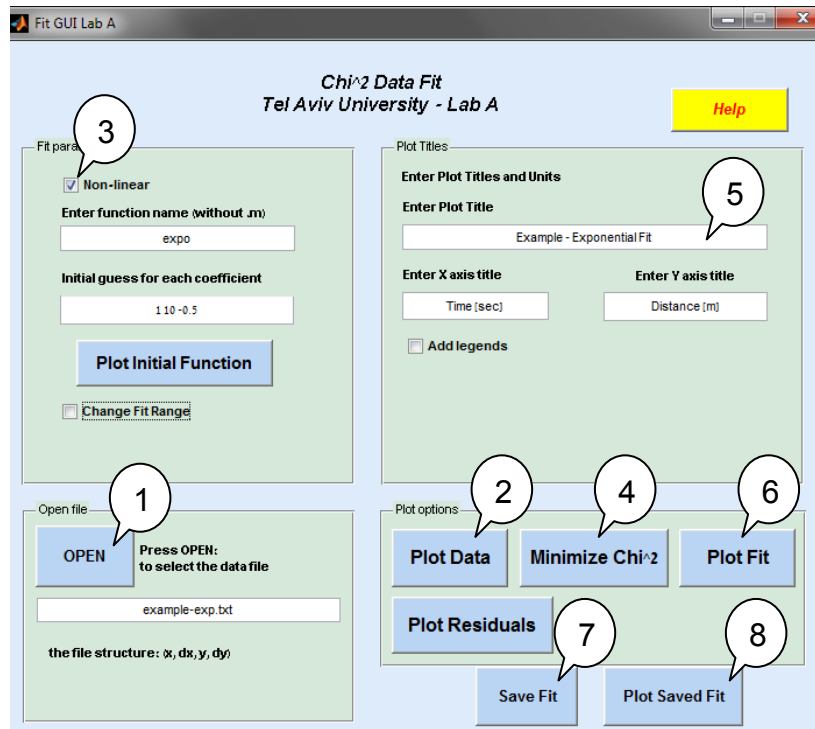


עזרה – שימוש ב GUI לביצוע התאמה לתוצאות ניסוי במעבדה א'

תקציר



הפונקציות המרכזיות לפי סדר הפעולות, כמובן שאפשר לחזור על חלק מהפעולות לפי הצורך:

1. *OPEN* – פתיחת קובץ txt בו שמורים הנתונים בפורמט: $x \ dx \ y \ dy$ ללא שורת כותרת.
2. *Plot Data* – הצגת הנתונים בגרף עם צלבים המציינים את השגיאות.
3. *Non-linear* – בחירה האם מבצעים התאמה לקו ישר או לפונקציה כלשהיא. במקרה של התאמה לקו ישר (לינארית) עברו לסעיף הבא (4). במקרה של התאמה לפונקציה, יש למלא את השדות המופיעים מתחת:
 3.1. שם הפונקציה ללא הסיומת *m*.
 3.2. ניחוש ראשוני לכל פרמטר מופרדים ברווחים. הניחוש מהווה את נקודת ההתחלה של האלגוריתם.
 3.3. *Plot Initial Function* – הצגת הפונקציה המוגדרת על ידי הניחוש הראשוני בגרף נפרד.
4. *Minimize Chi^2* – הפעלת האלגוריתם למציאת ההתאמה עם χ^2 מינימלי. האלגוריתם מציג את התקדמותו ואת תוצאות ההתאמה בחלון Command Window של MATLAB. באופן כללי, תוצאות ההתאמה תלויות בניחוש הראשוני.
5. הוספת כותרות לגרף ולצירים באנגלית.
6. *Plot Fit* – הצגת תוצאות ההתאמה בגרף, לאחר שהאלגוריתם סיים.
7. *Save Fit* – שמירת נתוני ההתאמה כקובץ *.mat*. לאחר קבלת התאמה מספקת.
8. *Plot Saved Fit* – הצגת התאמה קודמת שנשמרה כקובץ *.mat*.

הסברים מעמיקים ופונקציות מתקדמות, כמו בחירת תחום להתאמה, הוספת מקרא לגרף עם מספר התאמות שונות ותיקון הגרף באופן ידני, מופיעים בהמשך.

