Evaluation of Methane Production from Whey and Pollution Reduction of Cheese Industry Wastewater

Nahvi, I. and Sahbaii, Z.

Biology Dept., Faculty of Science, University of Isfahan

Abstract

Whey is an important by-product of the cheese industry. The production of 0.45 Kg of cheese generates between 2.7 Kg and 4.5 Kg of whey. Therefore whey is a major problem for the cheese industry because it is a heavy pollutant with high BOD an COD of approximately 40000 mg/l and 60000 mg/l, and discharge into sewage treatment plant can cause serious problems of overloading.

Whey appears to be a likely candidate for energy - producing processes in a cheese factory. Technology for the main processes is already known for production of both methane and alcohol. One advantage of methane over ethanol production is its suitability for relatively smaller plant operational size. Anaerobic digestion of whey has already proven to be feasible based on parameters such as COD and total solids reduction. The calculated efficiency of the pollution reduction during different studies shows a range of chemical oxygen demand removal between 60% to 80%

بررسی فرایند تولید متان از آب پنیر و نقش آن در کاهش آلودگی پساب صنایع پنیرسازی

ایرج نحوی - زهره صهبایی *

چکیده

آب پنیر یک محصول مهم صنایع پنیرسازی است. از تولید ۰/۴۵ کیلوگرم پنیر مقدار ۴/۵-۲/۷ کیلوگرم آب پنیر حاصل می‌شود. آب پنیر به عنوان یک محصول فرعی با BOD و COD بالا (به ترتیب حدود ۴۰۰۰۰ میلیگرم در لیتر و ۶۰۰۰۰ میلیگرم در لیتر) آلوده کننده شدید محیط زیست محسوب می‌شود و رها کردن آن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مشکلات جدی پدید خواهد آورد. با این وجود در صورت انتخاب یک سیستم مناسب می‌توان از آب پنیر به عنوان یک منبع تولید انرژی استفاده نمود. تکنولوژی فرایندهای اصلی برای تولید متان و الکل شناخته شده است. مزیتی که تولید متان نسبت به تولید الکل دارد این است که برای کارخانه‌های کوچک مناسبتر تشخیص داده شده است. در حال حاضر مکانیسم هضم بیهوازی آب پنیر مشخص شده و به علت کاهش ۶۰ تا ۸۰ درصد COD و مواد جامد، روشی عملی و مناسب می‌باشد.

مقدمه

آب پنیر، یکی از محصولات فرعی مهم صنایع پنیرسازی است. این ماده، مایعی به رنگ سبز لیمویی می‌باشد، که در طی فرایند تهیه پنیر، پس از جداسازی پروتئین‌های منعقده شیر، حاصل می‌شود. آب پنیرشیرین[1] در نتیجه تهیه محصولاتی که حاصل عمل آنزیم‌هایی از نوع رینت[2] در pH حدود ۵/۶ هستند، به دست می‌آید. آب پنیر اسیدی[3] محصول فرعی حاصل از تولید آن دسته از محصولات لبنی است که در آنها انعقاد شدن در نتیجه اسیدیفیکاسیون در pH حدود ۵/۱ یا کمتر می‌باشد. آب پنیر، مایع رقیق شده‌ای است که از لاکتوز، پروتئین، مواد معدنی و مقادیر اندکی چربی تشکیل یافته است و شامل تقریبا ۶٪ مواد جامد می‌باشد که حدود ۷۰٪ یا بیشتر آن را لاکتوز و حدود ۰/۷٪ را پروتئین تشکیل می‌دهد [۱].

