

עדכון דרישות למאקרומינרלים לפרות חולבות – NASEM 2021 התיאוריה

יהושב בן מאיר

המחלקה לחקר בקר וצאן, המכון למדעי בע"ח, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK600600/?report=printable>

מאקרו מינרלים במנה לדוגמה:

יסוד	גרם ל-25 ק"ג	ריכוז מתוכנן %	ריכוז בפועל (Dairy One)
סידן	225	0.9	0.9
זרחן	126	0.5	0.54
מגנזיום	51	0.2	0.24
נתרן	?	?	0.508
אשלגן	311	1.24	1.15
כלור	125	0.5	0.59
גופרית			0.32

סך המאקרו מינרלים במנה הוא סביב 4.25%. תוספות מאקרו מינרלים הן סביב 2% (כולל פחמן וחמצן). התוספים מכילים סידן, נתרן וכלור.

צריכת הנוטריינטים בפרות חולבות מחושבת באופן פקטוריאלי כך שסך

הצריכה גבוה מהדרוש עבור:

1. גדילה = ההפרש בתכולה בגוף

2. קיום = ההפרשה בזבל

3. הריון = בגוף העובר והשלייה

4. חלב = בחלב

צריכת סידן: חישובים בהתאם ל- NASEM 2021 - קיום

הצריכה לקיום מוערכת לפי המשוואה הבאה המבוססת על הפרשה אנדוגנית בצואה (Maertz et al. 1990, 1999):

$$\text{Ca requirement (g/d)} = 0.90 (\pm 0.034) * \text{DMI (kg/d)}$$

חישוב עבור פרות חולבות ברפת וולקני (*Ben Meir et al. 2023)

עבור DMI של 27.7 ק"ג ליום צריכה לקיום = 25 גרם סידן נספג ליום

הפרשה בצואה = 222 – 182 גרם ליום (סידן שלא נספג + סידן אנדוגני)

הסידן הנצרך הוא עבור סידן נספג

**עבודה זו ועבודות נוספות בנושא נערכו במימון הועדה*

צריכת סידן: חישובים בהתאם ל- NASEM 2021 - גדילה

הצריכה לגדילה מוערכת לפי צבירת עצם וק"ג חלבון – צריכה יורדת ככל שמגיעים למשקל גוף מלא (AFRC 1991) ולכן רלוונטי רק לפרות שעדיין גדלות (עגלות).

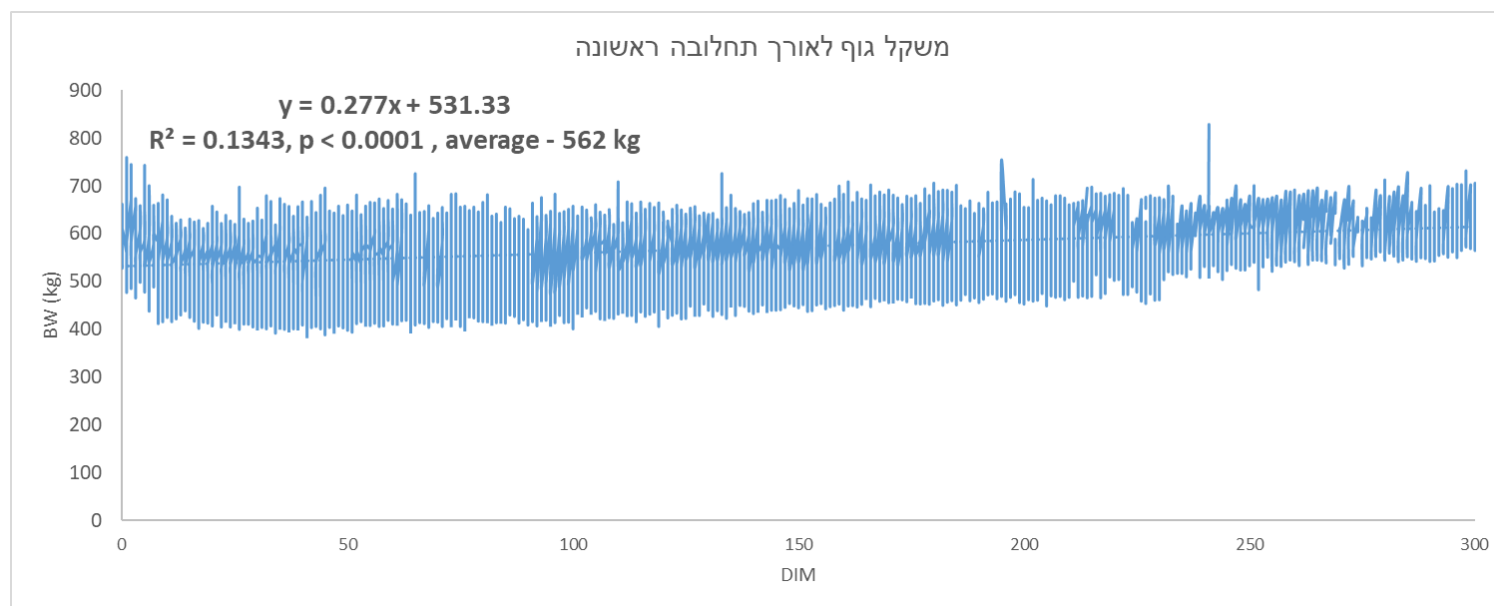
$$\text{Ca requirement (g/d)} = ((9.83 * \text{MatBW}^{-0.22}) * \text{BW}^{-0.22} * \text{ADG (kg/d)})$$