הקדמה

מטרת מסמך זה היא לסייע לכם בשימוש ביישום GUI (Graphical User Interface), שנכתב בתוכנת MATLAB (Matrix Laboratory) על מנת לבצע התאמה לתוצאות הניסויים שביצעתם במעבדה א'. אנא קראו מסמך זה עד סופו לפני שתנסו להפעיל את היישום. תוכנת MATLAB היא כלי שימושי ונפוץ מאוד במחקר מתקדם והכרתו מהווה יתרון משמעותי לבוגרי תארים במדעים והנדסה. יישום ה-GUI שאתם משתמשים בו נכתב במיוחד עבור מעבדה א' תוך שימוש בפונקציות ואלגוריתמים קיימים. הקוד הינו קוד פתוח ואתם מוזמנים ללמוד אותו ולהציע שינויים ושיפורים.

שמירת הנתונים

יש לשמור את הנתונים בקובץ טקסט (סיומת txt או dat) בארבע עמודות ללא שורת כותרת, כאשר השמאלית ביותר היא X, אחריה השגיאה ב-X, Y והשגיאות ב-Y. כל שורה מייצגת מדידה. לדוגמה:

		ערכי Y			
ערכי X		10	1	2	0.2
		20	1	4	0.4
ערכי השגיאות ב X		30	1	8	0.8
					ערכי השגיאות ב Y

אי ביצוע שמירה בצורה זו לא יאפשר את ביצוע ההתאמה. קובץ לדוגמה מצורף לקבצי הקוד בשם: example-lin.txt.

זהירות: מכיוון שהמשקל של כל נקודה תלוי בשגיאות שלה, אם ערכי השגיאות ב-X ו-Y של נקודה כלשהיא שווים שניהם לאפס, הרי שבחישוב χ^2 מתבצעת חלוקה באפס, ותוצאת האלגוריתם היא NaN (קיצור ל Not a Number). בנוסף, כמו בכל אלגוריתם ממוחשב, לא מומלץ להשתמש במספרים קטנים מדי, למשל: $1e-13$.

אם שמרתם את התוצאות באמצעות תוכנת excel (או כדוגמתה), פתחו קובץ טקסט והעתיקו לתוכו את הנתונים (Copy – Paste). לחלופין, דרך לשונית "שמור בשם" (save as) שמרו כקובץ טקסט (Text – tab delimited) שאותו תטענו לתוך יישום זה. שימו לב שתוכנת excel מאפשרת לשמור רק גיליון עבודה בודד כקובץ טקסט. לכן מומלץ לערוך את כל המדידות וחישובי השגיאות בגיליון אחד ולהעתיק לגיליון שני רק את ארבע העמודות הנדרשות להתאמה (הכוונה כאן היא לגיליון חדש ולא לקובץ חדש).

הפעלת יישום ההתאמה

לאחר פתיחת תוכנת MATLAB, וודאו כי בחלונית שלמעלה מופיעה התיקיה בה שמורים קבצי הקוד של ה-GUI, וכתבו בשורת ההפעלה (command window): fitgui. החלון שיפתח מוצג בעמוד הראשון.

ראשית עליכם לטעון את הנתונים, כלומר את קובץ ה txt ששמרנו קודם, על ידי הקלקה על OPEN. אם מופיעה הודעת שגיאה "Data file error" בחלון ה command window של MATLAB, כנראה ששמרתם את הקובץ בצורה שגויה. אם נתקלתם בהודעת שגיאה אחרת נסו לעבוד עם MATLAB גרסת 2009, ובדקו שאתם מחוברים ל citrix (ה GUI יכול להראות פתוח גם אם החיבור ל citrix נותק, ואז הוא לא יעבוד). אם לא מופיעה הודעת שגיאה, אז הקובץ נטען. אפשר לנקות את כל ההודעות בחלון זה על ידי הקלדת ENTER - ו.

בשלב הבא, **הקלקה על Plot Data תצייר את התוצאות על גבי גרף.** מטרת פעולה זו היא לבחון כי נתוני הניסוי הוכנסו כראוי. אינכם חייבים לסגור את החלון בכדי להמשיך הלאה, שכן ציור ההתאמה יתבצע על אותו החלון.

