Journal of Soft Computing and Information Technology (JSCIT)
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
Journal Homepage: jscit.nit.ac.ir
Volume 10, Number 4, Winter 2022, pp. 68-87
Received: 11/29/2020, Revised: 10/10/2021, Accepted: 11/11/2021

Measuring Soccer Players' Influence on Flow and Path Complexity of Team Passes Based on Metrics of Complex Network Analysis

Elyas Esmaeili[1], S. Hamid Amiri[2*]
Faculty of Computer Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
[1]elyas.esmaeili1@gmail.com, [2*]s.hamidamiri@sru.ac.ir

Corresponding author's address: S. Hamid Amiri, Faculty of Computer Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Lavizan, Tehran, Iran.

Abstract- Soccer coaches and analyzers require deep and precise analysis of matches. In this paper, we focus on the analysis of passes in soccer matches using complex networks and social networks theories and propose metrics with deeper analysis than traditional metrics such as the numbers of passes and accuracy. To this end, based on accurate recorded data of passes in a match, two different networks are extracted where the first network is comprised of all passes of a team in a match to overlay analyze the team behavior for ball circulation. The second network is comprised of offensive passes to analyze offensive attacks of a team in a match. Based on the structure of these networks, we propose three quantitative metrics to measure three important parameters including availability of players, impact of one player on the flow of a team, and the complexity of the passing path between players. Using these three important parameters, teams can investigate their strengths and weaknesses in passing flow. To evaluate the proposed approach, we applied it to the actual data of a team in several consecutive matches. The results reveal that the proposed approach can accurately analyze the impact of players on the success of team during a match.

Keywords- Soccer pass analysis, Pass network, Graph, Centrality degree

مجله علمی پژوهشی رایانش نرم و فناوری اطلاعات
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
صفحه مجله: jscit.nit.ac.ir
جلد ۱۰، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰ ، صفحه ۶۸-۸۷
دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹، بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۰

اندازه‌گیری تأثیر بازیکنان بر جریان و پیچیدگی مسیر پاس‌های تیم با معیارهای مبتنی بر تحلیل شبکه‌های پیچیده

الیاس اسماعیلی[۱]، سید حمید امیری*[۲]
دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.
[1]elyas.esmaeili1@gmail.com, [2*]s.hamidamiri@sru.ac.ir

* نشانی نویسنده مسئول: سید حمید امیری، تهران، لویزان، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، دانشکده مهندسی کامپیوتر.

چکیده- تحلیل علمی و دقیق مسابقات فوتبال، یکی از مهمترین نیازمندی‌های مربیان و آنالیزورها محسوب می‌شود. این مقاله، بر روی تحلیل پاس در مسابقات فوتبال متمرکز شده است و با به کارگیری تئوری‌های شبکه‌های پیچیده و شبکه‌های اجتماعی، معیارهای سطح بالاتر و دقیق‌تری در مقایسه با معیارهای سنتی مانند تعداد و دقت پاس، پیشنهاد کرده است. برای این منظور، ابتدا بر اساس داده‌های دقیقی که برای تمامی پاس‌های یک مسابقه ثبت شده‌اند، دو شبکه مختلف استخراج می‌شوند که شبکه اول شامل کل پاس‌های تیم برای تحلیل رفتار کلی تیم و شبکه دوم شامل پاس‌های هجومی برای تحلیل جریان هجومی تیم است. سپس بر اساس ساختار این شبکه‌ها، سه معیار کمی برای اندازه‌گیری سه پارامتر مهم در تحلیل پاس پیشنهاد می‌شود که عبارتند از تحلیل میزان دسترس‌پذیری بازیکنان، اندازه‌گیری تأثیر بازیکنان در جریان پاس‌های تیم و تحلیل پیچیدگی مسیر پاس بین بازیکنان. این سه پارامتر مهم نقش کلیدی در پیدا کردن نقاط قوت و ضعف جریان پاس تیم‌ها دارند. در بخش نتایج، روش پیشنهادی بر روی داده‌های واقعی یک تیم در چند مسابقه متوالی اعمال شده است. بر اساس نتایج، رویکرد پیشنهادی قادر به تحلیل دقیق تأثیر پاس بازیکنان در موفقیت تیم در حین یک مسابقه است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پاس فوتبال، شبکه پاس، گراف، درجه مرکزیت.

۱- مقدمه

فوتبال یک بازی محبوب در بسیاری از کشورها است. این محبوبیت در آمار و ارقام منتشر شده جام جهانی ۲۰۱۸ روسیه منعکس شده است. بر اساس آمار منتشر شده توسط فیفا شبکه‌های تلویزیونی سراسر جهان بیش از ۹۰۰۰۰ ساعت برای پوشش این رویداد اختصاص داده بودند. همچنین این رویداد بیش از ۳۴,۶۶ میلیارد بیننده ساعت تماشا شده است [۱]. بنابراین با توجه به محبوبیت بالای فوتبال و در نتیجه گردش مالی بسیار بالای آن، نباید تصمیمات تیم‌های ورزشی مانند دهه‌های قبل تنها با اعتماد به حس و تجربه شخصی تصمیم گیرندگان گرفته شود، بلکه باید تحلیل‌های عملی و دقیق نیز بر این تصمیم گیری‌ها تأثیر بگذارند [۲]. فوتبال از جنبه‌های علمی متفاوتی می‌تواند مورد بررسی قرار بگیرد [۳]. یکی از مهمترین این جنبه‌ها تحلیل فوتبال به کمک داده‌های آماری استخراج شده از مسابقات می‌باشد.

در گذشته اطلاعات آماری استخراج شده از فوتبال، در مقایسه با ورزش‌های تیمی دیگر مانند بسکتبال و والیبال کمتر بوده است. به دلیل ساختار منحصر به فرد فوتبال و تعداد امتیاز (گل) کمتر آن نسبت به بازی‌های دیگر، اطلاعات آماری نظیر تعداد گل‌ها، تعداد پاس‌ها، تعداد شوت‌ها، نسبت گل زده به همه شوت‌ها و درصد مالکیت توپ برای تحلیل عملکرد تیم و بازیکنان کافی نیست. خوشبختانه در سالهای اخیر شرایط کمی تغییر کرده است و

اطلاعات بیشتری پس از هر بازی در اختیار آنالیزورها قرار گرفته است. در اختیار قرار گرفتن اطلاعات بیشتر، راه‌های جدیدی را برای تحلیل دقیق‌تر و جامع‌تر فوتبال گشوده است [۴].

از اطلاعات آماری استخراج شده از مسابقات فوتبال می‌توان برای تشخیص ساختار تیم‌ها و همچنین پیش‌بینی نتیجه مسابقات استفاده کرد. جوزف و همکارانش یک رویکرد مبتنی بر شبکه‌های بیزین برای پیش‌بینی نتیجه مسابقات فوتبال ارائه دادند. آنها سپس کارایی این رویکرد را در مقایسه با دیگر روش‌های یادگیری ماشین مانند MC4 به عنوان یک یادگیرنده درخت تصمیم[۱]، یادگیری بیزین ساده[۲]، بیزین مبتنی بر داده[۳] و یادگیرنده k-نزدیکترین همسایه[۴] مورد ارزیابی قرار دادند [۵].

رین و همکارانش نیز دو رویکرد جدید برای ارزیابی پاس ارائه دادند و از نتایج این دو رویکرد برای بررسی احتمال برنده شدن تیم استفاده کردند. در رویکرد اول تعداد مدافعان میان یک بازیکن و دروازه تیم حریف، قبل و پس از انجام پاس محاسبه می‌شود. در صورتی که تعداد مدافعان بعد از انجام پاس بیشتر شده باشد، این پاس به عنوان یک پاس غیر موثر، ارزش‌گذاری منفی می‌شود. اما در صورتی که این پاس منجر به کاهش تعداد مدافعان شده باشد، به عنوان یک پاس موثر ارزش‌گذاری مثبت می‌شود. در رویکرد دوم با استفاده از نمودار ورونی[۵] قسمتی از زمین بازی که تحت مالکیت تیم است، استخراج می‌شود. در صورتی که یک پاس منجر به افزایش فضای تحت اختیار یک تیم، روبروی دروازه تیم حریف شود، این پاس به عنوان یک پاس موثر ارزش‌گذاری می‌شود. نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان می‌دهد که ارتباط قابل ملاحظه‌ای میان نتایج حاصل از این دو رویکرد و احتمال برنده شدن یک تیم و تعداد گل آن تیم وجود دارد [۶].

آریازا آردیلس و همکارانش با استفاده از داده‌های پاس ۳۲ تیم حاضر در لیگ اسپانیا، روشی برای تجزیه و تحلیل تعاملات بین بازیکنان فوتبال ارائه دادند [۷]. آنها با بخش‌بندی زمین فوتبال به ۲۴ قسمت و به دست آوردن تعداد پاس‌ها در هر منطقه ساختار بازی تیم‌ها را استخراج کردند. سپس با استفاده از این ساختار استخراج شده و دو معیار مرکزیت و ضریب خوشه‌بندی، نقش هر یک از بازیکنان در تیم و همچنین عملکرد یک تیم به طور کلی را ارزیابی کردند.

یکی از رویکردهای موثر برای تحلیل رفتار تیم‌ها و بازیکنان در یک مسابقه فوتبال، تئوری گراف و شبکه‌های پیچیده است [۴]. دلیل رایج بودن این رویکرد، تئوری‌های ریاضی قوی هستند که در این زمینه توسعه داده شده‌اند. شبکه‌های اجتماعی [۸] که مبتنی بر گراف هستند نیز برای شناسایی و تحلیل ساختارهای اجتماعی مورد استفاده قرار می‌گیرند و از آنجا که فوتبال یک ورزش دسته جمعی محسوب می‌شود، می‌توان از این نوع شبکه‌ها برای تحلیل عملکرد تیم‌ها استفاده کرد [۹].

داچ و همکارانش از اولین پژوهشگرانی هستند که از رویکردهای مبتنی بر تحلیل شبکه‌های اجتماعی[۶] برای تحلیل بازی فوتبال استفاده کرده‌اند. آنها هر یک از تیم‌های حاضر در بازی را به یک شبکه مدل کرده‌اند [۱۰]. در این شبکه هر یک از بازیکنان به عنوان یک گره در نظر گرفته شده است و یال‌های میان آنها، نشان دهنده تعداد پاس موفق بین دو بازیکن است. آنها همچنین برای استفاده از داده‌های شوت بازیکنان دو گره دیگر با عنوان‌های "شوت‌های در چارچوب دروازه" و "شوت‌های خارج از دروازه" در نظر گرفته‌اند. گره هر یک از بازیکنان با یک یال وزن‌دار به این دو گره متصل می‌شود که وزن آن نشان دهنده تعداد شوت‌ها می‌باشد. آنها این شبکه را شبکه جریان[۷] نام گذاری کرده‌اند و برای بررسی عملکرد بازیکنان و تیم‌ها با کمک این شبکه، معیاری با نام مرکزیت جریان[۸] معرفی کردند. مرکزیت جریان برای اندازه‌گیری تأثیر یک بازیکن در جریان پاس‌هایی که منجر به شوت می‌شوند، می‌باشد. لوپز پنیا و همکارش نیز با استفاده از داده‌های پاس بازی‌های جام جهانی ۲۰۱۰ برای هر تیم یک گراف یا شبکه تشکیل دادند [۴]. سپس با ارائه انواع دیگری از مرکزیت میزان اهمیت هر یک از بازیکنان، میزان محبوبیت هر بازیکن و تأثیر حذف بازیکنان از بازی را بررسی کردند. آنها همچنین معیار جدیدی با نام همبندی یالی[۹] را مورد بررسی قرار دادند. این معیار نشان دهنده کمترین تعداد پاسی است که لازم است قطع شود تا شبکه پاس تیم غیر همبند شود. غیر همبند شدن شبکه پاس یک تیم باعث می‌شود تا جریان طبیعی آن تیم دچار اخلال شود و در نتیجه ارتباط گروهی از بازیکنان با بازیکنان دیگر آن تیم قطع شود. در سال ۲۰۲۰ سارمینتو و همکارانش در کنار تحلیل کمی عملکرد بازیکنان به کمک معیارهای شبکه، به تحلیل کیفی عملکرد آنها نیز پرداختند. برای تحلیل کیفی عملکرد بازیکنان پرسشنامه‌های نیمه ساخت یافته‌ای طراحی شد و از دو نفر از اعضای کادر فنی تیم خواسته شد تا به آنها پاسخ بدهند. در این پژوهش از داده‌های کیفی برای توضیح و ارائه دلیل اطلاعات بدست آمده از داده‌ها کمی مانند عملکرد بازیکنان و تیم، استفاده شده است [۱۱].

مک‌هیل و همکارش برای مشخص کردن بازیکنان کلیدی یک تیم از دو ابزار تحلیل شبکه و مدل‌سازی آماری استفاده کردند [۱۲]. در روش ارائه شده توسط آنها برای مشخص کردن بازیکنان کلیدی از تحلیل شبکه استفاده شده است. آنها برای در نظر گرفتن تأثیر پاس-های یک بازیکن بر تیم به پاس‌ها براساس میزان اهمیت آنها یک وزن تخصیص دادند. اهمیت هر پاس با توجه به دشواری انجام آن، یا به عبارت دیگر احتمال موفقیت آن پاس مشخص شده است. احتمال موفقیت هر پاس توسط یک مدل آماری معرفی شده توسط آنها تخمین زده شده است.

وو و همکارانش برای تعیین میزان اهمیت هر یک از موقعیت‌ها در فوتبال با توجه به موقعیت بازیکنان و همچنین داده‌های پاس، یک شبکه ایجاد کردند. آنها سپس با ارزیابی این شبکه توسط انواع مختلف معیارهای مرکزیت و معیارهای دیگری مانند بهینگی محلی[۱۰] به این نتیجه دست یافتند که هافبک‌های مهاجم، مهمترین نقش در فاز پاس‌کاری هستند [۱۳].

کوئیج و همکارانش به جای مدل کردن وضعیت تیم در یک بازی توسط یک شبکه، وضعیت تیم در چند بازی متوالی را توسط یک شبکه مدل کرده‌اند [۱۴]. آنها تیم ملی فوتبال هلند را به عنوان یک شبکه اجتماعی مطالعه کرده‌اند. در شبکه ساخته شده برای این تیم هر گره بیانگر یک بازیکن است که در یکی از بازی‌های رسمی این تیم شرکت داشته است و در صورت حضور دو بازیکن در یک بازی میان گره‌های متناظر آن دو بازیکن یک یال وجود خواهد داشت. برای ساختن این شبکه از اطلاعات ۶۷۰ بازی رسمی تیم ملی فوتبال هلند بین سالهای ۱۹۰۵ تا ۲۰۰۸ استفاده شده است. سپس با استفاده از برخی معیارهای شبکه مانند تراکم پیوند[۱۱]، درجه، مسافت، ضریب خوشه‌بندی، قطر[۱۲] و دوری از مرکز[۱۳] [۱۵] به بررسی خصوصیات این شبکه پرداخته شده است.

