

מטרו גוש דן

המחקר הכלכלי, סיכונים והשפעות
מערכת המטרו

ניר שרב

ראש צוות התוכנית האסטרטגית

Yossi Berechman

The Marvin Kristein Professor of Economics, Department of Economics and Business - The City
College of New York, CUNY

החזון לתנועה עירונית



התנועה

הבטחת נגישות וניידות טובה לכל האוכלוסייה באופן מכבד, יעיל, ואמין



המרחב

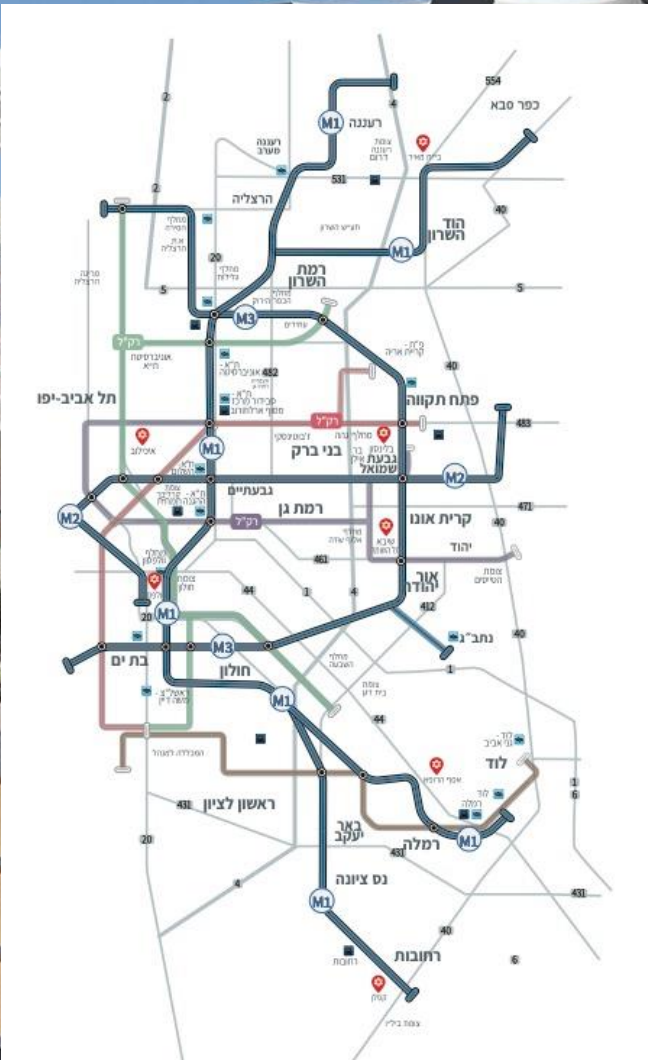
יצירת ניידות וסביבה אורבנית איכותית, ירוקה ובטוחה, אשר מתאימה לצרכי החיים של התושבים.



האדם

שיפור איכות חיי התושבים: נגישות, בטיחות, בריאות, רווחה, ושוויון הזדמנויות.

התכנית האסטרטגית ומערכת המטרו



מערכת רב אמצעית אינטגרטיבית

- רכבת מהירה
- רכבת פרברית
- **מטרו ורכבת קלה**
- רשת דרכים ושירות אוטובוסים
- הליכה ורכיבה בעיר
- מדיניות תומכת

bikes

trams

trains

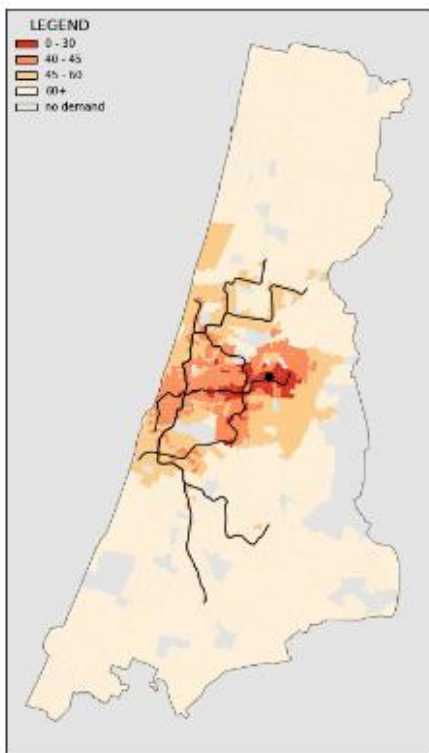
שיפור מהותי בפוטנציאל הנגישות בכל האזורים אליהם מגיע המטרו

שיפור בנגישות - כפר סבא ופתח תקווה

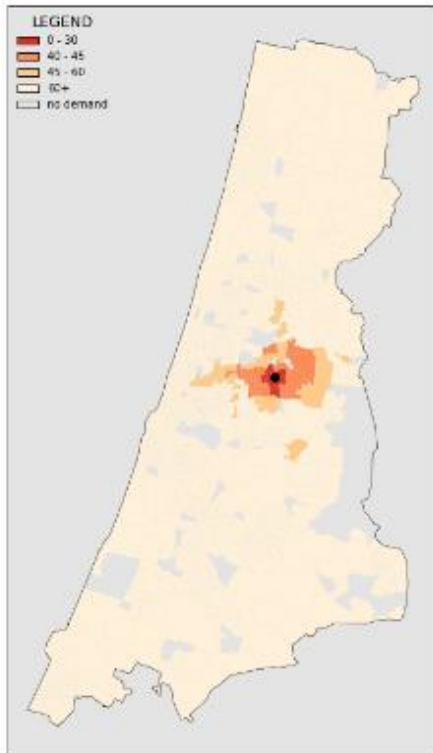
פתח תקווה

כפר סבא

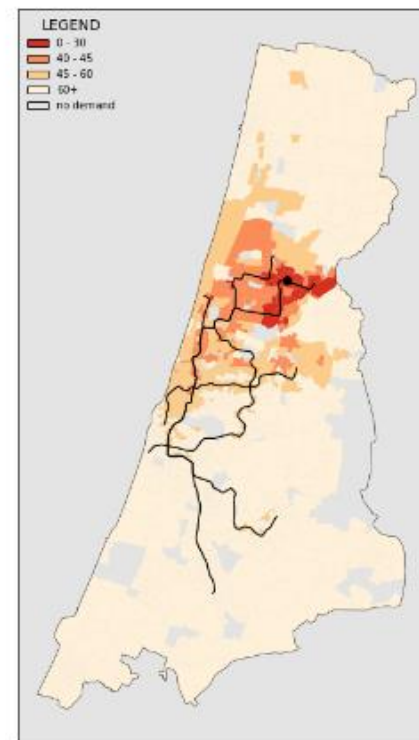
Accessibility from Petah Tikva
Scenario 4111, period - am
Based on door-to-door transit time



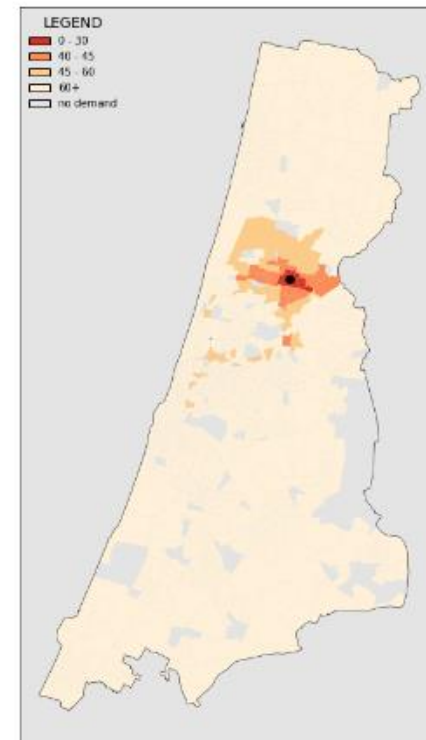
Accessibility from Petah Tikva
Scenario 1941, period - am
Based on door-to-door transit time



Accessibility from Kfar Saba
Scenario 4111, period - am
Based on door-to-door transit time



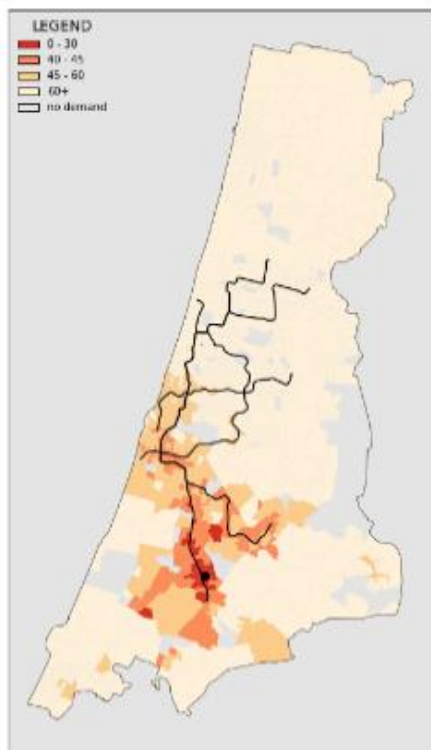
Accessibility from Kfar Saba
Scenario 1941, period - am
Based on door-to-door transit time



