

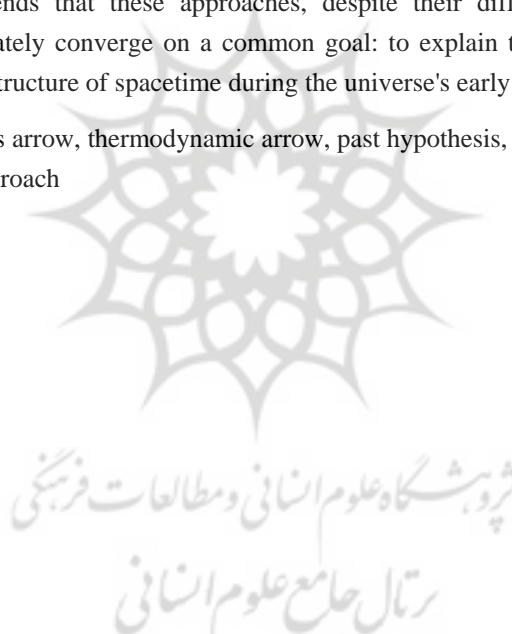
An Appraisal of Two Philosophical Research Programs on the Problem of Time's Arrow

Narges Fathalian^{*}, AliReza Mansouri^{}**

Abstract

The problem of time's arrow has sparked two distinct metaphysical approaches, each stemming from opposing Humean and non-Humean perspectives on laws of nature. This paper contends that these approaches, despite their differences and inherent challenges, ultimately converge on a common goal: to explain time's arrow, we must comprehend the structure of spacetime during the universe's early stages.

Keywords: time's arrow, thermodynamic arrow, past hypothesis, spacetime, (non)Humean approach



* Ph.D. Candidate of Philosophy of Science and Technology, Institute for Humanities and Cultural Studies, narges.fathalian@gmail.com

** Associate Professor of Philosophy of Science and Technology, Institute of Humanities and Cultural Studies, Tehran, Iran (Corresponding Author), mansouri@ihcs.ac.ir

Date received: 2022/09/03, Date of acceptance: 2023/12/06



Copyright © 2010, IHCS (Institute for Humanities and Cultural Studies). This is an Open Access article. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.



پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی
پرتال جامع علوم انسانی

یک ارزیابی از دو برنامه پژوهشی فلسفی به مسئله پیکان زمان

نرگس فتحعلیان*

علیرضا منصوری**

چکیده

در این مقاله دو رویکرد تقلیل‌گرایانه و غیرتقلیل‌گرایانه نسبت به مسئله پیکان زمان که ارتباط وثیقی با دو تلقی متفاوت هیومی و غیرهیومی از قوانین طبیعت دارد، مورد بررسی قرار گرفته است. هدف مقاله حاضر این است که استدلال کند این دو رویکرد به مثابه دو برنامه پژوهشی، به رغم اختلاف بنیادی و مسائلی که هر یک درگیر آن هستند، در نهایت ما را به سمت این مسئله اساسی هدایت می‌کنند که تبیین مسئله پیکان زمان نیازمند شناخت ساختار فضا-زمان در کیهان اولیه است.

کلیدواژه‌ها: پیکان زمان، پیکان ترمودینامیکی، فرضیه گذشته، فضا-زمان، رویکرد (غیر)هیومی

۱. مقدمه

مسائل علمی در چارچوب متافیزیک زمانه صورت‌بندی می‌شوند و آن دسته از مسائلی که چارچوب‌های متافیزیکی زمانه را به چالش می‌کشند، اهمیت اساسی دارند. این چارچوب‌های متافیزیکی می‌تواند ساختار ماده یا فضا-زمان باشد. مسئله پیکان زمان یکی از مسائلی است که از این جهت اهمیت اساسی دارد. مسئله پیکان زمان پرسش از منشأ و ماهیت جهت‌داری زمان

* دانشجوی دکتری فلسفه علم و فناوری، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، تهران، ایران،
narges.fathalian@gmail.com

** دانشیار فلسفه علم و فناوری، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)،
mansouri@ihcs.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵



(همواره از گذشته به آینده بودن) و تمایز و عدم تقارن بین گذشته و آینده است. این تمایز در فرایندهایی که در تجربه روزمره خود آنها را تجربه می‌کنیم ظاهر می‌شود.^۱ تلاش‌های زیادی برای توضیح این عدم تقارن بر اساس قوانین فیزیک صورت گرفته است؛ ولی مشکل اینجاست که اغلب قوانین فیزیک نسبت به وارونی زمان ناوردا هستند. به عبارت دیگر، آن‌ها نسبت به زمان تقارن دارند. با این حال، برخی عدم تقارن‌های فیزیکی وجود دارد که تلاش شده است عدم تقارن زمانی بر حسب آن‌ها تبیین شود: مانند عدم تقارن الکترومغناطیسی و به ویژه عدم تقارن ترمودینامیکی که به عنوان تنها عدم تقارن بزرگ‌مقیاس در فیزیک کاندیدای اصلی برای تبیین پیکان زمان است. اما تلاش‌های اخیر نیز مورد نقدهای جدی واقع شده‌اند. این نقدها متضمن این است که باید بین تقارن زمانی و تقارن در زمان تفاوت گذاشت. بر مبنای چنین تفکیکی فرآیندهای نامتقارن زمانی، فرآیندهایی هستند که در زمان نامتقارن‌اند و این عدم تقارن ربطی به عدم تقارن خود زمان ندارد. عدم تقارن‌هایی مانند عدم تقارن آنتروپی و تابشی، عدم تقارن در زمان محسوب می‌شوند، نه عدم تقارن خود زمان. این که علیت رو به جلو است و ما تنها می‌توانیم مسیرهای گذشته را ردیابی کنیم و نمی‌توانیم بر آینده تأثیر بگذاریم، ویژگی اساسی خود زمان است و نه فرآیندی که در زمان اتفاق می‌افتد. (Sklar, 2005; 1993: 375-385)

با این وجود بری لوئر (Barry Loewer) معتقد است، اختلاف بر سر این که آیا عدم تقارن ترمودینامیکی می‌تواند عدم تقارن زمانی را توضیح دهد یا خیر به تلقی ما از قوانین برمی‌گردد که هیومی باشد یا غیرهیومی (Loewer, 2012). این دو تلقی منجر به دو رویکرد متفاوت به مسئله پیکان زمان می‌شود در تلقی هیومی قوانین بیان‌کننده توزیع یا الگوی موزائیک‌های هیومی^۲ است که این موزائیک‌ها در نهایت به فکت‌ها (امور واقع) در فضا زمان تقلیل پیدا می‌کنند. به این ترتیب، این رویکرد پیکان زمان را به پیکان ترمودینامیکی تقلیل می‌دهد، چون، به زعم خود، می‌تواند پیکان ترمودینامیکی را برحسب امور واقع تبیین کند. در مقابل، در تلقی غیرهیومی، قوانین چیزی فراتر از الگوهای موزائیکی از امور واقع هستند. آنها یا بیان‌کننده نوعی ضرورت‌اند - ضرورتی متافیزیکی یا نومولوژیک - یا اساساً خود قوانین نوعی موجودات واقعی‌اند به این ترتیب، این رویکرد تبیین رویکرد هیومی را برای پیکان زمان رضایت‌بخش نمی‌داند و در جستجوی توضیح بنیادین‌تری است.

دیدگاه‌های متافیزیکی هر چند ابطال‌ناپذیرند-یعنی نباید تصور کرد که یک دیدگاه متافیزیکی را می‌توان با شواهدی به طور قطعی رد کرد- با این حال نقدپذیرند. آن‌ها را می‌توان بر اساس توانایی‌شان در حل و تبیین مسائلی که برای حل آن‌ها ایده شده‌اند ارزیابی کرد

یک ارزیابی از دو برنامه پژوهشی فلسفی ... (نرگس فتحعلیان و علیرضا منصوری) ۱۹۳

(Popper, 1983). برای مثال در هر دو رویکرد تلاش شده است که تبیینی برای عدم تقارن علی، تبیین عدم تقارن معرفت‌شناختی، تبیین عدم تقارن ردها یا آثار و تبیین عدم تقارن حافظه ارایه شود (نک: (Loewer, 2012; Albert, 2000: 131-132)). ارزیابی این تبیین‌ها در حال حاضر خارج از محدوده این مقاله است.

