

ניתוח רשת חברתית – QAnon

1. תקציר

בעבודה זו אנו מנתחים את מבנה הרשת החברתית של תנועת QAnon באמצעות כלים ומדדים מתקדמים מתורת הרשתות שנלמדו בקורס. QAnon היא תנועה אידאולוגית מבוזרת, המאופיינת בהפצת נרטיבים וקונספירציות דרך פלטפורמות חברתיות, ללא הנהגה פורמלית וללא מוקד שליטה מרכזי. מידע, פרשנויות ותכנים מופצים ומועצמים על ידי משתמשים הפועלים בקהילות שונות וברמות שונות של השפעה, כאשר האינטראקציות בין קהילות אלו ממלאות תפקיד מרכזי בהתפתחות ובהתפשטות התנועה.

האתגר המרכזי בניתוח רשת מסוג זה נובע מאופייה המבוזר: בניגוד למבנים היררכיים קלאסיים, קשה לזהות גורם יחיד האחראי על הפצת מידע או על עיצוב הנרטיב המרכזי. לפיכך, ניתוח מבני של הרשת עצמה מהווה כלי חיוני להבנת דפוסי ההפצה, מוקדי ההשפעה, ורמת הקישוריות בין קהילות ותתי קהילות ברשת.

במסגרת המחקר, הרשת מיוצגת כגרף מכוון, ממושקל וחתום, המאפשר הבחנה בין כיוון ההשפעה, עוצמת האינטראקציה ואופייה (תמיכה, התנגדות או ניטרליות). על גבי ייצוג זה מיושמים מדדי מרכזיות לצמתים וכן מדדי מבנה רשת גלובליים. בנוסף, נעשה שימוש בעקרונות מתיאוריית האיוון ברשתות חתומות לצורך ניתוח קונפליקטים וקוהרנטיות מבנית, ובמושגים מאפקטי רשת לצורך הערכת תרומתן של קהילות משנה לערך הכולל של הרשת.

מעבר לניתוח המבני הסטטי, העבודה משלבת גם כלים מתורת המשחקים, במטרה לבחון דינמיקות אינטראקטיביות בין שחקנים ברשת. בפרט, נבחנים מודלים של משחקים חוזרים אשר מאפשרים לנתח אסטרטגיות של שיתוף פעולה ועימות לאורך זמן, וכן אסטרטגיות קלאסיות למיקסוס תועלת כגון Tit For Tat ו-Win Stay Lose Shift. שילוב זה מאפשר לבחון כיצד דפוסי אינטראקציה מקומיים בין צמתים עשויים להשפיע על מבנה הרשת והתפתחותה לאורך זמן.

לבסוף, העבודה כוללת מימוש חישובי בשפת Python המדגים את חישוב המדדים השונים, ניתוח מבני של הרשת, והפקת תובנות אמפיריות מן הנתונים. שילוב זה בין תיאוריה, מודל מתמטי ומימוש חישובי מאפשר בחינה רב-ממדית של דינמיקות ההשפעה והפצת המידע ברשתות אידאולוגיות מבוזרות.

מבוא

הרשתות החברתיות הפכו בעשורים האחרונים לפלטפורמה מרכזית להפצת מידע, דעות ונרטיבים פוליטיים וחברתיים. תנועת QAnon מהווה דוגמה מובהקת לתופעה זו: מדובר בתנועה אידאולוגית ללא הנהגה פורמלית, שבה מידע מופץ ומתפרש על ידי משתמשים רבים הפועלים בקהילות שונות וברמות שונות של השפעה.

מאפיין מרכזי של תנועה זו הוא התפתחותם של נרטיבים ותתי קמפיינים הפועלים במקביל בתוך אותה רשת אידאולוגית. אחד המקרים הבולטים לכך הוא הקונספירציה סביב ההאשטג #SaveTheChildren אשר החלה כקמפיין לגיטימי לכאורה והפכה לזירה מרכזית להפצת נרטיבים המזוהים עם הרשת. מקרה זה מדגים כיצד קהילה נושאת יכולה לשמש "שער

כניסה" לקהלים רחבים יותר, ולתרום להרחבת ההשפעה של התנועה מעבר לגרעין הפעילים המקורי.