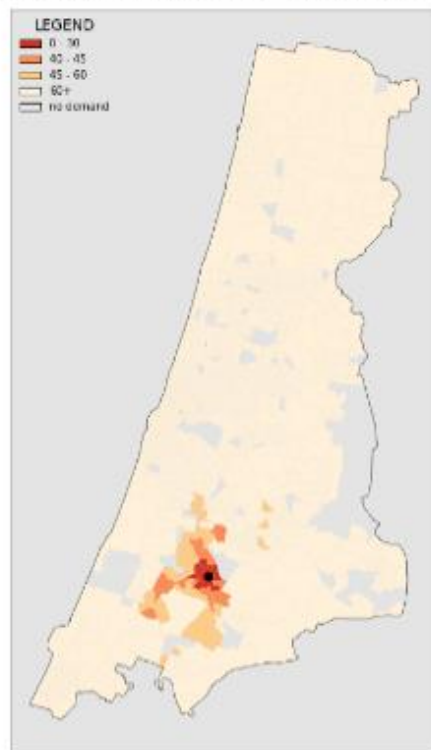
שיפור מהותי בפוטנציאל הנגישות בכל האזורים אליהם מגיע המטרו

רחובות

Accessibility from Rehovot
Scenario 4111, period - am
Based on door-to-door transit time



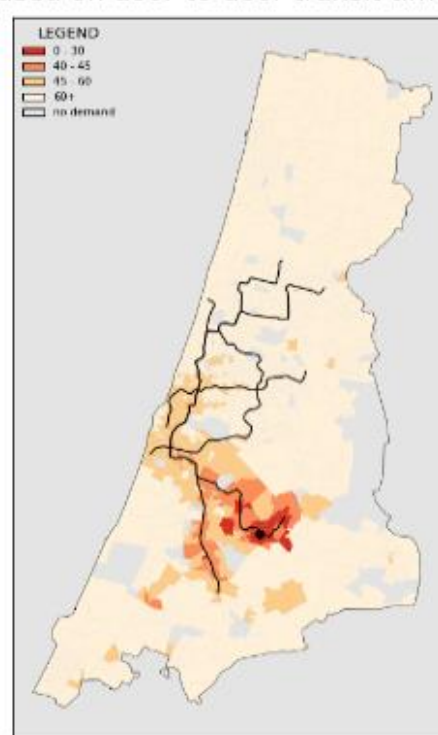
Accessibility from Rehovot
Scenario 1941, period - am
Based on door-to-door transit time



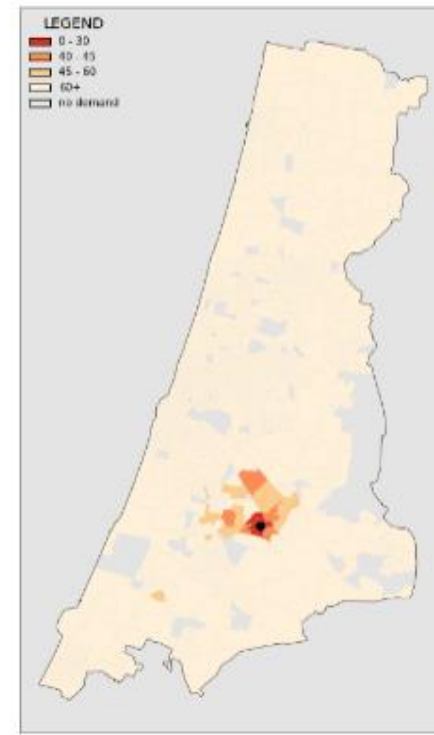
שיפור בנגישות – רמלה ורחובות

רמלה

Accessibility from Ramle
Scenario 4111, period - am
Based on door-to-door transit time



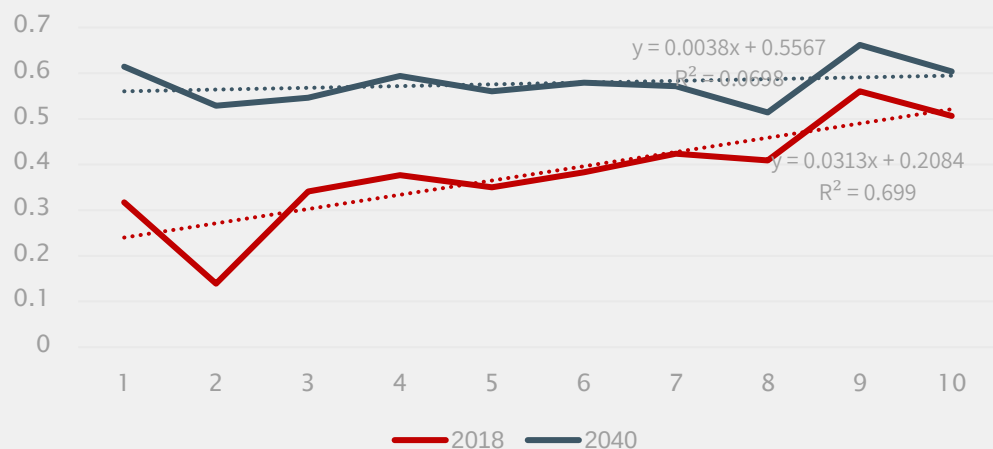
Accessibility from Ramle
Scenario 1941, period - am
Based on door-to-door transit time



נגישות ושוויוניות

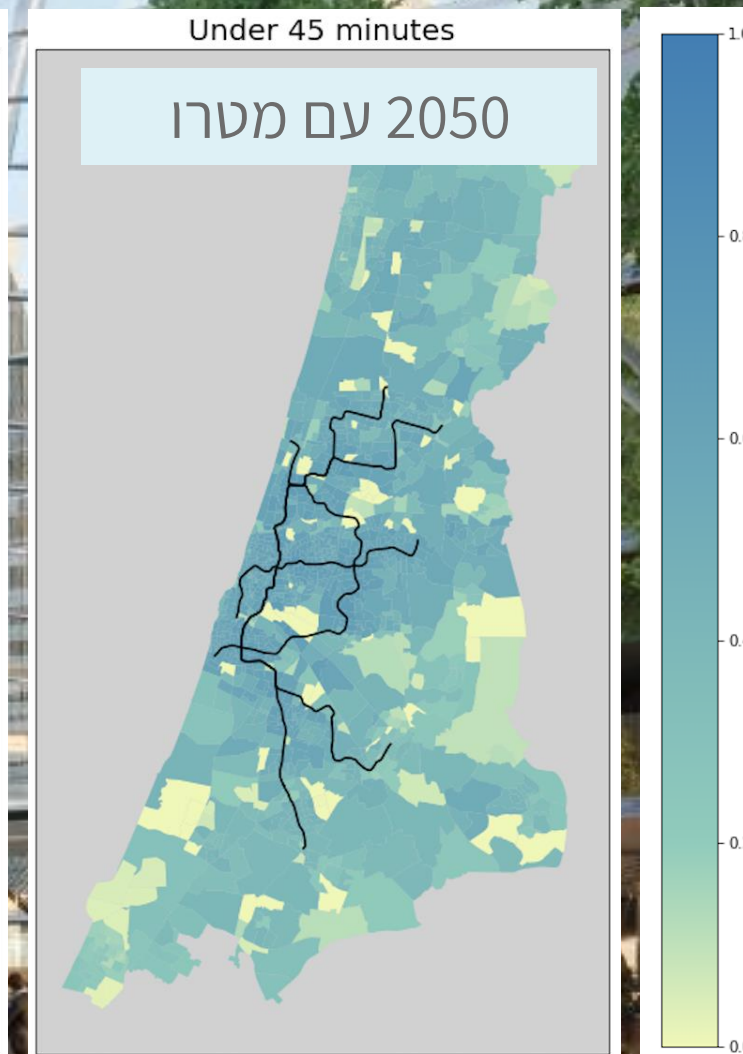
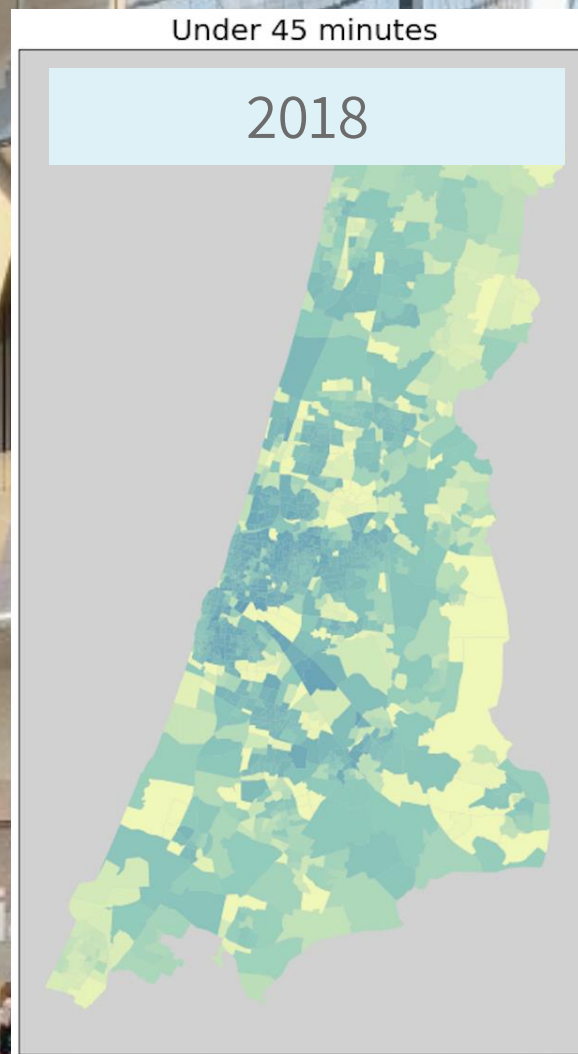
המטרו משפר את השוויוניות:
הנגישות של כולם משתפרת כאשר זו של
העשירונים התחתונים משתפרת יותר

