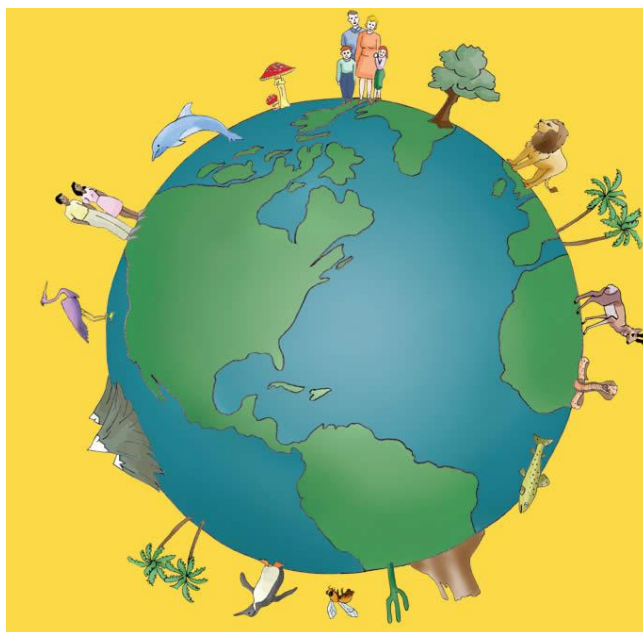


# האם חשוב לשמור על כל המגוון הביולוגי?

עבודת סמינריונית לקורס:  
בין סביבה לחברה: סוגיות בקיימות  
בהנחיית ד"ר דניאל מישורי  
בית הספר ללימודי סביבה ע"ש פורטר  
אוניברסיטת תל אביב



מגישה: שלומית ליפשיץ 051454791 אוגוסט 2013



לקוח מתוך <http://biodiversityllc.com>

## תוכן העניינים :

2.....	הקדמה:	1
3.....	מבוא	2
3.....	מגוון ביולוגי: Biodiversity או Biological Diversity	2.1
4.....	חשיבות המגוון הביולוגי	2.2
4.....	חשיבות תועלתנית	2.2.1
4.....	חשיבות מוסרית	2.2.2
4.....	מה הם שירותי המערכת האקולוגית?	2.3
5.....	המגוון הביולוגי, שרותי המערכת האקולוגית ונחלת הכלל	2.4
6.....	אובדן מינים והצורך במחקר	2.5
7.....	מדדי המגוון הביולוגי	2.5.1
7.....	בעיה בכימות המגוון הביולוגי:	2.5.2
8.....	המגוון הביולוגי משתנה עם ההשתנות הגלובאלית	2.5.3
8.....	עד כמה חשוב הגיוון לתפקוד המערכות האקולוגיות?	3
8.....	שני מצבי קיצון למערכת	3.1
9.....	מחקר איסוף העדויות להוכחת תיאורית היתרות	3.2
9.....	מגוון המינים היום גדול בהרבה מאשר בעבר	3.2.1
10.....	קשר בין מגוון מינים וייצור ומעבר אנרגיה- ניתן לייתר	3.2.2
10.....	קשר בין מגוון מינים ומארגי מזון – ניתן לייתר	3.2.3
10.....	קשר בין עמידות המערכת ומגוון מינים – ניתן לייתר	3.2.4
11.....	הרחקת מינים בתהליך הסוקצסיה- ניתן לייתר	3.2.5
11.....	יש מקרים שבהם לא ניתן לייתר מינים	3.2.6
11.....	סכום – מסקנות החוקרים- ניתן לייתר זיהירות מונעת	3.2.7
12.....	היסטוריית המחקר בנושא השפעת אובדן מינים	4
12.....	שנות ה-60 וה-70 לפי מודל מתמטי: מגוון גבוה יציב יותר	4.1
12.....	המודל המתמטי של מקארתור- יותר מגוון יותר יציבות	4.1.1
13.....	אלטון- אישור ממחקר שטח למסקנותיו של מקארתור	4.1.2
13.....	הוכחה הפוכה של מאי- יותר מגוון פחות יציבות	4.1.3
14.....	בקורת על המודלים המתמטיים	4.2
14.....	שנות ה-60 פימנטל: יותר מגוון יותר יציבות או להיפך?	4.3
15.....	שנות ה-80 מושגים, ועידת ברונטלנד	4.4
15.....	בשנות ה-80 עליה במודעות, ועידת ברונטלנד וטביעת מושגי יסוד	
15.....	מעט מחקרים בשנות ה-80. קשר בין מגוון ושרותי מערכת	4.4.1
16.....	סוף שנות ה-80 ויכוחים בין המדענים	4.5
16.....	שנות ה-90 אמנות בינלא"א, תקציבים ופריצת דרך	4.6
17.....	ניסויי האקוטרון: הוכחה ניסויית ראשונה מגוון משפיע על תפקוד	4.7

18.....	סוף שנות ה-90 ותחילת שנות ה-2000 מחקרים חדשים.....	4.8
18.....	ניסויי טילמן יותר מגוון יותר יציבות ויותר תפקוד.....	4.8.1
18.....	בקורת על מחקרו של טילמן.....	4.8.2
18.....	ניסויי פסולת העלים. תומך בתיאורית היתרות.....	4.8.3
19.....	שנות ה-2000, עוד מודעות ומחקרים מוכיחים-מגוון חשוב.....	4.9
20.....	ניסויי שבדק כמה מינים נחוץ לתפקודי מערכת.....	4.9.1
20.....	מחקר עדכני – מורכבות וטווח ארוך: יותר מגוון יותר תפקוד.....	4.9.2
21.....	מחקר מ-2012 ריבוי בתי גדול יותר הכחדות מינים.....	4.9.3
22.....	סכום.....	5
23.....	מקורות מידע.....	6
25.....	רשימת איורים.....	6.1
25.....	נספחים.....	7
25.....	נספח 1 שרותי המערכת האקולוגית:.....	7.1
27.....	נספח 2: אמנת המגוון הביולוגי Convention on Biological Diversity -.....	7.2

## 1 הקדמה:

נושא העבודה מעניין אותי, מכיוון שאני פועלת ומקדמת פעילויות בתחום שימור מגוון מינים, תחת הרציונל, שיש תועלת בטיפוח ושמירת מגוון ביולוגי גבוה בכדי שהמערכת האקולוגית תספק שירותים אקולוגיים כמות. בלי קשר לכך, אני תומכת בגישת הביופיליה (Wilson, 2009), שדוגלת בשמירה, מטעמים מוסריים, על כל יצור חי באשר הוא. עם זאת, עלתה בי תהייה בנוגע לתועלת שבשמירה על כל המגוון הביולוגי. תהייתי התעוררה כתוצאה מקריאת טקסט מדעי קצר לפני מספר שנים; בטקסט למדתי על תיאוריה שנתמכת על ידי מדענים, שנקרא 'יתרות', (Redundancy) שמשמעותה, שלא כל המינים נחוצים עבור תמיכה במערכות האקולוגיות ובהספקת השירותים האקולוגיים. תיאורית היתרות עוררה בי סקרנות, במיוחד אל מול האחידות המוחלטת שמצאתי בספרות המוכרת לי ובמסגרת השעורים באקולוגיה וסביבה, שם לא עלתה כלל סוגיה זו. העבודה סיפקה לי הזדמנות פז לבחון את הנושא כדי לברר לעצמי האם אכן קיים בסיס ניסויי מוצק לרציונל התועלתני של הפעילות שאני מקדמת.

את חיפוש המידע התחלתי מהספר המצוין 'אקולוגיה – התיאוריה והמציאות הישראלית', אותו כתבו ד"ר פרבולוצקי וד"ר פולק וכן, מחיפוש חופשי באינטרנט. בסכומו של דבר, העבודה מתבססת על שני טקסטים מרכזיים. האחד, משנת 1994, נקרא 'יתרות ומערכת אקולוגית' מאת לאטון ובראון (Lawton & Brown, 1994) והשני משנת 2011 נקרא 'מורכבות, מגוון ויציבות' מאת גיימס ג'וסטוס (Justus, 2011).

כבר בראשית עבודתי, כשהתעמקתי בהגדרת המושגים 'מגוון ביולוגי' ו'מגוון מינים', הסתברו לי שני דברים; הראשון- מספר המחקרים הניסויים בתחום קטן מאד והשני- שאין תמימות דעים בין האקולוגים בנוגע להגדרות ולדגשים וקיימים חילוקי דעות לגבי שיטות העבודה והכלים המשמשים לאפיון המערכות. בעבודה אציג את ההיסטוריה של המחקר במשולב עם תיאורי המחקרים בתקופה שהחלה משנות ה-50 של המאה הקודמת ועד היום.

## 2 מבוא

מונח מרכזי בעבודה הוא **המגוון הביולוגי** ולכן ראיתי לנכון להביא הגדרה שלו:

### 2.1 מגוון ביולוגי: BIOLOGICAL DIVERSITY או BIODIVERSITY

המונח 'מגוון ביולוגי', מבטא את שונות החיים בבית גידול מסוים, או בביוספרה כולה. המונח מדגיש את חשיבות כל היצורים החיים, כולל את אלה הפחות מרשימים כגון חרקים, פטריות, אצות וחיידקים.

המונח כולל כמה רמות של מגוון:

- המגוון התוך מיני (מגוון גנטי בין פרטים בני אותו מין).
- המגוון בין המינים (מגוון המינים, הסוגים, המשפחות וכדומה).
- מגוון המערכות האקולוגיות ויחידות הנוף האקולוגיות, על עושר בתי הגידול והתהליכים האקולוגיים הטבעיים המתקיימים בהן (פלדמן, רול, & גבריאלי).

המונח הוא חדש יחסית והומצא רק בשנת 1986. בחרתי בהגדרה שהבאתי כי היא מהמאוחרות יותר ואי לכך סביר להניח שמעודכנת יותר. במאמרים וספרים שונים מצאתי הגדרות שונות למגוון הביולוגי ואף נאמר, עקב מורכבות הנושא והכוללניות הרבה שלו, "שהמגוון הביולוגי הוא כעין אשליה אופטית או קלידוסקופ: ככל שמרבים להביט בו, פחות מבינים את הנעשה, ובכל תזוזה ומכל זווית רואים דברים אחרים" (פרבולוצקי & פולק, 2001).

## 2.2 חשיבות המגוון הביולוגי

### 2.2.1 חשיבות תועלתנית

למגוון הביולוגי יש תועלת עבור האדם שכן המגוון הביולוגי הוא מרכיב בכל מחזורי החומרים על פני כדור הארץ: מחזור המים, הפחמן, החנקן ושאר חומרים. מחזורים אלה אחראים על סילוק הפסולת האורגנית, על השבת נוטריינטים לקרקע ועל בקרת האקלים. יחסי הגומלין בין היצורים החיים בתוך המערכת האקולוגית מבקרים את קצב התהליכים המתרחשים בה, את גודל האוכלוסיות, ביניהם אוכלוסיות מזיקים, גורמי מחלות, מאביקים ועוד. יש לכך חשיבות עצומה על אופן תפקודן של המערכות האקולוגיות ואיכות שירותי המערכות האקולוגיות לאדם (פלדמן, רול, & גבריאלי).

מזון ומים, הצרכים הבסיסיים לקיום ולפיתוח, אינם אלא שירותים המיוצרים על ידי מערכות אקולוגיות (מזון) או מסופקי באמצעותן (מים), והמגוון הביולוגי של המערכות האקולוגיות החקלאיות ושל מערכות המים המתוקים מעורב ישירות באספקת שירותים זו. אלה רק דוגמאות ספורות מתוך קשת רחבה של שירותים ומערכות אקולוגיות (ספריאל, 2010).

### 2.2.2 חשיבות מוסרית

ווילסון (2009) סובר, שלשמירה על מגוון ביולוגי יש חשיבות מוסרית עליונה והוא מתנגד להתייחסות האנתרופוצנטרית של ראיית האורגניזמים כמספקי שירותים אקולוגיים גרידא. הוא קורא לבני האדם להרחיק לכת בצעדים שינקטו לשמירת המגוון הביולוגי: לחדול מפיתוח ולהשקיע משאבים בחקר וביצירת 'ספריות גנטיות', ולחדול מ'כיבוש' הטבע ודחיקתו לטובת בניה, חקלאות ומרעה. עמדתו, המכונה ביופיליה, היא, שיש לייחס חשיבות שווה לכל היצורים החיים (Wilson, 2009).

