The Quarterly Journal of
PHILOSOPHICAL INVESTIGATIONS
University of Tabriz

Vol. 15/ Issue: 35/ Summer 2021

The Hole Argument, Manifold Substantivalism, and Ontic Structural Realism

Saeed Masoumi

Assistant Professor, Institute for Research in Science and Technology Studies, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: masoumisaeed@yahoo.com

Abstract

The hole argument has become one of the main issues in the philosophy of space-time after the article by Earman and Norton (1987), according to which a certain version of substantivalism (manifold substantivalism) cannot be defended because it brings about to a radical indeterminism. In this article, we try to show that, first, the naming of manifold substantivalism is not appropriate since as some philosophers have said, manifold points cannot be considered to have an independent identity. Second, with a commitment to ontic structural realism, it is possible to offer a proper understanding of manifold substantivalism, which according to the hole argument, does not lead to the radical indeterminism. As a result, the hole argument does not arise, simply. Thus, the last point is that the fact that structural realism is able to solve the problem of the hole argument can itself be seen as considerable evidence in favor of this philosophical position, and thus, the degree of its confirmation goes up.

Keywords: Substantivalism, The Hole Argument, Ontic Structural Realism, Spacetime, Relationalism

Received date: 2020.10.26
Accepted date: 2021.3.10
DOI: 10.22034/jpiut.2021.42502.2694
Journal ISSN (print): 2251-7960 ISSN (online): 2423-4419
Journal Homepage: www.philosophy.tabrizu.ac.ir

One of the important issues in contemporary space-time philosophy, in particular, and philosophy of physics, in general, is the hole argument, which is directly related to the substantivalism-relationalism debate, and have a long history. In general, the traditional definition of substantivalism and relationalism can be summarized as follows.

Substantivalism: Space is an entity existing independently of particles and material fields in the world; in other words, space cannot be reduced to material entities and the relationships between them.

Relationalism: Space is not an entity existing in the world in addition to material particles and fields; in other words, space can be reduced to material entities and the relationships between them. (There are several references in this field and there are more or less similar definitions in them; see, for example, (Pooley, 2013: 1; Huggett and Hoefer, 2015; Stachel, 2014))

With the advent of the theory of relativity and four-dimensional formulation of physical theories, in this context, instead of a theory being formulated in three-dimensional space and time being considered as a parameter, the theory is formulated in a four-dimensional space representing space-time; in this way, time also serves as one of coordinates. To be more precise, space-time is represented by a four-dimensional manifold with a Lorentzian metric. (See, for example, (Carroll, 2004))

Therefore, the definition of substantivalism and relationalism should be changed according to the new formulation of physical theories in such a way that in the above definitions "space" is superseded by "space-time."

Here, depending on the elements of space-time theories considered as those that characterize space-time or elements that characterize material fields (entities), we have different kinds of substantivalism as well as different kinds of relationalism. In the hole argument, what is actually being attacked is a kind of substantivalism that can be called "manifold substantivalism."

Accordingly, it can be said that the hole argument is an argument on the basis of which either manifold substantivalism must be accepted or a kind of radical indeterminism that leads to a kind of radical underdetermination. It should be noted that when a theory has extra mathematical structures that all of them represent the same physical situations or stats of affaires, or when it has multiple and distinct structures (meaning that from the point of view of foundations of mathematics, for example, from the point of view of set theory are distinct) that all represent the same state of affairs or physical situation, we are usually confronted with underdetermination and sometimes indeterminism, see (Rickles, 2008), in particular (Rickles, 2008: v).

Regarding to the hole argument it should be noted that, in fact, this argument was first proposed by Einstein, but Earmen and Norton, in another context, proposed a new form, which they see as a challenge to the substantivalism about space-time. Ever since Earmen and Norton proposed the hole argument, it has been one of the few

important topics in philosophy of space-time in particular and philosophy of physics in general. (See Roberts and Weatherall (2020) for more details on this, as well as a brief history of the argument)

The simple exposition of the argument can be given as follows. Consider two maps that affect manifold points; one is the identity map I under which each point transforms into itself (that is, does not change) and the other is a map such as h which is equal to the identity map in all points of the manifold except the points of the hole U in such a way that it does not change the points being outside of U. In the hole, but, it is not equal to the identity map, so it changes the points in the hole. Consider the effect of these two maps on manifold as two distributions of mass and metric fields (Norton, 2019). In this case, there are two indistinguishable and the same distributions around a point such as p outside the hole because the two maps in this region are equal, but if the points related by a diffeomorphism are regarded as the distinct points belonging to the hole, the distributions obtained from these two maps inside the hole are different. Now suppose we know the distribution of material and metric fields around a point p, outside the hole; according to general relativity, in this case, we can determine the distribution of material and metric fields around other points such as $p_1 = I\ (p)$ and $p_2 = h\ (p)$, which due to the fact that they are outside the hole we evidently have $p_1 = p_2$, there. But if we consider the inside region of the hole $I\ (p)$ and $h\ (p)$ are not equal, and since Einstein's equations are invariant under diffeomorphism transformations, knowing the distribution of material and metric fields around p, the distribution of material and metric fields in the hole would not be determined; in other words, it will not be clear whether this distribution due to I or h. Here any distribution resulting from a diffeomorphism of the kind being h will be acceptable, and if we assume that each distribution due to a diffeomorphism representing a possible world is distinct, in fact, we should be committed to the verdict that Einstein's equations predict the possible worlds for us, neither of which are superior to the other. This, clearly, means that we are confronted with a kind of radical indeterminism and radical underdetermination.

In this article, we consider the relationship between this argument and structural realism, specifically, ontic structural realism. To this end, we examine, in the second part, the relationship between relativity, substantivalism and relationalism. In the third section, we present some preliminaries needed for stating the hole argument, and in the fourth section, we present our formulation of the argument; furthermore, ontic structural realism and manifold substantivalism and our solution to accept manifold substantivalism, which is committed to ontic structural realism and does not lead to the radical indeterminism and radical underdetermination of the hole argument, are presented, and finally, in section six, the conclusions of the discussion will be stated.

References

- Carroll, S. (2004) Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity, NewYork, Addison Wesley.
- Huggett, N.; Hoefer, C. (2015) Absolute and Relational Theories of Space and Motionhttps, https://plato.stanford.edu/entries/spacetime-theories/
- Rickles, D. (2008) *Symmetry, Structure, and Spacetime*, Oxford: Elsevier.
- Roberts, B. W.; Weatherall, J. O. (2020) "New Perspectives on the Hole Argument", Foundations of Physics, 50: 217–227.
- Weatherall, J. O. (2018) "Regarding the hole argument", The British Journal for the Philosophy of Science 69 (2): 329–350.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مجله علمی *پژوهش‌های فلسفی* دانشگاه تبریز
سال ۱۵/ شماره ۳۵/ تابستان ۱۴۰۰

برهان حفره، جوهرگرایی خمینه‌ای و واقع‌گرایی وجودی

سعید معصومی
استادیار پژوهشکده مطالعات بنیادین علم و فناوری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
masoumisaeed@yahoo.com

چکیده

برهان حفره، بعد از مقاله ارمن و نورتن(1987) به یکی از مباحث اصلی در فلسفه فضا–زمان تبدیل شده است که بر اساس آن نوع خاصی از جوهرگرایی (جوهرگرایی خمینه‌ای) قابل دفاع نخواهد بود؛ زیرا، به ناموجبیت رادیکال منجر می‌شود. در این مقاله، می‌کوشیم نشان دهیم اولا، نامگذاری جوهرگرایی خمینه‌ای مناسب نیست؛ چون، همان‌طور که برخی از فلاسفه گفته‌اند، نقاط خمینه را نمی‌توان واجد این همانی مستقل دانست. ثانیا، می‌توان با تعهد واقع‌گرایی ساختاری وجودی تلقی مناسبی از جوهرگرایی خمینه‌ای ارائه کرد که بر اساس برهان حفره به ناموجبیت رادیکال منجر نمی‌شود؛ در نتیجه، برهان حفره در مورد آن کارگر نمی‌افتد.

کلیدواژه‌ها: جوهرگرایی، فضا–زمان، برهان حفره، واقع‌گرایی ساختاری وجودی، رابطه‌گرایی.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۸

۱. مقدمه

یکی از مسائل مهمی که در فلسفه فضا–زمان معاصر مطرح است مسئله برهان حفره است که در ارتباطی مستقیم با بحث جوهرگرایی(substantivalism) در برابر رابطه‌گرایی(relationalism) قرار می‌گیرد. مسئله اخیر دارای تاریخ بلندی است؛ به طور کلی، می‌توان تعریف سنتی جوهر گرایی و رابطه‌گرایی را به صورت زیر بیان کرد[۱]

جوهرگرایی: فضا هویتی است که مستقل از ذرات و میدان‌های مادی در جهان وجود دارد؛ به عبارت دیگر، فضا را نمی‌توان به هویات مادی و روابط میان آنها فروکاست.[۲]

رابطه‌گرایی: فضا هویتی نیست که علاوه بر ذرات و میدان‌های مادی در جهان وجود داشته باشد؛ به عبارت دیگر، فضا را می‌توان به هویات مادی و روابط میان آنها فروکاست.

با ظهور نظریه نسبیت و صورت‌بندی چهار بعدی نظریه‌های فیزیکی، در این سیاق، به جای آنکه نظریه در فضای سه بعدی صورت‌بندی شود و زمان به عنوان پارامتر در نظر گرفته شود، نظریه در خمینه‌ای چهار بعدی که بازنمایی کننده فضا-زمان(spacetime) است صورت‌بندی می‌شود؛ به این ترتیب، زمان نیز به عنوان یکی از مختصات چهارگانه در نظر گرفته می‌شود.[۳] بنابراین، تعریف **جوهرگرایی** و **رابطه‌گرایی** با توجه به صورت‌بندی جدید نظریه‌های فیزیکی به این صورت تغییر می‌کند که در تعاریف فوق به جای عبارت «فضا» عبارت «فضا–زمان» قرار می‌گیرد.