נגישות* לפי אשכולות סוציו-אקונומים ע"פ הלמ"ס
כיום, וב-2040 עם מערכת מתע"ן



אחוז מקומות במרחב שניתן להגיע אליהם ב 45 דקות מכל אזור, כל האמצעים

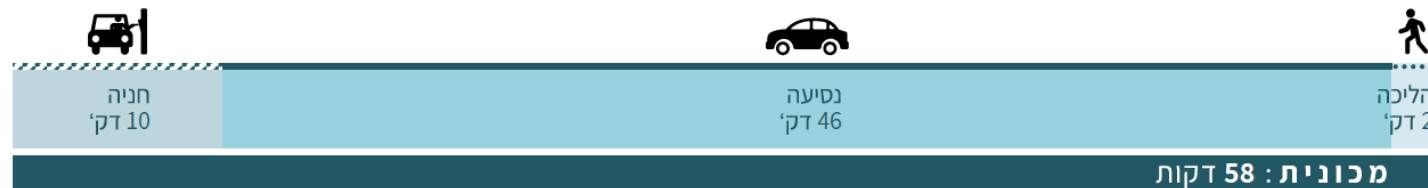
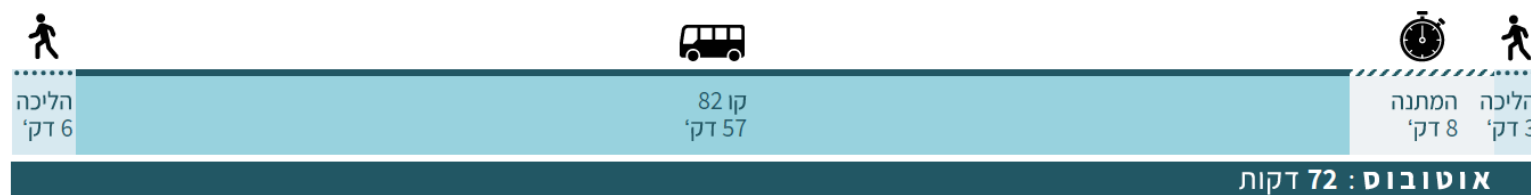
Sydney Metro, 2017



אחוז מקומות עבודה במרחב שניתן להגיע אליהם ב 45 דקות מכל אזור, תח"צ

מקור: הרצות התוכנית האסטרטגית במודל תל אביב

מטרו – שיפור זמני נסיעה



35-50%

שיפור בזמני הנסיעה

תועלות עירוניות



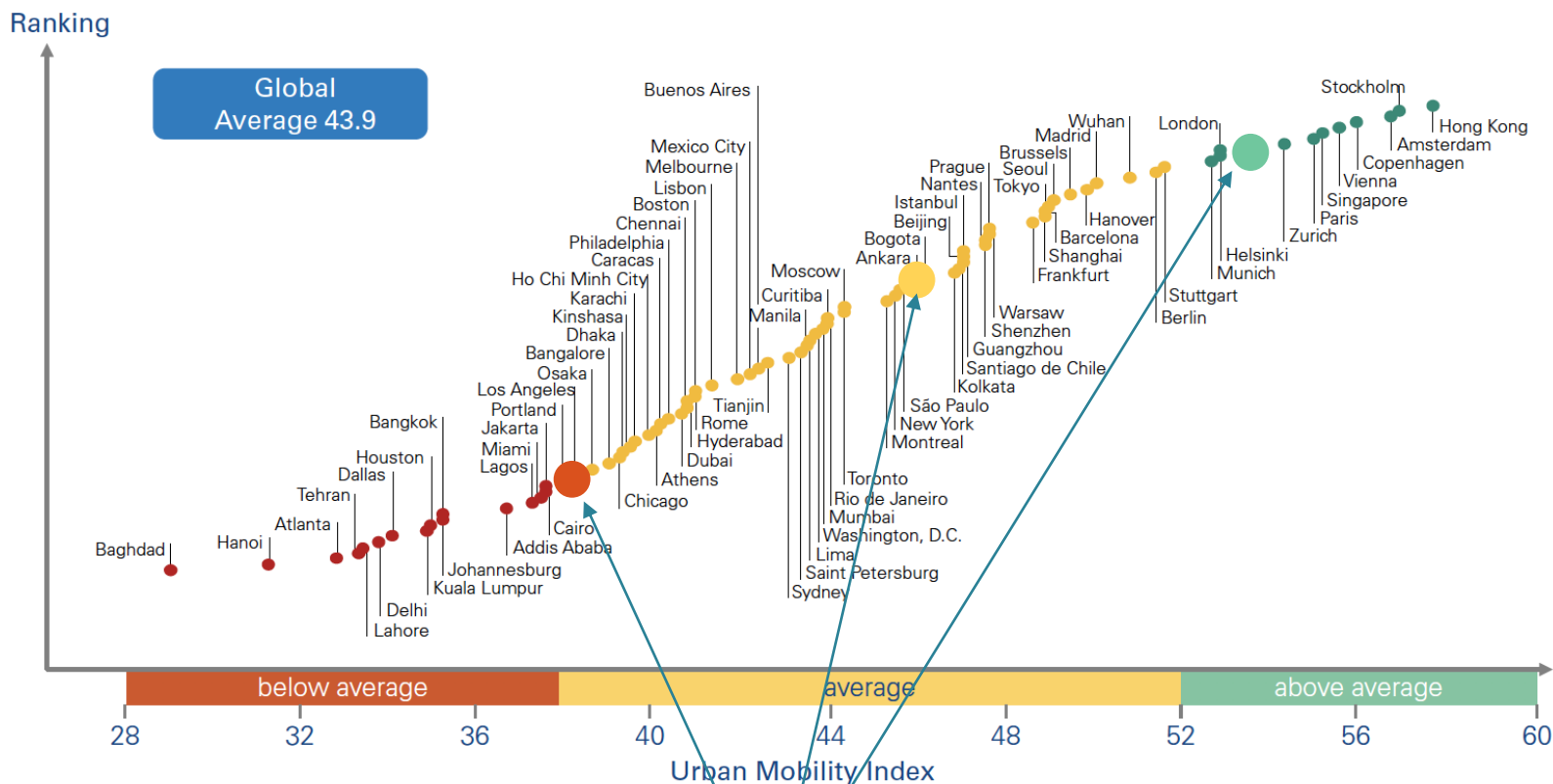
ניו יורק – אחרי
350 אלף הולכי רגל ביום



ניו יורק - לפני
35 אלף רכבים ביום

תחרותיות בינלאומית

Figure 6: Arthur D. Little' Urban Mobility Index 2.0



איפה ישראל רוצה להיות?



הערכה כלכלית

התועלות חושבו בהתאם להנחיות **נוהל פר"ת 2020**.
בנוסף, המחקר מסתמך על מראי מקום ברי סמכה
בינלאומיים להערכת השקעות בתחבורה.

The Evaluation of Transport Investment Projects (Berechman, 2009)

Handbook on the external costs of transport , European Commission, 2019

Victoria Transport Institute (Litman 2019)

Harmonized European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (Heatco, 2005)

European Conference of Ministers of Transport (ECMT, 2003)

ניתוח סיכונים בהערכה הכלכלית

$$RISK \left[\frac{Consequence}{Time} \right] = LIKELIHOOD \left[\frac{Event}{Time} \right] \times IMPACT \left[\frac{Consequence}{Event} \right]$$

