



دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده‌ی علوم ریاضی  
پروژه کارشناسی ریاضی محض

# تحلیل پویایی تعاملات در گروه‌های کوچک با استفاده از نظریه گراف

An Analysis of interaction dynamics in small groups using graph theory

فاطمه رحیمی

استاد راهنما: دکتر بهناز عمومی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# فهرست مطالب

| پیشگفتار                                                      | سه |
|---------------------------------------------------------------|----|
| ۱ چارچوب نظری                                                 | ۱  |
| ۱.۱ ساخت گرای اجتماعی                                         | ۱  |
| ۲.۱ نظریه‌ی فعالیت فرهنگی-تاریخی                              | ۲  |
| ۱.۲.۱ مؤلفه‌های نظریه‌ی فعالیت فرهنگی-تاریخی                  | ۲  |
| ۲.۲.۱ ارتباط <i>CHAT</i> با روش گراف                          | ۳  |
| ۳.۱ جمع‌بندی چارچوب نظری                                      | ۳  |
| ۲ روش‌شناسی                                                   | ۴  |
| ۱.۲ مبانی نظریه‌ی گراف                                        | ۴  |
| ۱.۱.۲ ویژگی‌های یال‌ها                                        | ۴  |
| ۲.۱.۲ پارامترهای کلیدی گراف                                   | ۵  |
| ۲.۲ مقایسه با چارچوب‌های مشابه                                | ۶  |
| ۳.۲ جمع‌آوری داده‌ها                                          | ۷  |
| ۴.۲ رفتارهای کلی                                              | ۷  |
| ۵.۲ طول اپیزود                                                | ۸  |
| ۶.۲ محاسبات پارامترهای گراف                                   | ۸  |
| ۷.۲ الگوریتم گیروان-نیومن                                     | ۸  |
| ۱.۷.۲ ایده‌ی اصلی: یال‌های واسط                               | ۸  |
| ۲.۷.۲ فرمول ریاضی میان‌بینی یال                               | ۸  |
| ۳.۷.۲ مراحل الگوریتم گیروان-نیومن                             | ۹  |
| ۴.۷.۲ مثال عملی: شبکه‌ی دوستان در یک کلاس                     | ۹  |
| ۵.۷.۲ درخت دندروگرام                                          | ۱۰ |
| ۶.۷.۲ مزایا و معایب الگوریتم                                  | ۱۰ |
| ۷.۷.۲ انتخاب مطالعات موردی                                    | ۱۰ |
| ۳ یافته‌ها                                                    | ۱۲ |
| ۱.۳ رفتارهای نوبت صحبت در گروه‌ها                             | ۱۲ |
| ۱.۱.۳ الگوی اول: گروه‌های متوازن                              | ۱۲ |
| ۲.۱.۳ الگوی دوم: گروه‌های متمرکز                              | ۱۲ |
| ۳.۱.۳ مدل‌سازی نسبت صحبت و توزیع مشارکت                       | ۱۲ |
| ۲.۳ نسبت صحبت نرمال‌شده                                       | ۱۲ |
| ۱.۲.۳ نسبت مشارکت نرمال‌شده                                   | ۱۳ |
| ۳.۳ طول اپیزودهای بحث                                         | ۱۳ |
| ۴.۳ تحلیل گراف و شناسایی ساختارها                             | ۱۴ |
| ۱.۴.۳ مطالعه‌ی موردی ۱: گروه غیرمتمرکز (گروه <i>A&amp;B</i> ) | ۱۴ |

|       |                                              |    |
|-------|----------------------------------------------|----|
| ۲.۴.۳ | مطالعه‌ی موردی ۲: گروه متمرکز (گروه $C\&D$ ) | ۱۴ |
| ۳.۴.۳ | مطالعه‌ی موردی ۳: گروه با زیرگروه‌های پنهان  | ۱۴ |
| ۵.۳   | جمع‌بندی یافته‌ها                            | ۱۵ |
| ۴     | بحث                                          | ۱۶ |
| ۱.۴   | کاربردهای عملی                               | ۱۷ |
| ۵     | محدودیت‌های مطالعه و جهت‌های آینده           | ۱۸ |
| ۶     | محاسبات با پایتون                            | ۲۰ |
|       | نمایه                                        | ۲۷ |
|       | مراجع                                        | ۲۷ |

## چکیده:

یادگیری گروهی یکی از مؤثرترین روش‌های آموزش در علوم پایه، مهندسی و پزشکی است، اما موفقیت آن به شدت به کیفیت تعاملات بین اعضای گروه بستگی دارد. شناخت دقیق این تعاملات نیازمند ابزارهای تحلیلی مناسب است که بتوانند الگوهای پیچیده‌ی گفت‌وگو را به صورت عینی و قابل اندازه‌گیری بررسی کنند. در این پژوهش، روشی کمی بر پایه‌ی نظریه‌ی گراف معرفی شده است که امکان تحلیل ساختاری و پویای بحث‌های گروهی کوچک را فراهم می‌آورد. این روش با ثبت توالی نوبت‌های صحبت و مدل‌سازی آن به صورت گراف‌های جهت‌دار وزن‌دار، شاخص‌هایی مانند درجه، چگالی، مرکزیت و تمرکز را محاسبه می‌کند. مطالعه‌ی موردی بر روی گروه‌های دانشجویی در یک برنامه‌ی آموزشی هم‌تا-محور در رشته‌ی زیست‌شناسی، سه الگوی متمایز را نشان داد: (۱) گروه متمرکز با تسهیل‌گر مسلط، (۲) گروه غیرمتمرکز با مشارکت متوازن، و (۳) گروه بزرگ‌تر با زیرگروه‌های جنسیتی پنهان. یافته‌ها نشان داد که گروه‌های متوازن دارای تعاملات گسترده، اپیزودهای طولانی و مشارکت برابر هستند، در حالی که گروه‌های متمرکز دارای تعاملات محدود، اپیزودهای کوتاه و مشارکت نابرابر می‌باشند. همچنین، روش گراف توانست زیرگروه‌های پنهان را آشکار کند که با مشاهده‌ی ساده قابل تشخیص نبودند. این نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند به عنوان ابزاری قابل اعتماد برای سنجش پویایی گروه، شناسایی نابرابری‌های مشارکتی و بهبود طراحی فعالیت‌های گروهی مورد استفاده قرار گیرد. ترکیب این روش با تحلیل‌های کیفی می‌تواند تصویر جامع‌تری از فرایند یادگیری مشارکتی ارائه دهد.

واژگان کلیدی: نظریه‌ی گراف، یادگیری گروهی، پویایی بحث، تحلیل شبکه‌های اجتماعی، ساخت‌گرایی اجتماعی، برابری آموزشی.

## پیشگفتار

یکی از ارکان اصلی آموزش نوین در رشته‌های علوم، فناوری، مهندسی و ریاضیات (*STEM*)<sup>۱</sup>، استفاده از بحث‌های گروهی کوچک و فعالیت‌های مشارکتی است. پژوهش‌های گسترده نشان داده‌اند که این روش‌ها نه تنها به درک عمیق‌تر مفاهیم کمک می‌کنند، بلکه مهارت‌های ارتباطی، تفکر انتقادی، حل مسئله و انگیزه‌ی دانشجویان را نیز تقویت می‌نمایند. با این حال، اثربخشی این فعالیت‌ها به شدت به نحوه‌ی تعامل اعضای گروه با یکدیگر و کیفیت پویایی گروه وابسته است [۹].

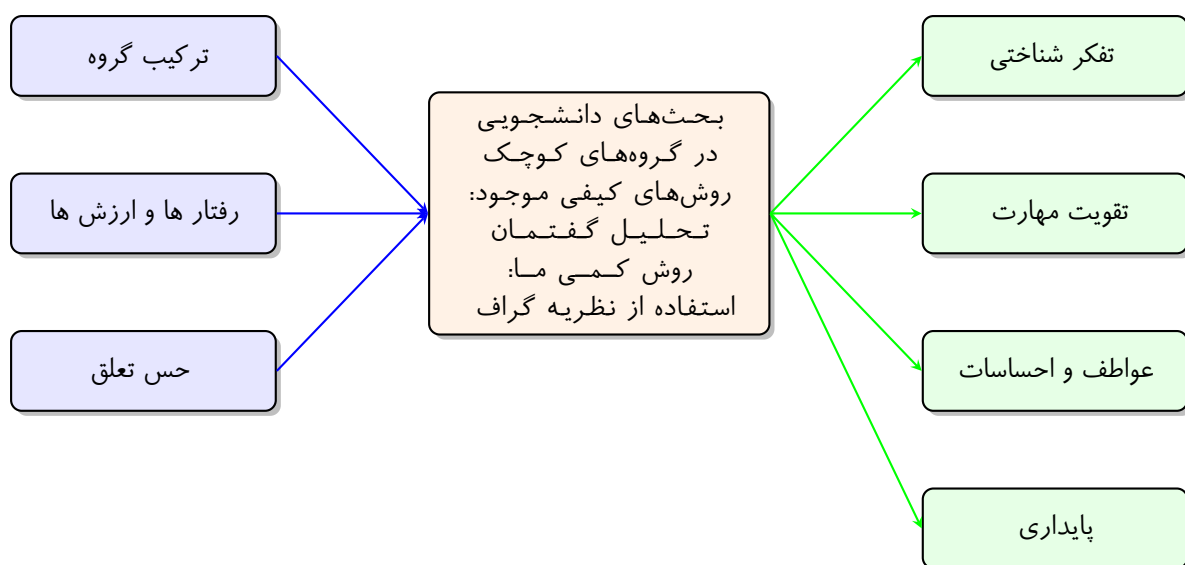
عوامل متعددی بر پویایی بحث‌های گروهی تأثیر می‌گذارند که از جمله می‌توان به ترکیب جنسیتی و نژادی گروه، شخصیت افراد، اندازه‌ی گروه، احساس تعلق، سبک رهبری تسهیل‌گر، و حتی چیدمان فیزیکی کلاس اشاره کرد [۱۰] [۱۸]. با وجود اهمیت این موضوع، بیشتر پژوهش‌های موجود در این حوزه از روش‌های کیفی مانند تحلیل گفتمان استفاده کرده‌اند که هرچند غنی و عمیق هستند، اما امکان کمی‌سازی، مقایسه‌ی آسان بین گروه‌ها، و ردیابی تغییرات در طول زمان را به طور کامل فراهم نمی‌کنند.

شکل بحث‌های گروهی کوچک در یادگیری *STEM* تحت تأثیر عواملی مانند ترکیب گروه، حس تعلق، و ارزش‌ها و رفتارهای مرتبط با فعالیت‌های مشارکتی قرار می‌گیرند. پویایی و کیفیت این بحث‌ها می‌تواند بر نتایج یادگیری دانشجویان، مانند یادگیری شناختی، توسعه مهارت‌های فرآیندی، عواطف و پایداری تأثیر بگذارد. در ادبیات موجود، کیفیت بحث‌های گروهی کوچک معمولاً با تحلیل گفتمان بررسی می‌شود. در این مطالعه، از روش‌های نظریه گراف برای بررسی پویایی این بحث‌ها استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر، روش‌های کمی مبتنی بر نظریه‌ی گراف و تحلیل شبکه‌های اجتماعی در تحقیقات آموزشی مورد توجه قرار گرفته‌اند. این روش‌ها امکان مدل‌سازی روابط بین افراد و اندازه‌گیری شاخص‌های ساختاری را فراهم می‌آورند. با این حال، بیشتر این کاربردها بر جریان اطلاعات یا تأثیرات اجتماعی متمرکز بوده‌اند و کمتر به تحلیل لحظه‌به‌لحظه‌ی الگوهای گفت‌وگو در گروه‌های کوچک پرداخته‌اند.

هدف این مقاله، معرفی روشی نوین و جامع برای تحلیل کمی پویایی بحث‌های گروهی با بهره‌گیری از نظریه‌ی گراف است. این روش که بر اساس کارهای چای و همکاران توسعه یافته، امکان ردیابی دقیق الگوهای گفت‌وگو، شناسایی ساختارهای مسلط یا متوازن، کشف زیرگروه‌های پنهان، و اندازه‌گیری تأثیر عوامل مختلف بر مشارکت دانشجویان را فراهم می‌سازد. این روش می‌تواند به عنوان ابزاری مکمل برای تحلیل‌های کیفی به کار رود و به مربیان و پژوهشگران در طراحی محیط‌های یادگیری عادلانه‌تر و مؤثرتر کمک کند [۳].

