

אוניברסיטת בר-אילן

היחידה ללימודים בין-תחומיים

התכנית למדע, טכנולוגיה וחברה

The Graduate Program in Science, Technology and Society

הצעת מחקר לתואר שלישי

**הרבה יותר מממותה או יונה: על עלייתו של מדע האל-הכחדה**

**Much More than a Mammoth or a Pigeon: On the Emergence of the  
Science of De-extinction**

מוגש על ידי:

איתמר אבנרי

ת.ז. : 036813384

בהנחיית:

פרופ' נח עפרון

תשע"ט

2019

## הקדמה: מהו מדע האל-הכחדה?

בשנת 2013, בכנס שנערך במטה אגודת הנשיונל גיאוגרפיק בושינגטון, ארצות-הברית, הוצג בפומבי לראשונה ענף מדעי חדש, שזכה לשם De-extinction, ובעברית – "אל-הכחדה" (Novak, 2018). מטרת העוסקים בו יכולה להישמע בתחילה כלקוחה מעולמות המדע הבדיוני – להשיב לחיים מינים שנכחדו, או, לכל הפחות, ליצור מינים בעלי גנוטיפ<sup>1</sup> ופנוטיפ<sup>2</sup> קרובים ככל הניתן לאלו של אותם מינים, שיוכלו לתפקד כמותם (Novak, 2018). עבודת המחקר המוצעת במסמך זה עוסקת בתהליכי התעצבותו של מדע זה, באופנים בהם השפיעו עליו שחקנים שונים, ובתפיסות אודות הטבע, דרך המחקר המדעית ותפקידו החברתי-פוליטי של המדע, אשר מנחות את העוסקים במדע זה, ושכפוף להתהוותן הוא מתפתח.

במסמך שפורסם בשנת 2016 בידי ה-International Union for Conservation of Nature De-extinction Task Force הוגדר מדע זה כך:

"De-extinction" is any attempt to create some proxy of an extinct species or subspecies through any technique, including methods such as selective back breeding, somatic cell nuclear transfer (cloning), and genome engineering. (IUCN SSC, 2016, p.1).

בהגדרה זו – הראשונה שניתנה לו (Novak, 2018) – מוגדר מדע האל-הכחדה כניסיון ליצור ממלאי-מקום (Proxy) עבור מינים שנכחדו, באמצעות רבייה-לאחור סלקטיבית, שיבוט או עריכה גנטית. ברשימת בעלי-החיים אשר מועמדים להשבה ניתן למצוא את היונה הנוודת האצילה, הממותה הצמרירית, הזאב הטסמני, הצפרדע מהורהרת הקיבה, שור הבר האירופי, מין של תרנגולת בר אשר חי בעבר במזרח ארצות-הברית, הנקרא Heath hen, תת-מין של זברה בשם קואגה, המואה, הצב הענק מהאי פלוריאנה, והאלקה הגדולה – "הפינגווין של הצפון" (Archer, 2013; Novak, 2018; Revive & Restore, 2018). מין אחד שכבר הושב לחיים הוא הבוקארדו – תת-מין של עז-הרים, הנקרא בעברית "יעל הפירנאים" (אשחר, 2019). הדבר קרה כאשר שלוש שנים לאחר מותה של סליה, האחרונה מבני-מינה, היא שובטה בעזרת רקמות שנאספו ממנה טרם מותה. אף שהגדייה

---

<sup>1</sup> מאפיינים גנטיים

<sup>2</sup> מאפיינים גופניים, חיצוניים

שנולדה מתה שבע דקות לאחר לידתה, ואף שהבוקארדו עודו מוגדר כמין נכחד, אירוע זה נחשב לאירוע האל-הכחדה הראשון בהיסטוריה (Brand, 2013; Church & Regis, 2014, pp.133-134).

כאמור, פרויקטים של אל-הכחדה נערכים באחת משלוש דרכים:

הדרך הראשונה היא רבייה-לאחור סלקטיבית (Selective back-breeding). בשיטה זו, מין קרוב לזה הנכחד, או יצור-כלאיים (Hybrid) של מין נכחד ומין קיים, נבחרים לצרכי רבייה מתוכננת, שמטרתה השבה של תכונות אשר אפיינו את המין הנכחד. בשיטה זו אין התערבות ישירה בד.נ.א. עצמו, וההנחה היא שככל שייערכו יותר רביות מבוקרות לאורך זמן, כך ניתן יהיה ליצור בעל-חיים שמטענו הגנטי כמעט וזהה לזה של המין הנכחד (IUCN SSC, 2016, p.4), או שהמאפיינים הפנוטיפיים שלו דומים לזה של המין הנכחד (Novak, 2018). שני פרויקטים אשר עשו שימוש בדרך פעולה זו הם הפרויקט להשבת הקואגה והפרויקט להשבת שור הבר האירופי (Novak, 2018).

הדרך השנייה היא שיבוט – Somatic Cell Nuclear Transfer. בשיטה זו, גרעין התא של בעל-החיים אותו מבקשים לשבט מוצא ואז מושתל בתא עוברי של מין קרוב, שגרעינו המקורי הוסר ממנו. את התא העוברי הזה משתילים ברחמה של אם פונדקאית מאותו מין קרוב, ואם הדברים מתנהלים כשורה וההיריון נשמר – הרי שבסופו אמור להיוולד שיבוט של בעל-החיים המקורי, זה שממנו הגיע גרעין התא (IUCN SSC, 2016, pp.4-5). כפי שהוזכר לעיל, דרך זו שימשה את המדענים בפרויקט השבת הבוקארדו.

הדרך השלישית היא הנדסה גנטית - Genome Engineering. בשיטה זו, ראשית יש לקרוא את רצף הד.נ.א של המין הנכחד, מתוך דגימות של עור, עצם ורקמות נוספות אשר השתמרו במוזיאונים ומעבדות. לאחר-מכן, אם ישנם פערים ברצף הד.נ.א, ניתן "להשלים" באמצעות הד.נ.א של מין קרוב, שירוצף גם הוא. הד.נ.א של המין הקרוב הוא גם זה שיעבור את תהליך ההנדסה הגנטית באמצעות טכנולוגיה המכונה (Cluster Regularly Interspaced Short Palindromic ) CRISPR (Repeats), במסגרתו יוכנסו לתוכו רצפים מהד.נ.א המשוחזר. או-אז יעשו המדענים שימוש בד.נ.א המהונדס כדי לבצע תהליך שיבוט. בשיטה זו יש המתכננים להשיב את הממותה הצמרירית, תוך שימוש בפיל אסיאתי או אפריקני בתפקיד המין הקרוב (Shapiro, 2015, p.108).

מדע זה הוא שעומד במרכז המחקר שאני מבקש לערוך. מאז עלייתו, הוא זכה לתשומת-לב רבה, ועד כה נכתב רבות על ההיבטים האתיים של מדע האל-הכחדה (Novak, 2018), על האופנים בהם ניתן יהיה להגדיר את בעלי-החיים שיווצרו במהלכו (למשל: Piotrowska, 2018), על השלכותיו

האקולוגיות האפשריות והשלכותיו על תחום השימור (Novak, 2018), ועל המשמעויות המשפטיות של התפתחותו (למשל: Camacho, 2015). גם הנימוקים בעד ונגד הוצאתו לפועל נידונו בהרחבה (IUCN SSC, 2016). עם זאת, השדה עצמו כמעט שלא נידון בספרות המקצועית: התפתחותו ההיסטורית טרם תוארה במלואה, טרם ניתנה תשובה לשאלה מדוע התפתח תחום זה דווקא בתקופה בה התפתח ובאופן בו התפתח, ומהם התהליכים ההיסטוריים, הפוליטיים, התרבותיים, החברתיים והמדעיים שהביאו לכך. כמו-כן, טרם נידונו במלואם ההקשרים המוסדיים של התפתחות זו וכיצד גופים שונים – כדוגמת אוניברסיטאות ומוזיאונים – לקחו חלק בעיצובו, כיצד הוקמו גופים שתפקידם לקדמו ולחבר בין מדענים העוסקים בו, כיצד התמסד תחום זה לכדי תחום מדעי מוכר, או מהן דרכי מימונו. גם הפרויקטים השונים עצמם זכו לתשומת-לב מועטה בלבד, וטרם נכתב על תהליכי התפתחותם, כמו גם על עבודתם היום-יומית של המדענים המועסקים בהם. אני סבור שלהבנת היבטים אלו חשיבות רבה אם ברצוננו להבין את מדע האל-הכחדה. למידתם תאפשר לעמוד על התנאים הפוליטיים, החברתיים והמדעיים שאיפשרו אותו, ועל האופנים בהם הוא מתנהל בפועל. מידע זה יתרום לא רק לדיון אודות מדע זה, אלא גם לדיונים אודות מדע, טכנולוגיה וחברה באופן רחב יותר, ובפרט – לדיונים אודות תפיסותינו את הטבע, היכולת המדעית להתערב בו, ומקומנו בתוכו.

בהתאם לדברים אלו, מטרתי היא לבחון כיצד התפתח מדע האל-הכחדה, תוך עמידה על התהליכים והגורמים שהביאו לכך ושלקחו חלק בעיצובו, כמו גם על המתח ביניהם. עוד אבקש לבחון את התפתחותם והתנהלותם של שני הפרויקטים המתקדמים ביותר במסגרתו – פרויקט השבת היונה הנודדת האצילה ופרויקט השבת הממותה הצמרירית<sup>3</sup>, כדי לעמוד על מאפייני העבודה במדע זה ועל המציאות היום-יומית בו. לבסוף, אשאל מה ניתן ללמוד ממדע האל-הכחדה ומהתפתחותו על האופן בו מתעצבות-הדדית תפיסות שונות בנוגע לטבע, מקומנו בו, ותפקיד המדע והטכנולוגיה בהבנתו ובהתערבות בו, בין היתר מתוך תפיסות סותרות ושונות זו מזו.

### רקע תיאורטי

בספרות המחקרית נהוג לזהות את מדע האל-הכחדה עם התפתחות הביוטכנולוגיה ובעיקר עם התפתחות הביוטכנולוגיה הסינתטית (למשל: Roosth, 2017). בספרה משנת 2019, *Can Science Make Sense of Life*, מתארת ג'וזנוף התפתחות זו. לטענתה, רצף של התפתחויות החל מסוף המאה

<sup>3</sup> למידע מפורט על שני הפרויקטים – ראו בנספחים

ה-19 דרך תחילת המאה העשרים הן גם שהניחו את היסודות להפיכתה של הביולוגיה במחצית השנייה של המאה הקודמת לתחום מדעי אשר נדמה כי מחזיק בתשובות לשאלות אודות המהות האנושית, כגון "מי אנחנו?" ו"לאן מועדות פנינו?". ג'זנוף מזהה מספר היבטים להתפתחויות אלו: היבט אחד הוא זה התפיסתי, כאשר עבודותיהם של חוקרים כצ'ארלס דארווין או גרגור מנדל תיארו את האדם כחלק ממלכת החי, וחיזקו את התחושה שזהו הטבע, ולא התרבות, שקובע מי אנחנו ושבהתאם לו אנו מתפתחים. בהתאם, החלה הביולוגיה להיתפס כמדע אשר מסוגל לספק תשובה לשאלות אודות מהותנו כבני אדם (Jasanoff, 2019, pp.15-19). במקביל, החל להיערך גם מחקר שיטתי של תורת האבולוציה וחוקי התורשה, שלוה גם בשינוי האתר בו מתבצעת מרבית המחקר: במקום מחקר באי, בגן או בשדה – כלומר, בטבע עצמו – עברו הביולוגים לפעול יותר ויותר בתוך מעבדותיהם, היכן שטכנולוגיות חדשות הגבירו את יכולתם להבחין בגורמים שקודם היו סמויים מהעין – כדוגמת כרומוזומים – ואף את יכולתם להשפיע על התהליכים המתרחשים בתוך האורגניזם ולערוך עליהם מניפולציות עבור מחקרים. כאשר יכולות אלו התגברו, החלה הביולוגיה להיתפס גם כמי שיכולה להציע פיתוחים בעלי-ערך עבור התרבות עצמה, בעיקר בתחומי החקלאות והרפואה (Jasanoff, 2019, pp.15-20).