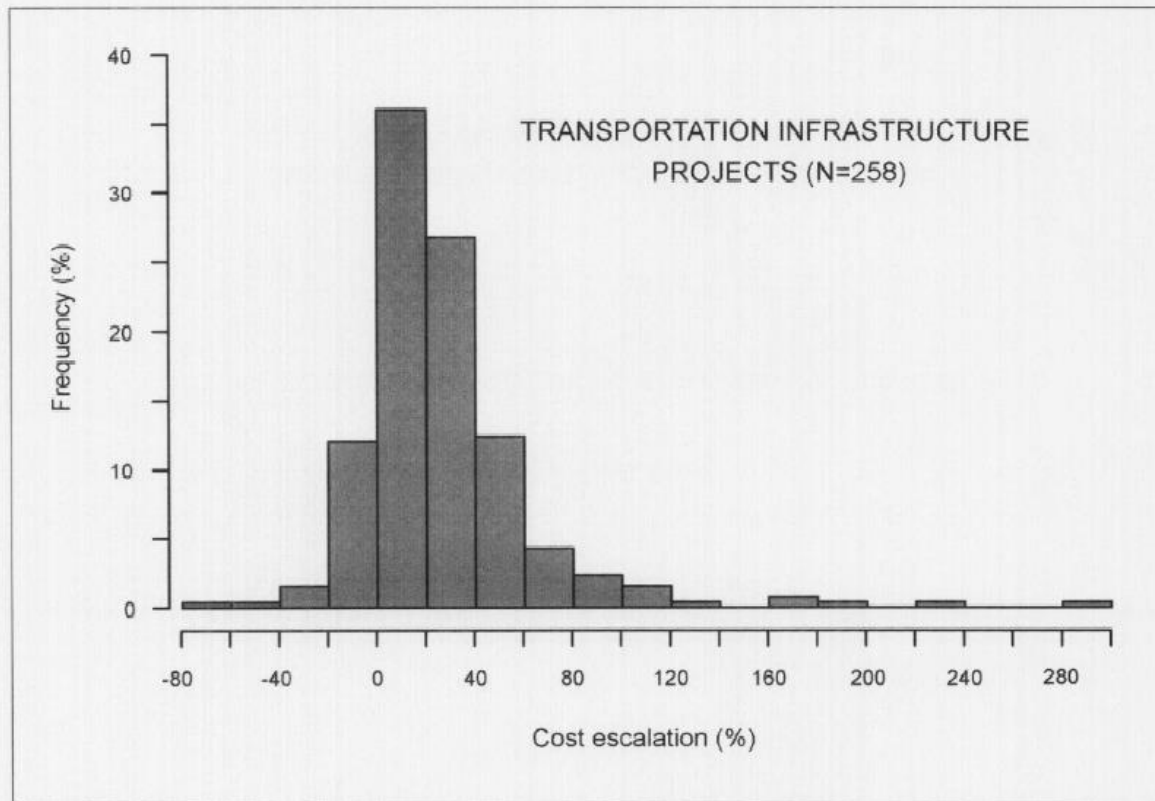


FIGURE 1. Inaccuracy of cost estimates in 258 transportation infrastructure projects (fixed prices).

דוגמה לסטייה מעלויות הקמה

הסיכון העיקרי בהערכות כלכליות תחבורתיות הוא להעריך תועלות נטו חיוביות ומכאן להקים את הפרויקט כאשר בפועל התועלות נטו נמוכות יותר, או מאידך, להחליט לא להקים את הפרויקט כאשר לפרויקט חשיבות תחבורתית/כלכלית רבה

סיכונים לדוגמה הינם שגיאות בהערכת:

- ביקושים
- עלויות
- משך הקמה
- מימון
- תועלות
- התאמה לפריסות אוכלוסייה ופעילויות
- טכנולוגיות חדשות

מתודולוגיות לניתוח סיכונים

שיטות להערכת סיכונים

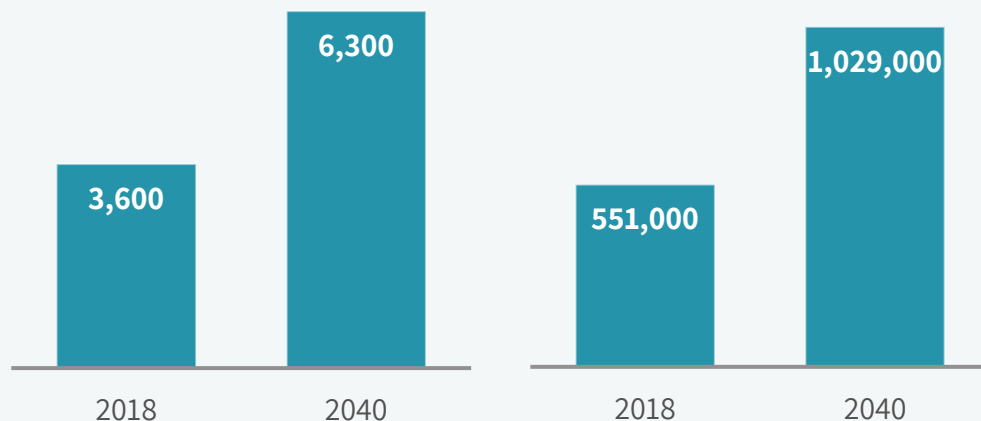
1. ניתוח תרחישים עתידיים
2. מבחני רגישות
3. חישוב מינימום הביקוש עבורו הפרויקט כדאי
4. תקופת החזר השקעה
5. תוחלת התועלות והעלויות
6. סימולציה של משתנים מרכזיים
7. התפלגות משתנים מרכזיים ממדגמים קיימים
8. סיכונים בפרויקטים של שיתוף סקטור פרטי ציבורי

תרחיש\בדיקה	תיאור
תרחיש תחתון	ללא מדיניות תומכת
תרחיש מרכזי	מדיניות תומכת חלקית
תרחיש עליון	מדיניות תומכת מלאה
עלייה בעלויות הקמה	עלייה ב-50% על 40% בצ"מ
התארכות משך הקמה משולב	דחיית פתיחה ב-10 שנים ועלייה בעלויות הקמה של 30%
שער היוון גבוה	שער היוון של 7%
תועלות ישירות בלבד	ללא פיתוח כלכלי וכו'
תועלת מינימלית נדרשת	תועלת הדרושה לכדאיות מעל 1
פיתוח כלכלי	מודלים חיצוניים של אגלומרציה
תרחישים דמוגרפי	פרוור מואץ המטרופולין שומר על חלקו היחסי
אגרות גודש	3 גישות
תרחישים פאסימיים משולבים	קורונה, שינוי התנהגות, מיתון, עבודה מהבית ועוד

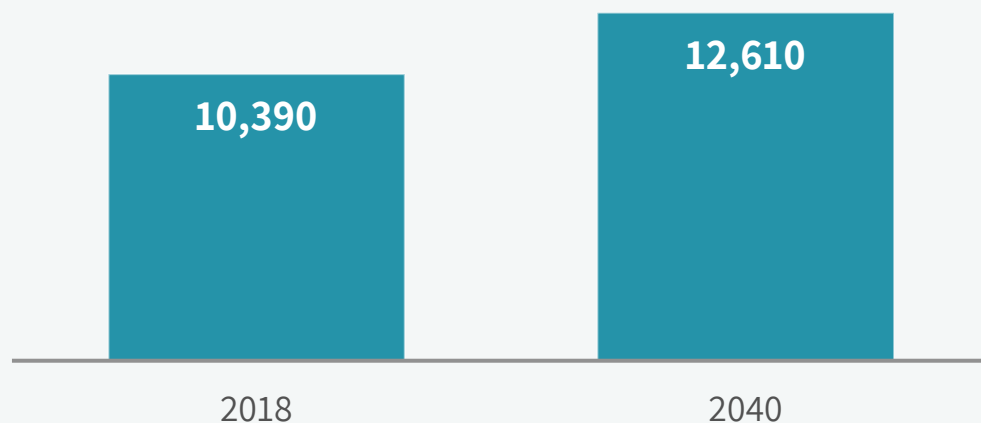
הכפלת צי האוטובוסים והשירות

צי אוטובוסים

ק"מ אוטובוס יומי



ק"מ נתיב דרכים
תוספת 20% קיבולת



חלופות בסיס

רשת רכבות קלות

חלופות בסיס

קו אדום+סגול+ירוק

קו אדום



תכנית אסטרטגית
רכבת

רשת כבישים לפי
שנת יעד 2030,
2050, 2040

רשת אוטובוסים
משופרת תדירות

מהיר לעיר, נתיבים
מהירים

תרחישים מרכזיים

תרחיש\בדיקה	תיאור
תרחיש תחתון	ללא שילוב של מדיניות משלימה לתחבורה הציבורית
תרחיש מרכזי	שילוב חלקי של מדיניות משלימה להשקעה בתחבורה הציבורית – לדוגמה מדיניות חניה
תרחיש עליון	שילוב מיטבי של מדיניות משלימה מוטת מערכת מטרופוליטני ומימוש מלא של אמצעי מדיניות ותרחישים תומכי תחבורה ציבורית : ציפוף אוכלוסייה ותעסוקה, אגרות גודש, מדיניות חניה, רמת מינוע מופחתת...

Discipline	units	Quantity	Price per Unit	Estimate (M)
Infra 1				66,226
Utilities relocation				3,708
Civil works (without stations)	km	138	183	25,174
Stations	Stations	106	360	37,344
Infra 2				16,741
Track	km	140	13	1,896
Systems	km	140	58	8,146
4 Depots				1,480
Rolling stock	Cars	932	5.6	5,219
Construction				82,967
Additional costs (13.5%)				11,201
Sub sum				94,167
Contingencies (40%)				37,667
Total with VAT				154,246

עלויות הון - מטר



התועלות הכלכליות של המטרו

סך התועלות לאורך חיי הפרויקט



440

מיליארד ש"ח



אחזקת רכב



בריאות



אמינות



קיצור זמני נסיעה



חיסכון בחנייה



קיצור זמני שינוע
מטענים



חיסכון בעלויות
תאונות דרכים



פיתוח כלכלי



אופציה לתחבורה
ציבורית



סביבה



חיסכון בהון רכב



חיסכון בקרקע

התועלות הכלכליות של המטרו לשנת 2040

סך התועלות השנתיות בתרחיש המרכזי



26.5

מיליארד ש"ח



מדדי כדאיות כלכלית

Project CF	
4%	
NPV, Billion NIS	314
B/C ratio	3.7
IRR	13%
Payback period	21
7%	
NPV, Billion NIS	97
B/C ratio	2.2
IRR	13%
Payback period	23

Project	B/C
Sydney metro	1.5-1.6
N. East corridor, US	1.7
London-Leeds HSR	2.2-2.6