התאמה לקו ישר (Linear Fit)

כדי לבצע התאמה לינארית, הקליקו על **Minimize Chi²** כאשר האופציה **Non-linear** אינה מסומנת (זוהי ברירת המחדל). ראשית, היישום מוצא בעצמו התאמה פשוטה שאינה מוצגת. זוהי התאמה לקו ישר עם שגיאות אחידות בציר Y וללא התחשבות בשגיאות בציר X (Least square fit). תוצאת התאמה זו מוזנת כנקודת התחלה לאלגוריתם מזעור (Minimize) של χ^2_{red} (זהו מחולק במספר דרגות החופש). האלגוריתם מחפש קו ישר עבורו ערכו של χ^2_{red} הוא הקטן ביותר. כאמור, הוא מתחיל את החיפוש מההתאמה הפשוטה. **תוצאות ההתאמה של האלגוריתם מוצגת ב Command Window באופן הבא:**

1. בשורה הראשונה מופיע מספר הפעמים שהאלגוריתם רץ. למשל: Iteration No. 73.
2. בשורה השניה מופיעה נקודת ההתחלה של האלגוריתם, כלומר הפתרון האנליטי למקרה של שגיאות אחידות בציר Y. למשל: -0.5263069 3.208619 = evaluated initial parameters' values, כאשר המספר הראשון (משמאל) מציין את נקודת החיתוך עם ציר Y והמספר השני מציין את השיפוע. למעשה אין לכם שימוש בנתון זה אלא בנתון הבא.
3. בשורה השלישית מופיעה תוצאת ההתאמה של האלגוריתם, כלומר, ערכי הפונקציה עבורה χ^2_{red} הינו מינימלי. למשל: -0.5203432 3.184863 = fitted parameters' values, כאשר המספר הראשון (משמאל) מציין את נקודת החיתוך עם ציר Y והמספר השני מציין את השיפוע. אם השגיאות אחידות ייתכן ושורות 2 ו 3 יהיו זהות. בכל מקרה עליכם להשתמש בשורה 3.
4. בשורה הבאה יופיעו השגיאות (אי הוודאיות) של שני הערכים הללו משמאל לימין בהתאמה, למשל: fitted parameters' errors = 0.02261974 0.003660732. לכן בסך הכל תוצאת האלגוריתם בדוגמה זו היא: חיתוך עם ציר Y: $b = 3.185 \pm 0.023$, ושיפוע הקו: $a = -0.5203 \pm 0.0037$.
5. בשורה הבאה מופיע ערכו של χ^2 , כלומר $\chi^2 = 15.835$. למשל: $\chi^2 = 15.835$.
6. לבסוף מופיע ערכו של χ^2 המחולק במספר דרגות החופש (Reduced), כלומר χ^2_{red} , וזהו הערך החשוב לנו. מספר דרגות החופש שווה למספר התוצאות (כלומר, מספר הנקודות עבורן בצעתם התאמה) פחות מספר הפרמטרים של הפונקציה (2 במקרה של קו ישר). למשל: $\chi^2_{red} = 1.9794$.

נתונים אלה לא נשמרים ועליכם לרשום אותם לעצמכם.

התאמה לפונקציה כלשהי (Non-linear fit)

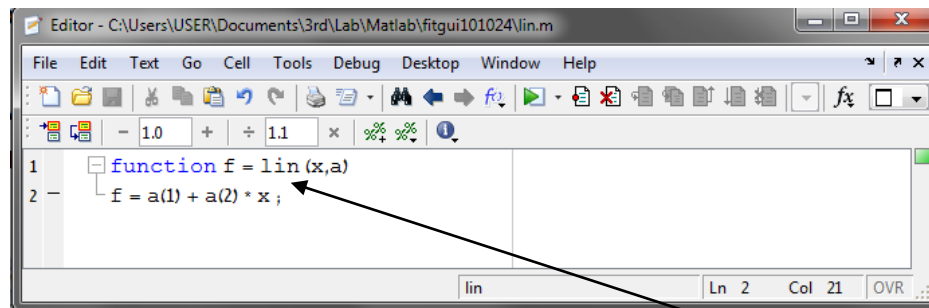
כדי לבצע התאמה לפונקציה כללית, לאו דוקא לקו ישר, יש לסמן את אופציית Non-linear. כפי שמוסבר בהמשך, בחלונות שנפתחו יש להזין את שם הפונקציה אותה רוצים להתאים לנתונים, וכן ניחוש ראשוני לפרמטרים של הפונקציה שישמש כנקודת התחלה לאלגוריתם.

