

Special Relativity against McTaggart's argument on the unreality of time

Mohammad Ebrahim Maghsoudi⁻

Ph.D. Student. Department of Philosophy of Science, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

McTaggart has argued that any attempt to obtain a consistent mathematical description of the passage of time is doomed to failure: complicating tenses does not eliminate contradiction, rather pushes it back to a more complicated tensed expression. I will argue that one could avoid the hierarchical contradictions in McTaggart's argument against the reality of time: it would be enough to use appropriate semantic models for dealing with tensed sentences, and for placing an order which determines their sequence of truth. Then, I would also argue that there is no meaningful distinction between McTaggart's A and B series, and that the A series requires the B series. Finally, I will introduce the special relativistic correspondence of the McTaggart's series, and argue that Minkowski space-time provides us the frame for constructing the semantic model needed to address temporal expressions in a way that avoids McTaggart's contradictions. Thus it is shown that in the special relativistic description of time, i.e. the Minkowskian model, some of the premises of McTaggart's argument are false; As a result, his argument is not sound.

Keywords: special relativity, time, McTaggart

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نسبیت خاص علیه استدلال مک تاگارت

محمدابراهیم مقصودی*

دانشجوی دکترای فلسفه علم، گروه فلسفه علم، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

me.maghsoodi@gmail.com

چکیده

مک تاگارت استدلال کرده است که هر تلاشی برای ارائه توصیف ریاضی سازگاری از گذر زمان، محکوم به شکست است. پیچیده‌تر کردن زمان دستوری جملات، تناقض را برطرف نمی‌کند؛ بلکه صرفاً آن را از لایه‌ای به لایه دیگر منتقل می‌کند. در این پژوهش، استدلال خواهد شد که می‌توان از بروز تناقض لایه‌لایه در استدلال مک تاگارت علیه واقعی بودن زمان اجتناب کرد. کفایت سمانتیکی برای پرداختن به عبارات زمان‌دار و یک ترتیب‌گذاری بر صدق آنها در اختیار قرار گیرد. همچنین، استدلال خواهد شد تمایزی، از نوعی که مک تاگارت انتظارش را داشت، میان سری‌های الف و ب وجود ندارد. وجود سری الف مستلزم وجود سری ب است. در نهایت متناظرهای نسبیتی سری‌های مک تاگارت معرفی خواهند شد و بحث خواهد شد که فضا-زمان مینکوفسکی برای ساخت مدل سمانتیکی موردنیاز فریمی فراهم می‌آورد برای پرداختن به عبارات زمان‌دار؛ به نحوی که در آن از بروز تناقض مک تاگارتی اجتناب می‌شود. بدین ترتیب، نشان داده می‌شود که در مدلی که نسبیت خاص برای توصیف زمان ارائه می‌کند، برخی از مقدمات استدلال مک تاگارت کاذب‌اند و در نتیجه استدلال او صحیح نیست.

واژگان کلیدی: نسبیت خاص، زمان، مک تاگارت

مقدمه

چنین نقدی به مک‌تاگارت در میان نقدهای فراوان به او به چشم می‌خورد^۱. رویکرد پژوهش حاضر از آن جهت که به دنبال مرتفع کردن تناقض در میان سری الف است، با رویکرد مدافعان نظریه الف قرابت دارد؛ با این حال، روشی که برای رفع کردن تناقض در پیش گرفته می‌شود، از آنان اساساً متمایز است. همچنین، در اینجا تمایز میان سری‌های الف و ب، جدی تلقی نمی‌شود و به مناقشه میان نظریه الف و نظریه ب پرداخته نمی‌شود؛ به همین جهت، ضروری نیست که به بحث از سازگاری یا عدم سازگاری نسبت خاص با نسخه‌های مختلف نظریه الف یا ب نیز پرداخته شود^۲.

سازمان‌دهی این مقاله چنین است: در بخش ۱ پیش‌نیازهای لازم برای بخش‌های بعد فراهم می‌آید: مروری بر ساختار زمانی فضا-زمان مینکوفسکی^۳، نظریات الف^۴، ب^۵، و پ^۶ در باب زمان، و عملگرهای زمان دستوری^۶ در منطق زمان^۷ خواهد شد. ضمناً نمادپردازی مورد نیاز برای ادامه کار نیز معرفی خواهد شد. در بخش ۲ تقریری از استدلال مک‌تاگارت علیه واقعی بودن زمان ارائه می‌شود؛ تقریری جدید که در عین حال با تقریرهای موجود هم‌خوان است. این تقریر با استفاده از نمادگذاری معرفی شده، به نحوی صورت‌بندی شده است تا با صورت‌بندی نسبت خاص هماهنگ باشد. سپس استدلال خواهد شد که می‌توان استدلال مک‌تاگارت را مسدود^۸ کرد. می‌توان مدلی برای توصیف زمان ساخت که در آن انتظارات مک‌تاگارت از مدل‌سازی‌ای از زمان برآورده شود و

جان مک‌تاگارت ایس مک‌تاگارت در ۱۸۸۹ در نامه‌ای به یکی از دوستانش او را مطلع ساخت که ایده‌ای برای حذف مفهوم زمان در ذهن دارد. این ایده در نهایت نوزده سال بعد به ثمر نشست و او در ۱۹۰۸ استدلال معروف خود علیه واقعی بودن زمان را منتشر کرد (ر.ک. McDaniel, 2020: 3). استدلالی که نشان می‌داد نمی‌توان هیچ توصیف سازگاری از زمان ارائه کرد. زمان تناقض‌گونه است. سه سال پیش‌تر، در ۱۹۰۵، آلبرت اینشتین نسبت خاص را به جهان معرفی کرده بود؛ نظریه‌ای در باب زمان، کش آمدن و تندشدن آن. آیا زمان واقعی است؟ یا یک توهم است؛ چنان‌که مک‌تاگارت باور دارد؟ پژوهش حاضر قصد پاسخ‌دادن به این پرسش را ندارد. تنها قصد دارد نشان دهد که استدلال مک‌تاگارت علیه واقعی بودن زمان دچار اشکال است و نسبت خاص هرآنچه را که برای آشکارکردن این اشکال نیاز است، در اختیار قرار می‌دهد.

هدف پژوهش حاضر، ارزیابی صحت استدلال مک‌تاگارت با بهره‌گیری از مدلی از زمان است که نسبت خاص در اختیار می‌گذارد. برای این منظور، از فضا-زمان مینکوفسکی برای تشکیل فریمی برای ساخت سمانتیک عبارات زمان‌دار بهره برده می‌شود. استدلال خواهد شد که این مدل‌سازی از زمان، مدلی سمانتیکی فراهم می‌آورد که در آن برخی از مقدمات استدلال مک‌تاگارت علیه واقعی بودن زمان کاذب‌اند؛ پس استدلال او صحیح^۱ نیست. همچنین، استدلال خواهد شد که این کاری موجه است؛ زیرا تصویر نسبت خاصی بهترین تصویر است که از زمان در اختیار است. طبق بررسی‌های پژوهشگر، جای خالی

² Minkowski space-time

³ A-theory

⁴ B-theory

⁵ C-theory

⁶ Tense operators

⁷ Tense logic OR Temporal logic

⁸ Block

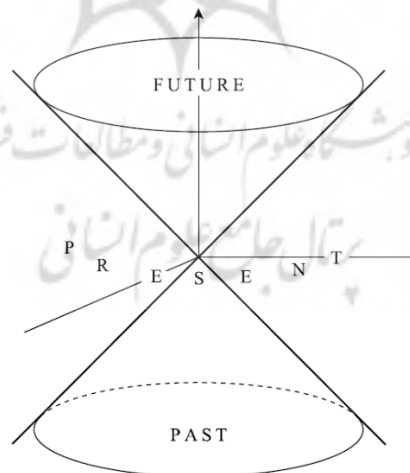
¹ sound

۱. فضا‌زمان، زمان و زمان دستوری: اولین مواجهه

۱-۱. طعمی از نسبیت خاص: هندسه فضا‌زمان مینکوفسکی

در فیزیک نسبیتی، زمان در اتصال با فضا فهمیده می‌شود: فضا‌زمان، به جای فضا و زمان، موضوع بررسی است. نسبیت خاص نظریه‌ای درباره فضا‌زمان‌های تخت است. فضا‌زمان مینکوفسکی نمونه‌ای از چنین فضا‌زمان‌هایی است.^۳ در فضا‌زمان مینکوفسکی هر نقطه با چهارتایی (t, x, y, z) مشخص می‌شود و عموماً یک رویداد، با نماد e نامیده می‌شود. ارتباط فضا‌زمانی هر رویداد با رویدادهای دیگر از طریق مخروط نوری مشخص می‌شود: رویدادهایی که در نیمه بالایی مخروط نوری واقع‌اند، در آینده، و رویدادهایی که در نیمه پایینی مخروط نوری واقع‌اند، در گذشته رویدادی که در مرکز مخروط واقع است، قرار دارند (شکل ۱).

درعین حال، برخی از مقدمات استدلال او در آن مدل کاذب باشند. همچنین، استدلال خواهد شد که مدل ساخته‌شده بر مبنای نسبیت خاص چنین مدلی است. بخش ۳ مصروف بسط‌دادن و تبیین این ادعاها شده است. برای این منظور، دوباره به موضوعات طرح‌شده در بخش ۱ پرداخته می‌شود و بیشتر کاویده می‌شوند. سمانتیک نظریه مدلی منطبق زمان معرفی خواهد شد، سری‌های الف و ب مک‌تاگارت مجدداً واریسی خواهد شد تا نشان داده شود که در واقع تمایزی، از نوعی که مک‌تاگارت انتظارش را داشت، میان آنها وجود ندارد. دست‌آخر به نسبیت خاص پرداخته می‌شود و بحث می‌شود که چگونه می‌توان آن را اصل موضوعه‌سازی کرد و با این کار چگونه مدلی سمانتیکی برای پرداختن به عبارات زمان‌دار فراهم می‌آید. در نهایت در بخش ۴ استدلال پژوهش حاضر تکمیل می‌شود تا نشان داده شود که در چهارچوب نسبیت خاص، استدلال مک‌تاگارت علیه واقعی بودن زمان صحیح نیست.

