University of Tehran Press

Iaranian Journal of Animal Science

Online ISSN: 2423-7949

Homepage: https://ijas.ut.ac.ir/

Evaluation of ruminal disappearance and solubility of calcium, phosphorus, sodium, magnesium and potassium from some feedstuffs and calcium supplements

Mohammad Ebrahemi-Marzikola[1] | Taghi Ghoorchi[2]✉ | Mojtaba Barani-Motlagh[3] | Mohammad Asadi[4]

1. Department of Animal & Poultry Nutrition, Faculty of Animal Sciences Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mem6489@gmail
2. Corresponding Author, Department of Animal & Poultry Nutrition, Faculty of Animal Sciences Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Ghoorchi@gau.ac.ir
3. Department of Soil Sciences, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Barani@gau.ac.ir
4. Department of Animal & Poultry Nutrition, Faculty of Animal Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Mohammad.asadi_s97@gau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: March 16, 2022
Received in revised form: June 19, 2022
Accepted: June 22, 2022
Published online: April 15, 2023

Keywords:
Dalagh sheep,
disappearance,
in situ,
mineral,
rumen.

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the ruminal disappearance (releases or solubility) of mineral elements (calcium, phosphorus, magnesium, sodium and potassium) from feedstuffs (wheat straw, sugar beet pulp, alfalfa, silage and wheat bran) and to compare the disappearance of five types of mineral supplements (mono calcium phosphate, di calcium phosphate, calcium carbonate, oyster shell and limestone). The analysis of the feed section was performed by a completely randomized design five feed and the mineral supplements section was performed. Examination of ruminal release of minerals from feeds showed that except calcium, a large part of minerals in food was released at zero time ($P<0.05$). Disappearance rate increased with increasing incubation time. Release order of elements in the incubation times was in the form of potassium, phosphorus, calcium, sodium and magnesium and the highest disappearance rate was for potassium and the lowest release rate was for magnesium ($P<0.05$). In the study of the highest release rate was obtained during 72 hours of incubation for potassium in alfalfa hay ($P<0.05$). In the other part of the experiment, the highest disappearance was obtained for monocalcium phosphate and the lowest for calcium carbonate in total incubation times ($P<0.05$). Also, monocalcium phosphate mineral supplements had the highest and calcium carbonate treatment had the lowest disappearance parameters soluble part of dry matter, and significant difference between experimental treatments for effective dry matter degradability at flow rates of 2, 5 and 8 ($P<0.05$). In general, the amount of potassium disappearance was the highest in all nutrients and in all incubation times, and also monocalcium phosphate had the highest rate of degradability parameters.

Cite this article: Ebrahemi-Marzikola, M., Ghoorchi, T., Barani-Motlagh, M., & Asadi, M. (2023). Evaluation of ruminal disappearance and solubility of calcium, phosphorus, sodium, magnesium and potassium from some feedstuffs and calcium supplements. *Iranian Journal of Animal Science*, 54 (1), 31-45.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijas.2022.340432.653880

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijas.2022.340432.653880

University of Tehran Press

Iaranian Journal of Animal Science

Online ISSN: 2423-7949

Homepage: https://ijas.ut.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction:

The use of minerals by animals depends at least on the processes of the ability to dissolve or release the mineral element from the food and the ability to absorb the released minerals. The most important minerals needed by microbes can be provided through the circulation of saliva and the decomposed part of minerals in the rumen. Minerals must be dissolved in the rumen in order to be used by animals and rumen microbes, therefore the rumen should be considered as an important place. Solubility and release of mineral elements from feed materials, in order to use them by livestock in the rumen, complex processes take place. According to studies, the elements that are not released after 48 hours of incubation in the rumen from the edible material in nylon bags, are probably out of the reach of the animal and are not absorbed. The location of mineral elements in the structure of the food may affect their release. The release of minerals depends on the type of feed and incubation time. Also, the disappearance of mineral elements from nylon bags depends on the type of minerals and feed fiber.

Materials and methods:

The first part of the test includes comparing the rate of disappearance of calcium from five types of calcium supplements (monocalcium phosphate, dicalcium phosphate, limestone, oyster powder and calcium carbonate) and the second part includes measuring the rate of disappearance of calcium, phosphorus, sodium, potassium and magnesium from five The type of food was (sugar beet pomace, wheat bran, wheat straw, alfalfa fodder and corn silage). Each treatment consisted of four replicates. In this experiment, four adult male sheep with splenic fistula were used with an average body weight of 50 kg. Food samples were first dried and then ground through a 2 mm sieve, and five grams of each food item was poured into Dacron bags (14 x 7 cm) with an average hole size of 45 microns. The bags containing the samples were placed in the rumen at 0, 4, 8, 16, 24, 48 and 72 hours. Four repetitions per hour were considered for each sample. At the end of each incubation period, the bags were removed from the rumen and washed in a washing machine for 30 minutes. To determine the disappearance by the method proposed by Evitayani at zero time, the bags were washed without incubation in the rumen, using 39 degrees Celsius water, just like the bags removed from the rumen. After washing, the bags were dried in an oven at 60 degrees Celsius for 48 hours. The rate of disappearance of minerals was done using Ørskov & McDonald equation and data processing in statistical software and curve fitting software.

Results and discussion:

Examination of ruminal release of minerals from feeds showed that except calcium, a large part of minerals in food was released at zero time ($P<0.05$). Disappearance rate increased with increasing incubation time. Release order of elements in the incubation times was in the form of potassium, phosphorus, calcium, sodium and magnesium and the highest disappearance rate was for potassium and the lowest release rate was for magnesium ($P<0.05$). In the study of the highest release rate was obtained during 72 hours of incubation for potassium in alfalfa hay ($P<0.05$). In the other part of the experiment, the highest disappearance was obtained for monocalcium phosphate and the lowest for calcium carbonate in total incubation times ($P<0.05$). Also, monocalcium phosphate mineral supplements had the highest and calcium carbonate treatment had the lowest disappearance parameters soluble part of dry matter, and significant difference between experimental treatments for effective dry matter degradability at flow rates of 2, 5 and 8 ($P<0.05$).

Conclusion:

In general, The release rate of potassium in all food items was the highest at zero time. Depending on the type of edible material, the rest of the elements were in the next levels of release. This was caused by the amount of elements in the samples. As the incubation time increased, the amount of elements released in the rumen increased. The interaction of mineral elements and food at different times of incubation showed that potassium in alfalfa had the highest release rate. In general, the amount of potassium release was the highest in all food items and in all incubation times. The parameters of disappearance of monocalcium phosphate and calcium carbonate mineral supplements had the highest and lowest values in all incubation times, respectively.

Keywords: Dalagh sheep, disappearance, *in situ*, mineral, rumen.

انتشارات دانشگاه تهران

علوم دامی ایران

شاپا الکترونیکی: ۷۹۴۹-۲۴۲۳

Homepage: https://ijas.ut.ac.ir/

تعیین میزان ناپدید شدن و حلالیت شکمبه‌ای کلسیم، فسفر، سدیم، منیزیم و پتاسیم از برخی مواد خوراکی و مکمل‌های کلسیمی

محمد ابراهیمی مرزی‌کلا[۱] | تقی قورچی[۲]✉ | مجتبی بارانی مطلق[۳] | محمد اسدی[۴]

۱. گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mem6489@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Ghoorchi@gau.ac.ir

۳. گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Barani@gau.ac.ir

۴. گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Mohammad.asadi_s97@gau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۲۶

کلیدواژه‌ها:
شکمبه،
گوسفند دالاق،
موادمعدنی،
ناپدیدشدن،
کیسه‌های نایلونی.

