



מכון הנרייטה סאלד
המכון הארצי למחקר במדעי ההתנהגות



משרד החינוך
המנהל הפדגוגי
האגף למחוננים ולמצטיינים

תוכנית מנחים עמיתים

פרדוקס היציבות: כיצד שומרות רשתות בטבע על יציבות דינמית

חניך: יותם קפלן, תיכון רמון, הוד השרון
מנחה-עמית: ד"ר ברוך ברזל, המחלקה למתמטיקה, אוניברסיטת בר אילן



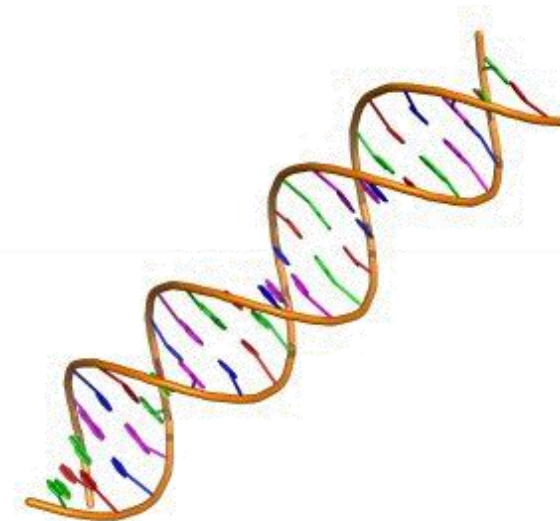
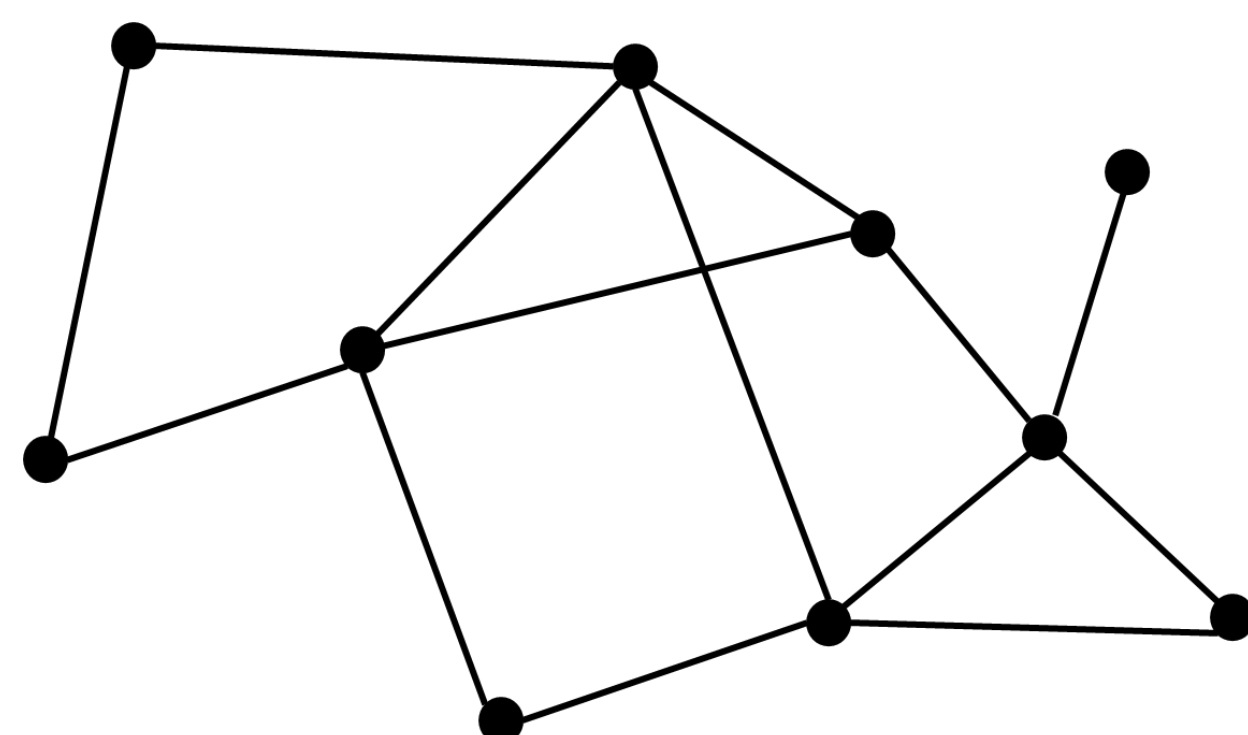
התפשטות

הצמתים ברשת משפיעים זה על זה, כמו למשל בני אדם ברשת חברתית מדביקים זה את זה במחלות, נויירונים מפעילים זה את זה באמצעות סיגנלים חשמליים, ורכיבי מערכת החשמל מעבירים עומסים זה לזה.