82%

68%

81%

44%

62%

81%

March

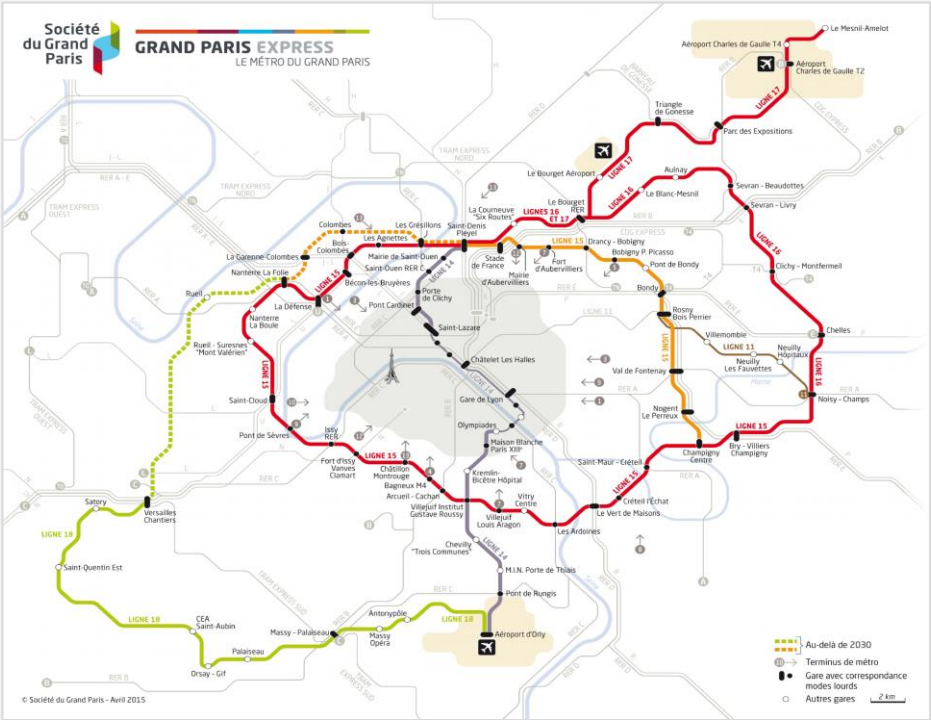
February

10

Actual socio-economic indicators in Euro ₂₀₁₀ (€), for the central scenario,)	Line 14 South	% of benefits	תל אביב
Length:	14 km		
Wellbeing of commuters:	3.8 bn	45%	56%
Urban and environmental effects:	1.2 bn	14%	12%
Economic effects:	3.5 bn	41%	32%
Actual Costs:	2.9 bn		
Socio-economic net present value:	5.6 bn		
Economic rate of return:	11.9 %		12%

Actual socio-economic indicators in Euro ₂₀₁₀ (€), for the central scenario	Line 14 South	Line 15 West	Line 15 South	Line 15 East	Lines 16, 17 and 14 North	Line 17 North	Line 18
Length:	14 km	20 km	33 km	23 km	29 km	20 km	35 km
Actual Costs:	2.9 bn	3.3 bn	5.7 bn	3.3 bn	3.6 bn	1.7 bn	2.3 bn
Socio-economic net present value:	5.6 bn	7.5 bn	6.9 bn	2.7 bn	5.8 bn	1.3 bn	1.0 bn
Economic rate of return:	11.9 %	11.9 %	8.4 %	8.0 %	10.0 %	7.0 %	6.2 %

תועלות מטרו בעולם



אומדן התועלות של המטרו בת"א תואם את מרכיבי התועלת והתפלגותה כפי שמראה הדוגמה מתכנית המטרו של פריז

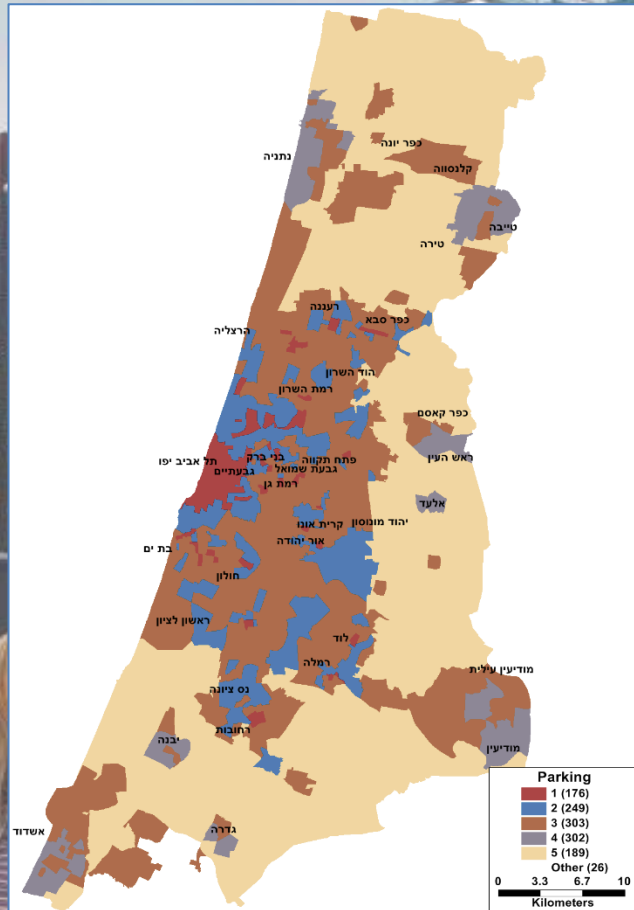
בדיקות רגישות לדוגמה

	Direct Benefits	50% Cost Increase	Total Benefits
4%			
NPV, Billion NIS	168	269	314
B/C ratio	2.5	2.7	3.7
IRR	9%	10%	13%
Payback period	27	25	21

תכנון חבילת מדיניות משולבת

מדיניות חניה

Zone	Cost (NIS/h)
1	30
2	15
3	5
4	3
5	0



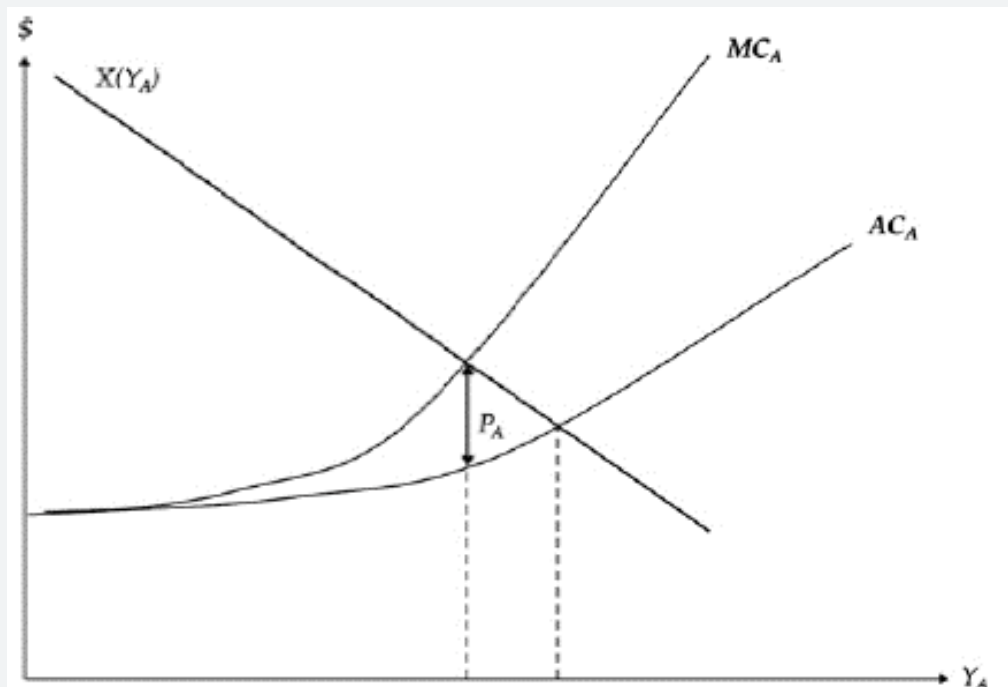
אגרות גודש

רציפה מהירות נסיעה	רציפה שווי משקל	טבעות	
כולם	כולם	חציית טבעת	מי משלם
מחיר לק"מ או למקטע	מחיר לק"מ	מחיר לטבעת	מחיר

