

# זימון בסביבה מרובת פרויקטים

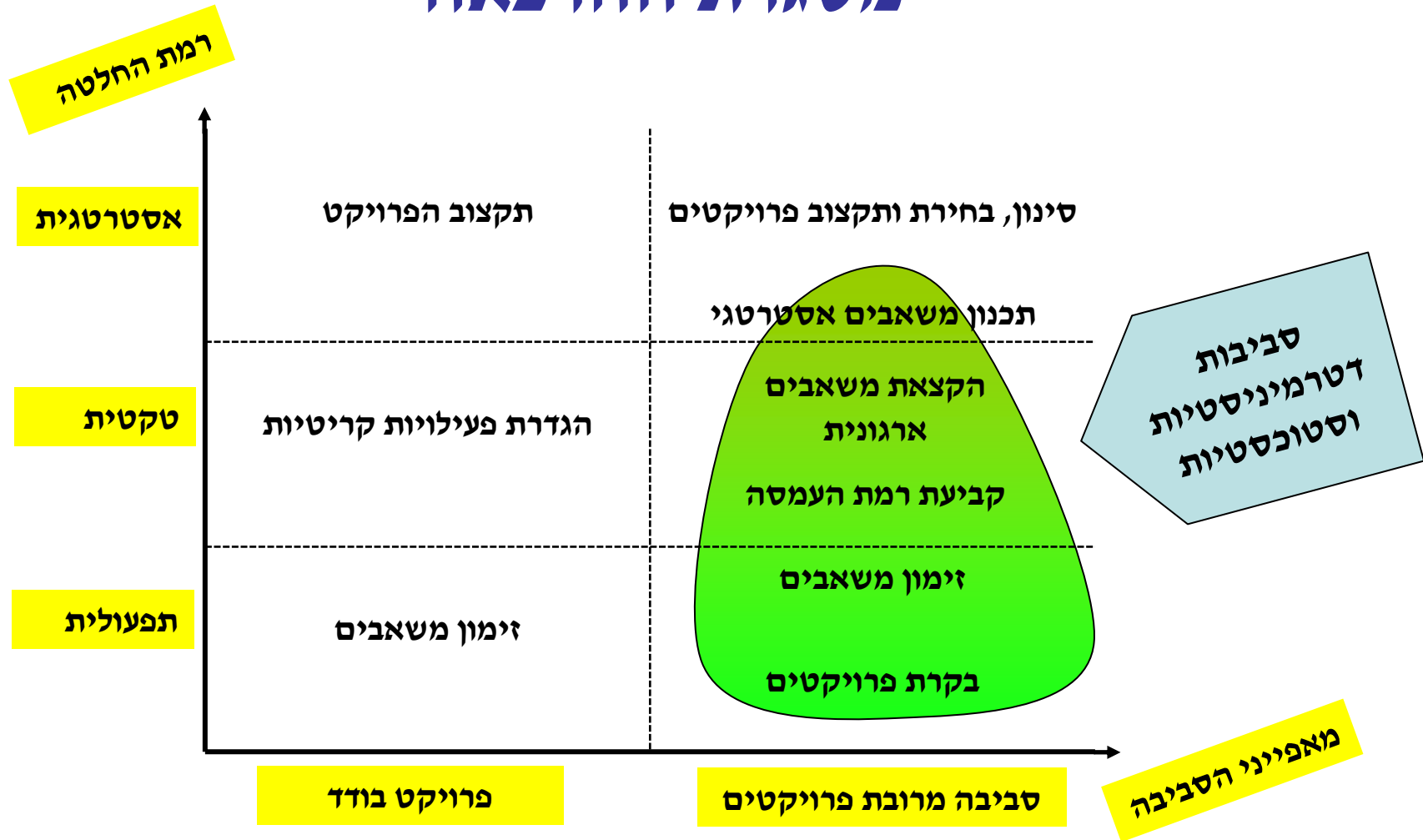
רס"ן ד"ר יצחק כהן, פרופ' אבישי מנדלבאום  
ופרופ' אברהם שטוב

## רקע

**בשנים האחרונות ניסו ארגונים רבים ליישם שיטות ניהול פרויקטים חדשות בדגש על שיטת השרשרת הקריטית. חלקם מדווחים הצלחה ואחרים מדווחים כשלון.**

**הרצאה זו תעסוק בהשוואה מדעית של ביצועי שיטות לניהול פרויקטים.**

# מסגרת ההרצאה



## תוכן ההרצאה

• סקירת גישות פתרון לבעיות זימון בסביבה מרובת פרויקטים:

- מאפיינים.

- מסקנות ממחקרים.