ההתפתחויות הנ"ל זכו לרוח גבית מהתפתחות נוספת – האופטימיזם בנוגע למדע ולטכנולוגיה שאפיין את ארצות הברית ומדינות אירופה לאורך המחצית השנייה של המאה העשרים. עם תום מלחמת העולם השנייה, החלה לפרוח ראייה אופטימית בדבר יכולתם של המדע והטכנולוגיה ליצור עתיד טוב יותר עבור האנושות, שמוכרת בעיקר בזכות הדו"ח שחיבר וונבר בוש, יועצו של נשיא ארצות הברית רוזוולט, על מערכת היחסים הראויה בין המדע למדינה, שכותרתו הייתה "Science the Endless Frontier". במסגרת אותה תפיסה אופטימית, החלו ממשלות במדינות המערב להשקיע בביוטכנולוגיה, שהציגה חזון של צמיחה ויצירת מקומות עבודה, לצד מתן מענה לבעיות כגון רעב או מחלות (Jasanoff, 2019, pp.24-25). כל אלו יחד הביאו לכך שהביולוגיה נתפסה, החל מתחילת המאה העשרים ואילך, בתור הסוכנת המרכזית למענה על שאלת משמעותם של חיי האדם ומקומו בעולם (Jasanoff, 2019, p.15). לאורך העשורים הבאים, תגליות נוספות בתחום הביולוגיה הלכו וחיזקו עוד יותר את מעמדו של התחום. ייתכן כי הדוגמאות הבולטות ביותר הן גילוי מבנה הד.נ.א, שחזק את מטאפורת "ספר החיים" אשר כתוב בכתב "ביולוגי" הניתן לקריאה בידי מדענים – והשלמת ריצוף הגנום האנושי, הישג שתואר בידי נשיא ארצות הברית דאז, ביל קלינטון, בתור "היום השמיני של הבריאה" (Jasanoff, 2019, p.23; 33).

בסוף המאה העשרים החלה להתפתח גם הביולוגיה הסינתטית (Roosth, 2017, pp.1-2), כאשר ידע ורעיונות מתוך תחומי המחשוב והאינפורמציה החלו להיכנס אל תוך מדעי החיים (Jasanoff, 2019, p.31). לפי רוסט, תחום זה התהווה כאשר מדענים מתחומי ההנדסה האלקטרונית והמכנית ומדעי המחשב עברו לתחום הביולוגיה, תוך הצהרה שאם מטרתה של הביולוגיה היא להבין את החיים, הרי שיצירת חיים היא הדרך הטובה ביותר לעשות זאת. לטענתה, תוצאת פעולותיהם הגדירה מחדש את מדע הביולוגיה ואת התאוריות שניתן לנסח במסגרתו, באופן ששימש את מטרותיהם – כלומר, באופן המדגיש את יצירתם הסינתטית של חיים במעבדה (Roosth, 2017, pp.1-2).

דברים אלו נראים כקשורים בעבותות להתפתחותו ההיסטורית של רעיון השליטה בתהליכי החיים. עד לסוף המאה ה-19, היה זה רעיון תיאורטי בעיקרו. רק אז, הוא זכה לעדנה בתחום הביולוגיה הניסויית, כאשר ביולוגים שונים החלו לחשוב על עצמם כעל "הנדסאים" או "טכנאים", שמטרתם השגת שליטה באורגניזם, ועל הטבע כעל "חומר גלם" עבור הביולוג, שמטרתו לשלוט, לשנות, ולעשות מניפולציות על כל החי, וזאת בניסיון לרתום יכולות אלו לטובת האדם, בתחומי הרפואה או החקלאות, למשל. הראשון אשר פיתח את הקריירה המדעית שלו לפי אידיאל הטכנאי הנ"ל היה הביולוג ז'ק לואב. במסגרת עבודתו, אימץ לואב גישה הרואה בניסויים עצמם את מרכז עבודתו, כאשר אלו שימשו אותו להדגמת כוחה המניפולטיבי של הביולוגיה, קרי – את כוחה להבין את מבנהו של האורגניזם, נושא שהחל להעסיק יותר ויותר ביולוגים באותה תקופה, ולשנותו בהתאם לצרכי האנושות. עבור לואב, השגת היכולת לשלוט בתהליכי החיים הייתה מטרתו של כל מדע הביולוגיה. הוא שאב הצדקה אתית לדעתו זו מדבריהם של הוגים כדוגמת ארנסט מאך וג'וזף פופר-לינקאוס. הראשון תקף את "הנטיות המטאפיזיות" במדעים המכאנסיטיים, והדגיש במקומן את האחדות הבסיסית שקיימת לדבריו בין תחומי המדע והטכנולוגיה ואת הערך האתי הטבוע במחקר הניסויי עצמו. השני ראה ביצירה טכנולוגית סוג של אומנות והילל אותה על כך, ובכך גם סיפק ללואב מסגרת אתית לקידום תפיסתו. בהתאם לדברים אלו, שאף לואב לפטור את הביולוגיה משאלות אותן ראה כ"מטאפיזיות", כגון שאלות מקורם או טבעם של החיים, שבהן ראה הסחת דעת מתפקידה "האמיתי" – אותו ניסיון להשיג שליטה מלאה על האורגניזם, על מבנהו, ועל תהליכי החיים (Pauly, 1987, p.3-8).

רעיונותיו של לואב, כמו גם הדגש על יצירה במסגרת מחקרים בביולוגיה, נראים חיוניים להבנת מדע האל-הכחדה. הם גם מזכירים מאוד התבטאויות של חלק מהשחקנים הפועלים כיום לקידומו: הגנטיקאי ג'ורג' צ'רצ', המוביל את פרויקט הממותה הצמרירית במעבדתו שבאוניברסיטת הרווארד, מסביר למשל בספרו כי בכל הנוגע לביולוגיה הסינתטית – "what we can create, we

Church & Regis, 2015, ) לדידו , "don't necessarily understand", וכי אין בכך משום בעיה, ( Church & Regis, 2015, p.177). בספרו הוא גם מציע לקורא לראות באורגניזם סוג של "טכנולוגיה גבוהה", וטוען כי כיום אנו נמצאים בנקודה בה אנו יכולים לקחת "טכנולוגיה" זו, להעתיקה, ואז לשפרה. הוא גם טוען כי לעשות זאת זה דבר טבעי לחלוטין, ולא הליכה כנגד הטבע (Church & Regis, 2015, pp.4; 12; 143). סטיוארט בראנד, ממקימיו של הארגון Revive & Restore – ארגון שהוקם בשנת 2012, תומך במספר פרויקטים של אל-הכחדה, ומטרתו היא לפתח כלים חדשים עבור מאמצי שימור והתמודדות עם אתגרים הנוגעים למגוון הביולוגי במאה ה-21, דרך הסתמכות על טכנולוגיות מתחום הגנטיקה (Revive & Restore, 2018) – טען בהרצאתו במסגרת כנס TED כי "At the last century, discovery was basically finding things, and in this century, discovery is basically making things". (Brand, 2014). בהתבטאות אחרת, הוא טען כי "We are as gods and have to get good at it" (Reiderer, 2018). ובמילים אחרות, לנו נתונה היכולת לעצב את העולם, וכמו אלים, זהו גם תפקידנו להפעילה לפי ראות עינינו.

דברים אלו והשימוש אכן נראים כמסמנים את מדע האל-הכחדה כחלק מההתפתחות ההיסטורית של הביוטכנולוגיה והביולוגיה הסינתטית. אך לטענתי, יש לעשות קישור זה בזירות. אמנם, נראה כי רעיונות אודות יכולתם של מדענים מתחום הביולוגיה להתערב בטבע ו"לכתוב בספר החיים" מנחים את המאמצים להשבתם של מינים נכחדים, וכמובן – הטכנולוגיות בהן נעשה שימוש במסגרת מדע זה לקוחות מתחומי הביוטכנולוגיה והביולוגיה הסינתטית. ועם זאת, אני סבור כי סקירה היסטורית של הביולוגיה, הביוטכנולוגיה והביולוגיה הסינתטית מגלה גם שהרעיונות אשר מנחים את מדע האל-הכחדה אינם עולים בקנה אחד בשלמותם עם הרעיונות שקודמו במסגרת הביוטכנולוגיה והביולוגיה הסינתטית:

לפי ג'זנוף, הרעיונות שהועלו במדעים אלה נבעו מחזון שמטרתו שיפור הטבע ויצירת אורגניזמים חדשים וטובים מאלו הקיימים. כך, אנו יכולים למצוא הצעות – שגם יושמו – ליצירתם של זני צמחים חדשים אשר יהיו עמידים יותר לסביבתם, או יצירתן של בקטריות חדשות שייצרו אינסולין. לצדם, אנו מוצאים רעיונות בדבר שיפורם והעצמתם של אורגניזמים קיימים, כגון השאיפה לחיזוק היכולת האנושית להתמודד עם מחלות או אף האטה והיפוך של תהליכי ההזדקנות (Jasanoff, 2019, p.25). רעיונות אלו הולמים את הרעיונות המועלים במסגרת מדע האל-הכחדה באופן חלקי

---

<sup>4</sup> בפרפרזה על המשפט שהשיר הפיזיקאי ריצ'רד פיינמן רשום על הלוח במשרדו: "What I cannot create, I do not understand."

בלבד. זאת, משום שבמסגרת מדע זה מקודמים רעיונות שמטרתם דווקא אינה יצירת דבר-מה חדש או שיפור הקיים – אלא תיקון ושיקום של נזקי האדם לטבע, והשבה של דבר שהיה ואינו. כך, בעוד שישנו דמיון בין הרעיונות האלו בכל הקשור ליכולת ולנחיצות ההתערבות האנושית בטבע, הרי שהצידוק לאותה התערבות שונה מהותית – במקום כזו שמטרתה שינוי ועיצוב הטבע בהתאם לתועלת האנושית, כזו שמטרתה מחיקת לפחות חלק מההשפעות האנושיות הנוכחיות על הטבע.

מבחינת המחקר, משמעות הדבר היא כי אין להסתפק בתיאורו של מדע האל-הכחדה כענף של הביולוגיה הסינתטית. במקום, יש לנסות ולבחון מדוע וכיצד התרחש התהליך במסגרתו התפתחו רעיונות שונים בדבר מטרת ההתערבות בטבע, שמופיעים אחר-כך גם כחלק מהביולוגיה הסינתטית. כדי לעשות זאת, ניתן לעשות שימוש במושג "Socio-Technical imaginaries", שטבעה ג'זנוף (Jasanoff, 2015, p.5). הוא מוסבר על-ידה באופן הבא:

collectively held, institutionally stabilized, and publicly performed visions of desirable futures, animated by shared understandings of forms of social life and social order attainable through, and supportive of, advances in science and technology. (Jasanoff, 2015, p.6).

כלומר "דמיונות סוציו-טכניים" אלו הינם דמיונות חברתיים משותפים, אשר בעיצובם לוקחים חלק מוסדות ויחידים, והם מגדירים את העתיד אליו יש לשאוף, באים לידי ביטוי באופן בו אנו מדמיינים ומבנים את הסדר והחיים החברתיים, ונתמכים בידי האפשרויות שפותחים בפנינו המדע והטכנולוגיה. לפי ג'זנוף, המושג יכול לשמש לניתוח המתרחש בקהילות מסוגים שונים – קהילות לאום, אך גם קהילות מקצועיות או מדעיות, למשל. עוד היא מסבירה כי דמיונות אלו אינם אוניברסליים, אלא תלויי זמן ומקום, וכי באותה קהילה יכולים להתקיים זה לצד זה באותו הזמן דמיונות שונים, אשר יתחרו זה בזה. בשל העובדה כי דמיונות אלו יכולים להיות מקודמים באופן פעיל בידי יחידים או מוסדות, להתקיים במקביל לדמיונות אחרים בתוך אותה קהילה ולהתעמת זה עם זה, ומכיוון שהם נתמכים ומושפעים גם מהתפתחויות חברתיות או מדעיות וטכנולוגיות – הרי שבכוחם להסביר כיצד מתרחשים שינויים חברתיים שונים, כולל מהירים או בלתי-צפויים, כיצד קורסים רעיונות מסוימים, או כיצד מתקבלים אחרים. דברים אלו גם מגלים בפנינו כי דמיונות אלו נתונים למשא ומתן תמידי בין כוחות שונים על הגדרתם (Jasanoff, 2015, pp.5-6).

אם נבין את ההבדלים התפיסתיים שהוצגו כהבדלים בין דמיונות סוציו-טכניים שונים, המתקיימים במקביל ותוך מאבק או משא ומתן, נוכל גם לגשת ולחפש את הכוחות האחראים



לאותם דמיונות, את הזירות בהן הם נפגשים, ואילו תפיסות מנחות את הדמיונות הנ"ל, ובמה הן נבדלות. כדי לעשות זאת, אני מציע ראשית לשאול האם רעיונות אודות השבת מינים נכחדים התפתחו כבר בעבר והיכן, כדי לנסות ולזהות כך את הכוחות הפעילים במדע זה, מעבר לשחקנים מתחומי הביולוגיה הסינתטית. ואכן, רעיון השבתם של מינים כבר הופיע במהלך המאה העשרים:

דוגמה אחת לכך הוא ניסיונם של האחים הגרמנים הנץ ולוף הק – החל משנות העשרים של המאה הקודמת – להשיב את שור הבר האירופי, שהכחדתו בשנת 1627 היא ההכחדה המתועדת הראשונה בהיסטוריה. הם ניסו להגשים את מטרתם באמצעות רבייה מבוקרת בין מיני בקר שונים, ואף שכיום מחקרים גנטיים מראים כי הבקר שיצרו שונה במדדים רבים משור הבר האירופי המקורי, הם עצמם טענו כי עמדו במשימה שהציבו לעצמם (Kolbert, 2012). דוגמה נוספת היא פרויקט השבת הקואגה. הקואגה הייתה תת-מין של הזברה, אשר נכחדה כשאחרונת הפרטים, נקבה בשם מייר, מתה בגן חיות באמסטרדם שבהולנד ב-12 באוגוסט 1883 (The quagga project, 2018). פרויקט זה הוא במידה רבה המופע הראשון של מדע האל-הכחדה המודרני, עוד בטרם היה לו שם. בניגוד לאחים הק, כאן ההתפתחויות בתחום הביולוגיה כבר עמדו לרשות החוקרים, והגנום של הקואגה היה הגנום העתיק הראשון שרוצף, והפרויקט, המתנהל מאז שנת 1987, הוא הוותיק ביותר מבין הפרויקטים הקיימים כיום (Novak, 2018). יוזם הפרויקט היה המדען והמומחה למאובנים ריינהולד ראו, שהיה מעורב גם במאמצי שימור של מינים שונים. שיירי הקואגות שאסף במסגרת עבודתו הם ששימשו למחקר הגנטי שקבע כי הקואגה הייתה תת-מין של הזברה, ולא מין בפני עצמו, וכי ניתן לנסות ולהשיבה באמצעות רבייה מבוקרת (The quagga project, 2018).