האופי המבוזר של QAnon, בשילוב עם קיומן של קהילות משנה כגון #SaveTheChildren מציב אתגר מחקרי משמעותי. בניגוד לארגונים היררכיים, קשה לזהות מקור יחיד להשפעה או שליטה, וההשפעה נבנית מתוך מבנה הרשת עצמה ומתוך יחסי הגומלין בין קהילות שונות.

לפיכך, ניתוח מבני של הרשת החברתית מהווה כלי מרכזי להבנת דפוסי ההפצה, מוקדי ההשפעה והאינטראקציות בין קהילות. מטרת עבודה זו היא לנתח את רשת QAnon באמצעות כלים מתקדמים לניתוח רשתות שנלמדו בקורס, ולבחון כיצד מדדים שונים משקפים תפקידים שונים של צמתים וקהילות בתוך הרשת, בדגש על תפקידן של קהילות נושאות בהרחבת ההשפעה של התנועה.

2. רקע תאורטי

2.1. ייצוג פורמלי של רשתות חברתיות

רשת חברתית ניתנת לייצוג מתמטי באמצעות גרף $G = (V, E)$.

כאשר :

- $V = (v_1, \dots, v_n)$ היא קבוצת הצמתים (Nodes) המייצגים ישויות ברשת (משתמשים).
- $E \subseteq V \times V$ היא קבוצת הקשתות (Edges), המייצגות אינטראקציות בין הישויות.
כאשר $e_{i,j} = (v_i, v_j)$ מציין אינטראקציה מכוונת מ- v_i ל- v_j .
 $w_{i,j} \in R^+$ הוא משקל הקשת, המייצג את עוצמת האינטראקציה.
 $s_{i,j} \in \{-1, 0, 1\}$ הוא סימן הקשת, המייצג התנגדות, ניטרליות או תמיכה בהתאמה. (בהמשך נפרט על כך)

ייצוג זה מאפשר ניתוח עשיר של דינמיקות חברתיות, תוך הבחנה בין כיוון ההשפעה, עוצמתה וטיבה.

לצורך חישוב מדדים מתקדמים, הרשת מיוצגת באמצעות מטריצת שכנויות (Adjacency Matrix) המהווה את הבסיס המתמטי לכל הניתוחים בהמשך.

כיוון שהרשת הנחקרת כוללת אינטראקציות בעוצמות שונות, נעשה שימוש במטריצת שכנויות ממושקלת.

פורמלית, נגדיר את מטריצת השכנויות A של הגרף כך : $A = [w_{i,j} \cdot s_{i,j}] \in R^{n \times n}$.

ייצוג זה מאפשר ניתוח של קונפליקטים, קואליציות ואיזון מבני, ומהווה בסיס למדדי איזון ברשתות חתומות בהמשך העבודה.

2.2. מדדי מרכזיות לצמתים

2.2.1 Degree Centrality – מוגדר כמספר הקשתות המחוברות אליו תוך נרמול

המבוצע על ידי חלוקה ב- $n - 1$. פורמלית, הנוסחה הינה $\frac{degree_{in}(v)}{n-1}$ כאשר

$$degree_{in}(v) = |u : (u, v) \in E|$$

מדד זה משקף פופולריות מקומית, אך אינו מתחשב במיקום הצומת במבנה הכללי של הרשת. מאפשר לזהות משתמשים בעלי רמת פעילות גבוהה וקשרים ישירים רבים.

2.2.2 Closeness Centrality – מודד עד כמה צומת קרוב בממוצע לשאר הצמתים,

ומחושב על ידי הנוסחה $\frac{n-1}{\sum_{u \neq v} dist(v, u)}$ כאשר $dist(v, u)$ הינו אורך המסלול הקצר

ביותר מצומת v לצומת u בגרף G (מספר הקשתות במסלול). מדד זה משקף נגישות גלובלית, צמתים עם ערך גבוה יכולים להפיץ מידע במהירות יחסית לכל הרשת.