## 2.3 מה הם שירותי המערכת האקולוגית?

המינים (בעלי חיים, צמחים ויצורים זעירים) החיים ומתפקדים בסביבה ויחד עמה מהווים מערכת תפקודית, שאפשר לכוונה "מערכת אקולוגית" (או אקוסיסטמה). כל שטחו של כדור הארץ, עשוי ממערכות אקולוגיות שונות (מערכות יערות, מדבריות, חופיות, אגמיות ואף חקלאיות ועירוניות ועוד), אשר האדם מפיק תועלות מתפקודיהן, ולפיכך תפקודים אלה נקראים "שירותי מערכת". המגוון הביולוגי מעורב באופן פעיל, ישיר או עקיף, באספקת כל שירותי המערכת. עצם המגוון של היצורים השונים, שהוא "המגוון הביולוגי", מביא לאספקה סדירה של קשת רחבה של שירותים לאדם, שהם חיוניים לא רק לקיומו היום יומי אלא אף לתנופת הפיתוח המלווה את המין האנושי ומתעצמת והולכת מאז המהפכה החקלאית. (ספריאל, 2010 עמ' 11)

שירותי המערכת האקולוגית כוללים את השירותים הסופיים שמהם מפיק האדם ערך ישיר (אוויר נקי, לדוגמה) ושירותי תמיכה שתומכים במערכת אבל לאו דווקא באדם באופן ישיר

(לדוגמה, רמת חנקן גבוהה בקרקע). מערכת אקולוגית בעלת תפקוד גבוה היא בעלת פוטנציאל של תהליכים ורכיבים טבעיים שיכולים לספק שירותים באופן ישיר ועקיף. בנספח 1 מופיעה רשימה שנלקחה מהאתר של החברה להגנת הטבע ובה מפורטים 20 שירותים אקולוגיים המחולקים ל-4 קבוצות: שרותי אספקה, שרותי ויסות ובקרה, שירותים תרבותיים ושירותי תמיכה (רשימת שרותי המערכת האקולוגית).

## 2.4 המגוון הביולוגי, שרותי המערכת האקולוגית ונחלת הכלל

המגוון הביולוגי מעורב באספקה של כל שירותי המערכת, ולכולם עלפי הגדרה, יש ערך לחברה. אנשים מוכנים לשלם עבורם אולם אי אפשר למנוע ניצולם מאלה שאינם משלמים, בעיה שנקראת 'בעיית הטרמפיסט', במיוחד שניצולם על ידי פרט אחד לא גורע מהתועלת שפרט אחר יכול להפיק מהם. כך נעשה המגוון הביולוגי ל"מוצר ציבורי" שצריכתו משותפת ולא תחרותית. היעדר היכולת לגבייה בעבור השירותים עלול לפגוע במגוון הביולוגי האחראי לאספקתם; לדוגמה פגיעה במקורות מים, הכחדת בעלי חיים, ניצול צמחי בר מופרז ועוד, ואף לגרום לנזק שעלות תיקונו מוחשית וגבוהה (ספריאל, 2010).

בדצמבר 2003, ביום השנה ה-35 לפרסום מאמרו של הרדין, על הטרגדיה של נחלת הכלל, יצא לאור מגזין מיוחד של 'סיינס' שהוקדש להשפעה הגלובאלית בכדור הארץ על משאבים משותפים. על הכריכה מופיע צילום לוויני של כדה"א ובסוף הכותרת יש סימן שאלה 'טרגדיה של נחלת הכלל?'

איור 1: מגזין 'סיינס' מספר 302 שעסק בסכנות שבאובדן נחלת הכלל של המגוון הביולוגי



<http://www.sciencemag.org/content/302/5652.cover-expansion>

במאמר המערכת שכותרתו 'קיימות ונחלת הכלל', כותב העורך, שההתנגשות בין המשאבים והאוכלוסיה בכדה"א התגבר מאד מאז שפרסם הרדין את מאמרו בשנת 1968. אז הייתה אוכלוסית העולם 3.5 מיליארד איש ובעת הפרסום כבר כמעט הכפילה את גודלה. גודל האוכלוסיה, בהגברה של הטכנולוגיה והתיעוש, יוצרים לחץ הולך וגובר על משאבי נחלת הכלל של

המגוון הביולוגי, אשר השימוש ביתר בהם גורם לדאגה. המשאבים המדוברים הם אוויר, מים מתוקים, דגה באוקיאנוסים ועוד. כמות כל המשאבים הגלובאליים האלה נמצאת במצב של חוסר ודאות ועד סכנה חמורה. כתוצאה מהדאגה הזו נוסח מונח חדש – 'קיימות' – שמשמעותו שיש לעשות שימוש מתחשב במשאבי נחלת הכלל, במידה כזו, שהדורות הבאים יהנו מהם באותה מידת רווחה שהדורות הנוכחיים נהנים ממנה. המדע מציע פתרונות לשימור משאבי הטבע אך יש צורך בשינוי תפיסתי בחברה, בקרב הכלכלנים ומובילי המדיניות ושינוי זה יוצר התנגדות רבה (Kennedy, 2003).

אחת מהגישות שאומצו בעולם כדי ליצור את השינוי הגלובאלי בהתייחסות לנחלת הכלל הוא באמצעות אמנות בינלאומיות ושתוף פעולה. אפשר להבטיח שימוש בר-קיימא בשירותי המערכות הגלובליות ולמנוע את הפגיעה באספקתם באמצעות תמרוץ כלכלי למדינות המשתמשות בשירותים הגלובליים בצורה בת-קיימא, ואילו מדינות הצורכות יותר מחלקן ההוגן מהשירותים הגלובליים יצטרכו לשלם בעבור תוספת השירותים שהן מבקשות על חשבון האחרות. כך יתחיל העולם להעריך את השירותים אשר לכאורה אין להם מחיר. כיום נבנות מערכות למימוש התמריצים ומערכות שיטור ובדיקה מטעם ארגוני האו"ם ובתי המשפט הבינלאומיים. מספר גדל והולך של ועדות בדיקה בינלאומיות מתמנות לבחינת היישום של המדדים הבינלאומיים במדינות השונות לצורך הכללתם בהסדרים כלכליים (שכטר & שמיר, 2010).

עקב אופיין המורכב של הבעיות הסביבתיות פתרון דורש ידע מקצועי מעמיק ונרחב, ובשל כך למדע ולמדענים יש חלק חשוב בייזום ובניסוח האמנות הבינלאומיות. מבין האמנות הקיימות היום, חמש מיוחסות ישירות לשמירה של המגוון הביולוגי והן: אמנת המגוון הביולוגי, האמנה להסדר הסחר בערכי טבע, אמנת המינים הנודדים, אמנת בתי הגידול הלחים ואמנת המורשת. גם לאמנות אחרות יש השלכה על המגוון; למשל, האמנות האזוריות כמו האמנה להגנה על הים התיכון מפני זיהום (אמנת ברצלונה), האמנה למאבק במדבור, אמנת האוזון ואמנת המסגרת של האו"ם על שינויי אקלים (פרנקנברג, 2010).

## 2.5 אובדן מינים והצורך במחקר

על אף ההתארגנות הגלובאלית אובדן המינים בעולם נמשך בקצב הולך וגובר. אובדן המינים צריך לעורר דאגה בגלל סיבות שונות וזו שהכי פחות נחקרה היא ההשפעה של אובדן המינים על שרותי המערכת האקולוגית, בו בזמן שהמגוון הגנטי במערכות אקולוגיות חיוני כדי לספק את השירותים האלה (Lawton & Brown, 1994).

אובדן המינים בכדור הארץ הוא עצום. חישובים של מספרי מינים נעשים כיום לפי אומדן של השטח שקיים עבורם. אי לכך משוער, שמידי שנה יש אובדן של 27,000 מינים. או מין אחד כל 20 דקות. עם זאת, הידע שלנו על המגוון הביולוגי וחישובו מוגבל (Martens, Rotmans, & de Groot, 2003).

השליטה של האדם במערכות האקולוגיות מאיצה את הירידה במגוון הביולוגי ואת העלמות המינים. קשה לדעת עד כמה יכולות מערכות אקולוגיות לאפשר לעצמן לאבד מינים מסוימים ואם כן אילו מינים ועם זאת עדיין להמשיך לתפקד. יש מערכות אקולוגיות שיכולות להמשיך ולתפקד גם אחרי הפסד מינים רב ועם זאת ידוע, עוד מימיו של דרווין, שמגוון מינים גבוה תורם ליציבות המערכת. נשאלת השאלה, מהן המערכות האקולוגיות ואוכלוסיות המינים ההכרחיות להמשך קיומה של סביבה בריאה ובת קיימא? שאלות אלה מחייבות התערבות ומחקר. עם זאת יש בעייתיות רבה בניהול מחקרים בתחום הזה.

(Martens, Rotmans & de Groot, 2003).

השאלה המרכזית בחקר המגוון הביולוגי היא מהם רכיבי המגוון הביולוגי ומאפייניו? "המגוון הביולוגי" הוא בעיקר ישות תפקודית, ולכן אפשר לאפיין את המגוון הביולוגי של כל מערכת לא רק במספר המינים שבה, אלא באמצעות מדדים המביעים את ההבדלים התפקודיים שביניהם ובאופן זה מתייחסים לכמות ולאיות של שירותים שהמערכת מספקת. מדדים אלה מתייחסים להרכב המינים, לשפעתם היחסית, לתכונות מבניות ותפקודיות של כל אחד מהם ולממדי הדמיון והשוני בתכונות אלה בין המינים השונים. המדדים מתייחסים גם למגוון התוך-מיני המתבטא בהבדלים גנטיים בין אוכלוסיות של אותו המין, ולמגוון הבין-מיני המתבטא בעושר ובמגוון המינים ברמות תפקודיות שונות, וכן למגוון המערכת המתבטא בהבדלים שבין מערכות סמוכות, והמגוון הנופי, שהוא המגוון הנוצר על ידי הפסיפס המרחבי של המערכות - כל אלה מתכנסים למגוון של יחסי גומלין התפקודיים של המינים במערכתיהם.

### 2.5.1 מדדי המגוון הביולוגי

מדדי המגוון הביולוגי יכולים לשמש כלי להכוונה של ממשק המערכות ולייעולו. המבטיח מבינים הוא מדד "שינוי שפעה של מינים נבחרים". מדד זה אינו מתמקד בגודלי אוכלוסייה המביאים מינים לכדי סיכון להכחדה, אלא מזהה אוכלוסיות גדולות יחסית כערוכה לאספקת שירותים ומניח כי גם הקטנה לרמה רחוקה מזו של סיכון להכחדה מהווה סיכון לאספקת השירותים. השימוש במדד זה הראה, למשל, כי עד לשנת 2000 מכלול המערכות המדבריות הגלובליות איבד כשליש ממגונו הביולוגי המקורי. בתרחיש של 'עסקים כרגיל', יירד המגוון הביולוגי של המדבריות ב־15% נוספים עד שנת 2050. כך ניתן לחשב אובדנים אחרים בשפעת מינים שצפויים לחול ברוב המערכות האקולוגיות הגלובליות. עם זאת, הבעיה המרכזית בחקר המגוון הביולוגי הוא במציאת המדדים והסכמה עליהם בין המדענים (ספריאל, 2010).

להלן אפרט חלק מהבעיות בכימות המדדים.

### 2.5.2 בעיה בכימות המגוון הביולוגי:

בעיה ראשונה בניסיון לאפיין את המגוון הביולוגי היא שהמודל שלנו על הטבע הוא היררכי – מהפרט אל האקוסיסטמה, אבל כשמנסים לשייך את כל המרכיבים מסתבכים בגלל יחסי גומלין



ובגלל שיש קושי לשייך כל מין למקום מסוים בהיררכיה. קשה למפות את היחסים שבין כל המרכיבים כולל המרכיבים הא-ביוטים. אי לכך הבעיה המרכזית היא שמנסים לחקור תופעה שלעולם לא ניתן למפות ולתאר בשלמות (Martens, Rotmans, & de Groot, 2003). בנוסף קיימת בעיה בכימות: כשמנסים להעריך את כמות המרכיבים של מערכות אקולוגיות, שהן כמעט תמיד מורכבות, הדבר לרוב בלתי אפשרי, ולהעריך את מצב המערכת והדינמיקה שלה מהנתונים המסוימים שכן ניתן לחשב, בשיטות סטטיסטיות, או אחרות, אינו יעיל (Justus, 2011).

### 2.5.3 המגוון הביולוגי משתנה עם ההשתנות הגלובאלית

בעיה נוספת במחקר, שמקשה על יצירת מודלים שימושיים, היא שהמגוון מוסבר על ידי מרכיבים סביבתיים כגון משקעים, הרכב הקרקע, מקורות אנרגיה זמינים, תנאים אקלימיים ועוד ואלה משתנים בקצב גובר בגלל שהמגוון הביולוגי קשור להשתנות הגלובאלית של האקלים וכן לקשר הגובר בין המערכות בעולם ואי לכך, הופכות למורכבות יותר. יש צורך לחקור כיצד שינויים אלה משפיעים וישפיעו על המגוון הביולוגי.