אם כך, אנו רואים כי הרעיון בדבר השבתם של מינים התקיים עוד בטרם נוסד מדע האל-הכחדה כפי שהוא מוכר כיום, בעשור השני של המאה הנוכחית. מה מקורו של רעיון זה? ייתכן כי נוכל לקבל רמז לכך מזהותם של מובילי הפרויקטים להשבת שור הבר האירופי והקואגה. ריינהולד ראו, שיזם את פרויקט הקואגה, עסק – כפי שהוזכר – בתחום שימור בעלי-החיים. האחים הק היו שניהם מנהלי גני חיות בגרמניה – היינץ הק ניהל את גן החיות של מינכן, ואילו לוף הק את זה של ברלין. בשנת 1938 מונה לוף הק לתפקיד ברשות היערות של הרייך השלישי. נראה כי הפרויקט של אחיו ושלו הלם את החזון הנאצי של השבת יבשת אירופה לעברה הארי המדומיין, ובמסגרת זו נשלחו חלק מבני הבקר שייצרו לפולין, ככל הנראה בניסיון להתחיל ולהפיצם ברחבי אירופה (Kolbert, 2012). לטענתי, ניתן ללמוד מכך כי לפחות במידה חלקית, רעיון השבתם של מינים נכחדים קשור לתחום השימור ולמודעות החברתית והמדעית לתופעת ההכחדה – החל מעצם האפשרות שמינים ייכחדו, ועד ההכרה באחריות האדם לרבות מהכחדות אלו.

אף שכיום הכחדה היא תופעה ידועה ומדוברת, ההכרה בכך שהיא כלל אפשרית התפתחה רק במאה ה-18 (Colbert, 2014), ואילו המחקר אודותיה התפתח רק בעשורים האחרונים (Raup, 1992, p.8; pp.64-65). כיום, תופעה זו אינה נידונה רק בספרות המקצועית, כי אם גם בספרות הפופולרית (למשל: אדמס וקרוארדיין, 2004), ובעיתונות (למשל: Carrington, 2018). לדידי, עובדה זו מעידה על המודעות החברתית להשלכות של פעולות האדם על החי והצומח, מודעות שמסבירה גם את המאמצים הרבים המתקיימים לשימור מינים הנמצאים בסכנת הכחדה (Brand, 2014, p.2), ואת קיומם של ארגונים המוקדשים למטרה זו, כדוגמת ה-IUCN – איגוד המורכב מממשלות ומארגוני חברה אזרחית, שתפקידו לספק מידע וכלים לקידום הקדמה האנושית והצמיחה הכלכלית, תוך הגנה על הטבע ושימורו (IUCN, 2018).

חשובה לעניינו העובדה שתחום השימור אינו עשוי מקשה אחת. לפי ברוורמן (2018), ניתן לאפיין שתי תפיסות קיצון מנוגדות בתחום זה, כאשר בקצה אחד ניצבים "אנשי השימור המסורתי", ה"שואפים לשמור על מערכות אקולוגיות בדמות העבר שלהן", ומולם ניצבים "אנשי ההתערבות" אשר תופסים את הטבע כ"מצג משתנה שאפשר וצריך לערוך בו שינויים ולנהל אותו ישירות ובאופן אקטיבי" (ברוורמן, 2018). תפיסות אלו הן אידיאולוגיות בעיקרן, אך מיתרגמות גם לתכניות שימור שונות: כך, מבקשים הראשונים להגן על הטבע מפני כל התערבות ונוכחות אנושית, דרך אכיפה של אזורים סגורים. לעומתם, אנשי הקבוצה השנייה גורסים כי דווקא התערבות בטבע היא שיכולה להצילו, דרך שימוש בטכנולוגיות חדשות, תוך הדגשת היתרונות הגלומים ב"אבולוציה מסייעת" ו"ברירה מלאכותית", שתפקידן לסייע למינים להסתגל לסביבה משתנה (ברוורמן, 2018).

דיון זה הוא גם הרקע לכניסת שיטות וטכנולוגיות מתחום הביוטכנולוגיה והביולוגיה הסינתטית לתחום, המתאפיינת במתיחות רבה (Marris & Rose, 2012; Redford et al, 2013). מתיחות זו יכולה לנבוע ממספר סיבות: ראשית, לפי רדפורד ואחרים, הביולוגיה הסינתטית הינה תחום המאופיין בטכניות רבה, והיא מורכבת להבנה עבור מי שאינם עוסקים בה. על-כן, ישנו קושי ממשי למסגר את הדיון עצמו, ולהבין אילו עתידים אלטרנטיביים אפשריים ונתונים לבחירתנו במסגרתו (Redford et al, 2013). הדברים נוגעים גם לחשש הקיים מביוטכנולוגיה ומביולוגיה סינתטית, ומכוחן: לפי פאולי, הביוטכנולוגיה עוררה תשומת-לב רבה החל משנות השישים של המאה הקודמת, שלוותה בחששות כבדים מפני האפשרות שהמדע ישיג שליטה על התהליכים הביולוגיים הבסיסיים ביותר, ובוויכוחים רבים סביב הנושא, שהתאפיינו בקיטוב ניכר בין העמדות השונות (Pauly, 1987, p.3), כפי שניכר גם בוויכוח שמתארת ברוורמן.

טענתי היא שהמתחות בין תחומי השימור והביולוגיה הסינתטית והביוטכנולוגיה, והחשש מהאחרונות, מעצבים במידה רבה את השיח והוויכוח סביב מדע האל-הכחדה (Freise & Marris, 2014). הם יכולים להסביר, למשל, את הטענה כי מרבית הדיונים סביבו נוגעים לעצם השאלה האם יש להוציא לפועל, או את השינויים בטיעוניהם של תומכיו, שהחלו להתמקד בנימוקים אקולוגיים, המדגישים את האפשרות להשבתן של סביבות מחייה פגועות למצבן הקודם (O'Connor, 2015). דברים אלו מחזקים את הטענה כי מדע האל-הכחדה מתפתח בצילם של דמיונות סוציו-טכניים שונים, הרואים באופן אחר את הטבע, את תפקיד את המדע, ואת השימוש הראוי בטכנולוגיות שבידינו, ומקודמים בידי כוחות שונים.

מדובר בתהליך התפתחות שעדיין נמשך: כיוון שכניסתה של הביולוגיה הסינתטית אל תחום השימור והרעיונות בדבר השבת מינים לחיים או יצירת "ממלאי מקום" עבורם זכו להתנגדויות (Redford, Adams & Mace 2013; Freise & Marris, 2014) – נוצר ויכוח שעודו נמשך בין הצדדים. התוצאה היא תהליך דיאלקטי, של תגובות ותגובות-נגד מצד שחקנים שונים הלוקחים חלק במדע זה ובדיון סביבו: מוסדות כדוגמת אוניברסיטאות ומוזיאונים המעורבים בו, פעילים המנסים לקדמו, המדענים אשר עוסקים בו, אנשי שימור ואקולוגים המגיבים לו, עיתונאים, ואף אנשי עסקים המשקיעים בפרויקטים השונים – לוקחים כולם חלק בדיון, מגיבים זה לזה, ובכך מעצבים ומשנים את השיח סביב מדע זה (Freise & Marris, 2014) – ונאבקים גם סביב הדמיון הסוציו-טכני שיתקבל בסופו של דבר. התוצאה היא המשך התעצבות של המדע עצמו, ולא רק ברמת השיח: כך, למשל, לאור ביקורות שהושמעו על פרויקט השבת הממותה הצמרירית, כי שימוש בפילה אסיאתית כאם פונדקאית הינו פסול בשל היותו של מין זה בסכנת הכחדה, הוחלט על-ידי המדענים המובילים את הפרויקט לפתח רחם מלאכותי, שייתר את הצורך בכך (Pascual, 2017).

דברים אלו הופכים את מדע האל-הכחדה לכזה המתאפיין בשניות עמוקה לגבי מהות הטבע, מקומנו בתוכו, זכותנו להתערבות בו ואופייה של אותה התערבות, מקומם של המדע והטכנולוגיה בעיצוב עתידנו, ובכלל – האופנים והמושגים דרכם אנו מדמיינים ומבנים את עתידנו. במידה רבה, הקריאה להשיב מינים שנכחדו ובכך לתקן מקצת ממעשי האדם, במקום להציע פיתוחים חדשים במקומם, משקפת תגובת-נגד לאותו אופטימיזם לגבי המדע והטכנולוגיה, שתואר לעיל. זאת, משום שדחיית האפשרות ליצירתם של אורגניזמים חדשים והעדפת הניסיון לשחזר אורגניזמים שהיו ואינם מעידה לכל הפחות על ספק בדבר יכולתם של המדע והטכנולוגיה לעצב בעצמם ולפי ראות עיניהם את הטבע. היא מעידה גם על כמיהה מסוימת לעבר, ועל העדפתו של זה על-פני עתיד "חדש" יציר-אדם. אך מצד שני, מדע האל-הכחדה מציע התערבות עמוקה בטבע, תוך שימוש בטכנולוגיות

חדשניות ותוך טענה – המושמעת על-ידי חלק הדמויות המובילות בשדה, כדוגמת סטיוארט בראנד שהוזכר לעיל ובן נובאק, המוביל את פרויקט השבת היונה הנוודת האצילה – כי עלינו לראות בטכנולוגיות אלו ובהשפעתן על הטבע חלק מהתפתחותו הטבעית, שכן התערבותנו בטבע היא בעצמה חלק מהטבע ומהאופנים בהם עלינו להבינו. במובן זה, נראה כי מדע האל-הכחדה דווקא מהווה תגובת-נגד לשלילת האופטימיזם המדעי-טכנולוגי, כאשר מובע בו הרעיון כי הפתרון לנזקי האדם לסביבה הוא בעצמו מדעי-טכנולוגי ועובר בהתערבותנו בתהליכי החיים עצמם.

כיצד ניתן להבין מצב זה? לטענתי, אנו עדים כאן לתהליך של התפתחות-הדדית בין מספר תפיסות, שעודו נמשך. מצד אחד, אל-הכחדה הוא חלק מתהליך רחב יותר של עלייתן של תפיסות פסימיות אודות המדע והטכנולוגיה, שלוותה גם בהתפתחות מדעים שונים השואפים לתקן את נזקי האדם (Ezrahi, Mendelsohn & Segal, 1993). הפסימיזם הנ"ל מופיע בצורות שונות – מודעות הולכת וגוברת לאחריותנו למשבר הסביבתי ולפגיעתנו העמוקה בטבע (למשל: McKibben, 1989), אבדן האמון במומחים (למשל: Collins & Evans, 2002) או חשש מפני התערבותו של ההון במחקר המדעי, גם בתחום הביוטכנולוגיה (Jasanoff, 2019, pp.28-29). לצדו, ניתן כאמור לראות גם עלייה של מדעים שונים, המבקשים לתקן את נזקי המדע והטכנולוגיה, כגון הנדסה-גיאולוגית, שמטרתה הפחתת הנזקים לסביבה (Steffen, Crutzen & McNeill, 2007, pp.619-620), וכמובן – אל-הכחדה.

מן הצד השני, נראה כי אל-הכחדה הוא חלק מהתפתחות-הדדית נוספת, במסגרתה לצד התפתחותם של מדעים וטכנולוגיות המאפשרים יכולת שליטה גבוהה על תהליכי החיים בטבע, מתפתחת גם תפיסה של המדע והטכנולוגיה – בדגש על הביוטכנולוגיה והביוולוגיה הסינתטית – כסוכנים שלהם נתונה הסמכות לענות על שאלות בדבר מהותו של הטבע ובדבר האופנים בהם עלינו להבין את מקומו של האדם בתוכו. לצדן, התפתחה גם תפיסה מטריאליסטית של הטבע, כמערכת שניתן וראוי לחשוף את סודותיה ולהשתמש בידע הנצבר על מנת להתערב בה ולעצב לפי בחירתנו (Jasanoff, 2019, pp.3-10; 15; 23; 27).

