

דוח מסכם – פרויקט 362-0736

מוגש למועצת החלב ב- 10.6.2026

כותרת המחקר: השפעת מליחות וקשיות מי השתייה של פרות חלב על צריכת מים, חומציות הכרס, צריכת מזון, תנובת חלב ורכיביו וזיהום הסביבה

מוגש על ידי: ד"ר יהושב בן מאיר, המחלקה לחקר בקר וצאן, המכון לחקר בע"ח, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני

הקדמה: דוח זה מסכם את תוצאות הניסוי שנערך במהלך שלושת שנות המחקר בהתאם למטרות 1 עד 5 בתכנית המלאה – בחינת ההשפעה של מוליכות מי השתייה על צריכת המים והמזון של פרות חלב גבוהות תנובה, תנובת חלב ורכיביו. תוצאות מטרות 1 ו-2 פורסמו כמאמר ותוצאות מטרה 3 נמצאות תחת הליכי כתיבה.

תקציר

מגמת השימוש במים מותפלים במדינות ואזורים צחיחים או צחיחים למחצה עבור מטרות ביתיות, תעשייתיות וחקלאיות נמצאת בעלייה. כתוצאה מכך, באזורים אלו, מי השתייה המוצעים לפרות חולבות מכילים ריכוזים נמוכים יותר של מלחים ומינרלים מאשר בעבר. בישראל, היקף השימוש מגיע עד לכשליש מסך המים השפירים. הערכה ישירה של כלל המלחים המומסים במים נעשית ע"י מדידה של מוליכות חשמלית (electrical conductivity, EC) ובהתייחס למדד זה מוליכות המים נעה בין כ-900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ כאשר המים הינם מי מוביל או בארות ועד 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ כאשר המים מעורבבים עם מים שמקורם ממתקני ההתפלה כאשר מוליכות המים עשויה להשתנות מדי יום. על אף שמים עם כלל מוצקים מומסים (total dissolved solids, TDS) של עד 1500 חלקי מיליון (ח"מ, ppm כ-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) נחשבים בטוחים לשתייה, ריכוז מלחים נמוך מהרגיל עשוי להשפיע על הפיזיולוגיה של הכרס, על צריכת המזון והמים, או על תפוקת החלב. בהתאם לכך, בחנו בניסוי מבוקר את השפעת מליחות מי השתייה בטווח של מוליכות חשמלית (EC) בין 400 ל-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ על ביצועי פרות חולבות כאשר המים ברמות המוליכות השונות הוכנו על ידי הוספה מדודה של תמיסת מלח (סודיום כלוריד) מרוכזת. לאחר הרגלה של שבועיים לאבוסים ושקתות פרטניות ארבע פרות הולשטיין ישראליות חולבות גבוהות תנובה קיבלו מי שתייה ברמות מוליכות של 400, 600, 800 או 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ במשך ארבע תקופות ניסוי במבנה של ריבוע לטיני – כל אחת

מהפרות קיבלה כל אחד מהטיפולים. המוליכות החשמלית שנמדדה בפועל בשקתות, מדי יום, הייתה בממוצע 418, 624, 811, ו-1016 $\mu\text{S}/\text{cm}$. כל תקופה בניסוי כללה 5 ימי הרגלה, 10 ימים לאיסוף נתונים על צריכת המזון והמים, תפוקת החלב ורכיבי החלב, ומשקל הגוף, ו-3 ימים לדגימות חלב, שתן, צואה, ומיץ כרס. נמצא מתאם חיובי מובהק בין מוליכות מי השתייה עם צריכת חומר יבש ותנובת חלב מושווה אנרגיה, כאשר התגובה הגדולה ביותר התקבלה כאשר מוליכות המים הועלתה מ-400 ל-600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. מוליכות מי השתייה השפיעה באופן שלילי על נעכלות ולא נמצאה השפעה מובהקת של מוליכות מי השתייה על ריכוז והרכב חמצות השומן הנדיפות או ריכוז האמוניה בנוזל הכרס. כמו כן לא נמצאה השפעה של מוליכות מי השתייה על צריכת המים שהייתה בממוצע 142 ליטר ליום. בניסוי בשנה העוקבת נבחנה השפעת קשיות מי השתייה על ידי הוספת סידן ומגנזיום על ביצועי פרות חולבות ונמצא דפוס דומה – עלייה בצריכת המזון וייצור החלב וירידה בנעכלות הסיב ככל בקשיות מי השתייה הייתה ברף העליון מתוך הטווח השכיח. הניסוי בשנה ג נערך בדומה לזה של שנה ב בהבדל ממשקי משמעותי של שתי חלביות לעומת שלוש. תוצאות המחקר מצביעות על השפעות אפשריות של ריכוזי המינרלים במי השתייה על תפוקת החלב של פרות חולבות ועל הפיסיולוגיה של הכרס ומעודדות מחקר נוסף בנושא.

מבוא

ארץ ישראל הינה ארץ צחיחה למחצה המתקיימת ממקורות מים מוגבלים - בעיקר כנרת, אקוויפרים (ההר והחוף) ומי גשם. שכיחות הולכת וגדלה של בצורות לקראת סוף המאה הקודמת ותחילת המאה הנוכחית, כתוצאה משינוי אקלים גלובלי המאופיין בהתחממות והתגברות אירועי מזג אוויר קיצוניים (Stanhill et al., 2015), הביאה למחסור הולך וגובר במים שפירים, וחייבה את מדינת ישראל, בנוסף להובלת מדיניות צמצום וחיסכון במים, לייצר מקורות מים נוספים (Dreizin et al., 2008). בהתאם, החלה מדינת ישראל בהקמה של מתקנים להתפלת מי ים בשיטת אוסמוזה הפוכה. כיום, מי ים מותפלים ממתקני ההתפלה מספקים כ-700 מיליון m^3 לשנה ומהווים כשליש מצריכת המים השפירים בישראל (נתוני רשות המים 2020). בעקבות התגברות השימוש במי ים מותפלים, הרכב המים המגיעים לשימושים השונים השתנה אף הוא, כך למשל, המוליכות החשמלית של מים שפירים ירדה מסביבות 800ms/cm לכ-300 ms/cm, ריכוז הכלור ירד מסביבות 250 mg/l לעשרות בודדות וקשיות המים ירדה גם היא מערכים של 250-300ppm כ- CaCO_3 עד לסביבות 80ppm כ- CaCO_3 (Tenne et al., 2015), כאשר הרכב המים משתנה מאתר לאתר ובאותו אתר בזמנים ובעונות שונות, כל זאת בהתאם לאסטרטגיית אספקת המים של מקורות. לשינוי בהרכב המים השלכות שונות המחייבות בחינה והתאמה של צנרת עירונית (Deng et al., 2014), הוספת מינרלים למי שתייה (Birnhack and Lahav, 2007) ושינוי ממשקי השקיה בחקלאות (Yasuor et al., 2020). אולם, נכון להיום, טרם נבדקו ההשפעות האפשריות של השינוי בהרכב המים, המשתנה גם בין עונות כתלות באסטרטגיית אספקת המים של מקורות, ואף