هدف مقاله این است که نشان دهد می‌توان به این دو رویکرد به مثابه دو برنامه پژوهشی نگاه کرد. یعنی، فارغ از اینکه توافقی بر سر تلقی ما از قوانین حاصل شود یا خیر، هر یک از این دو رویکرد منجر به یک برنامه پژوهشی مستقل می‌شود که باید مورد ارزیابی قرار گیرد. در واقع باید دید این برنامه‌های پژوهشی با چه مسائلی روبرو هستند و آیا کفایت لازم برای حل آن مسائل را دارند یا خیر. خصوصاً باید دید که این برنامه‌های پژوهشی چه تأثیری بر نظریه‌پردازی‌های فیزیکی و در نهایت پیشرفت علم خواهند داشت. آیا منجر به صورت‌بندی مسائل جدید فیزیکی می‌شوند یا امکان تعبیری جدید از برخی نظریه‌ها را فراهم می‌کنند. استدلال می‌کنیم فارغ از اینکه کدام یک از این دو برنامه پژوهشی انتخاب شود، بررسی ریشه مسئله پیکان زمان مستلزم شناخت ساختار فضازمان در سطحی بنیادی در کیهان اولیه است.

یکی از انتقاداتی که مکرراً به برخی ایده‌های مطرح در زمینه پیکان زمان وارد شده، عدم دقت ریاضی آن‌ها است (خصوصاً نک: نقد فریگ از گلدشتاین (Frigg, 2008) و به ایرادات ارمن (Earman, 2006) دایر بر هرگونه انتساب آنتروپی به کیهان اولیه). با این حال، همان‌طور که والاس (Wallace, 2011) می‌گوید باید اجازه داد تا مردم حدس‌هایی را که فکر می‌کنند درست است، ارایه کنند تا مورد نقد قرار گیرد. در عوض، آنچه در فعالیت فلسفه فیزیک نقش و اهمیت بیشتری دارد درک این نکته است که این حدس‌ها قرار است چه مسائلی را حل کنند و این راه‌حل‌ها تا چه اندازه معتبرند. در واقع شاید بتوان گفت هدف اصلی در تأملات فلسفی درباره فیزیک اثبات قضایا نیست، بلکه باید دید کدام قضایا ارزش اثبات دارند و کدام مسائل از اهمیت و اولویت بیشتری برخوردارند. مقاله حاضر چنین رویکردی را در خصوص مسئله پیکان زمان و برنامه‌های پژوهشی که در این زمینه مطرح شده است، در پیش می‌گیرد.

ساختار مقاله حاضر به شرح زیر است. در بخش دوم توضیح می‌دهیم برنامه پژوهشی هیومی تقلیل‌گرا با چه مسائلی مواجه است. در بخش سوم، مسائلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که برنامه پژوهشی غیرتقلیل‌گرا با آن مواجه است. در بخش چهارم، به مقایسه نقادانه این دو برنامه پژوهشی می‌پردازیم و استدلال می‌کنیم که این دو برنامه پژوهشی، به رغم اختلاف

رویکرد، سویه مشترکی پیدا می‌کند. این سویه مشترک تلاش برای شناخت عمیق‌تر ساختار فضازمان در کیهان اولیه در سطحی عمیق‌تر است. بخش پنجم، نتیجه‌گیری است.

۲. برنامه پژوهشی تقلیل‌گرا و مسائل آن

رویکرد هیومی/تقلیل‌گرایانه تلاش می‌کند پیکان زمان را بر حسب پیکان‌های فیزیکی مانند پیکان ترمودینامیکی تبیین کند. این رویکرد از منظر تلقی‌اش از قوانین به دنبال توضیحی بیش از الگوی موزائیکی برای جهت‌مندی زمان نیست. تقلیل‌گرا برای تمایز بین گذشته و آینده و تبیین همه پیکان‌های زمان نیازی به فرض پیکان متافیزیکی برای زمان نمی‌بیند و آن‌ها را بر اساس قوانین بنیادی و الگوهای توزیع موجوداتی که فضازمان را اشغال کرده‌اند توضیح می‌دهد. رایج‌ترین مسیر برای ارایه تبیین پیکان‌های زمان، استفاده از قانون دوم ترمودینامیک است که متضمن افزایش آنتروپی است (Loewer, 2012: 118).

لوئر این ایده را ذیل عنوان «متاکولس»^۳ صورت‌بندی کرده‌است (Loewer, 2012: 124). به طور کلی بر اساس مشاهدات و نظریات کیهان‌شناسی این باور وجود دارد که وضعیت جهان در زمان وقوع یا درست پس از وقوع انفجار بزرگ آنتروپی بسیار پایینی دارد. اگر حالت ماکروی بسیار پایین در این زمان را $M(0)$ بنامیم، آلبرت فرض وجود یک توزیع احتمال یکنواخت را روی حالت‌های ممکن میکرو که بتواند $M(0)$ را تحقق بخشد به مثابه یک قانون می‌پذیرد. طبق نظر آلبرت، نظریه بنیادی متاکولس شامل سه مؤلفه است:

(i) قوانین دینامیکی بنیادی.

(ii) این ادعا که حالت ماکرو اولیه $M(0)$ است و آنتروپی $M(0)$ بسیار ناچیز است. او این را 'فرضیه گذشته' (PH) می‌نامد.^۴

(iii) قانونی که یک توزیع احتمالاتی یکنواخت را به حالت‌های میکرو $M(0)$ نسبت می‌دهد (Albert, 2000: 96).

این سه مؤلفه باهم یک نقشه احتمالاتی برای جهان ارائه می‌دهند زیرا متضمن یک توزیع احتمالاتی روی مجموعه‌ای از همه میکرو-تاریخچه‌های ممکن جهان سازگار با $M(0)$ است که مطابق قوانین دینامیکی بنیادی تحول می‌یابد.

طرفداران رویکرد هیومی و تقلیل‌گرا معتقدند که متاکولس پارادوکس برگشت‌پذیری را حل می‌کند و قانون دوم را توضیح می‌دهد. به علاوه انتظار این است که متاکولس بتواند، غیر

از پیکان ترمودینامیکی، پیکان‌های دیگر زمان را نیز توضیح دهد؛ یعنی توضیح دهد چرا تأثیرگذاری علی فقط در یک جهت رخ می‌دهد؛ چرا حافظه ما نسبت به گذشته و آینده عدم تقارن دارد؛ و چرا، برخلاف آینده، بر گذشته نمی‌توانیم تأثیر بگذاریم. در واقع هر نظریه‌ای که برای پیکان زمان ارایه شود باید بتواند توضیحی برای همه صورت‌های پیکان داشته‌باشد. به این منظور در رویکرد تقلیل‌گرای هیومی با متاکولس پیکان آنتروپی را توضیح می‌دهند و با استفاده از پیکان آنتروپی سایر پیکان‌های زمان را نیز توضیح می‌دهند (Loewer, 2012: 125; Albert ch:6, 2000). بنابراین به نظر می‌رسد برای رویکرد تقلیل‌گرای هیومی، پیکان آنتروپی بنیادی‌تر از بقیه پیکان‌های زمان است که آن‌هم با متاکولس آلبرت لوئیس توضیح داده می‌شود. تحلیل متاکولس نیز ما را به این نتیجه می‌رساند که آنچه در این طرح احتمالاتی منشأ عدم تقارن است، فرضیه گذشته است. بنابراین، به نظر می‌رسد که «فرضیه گذشته» در رویکرد هیومی به پیکان زمان نقش محوری ایفا می‌کند. در این مقاله به نقدهای صورت‌گرفته علیه کلیت فرضیه گذشته نمی‌پردازیم،^۵ در عوض، می‌خواهیم ببینیم که به فرض پذیرش فرضیه گذشته، تبیین ارایه شده برای پیکان زمان منجر به چه مسائلی یا برنامه پژوهشی‌ای می‌شود.

اولین پرسشی که به ذهن می‌رسد این است که شأن هستی‌شناختی فرضیه گذشته چیست؟ برخی (مثل آلبرت، فاینمن، پنروز) فرضیه گذشته را یک «قانون بنیادین» می‌دانند (North, 2011). چنانچه استدلال می‌کند که قانون بودن فرضیه گذشته هم با نگرش هیومی و هم با یک نسخه حداقلی از نگرش غیرهیومی سازگار است (Chen, 2020). فرضیه گذشته بسیاری از معیارهای پذیرفته‌شده قانون بودن را برآورده می‌کند (مانند حمایت از خلاف واقع، تبیین و پیش‌بینی موفق)، جز اینکه یک تعمیم غیر دینامیکی است. با این حال، فرضیه گذشته مانند بسیاری از قوانین دیگر ساده و یک‌پارچه است و جز یک قید آماری ساده در شرایط اولیه چیزی کمتر از آنچه ما معمولاً قانون قلمداد می‌کنیم ندارد. اما اگر فرضیه گذشته را قانون بدانیم، در این صورت ما قانونی بنیادی داریم که هر چند قانونی غیر دینامیکی است، یک عدم تقارن دارد و طبق ادعای نگرش هیومی قانون دوم ترمودینامیک را توضیح می‌دهد. در غیر این صورت، باید فرضیه گذشته را صرفاً یک تعمیم احتمالاتی بدانیم که برای آن شواهدی تجربی داریم - البته شواهدی که تنها زمانی قابل اعتماد هستند که خود فرضیه گذشته برقرار باشد (North, 2011)!