---

<sup>۱</sup> مخفف چهار حوزه‌ی علمی علوم پایه، فناوری، مهندسی و ریاضیات است که بر آموزش و پژوهش‌های میان‌رشته‌ای تأکید دارند.



شکل ۱: نمودار عوامل مؤثر بر بحث‌های گروهی.

# فصل ۱

## چارچوب نظری

برای درک مبانی یادگیری گروهی و اهمیت تحلیل تعاملات، دو چارچوب نظری کلیدی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند: ساخت‌گرایی اجتماعی<sup>۱</sup> و نظریه‌ی فعالیت فرهنگی-تاریخی (*CHAT*) است. این دو چارچوب، به عنوان مبانی نظری مقاله‌ی اصلی چای و همکاران استفاده گردیده است [۲]. پایه و اساس روش‌شناسی ارائه‌شده را تشکیل می‌دهند.

### ۱.۱ ساخت‌گرایی اجتماعی

بر اساس دیدگاه ساخت‌گرایی اجتماعی که ریشه در اندیشه‌های ویگوتسکی<sup>۲</sup> و دیویی<sup>۳</sup> دارد، یادگیری یک فرایند اجتماعی است که در بستر تعاملات میان یادگیرندگان شکل می‌گیرد [۳]. ویگوتسکی بر نقش زبان و تعامل اجتماعی در رشد شناختی تأکید داشت و معتقد بود که یادگیری ابتدا در سطح بین‌الذهانی (بین افراد) و سپس در سطح درون‌الذهانی (درون فرد) رخ می‌دهد [۱]. از سوی دیگر، دیویی بر اهمیت جامعه‌ی یادگیرنده و تجربه‌ی عملی تأکید می‌کرد و معتقد بود که یادگیری باید در بستر زندگی واقعی و با مشارکت فعال فراگیران اتفاق بیفتد [۴].

به گفته‌ی هیرتل از دیدگاه ویگوتسکی و دیویی می‌توان گفت که یک محیط باز که در آن دانشجویان بتوانند با یکدیگر همکاری کنند، برای ساخت دانش ضروری است. پاول و کالینا [۱۳] نیز تأکید می‌کنند که این فرایند اجتماعی یادگیری، پایه و اساس راهبردهای یادگیری فعال را تشکیل می‌دهد که نشان داده شده است در رشته‌ها و محیط‌های مختلف *STEM* مؤثر هستند. در این دیدگاه، محیط یادگیری باید به گونه‌ای طراحی شود که دانشجویان بتوانند آزادانه ایده‌های خود را مطرح کنند، به یکدیگر گوش دهند، پرسش بپرسند و در ساخت دانش مشارکت داشته باشند. نقش مربی یا تسهیل‌گر، هدایت جریان بحث و ارائه‌ی داربست‌های لازم در مواقع ضروری است، نه تحمیل دیدگاه یا کنترل کامل گفت‌وگو [۱]. به عبارت دیگر، تسهیل‌گر باید به عنوان یک «همراه در یادگیری» عمل کند تا «منبع دانایی» باشد.

ساخت‌گرایان اجتماعی تلاش می‌کنند تا محیطی باز برای دانشجویان فراهم کنند تا افکار خود را آزادانه به اشتراک بگذارند و به دانشجویان کنترل دموکراتیک<sup>۴</sup> بر یادگیری خود بدهند تا حس کنجکاوی و یادگیری عمیق‌تر را تقویت کنند [۴]. برای درک واقعی یادگیری از دیدگاه ساخت‌گرایی اجتماعی، باید بررسی شود که دانشجویان چگونه با یکدیگر و با مربیان خود تعامل دارند [۳]. چای و همکاران بر این نکته تأکید دارند که مشارکت فعال با زبان گفتاری یا نوشتاری، رسانه‌ی مهمی برای یادگیری است [۳]. هنگامی که دانشجویان احساس خوشامدگویی<sup>۵</sup> کنند و سبک‌های ارتباطی آنها تأیید شود، تمایل بیشتری به مشارکت دارند و از فعالیت‌های کلاس بهره‌ی بیشتری می‌برند [۱۳]. علاوه بر این، یک محیط خوش‌آیند و فراگیر به دانشجویان اجازه می‌دهد تا دیدگاه‌ها و تجربیات مختلف را آزادانه به اشتراک بگذارند، که می‌تواند به درک بهتر دانشجویان از موضوع کمک کند [۱]. با این حال، تفاوت‌های سبک ارتباطی همچنین می‌تواند مجموعه دیگری از چالش‌ها را به همراه داشته باشد، که ممکن است بر اساس نحوه‌ی نگرش دانشجویان به سایر قومیت‌ها و میزان تمایل آنها به کار با دیگران ایجاد شود. برای تقویت یک کلاس فراگیر، ضروری است که بتوان کمّی کنند که چگونه دانشجویان مختلف ممکن است با محیط‌های یادگیری گروهی درگیر شوند یا نشوند، تا بتوان سوگیری‌های بالقوه موجود را درک کنند [۳].

برای سنجش موفقیت یک محیط یادگیری مبتنی بر ساخت‌گرایی اجتماعی، باید بتوان میزان و نحوه‌ی مشارکت دانشجویان را

<sup>1</sup>Social Constructivism

<sup>2</sup>Vygotsky

<sup>3</sup>Dewey

<sup>۴</sup>توزیع عادلانه‌ی قدرت و حق انتخاب

<sup>۵</sup>احساس پذیرفته شدن و امنیت روانی گروه

به طور عینی اندازه‌گیری کنند. چای و همکاران تأکید دارند که روش گراف پیشنهادی در این مقاله، با کتبی‌سازی نوبت‌های صحبت و ترسیم ساختار تعاملات، امکان ارزیابی عینی‌تر این مشارکت را فراهم می‌آورد و می‌تواند نشان دهد که آیا محیط یادگیری واقعاً به اصول ساخت‌گرایی پایبند است یا خیر [۳].

## ۲.۱ نظریه‌ی فعالیت فرهنگی-تاریخی

«نظریه‌ی فعالیت فرهنگی-تاریخی» (CHAT)<sup>۱</sup> که توسط الکسی لئونتیف<sup>۲</sup> بر اساس کارهای ویگوتسکی توسعه یافت، ابزاری مفهومی قدرتمند برای تحلیل فعالیت‌های انسانی در بستر اجتماعی و فرهنگی است [۱۴]. این نظریه، که چای و همکاران [۳] از آن به عنوان چارچوب نظری دوم خود استفاده کرده‌اند، بیان می‌کند که هر فعالیت انسانی از مؤلفه‌های به هم پیوسته‌ای تشکیل شده است [۱۵]؛ [۱۱].

### ۱.۲.۱ مؤلفه‌های نظریه‌ی فعالیت فرهنگی-تاریخی

به طور خاص، نسل دوم CHAT شامل شش مؤلفه‌ی اصلی است که چای و همکاران [۳] آنها را به شرح زیر تبیین می‌کنند:

فاعل<sup>۳</sup>: فرد یا گروهی که فعالیت را انجام می‌دهند (در اینجا دانشجویان و تسهیل‌گر) [۱۴].

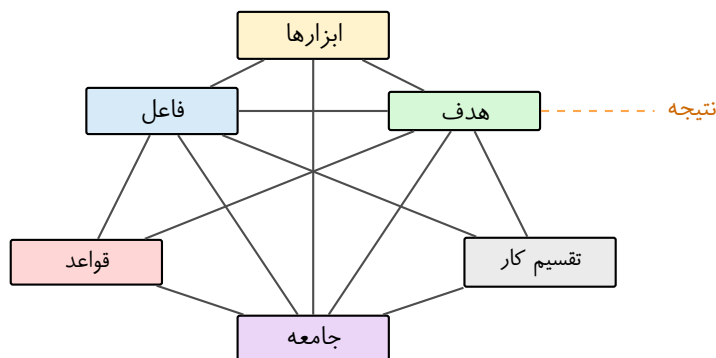
هدف<sup>۴</sup>: هدف یا انگیزه‌ی فعالیت (در اینجا حل مسئله و یادگیری مفاهیم) [۱۵].

ابزارها<sup>۵</sup>: وسایل و روش‌های مورد استفاده (مانند کتاب، تخته، یا حتی روش گراف پیشنهادی) [۱۱].

قواعد<sup>۶</sup>: هنجارها، مقررات و عرف‌های حاکم بر فعالیت (مانند نوبت‌های صحبت، احترام به دیگران) [۱۱].

جامعه<sup>۷</sup>: گروهی که فعالیت در بستر آن رخ می‌دهد (کل گروه دانشجویان) [۱۴].

تقسیم کار<sup>۸</sup>: نقش‌ها و مسئولیت‌های هر عضو (چه کسی بیشتر صحبت می‌کند، چه کسی پرسش می‌پرسد) [۱۵].



شکل ۲.۱: نمودار ساختاری نظریه فعالیت (Activity Theory Triangle Model)

در شکل ۲.۱ ارتباط بین مولفه‌ها را به خوبی و تاثیرات آنها بر روی یک دیگر را می‌توان مشاهده کرد تا درک بهتری از آنها و ارتباط آنها با یکدیگر دست یافت.

<sup>1</sup>Cultural-Historical Activity Theory(CHAT)

<sup>2</sup>Leontiev

<sup>3</sup>Subject

<sup>4</sup>Object

<sup>5</sup>Tools

<sup>6</sup>Rules

<sup>7</sup>Community

<sup>8</sup>Division of Labor

اصلی‌ترین چالش در استفاده از مدل *CHAT*، مشاهده‌ناپذیری برخی از این روابط در محیط‌های آموزشی است. در این پژوهش، با ترکیب مدل *CHAT* و روش‌های کمی مبتنی بر نظریه گراف، این شکاف پوشش داده شده است. اگرچه *CHAT* یک چارچوب کیفی برای درک روابط ارائه می‌دهد، اما برای سنجش دقیق مفاهیمی نظیر «تقسیم کار» و «نحوه تعاملات درون گروهی»، به رویکردی کمی نیاز است. در این راستا، نظریه گراف به عنوان ابزاری ریاضی برای کمی‌سازی تعاملات به کار گرفته می‌شود. *CHAT* زمینه درک چرایی رفتارهای گروهی را فراهم می‌کند، نظریه گراف کمک شده است تا چگونگی این روابط را با دقت ریاضی اندازه‌گیری کنند.

## ۲.۲.۱ ارتباط نظریه‌ی فعالیت فرهنگی-تاریخی با روش گراف

چای و همکاران معتقدند که ارتباطات تعریف‌شده در مؤلفه‌های مختلف *CHAT* لزوماً نمی‌توانند به راحتی به طور مستقیم دیده شوند، بنابراین نیاز به روش‌شناسی است که بتواند برخی از این ارتباطات را کمی کند. به همین دلیل، آنها روش گراف را برای اندازه‌گیری عینی این مؤلفه‌ها پیشنهاد کرده‌اند [۳]. روش گراف پیشنهادی، می‌تواند برخی از این مؤلفه‌ها را به طور عینی اندازه‌گیری کند [۳]:

- \* تمرکز گراف<sup>۱</sup> نشان‌دهنده‌ی تقسیم کار نابرابر و سلطه‌ی یک فرد بر بحث است [۳].
  - \* چگالی گراف<sup>۲</sup> نشان‌دهنده‌ی میزان تعاملات در جامعه‌ی گروهی و تنوع ارتباطات است [۳].
  - \* زیرگراف‌ها<sup>۳</sup> نشان‌دهنده‌ی شکل‌گیری جوامع کوچک‌تر درون گروه هستند که ممکن است بر اساس قوانین نانوشته‌ی اجتماعی (مانند جنسیت یا نژاد) شکل گرفته باشند [۳].
  - \* مرکزیت درجه<sup>۴</sup> نشان‌دهنده‌ی میزان مشارکت هر فرد و نقش او در جریان گفت‌وگو است [۳].
- به گفته‌ی چای و همکاران، این روش به طور خاص برای کمی‌سازی تقسیم کار، تعاملات بین دانشجویان و تسهیل‌گران هم‌تا در گروه‌های کوچک (جامعه)، و قوانین بالقوه پنهانی که راهنمای نحوه‌ی درگیری یا عدم درگیری دانشجویان مختلف با فعالیت هستند، توسعه داده شده است [۳].