MatBW – משקל גוף מקסימאלי

BW - משקל גוף

ADG - תוספת משקל יומית

צריכת סידן: חישובים בהתאם ל- NASEM 2021 - גדילה



משקל ממוצע של חולבת בוולקני – כ-640 ק"ג ושל מבכירה – כ-560 ק"ג. עבור גדילה יומית של כ-0.28 ק"ג ליום צריכת הסידן המחושבת לגדילת מבכירה בוולקני היא כ-0.25 גרם ליום...

צריכת סידן: חישובים בהתאם ל- NASEM 2021 - חלב

צריכת הסידן עבור ייצור חלב = סידן המופרש בחלב.

חלב בקרטון – 100 מ"ג ל-100 גרם = כגרם סידן לק"ג חלב.

סידן נמצא בעיקר במיצלות של קזאין וניתן לחישוב לפי תכולת חלבון אמיתי:

$$\text{Milk Ca (g/ kg milk)} = 0.295 (\pm 0.73) + 0.239 (\pm 0.029) * \text{milk true protein \%}$$

חולבת המניבה 40 ק"ג חלב ליום באחוז חלבון של 3.3% צריכה לצורך ייצור החלב בין 47 ל-73 גרם סידן נספג ליום.

הסידן הנצרך הוא עבור סידן נספג

צריכת סידן: חישובים בהתאם ל- NASEM 2021 - הריון

צריכת הסידן עבור הריון = סך הסידן שיש ביונק ובשליה

עד יום 190 בהריון מדובר בכמות זניחה החל מיום 190 ניתן לחישוב (House and Bell, 1993):

$$\text{Ca (g/d)} = (0.02456e^{(0.05581 - 0.00007t)t} - 0.02456e^{(0.05581 - 0.00007(t-1))(t-1)}) \times (\text{BW} / 715)$$

חולבת בעלת משקל גוף של 650 ק"ג ביום 220 להריון צריכה כ-4 גרם סידן נספג ליום

הסידן הנצרך הוא עבור סידן נספג

צריכת סידן: עדכון מקדמי הספיגה NASEM 2021

Mineral Element Source	AC of Ca			
	2001 Dairy NRC AC of Primary Element	Adjusted ACs	Hansard et al. (1957) AC	Kiarie and Nyachoti (2010) Literature AC
•Bone meal, steamed	0.95	0.60	0.61	—
•Calcium carbonate, CaCO ₃	0.75	0.50	0.46	0.59
•Calcium chloride anhydrous, CaCl ₂	0.95	0.60	0.57	0.63
•Calcium chloride dihydrate, CaCl ₂ 2H ₂ O	0.95	0.60	—	0.63
•Calcium hydroxide, Ca(OH) ₂	0.55	0.60	—	—
•Calcium oxide, CaO	0.50	0.33	—	—
•Calcium phosphate (monobasic), Ca (H ₂ PO ₄) ₂	0.95	0.60	0.56	0.55
•Calcium sulfate dihydrate, CaSO ₄ •2H ₂ O	0.70	0.60	—	—
•Curacao, phosphate	0.70	0.45	—	—
•Dicalcium phosphate (dibasic) CaHPO ₄	0.94	0.60	0.47	0.73
•Dolomitic limestone (magnesium)	0.60	0.35 ^a	—	0.50
•Limestone, ground	0.70	0.45	0.41	0.50
•Magnesium oxide, MgO	0.70	0.45	—	—
•Oystershell, flour (ground)	0.75	0.50	—	—
•Phosphate, defluorinated	0.70	0.45	—	—
•Phosphate rock	0.30	0.22	—	—
•Phosphate rock, low fluorine	0.30	0.22	—	0.48
•Soft rock phosphate colloidal clay	0.30	0.22	—	—
•Mean for all mineral supplements (except rock phosphates)	0.86	0.55	0.52	0.57
•Legume forages	0.30	0.30	0.36	0.58
•Corn silage	0.60	0.40	—	0.52
•Grass hays	0.30	0.40	0.45	0.04
•All other forages	0.30	0.40	0.45	—