מיום ליום, המסופקים כמי שתייה, על ביצועי פרת החלב. פרה חולבת שותה כ-140-80 ליטר מים ליום וזאת כתלות בצריכת המזון, ייצור החלב, הרכב המזון, ומזג האוויר (Cardot et al., 2016; Appuhamy et al., 2008). חילוף המים היומי (daily water turnover) בגוף פרה חולבת הינו גבוה יחסית לכל יונק אחר ויכול להגיע ל-35% מכל המים בגוף פרה עבור פרה המייצרת 50kg חלב ליום, דבר הגורם לתנודתיות גדולה בריכוז האלקטרוליטים בפלסמה על תהליכים פיסיולוגיים שונים (Maltz et al., 1994). בכל הנוגע לכרס הפרה, לה תפקיד עיקרי בהזנה, פרה חולבת המניבה כ-45kg חלב ליום ושותה כ-150-100 ליטר מים ליום, מחליפה כ-17% מנוזל הכרס בכל שעה (NRC, 2001) כך שלהרכב מי השתייה השפעה ישירה ומידית על תנאי הכרס. בין ההשפעות האפשריות של הרכב המים על פרת החלב ניתן לכלול:

- (1) למים רכים תהיה יכולת בופר נמוכה יותר ממים קשים (Deng et al., 2014), דבר העשוי להשפיע על חומציות הכרס, ייצור חומצות שומן נדיפות ופירוק תאית בכרס (Argyle and Baldwin, 1988);
- (2) שתיית מים מרובה יותר כאשר המים מכילים יותר או פחות מלחים (השפעה בתחומים אלו טרם הובררה) עשויה להשפיע על התנהגות האכילה, קצב מעבר המזון ונעכלות המנה; (3) מים מותפלים מכילים פחות מינרלים כמו סידן, מגנזיום, נתרן וכדומה, דבר הדורש התייחסות כאשר מתכננים את כמות המינרלים במנה מצד אחר וכאשר שואפים לצמצום נתרן בשפכי הרפת מצד שני (Castillo et al., 2013); ו- (4) להבדלים במליחות ותכולת המינרלים השפעה על פעילות מיקרוביולוגית (Yang et al., 2020), ובהתאם לכך על נעכלות הסיב, ייצור חומצות שומן נדיפות וייצור חלבון מיקרוביאלי בכרס.

בסקירת פרסומים מדעיים ב-Journal of Dairy Science, הירחון המוביל בפרסום תוכן מדעי ויישומי בנושא רפת החלב, הצלחנו למצוא מעט מאוד מחקרים הבוחנים את השפעת הרכב, קשיות ו/או מוליכות המים על ביצועי פרות חלב. בעגלים נמצא (Senevirathne et al., 2018) כי כאשר השקו עגלים מגיל יומיים ועד 70 יום מים מותפלים הם נטו לשתות מעט יותר ולגדול מהר יותר. בנוסף, צריכת המזון שלהם לאחר הגמילה הייתה גבוהה יותר לעומת העגלים שהושקו במי רשת. ישנן שתי עבודות ישנות יותר בהן בחנו את השפעת מליחות המים גם על ביצועי פרות חולבות. בראשונה, שנעשתה בערבה בישראל (Solomon et al., 1995), נבחנה ההשפעה של השקית פרות חלב במים מליחים (580 mg/l Cl⁻, ~2.3 ms/cm) לעומת השקיה במים שפירים (249 mg/l Cl⁻ ~0.7 ms/cm). הפרות שקיבלו מים שפירים שתו יותר מאשר הפרות שקיבלו מים מליחים (128.2 לעומת 117.4 ליטר ליום לפרה) והניבו יותר חלב (31.6 לעומת 29.8 ק"ג חלב מושווה שומן/יום). המחקר השני שנערך בויסקונסין ארה"ב במחצית המאה שעברה (Allen et al., 1958), מציג תנובת חלב גבוהה יותר (8 לעומת 9 ק"ג ליום) כאשר פרות הושקו במים מותפלים (TSS קרוב ל-0) לעומת מי באר (TSS = 180ppm). על אף שלא תורמים ידע אקטואלי ורלוונטי לפתרון בעיית המחקר הנוכחית, מעודדים בחינה של השפעה אפשרית של מתן של מים ברמת מליחות שונה על יצרנות ויעילות פרות חלב. גם בסריקה של תקצירי

ההרצאות מכנסי הבקר בישראל, בה מתחולל השינוי הדרמטי בהרכב המים, ב-20 שנה האחרונות (2001-2019) לא מצאנו התייחסות לשינוי בהרכב המים בישראל ולהשפעות אפשריות על משק החלב. ניתן להניח כי השפעות קיצוניות היו יוצרות תופעות מקומיות המושכות תשומת לב מיוחדת לנושא וייתכן אף כי השינוי בהרכב המים והשתנות ההרכב לאורך זמן בהתאם לספיקת המים ממקורות שונים משפיע באופן שולי על יצרנות ותנובה במשק החלב. אולם, גם לשינוי קטן בתוספת השולית של הייצור – בה אחוזי הרווח גבוהים ביותר, בהיקפים נרחבים, בין אם לרעה ובין אם אי מימוש פוטנציאל, השלכה כלכלית גבוהה. תכנית המחקר המוצעת נועדה לצמצם את הפער בין השינוי שחל במציאות לעומת הידע היישומי הרלוונטי הקיים, זאת על ידי בחינה של השפעת השינוי במליחות וקשיות מי השתייה על ביצועי פרת החלב.