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی میزان ناپدید شدن (آزادسازی یا حلالیت) شکمبه‌ای عناصر معدنی (کلسیم، فسفر، منیزیم، سدیم و پتاسیم) از مواد خوراکی (کاه گندم، تفاله چغندر قند، یونجه، سیلو و سبوس گندم) و مقایسه ناپدید شدن پنج نوع مکمل معدنی (مونو کلسیم فسفات، دی کلسیم فسفات، کربنات کلسیم، پودر صدف و آهک) بود. آنالیز بخش خوراک‌ها با آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی ۵ خوراک و ۵ مکمل‌های معدنی) با چهار تکرار انجام شد. بررسی میزان ناپدید شدن شکمبه‌ای عناصر معدنی از مواد خوراکی نشان داد که به‌جز کلسیم بخش زیادی از عناصر معدنی در خوراک‌ها در زمان صفر آزاد شد (P<۰/۰۵). بررسی‌ها نشان داد که با افزایش زمان انکوباسیون میزان ناپدیدشدن افزایش یافت. ترتیب ناپدید شدن عناصر به صورت پتاسیم، فسفر، کلسیم، سدیم و منیزیم اتفاق افتاد و در کل زمان‌های انکوباسیون بیشترین میزان ناپدید شدن برای پتاسیم و کمترین میزان آزادشدن برای منیزیم بود (P<۰/۰۵). بیشترین میزان ناپدید شدن در زمان ۷۲ ساعت انکوباسیون برای پتاسیم خوراک یونجه بدست آمد (P<۰/۰۵). در بخش دیگر آزمایش بیشترین میزان ناپدید شدن در کل زمان‌های انکوباسیون مربوط به مونوکلسیم فسفات و کمترین برای کربنات کلسیم بود (P<۰/۰۵). همچنین مونوکلسیم فسفات بالاترین و کربنات‌کلسیم کمترین میزان ناپدید شدن بخش محلول را داشت و اختلاف معنی‌دار بین موادمعدنی آزمایشی برای تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک در نرخ‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد بود (P<۰/۰۵). در کل میزان ناپدیدشدن پتاسیم در تمام مواد خوراکی و در کلیه زمان‌های انکوباسیون بیشترین بود و مونو کلسیم فسفات دارای بیشترین میزان فراسنجه‌های ناپدیدشدن در شکمبه بود.

استناد: ابراهیمی مرزی‌کلا، م.، قورچی، ت.، بارانی مطلق، م. و اسدی، م (۱۴۰۲). تعیین میزان ناپدید شدن و حلالیت شکمبه‌ای کلسیم، فسفر، سدیم، منیزیم و پتاسیم از برخی مواد خوراکی و مکمل‌های کلسیمی. *نشریه علوم دامی ایران*، ۵۴ (۱)، ۳۱-۴۵.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijas.2022.340432.653880

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

تقریبا ۹۶ درصد وزن بدن از عناصر کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن است که به‌صورت ترکیبات آلی می‌باشند و املاح معدنی فقط چهار درصد وزن بدن حیوانات را تشکیل می‌دهند ولی به علت نقش‌های مختلف در واکنش‌های بیوشیمیایی بدن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Paik, 2001). استفاده حیوانات از مواد معدنی حداقل به فرآیندهای قابلیت حل شدن یا آزاد شدن عنصر معدنی از ماده غذایی و قابلیت جذب مواد معدنی آزاد شده، بستگی دارد (Ceresnakova *et al*., 2007). مهم‌ترین مواد معدنی مورد نیاز میکروب‌ها می‌تواند از طریق گردش بزاق و بخش تجزیه شده مواد معدنی در شکمبه فراهم شود (Galdamez *et al*., 2003). مواد معدنی برای این که مورد استفاده دام و میکروب‌های شکمبه قرار گیرند باید در شکمبه حل شوند، از این‌رو شکمبه باید به‌عنوان یک مکان مهم مورد بررسی قرار گیرد (Lieu *et al*., 2001). انحلال پذیری و رهاسازی عناصر معدنی از مواد خوراکی، جهت استفاده از آنها توسط دام در شکمبه، فرآیندهای پیچیده‌ای صورت می‌گیرد (Khorasani & Armstrong, 1990 ; Ceresnakova *et al*., 2000).

طبق بررسی Playne *et al*. (1978)، عناصری که پس از ۴۸ ساعت انکوباسیون در شکمبه از ماده خوراکی در کیسه‌های نایلونی آزاد نمی‌شوند، احتمالاً از دسترس حیوان خارج شده و جذب نمی‌شوند. محل قرار گرفتن عناصر معدنی در ساختار ماده خوراکی ممکن است بر آزاد شدن آنها تأثیر گذارد (Gralak *et al*., 1997; Islam *et al*., 2001). Flachowsky *et al*. (1994) بیان داشتند که آزادسازی مواد معدنی به نوع خوراک و زمان انکوباسیون بستگی دارد. همچنین ناپدید شدن عناصر معدنی از کیسه‌های نایلونی به نوع مواد معدنی و فیبر خوراک نیز وابسته است (Costa *et al*., 2016; Zanetti *et al*., 2017). گزارش‌های متعدد نشان می‌دهد که پتاسیم و منیزیم در زمان کوتاهی از انکوباسیون در شکمبه آزاد می‌شوند و کلسیم کمترین نرخ ناپدید شدن در این زمان را دارد (Ceresnakova *et al*., 2000; Correac, 2006; Ceresnakova *et al*., 2005). مواد معدنی مانند کلسیم، فسفر، منیزیم، سدیم و پتاسیم نقش سازندگی در رشد و نمو داشته و گاهی نیز در اعمال سلولی و آنزیمی شرکت می‌کنند. کاهش این مواد مصرفی می‌تواند منجر به کاهش اشتها و عملکرد، تشنج، ضعف، بیماری و نهایتا مرگ حیوانات شود (Suttle, 2010; McDowell *et al*., 1996). برای تغذیه صحیح بهتر است که بدانیم چه مقدار از این عناصر در شکمبه آزاد می‌شوند (Esser *et al*., 2009; Prados *et al*., 2016; Zanetti *et al*., 2017). همچنین قاسمی‌هدک و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که در بین کانی‌های مورد آزمایش، بنتونیت (در دو اندازه) بیشترین حلالیت را در شکمبه دارد، به طوری‌که تفاوت آن با تیمارهای دریافت کننده گلوکونیت و آلومینوسیلیکات‌ها معنی‌دار بود. همچنین تجزیه‌پذیری موثر کانی بنتونیت در سرعت‌های عبور مختلف به طور معنی‌داری بیشتر از سایر کانی‌ها بود. لذا با توجه به نقش عناصر معدنی در فعالیت‌های حیاتی موجود زنده و عدم وجود اطلاعات کافی در میزان آزادسازی عناصر معدنی در شکمبه نشخوارکنندگان، هدف از این ارزیابی میزان ناپدیدشدن شکمبه‌ای یا آزادسازی یا حلالیت آزادسازی کلسیم، فسفر، سدیم، منیزیم و پتاسیم خوراک دام و مکمل‌های معدنی به روش کیسه‌های نایلونی در زمان‌های مختلف انکوباسیون بود.

۲. مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و علوم دام دانشگاه منابع طبیعی گرگان انجام شد بخش اول آزمایش شامل مقایسه میزان ناپدید شدن کلسیم از پنج نوع مکمل کلسیمی (مونوکلسیم فسفات، دی‌کلسیم فسفات، سنگ آهک، پودر صدف و کربنات کلسیم) و بخش دوم شامل اندازه‌گیری میزان ناپدیدشدن کلسیم، فسفر، سدیم، پتاسیم و منیزیم از پنج نوع ماده خوراکی (تفاله چغندر قند، سبوس گندم، کاه گندم، علوفه یونجه و سیلاژ ذرت) بود. هر تیمار شامل چهار تکرار

بود. در این آزمایش از چهار راس گوسفند نر بالغ دالاق فیستولاگذاری شده با میانگین وزن بدن ۵۰ کیلوگرم استفاده شد. دام‌ها در طول دوره آزمایش در سطح نیاز نگهداری (NRC, 1985) و در دو وعده مساوی در ساعت‌های ۰۸:۰۰ و ۱۸:۰۰ تغذیه شدند. نمونه‌های مواد خوراکی ابتدا خشک و سپس توسط غربال دو میلی‌متری آسیاب شدند و پنج گرم از هر ماده خوراکی در کیسه‌هایی از جنس داکرون (۱۴×۷ سانتی‌متر) با میانگین اندازه سوراخ ۴۵ میکرون ریخته شد. کیسه‌های حاوی نمونه‌ها در زمان‌های صفر، ۴، ۸، ۱۶، ۲۴، ۴۸ و۷۲ ساعت در شکمبه قرار داده شدند. برای هر نمونه چهار تکرار در هر ساعت در نظر گرفته شد. در پایان هر دوره انکوباسیون کیسه‌ها از شکمبه خارج و برای مدت ۳۰ دقیقه در ماشین لباسشویی شسته شدند. برای تعیین ناپدیدشدن به روش پیشنهادی Evitayani *et al.* (2011) در زمان صفر، کیسه‌ها بدون انکوباسیون در شکمبه، با استفاده از آب ۳۹ درجه سیلسیوس، همانند کیسه‌های خارج شده از شکمبه شسته شدند. کیسه‌ها پس از شستشو، به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سیلسیوس خشک شدند. میزان ناپدید شدن مواد معدنی با استفاده از معادله Ørskov & McDonald (1979) و پردازش داده‌ها در نرم‌افزار آماری[1] و نرم‌افزارهای برازش منحنی[2] انجام شد. بخش محلول (a) توسط شستشوی کیسه‌های حاوی نمونه‌ها در آب و در زمان صفر تعیین شد. در این راستا مدل زیر مورد استفاده قرار گرفت:

$$P = (a + b) \times (1 - e^{-ct})$$ رابطه ۱)

$$EDDM\% = \frac{(a+b\times c)}{(c+k)}$$ رابطه ۲)

که در این روابط، P= مقدار تجزیه‌پذیری نمونه پس از زمان t، a= بخش سریع‌تجزیه (بخش محلول ماده خشک) (درصد)، b= بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری (بخش غیرمحلول اما تجزیه‌پذیر ماده خشک) (درصد)، c= نرخ ثابت تجزیه بخش b (درصد بر ساعت)، e= مبنای لگاریتم نپری و برابر با ۲/۷۱۸۲، t= زمان تخمیر در شکمبه، k=درصد نرخ عبور از شکمبه (در این تحقیق از نرخ‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد بر ساعت استفاده شد) و EDDM= تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک هستند.