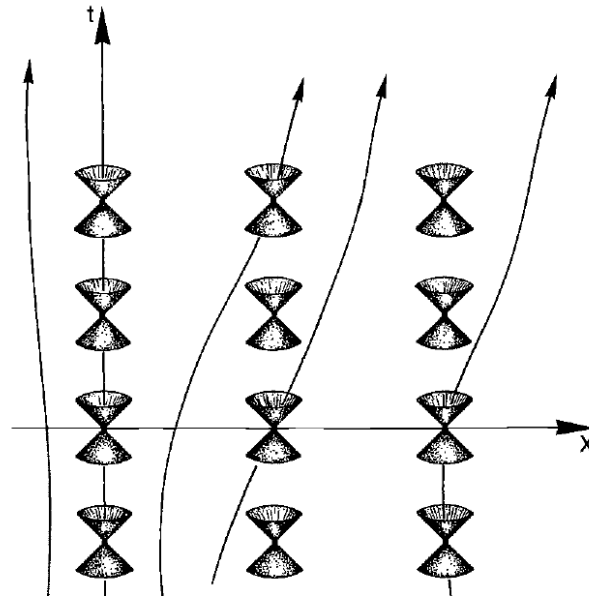


شکل ۱. (Rindler, 2006: 94)، با تغییرات

نوری نقاط مختلف با یکدیگر موازی هستند^۱ (شکل ۲).

در فضا‌زمان مینکوفسکی، می‌توان به هر رویداد، مستقل از مسیری که در فضا‌زمان طی می‌شود، یک و تنها یک مخروط نوری منتسب کرد.^۴ مخروط‌های

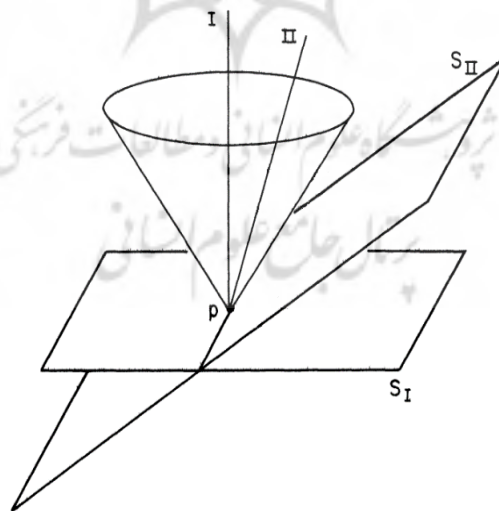
^۱ دلیل این مطلب تخت بودن فضا‌زمان مینکوفسکی است. برای توضیح بیشتر بنگرید به (Ellis, 1988, 151).



شکل ۲. (Ellis, 1988: 163). با تغییرات

است و صفحه هم‌زمانی صفحه‌ای است که در e ، بر مسیر گذرنده از e عمود باشد (شکل ۳)؛ بنابراین، هر مسیر گذرنده از e صفحه هم‌زمانی خاص خود را دارد.^۱ این مطلب بازتابی است از نسبی بودن هم‌زمانی که در نسبیت خاص اساسی است.

بدین ترتیب، گذشته و آینده هر رویداد به نحوی مستقل از مسیری که در فضا زمان طی می‌شود، قابل تشخیص است؛ اما در رویدادهای هم‌زمان با یک رویداد، وضع مشابهی برقرار نیست. رویداد e با تمام رویدادهای واقع بر صفحه هم‌زمانی اش هم‌زمان



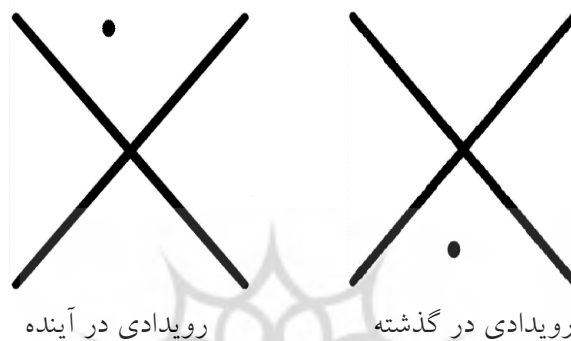
شکل ۳. (Friedman, 1983: 127). با تغییرات

^۱ در اینجا قرارداد هم‌زمانی را استاندارد (قرارداد ایشنتینی) فرض می‌کنم.

^۲ بنگرید به (Friedman, 1983, 126-127).

فیزیک تحت تبدیلات لورنتز است. به بیان دیگر، اگر تقاضا کنیم قوانین فیزیک در تمام چهارچوب‌های لخت که به وسیله تبدیلات لورنتز به یکدیگر ترجمه می‌شوند، صورتی یکسان داشته باشند، این سبب خواهد شد آینده، گذشته و حال یک رویداد به نحوی باشند که توصیفش گذشت (Ellis, 1988: 122-151).

چنین ساختار زمانی نشان می‌دهد یک زمان حال جهان‌شمول^۱ و غیروابسته به سرعت ناظر نمی‌تواند در نسبیت خاص خوش‌تعریف باشد و تنها می‌توان از اکنون‌های موضعی^۲، یعنی وابسته به مکان و سرعت لحظه‌ای معینی صحبت کرد.^۳ ساختار فضا‌زمانی مینکوفسکی که تاکنون بدان پرداخته شد، ناشی از تقاضای ناوردایی قوانین



شکل ۴

حال رویداد گذشته می‌شوند، و رویدادهای گذشته رویدادهای گذشته‌تر می‌شوند. در سری ب، هر موقعیت زمانی قبل از برخی موقعیت‌ها، هم‌زمان با برخی موقعیت‌ها، و بعد از برخی موقعیت‌های زمانی قرار دارد. در سری پ، هر موقعیت زمانی در میان دو موقعیت زمانی دیگر واقع است (ر.ک. McTaggart, 1908: 458; McTaggart, 1927: 305 & 306).

مک‌تاگارت، دست‌کم در آثار نخستین خود، چندان در صدد به‌دست‌دادن یک صورت‌بندی نظریه مجموعه‌ای از سری‌های مذکور نبوده است؛ باین‌حال، می‌توان چنین توصیفی را در نظر گرفت:^۴ مجموعه همه موقعیت‌های زمانی یا رویدادها E در

از این پس، برای سادگی مخروط نوری به صورت دویبعدی در نظر گرفته می‌شود و نمادپردازی شکل ۴ برای نمایش رویدادهایی در آینده و گذشته رویدادی معین به کار بسته می‌شود.

۲-۱. الف، ب، پ در باب زمان

مک‌تاگارت موقعیت‌های زمانی^۵ را متعلق به سه سری می‌داند: سری الف^۳، سری ب^۴ و سری پ^۵. از نظر او، هر موقعیت زمانی به هر سه سری تعلق دارد؛ اما این سری‌ها از هم متمایزند. در سری الف، هر موقعیتی آینده بوده است، حال می‌شود، و در نهایت گذشته خواهد شد. به بیان دیگر، رویدادهای آینده رویداد حال می‌شوند، رویدادهای

¹ Global

² Local

³ A-series

⁴ B-series

⁵ C-series

نمی‌داند.^۱ دیدگاهی که سری الف را برای توصیف زمان بنیادی می‌داند، نظریه الف، و دیدگاهی که سری ب را برای توصیف زمان بنیادی می‌داند، نظریه ب نامیده می‌شود.^۱

۱-۳. طعمی از منطق زمان، عملگرهای زمان

منطق زمان نوعی از منطق موجهات^۹ است که به تحلیل منطقی جملات زمان‌دار می‌پردازد. روشی متداول برای پرداختن به زمان‌های دستوری^{۱۰} آن است که به صورت عملگرهایی که بر جملات^{۱۱} عمل می‌کنند و آنها را زمان‌دار می‌کنند، در نظر گرفته شوند. عملگر زمان دستوری گذشته با P و عملگر زمان دستوری آینده با F نمایش داده می‌شود؛ بنابراین، اگر «خورشید می‌درخشد» را با h نمایش دهیم، آن‌گاه Ph عبارت خواهد بود از اینکه «در گذشته خورشید (می) درخشد» و Fh عبارت خواهد بود از اینکه «(در آینده) خورشید خواهد درخشد». چنین عملگرهایی می‌توانند با هم ترکیب شوند و زمان‌های دستوری مرکبی را در جملات تولید کنند. برای نمونه، FPh ، که زمان دستوری گذشته در آینده را به جمله القا می‌کند، چنین است: «(در آینده) چنان خواهد بود که (در گذشته) خورشید می‌درخشیده است». همچنین، عملگرهای زمان دستوری می‌توانند مکرر شوند؛ بنابراین، می‌توان عملگرهای زمان‌های مرکب PP ، PF ، FFP ، و... را نیز در نظر گرفت.^{۱۱}

نظر گرفته می‌شوند. این مجموعه را می‌توان به سه دسته از روابط مجهز کرد: ۱. سه رابطه یک‌تایی^۱ «... حال است»، «... گذشته است»، و «... آینده است»، که الف رابطه، با نماد R^A نامیده می‌شوند.^۲ ۲. دو رابطه دوتایی «... قبل از ... است»، و «... بعد از ... است»، که ب رابطه، با نماد R^B نامیده می‌شوند. و ۳. یک رابطه سه‌تایی «... در میان ... و ... است»، که پ رابطه، با نماد R^C نامیده می‌شوند. R^B یک رابطه ترتیب نامتقارن^۳، پادبازتابی^۴ و تراگذر^۵ است که یک جهت بر ترتیب اعضای E القا می‌کند؛ درحالی‌که R^C یک رابطه پادبازتابی و تراگذر، موسوم به رابطه میان‌بودگی^۶ است که تنها بیان‌گر آن است که چه عضوی از E در میان کدام دو عضو دیگر آن است.^۹ بدین ترتیب، دوتایی (E, R^A) سری الف، (E, R^B) سری ب، و (E, R^C) سری پ نامیده می‌شود.

از دید مک‌تاگارت، رویدادها در سری الف موقعیت زمانی خود را تغییر می‌دهند. یا به بیان دیگر، موقعیت‌های زمانی سری الف متغیرند. درمقابل، در سری‌های ب و پ ثبات برقرار است: اگر رویدادی قبل از رویداد دیگر باشد، همواره پیش از آن بوده است و همواره پیش از آن خواهد بود.^۷ همچنین، اگر رویدادی در میان دو رویداد دیگر باشد، همواره در میان آنها بوده است و همواره در میان آنها خواهد بود؛ از همین رو، او سری الف را بنیادی‌تر از سری ب می‌داند؛^۷ اما درنهایت او واقعی بودن هر دو را منکر است؛ درحالی‌که سری پ را بی‌بهره از واقعیت

¹ One-place
² Asymmetric
³ Irreflexive
⁴ Transitive
⁵ Betweenness

^۶ بنگرید به (McTaggart, 1908, 458-459).