(Martens, Rotmans & ,de Groot, 2003)

## 3 עד כמה חשוב הגיוון לתפקוד המערכות האקולוגיות?

לאוטון ובראון (Lawton&Brown, 1994) סקרו מחקרים שמתוכם הסיקו מסקנות על היתרות במערכות אקולוגיות. הם שאלו בתחילת שנות ה-90 מהי המידה של היתרות במערכות אקולוגיות? עד איזו מידה הגיוון במערכת אקולוגיות חשוב לתפקוד המערכת? הם גילו, שבאופן מפתיע, מספר המאמרים והמחקרים שמנסים לתת תשובה לשאלה הזו מועטים, וגם, אין תמימות דעים בקרב האקולוגים בנוגע לתשובה. עם זאת, המצב חסר התקדים, של מספר הצמחים ובעלי החיים בסכנת הכחדה העלה את חשיבות התשובה לשאלה הזו.

### 3.1 שני מצבי קיצון למערכת

לאוטון ובראון הגדירו שני מצבי קיצון:

האחד נקרא תיאורית ברגי המטוס (Rivet hypothesis), שנוסחה על ידי פול ואן ארליך ( Ehrlich & Ehrlich, 1983). תיאוריה זו טוענת שלכל מין יש חשיבות במערכת האקולוגית. הם משווים את מרכיבי המערכת לברגים במטוס. יש גבול לכמה 'ברגים' יכולים לפול ממערכת כדור-הארץ לפני שהיא תקרוס. אי לכך אבוד מתמשך של מינים פוגע באופן קבוע ומתגבר במערכת. השני- הוא תיאורית היתרות ( Redundant Species hypothesis ) שנוסחה ב 1992 על ידי ווקר (Walker, 1992).

על פי תיאוריה זו, למגוון מיניים גבוה אין חשיבות. מה שמשנה הוא שיהיו מספיק מיניים פונקציונליים (כלומר, מיניים שיכולים למלא תפקוד מסוים במערכת, נאמר, קיבוע חמצן, או יצור מזון וכד), שימלאו את תפקודי המערכת ושהביומסה של היצרנים הראשוניים (צמחים), השניוניים (ייצור מבעלי חיים) ושל הצרכנים (אוכלי הצמחים והטורפים) והמפרקים תישאר קבועה וברמה הנדרשת. אי לכך ניתן לספק את השירותים האקולוגיים של המערכות האקולוגיות עם מעט מאוד מיניים (Lawton&Brown, 1994).

### 3.2 מחקר איסוף העדויות להוכחת תיאורית היתרות

איסוף העדויות המחקריות שנעשה על ידי לאוטון ובראון היה על עושר המיניים ותפקודי המערכת בלבד. הם הניחו שלמערכות אקולוגיות אין מטרה והן מקיימות תהליכים שמיצרים אנרגיה וחומרים. במחקרם הם אספו מידע על מערכות רבות ככל שניתן - החל מהמערכת הכי כוללת – הביוספרה כולה, ועד מערכות קטנות של חלקת יער, שדה נטוש, בריכה וכדומה. אסוף המידע נעשה מהמחקרים המועטים שמצאו וכן מקהילת המדענים. במערכות שנחקרו נבדקו המרכיבים הבאים:

- \*מעגלים ביוכימיים הכרחיים להמשך פעילות הצמח.
- \*תהליכי מפתח בסיסיים של ייצור ראשוני, צרכנות ראשונית ויצרנות שניונית.
- \*מארגי מזון.
- \*יציבות ועמידות של מערכת אקולוגית קיימות.
- \*סוקצסיה ומכלול התהליכים שמרכיבים קהילות (המיניים המצויים יחד במערכת, פיזורם ושכיחותם).

בהמשך- פירוט ותוצאות חלק מממצאיהם:

#### 3.2.1 מגוון המיניים היום גדול בהרבה מאשר בעבר

לאוטון ובראון מצאו, מעדויות מאובנים, שמגוון המיניים ב- 600 מיליון השנים האחרונות היה מועט באופן ניכר מזה שקיים כיום במערכות השונות, היבשתיות והימיות. מה גם, שהמערכות הקדומות, הדלות יחסית, עברו מידי פעם השמדות המוניות. אחת מההשמדות ההמוניות הייתה בתקופת הפרם (לפני כ- 250 מיליון שנה), וזו העלימה מעל 95% ממיני החי ו- 54% מהמשפחות שהיו קיימות. עם זאת לא נראה מעדויות המאובנים שהמעגלים הביוכימיים הקשורים למערכות החיים הושפעו מההכחדה. ודאי שהאקלים היה שונה וגם הרכב החומרים, אבל לא נראה שמגוון המיניים השפיע על המעגלים הביוכימיים הקשורים לחיים. כך שממצא זה תואם את היפותזת היתרות.

החוקרים כתבו שתי הסתייגויות ממסקנה הזו:

- א. קצב הכחדת המיניים כיום מהיר בהרבה מזה שהיה בכל העדויות שניתנות מבדיקת מאובנים גם בתקופות שהכחדה הייתה הכי חמורה, אם כי קיים ויכוח בנוגע לשאלה עד כמה קצב ההכחדה היום מהיר יותר.

ב. הכותבים לא טוענים שעקב ההכחדה המרחבית לא היו שינויים מקומיים ומרבצי פחם וצור מראים שמידי זמן, בתקופות קדומות, היו גם שינויים בתהליכי המערכות האקולוגיות. עם זאת לא ברור איך התהליכים האלה קשורים להפחתה במגוון מינים (Lawton&Brown, 1994).

### 3.2.2 קשר בין מגוון מינים וייצור ומעבר אנרגיה - ניתן לייתר

על סמך בדיקות של תוצאות מחקרים שונים נמצא, שאין תמיד קשר בין מגוון המינים במערכת וייצור האנרגיה שלה (שנמדד בכמות הביומסה העל קרקעית). נמצא שיש קשר ישיר בין מידת היצרנות העל קרקעית של שטח לבין כמות הצרכנים הראשוניים והצרכנות שלהם וכן ליצרנות המשנית (היצרנות שנוצרת על ידי בעלי החיים). היחס הישר הוא עד רמה מסוימת של רוויה שממנה תוספת של ביומסה על קרקעי כבר לא תשנה. סביר להניח שיחס זה ממשיך גם ברמות הטרופיות הגבוהות יותר וכל זה, בלי כל קשר למספר או לסוגי המינים במערכת. נכון שיש מערכות דלות במינים, כמו מדבר, או טונדרה, ששם היצרנות והצרכנות נמוכה ויש מערכות עם יצרנות וצרכנות גבוהה, כמו היער הטרופי העשיר במינים, אבל יש גם יצרנות גבוהה בשדות חקלאיים באזור הטרופי, בסוואנות ובמלחות ובמקומות אלה מגוון המינים נמוך. אי לכך, בסך-הכל, אין קשר בין מגוון המינים ויצרנות המערכת. ממצא זה אף הוא תומך בתיאוריות היתרות (Lawton&Brown, 1994).

### 3.2.3 קשר בין מגוון מינים ומארגי מזון – ניתן לייתר

לאוטון ובראון אספו מידע על יותר מ-200 מארגי מזון שנוצרו בעשור שקדם לכתיבה והסתבר שלכולן, יחסית, יש את אותו מבנה, בלי קשר למספר המינים שיש במערכת; הפרופורציה בין מספר הפרטים ברמות הטרופיות התחתונה (יצרנית), האמצעית (צרכנים ראשוניים ושינוניים) והעליונה (טורפי על) דומה. היחס בין מספר הטורפים לנטרפים דומה, הפרופורציה בין ההקשרים המזונוניים בין הרמות דומה, אורך שרשראות המזון במקבצים שיש בהם הרבה מינים ומעט מינים אף הוא דומה. ממצא זה תומך בתיאורית היתרות (Lawton&Brown, 1994).

### 3.2.4 קשר בין עמידות המערכת ומגוון מינים – ניתן לייתר

החוקרים השוו תנודות שקרו, לאורך זמן, בגודל האוכלוסיות של מספר מינים דומים במערכת עשירה (יער טרופי) לעומת מערכת דלה. נמצא שלא היה הבדל בתנודות במספר הפרטים באוכלוסיות בשתי המערכות. מידע זה לא תומך בהשערה שחברות עשירות במינים יציבות יותר ואי לכך תומך בתיאורית היתרות. עם זאת, מסתייגים החוקרים וכותבים, שיש הגיון במחשבה שחברות עם הרבה מינים יכולות להתמודד יותר טוב במקרה שלפגע יחול שינוי שכוחות חריף במין אחד או יותר, מאשר חברות בהן מספר המינים מועט. הוכחה לכך במחקרם של פים וקינג (Pimm, 1983 & King) שיפורט בהמשך, שמצא שמגוון מיני צמחים גדול ייצב את המערכת האקולוגית (Lawton&Brown, 1994).

### 3.2.5 הרחקת מינים בתהליך הסוקצסיה- ניתן לייתר

מערכות אקולוגיות לעולם אינן סטטיות. שינויים נגרמים בעקבות שינויי תנאים א-ביוטים ועל ידי סוקצסיה. מגוון המינים וחשיבותם במערכת משתנה בתהליך הסוקצסיה. לאטון ובראון סקרו מחקרים שבהם בדקו כיצד הרחקת מינים פונקציונליים ממערכת של שדה משפיעה על עושר מינים והביומסה ומצאו שלרוב אין קשר בין התפקוד של הפרט או הקבוצה שהוצאו לבין היקף ההשפעה. ממצא זה תומך בתיאורית היתרות. עם זאת נמצא שיש מינים מסוימים שמשפיעים יותר והם המינים שמתיישבים ראשונים בתהליך הסוקצסיה וכן מקבעי החנקן של המערכת. כל אורגניזם שיש לו השפעה על מחזור החנקן ושיש לו השפעה על קצב וכיוון הסוקצסיה הוא מין פונקציונאלי חשוב ונחשב מין מפתח במערכת. במצב שאין מי שיחליף מין זה, במקרה שיעלם, ייגרם שיבוש לתפקוד המערכת. לא ברור עד כמה תהליך כזה מתרחש בטבע. עם זאת נמצא שתהליכי סוקצסיה יכולים להתקיים במספר כיוונים; יש מספר מיני מפתח שיכולים להתחיל בהתיישבות סוקצסיונית ולא משנה מי מהם מתחיל. מינים מתיישבים ראשונים עשויים להוביל את המערכת לכיוון של חברות מסוימות ולא אחרות. מבחינת תפקוד המערכת זה לא משנה מי הם המינים המרכיבים אותה ולכן תיאורית היתרות נתמכת גם כאן (Lawton & Brown, 1994).

### 3.2.6 יש מקרים שבהם לא ניתן לייתר מינים

במחקר בו הוסיפו טורף למערכת, נגרם שינוי רב במרכיבי המערכת. לעומת זאת, כשהוסיפו צרכנים ראשוניים לא הייתה השפעה כזו משמעותית. מחקר אחר היה על אוכלי צמחים שניזונים מצמחים ייחודיים רק להם. ממצאי המחקר הראו שיש לאוכלי הצמחים האלה השפעה מכרעת על אוכלוסיית הצמחים הייחודיים ולכן לא ניתן לייתר את הצמחים או את בעלי החיים שכן ייתור שלהם ישפיע חזק על המערכת (Lawton & Brown, 1994).

### 3.2.7 סכום – מסקנות החוקרים – ניתן לייתר וזהירות מונעת

מסקנת החוקרים היא שתהליכים אקולוגיים מכילים בתוכם את האפשרות ליתר מינים שכן, יש לכל תפקוד מספר מינים פונקציונליים שיכולים לבצע אותו. עם זאת, לא כל המינים שווים ויש מינים שהאובדן שלהם במערכת חשוב יותר מאשר אובדן של אחרים. כמו כן מצאו, שמערכת יכולה לסבול אובדן מינים עד נקודה קריטית מסוימת. הגישה שכדי שמערכת אקולוגית תפעל כיאות, כלומר תספק את השירותים האקולוגיים הנאותים, עליה להיות עשירה מאד במינים, לא נתמכת במחקרים ולהיפך, מסקנת הכותבים היא שניתן לייתר חלק ניכר מהמינים, ללא פגיעה משמעותית. השאלה שנשארה ללא פתרון היא מה מספר המינים המינימלי הדרוש כדי שמערכת אקולוגית תתקיים ותספק שירותים במידה נאותה. יש לקחת בחשבון שמינימום המינים צריך להתייחס גם

לשאלה של מצבי קיצון שהמערכת עשויה להיקלע אליהם ואי לכך יש לכלול מצבים אלה בניסויים שנערכים.

