



מטה מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי
על שם עמוס דה-שליט



משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים



מגוון – מחקר ופיתוח בהוראת מדעי-המחשב
המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
ומוסד הטכניון למחקר ופיתוח בע"מ

תכנות פונקציונלי

פרדיגמה תכנותית נוספת

ספר ראשון

פרק ראשון: פונקציות יסוד

**החומרים ניתנים להורדה ושימוש בחינם במסגרת בית הספר.
חל איסור על הפצה מסחרית של החומרים.**

פיתוח היחידה:

פרופ' אורי לירון - ראש הפרויקט

תמי לפידות

דלית לוי

תמר פז

יעוץ אקדמי: ד"ר שאול מרקוביץ

פרק ראשון: פונקציות יסוד

4	מעבדה
4	פונקציות מספריות
7	הרכבת ביטויים
9	פונקציות לוגיות
10	פונקציות של רשימות
17	סיכום
18	תרגילים נוספים

חלק ראשון: פונקציות מספריות

תרגיל 1

לפניכם מספר ביטויים. בחלון הדו-שיח (בחלק התחתון של המסך) רשמו כל ביטוי כזה והקישו לאחריו enter. העתיקו את תגובת המחשב ונסו להבין אותה.

1. (max 23 1 78 9 12 56)
2. (min 23 1 78 9 12 56)
3. (max 900 12)
4. (expt 5 2)
5. (expt 5 3)
6. (expt 2 3)
7. (expt 8 2)

סכמו את מסקנותיכם במילים. (אם יש צורך, בידקו ביטויים נוספים כרצונכם).

..... הפונקציה max מחזירה

..... הפונקציה min מחזירה

..... הפונקציה expt מחזירה את בחזקת

שימו לב למבנה האחיד של הביטויים:

(..... פרמטר-שני פרמטר-ראשון סם-הפונקציה)

זהו ביטוי תקני בשפת Scheme.

סם הפונקציה מופיע תמיד בתחילת הביטוי, ואחריו הנתונים עליהם מופעלת הפונקציה.

למשל, בביטוי (max 900 12)

סם הפונקציה הוא max והנתונים שלה הם 900 ו-12

תרגיל 2

גם פעולות החשבון הבסיסיות הן פונקציות. משתמשים בהן לפי אותו מבנה תחבירי: תחילה הפונקציה ולאחריה הנתונים. לפניכם מספר ביטויים. בדקו מה ערכו של כל ביטוי.

1. $(+ 23 1 78 9 12 56)$
2. $(* 3 8 2)$
3. $(- 17 3)$
4. $(- -17 3)$
5. $(/ 6 2)$
6. $(- 17 7 4)$
7. $(- 0 5 3 10)$

נסחו במילים מהו ההבדל בין השימוש בפעולות החשבון הבסיסיות בביטויים מתימטיים לבין השימוש בהן בסביבת Scheme.

תרגיל 3

לפניכם מספר ביטויים. בחלון הדו-שיח (בחלק התחתון של המסך) רשמו כל ביטוי כזה והקישו לאחרי enter. העתיקו את תגובת המחשב ונסו להבין אותה.

1. $(\text{add1 } 23)$
2. $(\text{sub1 } 23)$
3. $(\text{abs } -5)$
4. $(\text{abs } -13.4)$
5. $(\text{sqrt } 81)$
6. $(\text{round } 9.4)$
7. $(\text{random } 4)$
8. $(\text{random } 4)$

סכמו את מסקנותיכם במילים. (אם יש צורך, בידקו ביטויים נוספים כרצונכם).

תרגיל 4

נסו לגלות מה מחזירות הפונקציות הבאות. סכמו את מסקנותיכם.

- (remainder 14 3)
- (remainder 27 2)
- (quotient 14 3)
- (quotient 6 4)
- (gcd 6 9)
- (gcd 4 10)
- (lcm 2 3)
- (lcm 6 9)

..... הפונקציה **remainder** מחזירה

..... הפונקציה **quotient** מחזירה

..... הפונקציה **gcd** מחזירה

..... הפונקציה **lcm** מחזירה

חלק שני: הרכבת ביטויים

תרגיל 5

לפניכם מספר ביטויים. בדקו מה ערכו של כל ביטוי.