^۷ بنگرید به (McTaggart, 1908, 458-459 & 463-464)، و همچنین

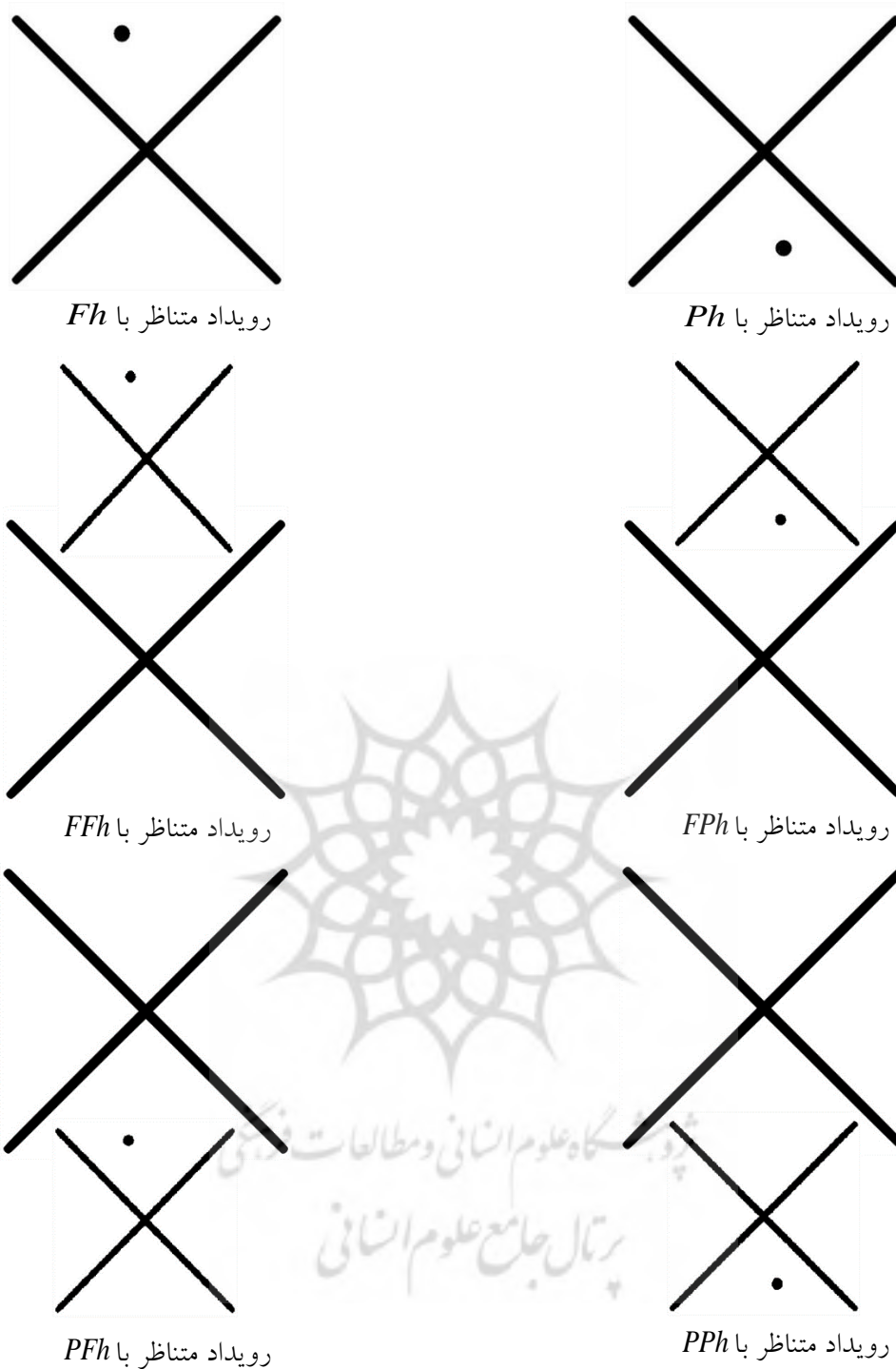
(McTaggart, 1927, 306).

^۸ بنگرید به (McTaggart, 1908, 473-474)، و (McTaggart, 1927, 306).
^۹ (McDaniel, 2020, 3).

^۹ Modal logic

^{۱۰} Tenses

^{۱۱} Sentences



شکل ۵

است. زمان دستوری h زمان حال است؛ بنابراین، اگر h صادق باشد، تنها می‌تواند رویدادی را در مرکز مخروط نوری مشخص کند. شکل ۵ کاربرد نمادپردازی مذکور را برای برخی زمان‌های دستوری مرکب به نمایش می‌گذارد.

نمادپردازی را که در زیربخش ۱-۲ برای نمایش ساختار زمانی در فضا-زمان مینکوفسکی معرفی شد، می‌توان در اینجا به نحوی هماهنگ با به‌کارگیری عملگرهای زمان استفاده کرد: فرض کنیم که جمله h عبارت باشد از اینکه «رویداد e در حال رخ دادن

۲. استدلال مک‌تاگارت و مسدود کردن آن

۲-۱. استدلال مک‌تاگارت علیه واقعی بودن زمان

استدلال مک‌تاگارت را می‌توان این‌طور صورت‌بندی کرد^{۱۲}:

مقدمه ۱. اگر زمان واقعی باشد، آن‌گاه تغییر واقعی است.

مقدمه ۲. تغییر فقط به وسیله سری الف می‌تواند به‌نحو سازگاری توصیف شود.

مقدمه ۳. سری الف مستلزم تناقض است.

نتیجه ۱. تغییر نمی‌تواند به‌نحو سازگاری توصیف شود.

مقدمه ۴. هر چیزی که نتواند به‌نحو سازگاری توصیف شود، واقعی نیست.

نتیجه ۲. تغییر واقعی نیست.

نتیجه ۳. زمان واقعی نیست.

مقدمه ۱ عموماً پذیرفته‌شده است^{۱۳}. مک‌تاگارت

نیز آن را مفروض می‌گیرد و چندان به آن نمی‌پردازد

(ر.ک. McTaggart, 1908: 459; McTaggart,

309; McDaniel, 2020: 3). مقدمه ۲ محل

مناقشه نظریه‌پردازان الف و ب است. استدلال

مک‌تاگارت له آن همان است که در زیربخش ۲-۲

آمد: تنها راه برای تغییر، یعنی تغییر در موقعیت

زمانی، تغییر موقعیت در سری الف است و سری‌های

دیگر فاقد آن هستند^{۱۴}. مقدمه ۳ و ۴ نیز عموماً

پذیرفته‌شده هستند^{۱۵}. بیانی از استدلال مک‌تاگارت له

مقدمه ۳ در ادامه خواهد آمد. در دفاع از مقدمه ۴

چیزی در آثار مک‌تاگارت یافته نشد. به نظر می‌رسد

که او آن را کاملاً بدیهی پنداشته است^{۱۶}.

استدلال مک‌تاگارت له مقدمه ۳ چنین است^{۱۷}:

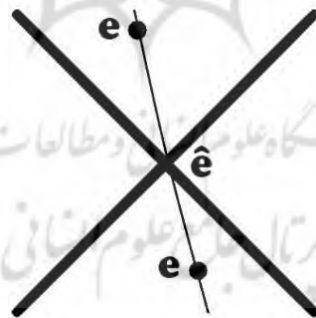
فرض کنید رویداد معینی را با e و عبارت « e در حال

رخ‌دادن است» را با h نمایش می‌دهیم. شهوداً

می‌دانیم که $(Ph \Leftrightarrow Fh) \vee$ صادق است: یک رویداد

نمی‌تواند هم در گذشته باشد و هم در آینده (شکل ۶

ناممکن است).



شکل ۶

وضعیت شکل ۶ را به تصویر می‌کشند و بنابراین،

یک تناقض است.

ممکن است اعتراض شود که در اینجا تناقض

قابل اجتناب است. تنها کافیست توجه کنیم که رویداد

مذکور هم در گذشته و هم در آینده نیست؛ بلکه

چنین بوده که در آینده بوده است و سپس چنین بوده

اما h مشمول گذر زمان می‌شود: هم زمان

دستوری گذشته را کسب می‌کند و هم زمان دستوری

آینده را؛ بنابراین، هم Ph صادق است و هم Fh

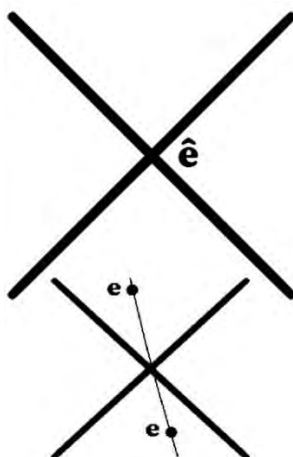
و بنابراین، ترکیب عطفی آنها نیز باید $Ph \Leftrightarrow Fh$

صادق باشد و بدین ترتیب باید رویدادی متناظر با

$Ph \Leftrightarrow Fh$ موجود باشد؛ مثلاً \hat{e} ؛ اما این همان

است $PFh \Leftrightarrow PPh$ (با رویداد متناظر \hat{e}) است و نه $Ph \Leftrightarrow Fh$ (شکل ۷).

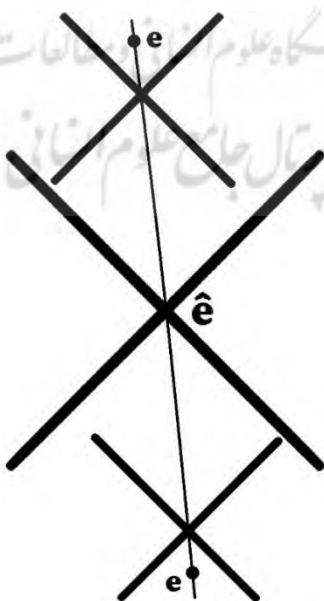
که در گذشته بوده است. در واقع، در اینجا از زمان‌های مرکب گذشته در گذشته و آینده در گذشته بهره برده‌ایم و ادعا می‌کنیم که آن عبارتی که صادق



شکل ۷

آن‌گاه باید FFh نیز صادق باشد؛ زیرا h مشمول گذر زمان می‌شود و آن رویدادی که در گذشته گذشته بوده است، در زمانی خیلی پیش‌تر از زمان حال، در آینده آینده خواهد بود؛ بنابراین، $PPh \Leftrightarrow FFh$ (با رویداد متناظر \hat{e}) نیز صادق است (شکل ۸)؛ اما شهودا می‌دانیم که $\vee(PPh \Leftrightarrow FFh)$ صادق است و بنابراین، دوباره تناقض بروز می‌کند.