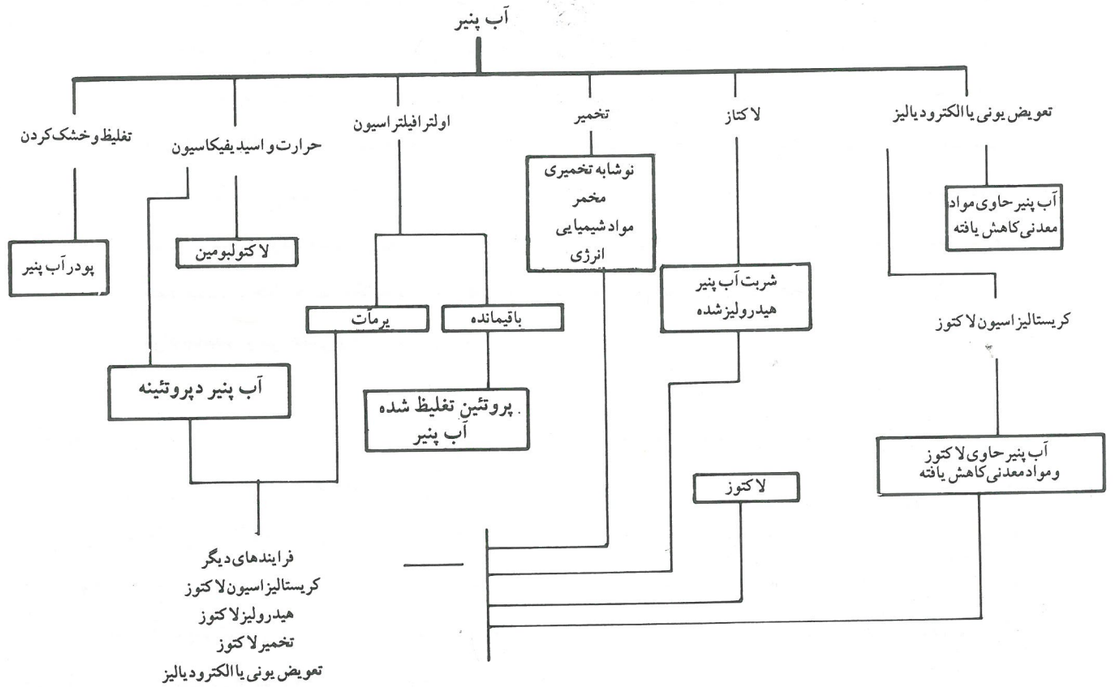
* - دانشگاه اصفهان - دانشکده علوم - گروه زیست شناسی

1- Sweet Whey
2- Rennet
3- Acid Whey

جدول (۱) ترکیب شیمیایی آب پنیر را بر اساس حجم مایع نشان می‌دهد [۲].

آب پنیر، بیشتر در نتیجهٔ تولید پنیر حاصل می‌شود، ولی بعضی از انواع آن در فرایند تولید کازئین بدست می‌آیند. تولید ۰/۴۵Kg پنیر، تولید ۲/۷-۴/۵ Kg آب پنیر را به همراه دارد [۳]. صنایع پنیرسازی در سراسر دنیا، به تحقیق در مورد استفاده صحیح از آب پنیر به عنوان یک محصول فرعی، اهمیت فوق‌العاده‌ای می‌دهند. مقدار قابل توجهی از آب پنیر، هنوز دور ریخته می‌شود و یا در سطح بسیار پائینی مورد استفاده قرار می‌گیرد، که این خود از یک طرف مشکلات آلودگی محیط‌زیست و از طرف دیگر از دست دادن منابعی با ارزش غذایی بالا (متشکل از موادی مانند لاکتوز، پروتئین و مواد معدنی) را به همراه دارد [۴]. در اکثر کشورهای جهان، مصرف آب پنیر یکی از مشکلات جدی است. در حدود ۲۰ سال قبل، بیش از $\frac{2}{3}$ آب پنیر تولید شده، دور ریخته می‌شد و هنوز هم مقدار زیادی از آن به عنوان یک ماده زائد در نظر گرفته می‌شود. در این مدت، طرحهای زیادی در زمینه استفاده صحیح از مقادیر بسیار بالای آب پنیر اجرا شده است، ولی به نظر می‌رسد که در صنایع پنیرسازی سرعت تولید پنیر برای فروش، بسیار سریع‌تر از آن است که بتوان از تمام آب پنیر تولید شده استفاده کرد.

بنابراین اگر ما انتظار داریم که در سال‌های آینده از تمام آب پنیر حاصل از صنایع پنیرسازی در جهت مثبت استفاده شود لازم است تکنولوژی‌های پیشرفته‌تری نیز به‌کار گرفته شود. شکل (۱) خلاصه‌ای از سیستم‌هایی که در آنها از آب پنیر استفاده می‌شود را نشان می‌دهد [۵].