شأن فرضیه گذشته هر چه باشد، این مسئله قابل طرح است که چرا حالت اولیه جهان آنتروپی پایینی دارد؟ بر اساس کیهان‌شناسی استاندارد و نظریه انفجار بزرگ جهان از یک حالت کلان یکنواخت آغاز شده‌است. مطابق این دیدگاه رایج بلافاصله پس از انفجار بزرگ، جهان در

یک «سوپ» یکنواختِ داغ بوده است که در آن ماده و انرژی به طور یکنواخت در تعادل گرمایی توزیع شده بودند.^۷ اما در چنین وضعیتی، آنتروپی ترمودینامیکی بالا است و در تعارض با فرضیه گذشته است (Albert, 2000: ch.4; Price, 1996). در این صورت چه تیبینی برای آنتروپی پایین در کیهان اولیه داریم؟ در واقع فرضیه گذشته توصیف وضعیتی بسیار غیرمحمّل است. اما چرا جهان باید در چنین وضعیت غیرمحمّلی آغاز شده باشد؟

شاید کسی بگوید نیازی به تیبین بیشتر نیست و می توان فرضیه گذشته را به مثابه امری بنیادین پذیرفت که منجر به پیش بینی های درستی می شود - حالا می خواهد قانون باشد، یا شرایط اولیه. برای مثال بولتزمن معتقد بود که فرضیه گذشته، فرضیه معقولی است که توضیح تجارب ما را ممکن می سازد (Boltzmann, 1896).^۸ آلبرت با استدلالی شبه کانتی برای فرضیه گذشته شأنی معرفتی قائل است، به این معنی که چنین فرضی پیش شرط معرفت سازگار ما به گذشته است (Albert, 2000) و کلندر نیز آن را قانونی غیردینامیکی می داند (Callender, 1994; 2004a,b). روولی می گوید «برای هر واقعیت کلی دیگری از طبیعت، نرسیدن بیشتر از چرایی گزینه معقولی است. مگر اینکه (یا تا زمانی که) کسی چیز بهتری پیدا کند.» (Rovelli, 2019: 9). در مقابل، کسانی مانند پرایس و کرول معتقدند معمای اصلی در خصوص عدم تقارن ترمودینامیکی در نهایت نیازمند توضیح این امر است که چرا آنتروپی در ابتدا باید بسیار کم باشد (Price, 2002a,b; 2004, 1996; Carroll, 2008). حتی خود روولی نیز که نیازی به رایه تیبینی برای فرضیه اولیه نمی بیند، برای توضیح برگشت ناپذیری جهان فعلی و بزرگ مقیاس صرفاً به فرضیه گذشته اکتفا نمی کند؛ بلکه تلاش می کند آن را با نظریه ای در خصوص کیهان اولیه تکمیل کند که منشأ کم بودن آنتروپی در جهان اولیه را توضیح دهد (Rovelli, 2019). بر اساس یک حدس دیگر، وجود گرانش علت آنتروپی پایین است. گرانش به عنوان یک نیروی جاذبه باعث توده ای شدن ماده می شود. مطابق ترمودینامیک، حالت هایی با آنتروپی بیشینه متناظر با حالت های تعادلی اند و سیستم ها تمایل دارند که به سمت چنین حالت هایی تحول پیدا کنند و در آن باقی بمانند. بنابراین، در سیستم هایی که از اول تحت تأثیر گرانش بوده اند، حالت توده ای آنتروپی بالایی دارد.^۹ اما حالت اولیه جهان که ابتدا به صورت غیر توده ای و یکنواخت بوده است^{۱۰}، به علت گرانش، آنتروپی بسیار پایینی داشته است (North, 2011).^{۱۱}

نگرشی که فرضیه گذشته را نیازمند توضیحی بیشتر نمی داند ناگزیر آن را به مثابه یک «تیبین نهایی» (ultimate explanation) قلمداد می کند. این رویکرد از نظر روش شناختی قابل خدشه است. گویی در علم جایی وجود دارد که دیگر پرسش دیگری نمی توان پرسید. مثلاً

دکارت معتقد بود که او فیزیک را بر حسب اجسام مادی که مقوله ذاتی و بنیادی آن بعد بود توضیح داده است. در فیزیک نیوتنی تصور می شد همه چیز بر حسب ذرات و نیروهای آنها قابل تبیین است. اما تاریخ علم نشان می دهد که این نگرش قابل دفاع نیست. زمانی تصور می شد اتم ها بنیاد نهایی جهان هستند، اما بعداً معلوم شد که خود آنها ساختار درونی دارند. زمانی نوترون ها و پروتون ها به عنوان سنگ بنای نهایی معرفی شدند، اما بعداً معلوم شد که آنها نیز ساختار درونی دارند. شاید هم زمانی معلوم شود که الکترون ها و کوارک ها هم دارای ساختار درونی هستند. رویکردی که به تبیین نهایی قائل است با خطاپذیری معرفت بشری در تعارض است (Popper, 1979: 194-195). بنابراین از این منظر فرضیه گذشته نیز بی نیاز از تبیین نیست. بنابراین در دیدگاه تقلیل گرایانه مسئله پیکان زمان به پیکان ترمودینامیکی یا پیکان آنتروپی تقلیل می یابد در حالی که خود تبیین پیکان آنتروپی به فرضیه گذشته وابسته است و به نظر می رسد که تبیین فرضیه گذشته نیز به فهم ما از فضا زمان گره خورده است که درباره آن در بخش ۴ بیشتر بحث خواهیم کرد.

۳. برنامه پژوهشی غیر تقلیل گرا و مسائل آن

در رویکرد غیر تقلیل گرایانه به پیکان زمان، پیکان ذاتی زمان به صورت یک تمایز متافیزیکی بنیادی بین گذشته و آینده فرض می شود که قابل تقلیل به چیز دیگری نیست و برای تبیین بقیه پیکان های زمان ضروری است. از این منظر تلاش برای تبیین جهت زمان بر حسب پیکان های فیزیکی نتیجه بخش نیست، زیرا قوانین فیزیک خود در بستر یک زمان جهت مند روی می دهند و به این اعتبار، تبیین پیکان زمان بر حسب پیکان های فیزیکی به نحوی مصادره به مطلوب است. به علاوه، جهت زمان متافیزیکی با قوانین آماری و احتمالاتی قابل توضیح نیست (Esfeld, 2006).

برای نمونه مادلین برای ساختار زمانی جهان یک عدم تقارن بنیادین و غیر قابل تقلیل قائل است (Maudlin, 2007a: 109). به نظر او چنین عدم تقارن ذاتی ای زیربنای رابطه ای تبیینی است که او آن را «تولید» (production) می نامد، زیرا این تبیین «مستلزم این است که واقعییتی وجود داشته باشد که بگوید چه حالاتی چه حالات دیگری را تولید می کنند» (Maudlin 2007a: 134). ایده «تولید» قرار است نوعی تبیین برای تحول رویدادها فراهم کند؛ یعنی توضیح دهد که چرا استدلال های مبتنی بر تیبیکالیتی (typicality arguments) در جهت جلو کار می کنند، اما در جهت عقب کار نمی کنند. مادلین استدلال می کند که استدلال های تیبیکالیتی به این دلیل در

جهت عقب کار نمی‌کنند که حالت‌های میکرو در جهان ما، به غیر از حالت اولیه (که گذشته‌ای ندارد)، به دلیل نحوه تولیدشان گذشته غیرتیبیکال دارند.