در اینجا، بسته به اینکه کدام یک از عناصر نظریه‌های فضا – زمانی به عنوان عنصری (یا عناصری) که مشخصه فضا – زمان است یا عنصری (یا عناصری) که مشخصه میدان‌های (هویات) مادی است در نظر گرفته شود، انواعی از جوهرگرایی، و در نتیجه، انواعی از رابطه‌گرایی خواهیم داشت. در واقع، در برهان حفره آنچه مورد حمله قرار می‌گیرد نوعی از جوهرگرایی است که آن را می‌توان «جوهرگرایی خمینه‌ای» (manifold substantivalism) نامید.

بر این اساس، می‌توان گفت که برهان حفره برهانی است که بر مبنای آن یا باید فرض جوهرگرایی خمینه‌ای را پذیرفت یا ناموجبیت رادیکالی را که خود منجر به تعین ناقص رادیکال هم می‌شود.[۴] در واقع، این برهان را ابتدا اینشتین پیشنهاد کرد(Norton, 2019) ، ولی ارمن و نورتن (۱۹۸۷)، در سیاقی دیگر، شکل جدید آن را مطرح کردند، که به نظر آنها چالشی برای جوهرگرایی[۵] نسبت به فضا–زمان است. از زمانی که ارمن و نورتن برهان حفره را طرح کرده‌اند، این برهان یکی از چند مبحث مهم فلسفه فضا–زمان به طور اخص و فلسفه فیزیک به طور اعم بوده است.[۶]

به طور ساده می‌توان برهانی را که ارمن و نورتن (۱۹۸۷) ارائه کرده‌اند به صورت زیر بیان کرد. فرض کنید که $\langle M, g_{ab} \rangle$ خمینه‌ای چهار بعدی با متریک لورنتسی باشد که بازنمایی کننده فضا–زمان نسبیتی است. همچنین فرض کنید که $\psi: M \to M$ یک دیفئومورفیسم روی M باشد (تابعی دو سویی(bijection) که خود و معکوسش هموار(smooth) هستند) که در سراسر M به جز مجموعه بازی چون U از خمینه M که

دارای بستار فشرده است.[۷] با تابع $id: M \to M$ برابر است؛ در U تابع ψ با تابع همانی متفاوت است. اکنون اگر $\langle M, h^* g_{ab} \rangle$ را فضا–زمانی در نظر بگیریم که متریک آن از اثر نگاشت پس برنده h^* روی متریک به دست آمده است، دو خمینه لورنتسی $\langle M, g_{ab} \rangle$ و $\langle M, h^* g_{ab} \rangle$ دیفئومورف خواهند بود.[۸]

در این صورت، اگر فرض جوهرگرایی خمینه‌ای را بپذیریم، یعنی فرض کنیم که نقاط خمینه دارای فردیت هستند[۹] و هر یک شان هستی‌شناختی متفاوتی با دیگری دارد، چون به ازای تابع اینهمانی، علی الاصول، بی نهایت تابع می‌توان تعریف کرد که داخل U با تابع همانی متفاوت و خارج آن مساوی تابع همانی باشد، با معلوم بودن شرایط اولیه در خارج U وضعیت بعدی در داخل U متعین نخواهد بود؛ زیرا، تمام نقاطی که با یک تابع دیفئومورفیسم به هم مربوطاند می‌توانند جواب معادلات نسبیت عام باشند، و این یعنی ما با یک ناموجبیت رادیکال مواجهیم.

در واقع، همانطور که برخی گفته‌اند[۱۰] در اینجا، به ازای هر تابع چون h عضو Diff(M) ، گروه دیفئومورفیسم‌های روی M، ما یک جهان ممکن داریم، که می‌توان آن را با $\langle M, h^* g_{ab} \rangle$ نشان داد؛ این جهان‌های ممکن تمایز مشاهده پذیر با یکدیگر ندارند[۱۱] ولی از هم متمایز هستند.[۱۲] این همان مسئله‌ای است که برهان حفره، با فرض جوهرگرایی و نظریه نسبیت (و نظریه‌هایی مانندآن) ایجاد می‌کند.

بیان ساده‌تر مطالب فوق به صورت زیر است. دو تابع را درنظر بگیرید که روی نقاط خمینه اثر می‌کنند؛ یکی تابع همانی I که تحت آن هر نقطه به خودش تبدیل می‌شود (تغییر نمی‌کند) و دیگری تابعی چون h که در تمام نقاط خمینه غیر از نقاط حفره (U) با تابع همانی برابر است، یعنی آنجا نقاط را تغییر نمی‌دهد، ولی در حفره با تابع همانی برابر نیست، بنابراین نقاط را در حفره تغییر می‌دهد. اثر این دو تابع را بر روی خمینه به مثابه دو توزیع میدان‌های جرمی و متریک در نظر بگیرید(Ibid). در این صورت، پیرامون نقطه‌ای چون p که خارج حفره قرار دارد دو توزیع غیر قابل تمایز و یکسان است؛ زیرا، دو تابع در این بخش مساوی هستند، اما اگر نقاط مرتبط با دیفئومورفیسم در حفره متمایز لحاظ شوند، داخل حفره توزیع‌های حاصل از این دو تابع متفاوت است. اکنون فرض کنید که توزیع میدان‌های مادی و متریک را پیرامون نقطه‌ای چون p می‌دانیم، به این ترتیب، بر اساس نسبیت عام، توزیع میدان‌های مادی و متریک را پیرامون نقاط دیگری چون $p_1 = I(p)$ و $p_2 = h(p)$ در خارج حفره می‌توانیم معین کنیم؛ همچنین از مفروضات مسئله می‌دانیم که $p_1 = p_2$. اما اگر داخل حفره را در نظر بگیریم $I(p)$ و $h(p)$ مساوی نیستند و چون معادله اینشتین تحت تبدیلات دیفئومورفیسم ناوارد است[۱۳]، با دانستن توزیع میدان‌های مادی و متریک پیرامون نقطه‌ای چون p توزیع میدان‌های مادی و متریک در حفره معین نخواهد بود؛ به عبارت دیگر، مشخص نخواهد بود که این توزیع مربوط به تابع I است یا تابع h. در اینجا هر توزیعی که بر اساس یک تابع دیفئومورفیسم است قابل قبول خواهد بود و اگر فرض کنیم هر توزیع بازنمایی کننده یک جهان ممکن متمایز است، عملاً معادلات اینشتین بیشمار جهان ممکن را برای ما پیش‌بینی می‌کنند که هیچ‌کدام بر دیگری ارجحیتی ندارد؛ این امر، به وضوح، به معنی ناموجبیت رادیکال و تعین ناقص رادیکال است.

در این مقاله رابطه این برهان و دیدگاه واقع‌گرایی ساختاری را مورد بررسی قرار می‌دهیم. به این منظور، ما در ادامه در بخش دوم، به رابطه نسبیت، جوهرگرایی و رابطه‌گرایی می‌پردازیم. در بخش سوم، مقدمات برهان حفره را مطرح می‌کنیم، و در بخش چهارم، صورت‌بندی خود را از برهان ارائه می‌کنیم. همچنین واقع‌گرایی ساختاری و جوهرگرایی خمینه‌ای و راه حل ما برای قبول جوهرگرایی خمینه‌ای که ملتزم به واقع‌گرایی ساختاری وجودی است و با برهان حفره منجر به بروز ناموجبیت و تعین ناقص رادیکال نمی‌شود ارائه می‌شود، و در نهایت، در بخش ششم، نتیجه گیری بحث بیان خواهد شد.

۲. نسبیت، جوهرگرایی و رابطه‌گرایی

در این بخش، رابطه بین نسبیت و جوهرگرایی و رابطه‌گرایی را به اختصار بررسی می‌کنیم. نکته مهم که در ابتدا باید به آن بپردازیم این است که بر خلاف تصور عده‌ای به هیچ وجه، نسبیت، دعوای جوهرگرایی و رابطه‌گرایی را خاتمه نداده است و نمی‌توان به نفع رابطه‌گرایی مخاصمه را پایان یافته قطعی اعلام کرد. باترفیلد (Butterfiled, 1987) سه وجه را دلیل این امر می‌داند که چرا رابطه‌گرایی در دوران جدید (یعنی با ظهور نسبیت)، حداقل در بادی امر، موجه شده است و نسبت به جوهرگرایی در اذهان برتری یافته است. اولین مورد کاربرد هندسه دیفرانسیل جدید است و ابزاری که این دستگاه ریاضی برای ما فرآهم می‌کند، علی‌الخصوص، شناخت هموستار(connection) که بر اساس آن می‌توان شتاب دار بودن حرکت را مستقل از دستگاه‌های مختصات تعریف کرد. ولی باید متذکر شویم که آنچه برای جوهرگرایی لازم است وجود مستقل فضا–زمان است نه وابسته بودن حرکت (یا شتاب) به دستگاه‌های مختصات(Ibid).

