



**פיתוח תהליכי ייצור להפקת דלק ביולוגי
ממקורות אנרגיה מתחדשים
בעזרת מיקרוגל, סונוכימיה וסיוע של קטליזטורים שונים**

מגישה: מירי קוברג בהנחייתו של פרופ' א. גדנקן

הנושאים המרכזיים

הקדמה

- מחקרים קודמים העוסקים בייצור ביו-דיזל
- בעיות ייצור של ביו-דיזל
- מטרת המחקר

מהלך ניסוי ודין בתוצאות

- תגובת טרנס-אסטרופיקציה ליצירת ביו-דיזל
- חלק א: אבחון תנאים אופטימאליים ליצירת ביו-דיזל משמן סויה
- חלק ב: הפקת ביו-דיזל ממקורות שונים כתחליף לשמן צמחי, סויה

סיכום

מחקר עתידי

הקדמה

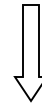
מחקרים קודמים ובעיות ייצור של ביו-דיזל

התאמת קטליזאטור לתהליך טרנס-אסטריפיקציה של ביו-דיזל:

- קטליזאטורים חומציים (H_2SO_4)
- קטליזאטורים בסיסיים הומוגניים (NaOH , KOH)
- קטליזאטורים בסיסיים הטרוגניים (BaO, CaO, MgO)

התאמת מקור חימום להנעת תגובת טרנס-אסטריפיקציה:

- חימום סטנדרטי באמצעות מערכת Reflux
- חימום באמצעות השיטה הסונוכימית
- לאחרונה התגלה רעיון להחליף את החימום הסטנדרטי בגלי מיקרו



בעיה: קיימים חסרונות בשיטות הקיימות לקבלת ניצולת מקסימאלית של ביו-דיזל

מטרת המחקר

פיתוח שיטה לייצור ביו-דיזל באופן אופטימאלי ע"י שימוש בקומבינציה חדשה המשלבת את השימוש בתנור מיקרוגל ביתי פשוט וקטליזאטור בסיסי מוצק מסוג SrO .

פיתוח השיטה מורכב ממספר שלבים עיקריים:

חלק א: אבחון תנאים אופטימאליים ליצירת ביו-דיזל משמן סויה.-

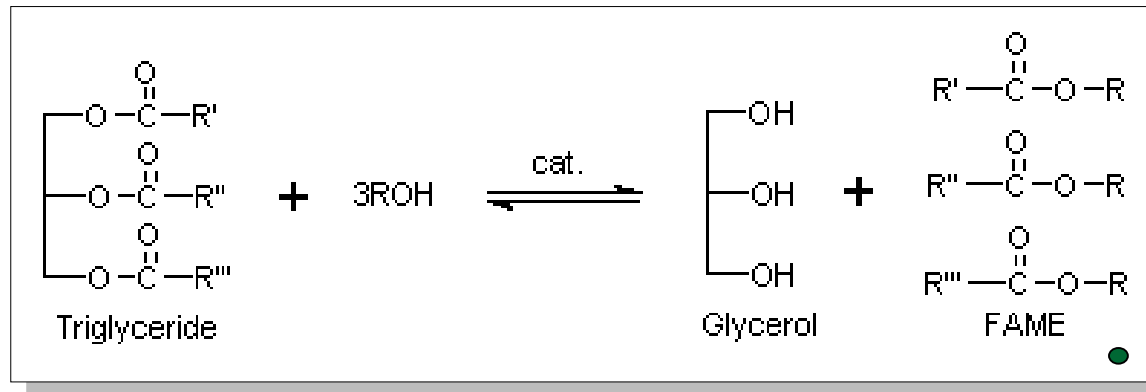
חלק ב: הפקת ביו-דיזל ממקורות שונים כתחליף לשמן צמחי, סויה: שמן בישול-משומש, שמן קיקיון ושמן של מיקרו-אצות ממין ננוכלורופסיס.

אפיון פאזת טריגליצרידים של שמן ופאזת מתיל אסטרים של חומצות שומן (ביו- TLC ו- ^1H NMR Spectroscopy דיזל) ע"י:

• UV-Vis ו- SEM , Optical Microscope אפיון אבקת מיקרו-אצות ע"י Spectroscopy .

מהלך ניסוי ודיון בתוצאות

תגובת טרנס-אסטריפיקציה ליצירת ביו-דיזל



• טריגליצרידים של השמן מגיבים עם מתנול או אתנול ליצירת מתיל אסטרים של חומצות שומן (ביו-דיזל) וגליצרול כתוצר לוואי.

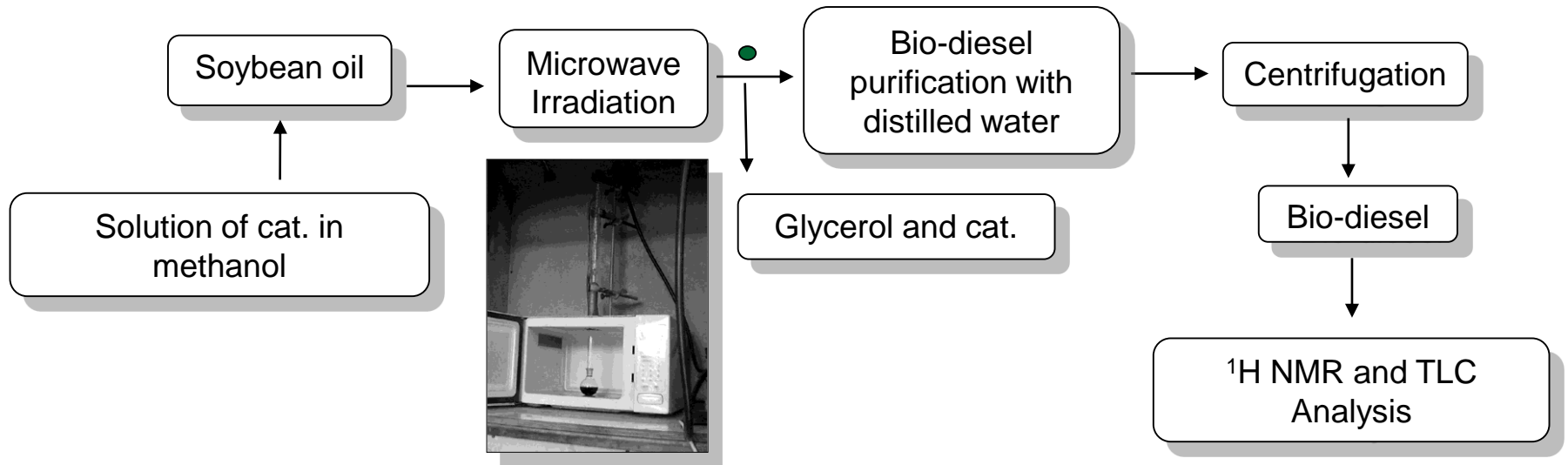
• גליצרול משמש כתוסף שמנוני בסבונים, משחות, קוסמטיקה ובתעשיית המזון. משמש כחומר הלחה ומסמיך.

חלק א: אבחון תנאים אופטימאליים ליצירת ביו-דיזל משמן סויה

- השוואת פעילות קטליטית בין קטליזאטור בסיסי מוצק מסוג SrO לבין קטליזאטור בסיסי מקובל KOH.
- בדיקת השפעה של עוצמת מיקרוגל על ניצולת של ביו-דיזל.
- אבחון זמן אופטימאלי להתרחשות תגובת טרנס-אסטרופיקציה: מעבר מסקאלה של דקות לסקאלה של שניות.
- אבחון כמות אופטימאלית של SrO המתפקד כקטליזאטור בתגובת טרנס-אסטרופיקציה.
- בדיקת מחזוריות של קטליזאטור SrO.
- בדיקת עמידות קטליזאטור SrO בתנאי הניסוי תחת אוויר ע"י XRD.

השוואת פעילות קטליטית בין קטליזאטור בסיסי מוצק SrO

לבין קטליזאטור בסיסי מקובל KOH



• כמות המגיבים:

- 15 גרם של שמן סויה, תמיסה של מתנול (4.05 מ"ל) ו-0.276 גרם של קטליזאטור בסיסי מוצק SrO או 0.15 גרם KOH.
- היחס המולרי בין טריגליצרידים בשמן למתנול הוא 1:6 בהתאמה.
- היחס המולרי בין שני הקטליזאטורים נשמר על מנת לבחון את ההבדל בפעילות של שניהם.

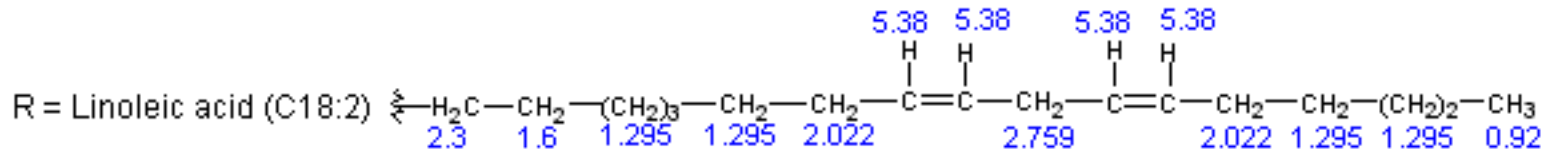
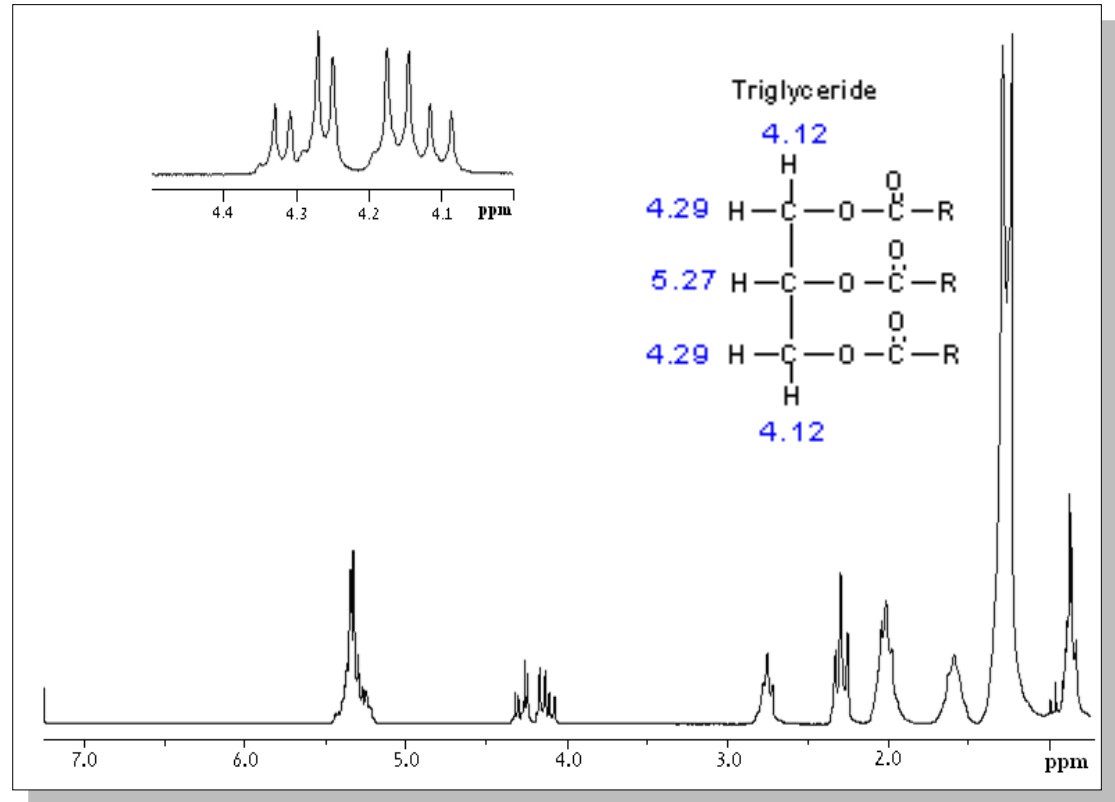
• מערכת חימום:

תנור המיקרוגל בעל הספק כולל של 900W (70% power).

- זמן התגובה: 1min, 2,3,4.