با این حال، مادلین درباره اینکه چگونه جهت ذاتی زمان منجر به «تولید» می‌شود یا چگونه «تولید» به تبیین عدم تقارن ترمودینامیکی کمک می‌کند، توضیحی نمی‌دهد. به بیان لو دو نگرانی اصلی در مورد تبیین مادلین وجود دارد (Loew, 2018). اول اینکه مادلین توضیح چندانی درباره جهت زمان ارائه نمی‌کند؛ فقط می‌گوید که این جهت یک امر اولیه هستی‌شناختی است که شرط وجود رابطه تولیدی است و از نظر ریاضی با جهت‌گیری (orientation) مینفولد فضا-زمان بازنمایی می‌شود (Maudlin, 2007a: 134). به عبارت دیگر، مادلین جهت‌مندی زمان را به مثابه یک امر بنیادین می‌پذیرد و معتقد است باید برای نمایش جهت‌مندی از ابزار ریاضی مناسبی (توپولوژی مناسب) استفاده کرد که بتواند این جهت‌گیری را نمایش دهد.^{۱۲} این جهت‌گیری در هر نقطه فضا-زمانی مشخص می‌کند که کدام جهت زمانی آینده و کدام گذشته است. اما در نظر گرفتن جهت زمان به عنوان یک جهت‌گیری توپولوژیک، تفاوت مسیر آینده با جهت گذشته را توضیح نمی‌دهد و آن را به مثابه یک امر بنیادی فرض می‌گیرد. به نظر می‌رسد مادلین فکر می‌کند که شهود ما درباره جهت زمان برای فهم اینکه چگونه حالات قبلی، تولید حالات بعدی را تضمین می‌کنند، کفایت می‌کند.

نگرانی دوم، به نظر لو، این است که مشخص نیست جهت ذاتی زمان که از نظر مادلین تولید را تضمین می‌کند، چه نقشی در توضیح عدم تقارن ترمودینامیکی دارد. به نظر می‌رسد هیچ چیز در مورد «تولید» وجود ندارد که مانع امکان تولید ماکروحالت‌های آنتروپی پایین از حالت‌های قبلی با آنتروپی بالاتر شود (نک: Maudlin, 2007a: 177; Loewer 2012: 133). بنابراین عدم تقارن زمانی «تولید» به خودی خود نمی‌تواند عدم تقارن ترمودینامیکی را توضیح دهد. برای توضیح اینکه چرا افزایش آنتروپی نسبت به آینده تیبیکال است، اما نسبت به گذشته نیست، تبیین مادلین باید با قیدی روی شرایط مرزی تکمیل شود. اما با وارد کردن شرایط مرزی به این صورت، دیگر نقش تولید در توضیح عدم تقارن ترمودینامیکی اضافی به نظر می‌رسد. زیرا تبیین هیومی، بدون فرض جهت ذاتی زمان، افزایش آنتروپی به سمت آینده (و نه گذشته) را توضیح می‌دهد. پس این سؤال باقی می‌ماند که تبیین تولیدی مادلین چه چیزی قرار است به تبیین پیکان ترمودینامیکی اضافه کند؟

برای رفع این نگرانی‌ها لو تلاش می‌کند بخش متافیزیکی توضیح مادلین برای پیکان آنتروپی را تکمیل کند (Loew, 2018). به نظر لو فرضیه گذشته به همراه تعبیر تولیدی مادلین

مستلزم این است که حالت اولیه از نظر متافیزیکی بنیادی و منحصر به فرد باشد. زیرا همه حالات دیگر در زمان غیربنیادی اند و از اعمال قوانین بنیادی روی حالت اولیه ایجاد می‌شوند. به این ترتیب، تمام واقعیت را می‌توان به طور کامل تنها از روی حالت اولیه و قوانین بنیادی توضیح داد. حالت اولیه حالت خاصی است که فرضیه گذشته به جای هر حالت دیگری در مورد آن حالت خاص صدق می‌کند؛ حالتی که به واسطه جهت‌مندی زمان، حالت دیگری قبل از آن نیست. بنابراین، اگر حدس مادلین درست باشد که ساختار زمان یک جهت‌مندی از گذشته به آینده دارد، آن‌گاه این جهت توضیح می‌دهد که چرا فرضیه گذشته در حالت اولیه جهان صدق می‌کند، نه در حالت دیگری. بنابراین به این دلیل می‌گوییم حالت اولیه از نظر متافیزیکی بنیادی است که قوانین بنیادی می‌تواند حالات دیگر را با قیدی روی این حالت اولیه (فرضیه گذشته) تولید کند (ibid.: 498).

در رویکرد غیرهیومی مادلین بین فرضیه گذشته و هندسه فضا زمان که در آن توپولوژی زمان جهت‌مند است پیوندی برقرار می‌شود. فرض وجود «شرایط اولیه» (initial condition) برای جهان، در رویکرد غیرهیومی مادلین، مستلزم در نظر گرفتن یک جهت‌مندی بنیادین برای زمان است. بنابراین فرضیه گذشته به همراه نگرش غیرهیومی خاص بودن متافیزیکی جهان اولیه را نتیجه می‌دهد. در نظر گرفتن جهت‌مندی ذاتی و بنیادی برای زمان، به تنهایی، نقطه‌ای را در فضا زمان به عنوان نقطه «اولیه» (initial) مشخص نمی‌کند. این جهت‌مندی بنیادین در وجود شرایط اولیه خاص، در کنار افزایش آنتروپی است که مستلزم وجود یک نقطه متافیزیکی خاص در هندسه فضا زمان است. خاص بودن متافیزیکی این جهان اولیه می‌تواند زمینه‌ای برای صورت‌بندی مسائلی جدید برای فیزیک باشد. مسائلی که مفاهیم «مبدأ زمان» و «جهت زمان» معنای خود را از چارچوب متافیزیکی غیرهیومی اخذ می‌کنند.

علاوه بر پیشنهاد لو، دیگران نیز دیدگاه‌های متافیزیکی مختلفی را با فرض بنیادی بودن زمان و ذاتی بودن جهت‌مندی آن ارائه کرده‌اند (نک: Gólosz, 2020). از منظر این دیدگاه‌ها، فیزیک تاکنون نتوانسته است تبیینی برای پیکان زمان در اختیار ما قرار دهد و ما باید در متافیزیک به دنبال چنین نظریه‌ای باشیم. اغلب این مدل‌ها بیان‌گر یک جهان چهاربعدهای در حال صیورورت است (Gólosz, 2020; 2021). برای ارزیابی این دیدگاه‌ها می‌توان استلزامات فلسفی دو رویکرد را از جهت سازگاری با دیگر اندیشه‌ها و پیش‌فرض‌های پذیرفته‌شده متافیزیکی مورد ارزیابی قرار داد. برای نمونه اغلب طرفداران جهان بلوکی برای زمان گذری واقعی قائل نیستند. بنابراین اگر کسی گذر ذاتی زمان را بپذیرد و از طرفی بنا بر استدلال‌های مستقلى جهان بلوکی را

پذیرفته باشد، باید توضیح دهد تلقی گذر زمان با چه نسخه‌ای از جهان بلوکی سازگار است؟ برای مثال مدلین که معتقد به گذر زمان است و آن را امری بنیادی می‌داند، به جهان بلوکی رشدیابنده (Evolving Block Universe) اعتقاد دارد که در آن اکنون و گذشته وجود دارد اما آینده نه (Arthur, 2019: 53-62; Ellis, 2014; 2006; Ellis & Drossel, 2020).

نقش مهم چارچوب‌های متافیزیک پایه این است که بستری برای صورت‌بندی مسائل علمی فراهم کنند. این تعابیر متنوع متافیزیکی این مسأله را ایجاد می‌کند که این چارچوب‌های متافیزیکی منجر به صورت‌بندی چه مسائل فیزیکی می‌شوند.^{۱۳} به قول آگاسی متافیزیک فیزیک آینده است (Agassi, 1975). در این چارچوب‌ها ممکن است مقولات هستی‌شناختی جدیدی معرفی شوند و مفاهیم قبلی در چارچوب متافیزیکی جدید معنای جدیدی پیدا کنند. به این ترتیب مسائل فیزیکی جدیدی صورت‌بندی می‌شود که ممکن است منجر به فیزیکی جدید شود که بر تلقی ما از ساختار فضا-زمان تأثیر بگذارد و آن را تغییر دهد.

۴. مسئله اساسی: شناخت ساختار فضا-زمان در کیهان اولیه

با توجه به آنچه گفته شد می‌توان دید که دو رویکرد هیومی و غیرهیومی هر چند مسیرهای تبیینی متفاوتی را طی می‌کنند، اما ما را به مسئله مشترکی هدایت می‌کنند: شناخت ساختار فضا-زمان در کیهان اولیه. حل این مسئله مشترک می‌تواند متضمن کشف ویژگی‌های جدیدی برای ساختار فضا-زمان شود که در نتیجه آن فهم جدیدی از ساختار فضا-زمان را نتیجه دهد. ساختاری که از طریق فرضیه گذشته بر تحول دینامیکی جهان ما تأثیر می‌گذارد. ما در این بخش به ذکر نمونه‌هایی از این نظریه‌پردازی‌ها می‌پردازیم تا نشان دهیم در همه آنها فارغ از رویکرد هیومی یا غیرهیومی تبیین مسئله پیکان زمان منجر به مسئله شناخت ساختار فضا-زمان در کیهان اولیه شده است.