یک رویکرد دیگر استفاده از تحلیل شبکه‌های پیچیده و یادگیری ماشین برای پیش‌بینی نتیجه مسابقات است. در سال ۲۰۱۸ چا و همکارانش با استفاده از این رویکرد یک سیستم پیش‌بینی برنده-بازنده فوتبال را ارائه دادند [۱۶]. آنها با استفاده از داده‌های پاس و تحلیل شبکه‌های اجتماعی مشخصه‌های شبکه را استخراج کردند. سپس یک مدل یادگیری ماشین گرادیان تقویت شده[۱۴] را با استفاده از این مشخصه‌ها برای پیش‌بینی نتیجه بازی‌ها توسعه دادند. در سال ۲۰۲۱ نیز ایوولی و همکارانش پس از تشکیل شبکه پاس برای تیم‌ها نشان دادند که چگونه معیارهایی نظیر اندازه بزرگترین گروهگ[۱۵]، قطر گراف، مرکزیت و ضریب خوشه‌بندی که از شبکه استخراج می‌شوند، بر روی نتیجه مسابقات تأثیر حیاتی می‌گذارند. سپس با استفاده از این معیارها و متغیرهای معمول مسابقات مانند تعداد خطاهای تیم و تعداد شوت‌ها، از مدل رگرسیون لجستیک دو وجهی[۱۶] برای مدل کردن احتمال برنده شدن بازی استفاده کردند. آنها همچنین کارایی این مدل یادگیری ماشین را با مدل‌های معمول دیگر که برای پیش‌بینی احتمال برنده شدن استفاده می‌شود، مقایسه کردند [۲].

در این مقاله، یک رویکرد موثر برای تحلیل پاس‌های یک تیم و بازیکنان بر اساس تحلیل شبکه پاس بازیکنان پیشنهاد شده است. این رویکرد پیشنهادی از داده‌های پاس فراهم شده توسط سامانه سپهر [۱۷] استفاده می‌کند که مزیت اصلی آن دقت بالای اطلاعات ثبت شده است به طوری که تمامی پاس‌های مسابقه به همراه جزئیات آنها به طور دقیق توسط یک فرد خبره ثبت شده‌اند. برای تحلیل پاس بازیکنان در این مقاله، دو شبکه با نام‌های شبکه پاس معمولی و شبکه پاس تهاجمی پیشنهاد شده است که در آنها، هر گره متناظر با یک بازیکن است و یال‌های میان بازیکنان بیانگر پاس رد و بدل شده میان بازیکنان است. شبکه پاس معمولی تمامی پاس-ها را شامل می‌شود اما در شبکه پاس تهاجمی فقط پاس‌هایی در نظر گرفته می‌شوند که به سمت دروازه تیم حریف بوده‌اند. برای محاسبه وزن یال‌های شبکه نیز یک رویکرد مناسب پیشنهاد شده است که در آن برای هر پاس، بر اساس کارکرد آن در گردش تیمی، یک وزن مناسب به دست می‌آید و با ترکیب وزن هر پاس، وزن یال‌های بین دو بازیکن محاسبه می‌شود.

در این مقاله با استفاده از معیارهایی که برای تحلیل شبکه‌های پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرند، سه معیار برای تحلیل میزان دسترسی بازیکنان، تأثیر بازیکنان بر جریان پاس تیم‌ها و میزان پیچیدگی مسیر پاس‌ها پیشنهاد شده است. این سه معیار، به عنوان معیارهای سطح بالا و بسیار مهم برای تحلیل عملکرد بازیکنان و تیم‌ها در پاس دادن محسوب می‌شوند و می‌توانند توصیف دقیقی برای تأثیر بازیکنان بر گردش تیمی و همچنین رفتار تهاجمی تیم که منجر به حمله بر روی دروازه حریف می‌شود، فراهم کنند. علاوه بر این، در این مقاله به کمک معیارهای حاصل شده برای هر یک از بازیکنان تیم، معیارهایی معرفی شده‌اند که بتوانیم عملکرد تیم را به صورت کلی نیز ارزیابی کنیم. شایان ذکر است که روش پیشنهادی تنها از معیارهایی که در تحلیل شبکه‌های پیچیده مطرح

می‌شوند، برای تحلیل عملکرد بازیکنان بر روی شبکه‌های پاس استفاده می‌کند و از نظر اندازه، هر دو شبکه پاس معمولی و شبکه پاس تهاجمی با اندازه شبکه‌ها در مسائلی مانند شبکه‌های اجتماعی قابل قیاس نیستند.

در جدول ۱ خلاصه‌ای از مهمترین روش‌های تحلیل فوتبال که در پژوهش‌های قبلی به آنها پرداخته شده است به همراه نوع و روش تحلیل آورده شده است. سطر آخر نیز بیانگر نوع و روش تحلیل پیشنهادی در این مقاله است. با توجه به این جدول، در این مقاله سه معیار جدید (میزان دسترسی بازیکنان، تأثیر بازیکنان بر جریان پاسها و پیچیدگی مسیر پاس بین بازیکنان) برای تحلیل عملکرد تیم و بازیکنان ارائه شده است. همچنین برخلاف اکثر مقالات که رفتار تیم و بازیکنان را در حالت کلی بررسی کرده‌اند، در این مقاله با ارائه روشی برای ارزش‌گذاری پاس‌ها، شبکه پاس تهاجمی نیز در کنار شبکه پاس معمولی تشکیل شده است. با استفاده از این شبکه امکان تحلیل حالت هجومی تیم و بازیکنان نیز فراهم شده است.

جدول ۱: روش‌های تحلیل فوتبال

مرجع(ها)	نوع تحلیل	روش تحلیل
تحلیل کلاسیک	تحلیل عملکرد تیم و بازیکنان	اطلاعات آماری ساده (تعداد گل‌ها، تعداد پاس‌ها و ...)
[۵]	پیش‌بینی نتیجه مسابقات	یادگیری ماشین
[۴, ۱۰]	تحلیل عملکرد تیم و بازیکنان	تحلیل شبکه‌های پیچیده
[۱۱]	تحلیل عملکرد تیم و بازیکنان	تحلیل شبکه‌های پیچیده + تحلیل کیفی
[۱۲]	تعیین بازیکنان کلیدی	تحلیل شبکه‌های پیچیده + مدل-سازی آماری
[۱۳]	تعیین اهمیت هر موقعیت	تحلیل شبکه‌های پیچیده
[۲, ۱۶]	پیش‌بینی نتیجه مسابقات	تحلیل شبکه‌های پیچیده و یادگیری ماشین
روش پیشنهادی	**میزان دسترسی بازیکنان، تأثیر بازیکنان بر جریان پاسها و پیچیدگی مسیر پاس بین بازیکنان+ تحلیل حالت هجومی تیم**	**تحلیل شبکه‌های پیچیده**

این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است: ابتدا در بخش ۲ شیوه‌ی جمع‌آوری و پردازش داده‌ها توضیح داده می‌شود. سپس در بخش ۳ دو نوع شبکه که از آنها برای مدل کردن تیم‌ها استفاده خواهد شد ارائه می‌گردند. در بخش ۴ معیارهایی ارائه می‌گردد که از آنها برای تحلیل عملکرد بازیکنان و تیم‌ها استفاده خواهد شد. در بخش ۵ نیز نتایج حاصل از محاسبه معیارهای بخش ۴ برای تعدادی از تیم‌ها و بازیکنان شرح داده خواهد شد. نهایتاً، در بخش ۶ جمع-بندی و نتیجه‌گیری کار انجام شده است.

۲- جمع‌آوری و پردازش داده پاس

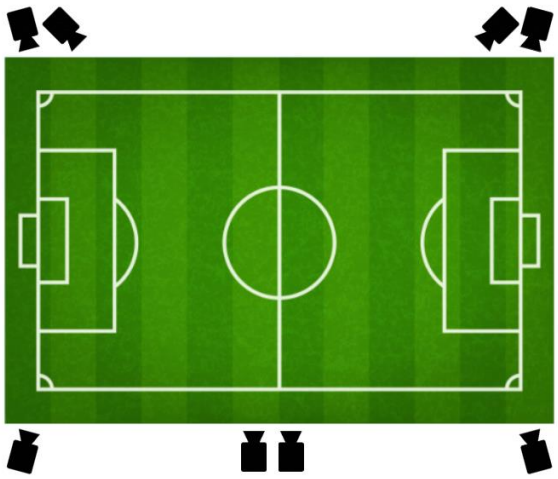
۲-۱- جمع‌آوری داده

برای جمع‌آوری داده از سامانه آنالیز آماری تاکتیک و آمادگی جسمانی بازیکنان که متعلق به شرکت ایده‌پردازان سپهر اطلاعات است، استفاده شده است. در این سامانه، برای جمع‌آوری داده از دو محصول ردیابی بازیکنان با چندین دوربین ثابت و محصول ثبت رخدادهای مسابقه بر روی ویدئو استفاده می‌شود. در ادامه، به طور اجمالی به شرح عملکرد این محصولات برای جمع‌آوری داده‌ها پرداخته می‌شود.

سامانه فوق دارای ۸ دوربین با زاویه دید ثابت است که هم‌اکنون در ورزشگاه آزادی تهران نصب شده‌اند. این دوربین‌ها مطابق شکل ۱، در دو طرف زمین مسابقه در مکان‌های مشخص شده نصب شده‌اند. نحوه نصب دوربین‌ها به گونه‌ای است که کل زمین مسابقه توسط تمام دوربین‌ها پوشش داده می‌شود و از سوی دیگر، زاویه دید دوربین‌ها با یکدیگر هم‌پوشانی دارد تا در صورت خرابی یک دوربین، بتوان کل زمین را با بقیه دوربین‌ها نیز پوشش داد. همچنین، نصب دوربین در دو سوی زمین مسابقه، برای ردیابی دقیق‌تر بازیکنان و مدیریت هم‌پوشانی بازیکنان در حین ردیابی صورت گرفته است. نمونه‌ای از زاویه دید دوربین‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

برای جمع‌آوری داده‌های بازیکنان، در نخستین مرحله با استفاده از محصول ردیابی بازیکنان، محل حضور بازیکنان در زمین واقعی استخراج می‌شود. برای این منظور از تکنیک‌های بینایی ماشین برای ردیابی بازیکنان در ویدئوی ثابت و همچنین کالیبراسیون دوربین‌ها با هدف نگاشت موقعیت بازیکنان بر روی فریم‌های ویدئو به دستگاه مختصات زمین واقعی استفاده می‌شود. در این دستگاه مختصات، مرکز زمین مسابقه به عنوان مبدا دستگاه در نظر گرفته می‌شود و موقعیت بازیکنان توسط دو مولفه، بر حسب سانتی‌متر در دو جهت افقی و عمودی به دست می‌آید. مزیت اصلی این رویکرد، دقت بالای آن برای استخراج مسیر حرکت بازیکنان در طول مسابقه است به طوری که در هر ثانیه، ۳۰ نقطه برای محل حضور یک بازیکن به-

دست می‌آید که ریزدانگی بالایی برای داده‌ها محسوب می‌شود.



شکل ۱: موقعیت دوربین‌های نصب شده در ورزشگاه برای ردیابی بازیکنان و ثبت رخدادهای آنها

شکل ۲: چهار نمونه از فریم‌های ضبط شده توسط نمای مربوط به چهار دوربین مختلف

در مرحله بعدی، با استفاده از محصول ثبت رخدادهای مسابقه و با به کارگیری موقعیت بازیکنان، نسبت به ثبت رخدادهایی مانند پاس، شوت، سانتر، خطا، آفساید، ضربه کرنر و سایر موارد در حین مسابقه، اقدام می‌شود. این محصول دارای یک واسط کاربری است که می توان تمامی پارامترهای یک رخداد را ثبت کرد. به عنوان مثال، برای رخداد پاس می‌توان پارامترهایی نظیر نقطه ارسال و نقطه دریافت در دستگاه مختصات زمین واقعی، بازیکن ارسال کننده پاس و بازیکن دریافت کننده آن (از تیم خودی) یا بازیکن قطع کننده پاس (از تیم حریف) را مشخص کرد. بر این اساس، تمامی جزئیات مورد نیاز برای یک رخداد ثبت خواهد شد.

در مرحله بعدی، با پردازش داده‌های خام مربوط به ردیابی بازیکنان و رخدادهای آنها، یک پایگاه‌داده برای اطلاعات آماری مسابقه پر می شود که علاوه بر اطلاعاتی نظیر میزان دوندگی و سرعت بازیکنان که از روی مسیر حرکت آنها به دست می‌آیند، دارای جدول‌هایی برای نگهداری اطلاعات یک رخداد خاص در مسابقه است. به عنوان مثال، برای اطلاعات پاس یک جدول با فیلدهای مورد نیاز برای تعریف جزئیات اطلاعات پاس‌های مسابقه پر می‌شود که در ادامه به ذکر این جزئیات و نحوه استفاده از آن، برای تولید شبکه پاس بازیکنان می‌پردازیم.

۲-۲- پردازش داده

برای تشکیل شبکه پاس معمولی و شبکه پاس تهاجمی تیم‌های حاضر در یک بازی، از پایگاه‌داده‌ای که با روش توضیح داده شده در بخش قبل جمع‌آوری می‌شود، استفاده می‌کنیم.

در این پایگاه‌داده جدولی با نام پاس‌ها وجود دارد که اطلاعات تمامی پاس‌های موفق و ناموفقی که در طول بازی انجام شده‌اند، در آن موجود است. فیلدهای اطلاعاتی که برای هر پاس تعریف شده‌اند، عبارتند از زمان ارسال پاس، زمان دریافت پاس، بازیکن ارسال کننده پاس و مختصات آن در زمین فوتبال در لحظه ارسال پاس، بازیکن دریافت کننده پاس و مختصات آن در لحظه دریافت پاس و نتیجه پاس (موفق یا ناموفق). باید توجه داشت که اطلاعات بازیکنان تعویضی نیز در جدول دیگری موجود است که در آن اطلاعات تعویض تیم‌ها در طول بازی نگهداری می‌شود. به کمک این جدول می‌توان زمان تعویض بازیکنان را متوجه شد و در نتیجه به میزان حضور بازیکنان در زمین مسابقه پی برد.