כתיבת הפונקציה

ראשית, עליכם להכניס ל-MATLAB תיאור מתמטי של הפונקציה אותה אתם רוצים להתאים לנתונים שלכם (למשל אקספוננט או פרבולה). לשם כך יש לכתוב את הפונקציה המבוקשת ולשמור אותה כקובץ MATLAB עם סיומת: **m**. בתיקיית העבודה בלבד! כדי לכתוב פונקציות ב MATLAB עליכם להשתמש ב Editor. אם חלון זה אינו פתוח, חזרו לחלון תוכנת MATLAB ופתחו אותו דרך תפריט Desktop (הקליקו על Desktop בשורת התפריטים למעלה, ואז הקליקו על Editor).

שימו לב שקיימות כבר ב MATLAB פונקציות רבות (כמו exp, pow2) ועליכם לשמור בשם שלא קיים כבר ב MATLAB (למשל: הוסיפו את שמכם לאחר שם הפונקציה). זהירות: עדיף לשמור פונקציה באנגלית ללא רווחים,

תווים מיוחדים או מספרים. פונקציה המבצעת התאמה לינארית בשם lin מוצגת להלן: (פונקציה זו מצורפת לקבצי הקוד)



שם הפונקציה שרשום כאן (בדוגמה זו: lin) צריך להיות תואם לשם הקובץ אותו בחרתם (בדוגמה זו: lin.m). לתוכנת MATLAB, כמו לכל תוכנת מחשב, יש כללים שחובה להקפיד עליהם. **שימו לב לרשום פונקציות חדשות באותו הפורמט המופיע כאן.** הקפידו על סדר האברים בסוגריים (x,a), על רישום נכון של המילה function וכן על הוספת הסימן נקודה-פסיק (;) בסוף השורה השניה. המשתנה x הוא וקטור ב MATLAB, ובפונקציה זו יש לכפול אותו סקלרית, כלומר כל אבר בעצמו. בפועל, יש להוסיף נקודה (הסימן: .) לפני פעולות כמו כפל חילוק והעלאה בחזקה של משתנים כאלה. למשל: $x.^{-1} + a(3) * x.^3 + a(2) * x * x + a(1) * x$. לאקספוננט יש מילה מיוחדת (פונקציה): exp. למשל, כתיבת $\exp(x)$ משמעותה חישוב של e^x . באופן דומה קיימות פונקציות נוספות, כמו $\ln(x)$.

הפונקציה הלינארית lin מקבלת שני פרמטרים – וקטורים x ו-a (כלומר, x מסמל רשימה של ערכים: x_1, x_2, x_3, \dots). כאשר הוקטור הראשון (x) הוא וקטור התוצאות אשר עליו יש לבצע התאמה, והוקטור השני (a) הינו וקטור המקדמים שעליו מתבצעת המינימיזציה והוא למעשה תוצאת ההתאמה. תוצאת ההתאמה שתתקבל תהיה איבריו של a בסדר עולה משמאל לימין (בדוגמה הזו a(1) הוא נקודת החיתוך, ו-a(2) הוא שיפוע הישר).