ההיפותזה בבסיס העבודה הנוכחית נשענת על שלושה אדנים: 1. פרות חולבות שותות כמות גדולה של מים בכל יום ביחס למשקל גופן ולמים תפקיד משמעותי הן בגוף הפרה והן בכרס. 2. חל שינוי משמעותי במשק המים בישראל שמחייב בחינה של השפעות אפשריות על פיסיוולוגיה ויצרנות של פרות חלב ו-3. מתן מים רכים לפרות חלב מפנה "מקום" במים להוספה של מינרלים ומלחים רצויים ומהווה פוטנציאל לשיפור תנאי הכרס להגברת היצרנות והרווחיות. **בשנה ב** – ההיפותזה היא שישנה השפעה של מוליכות מי השתייה בתוך הטווח השכיח שבין 400 ל-100 $\mu S/cm$. אם כי נכון ליום תחילת המחקר לא ידוע האם קיימת השפעה כזו ומה טיבה. **בשנה ג** – ההיפותזה היא כי ישנה השפעה של קשיות מי השתייה (ריכוזי סידן ומגנזיום) על ביצועי פרות חולבות

לפיכך, מטרת המחקר היו:

1. הקמה, כיוול ובחינה של הפעלת שקתות פרטניות המוזנות מתמיסות רכז שונות והכנה וכיוול של תמיסות הרכז השונות הנדרשות לניסויים.
2. בחינת ההשפעה של מוליכות מי השתייה על צריכת המים והמזון של פרות חלב גבוהות תנובה, תנובת חלב ורכיביו, ויעילות ההזנה.
3. בחינת ההשפעה של קשיות מי השתייה על צריכת המים והמזון של פרות חלב גבוהות תנובה, תנובת חלב ורכיביו, ויעילות ההזנה.

חומרים ושיטות

שנה א – תצפיות ומדידות ראשוניות והקמת המערכת הניסויית

תצפיות ומדידות ראשוניות

צריכת מים קבוצתית:

בכניסת המים לרפת הפרטנית בבית דגן חובר שעון מים ומונה המים נקרא ותועד במהלך השבוע לאורך השנה בשעה קבועה (1200). כמות המים שנמדדה חולקה במספר הפרות

בסככה באותו זמן לחישוב צריכת מים ממוצעת. על מנת להעריך את כמות המים שמתאדה מהשקתות ולא נצרכת על ידי הפרות בוצע מבחן התאדות מגיגית על ידי הצבה של 3 דלים בסביבת הרפת ומדידה של ירידת המפלס בזמן של 48 שעות. ירידת התאדות מהשקתות חושבה בהתאם ולפי שטח הפנים של השקתות בסככה וסכומה נוקה מסך המים שנמדדו כצריכה.

צריכת מים באירוע שתייה בודד:

בזמן שהפרות היו בחליבה, באחת השקתות הסמוכה לשער היציאה לכיוון מכון החליבה סומן גובה המים כאשר השוקת מלאה לחלוטין. לאחר מכן, ברז ההזנה של השוקת נסגר, כמות מדודה של ליטר מים הוצאה מהשוקת באמצעות משורה וגובה המים סומן בכל פעם עד ליצירת שנתות לאורך דופן השוקת המציינות את הנפח בה. מדידת כמות המים באירוע שתייה כללה מילוי השוקת עד להפסקה על ידי המצוף, סגירת ברז ההזנה, הפרעה לפרות אחרות כך שרק פרה אחת ניגשת ושותה מהרפת, רישום של גובה המים לאחר תום אירוע השתייה והתרחקות על מנת שלא להמשיך להפריע לפרות. במקביל, אירוע השתייה צולם בווידאו למדידת משך האירוע, מספר הלגימות וכדומה. באופן זה נערכו 6 מדידות.

מדידת מליחות וחומציות המים:

לאורך השנה, פעם בשבוע, בימי א, נדגמו מי רשת בסביבת הרפת, המים נדגמו בברז נקי ולאחר זרימת מים של כשתי דקות. מליחות וחומציות המים נמדדו באופן מידי ודוגמה נשמרה לצורך אנליזה למדידת תכולת מינרלים בהמשך.

מדידת ספיקת המים בכניסה לשוקת בגבהים שונים:

לאחר שנמצא במדידות הראשוניות כי פרות מסוגלות לשתות כ-35 ליטר בפחות מ-2 דקות באירוע שתייה בודד. עלה החשש כי גודל השוקת וקצב המילוי עשויים להגביל את קצב השתייה של הפרות באופן שיהווה גורם מגביל בניסוי. על מנת לבחון את הנושא בוצעה מדידה של ספיקת המים דרך מצוף סטנדרטי. המבחן בוצע על ידי חיבור של צינור בקוטר $\frac{3}{4}$ צול באורך 30 מטר (המרחק המשוער בין מיקום מכלי המילוי לבין השקתות) לדלי מים מצידו האחד ואל מצוף המחובר לדלי מים בו שנתות מצידו השני. לאחר מכן, בבניין בעל שתי קומות נמדדה ספיקת המים בגובה 2, 3 ו-4 מטר מעל גובה המצוף. היחס בין גובה המים לבין הספיקה על מנת למצוא את הגובה המינימאלי שנדרש למילוי המים בקצב מספק, חושב על ידי שימוש במשוואת ברנולי:

$$Q\left(\frac{l}{min}\right) = AB\sqrt{2Gh}$$

כאשר Q = ספיקת המים בליטר לדקה, A = מקדם המשקלל את איבוד עומד המים בצינור ובמצוף, B = שטח חתך הזרימה בצינור, G = תאוצת הכובד ו- h = גובה פני המים.