دومین مسئله نظریه نسبیت است. با اینکه هم نظریه‌های نسبیت خاص و عام و هم نظریه‌های غیر نسبیتی همچون نظریه نیوتنی را می‌توان به شکل نظریه‌های فضا–زمانی چهار بعدی خمینه‌ای صورت‌بندی کرد، یکی از تفاوت‌های اصلی نظریه نسبیت با نظریه‌های غیر نسبیتی این است که نظریه‌های نسبیتی واجد متریک لورنتسی هستند، ولی نظریه‌های غیر نسبیتی مثل نظریه نیوتنی واجد متریک نیستند. البته صورت‌بندی فضا–زمانی نظریه نیوتنی که در فضا–زمان کلاسیک صورت می‌گیرد، یعنی در فضا زمانی با ساختاری به صورت $\langle M, t_a, h^{ab}, \nabla_a \rangle$، اصطلاحاً دارای متریک زمانی t_a و متریک مکانی h^{ab} است (Malament, 2012: 249)، ولی اینها در واقع، متریک نیستند؛ یعنی، میدان تانسوری همووردای مرتبه دوم متقارنی که تبهگن(singular) نباشد و معکوس داشته باشد نیستند. این میدان‌ها تبهگن‌اند و معکوس ندارند. اما ربط این امر به تقابل جوهرگرایی و رابطه‌گرایی چیست؟

به پرسش فوق می‌توان به این طریق پاسخ داد که از طرفی، وجود متریک برای فضا–زمان منجر می‌شود به اینکه تنها یک متریک با هموستار تعریف شده روی خمینه سازگار باشد؛ یعنی، $\nabla_a g_{bc} = 0$ [۱۴] و این مسئله به معنای این است که حرکت تنها بر اساس ساختار متریک قابل توصیف است. از طرف دیگر، در فضا–زمان کلاسیک، با فرض وجود متریک زمانی t_a و متریک مکانی h^{ab} هموستارهای مختلفی با آنها سازگارند، و این

با نگرش رابطه‌گرایانه که در آن تنها حرکت را بر اساس متریک می‌توان توصیف کرد سازگار نیست (Butterfiled, 1987).

ولی نکته در این است که خود متریک را می‌توان بازنمایی کننده فضا–زمان دانست، یا خمینه واجد متریک را. به این ترتیب، این تلقی که حرکت بر اساس متریک معین می‌شود کاملا می‌تواند با جوهرگرایی (حداقل در نگاه نخست) سازگار باشد.

سومین موردی که باترفیلد به آن اشاره می‌کند وابسته به نظریه نسبیت است که در آن متریک بر اساس توزیع ماده معین می‌شود؛ یعنی، نمی‌توان آن را ظرف ثابتی در نظر گرفت. این مطلب را می‌توان این گونه توضیح داد که بر اساس معادلات میدان اینشتین، که به شکل $8\pi T_{ab} = R_{ab} - \frac{1}{2} g_{ab} R$ است، فضا–زمان با ماده برهمکنش دارند و وجود ماده یا میدان‌های مادی فضا–زمان را متاثر می‌کند. در معادله فوق، عموما تلقی چنین است که، طرف راست معادله بازنمایی کننده انحنای فضا–زمان است و طرف چپ بازنمایی کننده ماده و میدان‌های مادی است. به این ترتیب، با تغییر در سمت چپ معادله سمت راست معادله تغییر می‌کند. تغییر سمت چپ معادله فوق را می‌توان تغییر روابط میان هویات یا میدان‌های مادی درنظر گرفت؛ بنابراین، اگر مداقه کافی صورت نگیرد، این امر ممکن است به معنای صدق رابطه‌گرایی در نظر گرفته شود.

اما می‌توان طرف راست معادله فوق را بازنمایی کننده فضا–زمان دانست؛ هرچند که این فضا–زمان (که در برگیرنده فضای سه یعدی نیز هست) بازنمایی کننده ظرفی باشد که ثابت نیست و با میدان‌های مادی (یا هویات مادی) برهمکنش متقابل دارد(Ibid).

بنابراین، به نظر می‌رسد دلایل بیشتری (و موجه‌تری) برای این گزاره که «نسبیت موید رابطه‌گرایی فضا–زمانی است» مورد نیاز است. برهان حفره، حداقل در بادی امر و بالاخص در مورد یک نوع از جوهرگرایی (جوهرگرایی خمینه‌ای)، یکی از این دلایل (شاید مهم‌ترین آنها) است. در ادامه به بیان (مقدمات و صورت) این برهان می‌پردازیم.

۳. مقدمات صورت‌بندی برهان

ودرال(Weatherall, 2018) برهان حفره را «در خصوص دو آموزه متافیزیکی» می‌داند: ۱- هم‌ارزی لایب‌نیتس(Leibniz Equivalence) و ۲- ناموجبیت[۱۵](indeterminism).

در واقع، این برهان ناشی از تعارض این دو است؛ به این معنی که، اگر هم ارزی لایب نیتس را بپذیریم، ناموجبیت رادیکال (و در عین حال تعین ناقص رادیکال) رخ نخواهد داد، و اگر، به عکس، هم ارزی لایب نیتس را نپذیریم، باید ناموجبیت رادیکال (و در عین حال تعین ناقص رادیکال) را بپذیریم.

می‌توان نسخه‌های مختلفی از هم ارزی لایب نیتس ارائه داد[۱۶]. ارمن و نورتن(1987) این آموزه را اینگونه تعریف می‌کنند: «مدل‌های یکریخت وضعیت‌های فیزیکی یکسانی را بازنمایی می‌کنند.»

به نظر نگارنده این بیان، اشکالی اساسی دارد و آن هم اینکه نه تنها این گونه نیست که ساختارهای یکریخت همواره وضعیت‌های فیزیکی یکسانی را بازنمایی می‌کنند، بلکه حتی اینگونه نیست که ساختارهای اینهمان هم

همواره یک وضعیت فیزیکی را بازنمایی کنند. به عنوان مثال، می‌توان به معادله لاپلاس اشاره کرد که در حوزه‌های مختلف فیزیک در مورد وضعیت‌های فیزیکی متفاوت برقرار است، یا می‌توان از مثالی که فلچر (Fletcher, 2020) می‌آورد یاد کرد که در آن یک معادله (در مورد سیاه چاله شواترز شیلد) در مورد وضعیت‌های فیزیکی متفاوت بر قرار است. آنچه به نظر می‌رسد در مورد ساختارهای یکریخت صادق است این است که این ساختارها دارای ظرفیت بازنمایی (representational capacity) یکسان هستند (Weatherall, 2018)؛ یعنی، وضعیت‌های فیزیکی یکسانی را می‌توانند بازنمایی کنند(Ibid)[۱۷].

نکته بعدی که باید در این بخش به آن اشاره کنیم این است که، همان طور که ارمن و نورتن(1987) ذکر می‌کنند، برهان حفره در مورد نظریه‌های فضا–زمانی موضعی به کار می‌رود؛ از این رو، برای ارائه صورت‌بندی‌ای از آن باید ابتدا توضیح مختصری در مورد این نوع نظریه‌ها ارائه کنیم.

نظریه‌های فضا–زمانی ما، در واقع، دارای مدل‌هایی چون $\langle M , \Phi_1 , \ldots , \Phi_n \rangle$ هستند که در یک خمینه هموار[۱۸] صورت‌بندی می‌شوند که در همسایگی‌ای نقطه‌ای چون p خوش رفتار است (Friedman, 1983: 32-33) همچنین فرض می‌کنیم که معادلات میدان به صورت زیر است که البته اشیای این معادلات میدان‌های تانسوری است(Earman; Norton, 1987):[۱۹]

$$\Phi_k = 0 , \Phi_{k+1} = 0, \ldots , \Phi_n = 0.$$

نظریه‌های فضا– زمانی موضعی: چنانچه در مورد نظریه‌ای علاوه بر شروط فوق، شرط کامل بودن هم، که در زیر معرفی شده است، برقرار باشد، آن نظریه را یک نظریه فضا–زمانی موضعی می‌نامیم(Ibid).

۳–۱. کامل بودن یک نظریه فضا– زمانی

اگر نظریه فضا–زمانی T دارای این ویژگی باشد که اگر مدلی (یا مدل‌هایی) چون $\langle M , \Phi_1 , \ldots , \Phi_n \rangle$ داشته باشد که در شرایط $\Phi_k = 0 , \Phi_{k+1} = 0, \ldots , \Phi_n = 0$ صدق کند، آنگاه هر n+1–گانه دیگری چون $\langle M , \Theta_1 , \ldots , \Theta_n \rangle$ هم که در این شرایط صدق کند[۲۰] نیز مدلی برای آن باشد(Ibid)، در این صورت، می‌گوییم شرط کامل بودن در مورد این نظریه صادق است.

۳–۲. قضیه پیمانه‌ای

این قضیه در واقع، در مورد تمام نظریه‌هایی که واجد ویژگی هم وردایی عام جوهری (substantive covariance) هستند برقرار است، که البته نظریه نسبیت عام شاخص‌ترین نمونه آنها است. بنا بر این قضیه(Ibid) اگر نظریه فضا–زمانی T دارای مدلی چون $\langle M , \Phi_1 , \ldots , \Phi_n \rangle$ باشد که روابط (1)

$$\Phi_k = 0 , \Phi_{k+1} = 0, \ldots , \Phi_n = 0 \ (1)$$

در مورد آن صدق می‌کند، $\langle M , h^*\Phi_1 , \ldots , h^*\Phi_n \rangle$ هم مدلی است که در این روابط صدق می‌کند. یعنی،

$$h^*\Phi_k = 0 , h^*\Phi_{k+1} = 0, \ldots , h^*\Phi_n = 0 \ (2).$$

در واقع، در این نظریه‌ها، اشیای هندسی‌ای که در معادلات فوق صدق می‌کنند میدان‌های تانسوری هستند و این امر باعث می‌شود که از روابط (1) روابط (2) نتیجه شود(ibid).

٤. صورت‌بندی برهان حفره

با توجه به مطالب گفته شده، ما برهان حفره را به طریق زیر صورت‌بندی می‌کنیم.

۱) جوهرگرایی خمینه‌ای برقرار است؛

۲) نظریه T نظریه فضا–زمانی موضعی است؛

۳) قضیه پیمانه‌ای مستلزم این است که برای نظریه‌های فضا–زمانی موضعی حفره‌ای وجود داشته باشد که نقاط آن حفره تمایزناپذیر باشد، در این صورت، با وجود معلوم بودن شرایط اولیه، حالت نهایی سیستم معین نخواهد بود؛

۴) برقراری قضیه‌ای پیمانه‌ای به این معنی است که موجبیت لاپلاسی نقض می‌شود؛

۵) نتیجه: ناموجبیت رادیکال برقرار است که در نتیجه آن تعین ناقص رادیکال هم برقرار خواد بود.