גיזנוף מוסיפה כי ישנו קשר בלתי-ניתן-לניתוק בין האופן בו אנו תופסים את החיים או את הטבע, ובין האופן בו אנו מאמינים כי עלינו לחיות ולפעול בעולם, כמו גם לשאלה למי הסמכות לענות על שאלות אלה. כיום, לטענתה, נסוב מאבק סביב שאלות אלה בין גורמים שונים – מדעיים, חברתיים-תרבותיים, פוליטיים וכדומה (Jasanoff, 2019, pp.5-10). אני סבור כי מדע האל-הכחדה מהווה

זירה שבה התהליכים המתוארים נפגשים, ובתהליך דיאלקטי עוברים בעצמם עיצוב-מחדש. ניתן להבין זאת דרך התהליך אותו מכנה ג'זנוף "Co-production". ג'זנוף מגדירה מושג זה כך:

Co-production is shorthand for the proposition that the ways in which we know and represent the world (both nature and society) are inseparable from the ways in which we chose to live in. (Jasanoff, 2004, p.2).

כלומר, לפי ג'זנוף, האופן בו אנו בוחרים לחיות בעולם זה ולעצב את עתידנו בו, מושפע מהדרכים בהן אנו מפתחים את הידע ואת הייצוגים שלנו אודות העולם, ובה בשעה – גם משפיע עליהן בעצמו. במדע האל-הכחדה, כמו שראינו, מגולמות תפיסות שונות אודות האופן בו עלינו להבין את העולם שסביבנו ולפעול בתוכו. לכן, בהתאם לדבריה של ג'זנוף, תפיסות אלו משפיעות זו על זו, עוברות משא ומתן, והתוצאה, לטענתי, היא התפתחות-הדדית של תפיסות חדשות ומורכבות אודות הטבע והמדע: הטבע הנשקף אלינו ממדע האל-הכחדה הוא כזה אשר מצד אחד מתואר כמערכת טכנולוגית, שאין מניעה מלהשתמש בטכנולוגיה האנושית כדי להכווניה. מצד שני, אותה "מערכת" נתפסת כבעלת אופן פעולה "טבעי" שהשתבש, ולכן משימתנו היא להבין את אותו אופן פעולה ולנסות לשחזרו, ולא לנסות לבנות על בסיס הקיים יצירות חדשות כראות עינינו. תפיסה שכזו מציגה בפנינו טבע גמיש, ומקפלת בתוכה את ההבטחה שהחזרת הגלגל לאחור היא אפשרית, אך רק אם נבין כי המפתח לכך הוא שימוש בטכנולוגיות העומדות לרשותנו. בהתאם לתפיסת טבע זו, מתפתחת גם תפיסה של המדע ככזה שיכול וצריך לפענח את סודות החיים והטבע, כדי שיוכל להתערב בהם, כאשר מטרת ההתערבות היא תיקונו של הטבע. במסגרת תפיסה שכזו, יש לציין, מי שמגדיר הן את מה שהשתבש והן את דרכי התיקון הרצויות – הוא המדע עצמו.

### **הנחות המחקר ומטרת המחקר**

לאור הדברים שהוצגו, מטרת המחקר המוצע היא לבחון כיצד התפתח מדע האל-הכחדה, כיצד התפתחו וכיצד מתנהלים כעת שני הפרויקטים המתקדמים ביותר בשדה – פרויקט השבת היונה הנודדת האצילה ופרויקט השבת הממותה הצמרירית, ומה ניתן ללמוד ממדע האל-הכחדה אודות האופן בו מתעצבות תפיסות שונות אודות הטבע, מקומנו בו, והמדע והטכנולוגיה. בהתבסס על הספרות המחקרית הקיימת, הרקע התיאורטי שהוצג, ועל מחקר מקדים שכלל ראיונות עם מדענים משני הפרויקטים שצוינו, כמו גם תצפית ראשונית במעבדה בהרווארד בה מתנהל פרויקט הממותה הצמרירית, אני מבקש להעלות ארבע הנחות:

הנחה ראשונה היא כי מדע האל-הכחדה הינו תוצר של מספר תהליכים היסטוריים, פוליטיים, חברתיים, ומדעיים-טכנולוגיים: עלייתן של הביוטכנולוגיה והביולוגיה הסינתטית; עליית המודעות למשבר האקלים בכלל ולהידלדלות המגוון הביולוגי בטבע בפרט, והתפתחותם של רעיונות אודות השבתם של מינים נכחדים; עליית הפסימיזם אודות המדע והטכנולוגיה; והניסיון להגיב לאותו פסימיזם ולהציע דרכים בהן יוכלו דווקא המדע והטכנולוגיה להציע פתרונות לנזקי האדם לסביבה.

הנחה שנייה, הממשיכה את זו הראשונה, היא שמדע האל-הכחדה משמש כזירה בה בא לידי ביטוי מאבק פוליטי, חברתי ומדעי סביב השאלות אודות האופנים בהם עלינו להבין את הטבע, את מקומנו בעולם, את תפקיד המדע והטכנולוגיה, ולמי נתונה הסמכות לענות על שאלות אלה.

הנחה שלישית היא שמדע האל-הכחדה עודו ממשיך להתעצב ולהשתנות, דרך פעולותיהם של שחקנים שונים הלוקחים בו חלק: מוסדות כדוגמת אוניברסיטאות ומוזיאונים המעורבים בו, פעילים המנסים לקדמו, המדענים אשר עוסקים בו בפועל, אנשי שימור ואקולוגים המגיבים לו, עיתונאים, ואף אנשי עסקים המשקיעים בפרויקטים השונים (Freise & Marris, 2014).

הנחה רביעית ואחרונה היא כי ישנם פערים בין האופנים בהם מתואר מדע האל-הכחדה בשיח אודותיו ובין האופנים בהם מתרחשים הדברים בפועל. דוגמה אחת לכך היא העובדה כי בעוד שבפרסומים השונים אודות פרויקט הממותה הצמרירית מתוארים המדענים כמי שמתכוונים לערוך השוואות בין הגנום של הממותה לבין זה של הפיל האסיאתי, הרי שבפועל, בשיחה עם המדענים מתגלה כי הגנום של הפיל האסיאתי טרם רוצף במלואו, וכי על-כן, הם מרבים לעבוד דווקא עם הגנום של הפיל האפריקני, שכבר רוצף.

לאור הדברים הנ"ל, אני מונה מספר מטרות למחקר:

- לעמוד על התהליך ההיסטורי שהביא להתפתחות מדע האל-הכחדה, לזהות את ההקשרים ההיסטוריים, החברתיים, התרבותיים, המדעיים והפוליטיים, ואת הדמיונות הסוציו-טכניים שבמסגרתם הוא מתפתח, ולבחון את השפעתם עליו ואת מקומו בתוכם.
- לתאר את מאפייני העבודה בשני הפרויקטים שהוזכרו: לזהות את השחקנים השונים המשפיעים על התעצבותם, לעמוד על המוטיבציות, המטרות והתפיסות שלהם, לבחון את הרטוריקה שלהם בתארים את מפעלם, תפיסותיהם ועבודתם, לבחון את פעולותיהם ולבדוק את תוצאותיהן, כפי שהן באות לידי ביטוי בתכניות העבודה, ובידע ובטכנולוגיה

המפותחים במסגרת הפרויקטים. בנוסף, לבחון את מאפייני עבודת המדענים ואת תהליכי קבלת ההחלטות שלהם.

- לבחון, דרך מקרה הבוחן של מדע האל-הכחדה, את התהליך ההיסטורי במסגרתו מתפתחות ההדדיות תפיסות חדשות אודות הטבע והמדע. בפרט, אבקש לעמוד על התהליכים במסגרתם "נפגשות" תפיסות שונות ואף מנוגדות, כיצד הן מתמודדות זו עם זו ומשפיעות זו על זו, ובעיקר – כיצד דברים הבאים לידי ביטוי בפועל, במסגרת פעולה ישירה על העולם ובמטרה להשפיע עליו.

### שאלות המחקר

בהתאם למטרות המחקר, השאלות עליהן אבקש לענות במהלכו הן:

1. מהו הרקע ההיסטורי, הפוליטי, החברתי והתרבותי להתפתחותו של מדע האל-הכחדה? מהם התהליכים שהביאו להתפתחותו והשפיעו עליה? מדוע התפתח מדע זה דווקא בזמן בו התפתח? מהם מאפייני הדמיונות הסוציו-טכניים שבצילם התפתח מדע האל-הכחדה?
2. אילו שחקנים לקחו או לוקחים חלק בהתפתחות מדע זה, וכיצד? מהן המוטיבציות המניעות אותם לפעולה ותפיסות הטבע והמדע בהן הם מחזיקים? מה מאפיין את הרטוריקה של השחקנים השונים בשדה? מהי מערכת היחסים ביניהם? אילו מוסדות הוקמו לשם השפעה על התפתחות המדע, ומה הייתה השפעתם עליו? כיצד תופסים השחקנים השונים את מדע האל-הכחדה, ואת יחסיו עם מדעים אחרים, כגון הביולוגיה הסינתטית ומדע השימור?
3. כיצד התפתחו שני הפרויקטים בהם מתמקד המחקר, וכיצד מתנהלת העבודה בהם? אילו השפעות יש עליהם? מה מטרות המדענים המועסקים בהם? כיצד הם ממומנים? מהם מאפייני עבודת המעבדה? מול אילו בחירות ניצבים המדענים, ומה מדריך את בחירותיהם? אילו טכנולוגיות מפותחות במסגרת הפרויקטים ואיזה ידע מנוסח במסגרתם?
4. מהן תפיסות הטבע – כולל תפיסת מהותם של בעלי-החיים – בהן מחזיקים המדענים בפרויקטים בהם מתמקד המחקר? מהן תפיסותיהם בנוגע למדע ותפקידו בהבנת, עיצוב ושמירת הטבע? כיצד התעצבו תפיסות אלו, האם הן משתנות לאורך עבודתם, ואם כן – כיצד ומדוע?
5. מה ניתן ללמוד ממקרה הבוחן של מדע האל-הכחדה אודות התהליך ההיסטורי, הפוליטי, החברתי והמדעי במסגרתו תפיסות פסימיות ואופטימיות אודות המדע והטכנולוגיה,

אודות הטבע ואודות ממקומנו בתוכו "מתנגשות" זו בזו בתוך זירה ספציפית? האם אכן מתגבשות תפיסות חדשות אודות הטבע כ"מערכת טכנולוגית" שניתן וראוי להשיבה למצב קודם, ושל המדע והטכנולוגיה בתור הכלים שלהם נתונה היכולת להגדיר את אותו מצב ולעשות זאת? אילו תגובות נגד מעוררים תהליכים אלו? כיצד דברים אלו באים לידי ביטוי בפועל, במסגרת מדע האל-הכחדה?

### שיטת המחקר

כדי לעמוד במטרות המחקר, בכוונתי לערוך תצפיות, ראיונות מובנים למחצה, וניתוח תוכן.

שיטת מחקר ראשונה היא עריכת תצפית, במסגרת פרויקט השבת היונה הנוודדת האצילה ופרויקט השבת הממותה הצמרירית. התצפיות יתבססו על העקרונות לבחינת עבודתם של מדענים, כפי שהתפתחו בתחום "לימודי המעבדה" (Laboratory studies), ומתוך ההנחה כי לבחינת עבודתם של המדענים במעבדות חשיבות רבה בהבנת התהליכים בהם מתפתחים ידע או טכנולוגיה (Latour, 1987, p.63). לאטור ו-וולגר (Latour & Woolgar, 1979), למשל, טענו כי מה שמניע את עבודתם של מדענים הוא הרצון להבטיח עבור עצמם תנאים אידיאליים להמשך עבודתם, עם שפע משאבים חומריים וחברתיים. לכן, לפי ניתוחם, מתקבע מעין "מעגל סגור", בו ניסויים מניעים פרסומים מדעיים, שההון הסימבולי המושג בעזרתם מושקע בהשגת משאבים חומריים נוספים לייצור ועריכה של עוד ניסויים, וכך הלאה. בכך, הם מדגישים כי מוקד עבודתם של המדענים נעוץ בייצור הידע והעבודה, ולא, למשל, בניסיון לבסס תיאוריה או אידיאולוגיה כלשהן (Latour & Woolgar, 1979). גם פוגימורה, כפי שמסביר קוהלר (Kohler, 1994), הצביעה על חשיבות ה-"Doability" בפרקטיקות ניסוייות: מדענים, לטענתה, יעדיפו תמיד לבחור לבדוק סוגיות, שסביר שבדיקתן תפיק תוצאות שניתן יהיה גם להשתמש בהן בעתיד. לפי קנור-סטינה, עבודתם של המדענים במעבדה מאופיינת בצורך קבוע לבחור בדרך פעולה אחת על-פני אחרות, וכי התוצאות של עבודתם, המוצגות כאובייקטיביות, הן למעשה סכום כל הבחירות שנלקחו. כיוון שאין אפשרות לנסח קריטריונים קבועים לפיהם מתקבלות אותן החלטות במעבדות, הרי שרק הימצאות שם בזמן אמת תאפשר התבוננות בצמתי הכרעה בהם מתקבלות בחירות מסוימות ואחרות נדחות (Knorr-Cetina, 1983, pp.121-123).

