک ارسطویی، در بحث حرکت، تصحیح موردی هستند و با کل آن نظام ناسازگاری دارند؛ مثلاً استدلال ارسطو در حرکت پرتابه‌ها با بحثی که وی در مورد مقاومت سیال داشت ناسازگار است. همچنین، برخی از تبیین‌ها مبتنی بر مفهومی غیردقیق یا دوپهلوی هستند؛ مثلاً نحوه استفاده ابن‌سینا از مفهوم «میل» دوگانه است، زیرا بیان شد که وی میل قسری را در پرتابه به نسبت عکس وزن جسم می‌گیرد، در حالی که همچون ارسطو در میل طبیعی قائل به نسبت مستقیم بین میل و وزن است.

دیدیم که بعضی از بخش‌های طبیعیات قدیم، در باب حرکت مکانی، با قوانین نیوتنی حرکت سازگاری دارد؛ از جمله: کلیات نظر ارسطو در مورد مقاومت سیال، نظر ابن‌سینا در مورد محدودیت‌های قانون تناسب حرکات ارسطویی، و اشاره ابن‌سینا به حرکتی که امروزه حرکت «شتابدار» نامیده می‌شود<sup>(۱۱۶)</sup> و نیز توجه کلی وی به تأثیر شکل متحرک در حرکت متحرک در یک سیال. با این حال، هریک از این موارد به منزله بخش‌هایی از دو نظام نظری کاملاً متفاوت قلمداد می‌شوند و مبتنی بر دو نحوه استدلال و استنتاج مغایر با یکدیگر هستند. قوانین نیوتن در زمینه حرکت، با تغییر اساسی سنت ارسطویی، به نتیجه رسید و قضایا و روابط ظاهراً مشابه هریک از دو سنت ارسطویی و نیوتنی، به سختی، در دیگری قابل اندراج است؛ مثلاً تمایز میان مفهوم «میل» (یا نیروی جنبش) و «اینرسی»، در آن است که ارسطویان به دلیل اعتقاد به لزوم وجود نیرو یا قوه‌ای برای ادامه حرکت جسم، به طرح مفهوم «میل» روی آوردند؛ در حالی که اصولاً طرد این ذهنیت که حرکت مستلزم نیروست، موجب ارائه مفهوم جدید «اینرسی» شد.

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۲۰۳

عبارت «مبدأ حرکت»، در بحث ارسطو در زمینه حرکت و همین‌طور در فلسفه اسلامی، از جایگاه مهمی برخوردار است؛ از این‌رو، تفسیر آن یکی از اهداف این مقاله بود. بیان شد که حرکت متحرک می‌تواند ناشی از شیئی دیگر باشد، در حالی که حرکت آن طبیعی است؛ یعنی مبدأ حرکت در خود شیء است. همچنین، تشریح شد که آنچه مبدأ حرکت شیء است محرک شیء نیست. نظر ارسطو این است که شیء، خود را حرکت نمی‌دهد؛ بلکه در خود مبدأ حرکت دارد. این مبدأ، نه مبدأ حرکت دادن شیئی یا علت حرکت واقع شدن، بلکه مبدأ تحمّل حرکت است.

به نظر می‌رسد، با توجه به اینکه شکل‌گیری همه مکاتب بزرگ فلسفه اسلامی به دوران پیش از ظهور علم جدید بازمی‌گردد، بررسی تأثیر علم جدید در شاکله فلسفه اسلامی ممکن نیست؛ از این‌رو، تنها می‌توان نظریات فیلسوفان متأخر را به صورت موردی، در برخی موضوعات، به بررسی گذاشت.<sup>(۱۱۷)</sup> بررسی بخش‌های تأثیرگذار و نحوه یا میزان تأثیر آنها نیاز به تحقیق جداگانه‌ای دارد، اما اجمالاً می‌توان ادعا کرد که فیزیک جدید باعث تحوّل چشمگیری در بحث حرکت مکانی در فلسفه اسلامی نشده و جایگاه کلی بحث حرکت مکانی ارسطو و نتایج حاصل از آن محفوظ مانده است.

پی‌نوشت‌ها .....