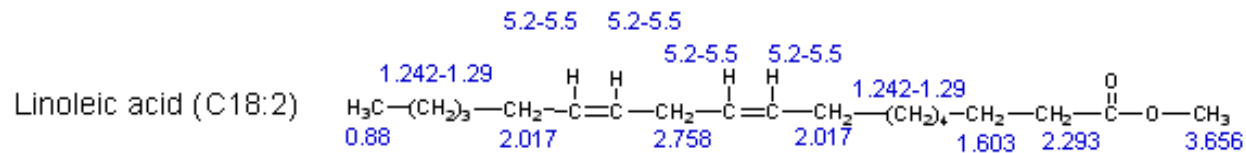
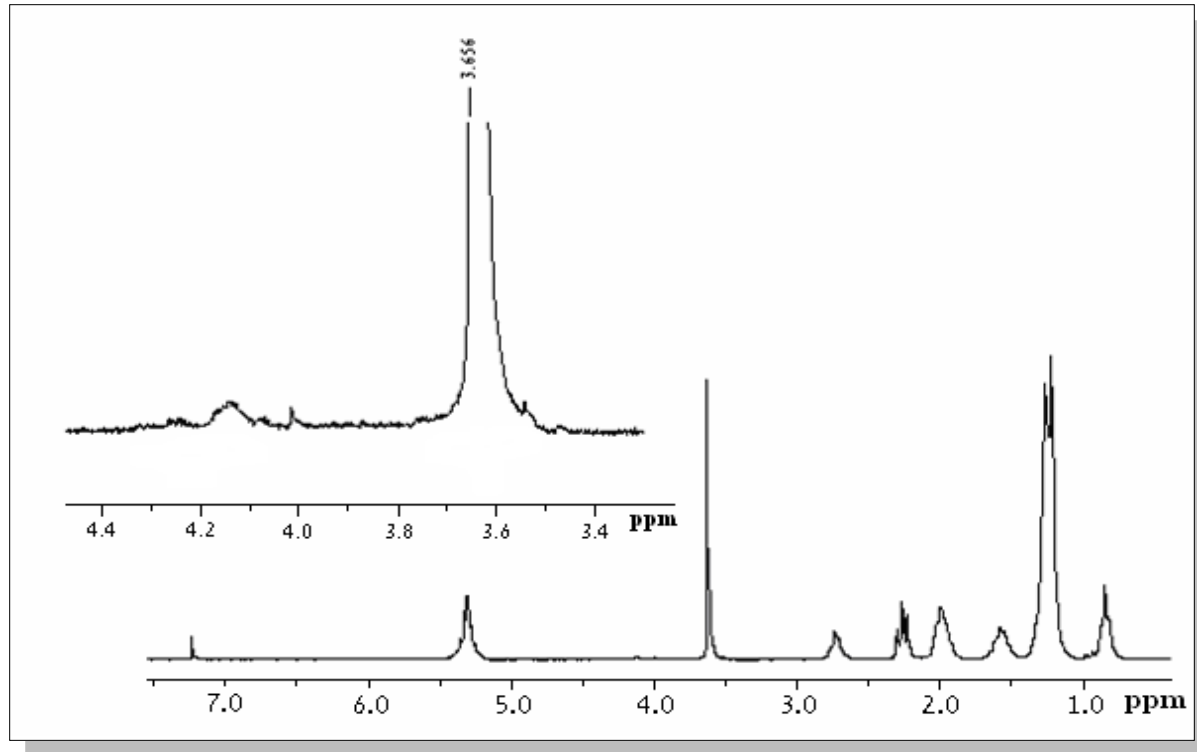
¹H NMR Spectroscopy

Type of fatty acid (R)	Composition (wt %)
Palmitic (C16:0)	7-13.5
Stearic (C18:0)	1.4-5.5
Oleic (C18:1)	19-30
Linoleic (C18:2)	48-61.5
Linolenic (C18:3)	4-10.7



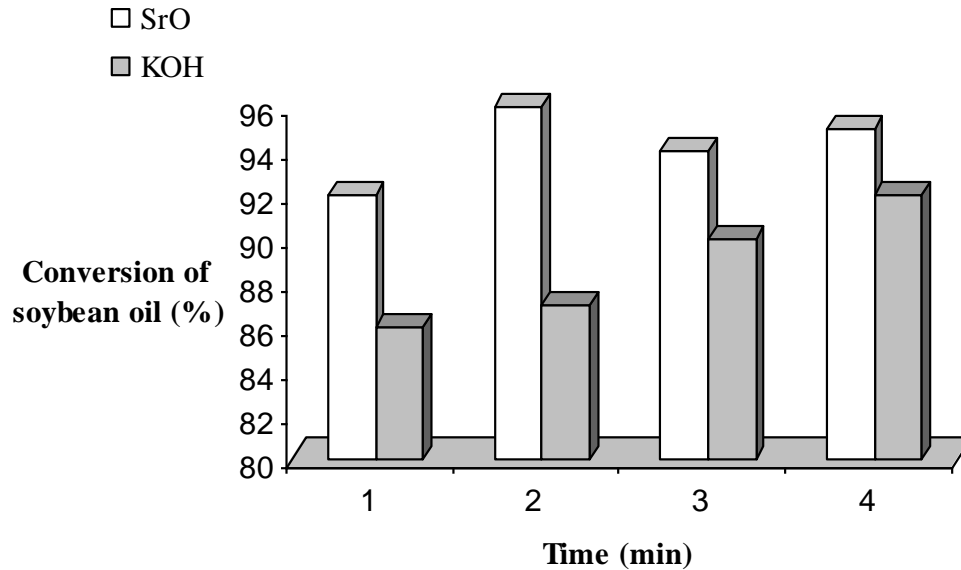
¹H NMR Spectrum (200 MHz, CDCl₃) של חומר המוצא, שמן סויה, מכיל טריגליצרידים המורכבים מ-5 חומצות שומן שונות. ערכי ההיסט הכימי מסומנים בכחול (ppm) δ.

^1H NMR Spectroscopy



^1H NMR Spectrum (200 MHz, CDCl_3) של ביו-דיזל נקי אשר התקבל לאחר 2 דקות ונעשה שימוש ב-SrO. ערכי ההיסט הכימי מסומנים בכחול (ppm) δ .

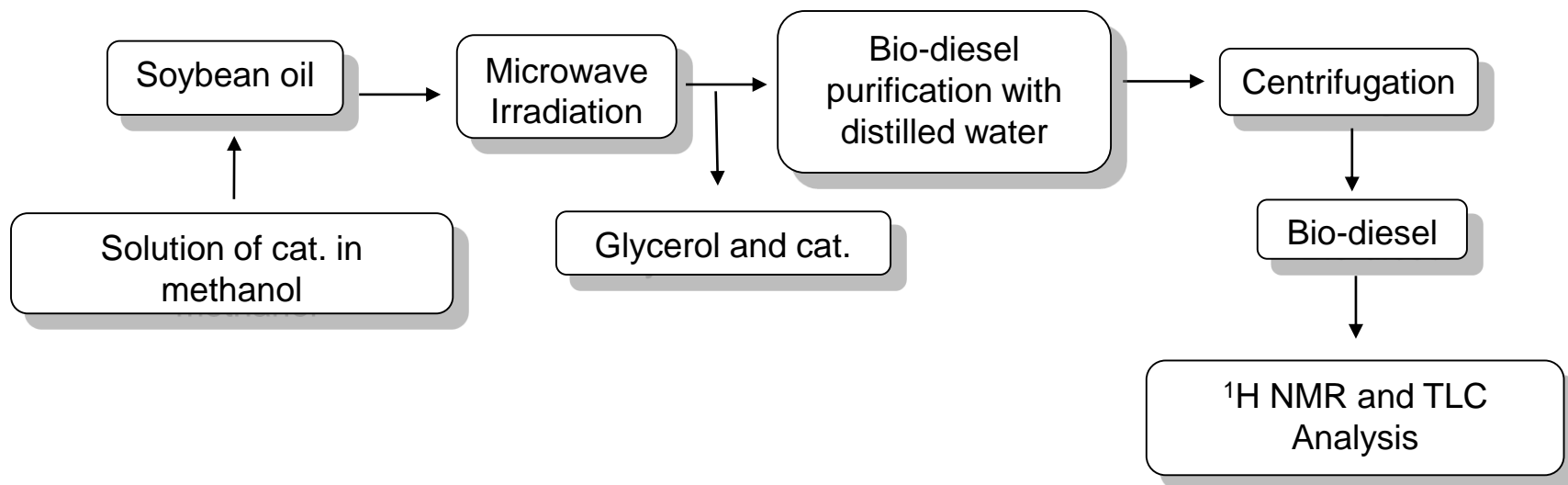
SrO השוואת פעילות קטליטית בין קטליזאטור בסיסי מוצק מסוג KOH לבין קטליזאטור בסיסי מקובל



Conversion (SrO 0.276gr)	Conversion (KOH 0.15gr)	Time (min)
92	86	1
96	87	2
94	90	3
95	92	4

ניצולת של ביו-דיזל כפונקציה של זמן התרחשות התגובה טרנס-אסטרופיקציה: השוואת פעילות SrO ל-KOH בין

בדיקת השפעה של עוצמת מיקרוגל על ניצולת של ביו-דיזל.



כמות המגיבים:

- 15 גרם של שמן סויה, תמיסה של מתנול (4.05 מ"ל) ו-0.276 גרם של קטליזאטור בסיסי SrO מוצק.

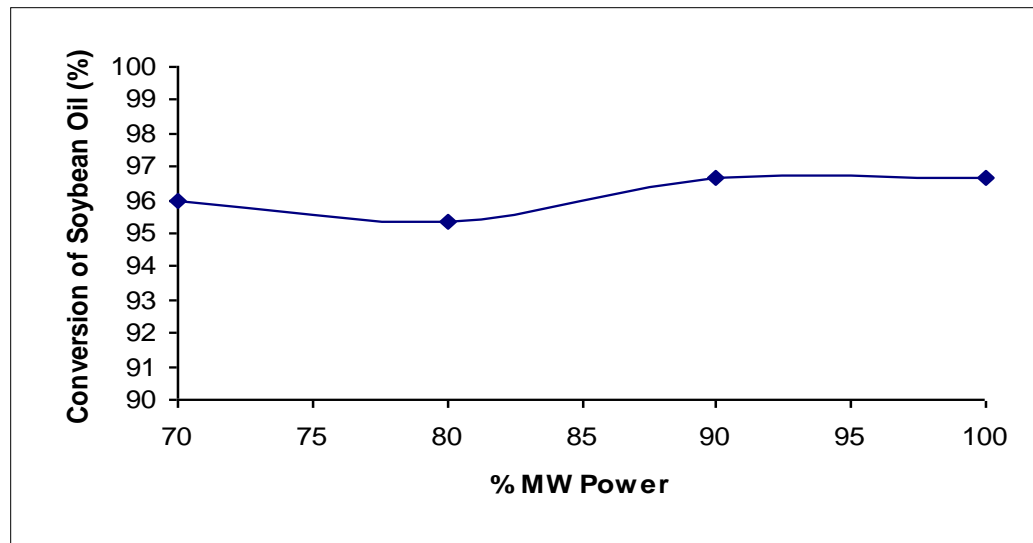
- היחס המולרי בין טריגליצרידים בשמן למתנול הוא 1:6 בהתאמה.

מערכת חימום:

900W :70%, 80%, 90%, 100% power תנור המיקרוגל בעל הספק כולל של

• זמן התגובה: 2 min.

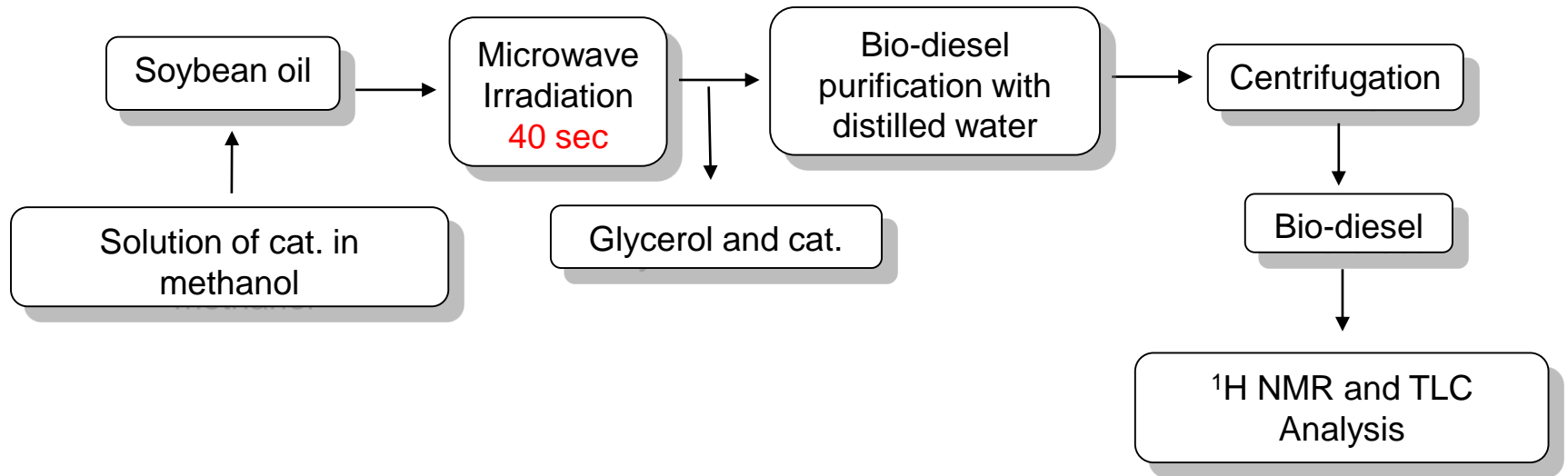
בדיקת השפעה של עוצמת מיקרוגל על ניצולת של ביו-דיזל.



% MW Power	Conversion of Soybean Oil (%)
70	96
80	95.35
90	96.64
100	96.7

ניצולת ביו-דיזל כפונקציה של עוצמת מיקרוגל.