מודל שווי משקל רב אמצעי

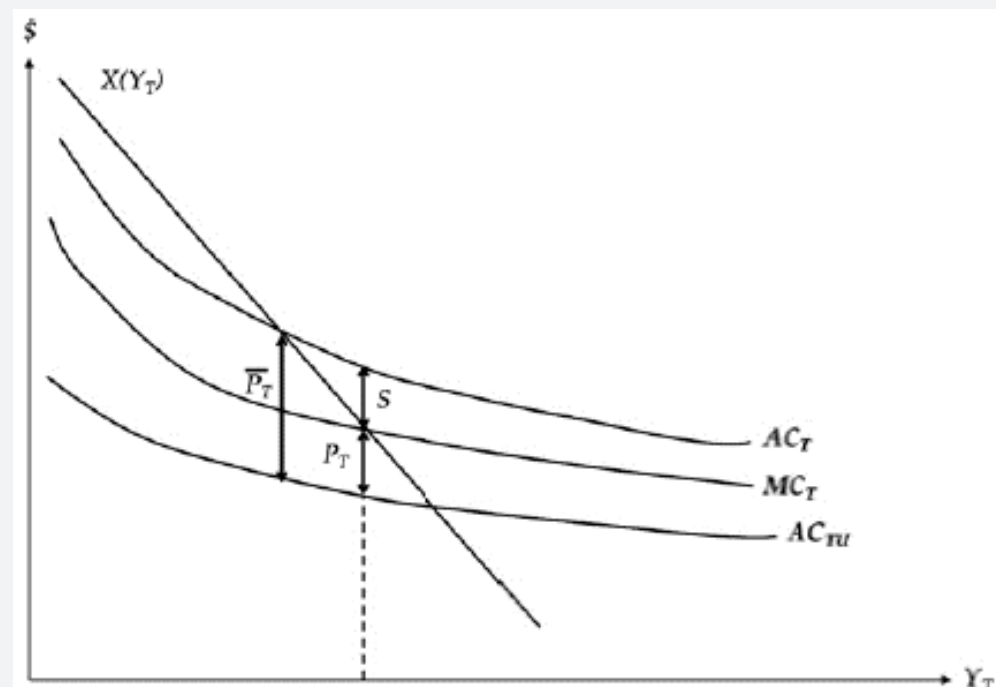
רכב פרטי

Congestion causes the private and social cost of road transportation to rise



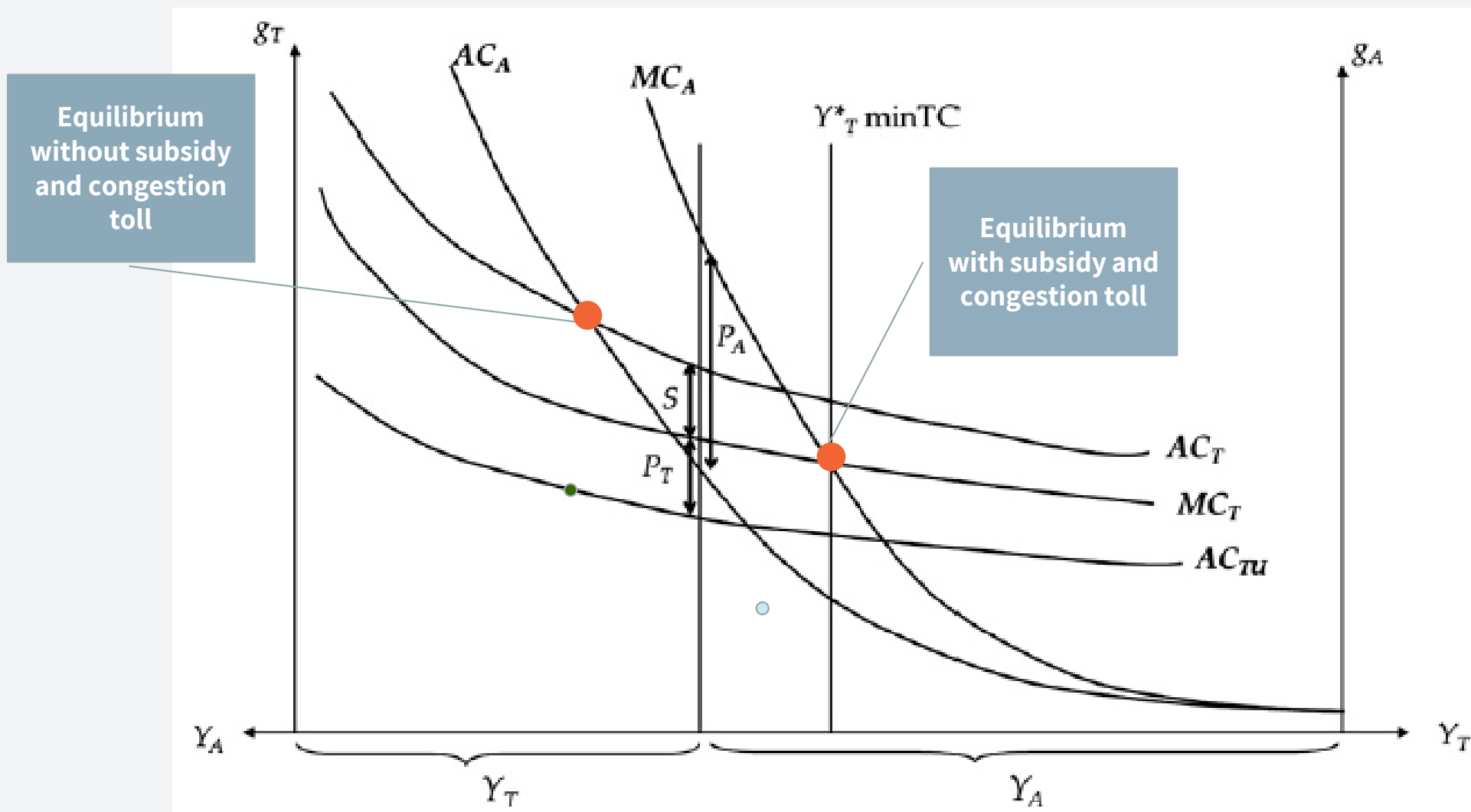
תחבורה ציבורית

Population concentration and higher investment in public transport infrastructure lowers the cost of public transport



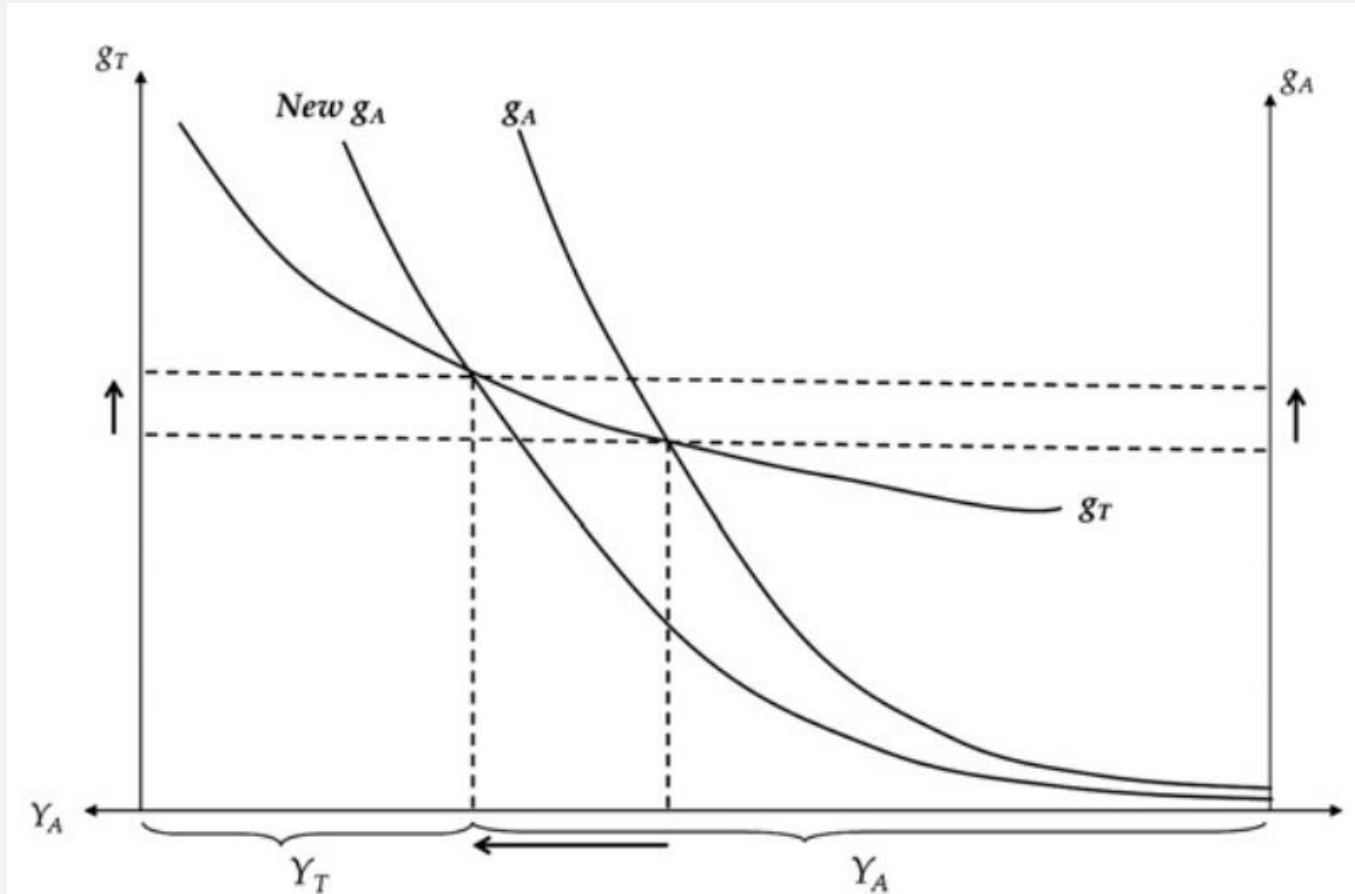
Source: Basso & Jara-Diaz, 2012; Sharav & Shiftan, 2020