2.2.3 Betweenness Centrality – מודד את מידת היותו של צומת מתווך בין צמתים

אחרים. מחושב על ידי הנוסחה $\frac{\sum_{s \neq v \neq t \in V} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}}{(n-1)(n-2)}$ כאשר σ_{st} מייצג את כמות

המסלולים מצומת s לצומת t ו- $\sigma_{st}(v)$ מייצג את כמות המסלולים מצומת s לצומת t העוברים דרך צומת v .

מדד זה מזהה צמתים קריטיים למעבר מידע בין קהילות, גם אם אינם פופולריים במיוחד.

2.2.4 Eigenvector Centrality – מאפשר לזהות השפעה עקיפה דרך קשרים לצמתים

בעלי השפעה גבוהה. בניגוד למדדי Degree, שבהם כל חיבור תורם במידה שווה, מדד זה מניח כי חיבור לצומת מרכזי תורם יותר להשפעתו של צומת מאשר חיבור לצומת שולי.

מחושב על ידי הנוסחה $x_v = \frac{1}{\lambda} \sum_{u \in N(v)} x_u$ כאשר $N(v)$ הינה קבוצת השכנים

של צומת v , x_u הוא ערך המרכזיות של הצומת u ו- λ הינו קבוע נרמול המייצג ערך עצמי של מטריצת השכנויות (בד"כ הערך העצמי הגדול ביותר).

2.2.5 PageRank – מדד מרכזיות ספקטראלי שפותח במקור לצורך דירוג דפי אינטרנט

במנוע החיפוש של Google והוא מהווה הרחבה הסתברותית ומנורמלת של מדד Eigenvector Centrality. האלגוריתם מבוסס על ההנחה כי דף (או צומת במקרה שלנו) הוא חשוב אם דפים חשובים אחרים מפנים אליו.

בניגוד ל- Eigenvector Centrality הקלאסי PageRank מתמודד עם בעיות ייחודיות של גרפים מכוונים גדולים, כגון צמתים ללא קשתות יוצאות ורכיבים מנותקים, באמצעות מודל הסתברותי.

2.3. מדדי מבנה רשת

בניגוד למדדי מרכזיות המתמקדים בצמתים בודדים, מדדי מבנה רשת נועדו לאפיין את הרשת כולה כישות אחת. מדדים אלו מאפשרים להבין את רמת הקישוריות, הריכוזיות והמבנה הכללי של הרשת, ומהווים כלי מרכזי לניתוח מערכות חברתיות מורכבות.

2.3.1. **Density** – צפיפות הרשת מוגדרת על ידי הנוסחה $Density = \frac{|E|}{|V| \cdot (|V|-1)}$

הצפיפות מודדת את שיעור הקשרים הקיימים בפועל מתוך כלל הקשרים האפשריים ברשת. מדד זה מספק אינדיקציה ישירה לרמת הקישוריות הכללית של הרשת. צפיפות גבוהה מעידה על רשת שבה מרבית הצמתים מקושרים זה לזה, מה שמאפשר הפצת מידע מהירה, חפיפה בין קהלים וזרימה אינטנסיבית של אינטראקציות. לעומת זאת, צפיפות נמוכה מאפיינת רשת מפוזרת, שבה הקשרים דלילים יותר והפצת מידע עשויה להיות איטית או תלויה בצמתים מתווכים.

2.3.2. **Freeman Centralization** – מדד הריכוזיות של Freeman נועד לבחון עד כמה מבנה הרשת נשלט על ידי צומת מרכזי אחד או מספר קטן של צמתים דומיננטיים.

ערך ריכוזיות גבוה מצביע על רשת שבה צומת אחד (או מספר קטן של צמתים) מרכז אליה חלק משמעותי מהקשרים, בדומה למבנה כוכב. לעומת זאת, ערך ריכוזיות נמוך מעיד על פיזור השפעה רחב יותר, שבו אין מוקד שליטה יחיד. נחשב

על ידי הנוסחה: $\frac{\sum_{v=1}^n maxdegree - degree(v)}{(n-1) \cdot (n-2)}$. נשים לב כי קיימות 2 גרסאות

לנוסחה זו, בראשונה $maxdegree$ מייצגת את הדרגה הגבוהה ביותר של צומת ברשת בפועל, ובשנייה $maxdegree$ מייצגת את הדרגה הגבוהה ביותר של צומת בפוטנציאל ($n - 1$), ראינו כי הגרסה השנייה מדויקת יותר ועל כן נעבוד איתה.

