

# תכנון תחבורה ציבורית מבוסס נתוני עתק ובינה מלאכותית – לקראת שינוי פרדיגמה

ערן בן-אליא



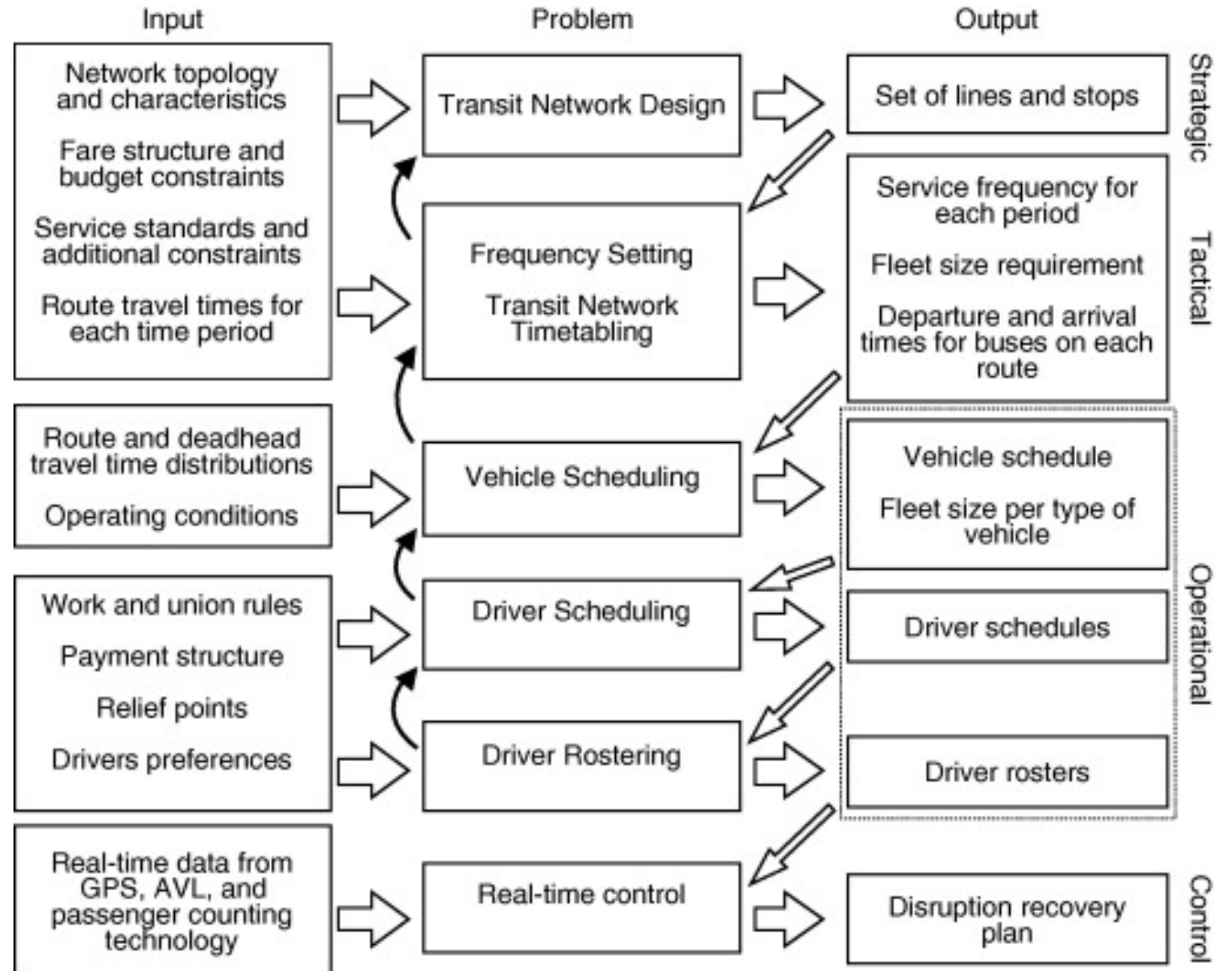
## מצוי

מכון שלמה שמלצר לתחבורה חכמה, אתגרי תכנון התחבורה הציבורית - מצוי, רצוי ומה  
שביניהם - ערן בן-אליא 03/02/2025



# תהליך התכנון הקונבנציונלי

Ibarra-Rojas, O. J., Delgado, F., Giesen, R., & Muñoz, J. C. (2015). Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. *Transportation Research Part B: Methodological*, 77, 38-75.





## רצוי

מכון שלמה שמלצר לתחבורה חכמה: אתגר תכנון התחבורה הציבורית - מצוי, רצוי ומה שביניהם - ערן בן-אלי, 03/02/2025