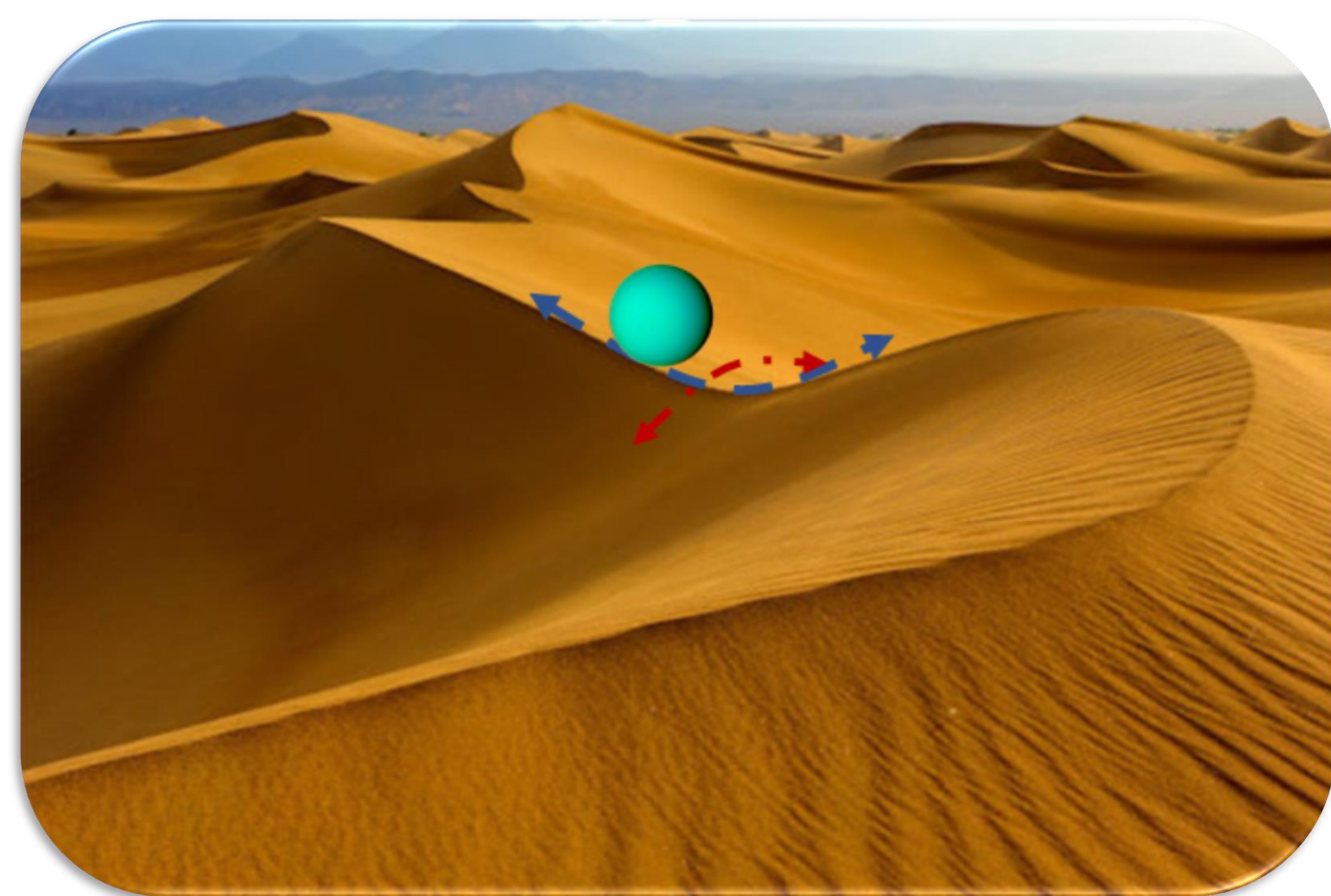
רקע

מערכות רבות סביבנו מתוארות על ידי רשת מורכבת. לדוגמה הרשת החברתית, האינטרנט, הנויירונים במוח או רשת החשמל – כולן מורכבות ממערך מסועף של צמתים וקישורים.