מקדמי הספיגה המעודכנים תלויים בתוסף או רכיב המזון ונעים בין 0.22 ל- 0.60. אנחנו ראינו מקדמי ספיגה בין 0.25 ל- 0.45 (Ben Meir et al., 2023).

צריכת סידן סיכום -

- חולבת לדוגמה – בשיא גודלה, עד יום 190 בהריון, צריכת מזון – 25 ק"ג ליום, תנובת חלב 40 ק"ג ליום באחוז חלבון צריכה כ- 70 גרם סידן נספג ביום.
- מקדמי ספיגה של 0.25 ו-0.45 = 280 ו-155 גרם סידן ליום = 1.1 ו-0.6 % מח"י.
- סידן נאגר בעצמות ומניוד משם במקרה הצורך – בחלב לא חסר סידן וייצורו לא מוגבל – מחסור עשוי לבוא לידי ביטוי בעצם. הזנה בסידן היא לאורך זמן.
- קצב וכמות אגירת הסידן בעצם מוגבלים ולכן כאשר יש מתן סידן בעודף מקדם הספיגה יורד והפרשתו בצואה תגבר.

צריכת זרחן: חישובים בהתאם ל- NASEM 2021 - קיום

הצריכה לקיום מוערכת לפי המשוואה הבאה המבוססת על הפרשה אנדוגנית בצואה ובשתן
(Valk et al., 2002):

$$\text{Adult cows P (g/d)} = 1 \text{ g P/kg DMI} + 0.0006 \text{ g P/kg BW}$$

עבור DMI של 27.7 ק"ג ליום ומשקל גוף של 630 ק"ג צריכה לקיום = 28 גרם זרחן נספג
ליום

הפרשה בצואה שנמדדה = 40 - 47 גרם ליום (זרחן שלא נספג + זרחן אנדוגני)

הזרחן הנצרך הוא עבור זרחן נספג

צריכת זרחן: חישובים בהתאם ל- NASEM 2021 - גדילה

הצריכה לגדילה מוערכת לפי צבירה בעצם וברקמות רכות- צריכה יורדת ככל שמגיעים למשקל גוף מלא (NRC 2001) ולכן רלוונטי רק לפרות שעדיין גדלות (עגלות).

$$P, \text{ kg/d} = (1.2 + ((4.635 \times \text{MatBW}^{0.22})(\text{BW}^{-0.22}))) \times \text{ADG}$$

משקל גוף מקסימאלי – MatBW

משקל גוף - BW

תוספת משקל יומית - ADG

משקל ממוצע של חולבת בוולקני – כ-640 ק"ג ושל מבכירה – כ-560 ק"ג. עבור גדילה יומית של כ-0.28 ק"ג ליום צריכת הזרחן המחושבת לגדילת מבכירה בוולקני היא כ-0.41 גרם זרחן ליום...

הזרחן הנצרך הוא עבור זרחן נספג

צריכת זרחן: חישובים בהתאם ל- NASEM 2021 - חלב

צריכת הזרחן עבור ייצור חלב = זרחן המופרש בחלב.

זרחן ניתן לחישוב בהתאם לתנובת חלב ותכולת חלבון אמיתי:

$$P \text{ (g/d)} = \text{milk yield (kg)} * [0.49 + 0.13 * \text{milk true protein \%}]$$

חולבת המניבה 40 ק"ג חלב ליום באחוז חלבון של 3.3% צריכה לצורך ייצור החלב כ- 37 גרם זרחן ליום.