برای اندازه‌گیری کلسیم از نمونه‌های مواد معدنی انکوبه شده در شکمبه، عصاره تهیه شد. ۱ گرم از نمونه با ۲۰ میلی‌لیتر استات آمونیوم در ارلن ریخته و به‌مدت نیم ساعت بر روی دستگاه تکان‌دهنده (شیکر) قرار گرفت. سپس ۵ میلی‌لیتر از محلول صاف شده با کاغذصافی را با ۵ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک ۰/۱ نرمال و ۲ میلی‌لیتر سود ۴ نرمال به همراه ۳ تا ۴ قطره معرف مروکساید[3] را درون بشر ریخته و سپس معرف اورسئین[4] را درون تیتراتور ریخته و محلول بدست آمده، تیتر شد در لحظه‌ای که رنگ نمونه از قرمز به بنفش تغییر رنگ داد میزان معرف اورسئین درون تیتراتور قرائت شد. میزان کلسیم از طریق فرمول زیر بدست آمد (AOAC, 2012).

$$Ca = \frac{1000a}{v} \times \frac{1}{50}$$ رابطه ۳)

در این رابطه، Ca= میزان کلسیم بر حسب میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک، a= میزان معرف ورسین مصرف شده، v= حجم عصاره می‌باشند.

خاکستر سفید حاصله از نمونه ماده خوراکی که بوسیله کوره الکتریکی بدست آمده را با ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک

1. SAS (9.1)
2. fitcurve
3. Maroxide
4. Orcien

۰/۱ نرمال و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر روی هات پلیت[1] با دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد تا نمونه ها تبخیر و حجم آن به حدود ۱۰ میلی‌لیتر برسد. مقدار ۱۰ میلی‌لیتر دیگر به آن آب مقطر اضافه و آن را با دمای ۹۰ درجه حرات داده شد در ادامه آن را سرد نموده و با استفاده از کاغذ صافی آن را صاف کرده و در پایان عصاره را با استفاده از آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و محلول بدست آمده برای اندازه‌گیری عناصر معدنی نگهداری شد (AOAC, 2012). جهت اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم از دستگاه فلیم فتومتر۲ استفاده شد. بدین صورت که نمونه عصاره در شعله به‌صورت بخار در می‌آید و سدیم و پتاسیم موجود در عصاره به‌صورت اتم تغییر حالت می‌دهند و مقداری اشعه از آنها منتشر می‌گردد که شدت این انتشار، در طول موج‌های ۷۶۶/۵ نانومتر برای پتاسیم و ۵۸۹ نانومتر برای سدیم مورد سنجش قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری کلسیم، فسفر و منیزیم با کیت‌های تشخیصی پارس آزمون (روش دستی) صورت گرفت و نمونه ها به ترتیب در طول موج‌های ۵۴۵، ۶۴۰ و ۵۴۶ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتری[3] قرائت شدند (AOAC, 2012). در جدول ۱ میزان عناصر معدنی در اقلام خوراکی آمده‌است.

جدول ۱. میزان عناصر معدنی در خوراک‌ها (بر حسب میلی‌گرم در کیلو گرم ماده خشک)

خوراک	پتاسیم	سدیم	منیزیم	فسفر	کلسیم
کاه گندم	۱۴۱۴/۶۵	۱۴۱/۸۲	۱۲۰/۲۲	۴۷/۸۵	۱۷۱/۱۲
تفاله چغندر قند	۱۹۲/۹۲	۲۱۱/۱۵	۲۷۰/۷۴	۱۰۰/۷۳	۶۸۷/۴۳
علوفه یونجه	۱۷۱۵/۴۶	۱۲۲/۲۱	۳۱۰/۸۹	۲۳۶/۰۶	۱۴۰۳/۶۷
سیلاژ ذرت	۹۷۱/۴۹	۱۱/۳۹	۱۹۰/۸۶	۲۱۹/۷۳	۲۲۵/۶۵
سبوس گندم	۱۵۶۲/۶۱	۴۲/۲۴	۶۰/۶۸	۱۳۷۵/۸۳	۱۳۳/۴۸

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ویرایش ۹/۱ (2004) صورت گرفت. مدل آماری به‌صورت زیر بوده و مقایسات میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات از مدل آماری زیر استفاده شد (رابطه ۴):

$$Y_{ij}= \mu + T_i + e_{ij}$$ رابطه ۴)

که در آن، Y_{ij}= مقدار هر مشاهده، μ= میانگین جمعیت، T_i= اثر تیمار، e_{ijk}= خطای آزمایشی.

۳. نتایج و بحث

اطلاعات مربوط به انحلال‌پذیری و ناپدید شدن کلسیم در شکمبه از مکمل‌های کلسیمی به‌ترتیب در جدول ۲ و ۳ آمده است. آنالیز آماری بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در ناپدید شدن مواد معدنی بین تیمارهای آزمایشی در کلیه ساعت‌های پس از انکوباسیون بود (P<۰/۰۱). میزان ناپدید شدن مونوکلسیم فسفات در کلیه ساعات انکوباسیون نسبت به سایر تیمارها بطور معنی‌داری بالاتر بود در حالی که کربنات‌کلسیم کمترین میزان را داشت (P<۰/۰۱). فراسنجه‌های ناپدیدشدن در مونوکلسیم فسفات نسبت به سایر منابع کلسیم بالاتر بود در حالی که این فراسنجه‌ها در مورد کربنات کلسیم کمترین بود (P<۰/۰۱). آنالیز آماری نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی برای میزان ناپدید شدن موثر در نرخ‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد بود (P<۰/۰۱). میزان ناپدیدشدن موثر در هر سه نرخ عبور برای پودر صدف

1. Hot Plate
2. Flame emission spectrometer
3. Spectrophotometer

بالاترین وکربنات‌کلسیم کمترین بود)۰/۰۱ (P<). منبع کلسیم در یک مکمل خوراکی و شکل فیزیکی آن در جذب کلسیم بسیار موثر می‌باشد (Goff, 2006). همسو با نتایج حاضر Hu *et al*. (2007) و Martinez *et al*. (2012) بیان داشتند که مونوکلسیم فسفات بالاترین توانایی را در حمایت از غلظت کلسیم خون دارد چرا که کلسیم با قابلیت دسترسی بالاتری در شکمبه برای دام مهیا می‌کند. اطلاعات کافی در رابطه با ناپدیدشدن شکمبه‌ای کلسیم از مکمل‌های کلسیمی وجود ندارد و نیاز به تحقیقات بیشتری در این زمینه می‌باشد.

جدول ۲. مقایسه میزان ناپدید شدن کلسیم در مکمل‌های معدنی در زمان‌های مختلف (بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم ماده‌خشک)

تیمارها	زمان (ساعت)						
مکمل معدنی (میلی گرم/کیلوگرم ماده خشک)	۰	۴	۸	۱۲	۲۴	۴۸	۷۲
آهک	۲۸/۸۵^{d}	۳۳/۷۰^{d}	۳۴/۳۵^{d}	۳۵/۷۰^{d}	۳۸/۲۰^{d}	۴۰/۶۰^{d}	۴۳/۲۵^{d}
منوکلسیم فسفات	۸۷/۰۲^{a}	۹۰/۶۵^{a}	۹۰/۲۰^{a}	۹۲/۴۰^{a}	۹۲/۷۵^{a}	۹۲/۷۵^{a}	۹۲/۷۵^{a}
دی‌کلسیم فسفات	۵۶/۰۵^{b}	۶۳/۰۵^{b}	۶۴/۶۰^{b}	۶۶/۷۲^{b}	۶۹/۹۲^{b}	۷۱/۱۰^{b}	۷۶/۸۳^{b}
کربنات کلسیم	۷/۸۷^{e}	۱۰/۹۰^{e}	۱۲/۱۷^{e}	۱۵/۸۶^{e}	۱۷/۵۲^{e}	۱۸/۴۵^{e}	۲۰/۵۲^{e}
پودر صدف	۴۹/۷۵^{c}	۵۳/۵۵^{c}	۵۵/۰۵^{c}	۵۵/۵۶^{c}	۵۷/۰۵^{c}	۵۹/۰۲^{c}	۷۱/۲۷^{c}
خطای استاندارد از میانگین	۱/۴۰۱	۱/۰۱۲	۱/۷۴۶	۱/۲۵۶	۱/۳۷۶	۱/۶۵۹	۱/۷۹۷
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱

a-e: تفاوت ارقام در هر ردیف با حروف نامشابه، معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