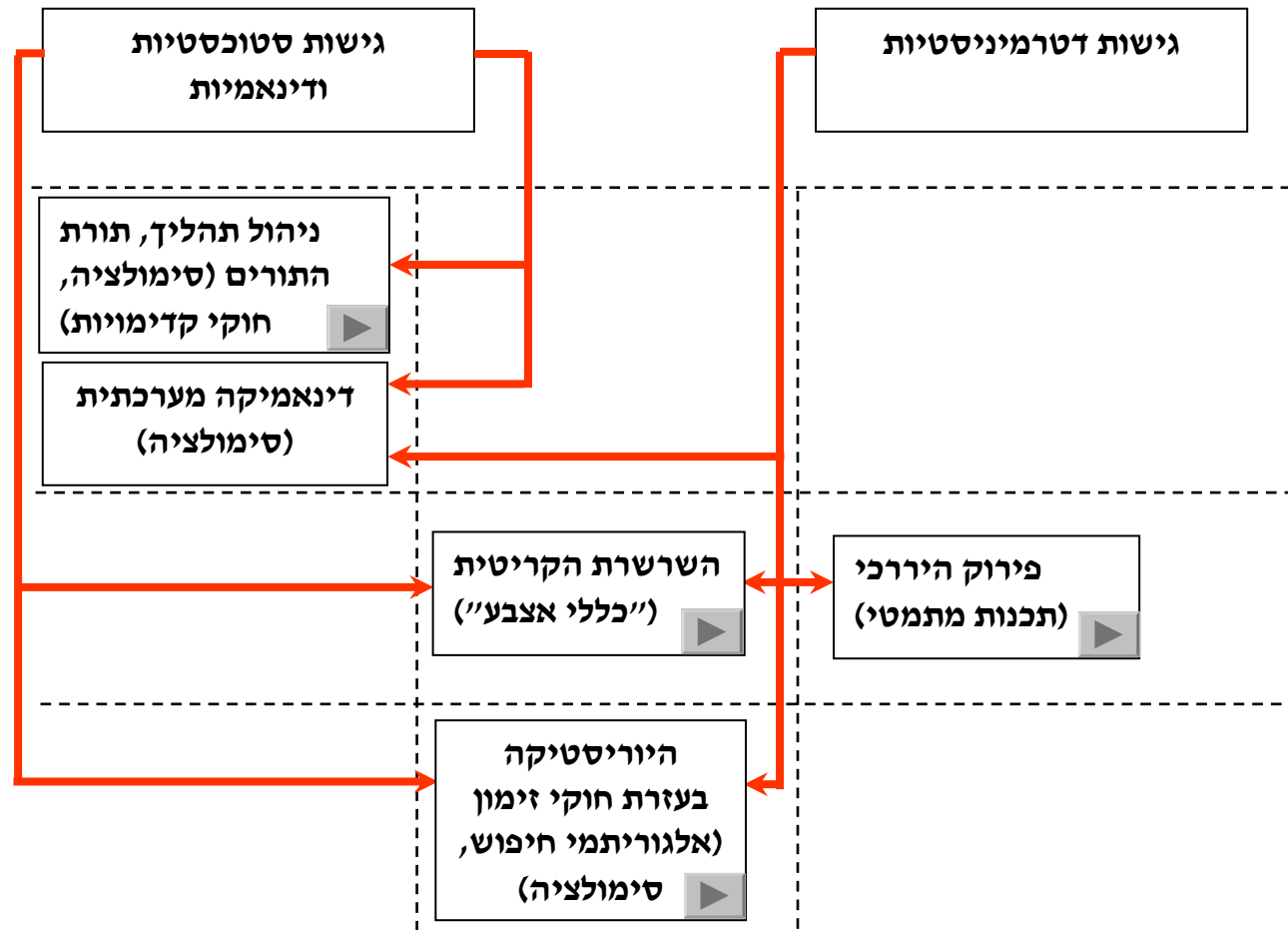
• השוואה כמותית בין גישות:

- תיאור מחקר.

- תוצאות.

- סיכום.

# בעיית זימון בסביבה מרובת פרויקטים ומוגבלת במשאבים – גישות וטכניקות פתרון נפוצות



# שימוש בגישת ניהול תהליך להשוואת גישות זימון/ניהול שונות

מערכות פתוחות:

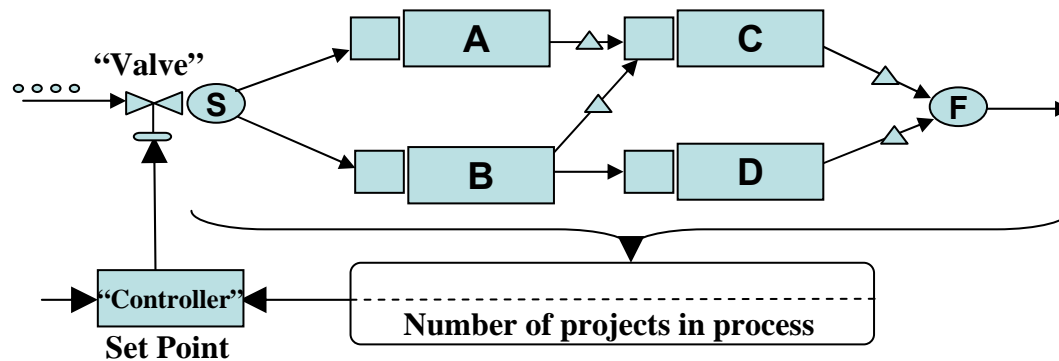
- מערכת ללא בקרה, כלל קדימות FCFS.
- ניהול עפ"י השרשרת הקריטית.
- ניהול עפ"י MinSlk (Bock and Patterson, 1990).