אבחון זמן אופטימאלי להתרחשות תגובת טרנס-אסטרופיקציה:
מעבר מסקאלה של דקות לסקאלה של שניות



כמות המגיבים:

- 15 גרם של שמן סויה, תמיסה של מתנול (4.05 מ"ל) ו-0.276 גרם של קטליזאטור בסיסי KOH או 0.15 גרם SrO מוצק
- היחס המולרי בין טריגליצרידים בשמן למתנול הוא 1:6 בהתאמה.

מערכת חימום:

(70% power 900W) תנור המיקרוגל בעל הספק כולל של

• זמן התגובה: 10-60 sec.

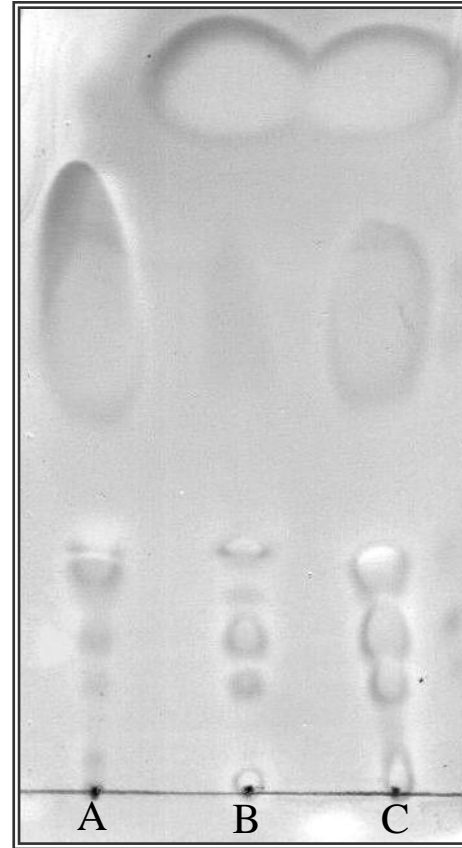
TLC (Thin Layer Chromatography) אנליזת

FAME

Triglycerides

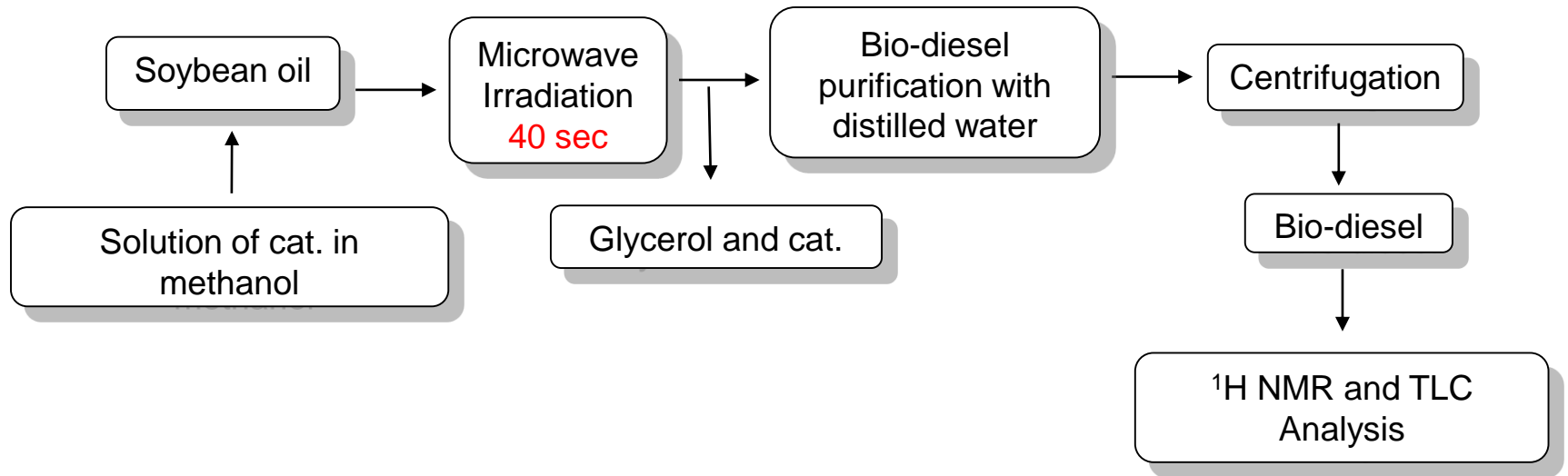
Diglycerides and
Monoglycerides

Sample



לוחית סיליקה המציינת את המיקום של מונוגליצרידים, דיגליצרידים וטריגליצרידים של שמן סויה, ובי-
שייכת למגיב של שמן סויה, A. הרצה (FAME) דיזל המורכב ממתיל אסטרים של חומצות שומן
בהתאמה. KOH ו- SrO שייכות לתוצר בי-דיזל לאחר תגובה של 40 שניות בנוכחות C ו-B והרצות

המתפקד כקטליזאטור בתגובת טרנס-אסטריפיקציה SrO אבחון כמות אופטימלית של



ניצולת ביו-דיזל (%)	גרם SrO כמות של
97	0.276
93	0.138
94.5	0.069
90	0.046
87	0.0345
85	0.0276

- היחס המולרי בין טריגליצרידים בשמן למתנול הוא 1:6 בהתאמה.

כמות המגיבים:

15 גרם של שמן סויה, תמיסה של מתנול (4.05 מ"ל)

(גרם): SrO - כמויות משתנות של

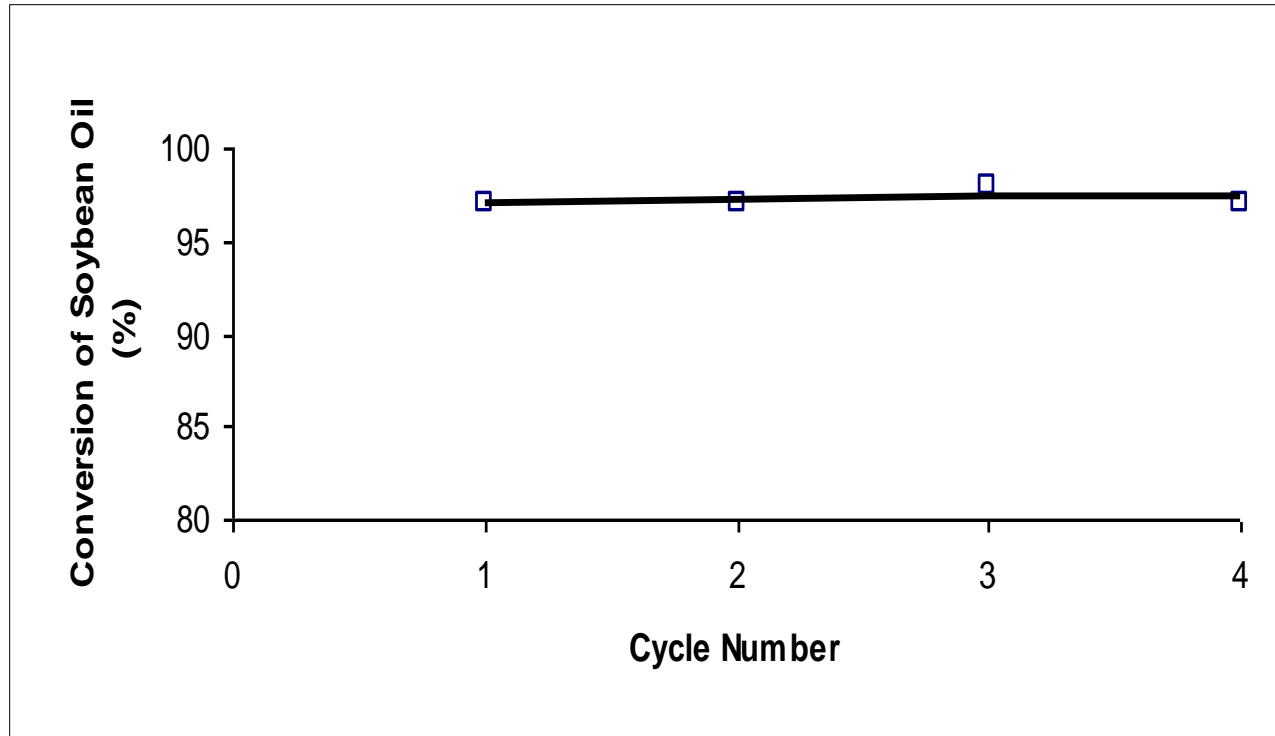
0.276, 0.138, 0.069, 0.046, 0.0345, 0.0276

מערכת חימום:

(70% power 900W) תנור המיקרוגל בעל הספק כולל של

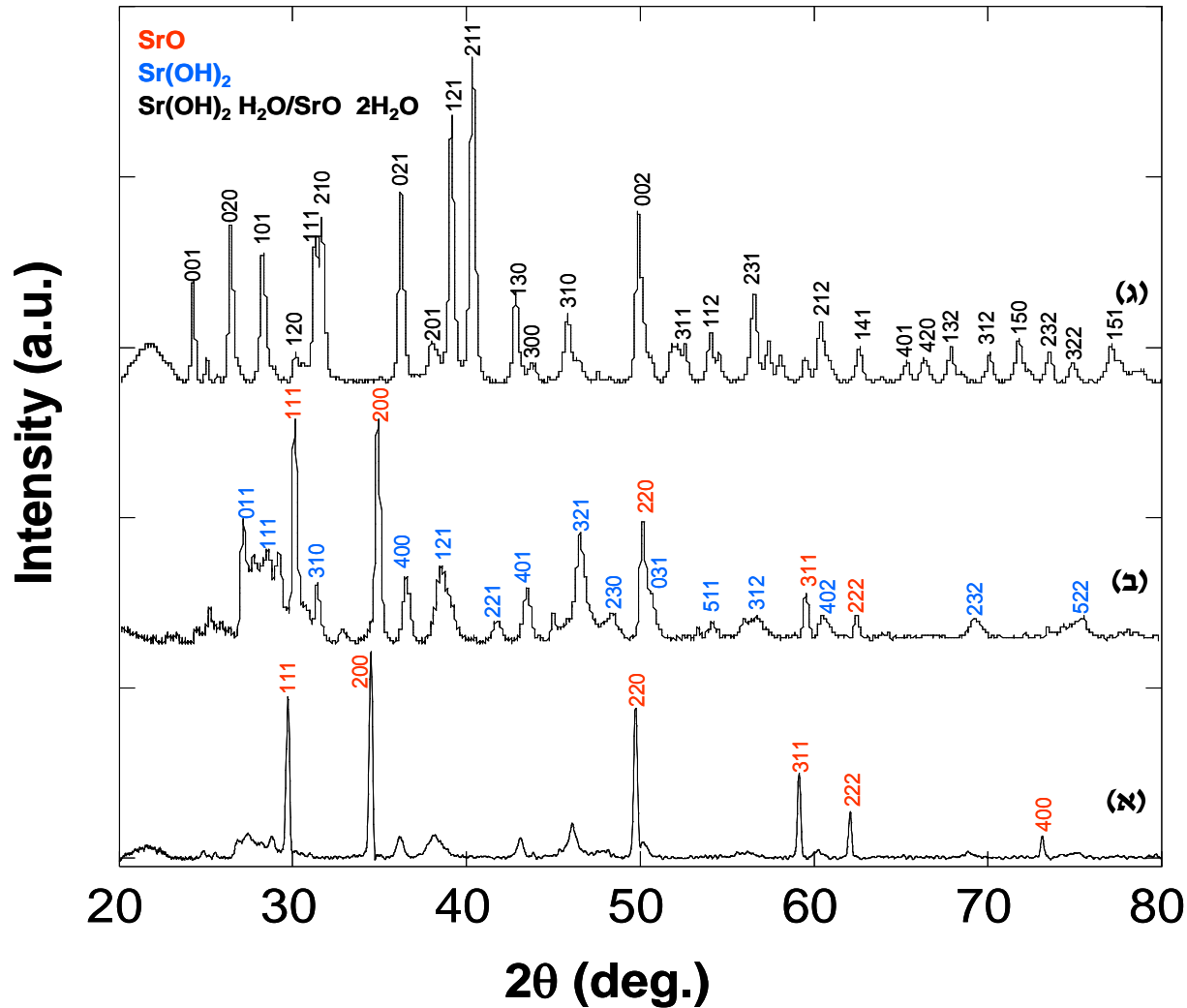
40 sec. זמן התגובה:

SrO בדיקת מחזוריות של קטליזאטור



ניצולת ביו-דיזל כפונקציה של מס' המחזור. נערכו סה"כ 4 ניסויים עם קטליזאטור מחזורי. ניתן לראות כי גם לאחר שימוש חוזר של קטליזאטור אין שינוי משמעותי בניצולת של ביו-דיזל. מדובר בתוצאה מאוד משמעותית מהיבט התעשייתי-כלכלי.