جدول ۳. فراسنجه‌های ناپدیدشدن ترکیبات معدنی (میلی گرم در کیلوگرم)

تیمارها	فراسنجه‌های ناپدید شدن			ثابت نرخ تجزیه (در ساعت)	تجزیه‌پذیری موثر (درصد) در سرعت عبور (درصد در ساعت)		
مکمل معدنی	بخش سریع تجزیه (درصد)	بخش کند تجزیه (درصد)	پتانسیل تجزیه‌پذیری		۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۸
آهک	۲۹/۶۶^{d}	۱۵/۵۷^{b}	۴۵/۲۳^{d}	۰/۰۱^{d}	۳۹/۲۰^{d}	۳۶/۳۲^{d}	۳۴/۸۷^{d}
منوکلسیم فسفات	۸۵/۹۲^{a}	۷/۲۰^{d}	۹۳/۱۲^{a}	۰/۱۹^{a}	۷۰/۴۰^{b}	۶۶/۹۷^{b}	۶۵/۰۲^{b}
دی‌کلسیم فسفات	۵۷/۳۴^{b}	۱۷/۱۰^{a}	۷۴/۴۴^{b}	۰/۰۶^{c}	۵۶/۹۵^{c}	۵۴/۶۵^{c}	۵۳/۴۷^{c}
کربنات کلسیم	۷/۷۰^{e}	۱۲/۶۲^{c}	۲۰/۳۲^{e}	۰/۱۰^{b}	۱۷/۲۵^{e}	۱۴/۸۷^{e}	۱۳/۵۵^{e}
پودر صدف	۴۲/۲۰^{c}	۱۸/۰۲^{a}	۶۰/۲۲^{c}	۰/۱۰^{b}	۹۲/۴۰^{a}	۹۱/۶۲^{a}	۹۰/۹۷^{a}
خطای استاندارد از میانگین	۱/۴۰۱	۱/۰۱۲	۱/۰۷۴	۰/۰۵۵	۱/۸۰۴	۱/۴۰۵	۱/۲۰۴
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱

a-e: تفاوت ارقام در هر ردیف با حروف نامشابه، معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

اطلاعات مربوط به آزادسازی عناصر پتاسیم، سدیم و منیزیم از نمونه‌های خوراکی در زمان‌های مختلف در جدول ۴ آمده است. آزادسازی عناصر پتاسیم، سدیم و منیزیم در زمان‌های مختلف بین تیمارهای آزمایشی متفاوت بود (P<۰/۰۱). کمترین میزان آزادسازی مواد معدنی از خوراک در زمان صفر مربوط به پتاسیم بود و در بین تیمارهای آزمایشی بیشترین میزان آزادسازی پتاسیم در یونجه و کمترین میزان آن در تفاله چغندرقند مشاهده شد (P<۰/۰۱). کمترین میزان آزادسازی عنصر سدیم در زمان صفر و حداکثر آن در ۷۲ ساعت پس از انکوباسیون بود و در بین تیمارهای آزمایشی بیشترین میزان آزادسازی متعلق به تفاله چغندرقند و کمترین میزان از آن در سیلاژذرت بود (P<۰/۰۱).

همسو با نتایج آزمایش حاضر گزارش شده است که پتاسیم دارای بیشترین میزان آزادسازی در شکمبه می‌باشد (Aghajanzadeh *et al*., 2012). همچنین Serra *et al*. (1995) بیان کردند که پتاسیم دارای بیشترین میزان

آزادسازی در میان مواد معدنی مختلف مورد اندازه‌گیری بود. Playne *et al*. (1978) اعلام کردند که در بین عناصر معدنی پرنیاز پتاسیم بیشترین میزان آزادشدن شکمبه‌ای پس از ۱۲ساعت انکوباسیون را دارد. Ceresnakova *et al*. (2007) گزارش کردند که مقدار پتاسیم در مقایسه با مقدار اولیه آن بعد از ۷۲ ساعت انکوباسیون، بیشترین کاهش را داشت و ناپدید شدن آن در تمامی خوراک‌های مورد آزمایش بالاترین بود (۹۸/۷ درصد).

کمترین میزان آزادسازی عنصر سدیم در زمان صفر و حداکثر آن در ۷۲ ساعت پس از انکوباسیون بود و در بین تیمارهای آزمایشی بیشترین میزان آزادسازی متعلق به تفاله چغندرقند و کمترین میزان آن در سیلاژ ذرت بود (P<۰/۰۱) گزارش شده است که تقریبا تمام سدیم گیاه اریترینا بعد از ۲۴ ساعت انکوباسیون در شکمبه آزاد شد (Ibrahim *et al*., 1998). میزان سدیم موجود در گیاه اریترینا با شستشو در آب در زمان هیچ تغییری نکرد در حالی که با افزایش زمان انکوباسیون در شکمبه بر میزان آزادسازی سدیم افزوده شد و بعد از ۲۴ ساعت این مقدار به ۶۷ درصد میزان اولیه رسید. حداکثر آزادسازی سدیم در نمونه‌هایی از سیلاژ گراس بعد از ۴۸ ساعت انکوباسیون در شکمبه بود (Zanetti *et al*., 2017). در آزمایشی که بر روی تاثیر اسیدیته شکمبه و کربوهیدرات‌های سریع التخمیر بر روی آزادسازی عناصر پرنیاز انجام شد، میزان آزادسازی سدیم بعد از ۷۲ ساعت انکوباسیون حدود ۷۰ درصد بود (Bamikole & Babayemi, 2009). همچنین Playne *et al*. (1978) و Ceresnakova *et al*. (2007) میزان آزاد شدن سدیم در نمونه‌ها را به‌ترتیب ۷۰ و ۷۲ درصد اعلام کردند.

کمترین میزان آزادسازی عنصر منیزیم در ۸ ساعت پس از انکوباسیون و حداکثر میزان آن در ۷۲ ساعت پس از انکوباسیون مشاهده شد و در بین تیمارهای آزمایشی بیشترین میزان آزادسازی سدیم در یونجه و کمترین میزان آن در سبوس گندم بود (P<۰/۰۱). Ibrahim *et al*. (1998) بیان کردند که ۸۵ تا ۹۰ درصد منیزیم موجود در لگوم‌ها و سبوس برنج در زمان صفر با شستن در آب آزاد می‌شوند در حالی که فقط ۴۵ درصد از این ماده معدنی از برگ گیاه جک در زمان صفر آزاد می‌شود؛ کاه‌ها آزادسازی بین ۵۰–۶۰ درصد داشتند. آنها همچنین گزارش کردند در ۲۴ ساعت پس از انکوباسیون، آزادسازی این عنصر در نمونه های مختلف ۹۰ درصد بود. Ceresnakova *et al*. (2005) میانگین حلالیت شکمبه‌ای عنصر منیزیم را در علوفه‌ها در ۲۴ ساعت پس از انکوباسیون، ۶۳ درصد اعلام کردند، از طرفی میزان حلالیت سدیم و پتاسیم در سه ساعت پس از انکوباسیون با زمان صفر تفاوت زیادی نداشت، اما حلالیت منیزیم ۲۲ درصد افزایش یافت. این محققین علت این افزایش درحلالیت منیزیم به سبب افزایش مدت انکوباسیون را قرار گرفتن این عنصر در کلروفیل علوفه‌ها تشخیص دادند (کلروفیل منیزیم در آب محلول نیست). Evitayani *et al*. (2011) میزان انحلال‌پذیری منیزیم در زمان صفر را در دامنه‌ای بین ۱۰/۵ تا ۴۵/۶ درصد برای علوفه‌هایی که در فصول خشک برداشت شده بودند گزارش کردند؛ در ۲۴ ساعت پس از انکوباسیون میزان انحلال‌پذیری دامنه‌ای بین ۱۸/۲ تا ۵۰/۲ درصد و در ۷۲ ساعت پس از انکوباسیون بین ۳۵/۹ تا ۵۴/۴ درصد بود. نتایج آزمایش حاضر در مورد روند آزاد سازی عنصر منیزیم مطابق یافته‌های برخی از محققین بود (Bravo *et al*., 2000; Meschy & Bravo, 2003; Correac, 2006; Ceresnakova *et al*., 2008) بود اما مغایر گزارش Rooke *et al*. (1983) بود. دلیل اختلاف نتایج را می‌توان به ساختار ماده خوراکی، نوع خوراک، مدت زمان انکوباسیون، نوع عنصر معدنی و فیبر خوراک نسبت داد (Costa Galdamez *et al*., 2003; *et al*., 2016).