הזרחן הנצרך הוא עבור זרחן נספג

צריכת זרחן: חישובים בהתאם ל- NASEM 2021 - הריון

צריכת הזרחן עבור הריון = סך הזרחן שיש ביונק ובשליה

עד יום 190 בהריון מדובר בכמות זניחה החל מיום 190 ניתן לחישוב (House and Bell, 1993):

$$\text{Absorbed P, g/d} = (0.02743 e^{(0.05527 - 0.000075t)t} - 0.02743 e^{(0.05527 - 0.000075)(t-1)}(t-1)) \times (\text{BW} / 715) \quad (\text{Equation 7-7})$$

חולבת בעלת משקל גוף של 650 ק"ג ביום 220 להריון צריכה כ-4 גרם זרחן נספג ליום

צריכת זרחן סיכום -

- חולבת לדוגמה – בשיא גודלה, עד יום 190 בהריון, צריכת מזון – 25 ק"ג ליום, תנובת חלב 40 ק"ג ליום באחוז חלבון צריכה כ- 65 גרם זרחן נספג ביום.
- מקדמי ספיגה (טבלה 19.3 NASEM 2021) של זרחן הם סביב 0.8 ובהתאם, המנה צריכה לפחות 81 גרם זרחן = הזרחן במנה צריך להיות סביב 0.32%.
- זרחן ממוחזר ברוק וע"י חיידקי הכרס ולכן נעכלותו לכאורה לא בהכרח = מקדם ספיגה (0.65 – 0.71 בעבודה שלנו).
- מחסור בזרחן במנה עשוי להתבטא באופן מיידי בבריאות ובייצור חלב. עודף יכול להיות מופרש גם
- ריכוז הזרחן במנה צריך שלא לעבור את ה-0.7%

צריכת מגנזיום: חישובים בהתאם ל- NASEM 2021

$$\text{קיום: } \text{Mg (g/d)} = 0.3 * \text{DMI} + 0.0007 * \text{BW}$$

$$\text{גדילה: } \text{Mg (g/d)} = 0.45 * \text{ADG}$$

$$\text{חלב: } \text{Mg (g/d)} = 0.11 * \text{milk yield}$$

$$\text{הריון (מעל 190 יום): } \text{Mg (g/d)} = 0.3 * (\text{BW} / 715)$$

המגנזיום הנצרך הוא עבור מגנזיום נספג

$$\text{True Mg absorption} = (44.1 - 5.42 * \ln(k) - 0.08 * \text{Supplemental}) / 100$$

מקדם ספיגת הנתרן תלוי בריכוז האשלגן ובריכוז תוסף מגנזיום במנה (כ-MgO)

צריכת מגנזיום סיכום -

- חולבת לדוגמה – בשיא גודלה, עד יום 190 בהריון, צריכת מזון – 25 ק"ג ליום, תנובת חלב 40 ק"ג ליום באחוז חלבון צריכה כ- 12 גרם מגנזיום נספג ביום.
- מקדם הספיגה של מגנזיום במנה המכילה 12 גרם לק"ג K וללא תוספת מגנזיום הינו מחושב סביב 0.42 ובהתאם, המנה צריכה לפחות 28.5 גרם מגנזיום = המגנזיום במנה צריך להיות סביב 0.11%.
- מגנזיום נצרך מהמזון באופן שוטף ומחסור בו = grass tetany.
- עודף בטוח עד 1%.

צריכת נתרן: חישובים בהתאם ל- NASEM 2021

קיום: $\text{Na (g/d)} = 1.45 * \text{DMI}$

גדילה: $\text{Mg (g/d)} = 1.4 * \text{ADG}$

חלב: $\text{Mg (g/d)} = 0.4 * \text{milk yield}$

הריון (מעל 190 יום): $\text{Mg (g/d)} = 1.4 * (\text{BW} / 715)$

מקדם הספיגה של נתרן = 0.98

צריכת נתרן סיכום -

- חולבת לדוגמה – בשיא גודלה, עד יום 190 בהריון, צריכת מזון – 25 ק"ג ליום, תנובת חלב 40 ק"ג ליום צריכה כ- 52 גרם נתרן ביום = 0.21% מח"י במנה.
- מתן עד 0.88% נתרן במנה לא גרם לירידה בצריכת מזון או בחלב (Demott et al., 1968) מקסימום מלח (נתרן כלורי) במנת חולבות – 3% (NRC, 2005).
- עודף צריכת מלח קשור לסיכוי וסיכון של בצקות בעטין (Randell et al., 1974).