# Human Transit

Revised Edition

JARRETT WALKER



<https://humantransit.org/about>

<https://www.youtube.com/watch?v=BzRFSHrIN5w>



# שבעת העקרונות של תכנון תחבורה ציבורית אנושית לפי ווקר:

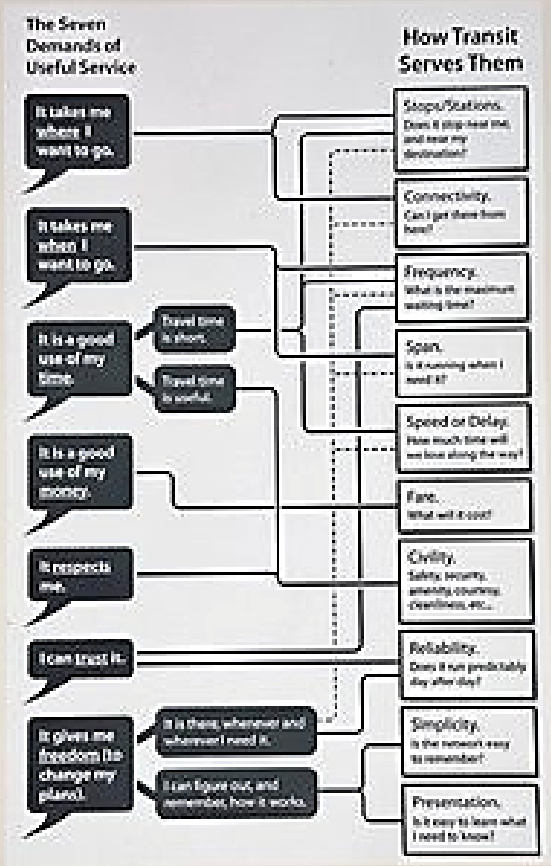


Figure 2-1 Seven desires for useful transit, and how transit serves them. Credit: Eric Orazco

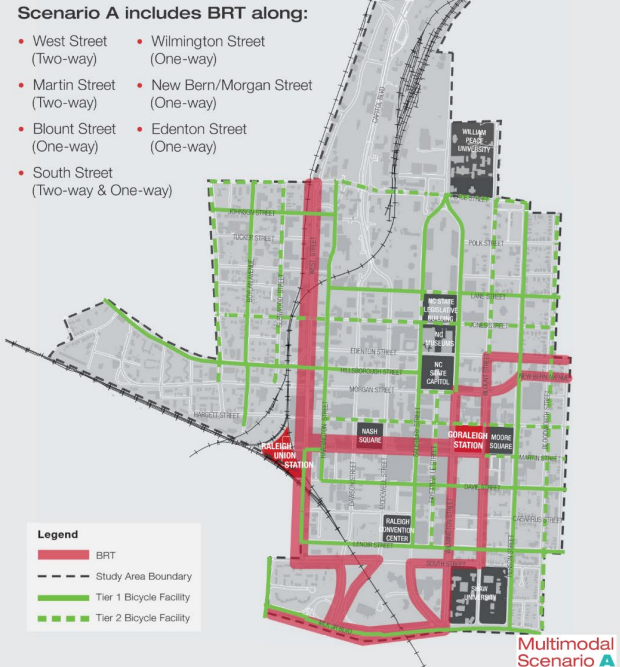
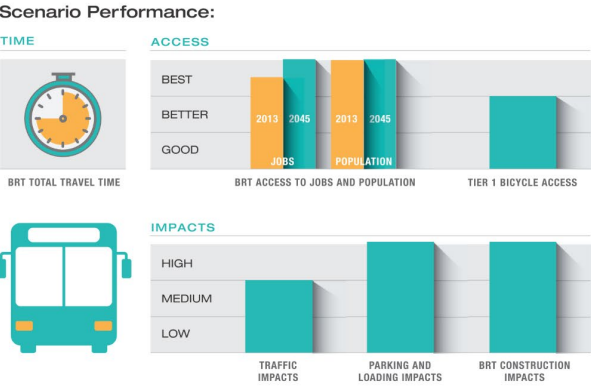
| דרישת הנוסע<br>מתחב"צ              | כיצד תחב"צ משרתת את הנוסע                                                                                            | עקרונות תכנון                                                                  |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| צרכים / רצונות                     | למה המתכנן צריך להתייחס                                                                                              |                                                                                |
| 1 לוקחת אותי לאן שאני צריך         | <ul style="list-style-type: none"> <li>האם יש תחנה סמוכה?</li> <li>האם אוכל להגיע מכאן?</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>תחנות</li> <li>קישוריות/קוים</li> </ul> |
| 2 לוקחת אותי מתי שאני צריך         | <ul style="list-style-type: none"> <li>כמה זמן אאלץ להמתין?</li> </ul>                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>תדירות</li> </ul>                       |
| 3 שימוש מיטבי של הזמן שלי          | <ul style="list-style-type: none"> <li>האם היא תפעל כשאצטרך?</li> <li>כמה זמן אבזבז בדרך?</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>משך פעולה</li> <li>מהירות</li> </ul>    |
| 4 שימוש מיטבי בכסף שלי             | <ul style="list-style-type: none"> <li>כמה זה יעלה לי?</li> </ul>                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>תעריפים</li> </ul>                      |
| 5 מכבדת אותי                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>בטחון, בטיחות, נקיון, אדיבות</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>איכות השירות</li> </ul>                 |
| 6 אני יכול לסמוך עליה              | <ul style="list-style-type: none"> <li>האם השירות אמין, מגיע בזמן?</li> </ul>                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>אמינות</li> </ul>                       |
| 7 נותנת לי חופש לשנות את תוכניותיי | <ul style="list-style-type: none"> <li>האם היא קיימת מתי ולכן שאני צריך?</li> <li>האם קל ללמוד את המערכת?</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>פשטות הרשת</li> <li>תצוגה</li> </ul>    |



**Description:**  
This scenario provides the most access to the entirety of Downtown and serves both the West and East sides of Downtown. Bus Rapid Transit (BRT) in Scenario A will have direct access to both the GoRaleigh Station and new Raleigh Union Station. While Scenario A provides the most access to Downtown amenities, it is also the most impactful to current on-street parking and loading zones and requires the most construction impacts. Scenario A provides access to the most future jobs and population.

