

## فرا استقرای بدبینانه و واقع گرایی ساختاری

سعید معصومی\*

### چکیده

فرا استقرای بدبینانه مهم ترین استدلال علیه واقع گرایی علمی است، به همین دلیل از وظایف اصلی واقع گرایان (احتمالاً مهم ترین وظیفه آنها) پاسخ دادن به این برهان است. در این مقاله صورت بندی ای از این برهان ارائه می گردد و پاسخ های مختلف واقع گرایان در مورد آن اجمالاً بیان می شود. در میان این پاسخ ها پاسخ واقع گرایان ساختاری به عنوان پاسخ قابل قبول تر پذیرفته می شود. نکته مهم در مورد پاسخ واقع گرایان به استدلال فرا استقرای بدبینانه این است که واقع گرایان ساختاری باید با مطالعه مورد به مورد نظریه های علمی نشان دهند که ادعای آنها مبنی بر حفظ ساختارها محقق شده است.

**کلیدواژه ها:** فرا استقرای بدبینانه، واقع گرایی علمی، واقع گرایی ساختاری، نسبییت خاص، مکانیک نیوتنی.

### ۱. مقدمه

فرا استقرای بدبینانه و تعیین ناقص دو برهان اصلی علیه واقع گرایی علمی اند. به نظر می رسد که یکی از وظایف اصلی واقع گرایان علمی پاسخ گویی به این دو برهان باشد. از میان این دو برهان، فرا استقرای بدبینانه اهمیت بیشتری دارد، زیرا می توان فرض کرد که در برهان تعیین ناقص، بررسی های پیشینی، به صورت بندی برهان علیه واقع گرایی علمی منجر می شود در حالی که، در فرا استقرای بدبینانه به نظر می رسد که کفایت تجربی واقع گرایی علمی با مشکل مواجه می شود (Ladyman, Ross, et al., 2007: 83). در واقع، اغلب چنین فرض شده است که این برهان خطرناکترین (Wray, 2010) یا «بزرگ ترین چالش یگانه»

---

\* استادیار پژوهشکده مطالعات بنیادین علم و فناوری، دانشگاه شهید بهشتی، s\_masoumi@sbu.ac.ir  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۱۸

(Lewis, 2001) پیش روی واقع‌گرایی علمی است (Worrall 1982: 216)، (Kitcher 1993: 136)، (Leplin 1997: 136)، (Worrall, 1989: 99)، (Papineau 1996)، (Stanford 2006).

دو مساله در مورد استنتاج بر اساس بهترین تبیین و تعیین ناقص وجود دارد که ملاحظات در مورد آنها با ملاحظات در مورد فرا استقرای بدبینانه تفاوت دارد:

نخست اینکه دو مورد اول، چالش‌هایی هستند که علی‌الاصول در هر نوع واقع‌گرایی با آن مواجه می‌شویم؛ زیرا استنتاج‌های ابدکتیو در بسیاری از زمینه‌های استدلال علمی نقشی انکارناپذیر بازی می‌کنند و اگر تعیین ناقص یک مساله اصیل باشد چالش آن را می‌توان در ارتباط با برداشت واقع‌گرایانه از نظریه‌ها یا ادعاهای علمی صورت‌بندی کرد. از سوی دیگر، فرا استقرای بدبینانه ممکن است در مورد اشکالی از واقع‌گرایی بکار نرود؛ این به اختلاف دوم میان این استدلال‌های ضد واقع‌گرایانه مربوط می‌شود. با فرض خصوصیت عمومی ملاحظات استنتاج بر اساس بهترین تبیین و تعیین ناقص، مباحث مربوط به این چالش‌ها تاثیر کمی بر تحول واقع‌گرایی، به عنوان موضعی فلسفی، داشته است. اما از آنجایی که میزان نگرانی‌هایی که فرا استقرای بدبینانه ایجاد می‌کند، می‌تواند بسته به مشخصات دقیق تعهدات واقع‌گرایانه یک شخص تفاوت کند، این امر و ملاحظات مربوط به آن دارای نقشی قوی در شکل دادن به وجهه جدید واقع‌گرایی هستند (Chakravartty, 2007: 28).

در این مقاله تمرکز من بر فرا استقرای بدبینانه است. بعد از ارائه توضیحات فوق و بیان اهمیت موضوع، در بخش دوم صورت‌بندی برهان ارائه می‌شود؛ این کار برای ارائه پاسخ مناسب ضروری است.

«بخش سوم پاسخ‌های مهم به این برهان بیان می‌شود که نهایتاً پاسخ واقع‌گرایان ساختاری به عنوان پاسخ قابل قبول‌تر پذیرفته می‌شود. در بخش چهارم، به ارائه برخی تعاریف مورد نیاز برای بیان رابطه ساختاری میان نظریه‌های علمی پرداخته شده؛ همچنین رابطه میان نظریه‌های مکانیک نیوتنی و نسبیت خاص بر اساس جبرهای حاکم بر سینماتیک آنها بیان خواهد شد» در بخش پنجم، رابطه ساختاری حفظ ساختار برای جبرهای پایدارتر و ناپایدارتر نشان داده می‌شود و بخش ششم هم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مباحث خواهد بود.

## ۲. صورت‌بندی برهان

یکی از مشخصه‌های اساسی موضع واقع‌گرایانه مناسب، پاسخ معقولی است که این موضع به براهین علیه واقع‌گرایی علمی می‌دهد. همان‌طور که پیش از این گفته شد احتمالاً مهمترین استدلال علیه واقع‌گرایی علمی استدلال فرا استقرای بدبینانه است. بنابراین، برای ارزیابی پاسخ یا پاسخ‌های واقع‌گرایان به این برهان ابتدا باید صورت‌بندی مناسبی از این برهان داشته باشیم. در این بخش، به ارائه صورت‌بندی برهان فرا استقرای بدبینانه می‌پردازیم.

به نظر می‌رسد که مهمترین فرد در ارائه برهان فرا استقرای بدبینانه لری لائودن باشد. لائودن می‌کوشد که دیدگاه واقع‌گرایانه‌ای را ابطال کند که دارای پنج مشخصه زیراست و آن را واقع‌گرایی همگرا می‌نامد:

«R1 - نظریه‌های علمی (حداقل در علوم بالغ) نوعاً به طور تقریبی صادق‌اند و نظریه‌های جدیدتر از نظریه‌های قدیمتر، درحوزه یکسان، به حقیقت (صدق) نزدیک‌ترند.

R2 - عبارات مشاهده‌تی و نظری، در نظریه‌های یک علم بالغ، به صورت واقعی ارجاع‌دهنده هستند (به طور تقریبی ذواتی در جهان متناظر با هویت‌های که در بهترین نظریه‌های ما فرض شده وجود دارد).

R3 - نظریه‌های متوالی در هر علم بالغ، به گونه‌ای هستند که روابط نظری آنها و مرجع‌های نظریه‌های پیشین را حفظ می‌کنند؛ یعنی نظریه‌های پیشین به صورت موارد حدی نظریه‌های بعدی می‌باشند.

R4 - پذیرش نظریه‌های جدید تبیین‌کننده این مطلب است و باید باشد که چرا نظریه‌های پیشین به این میزان موفق بوده‌اند» (Leplin, 1984: 219-220).

این چهار عبارت بیان‌کننده فرضیه‌های (تزه‌های) معرفت‌شناختی، روش‌شناختی و معناشناختی‌اند و هر گاه با عبارت پنجمی، که ادعای متافیزیکی مهمی است، لحاظ شود، آنچه را که لائودن واقع‌گرایی معرفت‌شناختی همگرا می‌نامد، تشکیل می‌دهند (وی آنرا با CERL مشخص می‌کند، که مخفف convergent epistemological realism است).

در واقع می‌توان گفت آنچه لائودن به عنوان واقع‌گرایی همگرا می‌نامد، برنهاد واقع‌گرایی است که صورت استاندارد آن را می‌توان بر اساس مولفه‌های معناشناختی، معرفت‌شناختی و هستی‌شناختی به صورت زیر بیان کرد:

واقع‌گرایی علمی دیدگاهی است که بر اساس آن هویات موجود در نظریه‌های علمی مستقل از ذهن وجود دارند (مولفه متافیزیکی)، گزاره‌های بیان‌کننده نظریه‌ها علمی صدق و کذب پذیرند (مولفه معناشناختی) و نظریه‌های علمی بالغ و موفق تقریباً صادق هستند (مولفه معرفت‌شناختی) (Psillos, 1999: xvii).

بر این اساس، واقع‌گرایان برهانی از نوع استدلال بر اساس بهترین تبیین، صورت‌بندی می‌کنند. بیانی از این برهان به قرار زیر است:

R5 - فرضیه‌های R1 تا R4 متضمن این مطلب‌اند که نظریه‌های علمی (بالغ) باید موفق باشند. فرضیه‌های فوق، اگر نگوئیم تنها تبیین، حداقل می‌توانیم بگوئیم، بهترین تبیین را برای موفقیت علم تشکیل می‌دهند، بنابراین موفقیت تجربی علم (به معنی ارائه تبیین‌های تفضیلی و پیش‌بینی دقیق) تأیید تجربی چشمگیری برای واقع‌گرایی فراهم می‌آورد (ibid).