1. $(\text{expt } (\text{max } 10 \ 8 \ 5) \ 2)$

2. $(\text{min } (\text{add1 } 16) (\text{sqrt } 100))$

3. $(\text{min } 19$

$(\text{sub1 } (\text{add1 } 7))$

$(+ (\text{min } 99 \ 1) (\text{sqrt } 4))$

$52)$

בביטוי תיקני בשפת Scheme,

כל אחד מהפרמטרים (הנתונים) יכול להיות ביטוי מורכב בעצמו.

תרגיל 6

א. נתונים 3 מספרים ורוצים לכתוב ביטוי לחישוב הממוצע של המספרים האלה.

כיצד נבצע זאת? נניח שהמספרים הם 7, -2, 9

הביטוי המתמטי לחישוב הממוצע שלהם יהיה $(7+(-2)+9)/3$

וכיצד נכתוב זאת בשפת Scheme?

הפעם צריך לזכור שהפונקציה מופיעה ראשונה ורק אחריה יופיעו המספרים המתאימים.

לכן, את הסכום של המספרים נבטא כך - $(+ 7 -2 9)$

לבסוף, כדי לחשב את הממוצע נכתוב את הביטוי הבא - $(/ (+ 7 -2 9) 3)$

ב. נתונים 2 מספרים (כרצונכם). כתבו ביטוי לחישוב החזקה של המספר הראשון בסכומם.

$$\left(\text{expt } \boxed{} \left(+ \boxed{} \boxed{} \right) \right)$$

ג. נתונים 3 מספרים (כרצונכם). כתבו ביטוי לחישוב המספר הקטן ביותר מבין סכומם ומכפלתם.

ד. נתונים 3 מספרים (כרצונכם). כתבו ביטוי לחישוב המכפלה של המספר הקטן ביותר במספר הגדול ביותר.

ה. נתונים אורכיהם של שתי צלעות במשולש ישר זווית - 9, 12. כתבו ביטוי לחישוב אורך היתר.

$$\left(\sqrt{a + b} = c \text{ כך } \right)$$

חלק שלישי: פונקציות לוגיות

תרגיל 7

א. בדקו את הביטויים הבאים בחלון הדו-שיח:

1. (even? 8)
2. (positive? -3)

הפונקציה even? היא פונקציה לוגית (בוליאנית) אשר מחזירה את הערך #t (אמת) אם הנתון שלה הוא מספר זוגי. בכל מקרה אחר, מוחזר הערך #f (שקר).

ב. בטבלה הבאה נתונות פונקציות לוגיות נוספות. השלימו את הטבלה.

שם הפונקציה	דוגמה	הערך המוחזר בדוגמה	יחזר #t כאשר הנתון הוא	יחזר #f כאשר הנתון הוא
even?	(even? 99)		מספר זוגי	
odd?				
integer?				
positive?				
negative?				
zero?				
equal?	(equal? 5 (+ 2 3))			

ג. נסו גם את הביטויים הבאים ונסחו מסקנה.

1. (and (positive? 4) (> 7 12))
2. (or (< 2 20) (positive? (abs -6)))
3. (not (= 5 (+ 2 3)))

חלק רביעי: פונקציות של רשימות

תרגיל 8

בידקו במחשב את הביטויים הבאים:

1. (reverse '(10 20 30 40 50))
2. (reverse '(A B C))
3. (reverse '(hi my friend))

הרשימה '(10 20 30 40 50)' היא רשימת נתונים

והפונקציה reverse מחזירה את

תרגיל 9

לפניכם שתי פונקציות נוספות שפועלות על רשימות -

first רשימת-נתונים

rest רשימת-נתונים

למשל, בדקו מה יוחזר בתגובה להוראות הבאות -

(first '(n i c e))

(rest '(n i c e))

כעת נסו להפעיל את הפונקציות על רשימות שונות ולנסח במלים שלכם מה תפקידן.
תוכלו להעזר ברשימות הבאות:

'(I love you) '(25 80 92 30) '(=<> + @) '(x) '(shalom)

מסקנות (השלימו):

..... הפונקציה first מקבלת רשימה ומחזירה

..... הפונקציה rest מקבלת רשימה ומחזירה

תרגיל 10

א. כתבו ביטוי שמחזיר את האיבר השני של רשימה.
(נסו לכתוב את הביטוי כך שנוכל להפעיל אותו על רשימות שונות ובכל המקרים נקבל את האיבר השני.)