## ۳.۱ جمع‌بندی چارچوب نظری

در مجموع، چای و همکاران با تلفیق دو چارچوب نظری ساخت‌گرایی اجتماعی و *CHAT*، یک پایه‌ی نظری مستحکم برای روش‌شناسی خود ایجاد کرده‌اند. ساخت‌گرایی اجتماعی، «چرایی» اهمیت تعاملات گروهی را توضیح می‌دهد، در حالی که *CHAT*، «چگونگی» تحلیل و اندازه‌گیری این تعاملات را با ارائه‌ی مؤلفه‌های قابل سنجش، تسهیل می‌کند. روش گراف پیشنهادی، پلی است بین این نظریه‌ها و عمل، که امکان کمی‌سازی عینی مفاهیم نظری را فراهم می‌آورد و به پژوهشگران و مربیان اجازه می‌دهد تا پویایی گروه‌های آموزشی را با دقت بیشتری بررسی و بهبود بخشند [۳].

<sup>1</sup>Centralization

<sup>2</sup>Density

<sup>3</sup>Subgraphs

<sup>4</sup>Degree Centrality

## فصل ۲

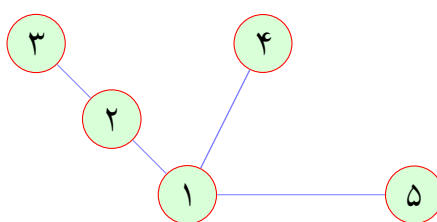
### روش‌شناسی

در این بخش، مبانی ریاضی روش پیشنهادی، پارامترهای کلیدی، فرایند جمع‌آوری داده‌ها و گروه‌های مورد مطالعه به تفصیل شرح داده می‌شوند.

#### ۱.۲ مبانی نظریه‌ی گراف

نظریه‌ی گراف را برای مدل‌سازی ترتیب صحبت دانشجویان در یک گروه انتخاب شده است [۳]. نظریه‌ی گراف از مجموعه‌ای از اصول و فرمول‌های ریاضی برای بررسی روابط بین اشیاء مورد نظر استفاده می‌کند. در ساده‌ترین شکل خود، یک گراف از گره‌ها و یال‌ها تشکیل شده است: گره‌ها نشان‌دهنده اشیاء مورد نظر هستند و یال‌ها نشان‌دهنده ارتباط بین آنها هستند. در روش‌شناسی این پژوهش، شرکت‌کنندگان گروه را به عنوان گره مدل کرده است. وقتی یک شرکت‌کننده پس از دیگری صحبت می‌کند، یک یال بین آنها متصل می‌شود و چنین یالی را یک نوبت صحبت تعریف می‌شود [۲]. یک یال لزوماً نشان نمی‌دهد که دو شرکت‌کننده مستقیماً با یکدیگر صحبت می‌کنند؛ در واقع، وقتی یک شرکت‌کننده صحبت می‌کند، ممکن است همه‌ی افراد دیگر گروه گوش دهند، اما تنها یک نفر در نوبت بعدی صحبت می‌کند. بنابراین، یک یال فقط نشان می‌دهد که یک شرکت‌کننده پس از دیگری صحبت می‌کند [۳].

گراف  $G$  را به صورت یک زوج مرتب  $(V, E)$  تعریف می‌شود که در آن  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  مجموعه گره‌ها<sup>۱</sup> هر گره در اینجا نماینده یک شرکت‌کننده در بحث (دانشجو یا تسهیل‌گر) است.  $E \subseteq \{\{u, v\} \mid u, v \in V, u \neq v\}$  مجموعه یال‌ها<sup>۲</sup> که نشان‌دهنده وقوع یک تعامل یا نوبت صحبت بین دو فرد است. در شکل ۱.۲ می‌توان دید یک گراف ساده با ۵ گره و ۴ یال است.



شکل ۱.۲: گراف با ۵ گره و ۴ یال

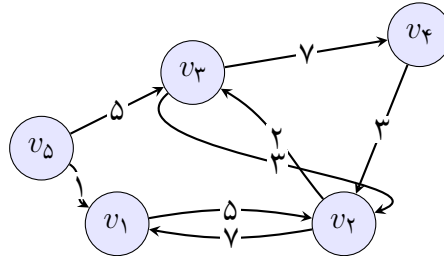
#### ۱.۱.۲ ویژگی‌های یال‌ها

یال‌ها ویژگی‌های مهم دیگری نیز دارند. اول، یال‌ها می‌توانند وزنی باشند، معمولاً برای نشان دادن بسامد. از وزن یال برای نشان دادن تعداد دفعاتی که یک شرکت‌کننده پس از شرکت‌کننده‌ی دیگر صحبت می‌کند، استفاده شده است [۳]. دوم، یال‌ها ممکن است جهت‌دار (از یک گره به گره دیگر اشاره کنند مانند گراف ۴.۲) یا بدون جهت (صرفاً دو گره را به هم متصل کنند) باشند. در روش‌شناسی این پژوهش، یال‌های یک گراف جهت‌دار، ترتیب توالی صحبت شرکت‌کنندگان را ردیابی

<sup>1</sup> Vertices/Nodes

<sup>2</sup> Edges

می‌کنند. از یک گراف جهت‌دار به جای گراف بدون جهت استفاده شده است، زیرا می‌توان تقابل بین یک جفت گره را ردیابی کرد [۳]. ردیابی جهت‌دار بودن مکالمات برای درک برابری و شمولیت دانشجویان در محیط‌های یادگیری گروهی مهم است؛ به عنوان مثال، وب و کنفرانسی در یافتند که مردان کمتر به درخواست‌های زنان در مکالمات پاسخ می‌دهند، در حالی که زنان بیشتر احتمال دارد که پاسخ متقابل بدهند.



شکل ۴.۲: گراف جهت‌دار و وزن‌دار

در شکل ۴.۲ مثالی از یک گراف جهت‌دار وزن‌دار مشاهده می‌شود.

### ۲.۱.۲ پارامترهای کلیدی گراف

گراف‌ها می‌توانند پارامترهای ریاضی بسیاری داشته باشند، و در اینجا پارامترهای مرتبط را برای ثبت اطلاعات در مورد پویایی بحث‌های گروهی انتخاب شده است:

\* **درجه<sup>۱</sup>:** یک پارامتر برای گره‌های منفرد<sup>۲</sup> است و تعداد یال‌های متصل به یک گره را اندازه‌گیری می‌کند. گره‌هایی با درجه‌های بالاتر نشان‌دهنده‌ی شرکت‌کنندگانی هستند که در نوبت‌های صحبت با افراد بیشتری شرکت می‌کنند [۳].

\* **چگالی<sup>۳</sup>:** یک پارامتر برای کل گراف است و عبارت است از تعداد کل یال‌های یک گراف تقسیم بر حداکثر تعداد یال‌های ممکن می‌باشد. چگالی برای یک گراف معین مقداری بین ۰ تا ۱ دارد و به صورت زیر محاسبه می‌شود [۳]:

گزاره ۱.۲. برای یک گراف ساده با  $n$  گره، حداکثر تعداد یال‌های ممکن  $\frac{n(n-1)}{2}$  است. چگالی گراف  $D$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$D = \frac{\epsilon}{n(n-1)}$$

که  $\epsilon$  اندازه‌ی تعداد یال است.

\* **ماتریس مجاورت وزنی<sup>۴</sup>:** اساس تحلیل ساختاری، تعریف ماتریس مجاورت است. فرض کنید  $n$  شرکت‌کننده در جلسه حضور داشته باشند. ماتریس مجاورت  $\mathcal{W} \in \mathbb{R}^{n \times n}$  به گونه‌ای تعریف می‌شود که عنصر در سطر  $i$  و ستون  $j$  نشان‌دهنده شدت تعامل بین دو فرد است.

تعریف ۲.۲ (ماتریس مجاورت). ماتریس  $\mathcal{W}$  با شرایط زیر تعریف می‌شود:

$$\mathcal{W}_{ij} = \begin{cases} w_{ij} & (v_i, v_j) \in A \\ 0 & (v_i, v_j) \notin A \end{cases} \quad (۱.۲)$$

که در آن  $\alpha_{ij}$  وزن یال (مثلاً تعداد دفعات صحبت یا مدت زمان) و  $A$  گراف جهت‌دار است.

در گراف ۴.۲ ماتریس مجاورت به صورت زیر است:

<sup>1</sup>Degree

<sup>۲</sup>هر کدام از گره‌ها (افراد) به صورت جداگانه مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

<sup>3</sup>Density

<sup>4</sup>Adjacency Matrix

$$\mathcal{W} = \begin{pmatrix} 0 & 5 & 0 & 0 & 0 \\ 7 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 7 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 5 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

\* مرکزیت درجه<sup>۱</sup>: نشان می‌دهد که برخی از گره‌ها در ارتباطات یال‌های یک گراف از دیگران مهم‌تر هستند. از مرکزیت درجه به عنوان مناسب‌ترین نوع مرکزیت استفاده شده است، زیرا فقط به درجه‌ی یک گره یا تعداد یال‌های متصل به یک گره متکی است [۳].

تعریف ۳.۲: (مرکزیت درجه). مرکزیت درجه‌ی یک گره  $v_i$  در یک گراف، که با  $d(v_i)$  نمایش داده می‌شود، برابر با تعداد یال‌های متصل به آن گره است. اگر  $\mathcal{W} = [w_{ij}]$  ماتریس مجاورت گراف باشد، آنگاه:

$$d(v_i) = \sum_{j=1}^n w_{ij}.$$

در این رابطه،  $w_{ij} = 1$  است هرگاه یالی از گره  $v_i$  به گره  $v_j$  وجود داشته باشد و در غیر این صورت  $w_{ij} = 0$  است. بنابراین، در یک گراف جهت‌دار، رابطه‌ی فوق مرکزیت درجه‌ی خروجی گره  $v_i$  را نشان می‌دهد.

یک گره با مرکزیت درجه بالا به این معنی است که شرکت‌کننده قبل و بعد از افراد بسیاری صحبت می‌کند، که نماینده‌ی دیگری برای مشارکت فعال است [۳].

\* تمرکز<sup>۲</sup>: پارامتر معادل برای کل گراف است و اندازه‌گیری می‌کند که آیا گراف حول یک گره خاص متمرکز شده است یا خیر. بنابراین از تمرکز درجه برای تعیین اینکه یک بحث تا چه حد توسط فعال‌ترین شرکت‌کننده‌ی خود تحت سلطه است، استفاده شده است [۳]. فرمول آن:

$$C_D = \frac{\sum_{i=1}^n [d_{\max} - d(v_i)]}{\text{Normalization Factor}}$$

به طوری که:

$$\text{Normalization Factor} = (n - 1)(n - 2)$$

$n$  برابر تعداد گره همچنین  $d_{\max}$  و  $d_{\min}$  بیشترین و کمترین مرکزیت درجه در شبکه هستند.

\* زیرگراف‌ها<sup>۳</sup>: گراف‌های کوچک‌تری درون گراف‌ها هستند. از زیرگراف‌ها برای تعیین زیرگروه‌های بسیار متصل درون گروه بزرگ‌تر از شرکت‌کنندگان بر اساس یال‌ها و وزن‌های نسبی آنها استفاده می‌شود [۳].

## ۲.۲ مقایسه با چارچوب‌های مشابه

تحلیل شبکه‌های اجتماعی<sup>۴</sup> در سال‌های اخیر در تحقیقات آموزش زیست‌شناسی و فیزیک ظهور کرده است. با این حال، گراف و تحلیل شبکه‌های اجتماعی یکسان نیستند، حتی اگر نام‌های آنها اغلب به جای یکدیگر استفاده شوند. نظریه‌ی گراف یک شاخه از ریاضیات است که به دنبال درک نحوه‌ی ارتباط پارامترها و ساختارهای گراف با یکدیگر است و تحلیل شبکه‌های اجتماعی یک کاربرد خاص از نظریه‌ی گراف است که بیشتر بر روابط ویژگی‌های گراف برای درک جریان اطلاعات و سرمایه‌ی اجتماعی متمرکز است. در این پژوهش، از گراف برای ردیابی نوبت‌های صحبت<sup>۵</sup> در بحث‌های گروهی استفاده شده است، نه جریان اطلاعات در یک شبکه‌ی اجتماعی [۳].