**Key Facts for Scenario A:**

- Requires completion of West Street Extension Project from Davie Street to Cabarrus Street
- Requires the most construction impacts
- Direct access via BRT to GoRaleigh Station and Raleigh Union Station
- Converts Martin Street to one-way eastbound general purpose traffic and two-way BRT operation
- Contrailflow BRT along Martin Street requires diversion of existing westbound traffic to adjacent streets such as Hargett Street and Davie Street, increasing traffic on those streets up to 24%.



**Description:**  
This scenario predominately serves the East side of Downtown and will provide direct access to GoRaleigh Station. To access the new Raleigh Union Station, BRT customers will need to take a circulator bus or walk approximately 5 blocks from GoRaleigh Station. Scenario B provides the most access to existing jobs, and has moderate impacts to current on-street parking and loading zones.

**Key Facts for Scenario B:**

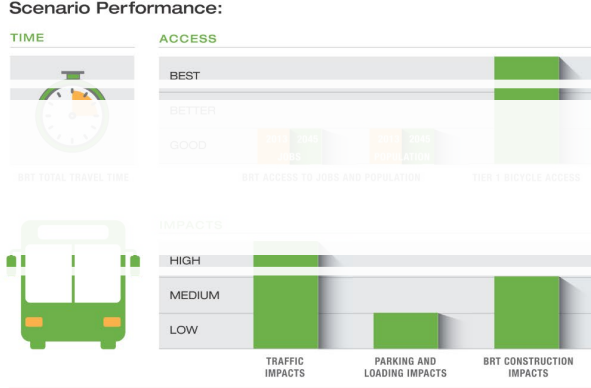
- Requires minimal construction impacts
- Provides direct access to GoRaleigh Station
- Access to Raleigh Union Station requires customers to walk or transfer to a circulator bus
- Traffic impacts are low since BRT in this scenario runs on lower volume streets, resulting in less operational issues



**Description:**  
This scenario serves the core of Downtown, but does not provide direct access to GoRaleigh Station or the new Raleigh Union Station. To access either, BRT customers will need to take a circulator bus or walk approximately 2.5 blocks to either station. Scenario C is the least impactful to current on-street parking and loading zones, but has the greatest impact on traffic along Downtown's most heavily traveled corridors. This scenario provides the least access to jobs and population.

**Key Facts for Scenario C:**

- Requires minimal construction impacts
- No direct access via BRT to GoRaleigh Station or Raleigh Union Station
- Access to GoRaleigh and Raleigh Union Station requires customers to walk or transfer to a circulator bus
- Traffic impacts are high due to the reduction in general purpose lanes to accommodate BRT along major corridors
- Operates with the fastest BRT service into and out of Downtown



**Description:**  
This scenario blends scenario B and scenario C and provides coverage in both the core and southeast of Downtown, and direct access to GoRaleigh Station. To access the new Raleigh Union Station, BRT customers will need to take a circulator bus or walk approximately 5 blocks from GoRaleigh Station. Traffic impacts are moderate and largely related to impacts to large traffic volumes on Dawson and McDowell Streets.

**Key Facts for Scenario D:**

- Requires minimal construction impacts
- Direct access via BRT to GoRaleigh Station
- Access to Raleigh Union Station requires customers to walk or transfer to a circulator bus
- Traffic impacts are moderate, since this scenario affects both lower volume intersections and some major street intersections



# נתוני עתק

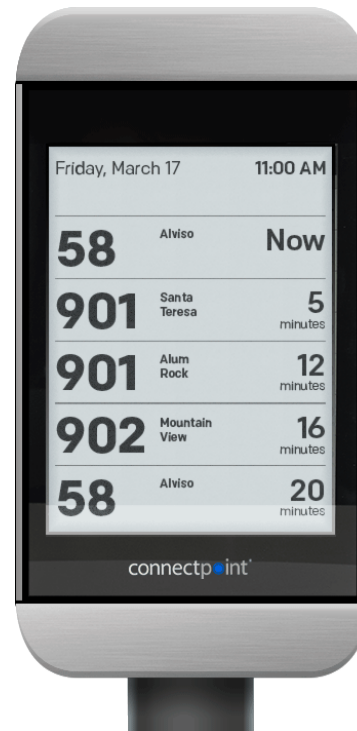
מכון שלמה שמלצר לתחבורה חכמה, אתגרי תכנון התחבורה היבזורית - מצוי, רצוי אדמה שביניהם - ערן בן-אליא 03/02/2025