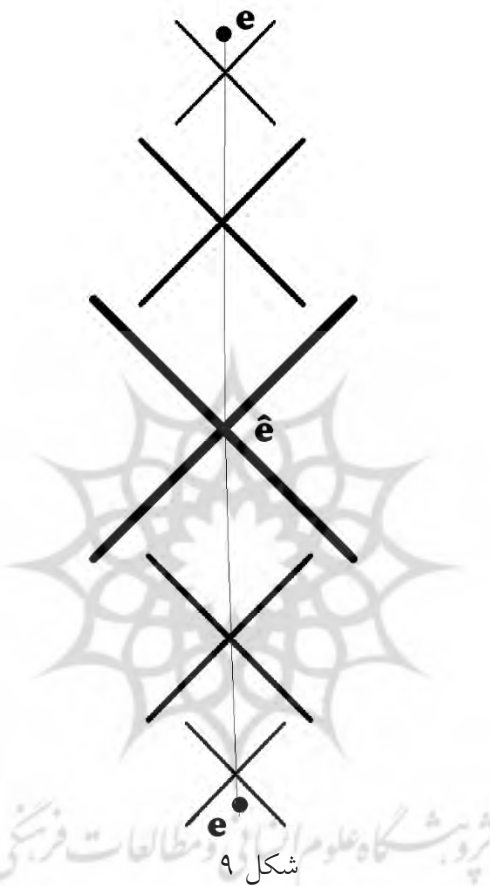
با این کار، در واقع ما از سری الف دیگری بهره گرفته‌ایم که اعضای آن نه موقعیت‌های زمانی یا رویدادهای اولیه‌مان، که موقعیت‌های زمانی یا رویدادهای مربوط به سری الف قبلی هستند؛ اما در این صورت تناقض برطرف نشده است؛ بلکه تنها از سطحی از زمان دستوری به سطحی دیگر منتقل شده است؛ زیرا در این سطح جدید نیز تناقض وجود خواهد داشت: اگر PPh و PFh صادق باشند،



شکل ۸

از زمان دستوری منتقل شده است؛ زیرا در آنجا نیز تناقض $(PPPh \leftrightarrow FFFh) \leftrightarrow (PPPh \leftrightarrow FFFh)$ بروز می‌کند (شکل ۹، رویداد \hat{e} متناظر عبارت $PPPh \leftrightarrow FFFh$ است).

اگر همچنان اصرار کنیم که در این مورد نیز $PPPh \leftrightarrow FFFh$ نیست که صادق است؛ بلکه $PPPh$ و $PFFh$ و بنابراین، $PPPh \leftrightarrow PFFh$ صادق‌اند (یعنی از سری الف سومی بهره بگیریم)، باز هم تناقض برطرف نشده؛ بلکه دوباره به لایه عمیق‌تری



شکل ۹

صادق‌اند؛ بنابراین، $Ph \leftrightarrow Fh$ نیز صادق است و دوم اینکه برای رهایی از تناقض تنها چاره توسل به سری الف دیگری است. ادعای پژوهش حاضر این است که هر دو فرض مذکور قابل اجتناب هستند:

نخست تصور می‌شود Ph و Fh به ترتیب صادق باشند و در زمانی که Ph صادق است، Fh صادق نباشد. بدین ترتیب، Ph و Fh به طور هم‌زمان صادق نخواهند بود و بنابراین، $Ph \leftrightarrow Fh$ نیز صادق نیست و وضعیت تناقض آمیزی که توصیف آن در زیربخش قبل (۲-۱) آمد، بروز نخواهد کرد.

این می‌تواند تا ابد^۱ ادامه یابد و تناقض به این شیوه هرگز برطرف نمی‌شود و مدام به لایه عمیق‌تری نفوذ می‌کند. به این ترتیب، مک‌تاگارت نشان می‌دهد که تناقض در سری الف اجتناب‌ناپذیر است.

۲-۲. اجتناب از بروز تناقض، مسدود شدن استدلال مک‌تاگارت

برخلاف نظر مک‌تاگارت، می‌توان از بروز تناقض اجتناب کرد. استدلال او مبتنی بر دو فرض است: اول اینکه عباراتی چون Ph و Fh به طور هم‌زمان

^۱ Ad infinitum

۳-۳ و بخش ۴ به این مطلب پرداخته می‌شود). با کمی تسامح و به جهت سادگی، می‌توان این ترتیب را در هر مخروط نوری از پایین به بالا در نظر گرفت؛ در نتیجه، نیازی نیست برای به دست دادن ترتیبی برای صادق شدن جملات زمان‌دار در یک سری الف، به سری الف دیگری متوسل شویم؛ پس وضعیت تناقض‌آمیزی که مک‌تاگارت انتظارش را دارد، بروز نخواهد کرد. ایده مشابهی را نیز روللی ارائه کرده است. او معتقد است که می‌توان برای متمایز کردن سری‌های الف از یکدیگر (یا به بیانی که در اینجا به کار گرفته شد، برای مرتب کردن جملات زمان‌دار) از یک سری ب استفاده کرد و بدین ترتیب استدلال مک‌تاگارت با شکست مواجه می‌شود (Rovelli, 2018: 7 & Endnote 21; 2019: 1333-1334). متأسفانه او توضیحی ارائه نکرده است؛ اما گمان می‌رود همان چیزی را در ذهن دارد که به تفصیل در زیربخش ۲-۳ خواهد آمد^{۱۹}؛ جز اینکه در این پژوهش استدلال خواهد شد که تمایز میان سری‌های الف و ب را نباید چندان جدی دانست؛ وجود سری الف مستلزم وجود سری ب است. مک‌تاگارت تمایز میان سری‌های الف و ب را جدی می‌داند و معتقد است که برای توصیف زمان (و تغییر) تنها می‌توان از سری الف استفاده کرد. بدین ترتیب، مقدمه ۲ استدلال مک‌تاگارت کاذب است.

برای نشان دادن صحت نداشتن^۱ استدلال مک‌تاگارت، انکار هر کدام از مقدمات او کافست؛ اما استدلال خواهد شد که علاوه بر مقدمه ۲، مقدمه ۳ استدلال او نیز کاذب است. چنان‌که خواهد آمد، وجود سری الف مستلزم وجود سری ب است و این هم‌آیی سبب خواهد شد تا بتوانیم با توسل به سری ب ترتیبی بر صدق عبارات زمان‌دار وضع کنیم (در زیربخش ۳-۳ نیز در بخش ۴ به نحوی دقیق‌تر به این

پریست نیز راهکار مشابهی برای اجتناب از تناقض ارائه کرده است (Priest, 2000: 58-62)؛ اما او متذکر می‌شود که این راهکار در نهایت ثمربخش نیست؛ زیرا توصیف ارائه شده از زمان در این شیوه، توصیفی مکان‌گونه است که دقیقاً همان چیزی را نادیده می‌گیرد که مک‌تاگارت هدف قرار داده است: جریان داشتن زمان. به بیان دیگر، پریست معتقد است که این راهکار برای اجتناب از تناقض، یعنی ترتیب‌گذاری بر صدق عبارات زمان‌دار، زمان را به نحوی مدل‌سازی می‌کند که جنبه مهمی از آن، یعنی گذر زمان، نادیده گرفته می‌شود. اشکال پریست در اینجا، یعنی ارزیابی استدلال مک‌تاگارت در چهارچوب نسبیت خاص وارد نیست. در پژوهش حاضر تصویری از زمان مفروض گرفته می‌شود که نسبیت خاص به ما ارائه کرده است. اول اینکه این بهترین تصویری است که ما از زمان می‌شناسیم؛ به پشتوانه تجربه، مدل‌سازی قابل‌اعتمادی از زمان است. دوم اینکه تصویر نسبیت خاصی از زمان می‌تواند گذر زمان را دربر داشته باشد (برای مثال ر.ک. Dieks, 1988: 2006; Hartle, 2005)^{۱۸}؛ بنابراین، مدلی که در این مقاله برای زمان مفروض گرفته شده است، به اندازه کافی قابل‌اعتماد است و می‌تواند در بردارنده جنبه پویای زمان نیز باشد؛ بنابراین، دچار اشکالی نیست که پریست مطرح کرده است. نکته دیگر و مهم‌تر آنکه ابدا لزومی ندارد که ترتیبی که برای صادق شدن عبارات زمان‌دار لحاظ می‌کنیم، از یک سری الف القا شده باشد. می‌توان برای هر زمان مرکبی محدوده فضازمانی‌ای را مشخص ساخت که عبارت زمان‌دار مربوطه در آن صادق باشند. به دست دادن یک ترتیب بر روی چنین نواحی‌ای، ترتیب صادق شدن عبارات زمان‌دار را معین خواهد کرد. خوشبختانه، فضازمان مینکوفسکی پیشاپیش چنین ترتیبی را در خود دارد (در زیربخش

^۱ Unsoundness

با دراختیارداشتن یک مدل، قدم بعدی به دست دادن شرایط صدق فرمول‌هاست. اگر صادق بودن فرمول μ را در زمان t و در مدل M به صورت $M, t \models \varphi$ نمایش دهیم، قواعد سمانتیکی تعیین کننده شرایط صدق فرمول‌ها چنین خواهند بود:

$$M, t \models h \quad \text{iff} \quad (h \in Y \text{ هر } h \in Y)$$

$$M, t \models \neg \mu \quad \text{iff} \quad M, t \not\models \mu$$

$$M, t \models \mu \wedge \nu \quad \text{iff} \quad M, t \models \mu \text{ و } M, t \models \nu$$

$$M, t \models P\mu \quad \text{iff} \quad \exists t' \in E(t, M, t') \text{ که } M, t' \models \mu$$

$$M, t \models F\mu \quad \text{iff} \quad \exists t' \in E(t, M, t') \text{ که } M, t' \models \mu$$

$$M, t \models G\mu \quad \text{iff} \quad \forall t' \in E(t, M, t') \text{ که } M, t' \models \mu$$

$$M, t \models H\mu \quad \text{iff} \quad \forall t' \in E(t, M, t') \text{ که } M, t' \models \mu$$

که در اینجا h جمله‌نشانه، μ و ν نماد فرمول‌ها، و G و H به ترتیب عملگرهای «همواره چنین خواهد بود که ...» و «همیشه چنین بوده است که ...» هستند. بدین ترتیب، یک مدل این امکان را برای ما فراهم می‌آورد که نخست توصیفی صوری و ریاضیاتی از زمان به دست دهیم و دوم اینکه در چهارچوب این توصیف به صدق یا کذب عبارات زمان‌دار در زمان‌های مشخص پردازیم.^{۲۱}

۳-۲. سری الف؟ سری ب؟

در زیربخش ۲-۱ سری‌های الف و ب به عنوان دوتایی‌های (E, R^A) و (E, R^B) معرفی شدند که در آن مجموعه موقعیت‌های زمانی یا رویدادها، و R^A و R^B روابط تعریف شده معینی بر آن هستند و چنان‌که دیده شد، از دید مک‌تاگارت، سری الف زمان را به عنوان جریانی که از آینده به گذشته جاری می‌شود، توصیف می‌کند؛ در حالی که سری ب زمان را به عنوان توالی ساکنی از لحظات توصیف می‌کند؛ اما آیا او در مضبوط کردن این تصاویر (جریان و سکون) به کمک روابط R^A و R^B موفق بوده است؟ گمان

مطلب پرداخته می‌شود) و بدین ترتیب، به همان طریقی که در این زیربخش شرح داده شد، می‌توان از بروز تناقض اجتناب کرد. بخش ۳ تماماً به بسط ادعاهای پژوهشگر در این زیربخش می‌پردازد. برای این منظور، نخست سمانتیکی مناسب برای پرداختن به شرایط صدق عبارات زمان‌دار در یک زمان معین نیاز است و دوم باید مفهوم سری‌های مک‌تاگارت واکاوی شود تا نشان داده شود که وجود سری الف مستلزم وجود سری ب است. در نهایت در چهارچوبی نسبی از این هم‌آیی استفاده می‌شود تا بر صدق عبارات زمان‌دار ترتیب‌گذاری شود.