צריכת כלור: חישובים בהתאם ל- NASEM 2021

$$\text{קיום: } \text{Cl (g/d)} = 1.11 * \text{DMI}$$

$$\text{גדילה: } \text{Cl (g/d)} = 1.0 * \text{ADG}$$

$$\text{חלב: } \text{Cl (g/d)} = 1.0 * \text{milk yield}$$

$$\text{הריון (מעל 190 יום): } \text{Cl (g/d)} = 1.0 * (\text{BW} / 715)$$

מקדם הספיגה של כלור נע בין 0.71 ל-0.95 (0.72 – 0.81 בנתונים שלנו)

צריכת כלור סיכום -

- חולבת לדוגמה – בשיא גודלה, עד יום 190 בהריון, צריכת מזון – 25 ק"ג ליום, תנובת חלב 40 ק"ג ליום צריכה כ- 68 גרם כלור נספג ביום.
- מקדם הספיגה של כלור הוא לפחות 0.71, בהתאם צריכת הכלור היומית צריכה להיות סביב 96 גרם = 0.38% מח"י.
- מעבר ממנה של 0.4% למנה של 0.1% כלור בח"י הראתה סימנים קליניים (אי אכילה, צליעה, עצירות ועוד)

צריכת אשלגן: חישובים בהתאם ל- NASEM 2021

$$K \text{ (g/d)} = 2.5 * \text{DMI} + 0.2 * \text{BW} \text{ : (חולבות)}$$

$$K \text{ (g/d)} = 2.5 * \text{ADG} \text{ : גדילה}$$

$$K \text{ (g/d)} = 1.5 * \text{milk yield} \text{ : חלב}$$

$$K \text{ (g/d)} = 1.03 * (\text{BW} / 715) \text{ : (מעל 190 יום)}$$

מקדם הספיגה של 0.95 ומעלה למרבית המזונות (Hemken, 1983),
סביב 0.85 במזונות גסים מסוימים ו-1 לתוספים (Miller, 1995)

צריכת אשלגן סיכום -

- חולבת לדוגמה – בשיא גודלה, עד יום 190 בהריון, צריכת מזון – 25 ק"ג ליום, תנובת חלב 40 ק"ג ליום צריכה כ-250 גרם אשלגן = כ-270 גרם אשלגן במנה = כ-1.05% מח"י.
- הרף העליון נקבע על 2% על אף שמדווח גם על 3% ללא השפעות שליליות.

צריכת גופרית: חישובים בהתאם ל- NASEM 2021

צריכת הגופרית נקבעה באופן אמפירי למקסום ייצור חלבון מיקרוביאלי ונעכלות

מבחיני נעכלות שונים מצאו נעכלות אופטימאלית בריכוז סך גופרית במנה של 0.15 – 0.25 % מח"י (Guardiola et al., 1983; Qi et al., 1994). ריכוז של 0.2% הביא את לזמינות גבוהה ביותר לאורך זמן בפרות המניבות עד 37 ק"ג (Bouchard and Conrad, 1973).

מאקרו מינרלים במנה לדוגמה – סיכום :

יסוד	גרם ל-25 ק"ג	ריכוז מתוכנן %	ריכוז (Dairy One) בפועל %	דרישה לפי ה- % NASEM 2021
סידן	225	0.9	0.9	0.6 – 1.1
זרחן	126	0.5	0.54	0.32
מגנזיום	51	0.2	0.24	0.11
נתרן	480	?	0.508	0.21
אשלגן	311	1.24	1.15	1.05
כלור	125	0.5	0.59	0.38
גופרית			0.32	0.2

הדרישה עבור פרה חולבת עד יום 190 בהריון עם DMI = 25 ק"ג ליום, חלב = 40 ק"ג ליום, חלבון = 3.3%.

מאקרו מינרלים סיכום :

- למאקרו מינרלים יש השפעה גם הפרש קטיונים אניונים (DCAD). במנה שדגמנו = 150 מא"ק לק"ג במנה ה"אידיאלית" – 128 מא"ק לק"ג.
- במחקר במימון הועדה ובמחקר המשך במימון BARD נבחנת האפשרות להפחית את כמות הנתרן במנה ע"י הפחתת מלח או סודה לשתייה – הסקת מסקנות עדיין מוגבלת אך על פניו נראה שניתן לרדת לסביב 0.4% בבטחה.
- מחקר נדרש לקבוע את מקדמי הספיגה של סידן של רכיבי המנה הישראלי ותוספי הסידן השונים.
- כדאי לשקול מבחן אמפירי (in vitro / in vivo) לקביעת ריכוז גופרית אופטימאלי במנת חולבות ישראלית