- כשפעילות מסתיימת מוערך מחדש הנתיב הקריטי ומחושב מחדש המרווח החופשי ביחס אליו. פעילויות עם מרווח חופשי נמוך מקבלות קדימות.

# שימוש בגישת ניהול תהליך להשוואת גישות זימון/ניהול שונות (המשך)

מערכות סגורות/חצי סגורות:

- **CoNPIP, מספר קבוע של פרויקטים בתהליך (Anavi-Isakow & Golany, 2002)**



- פרויקטים מתחילים על סמך מספר מקסימאלי קבוע מראש של פרויקטים בתהליך. כלל קדימות FCFS.

- **מספר מקסימאלי של פרויקטים לפני צוואר הבקבוק.**

- פרויקטים המגיעים כשאורך התור נמוך מהסף נכנסים למערכת, אחרת נוטשים ולא חוזרים יותר. כלל קדימות FCFS.

## תוצאות

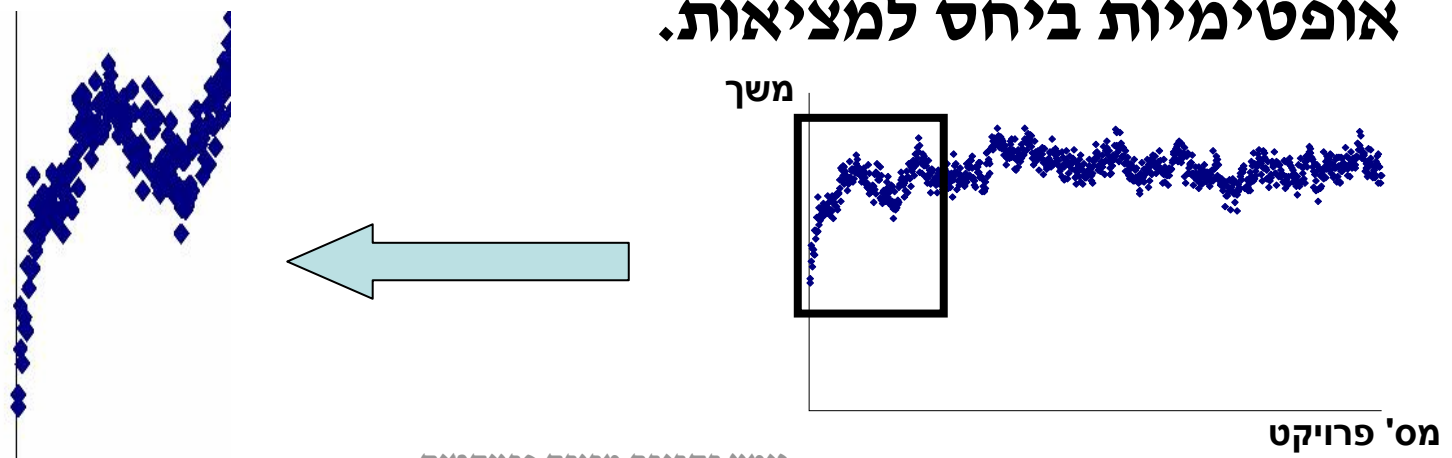
- תכנון ובקרה על פי "כללי האצבע" של השרשרת הקריטית (50% גודלי באפר):
  - כ- 34% מהפרויקטים איחרו.
  - ממוצע משך פרויקט נמוך מהמשך המתוכנן.
  - פרויקט המתין בממוצע כ- 13% מהזמן למשאבים.
- **CoNPIP ו-MinSlk,CC ← ביצועים דומים.**
- במערכת סגורה (הגבלת גודל תור):
  - משך פרויקט נמוך בצורה מובהקת עבור קצבי הגעה גבוהים.
  - ה"מחיר" קצב מעבר פרויקטים נמוך יותר מאשר במערכות פתוחות.
- **במערכת ללא בקרה התקבלו הביצועים הנמוכים ביותר.**

## תוצאות (המשך)

| Thr. | Instance                         | No Control  | CC          | MinSLK      | QSC(6)      | QSC(3)      | ConPIP      |
|------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0.31 | Avg.                             | 51.42       | 32.44       | 30.40       | 20.18       | 17.33       | 32.93       |
|      | SD                               | 33.46       | 18.92       | 17.67       | 9.42        | 8.64        | 13.45       |
|      | $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ | 62,78,42,93 | 61,78,41,92 | 61,76,40,90 | 58,72,39,86 | 52,66,35,78 | 61,76,41,92 |
| 0.29 | Avg.                             | 32.44       | 21.87       | 21.59       | 18.62       | 16.62       | 22.79       |
|      | SD                               | 20.55       | 11.15       | 11.57       | 8.80        | 8.28        | 9.44        |
|      | $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ | 57,72,38,85 | 57,72,38,85 | 57,71,38,85 | 56,69,36,82 | 51,63,33,75 | 57,72,38,86 |
| 0.22 | Avg.                             | 18.9        | 15.50       | 15.27       | 15.25       | 14.60       | 15.33       |
|      | SD                               | 10.10       | 7.71        | 7.97        | 7.74        | 7.52        | 7.56        |
|      | $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ | 45,56,30,67 | 45,56,29,67 | 44,55,29,66 | 45,56,29,66 | 42,53,28,63 | 44,55,30,67 |
| 0.18 | Avg.                             | 16.49       | 14.17       | 14.26       | 14.26       | 14.12       | 14.81       |
|      | SD                               | 8.72        | 7.32        | 7.53        | 7.48        | 7.44        | 7.52        |
|      | $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ | 37,46,25,55 | 36,45,24,55 | 37,46,24,55 | 37,46,24,56 | 36,45,23,55 | 36,45,24,54 |