برهان بهترین تبیینی که واقع‌گرایان، معمولاً از آن استفاده می‌کنند، برهان «معجزه نبودن» نام دارد. این برهان بر اساس اندیشه‌ای قدیمی است که نام «معجزه نبودن» یا «معجزه بودن» بعد از بیان پاتنم (Putnam)، مبنی بر اینکه «واقع‌گرایی تنها فلسفه‌ای است که موفقیت علم را به صورت معجزه در نمی‌آورد» (Putnam, 1975: 73)، به آن داده شده است (Chakravartty, 2017). پیش از ارائه صورت‌بندی دقیق‌تر برهان «معجزه نبودن» لازم است که دو نوع توسل به «استدلال بر اساس بهترین تبیین» را از هم بازشناسی کنیم. توسل موضعی (local) به استدلال بر اساس بهترین تبیین و توسل کلی (global) به استدلال بر اساس بهترین تبیین؛ تمایزی که لیدیمن معرفی می‌کند (Ladyman, 2002, ch. 7). مطلبی شبیه این را سیلوس (Psillos)، بیان کرده است، البته وی از اصطلاح استدلال بر اساس بهترین تبیین مرتبه اول (first order) و استدلال بر اساس بهترین تبیین مرتبه دوم (second order) استفاده کرده است (Psillos, 1999)، «یک دفاع موضعی از واقع‌گرایی به مجموعه‌ای ویژه از واقعیات تجربی و تبیین آنها به صورت هویات مشاهده‌ناپذیر ویژه متوسل می‌شود. مخالفان واقع‌گرایی علمی نظیر ون فراسن الزام آور بودن دفاع موضعی از واقع‌گرایی را در مورد مشاهده‌ناپذیرهای ویژه رد می‌کنند و استدلال می‌کنند که می‌توان آنها را [مشاهده‌پذیرهای ویژه را] در هر مورد به صورت عملگرایانه بازتعبیر کرد؛ یعنی به عنوان استنتاج به کفایت تجربی تبیین مورد بحث، به علاوه تعهد به نظریه‌پردازی مداوم با منابع نظریه، در نظر گرفت (van Fraassen, 1980). بنابراین بحث به سطح کلی انتقال می‌یابد؛ جایی که

واقع گرایان علمی استدلال می کنند که فلسفه علم آنها برای توضیح علم و تاریخ موفقیت آن به عنوان یک کل لازم است» (Ladyman, Ross, et al., 2007: 69).

۱. به این ترتیب برهان معجزه نبودنرا که نوعی استدلال بر اساس بهترین تبیین است<sup>۱</sup> می توان به صورت زیر صورت بندی کرد:
۲. نظریه های علمی بالغ به طور تجربی موفق اند (یعنی، هم به لحاظ ارائه پیش بینی های بدیع و هم از نظر ارائه تبیین موفق اند).
۳. موفقیت علم تجربی (نظریه های علمی) نیازمند تبیین است.
۴. اگر نظریه های علمی صادق نباشند یا تقریباً صادق نباشند، موفقیت تجربی نظریه های بالغ چیزی همانند معجزه است.
۵. آنچه ما را از پذیرش معجزه رها می سازد قبول صدق آنها یا صدق تقریبی آنها است و این بهترین تبیین موفقیت نظریه های علمی است.
۶. پس نظریه های علمی بالغ، که به طور تجربی موفق هستند، صادق اند یا تقریباً صادق هستند.

ملاحظه می شود که در اینجا میان صدق یا صدق تقریبی و موفقیت ارتباط برقرار شده است و در واقع موفقیت نظریه های بالغ به عنوان توجیه قبول صدق نظریه های علمی بالغ در نظر گرفته شده است. همچنین باید توجه داشت که صدق تقریبی مستلزم این است که امر مشترکی در فرآیند گذار نظریه های علمی باقی بماند، بنابراین هویاتی که در موفقیت نظریه های علمی موثرند دارای مرجع هستند و مستقل از ما وجود دارند.

لائودن با ارائه موارد متعدد از تاریخ علم می کوشد نشان دهد که ارتباطی که واقع گرایان قائل هستند که بین موفقیت یک نظریه و صدق آن (صادق بودن گزاره های آن و ارجاع دهنده بودن هویات مندرج در نظریه های علمی) وجود دارد، برقرار نیست. راهبرد وی در این امر، ارائه سیاهه ای از نظریه های علمی است (Laudan, 1984: 157) که به درستی می توان آنها را هم به لحاظ تجربی موفق دانست و هم به لحاظ عملی مفید تلقی کرد و این سیاهه «به طور آزار دهنده ای (nauseam ad) می تواند توسعه یابد»، بنابراین «تاریخ علم نمی تواند باور واقع گرایان را در مورد ارتباط تبیینی میان موفقیت تجربی و صدق موجه سازد» (Psillos, 1996).

صورت بندی ای از فرا استقرار بدبینانه را (که استدلال لائودن هم نوعی از آن است) می توان به صورت زیر بیان کرد:

۱. نظریه های علمی بسیاری در تاریخ علم وجود داشته اند که بالغ و موفق بوده اند.
  ۲. این نظریه ها با نظریه هایی که اکنون مقبول جامعه علمی است در صورت بندی و در ارائه هویتی که به جهان اسناد می کنند، متفاوت هستند.
  ۳. این تفاوت هم در ارائه توصیفات متفاوت برای هویت پیشین است (که در برخی موارد به میزانی متفاوت با توصیفات پیشین است که نمی توان هر دوی آنها را نزدیک به صدق دانست) هم در انکار هویت موجود در نظریه های پیشین است و هم در پیشنهاد هویت جدید است.
  ۴. اگر نظریه ای بالغ و موفق از نظریه های پیشین مانند نظریه T هویتی پیشنهاد کرده باشد که یا در نظریه کنونی متناظر با آن (که آن را با T' مشخص می کنیم) انکار شده باشند و یا اکنون توصیفات یافته اند که به میزان زیادی متفاوت با توصیفات پیشین هستند، T و T' هر دو با هم نمی توانند صادق باشند یا تقریباً صادق باشند.
  ۵. اگر ادعای واقع گرایان مبنی بر ارتباط موفقیت و صدق به صورتی که موفقیت توجیه صدق باشد، صادق باشد، باید T و T' هر دو با هم صادق باشند.
  ۶. (۴) و (۵) در تناقض هستند. (۴) کاذب نیست، پس (۵) کاذب است.
- یعنی ادعای واقع گرایان مبنی بر اینکه موفقیت توجیه صدق است کاذب است. اکنون به بیان پاسخ های مختلف به این استدلال می پردازیم، با ذکر این نکته که تمرکز اصلی مقاله بر پاسخ واقع گرایان ساختاری است.

### ۳. پاسخ‌ها

در ادبیات فلسفی واقع‌گرایی علمی دو رویکرد کلی در مواجهه با فرا استقرای بدبینانه وجود دارد. در رویکرد اول خدشه ای به اعتبار این استدلال به لحاظ صوری وارد نمی کنند بلکه مقدمات استدلال و ماده آن را مورد مناقشه قرار می دهند. در این رویکرد، دو پاسخ عمده از جانب واقع‌گرایی استاندارد ارائه شده است که برخی مانند سیلوس این دو پاسخ را با هم ترکیب کرده اند تا پاسخی معقول تر به برهان فرا استقرای بدبینانه بدهند.

در پاسخ اول (I)، تبیینی از مرجع برای هویت صورت بندی می شود که در آن مرجع هویت در تغییر نظریه های علمی با وجود تغییر مفهوم همچنان باقی می ماند. در اینجا آنچه وجود هویت مندرج در نظریه های علمی را، در نظریه های متوالی، تداوم می بخشد

توسل به وجود مرجع، علاوه بر معنی، برای یک لفظ است. توضیح اینکه برون گرایان در فلسفه زبان برای محتوای یک لفظ یا مفهوم، علاوه بر معنای آن، عنصر دیگری به نام مرجع یا مصداق نیز قائل‌اند. این فیلسوفان به جزء معنای یک لفظ، اصطلاح معنای اولیه و به جزء مصداق یا مرجع آن، اصطلاح معنای ثانویه را اطلاق می‌کنند. آنچه که در جایگزینی پارادایم‌ها تغییر می‌یابد آن جزئی از معنای واژه است که در ارتباط استنتاجی با سایر مفاهیم قرار دارد و به علت تغییر پارادایم و تغییر این ارتباط، تغییر خواهد کرد، که همان معنای اولیه آن واژه است، اما در اینجا بجایی پارادایمها معنای ثانویه یا مصداق لفظ ثابت خواهد ماند. به این طریق این فیلسوفان پیوستگی میان نظریه‌ها را تأمین می‌کنند که برای دیدگاه واقع‌گرایانه ضروری است.

شاید شاخص‌ترین فرد در ارائه این برهان پاتن باشد. او معتقد است که یکسانی مرجع (مصداق) مفاهیم قیاس‌ناپذیر، امکان مقایسه نظریه‌ها در دو پارادایم را با توجه به این عنصر مشترک (حداقل دارای هم‌پوشانی) فراهم می‌آورد (Esfeld, 2006). به این طریق می‌توان ملاحظه کرد که عنصر مشترکی که همان مرجع است میان نظریه‌ها متوالی حفظ شده است.