# מקורות מידע בתחב"צ

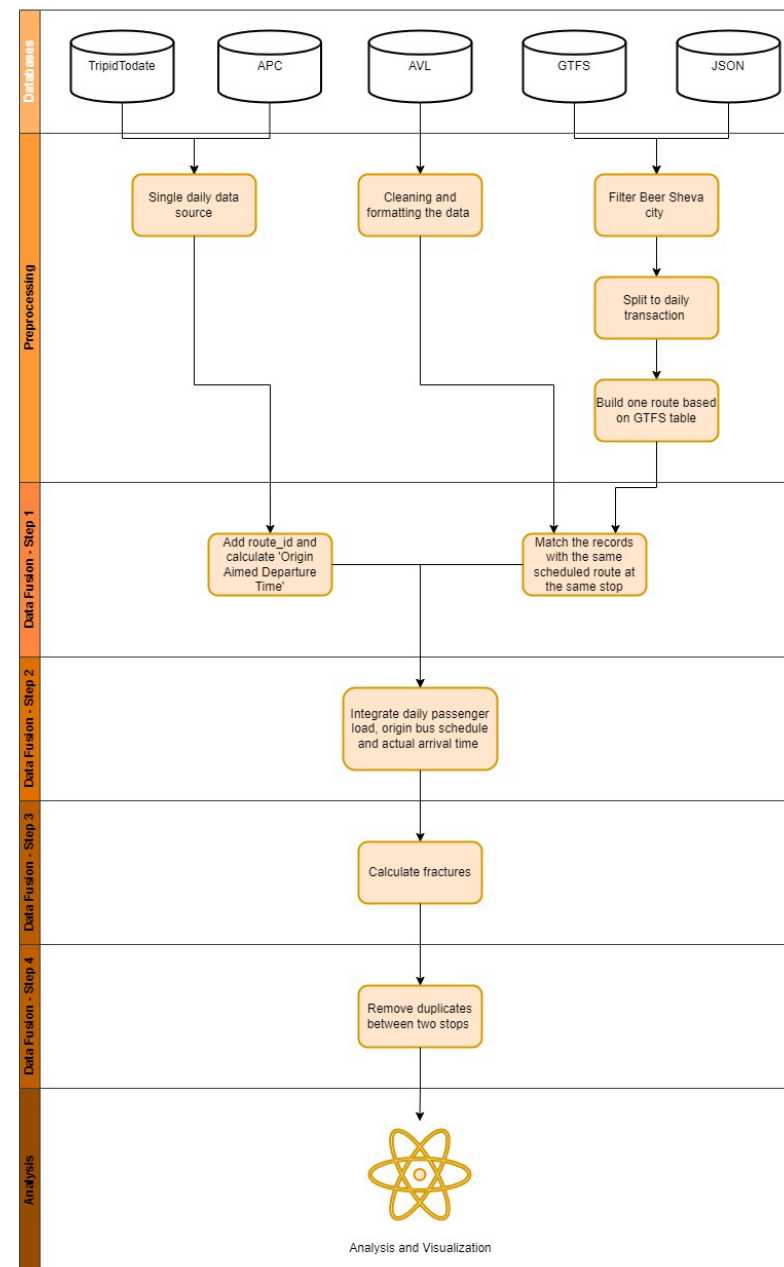
| מקור מידע        | מה מספק                         | זמינות   | בעיות                                                                                  |
|------------------|---------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| GTFS             | מסלולים, תחנות, לוחות זמנים     | און ליין | תקף לשבועיים                                                                           |
| SIRI             | זמני הגעה / מהירות              | API      | קשה לאגירה                                                                             |
| ספירות אוטומטיות | מספרי עולים/יורדים              | אוף ליין | דיוק                                                                                   |
| מסלקה            | תיקופי נוסעים ברב-קו ואפליקציות | אוף ליין | <ul style="list-style-type: none"> <li>רק עליות (למעט רכבת)</li> <li>פרטיות</li> </ul> |

- עומדים בקריטריונים של ה-4Vs, של נתוני עתק: Volume, Velocity, Variety, Veracity



# אתגרים: אינטגרציה ואינטגריטי של מידע

- מגוון גדול של נתונים ברזולוציות זמן ומרחב משתנים.
- אינטגרציה בין בסיסי הנתונים בעלי נפח נתונים ותדירות רענון שונה.
- אמינות הנתונים.
- אובדן מידע בתהליך האיחוד.





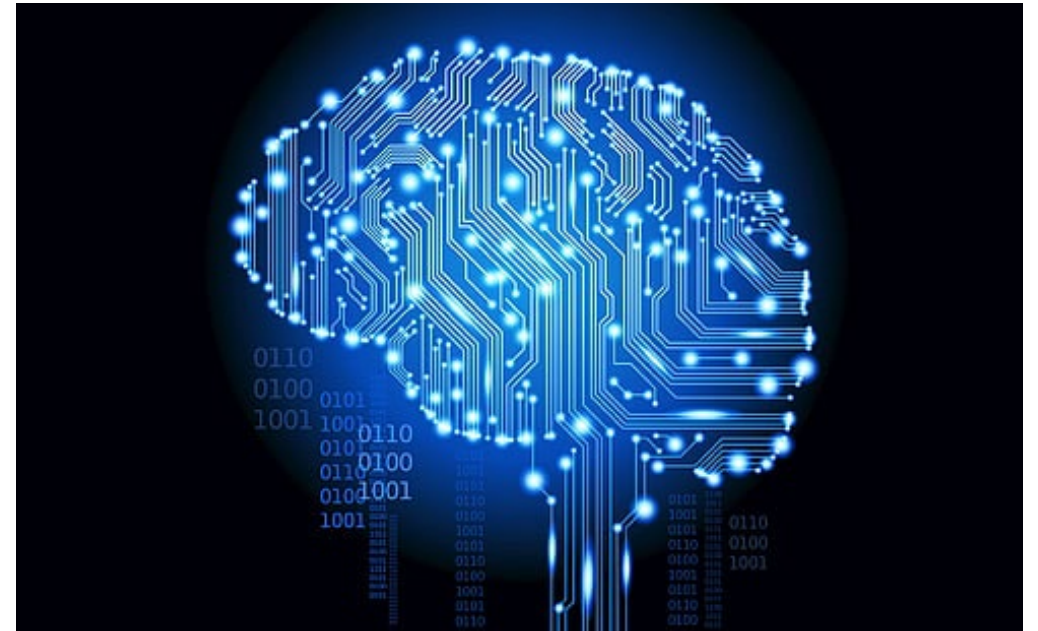
# AI

מכון שלמה שמלצר לתחבורה חכמה, אתגרי תכנון התחבורה הציבורית - מצוי, רעיון ומה  
שביניהם - ערן בן-אליא 03/02/2025