אתחול האלגוריתם – הניחוש הראשוני

לאחר ששמרתם את הפונקציה, עליכם לרשום את שמה ללא הסיימת m. במקום המתאים בחלון ה GUI. לפני שתבצעו את ההתאמה עליכם להזין ניחוש התחלתי לאיבריו של וקטור הפרמטרים. **הכניסו מספרים התואמים את הפרמטרים של הפונקציה בסדר עולה משמאל לימין עם רווח ביניהם.** בדוגמה זו צריך להזין שני מספרים, הראשון ל a(1) והשני ל a(2). האלגוריתם המבצע את ההתאמה מתחיל מפונקציה המתוארת על ידי הניחוש הראשוני שלכם, ולאחר מכן משנה את הפרמטרים לקבלת ערך נמוך יותר ל- χ^2 . לכן, יש משמעות לניחוש הראשוני וייתכן כי ניחושים שונים יתנו התאמות שונות. **אפשר לבחון את הניחוש הראשוני לעומת הנתונים על ידי הקלקה על Plot Initial Function.** כמובן שאם הניחוש לא נראה קרוב לנתונים אפשר לתקן אותו בהתאם. ברוב המקרים גם ניחוש שנראה לעין רחוק מהנקודות, מהווה נקודת התחלה טובה והאלגוריתם מתכנס.

הפעלת האלגוריתם לביצוע ההתאמה

הכפתור Minimize Chi^2 יבצע את ההתאמה ויציג בחלון ה-command window את תוצאות ההתאמה. בזמן שהאלגוריתם עובד תוצג שורה ובה מספר רץ. מספר זה מונה את מספר הפעמים שהאלגוריתם ניסה פרמטרים שונים בדרכו למציאת ההתאמה הטובה ביותר. אם נמצאה התאמה טובה קרוב לניחוש הראשוני שלכם אז המספר יעצור ומתחת לו יופיעו התוצאות בפורמט דומה לזה של התאמה לינארית. אם האלגוריתם לא מצא התאמה מספיק טובה אז המספר יעצור ב 100,001 ויפיע באדום. במקרה כזה האלגוריתם התרחק מהניחוש הראשוני שלכם את המספר המקסימלי של צעדים שהוגדר עבורו, ועצר. במקרה כזה יש להתחיל מחדש עם ניחוש

אחר, קרוב יותר לפונקציה. בנוסף, אם קבלתם שהשגיאה היא NaN או מספר מרוכב, זה סימן לכך שההתאמה לא הצליחה. בדקו שוב את הפונקציה שלכם ואת הנתונים שהזנתם, ונסו ניחוש ראשוני אחר.

שימו לב שגם אם האלגוריתם הצליח למצוא התאמה בפחות מ 100,000 נסיונות, אין זה אומר כי זוהי ההתאמה המיטבית. כדאי לבדוק ניחוש ראשוני עם פרמטרים אחרים. למשל, אם הזנו לפרמטר מסוים את הערך ההתחלתי 10, והאלגוריתם נעצר על הערך 6, כדאי לנסות ערך נמוך כמו 5, כדי לבחון את הצד השני של מרחב הפרמטרים.

הצגת ההתאמה

לפני שתציירו את תוצאות ההתאמה, עליכם לתת כותרות לגרף עצמו ולשני הצירים, זה נעשה באמצעות כתיבתם בחלונות המתאימות. זכרו להוסיף יחידות לכל אחד מהצירים. **על מנת לצייר את תוצאות ההתאמה על גבי הגרף עליכם להקליק על Plot Fit**. אם אינכם רואים את הנקודות וצלבי השגיאה הקליקו על Plot Data. שימו לב שהקו מתאר את תוצאת האלגוריתם ולא את הניחוש הראשוני שלכם. ההתאמה משורטטת בקו אדום החל ממעט לפני הנקודה הראשונה ועד מעט אחרי הנקודה האחרונה. אם הגרף היה פתוח לפני שהקלקתם על Plot Fit, ההתאמה החדשה תשורטט על גבי הישנה. אפשר פשוט לסגור את הגרף ולהקליק על Plot Data ואחר כך על Plot Fit כדי לראות רק את ההתאמה החדשה. שמירת התמונה מתבצעת מהחלון באמצעות לחיצה על file ואז על save as, ומומלץ לשמור כתמונה מסוג bmp.

לסיכום, סדר הפעולות:

1. טעינת קובץ הנתונים על ידי הקלקה על OPEN.
2. הקלקה על Plot Data וסקירת הגרף.
3. בחירת סוג ההתאמה – קו ישר או פונקציה אחרת.
- 3.1. התאמה לקו ישר בעזרת Minimize Chi².
- 3.2. התאמה לפונקציה אחרת על ידי כתיבת הפונקציה, והכנסת שם הפונקציה וניחוש התחלתי עבור המקדמים, אותו ניתן לבחון בעזרת Plot Initial Function.
4. הקלקה על Minimize Chi² ורישום תוצאות ההתאמה.
5. הכנסת כותרות לגרף ולצירים.
6. הקלקה על Plot Fit ושמירת הגרף. שמירת ההתאמה בעזרת Save Fit.
7. ניתן לחזור על צעדים 3.2, 4 ו-6 עם ניחושים שונים עד למציאת התאמה מיטבית.