۳. فضا زمان، زمان، و زمان دستوری: مواجهه دوم

۳-۱. سمانتیک نظریه مدلی برای منطق زمان

یک مدل $M \equiv (E, R, \nu)$ یک سه‌تایی، شامل یک مجموعه ناتمی از موقعیت‌های زمانی یا رویدادها E که «جهان‌های ممکن (زمانی)» نامیده می‌شوند، یک رابطه دوتایی تعریف شده بر آنها R ، و یک تابع ارزش‌دهی ν است که به هر جمله‌نشانه^۱ از مجموعه جمله‌نشانه‌های زبان، Y ، یک ارزش صدق متناسب می‌کند.^{۲۰} R علی‌الاصول می‌تواند چیزهای متنوعی باشد و به ازای R های گوناگون نظریه مدلی‌های گوناگونی برای زمان قابل ساخت است. با این حال، عموماً آن را به صورت «... پیش از ... است»، موسوم به رابطه تقدم زمانی^۲ در نظر می‌گیرند. می‌توان تقاضا کرد که R ویژگی‌های معینی، همچون تراگذری، خطی بودن^۳، شاخه‌ای بودن^۴، تقارن، انعکاسی و یا ترکیبی از آنها داشته باشد که سبب ایجاد تنوعی از مدل‌های زمانی می‌شود.

¹ Sentence letter OR proposition letter

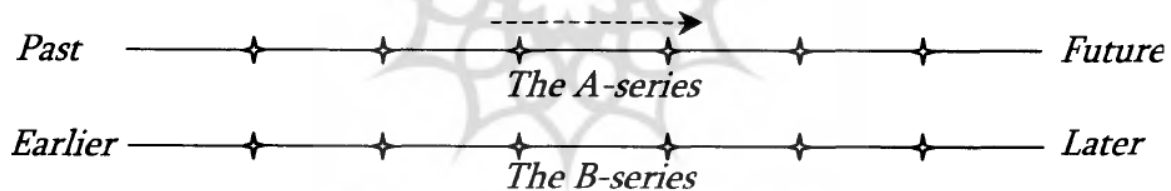
² Temporal precedence

³ Linearity

⁴ Branching

⁵ Capture

چه چیزی سبب می‌شود که سری الف را واجد تغییر سری ب را واجد ثبات بدانیم؟ فریمن بحث می‌کند که به سه طریق می‌توان سری الف را واجد تغییر در نظر گرفت: ۱. تغییر در موقعیت نسبی رویدادها؛ ۲. تغییر در فاصله زمانی میان رویدادها و ۳. هردو. او بحث می‌کند که هر سه طریق با تعریف سری الف ناسازگارند. او نتیجه می‌گیرد که تنها راه این است که سری الف را نیز همچون سری ب به لحاظ درونی ثابت، اما برخلاف سری ب، به لحاظ بیرونی متغیر در نظر بگیریم. او مقصود خود را با یک تمثیل روشن‌تر می‌سازد: سری الف مانند یک خط‌کش صلب است که در نسبت با یک شیء خارجی در حرکت است. این شیء خارجی چیزی نیست جز یک سری ب (یعنی یک خط‌کش دیگر، شکل ۱۰)؛ زیرا ساختار درونی ثابت سری الف همان سری ب است (Freeman, 2010: 392-394).^{۲۳}



شکل ۱۰. (Freeman, 2010: 394)، با تغییرات

در راستای خط‌کش دوم (سری ب) آشکار می‌کند؛ در حالی که هردو به لحاظ درونی ثابت هستند و هیچ خط‌کش سومی هم در کار نیست؟! گرچه فریمن پاسخی برای این پرسش ارائه نکرده است، بررسی او دست‌کم ما را مطمئن می‌سازد که مک‌تاگارت نیز پاسخ قانع‌کننده‌ای نداشته است. سری الف نیز برای ضبط کردن وجه پویای زمان ابزار کاملاً موفقی نیست. در هر صورت، این نتیجه‌ای نیست که پژوهش حاضر به آن پردازد.

پژوهشگر این است که پاسخ منفی است. فرض پژوهش حاضر این است که تمایز میان سری الف و سری ب تمایزی هستی‌شناختی است.^{۲۲} با در نظر گرفتن این مطلب، اکنون پرسش این است که این تمایز چیست؟ و چطور می‌توان آن را به کمک روابط نظریه مجموعه‌ای بیان کرد؟ R^A چطور جریان را و R^B چطور سکون را فرمول‌بندی کرده است؟ بر خلاف آنچه مک‌تاگارت بیان کرده است، به نظر می‌رسد سری الف همان قدر واجد ایستایی و سکون است که سری ب. چنان‌که آمد، R^A یک رابطه یک‌تایی است. اکنون فرض کنید تحت این رابطه رویداد e_1 گذشته، رویداد e_2 حال، و رویداد e_3 آینده است. در گذر زمان e_3 حال، e_2 گذشته، و e_1 گذشته‌تر می‌شود؛ اما موقعیت زمانی نسبی آنها تغییر نخواهد کرد. یعنی سری الف درست همان ویژگی را دارد که در سری ب از آن به ثبات یا سکون تعبیر می‌شد. پس

فریمن خود متذکر می‌شود که مک‌تاگارت نیز در واقع چنین تصویری در ذهن داشته است.^۱ مشخص نیست چیزی که فریمن در نظر دارد، یعنی یک سری الف که در نسبت با یک سری ب در حال تغییر است، چطور جریان زمانی را که مک‌تاگارت به سری الف منسوب می‌کند، نمایان می‌سازد؛ به‌خصوص اگر توجه شود که هردو (فریمن و مک‌تاگارت) سری ب را واجد سکون می‌دانستند. چه چیزی حرکت خط‌کش اول (سری الف) شکل ۱۰ را

^۱ بنگرید به (Freeman, 2010, 394).

از نتیجه یک مدل را برای توصیف زمان ارائه می‌کنند که الف/ب مدل نامیده می‌شود. با داشتن چنین مدلی و همچنین با داشتن قواعد صدق عبارات زمان‌دار در یک زمان مشخص که در زیربخش قبل آمد، به نظر می‌رسد کار پایان پذیرفته است و از تناقض اجتناب شده است، به همان نحوی که در زیربخش ۲-۲ شرح آن آمد؛ اما چنان‌که آمد، هنوز نمی‌توان مطمئن بود که مدل مناسبی برای توصیف زمان گزینش شده است. آیا الف/ب مدل بهترین توصیفی است که از زمان در اختیار داریم؟ در زیربخش بعد مشخص خواهد شد که تا آنجا که نسبت خاص را نظریه مطلوبی برای توصیف زمان بدانیم، پاسخ به این پرسش مثبت است.

۳-۳. منطق فضا زمان مینکوفسکی

چنان‌که در زیربخش ۱-۱ آمد، ساختار فضا زمانی مینکوفسکی ناشی از تقاضای ناوردایی قوانین فیزیک تحت تبدیلات لورنتز است. به بیان دیگر، آنچه ساختار زمانی مخروطوار نسبی را سبب شده است، آن است که روابط تبدیل میان چهارچوب‌های لخت در فضا زمان، تبدیلات لورنتز باشند. زیمان نشان داده است که هر تبدیل لورنتز (برای سرعت نسبی مفروضی میان دو چهارچوب) با اتومورفیسم علی متناظر است (Zeeman, 1964)^{۲۶}. اگر مجموعه رویدادها را با Π نمایش دهیم، یک اتومورفیسم علی برای فضا زمان، نگاشتی یک‌به‌یک از Π به خودش است که حافظ ارتباط علی میان رویدادها باشد. یعنی اگر توالی علی x و y را به صورت $x \prec y$ ، و اتومورفیسم علی را با f نمایش دهیم، خواهیم داشت (Zeeman, 1964: 490):

$$x \prec y \quad \text{iff} \quad f(x) \prec f(y)$$

از بخت خوب، تصویری که فریم از سری‌های الف و ب ارائه کرده است نیز همان نتیجه‌ای را در پی دارد که پژوهش حاضر به دنبالش است: وجود سری الف مستلزم وجود سری ب است^{۲۴}. سری الف و سری ب هر دو به لحاظ درونی ثابت‌اند و تغییر در سری الف را تنها به نحو بیرونی، یعنی در مقایسه با چیزی خارج از آن، می‌توان فهمید و تغییر نسبی است؛ بنابراین، اینکه کدام خط‌کش را (در شکل ۱۰) متحرک بدانیم و نام الف بر آن بگذاریم و کدام را ثابت، با نام ب، صرفاً به انتخاب خودمان بستگی دارد؛ پس با اینکه R^A و R^B متمایزند، به نظر می‌رسد که (E, R^A) و (E, R^B) چنین نیستند. نتیجه مهم‌تر این است که سری الف و سری ب هر دو به‌طور هم‌زمان وجود دارند^{۲۵}؛ زیرا در واقع سری ب چیزی نیست جز ساختار درونی ثابت سری الف. اگر چنین باشد، مسیر پیش روی ما برای اجتناب از تناقض که در زیربخش ۲-۲ شرح آن آمد، هموارتر می‌شود: می‌توان تقاضا کرد که ترتیب صادق شدن عبارات زمان‌دار توسط سری ب که اکنون می‌دانیم ملازم همیشگی سری الف است، معین شود.