این برهان را به روش‌های مختلفی می‌توان عقیم (یا تضعیف) کرد. در واقع، اگر هر یک از این مقدمات را رد (یا تضعیف) کنیم، این برهان با شکست مواجه (یا تضعیف) خواهد شد.

گزینه اول این است که جوهرگرایی خمینه‌ای را رد کنیم و با پذیرش هم ارزی لایب نیتس از تعهد به ناموجبیت رادیکال اجتناب کنیم. این، در واقع، همان گزینه‌ای است که ارمن و نورتن آن را بیان می‌کنند؛ آنها معتقدند که یا باید جوهرگرایی فضا– زمانی را نپذیریم یا به ناموجبیت رادیکال تن دهیم؛ که البته گزینه اخیر را هزینه گزافی برای یک تعهد متافیزیکی تلقی می‌کنند(Ibid).

نکته‌ای که باید به آن توجه کنیم این است که در واقع، اتخاذ موضع جوهرگرایی خمینه‌ای که منکر برقراری هم ارزی لایب نیتس است منجر به این نتیجه می‌شود؛ در صورتی که پذیرش هم ارزی لایب نیتس با انواعی از جوهرگرایی فضا–زمانی سازگار است. به عنوان مثال، فرض کنید که ما آموزه جوهرگرایی‌ای را که هوفر(Hoefer, 1996) آن را قابل دفاع‌ترین آموزه جوهرگرایی می‌نامد بپذیریم، که جوهرگرایی متریکی (metric substantivaliam) نام دارد[۲۱] این آموزه با هم ارزی لایب نیتس به نیکی سازگار است و مدافع این دیدگاه ملتزم به پذیرش ناموجبیت رادیکال نخواهد بود.

دومین گزینه این است که نظریه‌های ما نظریه‌های فضا–زمانی نباشد. در این صورت، مقدمه سوم برهان فوق نیز برقرار نخواهد بود؛ یعنی، قضیه تقارن پیمانه‌ای دیگر صادق نیست، و به این ترتیب، نتیجه برهان حفره نیز برقرار نخواهد بود. مشکل اساسی این گزینه این است که بهترین نظریه فضا–زمانی ما، یعنی نسبیت عام، نظریه فضا–زمانی موضعی است، بنابراین، این گزینه را در این مورد نمی‌توان منظور داشت و نتیجه برهان در مورد نسبیت عام صادق خواهد بود.

گزینه سوم برای نامنتج کردن برهان حفره این است که موجبیت لاپلاسی را رد کنیم. این گزینه‌ای است که برخی آن را به کار بسته‌اند(Norton, 2019)، در این صورت، می‌توان با بازتعریف موجبیت به نحوی که اگر

نظریه‌ای در گذشته یا در حال حاضر امکان معین کردن وضعیتی را نداشته است، لازم نیست که در آینده بتواند آن وضعیت را معین سازد برهان حفره را نامنتج کرد(ibid). به این ترتیب، جاشوا نورتن می‌کوشد تا نشان دهد که چگونه برهان حفره بر مفهومی که ما از موجبیت داریم استوار است «نه بر آزادی دیفئومورفیسم (diffeomorphic freedom) نسبیت عام». این گزینه‌ای است قابل تامل، که البته ما در این مقاله به آن نمی‌پردازیم، با این حال، صرفا اشاره می‌کنیم که آنچه مشکل اصلی ناشی از برهان حفره است و دلیلی علیه جوهرگرایی خمینه‌ای تلقی می‌شود موجبیت لاپلاسی است، که به قول ارمن و نورتن هزینه گزافی است؛ به عبارت دیگر، در اینجا، دو آموزه متافیزیکی (حتی اگر آنها را آموزه‌های طبیعت‌گرایانه تلقی کنیم) با هم در تعارض قرار می‌گیرد که البته یکی از آن دو، یعنی جوهرگرایی خمینه‌ای، فاقد نتایج مشاهدتی است، و به این دلیل، هزینه پذیرش آن را بالا می‌دانیم. بنابراین، از ابتدا پذیرفته‌ایم که موجبیت لاپلاسی معقولیت بالایی دارد.[۲۲]

گزینه چهارم، راهکار ودرال(2018) است. ودرال معتقد است که برهان حفره ناشی از برداشتی نادرست از ریاضیات مسئله است. وی اظهار می‌دارد که ریاضیدانان آنچه را به عنوان ملاک یکسان بودن[۲۳] لازم است در کار خود دارند و در اکثر موارد این ملاک را با یکریختی می‌توان بیان کرد. در مورد نظریه خمینه، که ریاضیاتی است که در نظریه‌های فضا–زمانی موضعی از آن استفاده می‌شود، ودرال این امر را برقرار می‌داند و می‌گوید که در این حوزه از ریاضیات یکریختی‌ها همان دیفئومورفیسم‌ها هستند؛ به عبارت دیگر، اشیای ریاضی نظریه خمینه، تحت دیفئومورفیسم‌ها یکسان هستند در این نظریه ما این اشیا را تا حد دیفئومورفیسم (به طور مشخص‌تر در خمینه‌های لورنتسی ایزومتری) تعریف می‌کنیم.

اما راه حل پنجمی هم می‌توان متصور شد که به واقع‌گرایی ساختاری وجودی مربوط است، که مسئله اصلی این مقاله است و می‌کوشیم در ادامه آن را توضیح دهیم.

۵. واقع‌گرایی ساختاری وجودی و جوهرگرایی خمینه‌ای

نخست، باید ببینیم که آیا اساسا واقع‌گرایی ساختاری وجودی با جوهرگرایی خمینه‌ای قابل جمع است یا نه.[۲۴] واقع‌گرایی ساختاری وجودی و جوهرگرایی خمینه‌ای را می‌توان، به طور کلی، به صورت زیر تعریف کرد.

واقع‌گرایی ساختاری وجودی: جهان در بنیادی‌ترین شکل خود از ساختارها تشکیل شده و آنچه نظریه‌های علمی بازنمایی می‌کنند ساختارهای جهان است.[۲۵]

جوهرگرایی خمینه‌ای: نقاط خمینه‌ای بازنمایی کننده نقاط فضا–زمان است و این نقاط دارای اینهمانی مستقل و فردیت هستند.[۲۶]

اما برای تحلیل مناسب نسبت این دو آموزه فلسفی باید کمی بیشتر در مورد آنها توضیح دهیم. در یک تقسیم‌بندی کلی دو نوع واقع‌گرایی ساختاری وجودی داریم: ۱– واقع‌گرایی ساختاری وجودی رادیکال (مهمترین افراد این نظریه فرنچ و لیدیمن هستند)،که می‌توان گفت در این دیدگاه اصالت با روابط است اشیا یا وجود ندارد یا در درجه دوم اهمیت است(French, 2010; Ladyman, 2007)؛ ۲– واقع‌گرایی ساختاری وجودی معتدل

(که از جمله می‌توان به اسفلد و لم اشاره کرد)، که در آن اشیا و روابط شان هستی‌شناختی یکسانی دارند (Esfeld; Lam, 2008). البته هر یک از این قسم‌ها خود می‌تواند نسخه‌های مختلفی داشته باشد؛ به عنوان مثال، همان طور که (Wolff, 2011) می‌گوید، نسخه واقع‌گرایی ساختاری وجودی رادیکال فرنچ حذف‌گرای کامل است (French, 2010)، در صورتی که نسخه لیدیمن شکل بسیار رقیقی از مفهوم شیء را نگه می‌دارد (Ladyman, 2007).

همچنین، لازم است تا در مورد مفهوم ساختار و شیء توضیحاتی ارایه کنیم. این کار را با بیان ریاضی ساختار انجام می‌دهیم؛ به عبارت دیگر، ساختار را با کمک گرفتن از محمل بازنمایی آن یعنی ساختار ریاضی معرفی می‌کنیم.

ساختار ریاضی یک دوتایی به شکل $\langle D, R_i\rangle_{i\in I}$ است که در آن D نشان دهنده مجموعه‌ای از اشیا (relata) و روابط میان این اشیا (relation) است. باید توجه داشت که ما در اینجا شیء را به یک مفهوم کلی به کار می‌بریم که در واقع می‌تواند شامل هویات (entities)، رویدادها (events)، روابط (relations) و حتی خود ساختارها و... شود. البته ممکن است شیء تنها نماینده طرف رابطه (nod) باشد و هیچ ویژگی دیگری نداشته باشد. R_i ها روابط هستند که روی D تعریف شده‌اند و i هم مجموعه‌ای است که آن را مجموعه اندیس می‌نامند و می‌تواند مجموعه‌ای نامتناهی نیز باشد.

به این ترتیب، ساختار متافیزیکی (فیزیکی) را با یک ساختار ریاضی بازنمایی می‌کنیم، و این امر، در بادی نظر، یعنی، متناظر با مجموعه اشیایی که در بازنمایی ریاضی وجود دارد[۲۷] اشیایی در جهان موجود است، و متناظر با روابطی که در بازنمایی ریاضی وجود دارد روابطی در جهان موجود است.[۲۸]

در مورد شیء، سه مفهوم مرتبط با هم وجود دارد (French; Redhead, 1988) که عبارت است از اینهمانی (identity)، فردیت (individuality) و تمایزناپذیری (indistinguishability). معروفترین اصلی که برای بیان این همانی به کار می‌رود اصل این همانی تمایزناپذیرها[۲۹] (Principle of the Identityof Indiscernibles) است، که اولین صورت‌بندی آن را لایب نیتس انجام داده است (Forrest, 2010)، که بر طبق آن اگر تمام ویژگی‌های شیء o و o' برابر باشد آن دو با هم اینهمان هستند. به طور صوری می‌توان این اصل را به شکل زیر بیان کرد (French; Redhead, 1988):

$$\forall A\big(\mathrm{A}(\mathrm{o}) \Leftrightarrow \mathrm{A}(\mathrm{o}')\big) \Longrightarrow \mathrm{o} = \mathrm{o}'$$

که در اینجا، A نشان دهنده صفتی (attribute) از صفات یک شیء است، و o و o' نشان دهنده دو شیء هستند. در واقع، بنابراین اصل، اگر دو فرد داشته باشیم که تمام صفات آنها یکسان باشد، آن دو در واقعیت صرفا یک شیء هستند (ibid)؛ زیرا، آنها تمایزناپذیرند. ما در اینجا به طور تلویحی تمایزناپذیری را هم تعریف کرده ایم؛ تعریف صریح آن به این صورت است که دو شیء o و o' را تمایزناپذیر می‌نامیم هرگاه تمام صفات آنها یکسان باشد.[۳۰] به این ترتیب، می‌توان فردیت را نیز تعریف کرد: چون نمی‌توان دو شیء داشت که تمام صفات

آنها، از جمله روابط فضا–زمانی آنها، یکسان باشد، معین کردن تمام صفات و ویژگی‌های یک شیء فردیت آن را معین می‌کند.