המערכת הניסויית

המערכת הניסויית כוללת את המרכיבים העיקריים הבאים: (א) מגדל בגובה 4 מטר מעל פני הקרקע על משטח בטון עליו ממוקמים 4 מכלי מילוי בהם נמצאים מי השתייה בהרכבים השונים הממלאים את השקתות ("מכלי הטיפול"). (ב) מיכל מים ("המיכל הגדול") למילוי מכלי הטיפול המתמלא לסירוגין ישירות ממי הרשת או דרך קולונות טיהור מים לאחסנה תמידית של מים במליחות נמוכה ($400 < \mu S/cm$). (ג) מערכת הדשייה רובוטית (גביש טכנולוגית בע"מ, נען ג'אן השקיה בע"מ, קיבוץ נען, ישראל) האחראית על הזנת המיכל הגדול והיכלים הקטנים תוך הוספת תמיסות רכז בהתאם לטיפולים (ד) ארבעה מכלי טיפול המזרימים מים אל השקתות בכל פעם שמפלס המים בשקתות יורד והמצוף פותח את הברז, דרך מדי מים המחוברים למחשב. (ה) ארבעה שקתות פרטניות בנפח 45 ליטר כל אחת, הממוקמות בסמוך לארבעה אבוסים פרטניים בסככה הפרטנית שברפת המחקרית בבין דגן אשר מוזנות ממכלי המילוי. (ה) מחשב + תכנה ייעודית לשליטה במערכת הרובוטית וניטור ואיסוף המידע. את דף השליטה הראשי של התוכנה ניתן לראות באיור 1.

בחינת המערכת הניסויית

בקצה הרפת הפרטנית ברפת המחקרית בבית דגן הוקצו 8 עמדות פרטניות לצורך המחקר. העמדות סודרו לסירוגין – עמדה לאבוס פרטני ועמדה לשוקת פרטנית כאשר הפרות שויכו כל אחת לאבוס ושוקת משלה הצמודים זה לזה. ארבע פרות חולבות, בריאות, בתחלובה שנייה ומעלה, גבוהות תנובה ($35 < \text{ק"ג חלב ליום}$) נבחרו מתוך עדר וולקני והורגלו לאבוסים הפרטניים. לאחר מכן, הופרדו 4 הפרות לקבוצה נפרדת על ידי הצבת מחיצה תוך שמירה על שטח מחייה זהה לשאר הפרות בסככה, השקתות בסככה רוקנו והוצבו 4 שקתות פרטניות בסמוך לאבוסים. בשלב ראשון השקתות נפתחו כך שכל הפרות יוכלו לגשת לכל אחת מהשקתות זאת על מנת שהפרות יבינו כי המים נמצאים מעבר לעולים ולא כפי שהן רגילות. תוך מספר שעות ניגשו כל הפרות ושתו מתוך השקתות בעמדות – מצב זה נשאר במשך 24 שעות. לאחר מכן, ננעלו השקתות ולכל פרה הוגדרה שוקת אחת ממנה יכלה לשתות. בהתחלה כווננו הפרות כל אחת לשוקת והשערים לשקתות נפתחו עבורן ידנית עד שכל פרה למדה לאיזו שוקת לגשת. בימים שלאחר מכן כבר נכנסו הפרות באופן עצמאי כאשר קיום צריכת מים מספקת וודא באמצעות תצפית ובאמצעות מדידה של המים שזרמו ממכלי המילוי אל השקתות. לאחר מכן נמדדה צריכת המים הפרטנית של כל פרה לאורך היממה תוך שיפור של מבנה השוקת על מנת למנוע השפרצות ונזילות, השקתות נוקו בכל יום למעט סופי שבוע. תקופה זו ארכה 21 יום. האזור סביב השוקת נבחן בכל בוקר עד לוודוא כי מבנה השקתות לא מאפשר זליגה או השפרצה אל מחוץ לשוקת.

שנה ב

חיות, מבנה הניסוי ומערכת הטיפולים

הניסוי תוכנן כריבוע לטיני של $4 * 4$ עם אותן ארבע פרות חולבות להן הוצעו מים במוליכות שונה במשך ארבע תקופות עוקבות. הניסוי נערך במהלך יוני עד אוגוסט 2022. לצורך הניסוי

נבחרו ארבע פרות חולבות, בריאות בתחלובה שנייה ומעלה באמצע תחלובה (ממוצע \pm ס"ת: גיל = 4.2 ± 64.1 חודש, תחלובה = 0.43 ± 3.75 , ימים בתחלובה = 21 ± 119 ומשקל גוף = 35 ± 613 ק"ג). הפרות שוכנו בקצה המרוחק של הסככה הפרטנית ברפת המחקרית בוולקני המיועדת למדידה של צריכת מזון פרטנית. בסככה זו, הפרות יכולות לנוע בחופשיות בשטח הסככה ונהנות מגישה חופשית לשקתות משותפות. עבור הניסוי הנוכחי, הפרדנו את ארבעה אבוסים פרטניים משאר הקבוצה על ידי הצבת מחיצה כאשר ארבעה מהאבוסים הפרטניים הוסבו לשימוש כשקתות פרטניות. הפרות הורגלו למשטר ההשקאה החדש בארבע שלבים. בשלב הראשון, שארך כשבועיים, כל אחת מ-4 הפרות קיבלה באקראי גישה ל-2 אבוסים פרטניים הצמודים זה לזה כאשר הן עדיין נהנות מגישה לשוקת משותפת. בשלב שני, ארבעת הפרות הופרדו באמצעות מחיצה משאר הפרות בסככה והתרגלו לקבוצה הקטנה במשך שבוע נוסף. בשלב השלישי ארבעה מתוך האבוסים הפרטניים הוסבו לשקתות כאשר כל אחת מהפרות יכלה לגשת לכל אחת מהשקתות. שלב זה נועד בכדי שהפרות ילמדו שהשקתות נמצאות במקביל ובסמוך לאבוסים. בשלב הרביעי והאחרון, עבור כל פרה הוגדרה שוקת פרטנית בסמוך לאבוס הפרטני שלה. לאחר ויודוא שכל פרה שותה באופן תקין, הוזרם לכל שוקת מים במליחות שונה בהתאם לטיפולים הבאים – 400, 600, 800, ו-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ על ידי הוספה של סודיום כלוריד למי השתייה. הטיפולים ניתנו במשך 4 תקופות כאשר כל אחת מהפרות קיבלה כל אחד מהטיפולים. כל תקופה ארכה 17 יום כולל 3 ימים הרגלה 12 ימים של מדידת צריכת מזון ותנובת חלב ורכיביו ויומיים לצורך דיגום מזון וצואה לבחינת נעכלות. דגימות מזון וצואה נדגמו בכל סוף תקופה בניסוי ונעכלות ח"י ורכיבים שונים במנה חושבה על ידי שימוש בסיב לא נעכל (iNDFom 240h) כסמן פנימי. חיישני pH הוחדרו לרטיקולורומן למדידה רציפה של חומציות הכרס. מודל סטטיסטי כולל טיפול, תקופה וטיפול*תקופה כמשתנים קבועים, פרה כמשתנה אקראי ומדדים יומיים כמדידות חוזרות במודל (1) AR. תגובה (contrast) למידת המליחות והקשיות נמדדה עבור קו רגרסיה. מובהקות הוגדרה כ- $p < 0.05$.