# סיכום

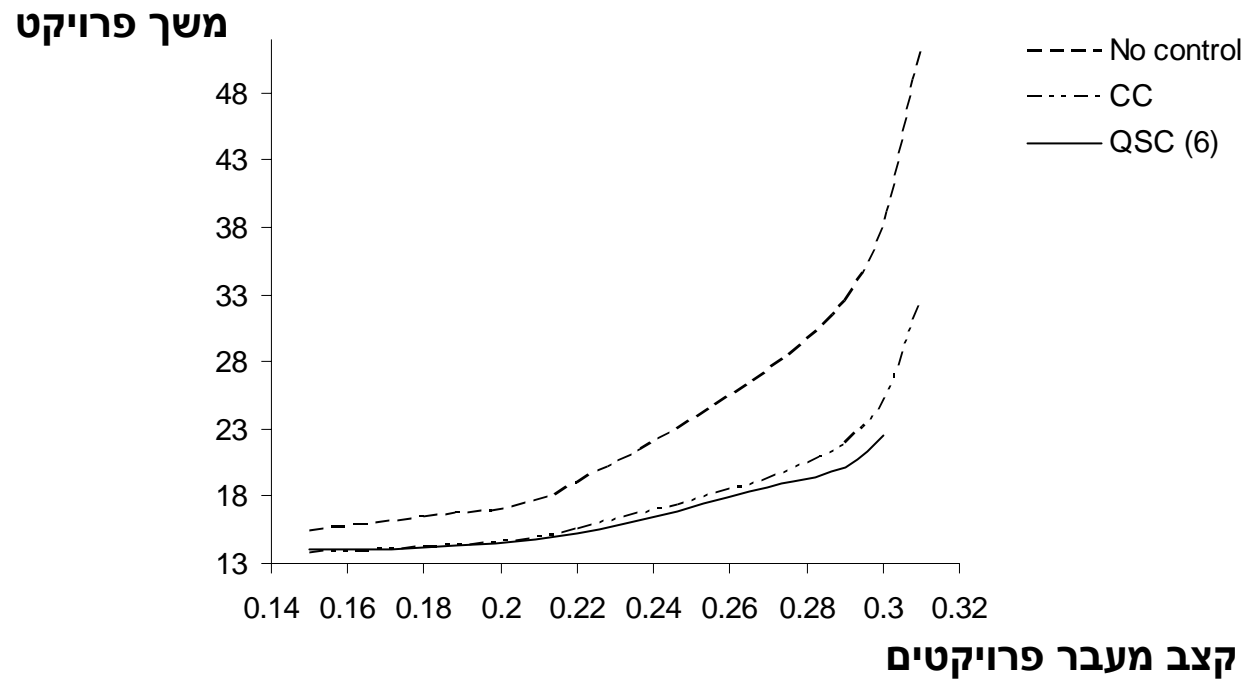
- ביצועי השיטות ההיוריסטיות (כולל השרשרת הקריטית) בסביבה מרובת הפרויקטים שנבדקה – דומות.
- עלויות ההטמעה והאחזקה השוטפת עשויות להיות נמוכות יותר עבור חלק מהשיטות.
- במחקר קודם (Leach, 1999) נטען שהבאפרים מספיקים על מנת להגן על מועדי הסיום המתוכננים. טענה זו הודגמה בעזרת מערכת קטנה, שאינה בשיווי משקל ולכן התקבלו תוצאות אופטימיות ביחס למציאות.



זימון בסביבה מרובת פרויקטים  
כהן, מנדלבאום ושטוב

# סיכום (המשך)

- החלטה חשובה העומדת לפני הנהלת ארגון היא האיזון שבין **דרגת התעסוקה של המשאבים ומשך הפרויקטים**. בדרך כלל ככל שהפרמטר הראשון גבוה יותר משכי הפרויקטים ארוכים יותר – והפוך. בקרה טובה יותר ככל שהעלייה במשך הפרויקט נמוכה יותר.



## סיכום (המשך)

- מומלץ לשקול הפיכת מערכת העובדת תחת עומסים גבוהים על משאב צוואר הבקבוק למערכת סגורה.  
**המחיר**: וויתור על אחוז מהפרויקטים הנכנסים.  
**הרווח**: ממוצע משך פרויקט נמוך משמעותית.