برهانی شبیه این را هاردین (Hardin) و روزنبرگ (Rosenberg) نیز آورده‌اند. آنها معتقدند که تا وقتی که نظریه ارجاع در فلسفه علم بسط نیافته است، واقع‌گرایان می‌توانند از دیدگاه‌های مختلف و بدیلی که در مورد ارجاع وجود دارد استفاده کنند (Hardin, 1982). آنها این ادعا را مطرح می‌کنند که بر اساس نظریه علی ارجاع، می‌توان عبارت‌هایی را که اکنون به نظر نمی‌رسد که عبارات ارجاع دهنده باشند، ارجاع دهنده دانست. به عنوان مثال، اتر اکنون نیز ارجاع دهنده است اما نه به محیطی مادی بلکه به میدان الکترومغناطیسی ارجاع می‌دهد.

اگر مرجع عبارات نظری آن چیزهایی باشند که علل پدیدارهایی هستند که موجب معرفی این عبارات‌اند، در آن صورت، از آنجایی که اکنون باور بر این است که پدیده‌های نوری نوسان‌هایی در میدان الکترومغناطیسی است، آنچه اکنون عبارت اتر به آن ارجاع می‌دهد میدان الکترومغناطیسی است (Ladyman, Ross, et al., 2007: 86).

دو اشکال بر این دیدگاه وارد است: یکی اینکه «همان‌طور که لائودن (۱۹۸۴) اشاره کرده است، این تلقی، ارجاع عبارات نظری را به امری بی‌اهمیت (trivial) تبدیل می‌سازد؛ زیرا تا آنجایی که پدیده‌هایی معرفی یک عبارت را بر می‌انگیزند، آن عبارت به‌طور

خودکار و موفق، به آنچه علت (یا علت‌های) مربوط آن است ارجاع می‌دهد»، دیگر اینکه «این نظریه به طور افراطی میان آنچه نظریه پرداز در مورد آن سخن می‌گوید و آنچه او تصور می‌کند که در مورد آن سخن می‌گوید گسست ایجاد می‌کند» (ibid).

اما اشکال سومی هم بر این دیدگاه وارد است. این اشکال را می‌توان به نحو زیر تقریر کرد: اگر تلقی فوق را در مورد تمایز و به نوعی عدم ارتباط میان توصیفات نظری در مورد یک شیء و مرجع یک شیء بپذیریم، این پرسش پیش می‌آید که چرا باید نظریه‌های کنونی را بپذیریم؟ مسأله این است که نظریه‌های پیشین توصیفات در مورد هویت‌های خود پیشنهاد کرده بودند یا هویت‌های نظریه‌های پیش از آنها پیشنهاد کرده بودند می‌دادند که در زمان خود موفق بوده‌اند؛ یعنی، پیش‌بینی‌ها و تبیین‌های موفق‌تری از این هویت‌ها می‌دادند، در حالی که اکنون این توصیفات مقبول نیستند. بنابراین، لزومی ندارد که کذب توصیفات کنونی هم در آینده مکشوف نشود (در واقع، در اینجا نوعی استقرای بدبینانه در مورد توصیفات نظری صورت گرفته است). به نظر می‌رسد که هاردین و روزنبرگ این استقرای بدبینانه را در مورد توصیفات نظری بپذیرند و اگر نتیجه این استقرای بدبینانه را در مورد توصیفات نظری بپذیریم این پرسش دوم مطرح می‌گردد که اصولاً چرا چنین هویت‌هایی را فرض کرده‌ایم، اگر این هویت‌ها کاملاً مستقل از توصیفات باشند توجیهی برای پذیرش این هویت‌ها نداریم. در اینجا توصیفات نظری، که نظریه ارائه می‌دهد، توجیه متافیزیکی برای پذیرش این هویت‌ها است و اگر تعهدی به این توصیفات نداشته باشیم هویت‌ها فوق توجیه متافیزیکی خود را از دست خواهند داد. به عبارت دیگر، توجیهی برای پذیرش آنها در هستی‌شناسی وجود نخواهد داشت.

پاسخ دوم رویکرد اول به فرا استقرای بدبینانه (که آن را با (II) نشان می‌دهیم)، بر اساس روشی است که در آن، باور تنها به بخش‌هایی از نظریه تعلق می‌گیرد که به طور اساسی در پیش‌بینی‌های موفق و تبیین‌های موفق دخیل هستند. در این صورت، آن بخش‌هایی را که در موفقیت تبیینی و ارائه پیش‌بینی‌های بدیع‌کارایی ندارند و به عنوان اجزای بی‌استفاده در نظر گرفته می‌شوند کنار می‌گذاریم و به عنوان یک واقع‌گرا تعهدی به باور به گزاره‌هایی که مبین وجود آنها هستند نداریم. چاکراواری این رویکرد را شک‌گرایی انتخابی (selective scepticism) می‌نامد (Chakravarty, 2007: 29) استدلالی مشابه این را سیلوس (Psillos) و برخی فلاسفه دیگر نیز مطرح می‌کنند و در آن موفقیت نظریه‌های پیشین را به عناصری از نظریه نسبت می‌دهند که در نظریه‌های کنونی نیز وجود دارند و ما



به آنها باور داریم. سیلوس معتقد است «کافی است تا نشان دهیم که موفقیت نظریه های گذشته به آنچه ما اکنون باور داریم که به طور بنیادین نادرست است، بستگی ندارد» (Psillos, 1996). به عبارت دیگر، «کافی است تا نشان دهیم مکانیسم هایی که موفقیت نظریه های پیشین را تولید کرده در تصویر علمی کنونی ما باقی مانده است» (ibid). سیلوس این را «حرکت تقسیم بر اساس ادله» (divide et impera move) می نامد. مطلب فوق «مبتنی بر این ادعا است که وقتی یک نظریه کنار گذاشته می شود، اجزای نظری آن یعنی مکانیسم های نظری و قوانینی که آن نظریه ارائه کرده نباید به طور یک پارچه (en bloc) رد شود» (ibid).

در رابطه با این موضوع، کیچر (Kitcher) مثالی می زند از یک تیم بسکتبال که تیم موفق است. موفقیت این تیم به این معنی نیست که تمام بازیکن های تیم بلند قد هستند و در موفقیت تیم سهیم اند. این امکان وجود دارد که بازیکن کوتاه قدی هم باشد که در موفقیت تیم سهم چندانی نداشته باشد یا اصلاً سهیم نباشد (Kitcher, 1993: 143).

لپلین (Lepin)، کیچر (و البته خود سیلوس) پیشنهادهایی شبیه به این راهبرد داده اند ولی تفصیلی ترین و موثرترین بحث متعلق به سیلوس است (Ladyman, Ross, et al., 2007: 87). او پیشنهاد (I) را با (II) ترکیب می کند.

در راهبرد (I) مقدمه دوم [استدلال لائودن] پذیرفته می شود اما سیلوس اجازه می دهد که برخی مواقع این امکان وجود داشته باشد که یک نظریه تقریباً صادق، ارجاع ندهد. او سپس با این استدلال که عبارات نظری که ارجاع نمی دهند مثل کالریک، در بخشهایی از نظریه ها بودند که شاهد آن زمان، آن را حمایت نمی کرد؛ زیرا موفقیت تجربی نظریه های کالریک مستقل از هر فرضیه ای در مورد ماهیت کالریک بود، استدلال لائودن را می شکنند. عبارات کنار گذاشته شده که در بخشهایی از نظریه ها استفاده می شوند که شاهد آن زمان، آنها را حمایت می کرد، همواره ارجاع می هند؛ اتر به میدان الکترومغناطیسی ارجاع می دهد (ibid).

مهمترین اشکالیکه لیدیمن و راس در مورد دیدگاه سیلوس وارد می کنند این است که مفهوم اساسی (essential) که فوقاً به آن اشاره شد «مبهم تر از آن است که تمایزی اصولی میان گرایش های معرفتی (epistemic attitude) ما به بخش های مختلف نظریه ها برقرار سازد» (ibid).

همچنین، به نظر آنها مشکل راهبرد (II) این است که این راهبرد خلق الساعه (ad hoc) است. «به علاوه به نظر می رسد جداسازی موفقیت تجربی از الزامات هستی شناختی

مشروح به صورتی که نظریه توصیف می‌کرده، به جای اینکه از واقع‌گرایی حمایت کند آن را تضعیف می‌سازد» مساله دیگری که آنها به آن اشاره می‌کنند این است که طرح سیلوس واجد این معنا است که «فرضیه مورد بحث نمی‌تواند با جایگزین‌های بالقوه تبیینی واجد انگیزه‌های مستقل و غیر خلق‌الساعه تعویض گردد» (ibid).