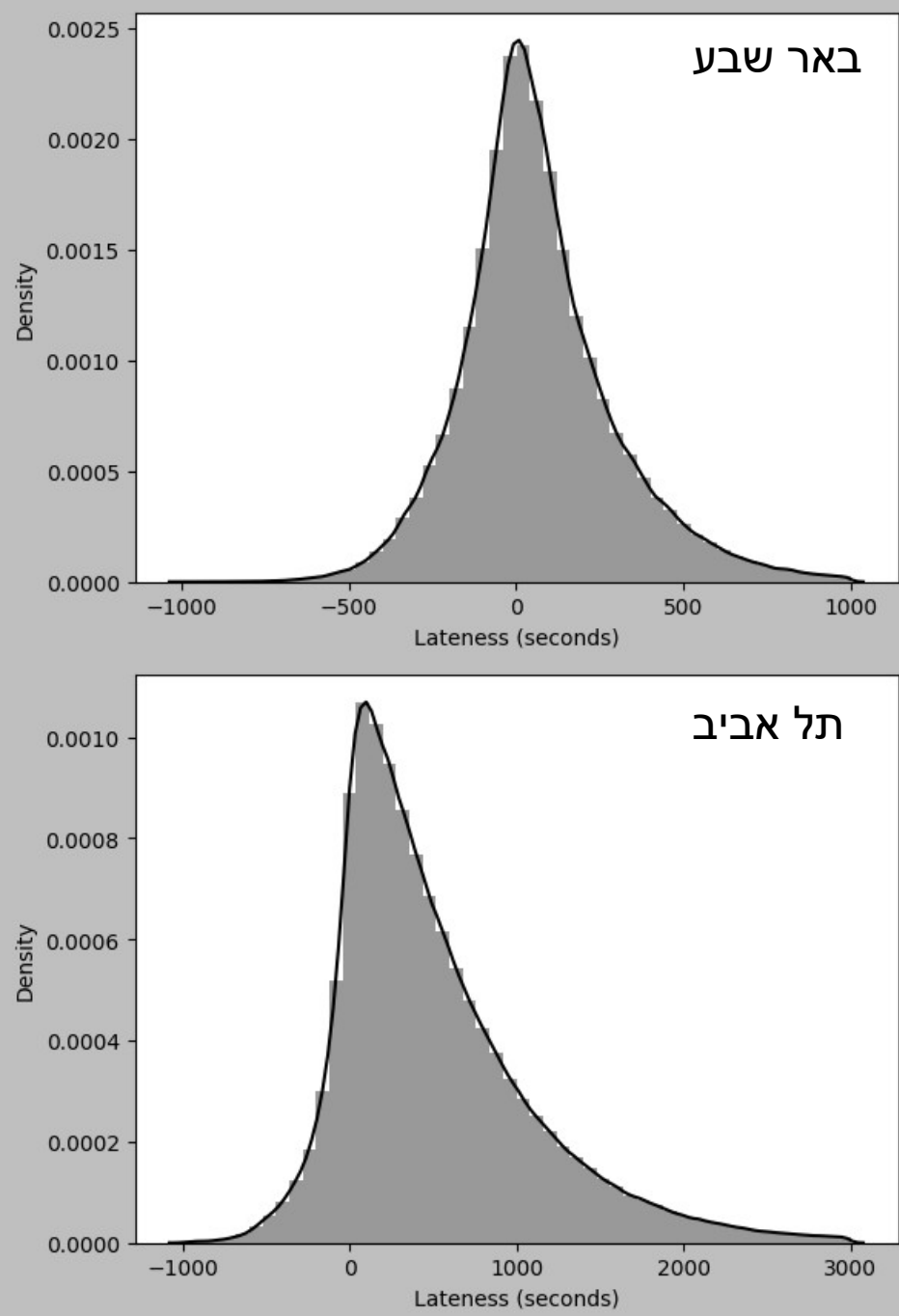
# למה צריך מודל בינה מלאכותית?

- ניבוי של דפוסים מורכבים – Complex Pattern prediction.
- היעדר תיאוריה – הנתונים מדברים בעד עצמם, גישה אינדוקטיבית.
- נתונים ברמת אוכלוסייה או מדגמים גדולים מאוד – Ground Truth – מה עושים אם הכל מובהק סטטיסטית?
- מגוון של משתנים מסבירים (Features).
- נהוג לאמן את המודל על סט אימון של נתונים (Train) ולבחון את טיב החיזוי על סט אחר של נתונים (Test).
- מגוון של אלגוריתמים לאמידת המודל.



# ניתוח עיכובים

- חודש מייצג של תיקופי מסלקה ונתוני GTFS מקבילים.
- העיכוב מחושב לפי ההפרש בין זמן מתוכנן לבין הזמן המתקף, לכל נסיעה ונסיעה ובכל תחנה.
- אתגר בשילוב מידע ברמת נוסעים למידע ברמת נסיעות אוטובוס.
- חישוב התפלגות העיכובים (הקדמות ואיחורים) בבאר שבע ותל אביב מציג תמונה מעניינת של השפעת הגודש.