1. Archimedes.
2. Heron.
3. Walter Roy Laird & Sophie Roux (eds), *Mechanics and Natural Philosophy before the Scientific Revolution*, pp. 3-4.
- ۴- سیدحسین نصر، *نظر متفکران اسلامی درباره طبیعت*، ص ۲۵۱ و ۲۵۶.  
۵- در این مقاله، اصطلاح «فیزیک جدید» به فیزیک نیوتنی اشاره دارد و در مقابل فیزیک ارسطویی به کار می‌رود.
6. *Mathematical Principle of Natural Philosophy*.
7. By nature.
8. Innate impulse.
9. Aristotle, *Physics*, Translated by R.P Hardie and R.K. Gaye, 2.1.  
گفتنی است که در این ارجاع و ارجاعات بعدی به فیزیک ارسطو، از میان دو عدد ذکر شده، اولی بیانگر شماره کتاب و دومی بیانگر شماره بخش مورد نظر است.
10. Ibid, 2.2.
11. Ibid, 2.7.
12. Syllogism.
- ۱۳- ابن‌سینا، *فن سماع طبیعی از طبیعیات شفا*، ص ۳۴ و ۳۵.  
۱۴- همان، ص ۴۲.
- ۱۵- سیدحسین نصر، *نظر متفکران اسلامی درباره طبیعت*، ص ۳۶۰-۳۶۱.
16. W. R. Laird & S. Roux (eds), *Mechanics and Natural Philosophy*, p. 218.
17. Pierre Maurice Marie Duhem.
18. T. Horowitz & G. J. Massey (eds.), *Thought Experiments in Science and Philosophy*, p. 43.
19. W. R. Laird & S. Roux (eds), *Mechanics and Natural Philosophy*, p. 10.
20. *Pisan Dialogue*.
- ۲۱- سیدحسین نصر، «دستاورد های ابن‌سینا در حوزه علم و خدمات او به فلسفه آن»، ترجمه فاطمه سوادی، *تاریخ علم*، ش ۵، ص ۱۱.
22. Isaac Newton, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, p. 160.
23. Uniformity of nature.



حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۲۰۵

24. Aristotle, *Physics*, 3.1.

25. Ibid.

26. Ibid, 3.3.

27. Locomotion.

28. Ibid, 4.1.

29. Ibid, 3.4.

30. "It is such that we can always take a part outside what has been already taken".

31. Aristotle, *Physics*, 3.6 & 3.7.

۳۲- ابن سینا، فنّ سماع طبیعی از طبیعیات شفا، ص ۳۱۰.

33. Potential infinity.

34. Roy Lisker, *Barrier Theory, Finitism & Intuitionism in Physics*, p. 2.

35. Calculus of infinitesimals.

36. Aristotle, *Physics*, 4.4.

37. Ibid, 4.1.

38. Elementary natural bodies.

39. Ibid.

40. The innermost motionless boundary of what contains.

41. Aristotle, *Physics*, 4.4.

42. Ibid, 4.5.

43. Ibid, 4.2.

۴۴- ابن سینا، فنّ سماع طبیعی از طبیعیات شفا، ص ۱۱۳.

۴۵- همان، ص ۱۱۴-۱۲۳.

۴۶- همان، ص ۱۳۷. عبارت ابن سینا چنین است: «هو السطح الّذی هو نهاية الجسم الحاوی.» بر این اساس، مکان جسم «الف» عبارت است از: سطح خارجی جسم «ب»، که در حال ملاقات با «الف»، بر آن (یعنی الف) احاطه دارد.

۴۷- همان، ص ۱۳۷ و ۱۳۸.

48. Sensible Objects.

49. Similar and immovable.

50. equal solids.

۲۰۶ □ معرفت‌فلسفی سال ششم، شماره سوم، بهار ۱۳۸۸

51. Isaac Newton, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, p. Scholium III.

۵۲- در نسبیت، مفاهیم «فضا» و «زمان» تغییر می‌کنند و مفهوم یکپارچه‌ای با عنوان «فضا-زمان» مطرح می‌گردد.

53. Aristotle, *Physics*, 4.9.

۵۴- ابن سینا، فنّ سماع طبیعی از طبیعیات، ص ۱۳۴-۱۳۶.

55. Aristotle, *Physics*, 4.8.

ناگفته نماند که یکی دیگر از دلایل ارسطو، در بخش «مقاومت سیال» بیان خواهد شد.