اما رویکرد دوم در پاسخ به فرا استقرای بدبینانه، رویکرد فیلسوفانی چون لوئیس (Lewis, 2001) و مارک لنگ (Lange, 2002) است که استدلال لائودن را به لحاظ صوری دچار مشکل می‌بینند و آن را نوعی «مغالطه نرخ پایه» (base rate fallacy) می‌دانند. به همین دلیل، در اینجا صورت بندی دیگری از این برهان را که به شکل استقرایی نیست بیان می‌کنیم. این صورت بندی نشان می‌دهد که حتی اگر اشکالات لوئیس و لنگ را بپذیریم<sup>۲</sup> صرفاً به روش فوق (رویکرد لوئیس و لنگ) نمی‌توان از واقع‌گرایی در مقابل برهان مبتنی بر تغییر نظریه (گونه غیر استقرایی آن) دفاع کرد. نسخه غیر استقرایی فوق‌الذکر به صورت زیر است:

«الف) ارجاع موفق عبارات نظری محوری نظریه، شرطی ضروری برای صدق تقریبی آن است.

ب) مثال‌هایی از نظریه‌ها وجود دارد که بالغ‌اند و واجد موفقیت پیش‌بینی بدیع (novel predictive success) هستند، اما عبارات نظری آنها ارجاع نمی‌دهند.

ج) صدق تقریبی و موفقیت ارجاعی عبارات نظری محوری شرطی ضروری برای موفقیت پیش‌بینی بدیع نظریه‌های علمی نیست» (Ladyman, Ross, et al., 2007: 84).

همچنین باید توجه داشت که ممکن است نسخه لائودن از این برهان دارای اشکال باشد ولی بتوان نسخه‌های دیگری از برهان را صورت بندی کرد که در آنها این اشکالات وجود نداشته باشد. بنابراین به نظر می‌رسد که گزینه مناسب‌تر ارائه تقریری از واقع‌گرایی است که در آن هویت (ساختاری) نظریه‌های پیشین در نظریه‌های بعدی حفظ شود. به این ترتیب، با اینکه واقع‌گرایان استاندارد (غیر ساختارگرا) پاسخ‌هایی به فرا استقرای بدبینانه داده‌اند ولی این پاسخ‌ها اشکالاتی دارد که به عمده آنها در بالا اشاره شد.

آنچه لازم است این است که تبیینی از تغییر نظریه‌ها بدهیم که در آن اولاً به نحوی هویت نظریه‌های پیشین ارجاع دهند و البته این ارجاع به صورتی نباشد که همچون تبیین هاردین و روزنبرگ ارجاع را امری بی‌اهمیت سازد همچنین همچون مفهوم اساسی

سیلوس ابهام نداشته باشد و نهایتاً اینکه تبیینی خلق الساعه ارائه ندهد. به نظر می رسد که واقع گرایی ساختاری بتواند این موارد را برآورده سازد.

واقع گرایان ساختاری معتقد هستند که آنچه موجب تعهد واقع گرایانه ما به نظریه های علمی می گردد، حفظ ساختارهای مشترک در نظریه های متوالی است. «پیوستگی یا انباشت در تغییر [نظریه ها]، وجود داشته اما این پیوستگی به شکل صورت یا ساختار بوده است نه محتوا» (Worrall, 1989: 117).

این باوری است که هم واقع گرایان ساختاری معرفتی (epistemic structural realism) به آن باور دارند و هم واقع گرایان ساختاری هستی شناختی (ontic structural realism). به طور غیر دقیق می توان گفت که در واقع گرایی ساختاری معرفتی باور بر این است که ما تنها به ساختار جهان معرفت داریم (Worrall, 1989)، در حالی که در واقع گرایی ساختاری هستی شناختی باور بر این است که آنچه وجود دارد ساختار است (برای ملاحظه چیستی این رویکرد و برخی پاسخ ها به اشکالات وارد شده به آن به (French, Ladyman, 2011) مراجعه کنید).

می توان گفت (به طور کلی و نه چندان دقیق) ادعای واقع گرایان ساختاری این است که نظریه های علمی ساختارهای جهان را برای ما بازنمایی می کنند و این ساختارها (آنچه در بازنمایی ارائه می شود) در نظریه های متوالی توسعه می یابد. به این ترتیب، به عنوان مثال، وقتی که نظریه ای (بالغ و موفق) هویتی مانند اتر پیشنهاد می کند، تعهد واقع گرایانه (تعهد معرفتی برای واقع گرای ساختاری معرفتی و تعهد معرفتی به علاوه تعهد هستی شناختی برای واقع گرای ساختاری هستی شناختی) به ساختاری است که در نظریه از آن به عنوان اتر تعبیر می شود. این ساختار، در نظریه های بعدی باقی می ماند، بنابراین پس از صورت بندی مناسب نظریه ها ساختارهای اصلی نظریه که موجب موفقیت نظریه هستند مشخص می شود و می توان نشان داد که این ساختارها در نظریه های بعدی حفظ شده اند.

#### ۴. واقع گرایی ساختاری

در مورد واقع گرایی ساختاری نکته مهم این است که ساختاری که در تغییر نظریه های علمی حفظ می شود و باقی می ماند چه خصوصیتی دارد. این پرسش را می توان هم از منظر چیستی نوع خود ساختار مطرح کرد و هم از منظر چگونگی بقا و حفظ آن.

از منظر چگونگی بقا و حفظ ساختار دو تلقی را می‌توان از هم بازشناسی کرد: نخست تلقی ای که در آن باور بر این است که ساختار مشترکی که در گذار از نظریه ای به نظریه دیگر، باقی می‌ماند در گذار از نظریه کنونی به نظریه بعدینیز، باقی می‌ماند و به علاوه ساختار آن توسعه می‌یابد (یا در بدترین حالت ثابت می‌ماند). فرض کنید ساختار  $A$  که متعلق به نظریه  $T_1$  است در گذار از نظریه علمی  $T_1$  به  $T_2$  باقی بماند، در این صورت، در فرآیند پیشرفت علمی که در آن نظریه علمی، از  $T_2$  به  $T_3$  تغییر می‌یابد، در  $T_3$  باقی می‌ماند که  $A$  را دربر دارد ( $A$  زیر ساختاری از آن است) یا حداقل معادل آن است.

در این میان، می‌توان تلقی دومی هم داشت و آن اینکه خود این ساختار مشترک هم می‌تواند تغییر کند و طی فرآیند تحول علمی متحول خواهد بود. به نظر نگارنده این قسم دوم قادر نیست که با دلایل واقع‌گرایان برای اتخاذ رویکرد واقع‌گرایانه همساز شود. بنابراین، به نظر می‌رسد که واقع‌گرای ساختاری باید تلقی اول را بپذیرد (تیین دقیق چرایی این مطلب خود نیازمند نوشته ای جداگانه است که هدف اصلی این مقاله نیست).

اما در حالت اول، واقع‌گرایان باید معین کنند که به چه نوع ساختاری متعهد می‌شوند و همچنین باید در نظریه‌های مختلف این ساختار مشترک را معین کنند. بنابراین، پروژه بزرگ واقع‌گرایی ساختاری این است که به صورت مورد به مورد و با مطالعه موردی نشان دهد که در دو تحول علمی عمده (دو تغییر پارادایم) ساختاری حفظ شده و بر آن افزوده شده (یا حداقل ثابت مانده) است.

برای اینکه این امر به درستی تحقق پذیرد اغلب نیاز است که صورت بندی مناسبی از نظریه علمی داشته باشیم تا بتوانیم ساختارهای مشابه و یکسان نظریه‌های مختلف را با هم مقایسه کنیم؛ زیرا در برخی موارد صورت بندی استاندارد نظریه‌های علمی برای روشن شدن این موضوع مناسب نیست.

به عنوان مثال، صورت بندی معمولی مکانیک نیوتنی در فضای سه بعدی اقلیدسی صورت می‌گیرد، که در آن مختصات سه بعدی برای بیان مکان این ذرات استفاده می‌شود و سرعت و شتاب (مطلق) آنها هم بر اساس عمل مشتق‌گیری از توابع مکان نسبت به زمان معین می‌شوند. رفتار دینامیکی ذرات را قوانین نیوتن معین می‌کنند که معادله حرکت ذرات را نتیجه می‌دهد. این معادلات، تنها در چارچوبهای لخت صادق هستند؛ به عبارت دیگر، قوانین نیوتن، در چارچوبهای شتاب دار صادق نیستند و این معادلات تحت تبدیلات مختصات هموردا (covariance) نیستند. به این ترتیب، این معادلات را نمی‌توان به شکل مستقل از مختصات نوشت.