תצפית במעבדה מאפשרת לבחון גם את חילופי הדברים בין מדענים תוך כדי עבודתם. נקודה זו הינה חשובה, כפי שמסביר סיסמונדו (Sismondo, 2010), כיוון שמדענים לרוב נוטים להכווין את דבריהם ולנסחם כך שיזכו להסכמה מהסובבים אותם, או לחילופין, במקרים נדירים יותר, כדי



לסמן חוסר הסכמה לגבי ממצאים כלשהם. דוגמה נוספת בה הבחינו חוקרים היא האופן בו נוטים מדענים לערוך ביניהם משא-ומתן בדבר הדבר עליו הם מביטים במסגרת התצפית עד הגיעם למצב בו כל הנוכחים "מרוצים" מהאופן בו הוחלט לפרשם (Sismondo, 2010, pp.112-114). כיוון שלמאפייני השיח הנ"ל השפעה ישירה על המחקר הנעשה במעבדות, הרי שהימצאות באותן מעבדות ומעקב אחר אותן שיחות חיונית להבנת מדע האל-הכחדה.

ההימצאות יחד עם המדענים חיונית לא רק להבנת התפתחות מדע האל-הכחדה, אלא גם להבנת תפיסותיהם את עבודתם ואת אותו מדע. כפי שהעלה לינץ' (Lynch, 1985) במחקרו אודות שיחות בין מדענים במעבדה, שיחות אלו – אותן הוא מכנה "Shop talks" הן חלק בלתי-נפרד מהעשייה המדעית, ובה-בעת מאופיינות במעברים מהירים בין נושאים מדעיים לבין נושאים אחרים, ופעמים רבות נתפסות דווקא כלא-רציניות, מערבות הומור, וכדומה (Lynch, 1985, pp.155-160). ככאלו, יכולות שיחות אלו – אליהן ניתן להיחשף אך ורק במעבדה – לשפוך אור על היבטים שונים בתפיסת המדענים את עבודתם, הגדרתם את המשימה הניצבת בפניהם, ועוד.

בהתאם, בתצפיות ייבחנו מאפייני העבודה היום-יומית של המדענים במעבדה, מאפייני החיים החברתיים בה, שיטות העבודה, אופני קבלת ההחלטות במהלך הפרויקט, הטכנולוגיות בהן נעשה שימוש במהלכו, התלבטויות המדענים, השיח ביניהם, וכדומה. יש לציין כי נוצר קשר ראשוני עם מדענים משני הפרויקטים. תצפית ניסיונית ראשונה כבר נערכה במעבדת GC-Lab שבאוניברסיטת הרווארד, שם מתנהל פרויקט השבת הממותה הצמרירית. תצפית ראשונית במעבדה באוניברסיטת מונאש, בה מתנהל פרויקט היונה הנודדת האצילה, נקבעה לחודש יוני 2019.

בנוסף, במהלך המחקר אערוך ראיונות עם שחקנים הקשורים למדע זה – המדענים המובילים ועובדות ועובדי המעבדה בשני הפרויקטים בהם אתמקד, פעילים בגופים המקדמים את רעיון האל-הכחדה, וכאלו שלקחו חלק בעיצוב השיח אודותיו, כדוגמת מחברי הדו"ח של ה-International Union for Conservation of Nature De-extinction Task Force. הראיונות ייבנו כראיונות עומק מובנים למחצה. לפי שקדי (2013), בראיונות מסוג זה על המראיין להציג שאלות פתוחות, ולאפשר למרואיינים להעלות סוגיות בעצמם. על המראיין להאזין לדברים, ולחדד את שאלותיו במקרה הצורך, על-מנת להבין נושא מסוים שעלה לעומקו. בהתאם, תחילה יתבקשו המרואיינים להציג את עצמם ואת המדע האל-הכחדה במילותיהם שלהם. לאחר-מכן הם ישאלו שאלות פתוחות אודות מדע זה, התהוותו, תפקידם בו, דעותיהם עליו, על השיח סביבו ועל התקדמותו, על הבחירות שנאלצו לקחת במסגרת עבודתם, וכדומה. שאלות ממוקדות או בקשות להרחיב על נושא מסוים

יועלו בהתאם לצורך והתקדמות הריאיון. עד עתה, כחלק מהמחקר המקדים, נערכו ראיונות עם שלושת אנשי הצוות של פרויקט השבת הממותה הצמרירית ועם המדען המוביל את פרויקט השבת היונה הנוודת האצילה, ונוצר קשר עם מספר שחקנים נוספים.

שיטת מחקר שלישית היא ניתוח תוכן. בכוונתי לנתח את תוכנם של כלל הפרסומים אודות מדע האל-הכחדה, ובכללם: הדיונים אודות מדע זה ונחיצותו, אודות הדרך בה יש להגדירו, ואודות הקריטריונים המוצעים לבחינת השבתם של מינים, הפרסומים שמטרתם להציג לציבור הרחב את המדע הנ"ל, פרסומיהם של העוסקים בו בכתבי-עת מדעיים, בקשותיהם למענקים, ודבריהם של השחקנים השונים העוסקים בו במסגרת ראיונות עיתונאיים ואירועים פומביים שונים.

הוגים מלימודי מדע, טכנולוגיה וחברה עסקו בשאלת תהליך כינונו של הידע המדעי, ועמדו על כך ששחקנים שונים ורבים יכולים לקחת בו חלק. לאטור, למשל טען כי תהליך בנייתן של עובדות מדעיות הוא תמיד משותף (Latour, 1987, p.29), ובהקשר זה, לטענות אודות מדע מסוים או אודות עובדה כלשהי חשיבות לאו דווקא בשל תוכנו, אלא בשל מקומן בתוך שיח, והשימושים השונים הנעשים בהן לאחר שפורסמו (Latour, 1987, p.59). בהתאם, אומר לאטור, בבואנו לבחון טענה כלשהי, עלינו לבחון את "הבמה" עליה היא מופיעה, לזהות מיהם אלו המבקשים להפכה ל"עובדה", ומיהם אלו המבקשים לערער על מעמדה (Latour, 1987, p.59). בהקשר של המחקר הנוכחי, למשל, במקום לדון רק בתוכן טענותיהם של התומכים והמתנגדים למדע האל-הכחדה, יש לבחון כיצד מנסה כל צד לקדם את טיעונו, וכיצד פעולות אלו מעצבות את שדה המחקר. גם קנור-סטינה (Knorr-Cetina, 1983) טוענת כי העבודה המדעית מתבצעת תמיד תוך כדי שיח עם קבוצות חוץ-מדעיות, וכי עלינו להבין אותו לא כשיח של החלפת מידע, אלא כ"סחר חליפין" בין הקבוצות, במסגרתו הן עורכות משא ומתן על מטרות המדע המדובר, הדרכים בהן עליו לפנות, והמסקנות שניתן לגזור מתוכו. את הקשרים חוצי-השדות הללו היא מכנה "Transsepistemic connections" ומוסיפה כי בהם נידונים הקריטריונים על-פיהם לאחר-מכן יבוצעו בחירות שונות לגבי המדע המדובר (Knorr-Cetina, 1983, p.133).

בהתבסס על דברים אלו, אני סבור שניתוח הפרסומים הנ"ל יאפשר את הבנת המטרות שמבקשים שחקנים שונים לקדם, את המוטיבציות שלהם ואת התפיסות המנחות אותם. דרך מעקב אחרי שינויים בדבריהם של השחקנים השונים ניתן גם יהיה לזהות את הכיוונים בהם התעצב מדע זה. אני מאמין כי שילוב שלוש דרכי המחקר יאפשר לי לעמוד במטרות המחקר בצורה הטובה ביותר.

## רלוונטיות ותרומת המחקר

ההתפתחויות במדע הביולוגיה לאורך העשורים האחרונים אפשרו לביולוגים לטעון כי בידיהם תשובות לשאלות אודות מהות החיים והטבע (Jasanoff, 2019, p.3). כאשר תשובות אלו מלוות ביכולת טכנולוגית חסרת תקדים, המשמעות היא שכל מערכת היחסים שלנו עם הטבע עשויה להשתנות (Donlan, 2014). אך מהי אותה מערכת יחסים, כיצד היא מוגדרת כרגע, ומי מגדיר אותה? מדע האל-הכחדה מאפשר לבחון את התשובות לשאלות אלו, וחשוב לא פחות – כיצד ניתנות אותן תשובות. הוא פותח צוהר לבחינת האופנים בהם תפיסות שונות ואף מנוגדות אודות הטבע והמדע פוגשות זו בזו, אילו כוחות לוקחים בכך חלק, ומהן תוצאות "המפגש" הנ"ל, הן ברמה התיאורטית-אידיאולוגית, והן בפועל, בעולם עצמו. לכן, המחקר המוצע יוכל לשפוך אור לא רק על היבטים נסתרים עדיין בנוגע למדע האל-הכחדה, כי אם גם לתרום לידע בתחומים שונים: לימודי מדע וטכנולוגיה, היסטוריה ופילוסופיה של הביולוגיה והטבע, סוציולוגיה של הידע, לימודי סביבה, ואף לימודי שימור.

אך יותר מכך, אני סבור כי מטרות המחקר רלוונטיות וחשובות בשל הנקודה בזמן בה אנו נמצאים. כאשר העולם בו אנו חיים משתנה במהירות בעקבות שינויי אקלים, וכוחות חדשים צועדים קדימה בטענה כי יש להם מענה לסוגיות המתעוררות – האחריות הראשונה שלנו היא להבין כיצד התפתחו כוחות אלה, באילו דרכים הם פועלים ובשם מי, ובעיקר – איזה עולם הם יוצרים. כל השאלות האלו מגולמות בתוך מדע האל-הכחדה, ובהתאם – הבנתן היא מטרתו המרכזית של המחקר המוצע. תקוותי היא שהוא יאפשר לא רק להבין יותר טוב את הכוחות אשר פועלים כיום בעולמנו, כי אם גם יציע כלים טובים יותר לבחינת העתידים האפשריים שהם מציעים לנו, ויותר מזה – לבחירת הכיוון בו נרצה לצעוד.

## תוכן עניינים מוצע

### א. הקדמה:

a. סיפור הכנס TEDxDeExtinction, שנערך ב-15 במרץ 2013, ובו נידונה לראשונה באופן פומבי האפשרות להשבתם של מינים שנכחדו.

### ב. חזרת מינים לחיים: התפתחותו של רעיון

a. סקירת ההיסטוריה של רעיון חזרתם של מינים נכחדים לחיים:

i. אמירתו של לייל ולעגו של הנרי דה לה-בש.

ii. לוץ והיינץ הק, וחלומם להשיב את שור הבר האירופי.

iii. פרויקט הקואגה.

iv. פרויקט הבוקארדו.

v. תמונת מצב: כיצד מאורגן עכשיו השדה של המדע הנקרא "אל-הכחדה":

1. הגדרות.

2. טכנולוגיות.

3. גופים.

4. פרויקטים קיימים ושאינם קיימים.

### ג. רקע 1 – "צוואתה של מרת'ה – על תחום השימור":

a. על ההכחדה השישית בתולדות כדור הארץ.

b. רקע כללי על היכחדות בעבר ובהווה, ועל העניין המדעי, התרבותי והחברתי בתופעה זו.

c. על המאמצים למנוע הכחדות נוספות ועל תחום השימור.

### ד. רקע 2 – "מה עוד השאירה לנו מרת'ה? – על הביולוגיה הסינתטית ורעיון השליטה בתהליכי החיים":

a. על ד.נ.א. עתיק ועל היכולת לקרוא אותו.

b. רקע היסטורי:

i. על התפתחות הרעיון בתחום הביולוגיה בדבר השגת שליטה בטבע,

באורגניזם ובתהליכי החיים.

ii. על התפתחותה של הביולוגיה הסינתטית.

### ה. "We are as gods and have to get good at it":

a. על המפגש בין תחום השימור לביולוגיה הסינתטית והביוטכנולוגיה, על כניסתן של שיטות וטכנולוגיות מתחום הביולוגיה הסינתטית אל תוך מאמצי שימור, ועל הוויכוח הנסוב סביב אירועים אלה.

b. כיצד מעצב המפגש בין שני התחומים את השיח סביב מדע האל-הכחדה?

i. שאלת המקוריות – כשמדענים מחזירים את היונה הנודדת האצילה – מה הם באמת יוצרים? על ההגדרות שיינתנו לבעלי-החיים "המוחזרים".

ii. טיעונים בעד ונגד מדע האל-הכחדה והוצאתו לפועל.

### ו. שני מקרי בוחן:

a. פרויקט היונה הנודדת:

i. סיפורה של היונה הנודדת האצילה: היסטוריה והכחדה.