בסיום, מעירים הכותבים, שיש לפעול ברוח הזהירות המונעת ושהעדויות האמפיריות אינן רבות ואינן מספקות, ושמעבר לתועלות של מערכות אקולוגיות כמספקות שירותים, קיים גם מרכיב של השפעת המגוון הביולוגי על רוח האדם (Lawton&Brown, 1994). בהמשך אתייחס לשאלת ייתור המינים מההיבט של הקשר בין מגוון מינים, יציבות מערכת ואספקת שירותי המערכת.

## 4 היסטוריית המחקר בנושא השפעת אובדן מינים.

הייתה תמימות דעים בין החוקרים שכדי שמערכת אקולוגית תספק שירותים כראוי עליה להיות יציבה. גיימס ג'וסטוס כתב מאמר בשם 'מורכבות, גיוון ויציבות', ובו הוא סוקר את חקר הקשר בין מגוון מינים ויציבות המערכת האקולוגית במהלך השנים (Justus, 2011).

### 4.1 שנות ה-60 וה-70 לפי מודל מתמטי: מגוון גבוה יציב יותר

#### 4.1.1 המודל המתמטי של מקארתור - יותר מגוון יותר יציבות

רוברט מקארתור Robert Mac Arthur היה פיסיקאי שהפך לאקולוג. בשנת 1955, בהיותו סטודנט לתואר ראשון באקולוגיה, באוניברסיטת ייל, הוא הצליח לנסח מודל מתמטי שתאם לגישה המקובלת, שסברה שמורכבות גבוהה ומגוון גבוה חשובים ליציבות המערכת האקולוגית. מקארתור הגדיר לראשונה, במושגים מתמטיים, מהי מערכת אקולוגית יציבה. עד אז אקולוגים הגדירו מערכות על סמך תצפיות וקראו למערכת 'יציבה' או 'בשווי משקל' כשהייתה בה אוכלוסייה קבועה ו'לא יציבה', או 'לא בשיווי משקל', כשהיו בה תנודות באוכלוסייה. ההגדרה הייתה לפי מקרה מבחן כזה: נניח שיש אוכלוסיית מין מסוים שלפתע משנה מאד את השכיחות שלה באוכלוסייה. מערכת יציבה היא כזו ששכיחות יתר הפרטים/אוכלוסיות כמעט לא תושפע ואחרי הפרעה היא חוזרת למצבה הקודם מהר. במערכת לא יציבה, השכיחות של יתר האוכלוסיות תושפע ותתנדנד (Justus, 2011).

שתי דוגמאות: ראשונה - החדרת מין שגרמה להפתעה אקולוגית היא החדרה להוואי של ציפור המיינה המצויה (אחת ממיני הציפורים הפולשות הבולטות בישראל) כאמצעי ממשקי לבקרה של מזיקים במטעי קנה הסוכר. החדרה זו הביאה לשינויים שליליים מפליגים במערכות השונות כתוצאה מהפצת צמח הלנטנה - ירידה ביבולים של קנה הסוכר, הקטנת שטחי המרעה, הקטנת שטח בתי הגידול לכמה ציפורים מקומיות ועלייה בתדירות השַרפּוּת.

שניה- סילוק מין שגרם להפתעה אקולוגית הוא סילוק העז השחורה מהחורש בישראל על מנת להגן על מגוון הביולוגי, פעולה שהביאה במפתיע לירידה במגוון הביולוגי (ספריאל, 2010). מקארתור לא התייחס כלל למגוון המינים וטען שיש שני מרכיבים בלבד שחשובים ליצירת מערכת יציבה; האחד הוא מספר הקישורים הייחודיים הבין-מיניים כגון תחרות וטריפה במארג המזון (ככל שיש יותר המערכת יציבה יותר), והשני תכונות אינטרינסיטיות (פנימיות) של המרכיבים של המערכת כגון תכונות פיסיולוגיות מסוימות. אי לכך מערכות, שבמארג המזון שלהן, יש מעט משתתפים (נאמר באזורי הקוטב), הן פחות יציבות והתנודות באוכלוסיות שלהן גדולות יותר. המודל המתמטי של מקארתור התקבל מאד על ידי האקולוגים, שחיפשו מדדים מדויקים למדע האקולוגיה. החולשה של הנוסחה של מקארתור הייתה, שהיא לא הייתה מבוססת מחקר אלא אינטואיטיבית, אבל התקבלה בעולם המחקר כאמת. (Justus, 2011)

#### 4.1.2 אלטון- אישור ממחקר שטח למסקנותיו של מקארתור

באותה תקופה של סוף שנות ה-50, פרסם אקולוג אנגלי בשם צ'רלס אלטון, מסקנה דומה לזו של מקארתור, לפיה מגוון מינים גבוה תורם ליציבות המערכת. אם כי אלטון סבר שהקישור שעשה מקארתור בין יציבות המערכת למארג המזון בלבד הוא פשטני מידי וטען שיש לכלול גם את מגוון המינים. אלטון בסס את ממצאיו על ניתוח ששה מקרים של חברות (מערכות) שעברו הפרעה חזקה בצורת פלישה או התפשטות מזיק מהירה. היו חברות שהיו יותר עמידות ואחרות היו פחות עמידות לפלישה. בחברות העמידות (או היציבות יותר) שאת יציבותן בדק על פי העובדה שהיו בהן פחות פלישות, או נזקים, היו פחות תנודות של האוכלוסיות. כמו כן הסיק אלטון על סמך מחקריו שחברות שיש בהן פחות מינים, כמו איים קטנים או עקב התערבות האדם (מטעים, אזורים של מינים גרים וכד), הן פחות יציבות ואי לכך, יהיו בהן יותר מקרי פלישה ומקרי התפרצות של מזיקים מאשר באזורים טבעיים כמו באזורים הטרופים שבהם יש ריבוי מינים. מאוחר יותר נטען שחלק ניכר מהמסקנות של אלטון לא היה מוכח מדעית. למשל הסתבר שבאזורים טרופים, שיש בהם מינים מרובים, יש מקרי פלישה, ושהסיבות של מקרי הפלישה לאיים אינו מספר המינים אלא סיבות אחרות ועוד (Justus, 2011).

#### 4.1.3 הוכחה הפוכה של מאי- יותר מגוון פחות יציבות

המודל המתמטי של מקארתור שימש חוקר נוסף בשם מאי (May) שפרסם ב 1974 מסקנה הפוכה בנוגע לקשר בין מגוון מינים גבוה ויציבות מערכת; הוא הראה שמערכות שיש בהן הרבה יחסים של טורף נטרף הן פחות יציבות ממערכות שיש בהן מעט יחסים כאלה. בשונה ממסקנת מחקריו שלו, סבר מאי, שבעולם האמיתי, עליה במורכבות מחזקת את היציבות. הוא הגיע למסקנה שהמודל המתמטי נכשל כי בחברות ביולוגיות יש מורכבות לא טיפוסית שהמודל לא מצליח להראות (Justus, 2011).

## 4.2 בקורת על המודלים המתמטיים

היו עוד מדענים שניסחו בצורה מתמטית את מצב שיווי המשקל של חברה ביולוגית כמדד ליציבות החברה אבל הייתה ביקורת על הפשטנות של הנוסחאות שלהם, שלא כללו את כל המרכיבים שיש במערכת האקולוגית. האקולוגים אמצו לעצמם גם מדדים למגוון ביולוגי שבמקור לא נועדו להיות מדדים אקולוגים, כגון המדד המתמטי שאנון-ויבר ומדד סימפסון הסטטיסטי. גם על מדדים אלה יש בקורת שהם פשטניים מידי ולא מצליחים לכלול את כל מרכיבי המערכת. עם זאת מדדים אלה משמשים עד היום. הבעיה עם המודלים המתמטיים היא שככל שמכניסים לתוכם יותר מרכיבים ריאליסטים כך הם הופכים פחות ניתנים לחישוב. עד היום לא נמצא מודל מתמטי שניתן לחשב לפיו יציבות של מערכת (Justus, 2011).

## 4.3 שנות ה 60 פימנטל: יותר מגוון יותר יציבות או להיפך?

ב-1961 עשה דיויד פימנטל, חוקר מאוניברסיטת קורנל, מחקר שדה ראשוני שהוכיח את הקשר בין מגוון המינים, המורכבות והיציבות. הוא זרע כרוב בר ב-2 שדות. באחד זרע רק כרוב ובשני היו 300 מינים שונים בנוסף לכרוב. פימנטל חקר את אוכלוסיית החרקים והעכבישים שנמצאה בשדות ומצא שבשדה שבו היה כרוב בלבד היו הרבה יותר חרקים אוכלי צמחים ועכבישים מאשר בשדה המגוון. זו הייתה כביכול הוכחה שבחברה מעוטת מינים יש פחות יציבות. הייתה הרבה ביקורת על שיטת מחקרו של פימנטל, בין היתר על כך ששיטת הזריעה לא הייתה זהה- את השדה של הכרוב בלבד הוא ניקה וחרש קודם לזריעה ואי לכך סילק משם את כל החרקים והטורפים הטבעיים שלהם ואילו בשדה של הכרוב, שהיו בו מיני צמחים נוספים, הוא זרע את הכרוב מבלי לחרוש ולנקות את השדה, כך שהחרקים והאויבים הטבעיים היו כבר בשדה. בקורת נוספת הייתה על ניתוח הממצאים שלו: אמנם בשדה היה רק מין אחד של כרוב אבל, לעומת זאת, היו הרבה מינים של חרקים ועכבישים. כלומר, סביר להניח, שהיה בשדה מגוון גבוה של מינים וייתכן והממצאים שלו מוכיחים את הטענה של מאי, שפורטה בסעיף קודם, שיש קשר בין חוסר יציבות של מערכת ומגוון מינים גבוה! המחקר של פימנטל, למעשה, מראה מה קורה כשמשימים את אוכלוסיית הטורף של חרקים בשדה.

דיויד פימנטל, שסבר שמסקנותיו נכונות, ושיש קשר בין מגוון מינים גבוה ויציבות, הגדיר מושג חדש שנקרא 'אפקט פורטופוליו', שנועד להסביר את הצורך במגוון מינים גבוה למערכת האקולוגית. המושג לקוח מהעולם הכלכלי ומשמעותו, שכמו שכדאי לחלק השקעות פיננסיות בין כל מיני מקומות, כדי להקטין את הסיכון, כך, במערכת אקולוגית, מצויים מינים שמגיבים בצורה שונה לשינויי סביבה ולכן, ככל שיהיו יותר מינים במערכת, כך הסיכון הכולל לקריסת המערכת, או השתבשות שלה, קטנים. מחקרו של דיוויד קבל מעט תשומת לב מהאקולוגים שהיו עסוקים באותה תקופה בחיפוש מודלים ונוסחאות מתמטיות (Justus, 2011).

#### 4.4 שנות ה-80 מושגים, ועידת ברונטלנד

##### בשנות ה-80 עליה במודעות, ועידת ברונטלנד וטביעת מושגי יסוד

בשנות ה-80 עדיין לא יצאו לדרך הרבה מחקרים, אבל הייתה התפתחות רבה ומשמעותית בתחום המודעות והתיאוריה. בשנות ה-80 נוסחו מושגים מובילים בתחום ביניהם 'המגוון הביולוגי' ו'קיימות'; במהלך עשור השמונים, חל האירוע המשמעותי ביותר בתחום שימור המגוון הביולוגי והוא מינוי "הוועדה העולמית לסביבה ולפיתוח" או "ועדת ברונטלנד", על ידי האו"ם ב-1983. באמצעות הדו"ח שלה "עתידנו המשותף", שפורסם שלוש שנים לאחר מינויה, היא הביאה למקבלי ההחלטות ברמה הגלובלית את התפיסה שהוצגה לראשונה במסמך "האסטרטגיה העולמית", שתמציתה בביטוי "פיתוח בר-קיימא", אשר אף הוא נטבע לראשונה במסמך שהסביר כי משימת הארגון היא לקדם "שמירה על השלמות ועל המגוון של הטבע ולהבטיח כי כל שימוש במשאבי טבע יהיה שוויוני ובעל קיימות אקולוגית". הדו"ח "עתידנו המשותף" הסביר מדוע רק פיתוח הנעזר בסביבה יכול לייצר תועלות לאורך זמן ואף לדורות הבאים (=קיימות), ולכן פיתוח שנועד לתרום לרווחת האדם אך פוגע בסביבה, פוגע בסופו של דבר באדם וברוחתו ומתגלה כפיתוח שאינו בר-קיימא. דו"ח זה יצר מהפך מושגי בחברה, שראתה בצמיחת "התנועה הסביבתית" של שנות השישים והשבעים איום על הפיתוח. בד בבד נעשתה חברה זו גם מודעת למוגבלותם של משאבי הטבע המניעים את הפיתוח ונצרכים על ידי אוכלוסייה גלובלית (ספריאל, 2010).