یک اشکال مهم که به این روش وارد می‌شود این است که در اینجا، یک اصل هستی شناختی(ontological) را، که بیان کننده مبنای متافیزیکی فردیت است، بر اساس یک امر معرفت شناختی، که معین کردن تمام صفات یک شیء است، استوار کرده‌ایم(French, 2019).[۳۱]

اگر این اشکال را بپذیریم به ناچار باید اینهمانی را بر اساس مفهوم جوهر(substance)، ویژگی ذاتی(intrinsic property)، اولیه بودن(primitive)، مفهوم «این بودن»(thisness) و یا مفهوم خود بودگی(haecceity) معین کنیم.

برای مفهوم جوهر، که جزو بنیادهای فلسفه ارسطویی است، دو تعریف وجود دارد(Robinson, 2018)؛ یکی مفهوم عامی که به بنیاد هر چیزی اطلاق می‌شود، که در این صورت، به عنوان مثال، انطباعات(impressions) و تصورات(ideas) هیومی را نیز شامل می‌شود، و دیگری مفهومی خاص و اولیه نسبت به یک شیء که شیء را از هر مفهوم کلی ثانویه که به آن اطلاق می‌شود متمایز می‌کند و تنها به همان شیء قابل اطلاق است.[۳۲] در اینجا، آنچه مد نظر ما است این تعریف دوم است.

اما، این بودن را می‌توان «ویژگی اینهمان بودن با یک مفرد جزئی(particular individual)» دانست (Adams, 1979). این ویژگی تنها رابطه‌ای است که شیءای با خود دارد نه با اشیای دیگر (همان). بنابرین آن را می‌توان خود–اینهمانی(self-identity) دانست.[۳۳]

خود بودگی را می‌توان به این صورت تعریف کرد که شیء A می‌تواند تمام کیفیات شیء B را داشته باشد، ولی صرفا با جایگزین کردن A با B جهان متمایز شود(Cowling, 2016).[۳۴]

در مورد ویژگی ذاتی تعاریف مختلفی وجود دارد(Marshall; Weatherson, 2018)، به عنوان مثال، هامبرستون(Humberstone, 1996) سه تلقی آن را در مقاله‌ای مفصل شرح می‌دهد: ۱- تمایز رابطه‌ای غیر رابطه‌ای، تمایز کیفی–غیر کیفی، بر اساس صورت‌بندی‌های لوئیس(Lewis, 1983 a, b) و کیم(Kim) است(1982) و تمایز میان «ویژگی به طور خالص کیفی»(purely qualitative property) و «ویژگی درونی»(purely qualitative property). در اینجا، آنچه مورد نظر می‌تواند باشد خواصی ذاتی است که فاقد هر گونه اثر خارجی باشد.

به کارگیری هیچ یک از این موارد برای فیلسوفان علم معمولا جذاب نیست؛ در واقع، در این موارد، ما به هویات یا اموری متوسل می‌شویم که هیچ گونه اثر مشاهدتی‌ای ندارند و اسناد خواصی بدون تاثیر(تجربی) است. ممکن است این پرسش مطرح شود که اگر این نگرش قابل قبولی است، ما چگونه از استدلال بهترین تبیین برای هویات مشاهده ناپذیر استفاده می‌کنیم. در پاسخ باید بگوییم که وجود هویات مشاهده ناپذیر واجد اثرات مشاهدتی است به این صورت که شما با فرض هویاتی مانند الکترون نتایجی مشاهدتی به دست می‌آورید که ناشی از خواص این هویات است هر چند خود آنها را به طور مستقیم نتوانیم مشاهده کنیم. اگرمشاهده ناپذیری چون

الکترون را با مشاهده ناپذیر دیگری تعویض کنیم، این امر موجب بروز نتایج مشاهدتی می‌شود، بنابراین وضعیت در اینجا کاملا با موارد فوق متفاوت است.

اما، همان طور که اشاره شد، یک گزینه برای جوهرگرایی این است که به جای تعهد هستی شناختی به فردیت نقاط – فضا زمان، به متریک متوسل شویم، و به این ترتیب، همچنان می‌توان از جوهرگرایی دفاع کرد. البته برخی اظهار داشته‌اند مناقشه جوهرگرایی – رابطه‌گرایی به بحثی لفظی تبدیل شده که ترجیحی (نسبت به هریک از دو طرف) دلخواهانه دارد(Rynasiewicz, 1996)، درباره همین مسئله، دوراتو(2000) می‌گوید که رینا‌سویچ می‌تواند بگوید که همین که برخی میدان متریک را بیشتر شبیه فضا–زمان می‌دانند و برخی دیگر، میدان متریک را بیشتر شبیه میدان‌های مادی می‌دانند دال بر دلخواهانه بودن انتخاب یکی از این دو است؛ بنابراین، باید راهی یافت تا این انتخاب دلخواهانه نباشد. دوراتو از این امر که نمی‌توان به نقاط فضا–زمان اینهمانی ذاتی(intrinsic identity) نسبت داد (یعنی صرفا اینهمانی رابطه‌ای می‌توان به آنها نسبت داد)، بهره می‌برد و با توجه به شعار معروف کواین (که می‌گوید «بدون اینهمانی هویتی وجود ندارد») نتیجه می‌گیرد که نقطه فضا–زمانی را نمی‌توان به عنوان هویت(entity) تلقی کرد(Dorato, 2000). وی دلیل دیگری نیز برای اهمیت متریک در اینجا ذکر می‌کند و آن هم اینکه توپولوژی فضا–زمان را متریک معین می‌کند (ibid).

ولی، در اینجا همچنان مشکل دلخواهانه بودن اسناد شأن مادی یا شأن فضا – زمانی به متریک پا برجا است. در واقع، دوراتو به وجود ابهام در نوع هستی متریک اذعان دارد و اسناد متریک به هر یک از دو طرف را پذیرفتنی نمی‌داند و راه سومی در این میان معرفی می‌کند که همان واقع‌گرایی فضا–زمانی ساختاری (structural spacetime realism) است. دوراتو آن را ترکیبی(synthesis) از جوهرگرایی و رابطه‌گرایی می‌داند؛ زیرا، در عین حالی که از ویژگی رابطه‌گرایانه فضا–زمان (یا فضا و زمان) دفاع می‌کند از وجود واقعی و مستقل از ذهن ساختارهای هندسی فضا–زمان هم دفاع می‌کند(ibid). دوراتو موضع خود را با بیانی از استین (Stein, 1989) توضیح می‌دهد که معتقد است مناقشه میان جوهرگرایی و رابطه‌گرایی شبیه مناقشه میان واقع گرایی و ضد واقع‌گرایی در مورد نظریه‌های فضا–زمانی است. در واقع‌گرایی، که شبیه جوهرگرایی است، در مورد نظریه‌های فضا–زمانی باور بر این است که ساختارهای هندسی وجودی مستقل[۳۵] دارند؛ در حالی که، در ضد واقع‌گرایی، در این سیاق، باور بر این است که رویدادهای جهان، که در واقع می‌توان آنها را نماینده میدان‌ها یا هویات مادی دانست، ساختارهای هندسی را به طور واقعی نمایش نمی‌دهند، که شبیه رابطه‌گرایی است (Dorato, 2000). دوراتو به این دیدگاه نقدی وارد می‌کند مبنی بر سه تلقی از «وجود مستقل داشتن». تلقی اول، وجود مستقل از ذهن داشتن است؛ تلقی دوم، قبول وجود افلاطونی ساختارهای ریاضی است؛ و نهایتا، تلقی سوم، وجود قوانین طبیعی است که بخشی از آنها بر «حالات امور فیزیکی»[۳۶] ابتنا(supervenience) ندارد. بر این مبنا، وی دو مورد اول و سوم را می‌پذیرد و واقع‌گرایی فضا–زمانی ساختاری خود را بر این اساس تعریف می‌کند.

توجه کنید که این رویکرد با رد جوهرگرایی خمینه‌ای و پذیرش «واقع‌گرایی ساختاریی فضا-زمانی» برهان حفره را پاسخ می‌دهد. در ادامه گزینه جایگزینی را معرفی می‌کنیم که می‌توان بر اساس آن از جوهرگرایی دفاع کرد بدون نیاز به راه حل سوم دوراتو.

راه حل جایگزین

در این قسمت، ما نشان می‌دهیم که می‌توان واقع‌گرایی ساختاری‌ای داشت که در عین حال، جوهرگرایی خمینه ای هم باشد. نکته‌ای که باید بر آن تاکید کنیم این است که اینکه می‌توانیم چنین گزینه‌ای داشته باشیم به خودی خود تاییدی بر این دیدگاه نیست، اما نکته این استدلال در این است که این دیدگاه مشکلی با برهان حفره ندارد و به این جهت نظریه قابل اعتنایی است. البته برای باور داشتن به آن باید مویداتی مستقل هم داشته باشیم که البته ما در اینجا به آن نمی‌پردازیم (صرفاً در پایان اشارای بسیار موجز به آن خواهیم داشت).