آنچه این مطلب را اهمیت می بخشد این است که، معادلات نسبیت عام که در فضا - زمان چهار بعدی صورت بندی می شود دارای این ویژگی هستند که می توان آنها را به صورت مستقل از مختصات نوشت؛ یعنی، این معادلات هموردای عام (general covariance) هستند و اعتقاد بر این بوده است که تمایز نسبیت عام با نظریه هایی چون مکانیک نیوتنی و نسبیت خاص در این ویژگی است. به این ترتیب، برای یک واقع گرای ساختاری این پرسش مطرح می شود که آیا مشخصه ساختارهایی که از مکانیک نیوتنی در نسبیت عام باقی مانده اند هموردای عام آنها است؟

اما کافی است که از صورت بندی چهار بعدی این معادلات در فضا - زمان چهار بعدی (که آن را با یک مینفولد یا خمینه نشان می دهند) استفاده کنیم و معادلات را در فضا - زمان چهار بعدی صورت بندی کنیم تا معلوم شود که معادلات مکانیک نیوتنی را نیز می توان به شکل مستقل از مختصات نوشت. در واقع، این امر در مورد تمام نظریه های فیزیکی بالغ (مکانیک نیوتنی، الکترومغناطیس ماکسول، نسبیت خاص و نسبیت عام) صادق است؛ یعنی، می توان آنها را، به یک معنا، به صورت هموردای عام نوشت؛ و همه این نظریه ها به طور بی اهمیتی واجد نوعی تقارن پیمانه ای (gauge symmetry) هستند. در مباحث فلسفی و بنیادین مربوط به نظریه های فضا - زمانی و علی الخصوص نسبیت عام در مورد اینکه، هم وردایی عام، دقیقاً به چه معنا است اختلاف نظر زیاد است، با این حال بر سر دو موضوع توافق گسترده ای وجود دارد که ۱- هموردایی عام نسبیت عام را از نظریه های پیشین متمایز نمی کند، به شرط اینکه نظریه های پیش از نسبیت عام به طریق مناسبی صورت بندی شده باشند و ۲- هم وردایی عام، به خودی خود دارای هیچ محتوای فیزیکی ای نیست (Suarez et al., 2010: 197) به این ترتیب، می توان چنین تصور کرد که هر نظریه ای که در فرآیند تحول علمی شکل خواهد گرفت این نوع تقارن پیمانه ای را خواهد داشت و باید بتوان آن را به صورت مستقل از مختصات نوشت.

در واقع، این نوع از هم وردایی عام، یک نوع شرط ساختاری بی اهمیت روی معادلات و همچنین مشاهده پذیرهایی است که نظریه های فیزیکی آن را برآورده می کنند (احتمالاً تنها نظریه هایی که نتوان صورت بندی فضا - زمانی برای آنها در نظر گرفت قادر نیستند این شرط را برآورده سازند مانند فیزیک ارسطویی). در این صورت، به عنوان مثال، برای یافتن تمایز میان نظریه های نسبیت عام و مکانیک نیوتنی باید شرطی غیر از این نوع از هم وردایی عام برآورده شود، مثلاً شرطی که ارمن (Earman, 2006: 4) آن را شرط هموردایی

عام جوهری (substantive general covariance) می‌نامد یا اینکه این تمایز با تعریف مفهوم شیء مطلق، که می‌توان آن را رویکرد اندرسون - فریدمن نامید، (Friedman, 1983: 56-61) مشخص شود. هنگامی که مفهوم شیء مطلق تعریف شد می‌توان با معرفی رابطه ای هم ارزی به نام هم ارزی D، (ibid: 57-59) که مشخص کننده اشیای مطلق نظریه است، تمایز نسبییت عام را با نظریه های دیگر معین کرد. به این طریق که چون نسبییت عام هیچ شیء مطلق ندارد (البته در این امر مناقشه شده است، با این حال، فرض کنید که این وضعیت برقرار است) ولی در نظریه های دیگر نظیر مکانیک نیوتنی و نسبییت خاص شیء مطلق وجود دارد؛ مثل متریک مینکوفسکی در نسبییت خاص، نسبییت عام با این نظریه ها به این معنی متمایز است و توسعه ساختار در جهت حذف اشیای مطلق پیش رفته است. به این ترتیب، مشخص می‌شود که برای بررسی روابط ساختاری، صورت بندی مناسب نظریه ها بسیار اهمیت دارد.

در ادامه مقاله ابتدا معنای دقیق توسعه یک ساختار را معرفی می‌کنیم، پس از آن به بررسی مثالی مهم از فیزیک نظری، یعنی رابطه میان فیزیک نیوتنی و نظریه نسبییت خاص، می‌پردازیم. می‌کشیم نشان دهیم شروطی که در تعریف توسعه یک ساختار ارائه داده ایم، در این مورد برقرار است. البته باید توجه داشت که در اینجا تنها به رابطه میان جبرهای نظریه ها، که مبین سینماتیک نظریه ها است، پرداخته خواهد شد و بررسی رابطه میان دینامیک نظریه ها مقاله ای جداگانه می‌طلبد. همچنین عمده مطالب به بیان حفظ ساختارها تعلق خواهد داشت. بررسی توسعه ساختارها نیز، که نیازمند بررسی حداقل سه نظریه است، مجال دیگری می‌طلبد.

#### ۱.۴ تعریف توسعه یک ساختار

ساختار  $\mathcal{A} = \langle A, R_i \rangle_{i \in I}$  را توسعه ساختار  $\mathcal{B} = \langle B, R'_j \rangle_{j \in J}$  می‌نامیم هر گاه شروط زیر برقرار باشد:

۱. تابعی چون  $F: B \rightarrow F(B) \subset A$  وجود داشته باشد که دوسویی باشد.
۲. به ازای هر  $i \in I$ ،  $R_i$  عضو  $\mathcal{A}$  وجود داشته باشد، به طوری که تابع زیر یکسانی (isomorphism) باشد:<sup>۳</sup>

$$f_j: R'_j \rightarrow f_j(R'_j) \subset R_i$$

$$f_j((x, y)) = (F(x), F(y))$$

$$\text{soif } (x, y) \in R_j' \text{ then } (F(x), F(y)) \in R_i$$

به عنوان مثال، در نظریه نسبیت خاص گروه تبدیلاتی که تحت آنها قوانین نظریه صادق هستند؛ یعنی گروه تقارنی نظریه (symmetry group) گروه پوانکاره (Poincare group) است. این گروه، که خود یک گروه لی (Lie group) است، دارای یک نمایش یکانی (unitary representation) است؛ یعنی این گروه را با عملگرهای یکانی که روی فضای هیلبرت حالات سیستم اثر می کنند، نمایش می دهند. عملگرهای این نمایش را می توان به صورت بسط مولدهای گروه لی، که خود عملگرهای هرمیتی و یکانی هستند، به صورت زیر نشان داد:

$$U(I + \omega, \epsilon) = I + \frac{1}{2} i \omega_{\mu\nu} J^{\mu\nu} - i \epsilon_{\mu} P^{\mu} + \dots \quad (1)$$

$J^{\mu\nu}$  ها و  $P^{\mu}$  ها مولد های گروه هستند، که خود عملگرهای هرمیتی و یکانی اند. این مولدها روابط جابجایی زیر را برآورده می کنند:

$$i[J^{\mu\nu}, J^{\rho\sigma}] = \eta^{\nu\rho} J^{\mu\sigma} - \eta^{\mu\rho} J^{\nu\sigma} - \eta^{\sigma\mu} J^{\rho\nu} + \eta^{\sigma\nu} J^{\rho\mu} \quad (2)$$

$$[P^{\mu}, J^{\rho\sigma}] = \eta^{\mu\rho} P^{\sigma} - \eta^{\mu\sigma} P^{\rho} \quad (3)$$

$$[P^{\mu}, P^{\rho}] = 0 \quad (4)$$

این جبر لی گروه پوانکاره است. این جبر را می توان به صورت زیر نوشت:

$$[J_i, J_j] = i \epsilon_{ijk} J_k \quad (6)$$

$$[J_i, K_j] = i \epsilon_{ijk} K_k \quad (7)$$

$$[K_i, K_j] = -i \epsilon_{ijk} J_k \quad (8)$$

$$[J_i, P_j] = i \epsilon_{ijk} P_k \quad (9)$$

$$[K_i, P_j] = i H \delta_{ij} \quad (10)$$

$$[J_i, H] = [P_i, H] = [H, H] = 0 \quad (11)$$

$$[K_i, H] = i P_i \quad (12)$$

با داشتن این روابط، به روشی که آن را ادغام اینونو-ویگنر (Inonu – Wigner contraction) می نامند، نشان می دهیم که جبر گاليله ای حالت خاصی از جبر پوانکاره است؛ یعنی، جبر پوانکاره پایدار شده (stabilized) جبر گاليله ای است. «ادغام» و «تغییر شکل» فرآیندهای عکس یکدیگرند در ادغام شما از یک جبر پایدارتر شده به جبر ناپایدارتر می رسید و درتغییر شکل از جبر ناپایدارتر به جبر پایدارتر می رسید.

به طور کلی، یک ساختار ریاضی را به ازای رده ای از تغییر شکل‌ها (deformations) پایدار (stable) (یا صلب) می‌گویند، اگر هر تغییر شکلی در این رده به یک ساختار معادل (یکریخت) منتهی شود. اندیشه پایداری ساختارها یک اصل راهنما برای آزمون اعتبار یا نیاز برای تعمیم یک نظریه فیزیکی است. یعنی، اگر ساختار ریاضی یک نظریه داده شده پایدار نباشد، در آن صورت باید تلاش شود تا آن را تغییر شکل دهند تا در یک ساختار پایدار قرار گیرد (Mendes, 1994).

در روابط جابجایی اگر ثابت ساختاری صفر شود نشانه ناپایداری جبر است و در تغییر شکل تلاش می‌شود این ثوابت ساختارها را به ثوابت غیر صفر تبدیل کنند. به عنوان مثال در جبر گالیه ای که در زیر آورده شده است، ثابت ساختار در رابطه (۱۶) صفر است که می‌توان با فرآیند تغییر شکل آن را به صورت رابطه (۸) درآورد که ثابت ساختار غیر صفر دارد. به این معنا می‌توان ملاحظه کرد که برخی روابط ساختاری که در جبر گالیه ای وجود دارد در جبر پوانکاره حفظ شده است، مثل روابط (۱۴) و (۱۵). اینها ساختارهایی را معین می‌کنند که از نظریه پیشین (مکانیک نیوتنی) در نظریه بعدی (نسبیت خاص) حفظ شده است و بنا به آنچه پیش از این گفتیم در نظریه ای که بعد از نسبیت خاص مورد قبول واقع می‌شود هم باید حفظ شوند.