בתנאי הניסוי תחת אוויר ע"י SrO בדיקת עמידות קטליזטור
XRD (X-Ray-Diffraction Analysis)



אשר נחשף SrO הנחשף לאוויר במשך מספר דקות, (ב) SrO. (א) XRD תמונות עקיפה של
 במשך 3 ימים תחת אוויר. SrO לשעה ו-(ג) לאחר חשיפת

סיכום חלק א: אבחון תנאים אופטימאליים ליצירת ביו-דיזל משמן סויה

Entry no.	SrO (g)	KOH (g)	Soybean oil (g)	MeOH (ml)	Time (sec)	Conversion %
1	0.276	-	15	4.05	60	92
2	0.276	-	15	4.05	120	96
3	0.276	-	15	4.05	180	94
4	0.276	-	15	4.05	240	95
5	-	0.15	15	4.05	60	86
6	-	0.15	15	4.05	120	87
7	-	0.15	15	4.05	180	90
8	-	0.15	15	4.05	240	92
9	-	0.15	15	4.05	40	81
10	0.276	-	15	4.05	40	97
11	0.138	-	15	4.05	40	093
12	0.069	-	15	4.05	40	94.5
13	0.046	-	15	4.05	40	90
14	0.0345	-	15	4.05	40	87
14	0.0276	-	15	4.05	40	85

סיכום תוצאות של תגובות טרנס-אסטרופיקציה בתנאים שונים. כל התגובות חוממו 70% MW Power ע"י מערכת מיקרוגל בעוצמה של

חלק ב: הפקת ביו-דיזל ממקורות שונים כתחליף לשמן צמחי, סויה

המטרה הנוספת של המחקר מתמקדת בבדיקת האפשרות של ניצול מקורות חילופיים לשמן צמחי, סויה:

• שמן בישול משומש (ניצולת של 99%)

• שמן קיקיון (ניצולת של 99%)

• שמן של מיקרו-אצות ממין ננוכלורופסיס

הפקת ביו-דיזל משמן של מיקרו-אצות כתחליף לשמן צמחי

שלב 1: גידול תעשייתי של מיקרו-אצות – נערך ע"י חברת סימביוטיק



תחנות הכוח: הפחמן הדו-חמצני הנוצר בעת הפקת חשמל נשאב מהארובות ומועבר לבריכות בהן גדלות האצות. שאיבת הגז מפחיתה את הזיהום בתחנות כוח.

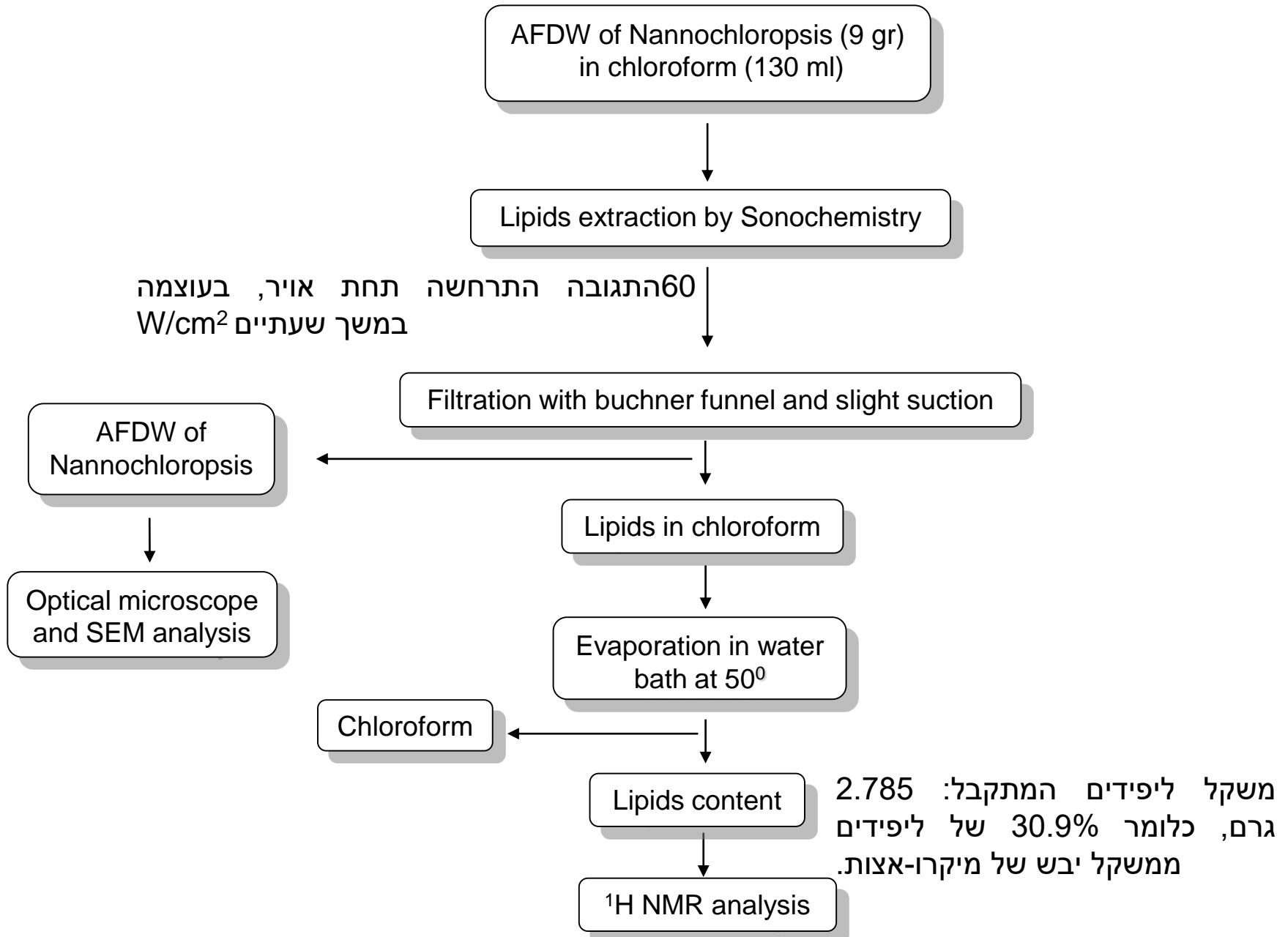


בריכת האצות: הפחמן הדו-חמצני מעודד את גדילתן של אצות מיקרוסקופיות שריכוזן בבריכה גבוה פי מיליון מאשר בים הפתוח. האצות מקבלות פחמן דו-חמצני חינם דבר המוזיל את עלות ייצורן.

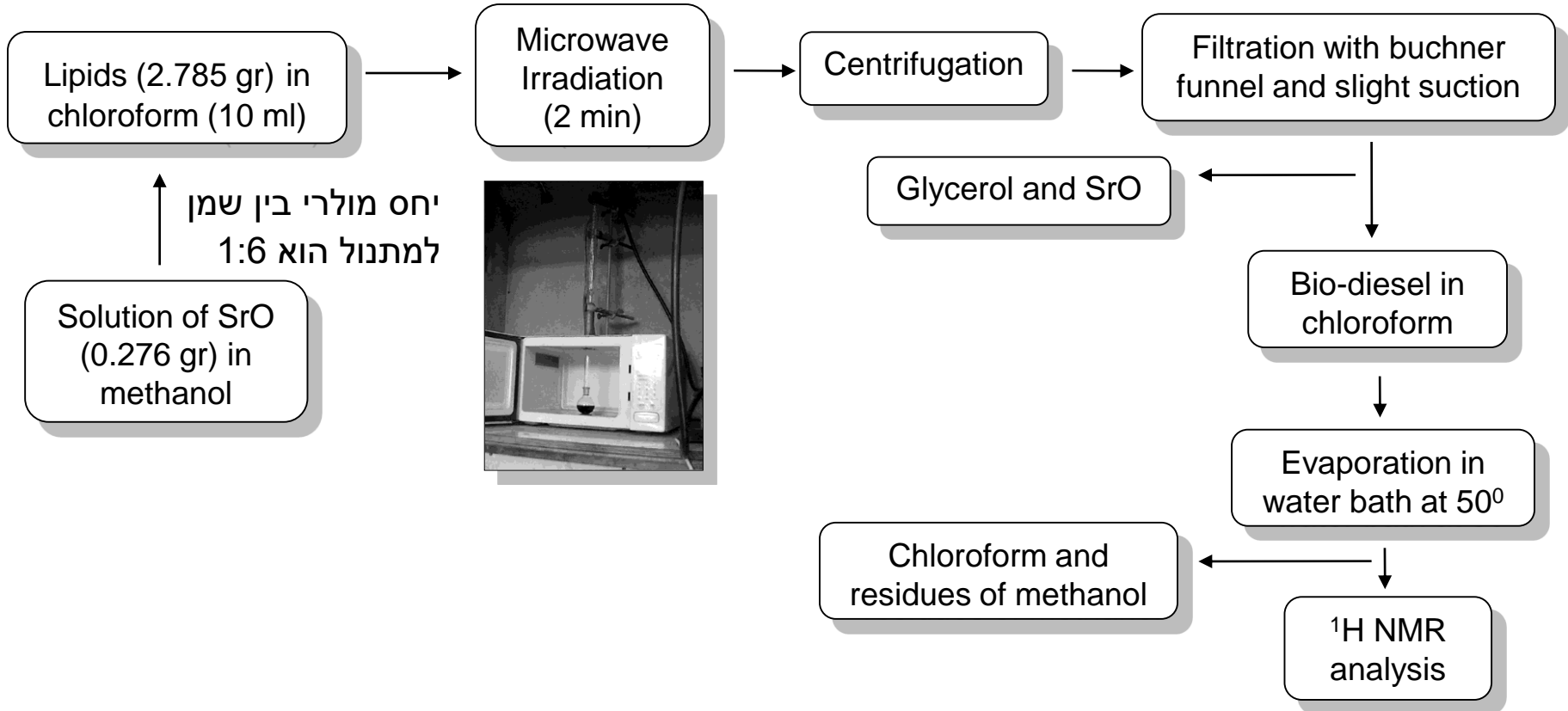


"קטיף" האצות: מהאצות מופק תרכיז. הפחמימות משמשות להפקת ביו-אתנול, השומנים להפקת ביו-דיזל ומביומאסה של מיקרו-אצות ניתן להפיק גז סינתטי.

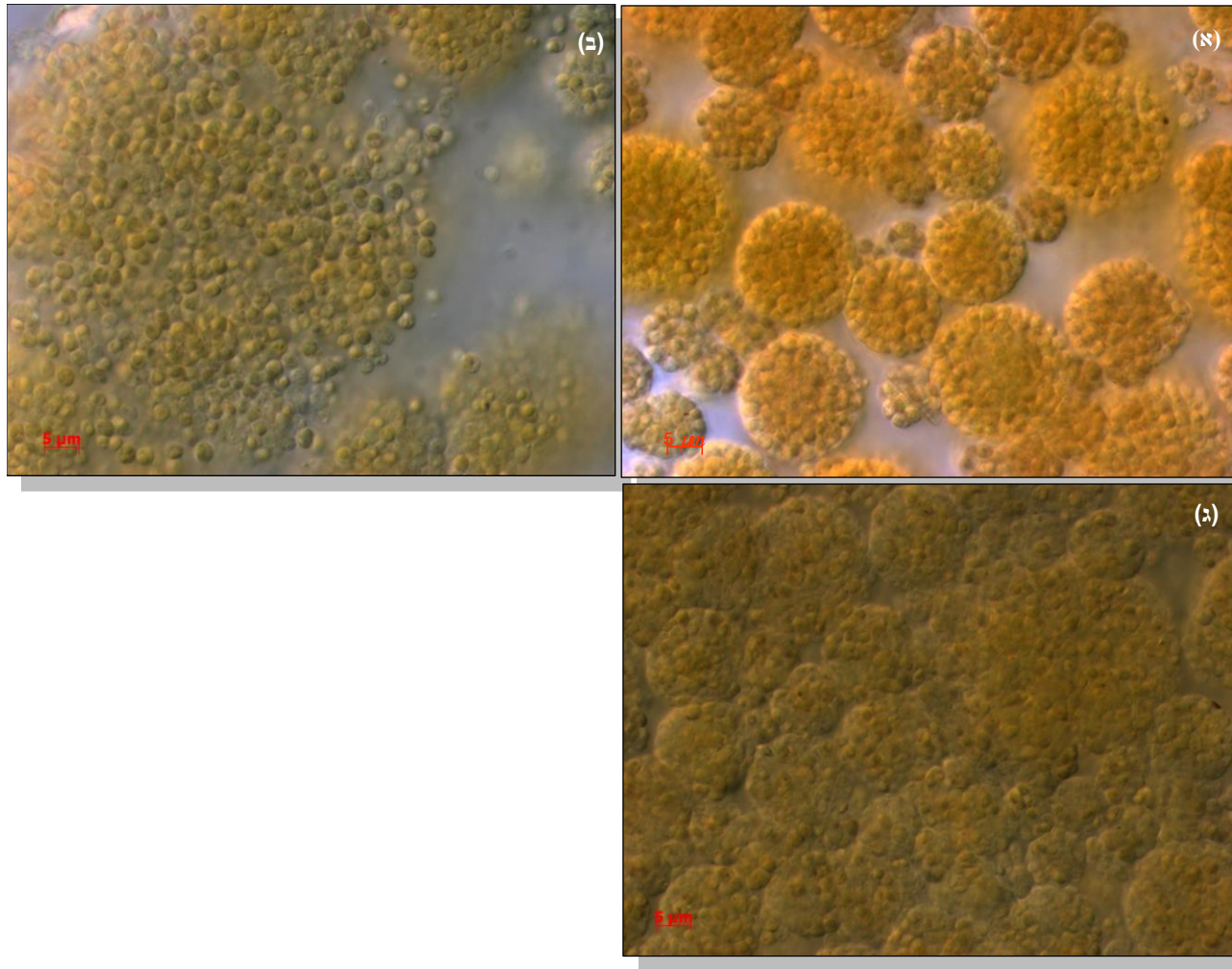
- נערך במעבדתנו Nannochloropsis שלב 2: מיצוי גליצרידים ממיקרו-אצות יבשות ממין