شبکه‌های پاس معمولی و پاس تهاجمی در واقع گراف‌های جهت‌دار و وزن‌داری هستند که بازیکنان تیم گره‌های آنها را تشکیل می‌دهند و یال‌های میان بازیکنان نشان دهنده پاس‌های موفق انجام شده بین آنها می‌باشد. نحوه محاسبه وزن یال بین دو بازیکن در شبکه پاس معمولی با شبکه پاس تهاجمی متفاوت است. برای محاسبه وزن یال‌ها در شبکه پاس معمولی و پاس تهاجمی ابتدا تمام پاس-های موفقی که در این تیم در طول زمان بازی انجام شده‌اند از جدول پاس‌ها استخراج می‌شود. در شبکه پاس معمولی برای هر پاس موفقی که ارسال کننده آن بازیکن شماره i و دریافت کننده آن بازیکن شماره j می‌باشد یک واحد به وزن یال $i \to j$ اضافه می‌شود (ارزش هر پاس یک در نظر گرفته می‌شود). اما در شبکه پاس تهاجمی ارزش یک پاس موفق برابر با یک نیست. در این شبکه با توجه به زمان ارسال و دریافت پاس و مختصات بازیکن ارسال

کننده پاس، بازیکن دریافت کننده پاس و بازیکنان تیم حریف ارزش هر پاس که برابر تعداد بازیکنانی از تیم حریف است که در نتیجه پاس به سمت دروازه تیم حریف پشت سر گذاشته می‌شوند، محاسبه می‌شود. در بخش ۳-۲ نحوه محاسبه ارزش هر پاس در شبکه پاس تهاجمی توضیح داده شده است.

۳- شبکه‌های تیم فوتبال

برای ارزیابی عملکرد پاس‌های یک تیم فوتبال و بازیکنان آن با کمک علم شبکه‌های اجتماعی، ابتدا نیاز است که پاس‌های آن تیم با یک شبکه مدل شود. در این پژوهش، پاس‌ها توسط دو نوع مدل‌سازی مختلف با نام‌های شبکه پاس معمولی و شبکه پاس تهاجمی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. هر یک از این مدلها، امکان تحلیل ویژگی‌های مختلفی از پاس بازیکنان و تیم را فراهم می‌کنند که در ادامه به آن پرداخته شده است.

۳-۱- شبکه پاس معمولی

شبکه پاس معمولی یک تیم فوتبال که آن را با $N1 = (P; E1)$ نشان می‌دهیم، در واقع گراف جهت دار و وزن‌داری است که در آن:

- P مجموعه بازیکنان آن تیم است که راس‌های گراف را تشکیل می‌دهند.
- $E1$ مجموعه یال‌های گراف را تشکیل می‌دهد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E1 = \{(p_i; p_j; \frac{w_{ij}}{t_i}) | ((p_i; p_j) \in p^2) \wedge (i \neq j) \wedge (w_{ij} \geq 1)\} \quad (۱)$$

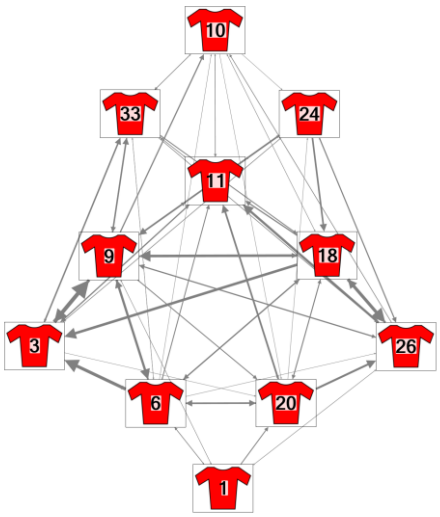
که در آن w_{ij} برابر با تعداد پاس‌های موفقی است که بازیکن شماره i به بازیکن شماره j داده است. $A_{ij} = \frac{w_{ij}}{t_i}$ وزن یال جهت داری است که از بازیکن i به سمت بازیکن j کشیده شده است. همچنین t_i بیانگر زمان حضور بازیکن i در بازی می‌باشد که حداقل مقدار برای آن ۲۰ دقیقه در نظر گرفته شده است.

در برخی محاسبات نیاز است که مسافت میان بازیکنان را محاسبه کرد. طبق تعریف، مسافت d_{ij} بیانگر طول مسیر ژئودزیک (مسیر با کوتاه‌ترین طول) از بازیکن(گره) i به بازیکن(گره) j در شبکه است. برای محاسبه طول مسیر ژئودزیک، باید ابتدا طول l_{ij} هر یک از یال‌های جهت‌دار را با استفاده از رابطه زیر محاسبه کنیم:

$$l_{ij} = \begin{cases} 0 & i = j \\ 1 - \frac{A_{ij}}{max_A + 0.01} & i \neq j \end{cases} \quad (۲)$$

که در آن max_A برابر با حداکثر مقدار A_{ij} در بازی‌هایی است که در این مقاله تحلیل شده‌اند. با توجه به رابطه (۲) هر چه وزن یال جهت‌دار از بازیکن i به بازیکن j (A_{ij}) بیشتر باشد، طول آن یال (l_{ij}) کمتر خواهد بود. پس از اینکه با کمک رابطه (۲) طول تمام یال‌های شبکه بدست آمد، می‌توان مسافت d_{ij} را محاسبه کرد. بنابراین مفهوم مسافت که در اینجا تعریف شد، لزوما به فاصله فیزیکی میان بازیکنان در زمین بازی وابسته نیست.

یک نمونه از شبکه پاس معمولی برای تیم پرسپولیس در بازی پرسپولیس – نفت تهران ۱۰ مردادماه سال ۹۳ در شکل ۳ رسم شده است. در این شکل، ضخامت فلش‌ها بیانگر وزن یال‌ها است. همچنین، اگر چه موقعیت گره‌ها در شبکه (گراف) اهمیتی ندارد اما در این شکل، برای پیدا کردن دید بهتر نسبت به هر یک از بازیکنان، آنها را در موقعیت تاکتیکی خودشان قرار داده‌ایم (در این شکل بازیکن با شماره پیراهن ۱ دروازه‌بان است). باید توجه داشت که آنالیزورها با مشاهده شبکه رسم شده و بدون استفاده از معیارها، به یک تحلیل شهودی و کیفی از رفتار تیم و بازیکنان دست می‌یابند. به عنوان مثال، می‌توان تشخیص داد که کدام یک از بازیکنان پاس-های بیشتری به یکدیگر داده‌اند و یا اینکه وقتی مشاهده می‌شود دو بازیکن به اندازه‌ای که طبق انتظار مربی بوده است به یکدیگر پاس نداده‌اند، بیانگر یک نقطه ضعف در پاس‌های تیم است.



شکل ۳: گراف پاس معمولی تیم پرسپولیس

تحلیل‌های شهودی اگرچه پرکاربرد هستند اما هرگز یک معیار دقیق برای ارزیابی بازیکنان نیستند. بنابراین بهتر است، علاوه بر دید شهودی، معیارهایی که در ادامه معرفی شده‌اند، استخراج و مورد ارزیابی قرار گیرند تا به آمار دقیقی از عملکرد بازیکنان و تیم دست یافت.

۳-۲- شبکه پاس تهاجمی

یک نوع دیگر از شبکه که برای ارزیابی عملکرد یک تیم و بازیکنان آن استفاده شده است، شبکه پاس تهاجمی است که آن را با $N2 = (P; E2)$ نشان می‌دهیم. این شبکه همانند شبکه پاس معمولی، گراف جهت‌دار و وزن‌داری است، که در آن P بیانگر مجموعه بازیکنان تیم است و راس‌های گراف را تشکیل می‌دهند. اما نحوه تشکیل یال‌ها و محاسبه وزن آنها در این شبکه، متفاوت است.

در این شبکه، فقط پاس‌هایی که تهاجمی هستند در نظر گرفته می‌شوند. منظور از تهاجمی بودن این است که توپ به سمت دروازه تیم حریف پاس داده شده باشد. برخلاف شبکه پاس معمولی، در این شبکه ارزش تمام پاس‌ها برابر در نظر گرفته نمی‌شود. نحوه محاسبه ارزش هر پاس به این صورت است که در لحظه ارسال پاس یک خط عمودی فرضی در محل بازیکن ارسال کننده پاس در زمین و موازی با دروازه، رسم می‌شود و تعداد افرادی از تیم حریف که میان این خط و دروازه خودشان هستند شماره می‌شوند که آن را m_1 می‌نامیم. پس از اینکه بازیکن دریافت کننده پاس، توپ را دریافت کرد یک خط عمودی دیگر نیز در محل این بازیکن در زمین رسم می‌شود و تعداد بازیکنان تیم حریف که میان این خط و دروزاه خودشان قرار دارند، شماره می‌شوند که آن را m_2 می‌نمایم. بنابراین ارزش پاس که آن را NOO می‌نامیم به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$NOO = m_1 - m_2 \qquad (۳)$$

هر چه مقدار NOO بیشتر باشد، نشان دهنده این است که تعداد بیشتری از بازیکنان تیم حریف پس از ارسال پاس، پشت سر گذاشته شده‌اند و در نتیجه پاس تهاجمی‌تر بوده است. پس از اینکه ارزش تهاجمی هر پاس مطابق رویکرد فوق به دست آمد، برای محاسبه ارزش تمام پاسهای بین گره‌های متناظر دو بازیکن i و j به صورت زیر عمل می‌کنیم.

ابتدا مجموعه پاس‌های تهاجمی بین دو بازیکن i و j را استخراج می‌کنیم که آن را با مجموعه s نشان می‌دهیم. سپس، ارزش تمام پاسهای میان این دو بازیکن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$w'_{ij} = \sum_{p \in s} NOO[p] \qquad (۴)$$

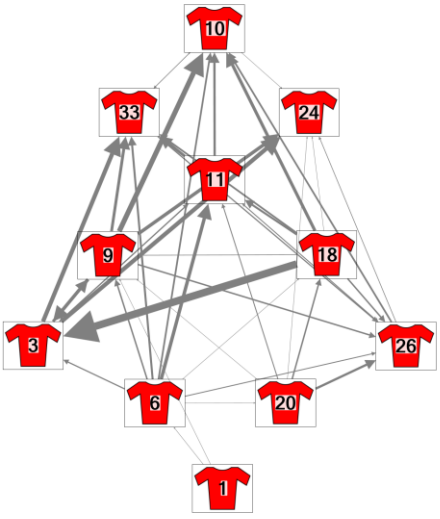
در رابطه فوق، هرچه مقدار w'_{ij} بیشتر باشد بیانگر این است که پاس‌هایی که از بازیکن i به سمت بازیکن j ارسال شده‌اند، نقش بیشتری در بردن تیم به حالت هجومی و در نتیجه نزدیک شدن به دروازه حریف داشته‌اند.

در شبکه پاس تهاجمی، $E2$ که برابر مجموعه یال‌های گراف است به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E2 = \{(p_i; p_j; \frac{w'_{ij}}{t_i}) | ((p_i; p_j) \in p^2) \wedge (i \neq j) \wedge (w'_{ij} \geq 1)\} \qquad (۵)$$

$A'_{ij} = \frac{w'_{ij}}{t_i}$ وزن یال جهت داری است که از بازیکن i به سمت بازیکن j کشیده شده است. همچنین برای محاسبه طول یال میان بازیکنان، مشابه رابطه ۲ عمل می‌کنیم با این تفاوت که در آن، A_{ij} با A'_{ij} جایگزین شده است و به جای max_A از $max_{A'}$ استفاده می‌کنیم که در این شبکه مقدار $max_{A'}$ برابر با حداکثر مقدار A'_{ij} در میان تمام بازی‌هایی است که در این پژوهش مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

شبکه پاس تهاجمی تیم پرسپولیس برای بازی ذکر شده در بخش قبل در شکل ۴ رسم شده است. در این شکل نیز ضخامت فلش‌ها بیانگر وزن یال‌ها است.



شکل ۴: گراف پاس تهاجمی تیم پرسپولیس

۳-۳- تفاوت شبکه پاس معمولی و پاس تهاجمی

همانطور که در بخش قبلی ذکر شد تفاوت شبکه پاس معمولی و شبکه پاس تهاجمی در این است که شبکه پاس تهاجمی فقط به پاس‌هایی اهمیت می‌دهد که بتوانند تیم را به دروازه تیم حریف نزدیکتر کنند. همچنین، برخلاف شبکه پاس معمولی که به تمامی پاس‌ها ارزش یکسان می‌دهد، در شبکه پاس تهاجمی ارزش پاس‌ها مساوی نیست و بر اساس تعداد بازیکنان حریف که در حین حمله کنار گذاشته می‌شوند، ارزش متفاوتی به پاس‌ها داده می‌شود.

شبکه پاس معمولی بیانگر حرکت کلی تیم در زمین مسابقه است و تمامی پاس‌ها را در نظر می‌گیرد تا جریان تیمی را استخراج کند. با این وجود گراف پاس تهاجمی، پاس‌های رو به عقب و پاس‌های کوتاه را نادیده می‌گیرد و ارزش بیشتری به پاس‌های عمقی یک تیم در حین حمله به دروازه حریف می‌دهد. بنابراین علاوه بر تحلیل عملکرد کلی بازیکنان و تیم که توسط شبکه پاس معمولی انجام می‌شود، می‌توان به کمک شبکه پاس تهاجمی عملکرد بازیکنان و تیم را در هنگام حمله بررسی کرد.

۴- تحلیل عملکرد بازیکنان و تیم

برای ارزیابی عملکرد بازیکنان و تیم، از معیارهایی که در ادامه شرح داده خواهند شد، استفاده می‌کنیم. این معیارها با تحلیل ساختار شبکه، کمیت‌های با ارزشی را برای تحلیل پاس‌ها در حین یک مسابقه فراهم می‌کنند. در ادامه به شرح هر یک از این معیارها پرداخته می‌شود و همچنین درباره مفهوم هر یک از این معیارها در بازی فوتبال بحث می‌شود.