##### 4.4.1 מעט מחקרים בשנות ה-80. קשר בין מגוון ושרותי מערכת

בתחילת שנות ה-80 הבינו, אינטואיטיבית, שיש למערכות האקולוגיות חשיבות רבה וסברו שכדי שמערכת אקולוגית תתפקד עליה להיות יציבה. אך כפי שכבר כתבתי, מחקרים שנעשו אז והשתמשו במודלים מתמטיים הוכיחו, לעתים, שמערכות שיש בהן יותר מגוון מינים ויותר אנטרופיות בין המינים הן פחות יציבות ממערכות דלות במינים. ב-1983 פורסם מחקר שדה של קינג ופיים (King & Pimm), שהוכיח את הקשר בין מגוון ויציבות. בשונה מהמחקר של פימנטל, שפורט למעלה, נוהל המחקר הזה בצורה שהייתה מקובלת על ידי המדענים. המחקר עסק ביונקים במרעה. המחקר הראה שמגוון גדול יותר שיפר את יציבות המערכת שכן, היונקים שרעו בחלקות יותר מגוונות, השאירו יותר צמחים מאשר אלה שרעו בחלקות פחות מגוונות. שיטת הניסוי הייתה לבדוק קשר בין מגוון מיני צמחים ויציבות הביומסה הצמחית בעקבות הוצאת אוכלי העשב מהמערכת. הביומסה הצמחית נבדקה כשהוצא היונק וכעבור זמן. אם לא היה שינוי רב – המצב העיד על מערכת יציבה. אם היה שינוי רב הייתה זו עדות שאוכל העשב יצר שינוי גדול שהוציא את המערכת מיציבות. המסקנה של המחקר הייתה שכשהמורכבות גדלה המערכת יותר יציבה (Justus, 2011).



#### 4.5 סוף שנות ה-80 ויכוחים בין המדענים

המחקרים השונים ומסקנותיהם הלא אחידות עוררו מספר מוקדי ויכוח עליהם לא הגיעו המדענים לעמק השווה; מוקד מרכזי היה הוויכוח בסוגיית האפיון של מערכת: באיזה מאפיין להתייחס למורכבות ולמגוון? האם ע"י עושר (מספר מינים), שוויוניות (מאפיין של היחס בין המינים השונים) או מידת הקישוריות? ויכוח אחר היה על ההגדרה של מערכת יציבה. לרוב פירשו שמערכת יציבה, או חברה יציבה, היא מערכת עמידה, כלומר שאין בה תנודות גדולות בגודל האוכלוסיות לאורך זמן וככזו, יהיו בה פחות הכחדות של מינים. אך, כאמור, היו גם הוכחות הפוכות. הייתה גם טענה, או טרזניה, שכל חוקר מבסס לעצמו מדדים ונוסחאות כאילו שהאחרים לא קיימים, ויש אפילו אמירה, שמצטט גיוסטוס, שהאקולוג דומה להמפטי דמפטי, האיש דמוי הביצה מאגדות הילדים, שאמר שכשהוא אומר מילה הוא זה שמחליט מה הפירוש שלה! (Justus, 2011).

הוויכוחים עכבו את המחקרים. אי לכך בתקופה שבין שנות ה-70 עד תחילת שנות ה-90 כמעט ולא היו מחקרים. חילוקי הדעות היוו כנראה שלב בתחום החדש של מדע האקולוגיה, אבל מדענים צעירים לא רצו להיכנס לשטח מחקר שבו הקהילה כל כך מחולקת בתוכה ועוינת זו את זו. Moony, שהיה מודאג מהמצב שאל איך נוצר מצב כזה ואיך יוצאים ממנו? (Moony, 2004)

#### 4.6 שנות ה-90 אמנות בינלאומי, תקציבים ופריצת דרך

דו"ח ברונטלנד הניע שרשרת מואצת של פעילויות מתחילת שנות התשעים ועד לימים אלה. בשנת 1992 הייתה "פסגת כדור-הארץ" (או "ועידת ריו"), שהיא "ועידת או"ם לפיתוח וסביבה", ומוצרה היה מסמך "סדר היום למאה ה-21" ("אגינדה 21"). בין 41 פרקיו נכלל פרק אחד המוקדש כולו לשמירה של המגוון הביולוגי ככלי להשגת פיתוח בר-קיימא. בשנה זו גם אומצה אמנת המגוון הביולוגי (נספח 2) - הסכם בין-לאומי שעליו חתומות רוב המדינות. האמנה הזו היא אחד המניעים להכנת התכנית הלאומית הישראלית למגוון הביולוגי (ספריאל, 2010).

העניין המדעי המחקרי בנושא המגוון הביולוגי פרץ בתחילת שנות ה-90, משנפתחה אפשרות למחקרים בנוגע לשינוי האקלימי, כולל תקציבים, בעקבות ועידת SCOPE (Science committee on the problem of the environment). (Moony, 2004)

בועידה, שהייתה בשנת 1991 בגרמניה בעיר Mitwitz, השתתפו מדענים שאכפת להם מהסביבה. השאלות שנשאלו אז ושהציבו את מטרות המחקרים היו:

1. האם יש לכלול את המגוון ביולוגי בתהליכים מערכתיים של כדה"א בנוגע להתחממות הגלובלית?
2. כיצד מושפעת יציבות המערכת האקולוגית על ידי מגוון המינים וכיצד שינוי האקלים ישפיע על כך?

הייתה תקווה שההתארגנות של ה-scope תגרום למחקרים רבים שיכללו מחקרים ניסויים ארוכי טווח, שיחקרו את השפעת המגוון על מערכות. אבל המחקרים המעטים שעסקו בזאת

התייחסו לעושר המינים ולא למגוון הביולוגי. רוב המחקרים היו פיסיקליים וכמעט לא הכניסו את הגורמים הביזטים ומעגלי האנרגיה כשקול בשינויים האקלימיים, וזאת, מפני שהחוקרים לא ידעו איך להתמודד עם המורכבות של המערכות הביזטיות. בכל המודלים שעוצבו בתקופה הזאת כמעט ולא התייחסו למגוון של שכבת החיים שעל כדור הארץ כגורם משמעותי (Moony, 2004). עם זאת, בתקופה זו הייתה פריצת דרך, כשהוקם בלונדון, על ידי לאוטון וחוקרים נוספים, מערך ניסוי שלא היה כדוגמתו שנקרא 'האקוטרון' The Ecotron.

#### 4.7 ניסויי האקוטרון: הוכחה ניסויית ראשונה מגוון משפיע על תפקוד

האקוטרון, הוא מתקן לעריכת ניסויים, שנקרא גם 'ניסוי הבקבוק הגדול', והוקם בקולג' הממלכתי של לונדון (Imperial college, London). המתקן מכיל מערך של 16 חדרי ניסוי מבוקרים מבחינת מרכיבי הסביבה: טמפרטורה, לחות, גזים ועוד, ונועד לניסויים בתחום של מגוון מינים ומערכת ביולוגית וכן, לניסויים שבדקו את השפעת שינויי אקלים על המערכות האקולוגיות. ניסוי האקוטרון הראשון היה ב-1993 ובו בדקו יחסים בין הרכבים שונים של חברת צמחים פשוטה, שהכילה תלתן ושני סוגי דשא, חלזונות ושלשולים. מצאו שני ממצאים, ששפכו אור חדש על הנעשה בשדה ואישרו את המורכבות של מערכות אקולוגיות: שלשולים הגבירו את היצרנות של התלתן וגם נמצא שישנם יחסי גומלין חיוביים בין השלשולים והחלזונות. הניסוי השני בדק את הקשר בין עושר מינים ותהליכי מערכת אקולוגית. יצרו מספר מערכי ניסוי שכללו עושר שונה של צמחים ובעלי חיים. מצאו שרוב התהליכים של המערכת האקולוגית פחתו באופן מובהק עם הפחתת המינים. זו הייתה ההוכחה הניסויית המבוקרת הראשונה שעושר מינים משפיע על המערכת האקולוגית (Lawton, 1996). היו שלושה יתרונות עיקריים בניסויי האקוטרון: האחד- הניסויים היוו גשר בין המודלים המתמטיים ומערכות ביולוגיות אמיתיות, השני- המערך זירז מחקרים והשלישי – המערך אפשר לחזור על ניסויים במדויק, דבר שלא מתאפשר בשדה. הביקורת על מערך האקוטרון התרכזה בכך שהמערכות שבניסוי אינן טבעיות ואינן משקפות את המורכבות של המערכות הטבעיות (Lawton, 1996). אם כך, האקוטרון לא פתר את הצורך שבעריכת ניסויי שדה.

איור 2 מערך האקוטרון



לקוח מתוך האתר : <http://www3.imperial.ac.uk/cpb/history/theecotron>

#### 4.8 סוף שנות ה-90 ותחילת שנות ה-2000 מחקרים חדשים

יכול להיות שהזמן והצורך עשו את שלהם, ומן הסתם, גם התקציבים. במחצית השנייה של שנות ה-90 ובהמשך לתוך שנות ה-2000 יצאו לדרך מספר מחקרי שדה:

##### 4.8.1 ניסויי טילמן יותר מגוון יותר יציבות ויותר תפקוד

טילמן, רייך וקנופס עשו מחקר שדה חדשני, ארוך טווח, שעסק בחקר הקשר בין יציבות, מורכבות ומגוון של מערכת אקולוגית. הם שאלו עד כמה מספר המינים במערכת משפיע על תפקודה. קודם למחקר היה מקובל, שלמגוון הביולוגי יש השפעה על יצרנות של המערכת. אבל ההשפעות של המגוון על היציבות היו נתונות במחלוקת. המחקר, שהיה על חלקות דשא במינסוטה, ארך 10 שנים. במהלך השנים היו שינויי מזג אוויר משנה לשנה, שגרמו לשינויים בשכיחות מיני הצמחים ומידת היצרנות של המערכת. החוקרים מצאו, שמגוון יותר גדול של צמחים גרם ליציבות גבוהה יותר ויצרנות צמחית על קרקעית, כולל שורשים, גבוהה יותר. המחקר הוכיח שמגוון ביולוגי מגדיל באופן אמין ובר-קיימא הספקה של מזון, בIODלק ושרותים אקולוגיים (Tilman, Reich, & Knops, 2006).

##### 4.8.2 בקורת על מחקרו של טילמן

לגיימס ג'וסטוס (Justus, 2011), הייתה ביקורת על ניסויי של טילמן. הוא טען שהמדדים היו של מספר מינים ולא של מגוון ביולוגי ושיטילמן ושותפיו נעזרו במדד המגוון המתמטי של שאנון שהוא בלתי מספק, לדעתו. אי לכך, לדעת ג'וסטוס, המסקנה של טילמן, שיש קשר בין מגוון ביולוגי ויציבות המערכת, לא מהימנה כי, כאמור, מספר מינים הוא תחליף לא ראוי למדידה של מגוון ביולוגי.

##### 4.8.3 ניסוי פסולת העלים. תומך בתיאורית היתרות

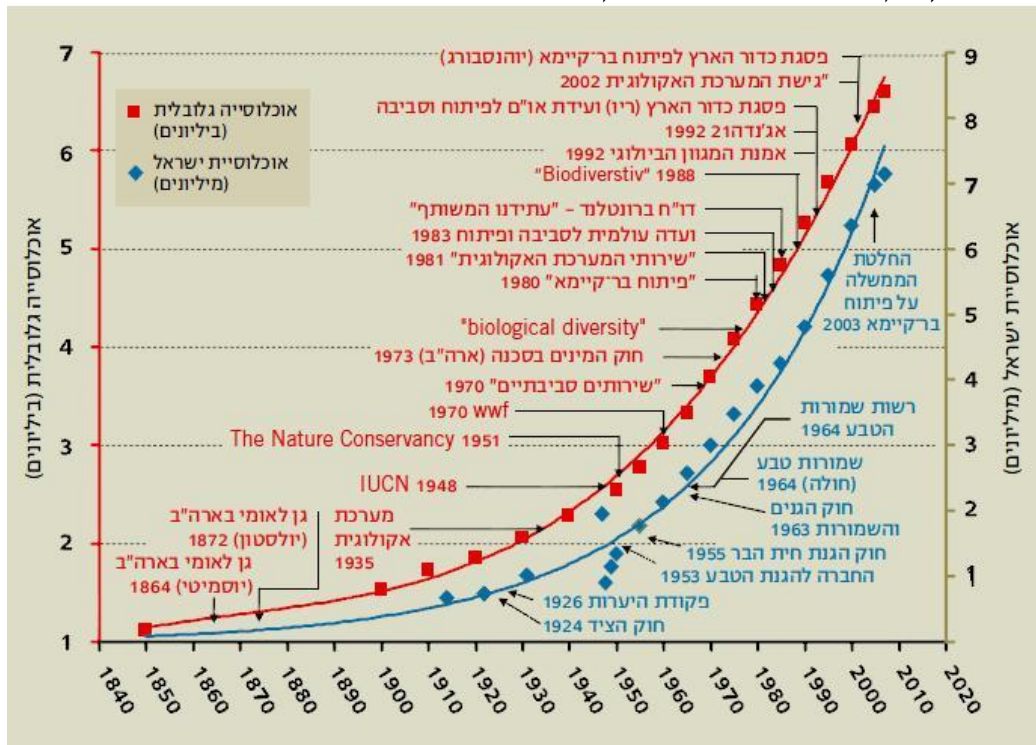
רוב המחקרים שנערכו בסוף שנות ה-90 ואחרי שנת 2000 הראו שיש קשר בין מגוון ביולוגי, יציבות ואספקת שירותים אקולוגיים, אבל לא כולם. בניסוי המתואר שנערך במחצית השנייה של שנות ה-90 בדקו החוקרים תפקוד של 'פסולת עלים' כלומר עלים שנשרו והתייבשו. הם פעלו בשטח שהיו בו 32 סוגי עצים, שהשתייכו ל-4 קבוצות פונקציונאליות שונות של צמחים, מבחינת אספקת שירותי המערכת האקולוגית. הם אספו דגימות של העלים והשוו בין שקיות שהיה בהן עושר של מיני עלים רב ושקיות שהיו בהן מעט סוגי עלים. הם מדדו את איכות הקומפוסט שנוצר בשקיות ב-4 מדדים שונים של שירותים אקולוגיים: רמת החנקן בשקית, רמת חנקן שנפלטה, קצב הפירוק, ורמת המסה המיקרוביאלית. הם מצאו שלא