2.4. רשתות חתומות ותאוריית האיזון

ברשתות חברתיות רבות, ובפרט ברשתות אידאולוגיות מקוונות, לא כל האינטראקציות בין צמתים הן בעלות אופי אחיד. לצד קשרים תומכים מתקיימים גם קשרים של התנגדות, ביקורת או עימות, וכן קשרים אשר טיבם אינו מוגדר באופן חד משמעי. לפיכך, ניתוח רשתות מסוג זה מחייב הרחבה של המודל הגרפי הקלאסי, כך שיכלול מידע על אופי היחסים בין הצמתים ולא רק על עצם קיומם.

מודל זה מתואר באמצעות רשתות חתומות (Signed Networks), שבהן לכל קשת מותאם סימן המייצג את טיב היחסים. בעבודה זו אנו עושים שימוש בייצוג הכולל שלושה סוגי סימנים: קשרים חיוביים, קשרים שליליים וקשרים ניטרליים. קשר ניטרלי אינו מייצג בהכרח היעדר אינטראקציה, אלא מצב שבו לא ניתן לקבוע האם היחסים בין הצמתים הם

תומכים או מתנגדים. ייצוג זה מתאים במיוחד לנתונים שמקורם ברשתות חברתיות מקוונות, שבהן המידע על טיב היחסים בין משתמשים אינו תמיד מלא או חד משמעי.

2.4.1. תאוריית האיזון – עוסקת בניתוח יציבות מבנית של מערכות יחסים חברתיות.

התיאוריה מתמקדת בניתוח של **טריאדות** – תתי גרפים המורכבים משלושה צמתים – הנחשבות לאבני הבניין הבסיסיות של מבנים חברתיים מורכבים. על פי תיאוריה זו, טריאדה נחשבת מאוזנת אם היחסים בין שלושת הצמתים אינם יוצרים מתח מבני. פורמלית בהינתן שלושה צמתים u, v, w הטרואדה מוגדרת כמאוזנת אם ורק אם מתקיים: $s_{u,v} \cdot s_{u,w} \cdot s_{v,w} > 0$. כלומר, מכפלת סימני הקשתות בטרואדה היא חיובית. תנאי זה משקף מצבים יציבים כגון "החבר של החבר שלי הוא חברי" או "האויב של האויב שלי הוא חברי". לעומת זאת, טריאדה שבה מכפלת הסימנים שלילית נחשבת לא מאוזנת, ומעידה על קונפליקט מבני או חוסר יציבות ביחסים. ברשתות חברתיות רחבות היקף, שיעור הטרואדות המאוזנות לעומת הלא מאוזנות משמש מדד לקוהרנטיות החברתית או האידאולוגית של הרשת.

2.4.2. קשתות ניטרליות והרחבת מודל האיזון - בעוד שמודלים קלאסיים של תיאוריית

האיזון מניחים כי כל קשר הוא בהכרח חיובי או שלילי, הנחה זו אינה מתאימה לרשתות חברתיות אמיתיות. במקרים רבים, הקשר בין שני צמתים אינו מבטא תמיכה או התנגדות מובהקות, אלא חוסר מידע, אדישות או אינטראקציה שאינה ניתנת לסיווג קוטבי. בהקשר זה, עבודתם של Terzi ו-Winkler מציעה הרחבה של מודל הרשת החתומה כך שיכלול גם קשתות ניטרליות, המסומנות בערך 0. הכללה זו מאפשרת ניתוח של רשתות לא שלמות, שבהן חלק מהקשרים אינם מוגדרים באופן חד משמעי, מבלי להטיל עליהם פרשנות מלאכותית של תמיכה או עימות. הכללת קשתות ניטרליות משפיעה באופן ישיר על ניתוח הטרואדות: טריאדות הכוללות קשת ניטרלית אינן תורמות לשירות למאזן החיובי או השלילי, אך הן משקפות אזורי ברשת שבהם מבנה היחסים אינו מגובש או יציב. לפיכך, התייחסות לקשתות ניטרליות מאפשרת ניתוח עדין ומציאותי יותר של מבנה הרשת.