<sup>۱</sup>Degree Centrality

<sup>۲</sup>Centralization

<sup>۳</sup>Subgraphs

<sup>۴</sup>روشی برای مطالعه‌ی روابط و الگوهای ارتباطی بین افراد  
<sup>۵</sup>ثبت ترتیب صحبت کردن افراد در یک گروه

## ۳.۲ جمع‌آوری داده‌ها

روش‌شناسی در اینجا از طریق سه مرحله‌ی گردآوری داده بر اساس مشاهدات دانشجویان در حال حل مسائل به صورت گروهی توسعه یافت [۳]. این مطالعه در یک دانشگاه تحقیقاتی بزرگ با طبقه‌بندی کارنگی<sup>۱</sup> [۷] انجام شد. گروه‌هایی از دانشجویان زیست‌شناسی مقدماتی را مشاهده کرده‌اند که در یک برنامه‌ی آموزشی همتا-محور<sup>۲</sup> داوطلبانه به حل مسائل مفهومی می‌پرداختند [۵]. در این برنامه، گروه‌های ثابت ۵ تا ۷ نفره به همراه تسهیل‌گران همتا<sup>۳</sup> که قبلاً در آن درس موفق بوده‌اند، به طور هفتگی ملاقات می‌کنند [۱۷]. مراحل جمع‌آوری داده به شرح زیر بود [۳]:

مرحله اول: یادداشت‌برداری کیفی از بحث‌ها و ثبت مشاهدات کلی بدون ساختار دقیق.

مرحله دوم: ثبت گراف‌های دستی از تعاملات با ترسیم بال‌ها و استفاده از علامت‌های خط‌کشی<sup>۴</sup> برای شمارش تعداد تعاملات، اما بدون ثبت توالی و جهت. این مرحله داده‌های بدون جهت<sup>۵</sup> تولید کرد.

مرحله سوم و نهایی: ثبت دقیق نوبت‌های صحبت در قالب «پرسش»<sup>۶</sup> یا «پاسخ»<sup>۷</sup> به همراه زمان‌بندی در یک صفحه‌ی گسترده<sup>۸</sup>. هر نوبت صحبت با شماره‌ی فرد و نوع آن (پرسش یا پاسخ) ثبت شد که داده‌های جهت‌دار<sup>۹</sup> را فراهم کرد. همچنین یادداشت‌های کیفی و موقعیت فیزیکی اعضا نیز ثبت شد.

## ۴.۲ رفتارهای کلی

در اینجا بررسی شده است که هر شرکت‌کننده (تسهیل‌گر و دانشجویان) چند پرسش و پاسخ ارائه داده است. پرسش‌ها و پاسخ‌ها در ساعت با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند [۳]:

$$\text{تعداد نوبت‌های پرسش توسط یک شرکت‌کننده} = \frac{\text{تعداد پرسش‌ها در ساعت}}{\text{زمان بر حسب ساعت}}$$

$$\text{تعداد نوبت‌های پاسخ توسط یک شرکت‌کننده} = \frac{\text{تعداد پاسخ‌ها در ساعت}}{\text{زمان بر حسب ساعت}}$$

برای مقایسه بین گروه‌ها، نسبت نرمال‌شده‌ی صحبت بر اساس سهم عادلانه‌ی نوبت‌ها برای هر شرکت‌کننده محاسبه می‌شود [۳]:

$$\text{نسبت نرمال‌شده‌ی صحبت} = \frac{\text{تعداد کل نوبت‌های صحبت}}{\text{تعداد شرکت‌کنندگان}} \times \text{سهم عادلانه‌ی تعداد نوبت‌ها}$$

$$\text{نسبت نرمال‌شده‌ی صحبت} = \frac{\text{تعداد نوبت‌های صحبت توسط یک شرکت‌کننده}}{\text{سهم عادلانه‌ی تعداد نوبت‌ها}}$$

شرکت‌کننده‌ای که بیشتر از سهم عادلانه‌ی خود صحبت کرده باشد، نسبت نرمال‌شده‌ی مقداری بیشتر از ۱ خواهد داشت، در حالی که شرکت‌کننده‌ای که کمتر از سهم عادلانه‌ی خود صحبت کرده باشد، نسبت نرمال‌شده‌ی مقداری کمتر از ۱ خواهد داشت [۳].

<sup>۱</sup> یک نظام دسته‌بندی معتبر برای دانشگاه‌های آمریکایی است که براساس میزان فعالیت‌های پژوهشی، تنوع برنامه‌های تحصیلی و رسالت آموزشی، موسسات را به گروه‌هایی مانند  $R1, R2, \dots$  تقسیم می‌کنند.

<sup>۲</sup> برنامه‌ی آموزشی همتا-محور به رویکردی گفته می‌شود که در آن دانشجویان موفق دوره‌های قبل (تسهیل‌گران همتا) نقش راهنما را در گروه‌های کوچک ایفا می‌کنند و محور اصلی یادگیری، خود دانشجویان و تعاملات آنها با یکدیگر است. این برنامه‌ها بر مشارکت فعال، یادگیری گروهی و ایجاد فضای امن برای تبادل نظر تأکید دارند و در مقابل روش‌های سنتی استاد-محور قرار می‌گیرند [۵].

<sup>۳</sup> دانشجویانی هستند که دروس قبلی را با موفقیت گذرانده‌اند و پس از آموزش، نقش راهنما را در گروه‌های کوچک ایفا می‌کنند. آنها به جای انتقال مستقیم دانش، با پرسش‌های راهنما و هدایت بحث به دانشجویان کمک می‌کنند تا خود به درک مفاهیم برسند.

<sup>۴</sup>Tally Marks

<sup>۵</sup>Undirected

<sup>۶</sup>Question

<sup>۷</sup>Response

<sup>۸</sup>Excel

<sup>۹</sup>Directed

## ۵.۲ طول اپیزود

از مرحله‌ی سوم گردآوری داده با فرمت پرسش و پاسخ، یک اپیزود<sup>۱</sup> را در بحث به عنوان تعداد نوبت‌های صحبت از یک پرسش تا آخرین پاسخ بلافاصله قبل از پرسش بعدی تعریف شده است [۳]. در اینجا استدلال شده است که یک پرسش احتمالاً نشان‌دهنده‌ی یک اپیزود جدید است، به ویژه در الگوی گفت‌وگو شروع-پاسخ-ارزیابی که معمولاً در کلاس مشاهده می‌شود. با این تعریف عملیاتی از اپیزودها، بسامد اپیزودها را در طول‌های مختلف محاسبه شده است.

## ۶.۲ محاسبات پارامترهای گراف

داده‌ها با استفاده از ترکیبی از نرم‌افزارهای *Microsoft Excel*، *NodeXL Basic* و *MATLAB* پردازش و تحلیل شدند [۳]. برای تحلیل در *NodeXL Basic*، داده‌های فرمت پرسش یا پاسخ به یک لیست یال تبدیل شدند. زیرگروه‌ها با استفاده از الگوریتم گیروان-نیومن، یک روش سلسله‌مراتبی طراحی شده برای گروه‌های کوچک، شناسایی شدند که در بخش بعدی پژوهش به آن می‌پردازد [۶]. برای خودکارسازی پردازش داده و شفاف‌سازی تحلیل، اسکریپت‌های سفارشی در *MATLAB* و *R* توسعه داده شد. اسکریپت *MATLAB* داده‌های نوبت‌های صحبت را به لیست یال و لیست وزن تبدیل می‌کند، و اسکریپت *R* از بسته‌ی *igraph* برای محاسبه‌ی پارامترهای گراف استفاده می‌کند [۳]. اما در فصل ۶ کدی با پایتون طراحی شده تا حد الامکان توسط آن محاسبات انجام شود.

## ۷.۲ الگوریتم گیروان-نیومن

الگوریتم گیروان-نیومن<sup>۲</sup> یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین روش‌های تشخیص اجتماع<sup>۳</sup> در تحلیل شبکه‌های اجتماعی و نظریه‌ی گراف است. این الگوریتم که توسط میشل گیروان و مارک نیومن در سال ۲۰۰۲ معرفی شد، کمک می‌کند تا زیرگروه‌ها یا خوشه‌های پنهان را در یک شبکه شناسایی کنند؛ [۶].

### ۱.۷.۲ ایده‌ی اصلی: یال‌های واسط

ایده‌ی اصلی الگوریتم گیروان-نیومن بسیار ساده و در عین حال هوشمندانه است:

یال‌هایی که بیشترین نقش را در ارتباط بین زیرگروه‌های مختلف دارند، به تدریج حذف می‌شوند تا اجتماعات از هم جدا شوند.

برای این کار، الگوریتم از مفهومی به نام میان‌بینی یال<sup>۵</sup> استفاده می‌کند. میان‌بینی یک یال، تعداد کوتاه‌ترین مسیرهایی است که از آن یال عبور می‌کنند. یال‌هایی که میان‌بینی بالایی دارند، معمولاً پل‌هایی هستند که دو خوشه‌ی<sup>۷</sup> مختلف را به هم متصل می‌کنند.

### ۲.۷.۲ فرمول ریاضی میان‌بینی یال

برای یک یال  $e$  در گراف  $G$ ، میان‌بینی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Betweenness}(e) = \sum_{s \neq t \in V} \frac{\sigma_{st}(e)}{\sigma_{st}}$$

که در آن:

<sup>۱</sup> اپیزود به فاصله‌ی بین دو پرسش متوالی در بحث گفته می‌شود. اپیزودهای طولانی‌تر نشان‌دهنده‌ی بحث عمیق‌تر و اپیزودهای کوتاه‌تر نشان‌دهنده‌ی بحث سطحی‌تر هستند.

<sup>۲</sup> Girvan-Newman Algorithm

<sup>۳</sup> شناسایی گروه‌هایی از گره‌ها که ارتباط درون‌گروهی بالایی دارند.

<sup>۴</sup> افرادی که ارتباطات درون‌گروهی بیشتری با یکدیگر دارند تا با بقیه‌ی شبکه

<sup>۵</sup> Edge Betweenness

<sup>۶</sup> پل در نظریه گراف به یالی گفته می‌شود که حذف آن باعث تقسیم گراف به دو مؤلفه‌ی مجزای گردد و ناهمبند می‌شود.  
<sup>۷</sup> دو خوه در تشخیص اجتماع به حالتی گفته می‌شود که الگوریتم شبکه را به دو زیرگروه مجزا تقسیم می‌کند که ارتباط درون‌گروهی در هر کدام زیاد و ارتباطات بین دو گروه ناچیز است.

.  $\sigma_{st}$  = تعداد کل کوتاه‌ترین مسیرها از گره  $s$  به گره  $t$ .

.  $\sigma_{st}(e)$  = تعداد کوتاه‌ترین مسیرها از  $s$  به  $t$  که از یال  $e$  عبور می‌کنند.

### ۳.۷.۲ مراحل الگوریتم گيروان-نیومن

الگوریتم به صورت گام‌به‌گام اجرا می‌شود:

. محاسبه‌ی میان‌بینی همه‌ی یال‌ها: برای هر یال در گراف، تعداد کوتاه‌ترین مسیرهایی که از آن عبور می‌کنند را محاسبه کن.

. حذف یال با بیشترین میان‌بینی: یالی که بالاترین میان‌بینی را دارد، از گراف حذف کن.

. محاسبه‌ی مجدد میان‌بینی: پس از هر حذف، میان‌بینی یال‌های باقیمانده را دوباره محاسبه کن (چون ساختار گراف تغییر کرده است).

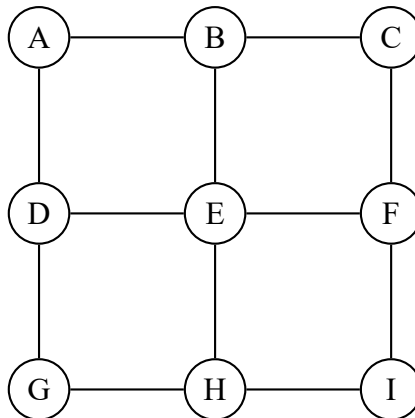
. تکرار: مراحل ۲ و ۳ را آنقدر تکرار کن تا گراف به تعداد دلخواه زیرگروه تقسیم شود یا همه‌ی یال‌ها حذف شوند.

### ۴.۷.۲ مثال عملی: شبکه‌ی دوستان در یک کلاس

فرض کنید یک کلاس ۲۰ نفره موجود هست که در آن ارتباطات دوستی بین دانشجویان وجود دارد. در ادامه مشاهده می‌شود آیا این کلاس به زیرگروه‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شود یا نه.