Shalit, N., Fire, M., & Ben-Elia, E. (2023). A supervised machine learning model for imputing missing boarding stops in smart card data. *Public Transport*, 15(2), 287-319.

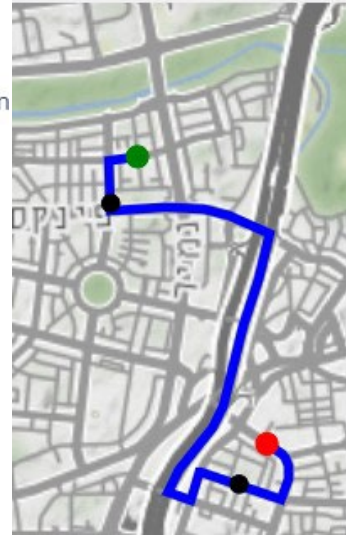


# שיפור מסלולים

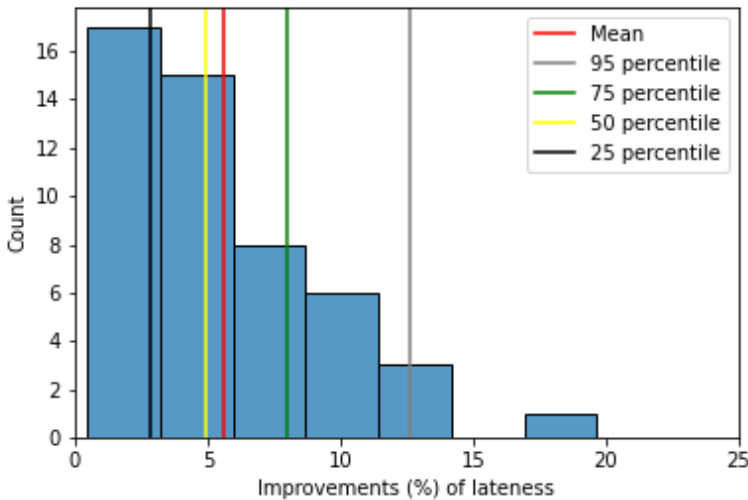
- מודל תומך החלטות לזיהוי קווים הדורשים שיפור מסלול.
- חיזוי המסלול הקצר ביותר, ללא שינוי בתחנות, על בסיס מזעור העיכובים.
- למידה עמוקה על בסיס, אורך הקו, מספר הרמזורים, טרמינלים, תחנות דלק וחניות.
- מספר קטן יחסית של קווים דורשים התייחסות (סף מעל אחוזון מסוים).
- בדוגמה, קו שהשתפר ב-10%.



Path  
Source  
Destination



Path  
Source  
Destination

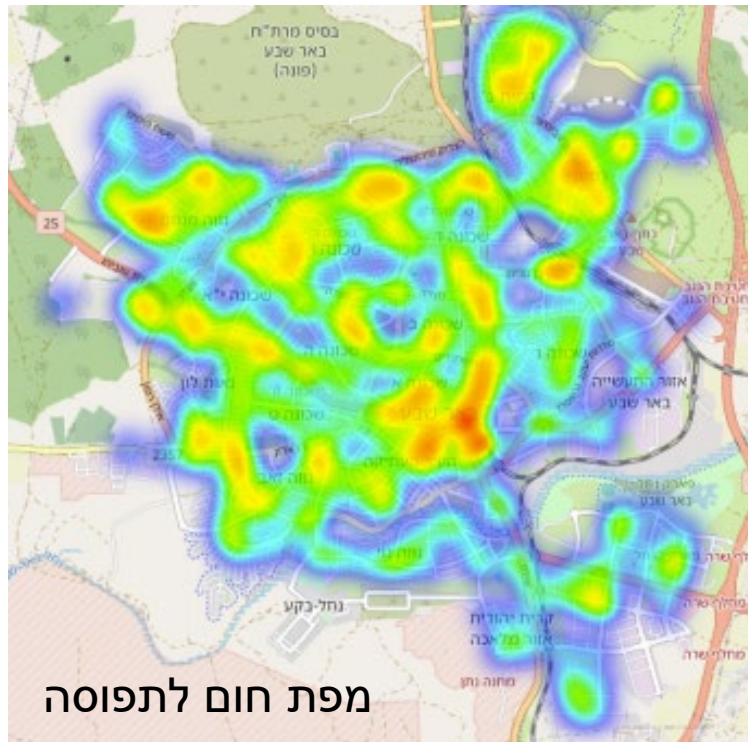


| Route 11900                     | Original | Proposed |
|---------------------------------|----------|----------|
| Length (meters)                 | 4418     | 4666     |
| Number of traffic lights        | 12       | 8        |
| Number of PT terminals          | 0        | 0        |
| Number of petrol stations       | 0        | 0        |
| Number of public parking spots  | 3        | 1        |
| Number of private parking spots | 29       | 27       |