- .ii סיפורה של מרת'ה, היונה הנוודת האצילה האחרונה, וכיצד מותה עורר את המודעות לתופעת ההיכחדות והצורך למנוע אותה.
- .iii הקמתו של הארגון "Revive & Restore", ובחירת פרויקט היונה הנוודת כפרויקט דגל.
- .iv לפני שמגדלים יונה – מגדלים מדען: סיפור הכשרתו של בן נובאק, המדען הראשי של הארגון ומי שמוביל מטעמו את פרויקט היונה הנוודת האצילה.
- .v על כניסתי לשדה.
- .vi הממצאים מהשדה.
- .b פרויקט הממותה הצמרירית:
  - .i סיפורו של דימה, גור הממותות שהוצא כמעט בשלמותו מהקרח בסיביר, וכיצד הוא הפיח במדען רוסי את התקווה "להעירו לחיים" באמצעות שיבוט.
  - .ii סקירת הפרויקטים השונים להשבת הממותה הצמרירית:
    - 1. הפרויקט היפני.
    - 2. הפרויקט הקוריאני.
    - .iii על פארק הפלוסטיקון בסיביר וכיצד נתן סרגיי זימוב, מנהלו, לגנטיקאי ג'ורג' צ'רצ'י את ההצדקה שחיפש לפתוח בפרויקט.
    - .iv על הפרויקט של Revive & Restore ו-GC-Lab (המעבדה של ג'ורג' צ'רצ'י):
      - 1. כיצד נולד הפרויקט.
      - 2. על כניסתי לשדה.
      - 3. הממצאים מהשדה.
  - .ז דיון ומענה על שאלות המחקר.
  - .ח סיכום.

- אדמס, ד. וקארורדיין, מ. (2004). הזדמנות אחרונה לראות. תל-אביב: למשכל בע"מ – הוצאה לאור מיסודן של ידיעות אחרונות וספרי חמד.
- ברורמן, א. (2018). משבר בתפיסת שימור הטבע. *הזמן הזה*. נדלה ב-20 בינואר, 2019 : <https://hazmanhazeh.org.il/anthropocene>
- הארץ. (2016). מדענים הצליחו להחיות מחדש את הקואגה, תת-מין של זברה שהוכחד לפני 130 שנה. אתר "הארץ". נדלה ב-19 באפריל 2018 : <https://www.haaretz.co.il/news/science/.premium-1.2855058>
- הראווי, ד. (1985). מניפסט לסייבורג: מדע, טכנולוגיה ופמיניזם סוציאליסטי בשלהי המאה העשרים. בתוך: ד. באוס, ד. אמיר, ר. ברייר-גארב, י. ברלוביץ, ד. גריינימן, ש. הלוי, ד. חרובי וס. פוגל-ביז'אווי (עורכות). *ללמוד פמיניזם: מקראה*. מאמרים ומסמכי יסוד במחשבה פמיניסטית (עמ' 276-326). תל-אביב: הוצאת הקיבוץ המאוחד.
- הרמן, א. (2013). האם הניאנדרתלים והממותות ישובו להלך בינינו. אתר "הארץ". נדלה ב-19 באפריל 2018 : <https://www.haaretz.co.il/magazine/.premium-1.2056266>
- לאטור, ב. (2005). מעולם לא היינו מודרניים: מסה באנתרופולוגיה סימטרית – מבחר פרקים. *תיאוריה וביקורת* 26, 43-73.
- רויטרס. (2018). הקרנף רחב השפה הצפוני האחרון בעולם מת בקניה, מבלי שהעמיד צאצאים זכרים. אתר "הארץ". נדלה ב-19 באפריל 2018 : <https://www.haaretz.co.il/news/world/africa/MAGAZINE-1.5919486>
- שייפין, ס. (2009). *המהפכה המדעית*. תל-אביב: רסלנג.
- שקדי, א. (2013). *מילים המנסות לגעת – מחקר איכותני, תיאוריה ויישום*. תל-אביב: רמות.
- ABC (2005). *Museum ditches thylacine cloning project*. ABC. Retrieved November 22, 2018, from <https://www.abc.net.au/news/2005-02-15/museum-ditches-thylacine-cloning-project/1519818>

- Animal People Inc. (2017). *An Interview with Nikita Zimov, Director of Pleistocene Park*. Animal People Forum. Retrieved July 7, 2018, from <https://animalpeopleforum.org/2017/04/02/an-interview-with-nikita-zimov-director-of-pleistocene-park/>
- Archer, M. (2013, June, 27). How we'll resurrect the gastric brooding frog, the Tasmanian tiger [Video File]. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=ErexJkoDhGI>
- Bartay, E. (2002). *Zoo: A history of zoological gardens in the west*. London: Reaktion Books Ltd.
- Biello, D. (2013a). *Will we kill off today's animals if we revive extinct ones?* Scientific American. Retrieved November 22, 2018, from: <https://www.scientificamerican.com/article/de-extinction-to-bring-back-extinct-species-but-challenges-conservation/>
- Biello, D. (2013b). *Efforts to resuscitate extinct species may spawn a new era of the hybrid*. Scientific American. Retrieved November 22, 2018, from <https://www.scientificamerican.com/article/lost-species-revived-from-dna-and-restored-to-nature/>
- Biello, D. (2014). *Fact or fiction? Mammoths can be brought back from extinction*. Scientific American. Retrieved November 22, 2018, from: <https://www.scientificamerican.com/article/fact-or-fiction-mammoths-can-be-brought-back-from-extinction/>
- Blockstein, D.E. (2017). We can't bring back the Passenger pigeon: The ethics of deception around de-extinction. *Ethics, Policy & Environment* 20(1), 33-37.
- Boeke, J.D., Church, G., Hessel, A., Kelley, N.J., Arkin, A., Cai, Y., Carlson, R., Chakravarti, A., Cornish, V.W., Holt, L., Isaacs, F.J., Kuiken, T., Lajoie, M., Lessor, T., Lunshof, J., Maurano, M.T., Mitchell, L.A., Rine, J., Rosser, S., Sanjana, N.E., Silver, P.A., Valle, D., Wang, H., Way, J.C., & Yang L. (2016). The genome project-write. *Science* 353(6295), 126-127.

- Branco, J. (2015). *The Lazarus Project: Scientists' quest for de-extinction*. The Sidney Morning Herald. Retrieved November 17, 2018, from <https://www.smh.com.au/technology/the-lazarus-project-scientists-quest-for-deextinction-20150417-1mng6g.html>
- Brand, S. (1968). *Understanding whole systems*. Whole Earth Catalog. Retrieved January 27, 2019, from: <http://www.wholeearth.com/issue/1010/article/195/we.are.as.gods>
- Brand, S. (2013, March, 13). The dawn of De-extinction: Are you ready? [Video File]. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=XKc9MJDeqj0>
- Brand, S. (2014). The case for De-extinction: Why we should bring back the woolly mammoth. *Yale Environment 360*. Retrieved July 11, 2018, from [https://e360.yale.edu/features/the\\_case\\_for\\_de-extinction\\_why\\_we\\_should\\_bring\\_back\\_the\\_woolly\\_mammoth](https://e360.yale.edu/features/the_case_for_de-extinction_why_we_should_bring_back_the_woolly_mammoth)
- Brand, S. (2015). Rethinking extinction. *Aeon*. Retrieved February 15, 2019, from: <https://aeon.co/essays/we-are-not-edging-up-to-a-mass-extinction>
- Camacho, A.E. (2015). Going the way of the Dodo: De-extinction, dualisms, and reframing conservation. *Washington University Law Review 92*(4), 849-906.
- Carrington, D. (2018). *Humanity has wiped out 60% of animal populations since 1970, report finds*. The Guardian. Retrieved November 1, 2018, from: <https://www.haaretz.co.il/nature/1.6610523>
- Carroll, S. (2005). *Endless forms most beautiful: The new science of evo devo*. New York & London: W.W Norton & Company.
- Church Lab. (2018). Retrieved November 22, 2018, from <http://arep.med.harvard.edu/>
- Church, G. & Regis, E. (2014). *Regenesis. How Synthetic Biology will reinvent nature and ourselves*. New York: Basic Books.
- Church, G. (2013). *De-extinction is a good idea*. Scientific American. Retrieved November 20, from: <https://www.scientificamerican.com/article/george-church-de-extinction-is-a-good-idea/>



- Church, G. (2018). *Genome reading and editing tools for all*. Leapsmag. Retrieved November 20, 2018, From: <https://leapsmag.com/genome-reading-and-editing-tools-for-all/>
- Colbert, E. (2014). *The sixth extinction: An unnatural history*. London: Bloomsbury Publishing plc.
- Collins H.M. & Evans, R. (2002). The third wave of science studies: Studies of expertise and experience. *Social Studies of Science* 32(2), 235-296.
- DeSalle, R. & Amato, G. (2017). Conservation genetics, precision conservation, and De-extinction. *Recreating the Wild: De-Extinction, Technology, and the Ethics of Conservation, special report, Hastings Center, 47(4)*, 18-23.
- Devlin, H. (2017). *Woolly mammoth on verge of resurrection, scientists reveal*. The Guardian. Retrieved November 15, 2018, from <https://www.theguardian.com/science/2017/feb/16/woolly-mammoth-resurrection-scientists>
- Dockser Marcus, A. (2018). *Meet the scientists bringing extinct species back from the dead*. The wall street journal. Retrieved November 17, 2018, from <https://www.wsj.com/articles/meet-the-scientists-bringing-extinct-species-back-from-the-dead-1539093600>
- Donlan, J. C. (2014). De-extinction in a crisis discipline. *Frontiers of Biogeography* 4(1). Retrieved November 14, 2018, from: <https://escholarship.org/uc/item/2x70q4nk>
- Ezrahi, Y., Mendelsohn, E. & Segal, H. (1993). *Technology, pessimism, and postmodernism*. Berlin & Heidelberg: Springer Science+Business Media, B.V.
- Finkelman, L. (2018). De-extinction and the conception of species. *Biology & Philosophy* 33(32). Retrieved January 3, 2019, from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10539-018-9639-x#citeas>

- Folch, J., Cocero, M.J., Chesné, P., et al. (2009) First birth of an animal from an extinct subspecies (*Capra pyrenaica pyrenaica*) by cloning. *Theriogenology* 71(6), 1026–1034.
- Freise, C. & Marris, C. (2014). Making de-extinction mundane? *Plos Biology* 12(3). Retrieved November 15, 2018, from: <https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1001825>
- Genetic Rescue Foundation. (2018). Retrieved December 1, 2018, from <https://www.geneticrescue.science/>
- IUCN SSC (2016). IUCN SSC guiding principles on creating proxies of extinct species for conservation benefit. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission.
- IUCN. (2018). Retrieved December 4, 2018, from <https://www.iucn.org/>
- Jasanoff, S. (2003). Technologies of humility: Citizen participation in governing science. *Minerva* 41, 223-244.
- Jasanoff, S. (2004). The idiom of Co-Production. In S. Jasanoff (Ed.), *States of knowledge: The Co-Production of science and social order* (pp. 1-12). London: Routledge.
- Jasanoff, S. (2013). In a constitutional moment: Science and social order at the millennium. In B. Joerges & H. Nowotny (Eds.), *Social studies and technology: Looking back ahead* (pp. 155-180). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Jasanoff, S. (2015). Future imperfect: Science, technology, and the imaginations of modernity. In S. Jasanoff & S-H. Kim (Eds.), *Dreamscapes of modernity: Sociotechnical imaginaries and the fabrication of power* (pp. 1-47). Chicago: The University of Chicago press.
- Jasanoff, S. (2019). Can science make sense of life? Cambridge: Polity Press.
- Jorgensen, E. (2016, October, 24). What you need to know about CRISPR [Video File]. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=1BXYSGepx7Q>

- Knapton, S. (2018). *Elephant-mammoth hybrid without tusks could be key to tackling poaching*. The Telegraph. Retrieved November 15, 2018, from <https://www.telegraph.co.uk/news/2018/04/28/elephant-mammoth-hybrid-without-tusks-could-key-tackling-poaching/>
- Knorr-Cetina, K. (1983). The ethnographic study of scientific work: Towards a constructivist interpretation of science. In K. Knorr-Cetina et al (Eds.), *Science observed: Perspectives on the Social Study of Science* (pp. 115-140). London: Sage.
- Kohl, P. (2017). Reclaiming hope in extinction storytelling. *Recreating the Wild: De-Extinction, Technology, and the Ethics of Conservation, special report, Hastings Center, 47(4), 24-29.*
- Kohler, R.E. (1994). *Lords of the fly: Drosophila genetics and experimental life*. Chicago & London: The University of Chicago Press.
- Kohler, R.E. (2006). *All creatures: Naturalists, collectors, and biodiversity, 1850-1950*. Princeton: Princeton University Press.
- Kohman, R.E., Kunjapur, A.M, Hysolli, E., Wang, Y., & Church, G. (2018). From Designing the Molecules of Life to Designing Life: Future Applications Derived from Advances in DNA Technologies. *Angew. Chem. Int. Ed 57, 4313–4328.*
- Kolbert, E. (2012). *Recall of the wild*. The New Yorker. Retrieved January 17, 2019, from: <https://www.newyorker.com/magazine/2012/12/24/recall-of-the-wild>
- Kornfeldt, T. (2018). *The re-origin of species: A second chance for extinct animals*. Melbourne & London: Scribe Publications.
- Latour, B. (1983). Give me a laboratory and I will raise the world. In Knorr-Cetina K.D. and Mulkay M. (Eds.), *Science observed* (pp. 141-169). London: Sage Publications.
- Latour, B. (1987). *Science in action*. Cambridge: Harvard University press.