۴-۱- تحلیل میزان دسترسی بازیکنان

یکی از معیارهای مهم در تحلیل عملکرد بازیکنان و تیم، میزان دسترسی بازیکنان است. میزان دسترسی یک بازیکن وابسته به دو کمیت، میزان دسترس‌پذیری بازیکن برای دریافت پاس از هم‌تیمی-ها و میزان دسترسی بازیکن به هم‌تیمی‌ها برای ارسال پاس به آنها است. به طور کلی هر چه میزان دسترسی بازیکنان بالاتر باشد، به این معنی است که ارتباط تیمی بین بازیکنان بهتر شکل خواهد گرفت و در نتیجه، امکان دفاع بهتر و طراحی حمله بر روی دروازه تیم حریف بیشتر خواهد شد. حالت ایده‌آل این است که همه بازیکنان دسترسی بالا داشته باشند.

برای تعیین میزان دسترسی بازیکنان از معیار مرکزیت نزدیکی[۱۷] بر روی شبکه پاس استفاده می‌کنیم. دو رویکرد مختلف برای محاسبه مرکزیت نزدیکی وجود دارد. در رویکرد اول، مرکزیت نزدیکی گره u، که با $C_1(u)$ نمایش داده می‌شود، مساوی معکوس میانگین فاصله ژئودزیک گره u تا $n-1$ گره دیگری است که به آنها دسترسی دارد [۱۸]. این معیار مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$C_1(u) = \frac{n-1}{N-1}\frac{n-1}{\sum_{v=1}^{n-1} d_{uv}} \quad (۶)$$

که در آن، d_{uv} برابر فاصله ژئودزیک گره u تا گره v است و n تعداد گره‌هایی است که از u به آنها مسیری وجود دارد. همچنین N بیانگر تعداد کل گره‌های موجود در شبکه است و ضریب $\frac{n-1}{N-1}$ برای نرمال-سازی استفاده شده است تا گره‌هایی که به تعداد کمتری از گره‌های دیگر دسترسی دارند، مقادیر مرکزیت نزدیکی آنها کمتر باشد. بنابراین اگر گره u به تمام گره‌های شبکه دسترسی داشته باشد، مقدار ضریب $\frac{n-1}{N-1}$ برای آن گره، مساوی یک خواهد شد.

در رویکرد دوم، برای محاسبه مرکزیت نزدیکی گره u، که با $C_2(u)$ نمایش داده می‌شود، از معکوس میانگین فاصله ژئودزیک تا گره u از $n-1$ گره دیگر که به گره u دسترسی دارند (در واقع مسیر برعکس رویکرد اول)، استفاده می‌شود [۱۸]. رابطه این معیار به صورت زیر قابل تعریف است:

$$C_2(u) = \frac{n-1}{N-1}\frac{n-1}{\sum_{v=1}^{n-1} d_{vu}} \quad (۷)$$

که در آن d_{vu} برابر فاصله ژئودزیک گره v تا گره u است و n تعداد گره‌هایی است که از آنها مسیری به گره (بازیکن) u وجود دارد.

هرچه مقدار $C_1(i)$ برای بازیکن شماره i در شبکه فوتبال بیشتر باشد، نشان دهنده دسترسی بهتر این بازیکن به هم‌تیمی‌ها برای ارسال پاس به آنها است. همچنین هرچه مقدار $C_2(i)$ برای این بازیکن بیشتر باشد، دسترس‌پذیری این بازیکن برای دریافت پاس از هم‌تیمی‌ها بیشتر خواهد بود. بنابراین با استفاده از این دو کمیت می‌توان میزان دسترسی بازیکن شماره i را به صورت زیر تعریف کرد:

$$C(i) = \frac{C_1(i)+C_2(i)}{2} \quad (۸)$$

میزان دسترسی یک بازیکن ($C(i)$) در شبکه پاس معمولی مشخص کننده قدرت ارتباط این بازیکن با هم‌تیمی‌ها از طریق ارسال و دریافت پاس است. همچنین این معیار در شبکه پاس‌های تهاجمی تعیین کننده میزان تأثیر یک بازیکن در بردن تیم به حالت هجومی

می‌باشد.

برای بررسی عملکرد یک تیم براساس میزان دسترسی بازیکنان آن، از میانگین حسابی میزان دسترسی هر یک از بازیکنان آن تیم استفاده می‌کنیم، که رابطه آن به شکل زیر است:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i \in P} C(i)}{|P|} \quad (۹)$$

که در آن P برابر مجموعه بازیکنان تیم است.

همان طور که در ابتدای این بخش نیز ذکر شد، بالا بودن میانگین میزان دسترسی یک تیم در شبکه پاس معمولی و شبکه پاس تهاجمی بیانگر این حقیقت که ارتباط تیمی بین بازیکنان آن تیم بهتر شکل خواهد گرفت و انتقال توپ میان بازیکنان راحتتر خواهد بود. در شبکه پاس تهاجمی نیز بالا بودن این معیار بیانگر این حقیقت است که تعداد بیشتری از بازیکنان در بردن تیم به حالت تهاجمی تاثیر داشته‌اند و یا ارتباط تیمی میان بازیکنان بیشتر بوده است.

۴-۲- تحلیل جریان پاس تیم و تأثیر بازیکنان بر آن

یکی از معیارهای مهم دیگر در تحلیل عمکرد بازیکنان و تیم، میزان تاثیر یک بازیکن در جریان پاس‌های تیم است. منظور از میزان تاثیر یک بازیکن در جریان پاس‌های تیم این است که تا چه میزان یک بازیکن به هم تیمی‌هایش کمک می‌کند که توپ را به دیگر بازیکنان تیم برسانند. به‌عبارت دیگر، این معیار مشخص می‌کند که یک بازیکن تا چه میزان در جریان پاس‌های میان دیگر بازیکنان آن تیم حضور دارد. برای روشن شدن اهمیت این معیار، فرض کنید یک بازیکن در جریان پاس‌های تیم نسبت به هم تیمی‌هایش تأثیر خیلی بیشتری داشته باشد، این حالت یک نقطه ضعف بزرگ برای تیم است زیرا با مهار این بازیکن، جریان پاس تیمی از کار خواهد افتاد.

برای تعیین میزان تاثیر یک بازیکن در جریان پاس‌های تیم، از معیار مرکزیت بینابینی[۱۸] استفاده می‌کنیم. این معیار در شبکه مشخص می‌کند که یک گره تا چه میزان در کوتاه‌ترین مسیرهای بین سایر گره‌های شبکه ظاهر شده است. به عبارت دیگر، مرکزیت بینابینی میزان اهمیت یک گره را در کوتاه‌ترین مسیرهای موجود در شبکه مشخص می‌کند. اگر n_{jk}^{i} نشان دهنده تعداد مسیرهای ژئودزیک از گره j تا گره k باشد که از گره i می‌گذرند و g_{jk} برابر تعداد کل مسیرهای ژئودزیک از گره j تا گره k باشد، آنگاه معیار مرکزیت بینابینی به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۹]:

$$C_B(i) = \frac{1}{((n-1)(n-2))} \sum_{j \neq k \neq i} \frac{n_{jk}^{i}}{g_{jk}} \quad (۱۰)$$

که در آن n بیانگر تعداد کل گره‌های موجود در شبکه است و ضریب نرمال‌سازی $\frac{1}{((n-1)(n-2))}$ این اطمینان را می‌دهد که $0 \leq C_B(i) \leq 1$ باشد.

این معیار میزان تأثیر حذف یک بازیکن از بازی را مشخص می‌کند. به عنوان مثال اگر مرکزیت بینابینی یک بازیکن برابر صفر باشد، بیانگر این حقیقت است که این بازیکن در بازی مشارکت چندانی نداشته است و در نتیجه حذف آن از بازی نیز تأثیر چندانی نخواهد داشت. همچنین با کمک این معیار در شبکه پاس تهاجمی می‌توان تأثیر هر یک از بازیکنان را در پاس‌هایی که منجر به بردن تیم به حالت هجومی می‌شود، محاسبه کرد.

خاویر و همکارانش [۴] معتقد بودند اگرچه بالا بودن این معیار برای بازیکنان یک تیم، مشکلی برای آن تیم ایجاد نمی‌کند اما اگر مرکزیت بینابینی یک بازیکن نسبت به دیگر بازیکنان خیلی بیشتر باشد، نشان دهنده وابستگی زیاد تیم به این بازیکن خاص است. بنابراین اگر بازیکنی که مرکزیت بینابینی آن نسبت به دیگر بازیکنان بیشتر است، به هر دلیل از بازی حذف شود، در بسیاری از پاس‌های آن تیم اخلال ایجاد می‌شود. در نتیجه، برای یک تیم ترجیح می‌دهیم که مرکزیت بینابینی تمام بازیکنان تا حد ممکن در یک سطح باشد. به عبارت دیگر، به لحاظ آماری باید توزیع معیار فوق برای بازیکنان یک تیم به توزیع یکنواخت نزدیک باشد.

در این مقاله، برای اینکه مشخص کنیم توزیع معیار مرکزیت بینابینی تا چه حد به توزیع یکنواخت شبیه است، از معیار واگرایی Kullback–Leibler استفاده می‌کنیم که برای اندازه‌گیری میزان تفاوت دو توزیع احتمالی استفاده می‌شود. برای این منظور، ابتدا توزیع مرکزیت بینابینی یک تیم با محاسبه کردن احتمال مرکزیت بینابینی هر یک از بازیکنان آن به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P\big(C_B(i)\big) = \frac{C_B(i)}{\sum_{\forall j \in P} C_B(j)} \quad (۱۱)$$

که در آن P مجموعه بازیکنان آن تیم است و C_B مطابق رابطه ۱۰ برای هر بازیکن محاسبه می‌شود. سپس می‌توان با کمک معیار واگرایی Kullback-Leibler در رابطه زیر، میزان تفاوت این توزیع را با توزیع یکنواخت به دست آورد [۲۰]:

$$D_{KL}(P||Q) = \sum_{x \in X} P(x) \log\left(\frac{P(x)}{Q(x)}\right) \quad (۱۲)$$

که در رابطه فوق، X برابر مجموعه بازیکنان تیم، $P(x)$ برابر احتمال مرکزیت بینابینی بازیکن شماره x و تابع $Q(x)$ برابر توزیع یکنواخت می‌باشد.

هرچه مقدار این معیار در شبکه پاس معمولی بیشتر باشد، نشان دهنده این است که میزان تفاوت توزیع مرکزیت بینابینی با توزیع یکنواخت بیشتر است و در نتیجه، تیم به تعداد کمی از بازیکنان وابستگی زیاد دارد. همچنین در شبکه پاس تهاجمی بالا بودن این معیار بیانگر این حقیقت است که تعداد کمی از بازیکنان در بردن تیم به حالت هجومی نقش داشته‌اند.

۴-۳- تحلیل پیچیدگی مسیر پاس بین بازیکنان

یکی از مسائل مهم و اساسی در تحلیل پاس بین بازیکنان، وجود مسیرهای متفاوت برای رساندن توپ از یک بازیکن به بازیکن دیگر هم‌تیمی به منظور دشوارتر کردن گرفتن توپ از تیم است. چنانچه مسیرهای متفاوتی برای انجام پاس بین دو بازیکن وجود داشته باشد، دفاع تیم حریف با چالش بیشتری برای دفع حملات بر روی دروازه خود روبرو خواهد بود. به عبارت دیگر وجود مسیرهای متفاوت برای انجام پاس باعث بالاتر رفتن پیچیدگی مسیر پاس‌های تیم می‌شود.

برای ارزیابی تأثیر یک بازیکن بر میزان پیچیدگی مسیر پاس بین بازیکنان یک تیم، از ضریب خوشه‌بندی[۱۹] بر روی شبکه پاس استفاده می‌کنیم. ضریب خوشه‌بندی معیاری است که میزان تمایل گره‌ها به ایجاد خوشه با یکدیگر را نشان می‌دهد. هرچه ضریب خوشه‌بندی برای بازیکنان یک تیم در سطح بالاتری باشد، نشان‌دهنده این است که مسیرهای متفاوتی برای انجام پاس بین دو بازیکن وجود دارد.

برای شبکه‌های وزن‌دار و جهت‌دار تعاریف مختلفی برای ضریب خوشه‌بندی وجود دارد که مقایسه برخی از رایج‌ترین آنها در [۲۱] یافت می‌شود. در این مقاله از تعریفی که در [۲۲] برای ضریب خوشه‌بندی ($CC(i)$) ارائه شده است استفاده شده است:

$$CC(i) = \frac{1}{deg^{tot}(i)(deg^{tot}(i)-1) - 2\,deg^{\leftrightarrow}(i)} \times \sum_{j,k} \frac{\sqrt[3]{A_{jk}A_{ji}A_{ik}}}{\max(A)} \qquad (۱۳)$$

که در آن A ماتریس مجاورت شبکه است که وزن یال میان دو گره را نشان می‌دهد و $deg^{tot}(i)$ برابر مجموع درجه خروجی و ورودی گره i است. $deg^{\leftrightarrow}(i)$ برابر درجه دوسویه[۲۰] گره i است (یعنی تعداد گره‌هایی مانند j که هر دو یال $i \to j$ و $j \to i$ در شبکه وجود دارند) که به صورت زیر محاسبه می شود:

$$deg^{\leftrightarrow}(i) = \sum_{i \neq j} \varepsilon_{ij}\varepsilon_{ji} \qquad (۱۴)$$

در رابطه فوق، $\varepsilon_{ij} = 1$ اگر یالی از گره i به گره j در شبکه موجود باشد، در غیر این صورت $\varepsilon_{ij} = 0$ خواهد بود.

ضریب خوشه‌بندی بازیکن شماره i که نشان دهنده تأثیر این بازیکن بر بالا بردن پیچیدگی مسیر پاس بین دیگر بازیکنان است، مقداری به دست می‌دهد که مشخص می‌کند تا چه اندازه این بازیکن به هم‌تیمی‌هایش کمک می‌کند تا خط‌های دفاعی ایجاد شده توسط تیم حریف را پشت سر بگذارند. به عنوان مثال فرض کنید که بازیکن شماره j می‌خواهد به بازیکن شماره k پاس بدهد، اما از آنجایی که بدلیل خط دفاعی تیم حریف این پاس نمی‌تواند به صورت مستقیم انجام شود، بازیکن j مجبور است ابتدا توپ را به بازیکن i پاس دهد و سپس این بازیکن توپ را به بازیکن k پاس بدهد که مسیری به شکل $j \to i \to k$ ایجاد خواهد شد. هرچه تعداد پاس‌های بیشتر وجود داشته باشد که از مسیر $j \to i \to k$ عبور کنند، ضریب خوشه‌بندی بازیکن i بیشتر خواهد بود و این بازیکن نقش یک بازیکن میانی را خواهد داشت.