שנה ג

הניסוי בשנה ג נערך באופן דומה לשנה ב כאשר מטרת הניסוי הייתה לבחון את השפעת קשיות מי השתייה (על ידי הוספת מינונים מדודים של קלציום כלוריד ומגנזיום סולפט) על ביצועי פרות חולבות. הטיפולים כללו מי שתייה ברמות של כ-80, 160, 240 ו-320 ח"מ (מושווה CaCO_3). התמיסות הוכנו על ידי הוספה מדודה של תמיסות מרוכזות של סידן כלורי ומגנזיום סולפט על ידי שימוש ברובוט הדשייה שהותאם למשימה זו. לאחר הכנתם, מי השתייה אוחסנו בארבע מכלים שונים, כל מכל עבור טיפול אחד, במגדל המוגבה בכ-4 מטר מעל השקתות. בכל שוקת מותקן מצוף המווסת את זרימת המים מתוך המכל המחובר אליה, וביציאה מכל מיכל מותקן שעון מים המחובר למערכת איסוף נתונים המודד את צריכת המים. הפרות שויכו לאותו אבוס ושוקת במהלך הניסוי כאשר מי השתייה שהוזרמו לכל שוקת היו שונים בהתאם לטיפולים. ההבדל ממשקי משמעותי בין הניסוי בשנה ב

לניסוי בשנה ג הוא שבשנה ב ממשק החליבה ברפת היה שלוש חליבות ביום ובשנה ג שתי חליבות ביום.

תוצאות

שנה א:

תצפיות ומדידות ראשוניות

צריכת המים של פרה כפי שנמדדה באופן קבוצתי הייתה כ-150 ליטר ליום כאשר התנודתיות יכולה להגיע להבדל של כ-80 ליטר בין יום ליום (איור 2). גודל אירוע שתייה ממוצע שנמדד היה 21 ליטר כאשר אירוע השתייה הגדול היה 35 ליטר והקטן 11 ליטר. כל אירועי השתייה נמשכו פחות מ-2 דקות. המדידה השבועית של מליחות וחומציות המים מוצגת באיורים 3 ו-4. מליחות מי השתייה (EC) שנמדדה הייתה בטווחים שבין 260 ל-930 $\mu\text{S}/\text{cm}$ כאשר הערכים הגבוהים מייצגים מים ממקורות מסורתיים והערכים הנמוכים מייצגים שילוב של מים ממכונני ההתפלה. הערכים הגבוהים הופיעו לסירוגין עם ערכים נמוכים בתקופת החורף-אביב (נובמבר עד סוף מאי) כאשר בתקופת הקיץ והסתיו (יוני עד אמצע נובמבר) אופיינו במים בעלי מליחות נמוכה ($< 400 \mu\text{S}/\text{cm}$) ללא הופעת מים בעלי מליחות גבוהה (איור 3). חומציות מי השתייה (pH) הייתה בין 6.39 ל-8.08 ונטתה להיות גבוהה יותר (pH נמוך) כאשר המים שולבו עם מים ממכונני ההתפלה והיו בעלי מליחות נמוכה יותר (איור 4).

בחינת המערכת

שילוב התוצאות ממבחן אירועי השתייה ומדידת הספיקה מהגובה המקסימאלי של 4 מטר חייבו התקנה של שקתות פרטניות בנפח של 45 ליטר כאשר זמן המילוי הוא כ-4 דקות על מנת שלא להגביל את שתיית הפרות ולהשפיע על התנהגות השתייה שלהן. במהלך תקופת המדידה הוספו מחיצות פלסטיק מסביב לשוקת על מנת למנוע כניסה של מזון מהאבוסים הסמוכים אל השוקת וכדי למנוע השפצת מים אל מחוץ לה (תמונה 1). במהלך תקופה זו הפרות פיתחו התנהגויות חזרתיות במהלכן השתמשו בלשון כדי להתיז מים מהשוקת שלהן או מהאחרות. לצורך התגברות על בעיה זו הוספנו מחיצות פלסטיק בראש השוקת אשר אפשרו גישה חופשית אך גם ניקזו את המים המותזים חזרה אל תוך השוקת כך שאזור השוקת נשאר יבש (תמונה 2). מדידה פרטנית של צריכת המים גילתה צריכה ממוצעת של כ-150 ליטר ליום ב-8 אירועי שתייה בממוצע כאשר גודל אירוע ממוצע היה כ-18 ליטר. בחלק מאירועי השתייה נצפו אירועי שתייה שהגיעו ל-80 ליטר באירוע אחד (איור 5).

שנה ב:

תוצאות ניסוי השפעת מליחות מי השתייה

תוצאות מלאות מניסוי שנה ב פורסמו כמאמר (Iritz et al., 2021) השפעת מליחות מי השתייה על צריכת המזון היומית ותנובת חלב ורכיביו מוצגים בטבלה 1. נמצא מתאם חיובי בין מליחות מי השתייה ותנובת החלב לצריכת המזון שהייתה גבוהה ב-2.2 ק"ג עבור הפרות בזמן שקיבלו מים במליחות הגבוהה ביותר לעומת הנמוכה ביותר תנובת חלב מושווה אנרגיה

הייתה גבוהה ב-2 ק"ג ליום. לא נמצאה השפעה מובהקת בין מליחות מי השתייה לבין נעכלות ח"י ורכיבי המנה מלבד נעכלות NDF שהייתה ביחס ליניארי שלילי עם ערכים של 45.9, 43.8, 40.9 ו-39.8 עבור מליחות של 1000, 800, 600, 400 ו-1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ בהתאמה (p linear = 0.05).