اگر بخواهیم با فرآیند ادغام از جبر پوانکاره جبر گالیه ای را نتیجه بگیریم می‌توان نشان داد که روابط (6) و (7) به همان شکل باقی می‌مانند ولی در مورد روابط بعدی با در نظر گرفتن اینکه برای سیستمی از ذرات با جرم نوعی  $m$  و سرعت نوعی  $v$  عملگرهای اندازه حرکت و اندازه حرکت زاویه ای از مرتبه های  $1 \sim$   $P \sim mv$  هستند و همچنین اینکه عملگر انرژی هم به صورت  $H = M + W$  است که در آن  $M$  نشان دهنده انرژی جرمی است و  $W$  نشان دهنده انرژی غیر جرمی (جنبشی و پتانسیل) است که مرتبه های آنها هم به صورت زیر است:

$$M \sim m \quad \text{و} \quad W \sim mv^2 \quad (13)$$

می‌توان به روابط زیر رسید.

اگر  $1 \ll v$  باشد آنگاه

$$[J_i, J_j] = i\epsilon_{ijk}J_k \quad (14)$$

$$[J_i, K_j] = i\epsilon_{ijk}K_k \quad (15)$$

$$[K_i, K_j] = 0 \quad (16)$$

$$[J_i, P_j] = i\epsilon_{ijk}P_k \quad (17)$$



$$[K_i, P_j] = iM\delta_{ij} \quad (18)$$

$$[J_i, W] = [P_i, W] = 0 \quad (19)$$

$$[J_i, M] = [P_i, M] = [K_i, W] = [W, M] = 0 \quad (20)$$

$$[K_i, W] = iP_i \quad (21)$$

به عنوان مثال، رابطه (10) را در نظر بگیرید. در این صورت داریم:

$$[K_i, P_j] = iH\delta_{ij} = i(M + W)\delta_{ij}$$

با در نظر گرفتن  $1 \ll v$  نتیجه خواهد شد که  $mv^2 \ll m$  بنابراین  $W \ll M$  پس

$$(M + W) \approx M \Rightarrow [K_i, P_j] = iM\delta_{ij}$$

از طرف دیگر از رابطه (11) داریم:

$$[J_i, H] = [J_i, M] + [J_i, W] = 0$$

اما  $M = MI$  بنابراین  $J_i$  جابجا می شود پس  $[J_i, M] = 0$  و این یعنی:

$$[J_i, H] = [J_i, W] = 0$$

به همین ترتیب، می توان نشان داد که سایر روابط فوق هم از جبر پوانکاره برای حالت حدی ذکر شده قابل استخراج است و جبر گاليله ای نتیجه خواهد شد. اما این روش دقیقی برای بیان رابطه ساختاری جبر گاليله ای با جبر پوانکاره نیست. در بخش (5) به طور دقیقشان می دهیم که چگونه زیر ساختاری از جبری چون  $L_1$  (مثلاً جبر گاليله ای) در ساختار جبر لی دیگری چون  $L_2$  (مثلاً جبر پوانکاره) حفظ می شود، به این معنی که جبر لی  $L_2$  پایدار شده (stabilized) جبر  $L_1$  است.

## ۵. رابطه ساختاری جبرهای لی پایدارتر و ناپایدارتر

تعریف ۱: یک جبر لی حقیقی یا مختلط با بعد متناهی چون  $L$ ، فضایی برداری حقیقی یا مختلط است به همراه نگاشتی چون  $[, ]$  از  $L \times L$  به  $L$  که دارای خواص زیر باشد:

۱-  $[, ]$  دو خطی (bilinear) باشد.

۲-  $[, ]$  پادمتقارن است؛ یعنی به ازای  $I$  و  $J$  عضو  $L$  باشد، آنگاه  $[I, J] = -[J, I]$

۳- تساوی ژاکوبی برقرار باشد:

$$[I, [J, K]] + [K, [I, J]] + [J, [K, I]] = 0$$

تعریف ۲: یک زیر جبر از جبر لی حقیقی یا مختلطی چون  $L$ ، زیر فضایی چون  $H$  از  $L$  است به طوری که به ازای هر  $I_1$  و  $I_2$  که عضو  $H$  باشند رابطه  $[I_1, I_2] \in H$  برقرار باشد. پس اگر ما نشان دهیم که جبر لی نظریه ای چون  $T$  زیر جبری از جبر لی نظریه بعدی چون  $T'$  است، در واقع حفظ ساختار نظریه پیشین را در نظریه جدید نشان داده ایم چون به روشنی می توان طبق تعریفی که در بالا ارائه شد نشان داد که ساختار نظریه بعدی توسعه ساختار نظریه بعدی است.

اکنون به بیان روشی که در آن از جبر لی پایدارتر می توان جبر لی ناپایدارتر را بدست آورد، می پردازیم. نشان می دهیم که چگونه می توان ساختاری مشترک بین دو جبر یافت. این کار به روش ادغام اینونو-ویگنر انجام می دهیم (Inonu, Wigner, 1953). باید توجه داشت، همان طور که پیش از این گفتیم، در فرآیند ادغام یا فرآیند معکوس آن تغییر شکل (deformation) فضای برداری تغییر نمی کند؛ یعنی تعداد مولدها ثابت می ماند و این به معنی آن است که پایه ثابت است و به عنوان ساختار فضای برداری هر دو جبر یک ساختار دارند، و این خود یک نوع حفظ ساختار است.

چون ما در اینجا با گروه های لی سر و کار داریم هر عضو گروه را می توان بر حسب پارامترهای گروه نوشت؛ یعنی اگر  $I \in L$  باشد آنگاه:

$$I = g(a^1, \dots, a^n)$$

که در آن  $a^i$  پارامترهای گروه لی هستند.

فرض کنید که  $I_i \in L$  و  $I_j \in L$  بنابراین  $[I_i, I_j] \in L$  و این یعنی

$$[I_i, I_j] = C_{ij}^k I_k \quad (22).$$

در این صورت تابع  $F$  را به صورت زیر در نظر بگیرید.

$$F: L \rightarrow L$$

$$J_\mu \equiv F(I_i) = \sum_1 I_i U_\mu^i ; U_\mu^i = u_\mu^i + \epsilon w_\mu^i, \quad 0 < \epsilon < \epsilon_0 \quad (23)$$

ماتریس های  $u$  و  $w$  را می توان به شکل نرمال نوشت. یعنی، اگر ماتریس های تبدیل  $\alpha$  و  $\beta$  باشند به شکل  $\beta u \alpha^{-1}$  و  $\beta w \alpha^{-1}$  نوشته می شوند. واضح است که این تابع خطی است؛ زیرا:

$$F(\alpha I_i + \beta I'_i) = \sum_i (\alpha I_i + \beta I'_i) U_\mu^i = \alpha \sum_i I_i U_\mu^i + \beta \sum_i I'_i U_\mu^i = \alpha F(I_i) + \beta F(I'_i)$$

که تبدیل متناظر آن برای پارامترهای گروه به صورت زیر است:

$$a^i = \sum_i U_\mu^i b^\mu$$

در اینجا، ماتریس های  $u$  و  $w$  به صورت زیرند:

$$u = \begin{pmatrix} J & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ و } w = \begin{pmatrix} v & 0 \\ 0 & J \end{pmatrix}$$

که در آن  $J$  ماتریس واحد است.

فرض کنید که رتبه (rank) ماتریس  $u_i^i$  باشد. در این صورت  $L$  را می توان با تبدیل فوق به

صورت جمع مستقیم دو زیر جبر  $L'$  و  $L''$  به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} L &= L' \oplus L'' \\ J_\mu &= \sum_i I_i U_\mu^i = I_i \begin{pmatrix} J & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_\mu^i + I_i \begin{pmatrix} v & 0 \\ 0 & J \end{pmatrix}_\mu^i \\ I_i = \begin{pmatrix} I_{1i} & 0 \\ 0 & I_{2i} \end{pmatrix}_i \Rightarrow J_\mu &= \begin{pmatrix} I_{1i} & 0 \\ 0 & I_{2i} \end{pmatrix}_i \begin{pmatrix} J & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_\mu^i + \begin{pmatrix} I_{1i} & 0 \\ 0 & I_{2i} \end{pmatrix}_i \begin{pmatrix} v & 0 \\ 0 & J \end{pmatrix}_\mu^i \\ &= \begin{pmatrix} I_{1i} & 0 \\ 0 & I_{2i} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} J_\mu^i & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \epsilon \begin{pmatrix} I_{1i} & 0 \\ 0 & I_{2i} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_\mu^i & 0 \\ 0 & J_\mu^i \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} I_{1i} J_\mu^i & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \epsilon I_{1i} v_\mu^i & 0 \\ 0 & \epsilon I_{2i} J_\mu^i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{1\mu} + \epsilon I_{1i} v_\mu^i & 0 \\ 0 & \epsilon I_{2\mu} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} J_{1\mu} & 0 \\ 0 & J_{2\mu} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