اطلاعات مربوط به آزادسازی عناصر فسفر و کلسیم مواد خوراکی در زمان‌های مختلف انکوباسیون در جدول ۵ آمده است. آزادسازی عناصر فسفر و کلسیم در زمان‌های مختلف بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری داشت (P<۰/۰۱). کمترین میزان آزادسازی عنصر فسفر در زمان صفر و حداکثر میزان آن در ۲۴ ساعت پس از انکوباسیون بود

و در باقی زمان‌ها تا ۷۲ ساعت تفاوتی با زمان ۲۴ مشاهده نشد. در بین تیمارهای آزمایشی بیشترین میزان آزادسازی متعلق به سبوس گندم و کمترین میزان متعلق به کاه گندم بود (P<۰/۰۱)

جدول ٤. میزان ناپدیدشدن عناصر پتاسیم، سدیم و منیزیم خوراک‌هادر زمان‌های مختلف انکوباسیون

تیمارها	زمان (ساعت)						
	۰	۴	۸	۱۲	۲۴	۴۸	۷۲
پتاسیم (میلی گرم/کیلوگرم ماده خشک)							
کاه گندم	۱۲۳۷/۰۵^{c}	۱۲۹۱/۵۷^{c}	۱۳۱۸/۶۴^{c}	۱۳۵۵/۲۱^{c}	۱۳۸۶/۳۵^{c}	۱۳۸۶/۳۵^{c}	۱۳۸۶/۳۵^{c}
تفاله چغندر قند	۱۸۳/۲۷^{e}	۱۸۳/۸۵^{e}	۱۸۵/۲۶^{e}	۱۸۸/۶۹^{e}	۱۹۰/۹۹^{e}	۱۹۰/۹۹^{e}	۱۹۰/۹۹^{e}
علوفه یونجه	۱۵۰۹/۳۲^{a}	۱۵۹۵/۴۰^{a}	۱۶۲۲/۴۳^{a}	۱۶۶۳/۱۲^{a}	۱۶۸۱/۱۸^{a}	۱۶۸۱/۱۸^{a}	۱۶۸۱/۱۸^{a}
سیلاژ ذرت	۷۶۸/۹۰^{d}	۸۹۳/۷۷^{d}	۹۰۲/۷۱^{d}	۹۳۱/۱۵^{d}	۹۴۲/۳۴^{d}	۹۴۲/۳۴^{d}	۹۴۲/۳۴^{d}
سبوس گندم	۱۴۲۱/۹۷^{b}	۱۴۶۷/۲۲^{b}	۱۵۳۱/۶۸^{b}	۱۵۴۹/۶۳^{b}	۱۵۵۱/۶۷^{b}	۱۵۵۱/۶۷^{b}	۱۵۵۱/۶۷^{b}
خطای استاندارد از میانگین	۰/۸۶۴	۱/۴۶۷	۰/۵۶۷	۰/۹۶۸	۰/۶۹۱	۰/۶۹۴	۰/۶۹۲
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
سدیم (میلی گرم/کیلوگرم ماده خشک)							
کاه گندم	۸۹/۵۶^{b}	۱۱۲/۱۶^{b}	۱۲۰/۸۲^{b}	۱۲۸/۰۶^{b}	۱۲۹/۵۸^{b}	۱۳۰/۶۸^{b}	۱۳۱/۱۴^{b}
تفاله چغندر قند	۱۵۷/۶۳^{a}	۱۷۵/۲^{a}	۱۸۸/۲۴^{a}	۱۹۷/۰۷^{a}	۱۹۸/۶۳^{a}	۱۹۹/۹۲^{a}	۲۰۱/۲۳^{a}
علوفه یونجه	۶۴/۲۱^{c}	۸۴/۹۳^{c}	۹۱/۹۸^{c}	۱۰۴/۸۶^{c}	۱۰۹/۱۱^{c}	۱۰۹/۵۲^{c}	۱۱۰/۶۹^{c}
سیلاژ ذرت	۵/۹۴^{e}	۷/۷۷^{e}	۸/۹۱^{e}	۹/۵۵^{e}	۹/۷۰^{e}	۹/۷۰^{e}	۹/۷۰^{e}
سبوس گندم	۳۰/۴۷^{d}	۳۳/۸۱^{d}	۳۶/۳۵^{d}	۳۷/۶۷^{d}	۳۸/۱۲^{d}	۳۸/۱۲^{d}	۳۸/۱۲^{d}
خطای استاندارد از میانگین	۱/۰۴	۰/۸۱۴	۰/۷۷۴	۰/۹۴۸	۱/۴۲۵	۱/۴۲	۱/۴۲
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
سدیم (میلی گرم/کیلوگرم ماده خشک)							
کاه گندم	۱۰/۸۶^{d}	۲۵/۱۷^{d}	۴۲/۷۵^{d}	۶۱/۰۲^{d}	۷۴/۴۶^{d}	۸۲/۴۹^{d}	۸۵/۹۴^{d}
تفاله چغندر قند	۱۲/۶۸^{c}	۴۹/۹۴^{c}	۱۱۲/۳۵^{c}	۱۶۱/۶۵^{c}	۱۷۳/۲۹^{c}	۱۸۸/۲۲^{c}	۱۹۶/۵۳^{c}
علوفه یونجه	۴۲/۵۷^{a}	۶۳/۴۶^{a}	۱۱۶/۳۹^{a}	۱۷۴/۸۷^{a}	۱۹۷/۲۹^{a}	۲۱۰/۷۸^{a}	۲۱۸/۴۱^{a}
سیلاژ ذرت	۱۷/۳۱^{b}	۵۴/۹۵^{b}	۱۲۴/۵۳^{b}	۱۵۴/۴۴^{b}	۱۶۶/۵۶^{b}	۱۷۲/۵۲^{b}	۱۷۳/۷^{b}
سبوس گندم	۸/۳۹^{e}	۲۳/۴۱^{e}	۳۵/۵۹^{e}	۴۴/۲^{e}	۴۸/۲۵^{e}	۵۱/۲۳^{e}	۵۳/۸۲^{e}
خطای استاندارد از میانگین	۰/۳۸۸	۰/۸۱۴	۱/۳۲۵	۱/۷۴۷	۱/۳۸۵	۱/۰۶۸	۱/۸۰۱
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱

a-e: تفاوت ارقام در هر ستون با حروف نامشابه، معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

در پژوهشی Martz & Ledoux (1991) میانگین حلالیت فسفر در نمونه‌های خوراکی مختلف را ۶۷ درصد گزارش کردند و تفاوتی بین زمان صفر و سه ساعت پس از انکوباسیون از لحاظ میزان انحلال مواد معدنی مشاهده نشد. این محققین میزان آزادشدن این عنصر در یونجه در زمان صفر و ۴۸ ساعت پس از انکوباسیون را به ترتیب ۵۸/۴ و ۷۴/۳ درصد گزارش کردند. همچنین Ibrahim *et al.* (1998) در آزمایش‌های خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش زمان انکوباسیون کاه برنج در شکمبه میزان آزادشدن عنصر فسفر افزایش یافت و بعد از ۲۴ ساعت انکوباسیون میزان فسفر باقی مانده در نمونه‌های شکمبه ۵۰ درصد میزان اولیه بود. همچنین آنها نتیجه گرفتند که میزان آزادسازی عنصر فسفر در زمان صفر انکوباسیون در گیاهان اریترینا، گلیرسیدیا، برگ جک و سبوس برنج به ترتیب ۸۵، ۶۰، ۵ و ۹۵ درصد بود و با افزایش مدت انکوباسیون شکمبه‌ای هیچ تغییری در میزان آزادسازی این عنصر مشاهده نشد. Mjoun *et al.* (2000) میزان آزادسازی فسفر در زمان صفر برای پوسته سویا و جوانه ذرت مورد استفاده در جیره نشخوارکنندگان را در دامنه‌ای

بین ۴۱/۹ تا ۷۸ درصد گزارش کردند. آنها همچنین گزارش کردند که در ۴۸ ساعت پس از انکواسیون میزان آزادسازی در دامنه‌ای بین ۸۸/۶ تا ۱۰۰ درصد بود به نحوی که کمترین میزان برای پوسته سویا و بیشترین میزان برای جوانه ذرت و کنجاله سویا بود. Ceresnakova *et al*. (2007) اعلام کردند که در انکوباسیون‌های میان مدت (۱۲-۱۴ساعت) آزادشدن فسفر از تفاله جو خشک ناچیز بود که احتمالا به این علت که اغلب فسفر قابل دسترس در ۱۲ ساعت اول ناپدید شده بود.