טבלה 1: השפעת מליחות מי השתייה על צריכת מים ומזון, תנובת חלב, תנובת חלב מושווה אנרגיה (חמ"א) נעכלות NDF וחומציות הכרס.

p		SEM	מוליכות מי השתייה (EC / $\mu\text{S}/\text{cm}$)				תכונה
ריבועי	ליניארי		1000	800	600	400	
			4	4	4	4	N
0.03	0.01	0.53	29.7	29.6	28.3	27.5	צריכת ח"י, ק"ג ליום
0.87	0.69	2.05	145	142	142	139	צריכת מים, ליטר ליום
0.01	0.01	0.43	47.0	45.4	45.4	44.6	חלב, ק"ג ליום
0.62	0.86	0.03	3.51	3.61	3.57	3.52	שומן, %
0.52	0.45	0.01	3.20	3.18	3.22	3.21	חלבון, %
0.40	0.15	0.03	4.93	4.95	4.98	4.94	לקטוז, %
0.02	0.03	0.40	42.4	41.6	41.9	40.4	ECM, ק"ג ליום

ECM = חלב מושווה אנרגיה.

שנה ג:

השפעת קשיות מי השתייה על צריכת המזון, תנובת חלב ורכיביו, משקל גוף, נעכלות המנה ורכיביה וריכוז המינרלים בשתן. מוצגים בטבלאות 2 ו-3.

טבלה 2: השפעת קשיות המים על ביצועי פרות חולבות

p		SEM	קשיות מי השתייה, ח"מ				תכונה
ריבועי	ליניארי		320	240	160	80	
			4	4	4	4	N
0.02	0.20		24.4	23.7	24.6	23.4	צריכת ח"י, ק"ג ליום
0.71	0.27	2.5	104	104	101	101	צריכת מים, ליטר ליום
0.01	0.01	1.60	37.4	36.3	36.0	34.9	חלב, ק"ג ליום
0.74	0.36	0.190	3.46	3.67	3.56	3.54	שומן, %
0.58	0.23	0.024	3.25	3.24	3.28	3.27	חלבון, %
0.74	0.32	0.053	4.15	4.07	4.13	4.12	לקטוז, %

0.02	0.01	0.53	33.3	32.5	32.5	31.3	ECM, ק"ג ליום
0.02	0.01	0.57	34.3	33.7	33.5	32.3	חמ"מ, ק"ג ליום
0.21	0.07	13.2	634	633	628	631	משקל גוף, ק"ג

ח"מ = חלקי מיליון (ppm), חמ"מ = חלב מושווה מחיר, ECM = חלב מושווה אנרגיה.

נמצאה השפעה מובהקת ריבועית של קשיות מי השתייה על צריכת המזון היומית שהייתה גבוהה יותר בדרגה הנמוכה (80 ח"מ) והבינונית (160 ח"מ) אך ללא קשר ליניארי. נמצא מתאם חיובי ליניארי וריבועי מובהק בין קשיות מי השתייה לבין ייצור החלב וללא הבדלים בריכוז השומן החלבון והלקטוז בחלב המתאם החיובי בא לידי ביטוי גם בתנובת חלב מושווה מחיר וגם בתנובת חלב מושווה אנרגיה שהיו גבוהים יותר ככל שקשיות מי השתייה הייתה גבוהה יותר. לא נמצאה השפעה של קשיות מי השתייה על צריכת המים היומית.

טבלה 3: השפעת קשיות המים על נעכלות המנה ורכיביה

p	קשיות מי השתייה, ח"מ				תכונה		
	ליניארי	ריבועי	SEM				
			320	240	160	80	N
			4	4	4	4	
0.10	0.02	0.92	59.2	64.2	66.6	64.0	נעכלות ח"י (%) נעכלות רכיבי המנה, % מח"י
0.57	0.10	0.97	60.1	64.9	66.8	63.1	חלבון (CP)
0.19	0.06	1.47	44.3	50.1	54.1	50.1	ADF
0.01	0.02	1.38	43.0	45.1	51.2	50.0	NDF
0.98	0.51	3.32	24.7	33.5	32.5	27.3	ליגנין
0.76	0.32	0.74	90.9	94.0	94.4	93.0	עמילן

נמצאה קשר ליניארי שלילי בין תוספת קשיות מי השתייה לבין נעכלות ח"י ו-NDF ונטייה לקשר ליניארי שלילי בין קשיות מי השתייה לבין נעכלות ADF. בנוסף, נמצא קשר ריבועי בין קשיות מי השתייה לבין נעכלות NDF כך שתוספת סידן ומגנזיום בתחילה מעט הגבירה את הנעכלות אך קשיות גבוהה יותר הביאה לירידה בנעכלות גם ביחס למים ללא תוספת סידן ומגנזיום.

דיון ומסקנות:

במהלך שנה א של המחקר בוצעו מדידות ראשוניות, על בסיס מדידות אלו הוקמה מערכת ניסויית לצורך שליטה בהרכב מי השתייה וניטור התנהגות השתייה של פרה פרטנית. בחינת

המערכת הראתה כי הצלחנו בשלב זה להקים את המערכת הניסויית. במהלך שנה ב בוצע ניסוי בו מצאנו השפעה מובהקת של מליחות מי השתייה על ביצועי פרות חולבות. תוצאות הניסוי מראות כי על אף שמליחות מי השתייה בטווח הנבדק לא השפיעה על צריכת המים, הייתה לה השפעה מובהקת על צריכת המזון ותנובת החלב ללא שינוי ביעילות. בנוסף, השפעה מובהקת על נעכלות הסיב וחומציות נוזל הכרס מעידה על השפעה ישירה של מליחות מי השתייה על הפיסיולוגיה של הכרס. בשנה ג בוצע ניסוי לבחינת השפעת קשיות מי השתייה על ביצועי פרות חולבות ונמצא דפוס דומה לזה שנמצא בניסוי שנה א – הוספת סידן ומגנזיום הביאה לעלייה ביצרנות של עד 2 ק"ג חלב מושווה אנרגיה ליום לפרה אך גם לירידה בנעכלות הסיב. תוצאות המחקר מהוות אינדיקציה לכך שיש השפעה של מאפייני מי השתייה בטווחים שבין מים מותפלים נמוכי מינרלים לבין מים "מסורתיים" באופן שמצדיק בחינה נוספת של ממשק מי השתייה של פרות חולבות. המערכת הניסויית שהוקמה לצורך מחקר זה מבוססת על הכנת מים והזרמתם בכוח הכבידה לשקתות. מערכת זו מוגבלת ביכולת לנטר ולשלוט בהרכב מי השתייה בתנאי משקיים. במחקר המשכי יש לבחון אישוש או הפרכה של תוצאות מחקר זה והיישומיות שלהם למשק החלב בישראל ובעולם. לצורך כך יש צורך לפתח מערכת תואמת שתתגבר, בין השאר על האתגרים הבאים: א. פעילות רציפה המייצרת זרימה לשוקת בהתאם להתנהגות השתייה של הפרות. ב. יכולת תגובה מיידית בהתאם להרכב מי שתייה משתנה שאינו תלוי ברפת ומגיע ממקור חיצוני. ג. יכולת ספיקה יומית/ שעתית מספקת. ד. הזרמת מים מטופלים לפרות חולבות באופן שלא יוסיף מלחים למי שאר השימושים ברפת ויצמצם הפרשת מלח בשפכי הרפת.