**דוגמה מהמחקר: הורדת עומס על משאב צוואר הבקבוק**  
**מ- 90% ל- 85% גורר וויתור על כ- 6% מהפרויקטים**  
**והורדת משך פרויקט ממוצע ב- 38%.**

## סיכום (המשך)

בעקבות המחקר אנו בטוחים למדי באמירה הבאה:

**בקרות סבירות משפרות ביצועים של מערכת לא מבוקרת, בדרך כלל בצורה מובהקת בקצב גבוה של מעבר פרויקטים. אולם על מנת להשיג שיפור נוסף נדרש יותר, למשל עוד משאבים או חלוקה טובה יותר של המשאבים הקיימים, קבלת פחות פרויקטים וכדומה.**

## סיכום (המשך)

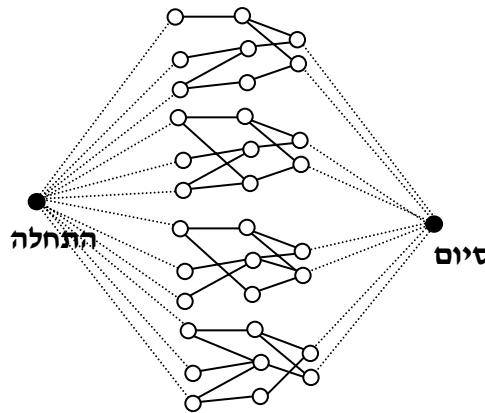
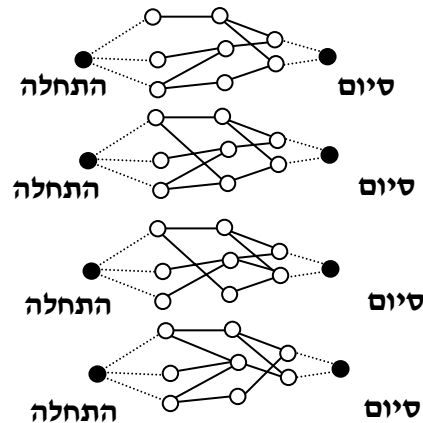
מחקר זה עוזר בהבנת הדיווחים המעורבים על הצלחת שיטת השרשרת הקריטית בארגונים שונים:

- כאשר היישום נעשה בארגון בו לא היו תכנון ובקרה מסודרים יחול בדרך כלל שיפור (שיפור דומה יחול גם אם יופעלו שיטות ניהול סבירות אחרות).
- כאשר היישום נעשה בארגון בו היו תכנון ובקרה מסודרים לא צפוי שיפור עקב יישום השרשרת הקריטית אם לא יטופלו במקביל נושאים כגון: קבלת פרויקטים למערכת, הקצאה טקטית ודינאמית של משאבים, ועדכון מסודר של התכנון בהתאם להתקדמות בפועל של הפרויקטים.

# שקפי מגירה

# מאפייני גישות היוריסטיות מבוססות חוקי

## זימון



- שתי אפשרויות לתיאור הפורטפוליו (השפעה על הביצועים).

- קבוצות חוקי זימון אופייניות:

- מבוססים על מועדי סיום או התחלה (הנפוץ **Minimum Slack**).
- מבוססים על דרישות המשאבים של הפעילויות.
- חוקים אחרים כגון, הפעילות הקצרה ביותר מהפרויקט הקצר ביותר, ראשון שהגיע מקבל שירות ראשון וכדומה.

# מאפייני גישות היוריסטיות מבוססות חוקי זימון (המשד)

- הימנעות מפתרון מדויק של בעיה קומבינטורית מסובכת.
- שאיפה לפתרון מקורב לאופטימאלי.
- פונקצית מטרה אופיינית – במימד הזמן או העלות.
- טכניקות הפתרון האופייניות: אלגוריתמי חיפוש וסימולציה.

# גישות היוריסטיות מבוססות חוקי זימון – מסקנות עיקריות ממחקרים

- לא קיים חוק זימון אשר ניתן להגדירו, גנרית, כיעיל ביותר.
- יעילות חוקי הזימון מושפעת מהמודל, מאופן ייצוגו ומפונקצית המטרה.
- עדיין, החוקים הבולטים לטובה הם:

- צמצום של משך פרויקטים ← **Minimum Slack** ו- **Minimum Latest Finish Time** (עדיפות לזימון פעילויות קריטיות).
- צמצום איחור ממוצע של פרויקט ← **Shortest Activity from Shortest Project** ו- **Maximum Total Work**.
- כללי ← בחירה בטוב מבין מספר חוקי זימון דו-שלביים (למשל שלב א': בחירת הפרויקט לזימון ובשלב ב': בחירת הפעילות).



## מאפייני גישת השרשרת הקריטית

- מתודולוגיה נפוצה לתכנון ולבקרה של פרויקט יחיד ושל סביבה מרובת פרויקטים במטרה למנוע איחורים.
- הגדרות.
- **בשלב התכנון:**
  - הבעיה ה"אמיתית" (הסטוכסטית) מתורגמת לבעיה דטרמיניסטית.
  - הוספה סלקטיבית של באפרים מספקת הגנה מפני אי-הוודאות.
- **בשלב המימוש:**
  - ניטור צריכת הבאפרים של הפרויקטים משמש ככלי בקרה.
  - כאשר "צריכת" הבאפר עוברת ערך קריטי מבצעים פעילות תיקון.

# גישת השרשרת הקריטית – מסקנות עיקריות ממחקרים

- לא בוצעו מחקרים לבחינה כמותית/השוואת ביצועים בסביבה מרובת פרויקטים (מלבד Cohen, Mandelbaum and Shtub, 2004 – התייחסות בהמשך).