ב. כתבו ביטוי שמחזיר את האיבר האחרון של רשימה כלשהי

ג. כתבו ביטוי שמחזיר את האיבר הלפני האחרון של רשימה כלשהי

ד. כתבו ביטוי שמחזיר את הריבוע של האיבר השני ברשימה
(שימו לב: הרשימה צריכה להיות רשימת מספרים)

ה. כתבו ביטוי שמחזיר את הסכום של שני האיברים הראשונים ברשימה

ו. נסחו בעיה כרצונכם וכתבו ביטוי שפותר אותה:

..... כתבו ביטוי שמחזיר את

תרגיל 11

הפונקציות first ו- rest מאפשרות לנו "לפרק" את הרשימה למרכיביה.
 הפונקציה cons תעזור לנו לחבר או לבנות רשימות חדשות.
 בדקו את הביטויים הבאים

1. (cons 1 '(3 5 7 9))
2. (cons 10 '(3 5 7 9))
3. (cons '(yael 79) '((nira 98) (ben 56)))
4. (cons 'left '(right))
5. (cons '(left) '(right))

שם הפונקציה cons הוא קיצור של המילה construct. הפונקציה מקבלת שני פרמטרים,

ומחזירה

תרגיל 12

לפניכם שתי פונקציות נוספות שפועלות על רשימות -

length רשימת-נתונים

list-ref מספר-ref רשימת-נתונים

רישמו בטבלה מה מוחזר בכל מקרה.

(length '(sun mon tue wed))	
(length '(1998 (sun mon tue wed) 1999))	
(length '())	

(length 2000)	
(length '(s h a l o m))	
(length 'shalom)	

(list-ref '(1998 1999 2000) 1)	
(list-ref '(1998 1999 2000) 0)	
(list-ref '(-7 60 15 44 -303 222 1) 6)	
(list-ref '(1998 1999 2000) 6)	
(list-ref '(1998 (sun mon tue wed) 1999) 2)	

מסקנות (השלימו) :

..... הפונקציה length מקבלת רשימה ומחזירה

..... הפונקציה list-ref מקבלת רשימה ומספר בתחום שבין

..... הפונקציה מחזירה

תרגיל 13

א. כמה איברים יש בכל רשימה? העזרו בפונקציה length ובידקו במחשב.

'((gil 65) (miri 89) (tal 95) (dina 74))

'((a b c d e))

'(+ (/ (* 4 4) (- 10 2)) 12)

'(salary ((1 4000) (2 4010) (3 3080)))

'((1 (2 3) (4 (5 6))))

'()

'(())

'(a () b c)

ב. השלימו את הטבלה הבאה בעזרת רשימות מתאימות כך שיתקבל הערך המוחזר בעמודה הימנית.

הפונקציה המופעלת	איזו רשימה?	הערך המוחזר
(length (first רשימה))	'((good morning) mom and dad)	2
(length (rest רשימה))		3
(length (rest רשימה))		1
(length (rest רשימה))		0
(length (first (rest רשימה)))		2

מבנה כללי של רשימת נתונים:

' (item1 item2 itemN)

כל אחד מאיברי הרשימה, יכול להיות אטום או רשימה חדשה.

רשימה שאינה מכילה אף איבר נקראת רשימה ריקה - ()

רשימה שלא מכילה בתוכה רשימות נוספות נקראת רשימה שטוחה

למשל, (1 2 3 4 5 6) ' (I love you) ' ()

תרגיל 14

בטבלה הבאה מופיעות פונקציות לוגיות נוספות. השלימו את הטבלה.

שם הפונקציה	דוגמה	הערך המוחזר בדוגמה	יחזר #t כאשר הארגומנט הוא	יחזר #f כאשר הארגומנט הוא
number?	(number? '(shalom))	#f	מספר	לא מספר
equal?	(equal? '(a b) '(b a))			
atom?				
list?				

יחידת הלימוד פותחה על-ידי:

מגוון – מחקר ופיתוח בהוראת מדעי-המחשב
המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים, הטכניון

תרגיל 15

א. הודעות השגיאה של סביבת Scheme מספקות מידע רב. בתרגיל זה נתמקד ב-4 סוגי הודעות. לפניכם הוראות שגויות. סווגו אותן ל-4 קבוצות לפי הודעת השגיאה שמתקבלת עבורן בחלון הדו-שיח.