در زیربخش قبل (۳-۱) مفهوم مدل به‌عنوان سه‌تایی (E, R, ν) معرفی شد؛ بنابراین، واضح است که اگر سری‌های الف و ب مک‌تاگارت به یک تابع ارزش‌دهی مجهز شود، حاصل یک مدل خواهد بود. به بیان دیگر، سری‌های الف و ب چیزی جز فریم‌هایی برای ساخت مدل نیستند. در این زیربخش استدلال شد که در واقع تمایزی میان سری‌های الف و ب وجود ندارد و سری الف مستلزم سری ب است؛ بنابراین، سری الف و سری ب در واقع یک فریم و

^{۲۴} Frame

فریم (Π, \prec) که در آن \prec رابطه ترتیب علی بازتابی است. گولدبلات نشان داده است که مدل (Π, \prec, ν) ، یعنی فضا زمان مینکوفسکی مجهز شده به یک تابع ارزش دهی، سمانتیکی مناسب برای عبارات زمان دار فراهم می‌آورد. او نشان داده است که با تعبیر دئودوری^۲ از عملگرهای موجهاتی \square و \circledast ، یعنی \square به عنوان «چنین است (در حال حاضر) و همواره چنین خواهد بود که ...» و \circledast به عنوان «چنین است (در حال حاضر) یا (زمانی پس از این) چنین خواهد بود که ...»، هر فرمول قابل استنتاج در سیستم نحوی $S_{4.2}$ ، در مدل (Π, \prec, ν) ، یعنی در سمانتیک بنا شده بر فضا زمان مینکوفسکی، در زمان معینی صادق است.^۳ همچنین، او اصل موضوع سازی سیستم نحوی مرتبط با مدل (Π, \prec, ν) را نیز به عنوان مسئله باز طرح کرده است (Goldblatt, 1980: 46؛ ر.ک. Goldblatt, 1992: 46).

چنان‌که کلندر و ماندی متذکر شده‌اند، امکان اصل موضوعه سازی^۳ هندسه فضا زمان مینکوفسکی با فرض کردن رابطه ترتیب علی یا رابطه ترتیب علی انعکاسی به عنوان مفهوم اولیه^۴ تنها امکان پیش روی ما نیست (ر.ک. Callender, 2017: 40, ft.5؛ Mundy, 1986: 29). می‌توان به جای روابط دوتایی \prec یا \succ از روابط مشابه دیگری و یا از رابطه سه‌تایی میان‌بودگی یا از رابطه تعامد^۵ به عنوان مفهوم اولیه بهره گرفت^۴. به هر حال همه روابط مذکور بر حسب یکدیگر قابل تعریف هستند^۳. این به خصوص اهمیت خواهد داشت اگر توجه کنیم که توصیف زمان به وسیله فریم (Π, \prec) ممکن است این سوء تفاهم را ایجاد کند که چنین توصیفی

بنابراین، اگر دو نقطه به نحو علی با هم در ارتباط باشند، آن‌گاه نقاط تبدیل یافته‌شان نیز به همان نحو با هم در ارتباط علی هستند. بدین ترتیب، اگر تقاضا کنیم که تحت هر نگاشت یک‌به‌یکی از Π به خودش نقاط فضا زمان به نحو تبدیل یابند که ارتباط علی میان آنها حفظ شود، آن‌گاه شعاع‌های نور به طور خطی تبدیل می‌یابند (Zeeman, 1964: 492)؛ بنابراین، ساختار مخروط نوری و در نتیجه ساختار زمانی مینکوفسکی، حفظ می‌شود. دو نقطه از فضا زمان در ارتباط علی با یکدیگر هستند، اگر یکی درون (و نه بیرون یا بر روی) مخروط نوری آینده دیگری باشد. به بیان دقیق‌تر، دو نقطه (t_1, x_1, y_1, z_1) و (t_2, x_2, y_2, z_2) از فضا زمان در ارتباط علی با یکدیگر هستند، اگر بازه فضا زمانی میان آنها، یعنی $\Gamma^2 \cong (t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2 - (z_2 - z_1)^2$ ، زمان‌گونه، یعنی $\Gamma^2 \geq 0$ ، باشد و $t_2 \geq t_1$ می‌توان نشان داد که اگر به جای رابطه ترتیب علی \prec ، رابطه مشابهی میان دو نقطه فضا زمانی برقرار باشد که دارای ویژگی بازتابی نیز باشد، نتیجه مشابهی برقرار است: اگر بازه فضا زمانی میان نقاط زمان‌گونه، یعنی $\Gamma^2 \geq 0$ ، باشد و همچنین $t_1 \infty t_2$ ، و تقاضا کنیم که تحت هر نگاشت یک‌به‌یکی از Π به خودش نقاط فضا زمان به نحو تبدیل یابند که رابطه مذکور میان آنها حفظ شود، آن‌گاه ساختار مخروط نوری و در نتیجه ساختار زمانی مینکوفسکی، حفظ می‌شود^۳. این رابطه جدید رابطه ترتیب علی بازتابی نامیده می‌شود و با \prec نمایش داده می‌شود.

بنابراین، فضا زمان مینکوفسکی را می‌توان فریم (Π, \prec) در نظر گرفت که در آن Π مجموعه رویدادها و \prec رابطه ترتیب علی^۱ میان آنهاست و یا

² Diodorean

³ Axiomatization

⁴ Primitive

⁵ Orthogonality

¹ Causal ordering

دربردارنده جهت برای زمان است. این مطلب آشکارا اشتباه است، اگر توجه کنیم که فضا زمان مینکوفسکی دربردارنده هیچ جهت غیر قراردادی برای زمان نیست و به بیان دیگر، معادلات اساسی نسبیت خاص دارای تقارن بازگشت زمانی^۱ هستند. گرچه به لحاظ اصول موضوعه تفاوتی میان به کارگیری \prec یا \triangleleft یا ... به عنوان رابطه میان رویدادها برای ساخت فریم نیست، مدل های (Π, \prec, ν) یا $(\Pi, \triangleleft, \nu)$ یا ... به لحاظ سمانتیکی متفاوت اند. به این معنی که ممکن است یک فرمول در یک نقطه از فضا زمان تحت یک مدل صادق و تحت مدل دیگر کاذب باشد^{۳۱}.

آنچه آمد را می توان چنین جمع بندی کرد: فضا زمان مینکوفسکی را می توان به وسیله فریم (Π, R) توصیف کرد که در آن R می تواند \prec یا \triangleleft یا ... باشد و وابسته به آنکه کدام رابطه برگزیده شود، اصل موضوعه سازی های متفاوتی از هندسه فضا زمان مینکوفسکی به دست می آید. همچنین، هندسه فضا زمان مینکوفسکی می تواند به عنوان سمانتیکی برای زبان حاوی عبارات زمان دار تلقی شود که برای این منظور کفایت مدل (Π, R, ν) را تشکیل دهیم. بدین ترتیب، همه آنچه برای پرداختن به استدلال مک تاگارت در بستر فضا زمان مینکوفسکی لازم بود، فراهم آمده است.

۴. نسبیت خاص علیه استدلال مک تاگارت

در زیربخش ۲-۲ دیده شد که می توان از بروز تناقضی که مک تاگارت وعده داده بود، اجتناب کرد. تنها کفایت تقاضا کنیم که Ph و Fh به ترتیب و نه به طور هم زمان، صادق باشند و در زمانی که Ph صادق است، Fh صادق نباشد. آنچه برای این

منظور لازم بود، نخست شیوه ای برای پرداختن به صدق عبارات زمان دار بود، به نحوی که هر عبارت در زمان معینی صادق و در زمان معین دیگری کاذب باشد. دوم مدلی از زمان لازم بود که حاوی ترتیب گذاری ای بر صدق عبارات زمان دار باشد. در زیربخش ۳-۱ دیده شد که یک مدل، (E, R, ν) ، هر دو ملزوم را در اختیار قرار می دهد: فریم (E, R) ترتیب گذاری بر صدق عبارات زمان دار و تابع ارزش دهی ν صدق یا کذب آنها را در یک زمان معین مشخص می سازد. در زیربخش ۳-۲ دیده شد که سری های الف و ب چیزی جز فریم هایی برای ساخت مدل نیستند. همچنین، دیده شد که آنها در واقع یک فریم و در نتیجه یک مدل را برای توصیف زمان ارائه می کنند که الف/ب مدل نامیده شد. بدین ترتیب، می توان تقاضا کرد که Ph و Fh به ترتیب صادق باشند و در زمانی که Ph صادق است، Fh صادق نباشد و این ترتیب توسط سری ب، یا همان درون ثابت سری الف تعیین می شود. برای هر زمان مرکب دیگری نیز می توان به طریق مشابهی ترتیب صدق عبارات زمان دار را به کمک سری ب تعیین کرد؛ بنابراین، از بروز تناقض اجتناب شده است؛ به همان نحوی که در زیربخش ۲-۲ شرح آن آمد؛ در نتیجه استدلال مک تاگارت علیه واقعی بودن زمان با شکست مواجه می شود.

در چهارچوب نسبیت خاص، یعنی در مدلی که بر پایه فریم مینکوفسکی ساخته شود نیز به طریق مشابهی می توان از بروز تناقض مک تاگارتی پرهیز کرد. مجموعه همه رویدادهای فضا زمان مینکوفسکی را در نظر بگیرید، از آنچه در بخش ۱-۱ آمد مشخص می شود که هر رویدادی نسبت به ما گذشته، حال و یا آینده است؛ زیرا در مخروط نوری گذشته

^۱ Time reversal

سری‌های مک‌تاگارت هستند^{۳۲}؛ بنابراین، (Π, \odot) یا (Π, \triangleleft) در واقع چیزی جز الف/ب مدل نیستند؛ پس مدل ساخته شده بر مبنای فریم مینکوفسکی مدلی است از همان نوعی که مک‌تاگارت برای توصیف زمان مناسب می‌داند؛ اما برخلاف انتظار او چنین توصیفی از زمان تناقض‌آمیز نیست: استدلال شد که این مدل‌سازی از زمان، مدلی سمانتیکی فراهم می‌آورد که در آن مقدمات ۲ و ۳ی استدلال مک‌تاگارت کاذب‌اند؛ پس استدلال او صحیح^۱ نیست. نسبیت خاص هرآنچه را که برای طرح استدلال مک‌تاگارت علیه واقعی بودن زمان لازم است و نیز هرآنچه را که برای مسدود کردن آن و در نتیجه انکار نتیجه آن لازم است، یک‌جا در اختیار می‌گذارد.