- נערך במעבדתנו Nannochloropsis שלב 3: הפקת ביו-דיזל מגליצרידים של מיקרו-אצות יבשות ממין

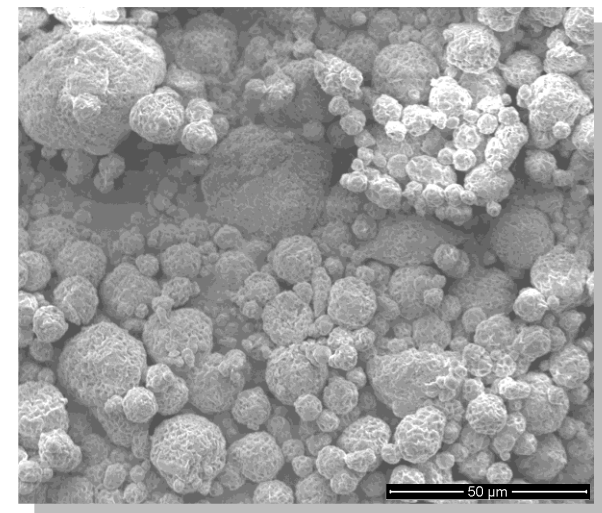
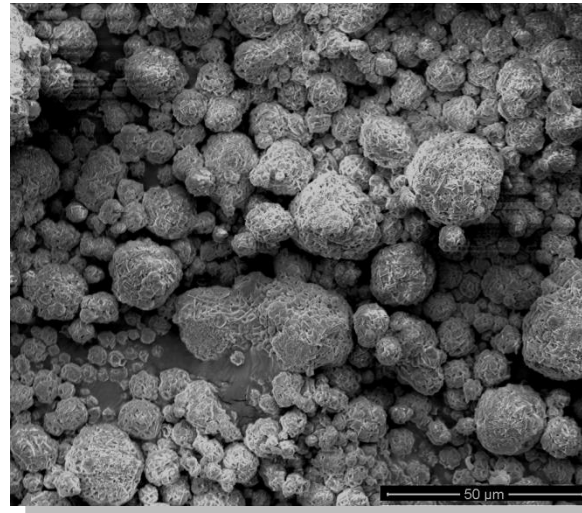
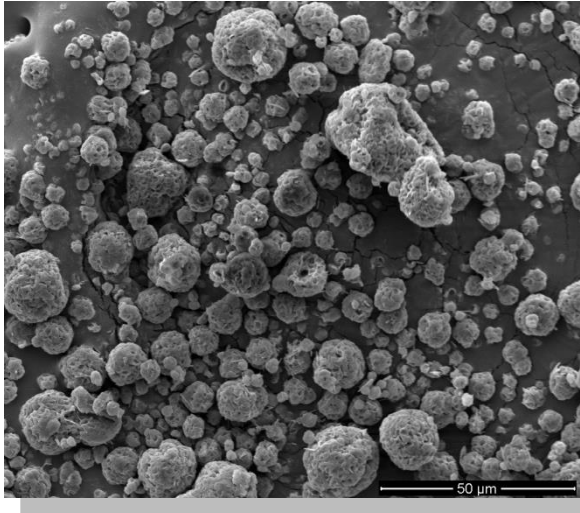


Optical Microscope



(א) תאים של מיקרו-אצות הנראים Zeiss AXIO Imager optical microscope תמונות כאגרטים גדולים של ננוכלורופסיס לפני תהליך המיצוי, (ב) פירוק חלקי של אגרטים גדולים לתאים בודדים של ננוכלורופסיס כתוצאה ממיצוי ע"י סונוכימיה במשך 15 דקות ראשונות, (ג) שלב סופי של פירוק האגרטים לאחר מיצוי ע"י סונוכימיה במשך שעתיים.

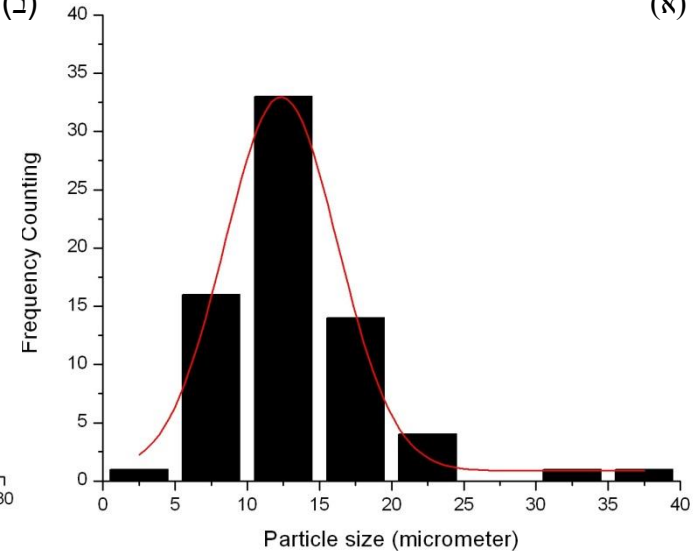
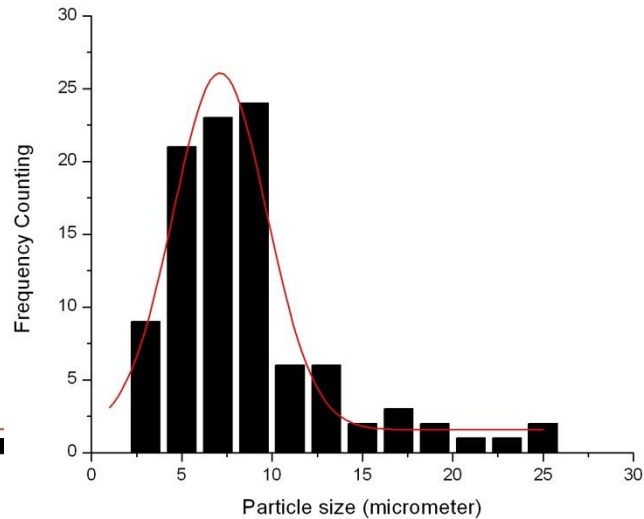
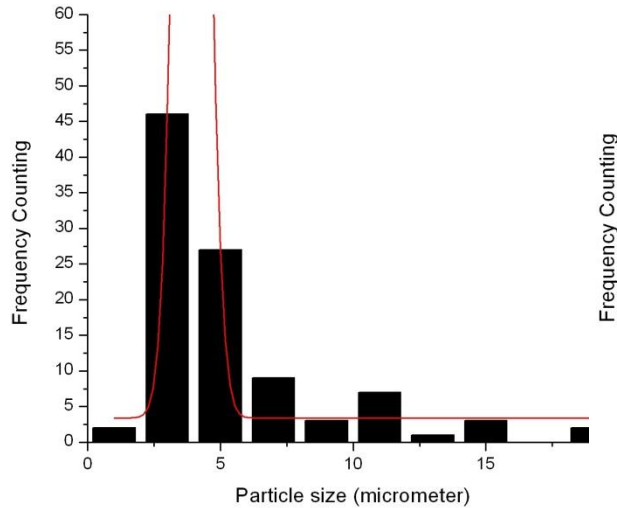
SEM (Scanning Electron Microscope)



(א)

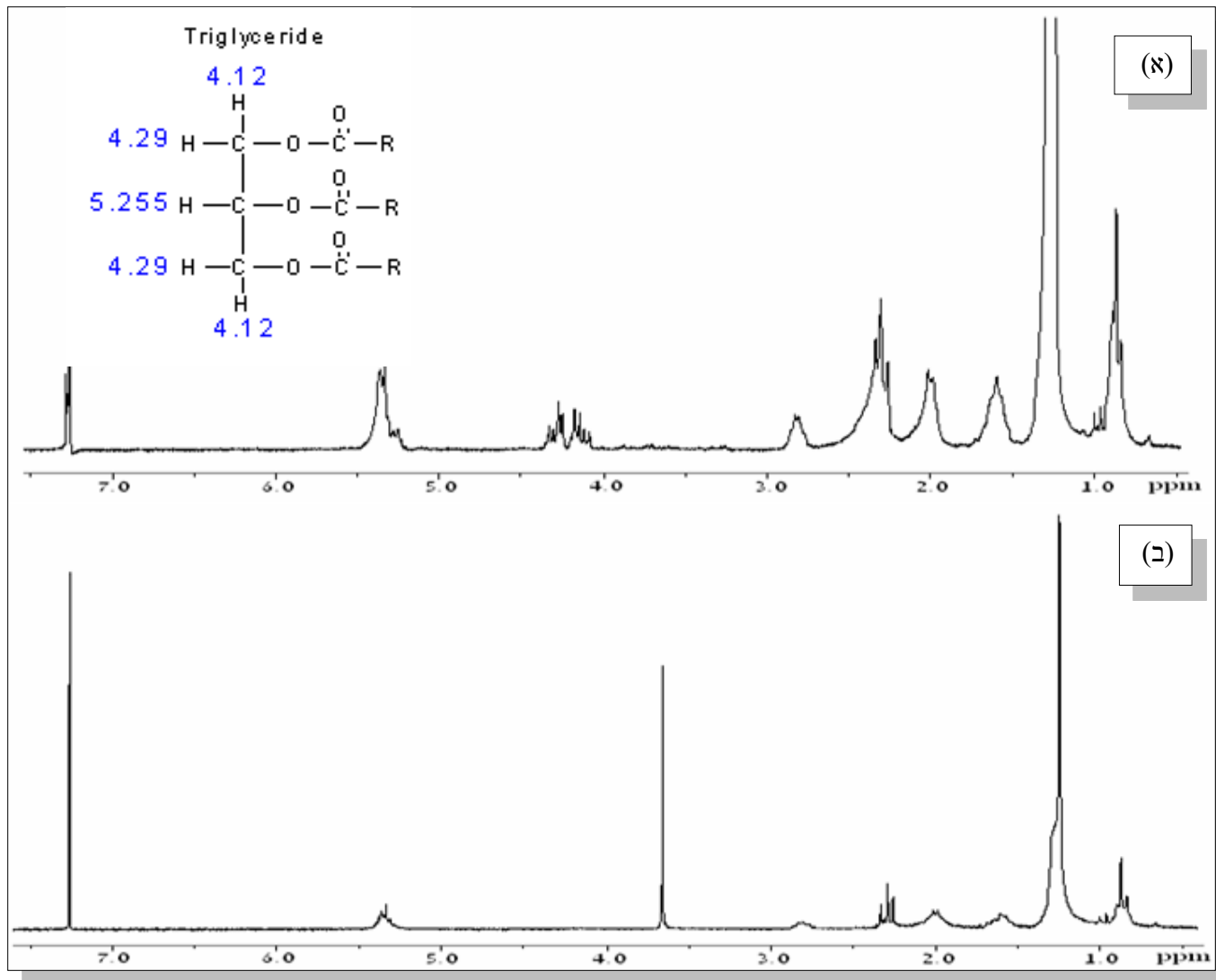
(ב)

(ג)



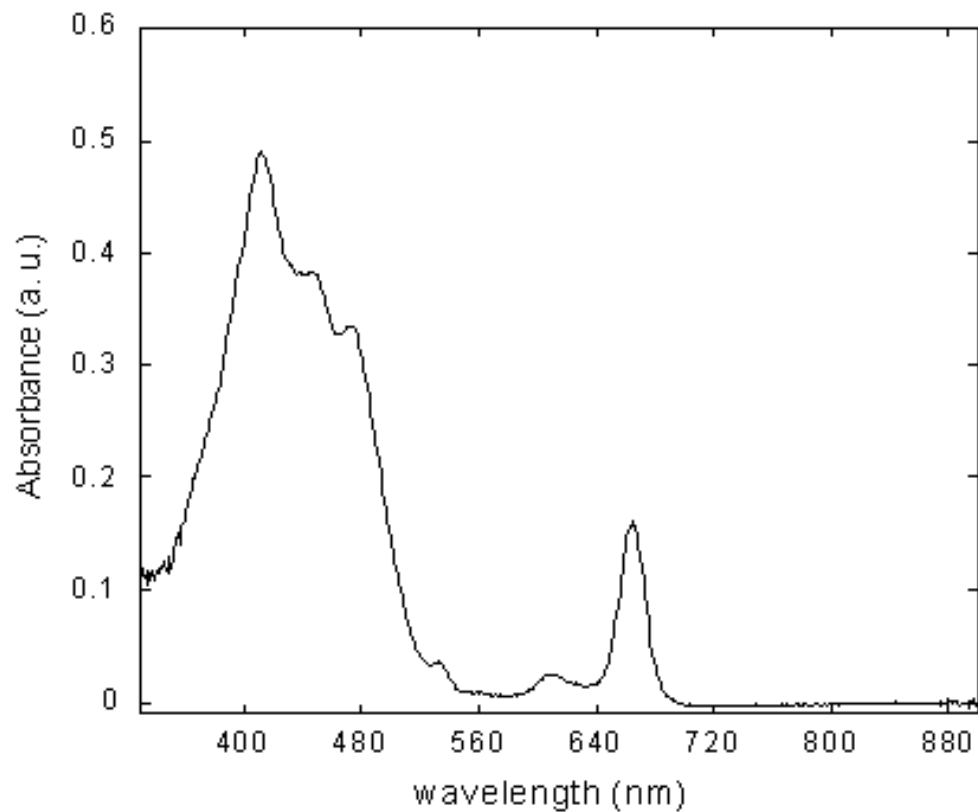
(א) אבקה של מיקרו-אצות יבשות של ננוכלורופסיס לפני תהליך המיצוי, (ב) מיקרו-אצות SEM תמונות ממין ננוכלורופסיס לאחר מיצוי הליפידים ע"י סונוכימיה במשך 15 דקות ו- (ג) במשך שעתיים.