- Latour, B. (2000). On the partial existence of existing and nonexisting objects. In L. Daston (Ed.), *Biographies of scientific objects* (pp. 247-269). Chicago and London: The University of Chicago press.
- Latour, B. & Woolgar, S. (1979). *Laboratory life: The social construction of scientific facts*. Beverley Hills: Sage.
- Leigh, J. (2002). *Back from the dead*. The Guardian. Retrieved November 20, 2018, from <https://www.theguardian.com/science/2002/may/30/genetics.australia>
- Lerner, S. (2018). *Scientists might create mammoth-elephant hybrid after 'resurrecting' 44 Genes, will start with mice first*. Tech Times. Retrieved November 15, 2018, from: <https://www.techtimes.com/articles/226529/20180430/scientists-might-create-mammoth-elephant-hybrid-after-resurrecting-44-genes-will-start-with-mice-first.htm>
- Lynch, M. (1985). *Art and artifact in laboratory science – A study of shop work and shop talk in a research laboratory*. London, Boston, Melbourne, & Henley: Routledge & Kegan Paul.
- Marris C. & Rose, N. (2012) Let's get real on synthetic biology. *New Scientist* 214(2868), 28-29.
- McCauley, D.J., Hardesty-Moore, M., Halpern, B.S., & Young, S.H. (2017). A mammoth undertaking: harnessing insight from functional ecology to shape de-extinction priority setting. *Functional Ecology* 31, 1003-1011.
- McKibben, B. (1989). *The end of nature*. New York: Random House.
- Mezrich, B. (2017). *Woolly: The true story of the quest to revive one of history's most iconic extinct creatures*. New York: Simon & Schuster, Inc.

- Miller, J.M., Quinzin, M.C., Poulakakis, N., Gibbs, J.P., Beheregaray, L.B., Garrick, R.C., Russello, M.A., Ciofi, C., Edwards, D.L., Hunter, E.A, et al. (2017). Identification of genetically important individuals of the rediscovered Floreana Galapagos giant tortoise (*Chelonoidis elephantopus*) provide founders for species restoration program. *Sci. Rep.* 7, 1-8.
- Monbiot, G. (2013, July). For more wonder, rewild the world. [Video File]. Retrieved from:  
[https://www.ted.com/talks/george\\_monbiot\\_for\\_more\\_wonder\\_rewild\\_the\\_world?language=en](https://www.ted.com/talks/george_monbiot_for_more_wonder_rewild_the_world?language=en)
- Moscato, D. (2016). *Can the great auk return from extinction?* Earth Touch News Network. Retrieved December 5, 2018, from  
<https://www.earthtouchnews.com/conservation/conservation/can-the-great-auk-return-from-extinction/>
- Nagel, T. (1974). What is it like to be a bat?!. *The philosophical review* LXXXIII(4), 435-450.
- National Geographic (2016). *Bringing Australian animals back to life*. National Geographic. Retrieved December 7, 2018, from  
<https://www.nationalgeographic.com.au/animals/bringing-australian-animals-back-to-life.aspx>
- Novak, B. (2018). De-Extinction. *Genes* 9(11). Retrieved November 14, 2018, from:  
[https://www.mdpi.com/2073-4425/9/11/548/htm?fbclid=IwAR0QLAz6aM9Kxux9nhmXpo-9uUI\\_JeFwX1ssmKUHtiRFHtq1e42Uc1foCm0](https://www.mdpi.com/2073-4425/9/11/548/htm?fbclid=IwAR0QLAz6aM9Kxux9nhmXpo-9uUI_JeFwX1ssmKUHtiRFHtq1e42Uc1foCm0)
- O'Connor, M.R. (2015). *Resurrection science: Conservation, de-extinction, and the precarious future of wild things*. New York: St. Martin's Press.

- Pascual, K. (2017). *Extinct woolly mammoth can be brought back to life, scientists reveal*. Tech Times. Retrieved November 15, 2018, from <https://www.techtimes.com/articles/197935/20170216/extinct-woolly-mammoth-can-be-brought-back-to-life-scientists-reveal.htm>
- Pauly, P. (1987). *Controlling life: Jacques Loeb & the engineering ideal in biology*. New York: Oxford University press, Inc.
- Penberthy, N. (2016). *Benjamin was probably not the last thylacine, sasys study*. Australian Geographic. Retrieved December 5, 2018, from <https://www.australiangeographic.com.au/topics/wildlife/2016/09/thylacines-survived-into-the-1940s/>
- Phillips, N. (2013). *Extinct frog hops back into the gene pool*. The Sidney Morning Herald. Retrieved November 20, 2018, from <https://www.smh.com.au/environment/conservation/extinct-frog-hops-back-into-the-gene-pool-20130315-2g68x.html>
- Piaggio, A., Segelbacher, G., Seddon, P., Alphey, L., Bennett, E., Carlson, R., Friedman, R., Kanavy, D., Phelan, R., Redford, K., Rosales, M., Slobodian, L. & Wheeler, K. (2017). Is it time for synthetic biodiversity conservation? *Trends in Ecology & Evolution* 32(2), 97-107.
- Pilcher, H. (2017). *Reviving woolly mammoths will take more than two years*. BBC, Retrieved November 15, 2018, from <http://www.bbc.com/earth/story/20170221-reviving-woolly-mammoths-will-take-more-than-two-years>
- Piotrowska, M. (2018). Meet the new mammoth, same as the old? Resurrecting the *Mammuthus primigenius*. *Biology & Philosophy* 33(5). Retrieved January 5, 2019, from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10539-018-9616-4>

- Poinar, H. (2013, March). Bring back the woolly mammoth! [Video File]. Retrieved from:  
[https://www.ted.com/talks/hendrik\\_poinar\\_bring\\_back\\_the\\_woolly\\_mammoth](https://www.ted.com/talks/hendrik_poinar_bring_back_the_woolly_mammoth)
- Porsdam Mann, S., Donders, Y., Mitchell C., Bradley, V.J., Chou, M.F., Mann, M., Church, G., & Porsdam, H. (2018). Advocating for science progress as a human right. *PNAS* *115*(43), 10820-10823.
- Quammen, D. (1996). *Song of the Dodo: Island Biography in an age of extinctions*. New York: Scribner.
- Raup, D. (1992). *Extinction: Bad gene or bad luck?* New York & London: W.W Norton & Company.
- Redford, K. H., Adams, W., & Mace, G. M. (2013). Synthetic biology and conservation of nature: wicked problems and wicked solutions. *Plos Biology* *11*(4). Retrieved January 27, 2019, from:  
<https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1001530>
- Reiderer, R. (2018). *The woolly mammoth lumbers back into view*. The New Yorker. Retrieved December 29, 2018, from:  
<https://www.newyorker.com/science/elements/the-woolly-mammoth-lumbers-back-into-view>
- Reilly, C. (2018). *Artificial womb could grow mammoth-elephant hybrid, researchers say*. Cnet. Retrieved November 15, 2018, from:  
<https://www.cnet.com/news/artificial-womb-could-grow-mammoth-elephant-hybrid-harvard-researchers/>
- Revive & Restore. (2018). Retrieved December 4, 2018, from <http://reviverestore.org/>
- Roosth, S. (2017). *Syntethic: How life got made*. Chicago & London: The University of Chicago Press.

- Salsberg, C. (2000). Resurrecting the woolly mammoth: Science, law, ethics, politics, and religion. *Stanford Technology law Review* 1. Retrieved July 9, 2018, from <https://med.stanford.edu/content/dam/sm/cirge/documents/activities/journalclubs/SalsbergMammoth2000.pdf>
- Schmidt M (2010) Xenobiology: a new form of life as the ultimate biosafety tool. *Bio Essays* 32, 322–331.
- Schweber, S. (1985). The wider British context in Darwin's theorizing. In D. Kohn (Ed.), *The Darwinian heritage* (pp. 35-69). Princeton: Princeton university press.
- Seddon, P.J. (2017). De-extinction and barriers to the application of new conservation tools. *Recreating the Wild: De-Extinction, Technology, and the Ethics of Conservation, special report, Hastings Center, 47(4)*, 5-8.
- Seddon, P.J., Moehrensclager, A. & Ewan, J. (2014). Reintroducing resurrected species selecting DeExtinction candidates. *Trends in Ecology & Evolution* 29(3), 140-147.
- Shaffer, M. (1981). Minimum population sizes for species conservation. *Bioscience* 31(2), 131-134.
- Shapiro, B. (2015). *How to clone a mammoth: The science of De-extinction*. Princeton: Princeton university press.
- Sismondo, S. (2010). *An introduction to Science and technology studies – Second edition*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Slater, M.H. & Clatterbuck, H. (2018). A pragmatic approach to the possibility of de-extinction. *Biology & Philosophy* 33(4). Retrieved January 12, 2019, from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10539-018-9615-5#citeas>
- Smith, D. (2017). *De-extinction research to feature on ABC TV*. University of New South Wales. Retrieved December 1, 2018, from



<https://newsroom.unsw.edu.au/news/science-tech/de-extinction-research-feature-abc-tv>

- Sooam Biotech research Center. (Unknown). *Three party research collaboration between the Korea, China and Russia for the restoration of the mammoth*. Sooam Biotech research Center. Retrieved December 1, 2018, from <http://en.sooam.com/html/?code=B01>
- Star, S.I. & Griesemer, J.R. (1989). Institutional ecology, 'translations' and boundary objects: Amateurs and professionals in Berkeley's museum of vertebrate zoology. *Social Studies of Science* 19(3), 387-420.
- Steffen, W., Crutzen, P.J. & McNeill, J.R. (2007). The Anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of nature? *AMBIO A Journal of the human environment* 36(8), 614-621.
- Stone, R. (2001). *Mammoth: The resurrection of an ice age giant*. New-York: Perseus Publishing.
- The Long Now Foundation (2018). Retrieved October 17, 2018, from <http://longnow.org/>
- The quagga project. (2018). Retrieved December 2, 2018, from <https://www.quagga-project.org/>
- The Sidney Morning Herald (2005). *Researchers revive plan to clone the Tassie tiger*. The Sidney Morning Herald. Retrieved November 22, 2018, From: <https://www.smh.com.au/national/researchers-revive-plan-to-clone-the-tassie-tiger-20050515-gdlbos.html>
- Turner, D.D. (2016). De-extinction as artificial species selection. *Philosophy & Technology* 30(4), 395-411.
- Wulf, A. (2016). *The invention of nature: Alexander Von Humboldt's new world*. New York: Vintage.
- Yearley, S. (2005). The "end" or the "humanization" of nature? *Organization & Environment* 18(2), 198-201.

- Ziff, E. & Rosenfield, I. (2006). *Evolving evolution*. New York Review of Books.  
Retrieved November 10, 2018, from:  
<http://www.nybooks.com/articles/2006/05/11/evolving-evolution/>
- Zimmer, C. (2008). *What is a species?* Scientific American. Retrieved November 18, 2019, From: <https://www.scientificamerican.com/article/what-is-a-species/>
- Zimmer, C. (2013). *Bringing them back to life. The revival of an extinct species is no longer a fantasy. But is it a good idea?* National Geographic Magazine. Retrieved from <https://www.nationalgeographic.com/magazine/2013/04/species-revival-bringing-back-extinct-animals/>
- Zimov, S. (2005). Pleistocene Park: Return of the mammoth's ecosystem. *Science*, 308(5723), 796-798.
- Zimov, S. (2014). *Wild field manifesto*. Retrieved July 2, 2018, from [http://www.pleistocenepark.ru/files/WILD\\_FIELD\\_MANIFESTO\\_ENGLISH\\_VERSION](http://www.pleistocenepark.ru/files/WILD_FIELD_MANIFESTO_ENGLISH_VERSION)

פרויקט היונה הנוודת האצילה (Passenger pigeon)

פרויקט השבתה של היונה הנוודת האצילה תוכנן מראש כפרויקט הדגל של הארגון Revive and Restore.