56. Robert Boyle.

57. Isaac Newton, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, p. General Scholium.

۵۸- در نظریه میدان کوانتمی، حالت پایه را حالت خلأ می‌نامند؛ به طوری که فرض می‌شود این حالت شامل ذره فیزیکی نیست و انرژی آن صفر است. البته، خلأ کوانتمی به معنای فضای مطلقاً خالی نیست، بلکه ذرات و امواج در آن به وجود می‌آیند و از بین می‌روند. همچنین، فضای خالی از شیء - طبق نظریه «نسبیت» انیشتین - معنای خود را از دست می‌دهد؛ زیرا اصولاً چنین نیست که اشیای فیزیکی «در فضا» باشند، بلکه اشیا «به صورت فضایی» گسترش می‌یابند. (ر.ک:

Albert Einstein, *Relativity and the Problem of Space*.)

59. "Number of movement in respect of the before and after".

60. Aristotle, *Physics*, 4.11.

61. Ibid, 4.14.

۶۲- ابن سینا این قید را افزوده است تا تعریف وی از «زمان» تعریفی دوری نگردد؛ چراکه اگر تقدّم و تأخّر حرکت برحسب زمان لحاظ شود، مفهوم زمان در تعریف آن اخذ خواهد شد (ابن سینا، فنّ سماع طبیعی از طبیعیات شفا، ص ۲۰۱).

63. Now.

64. Aristotle, *Physics*, 4.11.

65. Ibid, 4.14.

66. Duration.

67. Motion of motion.

68. Aristotle, *Physics*, 5.2.

۶۹- ابن سینا، فنّ سماع طبیعی از طبیعیات شفا، ص ۱۳۰.

70. Aristotle, *Physics*, 8.4.

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۲۰۷

71. Ibid, 7.2.

72. Violent.

73. Ibid, 8.4.

74. Ibid.

75. "The source of motion - not of moving something or of causing motion, but of suffering it" (Ibid).

76. Ibid.

۷۷- به اعتقاد ارسطو، اگر اشیای غیرزنده می‌توانستند خویش را حرکت دهند، باید می‌توانستند حرکت خویش را نیز متوقف یا در جهت خلاف حرکت خویش حرکت کنند؛ مثلاً آتش باید می‌توانست خود را به سمت پایین حرکت دهد! دلیل رفتن سبک و سنگین به موقعیت‌های مناسبشان این است که آنها گرایش طبیعی به سمت مکانی معین دارند و اساساً ماهیت سبکی و سنگینی همین است؛ سبکی باگرایش به بالا معین می‌شود و سنگینی باگرایش به پایین. فعلیت سبکی، در شیء سبک، بودن در بالاست؛ از این‌رو، اگر شیء سبک در موقعیت پایین باشد، معلوم است چیزی مانع آن شده است. وقتی که آتش یا خاک توسط چیزی حرکت داده می‌شود، اگر این حرکت در خلاف جهتی باشد که طبیعت آن اقتضا دارد، حرکت قسری است؛ اما اگر حرکت آتش یا خاک به واسطه چیزی باشد که آن را سبک یا سنگین کرده است یا توسط چیزی باشد که مانعی را برطرف کرده است، در هر دو حال، قوه شیء فعلیتی مناسب طبیعتش پیدا می‌کند و حرکت طبیعی شمرده می‌شود (Ibid).

۷۸- مرتضی مطهری، *حرکت و زمان در فلسفه اسلامی*، ج ۱، ص ۱۲۲ و ۱۸۱.

۷۹- ابن سینا معتقد است که صورت، جسم را که کل است حرکت می‌دهد و حرکت صورت هم بالعرض است (ر.ک: ابن سینا، *فن سماع طبیعی از طبیعیات شفا*، ص ۴۱۶ و ۴۱۷).

۸۰- همان.

۸۱- همان، ص ۳۸۰ و ۳۸۱.

۸۲- همان، ص ۳۰.

۸۳- اگر ابن سینا می‌توانست جسمی مثل خاک را بدون زمین - چنان‌که آهن را بدون آهن‌ربا - تصور کند، می‌بایست معتقد می‌شد که خاک، قوه‌ای دارد که در نزدیکی زمین فعلیت می‌یابد و اگر زمین نبود، خاک چنین حرکتی نداشت. طبیعت سنگینی خاک، به علت قرارگیری در مجاورت زمین است که فعلیت می‌یابد. بدین ترتیب، نظریه وی می‌توانست به نتایج قابل قبولی در باب ثقل منتهی شود.