همان طور که در مورد راه حل ودرال گفتیم نظریه خمینه و ساختارهای آن، در واقع، تنها تا حد یکریختی (که در اینجا همان دیفئومورفیسم‌ها هستند) قابل طرح است و هر آنچه بیش از این است مربوط به ویژگی‌های نظریه مجموعه‌ای است که ویژگی نظریه خمینه نیست. بنابراین، اصولا در نظریه خمینه، نقاط، تمایزی به این معنی ندارند که از یکدیگر کاملا مستقل باشند و اینهمانی مستقل داشته باشند. نقاط، در خمینه تا روابط یکریختی قابل تمایزند، پس از ابتدا واجد اینهمانی مستقل نیستند، که منجر به فردیت آنها بشود، در حالی که در اشیا چنین است. بنابراین، حتی نام گذاری جوهرگرایی خمینه‌ای، بر این اساس، فرضی نامناسب و بنا به تعبیری نادرست است.[۳۷]

برای روشن شدن بحث دو مثال از نظریه گروه‌ها و نظریه فضای برداری بیان می‌کنیم. دو ساختار $\mathcal{A} = \langle \mathbb{Q} - \{0\},\ \times, 1\rangle$ و $\mathcal{B} = \langle \mathbb{Q} \times \mathbb{Q}/\sim - \{[(a,0)]\},\ \circ, [\,(1,1)]\rangle$، که $a \in \mathbb{Z}$، را در نظر بگیرید، که در اولی $\mathbb{Q}$ مجموعه اعداد گویا است، عمل $\times$ همان عمل ضرب معمولی اعداد حقیقی است و 1 هم عنصر خنثی نسبت به عمل ضرب است. به راحتی می‌توان ملاحظه کرد که این ساختار تحت این عمل ضرب تشکیل یک گروه می‌دهد؛ در دومی $\mathbb{Q} \times \mathbb{Q}$ حاصل ضرب دکارتی مجموعه اعداد گویا در خود است، و $\mathbb{Q}/\sim$ مجموعه تمام رده‌های هم ارزی‌ای است که رابطه هم ارزی آن به صورت زیر است:

$$(a,b)\sim(c,d) \leftrightarrow \frac{a}{b} = \frac{c}{d}،$$

و همین طور عمل $\circ$ به صورت زیر تعریف می‌شود

$$[(a,b)] \circ [(c,d)] = [(ac,bd)]،$$

به راحتی ملاحظه می‌شود که این ساختار نیز تحت این عمل و با عنصر خنثای $[\,(1,1)\,]$ تشکیل یک گروه می‌دهد. اما نکته مورد نظر ما در اینجا این است که به لحاظ نظریه گروه‌ها، این دو، ساختارهای کاملا یکسانی هستند و هیچ تمایزی ندارند. دلیل این مطلب این است که این دو ساختار یکریخت هستند (یکریخت به معنای نظریه گروهی آن). در واقع، تابع h که به صورت زیر تعریف می‌شود این امر را ثابت می‌کند.

$$\mathrm{h}: \mathbb{Q} \times \mathbb{Q}/\sim \ \rightarrow \ \mathbb{Q}$$

$$[(a,b)] \mapsto \frac{a}{b}$$

نکته مهم در اینجا این است که وقتی دو گروه یکریخت هستند، از دیدگاه نظریه گروه هیچ تمایزی ندارند؛[۳۸] بنابراین، این دو ساختار به لحاظ نظریه گروهی تمایز ناپذیرند.

مثال بعدی مربوط به فضای برداری است. می‌دانیم که مجموعه همه n–تایی‌هایی از اعداد حقیقی به شکل $(x_1, \dots, x_n)$ تحت عمل جمع معمولی n –تایی‌ها و ضرب در اعداد حقیقی تشکیل یک فضای برداری می‌دهند. نکته مهم در اینجا این است که این n–تایی‌ها در هر پایه‌ای از فضای برداری مقادیر متفاوتی دارند، ولی در عین حال، تماما نماینده یک امر ریاضی به لحاظ فضای برداری هستند؛ یعنی، همه این n –تایی‌ها شیءای ریاضی به نام بردار را نشان می‌دهند، هر چند به لحاظ نظریه مجموعه‌ها اینها اشیای ریاضی متفاوتی هستند. بنابراین، اینکه برداری چون x را با $(x_1, \dots, x_n)$ یا با $(x'_1, \dots, x'_n)$ نشان دهیم در شأنی که این بردار به لحاظ نظریه فضای برداری دارد کوچکترین تفاوتی ایجاد نمی‌شود.

با توجه مطالب فوق، به عنوان مثال، اگر بنا به فرض، ساز و کار جهان ممکنی صرفاً مطابق با نظریه گروه‌هایی باشد که فوقا به آن اشاره کردیم، ما با عدم تعینی مواجه هستیم؛ زیرا، نقاط جهان را، کاملاً به طور معادل، می‌توانیم هم با $\frac{a}{b}$ها نشان دهیم و هم با $[(a,b)]$ ها. در اینجا، هیچ راهی برای مشخص کردن درستی یکی از این دو وجود ندارد؛ زیرا، اساسا اینکه بین اینها تمایز قائل شویم نادرست است؛ این دو هیچ تمایزی (از نظر دیدگاه نظریه گروهی) ندارند و نمی‌توان آنها را مستقل از هم در نظر گرفت، بلکه می‌توان ساختاری را در نظر گرفت که در آن ساختار، این دو با هم در رابطه یکریختی قرار می‌گیرند و واقعیت موجود در جهان را به عنوان یک ساختار بازنمایی می‌کنند. در این حالت، اصالت با ساختار است و فرض وجود مابه‌ازایی برای $\frac{a}{b}$ و $[(a,b)]$، اگر اصولا به وجود آنها باوری وجود داشته باشد، به لحاظ متافیزیکی مبتنی است بر ساختار؛ یعنی، این دو اینهمانی مستقل ندارند.

این مطلب دقیقا در مورد خمینه هم برقرار است و اصولا اصالت دادن به نقاط خمینه بر اساس نظریه خمینه‌ها نادرست و ناموجه است؛ بنابراین، حتی می‌توان جوهرگرایی خمینه‌ای هم داشت (به این معنی که خمینه دستگاهی ریاضی است که در آن نقاطی که با دیفئومورفیسم به هم مربوط می‌شوند از نظر نظریه خمینه تمایزی ندارند)؛ یعنی، آنچه اهمیت دارد ساختار ریاضی خمینه است که جهان را بازنمایی می‌کند. در این تلقی، با نگاه واقع‌گرای ساختاری هستی‌شناختی می‌توان نقاط خمینه را که با تبدیل دیفئومورفیسم به هم مربوط می‌شوند تمایزناپذیر دانست و کل این ساختار را بازنمایی کننده جهان دانست به این معنی که نقاط اینهمانی مستقل ندارند، بلکه ساختار است که اصالت دارد و در این ساختار، نقاط خمینه بر اساس روابط دیفئومورفیک تعین می‌یابند که خود در ساختار هندسه دیفرانسیلی محقق می‌شود؛ به عبارت دیگر، اصالت با ساختار است. به این ترتیب، برهان حفره مشکلی برای تلقی ساختاری از جهان ایجاد نمی‌کند. در این نگاه، نقاط فضا–زمانی بازنمایی کننده حالات امور ویژه متمایز نیستند، بلکه کل نقاطی که با یک دیفئومورفیسم خاص به هم مربوط می‌شوند حالتی از امور را نشان می‌دهد که نشان از این دارد که جهان در بنیادی‌ترین بخش خود ساختاری است و نمی‌توان آن را به اجزای این ساختارها (نقاط متمایز و روابط دیفئومورفیک و ...) تحویل کرد.

اما ممکن است این پرسش مطرح شود که تمایز این راه حل با جوهرگرایی متریکی چیست. تمایز در این است که در اینجا تمام نقاطی که با تابع دیفئومورفیسم به هم مربوط می‌شوند ساختاری ریاضی تشکیل می‌دهند که بازنمایی کننده ساختاری در جهان است که اهمیت هستی‌شناختی بنیادی دارد و در واقع آنچه که بازنمایی کننده فضا–زمان به عنوان جوهری مستقل است این ساختار ریاضی است؛ به علاوه، باید تاکید کنیم که این مجموعه از نقاط را نمی‌توان مجزا از یکدیگر درنظر گرفت، در حالی که در جوهرگرایی متریکی میدان متریک است که بازنمایی کننده فضا–زمان به عنوان جوهر مستقل از ماده (میدان‌های مادی) است.

٦. نتیجه‌گیری

بنا بر آنچه گفته شد مشخص است که تلقی خمینه به عنوان مجموعه‌ای از نقاط که بازنمایی کننده فضا–زمان است و در آن هر نقطه از نقاط فضا–زمان که با نقاط خمینه بازنمایی می‌شود قابلیت اسناد اینهمانی مستقل دارد(دیدگاهی که اصطلاحا آن را جوهرگرایی خمینه‌ای نامیده‌اند، بر اساس برهان حفره) ما را با ناموجبیت رادیکال و در عین حال تعین ناقص رادیکال مواجه می‌کند.

اما، همچنین، گفته شد که، همان طور که ودرال تاکید می‌کند، بر اساس دیدگاه معمول در ریاضیات تلقی خمینه به این صورت اساسا نامناسب و به معنایی نادرست است. به این ترتیب، به نظر نگارنده نام گذاری جوهرگرایی خمینه‌ای برای این دیدگاه نیز نام گذاری مناسب و درستی به نظر نمی‌رسد و با تلقی واقع‌گرایی ساختاری وجودی می‌توان به جوهرگرایی خمینه‌ای، به معنایی که گفتیم، باور داشت بدون اینکه برهان حفره برای آن مشکل ناموجبیت و تعین ناقص رادیکال به وجود آورد.