برای بررسی پیچیدگی مسیر پاس‌های میان بازیکنان یک تیم به صورت کلی، می‌توان از میانگین حسابی ضریب خوشه‌بندی ($\overline{CC}$) بازیکنان آن تیم که به صورت زیر محاسبه می‌شود، استفاده کرد:

$$\overline{CC} = \frac{\sum_{i \in P} CC(i)}{|P|} \qquad (۱۵)$$

که در آن P نشان دهنده مجموعه بازیکنان تیم است.

هرچه میانگین این معیار در شبکه پاس معمولی برای یک تیم بیشتر باشد این تیم توپ را راحتتر حفظ می‌کند و دفاع را برای تیم حریف چالش برانگیزتر می‌کند. همچنین هرچه میانگین این معیار در شبکه پاس تهاجمی تیم بیشتر باشد، این مطلب را می‌رساند که تیم در حالت هجومی متحدتر عمل کرده است و دفع حملات این تیم به راحتی صورت نخواهد گرفت.

۵- نتایج

در این بخش از معیارهای مطرح شده در بخش قبل، برای تحلیل عملکرد بازیکنان و تیم‌های حاضر در هشت بازی لیگ برتر فوتبال

ایران در سال ۹۳ استفاده شده است. جزئیات این بازی‌ها در جدول ۲ مشاهده می‌شود. در این جدول به هر یک از این بازی‌ها یک شماره نسبت داده شده است که در ادامه برای ارجاع به هر یک از این بازی‌ها از شماره آنها استفاده خواهد شد.

جدول ۲: جدول مسابقات

شماره بازی	تاریخ مسابقه	تیم اول	نتیجه	تیم دوم
۱	۱۰ مرداد	پرسپولیس	۱ - ۱	نفت تهران
۲	۲۴ مرداد	پرسپولیس	۱ - ۰	ذوب آهن
۳	۱۴ شهریور	پرسپولیس	۱ - ۳	تراکتورسازی
۴	۲۱ شهریور	پرسپولیس	۱ - ۱	نفت مسجد سلیمان
۵	۳ مهر	پرسپولیس	۲ - ۱	استقلال خوزستان
۶	۲۹ مهر	پرسپولیس	۰ – ۱	سایپا
۷	۱۵ آبان	پرسپولیس	۲ - ۲	گسترش فولاد
۸	۲۰ آذر	پرسپولیس	۲ - ۱	فولاد خوزستان

به عنوان نمونه، برای ارزیابی عملکرد بازیکنان در یک مسابقه، به تحلیل بازی ۳ از جدول فوق خواهیم پرداخت. سپس با استفاده از معیارهایی که در بخش۴ برای تحلیل عملکرد یک تیم معرفی شدند، عملکرد تیم پرسپولیس و تیم‌های حریف آن را در بازی‌های ۲، ۵ و ۸ تحلیل خواهیم کرد. در انتها نیز به منظور تحلیل عملکرد یک بازیکن در مسابقات مختلف، عملکرد یک بازیکن (شماره ۱۴ تیم پرسپولیس) در بازی‌های ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ و ۸ مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۵-۱- مسابقه پرسپولیس – تراکتورسازی

نتایج حاصل از محاسبه معیارهای معرفی شده در بخش ۴ برای بازیکنان تیم‌های پرسپولیس و تراکتورسازی به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود.

در شکل ۵-الف مرکزیت نزدیکی بازیکنان پرسپولیس ارائه شده است که با توجه به توضیحات بخش قبل، از آن برای تحلیل میزان دسترسی بازیکنان استفاده می‌شود. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، در شبکه پاس معمولی بازیکن شماره ۹ بیشترین میزان مرکزیت نزدیکی را دارد که نشان دهنده ارتباط قوی این بازیکن با هم‌تیمی‌ها برای دریافت و ارسال پاس می‌باشد. دلیل اصلی بالا بودن میزان دسترسی این بازیکن، نقش هافبک وسط بودن او در ترکیب تیم است. براساس آمار، این هافبک‌ها در هر مسابقه بیشترین آمار پاس صحیح را دارند. هافبک‌های دیگر این تیم (بازیکنان ۱۴، ۱۵ و ۲۸) نیز نسبت به مدافعان و مهاجمان میزان دسترسی بالاتری دارند. دلیل اصلی این مطلب این حقیقت است که آمار پاس صحیح دریافتی و ارسالی این بازیکنان، نسبت به مدافعان و مهاجمان تیم بیشتر است.

در شبکه پاس تهاجمی میزان دسترسی بازیکنان ۱۳ و ۱۵ که به ترتیب نقش مدافع سمت چپ و هافبک سمت چپ را در ترکیب تیم داشته‌اند، نسبت به دیگر بازیکنان بیشتر است که بیانگر نقش مهم این بازیکنان از طریق ارسال و یا دریافت پاس برای بردن تیم به حالت هجومی است. اما در نقطه مقابل، مرکزیت نزدیکی بازیکنان شماره ۳۳، ۲۶ و ۲۸ نسبت به دیگر بازیکنان این تیم کمتر است. بازیکنان ۳۳ و ۲۶ در ترکیب تیم نقش مهاجم را داشته‌اند و همین امر باعث شده است که امکان ارسال پاس تهاجمی برای این بازیکنان کمتر باشد. بنابراین میزان دسترسی این بازیکنان به دیگر بازیکنان (C_1) کمتر می‌باشد که باعث کوچکتر شدن مقدار C می‌شود.

در شکل ۵-ب مرکزیت بینابینی بازیکنان پرسپولیس مشاهده می‌شود که از آن برای بررسی تأثیر بازیکنان بر جریان پاس‌های تیم استفاده می‌شود. با توجه به این شکل در شبکه پاس معمولی مرکزیت بینابینی بازیکن شماره ۹ نسبت به دیگر بازیکنان تیم پرسپولیس بیشتر است. این مطلب بیانگر این حقیقت است که بازیکن شماره ۹ نقش یک بازیکن میانی (پل) را ایفا کرده است و در بسیاری از مسیرهای پاس میان بازیکنان حضور داشته است. همچنین، با توجه به توضیحاتی که در بخش قبل ارائه شد، از آنجایی که مرکزیت بینابینی بازیکن شماره ۹ در شبکه پاس معمولی نسبت به دیگر بازیکنان بیشتر است، وابستگی تیم پرسپولیس به این بازیکن در این بازی بیشتر بوده است. وابستگی زیاد تیم به یک یا تعداد کمی از بازیکنان یک نقطه ضعف برای تیم به حساب می‌رود زیرا با مهار کردن این بازیکنان به هر طریقی در جریان بسیاری از پاس‌های تیم اخلال ایجاد می‌شود.

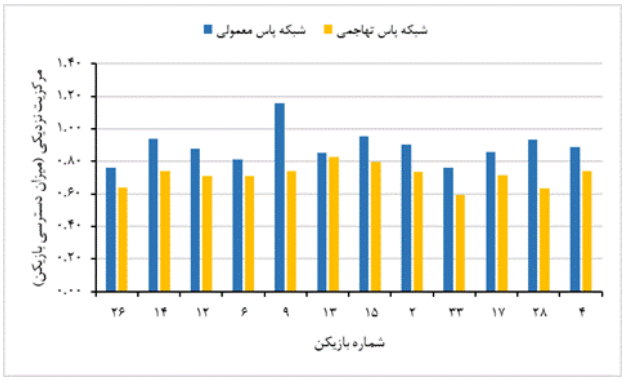
مرکزیت بینابینی بازیکنان ۲۶، ۳۳ و ۱۷ تقریبا برابر صفر است. دلیل اصلی صفر بودن مرکزیت بینابینی یک بازیکن، حضور آنها به عنوان مهاجم در ترکیب تیم می‌باشد. زیرا مهاجم‌ها اغلب منتظر دریافت پاس هستند و در جریان پاس‌های میان دیگر بازیکنان تیم حضور ندارند. در اینجا نیز این بازیکنان در ترکیب تیم پرسپولیس نقش مهاجم را داشته‌اند که با توجه به توضیح فوق انتظار داریم که مرکزیت بینابینی آنها تقریبا برابر صفر باشد.

در شبکه پاس تهاجمی مرکزیت بینابینی بازیکنان ۱۵، ۱۳ و ۱۴ نسبت به دیگر بازیکنان تیم بیشتر است که بیانگر اهمیت این بازیکنان برای بردن تیم به حالت هجومی از طریق حضور در جریان

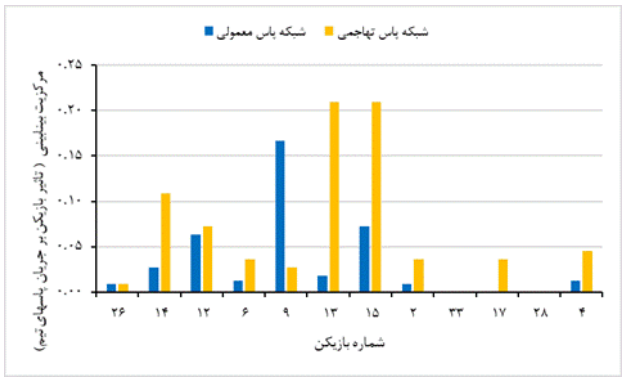
پاس‌هایی است که منجر به بردن تیم به حالت هجومی می‌شود.

در شکل ۵-ج ضریب خوشه‌بندی بازیکنان پرسپولیس مشاهده می‌شود. با توجه به این شکل، در شبکه پاس معمولی ضریب خوشه‌بندی بازیکن شماره ۲۶ نسبت به دیگر بازیکان این تیم بیشتر است. بالا بودن ضریب خوشه‌بندی بازیکن شماره ۲۶ بیانگر این حقیقت است که این بازیکن با دریافت توپ و سپس ارسال آن به یکی دیگر از هم‌تیمی‌ها به بالاتر رفتن پیچیدگی مسیر پاس‌ها کمک کرده است. هر چه پیچیدگی مسیر پاس‌های یک تیم بیشتر باشد گرفتن توپ از آن تیم برای تیم حریف چالش برانگیزتر خواهد بود.

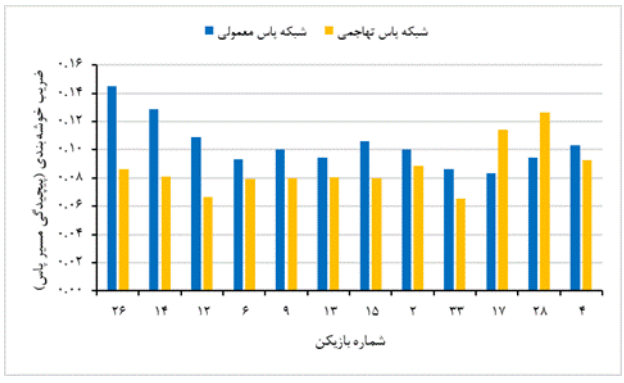
در شبکه پاس تهاجمی ضریب خوشه‌بندی بازیکنان ۲۸ و ۱۷ نسبت به دیگر بازیکنان تیم بیشتر است. این مطلب بیانگر اهمیت این بازیکنان برای عبور از خطوط دفاعی تیم حریف در حالت هجومی است.



الف

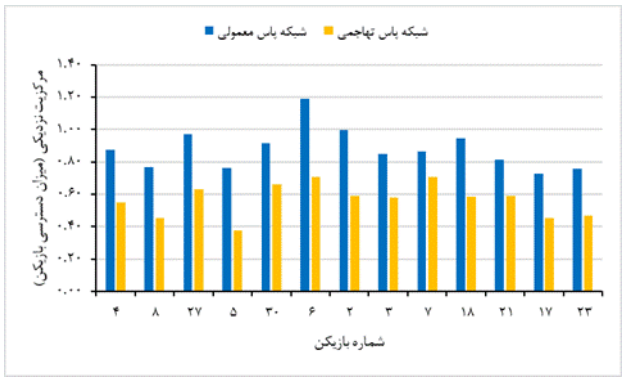


ب

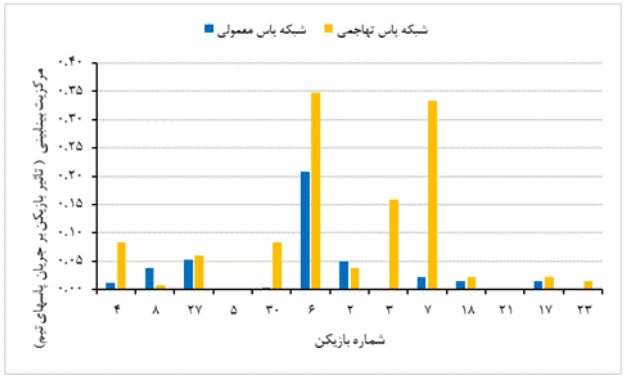


ج

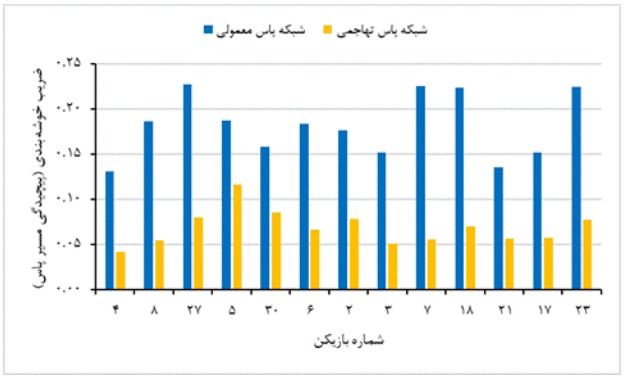
شکل ۵: نتایج معیارهای معرفی شده در بخش ۴ برای تیم پرسپولیس



الف



ب



ج

شکل ۶: نتایج معیارهای معرفی شده در بخش ۴ برای تیم تراکتورسازی

در شکل ۶-الف مرکزیت نزدیکی بازیکنان تراکتورسازی مشاهده می‌شود. مطابق با نمودار در شبکه پاس معمولی مرکزیت نزدیکی بازیکن شماره ۶ نسبت به دیگر بازیکنان این تیم بیشتر است. با توجه به توضیحاتی که پیش از این ارائه شد انتظار داریم که این بازیکن هافبک وسط تیم باشد که همینطور هم هست. دیگر هافبک-های تراکتورسازی (شماره‌های ۱۸ و ۲۷) نیز نسبت به سایر بازیکنان این تیم (به غیر از بازیکن شماره ۲ که مدافع سمت چپ بوده است) میزان دسترسی بالاتری دارند.

در شبکه پاس تهاجمی میزان دسترسی بازیکنان ۶ و ۷ نسبت به دیگر بازیکنان این تیم بیشتر است. این مطلب بیانگر این حقیقت است این بازیکنان برای بردن تیم به حالت هجومی نقش تأثیرگذاری داشته‌اند.