کمترین میزان آزادسازی عنصرکلسیم در زمان صفر و حداکثر میزان آزادسازی در ۱۲ ساعت پس از انکوباسیون مشاهده شد. در بین تیمارهای آزمایشی بیشترین میزان آزادسازی از آن یونجه و کمترین میزان آن کاه گندم بود (P<۰/۰۱). Martz & Ledoux (1991) میزان حلالیت کلسیم در زمان صفر برای سیلاژ ذرت، علف گراس و یونجه خشک به‌ترتیب ۶۰،۴۹ و ۳۴ درصد اعلام کردند به نحوی که حداکثر حلالیت کلسیم پس از ۴۸ ساعت انکوباسیون مشاهده شد. همچنین Ibrahim *et al*. (1998) گزارش دادند که یک تفاوت آشکار در الگوی آزادسازی کلسیم در خوراک‌های مورد مطالعه وجود داشت، در تمام نمونه‌های مواد خوراکی میزان آزادسازی کلسیم در زمان صفر کمتر از ۱۰۰ درصد بود و در زمان ۴۸ تنها سبوس برنج آزادسازی در حدود ۱۰۰ درصد داشت. Serra *et al*. (1995) میزان حلالیت کلسیم در علوفه‌ها را در دامنه‌ای بین ۴/۵ تا ۳۹/۶ درصد برای زمان صفر اعلام کردند. آنها همچنین گزارش دادند که میانگین ناپدیدشدن کلسیم در سه ساعت پس از انکوباسیون، ۴۳ درصد نسبت به زمان صفر افزایش یافت و در زمان ۷۲ به ۸۴/۹ درصد افزایش یافت. Correac (2006) گزارش کرد که زمان برداشت گیاه کیکویو۱ روی میزان آزادشدن عناصر معدنی اثری نداشت و طی دو زمان ۳۲ و ۵۸ انکوباسیون کلسیم موجود در گیاه حفظ شد و حداکثر میزان حلالیت آن پس از ۷۲ ساعت انکوباسیون مشاهده شد. Evitayani *et al*. (2011) میانگین حلالیت کلسیم در زمان صفر را در فصول خشک و بارانی برای چند نمونه علوفه را ۱۹/۵ درصد گزارش کردند. آنها همچنین اعلام کردند میزان کلسیم آزادشده از نمونه‌های علف برداشت شده از سوماترای غربی در زمان ۲۴ انکوباسیون از ۳۰/۲ تا ۴۵/۵ درصد در طی فصول بارانی و ۲۱/۴ تا ۵۰ درصد در فصول خشک متغیر بود و متوسط آزادشدن کلسیم در علوفه‌های برداشت شده از این منطقه ۳۵/۵ درصد بود و در ۷۲ پس از انکوباسیون میانگین آزادسازی این عنصر در فصول بارانی ۸۵ درصد و در فصول خشک ۷۱/۳ درصد بود. نتایج حاضر با یافته‌های محققین دیگری (Babayemi & Bamikole, 2009; Aghajanzadeh *et al*., 2017) همسو بود. Zanetti *et al*. (2017)، Aghajanzadeh *et al*. (2012) و Bamikole & Babayemi (2009) گزارش کردند که آزادسازی کلسیم در شکمبه نسبت به سایر عناصر معدنی مذکور در این پژوهش، نیاز به بیشترین زمان انکوباسیون دارد.

اطلاعات مربوط به آزادسازی عناصر معدنی در شکمبه در زمان‌های مختلف و اثر متقابل مواد معدنی با تیمارهای خوراکی بر آزادسازی به‌ترتیب در جدول‌های ۶ و ۷ آمده است. سرعت آزادسازی عناصر معدنی در مقایسه با یکدیگر در کلیه زمان‌های صفر تا ۷۲ ساعت اختلاف معنی داری داشت (P<۰/۰۱). ترتیب آزادسازی عناصر به صورت پتاسیم، فسفر، کلسیم، سدیم و منیزیم بود و در کل زمان‌های انکوباسیون بیشترین میزان آزادشدن برای پتاسیم و کمترین میزان آزادشدن برای منیزیم بود (P<۰/۰۱). در بررسی اثر متقابل مواد معدنی و خوراک نیز بیشترین و کمترین میزان آزادسازی در زمان ۷۲ ساعت انکوباسیون به‌ترتیب برای پتاسیم یونجه و سدیم سیلاژ ذرت بدست آمد (P<۰/۰۱).

1. *Pennisetum clandestinum*

جدول ۵. میزان ناپدید شدن عناصر فسفر و کلسیم خوراک‌ها در زمان‌های مختلف انکوباسیون

تیمارها	زمان (ساعت)						
	۰	۴	۸	۱۲	۲۴	۴۸	۷۲
فسفر (میلی گرم/کیلوگرم ماده خشک)							
کاه گندم	۳۱/۴۳^{e}	۳۸/۴۳^{e}	۴۰/۵۳^{e}	۴۳/۴۴^{e}	۴۹/۴۴^{e}	۴۹/۴۴^{e}	۴۹/۴۴^{e}
تفاله چغندر قند	۷۹/۱۹^{d}	۹۰/۲۴^{d}	۹۲/۱۸^{d}	۹۵/۱۴^{d}	۹۵/۱۴^{d}	۹۵/۱۴^{d}	۹۵/۱۴^{d}
علوفه یونجه	۱۳۷/۶۸^{b}	۱۷۰/۷۵^{b}	۱۸۲/۹۷^{b}	۲۰۵/۳۹^{b}	۲۱۵/۳۹^{b}	۲۱۵/۳۹^{b}	۲۱۵/۳۹^{b}
سیلاژ ذرت	۱۲۶/۴۵^{c}	۱۵۴/۰۷^{c}	۱۸۰/۶۶^{c}	۹۵/۲۸^{c}	۲۰۴/۲۸^{c}	۲۰۴/۲۸^{c}	۲۰۴/۲۸^{c}
سبوس گندم	۱۰۰۹^{a}	۱۱۸۴/۱^{a}	۱۲۲۳/۵۵^{a}	۱۲۲۵/۳۶^{a}	۱۳۱۵/۳۶^{a}	۱۳۱۵/۳۶^{a}	۱۳۱۵/۳۶^{a}
ا خطای استاندارد از میانگین	۰/۶۴۱	۰/۴۱۷	۰/۵۳۲	۰/۲۳۱	۰/۲۳۱	۰/۲۳۱	۰/۲۳۱
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
کلسیم (میلی گرم/کیلوگرم ماده خشک)							
کاه گندم	۲۸/۳۳^{e}	۴۰/۴۹^{e}	۵۶/۱۵e	۷۰/۶۷^{e}	۹۶/۱۱^{e}	۱۱۹/۴۸^{e}	۱۲۸/۱۹^{e}
تفاله چغندر قند	۱۱۵/۴۴^{b}	۳۱۳/۰۹^{b}	۳۶۴/۳۳^{b}	۴۰۵/۵۸^{b}	۵۳۹/۲۷^{b}	۵۶۷/۱۹^{b}	۵۷۶/۱۵^{b}
علوفه یونجه	۳۵۰/۹۱^{a}	۶۳۱/۶۵^{a}	۷۰۶/۱۵^{a}	۸۰۰/۰۹^{a}	۱۰۶۷/۹۱^{a}	۱۱۴۹/۳۸^{a}	۱۱۸۷/۹۱^{a}
سیلاژ ذرت	۴۵/۱۳^{c}	۹۲/۵۱^{c}	۱۰۶/۰۵^{c}	۱۲۱/۸۵^{c}	۱۷۲/۶۹^{c}	۱۹۳/۰۹^{c}	۱۹۹/۳۸^{c}
سبوس گندم	۳۳/۳۷^{d}	۶۱/۴۸^{d}	۷۰/۷۴^{d}	۷۸/۷۵^{d}	۱۰۰/۳۹^{d}	۱۰۹/۴۶^{d}	۱۱۷/۴۳^{d}
خطای استاندارد از میانگین	۰/۶۹۱	۰/۷۵۱	۱/۱۴۲	۰/۸۴۷	۱/۷۳۲	۱/۲۴۷	۱/۲۴۱
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱

a-e: تفاوت ارقام در هر ستون با حروف نامشابه، معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