אפשרויות מתקדמות

שמירת ההתאמה שקבלתם מתבצעת באמצעות הקלקה על Save Fit, הנתונים נשמרים כקובץ mat.

הצגת התאמה שנשמרה כקובץ mat. מתבצעת בעזרת Plot Saved Fit. שימו לב שרק הפונקציה תוצג (קו אדום). כדי להוסיף את הנקודות וצלבי השגיאה יש לטעון אותם בעזרת OPEN ולהוסיף לגרף בעזרת Plot Data.

בחירת טווח ההתאמה – כדי לאפשר אופציה זו סמנו את הקופסה Change Fit Range כפי שמופיע באיור הבא. ההתאמה תבוצע רק לנקודות הנמצאות בטווח מסוים. הטווח נבחר על ידי ציון ערכי X מינימלי ומקסימלי. חובה לציין מספרים בשני השדות הנ"ל. לאחר בחירת הטווח יש לבצע Minimize Chi² ו- Plot Fit. שימו לב שההתאמה

משורטטת גם מעט לפני תחילת התחום ומעט אחרי קצה התחום, אך מחושבת רק לפי הנקודות בתחום שבחרתם.

הצגת גרף שארים – הצגת גרף של שארים (*Plot Residuals*), ההפרשים בין המדידות y_i לערכי הפונקציה המתאימים $f(x_i)$, כפי שמוסבר בחוברת בסטטיסטיקה (עמוד 34).

הוספת מקרא לגרף – כדי לאפשר אופציה זו סמנו את הקופסה *Add Legends* כפי שמופיע באיור הבא. אין צורך להוסיף מקרא עבור סט אחד של מדידות והתאמה אחת. אם יש לנו מספר סטים של נקודות ומספר התאמות אזי ניתן להוסיף מקרא באופן הבא:

1. טעינת הנתונים בעזרת *OPEN*.
2. הצגת הנקודות וצלבי השגיאה בעזרת *Plot Data*.
3. טעינת ההתאמה והצגתה בעזרת *Plot Saved Fit*.
4. חזרה על שלבים 1-3 עבור כל סט של נקודות והתאמות שונות.
5. סימון הקופסה *Add Legends* כמתואר באיור הבא.
6. הזנת שמות (מומלץ באנגלית) לנקודות ולקווי ההתאמה לפי הסדר בו הוזנו. בין כל שם לשם יש להכניס את הסימן נקודה-פסיק (;). בסה"כ יהיו לנו פי שניים שמות ממספר ההתאמות – כי לכל התאמה נזין שם לנקודות ושם להתאמה.
7. הקלקה על *multiple data files*.

אם יש לנו סט אחד של נקודות ומספר התאמות שונות נעבוד באופן דומה אלא שאת הנקודות נטען רק פעם אחת בהתחלה, ואת ההתאמות נטען אחת אחרי השניה. נזין שם לסט הנקודות ושמות להתאמות מופרדים בסימן נקודה-פסיק (;). לבסוף נקליק על *single data file* להוספת המקרא.

The screenshot shows the 'Fit GUI Lab A' window with the following sections and annotations:

- Fit parameters:** Includes checkboxes for 'Non-linear' and 'Change Fit Range', a text field for 'Enter function name (without .m)' (containing 'expo'), and a text field for 'Initial guess for each coefficient' (containing '1 10^-0.5'). A 'Plot Initial Function' button is also present.
- Open file:** Contains an 'OPEN' button and a text field for the file name (containing 'example-exp.txt'). Below it, it specifies 'the file structure: x, dx, y, dy'.
- Plot Titles:** Includes fields for 'Enter Plot Title' (containing 'Example - Exponential Fit'), 'Enter X axis title' (containing 'Time (sec)'), and 'Enter Y axis title' (containing 'Distance (m)'). There is a checked 'Add legends' checkbox and two buttons: 'multiple data files' and 'single data file'.
- Plot options:** Contains buttons for 'Plot Data', 'Minimize Chi^2', 'Plot Fit', 'Plot Residuals', 'Save Fit', and 'Plot Saved Fit'.