باتوجه به شکل ۶-ب به دلیل بالا بودن مرکزیت بینابینی بازیکن شماره ۶ در شبکه پاس معمولی و شبکه پاس تهاجمی متوجه اهمیت این بازیکن در جریان پاس‌های میان سایر بازیکنان می‌شویم. بالا بودن مرکزیت بینابینی بازیکنان ۶، ۷ و ۳ در شبکه پاس تهاجمی نیز نشان دهنده اهمیت این بازیکنان در جریان پاس‌هایی است که منجر به بردن تیم به حالت هجومی می‌شود. همانطور که پیش از این توضیح داده شد، مرکزیت بینابینی بازیکنانی که در نوک حمله حضور دارند نزدیک به صفر است. در تیم تراکتورسازی از آنجایی که بازیکن شماره ۲۱ در نوک حمله قرار دارد مقدار این معیار برای آن صفر است.

همانطور که در شکل ۶-ج مشاهده می‌شود، در شبکه پاس معمولی بازیکنان ۷، ۱۸، ۲۳ و ۲۷ بیشترین ضریب خوشه‌بندی را نسبت به دیگر بازیکنان تراکتورسازی دارند که نشان دهنده اهمیت این بازیکنان برای بالا بردن پیچیدگی مسیر پاس‌ها و در نتیجه حفظ توپ می‌باشد. در شبکه پاس تهاجمی مقدار ضریب خوشه‌بندی برای بازیکنان ۵، ۳۰ و ۲۷ نسبت به دیگر بازیکنان بیشتر است. این مطلب بیانگر این حقیقت است که این بازیکنان نقش موثرتری برای حفظ توپ در حرکت‌های هجومی داشته‌اند.

توضیحات فوق برای بررسی عملکرد بازیکنان تیم‌ها بود. برای بررسی عملکرد تیم‌ها به طور کلی و مقایسه آن با تیم حریف از معیارهایی که در بخش ۴ برای ارزیابی یک تیم معرفی شده‌اند، استفاده می-کنیم. نتایج حاصل از این معیارها برای هر دو تیم در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

جدول ۳: نتایج معیارها برای دو تیم پرسپولیس و تراکتورسازی

نام معیار – شبکه	پرسپولیس	تراکتورسازی
$\bar{C}$ - شبکه پاس معمولی	**۰,۸۹**	۰,۸۸
$\bar{C}$ - شبکه پاس تهاجمی	**۰,۷۲**	۰,۵۷
D_{KL} – شبکه پاس معمولی	۰,۷۹	**۰,۹۴**
D_{KL} – شبکه پاس تهاجمی	۰,۵۳	**۰,۷۰**
$\overline{CC}$ شبکه پاس معمولی	۰,۱۰	**۰,۱۸**
$\overline{CC}$ شبکه پاس تهاجمی	**۰,۰۹**	۰,۰۷

با توجه به نتیجه معیار $\bar{C}$ برای دو تیم پرسپولیس و تراکتورسازی در شبکه پاس معمولی و شبکه پاس تهاجمی، به این نکته پی می-بریم که قدرت ارتباط بازیکنان تیم پرسپولیس از نظر میزان دسترسی بیشتر از قدرت ارتباط بازیکنان تیم تراکتورسازی بوده است. به عبارت دیگر در تیم پرسپولیس دسترسی بازیکنان به یکدیگر راحتتر صورت می‌گرفته است.

در شبکه پاس معمولی و پاس تهاجمی حاصل معیار D_{KL} تیم تراکتورسازی بیشتر از تیم پرسپولیس است. این مطلب بیانگر این حقیقت است که در رد و بدل کردن پاس، تیم تراکتورسازی به تعداد کمی از بازیکنان وابستگی زیاد داشته است. بالاتر بودن حاصل این معیار برای تیم یک نقطه ضعف برای آن تیم به حساب می‌رود. زیرا در صورت حذف بازیکن یا بازیکنانی که وابستگی به آنها زیاد است در جریان بسیاری از پاس‌های تیم اخلال ایجاد می‌شود.

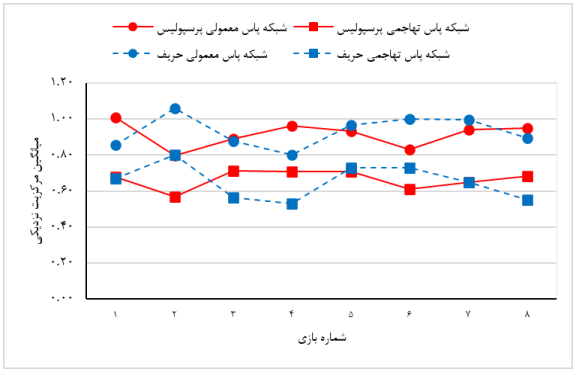
حاصل معیار $\overline{CC}$ در شبکه پاس معمولی برای تیم تراکتورسازی بیشتر است. بالاتر بودن مقدار این معیار برای تیم تراکتورسازی نشان دهنده این است که نحوه ارتباط بازیکنان این تیم در شبکه پاس معمولی به نحوی بوده است که گرفتن توپ از بازیکنان این تیم دشوارتر بوده است و در نتیجه بازیکنان این تیم در نگهداری توپ موفق‌تر عمل می‌کرده‌اند. اما در شبکه پاس تهاجمی با توجه به اینکه حاصل معیار $\overline{CC}$ تیم پرسپولیس بیشتر است به این حقیقت پی می‌بریم پیچیدگی مسیر پاس‌های تیم پرسپولیس در حالت هجومی بیشتر بوده است و گرفتن توپ از بازیکنان این تیم نیازمند تلاش بیشتری بوده است.

نتیجه این بازی ۱ - ۳ به نفع تیم تراکتورسازی بوده است. یکی از گل‌ها دریافتی تیم پرسپولیس گل به خودی بوده است. اگر چه میزان دسترسی بازیکنان تیم پرسپولیس به یکدیگر بیشتر بوده است اما بالاتر بودن پیچیدگی مسیر پاس‌ها در شبکه پاس معمولی برای تیم تراکتورسازی را می‌توان یکی از عوامل مهم در دریافت گل کمتر این تیم به حساب آورد. زیرا همانطور که پیش از این شرح داده شد

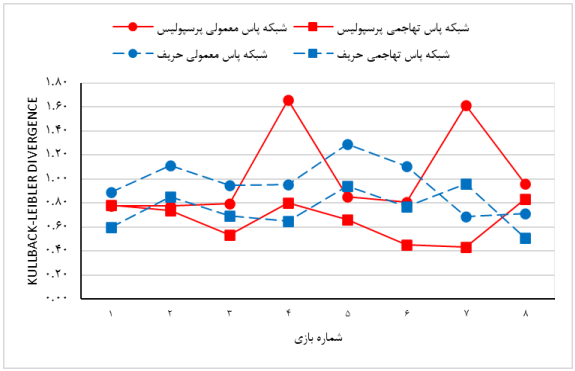
این تیم به دلیل ساختار پاسی که داشته است، به آسانی توپ را به تیم حریف واگذار نمی‌کرده است.

۵-۲- مقایسه عملکرد تیم پرسپولیس و تیم‌های حریف آن

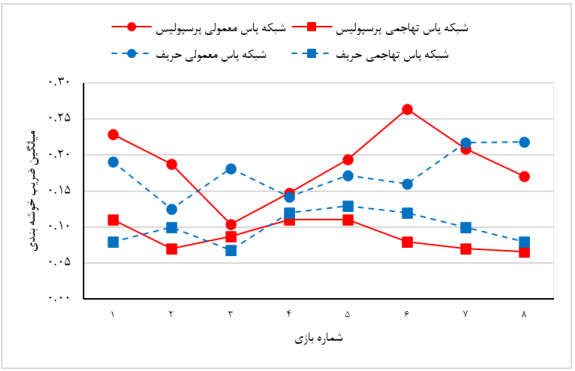
در این بخش نتایج معیارهای معرفی شده در بخش ۴ برای تیم پرسپولیس و حریف‌های آن، در هشت بازی ذکر شده در جدول ۲ بررسی می‌شود. نتایج حاصل از محاسبه این معیارها در شکل ۷ مشاهده می‌شود.



الف



ب



ج

شکل ۷: مقایسه عملکرد تیم پرسپولیس و تیم‌های حریف آن در ۸ بازی متوالی

با توجه به جدول ۲ تیم پرسپولیس در بازی‌های شماره ۲ و ۵ برنده بوده است. به کمک شکل ۷-الف درمی‌یابیم که در هر دو این بازی-ها، میانگین مرکزیت نزدیکی بازیکنان تیم حریف (در هر دو نوع شبکه پاس) بیشتر از میانگین مرکزیت نزدیکی تیم پرسپولیس است. این مطلب بیانگر این حقیقت است که دسترسی بازیکنان به یکدیگر، در این تیم‌ها با سهولت بیشتری صورت گرفته است و انتقال توپ میان بازیکنان این تیم‌ها راحتتر بوده است. همچنین حاصل معیار D_{KL} تیم‌های حریف در هر دو شبکه پاس بیشتر است که وابستگی بیشتر این دو تیم را به تعداد کمتری از بازیکنان نشان می‌دهد. اما در هر دو این بازی‌ها میانگین ضریب خوشه‌بندی تیم پرسپولیس در شبکه پاس معمولی بیشتر است که نشان دهنده بالا بودن پیچیدگی مسیر پاس‌های این تیم است. بالاتر بودن پیچیدگی مسیر پاس‌های تیم پرسپولیس به این معنی است که تیم پرسپولیس توپ را بهتر حفظ می‌کرده است.

در بازی شماره ۸ که تیم پرسپولیس در آن بازنده بوده است با مقایسه نتایج تیم پرسپولیس و فولاد خوزستان به این حقیقت پی می‌بریم که در هر دو شبکه پاس معمولی و پاس تهاجمی میانگین مرکزیت نزدیکی بازیکنان تیم پرسپولیس بیشتر است و در نتیجه دسترسی بازیکنان این تیم به یکدیگر راحتتر صورت می‌گرفته است. همچنین بالاتر بودن نتیجه معیار D_{KL} تیم پرسپولیس نسبت به تیم فولاد خوزستان نشان دهنده وابستگی بیشتر این تیم به تعداد کمتری از بازیکنان است. اما میانگین ضریب خوشه‌بندی در هر دو شبکه پاس معمولی و پاس تهاجمی برای تیم فولاد خوزستان بیشتر است که نشان دهنده پیچیدگی بیشتر مسیر پاس‌ها در این تیم است. به عبارت دیگر گرفتن توپ از تیم فولاد خوزستان برای تیم پرسپولیس چالش برانگیزتر بوده است.

با توجه به نتایج حاصل شده به طور کلی برداشت می‌شود که یکی از مهمترین عواملی که می‌تواند منجر به پیروزی تیم شود، بالا بودن میانگین ضریب خوشه‌بندی تیم است. بالا بودن میانگین ضریب خوشه‌بندی نشان دهنده پیچیدگی بیشتر مسیر پاس‌های تیم است که در نتیجه تیم حریف برای گرفتن توپ باید تلاش بیشتری کند. همچنین بالا بودن حاصل معیار D_{KL} برای تیم را می‌توان به عنوان یک نقطه ضعف برای تیم حساب کرد و با پیدا کردن بازیکنانی که تأثیر بالایی در جریان پاس‌های یک تیم دارند، جریان پاس‌های آن تیم را مختل کرد.

۵-۳- تحلیل عملکرد یک بازیکن در مسابقات متوالی

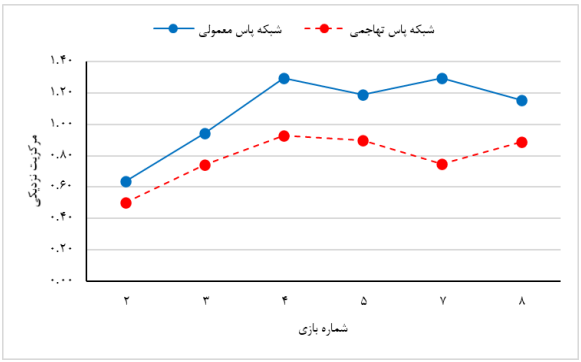
در این بخش با استفاده از معیارهای معرفی شده در بخش ۴، عملکرد بازیکن ۱۴ تیم پرسپولیس در بازی‌های شماره ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ و ۸ بررسی و مقایسه خواهد شد. نتایج حاصل از این معیارها برای بازیکن ۱۴ در شکل ۸ مشاهده می‌شود.

با توجه به کمتر بودن مرکزیت نزدیکی بازیکن ۱۴ در بازی شماره ۲ نسبت به دیگر بازی‌ها به این حقیقت پی می‌بریم که این بازیکن در این بازی ارتباط خوبی با دیگر هم‌تیمی‌ها برای دریافت و ارسال پاس و همچنین بردن تیم به حالت هجومی نداشته است. همچنین با توجه به شکل ۸-ب از آنجایی که مرکزیت بینابینی بازیکن شماره ۱۴ در بازی ۲ نسبت به دیگر بازی‌ها کمتر است، متوجه عدم تأثیر بالای این بازیکن در جریان پاس‌های میان بازیکنان تیم در این بازی می‌شویم. اما همانطور که در شکل ۸-ج مشاهده می‌شود حاصل معیار ضریب خوشه‌بندی این بازیکن در هر دو شبکه نسبت به دیگر بازی‌ها تفاوت چندانی ندارد. بنابراین اگر چه این بازیکن در تعداد زیادی پاس نقش نداشته است، اما همان تعداد کم پاس‌های دریافتی و ارسالی در حفظ توپ نقش موثری داشته‌اند.

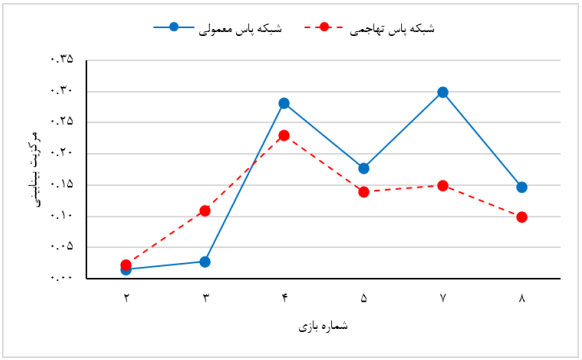
با توجه با نمودار ۸-الف بازیکن شماره ۱۴ در بازی‌های ۴، ۵، ۷ و ۸ توانسته مرکزیت نزدیکی خود را تقریباً در یک محدوده حفظ کند. همچنین با توجه به این نمودار به این مطلب پی می‌بریم که در این بازی‌ها میزان دسترسی این بازیکن و ارتباط آن با هم‌تیمی‌ها نسبت به بازی‌های شماره ۲ و ۳ بیشتر بوده است.