Martz & Ledoux (1991) ترتیب آزادسازی عناصر معدنی اندازه‌گیری شده در چهار نوع علوفه یونجه، علف حصیری، علف برمودا و سیلاژ یونجه را بدین ترتیب اعلام کردند که پتاسیم بیشتر از فسفر، منیزیم و کلسیم آزاد شد. همچنین آن‌ها در رابطه با میزان حلالیت شکمبه‌ای این عناصر بیان داشتند که پتاسیم علف حصیری بیشترین و کلسیم علف برمودا کمترین میزان حلالت بعد از ۴۸ ساعت انکوباسیون را داشتند. همسو با نتایج آزمایش حاضر Ibrahim *et al.* (1998) گزارش کردند که در کاه برنج، علف کونیا، گلیرسیدیا، برگ جک، اریترینا و سبوس برنج، پتاسیم دارای بیشترین سرعت آزادسازی است و بقیه عناصر به‌ترتیب فسفر، سدیم، منیزیم و کلسیم می‌باشند. آن‌ها اثر متقابل ماده خوراکی و ماده معدنی را در سرعت آزادشدن عناصر معدنی در شکمبه بعد از ۴۸ ساعت انکوباسیون، بدین ترتیب گزارش کردند که پتاسیم موجود در برگ جک بیشترین و کلسیم موجود در سبوس برنج کمترین میزان حلالیت را داشتند. Evitayani *et al.* (2011) بیان داشتند که روند انحلال‌پذیری شکمبه‌ای عناصر معدنی در علوفه فصول خشک و بارانی با هم یکسان بود، به نحوی که پتاسیم حلالیت‌پذیرترین عنصر و سپس به‌ترتیب گوگرد، منیزیم و کلسیم بودند. Pal *et al.* (2011) ترتیب آزادشدن عناصر معدنی در کاه برنج، کاه ارزن، کاه گندم، ساقه ذرت و علف جو دوسر را پس از ۷۲ ساعت انکوباسیون مورد بررسی قرار دادند. این محققین گزارش کردند که میزان انحلال‌پذیری به ترتیب پتاسیم، منیزیم، فسفر، مس، منگنز، روی و کلسیم بود. Correac (2006) گزارش کرد که در ۷۲ ساعت انکوباسیون شکمبه‌ای در گیاه کیکویو عنصر پتاسیم حلالیت‌پذیرترین عنصر و سپس به‌ترتیب عناصر فسفر، منیزیم و کلسیم بودند. همسو با نتایج حاضر Zanetti *et al.* (2017)، Aghajanzadeh *et al.* (2012) و Bamikole & Babayemi (2009) نیز بیان داشتند که بیشترین میزان انحلال‌پذیری در شکمبه را پتاسیم دارد. همچنین نتایج حاصل از آزمایش‌های ما با نتایج Oikawa & Saiga (1995)، Ceresnakova *et al.* (2007) و Galdamez *et al.* (2003) موافق بود اما در تضاد با نتایج حاضر، Rooke *et al.* (1983) نتایج متفاوتی در رابطه با آزادسازی منیزیم بیان کردند.

جدول٦. میزان آزاد سازی عناصر معدنی در شکمبه (بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) در زمان‌های مختلف

تیمارها	زمان (ساعت)						
موادمعدنی (میلی گرم/کیلوگرم ماده خشک)	۰	۴	۸	۱۲	۲۴	۴۸	۷۲
کلسیم	۱۱۵/۶۰^{c}	۲۲۸/۳۶^{c}	۲۶۲/۱۶^{c}	۲۹۵/۴۰^{c}	۳۹۵/۷۱^{b}	۴۲۷/۶۶^{b}	۴۴۲/۳۰^{b}
فسفر	۲۲۷/۱۱^{b}	۳۲۷/۶۶^{b}	۳۴۳/۲۰^{b}	۳۵۳/۱۶^{b}	۳۷۷/۹۴^{c}	۳۷۷/۹۴^{c}	۳۷۷/۹۴^{c}
منیزیم	۱۸/۴۵^{e}	۴۳/۲۶^{e}	۸۵/۵۱^{e}	۱۲۱/۳۶^{d}	۱۳۰/۹۱^{d}	۱۴۰/۴^{d}	۱۴۴/۵۲^{d}
پتاسیم	۱۰۲۴/۸۰^{a}	۱۸۰۶/۴۹^{a}	۱۱۱۲/۲۵^{a}	۱۱۳۶/۲۴^{a}	۱۱۵۰/۹۶^{a}	۱۱۵۰/۹۶^{a}	۱۱۵۰/۹۶^{a}
سدیم	۶۹/۵۱^{d}	۸۲/۸۷^{d}	۸۹/۰۸^{d}	۹۳/۹۶^{e}	۹۶/۸۸^{e}	۹۶/۸۸^{e}	۹۶/۸۸^{e}
خطای استاندارد از میانگین	۰/۵۷۱	۰/۶۲۱	۰/۵۷۴	۰/۷۳۶	۰/۷۸۴	۰/۶۶۶	۰/۷۳۳
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱

a-e: تفاوت ارقام در هر ستون با حروف نامشابه، معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

جدول ۷. اثر متقابل مواد خوراکی و ماده معدنی در سرعت آزادسازی بعد از ۷۲ ساعت انکوباسیون (میلی‌گرم درکیلوگرم ماده خشک)

تیمارها	کلسیم	فسفر	منیزیم	پتاسیم	سدیم
کاه گندم	۱۲۷/۴۸^{n}	۵۰/۳۹^{s}	۸۷/۰۹^{r}	۱۳۸۷/۲۷^{c}	۱۳۲/۳۱^{m}
تفاله چغندر قند	۵۷۹/۱۴^{g}	۱۰۲/۲۹^{q}	۱۹۴/۴۸^{jk}	۱۹۱/۰۵^{k}	۱۹۷/۲۸^{j}
علوفه یونجه	۱۱۸۷/۵۵^{e}	۲۱۶/۱۴^{h}	۲۱۶/۹۵^{h}	۱۶۸۱/۸۲^{a}	۱۰۸/۰۹^{p}
سیلاژ ذرت	۱۹۷/۵۷^{j}	۲۰۳/۶۱^{i}	۱۷۴/۹۴^{l}	۹۴۱/۸۹^{f}	۱/۷۰^{v}
سبوس گندم	۹/۲۱^{u}	۱۳۱۷/۲۶^{d}	۴۹/۱۵^{s}	۱۵۵۲/۶۸^{b}	۳۷/۱۵^{t}
خطای استاندارد از میانگین	۰/۷۳۳	/۷۳۳	/۷۳۳	/۷۳۳	/۷۳۳
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱

$^{a-u}$تفاوت ارقام در هر ستون با حروف نامشابه، معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

۴. نتیجه‌گیری

میزان آزادسازی پتاسیم در کلیه مواد خوراکی در زمان صفر بیشترین بود. بسته به نوع ماده خوراکی بقیه عناصر در رده‌های بعدی آزادسازی قرار داشتند. این امر ناشی از میزان عناصر موجود در نمونه‌ها بود. با افزایش زمان انکوباسیون میزان آزادشدن عناصر در شکمبه افزایش یافت. اثر متقابل عناصر معدنی و خوراک در زمان‌های مختلف انکوباسیون نشان داد که پتاسیم موجود در یونجه بیشترین سرعت آزادسازی را داشت. در کل میزان آزادسازی پتاسیم در تمام مواد خوراکی و در کلیه زمان‌های انکوباسیون بیشترین بود. فراسنجه‌های ناپدیدشدن مکمل‌های معدنی مونوکلسیم‌فسفات و کربنات‌کلسیم به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار در همه زمان‌های مختلف انکوباسیون بودند.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی بین نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

قاسمی‌هدک، مرتضی؛ قورچی، تقی؛ زره‌داران، سعید؛ طاطار، احمد؛ قربانی، بهنام. (۱۳۹۴). اثر مقادیر مختلف و اندازه ذرات کانی های آلومینوسیلیکاته و گلاکونیت بر ناپدید شدن شکمبه ای ماده خشک، مصرف خوراک، قابلیت هضم مواد مغذی و فراسنجه های خونی گوسفند دالاق. تحقیقات تولیدات دامی. ۴ (۲)، ۲۱-۳۷.

REFERENCES

Aghajanzadeh Golshani, A. Maheri Sis, N. Baradaran Hasanzadeh, A. Asadi Dizaji, A. Mirzaei Aghsaghali, A. & Dolgari Sharaf, J. (2012). Determining nutrients degradation kinetics of chickpea (*Cicer arietinum*) straw using nylon bag technique in sheep. *Open Veterinary Journal*, 2, 54-57.

AOAC. (2012). *Official Methods of Analysis,* 19th edn. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists.