در ماتریس  $\begin{pmatrix} I_{1\mu} + \epsilon I_{1i} v_\mu^i & 0 \\ 0 & \epsilon I_{2\mu} \end{pmatrix}$  قسمت بلوک قطری بالا؛ یعنی  $I_{1i} J_\mu^i + \epsilon I_{1i} v_\mu^i$  دارای  $r$  مولد است و بقیه ماتریس ها در جمع بندی  $i$  که از ۱ تا  $n$  است، صفرند به همین ترتیب قسمت بلوک قطری پایین؛ یعنی  $\epsilon I_{2\mu}$  دارای  $n-r$  مولد در جمع بندی است و بقیه ماتریسها در این جمع بندی صفر است. یعنی، در اینجا شاهد جمع مستقیم ماتریس ها هستیم. پس دو جبر مجزا داریم یکی با  $r$  مولد و دیگری با  $n-r$  مولد. بنابراین می توانیم بر اساس این دو مجموعه مولد رابطه تبدیل (23) را به صورت زیر بنویسیم:

$$J_{1\mu} = I_{1\mu} + \epsilon \sum_{v=1}^r v_{v\mu} I_{1v} ; (\mu = 1, 2, \dots, r) \quad (24)$$

$$J_{2\mu} = \epsilon I_{2\mu} ; (\mu = 1, 2, \dots, n-r) \quad (25)$$

در این صورت (22) را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$[I_{\alpha\mu}, I_{\beta\nu}] = \sum_{k=1}^r C_{\alpha\mu, \beta\nu}^{1k} I_{1k} + \sum_{k=1}^{n-r} C_{\alpha\mu, \beta\nu}^{2k} I_{2k} \quad (26)$$

که در آن  $\alpha$  و  $\beta$  اندیسهایی که مقادیرشان یا ۱ است یا ۲.

بنابراین

$$[J_{1\mu}, J_{1\nu}] = [I_{1\mu}, I_{1\nu}] + \epsilon(v_{\mu\mu'}\delta_{\nu\nu'} + v_{\nu\nu'}\delta_{\mu\mu'} + v_{\mu\mu'}v_{\nu\nu'})[I_{1\mu'}, I_{1\nu'}] \quad (27)$$

از رابطه (26) می‌توانیم جملات سمت راست رابطه فوق را بدست آوریم:

$$[I_{1\mu}, I_{1\nu}] = \sum_{k=1}^r C_{1\mu, 1\nu}^{1k} I_{1k} + \sum_{k=1}^{n-r} C_{1\mu, 1\nu}^{2k} I_{2k}$$

اما از رابطه (24) و (25) داریم

$$I_{1k} = J_{1k} - \epsilon \sum_{v=1}^r v_{vk} I_{1v} \quad \text{و} \quad I_{2k} = \frac{J_{2k}}{\epsilon}$$

در نتیجه:

$$[I_{1\mu}, I_{1\nu}] = \sum_{k=1}^r C_{1\mu, 1\nu}^{1k} (J_{1k} - \epsilon \sum_{v=1}^r v_{vk} I_{1v}) + \sum_{k=1}^{n-r} C_{1\mu, 1\nu}^{2k} \frac{J_{2k}}{\epsilon}$$

به این ترتیب، رابطه (27) به صورت زیر می‌شود:

$$[J_{1\mu}, J_{1\nu}] = \sum_{k=1}^r C_{1\mu, 1\nu}^{1k} J_{1k} - \epsilon \sum_{k=1}^r C_{1\mu, 1\nu}^{1k} \sum_{v=1}^r v_{vk} I_{1v} + \sum_{k=1}^{n-r} C_{1\mu, 1\nu}^{2k} \frac{J_{2k}}{\epsilon} + \epsilon(v_{\mu\mu'}\delta_{\nu\nu'} + v_{\nu\nu'}\delta_{\mu\mu'} + v_{\mu\mu'}v_{\nu\nu'})[I_{1\mu'}, I_{1\nu'}]$$

اما اگر از عبارت فوق وقتی  $\epsilon$  به صفر میل می‌کند حد بگیریم، جملات دوم و چهارم سمت راست آن صفر می‌شوند و برای اینکه این عبارت حد داشته باشد باید ثابت‌های ساختار در جمله سوم؛ یعنی  $C_{1\mu, 1\mu}^{2k}$  ها همگی صفر شوند. بنابراین:

$$[J_{1\mu}, J_{1\nu}] = \sum_{k=1}^r C_{1\mu, 1\nu}^{1k} J_{1k} \quad (28) \quad , \quad C_{1\mu, 1\nu}^{2k} = 0 \quad (29)$$

اگر این گونه باشد ثابت‌های ساختار  $C_{\alpha\mu, \beta\nu}^{\gamma k}$  به مقادیر متناهی میل خواهند کرد (Inonu,

Wigner, 1953)

پس:

$$c_{1\mu,1\nu}^{1k} = C_{1\mu,1\nu}^{1k}, \quad c_{1\mu,1\nu}^{1k} = C_{1\mu,1\nu}^{1k} = 0, \quad c_{1\mu,2\nu}^{2k} = C_{1\mu,2\nu}^{2k}$$

$$c_{2\mu,2\nu}^{1k} = c_{2\mu,2\nu}^{2k} = 0, \quad c_{1\mu,2\nu}^{1k} = 0$$

به این ترتیب، وقتی که  $\epsilon \rightarrow 0$  تابع  $F$ ، که تابعی خطی است، و با رابطه (23) تعریف شده است جبر  $L = L' \oplus L''$  را به جبر  $L'$  تبدیل می کند که در آن رابطه جابجایی (22) به (28) تبدیل می شود و بعد جبر هم  $r$  است؛ یعنی این یک همسانی است که بین جبر  $L$  و جبر  $L'$  است؛ زیرا:

$$F([I_i, I_j]) = F(C_{ij}^k I_k) = C_{ij}^k F(I_k) = C_{ij}^k J_k = C_{ij}^k \begin{pmatrix} J_{1k} & 0 \\ 0 & J_{2k} = \epsilon I_{2k} \end{pmatrix}$$

که وقتی  $\epsilon \rightarrow 0$  عبارت فوق برابر می شود با:

$$\lim_{\epsilon \rightarrow 0} F([I_i, I_j]) = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} C_{ij}^k \begin{pmatrix} J_{1k} & 0 \\ 0 & J_{2k} = \epsilon I_{2k} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{ij}^k J_{1k} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (30)$$

از طرف دیگر:

$$([F(I_i), F(I_j)]) = ([J_\mu, J_\nu]) = \left[ \begin{pmatrix} J_{1\mu} & 0 \\ 0 & J_{2\mu} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} J_{1\nu} & 0 \\ 0 & J_{2\nu} \end{pmatrix} \right]$$

پس:

$$\begin{aligned} \lim_{\epsilon \rightarrow 0} ([F(I_i), F(I_j)]) &= \left( \left[ \lim_{\epsilon \rightarrow 0} F(I_i), \lim_{\epsilon \rightarrow 0} F(I_j) \right] \right) \\ &= \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \begin{pmatrix} [J_{1\mu}, J_{1\nu}] & 0 \\ 0 & [\epsilon I_{2\mu}, \epsilon I_{2\nu}] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} [J_{1\mu}, J_{1\nu}] & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} C_{1\mu,1\nu}^{1k} J_{1k} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (31) \end{aligned}$$

می توان نشان داد که به ازای  $J_{1k}$  که در آن  $k = (1, \dots, r)$  است،  $C_{ij}^k = C_{1\mu,1\nu}^{1k}$ ، این تساوی را می توان به طریق زیر نشان داد (توجه کنید که در اینجا اگر جمع بندی روی اندیسی لزوماً تا  $n$  نباشد، حد جمع بندی به طور صریح نشان داده خواهد شد، پس اگر حد جمع بندی عنوان نشود به معنی آن است که حد جمع  $n$  است.

$$\begin{aligned}
 [I_i, I_j] &= \left[ \begin{pmatrix} I_1 & 0 \\ 0 & I_{2i} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} I_1 & 0 \\ 0 & I_{2j} \end{pmatrix} \right] = \left[ \begin{pmatrix} I_{1i} & 0 \\ 0 & I_{2i} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} I_{1j} & 0 \\ 0 & I_{2j} \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} [I_{1i}, I_{1j}] & 0 \\ 0 & [I_{2i}, I_{2j}] \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^r C_{1i,1j}^{1k} I_{1k} & 0 \\ 0 & \sum_{k=1}^{n-r} C_{1i,1j}^{2k} I_{2k} \end{pmatrix} = C_{ij}^k \begin{pmatrix} I_1 & 0 \\ 0 & I_{2k} \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^r C_{ij}^k I_{1k} & 0 \\ 0 & \sum_{k=1}^{n-r} C_{ij}^k I_{2k} \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

پس:  $C_{1i,1j}^{1k} = C_{ij}^k$  که در آن  $k = (1, \dots, r)$ .