המדען הראשי של הארגון, בן נובאק, הוא גם מי שמוביל את הפרויקט מטעמו, ובמובן מסוים, הוא עצמו תוצר של פרויקט זה – הוא התחיל את עבודתו בארגון עוד כסטודנט לתואר שני באוניברסיטת קליפורניה בסנטה קרוז, תחת הדרכתה של בת' שפירו, מי שריצפה את הגנום של היונה הנוודת האצילה וכיום מכהנת בחבר המנהלים של הארגון. את לימודיו במעבדתה מימן הארגון עצמו (Revive & Restore, 2018; Dockser Marcus, 2018). עבודת התזה שלו עסקה בתפקידה האקולוגי של היונה הנוודת האצילה ולפיה למין זה היה תפקיד חשוב בעיצוב סביבתו: להקות היונים, שמספרן נאמד במיליונים ואף במיליארדים, היו שוברות את ענפי העצים עליהן היו מתיישבות, פוערות קרחות בחופת היער, ובכך מאפשרות לאור השמש לחדור אל היער, וכן היו מדשנות את אדמתן באמצעות צואתן. התוצאה הייתה סיוע להתחדשות היערות, ולשמירת והתחדשות סביבות מחייה של מינים רבים נוספים. לכן, טוענים ב-Revive & Restore, השבתה של היונה הנוודת האצילה היא קריטית להצלחת המאמצים לשמר ולחדש יערות אלו, ותיטיב עם כלל מיני הצמחים ובעלי-החיים המסתמכים על סביבה זו. כיום נמצא נובאק באוניברסיטת מונאש שבאוסטרליה לצורך לימודי הדוקטורט שלו, אך הוא ממשיך להוביל את הפרויקט מטעם הארגון (Revive & Restore, 2018).

פרויקט השבתה של היונה הנוודת האצילה – ככל פרויקט אחר שמושאו הוא ציפור – עומד מראש בפני מכשול, והוא שכיום, בלתי אפשרי לשבט ציפורים בשיטה המקובלת, הנקראת "Nuclear transfer cloning". זאת, כיוון שבמקרה של ציפורים, בניגוד ליונקים, למשל, למדענים אין את היכולת לזהות את הרגע המתאים לפעולת השיבוט, הכוללת את הוצאת גרעין התא של הביצית לפני שהיא מופרית. עובדה זו הביאה לצורך לפתח שיטה אחרת לשיבוט ציפורים, במסגרתה על המדענים להוציא מעוברים של המין אותו הם מבקשים לשבט תאי רבייה – כלומר, תאים שיתפתחו לביצית או זרע – ולשמרם במעבדה. לאחר-מכן, יש להחדיר את התאים הנ"ל לעובר המטרה המתפתח מהמין השני – כלומר, המין שנועד להיות הפונדקאי – ברגע הנכון של התפתחותו, כך שאותם תאים יגיעו לאיברי הרבייה המתפתחים שלו. פעולה זו אינה משנה את העובר עצמו או את הגנום שלו, אך במידה והדבר מצליח ותאי הרבייה אכן מגיעים ליעדם, כאשר הוא עצמו יעמיד דור חדש של

צאצאים, ייתכן ואלו ייוולדו מאותם תאי רבייה שהוחדרו אליו, ועל-כן יהיו שייכים, בפועל, למין המטרה אותו ביקשו החוקרים לשבט. כדי להגדיל את סיכויי ההצלחה של שיטה זו, ניתן גם לנסות ולערוך את הגנום של הפונדקאי כך שהוא לא יפיק תאי רבייה בעצמו. כך, אם וכאשר הוא יתרבה, יהיה זה בהכרח באמצעות התאים הערוכים שיוחדרו אל מערכת הרבייה שלו (Shapiro, 2015, pp.153-158). בהתאם למכשול הנ"ל, מצהירים ב-Revive & Restore כי פרויקט זה נועד בין היתר גם לפיתוח טכנולוגיות שיוכלו לשמש לשימור מיני ציפורים נוספים (Revive & Restore, 2018).

לפרויקט חמישה שלבים, אותם ניתן לחלק לשלושה פרקים:

1. מחקר גנטי (*in silico*), הכולל את השוואת הגנום של היונה הנוודת האצילה לזה של קרובתה החיה, ה-Band tailed pigeon, שנבחרה לשמש להשבתה, וזיהוי האזורים בגנים של האחרונה אותם יש לערוך, בהתאם לתכונות של היונה הנוודת האצילה אותן מבקשים החוקרים להשיב.

2. השבה (*in vivo*-ו-*in vitro*), הכוללת את עריכת תאי הרבייה של יוני Band tailed pigeon, כך שצאצאיהן של היונים אשר יישאו את תאי הרבייה האלו ייוולדו עם מטען גנטי קרוב לזה של היונה הנוודת האצילה, ועם התכונות אותן מבקשים המדענים להשיב, וכן רבייה בשבי של היונים שיוולדו.

3. שיקום (*in situ*-ו-*ex situ*) – גידול להקות יונים בתנאים מלאכותיים, ולבסוף השבתן לטבע.

שאיפתם של העוסקים בפרויקט היא ליצור את הדור הראשון של יונים נודדות אצילות עד שנת 2025, ולהתחיל את השבתן לטבע ב-15 השנים העוקבות לאירוע זה (Revive & Restore, 2018).

עד היום, הושלם ריצוף הגנום של היונה הנוודת האצילה, כמו גם של קרובתה, ה-Band Tailed Pigeon. בעקבות זאת, החל המדען ראהול ריין, מאוניברסיטת מונאש שבאוסטרליה, להשוות בין הגנומים של שני המינים במטרה לזהות את המוטציות אשר מייחדות את היונה הנוודת האצילה. אך זהו רק השלב הראשון בתהליך: לאחר-מכן, יש לזהות את המוטציות הספציפיות האחראיות לתכונות מסוימות, ולבדוק כיצד הן באות לידי ביטוי כשהן מוספות אל תוך גנום ערוך. כאשר מדובר ביונקים, ניתן להשתמש בתאי גזע לצורך כך, אך לא אצל ציפורים. על-כן, עובד נובאק יחד עם צוותו של המדען טים דוראן על פיתוח של כלים לעריכה גנטית אצל יונים. תקוותם היא ליצור יונת "מודל" במעבדה, בה ניתן יהיה לערוך ניסויים בעריכה גנטית בדור אחד. הצעד הראשון בדרך להגשמתה הוא הכנסת גן חדש אל תוך הגנום של יונים, גן המכונה Cas9, ואשר לו תפקיד בשיטת העריכה הגנטית הקרויה CRISPER. את הגן הם מנסים להחדיר אל תאי רבייה של יונים, ואז,

באמצעות שיטת שיבוט הציפורים שהוסברה לעיל, ליצור את מה שמכונה "Germ-Line Chimera" – ציפורים שלהן עצמן אין את הגן המדובר, אך לצאצאיהם – כן. ביוני 2018 נולדו שתי היונים הראשונות, זכר ונקבה, שבאברי הרבייה שלהן תאים שבמטענם הגנטי מצוי גן זה. בנובמבר, הטילה הנקבה ביצים לראשונה. המשמעות היא שבתחילת 2019, כך מקווים החוקרים, יבקעו גוזלי יונים אשר לראשונה יישאו בגנום שלהם את הגן המדובר. על יונים אלו ניתן יהיה להפעיל את טכנולוגיית העריכה הגנטית CRISPER. פעולות אלו נועדו לאפשר לחוקרים לבצע עריכה גנטית ביונים ביתר קלות בפרויקט זה, ובכלל. לפי הערכתם, ניסויים אלו בעריכה גנטית צפויים להתחיל בשנת 2020 (Revive & Restore, 2018).

במקביל לפעולות אלה, הסתיים גם מחקר אודות הרגלי המחיייה והרבייה בשבי של ה-Band tailed pigeon. למידע שנאסף במחקר זה צפוי תפקיד חשוב בשלב השלישי של הפרויקט, הכולל את יצירת הלהקות הראשונות ואת השבתן לטבע, שם הן יודרכו, מקווה נובאק, בידי יונים שייצבעו כך שיראו כמו היונה הנוודדת האצילה ויאולפו להובילן לאורך סביבת המחיייה הטבעית של היונה הנוודדת האצילה (Biello, 2013; Revive & Restore, 2018).

#### פרויקט הממותה הצמרירית (Woolly mammoth)

כמו פרויקט השבת היונה הנוודדת האצילה, גם פרויקט השבת הממותה הצמרירית נתמך בידי הארגון Revive & Restore, ונקרא בפרסומיהם "The Woolly Mammoth Project". הוא מנוהל על-ידי הגנטיקאי ג'ורג' צ'רצ', במעבדתו שבאוניברסיטת הרווארד, ובפרסומי המעבדה הוא מכונה "De-extinction and/or novel species" (Church Lab, 2018). מטרתו אינה להשיב לחיים את הממותה הצמרירית עצמה, אלא להצליח ליצור יצור-כלאיים של ממותה צמרירית ופיל אסיאתי או אפריקני, שיוכל לתפוס את מקומה בסביבת מחיייתה המקורית (Knapton, 2018). כדי לעשות זאת, בכוונתם של החוקרים להשתמש בטכנולוגיית CRISPR כדי לערוך את הגנום של פיל אסיאתי או אפריקני, ולהוסיף לו תכונות אשר ייחדו את הממותה הצמרירית ואפשרו לה לחיות באקלים הקר של האזור הארקטי. נכון להיום, השלים צוותו של צ'רצ' מספר צעדים בדרך להשלמת הפרויקט:

ראשית, רוצפו הגנומים הן של הממותה הצמרירית והן של הפיל האפריקני במלואם, בעוד הגנום של הפיל האסיאתי רוצף בחלקו, כך שניתן לערוך השוואות ביניהם. על-פי הפרסומים, ישנן כ-1.4 מיליון מוטציות בהן נבדל הגנום של הממותה הצמרירית מזה של הפיל האסיאתי. משמעות הדבר היא כי הפיל האסיאתי הוא כבר, במובן מסוים, 99.96% ממותה צמרירית (Revive & Restore, )

2018). כפי שהוזכר, תכנית העבודה של הפרויקט אינה דורשת את עריכתו של הגנום של הפיל האסיאתי כך שיהיה זהה לחלוטין לזה של הממותה, אלא זיהוי של תכונות המבדילות את הממותה, ואז "הוספתן" של תכונות אלו לגנום של הפיל האסיאתי או האפריקני. עד כה, זוהו ונבחרו הגנים האחראים ל-44 תכונות אותם מבקשים החוקרים לערוך אל תוך הגנום של הפיל האסיאתי או האפריקני (Novak, 2018).

במקביל, מגדלים החוקרים במעבדה תאי גזע של פילים אסיאתים, לתוכם אפשר יהיה לערוך את השינויים בגנום שהם מבקשים לעשות. את תאי הגזע ניתן לפתח לכדי כל סוג של תא, וכך לבדוק את השפעת הגנים של הממותה על תאי גוף שונים – תאי דם אדומים, תאי שיער, ועוד (Revive & Restore, 2018). השלב הבא יהיה יצירת עוברים הנושאים את הגנום המהונדס (Revive & Restore, 2018). שלב זה טרם התחיל, ולפי דברי צ'רצ' בכנס בשנת 2017, הוא וצוותו רחוקים כשנתיים, נכון למועד התבטאותו, מהוצאתו לפועל (Devlin, 2017). עם זאת, ההכנות אליו אכן התחילו – תכניתם השאפתנית של צ'רצ' וצוותו היא לא להשתיל את העוברים הללו ברחמיהן של פילות אסיאתיות, כי אם לבנות רחם מלאכותי (Revive & Restore, 2018). זאת, בין היתר, משום שהחוקרים מבקשים להימנע מהתערבות במחזור הרבייה של פילה אסיאתית, מין שבעצמו מצוי בסכנת הכחדה (Pascual, 2017).

על-פי תכנית המחקר, לאחר שיוולד הדור הראשון של אותם יצורי-כלאיים, הם יגודלו בידי פילים החיים כעת בגני חיות, ובמקביל ייחשפו לקור באופן מבוקר כדי להרגילם אליו. לאחר שאוכלוסייתם תגדל מספיק, ניתן יהיה לנסות ולהעבירם לסביבות המחיה המקוריות של הממותה הצמרירית. האתר הראשון אליו ככל הנראה יובאו אותם יצורי-כלאיים הוא Pleistocene Park – פארק הפלוסטיקון – המצוי בסיביר וקרוי על שמה של התקופה הגיאולוגית הקודמת לזו הנוכחית, ושבה חיו הממותות (Revive & Restore, 2018).

הפרויקט מומן, לפחות בתחילת דרכו, מכספי המחקר של צ'רצ' במעבדתו בהרווארד ומכספים שהועברו בידי Revive & Restore. בשנת 2015 נתקבלה תרומה על-סך מאה אלף דולר למימון הפרויקט מאיש העסקים פיטר תייל (Peter Thiel) (Mezrich, 2017, p.195). בחודש מרץ 2018, פנו מפתחי המשחק "Brutal Age", המפותח עבור טלפונים חכמים, לארגון Revive and Restore בהצעה: לארח אירוע התרמה עבור פרויקט הממותה הצמרירית. הערב הניב תרומות בסך 41,853 דולר (Revive & Restore, 2018). עלילת המשחק מתרחשת בתקופת האדם הקדמון, המחוברת

בתרבות לתקופת חייה של הממותה, כך שיש מקום להניח כי עבור מפתחי המשחק, מדובר במעשה בעל ערך פרסומי ושיווקי.