برای مثال به نظر پنروز تبیین آنتروپی پایین کیهان اولیه را باید در پرتو نقش گرانش در کیهان اولیه جستجو کرد و با نظریه گرانش کوانتومی توضیح داد. قاعدتاً این نظریه باید یک نظریه نامتقارن نسبت به زمان باشد (350-353; 344-345; Penrose, 1989). ممکن است این ایراد وارد شود که این نظریه فرضی باید با GTR (نسبیت عام) در سطح 'کلاسیک' مطابقت داشته باشد، در حالی که GTR خود متقارن زمانی است. به نظر پنروز راه کنار زدن این مشکل این است که نظریه گرانش کوانتومی آینده فرضیه گذشته (PH) را در خود جذب کند و آن را به عنوان چیزی خارجی در نظر نگیرد. به همین دلیل فرضیه گذشته برای پنروز یک شأن قانونی

دارد. به عبارتی، درست است که از نظر تاریخی یک جدایی و مرزی بین معادلات دینامیکی و شرایط اولیه (یا مرزی) قائل بوده‌ایم و بین این دو تفاوت قایل می‌شدیم، اما در نظریه‌ای که به دنبال آن هستیم باید این مرز و جدایی از میان برداشته شود. اگر چنین شود، هم نظریه گرانش کوانتومی با نسبیّت عام سازگار خواهد بود و هم به صورت طبیعی فرضیه گذشته را نتیجه می‌دهد و از طریق آن عدم تقارن مورد نیاز برای تبیین پیکان زمان حاصل خواهد شد^{۱۴} (Gölsz, 2021).

به نظر روولی هر چند سناریویی که پروز پیشنهاد می‌کند به لحاظ نظری درست است، ولی منشأ اصلی برگشت‌ناپذیری نیست. در واقع ما با این مسئله مواجهیم که بر مبنای مدل استاندارد کیهان‌شناسی ماده در جهان اولیه در حالت تعادلی است و بنابراین در حداکثر آنتروپی قرار دارد (Weinberg, 2008). این امر در تنش ظاهری با فرضیه گذشته است که متضمن پایین بودن آنتروپی در جهان اولیه است. روولی برای پایین بودن آنتروپی در کیهان اولیه تبیینی متفاوت از پروز ارائه می‌دهد. هر چند در تبیین او نیز گرانش نقش دارد، اما این نقش در سناریوی او برای تبیین آنتروپی پایین جهان اولیه متفاوت است. روولی تحت تأثیر استدلال‌های ارمن (Earman, 2006) با تبیین‌هایی که وزن زیادی به نقش گرانش می‌دهند، مخالف است.

روولی با تحلیل یک مدل ساده متشکل از سیلندر و پیستونی که تحت تأثیر نیروی خارجی است، نشان می‌دهد اگر سیستمی که در ابتدا در حالت تعادل است با سرعت زیاد (سریع‌تر از زمان گرمایش) منبسط شود از حالت تعادل خارج می‌شود و برگشت‌ناپذیری ایجاد می‌کند. بر همین قیاس روولی استدلال می‌کند که مطابق مدل او دلیل اینکه وضعیت جهان اندکی پس از انفجار بزرگ به شدت از تعادل خارج شد، وجود فاکتوری (scale factor) یا یک متغیر دینامیکی است که بر حجم هر ناحیه متحرک فضا در کیهان‌شناسی فریدمن حاکم است. این فاکتور شبیه متغیر «حجم» در مدل سیلندر و پیستون است. روولی بر حسب این فاکتور یک مقدار تعادلی تعریف می‌کند. با این تفاوت که در مدل پیستون و سیلندر تغییر حجم نتیجه اعمال یک نیروی خارجی بر پیستون است، ولی تغییر این فاکتور تحت تأثیر برهم‌کنش دینامیکی با متغیرهای دیگری در جهان است. به نظر او منشأ آنتروپی جهان اولیه بعد از انفجار بزرگ انحراف شدید از این مقدار تعادلی است. این مدل یک جنبه کلیدی را درباره جهان بازنمایی می‌کند: انبساط سریع کیهانی از طریق چنین فاکتوری محتوای ماده آن را از تعادل خارج می‌کند و این منبع غالب برگشت‌ناپذیری فعلی در کیهان است (Rovelli, 2019). آنچه در اینجا اهمیت دارد و می‌خواهیم بر آن تأکید کنیم این است که تبیین او نیز متکی به مدل‌هایی

است شامل مفروضاتی که به ساختار فضا‌زمان در کیهان اولیه ارتباط پیدا می‌کند؛ مانند انبساط دفعی کیهان اولیه.

پیشنهاد دیگری در زمینه تبیین پیکان زمان که منتهی به درک فضا‌زمان در کیهان اولیه می‌شود، از آن الیس است. الیس گذر زمان را واقعی می‌داند و در عین حال تلاش می‌کند آن را بر حسب واقعیات کیهان‌شناختی توضیح دهد. بنابراین پیکان زمانی که او درباره آن نظریه پردازی می‌کند، بنیادین به نظر نمی‌رسد. الیس پیکان‌های زمان، به‌خصوص پیکان ترمودینامیکی را محلی می‌داند و معتقد است این پیکان‌ها متأثر از و در هماهنگی با یک پیکان زمان بزرگ‌مقیاس کیهان‌شناختی ظهور پیدا می‌کنند. این پیکان بزرگ مقیاس هم از نظر او باید از طریق گرانش کوانتومی ظهور پیدا کرده باشد. او فرضیه گذشته را برای تبیین پیکان آنتروپی به قدر کافی تبیین‌کننده نمی‌داند و معتقد است تا تأثیر قیود پیکان زمان کیهان‌شناختی بر این پیکان‌های محلی بیان نشود، توضیح کاملی ارائه نشده است.

به نظر الیس این وضعیت به بهترین وجه با یک جهان بلوکی در حال تکامل نشان داده می‌شود. در این تلقی از جهان، پیکان‌های محلی زمان (ترمودینامیکی، الکترو‌دینامیکی، گرانشی، موجی، کوانتومی، بیولوژیکی) مطابق با جهت زمان کیهانی ظاهر می‌شوند. (emerge) به نظر الیس گذر زمان در مقیاس کلان غیرقابل انکار است و ارتباط آن با میکروفیزیک باید مشخص شود. این ارتباط از طریق علیت از بالا به پایین (downward causation) در سلسله مراتب ساختار علی اتفاق می‌افتد. این ارتباط با میکروفیزیک، در سطح کوانتومی، از طریق فرایند تقلیل تابع موج کوانتومی، رخ می‌دهد که در طی آن فرایند آینده نامعین به گذشته قطعی تبدیل می‌شود (Ellis & Drossel, 2020).

در دیدگاه الیس و دیگرانی که به گرانش کوانتومی برای نوحاسته (emergence) بودن امید بسته‌اند، معلوم نیست که چگونه ساختار فضا‌زمان می‌تواند از چیزی بنیادی‌تر از خود فضا‌زمان به صورت نوحاسته پدید آید و چرا و چگونه گرانش می‌تواند بنیادین‌تر از ساختار زمان باشد. آنچه در این قبیل تبیین‌ها دیده می‌شود، تبیین پیکان زمان یا جهت‌مندی خود ساختار زمان نیست، بلکه تبیین این است که چرا (به رغم وجود تقارن قوانین بنیادی نسبت به وارونی زمان) توزیع چیزی (ماده یا انرژی) «در زمان» به صورت جهت‌مند اتفاق می‌افتد. با این حال، کار الیس از این جهت شایسته توجه است که به لحاظ هستی‌شناختی پیکان کیهان‌شناختی زمان را در تمایز با پیکان‌های محلی طرح می‌کند. این ایده از این جهت اهمیت دارد که پروژه تبیین متاکولس را یک گام به جلو می‌برد و تبیین بر اساس فرضیه گذشته را به سناریویی

یک ارزیابی از دو برنامه پژوهشی فلسفی ... (نرگس فتحعلیان و علیرضا منصوری) ۲۰۳

کیهان‌شناختی پیوند می‌زند. بنابراین در پروژه‌ی ایس نیز تبیین پیکان زمان به بررسی ساختار فضازمان در کیهان اولیه ارتباط پیدا می‌کند.