نکته بعدی این است که پیشنهاد ما در اینجا، کاملا متمایز از پیشنهاد ودرال است. ودرال در واقع، یک دیدگاه روش شناختی مبتنی بر تلقی ریاضی‌دانان از یکسان بودن اشیای (ساختارهای) ریاضی ارائه می‌کند؛ در حالی که، پیشنهاد ما یک موضع متافیزیکی است در مورد موجودات توصیف شده در نظریه‌های فضا–زمانی که در واقع آنها را ساختارهایی در نظر می‌گیرد که اعضای آن ساختار واجد اینهمانی مستقل نیستند، و آنچه به لحاظ متافیزیکی اولویت و اصالت دارد ساختارها هستند نه اشیا. به این ترتیب، می‌توان موضع ودرال را رد کرد در عین حال مدافع موضع واقع‌گرایی ساختاری وجودی بود و برهان حفره را به این ترتیب عقیم کرد و برعکس.

مزیت مهم دیگری که این پیشنهاد دارد این است که در مواجهه با رای ودرال درباره برهان حفره ممکن است کسی بگوید که با اینکه ودرال بر حق است وقتی می‌گوید که از نگاه پرکتیس ریاضی مدل‌هایی که با یک دیفئومورفیسم به هم مربوط هستند یکسان تلقی می‌شوند، از دیدگاه مبانی ریاضی هنوز نشان داده نشده است که مدل‌های دیفئومورف اینهمان هستند و توجیهی مبانی ریاضیاتی ندارد. در پیشنهادی که در اینجا مطرح شده است تمام نقاط مرتبط با دیفئومورفیسم به عنوان ساختاری ریاضی در نظر گرفته شده است که بازنمایی کننده ساختار متناظر در جهان است، در واقع نیازی به این همان کردن مدل‌ها وجود ندارد؛ به عبارت دیگر، با بیانی غیر دقیق می‌توان گفت کل مدل‌های دیفئومورف در ساختار مشارکت دارند و یک کل واحد را تشکیل می‌دهند. بنابراین، نیازی به توجیه مبانی ریاضیاتی مستقل برای اینهمان بودن آنها نیست.

نکته آخر هم این است که اینکه واقع‌گرایی ساختاری قادر است تا مسئله برهان حفره را منحل کند، خود، می‌تواند به عنوان دلیل و شاهدی له این آموزه فلسفی تلقی شود، و به این ترتیب، درجه تایید آن بالاتر می‌رود. استدلالی برای این امر را می‌توان بر اساس اصل بستار طبیعت‌گرایانه(Principle of Naturalistic Closure) در متافیزیک علم بیان کرد؛ اصلی که راس و همکاران(Ross, Ladyman; Spurrett, 2007: 37-38) آن را به صورت زیر ارائه کرده‌اند. هر آموزه متافیزیکی[۳۹] تنها هنگامی پذیرفته می‌شود که تبیین ارائه شده با این اصل به همراه دو یا چند فرضیه علمی بیش از جمع تک تک این فرضیه‌ها باشد؛ به علاوه، یکی از این فرضیه‌ها باید متعلق به فیزیک بنیادی باشد.

بنابراین، این آموزه متافیزیکی را می‌توان پذیرفت چون تبیین بهتری از فرآیندها در نسبیت عام ارائه می‌دهد؛ زیرا، از ناموجبیت رادیکال که تعین ناقص رادیکال را نیز به همراه دارد جلوگیری می‌کند به علاوه اینکه واقع‌گرایی ساختاری وجودی همان طور که گفته شد در مکانیک کوانتومی تبیین بهتری از مسئله فردیت می‌دهد.

پی‌نوشت‌ها

۱) منابع متعددی در این زمینه وجود دارد و تعاریف کم و بیش مشابهی در آنها وجود دارد؛ به عنوان مثال، به (Pooley, 2013: 1) و (Huggett and Hoefer, 2015) و(Stachel, 2014) مراجعه کنید.

۲) پیش از ورود به بحث، متذکر می‌شویم که در اینجا ما هویت را به معنی عامی در نظر می‌گیریم که هر آنچه را که وجود دارد در بر می‌گیرد.

۳) به بیان دقیق‌تر، فضا–زمان با یک خمینه چهار بعدی با متریک لورنتسی باز نمایی می‌شود. برای مثال، به (Carroll, 2004) مراجعه کنید.

۴) اصولا وقتی نظریه‌ای ساختارهای ریاضی اضافی‌ای دارد که وضعیت‌های فیزیکی مختلف یا حالت‌های مختلفی از امور را در جهان نمی‌تواند از هم باز شناسی کند یا اینکه ساختارهای متعدد و متمایزی دارد (به این معنی که از نگاه مبانی ریاضیات، مثلا از نگاه نظریه مجموعه‌ها، متمایز هستند) که همگی یک وضعیت فیزیکی را بازنمایی می‌کنند، ما با تعین ناقص و گاهی اوقات با مسئله ناموجبیت مواجهیم، مراجعه کنید به(Rickles, 2008)، به طور ویژه به(Rickles, 2008: v).

۵) در واقع، همان طور که در ادامه مشخص خواهد شد، آنچه مورد حمله ارمن و نورتن قرار گرفته است نوع خاصی از جوهرگرایی است، که می‌توان آن را جوهرگرایی خمینه‌ای نامید.

۶) برای ملاحظه توضیحاتی در این مورد و همین طور تاریخ مختصری از برهان به(Roberts and Weatherall, 2020) مراجعه کنید.

۷) مجموعه A باز است اگر عضو توپولوژی‌ای باشد که از زیر مجموعه‌های مجموعه مرجع M تشکیل شده است. اگر M مجموعه مرجع باشد، مجموعه A بسته است هرگاه تفاضل A از M باز باشد. مجموعه بستار مجموعه A برابر است با اشتراک تمام مجموعه‌های بسته‌ای که حاوی A است. مجموعه A فشرده است هرگاه هر اجتماع از مجموعه های باز که حاوی A دارای زیرمجموعه‌ای باشد که از اجتماع تعداد متناهی از مجموعه‌های باز تشکیل شده که A زیر مجموعه آن باشد (Munkres, 1975).

۸) باید تاکید کنیم که در نظریه خمینه مفهوم یکریختی با مفهوم دیفئومورفیسم بیان می‌شود؛ به عنوان مثال، به (O'Nill, 1983, p. 5; Lee, 2003: 36; Weatherall, 2018) مراجعه کنید.

۹) یا همان طور که دوراتو(2000) می‌گوید این دیدگاه که نقاط فضا–زمان «این همانی اولیه» دارند به این امر می‌انجامد. به دلیل اینکه این فرض منجر به برهان حفره می‌شود بسیاری از فلاسفه فیزیک این را که نقاط فضا–زمان واجد «فردیت مستقل از متریک» هستند نمی‌پذیرند مراجعه کنید به (Stachel, 1993; Brighouse, 1994; Hoefer, 1996; Dorato, 2000) همچنین به(Esfeld and Lam, 2008).

۱۰) به عنوان مثال، به(Hoefer, 1996) مراجعه کنید.

[۱۱] باید تاکید کنیم که این نتیجه گیری بنا بر این فرض است که ساختارهای (مدل‌های) یکریخت با یکدیگر این همان نیستند یا اینکه بازنمایی کننده یک وضعیت فیزیکی(physical situation) نیستند؛ در ادامه در این مورد بیشتر توضیح داده خواهد شد.

[۱۲] واکنش‌های مختلفی نسبت به برهان حفره ارمن و نورتن ایجاد شده است. برخی مانند باترفیلد(Butterfiled, 1989) به نوعی جوهرگرایی باور دارند که جوهرگرایی خمینه‌ای نیست؛ برخی آن را ناشی از نوعی برداشت نادرست از ریاضیات دانسته‌اند(Weatherall, 2018). در ادامه بیشتر در این مورد بحث خواهد شد.

[۱۳] یعنی از برقراری معادلات اینشتین در مورد خمینه‌ای که تحت تابع I قرار گرفته می‌توان معادلات اینشتین را در مورد خمینه‌ای که تحت تابع h قرار گرفته به دست آورد و برعکس.

[۱۴] قضیه ۱،۹،۱ از ملمنت(2012) را ببینید.

[۱۵] البته گونه معینی از آن.

[۱۶] به عنوان مثال به (Robert, 2020)، مراجعه کنید.

[۱۷] منظور از ظرفیت بازنمایی مجموعه تمام وضعیت‌های فیزیکی‌ای است که یک ساختار ریاضی قادر است آنها را بازنمایی کند.

[۱۸] تابع $F: U \subset \mathbb{R}^m \to \mathbb{R}^n$ را هموار می‌گویند هرگاه تمام مشتقات جزئی آن تا هر مرتبه‌ای موجود بوده و پیوسته باشد. در این صورت، تابعی چون $f: M \to \mathbb{R}$ را، که در یک خمینه تعریف شده، هموار می‌گوییم هرگاه $f \circ \psi^{-1}: \psi(U) \subset \mathbb{R}^m \to \mathbb{R}$ هموار باشد. برای بحث دقیق درمورد خمینه و توابع هموار به (Lee, 2003) مراجعه کنید

[۱۹] همچنین مراجعه کنید به (معصومی، ۱۳۹۷).

[۲۰] یعنی اگر این روابط برقرار باشد: $\Theta_k = 0 , \Theta_{k+1} = 0, \dots, \Theta_n = 0$.

[۲۱] به طور تقریبی می‌توان گفت در اینجا به جای آنکه خمینه را متناظر با وجود مستقل از ماده فضا–زمان بدانیم میدان متریک را متناظر فضا–زمان مستقل از ماده درنظر می‌گیریم.

[۲۲] قبول معقولیت بالای آموزه متافیزیکی موجبیت به این معنی نیست که این آموزه فاقد حمایت تجربی بالا است، به عکس می‌توان توضیح داد که این حمایت وجود دارد، که البته موضوع جداگانه‌ای است و مسئله مقاله حاضر نیست.