היה קשר בין המדדים האלה בקומפוסט לבין מגוון מיני הצמחים שהרכיבו אותו וגם לא היה הבדל במדדי הקומפוסט בין הקבוצות הפונקציונאליות השונות. מסקנתם הייתה, שלמגוון צומח, שמרכיב את השכבה הנרקבת, אין חשיבות בנוגע לאספקת השירותים של המערכת האקולוגית. הם הציעו שההרכב של פסולת העלים, מבחינת מגוון, פחות חשוב למערכת האקולוגית, מאשר מגוון הצמחים החיים (Wardle, Bonner, & Nicholson, 1997).

#### 4.9 שנות ה-2000, עוד מודעות ומחקרים מוכיחים-מגוון חשוב

גם בשנות ה-2000 המשיכו פעילויות לעורר מודעות ופעילות בינלאומית להפחתת הפגיעה במגוון הביולוגי הגלובלי. בשנת 2002 התקיימה ועידת יוהנסבורג ובה חתמו המדינות על הסכם "יעדי הפיתוח של המילניום", (Millennium Development Goals), ובהסכם זה התחייבו המדינות להפחתה ניכרת בשיעורי הפגיעה במגוון הביולוגי עד שנת 2010. באיור שרטוט של המהלכים הבינלאומיים לשימור מגוון ביולוגי במהלך השנים (ספריאל, 2010).

איור 3: אבני דרך בקידום השמירה על המגוון הביולוגי



איור 5: אבני דרך בנושאי טבע, מגוון ביולוגי, מערכות, שירותים ופיתוח ברקיימא - מול גודל אוכלוסיית האדם\*  
\* נתוני אוכלוסייה: גלובלית - US Census Bureau ישראל - הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה

לקוח מתוך <http://www.sviva.gov.il/InfoServices/ReservoirInfo/ResearchAndPublications/Pages/Publications/P0501-P0600/P0540.aspx> (ספריאל 2010)

### 4.9.1 ניסוי שבדק כמה מינים נחוץ לתפקודי מערכת

מחקר שדה ארוך טווח על מגוון צומח בסוואנות, נעשה בתחילת שנות האלפיים על ידי חוקר בשם וודורד. החוקר מצא, שמגוון מיני הצמחים בסוואנות, שעברו שריפה אחת לשנה, קטן יותר, ועם גיוון רב יותר בייצור פרחים, כלומר מגוון גינטי גבוה יותר, מאשר מספר המינים בסוואנות שלא עברו שריפה במשך מספר שנים. באחרונות היו יותר מיני צמחים עם פחות גיוון גינטי כלומר פחות גיוון בייצור פרחים. הניסוי ארך 6 שנים, משך הזמן הארוך חשוב מאד, שכשבוחנו את נושא השפעת מגוון מינים על תפקודי מערכת שכן, חשוב שהמערכת תקלע, במהלך הניסוי, לשינויי סביבה משמעותיים. בניסוי שעשה וודורד הייתה שנה אחת עם בצורת ואז, כמעט לא פרחו כלל הפרחים. ממצאיו הראו שבתנאי קיצון (שריפה כל שנה) היו פחות מינים אבל מגוון גינטי גבוה, שהגביר את יכולת האוכלוסייה להתמודד עם התנאים הקשים. מסקנתו הייתה שיש להתחשב הן בעמידות והן ביכולת היצור של הפרטים, כדי להעריך כמה ומי חשוב. מינים שונים מגיבים בצורה שונה לשנים גשומות ושחונות. יש מינים שהיו יותר יצרנים בשחונות ואחרים ייצרו יותר בשנים גשומות. המסקנה הזו תומכת בדעה, שריבוי מינים חשוב, כדי שמערכת תתפקד באופן ראוי לאורך זמן (Justus, 2011).

### 4.9.2 מחקר עדכני – מורכבות וטווח ארוך: יותר מגוון יותר תפקוד

במהלך העשור הראשון של שנות ה-2000 התארגן מחקר שדה ארוך טווח, שלא היה כדוגמתו; זו הייתה הפעם הראשונה שנערך מחקר כוללני, שניסה להתמודד עם המורכבות של המגוון הביולוגי. השתתפו במחקר 17 חוקרים, מ-10 אוניברסיטאות שונות, מארצות ויבשות שונות: קנדה, שוויץ, אירלנד, איווה ארה"ב, מינסוטה ארה"ב, קליפורניה ארה"ב, סידיני אוסטרליה, פייבורג גרמניה, לייפציג גרמניה והולנד. המחקר בוצעו במקומות שונים, באקלימים שונים, בזמנים שונים ובמשך זמן שונה. במחקר נאסף מידע מ-17 ממערכי ניסוי של מגוון ביולוגי שהיו בחלקות עשב זהות במקומות השונים. בשונה ממחקרים קודמים, שבהם שאלו כמה מינים דרושים לקיים תפקוד אחד של המערכת מתחת למערך אחד של תנאים סביבתיים, בסדרת הניסויים במחקר הנוכחי בדקו את החשיבות של מגוון ביולוגי לאספקת שירותים למערכת אקולוגית במשך כמה שנים, במקומות, תפקודים ותנאיי מזג אוויר משתנים. החוקרים זרעו או שתלו בכל החלקות מיני צמחים דומים. בהמשך זיהו את מיני הצמחים שמקדמים תפקודי מערכת אקולוגית. הזיהוי נעשה על ידי השוואת תפקודי שתי חלקות שנזרעו באותו מגוון, כשמאחת מהן נגרע בכל פעם מין מסוים. המינים נגרעו בזה אחר זה מהחלקות ובכל פעם נבדקה יכולת החלקה לספק שירותים. תוצאות המחקר הראו ש-84% מתוך 147 מיני צמחים עשבוניים שנחקרו במהלך הניסויים קידמו תפקוד של המערכת האקולוגית לפחות פעם אחת ו-27% מכלל המינים שהשתתפו בתכנית קידמו איזה שהוא תפקוד אקולוגי במהלך הניסויים. מינים שונים קידמו את התפקוד של המערכת בשנים שונות ובמקומות שונים ותחת מאפייני סביבה שונים, כשהייתה רק מידה מסוימת של חפיפה ביניהם. חלק מהמינים הפונקציונליים השתנו משנה לשנה. נמצא שגם למינים נדירים היה תפקוד חשוב.

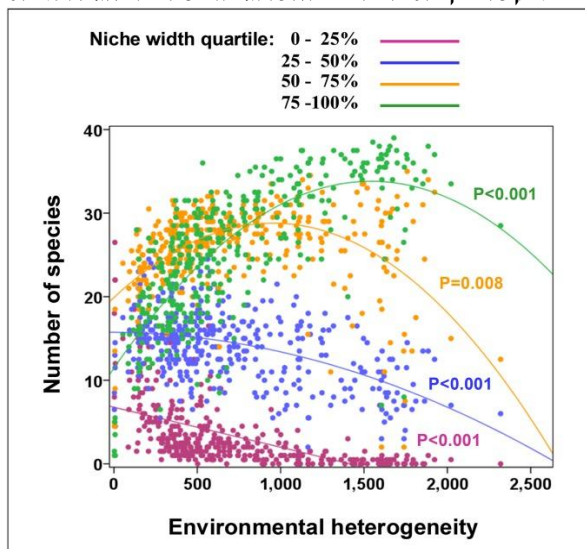
מסקנת המחקר היתה שדרוש למערכת אקולוגית מגוון גבוה לבצוע הרבה תפקודים במקביל, לאורך שנים, ובסביבות משתנות. לדעת החוקרים דרושים אף יותר מיני צמחים, מאלה שהיו במחקר, כדי לשמר את מצב המערכת. מסקנתם הייתה שיש לשמור על כל מגוון המינים ולו רק בגלל עקרון הזהירות המונעת ובמידה ולא ניתן, יש לערוך מחקרים נוספים כדי לברר מי הם המינים החשובים יותר לתפקודי המערכות האקולוגיות ולשמור עליהם (Isbell, et al., 2011).

### 4.9.3 מחקר מ-2012 ריבוי בתי גדול יותר הכחדות מינים

חוקרים מהמחלקה מהמכון למדעים באוניברסיטה העברית בשיתוף עם חוקרים מאוניברסיטת גרנדה בספרד פיתחו מודל מתמטי המתאר התפתחות של מערכת אקולוגית המורכבת מפרטים של מינים שונים ולאחר מכן בחנו את תחזיות המודל באמצעות ניתוח אמפירי של עשרות בסיסי נתונים של מיני צמחים ובעלי חיים מכל העולם.

הן התוצאות התיאורטיות של המודל והן הנתונים מהשטח תמכו בהשערה שגיוון בתנאי בית הגידול יכול דווקא להגביר את קצבי ההכחדה של מינים ועל ידי כך להקטין את מספר המינים שיכולים להתקיים במערכת (איור 4). לדוגמא, ניתוח המגוון של מאות מיני ציפורים מקננות בקטלוניה, העלה, כי דווקא באזורים בהם תנאי הסביבה היו מגוונים יותר, נכחדו עם השנים יותר מיני ציפורים מאשר באזורים הומוגניים. ממצאים אלה תואמים את ממצאיו של מאי משנות ה-70 של המאה הקודמת שמצא שמגוון גבוה מקטין יציבות של מערכת (Justus, 2011). ההסבר לממצאי המחקר הוא שבסביבה מגוונת, מבחינת תנאי בית הגידול, יש פחות שטח ומשאבים שמתאימים לכל אחד מהמינים, ולכן המינים נעשים פגיעים יותר להכחדות מקומיות. מכאן שגיוון יתר בתנאי בית הגידול עלול להוביל דווקא לירידה במספר המינים. מחקר חדשני זה לא סותר את הערך הגבוה של המגוון הביולוגי אבל נותן כלי ממשק חשוב לאנשים שפועלים לשימור בתי גדול ומגוון מינים (Allouche, et al., 2012).