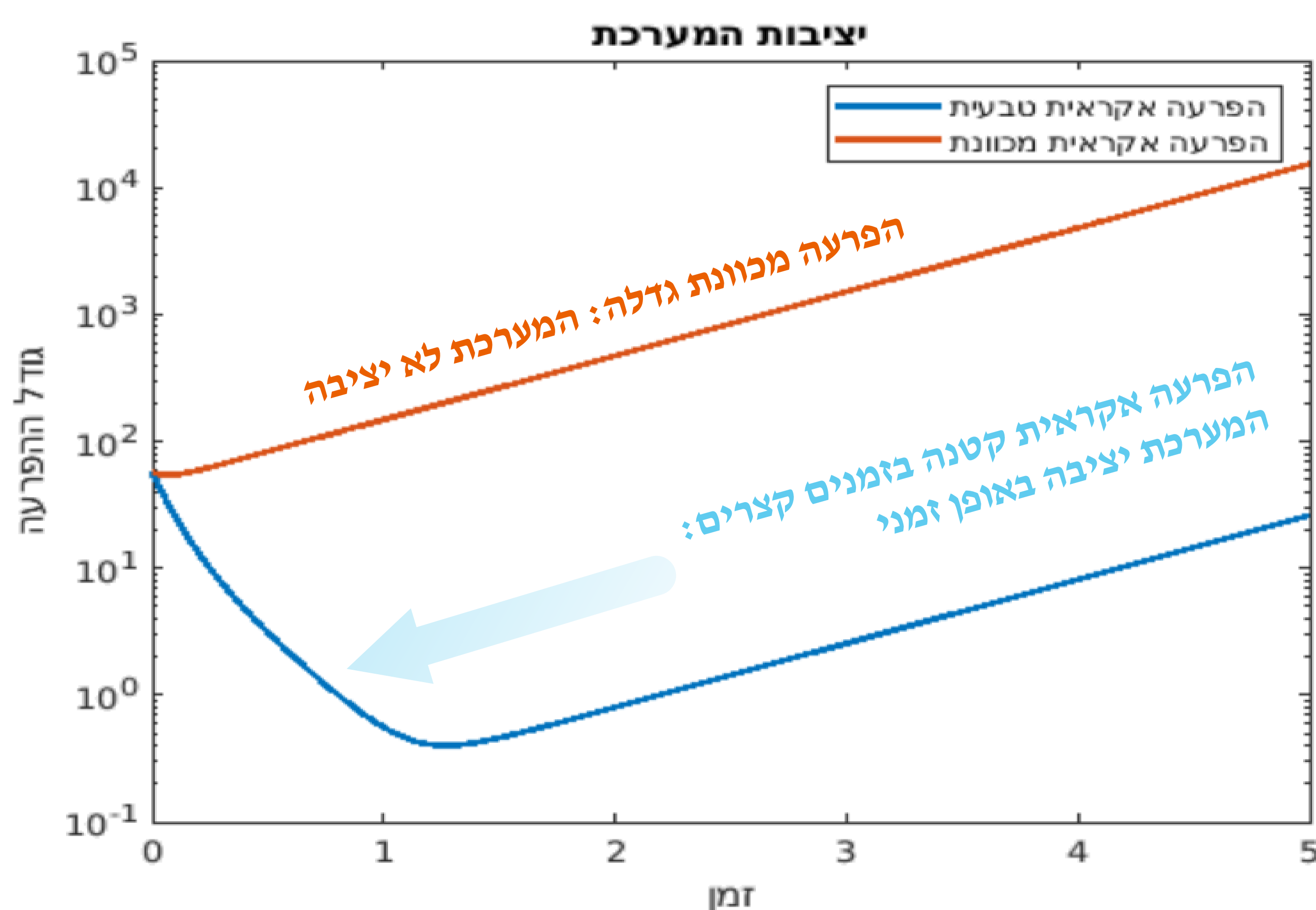
נקודות שבת ויציבות

במצב שיווי משקל – המצב הרצוי לתפקוד המערכת – כלל ההשפעות ברשת מאוזנות. במצב זה המערכת שומרת על תפקוד תקין. מבחינים בין שני סוגי שיווי משקל, המאופיינים על ידי תגובת המערכת להפרעות: שיווי משקל יציב – הפרעות דועכות, והמערכת נותרת מאוזנת. שיווי משקל לא יציב – הפרעות אינן דועכות, הן ממשיכות לגדול ומסיטות את המערכת מאיזון.



פרדוקס היציבות של רוברט מיי

רוברט מיי הוכיח ב-1972 שככל שהרשת גדולה יותר היא גם פחות יציבה. איך, אם כן, שומרות רשתות חברתיות, ביולוגיות וטכנולוגיות על תפקוד יציב?



הפתרון שלנו

לא כל ההפרעות שוות. ניתן לחשוב על הפרעות בכיוונים – או בצירים – שונים. לדוגמה, מערכת האוכל שבתמונה יציבה כנגד הפרעות בציר הכוח, אך לא כנגד הפרעות בציר האדום. לרשת מורכבת יש צירים רב-ממדיים רבים מאוד (וקטורים עצמיים). כל וקטור כזה מייצג הפרעה בכיוון אופייני. בדומה לאוכל, גם רשת עשויה להיות לא יציבה באופן כללי, אך עדיין יציבה ביחס להפרעות מסוימות. במחקר בנינו משפחה של רשתות שלפי הפרדוקס של מיי אינן יציבות. למרות זאת הראנו שהן יציבות כנגד הפרעות ששכומן בממוצע אפס. הפרעות כאלו אינן נדירות כלל. למעשה זהו מאפיין של הפרעה אקראית – אין לה כיוון מועדף ולכן היא מסתכמת (בקירוב) לאפס. אם כך רשתות בטבע עשויות לגלות יציבות כנגד הפרעות – כל עוד הפרעות אלו הן אקראיות.

תוצאות ומסקנות

האם זה יחזיק מעמד לנצח? – לא. בשלב מסוים גם צירי ההפרעה הלא יציבים יתחילו להשפיע וההפרעה תתחיל לגדול, אבל זה מקנה יציבות זמנית (כחול) ומאפשר למערכת לתפקד גם תחת רעש.