Bamikole, M. A. & Babayemi, O. J. (2009). Macro-mineral utilization in West African dwarf goats fed combinations of fertilized and unfertilized Guinea grass (*Panicum maximum*, cv. ntchisi), Verano stylo (*Stylosanthes hamata* cv Verano) and a concentrate mix. *Livestock Research for Rural Development,* 21 (9), 1-9.

Bravo, D. & Mesch, y. F. (2003). Versune révision des recommandations d´apports en phosphore chez le ruminant. *Animal Production Science*, 16, 19-26.

Bravo, D., Meclly, F., Bogaert, C. & Sauvant, D. (2000). Ruminal phosphorus availability from several feedstuffs measured by the nylon bag technique. *Reproduction Nutrition*, 40, 149-162.

Čerešňáková, Z., Fľak, P., Chrenková, M., Poláčiková, M. & Gralak, M. A. (2008). Ruminal phosphorus release from selected forages determined by the *in Sacco* technique. *Slovak Journal of Animal Science*, 41 (3), 146-150.

Ceresnakova, Z., Flak, P., Polachikova, M. & Chrenkova, M. (2007). *In Sacco* macrominral release from selected forages. *Czech Journal of Animal Science*, 52, 175-182.

Ceresnakova, Z., Fľak, P., Poláčiková, M. & Chrenková, M. (2005). *In Sacco* NDF degradability and minerals release from the selected forages in the rumen. *Czech Journal of Animal Science*, 50, 320-328.

Ceresnakova, Z., Žitňan, R., Sommer, A., Kokardová, M., Szakács, J., Ševčík, A. & Chrenková, M. (2000). Parameters of degradability of pasture herbage cell walls and organic matter. *Czech Journal of Animal Science*, 45, 139-144.

Correac, H. J. (2006). Kinetics of macro-mineral release in the rumen from Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) harvested at two cutting intervals. *Livestock Research for Rural Development*, 18, 1-14.

Costa, R. M., Ponsano, E. H. G., Souza, V. C. & Malafaia, P. (2016). Reduction of phosphorus concentration in mineral supplement on fertility rate, maternal ability and costs of beef cows reared in pastures of *Urochloa decumbens*. *Tropical Animal Health and Production*, 48, 417-422.

Esser, N. M., Hoffman, P. C., Coblentz, W. K., Orth, M. W. & Weigel, K. A. (2009). The effect of dietary phosphorus on bone development in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 92, 1741-1749.

Evitayani, M., Fariani, A., Warly, L., Itani, T. & Fujihara, T. (2011). Dry matter and macro mineral dissapereance of selected grass in West Sumatra, Indonesia. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 2, 104-109.

Field, A. C. (1981). Some thoughts on dietary requirements of macro-elements for ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society*, 40, 267-272.

Flachowsky, G., Grun, M., Polzin, S. & Kronemann, H. (1994). *In sacco* dry matter degradability and Ca, Mg, and P disappearance from Italian ryegrass, alfalfa hay and wheat straw in sheep and goats. *Journal of Animal Physiology and Animal*, 71, 57-64.

Galdamez, N. W., Coffey, K. P., Coblentz, W. K., Scarbrough, D. A., Turner, J. E., Kegley, E. B., Johnson, Z. E., Kellogg, D. W., Gunsaulis, J. L. & Daniels, M. B. (2003). *In situ* solubility of selected macrominerals from common bermudagrass fertilized with different nitrogen rates and harvested on two dates. *Animal Feed Science and Technology*, 111, 203-221.

Ghasemi Hodk, M., Ghoorchi, T., Zerehdaran, S., Tatar, A. & Ghorbani, B. (2015).The effects of different dietary levels and particle size of Glauconite and aluminosilicates on dry matter ruminal disappearance and digestibility, feed intake, fecal moisture and blood parameters in Dalagh sheep. *Animal Production Research*, 4 (2), 21-37. (In Farsi)

Goff, J. P. (2006). Major advances in our understanding of nutritional influences on bovine health. *Journal of Dairy Science,* 89, 1292-1301.

Gralak, M. A., Sciezyynska, A., von Keyserlingk, M. A. G. & Shelford, J. (1997). In situ rumen release of some minerals in dairy cows. *Arbeitstagung Mengen und Sputenelemente,* Dezember, Jena, BRD, 771-777.

Hu, W., Murphy, M. R., Constable, P. & Block, E. (2007). Dietary cation- anion difference effects on performance and acid-base status of dairy cows postpartum. *Journal of Dairy Science*, 90, 3367-3375.

Ibrahim, M. N. M., Zemmelink, G. & Tamminga, S. (1998). Release of mineral elements from tropical feeds during degradation in the rumen. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,* 11, 530-537.

Islam, M. R., Nishida, T., Ando, S., Ishida, M., Yoshida, N. & Arakawa, M. (2001). Effect of variety, stage of maturity and botanical fractions on phosphorous concentration and in situ degradability characteristics of phosphorus of whole crop rice silage. *Animal Feed Science and Technology,* 93, 237-248.

Khorasani, G. R. & Armstrong, D. G. (1990). Effect of sodium and potassium level on the absorption of magnesium and other macro-minerals in sheep. *Livestock Production Science,* 24, 223-235.

Ledoux, D. R. & Martz, F. A. (1991). Ruminal solubilization of selected macro minerals from forage and diets. *Journal of Dairy Science,* 74, 1654-1661.

Lieu, P. T., Heiskala, M., Peterson, P. A. & Yang, Y. (2001). The roles of iron in health and disease. *Molecular Aspects of Medicine,* 22, 1-87.

Martinez, N., Risco, C. A., Lima, F. S., Bisinotto, R. S., Greco, L. F., Ribeiro, E. S., Maunsell, F., Galvao, K. N. & Santos, J. E. P. (2012). Evaluation of peripartal calcium status, energy profile, and neutrophil function in dairy cows at low or high risk of developing uterine diseases. *Journal of Dairy Science,* 95, 7158-7172.

McDowell, L. R., Williams, S. N., Hidiroglou, N., Njeru, C. A., Hill, G. M., Ochoa, L. & Wilkinson, N. S. (1996). Vitamin E supplementation for the ruminants. *Animal Feed Science Technology,* 60, 273-296.

Mjoun, K., Kalscheur, K. F., Hippen, A. R. & Schingoethe, D. J. (2000). Ruminal phosphorus disappearance from corn and soybean feedstuffs. *Journal of Dairy Science,* 91, 3938-3946.

NRC. (1985). *Nutrient Requirements of Sheep*. 6th Edition, National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D.C.

Ørskov, E. R. & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science*, 92, 499-503.

Paik, I. K. (2001). Application of chelated minerals in animal production. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,* 14, 191-8.

Pal, D. T., Singh, P., prasad, C. S. & Sampath, K. T. (2011). Minerals release kinetics in the rumen from five commonly available fodders. *The Indian Journal of Animal Sciences,* 18, 1-2.

Playne, M.J., Echcvarria, M.G. & Megarrity, R.G. (1978). Release of nitrogen, sulphur, phosphours, calcium, magnesium, potassium and sodium from four tropicalhays during their digestion in nylon bags in the rumen. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 29, 520-528.

Prados, L. F., Valadars Filho, S. C., Santos, S. A., Zanetti, D., Nunes, A. N., Costa, D. R., Mariz, L. D. S., Detmann, E., Amaral, P. M., Rodrigues, F.C. & Valadares, R. F. D. (2016). Reducing calcium and phosphorus in crossbred beef cattle diets: impacts on productive performance during the growing and finishing phase. *Animal Production Science,* 56, 1643-1649.

Rooke, J. A., Akinsoyinu, A. O. & Armstrong, D. G. (1983). The release of mineral elements from grass silages incubated *in Sacco* in the rumens of Jersey cattle. *Grass and Forage Science,* 38, 311-316.

Saiga, S. & Oikawa. (1995). Releasa of macrominerals from cross section of threeforage grass during water–soaking. *Japanese Journal of Grassland Science*, 40, 381-389.

SAS. (2004). *Software Version* 9.1: Statistics. SAS Institute, Cary, NC.

Serra, S. D., Serra, A. B., Ichinohe, T. & Fujihara, T. (1995). Ruminal solubilization of macrominerals in selected Philippine forages. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 9, 75-81.

Suttle, N. F. (2010). *Mineral Nutrition of Livestock*, 4th ed. CAB International. 368 Oxford. UK.

Zanetti, D., Godoi, L. A., Estrada, M. M., Engle, T. E., Silva, B. C., Alhadas, H. M., Chizzotti, M. L., Prados, L. F., Renno, L.N. & Valadares Filho, S. C. (2017). Estimating mineral requirements of Nellore beef bulls fed with or without inorganic mineral supplementation and the influence on mineral balance. *Journal of Animal Science,* 95, 1696-1706.