یک نمونه پیشنهاد دیگری که برای پیکان زمان ارایه شده است و به شناخت ساختارفضا زمان در کیهان اولیه می‌انجامد، از آن اسمولین است. او بر لزوم تمایز زمان از فضا تأکید دارد. به نظر اسمولین برای نمایش این تمایز به ریاضیاتی نیاز داریم که بین زمان و فضا تفاوت بگذارد. او می‌گوید:

ما باید راهی پیدا کنیم که زمان را از یخ‌زدگی درآورد - یعنی زمان را بدون تبدیل آن به فضا بازنمایی کنیم. من هیچ ایده‌ای برای انجام این کار ندارم. نمی‌توانم ریاضیاتی را تصور کنم که جهانی را به گونه‌ای نمایش ندهد که انگار در ابدیت یخ زده است (Smolin, 2013:257).

اسمولین معتقد است جریان اصلی فیزیک در خصوص زمان مسیر درستی را نمی‌رود. او با شکایت اینشتین از اینکه در تلقی رایج زمان یک امر توهمی است همدل است و معتقد است باید این مسیر به نحوی اصلاح شود و بنیادینگی (fundamentality) و واقعیت زمان به فیزیک بازگردد. او ریشه توهمی انگاشتن «زمان» در اندیشه رایج را نتیجه خلط مدل‌های ریاضی انتزاعی (که بی‌زمان‌اند) با واقعیت می‌داند. به نظر او این فرض متافیزیکی تسری «بی‌زمانی» ریاضیات به فیزیک، ممکن است درست نباشد. اسمولین امیدوار است که در نظر گرفتن گرانش و وحدت مکانیک کوانتومی با فضازمان و کیهان‌شناسی - یعنی مسیری که رویکرد گرانش کوانتومی دنبال می‌کند - بتواند انقلابی در این زمینه به بار آورد (Ibid).

مادلین نیز در بنیادین در نظر گرفتن زمان با اسمولین هم عقیده است. به نظر او ما در مدل‌سازی و نمایش ریاضی دنیای اطراف خود گرفتار این پیش فرض متافیزیکی بوده‌ایم که زمان نیز مانند فضا است و به همین دلیل تمایزی در نمایش ریاضی آن‌ها در نظر نگرفتیم. در حالی که به نظر او، بر اساس شهود معمول ما، زمان دارای جهت است و باید برای نمایش آن از یک توپولوژی بهره می‌گرفتیم که نمایشی برای این «جهت‌مندی» داشته باشد. او تلاش کرده است که توپولوژی‌ای پیشنهاد کند که چنین ظرفیتی را برای نمایش جهت‌مندی داشته باشد (نک: (Maudlin (2014)). به نظر او به‌کارگیری این توپولوژی منجر به درک جدیدی از فضازمان می‌شود که با شهود ما سازگارتر است - هر چند هنوز معلوم نیست که با این ساختار جدید توپولوژیکی با چه فیزیکی مواجه شویم. بنابراین دیدگاه اسمولین و مادلین نیز، به رغم

تفاوت‌ها، در نهایت به این نقطه می‌رسد که حل مسئله جهت‌مندی زمان در گرو برنامه پژوهشی اساسی‌تری در خصوص شناخت عمیق‌تر فضا زمان است.

۵. نتیجه‌گیری

اگر هدف اصلی علم و فلسفه را واقع‌نمایی جهان بدانیم، تعامل نقادانه این دو حوزه گریزناپذیر است.^{۱۵} تاریخ علم نشان می‌دهد پرسش از اینکه بین علم و متافیزیک کدام اولویت دارند، پرسش دقیقی نیست، زیرا صورت‌بندی مسائل بنیادی و تفسیر نظریه‌های فیزیکی در چارچوب‌های متافیزیکی رخ می‌دهد و از سوی دیگر، تحول ساختاری نظریه‌ها و مدل‌سازی و ارزیابی‌های تجربی آنها در حیطه فیزیک رقم می‌خورد. بسیاری از فعالیت‌های علمی و پژوهشی بدون توجه به زمینه‌های فلسفی و متافیزیکی انجام می‌شود. اما این پژوهش‌ها به تعبیر کوهن عمدتاً در دوره علم عادی (متعارف) است. در مقابل، تأمل و نظریه‌پردازی درباره مسائل بنیادی ما را در مسیر تغییراتی انقلابی در تحول علم قرار می‌دهد. به علاوه برخی مفروضات فلسفی و متافیزیکی حداقل به صورت غیرمستقیم می‌توانند حتی در صورت‌بندی و جهت‌دهی برخی آزمایش‌ها (مانند آزمون‌های مربوط به کشف ساختار اتر، یا آزمون‌های مختلف مربوط به قضیه بل) مؤثر باشند و زمینه شکل‌گیری فیزیکی جدید را رقم بزنند.^{۱۶}

اگر به یک رویکرد طبیعت‌گرایانه افراطی بچسبیم، باید بگوییم هر ادعای متافیزیکی را تنها زمانی باید جدی گرفت که بتوان نشان داد چگونه از فیزیک نتیجه می‌شود.^{۱۷} اما چنین رویکردی فعالیت علمی را در یک چارچوب مشخص متافیزیکی که همان متافیزیک طبیعی شده است محصور می‌کند - چارچوبی که پارادایم جاری یا علم عادی آن را تحمیل می‌کند. در حالی که در برهه‌هایی از تحولات علمی دانشمندی مانند فارادی پا را از این چارچوب‌ها فراتر گذاشتند و متأثر از متافیزیکی که متفاوت از متافیزیک حاکم بود هستومندهای جدیدی مانند میدان را ارایه کردند و قوانین قبلی را که در چارچوب مکانیکی تفسیر و تعبیر می‌شد، در چارچوبی جدید تفسیر کردند. بدون فراروی از متافیزیک زمانه که حتی ماکسول هم تا مدتی به آن چسبیده بود، برداشتن گام‌های انقلابی میسر نیست.

در خصوص مسئله پیکان زمان نیز اتخاذ هر یک از دو رویکرد هیومی یا غیرهیومی می‌تواند ثمربخش باشد به این معنا که به شکل‌گیری نظریه‌ها و پیشرفت علم کمک کند، به شرطی که منجر به دعاوی نقدناپذیر و نهایی نشود. رویکرد تقلیل‌گرا، به تعبیر کوهنی، محصور

در پارادایم علم دوره عادی (normal science) است. این رویکرد فراتر از آنچه پارادایم کنونی مفروض گرفته است نمی‌رود. بنابراین نمی‌توان انتظار داشت که فیزیک دوره عادی برای مسئله‌ای که اساساً خارج از چارچوب متافیزیکی مفروض آن صورت‌بندی شده‌است، توضیحی داشته‌باشد. به عبارتی رویکرد تقلیل‌گرای هیومی مسئله پیکان زمان را در چارچوب متافیزیکی فیزیک رایج صورت‌بندی می‌کند و در همان چارچوب نیز به آن پاسخ می‌گوید.^{۱۸} این پاسخ‌ها قاعدتاً منجر به تغییری انقلابی نمی‌شوند، زیرا تغییرات انقلابی در علم، همراه با تغییر چارچوب‌های متافیزیکی است.

در مقابل، رویکرد غیرتقلیل‌گرا ظرفیت بیشتری برای طرح ایده‌های خارج از چارچوب فراهم می‌کند، با این حال این ریسک را دارد که به نظریه‌پردازی‌هایی منتهی شود که قابلیت ارزیابی تجربی را ندارند. این نحوه نگرش اگر خوش‌اقبال باشد، می‌تواند چارچوبی برای صورت‌بندی مسائل آتی در فیزیک فراهم کند و منجر به تغییری عمیق‌تر و بنیادی‌تر در علم شود؛ یا اینکه مانند بسیاری از مسائل متافیزیکی همچنان در سطح نظریه‌های متافیزیکی باقی بماند. در این سطح این نظریه‌های متافیزیکی قدرت تبیینی دارند، ولی قابلیت ارزیابی تجربی ندارند و بنابراین مستقیماً به لحاظ تجربی ابطال‌ناپذیرند. آن‌ها را باید از جهات دیگری نقد و ارزیابی کرد. آن‌ها را باید از جهت قدرت آن‌ها در حل یا توضیح مسئله موردنظر و سازگاری با مفروضات متافیزیکی دیگر، به توضیحی که آمد، بررسی کرد.