איור 4 קשר בין מספר מינים והטרונגיות של בית הגידול: מספר המינים קטן ככל שהטרונגיות גדלה



לקוח מתוך <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23045670>



כפי שכתבתי במבוא, רציתי לברר אם הדעה המקובלת, שכל המגוון הביולוגי חשוב עבור אספקת שירותי המערכות האקולוגיות, היא נכונה. בתהליך המהנה של חיפוש המידע למדתי שהרבה מאד נאמר בתחום מגוון המינים והמגוון הביולוגי וחשיבותו אך מעט נעשה- קרי- מעט מחקרים. הבעייתיות בעריכת המחקרים היא בשני תחומים; האחד – הוא הקושי להכניס למערכת ניסוי את המורכבות של המגוון הביולוגי, והשני הוא הקושי בכימות המרכיבים. החוקרים במחקר האחרון שתואר התיימרו להתמודד עם הבעיות האלה. במאמרם, שמתאר את סדרת הניסויים שעשו, לא פורטו שיטות המחקר ושיטות הכימות ואיני יודעת כיצד הם נעשו. עם זאת, בהנחה שכל החוקרים הם מקצועיים, הרי שמסקנתם היא מהימנה והיישום המתבקש הוא שיש לשמור על מגוון המינים והמגוון הביולוגי באופן מרבי עבור אספקת השירותים על ידי המערכות האקולוגיות. בעניין זה מסכימים גם חוקרים אחרים, כגון, מאי, על אף שמצא שמערכת שיש בה מגוון מינים גבוה היא פחות יציבה ולאטון ובראון, על אף שהוכיחו שניתן לייצר מינים, שכן, הם מצאו, שיש מינים שהייתור שלהם עשוי לגרום לנזק רב ואי לכך, יש לנקוט בעקרון הזהירות המונעת ולשמור על מירב המינים האפשרי, כמו גם להמשיך ולחקור מי הם המינים החשובים יותר ובמידה ומדובר על שמירה ושיקום אוכלוסיות לקחת בחשבון גם את שטח בית הגידול הראוי לשיקום של כל מין. כעת אני יכולה להיות שלמה בלב ובנפש עם הדעה המקובלת, שנוסחה יפה על ידי ספריאל (2010) כך:

”שירותי המערכת שונים זה מזה ברכיב המגוון הביולוגי הדרוש להפקתם, אך היות שמערכת אקולוגית אחת מספקת מספר רב של שירותים מטיפוסים שונים, היא זקוקה למגוון הביולוגי על מרב רכיביו, גם אם אי-אפשר להצביע היום על תפקוד ספציפי של חלק מהמינים באספקת שירותי מערכת” (ספריאל, 2010 עמ 13). לשירותי התמיכה והבקרה חשובים יותר מינים תפקודיים מאשר עושר מינים, לדוגמה לבקרת האקלים המקומי חשובים מינים תפקודיים, כגון עצים מצלים. לאספקת שירותי הייצור הראשוני חשובים צמחים ולא דווקא משנה מאילו מינים אבל שירות אספקת המזון זקוק לתמיכה של רכיבי מגוון ייחודיים המצויים דווקא במערכות שאינן חקלאיות (כגון מים מתוקים והאבקה). מגוון היצורים הזעירים- מספק את השירות של מחזור החומרים, לעומת אלה, השירות של הקניית עמידות למערכת בפני שינויים סביבתיים, מזיקים ומינים פולשים ושמירה על יציבות של אספקת השירותים מותנה בעושר מינים גבוה. גם אספקת שירותים התלויים ברכיב מגוון ייחודי משתפרת עם העלייה במספר המינים שברכיב זה, אך מעבר לרמת עושר מסוימת אין עוד שיפור בעוצמה ובאיכות של אספקת השירות. עם זאת, המינים ה”נוספים” שמעבר לרמה זו אינם ”מיותרים”. ערכם נעוץ בהשלמת תפקודים של מינים אחרים, וגם אם הם משמשים ”בורג” קטן במבנה המערכת, אובדנם עלול לשבש את יציבותה. אפשר גם שערכם באספקת שירותים יתבטא רק בעתיד, בעקבות שינויים צפויים או בלתי צפויים בסביבת האדם ובצרכיו, ולפיכך ראוי לשמרם (ספריאל, 2010).

לסיכום, המחקר הספרותי שעשיתי, מאשר את הדעה המקובלת בעולם, שיש חשיבות רבה בשמירה על כל המגוון הביולוגי, במיוחד על רקע ההתדרדרות בשירותים האקולוגיים בחלק

מהמקומות, דבר שמתבטא בזיהום אוויר, קרקע ומים, התחממות, שיטפונות, קרינת שמש מוגברת ועוד, וכתוצאה – תחלואה ואסונות. הנסיון העולמי להתמודד עם הבעיות באמצעות הסכמים הניב, במהלך 20 השנים האחרונות, מספר אמנות בינלאומיות מרשימות בהיקף המעוף, המשאבים, המאמץ והידע שהושקע בכתבתן, בראש וראשונה האמנה לשמירת המגוון הביולוגי (נספח 2). האמנות יצרו פעילות רבה בכיוון של שימור המגוון הביולוגי במדינות רבות, כולל ישראל. כוונת האמנה לשמירת על המגוון הביולוגי הייתה, בעיקר, שהמדינות המפותחות, שבידן מצויים הכוח הכלכלי והכלים הטכנולוגיים להפקת תועלות מהמגוון הביולוגי, יתנו סיוע למדינות המתפתחות אשר מרב המגוון הביולוגי שבסיכון הוא בתחומן, אך אין להן את היכולת הכספית והטכנולוגית לממן את צורכי הפיתוח ואת צורכי הגנה על המגוון הביולוגי. על אף האמנה, המגוון הביולוגי בעולם ממשיך ומתדרדר ומינים רבים ממשיכים להיכחד. הסיבה נעוצה בחוסר היכולת לאכוף את ההסכמים הבינלאומיים, במיוחד על אותם אנשים וגופים שנהנים מהשימוש ביתר מנחלת הכלל הגלובלית הזו ולא מעוניינים להפסיק זאת או לשלם על כך. הטרגדיה בהחלט עומדת בפתח.

## 6 מקורות מידע

Allouche, O., Kalyuzhny, M., Moreno-Rueda, G., Pizarro, M., & Kadmon, R. (2012, October 23). [Area-heterogeneity tradeoff and the diversity of ecological communities](#). *Proc Natl Acad Sci U S A.*, 109(43), 17945-17500.

Ehrlich, P. R., & Ehrlich, A. H. (1983). *Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Pennsylvania: Ballantine Books

[Ecosystem Assessment Millennium](#). (2005). Retrieved August 18, 2013, from Ecosystem Assessment Millennium: <http://www.unep.org/maweb/en/index.aspx>

Isbell, F., Calcagno, V., ConollyJohn, Harpole, W. S., Reich, P. B., Scherer-Lorenzen, M., et al. (2011, August 10). [High Plant Diversity is Needed to Maintain Ecosystem Services](#). *Nature*, 477, 199-202.

Justus, J. (2011). Complexity, Diversity, and stability. In S. Sarkar, & A. Plutynski, A [companion to Philosophy of Biology](#) (pp. 321-350). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.



- Kennedy, D. (2003, December 12). [Sustainability and the Commons](#). *Science*, 302(5652), 1861.
- King, A. w., & Pimm, S. L. (1983, August). [Complexity, Diversity, and Stability: A Reconciliation of Theoretical and Empirical Results](#). *The American Naturalist*, 122(2).
- Lawton, J. H. (1996, April). [The Ecotron Facility at Silwood Park: The Value of "Big Bottle" Experiments](#). (E. S. America, Ed.) *Ecology*, 77(3), 665-669.
- Lawton, J. H., & Brown, V. K. (1994). [Redundancy and ecosystem](#). In E. D. Schulze, H. A. Moony, E. D. Schulze, & H. A. Moony (Eds.), *Biodiversity and ecosystem function* (pp. 255-274). Berlin -Heidelberg: Springer-Verlag.
- Martens, p., Rotmans, J., & de Groot, D. (2003). [Biodiversity: Luxury or Necessity?](#) *Global Environmental Change*, 75-81
- Moony, H. S. (2004). [The Debate on the Role of Biodiversity in Ecosystems Function](#). In M. Loreau, S. Naeem, & P. Inchausti, *Biodiversity and Ecosystem Function* (pp. 12-17). Oxford, UK: Oxford Press.
- Sugden, A., Ash, C., Hanson, B., & Smith, J. (2003, December 12). [Where Do We Go from Here?](#) (D. Kenedy, & D. Kennedy, Eds.) *Science*, 302(5652), 1906.
- Tilman, D., Reich, P. B., & Knops, J. M. (2006, March). [Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment](#). *Nature*, 441, 629-632.
- Walker, B. H. (1992, March). [Biodiversity and Ecological Redundancy](#). *Conservation Biology*, 6(1).
- Wardle, D. A., Bonner, K. I., & Nicholson, K. S. (1997). [Biodiversity and plant litter: Experimental evidence which does not support the view that enhance species richness improves ecosystem function](#). *Oikos*, 79, 247-258. Copenhagen
- Wilson, E. O. (2009). Biophilia and the conservation ethic. In D. L. Penn, & I. Myserud, [Evolutionary Perspectives on Environmental problems](#) (pp. 249-258). New Jersey: Transaction Publishers.
- המארג. (2012). אוחרזר ב- 18 אוגוסט 2013, מתוך <http://www.hamaarag.org.il/he>: [המארג](#).
- ספריאל, א'. (ינואר 2010). [התכנית הלאומית למגוון ביולוגי בישראל](#). (א' ספריאל, עורך) אוחרזר ב- 22 אוגוסט 2013, מתוך המשרד להגנת הסביבה:  
<http://www.sviva.gov.il/InfoServices/ReservoirInfo/DocLib2/Publications/P0501-P0600/P0540.pdf>
- פלדמן, ע', רול, א', & גבריאלי, י'. (אין תאריך). [מצגת המגוון הביולוגי](#). אוחרזר ב- 18 אוגוסט 2013, מתוך קמפוסטבע אוניברסיטת תל אביב:  
<http://www.campusteva.tau.ac.il/?cmd=presentations.1547>
- פרבולוצקי, א', & פולק, ג'. (2001). [אקולוגיה התיאוריה והמציאות הישראלית](#). ירושלים: כרטא

פרנקנברג, א'. (2010). היבטים בינלאומיים. ב- א' ספריאל, [התכנית הלאומית למגוון ביולוגי בישראל](#) (עמ' 257-270). ירושלים: המשרד להגנת הסביבה - מדור פרסומים. בע"מ.

[רשימת שרותי המערכת האקולוגית](#). (אין תאריך). אוחר ב- 18 אוגוסט 2013, מתוך החברה להגנת הטבע: [http://www.teva.org.il/\\_Uploads/dbsAttachedFiles/poster\(1\).pdf](http://www.teva.org.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/poster(1).pdf)

שכטר, מ', & שמיר, ש'. (2010). היבטים כלכליים של התכנית הלאומית לשמירת המגוון הביולוגי בישראל. ב- א' ספריאל, & א' ספריאל (עורך), [התכנית הלאומית למגוון ביולוגי בישראל](#) (עמ' 149-150). ירושלים: המשרד להגנת הסביבה אגף פרסום ומידע.

## 6.1 רשימת איורים

- איור 1: מגזין 'סיינס' מספר 302 שעסק בסכנות שבאובדן נחלת הכלל של המגוון הביולוגי ..... 5  
 איור 2 מערך האקוטרון ..... 17  
 איור 3: אבני דרך בקידום השמירה על המגוון הביולוגי ..... 19  
 איור 4 קשר בין מספר מינים והטרוגניות של בית הגידול ..... 21

## 7 נספחים

### 7.1 נספח 1 שרותי המערכת האקולוגית:

- 1. שירותי אספקה:** הטובין או המוצרים המופקים מן המערכות האקולוגיות כגון:  
**מזון-** מצמחים שהם תוצרת חקלאית (דגנים ירקות ופירות), בעלי חיים שאנו מגדלים (למשל עופות, חזירים, בקר), דגים ופירות ים, מזון שנאסף מן הטבע (למשל פטריות או בשר ציד).  
**סיבים-** עץ גולמי ומוצרים המופקים מעצים (כמו בולי עץ לתעשייה ונייר), או סיבים אחרים כמו כותנה ומשי המשמשים למגוון שימושים: ביגוד, מצעים, חבלים.  
**מים מתוקים-** מים לשתייה, לתעשייה, לשימוש ביתי וחקלאי.  
**משאבים גנטיים-** גנים ומידע גנטי המשמשים להשבחה של בעלי חיים וצמחים ולביוטכנולוגיה, למשל להעלאת משאבים גנטיים ומידע גנטי המשמשים להשבחה של בעלי חיים וצמחים ולביוטכנולוגיה, למשל להעלאת עמידות היבולים.  
**ביו-כימיקלים וחומרי טבע -** תרופות, קוטלי חרקים, תוספי מזון וחומרים ביולוגיים אחרים. למשל: שום, תרופות לטיפול בסרטן ועוד.

## 2. **שירותי ויסות ובקרה**: התועלת שניתן להפיק מתהליכי הוויסות של המערכות האקולוגיות

**ויסות איכות האוויר** - ספיגת כימיקלים מן האטמוספירה (למשל, אגמים הקולטים תרכובות גופרית שנפלטות מהתעשייה, עצים הסופחים תרכובות רעילות מפליטות של כלי רכב).  
**ויסות אקלים** - המערכות האקולוגיות משפיעות על האקלים העולמי ע"י פליטת גזי חממה או חלקיקים לאטמוספירה או ע"י ספיגתם (בקר ושדות האורז פולטים מתאן, יערות סופגים דו תחמוצת הפחמן ואוגרים אותו). ברמה המקומית - משפיעות על גורמי האקלים המקומיים (שדירת עצים בעיר ממתנת את הטמפרטורה).  
**ויסות מים** - מערכות אקולוגיות משפיעות על כמות המים ומשך זרימתם, על שיטפונות ועל חלחול ואגירת מי התהום. כך למשל, אדמה חדירה מזרזת חלחול ואגירת מי תהום, שטחי הצפה ובתי גידול לחים יכולים למנוע הצפות בזמן זרימת שיא ולבטל את הצורך באמצעים מעשה ידי אדם למניעת שיטפונות.