به این ترتیب، از (30) و (31) نتیجه می‌شود که:

$$\lim_{\epsilon \rightarrow 0} F([I_i, I_j]) = \left( \left[ \lim_{\epsilon \rightarrow 0} F(I_i), \lim_{\epsilon \rightarrow 0} F(I_j) \right] \right)$$

پس  $\phi(I_i) = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} F(I_i)$  همسانی از  $L$  به  $L'$  است. اکنون تابعی از  $L' \approx L$  به  $L$  تعریف می‌کنیم به صورت  $L' \rightarrow \psi(L)$  که یکسانی باشد.

$$\psi(J_{1\mu}) = \begin{pmatrix} J_{1\mu} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

واضح است که این تابع یک به یک است؛ زیرا:

$$\text{if } \psi(J_{1\mu}) = \psi(J_{1\nu}) \text{ then } \begin{pmatrix} J_{1\mu} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J_{1\nu} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow J_{1\mu} = J_{1\nu}$$

توجه به یک نکته مهم در اینجا ضروری است و آن اینکه به این معنا جبر  $L$  توسعه جبر  $L'$  استوار این ساختار باید در نظریه های متوالی حفظ شود.

## ۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله راه حل های مختلف به فرا استقرای بدینانه را (به طور اجمال) بررسی کردیم. با توجه به پاسخ های مختلف واقع‌گرایان ساختاری به نظر می‌رسد که بهترین گزینه برای دفاع از واقع‌گرایی علمی و ارائه تبیین معقول از نظریه های علمی، واقع‌گرایی ساختاری باشد. نکته مهمی که در مورد این دیدگاه وجود دارد این است که ادعای واقع‌گرایی علمی

ساختاری، خود می تواند در معرض آزمون قرار گیرد؛ به این صورت که در حوزه های مختلف علمی (مثل فیزیک، بیولوژی، شیمی و ...) نظریه های علمی بالغ و موفق متوالی را با یکدیگر قیاس کنیم و ببینیم آیا اولاً در گذار از نظریه علمی  $T_1$  به  $T_2$  ساختاری چون A باقی می ماند؟ و ثانیاً در گذار از  $T_2$  به  $T_3$  ساختاری چون B در  $T_3$  وجود خواهد داشت که A را دربرداشته باشد یا حداقل معادل آن باشد؟ در این مقاله، عمدتاً، سعی شد در مورد مکانیک نیوتنی و نسبیت خاص شرط اول این آزمون بررسی شود و معلوم شود که آیا این وضعیت برقرار است؟ دیدیم که پاسخ این پرسش مثبت است. البته استخراج روابط جزئی تر میان مکانیک نیوتنی و نسبیت خاص (چه از منظر گروه های تقارنی آنها چه به لحاظ ساختار هندسی آنها) و مقایسه بین سه نظریه متوالی مکانیک نیوتنی، نسبیت خاص و نسبیت عام مجالی بسیار بیش از این می طلبد که در مقالاتی جداگانه به آنها پرداخته خواهد شد.

## پی نوشتها

۱. که توسل کلی به استنتاج بر اساس بهترین تبیین است
۲. به عنوان مثال، ساتسی (Saatsi) در مقاله (2005) خود می گوید تا شأن استقرار بدبینانه را با یادآوری هدف اصلی این استدلال، دوباره بنا نهد تا به این طریق برنامه واقع گرایان را مبنی بر تضعیف مقدمات استدلال فرا استقرای بدبینانه موجه سازد (Saatsi, 2005).
۳. البته روشهای دیگری هم وجود دارد که بتوان از توسعه یک ساختار استفاده کرد (که به این روش نزدیک هستند) مثل روش داکوستا (Da Costa) و فرنچ (French) در استفاده از ساختارهای جزئی (partial structure) یا روشی که ردهد (Redhead) برای تعریف تغییر ساختارها بر اساس پارامتری پیوسته معرفی کرده (Redhead, 2001: 86) و اصلاحی که وتسیس (Votsis) در آن با اضافه کردن پارمترهای به طور جزئی ناپیوسته اعمال کرده است (Votsis, 2011: 105-117).
۴. در واقع به زبان نظریه گروهها یک نمایش یکانی تابعی است از گروهی چون G به مجموعه عملگرهای یکانی فضای هیلبرتی چون  $\mathcal{H}$  که به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} G &\rightarrow \mathfrak{U}(\mathcal{H}) \\ g &\mapsto U \\ h(g) &= U_g \\ h(g_1 g_2) &= U_{g_1} U_{g_2} \end{aligned}$$

۵. مرجع مطالب این بخش کتاب (Weinberg, 1996) است.

۶. باید توجه داشت که زیر ساختار می‌تواند با خود ساختار مساوی نیز باشد.
۷. مراجعه شود به کتاب (Hall, 2015: 49).
۸. در ادامه از قاعده اینشتین پیروی می‌کنیم؛ یعنی روی اندیسه‌های تکراری به جمع‌بندی صورت می‌گیرد.
۹. برای نشان دادن همسانی بودن یک شرط دیگر هم لازم است و آن اینکه نشان دهیم این تابع خطی است که ابتدا این کار را انجام دادیم.
۱۰. به معنی یکسان بودن دو مجموعه است.

## کتاب‌نامه

- Chakravartty, A. (2007) *A Metaphysics for Scientific Realism*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chakravartty, A. (2017). *Scientific Realism*,  
<https://plato.stanford.edu/entries/scientific-realism/>.
- Earman, J. (2006). The implications of general covariance for the ontology and ideology of spacetime. See Dieks (2006): 3–24.
- Esfeld, M. (2006). The controversial relationships between science and philosophy: a critical assessment, Vatican City: in Gennaro Auletta (ed.), *Libreria Editrice Vaticana*, pp. 251–275.
- French, S. and Ladyman, J., 2011. "In Defence of Ontic Structural Realism," in A. Bokulich and P. Bokulich (eds.) 2011, pp. 25–42.
- Friedman, M. (1983). *Foundations of Spacetime Theories: Relativistic Physics and Philosophy of Science*. Princeton: Princeton University Press.
- Hall, B. (2015). *Lie Groups, Lie Algebras, and Representations. An Elementary Introduction*, Dordrecht: Springer.
- Hardin, C. L. and Rosenberg, A. (1982). In defence of convergent realism. *Philosophy of Science* 49: 604–15.
- Inonu, E. and Wigner, E. P. (1953). On the Contraction of Groups and Their Representations, *Proc. Natl. Acad. Sci. (U.S.A.)* 39, 510-524.
- Kitcher, P. (1993). *Advancement of science: Science without legend, objectivity without illusions*. Oxford: Oxford University Press.
- Ladyman, J., Ross, D., et al. (2007) *Every Thing Must Go: Metaphysics Naturalized*. Oxford: Oxford University Press.
- Leplin, J. (1984). *Scientific Realism*, Berkley, Los Angeles, London: University of California Press.
- Lange, M. (2002). Baseball, pessimistic inductions and the turnover tallacy. *Analysis*, 62(4), 281-285.
- Laudan, L. (1984) 'Discussion: Realism Without the Real', *Philosophy of Science* 51: 156–62.



- Leplin, J. (1997) *A Novel Defense of Scientific Realism*, Oxford University Press, Oxford.
- Lewis, P. J. (2001). Why the pessimistic induction is a fallacy. *Synthese*, 129, 371-380.
- Mendes. R.Vilela. (1994) Deformations, stable theories and fundamental constants,I. *Phys. A. Math. Gen.* 27, 8091-8104.
- Papineau, D. (1996). Introduction. In D. Papineau (Ed.), *The philosophy of science* (pp. 1-20). Oxford: Oxford University Press.
- Psillos, S. (1996). On van Fraassen's critique of abductive reasoning. *Philosophical Quarterly*46: 31-47.
- \_\_\_\_\_ (1999) *Scientific Realism : How Science Tracks Truth*,( London and New York:Routledge).
- Putnam, H. (1975). *Mathematics, Matter and Method*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Redhead, Michael L.G. (2001), *The Intelligibility of the Universe*, in A.O'Hear (ed.) *Philosophy at the New Millennium*, Cambridge: Cambridge University Press. Stanford, P. K. (2006). *Exceeding our grasp: alternatives*. Oxford: Oxford University Press.
- Saatsi, J.T.(2005). On the Pessimistic Induction and Two Fallacies,*Philosophy of Science*, Vol. 72, No. 5: 1088-1098.
- Suarez, M., Dorato, M., Redei, M.(Eds.) (2010) *EPSA Philosophical Issues in the Sciences: Launch of the European Philosophy of Science Association*, Dordrecht: Springer, Volume 2: 197-209.
- Votsis, I. (2011) 'Structural Realism: Continuity and its Limits', in A. Bokulich and P. Bokulich (eds), *Scientific Structuralism*. Boston Studies in the Philosophy of Science. Dordrecht: Springer.
- Wray, B. (2013). Success and truth in the realism/anti-realism debate, *Synthese* ,190:1719-1729.
- Weinberg, S. (1996). *The Quantum Field Theory*, volum1, Foundations,Cambridge: Cambridge University Press.
- Worrall, J. (1982). 'Scientific Realism and Scientific Change', *Philosophical Quarterly* 32,201-231.
- Worrall, J. (1989). Structural realism: The best of both worlds. *Dialéctica*, 43(1-2), 99.