Annotations with arrows pointing to specific parts of the interface:

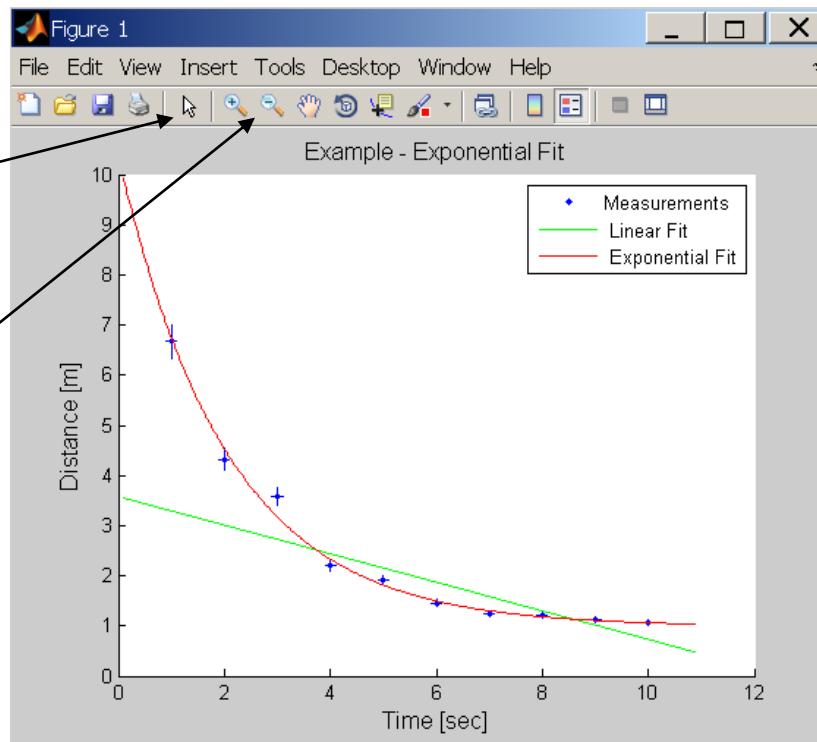
- Top right: הקליקו כאן כדי להוסיף מקרא למספר התאמות (Click here to add legend for multiple fits).
- Middle right: הזינו שמות לסדרות הנקודות ולהתאמות עם ; בין שם לשם (Enter names for the series of points and fits with ; between names).
- Bottom right: הקליקו כאן כדי להוסיף את המקרא לגרף (Click here to add legend for the plot).
- Bottom right: הקליקו כאן כדי להציג גרף שארים (Click here to display residuals plot).
- Left: הקליקו כאן כדי לבחור תחום נתונים להתאמה (Click here to choose data range for fitting).
- Bottom left: רשמו כאן את הערכים המינימלי והמקסימלי לציר X (Enter the minimum and maximum values for the X-axis here).

עריכה ידנית של הגרף

הקליקו על החץ המופיע בחלון הגרף מצד שמאל למעלה כפי שמופיע באיור הבא. כעת תוכלו לבצע את השינויים הבאים:

1. אפשר להזיז את מיקום המקרא על ידי גרירה שלו.
2. אפשר לערוך את הטקסט המופיע בכותרת הגרף, בכותרות הצירים ובמקרא. שימו לב שאפשר להוסיף סימנים מיוחדים כמו אותיות ביוונית וסימוני חזקה. למשל, $\chi^2_{red}=5$ יציג χ^2_{red} .
3. אפשר לסמן סט של נקודות או קו התאמה על ידי בחירה (לחצן שמאלי) ואז לשנות את הצבע שלו על ידי הלחצן הימני ובחירה ב Color. בדקו את שאר האפשרויות בתפריט זה, למשל, שנו את הקו לקו-נקודה (dash-dot).

הקלקה נוספת על החץ תצא ממצב עריכה זה.



בהצלחה!