84. Isaac Newton, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, p. Axioms or Laws of Motion, Law I.

85. Inertia.

۸۶- شهید مطهری معتقد به چنین رأیی است. وی نظر قدما به ویژه ابن سینا را با قانون حرکت گالیله و نیوتن مقایسه می‌کند و نظر ابن سینا را با قانون «اینرسی» قابل جمع می‌داند. مباحث مزبور در بخش‌های ذیل از آثار وی آمده است: پاورقی مقاله «ضرورت و امکان»، در: *اصول فلسفه و روش رئالیسم*، غرر دوم (بحث از غایت) از فریده هفتم، در: *شرح منظومه*، و نیز در بحث سؤال اول فلسفی ابوریحان از بوعلی در مقالات فلسفی.

87. Aristotle, *Physics*. 7.5.

۸۸- همان‌طور که در متن مقاله گفته شد، این جایگزینی‌ها با تسامح صورت می‌گیرد. پیشنهاد شده است که به جای واژه‌های Velocity یا Speed، از کلمه Rapidity استفاده شود که به کلمه یونانی نزدیک‌تر است و در معنای امروزی آن، بیشتر کیفی است تا کمی. (ر.ک):

W. R. Laird & S. Roux (eds.), *Mechanics and Natural Philosophy*.

89. Isaac Newton, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, p. Axioms or Laws of Motion, Law II.

۹۰- در فیزیک جدید، گرچه ادامه حرکت نیاز به نیرو ندارد؛ ولی آغاز حرکت جسم، که تغییر سرعت از صفر (سکون) به سرعتی غیرصفر است، مستلزم نیرویی است که زمان اثر آن بسیار کوتاه است و «ضربه» نامیده می‌شود.  
۹۱- در فیزیک، کمیت‌هایی همچون سرعت و شتاب را «کمیت‌های برداری» می‌نامند. هر کمیت برداری، علاوه بر اندازه، جهت معینی نیز دارد. از این رو، با تغییر هر یک از مقدار یا جهت سرعت و شتاب، می‌گوییم که این کمیت‌ها تغییر کرده‌اند؛ همچنین، عدم تغییر این کمیت‌ها به معنای ثابت ماندن هر دوی مقدار و جهت آنهاست.

92. Aristotle, *Physics*, 7.5.

۹۳- در ادامه، به نظریه ابن سینا در خصوص پرتابه‌ها خواهیم پرداخت. ابن سینا، *فن سماع طبیعی از طبیعیات شفا*، ص ۳۳۱-۳۳۳.

94. Aristotle, *Physics*, 4.8.

95. Fluid dynamics.

96. Viscosity.

97. Walter Roy Laird & Sophie Roux (eds.), *Mechanics and Natural Philosophy before the Scientific Revolution*, p. 53.

98. Jorge J. E. Gracia & Timothy B. Noone, *A Companion to Philosophy in the Middle Ages*, p. 173.

۹۹- ابن سینا، *فن سماع طبیعی از طبیعیات شفا*، ص ۱۶۶ و ۱۶۷.

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۲۰۹

100. impulse.

101. Proper place.

102. Aristotle, *Physics*, 4.8.

103. John Philoponus.

۱۰۴- ابن سینا، *فنّ سماع طبیعی از طبیعیات شفا*، ص ۳۲۵.

۱۰۵- ملّاصدرا پس از نقل نظر ابن سینا در باب «میل» در حرکت قسری، می‌گوید: درست است که بر اثر وارد شدن ضربه به جسم، میل و کششی در جسم پیدا می‌شود، اما منشأ مستقیم این میل و کشش چیست؟ آیا ضربه خارجی مستقیماً این میل را ایجاد می‌کند یا تأثیر ضربه تأثیری غیرمستقیم است (یعنی تأثیر ضربه، بر روی آن چیزی است که طبیعت یا صورت نوعی جسم نامیده می‌شود و آن را که طبیعتی جوهری است، تبدیل به طبیعت دیگری می‌کند؛ در واقع، تأثیر مستقیم ضربه این است که طبیعت جوهری مقسور را تبدیل به طبیعت ثانوی می‌گرداند)؟ اگر طبیعت جوهری مقسور تغییر نکند، چنین امکانی نیست: طبیعت اصلی، اگر متحوّل نشود، خود مانع است؛ هرچند عابقی در کار نباشد (مرتضی مطهری، *مقالات فلسفی*، ص ۸۰) / ابن سینا، *فنّ سماع طبیعی در طبیعیات شفا*، ص ۳۲۵.