مرحله ۱: گراف اولیه

گراف زیر را در نظر بگیرید که در آن هر دانشجو یک گره و هر دوستی یک یال است:



شکل ۵.۲: شبکه تعاملات ۹ نفره که با الگوریتم گيروان-نیومن ساختار جامعه‌ای آن کشف می‌شود.

نکته: گراف ۵.۲ ساده‌شده است؛ در واقعیت پیچیده‌تر است.

مرحله ۲: محاسبه‌ی میان‌بینی

در این گراف، یال  $E - H$  (یال بین گره‌های ۵ و ۸) بیشترین میان‌بینی را دارد، زیرا بسیاری از کوتاه‌ترین مسیرها بین دانشجویان بالا و پایین از آن عبور می‌کنند.

مرحله ۳: حذف یال

یال  $E - H$  را حذف شود گراف به دو بخش تقسیم می‌شود:

\* بخش بالا:  $\{A, B, C, D, E\}$

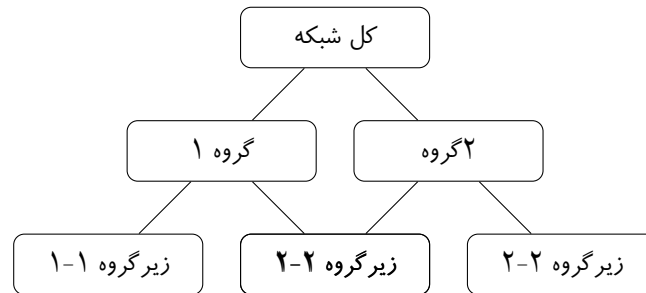
\* بخش پایین:  $\{F, G, H, I\}$

## مرحله ۴: تکرار

حالا دوباره میان‌بینی یال‌های باقیمانده را محاسبه می‌شود. یال بعدی با بیشترین میان‌بینی را حذف می‌شود و این روند را ادامه می‌شود تا به زیرگروه‌های مطلوب برسند.

۵.۷.۲ درخت دندروگرام<sup>۱</sup>

نتیجه‌ی اجرای الگوریتم گیروان-نیومن معمولاً به صورت یک دندروگرام<sup>۲</sup> نمایش داده می‌شود که نشان می‌دهد گراف در هر مرحله چگونه شکافته شده است. با برش زدن دندروگرام در ارتفاع مناسب<sup>۳</sup>، می‌توان تعداد دلخواه زیرگروه را استخراج کرد.



## ۶.۷.۲ مزایا و معایب الگوریتم

در جدول ۱.۲ مزایا و معایب این الگوریتم مشاهده می‌کند.

| مزایا                                           | معایب                                          |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| بدون نیاز به تعداد زیرگروه‌ها از قبل کار می‌کند | محاسبات سنگین و زمان‌بر برای شبکه‌های بزرگ     |
| خروجی سلسله‌مراتبی (دندروگرام) ارائه می‌دهد     | ممکن است زیرگروه‌های کوچک را از دست بدهد       |
| شهودی و قابل درک است                            | در شبکه‌های بسیار بزرگ نیاز به بهینه‌سازی دارد |

جدول ۱.۲: مزایا و معایب الگوریتم گیروان-نیومن

## ۷.۷.۲ انتخاب مطالعات موردی

برای نشان دادن کاربرد روش پیشنهادی، از مطالعه‌ی موردی<sup>۴</sup> استفاده شده است. مطالعه‌ی موردی به اجازه می‌دهد تا نمونه‌های واقعی از بحث‌های گروهی را به دقت بررسی شود و الگوهای مختلف را شناسایی نمایند.

<sup>۱</sup>Dendrogram

<sup>۲</sup>دندروگرام یک نمودار درختی است که نحوه‌ی شکافته شدن سلسله‌مراتبی یک شبکه را نشان می‌دهد. در الگوریتم گیروان-نیومن، این نمودار نشان می‌دهد که با حذف تدریجی یال‌های پل، شبکه چگونه به زیرگروه‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شود. با برش زدن دندروگرام در ارتفاع مناسب، می‌توان تعداد دلخواه زیرگروه را استخراج کرد [۶].

<sup>۳</sup>«ارتفاع مناسب» در دندروگرام به سطحی از برش گفته می‌شود که در آن، شبکه به تعداد و نوع مطلوبی از زیرگروه‌ها تقسیم شود. این ارتفاع معمولاً با استفاده از معیارهایی مانند مازولاریتی یا بر اساس هدف پژوهش انتخاب می‌گردد [۶].

<sup>۴</sup>مطالعه‌ی موردی روشی است که در آن یک یا چند نمونه‌ی خاص به‌طور عمیق بررسی می‌شوند تا ویژگی‌ها، الگوها و بینش‌های جدید کشف شوند. در این پژوهش، سه گروه با الگوهای متفاوت انتخاب شده‌اند تا توانایی روش گراف در شناسایی ساختارهای مختلف بحث نشان داده شود [۳].

چرا مطالعه‌ی موردی؟

- \* مطالعه‌ی موردی به کمک می‌کند تا جزئیات عمیق و ویژگی‌های خاص هر گروه را دیده شود.
- \* با بررسی نمونه‌های مختلف، می‌توان تنوع رفتارها را در گروه‌های مختلف درک کرد.
- \* مطالعه‌ی موردی برای نمایش قابلیت‌های روش جدید بسیار مفید است، حتی اگر نتوانستند نتایج را به همه‌ی گروه‌ها تعمیم دهند.

چه گروه‌هایی انتخاب شده است؟

- در این پژوهش سه گروه را انتخاب شده است که هر کدام الگوی متفاوتی از بحث داشتند:
- \* گروه غیرمتمرکز: گروهی که در آن همه‌ی اعضا به‌طور نسبتاً مساوی مشارکت داشتند و بحث به‌صورت متوازن پیش می‌رفت.
  - \* گروه متمرکز: گروهی که در آن یک نفر (تسهیل‌گر) تقریباً تمام بحث را در دست داشت و دیگران کم‌تر مشارکت می‌کردند.
  - \* گروه با زیرگروه‌ها: گروهی که در آن، الگوریتم گیروان-نیومن دو زیرگروه پنهان را بر اساس جنسیت شناسایی کرد.
- که در فصل ۳ به آنها و یافته‌هایشان پرداخته می‌شود.

هدف از انتخاب این سه گروه:

- \* نشان دادن دامنه‌ی تغییرات<sup>۱</sup> و کاربرد روش (از گروه‌های متوازن تا گروه‌های نابرابر).
- \* شناسایی الگوهای پنهان مانند زیرگروه‌هایی که با چشم غیرمسلح دیده نمی‌شوند.
- \* تأکید بر قابلیت روش در آشکارسازی نابرابری‌ها و ساختارهای اجتماعی پنهان می‌باشد.

<sup>۱</sup> دامنه‌ی تغییرات یا *Range*، اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار در یک مجموعه داده است. این شاخص ساده، پراکندگی داده‌ها را نشان می‌دهد. دامنه‌ی کوچک نشان‌دهنده‌ی تشابه و دامنه‌ی بزرگ نشان‌دهنده‌ی تفاوت زیاد بین داده‌هاست [۳].

## فصل ۳

### یافته‌ها

در این فصل، نتایج حاصل از تحلیل بحث‌های گروهی را با استفاده از روش گراف ارائه داده شده است. هدف اصلی، نشان دادن الگوهای مختلف مشارکت دانشجویان در گروه‌های کوچک و شناسایی ساختارهای پنهان در تعاملات آنهاست.

### ۱.۳ رفتارهای نوبت صحبت در گروه‌ها

ابتدا داده‌های مربوط به نوبت‌های صحبت را بررسی کرده هر نوبت صحبت به عنوان یک  $talk - turn$  ثبت شد و مشخص شد که هر شرکت‌کننده چند بار پرسش مطرح کرده و چند بار به پرسش‌ها پاسخ داده است [۳]. این کار برای هر دو گروه دانشجویان و تسهیل‌گران انجام شد تا بتوانند نقش هر فرد را در بحث بسنجند. در بین گروه‌های مورد بررسی، دو الگوی کاملاً متفاوت مشاهده شد:

#### ۱.۱.۳ الگوی اول: گروه‌های متوازن

در گروه‌هایی مثل گروه  $A$  و گروه  $B$ ، تسهیل‌گر و دانشجویان تقریباً به یک اندازه در بحث مشارکت داشتند [۳]. یعنی نه تسهیل‌گر بر بحث مسلط بود و نه دانشجویی حاشیه‌نشین بود. برای نمونه، در گروه  $A$ ، تسهیل‌گر به ازای هر ساعت، حدود ۱۷ نوبت پرسش و ۸۸ نوبت پاسخ داشت، در حالی که دانشجوی بعدی حدود ۱۳ پرسش و ۸۱ پاسخ ارائه کرد [۳]. این تفاوت ناچیز نشان می‌دهد که تسهیل‌گر نقش هدایت‌کننده را به‌خوبی ایفا کرده، اما اجازه نداده که بحث به صورت یک‌سویه پیش برود.

#### ۲.۱.۳ الگوی دوم: گروه‌های متمرکز

در گروه‌هایی مثل گروه  $C$  و گروه  $D$ ، تسهیل‌گر نقش بسیار پررنگ‌تری داشت و تقریباً تمام بحث را در دست گرفته بود [۳]. برای نمونه، در گروه  $D$ ، تسهیل‌گر در هر ساعت بیش از ۱۴۰ نوبت پرسش و ۱۲۰ نوبت پاسخ داشت، در حالی که فعال‌ترین دانشجو در گروه  $C$  فقط حدود ۱۵ پرسش و ۷۳ پاسخ ارائه کرد [۳]. این تفاوت فاحش نشان می‌دهد که تسهیل‌گر مثل یک استاد سنتی عمل کرده و فرصت چندانی برای مشارکت دانشجویان باقی نگذاشته است.

### ۳.۱.۳ مدل‌سازی نسبت صحبت و توزیع مشارکت<sup>۱</sup>

برای سنجش میزان توازن در توزیع نوبت‌های صحبت، فراتر از توپولوژی گراف، به ابزارهای آماری برای تحلیل مقادیر عددی داده‌ها نیاز هست. یکی از شاخص‌های کلیدی مورد استفاده در این پژوهش، نسبت صحبت نرمال‌شده<sup>۲</sup> است [۳].

### ۲.۳ نسبت صحبت نرمال‌شده

فرض کنید در یک نشست آموزشی،  $n$  شرکت‌کننده وجود داشته باشند و  $t_i$  بیانگر تعداد نوبت‌های صحبت یا مدت زمان صحبت فرد  $i$  باشد. برای اینکه بتوانند میزان مشارکت را بدون وابستگی به طول کل جلسه مقایسه کنند، از مقدار نرمال‌شده استفاده می‌کنند.

<sup>۱</sup>Participation Metrics

<sup>۲</sup>Normalized Talking Ratio

تعریف ۱.۳ (نسبت صحبت). نسبت صحبت برای فرد  $i$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_i = \frac{t_i}{\sum_{j=1}^n t_j}$$

که در آن

$$\sum_{i=1}^n R_i = 1$$

است. این مقدار نشان‌دهنده سهم<sup>۱</sup> هر فرد از کل فضای گفتمانی است.

### محاسبه نسبت صحبت در یک گراف وزن‌دار جهت‌دار

در این مثال، فرض می‌کنند گراف ارائه شده نشان‌دهنده تعاملات یک گفتگو است. برای محاسبه میزان مشارکت هر فرد، فرض می‌شود وزن یال‌های خروجی از هر گره ( $w_{out}$ )، بیانگر مدت زمان یا شدت صحبت آن فرد است. بنابراین، زمان صحبت هر فرد  $i$  برابر است با مجموع وزن یال‌های خارج شده از  $t_i$  است:

$$t_i = \sum_{j:(v_i, v_j) \in E} w_{ij} \quad (۱.۳)$$

### ۱.۲.۳ نسبت مشارکت نرمال‌شده

این شاخص نشان می‌دهد که هر فرد چند برابر «سهم عادلانه»<sup>۲</sup> خود مشارکت داشته است. اگر این عدد برابر ۱ باشد، یعنی فرد دقیقاً به اندازه‌ی میانگین گروه مشارکت داشته است.