از توضیحات فوق لزوماً نتیجه نمی‌شود که تنها رویکرد غیرتقلیل‌گرا ممکن است به یک نتیجه انقلابی در علم منجر شود. تحول ساختاری نظریه‌ها در رویکرد تقلیل‌گرا ممکن است چنان صورت گیرد که دیگر امکان تعبیر آن در چارچوب متافیزیکی مقبول کنونی به سادگی میسر نباشد. برای نمونه ماکسول بسیار تلاش کرد که نظریه میدان فارادی را در همان چارچوب مکانیک نیوتنی تفسیر کند. او برخی از جنبه‌های اساسی دیدگاه فارادی، مانند یکی انگاشتن ماده و میدان را کنار گذاشت و آن دو هویت‌های اساساً متفاوت در نظر گرفت. در حالی که این جنبه از اندیشه فارادی قدم مهمی در جهت کشفیات او و نظریه میدان جدید بود. (Berkson, 2014: 84; Harmann, 1982: 116-117, 127). بنابراین فارادی و ماکسول هر چند ابتدا با دو رویکرد متفاوت متافیزیکی (یکی سازگار با فلسفه مکانیکی نیوتنی و دیگری فلسفه ضدنیوتنی) به بسط نظریه الکترومغناطیس پرداختند، ولی همکاری نقادانه این دو در نهایت منجر به هستی‌شناسی جدیدی برای فیزیک شد که شامل هویت جدیدی به نام «میدان» بود.

از یک سو به نظر می‌رسد که برنامه پژوهشی هیومی به دلیل احتمالاتی بودن پیکان آنتروپی هنوز نتوانسته است توضیحی غیراحتمالاتی برای جهت‌مندی زمانی ارائه کند و این ربطی به تلقی ما از قوانین ندارد. به علاوه، خود فرضیه گذشته‌نیازمند تبیین است. نکته دیگر اینکه توافقی بین رویکردهایی که تلاش می‌کنند ساختار زمان را بر مبنای گرانش کوانتومی توضیح دهند وجود ندارد. در مقابل برنامه پژوهشی غیر هیومی هم هنوز ارتباطش با فیزیک روشن نیست. مثلاً هر چند مدالین با پیشنهاد یک توپولوژی جدید برای زمان تلاش کرده‌اند گام‌هایی در این زمینه بردارد، با این حال در این حد صرفاً نمایش ریاضیاتی یک ساختار زمانی جهت‌مند را ارائه کرده است، ولی هنوز معلوم نیست که ما با این ساختار جدید توپولوژیکی با چه فیزیکی مواجه خواهیم شد.

بخشی از فعالیت فلسفی معطوف به ارزیابی اولویت و شایستگی مسائلی است که برای حل آن‌ها تلاش می‌کنیم. با توجه به توضیحاتی که ارائه شد، به نظر می‌رسد که با وجود تمایزات اساسی دو برنامه پژوهشی هیومی و غیرهیومی در بین مسائل مختلف مرتبط با مسئله پیکان زمان، مسئله شناخت ساختار فضا-زمان در کیهان اولیه اولویت اساسی دارد.

پی‌نوشت‌ها

۱. برای یک آشنایی مروری با مسئله پیکان زمان به زبان فارسی و منابع مربوطه نک: (باردون، ۱۳۹۵؛ فتحعلیان و منصوری، ۱۳۹۹).
۲. Humean Mosaic دیدگاه هیومی به قوانین قائل به ضرورت‌های متافیزیکی یا نومولوجیکی nomological برای قوانین نیست. در این دیدگاه قوانین چیزی بیش از توزیع‌ها یا الگوهای از فکت‌ها (یا امرواق) یا روابط و ویژگی‌های مقوله‌ای بین هویتاتی مانند ذرات و میدان و ... در فضا-زمان نیستند. به این الگوها یا توزیع‌ها اصطلاحاً 'موزاییک هیومی' می‌گویند.
۳. لوئر نام "متاکولس" "Mentaculus" را از فیلم 'Serious Man' برادران کوئن گرفته‌است که در آن شخصیتی در حال کار بر روی 'نقشه احتمالاتی جهان' است که آن را "متاکولس" می‌نامد.
۴. فرضیه گذشته به انحاء مختلفی بیان شده است. برای نمونه نک: (Boltzmann, 1964; Uffink, 2007; Feynman, 1965; Goldstein 2001; Albert, 2000) در خصوص نقدهای وارد به آن و بحث درباره تعبیر و تفسیر آن نک: (Earman 2006; Wallace, 2011).
۵. چالش‌هایی را که در رابطه با تلقی ترمودینامیکی مطرح می‌شوند در مراجع زیر ببینید: Winsberg, 2004; Parker, 2005; Earman, 2006.

- پیش می‌آید که با لحاظ کردن این جهت‌مندی بنیادین برای زمان در ساختار فضا-زمان صورت‌بندی قوانین فیزیک چه وضعیتی پیدا می‌کند. در خصوص این نظریه نک: (Ambjørn et al, 2008a, b).
۱۵. در خصوص اهمیت تعامل فیزیک و متافیزیک نک: (منصوری و کرباسی‌زاده، ۱۴۰۰؛ Agassi, 1975)
۱۶. درباره اینکه متافیزیک می‌تواند منجر به فیزیکی جدید شود نک: (Agassi, 1975) و درباره زمینه‌هایی که منجر به آزمون‌های مربوط به کشف اتر شد، نک: (Maxwell, 1878)؛ درباره زمینه‌های فلسفی که منجر به رایانه نامساوی بل و آزمایش‌های مربوط به آن شد، نک: (Maudlin 2011).
۱۷. برای چنین دیدگاهی نک: (Ladyman & Ross, 2007: 30).
۱۸. برای مثال ممکن است توضیح رویکرد هیومی برای جهت‌مندی زمان با پیکان ترمودینامیکی که احتمالاتی و آماری است حتی در پارادایم فیزیک رایج به قدر کافی قانع‌کننده نباشد (Esfeld, 2006).

کتاب‌نامه

- باردون، آ. (۱۳۹۵). تاریخچه فلسفه زمان. مترجم: امیری‌آرا، ح. نشر کرگدن.
- فتحعلیان، ن. و منصوری، ع. (۱۳۹۹). «عدم تقارن ترمودینامیکی زمان و فرضیه گذشته برای کیهان اولیه». فلسفه علم. ۱۰(۱۹): ۱۷۱-۱۹۳.
- منصوری، م. و کرباسی‌زاده، ا. (۱۴۰۰). «نقش و اهمیت متافیزیک برای علم». پژوهش‌های فلسفی. ۳۷(۱۵): ۲۰-۴۱.
- Ambjørn J, Jurkiewicz J, Loll R. (2008a). "The self-organizing quantum universe". *Sci Am*. Jul; 299(1):42-9. doi: 10.1038/scientificamerican0708-42. PMID: 18623963.
- Ambjørn J, Görlich A, Jurkiewicz J, Loll R. (2008b). "Planckian birth of a quantum de sitter universe". *Phys Rev Lett*. Mar 7;100(9):091304. doi: 10.1103/Phys Rev Lett.100.091304. Epub 2008 Mar 7. PMID: 18352693.
- Agassi, J. (1975). "Scientific Problems and Their Roots in Metaphysics," in *Science in Flux: Boston Studies in the Philosophy of Science*, Springer, Dordrecht.
- Albert, D. (2000). *Time and chance*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Arthur, R. T. (2019). *The Reality of Time Flow*. Springer International Publishing.
- Berkson, W. (2014). *Fields of Force: The Development of a World View from Faraday to Einstein*. Routledge.
- Bergson, H. (1944). *Creative Evolution*. Trans. by Arthur Mitchell. New York: Random House.