מודל שווי משקל רב אמצעי



Source: Basso & Jara-Diaz, 2012; Sharav & Shiftan, 2020

פרדוקס דאונס-ת'ומפסון



הפרדוקס מדגים את החשיבות של מודל רב אמצעי בכל הבדיקות התחבורתיות – הפחתת העלויות של הרכב הפרטי יכולות לעלות את כלל העלויות בשיווי משקל מכיוון שהרכב מושך נוסעים מתחבורה ציבורית

מודל שווי משקל רב אמצעי

$$W = \int_{(g^0_A, g^0_T)}^{(g_A, g_T)} \sum_i X_i(g_A, g_T) dg_i + P_A X_A(P_A, P_T, I_A, I_T) + P_T X_T(P_A, P_T, I_A, I_T) - c(I_T) f - I_A - I_T$$

Consumer Surplus (CS)	Road Toll Revenue	Transit Revenue	Operating and Investment Costs
-----------------------	-------------------	-----------------	--------------------------------

$$\begin{aligned} &\max_{P_A, P_T, f, I_A, I_T} W \\ &s.t. \\ &kf \geq X_T(P_A, P_T, f, I_T) \\ &X = X_A + X_T \end{aligned}$$

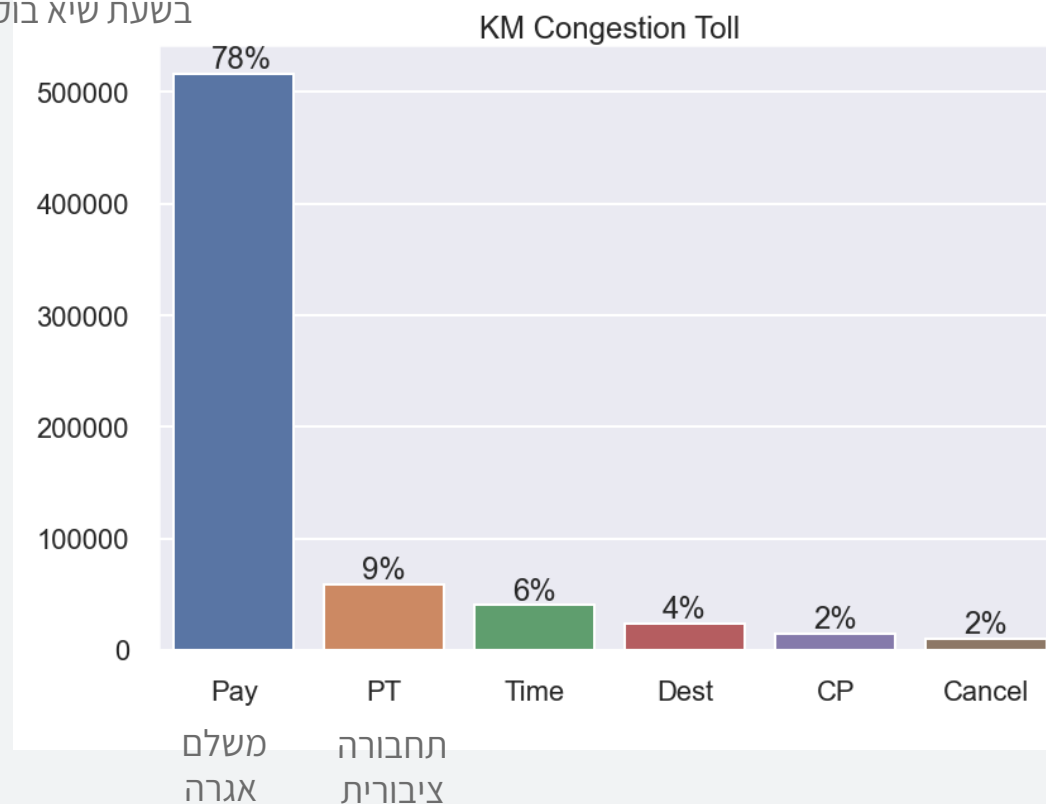
g_A = auto user generalized cost
 g_T = transit user generalized cost
 P_A = auto road price (toll)
 P_T = transit fare
 AC_A = average cost for auto drivers
 OC_A = auto operating cost
 α = value of time (VOT)
 I_A = investment in roads
 I_T = investment in transit
 AC_{TU} = average cost for transit user
 f = transit frequency, departures per hour

T_A = auto travel time
 T_T = in vehicle transit travel time, including delays caused by other transit passengers
 T_m = transit travel time without delays caused by other transit users
 β = ratio of out of vehicle VOT to in vehicle VOT
 μ = in vehicle delay caused by other transit users boarding the vehicle
 X = number of trips (workers or city commuters)
 X_A = auto trips demand (driver and passenger)
 X_T = transit trips demand

חלופת אגרה רציפה – תוצאת מודל

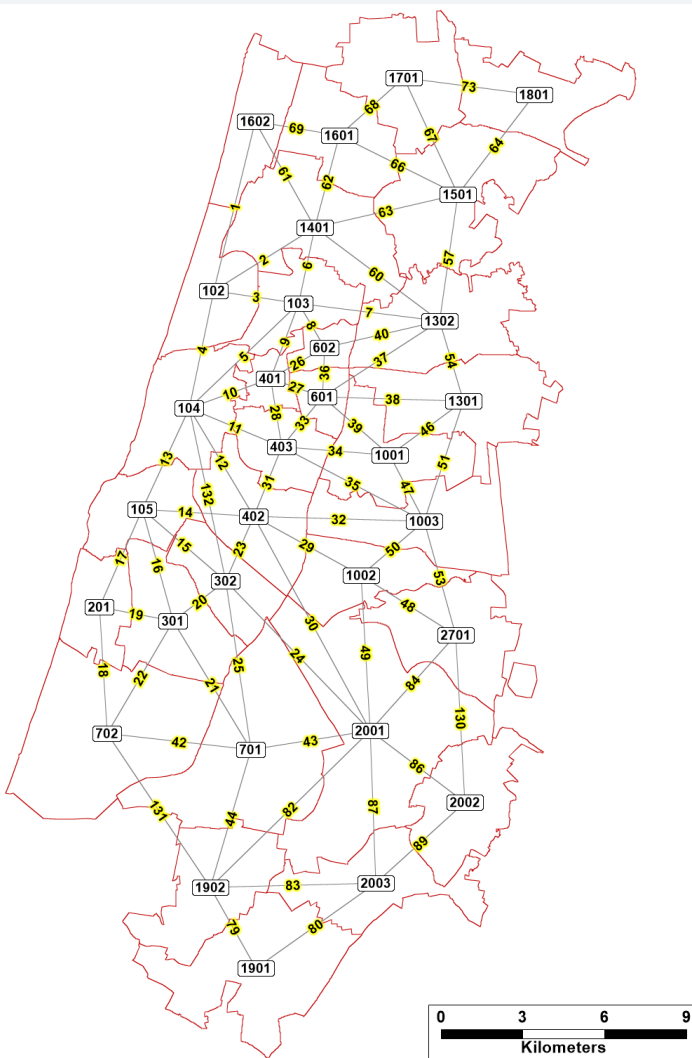
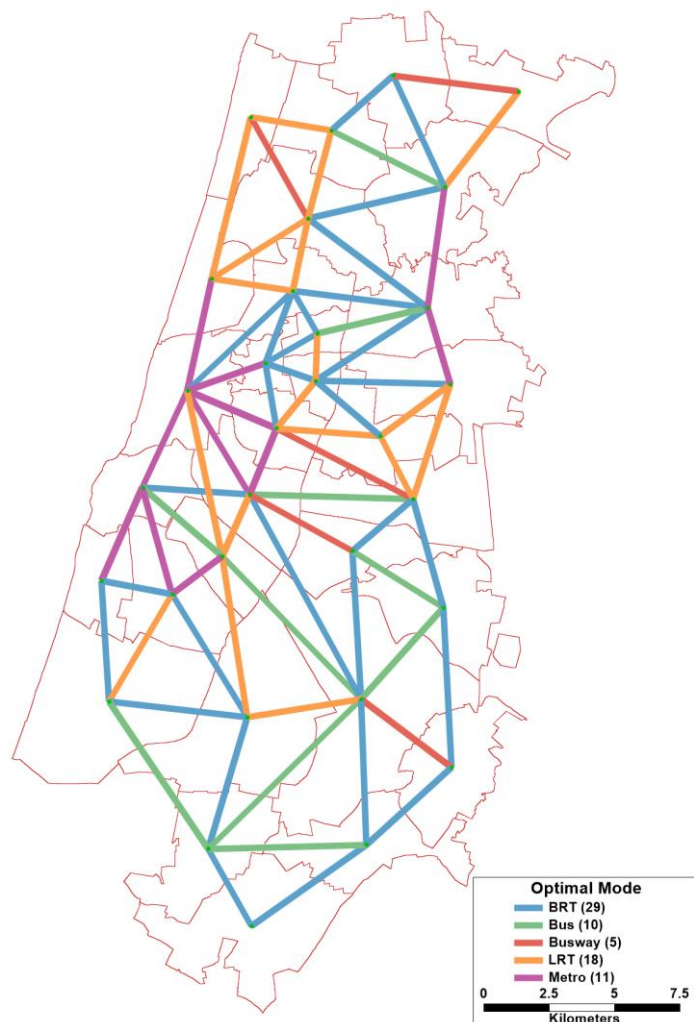