۱۰۶- همان، ص ۳۶۹-۳۷۵.

۱۰۷- همان، ص ۳۲۶.

۱۰۸- همان، ص ۳۱۴ و ۳۱۵.

109. Inclination.

110. Impetus.

111. Jean Buridan.

۱۱۲- ابن سینا بیانی بسیار نزدیک به مفهوم «اینرسی» دارد: «... ممانعتی که از جسم دیده می‌شود به واسطه این نیست که جسم است، بلکه به واسطه آن امری است که در او خواهان است که در مکان یا وضع خود باقی بماند...» (ابن سینا، *فنّ سماع طبیعی از طبیعیات شفا*، ص ۳۹۷).

113. Thomas Samuel Kuhn.

114. Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, p. 119.

115. Ad-hoc.

۱۱۶- متحرک‌های طبیعی، هرچه بیشتر می‌روند، حرکتشان تندتر می‌شود؛ این حرکت در دو نیمه مسافت با هم تفاوت دارد.

۱۱۷- علّامه طباطبائی و شهید مطهری در موضوعاتی که به طبیعیات مربوط بوده، نظر علم جدید را ملاک قرار داده‌اند و

در موضوعاتی که ماهیت فلسفی داشته، اصولاً علم روز را دخیل یا شایسته ورود ندانسته‌اند. اما در موارد بینابینی که اساساً مشکل‌آفرین بوده‌اند، علّامه طباطبائی کمتر به جزئیات پرداخته و با فرض صحت نظر علم جدید، چنان بحث کرده است که خدشه‌ای به نتیجه فلسفی وارد نشود؛ وی عملاً همچون شقّ قبلی با موضوع برخورد کرده است. شهید مطهری در این‌گونه موارد، جنبه‌های مختلف نظریه علمی را مورد توجه قرار داده و گاهی ردّ نظریه فلسفی را پذیرفته است. اما در آنجا که بحث فلسفی مقدمه نتایج الهیاتی بوده است، شهید مطهری حسّاسیت بیشتری نشان داده است (مثل برهان محرک اول).

حرکت مکانی از طبیعیات ارسطویی تا فیزیک نیوتنی □ ۲۱۱

منابع .....

- ابن سینا، فنّ سماع طبیعی از طبیعیات شفا، قم، کتابخانه آیت‌الله مرعشی نجفی، ۱۴۰۵ق.
- مطهری، مرتضی، حرکت و زمان در فلسفه اسلامی، تهران، حکمت، ۱۳۷۹، ج ۱.
- مطهری، مرتضی، مقالات فلسفی، تهران، صدرا، ۱۳۷۴.
- نصر، سیدحسین، «دستاوردهای ابن سینا در حوزه علم و خدمات او به فلسفه آن»، ترجمه فاطمه سوادی، تاریخ علم، ش ۵، بهار و تابستان ۱۳۸۵، ۱-۱۲.
- نصر، سیدحسین، نظر متفکران اسلامی درباره طبیعت، تهران، خوارزمی، ۱۳۵۹.
- Aristotle, *Physics*, Translated by R.P Hardie and R.K. Gaye, 2007.
- Einstein, Albert, *Relativity and the Problem of Space*, 1952, (English translation published, 1954).
- Gracia, Jorge J. E. Noone, Timothy B., *A Companion to Philosophy in the Middle Ages*, Blackwell Publishing, 2005.
- Horowitz, T. & Massey, G. J. (eds.), *Thought Experiments in Science and Philosophy*, Rowman & Littlefield, Savage, 1991.
- Kuhn, Thomas S., *The Structure of Scientific Revolutions*, 1970.
- Laird, Walter Roy & Roux, Sophie (eds.), *Mechanics and Natural Philosophy before the Scientific Revolution*, Springer, 2008.
- Lisker, Roy, *Barrier Theory, Finitism & Intuitionism in Physics*, PhilSci Archive 1996, 1-30, (<http://philsci-archive.putt.edu/archive/00001306>).
- Newton, Isaac, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, 1729, Dawsons of Pall Mall, 1968: (<http://trotsky.org/reference/subject/philosophy/works/en/newton.htm>).

صفحة ۲۱۰ سفید