רשימת ספרות

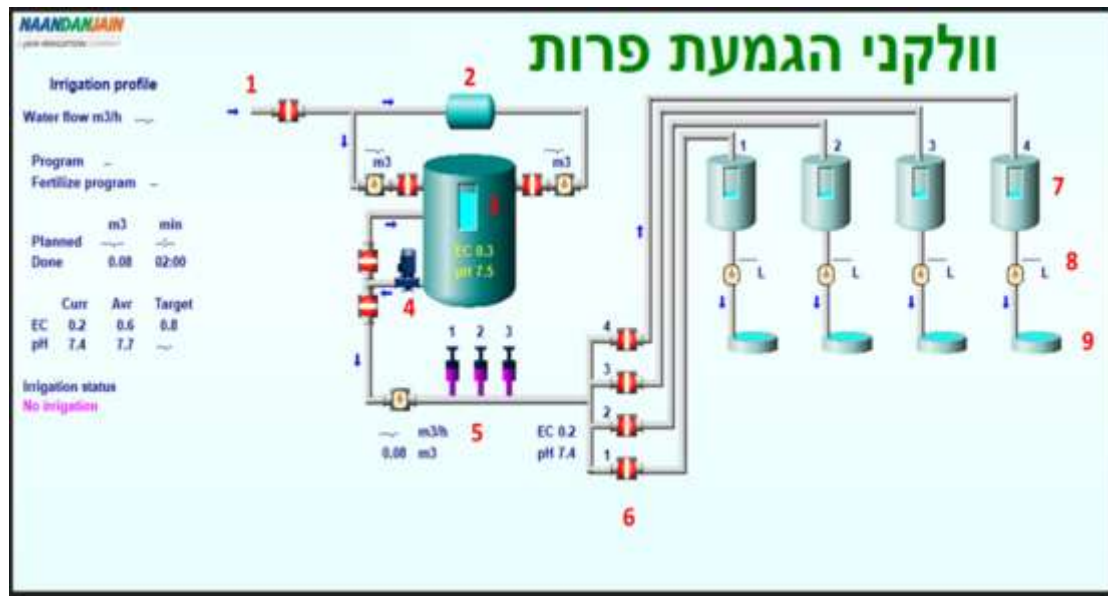
- Allen, N.N., D. Ausman, W.N. Patterson, and O.E. Hays. 1958. Effect of Zeolite Treatment on Hard Drinking Water on Milk Production. *J. Dairy Sci.* 41:688–691. doi:10.3168/jds.S0022-0302(58)90984-6.
- Appuhamy, J.A.D.R.N., J. V. Judy, E. Kebreab, and P.J. Kononoff. 2016. Prediction of drinking water intake by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99:7191–7205.
- Argyle, J.L., and R.L. Baldwin. 1988. Modeling of Rumen Water Kinetics and Effects of Rumen pH Changes. *J. Dairy Sci.* 71:1178–1188.
- Birnhack, L., and O. Lahav. 2007. A new post-treatment process for attaining Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ and alkalinity criteria in desalinated water. *Water Res.* 41:3989–3997.
- Cardot, V., Y. Le Roux, and S. Jurjanz. 2008. Drinking behavior of lactating dairy cows and prediction of their water intake. *J. Dairy Sci.* 91: 2257-2264.

- Castillo, A.R., N.R. St-Pierre, N. Silva del Rio, and W.P. Weiss. 2013. Mineral concentrations in diets, water, and milk and their value in estimating on-farm excretion of manure minerals in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 96: 3388-3398.
- Deng, A., R. Xie, M. Gomez, A. Adin, C. Nam, and J. Hu. 2014. Impact of pH level and magnesium addition on corrosion of re-mineralized seawater reverse osmosis membrane (SWRO) product water on pipeline materials. *DES* 351:171–183.
- Dreizin, Y., A. Tenne, and D. Hoffman. 2008. Integrating large scale seawater desalination plants within Israel ' s water supply system 220:132–149.
- Iritz, A., D. Espinoza, M.G. Taye, F. Salhab, Y. Portnik, U. Moallem, and Y.A. Ben Meir. 2025. Effect of drinking water salinity on lactating cows' water and feed intake, milk yield, and rumen physiology. *Animal* 19. doi:10.1016/j.animal.2024.101389.
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC
- Maltz, E., N. Silanikove, U. Shalit, and A. Berman. 1994. Diurnal Fluctuations in Plasma Ions and Water Intake of Dairy Cows as Affected by Lactation in Warm Weather. *J. Dairy Sci.* 77:2630–2639.
- Senevirathne, N.D., J.L. Anderson, and M. Rovai. 2018. Growth performance and health of dairy calves given water treated with a reverse osmosis system compared with municipal city water. *J. Dairy Sci.* 101:8890–8901.
- Solomon R., Miron J., Ben Ghedalia D., Zomberg Z. Performance of high producing dairy cows offered drinking water of high and low salinity in the Arava desert. 1995. *Journal of Dairy Science*. 78:620-624
- Stanhill, G., D. Kurtzman, and R. Rosa. 2015. Estimating desalination requirements in semi-arid climates: A Mediterranean case study. *Desalination* 355:118–123.
- Tenne A., Hoffman D., Levi E. Quantifying the actual benefits of large scale seawater desalination in Israel. 2015. Water Authority – State of Israel Desalination Division. https://www.gov.il/BlobFolder/generalpage/desalination-main/he/Quantifying_the_actual_benefits_of_large_scale_seawater_desalination_in_israel.pdf

Yang, C., X. Wang, F. Miao, Z. Li, W. Tang, and J. Sun. 2020. Assessing the effect of soil salinization on soil microbial respiration and diversities under incubation conditions. *Appl. Soil Ecol.* 155:103671.