- עבור פרויקט יחיד:

- זימון פעילויות בבעיה עם אילוצי משאבים היא בעיה קשה. זימון "טוב" עשוי לקצר את משך הפרויקט באופן משמעותי. Goldratt, 1997 ; Leach, 1999 אינם מתייחסים לנושא או לחילופין טוענים שכאשר יש מספר אפשרויות לבחור שרשרת קריטית יש לבחור אחת מהן באופן שרירותי.

# גישת השרשרת הקריטית – מסקנות עיקריות

## ממחקרים (המשך)

- הגישה אינה לוקחת בחשבון שיקולים מלבד עמידה בלוח הזמנים (למשל: היבטים כלכליים).
- קביעת קיבולות הבאפרים עפ"י כללי אצבע עלולה להביא לחוסר תחרותיות ולביצועים נחותים. הוצעו מודלים לקביעת הקיבולות על בסיס רמות הסיכון.
- עפ"י הגישה יש להימנע מרה-תכנונים. אולם הוכח שבמקרים רבים רה-תכנון משפר את הביצועים, אינו משנה באופן משמעותי את מבנה הפרויקט וממקד את תשומת הלב בשרשרת הפעילויות הקריטית הנוכחית.
- גישת השרשרת הקריטית הינה אינטואיטיבית ונוחה ליישום, אך בד בבד דורשת השקעה ארגונית.



## מאפייני גישת הפירוק ההיררכי

- פירוק היררכי של הבעיה (בד"כ, לשתי רמות):
  - רמה הראשונה – קביעת מועדי סיום של הפרויקטים והקצאת המשאבים.
  - רמה שנייה – זימון פעילויות עבור פרויקט בודד מאולץ משאבים.
- אנלוגיה לתהליך קבלת החלטות מבוזר:
  - הנהלה ← החלטות ארגוניות.
  - מנהל פרויקט ← החלטות תפעוליות עבור הפרויקט.
- הפרויקטים מתוארים כדטרמיניסטיים.
- פונקצית מטרה אופיינית – במימד הזמן או העלות.
- טכניקות הפתרון האופייניות: תכנות מתמטי, הסתעף וחסום.

# גישת הפירוק ההיררכי – מסקנות עיקריות ממחקרים

- חלוקת לרמות החלטה שונות ← כפי שמתבצע בד"כ במציאות.
- פחות מתאימה כאשר רמות אי הוודאות בינוניות-גבוהות.
- זמני פתרון ארוכים לבעיות מציאותיות ← צורך בשילוב היוריסטיקה.



## מאפייני גישת ניהול תהליך

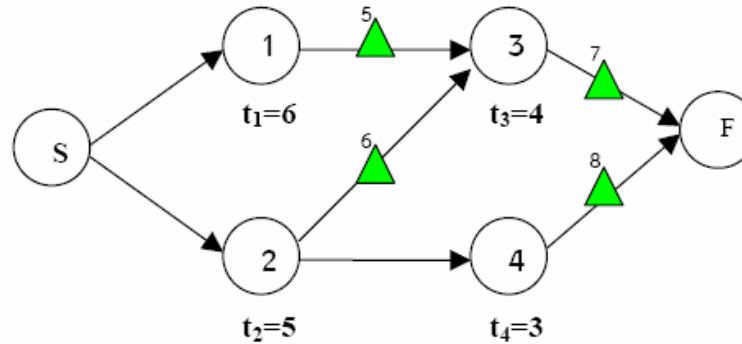
- הנחה שניתן לסווג את הפרויקטים לקבוצות ← פרויקטי פיתוח בתעשייה כימית Adler et al., 1995; פרויקטי אחזקת תוכנה Leung, 2002; סיווג כל הפרויקטים בארגון לאחת מ-4 קבוצות Griffin, 2002.
- הפרויקטים תלויים ← מבוצעים ע"י משאבים משותפים.
- התפלגות משכי פעילויות ידועה.
- הפרויקטים מגיעים למערכת באופן אקראי על פי תהליך ידוע.
- שימוש בתורת התורים ובסימולציה.
- נקודת מבט מערכתית.

פרויקט יחיד

# גישת ניהול תהליך – דוגמה\*

▲ Synchronization queue

דטרמיניסטי:



Critical path is S-1-3-F.  
Project Completion Time is 10 days.

10 ימים

סטוכסטי:

משך המתפלג מעריכית עם ממוצעים זהים מביא בממוצע לסיום פרויקט תוך כ- 13 ימים (סטיית תקן 7.4).