מספר נוסעים
בשעת שיא בוקר



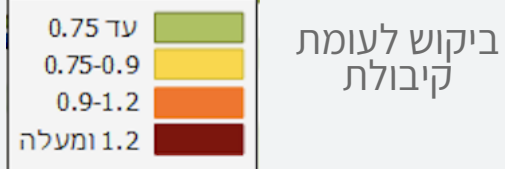
תגובה לאגרה מבין הנהגים בתחום האגרה

השקעה אופטימלית ברשת התחבורה הציבורית עם אגרה



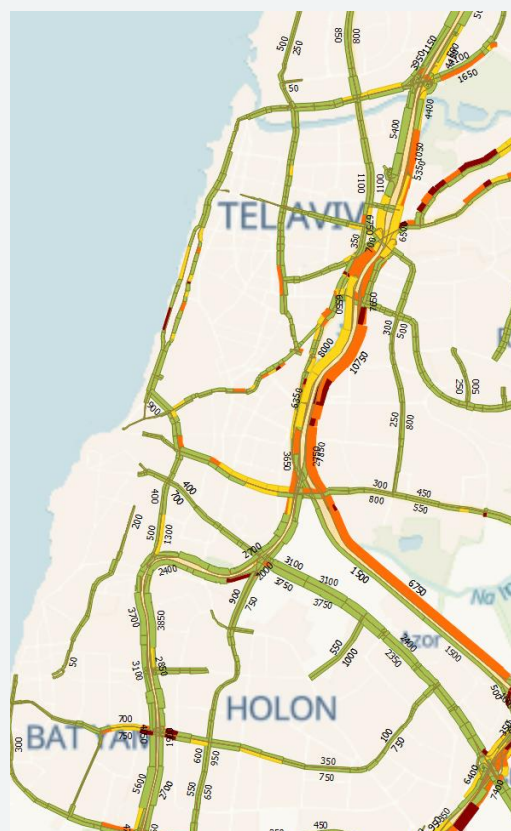
**מודל שווי משקל רב אמצעי
מראה בכל פרוזדור:**

- השקעה אופטימלית בתחבורה הציבורית - 6 קווים רדיאליים של מטרו וקו טבעת היקפי
- לצד אגרה אופטימלית 1-2.9 ש"ח לק"מ



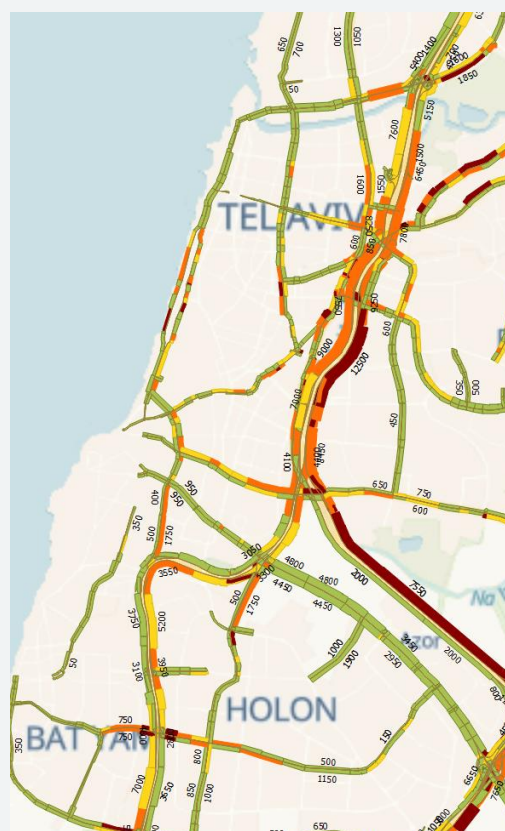
השפעה על רשת הדרכים 2040

מדיניות חניה+אגרה+מטרו*



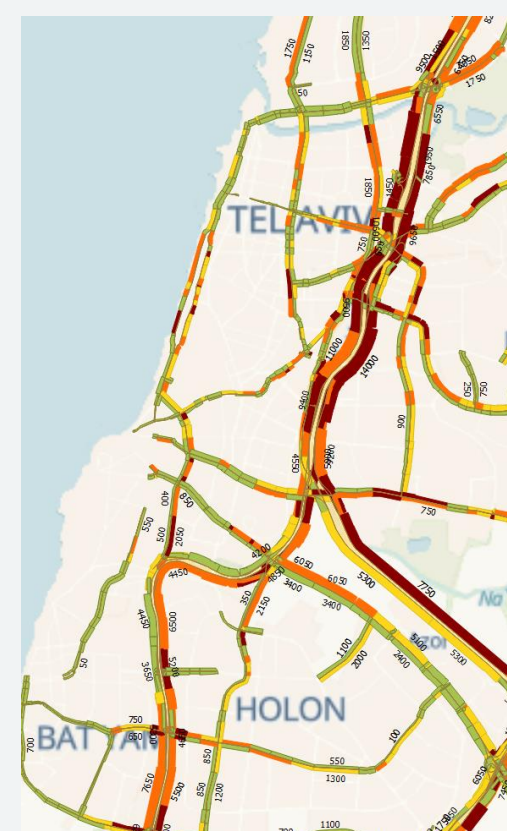
341	תחבורה ציבורית
195	שעות רכב בכביש

מדיניות חניה+אגרה*



254	תחבורה ציבורית
251	שעות רכב בכביש

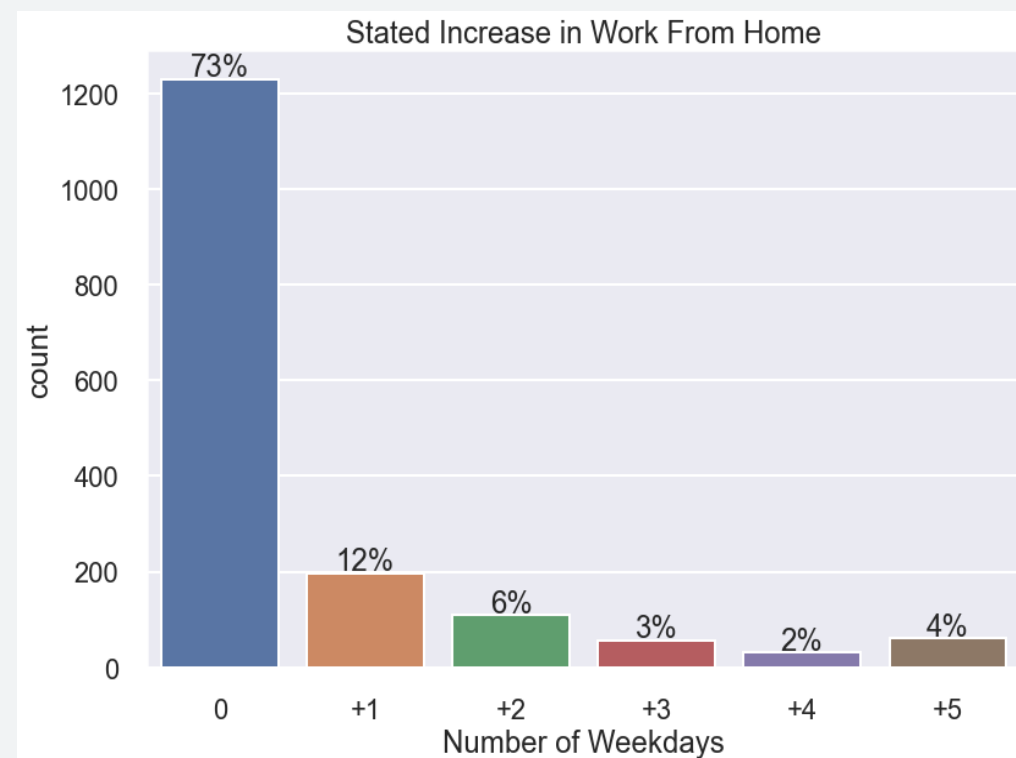
ללא אגרה*



235	תחבורה ציבורית
255	שעות רכב בכביש

עבודה מהבית

גידול צפוי בימי עבודה שבועיים בבית



אחוז המועסקים במשרות שבהן ניתן לעבוד מהבית – **60%**

- כיום לפי משרד העבודה 45%, כאשר מחקרים מראים שמדד זה מוטה כלפי מעלה (ממוצע OECD: 38%)

מתוכם, אחוז העסקים המאפשרים עבודה מהבית – **80%**

- בהנחה שהמדינה מעודדת עבודה מהבית (לפני הקורונה אחוזים בודדים)

מתוכם, אחוז העובדים המוכנים לעבוד מהבית – **70%**

- לפי סקר הטכניון 31% מהעובדים העידו על העדפה גבוהה לעבודה מחוץ לבית (פחות מחצי מעדיפים עבודה בבית)

החלק היחסי בשבוע בו עובדים אלו עוברים לעבודה מהבית – **40%**

- לפי סקר הטכניון הרוב הגדול בוחר במודל של יום או יומיים מהבית, נניח יומיים בממוצע בשבוע עבודה של 5 ימים

רלוונטי עבור אחוז הנסיעות לעבודה בשעת שיא בוקר – **50%**

- לפי סקר הרגלי נסיעה 49% מהנסיעות מעל ק"מ בשעת שיא בוקר הן לעבודה או ענייני עבודה

השפעה סופית עד – **6%**

B/C בתרחיש עבודה מהבית – 3.1