نسبیت خاص از پس آزمون‌های تجربی بسیاری برآمده است و اکنون بهترین نظریه‌ای است که [در غیاب گرانش] در باب فضا و زمان در اختیار است. انتظار بر این است که هر نظریه جایگزینی در آینده نسبیت خاص را به‌عنوان حالتی حدی در خود بگنجانند. همچنین، به نظر می‌رسد که تصویر نسبیت خاصی از زمان بتواند جنبه پویای زمان را نیز دربر بگیرد؛ بنابراین، به‌گمان پژوهشگر، استفاده از فضا-زمان مینکوفسکی برای تشکیل فریمی برای ساخت سمانتیک عبارات زمان‌دار موجه است.

قدردانی

بر خود الزم میدانم از سرکار خانم دکتر نرگس بهمن‌پور، بابت خواندن نسخه مقدماتی این مقاله، ارائه انتقادات و پیشنهادات ارزشمند و حمایت‌هایشان نهایت تشکر و قدردانی را به عمل آورم.

ما، در مرکز مخروط نوری ما یا خارج از آن و یا در مخروط نوری آینده ما قرار دارد. برای رویداد e این وضعیت‌ها به ترتیب با نمادهای $e \in \Gamma$ ، $e \in \odot$ و $e \in \odot$ نمایش داده می‌شوند. به سادگی قابل تحقیق است که می‌توان به‌طور مثال، Γ و \odot را بر حسب \odot تعریف کرد. به جهت سادگی و برای رعایت اختصار فرض می‌شود که چنین شد. اکنون دوتایی (Π, \odot) فضا-زمان مینکوفسکی است؛ زیرا به سادگی می‌توان نشان داد که توپولوژی القا شده از \odot همان توپولوژی فضای مینکوفسکی است. یعنی مجموعه تهی و کل فضا-زمان، اجتماع دلخواه مخروط‌های نوری آینده و اشتراک هر دو مخروط نوری آینده بازهای چنین فضایی هستند. همچنین، چنان‌که در زیربخش ۳-۳ آمد، (Π, \triangleleft) و (Π, B) نیز فضا-زمان مینکوفسکی هستند که مقصود از B رابطه میان‌بودگی است. دوباره می‌توان تقاضا کرد که Fh و Ph تحت مدل (Π, \odot) به ترتیب صادق باشند و در زمانی که Ph صادق است، Fh صادق نباشد، و این ترتیب توسط رابطه \triangleleft تعیین شود یا همان‌طور که در بخش ۲-۲ آمد، با اغماض می‌توان ترتیب پایین به بالا را برای هر مخروط نوری برگزید. مجدداً برای هر زمان مرکبی نیز می‌توان به‌طریق مشابهی ترتیب صدق عبارات زمان‌دار را به کمک \triangleleft یا همان ترتیب تسامحی پایین به بالا تعیین کرد؛ بنابراین، دوباره از بروز تناقض اجتناب شده است؛ به‌همان نحوی که در بند قبل و نیز در زیربخش ۲-۲ شرح آن آمد.

همچنین، از آنچه آمد مشخص می‌شود که شباهت کاملی میان سری‌های الف، ب و پ مک‌تاگارت با به ترتیب (Π, \odot) ، (Π, \triangleleft) و (Π, B) برقرار است. به بیان دیگر، آنها متناظرهای نسبیتی

¹ sound

- Garrett, Brian. (2006), *What is this thing called metaphysics?* Routledge
- Goldblatt, Robert. (1992), *LOGICS OF TIME AND COMPUTATION (second edition: revised and expanded)*, Center for the Study of Language and Information (CSLI), Printed in United States
- Goldblatt, Robert. (1987), *Orthogonality and Spacetime Geometry*, Springer-Verlag
- (1980), Diodorean modality in Minkowski spacetime, *Stud Logica* 39, 219-236, <https://doi.org/10.1007/BF00370321>
- Hartle, James. B. (2005), The physics of now, *American Journal of Physics*, 73(2), 101-109, <https://doi.org/10.1119/1.1783900>
- Mancuso, Domenico. (2012), The mathematics of McTaggart's paradox, *Manuscrito*, 35(2), 233-267. <https://doi.org/10.1590/S0100-60452012000200003>. Also available on <https://www.scielo.br/pdf/man/v35n2/a03v35n2.pdf>. Accessed August, 2020.
- McDaniel, Kris. (2020), "John M. E. McTaggart", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), <https://plato.stanford.edu/archives/sum2020/entries/mctaggart/>
- McTaggart, John. M. E. (1927), *The Nature of Existence* (Vol.2), Cambridge University Press
- (1908), The Unreality of Time, *Mind*, 17(68), 457-474.
- Mundy, B. (1986), The Physical Content of Minkowski Geometry, *The British Journal for the Philosophy of Science*, 37(1), 25-54.
- Priest, Graham. (2000), *Logic: A Very Short Introduction*, Oxford University Press
- Rindler, Wolfgang. (2006), *Relativity: Special, General, and Cosmological (second edition)*, Oxford University Press
- Romero, Gustavo. E. and Perez, Daniela. (2014) Presentism meets black holes, *European Journal of Philosophy of Science*, 4(3), 293-308.
- Rovelli, Carlo. (2019), Neither Presentism nor Eternalism, *Foundations of Physics*, 49, 1325-1335, <https://doi.org/10.1007/s10701-019-00312-9>
- (2018), *The Order of Time*, translated by S. Carnell and E. Segre, Riverhead Books
- Shoemaker, S. (1969), Time without Change, *The Journal of Philosophy*, 66(12), 363-381. doi:10.2307/2023892
- Callender, Craig. (2017), *What makes time special?*, Oxford University Press
- Carroll, John. W. and Markosian, Ned. (2010), *An Introduction to Metaphysics*, Cambridge University Press
- Cocco, L., Babic, J. (2020), A System of Axioms for Minkowski Spacetime, *Journal of Philosophical Logic*, <https://doi.org/10.1007/s10992-020-09565-6>
- Danielsson, Joseph. (2017), Time and relativity: The challenge of Special theory of relativity for Presentism, available on <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1146849/FULLTEXT01.pdf>
- Dieks, Dennis. (2006), Becoming, Relativity and Locality, In Dieks (Editor), *Philosophy and Foundations of Physics*, Elsevier, Volume 1, Pages 157-176 (Chapter 8), ISSN 1871-1774, ISBN 9780444527684, [https://doi.org/10.1016/S1871-1774\(06\)01008-4](https://doi.org/10.1016/S1871-1774(06)01008-4).
- (1988), Special Relativity and the Flow of Time, *Philosophy of Science*, 55(3), 456-460.
- Earman, John. (2002), Thoroughly Modern McTaggart, Or What McTaggart Would Have Said If He Had Read the General Theory of Relativity, *Philosophers' Imprint*, 2(3), 1-28. Also available on <https://quod.lib.umich.edu/cgi/p/pod/dod-idx/thoroughly-modern-mctaggart-or-what-mctaggart-would-have.pdf?c=phimp;idno=3521354.0002.003;format=pdf>. Accessed August, 2020.
- Ellis, George F. R. and Williams, Ruth M. (1988), *Flat and Curved Space-Times*, Clarendon Press-Oxford
- Falvey, K. (2010), The View from Nowhen: The McTaggart-Dummett Argument for the Unreality of Time, *Philosophia*, 38, 297-312, <https://doi.org/10.1007/s11406-009-9227-z>. Also available on <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11406-009-9227-z.pdf>. Accessed August, 2020.
- Freeman, E. (2010), ON McTAGGART'S THEORY OF TIME. *History of Philosophy Quarterly*, 27(4), 389-401.
- Friedman, Michael. (1983), *Foundations of Space-Time Theories: Relativistic Physics and Philosophy of Science*, Princeton University Press

Physics, 5, 490,
https://doi.org/10.1063/1.1704140

Torretti, Roberto. (1983), *Relativity and Geometry*, Pergamon Press
Zeeman, E. C. (1964), Causality Implies the Lorentz Group, *Journal of Mathematical*