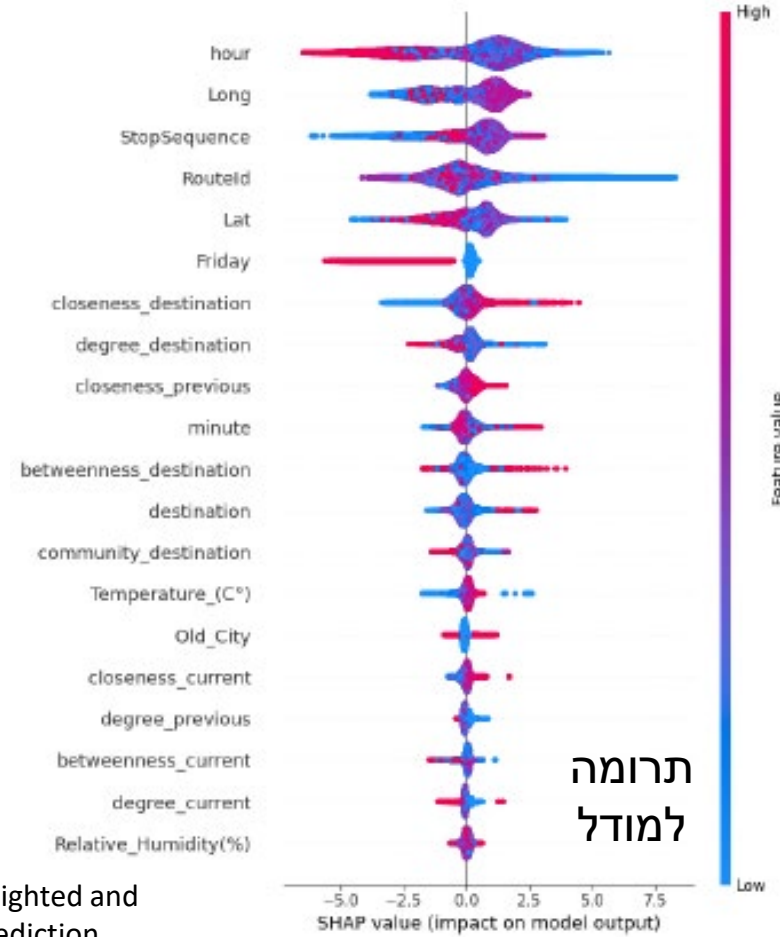
Shalit, N., Fire, M., Kagan, D., & Ben-Elia, E. (2023). Short Run Transit Route Planning Decision Support System Using a Deep Learning-Based Weighted Graph. *arXiv preprint arXiv:2308.12828*.



# חיזוי תפוסה באוטובוסים



Daniel Azenkot, Comparative Analysis of Geographically Weighted and Traditional Machine Learning Models for Bus Occupancy Prediction, Working Paper Draft.

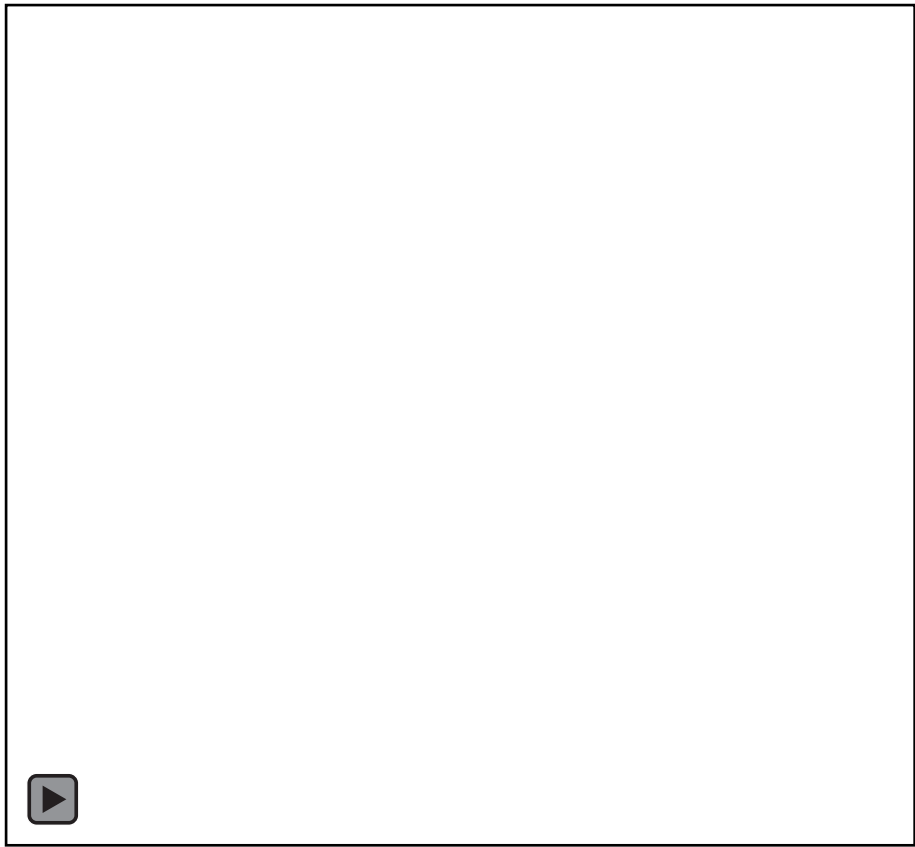


- חיזוי תפוסה (נוסעים ממשיכים) בקווי אוטובוס בבאר שבע במהלך שני חודשים מייצגים לחורף וקיץ.
- מאפשר תכנון יותר יעיל של צי האוטובוסים ותדירות הקווים.
- נתוני קלט - ספירות אוטומטיות בדלתות ומשתנים מסבירים שונים.
- פלט – תפוסה בכל קו בתקופות יום שונות.