^1H NMR Spectroscopy



(א) ^1H NMR Spectra (200 MHz, CDCl_3) משש טריגליצרידים מורכבים משש טריגליצרידים לאחר המיצוי. ערכי ההיסט הכימי מסומנים בכחול. (ב) ביו-דיזל אשר התקבל מגליצרידים של δ חומצות שומן שונות. מיקרו-אצות, לאחר תגובת טרנס-אסטרופיקציה באמצעות גלי מיקרו.

UV-Vis Spectroscopy



a. עבור כלורופיל אשר נמצא בתאים של ננוכלורופסיס. התקבל כלורופיל UV-Vis מדידת

סיכום

- השילוב האופטימאלי של קרינת מיקרוגל אפקטיבית עם שימוש של קטליזאטור מציע דרך מהירה ופשוטה, לעומת שיטות קודמות הידועות SrO בסיסי מוצק כמורכבות יותר, דורשות זמן תגובה ארוך יותר ומשתמשות בקטליזאטורים בסיסיים רגילים אשר פחות יעילים מבחינת הניצולת המתקבלת של ביו-דיזל.
- מקטין את ההיווצרות של תופעת הסיבון ומקל SrO הקטליזאטור הבסיסי המוצק על תהליך הטיהור וההפרדה של מתיל אסטרים של חומצות שומן (ביו-דיזל) משאר המרכיבים אשר השתתפו בתגובה.
- מהווה יתרון חשוב מאוד מהיבט SrO הצלחת השימוש החוזר בקטליזאטור התעשייתי-כלכלי.
- השימוש במקורות חילופיים כגון: שמן בישול משומש, שמן קיקיון ושמן של מיקרו-אצות יבשות כתחליף לשמן רגיל מהווה יתרון נוסף מהיבט התעשייתי-כלכלי.

מחקר עתידי

1. להמשיך בחקר קטליזאטור המתאים לתגובת טרנס-אסטרופיקציה. השוואת SrO , MgO , ZnO . פעילות קטליטית בין קטליזאטורים רגילים לננומטרים ()
2. - להמשיך בחקר הפקת ביו-דיזל מאבקה של מיקרו-אצות. לשנות את המין של ננוכלורופסיס למינים אחרים כגון:
 Tetraselmis , Dunaliella - Nannochloris .
- מציאת שיטה היעילה ביותר למיצוי הליפידים מאבקה של מיקרו-אצות ע"י השוואה בין שיטת הסונוכימיה אשר נעשתה במחקר הנוכחי לבין שיטת מיצוי ושימוש בגלי מיקרו. Waring ע"י בלנדר תוצרת
- לבצע תגובת טרנס-אסטרופיקציה ישירות על הביומאסה היבשה ולחסוך את שלב המיצוי.

מחקר עתידי

3. לבחון את העמידות של ביו-דיזל לזמן, ולבדוק האם מקור השמן משפיעה על

עמידותו.

4. לאפיין את פאזת טריגליצרידים ופאזת מתיל אסטרים של חומצות שומן ע"י:

GC-MS, HPLC, TGA .

5. לבדוק את האיכות של הביו-דיזל המתקבל ממקורות השונים של השמן.

6. לבחון אפשרות של הפיכת ביומאסה של מיקרו-אצות לגז סינתטי כאנרגיה חילופית בשיטה סונוכימית: הפירוק התרמי ע"י שיטה סונוכימית יבחן ע"י שימוש בקטליזטורים שונים כמו:

$\text{Ni/SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Pt/Ni/CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ו- $\text{Rh/CeO}_2/\text{SiO}_2$.

חזרה על זה קשה

הקדמה

חשיבותו של ביו-דיזל כדלק ביולוגי

נפט המהווה מקור האנרגיה העיקרי והקונבנציונאלי הולך להיגמר בעשורים הקרובים. בעקבות

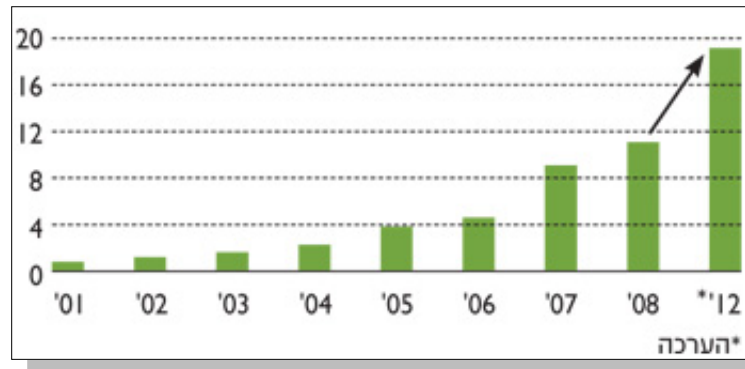
דלק ביולוגי (ביו-דיזל) כתחליף לדלק הפוסילי. עובדה זו, ישנה התעניינות רבה בפיתוח

• CO ביו-דיזל מזהם הרבה פחות מדלקים פוסיליים. בשריפתו הוא משחרר הרבה פחות ופחמימנים שונים מדלקים מבוססי נפט ואינו פולט כלל תחמוצות גופרית.

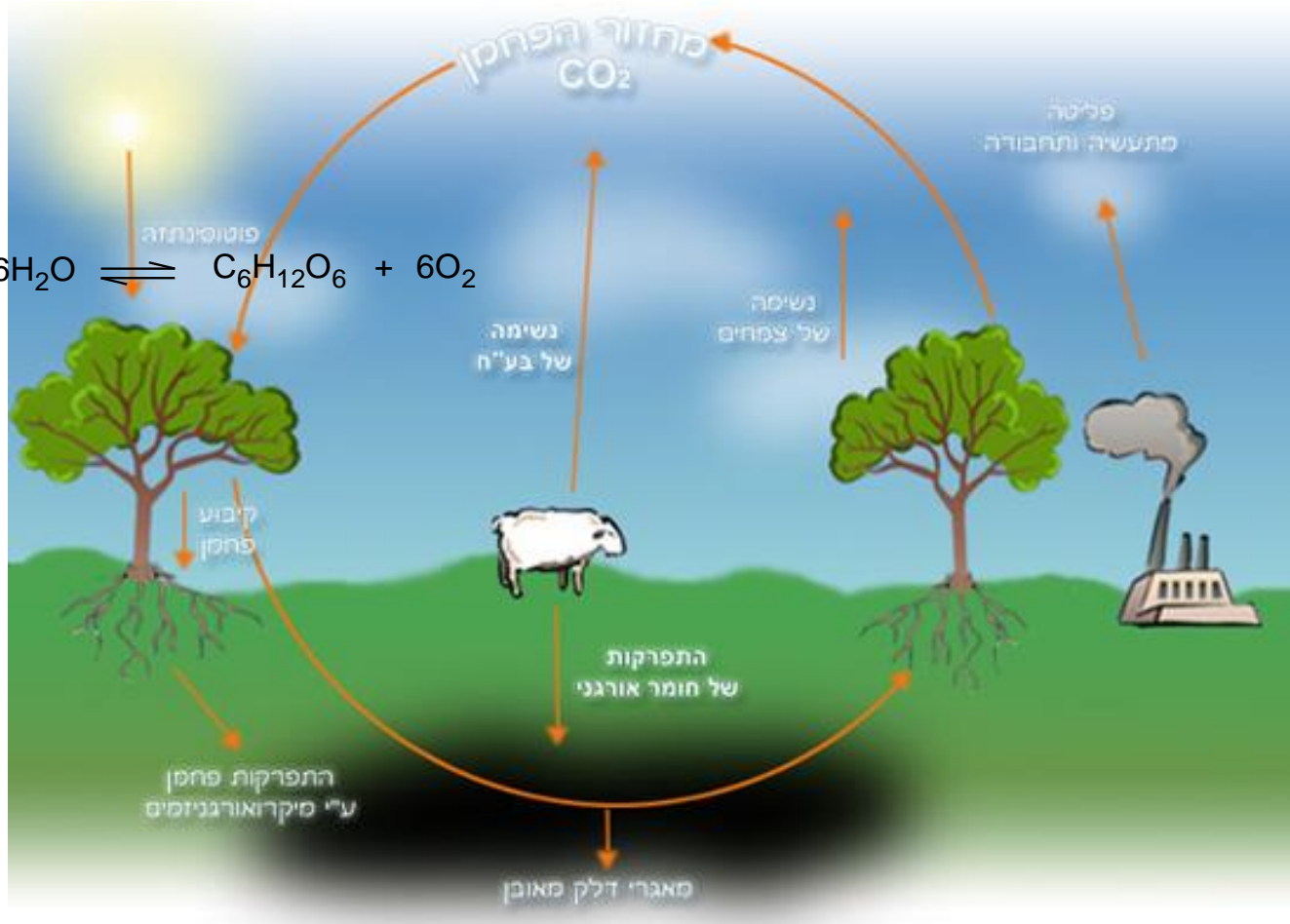
• על מנת לתדלק כלי רכב בביו-דיזל דרושה מודיפיקציה לא גדולה. שימוש בו מפחית את הבלאי במנוע ומשפר ביצועיו.

• ניתן להשתמש ב- 100% ביו-דיזל או לערבבו עם דיזל רגיל.

• הצריכה הגוברת של ביו-דיזל בעולם במיליארדי ליטרים כפונקציה של זמן:



מחזור הפחמן

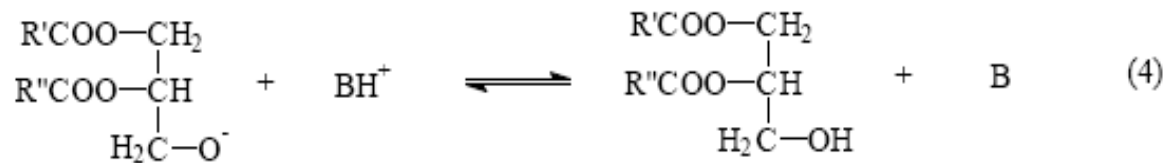
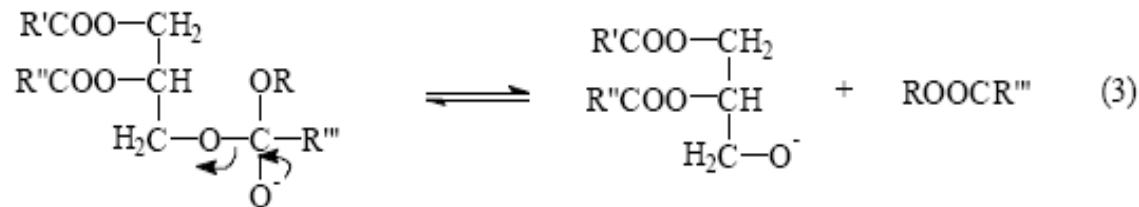
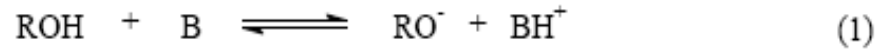


$$P_G - R = P_N$$

$$P_G < \sum R$$

$$P_G = \sum R$$

מנגנון לתגובת טרנס-אסטרפיקציה בסביבה בסיסית



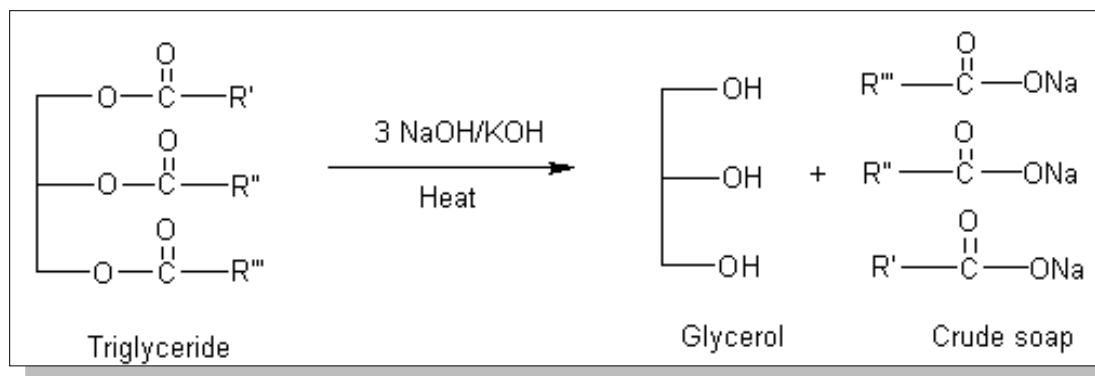
$\text{R}', \text{R}'', \text{R}'''$ = Different carbon chains of fatty acid
 R = Alkyl group of alcohol