با توجه به شکل ۸-ب مرکزیت بینابینی این بازیکن در طی بازی‌های مختلف نوسان زیادی داشته است. بالاتر بودن مرکزیت بینابینی این بازیکن در هر بازی نشان دهنده تأثیر بیشتر او در جریان پاس‌های میان دیگر هم‌تیمی‌ها است. همچنین تفاوت زیاد مرکزیت بینابینی شبکه پاس معمولی و شبکه پاس تهاجمی این بازیکن در بازی شماره ۷ نسبت به دیگر بازی‌ها، بیانگر این حقیقت است که پاس-هایی که در این بازی از این بازیکن می‌گذشته‌اند، تأثیر زیادی در بردن تیم به حالت هجومی نداشته‌اند.

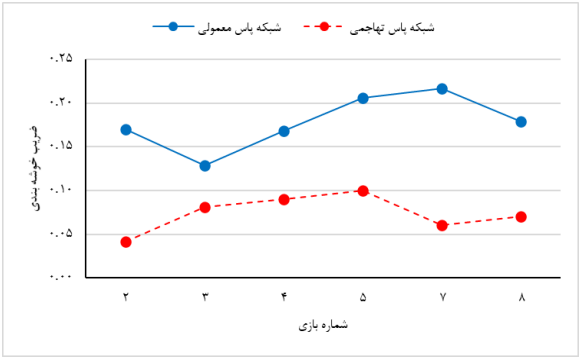
تفاوت مشهود میان ضریب خوشه‌بندی شبکه پاس معمولی و شبکه پاس تهاجمی این بازیکن در بازی‌ها مختلف نیز بیانگر این مطلب است که تأثیر این بازیکن در حالت هجومی برای حفظ توپ نسبت به زمانی‌هایی که تیم حالت هجومی نداشته کمتر بوده است.



الف



ب



ج

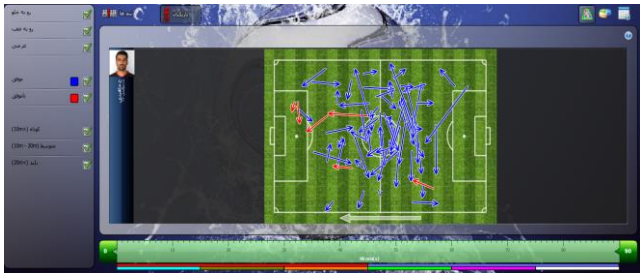
شکل ۸: عملکرد بازیکن شماره ۱۴ تیم پرسپولیس در ۶ بازی مختلف

۵-۴- تحلیل کیفی

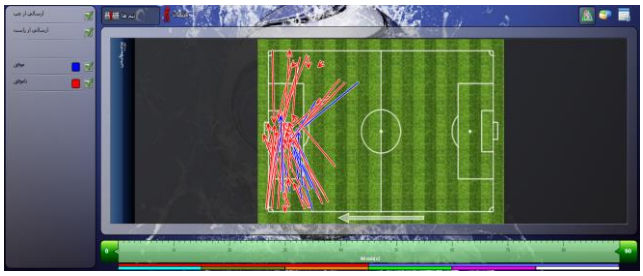
برای ارزیابی کیفی روش پیشنهادی، آزمایش زیر طراحی شده است تا به بررسی تطابق نتایج کمی روش پیشنهادی با نتایج کیفی بپردازیم.

فیلم مسابقه پرسپولیس- تراکتور که در بخش ۵-۱ نتایج کمی آن ارائه شد، در اختیار سه آنالیزور مسابقات فوتبال در شرکت ایده‌پردازان سپهر اطلاعات قرار گرفت. در کنار این فیلم، اطلاعات پاسها و شوتهای مسابقه برای همه بازیکنان در اختیار آنالیزورها بوده است. این اطلاعات در قالب یک نرم‌افزار که با عنوان "سامانه آنالیز

آماری تاکتیک و آمادگی جسمانی بازیکنان" شناخته می‌شود، در اختیار آنالیزورها بوده است. شرح این سامانه در وبسایت شرکت ایده‌پردازان سپهر اطلاعات[۲۱] موجود است. از جمله اطلاعات این سامانه می‌توان به مواردی نظیر تعداد پاس، نرخ موفقیت پاس، شوتهای بازیکنان و تعداد شوتهای درون چارچوب، سانترهای ارسال شده روی دروازه اشاره کرد. چند نمونه از گزارشهایی که در اختیار آنالیزورها بوده است، در شکل ۹ قابل مشاهده است.



الف: نمونه‌ای از گزارش پاسهای یک بازیکن



ب: نمونه‌ای از گزارش سانترهای تیم پرسپولیس

ج: نمونه‌ای از گزارش شوت‌های تیم پرسپولیس

شکل ۹: چند نمونه از گزارش‌های سامانه

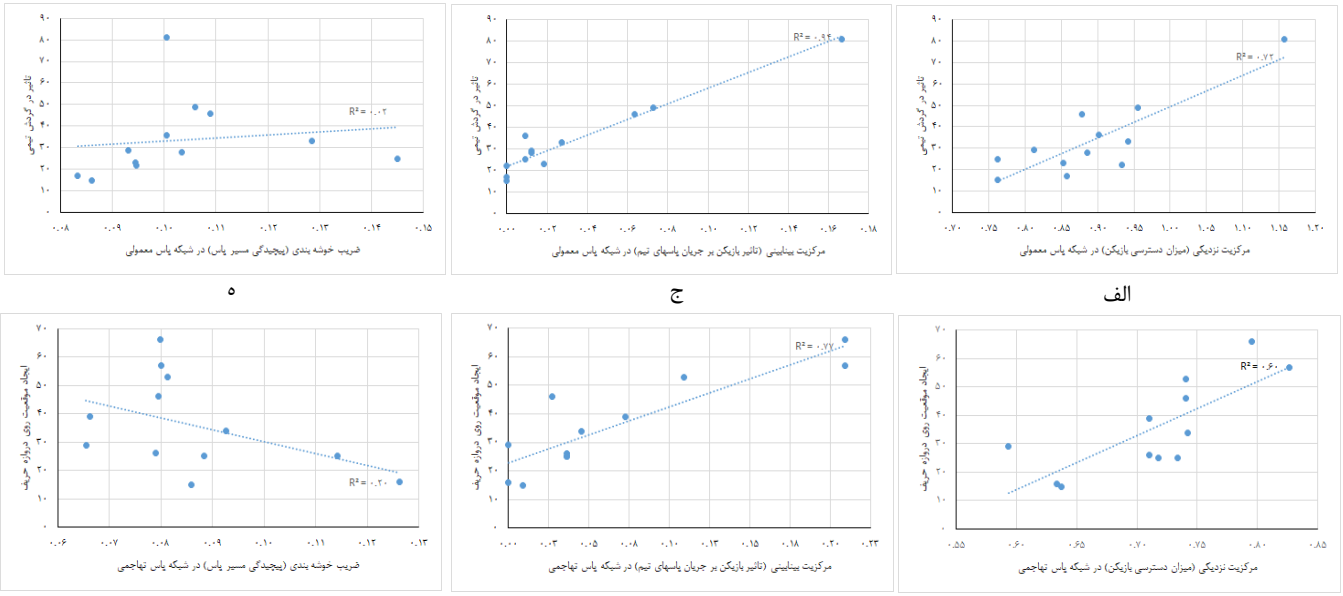
بر اساس فیلم مسابقه و داده‌های سامانه فوق، از آنالیزورها خواسته شده است که برای دو پارامتر تأثیر بازیکنان تیم پرسپولیس در گردش تیمی و ایجاد موقعیت بر روی دروازه حریف، به صورت جداگانه یک امتیاز بین صفر تا ۱۰۰ داده شود. هدف این آزمایش بررسی میزان تطابق امتیازات کیفی با معیارهای کمی پیشنهاد شده در این مقاله است. میانگین امتیازات به دست آمده برای بازیکنان مختلف به همراه انحراف معیار، در جدول زیر آمده است.

جدول ۴: میانگین امتیازات کیفی بازیکنان تیم پرسپولیس

شماره بازیکن	تأثیر در گردش تیمی	ایجاد موقعیت روی دروازه حریف
۲۶	۵±۲۵/۷	۲±۱۵/۴
۱۴	۳±۳۳/۷	۳±۵۳/۲
۱۲	۴±۴۶/۹	۲±۳۹/۶
۶	۲±۲۹/۸	۱±۲۶/۷
۹	۷±۸۱/۴	۳±۴۶/۹
۱۳	۳±۲۳/۳	۲±۵۷/۵
۱۵	۵±۴۹/۲	۳±۶۶/۸
۲	۲±۳۶/۹	۱±۲۵/۴
۳۳	۴±۱۵/۵	۱±۲۹/۴
۱۷	۲±۱۷/۶	۲±۲۵/۱
۲۸	۵±۲۲/۹	۳±۱۶/۲
۴	۷±۲۸/۱	۵±۳۴/۳

همانگونه که در جدول فوق مشخص است، انحراف معیار برای امتیازات ایجاد موقعیت بر روی دروازه تیم حریف کمتر از امتیازات تأثیر در گردش تیمی است. دلیل این موضوع، استفاده از شوتهای زده شده به سمت دروازه تیم حریف برای آنالیز حملات تیم توسط آنالیزورها بوده است و از آنجایی که تعداد شوتها در مسابقه کم بوده است، توافق بیشتری بر روی امتیازها وجود دارد.

برای بررسی میزان تطبیق این امتیازات با معیارهای پیشنهاد شده در این مقاله، در شکل ۱۰ مقدار امتیازهای کیفی بر اساس مرکزیت بینابینی، مرکزیت نزدیکی و ضریب خوشه‌بندی نشان داده شده است. شایان ذکر است که امتیازهای کیفی تأثیر بر روی گردش تیمی بر اساس معیارهای به دست آمده از شبکه پاس معمولی نشان داده شده‌اند و امتیازهای کیفی ایجاد موقعیت روی دروازه تیم حریف بر اساس امتیازهای شبکه پاس تهاجمی نشان داده شده‌اند تا بتوان تفسیر بهتری برای امتیازها به دست آورد. همچنین، بر روی هر نمودار مقدار ضریب تعیین[۲۲] (R^2) نیز نشان داده شده است. این ضریب با مقدار بین صفر و یک، بیانگر میزان احتمال همبستگی میان امتیازهای کیفی با معیارهای کمی در این مقاله است. هر چه مقدار این ضریب به یک نزدیکتر باشد، به معنی همبستگی بیشتر است.



شکل ۱۰: بررسی میزان تطابق امتیازات کیفی و کمی بازیکنان پرسپولیس

با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۱۰ می‌توان نتیجه گرفت که یک همبستگی مناسب بین امتیازهای کیفی و دو معیار مرکزیت بینابینی و مرکزیت نزدیکی وجود دارد اما بین امتیازهای کیفی و ضریب خوشه‌بندی هیچ همبستگی وجود ندارد. بالاترین میزان همبستگی بین امتیاز کیفی تأثیر در گردش تیمی و مرکزیت بینابینی بر روی شبکه پاس معمولی به دست آمده است که می‌تواند نشان دهنده موفقیت معیار پیشنهادی باشد. برای درک این موضوع باید توجه داشت که مرکزیت بینابینی به اندازه‌گیری تأثیر بازیکن بر جریان پاس تیمی می‌پرداخت که با معیار کیفی متناظر آن تطابق و همبستگی بالایی دارد. همین موضوع روی شبکه پاس تهاجمی نیز برقرار است که به لحاظ معیار R^2 در جایگاه بعدی قرار دارد.

دلیل عدم همبستگی بین معیارهای کیفی و معیار کمی ضریب خوشه‌بندی نیز از این موضوع نشات می‌گیرد که ضریب خوشه‌بندی به اندازه‌گیری میزان پیچیدگی مسیرهای پاس بر روی شبکه پاس می‌پردازد که ظاهراً با دو معیار کیفی که از آنالیزوها خواسته شده است، تطابقی ندارد. به طور کلی، همبستگی مثبت و تقریبا بالای ۰/۶ بین معیارهای کیفی و کمی مرتبط، بیانگر موفقیت روش پیشنهادی در ارائه معیارهای کمی است.