13 ימים

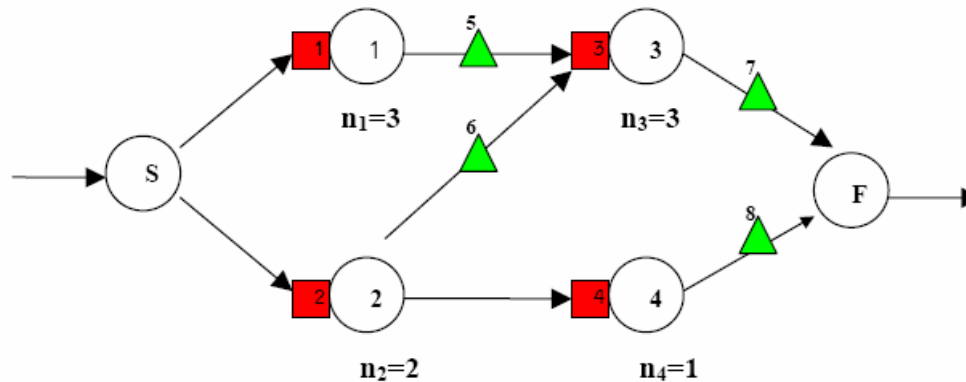
# גישת ניהול תהליך – המשך דוגמה

סטוכסטי, דינאמי

■ Resource queue (1-4).

▲ Synchronization queue (5-8).

- הגעה פואסונית (זמן בין הגעה אקספוננציאלי, ממוצע 3.5 ימים).
- שירות עפ"י FCFS.



משך ממוצע של פרויקט כ- 32 ימים (סטיית תקן כ- 21 ימים).

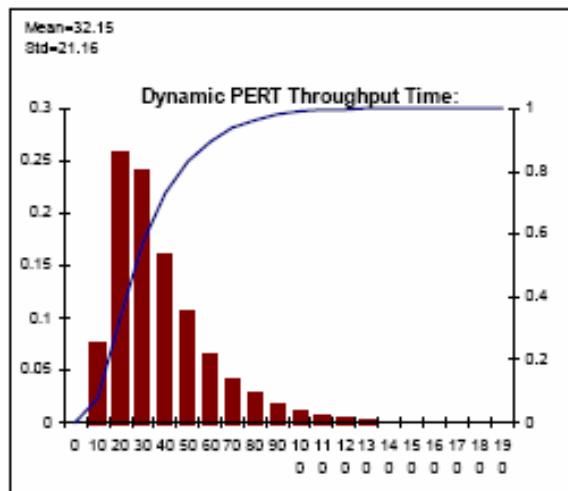
כ- 36% מהמשך הוא המתנה למשאבים וכ- 37% המתנה לסינכרון.

32 ימים

# ההבדלים בין סביבה מרובת פרויקטים לפרויקט יחיד – תחת אי וודאות

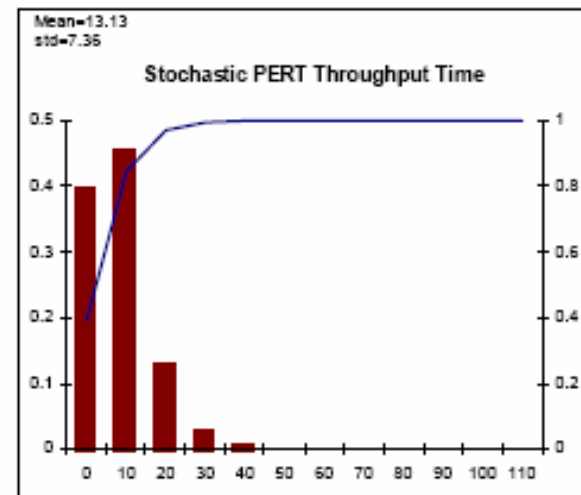
Mean=32.15 days.  
 Std=21.16. Half C.I.=1.5 (4.6% of the mean).  
 Time Profile: Processing time: 18 days (26.89%).  
 Waiting time: 24.204 days (36.16%).  
 Synchronization time: 24.731 days (36.95%).

**32 ימים**



Mean: 13.13 days.  
 Std: 7.36. Half C.I.: 0.095 (0.46% of the mean).

**13 ימים**



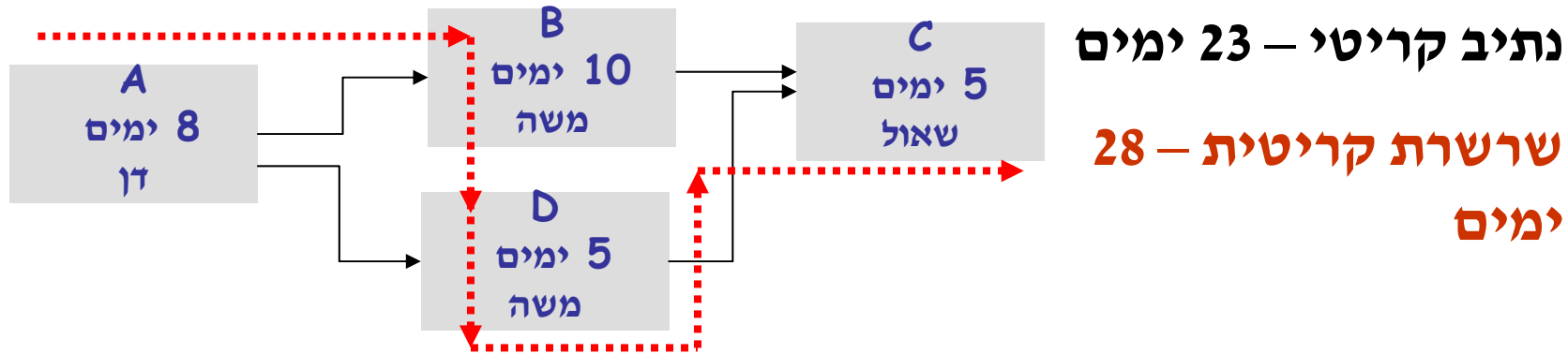
**ללא אי-וודאות – משך פרויקט 10 ימים**



# גישת השרשרת הקריטית – הגדרות

(Goldratt, 1997; Leach, 1999; Herroelen and Leus, 2001)