# זיהוי תחנות דלילות

- זיהוי תחנות דלילות בתנועת נוסעים (עולים+יורדים) שניתן לדלג כדי לקצר זמן נסיעה בקו.
- מציאת ערך סף לדילול תחנה על בסיס:
  - תנועת נוסעים,
  - עיכוב בקו,
  - יום בשבוע.



| Route ID | Morning | Noon | Evening |
|----------|---------|------|---------|
| 16607    | N/A     | 3    | 0       |
| 18751    | 0       | 0    | 0       |
| 8230     | 3       | 4    | N/A     |
| 10846    | N/A     | N/A  | 3       |

Yifat Yolles Amit, Using Artificial Intelligence For Improving Israeli Public Transportation, M.Sc Thesis, Ben-Gurion University





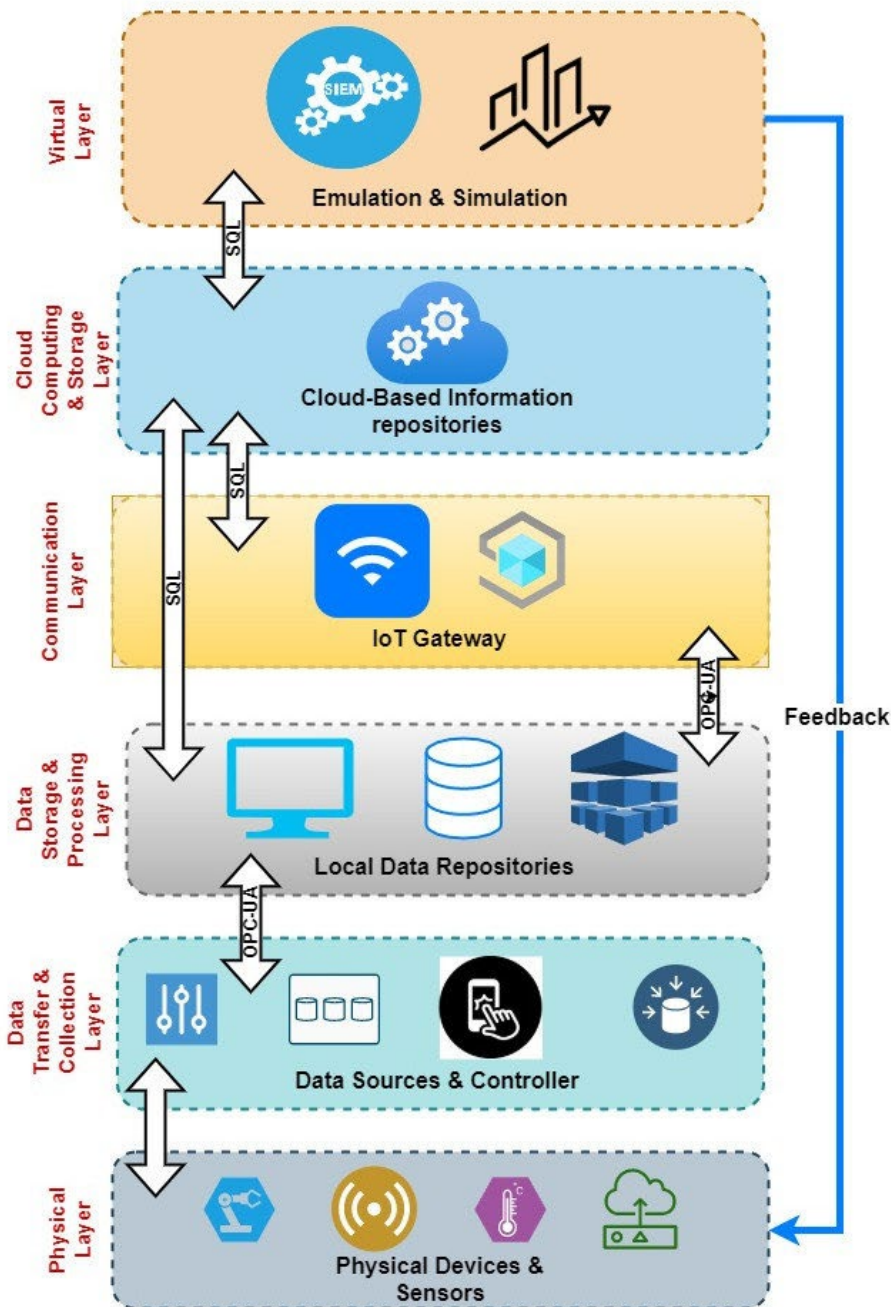
# תאום דיגיטלי

מכון שלמה שמלצר לתחבורה חכמה, אתגרי תכנון התחבורה הציבורית - מצוי, רצוי ומה  
שביניהם - ערן בן-אליא 03/02/2025

# תאום דיגיטלי לתחב"צ

- אינטגרציה של כלל בסיסי הנתונים הקיימים בענף.
- יצירת ממשק (דש בורד), המאפשר ניטור ותשואל בזמ"א של כל מרכיב במערכת.
- התראות בזמ"א על חריגות מתפעול תקין.
- אפשרות לסימולציה וחקירה בזמ"א, מקרים ותגובות.
- אופטימיזציה.

• דוגמה משוויץ: <https://csfm.ethz.ch/en/research/integrative-projects/digital-twin.html>



משרד המדע,  
הטכנולוגיה והחלל  
Ministry of Science, Technology & Space



DATA FOR GOOD LAB



אוניברסיטת בן-גוריון בנגב  
Ben-Gurion University of the Negev



משרד התחבורה  
והבטיחות בדרכים



הרשות הארצית  
לתחבורה ציבורית



THE ISRAELI SMART  
TRANSPORTATION  
RESEARCH CENTER

תודות! שאלות?

[benelia@bgu.ac.il](mailto:benelia@bgu.ac.il)