\* در گروه  $A$ ، نسبت مشارکت تسهیل‌گر حدود ۳۶/۱ بود که نشان می‌دهد او فقط کمی بیشتر از دیگران صحبت کرده است [۳].

\* در گروه  $D$ ، این نسبت برای تسهیل‌گر به ۸/۳ رسید، یعنی تسهیل‌گر بیش از سه برابر سهم عادلانه‌ی خود صحبت کرده است [۳].

علاوه بر این، دامنه‌ی تغییرات<sup>۳</sup> نسبت مشارکت در گروه  $A$  بسیار کم (۹۱/۰) و در گروه  $D$  بسیار زیاد (۹۷/۲) بود [۳]. یعنی در گروه  $A$  همه‌ی دانشجویان تقریباً به یک اندازه مشارکت داشتند، اما در گروه  $D$  برخی دانشجویان بسیار کمتر از دیگران صحبت کردند.

## ۳.۳ طول اپیزودهای بحث

در اینجا هر بخش از بحث را که با یک پرسش شروع می‌شد و تا پرسش بعدی ادامه می‌یافت، یک اپیزود<sup>۴</sup> می‌نامند [۳]. بررسی طول این اپیزودها نشان می‌دهد:

\* در گروه‌های متوازن ( $A \& B$ )، اپیزودها طولانی‌تر بودند و تعداد آنها کمتر بود [۳]. مثلاً در گروه  $A$ ، هر اپیزود به طور میانگین حدود ۵ تا ۲۰ نوبت صحبت داشت [۳].

\* در گروه‌های متمرکز ( $C \& D$ )، اپیزودها کوتاه‌تر بودند و تعداد آنها بیشتر بود [۳]. در گروه  $D$ ، بیشتر اپیزودها فقط ۲ نوبت صحبت داشتند که نشان‌دهنده‌ی الگوی پرسش و پاسخ سریع و بدون بحث عمیق است [۳].

این تفاوت نشان می‌دهد که در گروه‌های متوازن، بحث‌ها عمیق‌تر و تعاملی‌تر بوده، در حالی که در گروه‌های متمرکز، بحث‌ها سطحی و دستوری بوده است.

<sup>۱</sup>Share

<sup>۲</sup>«سهم عادلانه» به تعداد نوبت‌های صحبتی گفته می‌شود که اگر همه‌ی اعضای گروه به طور کاملاً برابر در بحث مشارکت می‌کردند، هر فرد باید به دست می‌آورد. این مقدار از تقسیم کل نوبت‌های صحبت بر تعداد اعضای گروه محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر، سهم عادلانه، خط پایه‌ای برای مقایسه‌ی میزان مشارکت افراد است؛ عددی که نشان می‌دهد در یک گروه کاملاً متوازن، هر فرد چند بار باید صحبت می‌کرد. <sup>۳</sup>دامنه‌ی تغییرات یا  $Range$  اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار در یک مجموعه داده است. این شاخص ساده، پراکندگی داده‌ها را نشان می‌دهد. دامنه‌ی کوچک نشان‌دهنده‌ی تشابه و دامنه‌ی بزرگ نشان‌دهنده‌ی تفاوت زیاد بین داده‌هاست.

<sup>۴</sup>اپیزود به فاصله‌ی بین دو پرسش متوالی در بحث گفته می‌شود. اپیزودهای طولانی‌تر نشان‌دهنده‌ی بحث عمیق‌تر و اپیزودهای کوتاه‌تر نشان‌دهنده‌ی بحث سطحی‌تر هستند.

<sup>۵</sup>episode

## ۴.۳ تحلیل گراف و شناسایی ساختارها

برای درک بهتر ساختار بحث‌ها، از روش گراف استفاده شد که هر شرکت‌کننده به عنوان یک گره<sup>۱</sup> و هر نوبت صحبت به عنوان یک یال جهت‌دار<sup>۲</sup> در نظر گرفته شد [۳]. سپس سه گروه را به عنوان مطالعه‌ی موردی بررسی قرار دادند:

### ۱.۴.۳ مطالعه‌ی موردی ۱: گروه غیرمتمرکز (گروه A&B)

این گروه شامل ۴ عضو بود: یک تسهیل‌گر مرد، دو دانشجوی زن و یک دانشجوی مرد از اقلیت. همه در یک دایره نشسته بودند و روبروی هم قرار داشتند [۳].

\* گراف این گروه دارای ۱۲ یال بود و چگالی<sup>۳</sup> آن برابر ۱ بود، یعنی همه‌ی اعضا با همه در تعامل بودند [۳].

\* تمرکز گراف صفر بود، یعنی هیچ کس بر بحث مسلط نبود [۳].

\* مشارکت جنسیتی تقریباً برابر بود: زنان ۵۵ درصد و مردان ۴۵ درصد از نوبت‌ها را داشتند [۳].

\* اما دانشجوی اقلیت فقط ۱۱ درصد از نوبت‌ها را داشت که کمتر از سهم عادلانه‌ی ۲۵ درصد بود [۳].

### ۲.۴.۳ مطالعه‌ی موردی ۲: گروه متمرکز (گروه C&D)

این گروه شامل ۵ عضو بود: یک تسهیل‌گر مرد، یک دانشجوی زن از اقلیت و سه دانشجوی مرد از اقلیت. همه در یک ردیف رو به تسهیل‌گر نشسته بودند [۳].

\* گراف این گروه فقط ۸ یال داشت و چگالی آن ۴/۰ بود، یعنی تعاملات محدودی بین دانشجویان وجود داشت [۳].

\* تمرکز گراف ۴ برابر ۱ بود، یعنی تسهیل‌گر کاملاً بر بحث مسلط بود [۳].

\* مشارکت جنسیتی بسیار نابرابر بود: مردان (شامل تسهیل‌گر) ۹۸ درصد نوبت‌ها را داشتند و دانشجوی زن فقط ۲ درصد را داشتند [۳].

\* دانشجویان اقلیت فقط ۱۸ درصد از نوبت‌ها را داشتند، در حالی که سهم عادلانه‌ی آنها ۶۰ درصد بود [۳].

### ۳.۴.۳ مطالعه‌ی موردی ۳: گروه با زیرگروه‌های پنهان

این گروه ۸ عضو داشت: یک تسهیل‌گر مرد، سه زن و چهار مرد. همه در یک دایره نشسته بودند [۳].

\* گراف این گروه ۱۷ یال داشت و چگالی آن ۶۱/۰ بود [۳].

\* تمرکز آن ۳۳/۰ بود، یعنی تسهیل‌گر تا حدی بر بحث مسلط بود اما نه کاملاً [۳].

\* مشارکت جنسیتی تا حدی نابرابر بود: زنان ۲۴ درصد و مردان ۴۷ درصد از نوبت‌ها را داشتند [۳].

\* جالب‌ترین یافته این بود که الگوریتم گیروان-نیومن دو زیرگروه پنهان را در این گروه شناسایی کرد: یک زیرگروه شامل زنان و دیگری شامل مردان [۳]. یعنی دانشجویان هم‌جنس بیشتر با یکدیگر تعامل داشتند، حتی اگر از نظر ظاهری همه در یک دایره نشسته بودند.

<sup>1</sup>node

<sup>2</sup>directed edge

<sup>۳</sup>چگالی گراف نشان می‌دهد که چه نسبتی از تعاملات ممکن، واقعاً رخ داده است. چگالی ۱ یعنی همه با همه تعامل داشته‌اند و چگالی ۰ یعنی هیچ تعاملی وجود نداشته است.

<sup>۴</sup>تمرکز گراف نشان می‌دهد که آیا یک فرد بر بحث مسلط است یا نه. تمرکز ۱ یعنی یک فرد کاملاً مسلط است و تمرکز ۰ یعنی مشارکت کاملاً برابر است.

### ۵.۳ جمع‌بندی یافته‌ها

- \* گروه‌های متوازن (مثل  $A$ ) دارای تعاملات گسترده، اپیزودهای طولانی و مشارکت برابر بودند.
- \* گروه‌های متمرکز (مثل  $D$ ) دارای تعاملات محدود، اپیزودهای کوتاه و مشارکت نابرابر بودند.
- \* روش گراف توانست الگوهایی مانند زیرگروه‌های جنسیتی را آشکار کند که با مشاهده‌ی ساده قابل تشخیص نبودند.
- \* وجود نابرابری در مشارکت اقلیت‌ها و زنان در برخی گروه‌ها، نیاز به توجه بیشتر به شمولیت در طراحی فعالیت‌های گروهی را نشان می‌دهد.

## فصل ۴

### بحث

در این مطالعه، نظریه‌ی گراف را به عنوان یک روش‌شناسی برای بررسی پویایی بحث‌ها با ردیابی نوبت‌هایی که دانشجویان در گروه‌های کوچک صحبت می‌کنند، مقایسه شد. در گروه‌های هم‌تا-محور انتخاب شده، دو الگوی اصلی را شناسایی کردند: یکی که در آن تسهیل‌گر و دانشجویان نسبتاً متوازن به بحث کمک می‌کنند و دیگری که در آن تسهیل‌گر بیشتر شبیه یک شخصیت دارای قدرت در کلاس رفتار می‌کند. علاوه بر این، در یکی از گروه‌های بزرگ انتخاب شده، زیرگروه‌هایی را مشاهده می‌شود که بر اساس جنسیت تقسیم شده بودند. داده‌های بدست آمده با الگوهای توصیف‌شده در مطالعات قبلی در ادبیات موجود مطابقت دارند و کاربرد و اعتبار روش‌شناسی این پژوهش را نشان می‌دهند [۳].

در گروه‌هایی که تسهیل‌گر و دانشجویان رفتارهای مشابهی داشتند، در این جا طول اپیزودهای بیشتر، دامنه‌های کمتر نسبت‌های نرمال‌شده‌ی صحبت، مقادیر تمرکز کمتر، و چگالی گراف بیشتر را مشاهده می‌شود، که همگی نشان‌دهنده‌ی تقسیم کار نسبتاً برابر هستند. این مشاهدات با تسهیل‌گرانی که بحث را برای کمک به دانشجویان برای ساخت درک مفهومی هدایت می‌کنند، مطابقت دارد [۹]؛ [۱۲]. در مقابل، در گروه‌هایی که تسهیل‌گر بیشتر شبیه یک شخصیت دارای قدرت رفتار می‌کرد، ر این جا اپیزودهای کوتاه‌تر (به ویژه با طول ۲)، دامنه‌های بیشتر نسبت‌های نرمال‌شده‌ی صحبت، مقادیر تمرکز بیشتر، و چگالی گراف کمتر را مشاهده می‌شود. نسبت بالای اپیزودهای با طول ۲ با تسهیل‌گرانی که آموزش هدایت‌شده را در الگوی گفتمان شروع-پاسخ-ارزیابی که معمولاً در کلاس مشاهده می‌شود، ارائه می‌دهند، مطابقت دارد [۹]؛ [۱۲]، که لزوماً با اصول ساخت‌گرایی اجتماعی همخوانی ندارد.

داده‌های بدست آمده نشان می‌دهد که آرایش نشستن می‌تواند با نحوه‌ی مشارکت شرکت‌کنندگان در بحث ارتباط داشته باشد [۳]. به عنوان مثال، در مطالعه‌ی موردی ۱، دانشجویان در یک فرمت دایره‌ای روبروی هم نشسته بودند و گراف حاصل چگالی بالایی داشت، که نشان می‌دهد دانشجویان در نوبت‌های صحبت با یکدیگر شرکت داشتند. در مطالعه‌ی موردی ۲، دانشجویان در یک ساختار کلاس سنتی‌تر رو به تسهیل‌گر در جلو نشسته بودند و گراف حاصل چگالی پایینی داشت. این مشاهدات نشان می‌دهند که آرایش‌های فیزیکی کلاس (یعنی ابزارها در CHAT) می‌توانند بر نحوه‌ی درگیری افراد مختلف با فعالیت تأثیر بگذارند. این مشاهدات با ادبیات موجود مطابقت دارند: دانشجویان در نشستن دایره‌ای بیشتر احتمال دارد که تعاملات گروهی را به حداکثر برسانند [۸]؛ در مقابل، نشستن کلاس معمولی با دانشجویان رو به جلو، نقش مربی را برجسته می‌کند و تعاملات دانشجو-دانشجو را کاهش می‌دهد [۱۸].