[۲۳] توجه به این نکته جالب است که ودرال از لفظ (sameness for mathematical objects) استفاده می‌کند؛ به عبارت دیگر، لفظ identity را به کار نمی‌برد.

[۲۴] در اینجا، باید تاکید کنیم که از طرفی، یکی از انگیزه‌هایی که موجب شد فرنچ و لیدیمن واقع‌گرایی ساختاری هستی شناختی را اتخاذ کنند بحث این همانی و فردیت نقاط فضا–زمانی (البته به همراه این همانی و فردیت ذرات کوانتومی) است(Ladyman, 2014)، و از طرف دیگر، حداقل در بادی نظر، در جوهرگرایی خمینه‌ای باور به وجود نقاط فردی فضا–زمانی است، بنابراین باید روشن کنیم که منظور از نقاط فردی فضا–زمانی چیست.

[۲۵] مراجعه کنید به(French, 2014; Ladyman, 2014).

[۲۶] مراجعه کنید به(Earman, 1989).

[۲۷] همان طور که ملاحظه خواهیم کرد، موضع رادیکال فرنچ این است که تنها روابط وجود دارد و نه اشیا.

[۲۸] برای بحث بیشتر مراجعه کنید به(French, 2014; Bueno and French, 2018).

[۲۹] که به اختصار آن را با (PII) نشان می‌دهند.

[۳۰] به اقتفای فرنچ و کراس(2006: 9) الفاظ indiscernibility و indistinguishability را به طور معادل به کار می‌بریم.

[۳۱] در واقع، همان طور که فرنچ می‌گوید، تمایزناپذیری و فردیت مفهوما متمایزند؛ مثالی که او می‌آورد این است که می‌توان جهانی تصور کرد که در آن تنها یک شیء موجود باشد؛ به این ترتیب، در این جهان، سخن گفتن از تمایزناپذیری بی معنی است، ولی کماکان می‌توان از فردیت سخن گفت.

[۳۲] به(Robinson, 2018) مراجعه کنید.

[۳۳] همچنین به(French, 2019) مراجعه کنید.

[۳۴] این مفهوم، در واقع، مفهومی وجهی است؛ به عنوان مثال، تعریفی از آن را می‌توان بر طبق ضد خود بودگی به صورت زیر بیان کرد. ضد خود بودگی موضعی است که بر اساس آن «ضرورتا جهان نمی‌تواند به طور غیرکیفی متفاوت شود بدون اینکه به طور کیفی متفاوت شود»(Cowling, 2016)، و خودبودگی رد این دیدگاه است.

[۳۵] در اینجا، منظور از مستقل، مستقل از میدان‌ها یا هویات مادی است.

[۳۶] بهتر بود که دوراتو در اینجا از میدان‌های مادی و هویات مادی استفاده می‌کرد؛ زیرا، حالات اموری فیزیکی را می‌توان صرفا حالات امور مربوط به فضا–زمان نیز تصور کرد.

[۳۷] نگارنده جایی دیگر به این مطلب بیش از این پرداخته است(Masoumi, manuscript). همچنین توجه به این نکته لازم است که مثال های ما در اینجا مقصودی غیر از مثال های ودرال (2018) دارد.

[۳۸] در واقع، این همان معنایی است که هرشتاین(Herstein, 1975: 58)، می‌گوید که دو گروه یکریخت به آن معنا معادل هستند و عناصرشان صرفا در نام گذاری با یکدیگر متفاوت هستند.

[۳۹] نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این است که نگارنده این اصل را تنها در متافیزیک علم درنظر گرفته است حتی اگر راس و همکاران آن را برای متافیزیک به معنای عام لحاظ کرده باشند.

References

- Adams, R. (1979) "Primitive Thisness and Primitive Identity", *Journal of Philosophy*, Vol. 76: 5–26.
- Brighouse, C. (1994) "Spacetime and Holes", *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 117–25.
- Butterfield, J. (1987) "Substantivalism and Determinism", *International Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 2(1): 10-32.
- Butterfield, J. (1989) "The Hole Truth", *British Journal for Philosophy of Science*, Vol. 40: 1–28.
- Carroll, S. (2004) *Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity*, NewYork, Addison Wesley.
- Cowling, S. (2016) "Haecceitism", https://plato.stanford.edu/entries/haecceitism.
- Dorato, M. (2000) "Substantivalism, Relatioism, and Structurtal Spacetime Realism", *Foundations of Physics*, Vol. 30 (10): 1605–1628.
- Earman, J. (1989) *World Enough and Space-Time: Absolute versus Relational Theories of Space and Time*, Cambridge, MA, MIT Press.
- Earman, J.; Norton, J. (1987) "What price spacetime substantivalism? The hole story", *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 38: 515–525.
- Esfeld, M.; Lam, V. (2008) "Moderate structural realism about space-time", *Synthese,* Vol. 160: 27–46.
- Fletcher, S. (2020) "On representational capacities, with an application to general relativity", *Foundations of Physics*, Vol. 50: 228–249.
- Forrest (2010*)* "The Identity of Indiscernibles", https://plato.stanford.edu/entries/identity-indiscernible.
- French, S. (2010) "The Interdependence of Structure, Objects and Dependence", *Synthese*, Vol. 175: 89–109.
- French, S. (2014) *The Structure of the World Metaphysics and Representation*, Oxford, Oxford university press.
- French, S. (2019) "Identity and Individuality in Quantum Theory", https://plato.stanford.edu/entries/qt-idind.
- French, S.; Krause, D. (2006) *Identity in Physics*, Oxford, Oxford University Press.
- French, S.; Redhead, M. (1988) "Quantum Physics and the Identity of Indiscernibles", *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 39 (2): 233-246.

- Friedman, M. (1983) *Foundations of Space-Time Theories*, Princeton: Princeton University Press.
- Herstein (1975) *TOPICS IN ALGEBRA*, New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Hoefer, C. (1996) "The Metaphysics of Space-Time Substantivalism", *The Journal of Philosophy*, Vol. 93(1): 5-27.
- Hoefer, C. (2016) *Causal Determinism*, https://plato.stanford.edu/entries/determinism -causal.
- Huggett, N.; Hoefer, C. (2015) "Absolute and Relational Theories of Space and Motionhttps", https://plato.stanford.edu/entries/spacetime-theories
- Humberstone, I. (1996) "Intrinsic/extrinsic", *Synthese*, Vol. 108: 205–267.
- Kim, J. (1982) "Psychophysical Supervenience", *Philosophical Studies*, Vol. 41: 51-70.
- Ladyman, J. (2007) "On the Identity and Diversity of Objects in a Structure", *Proceedings of the Aristotelian Society Supplementary Volume*, LXXXI: 23–43.
- Ladyman, J. (2014) "Structural Realism", https://plato.stanford.edu/entries/structural-realism.
- Lee, J. M. (2003) *Introduction to Smooth Manifolds*, New York, Springer.
- Lewis, D. (1983a) "Extrinsic Properties", *Philosophical Studies,* Vol. 44, 197-200.
- Lewis, D. (1983b) "New Work for a Theory of Universals", *Australasian Journal of Philosophy,* Vol. 61: 343-77.
- Malament, D. (2012) Topics in the Foundations of General Relativity and Newtonian Gravitation Theory, Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Marshall, D.; Weatherson, B. (2018). "Intrinsic vs. Extrinsic Properties", https://plato.stanford.edu/entries/intrinsic-extrinsic.
- Masoumi, S. (2018) "General covariance, Friedman and Earman's viewpoints", *Philosophy of Science*, Vol. 8, Number, Vol. 16: 107-137.
- Masoumi, S. (2020) "Another Look at Substantivalism," manuscript.
- Munkres, J. R. (1975) *Topology, A First Course,* Prentice-Hall.
- Norton, J. D. (2019) "The Hole Argument", https://plato.stanford.edu/entries/spacetime-holearg/
- Norton, J. (2020) "The Hole Argument against Everything", *Foundations of Physics*, Vol. 50: 360–378.
- O'Neill, B. (1983) *Semi-Riemannian Geometry, with Applications to Relativity*, San Diego, CA: Academic Press.
- Pooley, O. (2013) *Substantivalist and Relationalist Approaches to Spacetime*, in Batterman, R. (ed.), The Oxford Handbook of Philosophy of Physics, Oxford: Oxford University Press.
- Rickles, D. (2008) *Symmetry, Structure, and Spacetime*, Oxford: Elsevier.
- Roberts, B. W. (2020) "Regarding Leibniz Equivalence", *Foundations of Physics*,Vol. 50: 250–269.
- Roberts, B. W.; Weatherall, J. O. (2020) "New Perspectives on the Hole Argument", *Foundations of Physics*, Vol. 50: 217–227.
- Robinson, (2018) "*Substance*", https://plato.stanford.edu/entries/substance.
- Ross, D., et al. (2007) "In Defence of Scientism", *Every Thing Must Go: Metaphysics Naturalized*, Oxford: Oxford University Press.

- Rynasiewicz, R. (1996) "Absolute versus relational space-time: An outmoded debate?" *J. Phil.* Vol. 43(1): 279-306.
- Stachel, J. (1993) "The Meaning of General Covariance", in J. Earman, A. I. Janis, G. J. Massey and N. Rescher (eds.), *Philosophical Problems of the Internal and External Worlds: Essays on the Philosophy of Adolf Gru¨nbaum*, Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press: 129–60.
- Stachel, J. (2014) "The Hole Argument and Some Physical and Philosophical Implications", *Living Rev. Relativity,* Vol. 17, 1.
- Stein, H. (1989) "Yes, but...: Some skeptical remarks on realism and antirealism", *Dialectica,* Vol. 43: 46-65.
- Weatherall, J. O. (2018) "Regarding the hole argument", *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 69 (2): 329–350.
- Wolff, J. (2011) "Do Objects Depend on Structures?" *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 63 (3): 1-19.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی