

# ייעול מערך ההסעות בתעשייה אווירית

מספר פרויקט : 321

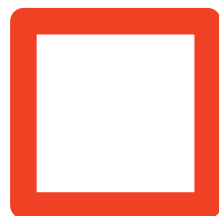
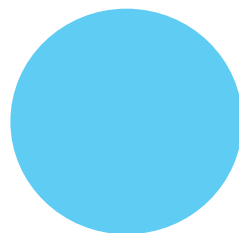
חברי הצוות :

עמית מאור

ירדן יצחקי

מתן עין אלי

מנחה אקדמי : ד"ר מיכאל בנדרסקי



## מבוא

- תעשייה אווירית הינה חברה ממשלתית המתמחה בטכנולוגיות תעופה, מערכות לחימה, חלל ולוחמת סייבר.
- מפעל מל"מ ("מערכות לחימה משולבות") הינו מפעל העוסק בפיתוח, תכנון וייצור של טילים, רקטות ומשגרי לוויינים.
- מפעל מל"מ ממוקם בבאר יעקב.
- מס' העובדים במפעל מל"מ הינו 1,500 עובדים.
- כחלק מהעבודה בסביבה תחרותית תעשייה אווירית מפעילה מערך הסעות לנוחיות העובדים על מנת לקלוט עובדים איכותיים ללא השפעה של המרחק הגאוגרפי של העובד בשיקולי העסקה.

# הבעיה

- מערך ההסעות כיום במפעל מל"מ מתנהל בצורה לא יעילה.
- מסלולי ההסעות נקבעים על סמך דעתו האישית של סדרן ההסעות ולא על פי כלים מחקרים ומתמטיים.
- עובדים רבים מתלוננים על זמני המתנה ארוכים בנקודת האיסוף ועל מסלול נסיעה ארוך אל מקום העבודה וחזרה.
- חלק מן העובדים אינם עולים להסעה ומגיעים ברכבם הפרטי ובכך נוצרים מעברים בנקודות סרק ללא צורך, דבר שיכול לגרום לעיכוב של כ-5 דקות בממוצע לכל קווי הסעה.
- בעקבות הגעת העובדים באופן פרטני ברכבים האישיים שלהם נוצרים פקקים בכניסה למפעל וחוסר בחנייה בקרבת המפעל ובתוך המפעל.
- קווים רבים מאחרים לשעת ההגעה למפעל בבוקר ובכך עובדים רבים מפסידים שעות עבודה יקרות בהן יכלו להועיל במפעל בתפוקה רבה.

# בעיית הסוכן הנוסע - TSP

➤ הבעיה מתוארת ע"י סוכן הנוסע (נהג ההסעה בבעיה שלנו) ל- $N$  ערים כאשר הוא מבקר בכל עיר בדיוק פעם אחת והמסלול מתחיל ומסתיים בנקודת המקור כאשר פונקציית המטרה הינה להגיע למינימום של זמן/מרחק הנסיעה בין כל הערים.

➤ בעיית הסוכן הנוסע מתחלקת ל-2 סוגים:

1. סימטרית: המרחק בין שתי נקודות זהה למרחק בכיוון ההפוך בין אותן שתי נקודות, כלומר המרחק מתל אביב לבאר שבע זהה למרחק מבאר שבע לתל אביב.

2. א-סימטרית: בדומה לבעיה שלנו, המרחק בין שתי נקודות אינו זהה בכיוון ההפוך, כלומר המרחק מתל אביב לבאר שבע אינו זהה למרחק מבאר שבע לתל אביב.

(Hardi, 2015)

➤ **אלגוריתם חמדן (Greedy Algorithm)** - אלגוריתם המתבסס על היוריסטיקה בה בוחרים את האפשרות הטובה ביותר הנראית לעין בשלב הנוכחי, מבלי לקחת בחשבון את ההשפעה של צעד זה על המשך פתרון (Nuriyeva & Kiliates, 2013).

➤ **שיטת השכן הקרוב ביותר (Nearest Neighbor)** - בשיטה זו בכל צעד הסוכן (הנהג בבעיה שלנו) יפנה אל הנקודה הקרובה ביותר אשר עוד לא ביקר בה עד כאשר ביקר בכל נקודות האיסוף. לאחר בדיקת המסלול הראשוני עלינו לבדוק את כלל המסלולים האפשריים אך מנקודת התחלה שונה בכל איטרציה (Johnson & McGeoch, 1995).

## מטרת הפרויקט

- שיפור זמני ההגעה של העובד למפעל.
- העלאת שביעות רצון העובדים ממערך ההסעות.

## מגבלות הפרויקט

- הצגת הנתונים בצורה בלתי מסווגת.
- $(NP)$  Nondeterministic Polynomial.
- חוסר בנתונים עבור קיבולת ההסעות.
- חוסר בנתונים עבור עלויות ההסעות.

# תיאור מצב קיים

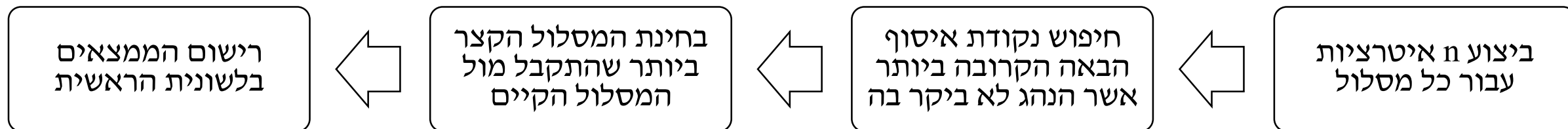
- שעת ההגעה למפעל במערך ההסעות הינו קבוע – 7:00
- שעת יציאת ההסעות חזרה מהעבודה אל בית העובד – 16:05.
- בעת העסקת עובד חדש לחברה נתונים בפניו מס' אפשרויות:
  1. קבלת תשלום חודשי בגין אחזקת רכב – ללא שימוש בהסעות.
  2. להשתמש במערך ההסעות.
  3. השכרת רכב בשירות "ליסינג" מהחברה תמורת סכום שיקבע מראש.
- במידה והעובד בחר באופציה 2 (שימוש במערך ההסעות), שם העובד עובר לאחראי הסעות אשר מספק לעובד את מיקום נק' האיסוף הקרובה ביותר לביתו.
- מפעל מל"מ עובד עם מספר רב של חברות הסעות ולכן משאב הנהג אינו מוגבל.
- מסלול ההסעה נקבע מראש על סמך דעתו האישית בלבד של סדרן ההסעות והנהג מחויב לעבור בכל נקודה במסלול ולחכות עד 2 דק' בנקודת איסוף למקרה שהעובד מתעכב.

# איסוף וניתוח הנתונים

- נאספו 280 נקודות (כתובות) ממערכת המידע של המפעל.
- נאספו 36 מסלולי הסעות.
- נבנתה מטריצת מרחקים וזמנים בין כל הנקודות.
- חיפוש מחקרים התומכים בכלים הכמותיים אשר איתם בחנו את הפרויקט ומושגים נוספים מעולם חקר הביצועים והלוגיסטיקה.
- חישוב מסלולים חלופיים על פי שיטת החמדני והשכן הקרוב ביותר.



# מתודולוגיה



מטריצת זמנים התחלתית (דק'). איטרציה ראשונה – X244 נקודת מקור המסלול

מטריצת מרחקים לאחר צעד 1

מקור/יעד	X244	X245	X246
X244	0	7	18
X245	6	0	17
X246	15	18	0

מקור/יעד	X244	X245	X246	X258
X244	0	7	18	18
X245	6	0	17	14
X246	15	18	0	13

איטרציה ראשונה		איטרציה שנייה		איטרציה שלישית	
נקודת התחלה X244		נקודת התחלה X245		נקודת התחלה X246	
7	X245	6	X244	15	X244
17	X246	18	X246	7	X245
13	X258	13	X258	14	X258
37	אורך	37	אורך	36	אורך

↑ המסלול הקצר ביותר

# ממצאים

- מסלולים בהם האלגוריתמים השכן הקרוב ביותר והחמדני אכן מצאו שיפור במסלול: 29.
- מסלולים בהם האלגוריתמים השכן הקרוב ביותר והחמדני לא מצאו שיפור במסלול: 4.
- כמות המסלולים בהם המצב הקיים עדיף מהמצב המוצע: 3.
- זמן הממוצע אשר חסכנו במסלולים הינו: 6 דקות.
- חיסכון יומי עבור כל המסלולים: 223 דקות.
- כמות המסלולים בהם האלגוריתמים השכן הקרוב ביותר והחמדני אכן מצאו שיפור בקילומטראז' המסלול: 23.
- כמות המסלולים בהם האלגוריתמים השכן הקרוב ביותר והחמדני לא מצאו שיפור בקילומטראז' המסלול: 1.
- כמות המסלולים בהם האלגוריתמים השכן הקרוב ביותר והחמדני גרעו את המצב הקיים מבחינת קילומטראז' המסלול: 12.
- קילומטראז' ממוצע אשר חסכנו במסלולים הינו: 2.75 קילומטרים.
- חיסכון יומי עבור כל המסלולים בקילומטרים: 98.9 קילומטרים.

## המלצות לעתיד

- הכנת ממשק אשר מבצע את החישובים באופן אוטומטי על ידי תוכנות אשר מאפשרות חישוב אלגוריתמים אלו באופן עצמאי.
- המשך חישובי המסלולים עבור  $n$  אפשרויות בכל מסלול.
- בחינה מחדש של המסלולים הקיימים בהתאם לאלגוריתמים מתאימים ולבססם על אמצעים מתמטיים.

# נספחים

## מסלולים קיימים

## מטריצת מרחקים

מקור/מקד	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18
X1	0.00	0.54	0.88	1.79	1.96	10.80	12.70	11.10	12.10	12.40	12.30	12.60	12.80	59.00	59.30	61.20	61.20	60.70
X2	1.31	0.00	0.32	2.03	2.20	8.34	10.30	8.64	9.68	9.96	9.89	10.20	10.30	59.30	59.60	61.50	61.50	61.00
X3	1.56	0.32	0.00	1.38	1.04	8.32	10.20	8.62	9.66	9.94	9.87	10.10	10.30	59.70	60.00	61.90	61.80	61.30
X4	1.62	1.34	1.14	0.00	0.17	7.76	9.68	8.07	9.10	9.38	9.31	9.58	9.73	59.30	59.60	61.50	61.50	61.00
X5	1.88	1.51	1.39	0.17	0.00	7.93	9.85	8.24	9.27	9.55	9.48	9.75	9.90	59.50	59.80	61.70	61.70	61.20
X6	11.40	10.90	8.58	7.77	7.94	0.00	2.10	0.49	1.52	1.80	1.73	2.00	2.15	47.10	47.40	49.30	49.30	48.80
X7	12.80	12.30	9.96	9.15	9.32	1.71	0.00	1.58	1.96	2.19	2.18	2.09	2.23	48.50	48.80	50.70	50.70	50.20
X8	12.40	11.90	9.53	8.72	8.89	1.08	1.61	0.00	1.04	1.32	1.24	1.52	1.66	48.10	48.40	50.30	50.20	49.70
X9	13.10	12.60	10.30	9.46	9.63	1.82	2.66	1.60	0.00	0.48	0.18	1.27	1.10	47.90	48.20	50.20	50.10	49.60
X10	13.00	12.50	10.10	9.33	9.50	1.69	2.19	1.47	0.46	0.00	0.37	0.79	0.62	47.50	47.80	49.70	49.60	49.20
X11	13.00	12.40	10.10	9.28	9.45	1.64	2.18	1.42	0.83	0.37	0.00	1.16	1.00	47.80	48.10	50.00	50.00	49.50
X12	16.90	16.40	14.00	13.20	13.40	2.35	2.55	2.13	1.08	0.83	1.20	0.00	0.16	47.40	47.70	49.60	49.60	49.10
X13	13.40	12.90	10.60	9.77	9.94	2.15	2.35	1.93	0.88	0.62	0.99	0.16	0.00	47.50	47.80	49.70	49.70	49.20
X14	59.80	59.30	59.60	59.50	59.70	47.70	49.60	48.00	48.10	47.90	48.30	48.00	48.10	0.00	1.33	2.64	2.60	2.12
X15	60.10	59.50	59.90	59.80	59.90	48.00	49.90	48.30	48.40	48.10	48.50	48.20	48.40	1.65	0.00	1.96	1.93	1.44
X16	61.90	61.40	61.70	61.60	61.80	49.80	51.70	50.20	50.30	50.00	50.40	50.10	50.20	2.56	1.86	0.00	0.66	1.32
X17	62.00	61.40	61.80	61.70	61.80	49.90	51.80	50.20	50.30	50.00	50.40	50.10	50.30	2.60	1.90	0.04	0.00	1.36
X18	61.90	61.40	61.70	61.60	61.80	49.80	51.70	50.20	50.30	50.00	50.40	50.10	50.20	2.40	1.82	0.51	0.49	0.00

נקודה	שעת איסוף	קו
X1	5:50	1
X2	5:52	1
X3	5:53	1
X4	5:56	1
X5	5:57	1
X6	6:08	1
X7	6:11	1
X8	6:13	1
X9	6:14	1
X10	6:15	1
X11	6:16	1
X12	6:18	1
X13	6:19	1
X14	6:10	2
X15	6:12	2
X16	6:13	2
X17	6:14	2
X18	6:16	2
X19	6:20	2
X20	6:22	2
X21	6:25	2
X22	6:27	2
X23	6:29	2
X24	6:32	2
X25	6:07	3
X26	6:08	3
X27	6:11	3

## סיכום ממצאים עבור כל מסלול

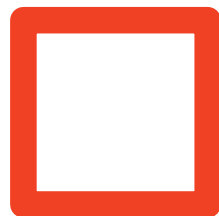
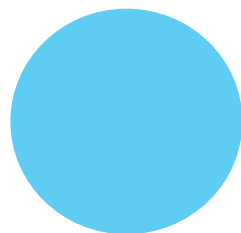
36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	מספר קו
8	8	6	5	6	3	11	6	7	11	6	5	12	5	6	6	12	7	5	6	7	5	8	11	8	7	6	7	8	10	9	8	8	12	11	13	מספר נקודות בקו
10	13	2	14	4	2	-1	4	1	8	4	4	7	0	1	5	0	-1	5	-1	1	0	9	17	10	5	3	8	5	10	22	7	9	31	2	0	חיסכון (דק')
2	1	-0	0	0	-2	-1	-4	-1	2	-8	-1	4	1	2	-8	2	0	1	-2	-1	0	3	35	2	17	1	16	2	8	9	0	7	12	0	-3	חיסכון (קילומטרים)

## דוגמת לשונית חישוב עבור כל מסלול

		X258	X246	X245	X244	מקור/יעד	31	X244	
		14	18	7	0	X244	31	X245	
		14	17	0	6	X245	31	X246	
		13	0	18	15	X246	תחנה סופית		
<b>איטרציה שלישית</b>		<b>איטרציה שניה</b>				<b>איטרציה ראשונה</b>			
<b>נקודת התחלה X246</b>		<b>נקודת התחלה X245</b>				<b>נקודת התחלה X244</b>			
15	X244	6	X244	7	X245				
6	X245	18	X246	17	X246				
14	X258	13	X258	13	X258				
35	אורך	37	אורך	37	אורך				
						<b>X246-X244-X245-X258</b>		<b>מסלול לאחר חישוב</b>	
						35		אורך (דק')	
						<b>X244-X245-X246-X258</b>		<b>מסלול עדכני</b>	
						37		אורך (דק')	
						2		חיסכון (דק')	
						31.31		אורך מסלול קיים (קילומטרים)	
						32.91		אורך מסלול מוצע (קילומטרים)	
						-1.60		חיסכון (קילומטרים)	

- Richki Hardi (2015), "The use of TSP for the application of POS Indonesia delivery systems".
- Eksioglu, B., Vural, A. V. & Reisman, A. (2009). "The vehicle routing problem: A taxonomic review Computers & Industrial Engineering".
- Gozde K., Nuriyeva.F (2013). "On the Nearest neighbor Algorithm for the Traveling Salesmen Problem".
- Johnson, D.S. and McGeoch, L.A. (1997). "The traveling salesman problem: A case study in local optimization, Local search in combinatorial optimization".
- A. Croes (1958), "A method for solving traveling salesman problems".
- Lysgaard, Jens. (1977). "Clarke & Wright's Saving algorithm".

תודה על ההקשבה !



שאלות?