در این پژوهش برخی الگوهای مهم مرتبط با برابری و شمولیت<sup>۱</sup> در گروه‌ها را مشاهده می‌شود، که دوباره با ادبیات موجود مطابقت دارند [۳]. به عنوان مثال، در مطالعه‌ی موردی ۳، دو زیرگراف با استفاده از روش‌های گراف شناسایی شدند، و زیرگراف‌ها بر اساس جنسیت تقسیم شده بودند، که نشان می‌دهد قوانین اجتماعی پنهان اضافی درون گروه وجود دارد که الگوهای صحبت را در بین دانشجویان راهنمایی یا اطلاع‌رسانی می‌کنند. در مطالعه‌ی موردی ۲، فقط یک شرکت‌کننده‌ی زن وجود داشت و او کم‌ترین مشارکت در نوبت‌های صحبت را از بین همه‌ی شرکت‌کنندگان داشت. در مقابل، مطالعه‌ی موردی ۱ تعداد مساوی از شرکت‌کنندگان زن و مرد داشت و مشارکت در نوبت‌های صحبت در بین دو جنسیت برابر بود. بر اساس ادبیات موجود، گروه‌های با تعادل جنسیتی باعث تأثیر کمی بیشتر زنان و موفقیت نسبتاً برابر در بین جنسیت‌ها می‌شوند [۱۶] در حالی که وقتی زنان در یک گروه در اقلیت هستند، تمایل به تأثیر کمتر و موفقیت پایین‌تری نسبت به مردان دارند. الگوی مهم دیگری که اشاره شد در تعداد مشارکت‌های نوبت صحبت دانشجویان URM<sup>۲</sup> است. در هر دو مطالعه‌ی موردی ۱ و ۲، دانشجویان اکثریت در گروه درصد

<sup>۱</sup> احساس تعلق، ارزشمندی و مشارکت فعال برای همه‌ی افراد

<sup>۲</sup> URM مخفف Underrepresented Minority است و به گروه‌های نژادی و قومی گفته می‌شود که در محیط‌های آموزشی و شغلی، نسبت به جمعیت عمومی حضور کم‌تری دارند. در آمریکا، این اصطلاح معمولاً شامل سیاه‌پوستان، اسپانیایی‌تباران، بومیان آمریکا و برخی گروه‌های آسیایی می‌شود [۳].

بالا تری از مشارکت‌های نوبت صحبت در مقایسه با دانشجویان *URM* داشتند. نتایج بدست آمده همچنین با تحقیقات قبلی مطابقت دارد؛ دانشجویان *URM* بیشتر احتمال دارد که با ترس مواجه شوند و اثرات مقایسه اجتماعی را تجربه کنند [۱۰] و تمایل به تعاملات کمتری در گروه‌ها دارند.

## ۱.۴ کاربردهای عملی

روش‌شناسی این پژوهش می‌تواند به عنوان یک ابزار مهم برای درک و ارزیابی نحوه‌ی مشارکت و درگیری دانشجویان در بحث‌های گروهی عمل کند. یک کاربرد بالقوه مشاهده‌ی تأثیر ترکیب‌های مختلف جمعیت‌شناسی بر مشارکت دانشجویان است، و این اطلاعات می‌تواند برای اطلاع‌رسانی به مربیان در مورد چگونگی ایجاد کلاس‌های عادلانه‌تر برای همه‌ی دانشجویان برای مشارکت در یادگیری معنی‌دار استفاده شود [۲]. دوم، می‌توان از این روش‌شناسی برای بررسی تأثیر ساختار کلاس بر مشارکت دانشجویان استفاده کرد؛ اینها می‌توانند شامل ساختارهای فیزیکی مانند نشستن فضایی کلاس و ساختارهای آموزشی مانند صحبت مربی باشند. علاوه بر این، اطلاعات مربوط به مشارکت دانشجویان می‌تواند در نقاط زمانی مختلف در طول یک ترم تحصیلی ثبت شود تا پیشرفت نحوه‌ی همگرایی گروه‌ها در طول زمان برای ایجاد همکاری مؤثرتر تعیین شود [۳]. برای اهداف ارزیابی، این روش‌شناسی می‌تواند ابزاری را برای مربیان فراهم کند تا مشارکت اعضای منفرد در یک گروه را کمی کنند و به دانشجویان بازخورد ارائه دهند. در نهایت، اطلاعات کمی به‌دست‌آمده از این روش‌شناسی می‌تواند برای کمک به دانشجویان برای یادگیری همکاری و اطلاع‌رسانی به مربیان در مورد چگونگی ایجاد تعادل بحث‌ها استفاده شود.

## فصل ۵

### محدودیت‌های مطالعه و جهت‌های آینده

مطالعه‌ی این پژوهش دارای چند محدودیت است. اول، تعداد محدودی از گروه‌ها را در مرحله‌ی نهایی گردآوری و تحلیل داده داشت، بنابراین نتوانست نتیجه‌گیری‌های قابل تعمیم داشته باشد [۲]. با این حال، هدف پژوهش صرفاً ایجاد یک روش‌شناسی کمی مبتنی بر نظریه‌ی گراف برای بررسی بحث‌های دانشجویان در گروه‌های کوچک بود. حتی از مجموعه داده‌ی محدود می‌توانست الگوهایی را مشاهده کرد که با مشاهدات مختلف در ادبیات موجود مطابقت دارند، که نشان‌دهنده‌ی اعتبار روش‌شناسی این پژوهش است.

دوم، روش‌شناسی این پژوهش در نظر نمی‌گیرد که آیا یک فرد به کل گروه یا یک شخص خاص صحبت می‌کند. در یک گروه، وقتی یک فرد صحبت می‌کند، ممکن است همه‌ی افراد دیگر گوش دهند. با این حال، تعیین اینکه آیا هر فرد در گروه گوش می‌دهد یا نه، عملاً ممکن نیست. علاوه بر این، مدل‌سازی این نوع اطلاعات گوش دادن با استفاده از نظریه‌ی گراف عملی نیست. با فرض اینکه همه گوش می‌دهند، گراف حاصل یال‌هایی از گره‌ی گوینده به همه‌ی گره‌های دیگر خواهد داشت. اساساً، گراف با یال‌ها اشباع<sup>۱</sup> می‌شود و احتمالاً اطلاعات مفیدی ارائه نمی‌دهد. روش‌شناسی این پژوهش رفتار نوبت صحبت افراد را در یک گروه ردیابی می‌کند، که می‌تواند اطلاعات بیشتری در مورد پویایی بحث بگوید [۳].

سوم، روش‌شناسی این پژوهش فقط ترتیب توالی نوبت‌های صحبت را ردیابی می‌کند و نه محتوای بحث. یک راه‌حل برای این مشکل، ترکیب روش‌شناسی گراف، با تحلیل گفتمان برای گنجانیدن محتوای بحث در مدل ریاضی است. در اینجا عمداً روش‌شناسی را با این هدف در ذهن توسعه می‌دهند؛ به عنوان مثال، گنجانیدن حرکات گفتمانی و اپیزودها در خط‌مشی<sup>۲</sup> پردازش و تحلیل داده. به این ترتیب، روش‌شناسی پژوهش باید به اندازه کافی مقاوم باشد تا انواع مختلف داده‌ها، از جمله بحث‌های کلیک‌ری<sup>۳</sup>، کار گروهی در محیط آزمایشگاهی، و محیط‌های مختلف یادگیری گروهی کوچک مانند یادگیری مبتنی بر مسئله، یادگیری گروهی هم‌تا-محور، و یادگیری اکتشافی هدایت‌شده توسط فرایند را مدیریت کند.

برخی روش‌های کمی در حال حاضر برای تحلیل الگوهای بحث‌های گروهی وجود دارند. به عنوان مثال، یک روش مبتنی بر رایانه برای ترسیم محتوای مکالمه استفاده شده است تا نشان دهد که شرکت‌کنندگان چگونه در گروه مشارکت می‌کنند و برای درک اینکه چگونه پویایی گروه می‌تواند بر پیامدهای یادگیری تأثیر بگذارد [۲]. روش‌شناسی این پژوهش، این کار موجود را تکمیل می‌کند که نحوه‌ی مشارکت شرکت‌کنندگان در نوبت‌های صحبت را ردیابی می‌کند در حالی که مطالعه‌ی قبلی بر نحوه‌ی تأثیر محتوای بحث و انواع مشارکت‌ها بر پیامدهای یادگیری متمرکز بود [۲].

با وجود این محدودیت‌ها، روش‌شناسی این پژوهش می‌تواند به عنوان یک ابزار مهم در بررسی و درک کار گروهی با ثبت پویایی نحوه‌ی درگیری دانشجویان در نوبت‌های صحبت در بحث عمل کند. برخی الگوهای جالب و مهم را مشاهده شد، مانند گروه‌های متمرکز در مقابل غیرمتمرکز، تأثیرات بالقوه‌ی آرایش نشستن بر رفتارهای نوبت صحبت، و تأثیر جنسیت و وضعیت

<sup>۱</sup> در نظریه‌ی گراف به یال‌هایی گفته می‌شود که در یک زیرگراف خاص، به حداکثر تعداد ممکن از تعاملات دست یافته باشند. به عبارت دیگر، اگر یک یال نشان‌دهنده‌ی ارتباط بین دو گره باشد، یال اشباع به ارتباطی گفته می‌شود که با بیشترین تکرار یا وزن ممکن بین آن دو گره رخ داده است. در تحلیل شبکه‌های اجتماعی، یال‌های اشباع می‌توانند نشان‌دهنده‌ی تعاملات بسیار قوی و تکراری بین دو فرد باشند که ممکن است به شکل‌گیری زیرگروه‌های پایدار منجر شوند [۳].

<sup>۲</sup> در پژوهش‌های علمی به معنای فرایند یا مسیر گام‌به‌گام انجام یک کار یا تحلیل است. در این مقاله، خط‌مشی به مجموعه‌ی مراحل پردازش داده‌ها از ثبت نوبت‌های صحبت تا محاسبه پارامترهای گراف گفته می‌شود. این خط‌مشی شامل مراحل ضبط داده، تبدیل به لیست یال، محاسبه‌ی ماتریس مجاورت و استخراج شاخص‌هایی مثل چگالی و تمرکز است [۳].

<sup>۳</sup> Clicker

<sup>۴</sup> «کلیک‌ری» به دستگاه‌های پاسخگویی الکترونیکی گفته می‌شود که در کلاس‌های درس برای دریافت پاسخ سریع دانشجویان به پرسش‌های چندگزینه‌ای استفاده می‌شود. دانشجویان با فشار دادن دکمه‌هایی روی دستگاه، پاسخ خود را ارسال می‌کنند و نتایج بلافاصله روی پرده نمایش داده می‌شود. در مقاله، از این واژه برای اشاره به بحث‌های گروهی که با استفاده از این دستگاه‌ها انجام می‌شود، استفاده شده است [۳].

اقلیت در مشارکت گروهی، که همه با مشاهدات دیگر در ادبیات موجود مطابقت دارند. با این روش‌شناسی، قادر خواهند بود بررسی کنند که چگونه ویژگی‌های مختلف دانشجویان ممکن است بر پویایی گروه در بحث‌ها تأثیر بگذارد و چگونه تفاوت‌ها در رفتارهای نوبت صحبت ممکن است به موفقیت پیامدهای دانشجویی کمک کند.