- Boltzmann, Ludwig (1964). *Lectures on Gas Theory*. Berkeley: University of California Press. Tr. S. G. Brush. Originally published in German in 1896.
- Boltzmann, L. (1896). 'On Zermelo's Paper "On the mechanical explanation of irreversible processes"'. In S. Brush (Ed.), *Kinetic Theory, Vol. 2 – Irreversible Processes*. Pergamon.
- Bricmont, J., (1995). "Science of Chaos or Chaos in Science?," *Physica Magazine*, 17/3–4: 159–208.
- Broad, C. D. (1938). *Examination of McTaggart's Philosophy*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Callender, C. (2004a). "Measures, Explanation and the Past: Should 'Special' Initial Conditions Be Explained?" *British Journal for the Philosophy of Science* 55, 195–217.
- Callender, C. (2004b). "There is no puzzle about the low-entropy past". In C. Hitchcock (Ed.), *Contemporary debates in philosophy of science* (pp. 240–255). London: Blackwell.
- Callender, C. (2011). "Thermodynamic Asymmetry in Time", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/time-thermo/>>.
- Carroll, S. M. (2008). "Does Time Run Backward in Other Universes?" *Scientific American*. 298N6, 26-33 [arXiv:0811.3772 [gr-qc]].
- Carroll, S. M., Chen, J. (2004). "Spontaneous Inflation and the Origin of the Arrow of Time." URL hep-th/0410270.
- Carroll, S. M., Chen, J. (2005). "Does Inflation Provide Natural Initial Conditions for the Universe?" URL gr-qc/0505037.
- Chen, E. K. (2020), *The Past Hypothesis and the Nature of Physical Laws*, Forthcoming in Barry Loewer, Eric Winsberg, and Brad Weslake (eds.), *Time's Arrows and the Probability Structure of the World*, Harvard University Press.
- Earman, J. (2006). "The "Past Hypothesis": Not even false". *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 37 (3):399-430.
- Eddington, A. S. (1929). *The Nature of Physical World*. Macmillan, New York: Cambridge University Press, Cambridge.
- Ellis, G. F. R. (2006). "Physics in the real universe: time and spacetime". *Gen. Relativ. Gravit.* 38, 1797–1824.
- Ellis, G. F. R. (2014). "The Evolving Block Universe and the Meshing Together of Times". *Annals of the New York Academy of Sciences* 1326(1): 26–41. <https://arxiv.org/pdf/1407.7243>.
- Ellis, G. F. R., & Drossel, B. (2020). "Emergence of time". *Foundations of Physics*, 50(3), 161-190. <https://doi.org/10.1007/s10701-020-00331-x>

- Esfeld M. (2006), Popper on Irreversibility and the Arrow of Time in Ian Jarvie, Karl Milford and David Miller (eds.): Karl Popper: A centenary assessment. Volume III: Science and social science. Aldershot: Ashgate Spring 2006.
- Farr, M. (2022). "What's so special about initial conditions? Understanding the past hypothesis in directionless time." In Rethinking the Concept of Law of Nature: Natural Order in the Light of Contemporary Science (pp. 205-224). Cham: Springer International Publishing.
- Feynman, Richard (1965). The Character of Physical Law. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Frigg, R. (2008). "Chance in Boltzmannian Statistical Mechanics", *Philosophy of Science*, 75, Volume 5, pp. 670-681. Doi: 10.1086/594513.
- Frigg, Roman. (2009). "Typicality and the Approach to Equilibrium in Boltzmannian Statistical Mechanics." *Philosophy of Science* 76:997–1008.
- Frigg, R. (2010). "Probability in Boltzmannian Statistical Mechanics." In Gerhard Ernst and Andreas Hüttemann, eds., *Time, Chance and Reduction: Philosophical Aspects of Statistical Mechanics*, pp. 92–118. Cambridge University Press.
- Goldstein, S. (2001). "Boltzmann's approach to statistical mechanics," in J. Bricmont; D. Durr; M. Galavotti; F. Petruccione & N. Zanghi, ed., *In: Chance in Physics: Foundations and Perspectives*, Springer, Berlin, p. 39.
- Goldstein, S. (2012). Typicality and notions of probability in physics. *Probability in physics*, 59-71.
- Goldstein, S., & Lebowitz, J. (2004). "On the (Boltzmann) entropy of nonequilibrium systems". *Physica D*, 193, 53–66
- Gołoz, J. (2011). Science, Metaphysics, and Scientific Realism. *Pol. J. Philos.*, Volume 5, pp. 27-45.
- Gołoz, J., 2011. "Science, Metaphysics, and Scientific Realism". *Pol. J. Philos.*, Volume 5, pp. 27-45.
- Gołoz, J. (2020). "In Defence of a Dynamic View of Reality". *An anthology of philosophical studies*, Volume 14, pp. 35-47.
- Gołoz, J. (2021). "Entropy and the Direction of Time". *Entropy*, 23, 388.
- Gołoz, J. (2017). "The Asymmetry of Time: A Philosopher's Reflections". *Acta Phys. Pol. B*, 48, 1935–1946. (p.1940)
- Greene, B. (2004). *The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality*. New York: Knopf.
- Harmann, P. (1982). *Energy, Force and Matter*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Ladyman, J., Ross, D. (2007). *Every Thing Must Go: Metaphysics Naturalized*, Oxford University Press.
- Lakatos, I. (1970). "Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes". In I. Lakatos, & A. Musgrave, (eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Loew, C. (2018). "Fundamentality and time's arrow." *Philosophy of Science* 85.3 (2018): 483-500.
- Loewer, B. (2001). "Determinism and Chance." *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 32, 609–620.
- Loewer, B. (2012). "Two accounts of laws and time." *Philosophical studies* 160.1 : 115-137.
- Maudlin, T. (2007a). *The metaphysics within physics*. Oxford University press.
- Maudlin, T. (2007b). "What Could Be Objective about Probabilities?" *Studies in History and Philosophy of Science B* 38:275–91.
- Maudlin, T. (2011). *Quantum non-locality and relativity: Metaphysical intimations of modern physics*. John Wiley & Sons.
- Maudlin, T. (2014). *New Foundations for Physical Geometry: The Theory of Linear Structures*. Oxford University Press.
- Maxwell, J. C. (1878). *Ether*, Britannica, 9th edition.
- North, J. (2002). "What is the Problem about the Time-Asymmetry of Thermodynamics?—A Reply to Price." *British Journal for the Philosophy of Science* 53, 121–136.
- North, J. (2011). *Time in thermodynamics*. *The oxford handbook of philosophy of time*, 312-350.
- Parker, D. (2005). "Thermodynamic Irreversibility: Does the Big Bang Explain What It Purports to Explain?" *Philosophy of Science (Proceedings)* 72, 751–763.
- Penrose, R. (1989). *The Emperor's New Mind*. Oxford: Oxford University Press.
- Penrose, R. (2005) *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe*. Alfred A. Knopf, New York.
- Popper, K. R. (1959). *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson: London.
- Popper, K. (1983). *Metaphysics and Criticizability*. In D. Miller, & D. Miller (Ed.), *A Pocket Popper*, K. (2005). *Popper Selections* (pp. 209-219). Glasgow: Fontana Press. *The Road to Reality*. New York: Knopf.
- Popper, K. R. (1979). *Objective knowledge: An evolutionary approach*. Oxford: Clarendon press.
- Price, H. (1996). *Time's Arrow and Archimedes' Point: New Directions for the Physics of Time*, New York: Oxford University Press.
- Price, H. (2002a). "Boltzmann's Time Bomb." *British Journal for the Philosophy of Science* 53, 83–119.
- Price, H. (2002b). "Burbury's Last Case: The Mystery of the Entropic Arrow." In Craig Callender, ed., *Time, Reality and Experience*, pp. 19–56. Cambridge University Press.
- Price, H. (2004). "On the Origins of the Arrow of Time: Why There is Still a Puzzle about the Low-Entropy Past." In Christopher Hitchcock, ed., *Contemporary Debates in Philosophy of Science*, pp. 219–239. Oxford: Blackwell.
- Rovelli, C. (2019). "Where was past low-entropy?." *Entropy* 21.5: 466.

- Sklar, L. (1993). *Physics and chance: Philosophical issues in the foundations of statistical mechanics*. Cambridge University Press.
- Sklar, L. (2005). "Physics and the Direction of Time". In *Encyclopedia of Philosophy*, 2nd ed.; Borchert, D.M., Ed.; Thomson Gale: Detroit, MI, USA; New York, NY, USA.
- Smolin, L. (2013). *Time Reborn: From the Crisis in Physics to the Future of the Universe*; Houghton Mifflin Harcourt: Boston, MA, USA, p. 257.
- Uffink, J. (2007) "Compendium to the foundations of classical statistical mechanics", in *Handbook for the Philosophy of Physics*, J. Butterfield and J. Earman (eds.), Amsterdam: Elsevier, pp. 924–1074.
- Wallace, D. (2011). The logic of the past hypothesis. In Barry Loewer, Eric Winsberg & Brad Weslake (eds.), *Currently-unnamed volume discussing David Albert's "Time and Chance"*.
- Weinberg, S. (1993). *The first three minutes: a modern view of the origin of the universe*. basic books.
- Weinberg, S. (2008). *Cosmology*; Oxford University Press: Oxford, UK, 1993;
- Winsberg, E. (2004). "Can Conditioning on the "Past Hypothesis" Militate Against the Reversibility Objections?" *Philosophy of Science (Proceedings)* 71, 489–504.
- Winsberg, E. (2008). "Laws and Chances in Statistical Mechanics." *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 39, 872–888.