• שרשרת קריטית  $\equiv$  התחשבות באילוצי משאבים:



• באפר – מחסנית עם קיבולת מוגדרת אשר מאחסנת

”יחידות זמן”. בפרט, הפעילויות המתייחסות לבאפר

מסוים יכולות להתעכב בהתאם לקיבולת הפנויה של הבאפר

מבלי לעכב את מועד מסירת הפרויקט. למעשה, באפר הוא

מרווח חופשי של זמן המוסף במהלך תכנון.

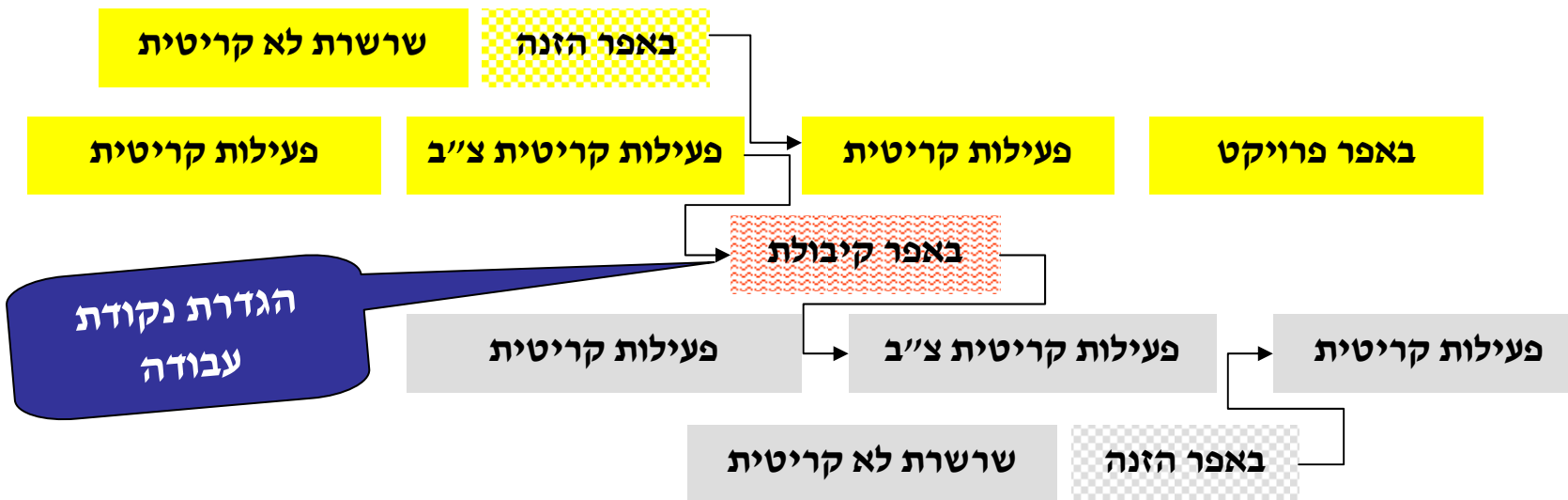
# גישת השרשרת הקריטית – הגדרות (המשך)

(Goldratt, 1997; Leach, 1999; Herroelen and Leus, 2001)

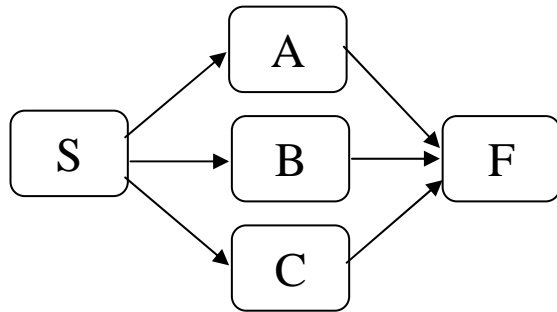


- צוואר בקבוק – המשאב המאלץ ביותר.

- מדרוג פרויקטים עפ"י משאב צוואר הבקבוק.



## השפעת אי הוודאות



| פעילות    | A                           | B | C |
|-----------|-----------------------------|---|---|
| משך ממוצע | 3                           | 4 | 5 |
| התפלגות   | 3<br>1 w.p 0.5<br>9 w.p 0.5 | 4 |   |

- משך פרויקט דטרמיניסטי: 5.
- תחת אי וודאות, משך הפרויקט הממוצע: 6.5.

$$E(\max(x_1, x_2, x_3)) \geq \max(E(x_1, x_2, x_3))$$

$$E(\max(x_1, x_2, x_3)) = 0.5 * \max(3,4,1) + 0.5 * \max(3,4,9) = 0.5 * 4 + 0.5 * 9 = 6.5$$

$$\max(E(x_1, x_2, x_3)) = \max(3,4,5) = 5$$