## فصل ۶

### محاسبات با پایتون

در این فصل سعی شده است کدی ایجاد شود که از این طریق بتوان. تعامل‌های یک جلسه‌ی یادگیری مشارکتی به صورت یک گراف جهت‌دار وزن‌دار مدل بشود. هر دانش‌جو و یا شرکت‌کننده یک رأس و هر توالی صحبت («الف» و سپس «ب») یک یال جهت‌دار است. با این مدل‌سازی، ساختار تعامل از یک رشته‌ی زمانی ساده به یک ساختار ریاضی تبدیل می‌شود که می‌توان کمیت‌های گراف‌ی مانند چگالی، مرکزیت، تمرکز شبکه و توزیع مشارکت را روی آن محاسبه کرد. خروجی‌های این کد نشان می‌دهند که گفتگو تا چه اندازه «متمرکز» یا «مشارکتی» بوده است؛ یعنی آیا همه‌ی اعضا تقریباً به یک اندازه در گفتگو نقش داشته‌اند یا یک یا چند نفر گفتگو را در دست گرفته‌اند.

```
import math
names = input("Enter the names in order, separated by spaces:")
names_list = names.split()
#Graph nodes
nodes = sorted(list(set(names_list)))
n = len(nodes)
print("\nGraph nodes:")
print(nodes)
#Graph edges
edges = []
for i in range(len(names_list) - 1):
    a, b = names_list[i], names_list[i + 1]
    edges.append((a, b))
m = len(edges)
print("\nGraph edges:")
print(set(edges))
#Graph density
if n > 1:
    Density1 = m / (n * (n - 1))
else:
    Density1 = 0
print("\n Graph density")
print(Density1)
#Degree-based Centrality
degrees = {}
for node in nodes:
    in_d=0
    out_d=0
```

```

for u,v in edges:
    if u == node:out_d +=1
    if v == node:in_d +=1
degrees[node] = in_d + out_d
print("\n Degree-based Centrality: \n")
print( degrees)

#In-degree & Out-degree
in_degrees = {}
out_degrees = {}
for name in nodes:
    in_degrees[name] = 0
    out_degrees[name] = 0
for u, v in edges:
    out_degrees[u] += 1
    in_degrees[v] += 1
print("\nIn-degree & Out-degree:")
print("In-Degrees:", in_degrees)
print("Out-Degrees:", out_degrees)
#Edge weight:
weights = {}
for edge in edges:
    if edge in weights:
        weights[edge] += 1
    else:
        weights[edge] = 1
print("\nEdge weight:")
print(weights)
#Constructing weighted adjacency matrix
idx = {}
for i , node in enumerate(nodes):
    idx[node] = i
matrix = [[0] * n for _ in range(n)]
for (u, v), w in weights.items():
    matrix[idx[u]][idx[v]] = w

print("\n weighted adjacency matrix:")
width = max(len(str(node)) for node in nodes) + 2
header = " " * width + "".join(f"{node:>{width}}" for node in nodes)
print(header)
print("-" * len(header))
for i, node in enumerate(nodes):
    row = f"{node:>{width}}" + "".join(f"{matrix[i][j]:>{width}}" for j in range(n))
    print(row)
# Network concentration level
def calculate_centralization(deg_dict, n):
    if n <= 2: return 0
    deg_values = list(deg_dict.values())
    d_max = max(deg_values)

```

```

numerator = sum(d_max - d for d in deg_values)
Normalization_Factor = (n - 1) * (n - 2)
if Normalization_Factor == 0:
    return 0
else:
    return numerator / Normalization_Factor

c = calculate_centralization(degrees, n)
print(f"\n Network concentration level: (C_D): {c:.3f}")
#Participation Ratio
t_i = {}
for i in range(n):
    row_sum = sum(matrix[i])
    t_i[nodes[i]] = row_sum
print("\n t_i:")
for node , v in t_i.items():
    print(f"t_{node} = {v}")
total = sum(t_i.values())
print(f"\n Total Duration = {total}")
print("\n Participation Ratio:")
R_i = {}
if total > 0:
    for i in nodes:
        ti = t_i[i]
        ri = ti / total
        R_i[i] = ri
    print(f"R_{i} = {ti} / {total}   {ri:.3f} ({ri:.1%})")

print(f"\n sum R_i :{sum(R_i.values()):.1f}")

# Standard Deviation of Participation
if total != 0:
    R_bar = sum(R_i.values()) / n

    variance_sum = sum(
        (R_i[node] - R_bar) ** 2
        for node in nodes
    )

    sigma_R = math.sqrt(variance_sum / n)

    print(f"\nTheoretical Mean (R_bar): {R_bar:.3f}")
    print(f"Standard Deviation of Participation (sigma_R): {sigma_R:.3f}")

else:
    print("Error: Sum of weights is zero; ratio cannot be calculated.")

```

برای نمونه می توان دید:

Enter the names in order, separated by spaces:dara sara tara nazi sara nazi

tara nazi sara dara sam

Graph nodes:

['dara', 'nazi', 'sam', 'sara', 'tara']

Graph edges:

{('sara', 'dara'), ('sara', 'nazi'), ('dara', 'sara'), ('dara', 'sam'),  
('sara', 'tara'), ('tara', 'nazi'), ('nazi', 'sara'), ('nazi', 'tara')}

Graph density

1.0

Degree-based Centrality:

{'dara': 3, 'nazi': 6, 'sam': 1, 'sara': 6, 'tara': 4}

In-degree & Out-degree:

In-Degrees: {'dara': 1, 'nazi': 3, 'sam': 1, 'sara': 3, 'tara': 2}

Out-Degrees: {'dara': 2, 'nazi': 3, 'sam': 0, 'sara': 3, 'tara': 2}

Edge weight:

{('dara', 'sara'): 1, ('sara', 'tara'): 1, ('tara', 'nazi'): 2,  
('nazi', 'sara'): 2, ('sara', 'nazi'): 1, ('nazi', 'tara'): 1,  
('sara', 'dara'): 1, ('dara', 'sam'): 1}

weighted adjacency matrix:

| dara | nazi | sam | sara | tara |   |
|------|------|-----|------|------|---|
| dara | 0    | 0   | 1    | 1    | 0 |
| nazi | 0    | 0   | 0    | 2    | 1 |
| sam  | 0    | 0   | 0    | 0    | 0 |
| sara | 1    | 1   | 0    | 0    | 1 |
| tara | 0    | 2   | 0    | 0    | 0 |

Network concentration level: (C\_D): 0.833

t\_i:

t\_dara = 2

t\_nazi = 3

t\_sam = 0

t\_sara = 3  
t\_tara = 2

Total Duration = 10

Participation Ratio:

R\_dara = 2 / 10    0.200 (20.0%)

R\_nazi = 3 / 10    0.300 (30.0%)

R\_sam = 0 / 10    0.000 (0.0%)

R\_sara = 3 / 10    0.300 (30.0%)

R\_tara = 2 / 10    0.200 (20.0%)

sum R\_i :1.0

Theoretical Mean ( $\bar{R}$ ): 0.200

Standard Deviation of Participation ( $\sigma_R$ ): 0.110

در جدول ۱.۶ سعی شده به طور خلاصه عملکرد کد پایتون بالا داده شود.

جدول ۱.۶: تعریف شاخص‌های تحلیل شبکه‌ی تعامل

| بخش                   | کار                                                   | فرمول / معنا                                                                                                  |
|-----------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| گره‌ها                | استخراج نام‌های یکتا و مرتب‌سازی                      | $V$ : مجموعه‌ی شرکت‌کنندگان                                                                                   |
| یال‌ها                | هر دو نام متوالی یک یال می‌سازند                      | $E = \{(a_i, a_{i+1})\}$                                                                                      |
| چگالی شبکه            | نسبت تعداد یال‌های موجود به یال‌های ممکن              | $D = \frac{m}{n(n-1)}$                                                                                        |
| مرکزیت درجه‌ای        | جمع درجه‌ی ورودی و خروجی هر رأس                       | $d(v_i) = \sum_{j=1}^n a_{ij}$                                                                                |
| درجه‌ی ورودی و خروجی  | شمارش یال‌های جهت‌دار مربوط به هر رأس                 | $\deg^+(v)$ : تعداد دفعاتی که $v$ آغازگر صحبت بوده؛<br>$\deg^-(v)$ : تعداد دفعاتی که $v$ مخاطب ادامه بوده است |
| وزن یال               | تعداد تکرار هر زوج متوالی                             | $w_{uv}$ : تعداد دفعاتی که $u$ بلافاصله با $v$ صحبت کرده است                                                  |
| ماتریس مجاورت وزنی    | نمایش جدولی وزن یال‌ها                                | $\mathcal{W}_{ij} = w_{ij}$                                                                                   |
| تمرکزگرایی شبکه $C_D$ | اندازه‌گیری میزان تمرکز گفتگو بر یک یا چند رأس        | $C_D = \frac{\sum_{i=1}^n [d_{\max} - d(v_i)]}{(n-1) * (n-2)}$                                                |
| مشارکت $t_i$          | مجموع سطر ماتریس؛ یعنی مجموع وزن یال‌های خروجی هر رأس | $t_i = \sum_{j=1}^n w_{ij}$                                                                                   |
| نسبت مشارکت $R_i$     | سهم هر فرد از کل تعامل‌ها                             | $R_i = \frac{t_i}{\sum_{k=1}^n t_k}$                                                                          |
| انحراف معیار مشارکت   | اندازه‌گیری میزان نابرابری در توزیع مشارکت            | $\sigma_R = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}$                                                |

## نمایه

- الگوریتم  
گیروان-نیومن، ۹  
درجه، ۵  
دوخوشه، ۸  
زیرگراف، ۳، ۶  
سهم عادلانه، ۷، ۱۳  
ماتریس مجاورت، ۵  
مجموعه  
یال، ۴  
گره، ۴  
مرکزیت درجه، ۳، ۶  
میان بینی یال، ۸  
نسبت صحبت، ۱۳  
نسبت نرمال، ۷  
پل، ۸  
گراف  
عمومی، ۴  
تمرکز، ۳، ۶  
چگالی، ۳، ۵  
گروه  
زیرگروه‌ها، ۱۱  
غیرمتمرکز، ۱۱  
متمرکز، ۱۱، ۱۵  
متوازن، ۱۵

## مراجع

- [1] Adams, P. (2006). Exploring social constructivism: Theories and practicalities. *Education 3-13*, 34(3), 243-257.
- [2] Barros, B., & Felisa Verdejo, M. (2000). Analysing student interaction processes in order to improve collaboration. The DEGREE approach. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11(3), 221-241.
- [3] Chai, A., Le, J. P., Lee, A. S., & Lo, S. M. (2019). Applying graph theory to examine the dynamics of student discussions in small-group learning. *CBE—Life Sciences Education*, 18, ar29.
- [4] Davydov, V. V. (1995). The influence of L. S. Vygotsky on education theory, research, and practice. *Educational Researcher*, 24(3), 12-21.
- [5] Drane, D., Smith, H. D., Light, G., Pinto, L., & Swarat, S. (2005). The gateway science workshop program: Enhancing student performance and retention in the sciences through peer-facilitated discussion. *Journal of Science Education and Technology*, 14(3), 337-352.
- [6] Girvan, M., & Newman, M. E. J. (2002). Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(12), 7821-7826.
- [7] McCormick, A. C., & Zhao, C.-M. (2005). Rethinking and reframing the Carnegie Classification. *Change: The Magazine of Higher Learning*, 37(5), 51-57.
- [8] McCorskey, J. C., & McVetta, R. W. (1978). Classroom seating arrangements: Instructional communication theory versus student preferences. *Communication Education*, 27(2), 99-111.
- [9] Micari, M., Pazos, P., Streitwieser, B., & Light, G. (2010). Small-group learning in undergraduate STEM disciplines: Effect of group type on student achievement. *Educational Research and Evaluation*, 16(3), 269-286.
- [10] Micari, M., & Drane, D. (2011). Intimidation in small learning groups: The roles of social-comparison concern, comfort, and individual characteristics in student academic outcomes. *Active Learning in Higher Education*, 12(3), 175-187.
- [11] Nussbaumer, D. (2012). An overview of cultural historical activity theory (CHAT) use in classroom research 2000 to 2009. *Educational Review*, 64(1), 37-55.
- [12] Pazos, P., Micari, M., & Light, G. (2010). Developing an instrument to characterise peer-led groups in collaborative learning environments: Assessing problem-solving approach and group interaction. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 35(2), 191-208.
- [13] Powell, K. C., & Kalina, C. J. (2009). Cognitive and social constructivism: Developing tools for an effective classroom. *Education*, 130(2), 241-250.

- [14] Roth, W.-M. (2004). Activity theory and education: An introduction. *Mind, Culture, and Activity*, 11(1), 1-8.
- [15] Roth, W. M., Lee, Y. J., & Hsu, P. L. (2009). A tool for changing the world: Possibilities of cultural-historical activity theory to reinvigorate science education. *Studies in Science Education*, 45(2), 131-167.
- [16] Strodtbeck, F. L., & Mann, R. D. (1956). Sex role differentiation in jury deliberations. *Sociometry*, 19(1), 3-11.
- [17] Swarat, S., Drane, D., Smith, H. D., Light, G., & Pinto, L. (2004). Opening the gateway: Increasing student retention in introductory science courses. *Journal of College Science Teaching*, 34(1), 18-23.
- [18] Wannarka, R., & Ruhl, K. (2008). Seating arrangements that promote positive academic and behavioural outcomes: A review of empirical research. *Support for Learning*, 23(2), 89-93.