1. (first '(1 2))
2. (add1 x)
3. (list-ref '(1 2 3))
4. (list-ref '(1 2 3) (sub1 15))
5. ('(1 2 3) 5 6)
6. (ribua 4)
7. (+ 3 (rest '(1 2)))
8. (* 2 five)
9. (expt 5 2 3)
10. (first '())
11. ((first '(8 7 6)) 2 3)
12. ((first '(+ - *)) 2 'word)
13. (reverse (list-ref '(1 2 3) 0))

ב. נסו לייצר הוראות שגויות שיגרמו להודעות השגיאה הבאות:

rest : expects argument of type < non-empty list > ; given 7

reference to undefined identifier : L

procedure length : expects 1 argument, given 2 : (1 2 3) 5

procedure application : expected procedure, given 75 ; arguments were : 7 5

סיכום: פונקציות יסוד

א. בפרק הראשון הכרנו את סביבת העבודה ואת הפונקציות היסודיות בשפה.

ב. כל פונקציה פועלת על נתונים ומחזירה ערך. הנתונים נקראים גם **ארגומנטים** או **פרמטרים** של הפונקציה.

ג. ביטוי תקני בשפת התכנות Scheme נרשם במבנה תחבירי אחד - תחילה רושמים את שם הפונקציה ולאחריו את הארגומנטים שלה. שיטת רישום כזו נקראת שיטת **התחילית** או באנגלית **prefix**.

ד. הפונקציות הקיימות בשפה נקראות **פונקציות יסוד**. הן יכולות לקבל ולהחזיר ערכים מספריים, לוגיים, אטומים או רשימות.

ה. **פונקציה לוגית** מחזירה את הערך #t (אמת) או את הערך #f (שקר).

ו. הכרנו שני טיפוסים נתונים בסיסיים: אטום ורשימה. **אטום** יכול להיות מספר, תו, מילה, או ערך לוגי.

ז. רשימה של נתונים היא אוסף של איברים המצויים בתוך סוגריים. לפני הסוגריים מופיע גרש אחד (באנגלית, quote). כל אחד מהאיברים יכול להיות אטום או רשימה.

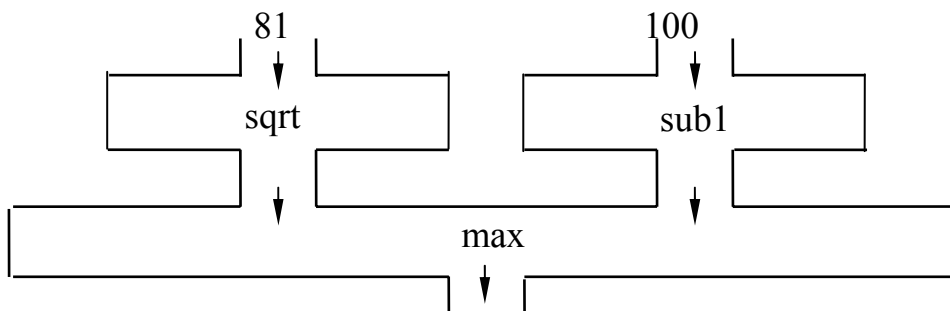
דוגמאות: (10 40), '(a b c), '(I love you), '(list (with) (more (deep lists) in it) inside)

ח. בביטוי מורכב, כל אחד מהארגומנטים יכול להיות בעצמו פונקציה. למשל,

```
( max (sqrt 81) (sub1 100) )
```

במקרה זה, לפונקציה הראשונה (max) יש 2 ארגומנטים. כל אחד מהם הוא פונקציה עם ארגומנט אחד.

ט. ניתן לעקוב אחר ביטויים מורכבים באמצעות מודל הצנרת. לפי המודל הזה, כל פונקציה מתוארת בעזרת מלבן. בכניסה העליונה למלבן נכנסים הארגומנטים עליהם פועלת הפונקציה. ביציאה התחתונה מהמלבן מתקבל הערך המוחזר מהפונקציה. זהו המודל המתאים לביטוי המורכב לעיל:



י. הודעות השגיאה של סביבת Scheme מספקות מידע רב. הכרנו 4 סוגי הודעות:

- reference to undefined identifier : מזהה-לא-מוגדר
- הנתון-שקיבלה-הפונקציה given ; < טיפוס-נתונים > expects argument of type : שם-פונקציה
- הנתונים-שקיבלה-הפונקציה given מספר-אחר ; expects arguments, מספר : שם-פונקציה procedure
- הנתונים : arguments were ; נתון-שאינו-פונקציה given ; expected procedure, procedure application

תרגילים נוספים לפרק "פונקציות יסוד"

תרגיל 1

לפניך מספר ביטויים מתימטיים. תרגם כל אחד מהם לביטוי חוקי בשפת Scheme.

$$\frac{a + b}{2}$$

$$\sqrt{x - 5}$$

$$x^2 + y^2$$

תרגיל 2

נתונה רשימת נתונים

'([dani nati moti] [idan eitan (gili mili zili) sivan] [alon sharon] shai)

א. כמה איברים יש ברשימה? _____ סמנו כל אחד מהאיברים.

ב. מה אורכו של האיבר השני ברשימה? _____

ג. האיבר השני של הרשימה מורכב בעצמו ממספר איברים. כתבו את האיבר השלישי של האיבר השני ברשימה

ד. מה צריך לשנות ברשימה המקורית כדי שכל האיברים בה יהיו רשימות? _____

ה. תנו דוגמה לרשימה שמורכבת משתי רשימות ומספר. הרשימה השניה מורכבת אף היא משתי רשימות ומספר.

תרגיל 3

עבור כל אחד מהביטויים שבטבלה, רשמו את הערך המוחזר כאשר נפעיל אותו על הרשימה הבאה:

('ami [beni bar] [dan dina dror] [ela eran] [gil (hadas hanan)] limor)

	הביטוי שמופעל על הרשימה	הערך המוחזר
1	(first רשימה)	
2	(rest רשימה)	
3	(length רשימה)	
4	(first (rest רשימה))	
5	(rest (rest רשימה))	
6	(rest (rest (rest רשימה)))	
7	(first (reverse רשימה))	
8	(first (rest (reverse רשימה)))	
9	(list-ref רשימה 4)	
10	(list-ref (rest רשימה) 4)	
11	(length (list-ref רשימה 4))	

תרגיל 4

רשמו את הערך המוחזר מכל אחד מהביטויים שבטבלה הבאה:

	הביטוי	הערך המוחזר
1	(first '(1 2 3))	
2	(first (1 2 3))	
3	(first 1 2 3)	
4	(first '1 2 3)	

תרגיל 5

רשמו ביטוי שיש להפעיל על הרשימה הבאה, כדי לקבל את הערכים שבטבלה:

'([one plus one] equals two [and (two plus two) equals four] but [+ 5 5 = 10])

	הביטוי שיש להפעיל על הרשימה	הערך המוחזר
1		(one plus one)
2		one
3		(one)
4		but
5		((two plus two) equals four)
6		(two plus two)
7		(+ 5 5 = 10)
8		(10 = 5 5 +)
9		6
		11
10		((and (two plus two) equals four) two equals (one plus one))

תרגיל 6

לכל אחד מהביטויים שבטבלה רשמו מהו הערך המוחזר.

	הביטוי	הערך המוחזר
1	(+ 5 0 9 -6)	
2	(- 5 0 9 -6)	
3	(+ 0 9 -6)	
4	(add1 (+ [max 4 2] [sqrt 25]))	
5	(abs (- 9 [+ 3 7] [min 5 0 -2]))	
6	(gcd 12 (remainder 20 3))	
7	(+ (sub1 (* (min -1 -9 -5) (quotient 7 5))) (* 5 2))	
8	(first (rest '(a b c d)))	
9	(length (second '((1 2) (3))))	
10	(rest (reverse '(I love you)))	
11	(rest (reverse '(gal tal)))	
12	(list-ref '[a b (c (d e))] 2)	
13	(even? (+ 5 (first '(1 2 3))))	
14	(equal? [first '(1 2 3)] [rest '(5 1)])	
15	(cons (+ 5 1) '(10 20 30))	
16	(cons '(+ 5 1) '(10 20 30))	

תרגיל 7

רשמו את הערך המוחזר מכל אחד מהביטויים שבטבלה הבאה:

1	(first '(a (b c)))	
2	(first '((a b) c))	
3	(first '())	
4	(first '((())))	
5	(rest '(a (b c)))	
6	(rest '((a b) c))	
7	(rest '())	
8	(rest '((())))	