אחד האתגרים המרכזיים ביישום תיאוריית האיזון ברשתות גדולות הוא העלות החישובית של ספירה ישירה של טריאדות, הדורשת זמן חישוב מסדר $O(n^3)$. בעבודתם, מציעים Terzi ו-Winkler גישה ספקטרלית לניתוח איזון חברתי, המבוססת על תכונות של מטריצת השכנויות החתומה של הרשת.

המחברים מראים כי חזקות של מטריצת השכנויות, ובפרט A^3 , מקודדות מידע על היקף הטרואדות המאוזנות והלא מאוזנות ברשת, כאשר האלכסון של A^3 משקף עבור כל צומת את ההפרש ביניהן. גישה זו מאפשרת מעבר מניתוח קומבינטורי ישיר לניתוח אלגברי וספקטרי יעיל, המתאים גם לרשתות גדולות ולא־שלמות.

2.5. תורת המשחקים ודינמיקות אינטראקציה ברשת החברתית

לצד הניתוח המבני הסטטי של הרשת החברתית, ניתוח דינמי של אינטראקציות בין צמתים מהווה נדבך משלים להבנת התנהגות הרשת לאורך זמן. לצורך כך, נעשה שימוש בכלים מתורת המשחקים, העוסקת בניתוח קבלת החלטות של שחקנים רציונליים במצבים של תלות הדדית.

בהקשר של רשתות חברתיות, ניתן להתייחס לצמתים כשחקנים, ולאינטראקציות ביניהם כסדרה של משחקים חוזרים, שבהם כל שחקן בוחר אסטרטגיה בהתאם להתנהגות שחקנים אחרים. מודל זה מאפשר לנתח תהליכים של שיתוף פעולה, עימות, והסתגלות דינמית, אשר אינם ניתנים ללכידה מלאה באמצעות מדדים מבניים בלבד. בפרט, העבודה מתבססת על משחקים חוזרים (משחק T שלבי) שבהם אותם שחקנים מקיימים אינטראקציות לאורך מספר צעדים, כאשר ההחלטות בכל שלב עשויות להיות מושפעות מהיסטוריית האינטראקציות הקודמות. במסגרת זו נבחנות אסטרטגיות קלאסיות כגון Tit-for-Tat (TFT) שבה שחקן מגיב בהתאם לפעולה האחרונה של יריבו, ו-Win-Stay Lose-Shift (WSLS) שבה שחקן שומר על אסטרטגיה מצליחה ומחליף אסטרטגיה לאחר כישלון.

שילוב תורת המשחקים בניתוח הרשת מאפשר לבחון כיצד דפוסי אינטראקציה מקומיים בין צמתים עשויים להשפיע על יציבות היחסים, על היווצרות שיתופי פעולה או קונפליקטים, ועל המבנה הכללי של הרשת לאורך זמן. בכך, תורת המשחקים מהווה שכבת ניתוח משלימה למדדי הרשת, ומספקת פרספקטיבה דינמית על תהליכי השפעה והתפשטות מידע ברשת החברתית הנחקרת.

2.6. מגבלות תאורטיות ומשפט אי האפשרות של ארו

לצד הכלים, המדדים והמודלים שהוצגו ברקע התאורטי, חשוב להדגיש כי ניתוח רשתות חברתיות מורכבות כפוף גם למגבלות תיאורטיות עקרוניות. בפרט, משפטי אי האפשרות מדגיש כי לא קיימת מסגרת אנליטית יחידה היכולה ללכוד באופן מלא ועקבי את כל מאפייני ההתנהגות, הרציונליות והיציבות במערכות מרובות שחקנים. משפטים אלו מבהירים כי כל מודל מחייב פשרות בין קריטריונים שונים, וכי המדדים המבניים והדינמיים שנעשה בהם שימוש בעבודה זו מספקים קירוב וניתוח חלקי של המציאות החברתית. תובנה זו מחזקת את הגישה הרב שכבתית שננקטה במחקר, המשלבת בין ניתוח מבני, ניתוח דינמי וכלים אלגוריתמיים, לצורך הבנה רחבה ומאוזנת יותר של הרשת החברתית הנחקרת.