Yasuor, H., U. Yermiyahu, and A. Ben-Gal. 2020. Consequences of irrigation and fertigation of vegetable crops with variable quality water: Israel as a case study. *Agric. Water Manag.* 242:106362.

איורים ותמונות

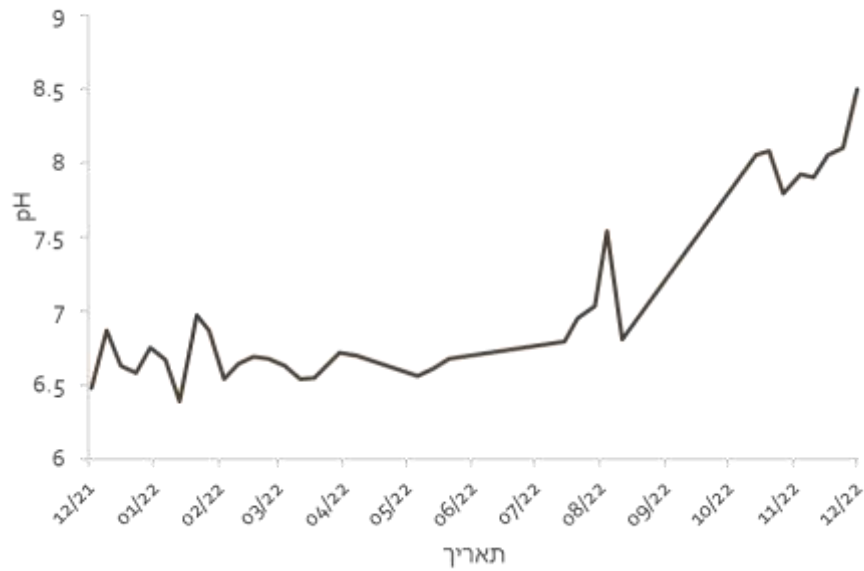


איור 1: עמוד השליטה של המערכת הרובוטית (מספרים באדום): (1) כניסת מי רשת, (2) מתקן התפלת מים, (3) המכל הגדול מוזן ישירות ממי הרשת או דרך מתקן ההתפלה (4) משאבת מים, (5) מזרקים להוספה של עד 3 תמיסות רכז שונות (6) ברזי שליטה המאפשרים מילוי של מכל המילוי המיועד, (7) 4 מכלי המילוי הממוקמים בגובה 4 מטר, (8) מד אוטומטי של ספיקת המים ביציאה ממכלי המילוי אל השקתות (9) 4 שקתות פרטניות.

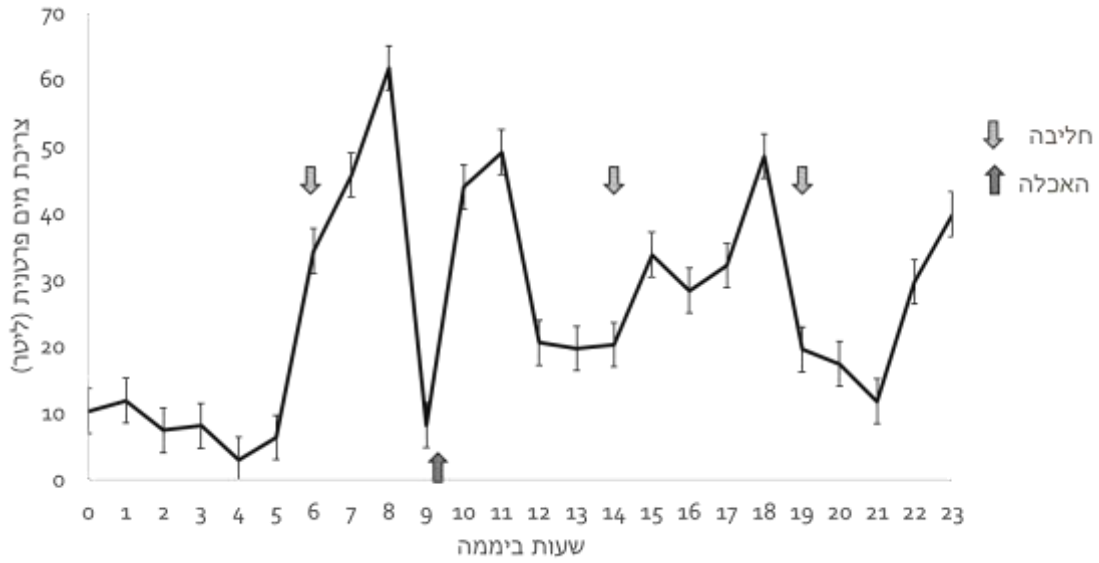


איור 2: צריכת המים היומית של פרה חולבת (במדידה קבוצתית) ברפת וולקני במהלך 2022.

איור 3: מליחות מי השתייה (EC) במי הרשת המגיעים לרפת וולקני לאורך שנת 2022.



איור 4: חומציות מי השתייה (pH) במי הרשת המגיעים לרפת וולקני לאורך שנת 2022.



איור 5: צריכת מים פרטנית לאורך היממה של 4 פרות חולבות. בר מייצג שגיאת תקן, חיצים מייצגים אירועים חיצוניים כמו חליבה וחלוקת מזון.



תמונות 1 (ימין) ו-2 (שמאל): מבנה השוקת הפרטנית במהלך השיפור שלה. בתמונה 1 הפרה יכלה להתיז מים אל מחוץ לשוקת ובתמונה 2 השוקת מעוצבת באופן שמקשה על פרה לגשת לשוקת שאינה שלה וגם פרה שיכולה לגשת – המים שהיא עשויה להתיז מתנקזים חזרה אל השוקת.