۵-۵- مقایسه معیارهای ارائه شده با معیارهای سنتی

در این بخش برای نشان دادن اهمیت معیارهای ارائه شده، به مقایسه این معیارها با برخی از معیارهای سنتی مهم که برای تحلیل عملکرد بازیکنان استفاده می‌شود، می‌پردازیم. نتایج حاصل از این معیارها در جدول ۵ مشاهده می‌شود. در جدول ۵ منظور از شبکه ۱، شکبه پاس معمولی و منظور از شبکه ۲، شبکه پاس تهاجمی است. معیارهای سنتی که برای تحلیل عملکرد بازیکنان استفاده شده است، عبارتند از: ۱) تعداد پاسهای موفق، ۲) دقت پاس: نسبت تعداد پاسهای موفق به کل پاسها، ۳) درصد پاسهای هجومی: نسبت تعداد پاسهای رو به جلو (به سمت دروازه حریف) به تعداد پاسهای موفق، ۴) ایجاد موقعیت روی دروازه حریف که برای محاسبه آن، ابتدا دنباله تمام پاسهایی که منجر به شوت درون چارچوب شده‌اند، از پایگاه داده استخراج می‌شوند. سپس به چهار بازیکن انتهای هر دنباله با استفاده از رابطه زیر که نوعی رابطه نمایی نزولی است، امتیازی اختصاص داده شده است:

$$w_i = \begin{cases} 100 & i = 0 \\ (1-\lambda) \times w_{i-1} & 0 < i < 4 \end{cases} \qquad (۱۶)$$

که λ یک پارامتر قابل تنظیم بین ۰ و ۱ است. در [۲۳] پس از تحلیل تجربی $\lambda = ۰/۲۵$ در نظر گرفته شده است. در این مقاله نیز از همین مقدار برای λ استفاده خواهد شد. با توجه به رابطه فوق، بازیکنی که شوت را زده است $(i = 0)$ بالاترین امتیاز (۱۰۰) را دریافت خواهد کرد. بازیکنی که پاسِ شوت را داده است $(i = 1)$ امتیاز ۷۵ را دریافت خواهد کرد. به همین ترتیب هر چه مقدار i بیشتر می‌شود، امتیازی که بازیکن دریافت می‌کند، کمتر خواهد شد. در نهایت، با جمع کردن امتیازهایی که یک بازیکن در هر

جدول ۵: مقایسه معیارهای ارائه شده با معیارهای سنتی برای ارزیابی عملکرد بازیکنان

شماره بازیکن	معیارهای سنتی				معیارهای ارائه شده در این مقاله					
	پاسهای موفق	دقت پاس	درصد پاسهای هجومی	ایجاد موقعیت روی دروازه حریف	میزان دسترسی بازیکن		تأثیر بازیکن بر جریان پاس-های تیم		تأثیر بازیکن بر پیچیدگی مسیر پاس‌های تیم	
					شبکه ۱	شبکه ۲	شبکه ۱	شبکه ۲	شبکه ۱	شبکه ۲
۲۶	۶	۶۰	۳۳/۳۳	۰	۰/۷۶	۰/۶۴	۰/۰۱	۰/۰۱	**۰/۱۴**	۰/۰۹
۱۴	**۳۱**	۸۶/۱۱	۳۵/۵	۱۱۷/۱۹	**۰/۹۴**	**۰/۷۴**	۰/۰۳	**۰/۱۱**	**۰/۱۳**	۰/۰۸
۱۲	۱۹	۷۹/۱۶	۴۲/۱	۷۵	۰/۸۸	۰/۷۱	**۰/۰۶**	**۰/۰۷**	**۰/۱۱**	۰/۰۷
۶	۱۹	۷۳	**۵۷/۹**	**۲۵۰**	۰/۸۱	۰/۷۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۸
۹	**۳۹**	۸۳	۳۵/۹	۹۸/۴۴	**۱/۱۶**	**۰/۷۴**	**۰/۱۷**	۰/۰۳	۰/۱	۰/۰۸
۱۳	۲۰	۷۱/۴۲	۵۵	**۲۰۶/۲۵**	۰/۸۵	**۰/۸۳**	۰/۰۲	**۰/۲۱**	۰/۰۹	۰/۰۸
۱۵	۱۵	**۹۳/۷۵**	۴۶/۷	۱۵۶/۲۵	**۰/۹۶**	**۰/۸**	**۰/۰۷**	**۰/۲۱**	**۰/۱۱**	۰/۰۸
۲	۲۱	۸۴	۴۷/۶	۱۹۸/۴۴	۰/۹	۰/۷۳	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۱	۰/۰۹
۳۳	۱۰	**۹۰/۹**	۳۰	۱۷۵	۰/۷۶	۰/۵۹	۰	۰	۰/۰۹	۰/۰۷
۱۷	۷	۴۳/۷۵	۴۲/۸	**۳۵۶/۲۵**	۰/۸۶	۰/۷۲	۰	۰/۰۴	۰/۰۸	**۰/۱۱**
۲۸	۲۱	۸۷/۵	**۵۷/۱**	۷۵	۰/۹۳	۰/۶۳	۰	۰	۰/۰۹	**۰/۱۳**
۴	**۲۶**	**۸۹/۶۵**	**۷۳**	۱۰۰	۰/۸۹	**۰/۷۴**	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۱	**۰/۰۹**

دنباله‌ی پاس کسب کرده است، امتیاز ایجاد موقعیت روی دروازه حریف آن بازیکن محاسبه می‌شود.

با مقایسه معیارهای ارائه شده در این مقاله و معیارهای سنتی به این نکته پی می‌بریم که معیارهای سنتی به رخدادهایی که توسط یک بازیکن رخ داده‌اند، توجه می‌کند و یک تیم را به صورت شبکه‌ای از بازیکنان که با هم در ارتباط هستند، ارزیابی نمی‌کنند. در مقابل، معیارهای ارائه شده در این مقاله یک بازیکن را به صورت تنها ارزیابی نمی‌کنند، بلکه پس از ایجاد شبکه‌ای از بازیکنان و تعریف ارتباط میان آنها، عملکرد هر بازیکن را به عنوان عضوی از تیم ارزیابی می‌کنند. بنابراین معیارهای ارائه شده، تحلیل سطح بالاتری را نسبت به معیارهای سنتی فراهم می‌کنند. به عنوان مثال، برای تحلیل تأثیر بازیکنان بر حملات تیم، در معیارهای سنتی تنها به شوتهای داخل چارچوب توجه می‌شود که تعداد آنها بسیار کم است و تنها بازیکنانی که در این توالی حضور دارند، مدنظر قرار می‌گیرند اما در روش پیشنهادی از ساختار شبکه پاس هجومی استفاده می‌شود. همچنین استخراج معیارهایی نظیر پیچیدگی مسیر پاس در معیارهای سنتی امکان‌پذیر نیست.

با توجه به نتایج معیارهای سنتی در جدول ۵، بازیکنان ۹، ۱۴ و ۴ بیشترین تعداد پاس موفق را داشته‌اند. اگر به میزان دسترسی این بازیکنان که به کمک معیارهای ارائه شده در این مقاله استخراج شده است نگاه کنیم، متوجه خواهیم شد که میزان دسترسی این بازیکنان نیز از اکثر بازیکنان دیگر تیم بالاتر است. این مطلب نشان دهنده وجود ارتباط میان تعداد پاسهای موفق و میزان دسترسی بازیکنان است. اما نکته قابل توجه این است که اگرچه تعداد پاسهای صحیح این سه بازیکن نسبت به دیگر بازیکنان بیشتر است، اما لزوما تأثیر آنها بر جریان پاسهایی که میان بازیکنان تیم وجود دارد، بالا نیست. به عنوان مثال دو بازیکن ۱۲ و ۱۵ اگر چه نسبت به دو بازیکن ۱۴ و ۴ تعداد پاس کمتری را به انجام رسانده‌اند، اما تأثیر آنها بر جریان پاسهای تیم بیشتر است. یعنی دو بازیکن ۱۲ و ۱۵ در جریان پاسهایی که توپ را از یک بازیکن به بازیکن دیگر رسانده‌اند، نقش مهم‌تری داشته‌اند. همچنین بازیکن ۲۶ اگر چه تعداد پاسهای صحیح آن کم است و از این حیث کم اهمیت به نظر می‌رسد، اما همین تعداد پاس کم در بالا بردن پیچیدگی مسیر پاسهای تیم نقش مهمی داشته است. همچنین با توجه به نتایج معیارها در شبکه پاس تهاجمی (شبکه ۲ در جدول ۵) به این حقیقت پی می‌بریم که اگر چه امتیاز ایجاد موقعیت روی دروزاه حریف و درصد پاسهای تهاجمی دو بازیکن ۱۴ و ۱۲ پایین‌تر از دو بازیکن ۱۷ و ۶ است، اما تأثیر آنها در جریان پاسهایی که منجر به بردن تیم به حالت هجومی می‌شود، بالاتر است. همچنین دو بازیکن ۲۸ و ۴ با وجود اینکه امتیاز ایجاد موقعیت روی دروازه حریف آنها پایین است، اما تأثیر زیادی در بالا بردن پیچیدگی مسیر پاسهای تیم در حالت هجومی داشته‌اند.

۶- جمع بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت تحلیل پاس در مسابقات فوتبال، در این مقاله سه معیار جداگانه برای تحلیل میزان دسترس‌پذیری بازیکنان، تأثیر بازیکنان بر جریان پاس تیمی و پیچیدگی مسیر پاس بین بازیکنان پیشنهاد شد. این معیارها بر روی دو نوع شبکه پاس معمولی و شبکه پاس هجومی استخراج شدند تا تأثیر بازیکنان بر جریان کلی تیم و همچنین جریان هجومی تیم مشخص شود. ویژگی اصلی این معیارها این است که با تحلیل کل جریان پاس تیم بر اساس تئوری‌های مطرح شده در شبکه‌های پیچیده برای محاسبه درجه مرکزیت گره‌ها و ضریب خوشه‌بندی، ابزارهای دقیقی برای تحلیل عملکرد هر یک بازیکنان و همچنین کل تیم فراهم می‌کنند. با این معیارها، می‌توان بازیکنان را رتبه‌بندی کرد و همچنین دو تیم حاضر در یک مسابقه را به طور کمی و دقیق مقایسه کرد.

در بخش نتایج، برای چند مسابقه تیم پرسپولیس معیارهای ارائه شده را استخراج کردیم و اهمیت آنها را از نقطه نظر تحلیل عملکرد تیم و بازیکنان مورد بحث و بررسی قرار دادیم. با توجه به نتایج، با معیارهای ارائه شده، می‌توان تحلیل دقیق‌تر و سطح بالاتری برای تحلیل پاس تیم‌ها در مقایسه با معیارهای سنتی مانند تعداد پاس، دقت پاس و غیره فراهم کرد. در واقع، تفاوت اصلی معیارهای پیشنهادی با معیارهای سنتی این است که اثر پاس یک بازیکن را بر کل جریان تیم و همچنین هجوم‌های انجام شده توسط یک تیم، مورد ارزیابی قرار می‌دهند. از سوی دیگر، با معیارهای پیشنهاد شده می‌توان بازیکنان کلیدی تیم را در حین هجوم‌های تیم مشخص کرد و سعی کرد تعداد این بازیکنان کلیدی را افزایش داد و یا با تشخیص بازیکنان کلیدی تیم حریف برای مهار آنها برنامه‌ریزی کرد.

۷- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از شرکت ایده‌پردازان سپهر اطلاعات برای فراهم کردن داده‌های مقاله و همچنین ارائه آنالیز کیفی در بخش نتایج، کمال تشکر و قدردانی را به عمل می‌آورند.

۸- مراجع

[1] FIFA. "2018 FIFA World Cup Russia™ Global broadcast and audience summary," https://resources.fifa.com/image/upload/njqsntrvdvqv8ho1dag5.pdf .

[2] R. Ievoli, L. Palazzo, and G. Ragozini, “On the use of passing network indicators to predict football outcomes,” *Knowledge-Based Systems*, vol. 222, pp. 106997, 2021/06/21/, 2021.

[3] K. Bray, *How to Score: Science and the Beautiful Game*: Granta Books, 2008.

[4] J. López Peña, and H. Touchette, “A network theory analysis of football strategies,” *arXiv*, pp. arXiv: 1206.6904, 2012.

[5] A. Joseph, N. Fenton, and M. Neil, “Predicting football results using Bayesian nets and other machine learning techniques,” *Knowl. Based Syst.*, vol. 19, no. 7, pp. 544-553, 2006.

[6] R. Rein, D. Raabe, and D. Memmert, “"Which pass is better?" Novel approaches to assess passing effectiveness in elite soccer,” *Human movement science*, vol. 55, pp. 172-181, 2017.

[7] E. Arriaza-Ardiles, J. A. Martin-Gonzalez, M. D. Zuniga *et al.*, “Applying graphs and complex networks to football metric interpretation,” *Human movement science*, vol. 57, pp. 236-243, 2018.

[8] S. P. Borgatti, M. G. Everett, and J. C. Johnson, *Analyzing social networks*: Sage, 2018.

[9] J. M. Buldu, J. Busquets, and I. Echegoyen, “Defining a historic football team: Using Network Science to analyze Guardiola’s FC Barcelona,” *Scientific reports*, vol. 9, no. 1, pp. 1-14, 2019.

[10] J. Duch, J. S. Waitzman, and L. A. N. Amaral, “Quantifying the Performance of Individual Players in a Team Activity,” *PLOS ONE*, vol. 5, no. 6, pp. e10937, 2010.

[11] H. Sarmento, F. M. Clemente, E. Gonçalves *et al.*, “Analysis of the offensive process of AS Monaco professional soccer team: A mixed-method approach,” *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 133, pp. 109676, 2020/04/01/, 2020.

[12] I. G. McHale, and S. Relton, “Identifying Key Players in Soccer Teams using Network Analysis and Pass Difficulty,” *European Journal of Operational Research*, vol. 268, no. 1, pp. 339-347, 2018.

[13] Y. Wu, Z. Xia, T. Wu *et al.*, “Characteristics and optimization of core local network: Big data analysis of football matches,” *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 138, pp. 110136, 2020/09/01/, 2020.

[14] R. Kooij, A. Jamakovic, F. Kesteren *et al.*, “The Dutch Soccer Team as a Social Network,” *Connections, Vol. 29. No. 1, 2009*, 2009.

[15] M. E. Newman, “The structure and function of complex networks,” *SIAM review*, vol. 45, no. 2, pp. 167-256, 2003.

[16] Y. Cho, J. Yoon, and S. Lee, “Using social network analysis and gradient boosting to develop a soccer win–lose prediction model,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 72, pp. 228-240, 2018/06/01/, 2018.

[17] "Sepehr Company," 2020; https://www.sepehrco.ir/.

[18] L. C. Freeman, “Centrality in social networks conceptual clarification,” *Social Networks*, vol. 1, no. 3, pp. 215-239, 1978/01/01/, 1978.

[19] U. Brandes, “On variants of shortest-path betweenness centrality and their generic computation,” *Social Networks*, vol. 30, no. 2, pp. 136-145, 2008/05/01/, 2008.

[20] D. J. MacKay, *Information theory, inference and learning algorithms*: Cambridge university press, 2003.

[21] J. Saramäki, M. Kivelä, J.-P. Onnela *et al.*, “Generalizations of the clustering coefficient to weighted complex networks,” *Physical Review E*, vol. 75, no. 2, pp. 027105, 2007.

[22] G. Fagiolo, “Clustering in complex directed networks,” *Physical Review E*, vol. 76, no. 2, pp. 026107, 2007.

[23] T. Decroos, J. Van Haaren, V. Dzyuba *et al.*, "STARSS: a spatio-temporal action rating system for soccer," in *Machine Learning and Data Mining for Sports Analytics ECML/PKDD* 2017 workshop, 2017, vol. 1971: Springer, pp. 11-20.

پاورقی‌ها:

[1] Decision Tree Learner
[2] Naive Bayesian Learning
[3] Data Driven Bayesian
[4] K-Nearest Neighbor Learner
[5] Voronoi diagram
[6] Social Network Analysis
[7] Flow Network
[8] Flow Centrality
[9] Edge Connectivity
[10] Local Efficiency
[11] Link Density
[12] Diameter
[13] Eccentricity
[14] Gradient boosting
[15] Clique
[16] Binomial Logistic Regression
[17] Closeness centrality
[18] Betweenness centrality
[19] Clustering coefficient
[20] Reciprocal degree
[21] https://www.sepehrco.ir/product/XAK90M420E
[22] Coefficient of Determination