**עצירת סחף** - שימור קרקע. צמחיה כגון עשב ועצים מונעת סחף של הקרקע.  
**בקרה על מזיקים** - מערכות אקולוגיות תקינות מקטינות השפעתם של מזיקים ומחלות בגידולים ובמקנה. דורסים, עטלפים, קרפדות ונחשים, לדוגמא, אוכלים את מזיקי החקלאות.  
**האבקה** - בעלי חיים מעבירים אבקה מצמח לצמח ומאפשרים את התרבות הצמחים והבשלת הפרי. לדבורים חשיבות עצומה בהאבקת גידולים חקלאיים.  
**בקרה טבעית של אסונות טבע** - הפחתת הנזק הנגרם מאסונות טבע כמו הוריקן או צונאמי. יערות מנגרובים ושוניות אלמוגים, למשל, מגנים על קו החוף מפני סערות. תהליך הפירוק הביולוגי מצמצם את חומר הבעירה ומפחית את גודלה או עוצמתה של שריפה טבעית.  
**בקרה על מחלות** - מערכות אקולוגיות תקינות מקטינות את החשש מהופעתם והפצתם של מחוללי מחלות (כגון חיידקים). שלולית חורף למשל, שבה הרכב אוכלוסיה מאוזן הכולל גם מינים טורפים תמנע התפשטות של יתושים.

**טיהור מים וטיפול בשפכים** - מערכות אקולוגיות כגון בתי גידול לחים, מסלקות חומרים מזהמים מהמים ע"י לכידת המתכות והחומרים האורגניים. חיידקי הקרקע מפרקים את הזבל האורגני ומפחיתים את הנזק שהוא גורם.

## 3. **שירותים תרבותיים**: התועלת הלא חומרית המופקת משירותי המערכת האקולוגית

**ערכים רוחניים ואתיים** - כל ערך שבני האדם מעניקים למערכות האקולוגיות, לנוף ולמינים של המערכות האקולוגיות. למשל תחושה של ההגשמה הרוחנית בטבע, השראה לאמנות, וכו'.

**ערך הקיום** - הערך שבני אדם מעניקים לעצם הידיעה על קיומו של משאב כלשהו, גם אם לעולם לא ישתמשו בו. האמונה שכל מינים זכאים להגנה, ללא קשר לתועלת שלהם עבור בני האדם – שימור המגוון הביולוגי לשם עצמו ולמען הדורות הבאים.

**פנאי ותיירות אקולוגית** - ההנאה שניתן להפיק מקיומן של מערכות אקולוגיות, טבעיות או מעובדות, למשל בטיולים בטבע, מחנאות וצפרות.

4. **שירותי תמיכה** : תהליכי יסוד שהם הבסיס להיווצרות כל שאר שירותי המערכת.

**מחזור חומרים** - למשל, תהליך פירוק החומר האורגני ליצירת קרקע. התהליך שבו

חומרים כמו זרחן, גופרית או חנקן, הופכים לצורה כימית הניתנת לניצול על ידי צמחים.

**יצרנות ראשונית** - יצירת חומר ביולוגי באמצעות הטמעתם או צבירתם של אנרגיה ושל

חומרים ע"י אורגניזמים שונים. למשל - פוטוסינתזה, התהליך שבו דו תחמוצת הפחמן ואור

השמש חוברים על מנת ליצור סוכר וחמצן.

**מחזור המים** מעבר של מים במערכות האקולוגיות בצורת מוצק, נוזל או גז.

מתוך [אתר החברה הגנת הטבע](#)

## 7.2 נספח 2: אמנת המגוון הביולוגי - CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY

**מטרת האמנה**: האמנה נועדה לעסוק בשמירה של המגוון הביולוגי, בשימוש בר-קיימא ברכיביו ובחלוקה הוגנת ושוויונית של התועלות המתקבלות משימוש במשאבים גנטיים. לכן, האמנה היא ההסכם הראשון המקיף והכוללני הנוגע לכל ההיבטים של המגוון הביולוגי: משאבים גנטיים, מינים ומערכות אקולוגיות. היא מכירה, לראשונה, בעובדה ששמירה על המגוון הביולוגי הוא נושא לדאגה משותפת של כלל האנושות וחלק אינטגרלי מפיתוח שהוא בר-קיימא.

**מסגרת האמנה**: זו אחת מאמנות האו"ם בקטגוריה של "אמנות ריו" (אמנות שהולדתן ב"ועידת האו"ם לסביבה ולפיתוח", הנקראת גם UNEP "פסגת כדור הארץ", שהתקיימה בריו דה ז'ניירו ב-1992), והיא מנוהלת במסגרת ארגון האו"ם לסביבה.

**מעמד האמנה**: האמנה הוצגה לחתימה בפסגת ריו ביוני 1992 עד יוני 1993, וחתמו עליה 168 מדינות. היא נכנסה לתוקף ב-29 בדצמבר, 90 יום לאחר שהמדינה ה-30 שחתמה אף אשררה אותה. ועידת הצדדים הראשונה של המדינות החברות באמנה, התכנסה ב-1994 באיי בהמה, ומספר המדינות שאשררו את האמנה עד אז הגיע ל-106. ישראל אשררה את האמנה רק לאחר מכן והצטרפה אליה בוועידת הצדדים השנייה שהתקיימה בג'קרטה בנובמבר 1995. לאחר מכן הוקמה בישראל ועדה בין-משרדית לקידום הכנתה של תכנית לאומית לשמירה על המגוון הביולוגי ולמעקב אחר יישום החלטות של מוסדות האמנה.

**תיאור האמנה**: אמנה זו קובעת אמצעים כלליים לשמירה על המגוון הביולוגי ולשימוש בר-קיימא בו: כל צד לאמנה יפתח אסטרטגיות ותכניות לאומיות לשמירה על המגוון הביולוגי ולשימוש בר-קיימא בו או יתאים למטרה זו אסטרטגיות ותכניות קיימות אשר ישקפו, בין היתר, את האמצעים המפורטים באמנה זו הנוגעים לצד הנדון.

כל צד ישלב, ככל שהדבר אפשרי ומתאים, את שמירת המגוון הביולוגי ושימוש בר-קיימא בו בתכניות וביעדי מדיניות מגזריים או בין-מגזריים במדינתו. הצדדים נתבעים לכלול בתכניותיהם הלאומיות ובחיקיקתם אמצעים לשמירה על המגוון הביולוגי בטבע ומחוצה לו.

עודהם נתבעים:

• להכליל את יעדי המגוון הביולוגי במדיניות המגזרית שלהן;

- להקצות באופן צודק את התועלות הנובעות משימוש במשאבים גנטיים;
- לגלות התייחסות מיוחדת לנושא הביוטכנולוגיה.

לאמנה סעיפים רבים הכוללים שיתוף פעולה; אמצעים כלליים לשמירה ושימוש בר-קיימא, לאיתור ולניטור, לשמירה על המינים באתרם, לשמירה מחוץ לאתר, לשימוש בר-קיימא ברכיבים של המגוון הביולוגי; אמצעים לעידוד, מחקר, הוראה ומודעות הציבור, הערכת השפעות וצמצום השפעות שליליות, שימוש במשאבים גנטיים, נגישות והעברת טכנולוגיה, החלפת מידע, שיתוף פעולה טכני ומדעי, שימוש בביוטכנולוגיה והפצת התועלת מכך לכל חלקי הציבור; משאבים כספיים ומנגנונים ויחסים עם אמנות אחרות.

ישראל הכינה והגישה את הדו"ח הראשון לאמנה על-פי ההחלטות ואף הייתה מיוצגת בכמה ועידות הצדדים אך לא בכולן. עם זאת, ישראל לא משתתפת בשלב זה בכל המפגשים של המועצה הטכנית או בקבוצות העבודה.

**הרקע לכתיבת האמנה לשמירת המגוון הביולוגי :** השמירה על המגוון הביולוגי ועל השימוש בר-הקיימא ברכיביו אינו נושא חדש בסדר היום המדיני. הוא הודגש ביוני 1972 בוועידת האו"ם לפיתוח וסביבה שהתקיימה בסטוקהולם. ועידה זו הצביעה לראשונה ובצורה מפורשת על חיוניותם של המשאבים הביולוגיים ושל התפקודים הסביבתיים של העולם להתפתחות הכלכלית והחברתית של האנושות, ובזאת חשיבותה. ועידה זו הביאה להגברת ההכרה בעובדה שהמגוון הביולוגי הוא ערך גלובלי, שחשיבותו גדולה להווה ולדורות הבאים. בד בבד, האיום על מינים ועל מערכות אקולוגיות לא היה מעולם גדול כפי שהוא בימינו, והכחדת מינים כתוצאה ישירה מפעולות האדם נמשכת בממדים מבהילים. המושב הראשון של המועצה המנהלת הגדיר בשנת 1973 את שמירת הטבע, את חיות הבר ואת המשאבים הגנטיים (UNEP) של תכנית האו"ם לסביבה כתחומים מועדפים להתייחסות בזירה הבין-לאומית. הדאגה הגוברת בקהילייה הבין-לאומית בנוגע לאובדן חסר תכנית לאומית למגוון ביולוגי בישראל המשרד להגנת הסביבה התקדים של המגוון הביולוגי הביאה לדיונים על "כלי" מחייב מבחינה חוקית, שמטרתו ליצור היפוך בכיוון מגמה מדאיגה. הדיונים הושפעו מאוד מההכרה הכלל-עולמית הגוברת בצורך בחלוקה הוגנת ושווה של הרווחים ושל התועלות הנובעים מהשימוש במשאבים הגנטיים (שהם בעיקר מיני בר בעלי ערך לקידום החקלאות והתעשייה). בנובמבר 1988 קבוצת מומחים לבחינת הצורך באמנה בין-לאומית על המגוון הביולוגי. בעקבות (UNEP) זימנה תכנית האו"ם לסביבה המלצותיהם זומנה במאי 1989 קבוצת מומחים בנושא טכנולוגיה וחקיקה להכנת אמצעי חוקי בין-לאומי לשמירה ושימוש בר-קיימא במגוון הביולוגי. המומחים נדרשו להתייחס לצורך בשותפות בין מדינות מפותחות למתפתחות, במחיר השימור וברוח מהשימוש וכן לדרכים ולאמצעים לתמיכה במיומנויות מקומיות. בפברואר 1991 הפכה קבוצת העבודה לוועדת מו"מ בין המדינות, ועבודתה הסתיימה במאי 1992 עם השלמת נוסח מוסכם שלהאמנה על אודות המגוון הביולוגי.

אמנת המגוון הביולוגי משקפת מציאות חדשה - שמירת המגוון הביולוגי אינה נתפסת עוד רק כמונחים של שמירה על מינים או על מערכות אקולוגיות שבסכנה; יש לשמירת המגוון יעד כוללני יותר והוא - השגת פיתוח בר-קיימא. לפיכך, האמנה גורסת כי הצורך בשמירה של המגוון הביולוגי מבטא

את הדאגה לפיתוח, וזאת בניגוד חריף לתפיסות קודמות, ולפיהן השמירה והפיתוח נתונים בקונפליקט שאותו יש למתן. האמנה גם מבוססת על עקרונות השוויון בין אנשים, בין חברות ובין מדינות בהפקת תועלות, מחד גיסא, ועל שותפות באחריות לסביבה ולמגוון האקולוגי, מאידך גיסא. להשגת מטרותיה על האמנה - בהתאמה לרוח הצהרת ריו בדבר הקשר ההדוק בין הסביבה והפיתוח אשר עושה את הפיתוח לבר-קיימא - להגביר את השותפות בין המדינות. הכוונה בעיקר לסיוע של המדינות המפותחות, שבידן מצויים הכוח הכלכלי והכלים הטכנולוגיים להפקת תועלות מהמגוון הביולוגי, למדינות המתפתחות אשר מרב המגוון הביולוגי שבסיכון הוא בתחומן, אך אין להן היכולת הכספית והטכנולוגית לממן הן צורכי הפיתוח והן צורכי הגנה על המגוון הביולוגי. האמנה קוראת אפוא לשיתוף פעולה מדעי וטכני, לנגישות למשאבים כספיים וגנטיים ולהעברה של טכנולוגיות שאינן פוגעות בסביבה, פעילויות המהוות בסיס לשותפות שבין מדינות מתפתחות למדינות תעשייתיות.

(ספריאל, 2010, עמ' 318-320)