התפתחות היסטורית של ביו-דיזל

- גילוי תהליך טרנס-אסטריפיקציה: 1853
 - המצאת מנוע הדיזל הראשון: 1893
- רישום פטנט על תהליך הפקת ביו-דיזל: 1937
 - תחילת תהליך בדיקת האיכות: 1979
 - השלמת תהליך בדיקת האיכות: 1983
- הקמת מפעל הביו-דיזל המסחרי הראשון: 1989
 - זוהו 21 מדינות המייצרות ביו-דיזל: 1998
- במדינת מינסוטה שבארה"ב הועבר חוק לפיו על כל סולר להכיל 2% ביו: 2005
 - כיום: מיוצרים ברחבי העולם 5-7 מיליון טון ביו דיזל בשנה

תופעת סיבון בנוכחות קטליזאטור הומוגני

ההידרוקסידים של קטליזאטור הומוגני יוצרים סבון ע"י נטרול חומצות שומן חופשיות בשמן וע"י הפיכת טריגליצרידים לסבון:



היווצרות הסבון היא תופעה לא רצויה:

- הסבון הנוצר גורם לירידה בתפוקה של הביו-דיזל ומסבך את תהליך הטיהור וההפרדה של חומצות שומן (ביו-דיזל) משאר המרכיבים בתגובה.
- ההפרדה של הקטליזאטור הבסיסי מאוד קשה וצורכת עלות נוספת על מנת לקבל את התוצר הסופי.
- קיים קושי בביצוע שימוש חוזר בקטליזאטור בסיסי הומוגני כתוצאה מהיווצרות הסבון.

^1H NMR Spectroscopy חישוב ניצולת של ביו-דיזל ע"י

$$(1) \text{ Conversion(\%)} = \left(\frac{4I_{Me}}{4I_{Me} + 3I_{CH_2}} \right) \times 100\%$$

I_{Me} = ערך אינטגרציה של פיק המייצג פרוטונים השייכים לקבוצת מתיל אסטר בחומצות שומן

I_{CH_2} = ערך אינטגרציה של פיק המייצג פרוטונים השייכים לקבוצת CH_2 של טריגליצרידים
($-\text{CH}_2-\text{O}-\text{COR}$)

3 = מספר פרוטונים של מתיל אסטר

4 = מספר פרוטונים של קבוצת CH_2

$$(2) \text{ Conversion(\%)} = \left(\frac{2I_{Me}}{3I_{CH_2}} \right) \times 100\%$$

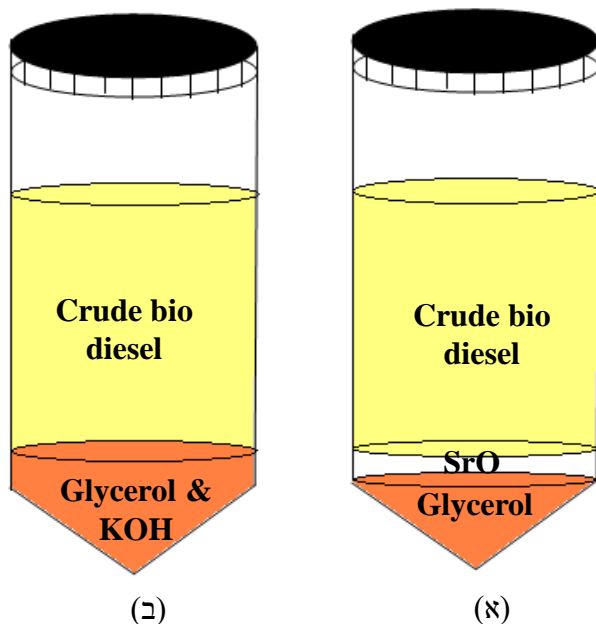
I_{Me} = ערך אינטגרציה של פיק המייצג פרוטונים השייכים לקבוצת מתיל אסטר בחומצות שומן

I_{CH_2} = ערך אינטגרציה של פיק המייצג פרוטונים השייכים להיסט של 2.293 ppm

3 = מספר פרוטונים של מתיל אסטר

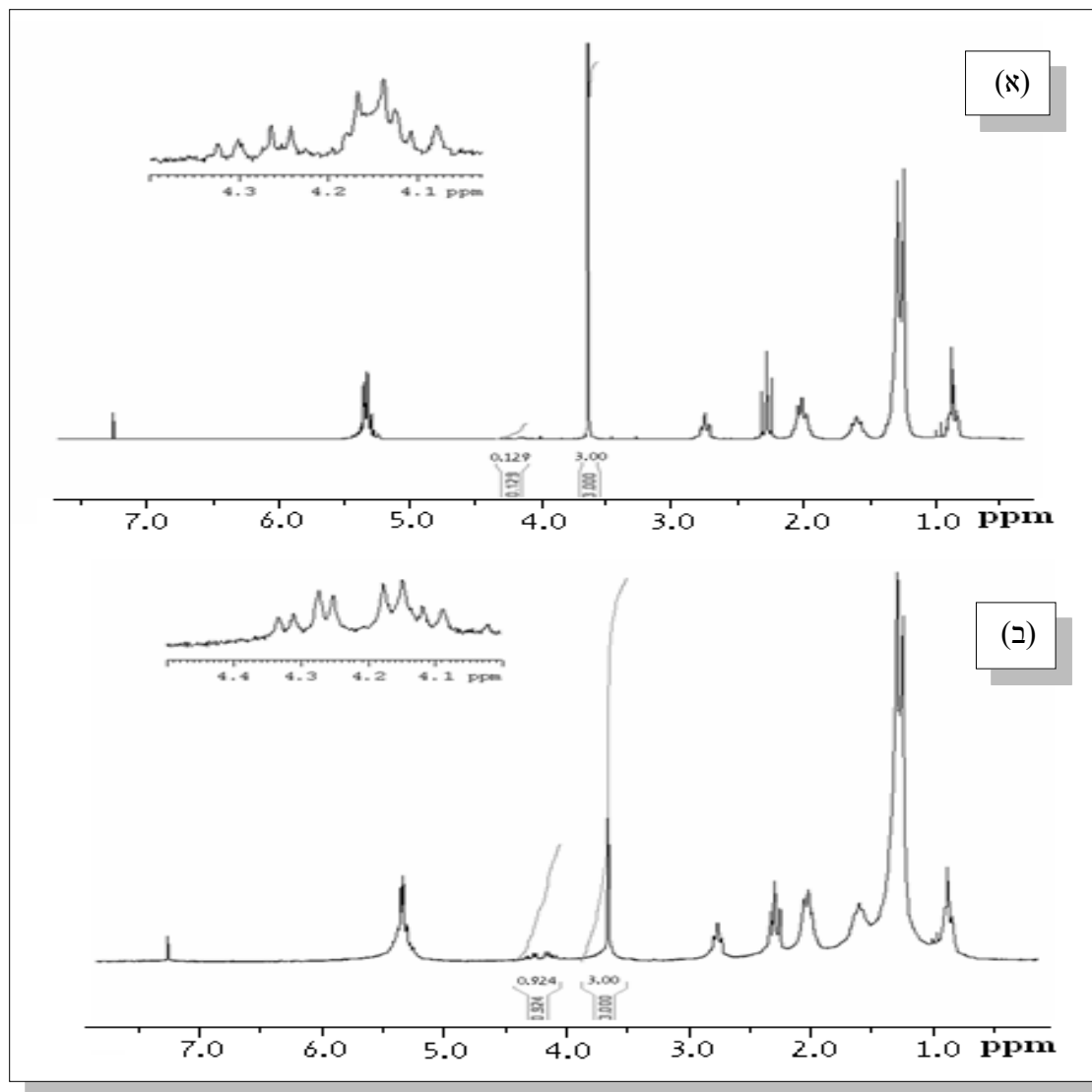
2 = מספר פרוטונים של קבוצת מתילן בהיסט של 2.293 ppm

KOH, (ב) תגובה עם SrO הרכב פאזות לאחר תגובת טרנס-אסטרפיקציה (א) תגובה עם



- נוצרו 3 פאזות. הפאזה SrO לאחר התרחשות תגובת טרנס-אסטרפיקציה ע"י שימוש ב- והפאזה התחתונה SrO העליונה שייכת לביו-דיזל, הפאזה האמצעית שייכת לקטליזאטור המוצק מאפיינת את תוצר הלואי גליצרול בעל צפיפות גבוהה יותר משל פאזת ביו-דיזל.
- גרמה להיווצרות 2 פאזות בלבד. פאזה KOH טרנס-אסטרפיקציה אשר התרחשה בנוכחות , ופאזה עליונה של ביו-דיזל עם שאריות של קטליזאטור. KOH תחתונה של תוצר לואי גליצרול ו-

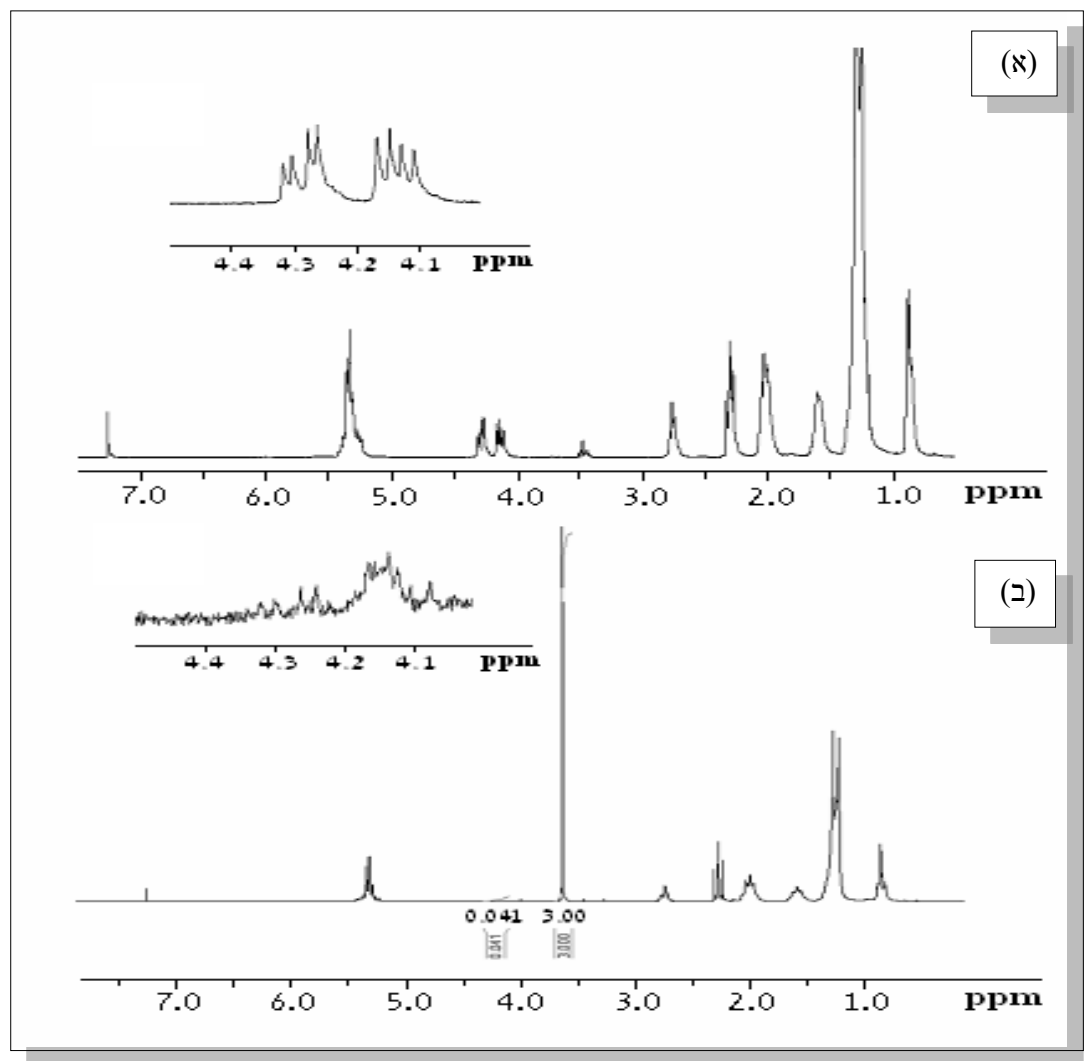
^1H NMR Spectroscopy



(א) ^1H NMR Spectra (200 MHz, CDCl_3) של 40 שניות תגובה לאחר ביו-דיזל של SrO בנוכחות KOH .
(ב) ביו-דיזל לאחר תגובה של 40 שניות בנוכחות SrO בנוכחות KOH .