پی‌نوشت‌ها

- ^۱ برای دیدن مروری سریع بر مخالفت‌های صورت‌گرفته با مک‌تاگارت بنگرید به (Carroll and Markosian, 2010: 162-165) و (Garrett, 2006: 78-82).
- ^۲ این بحثی دنباله‌دار است که پرداختن به آن از اهداف این مقاله نیست. برای دیدن تنوعی از آرا مثلاً دربارهٔ سازگاری یا عدم‌سازگاری نسبیت خاص و حال‌گرایی (presentism)، خوانندهٔ علاقه‌مند بنگرد به (Danielsson, 2017)، (Rovelli, 2019) و (Romero and Perez, 2014).
- ^۳ نمونه‌های دیگر عبارت‌اند از فضا-زمان‌های ریندلر (Rindler) و میلن (Milne). بنگرید به (Ellis, 1988: 169 & 178).
- ^۴ این در واقع به دلیل ثابت بودن سرعت نور است. برای توضیح بیشتر بنگرید به (Friedman, 1983: 159-160) و (Rindler, 2006: 91-93).
- ^۵ ادعا این نیست که یک حال جهان‌شمول وجود ندارد. به بیان دیگر، این یک ادعای هستی‌شناختی (ontological) نیست. هر چند می‌توان چنین تعبیری نیز داشت. برای مثال بنگرید به (Rovelli, 2019: 1327) و (Rovelli, 2018: 3 & note34).
- ^۶ منظور از موقعیت زمانی (temporal position) وضعیتی در زمان یا یک لحظه (moment) یا آن (instant) زمانی است که در چهارچوبی داده‌شده با t مشخص می‌شود (به یاد آورید که یک رویداد با چهارتایی (t, x, y, z) مشخص می‌شود). در اینجا این تفاوت چندان اساسی نیست. به‌نحو معادلی می‌توان مجموعه‌ای از رویدادها یا مجموعه‌ای از موقعیت‌های زمانی را در نظر گرفت. همچنین، در زیربخش ۳-۱ از جهان‌های ممکن صحبت خواهد شد که (دوباره) در بحث حاضر می‌توان آنها را با موقعیت‌های زمانی معادل دانست. مک‌تاگارت نیز این اصطلاحات را به‌نحو تقریباً مشابهی به کار گرفته است. بنگرید به (McTaggart, 1908: 458) و (McTaggart, 1927: 306).
- ^۷ این توصیف از سری‌های الف، ب، و پ به‌نحو هم‌خوان با کلندر آمده است. بنگرید به (Callender, 2017: 300-301).
- ^۸ فریمن متذکر می‌شود که مک‌تاگارت دربارهٔ اینکه الف-رابطه‌ها را روابط یک‌تایی، یا به‌بیانی ویژگی یک‌تایی (monadic property) تلقی کند و یا روابط دو‌تایی (dyadic relation) سازگار عمل نکرده است. بنگرید به (Freeman, 2010: 391 & 395). با این حال، به نظر نادرست نیست که آنها را روابط یک‌تایی در نظر بگیریم؛ به‌خصوص به این دلیل که مک‌تاگارت در مقالهٔ ۱۹۰۸ هر دو امکان را در نظر داشته است. بنگرید به (McTaggart, 1908: 461&467) و پس از آن حتی صریح‌تر مایل است آنها را رابطه تلقی کند. بنگرید به (McTaggart, 1927: 326 & 327).
- ^۹ برای مثال، در هر دو توالی ۱۲۳ و ۳۲۱ عدد طبیعی ۲ در میان دو عدد طبیعی ۱ و ۳ قرار دارد؛ پس رابطهٔ میان‌بودگی «۲ در میان ۱ و ۳ است» هر دو توالی را مجاز می‌دارد؛ اما در یکی از آنها ۲ قبل از ۳ و در دیگری ۳ قبل از ۲ قرار دارد؛ پس رابطهٔ «۲ قبل از ۳ است» تنها توالی اول را مجاز می‌دارد. به بیان دیگر، ب‌رابطه و پ‌رابطه هر دو بر مجموعهٔ اعداد طبیعی ۱ تا ۳ ترتیب اعمال می‌کنند؛ اما ب‌رابطه علاوه بر ترتیب، جهتی نیز بر آن القا می‌کند. بنگرید به (McTaggart, 1908: 462).
- ^{۱۰} همچنین، مدافع نظریهٔ الف، نظریه‌پرداز الف (A-theorist)، و مدافع نظریهٔ ب، نظریه‌پرداز ب (B-theorist) نامیده می‌شود.
- ^{۱۱} برای توضیح بیشتر دربارهٔ عملگرهای زمان بنگرید به (Priest, 2000: 56) و (Goldblatt, 1992: 40).
- ^{۱۲} این صورت‌بندی به‌نحوی هم‌خوان با (Mancuso, 2012: 234)، (Earman, 2002: 1)، (Garrett, 2006: 74 & 77) و (Carroll & Markosian, 2010: 162) و (Falvey, 2010: 298) آمده است.
- ^{۱۳} ارمن متذکر می‌شود که این مطلب از دوران باستان مورد پذیرش عام بوده است و هر دو دستهٔ پیروان پارمنیدس (Parmenides) که منکر واقعی بودن زمان بوده‌اند و پیروان ارسطو (Aristotle) که باورمندان به واقعی بودن زمان بوده‌اند، بر سر آن توافق داشته‌اند. بنگرید به (Earman, 2002: 1)؛ اما شومیکر موردی را ارائه کرده است که امکان منطقی زمان بدون تغییر را اثبات می‌کند. بنگرید به (Shoemaker, 1966). جهانی که در برهه‌ای از آن هیچ تغییری رخ نمی‌دهد، با این حال، ساکنان آن به طرز موجهی باور دارند که در آن برهه، زمان سپری شده است.
- ^{۱۴} بنگرید به (McTaggart, 1908: 459-461) و (McTaggart, 1927: 310-312). همچنین توجه کنید که مک‌تاگارت رویکرد راسلی به تغییر را نمی‌پذیرد. یعنی تغییر را به معنی تغییر در ارزش صدق یک گزاره نمی‌داند و به همین دلیل، نقد راسل به مقدمهٔ ۲ را نمی‌پذیرد. تعریف او از تغییر اساساً همان تغییر موقعیت‌ها در سری الف است. بنگرید به (McTaggart, 1927: 313-318) و (Garrett, 2006: 75-76).

^{۱۵} ارمن متذکر می‌شود که عمده فلاسفه مقدمه ۳ را پذیرفته‌اند و تنها عدهٔ قلیلی، همچون Steven Savitt، با آن مخالفت کرده‌اند. بنگرید به (Earman, 2002: 1).

^{۱۶} خوانش ممکن دیگر از استدلال مک‌تاگارت آن است که آن را علیه زمان دستوری (tense) و نه زمان (time) تلقی کنیم که در این صورت مناسب‌تر است بازنویسی متناسبی از آن را استدلال مک‌تاگارت دامت (McTaggart-Dummett) بنامیم. بنگرید به (Falvey, 2010: 298 & 300).

^{۱۷} بنگرید به (McTaggart, 1908: 467-470) و (McTaggart, 1927: 325 & 328-333). این بخش از استدلال مک‌تاگارت تاکنون با تقریرهای متعددی بیان شده است. برای دیدن یک تقریر جبری از آن (این نامی است که منکوسو بر آن نهاده است) که به تقریر پژوهش حاضر شبیه است، بنگرید به (Mancuso, 2012: 236-242)؛ اما تقریری که در این پژوهش آمده است، بیش از همه الهام‌گرفته از پرست است. بنگرید به (Priest, 2000: 56-58).

^{۱۸} گرچه این خود می‌تواند محل بحثی فلسفی باشد، اساساً بحثی مستقل از بحث پژوهش حاضر است.

^{۱۹} همچنین بنگرید به پاورقی ۲۳.

^{۲۰} دوتایی (E, R) عموماً یک فریم (frame) نامیده می‌شود. (به‌جهت پرهیز از اشتباه ناشی از خلط مفهوم چهارچوب در نسبت خاص (به‌معنی دستگاه مختصات)، (E, R) به چهارچوب ترجمه نمی‌شود و واژه «فریم» برای آن به کار گرفته می‌شود).

^{۲۱} برای دیدن شرحی مفصل‌تر از سمانتیک منطق زمان بنگرید به (Goldblatt, 1992) (به‌طور خاص بخش‌های ۱ و ۶).

^{۲۲} فریم متذکر شده است که برخی (همچون D.H.Mellor) این تمایز را یک تمایز پدیدارشناختی/هستی‌شناختی (phenomenological/ontological) در نظر گرفته‌اند و سری الف را توصیف ذهنی (subjective) زمان و سری ب را توصیف عینی (objective) زمان قلمداد کرده‌اند؛ اما از دید او کاملاً واضح است که مک‌تاگارت آن را یک تمایز هستی‌شناختی می‌دانسته است. بنگرید به (Freeman, 2010, 389-390).

^{۲۳} مک‌تاگارت نیز در (McTaggart, 1927: 10, ft.2) مطلب مشابهی را آورده است. این نکته درخور توجه است که پاورقی متناظر در (McTaggart, 1908: 470) فاقد این مطلب است.

^{۲۴} فریم معتقد است که سری الف و سری ب تنها در نام با یکدیگر تفاوت دارند. آنها به‌لحاظ توپولوژیکی یکسان‌اند و عناصر یکسانی نیز دارند؛ پس از هم تمییزناپذیرند. بنگرید به (Freeman, 2010: 390-391). کارول و مارکوزیان نیز عقیدهٔ مشابهی دارند؛ اما آنها معتقدند که این مطلب صدمه‌ای به صحت (soundness) استدلال مک‌تاگارت وارد نمی‌کند. بنگرید به (Carroll & Markosian, 2010: 160, ft.2). استدلال شد که این حقیقت سبب می‌شود مقدمه ۳ استدلال مک‌تاگارت کاذب ارزیابی شود؛ پس صحت استدلال او زیر سؤال می‌رود.

^{۲۵} ایدهٔ مشابهی را روللی ارائه کرده است. او متذکر می‌شود که سری الف و سری ب قرین هم هستند. هر نقطه از سری ب یک زمان حال را معین می‌کند که به‌طور موضعی یک سری الف را شکل می‌دهد. بدین ترتیب، یک رویداد یکسان، در یک سری الف می‌تواند گذشته باشد؛ اما در یک سری الف دیگر آینده می‌تواند باشد. بنگرید به (Rovelli, 2019: 1333).

^{۲۶} مقالهٔ زیمین مربوط به ۱۹۶۴ است. گولدبلات متذکر می‌شود که پیش‌تر A.D.Alexandrov در ۱۹۴۹ و Loo-Keng Hua در دههٔ ۱۹۵۰ نتیجهٔ مشابهی را یافته بودند. بنگرید به (Goldblatt, 1987: 179). همچنین، فریدمن متذکر می‌شود که نتیجهٔ موردبحث به‌طور ضمنی در کتاب معروف A.A.Robb با عنوان *A Theory of Time and Space* منتشرشده در ۱۹۱۴ نیز یافت می‌شود که اولین تلاش برای اصل موضوعه‌سازی فضا-زمان مینکوفسکی است. بنگرید به (Friedman, 1983: 164, ft.29).

^{۲۷} بنگرید به (Torretti, 1983: 127-128). همچنین می‌توان نشان داد که حکمی را که زیمان ثابت کرده است، می‌توان از حکم مشابهی که الکساندروف ثابت کرده است، نتیجه گرفت. الکساندروف نگاشت‌هایی را در نظر می‌گیرد که هر مخروط نوری را بر یک مخروط نوری می‌نگارد. بنگرید به (Goldblatt, 1987: 179).

^{۲۸} گولدبلات این حکم را ابتدا برای رابطهٔ متفاوتی از \triangleleft ثابت می‌کند؛ سپس برقراری حکم مشابهی را برای \triangleleft متذکر می‌شود. بنگرید به (Goldblatt, 1980: 221 & 232) (توجه کنید که نمادگذاری پژوهش حاضر با گولدبلات متفاوت است، آنچه که در پژوهش حاضر با \triangleleft نمایش داده شده است، گولدبلات با R نمایش داده است).

^{۲۹} بنگرید به (Friedman, 1983: 164)، و (Torretti, 1983: 123-127). همچنین ماندی در (Mundy, 1986) و کوکو و بابیک در (Cocco & Babic, 2020) پروژه اصل موضوع سازی هندسه فضا زمان مینکوفسکی را با رابطه میان بودگی و گولدبلات در (Goldblatt, 1987) پروژه مذکور را با رابطه تعامد پی گرفته اند.

^{۳۰} گولدبلات تعاریف میان بودگی و تعامد را بر حسب رابطه \prec به دست داده است. بنگرید به (Goldblatt, 1987) صفحات ۱۷۱ (تعریف \prec) و ۱۷۵ (تعریف میان بودگی بر حسب \prec) و ۱۷۷ (تعریف تعامد بر حسب \prec). تعاریف بازگشتی به سادگی به دست می آیند.
^{۳۱} یک نمونه از چنین فرمول هایی $(\mathbb{P} \leftrightarrow \mathbb{Q}) \circ (\mathbb{P} \leftrightarrow \mathbb{Q})$ است. بنگرید به (Goldblatt, 1980: 234).
^{۳۲} کلندر نیز از چنین شباهتی بحث کرده است. بنگرید به (Callender, 2017: 301-302).