חלק ב: הפקת ביו-דיזל ממקורות שונים כתחליף לשמן צמחי, סויה

הפקת ביו-דיזל משמן בישול משומש כתחליף לשמן צמחי



(א) חומר המוצא של שמן בישול משומש ו-(ב) ^1H NMR spectra (200 MHz, CDCl_3) (ניצולת של 99% SrO ביו-דיזל משמן בישול משומש לאחר תגובה של 40 שניות בנוכחות)

הפקת ביו-דיזל משמן בישול משומש כתחליף לשמן צמחי TLC (Thin Layer Chromatography) אנליזת

FAME

Triglycerides

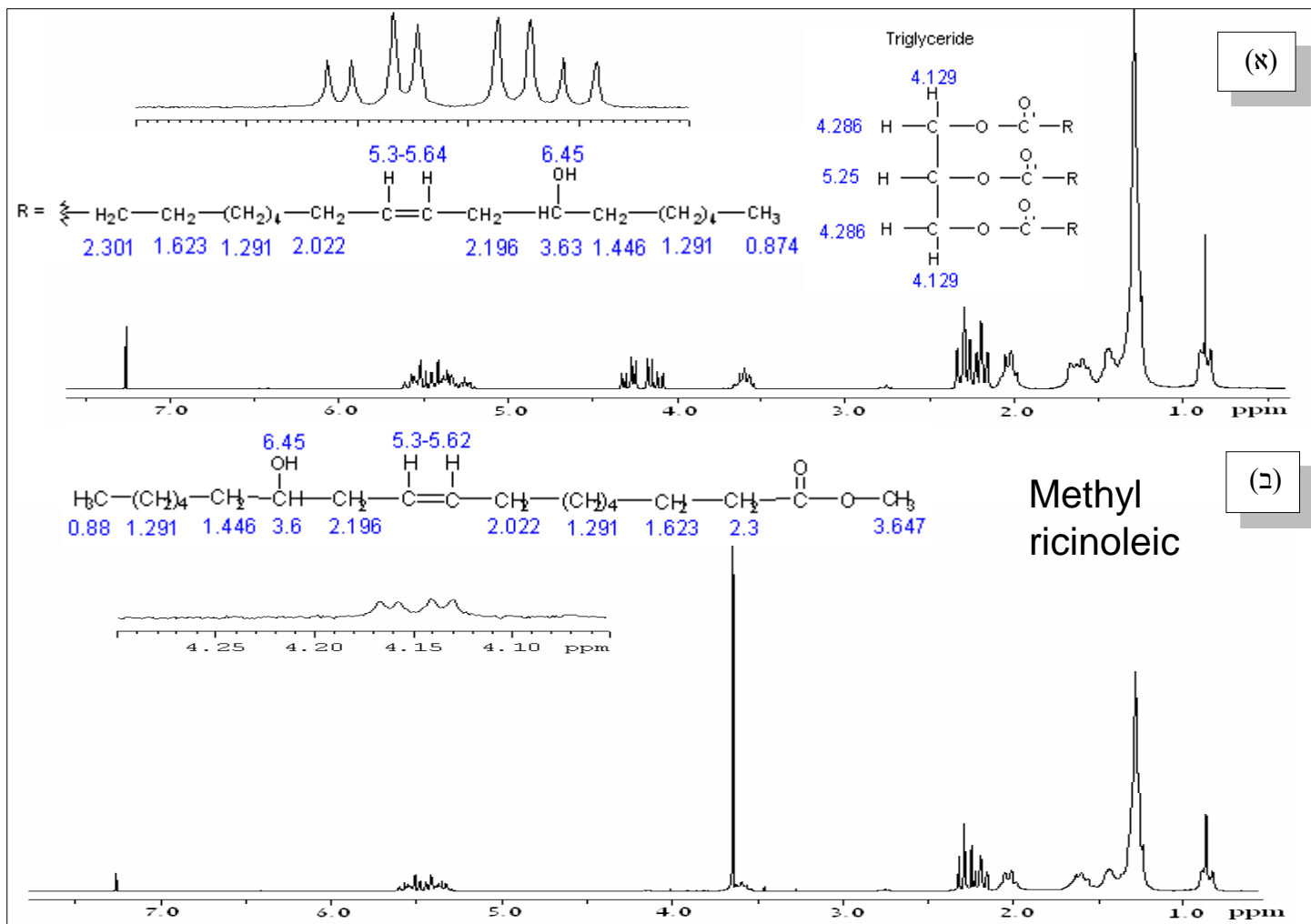
Diglycerides and
Monoglycerides

Sample



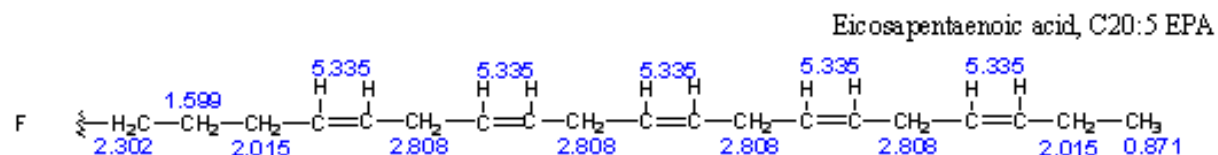
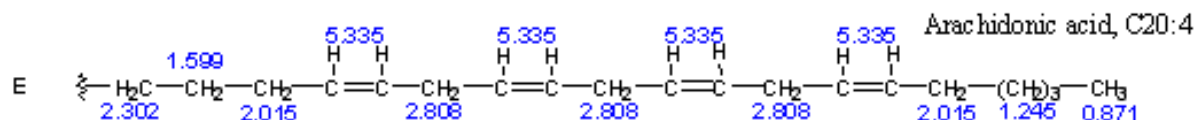
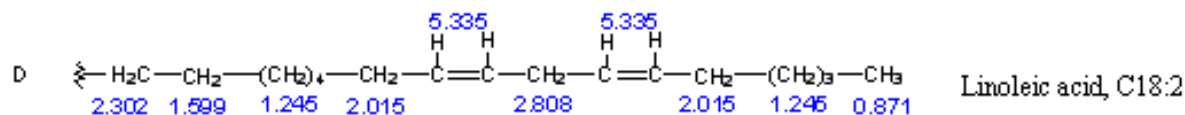
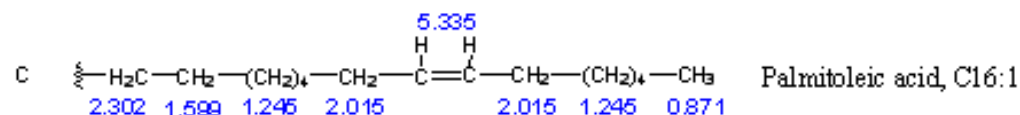
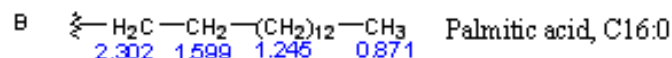
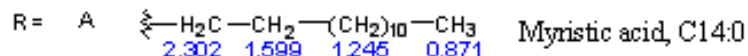
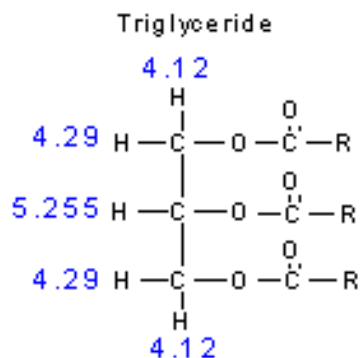
לוחית סיליקה המציינת את המיקום של מונוגליצרידים, דיגליצרידים וטריגליצרידים של שמן שייכת A. הרצה (FAME) בישול משומש, וביו-דיזל המורכב ממתיל אסטרים של חומצות שומן שייכות לתוצר ביו-דיזל לאחר תגובה של 40 שניות C ו-B למגיב של שמן בישול משומש, והרצות בהתאמה. KOH ו-SrO בנוכחות

הפקת ביו-דיזל משמן קיקיון כתחליף לשמן צמחי, סויה



(א) חומר המוצא, שמן קיקיון, מכיל טריגליצרידים 1H NMR Spectra (200 MHz, $CDCl_3$) המורכבים מ-3 חומצות שומן עיקריות: חומצה ריצינית, אולאית ולינולאית. (ב) ביו-דיזל משמן קיקיון (ניצולת של 99%) לאחר תגובה של 40 שניות בנוכחות SrO .

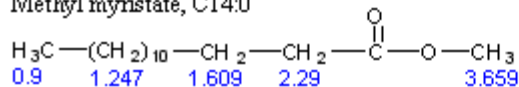
¹H NMR Spectroscopy



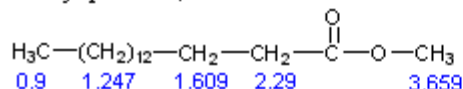
δ (ppm) ערכי ההיסט הכימי מסומנים בכחול.

^1H NMR Spectroscopy

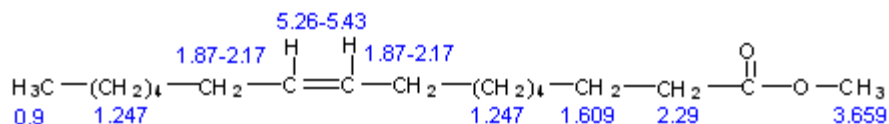
Methyl myristate, C14:0



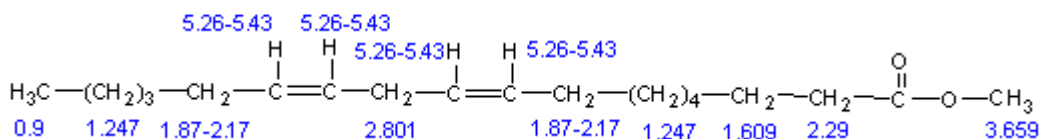
Methyl palmitate, C16:0



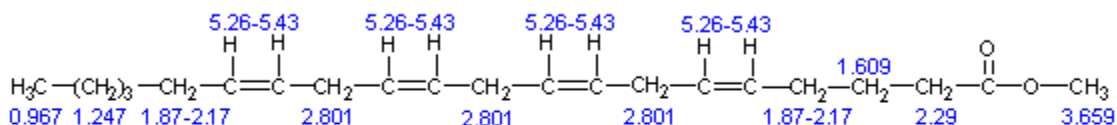
Methyl palmitoleate, C16:1



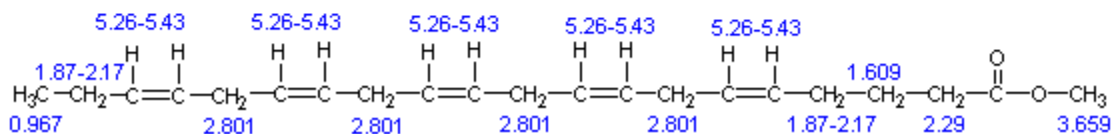
Methyl linoleate (cis-9,12), C18:2



Methyl arachidonate (cis-5,8,11,14), C20:4



Methyl eicosapentanoate (cis-5,8,11,14,17), C20:5



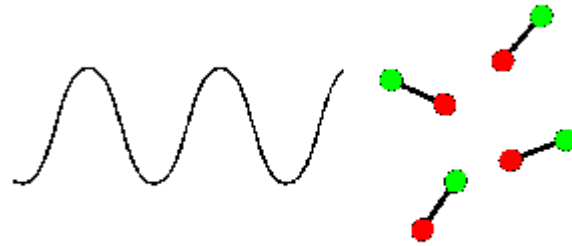
עבור ששת חומצות שומן של מתיל אסטרים בתוצר ביו-דיזל. ^1H NMR ניתוח

GC-MS (Gas chromatograph coupled with a mass spectroscope)

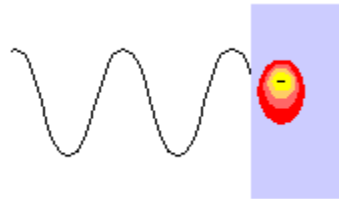
Fatty Acid Methyl Esters (FAME)	Composition (wt %)
C14:0 methyl myristate	3.32 ± 0.83
C16:0 methyl palmitate	18.51 ± 0.27
C16:1 methyl palmitoleate	30.61 ± 0.38
C18:0 methyl stearate	ND
C18:1 methyl oleate (cis-9)	ND
C18:2 methyl linoleate (cis-9,12)	3.4 ± 0.15
C18:3 methyl linolenate	ND
C20:4 methyl arachidonate (cis-5,8,11,14)	5.1 ± 0.02
C20:5 methyl eicosapentanoate (cis-5,8,11,14,17) / EPA	39.05 ± 0.09

הרכב מתיל אסטרים של חומצות שומן אשר נוצרו מאבקת מיקרו-אצות יבשות.
ND = not determined

אינטראקציות גלי מיקרו עם חומרים



מנגנון קיטוב הדיפולים



מנגנון ההולכה

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon'$$

, מדד לפיזור האנרגיה. (loss factor) ϵ'' -
- קבוע דיאלקטרי, מדד ליכולת החומר ϵ'
לאגור אנרגיה חשמלית תחת ההשפעה
של שדה חשמלי.

Compound	loss tangent at 2.45 GHz, 12.25cm
H ₂ O	0.123
MeOH	0.659
EtOH	0.941
Ethylene glycol	1.26