شکل ۱ - کاربردهای آب پنیر

فرایند تولید متان از هضم بیهوازی مواد آلی

بیوگاز، در اثر هضم بیهوازی مواد آلی حاصل می‌شود. در این فرایند انواع گوناگونی از باکتریها که راه سوخت و ساز آنها تا حد زیادی به یکدیگر وابسته است، درگیر هستند. در ابتدا، پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و پروتئین‌ها به وسیله آنزیم‌های خارج سلولی به ترتیب به قندها، اسیدهای چرب و گلیسرول و آمینواسیدها تبدیل می‌شوند. اکثر پلی‌ساکاریدها شامل سلولز، پکتین‌ها و نشاسته به آسانی شکسته می‌شوند ولی لیگنین نسبت به تجزیهٔ بیهوازی بسیار مقاوم است. قندها و دیگر مولکول‌های کوچک به وسیله ارگانیسم‌های مختلفی (به عنوان مثال جنس‌هایی از باکتروئیدس [۱]، کلستریدیوم [۲]، سلنوموناس [۳] و ویلونلا [۴]) تخمیر می‌شوند و محصولاتی شامل استات، بوتیرات، اتانول، پروپیونات و سوکسینات همراه با دی‌اکسیدکربن و هیدروژن را تولید می‌نمایند. پروپیونات نیز می‌تواند به وسیله ارگانیسم‌های دیگر (مانند دسلفوبلبوس [۵]، دسلفونما [۶] و سینتروف‌باکتر [۷]) به استات و یا دی‌اکسیدکربن متابولیزه شود [۶].

گازهای دی‌اکسیدکربن و هیدروژن نیز به وسیله بعضی از باکتریها (به عنوان مثال استوباکتریوم وودی [۸] و کلستریدیوم استیکم [۹]) به استات و به وسیله انواع خاصی از باکتریهای متانزا [۱۰] به متان متابولیزه می‌شوند. برداشت H_2 به وسیله این ارگانیسم‌ها، شرایط مناسب را برای رشد گروه دیگری از باکتریها با عنوان " احیاکننده‌های اجباری پروتون [۱۱] یا تولید کننده‌های اجباری هیدروژن [۱۲] که اتانول، لاکتات و دیگر محصولات تخمیر اولیه را به استات و H_2 متابولیزه می‌کنند، فراهم می‌نمایند. برای این ارگانیسم‌ها، تنها پروتون‌ها قادرند به عنوان پذیرنده‌های الکترون عمل نمایند و برداشت مداوم H_2 حاصل، برای ادامه رشدشان ضروری است.

در بعضی از اکوسیستم‌های بیهوازی، استات به وسیله متانوژن‌های خاصی (مانند جنس متانوسارسینا [۱۳]) به متان، متابولیزه یا به وسیله بعضی از باکتریهای احیاکننده سولفات [۱۴] (مانند دسلفوباکترپاسگتی [۱۵]) و بعضی از جنس‌های احیاکننده گوگرد [۱۶] (مانند دسلفورموناس [۱۷] اکتواکسیدانس [۱۸]) به CO_2 اکسیده (به همراه تشکیل H_2S از سولفات یا سولفیت) می‌شود.

در تصفیه فاضلاب (و در تیمار مواد زائد آلی دیگر مانند خروجی‌های کارخانجات صنعتی و غذایی) گوارش بیهوازی، می‌تواند یک کود نسبتاً بی‌بو و غنی (که غنی از بیوماس میکروبی است) برای کشاورزی و یک گاز سوختی مفید به نام بیوگاز [۱۹] را تولید نماید. بیوگاز با عناوین مانند گازباتلاق [۲۰] گازفاضلاب [۲۱] و گاز لجن [۲۲] نیز شناخته می‌شود [۷]. ترکیب بیوگاز و ارزش حرارتی آن، به شرایط کارکرد دستگاه بیوگاز بستگی دارد. در شرایط معمولی بیوگاز دارای ۷۰-۶۰٪ متان و ۴۰-۳۰٪ دی‌اکسیدکربن می‌باشد. گازهای N_2، H_2، CO، O_2 و H_2S به مقدار جزئی در بیوگاز یافت می‌شوند.

ارزش حرارتی و قابلیت اشتعال بیوگاز به درصد متان موجود در آن وابسته است. به عنوان مثال ارزش حرارتی آن زمانی که درصد متان ۵۰ درصد باشد، ۵۰۰BTU/ft^3 است [۷].

بنابراین دی‌اکسیدکربن موجود در بیوگاز را توسط فیلترهایی کاهش می‌دهند و به همین ترتیب، هیدورژن سولفوره موجود را

1- Bacteroides
2- Clostridium
3- Selenomonas
4- Veillonella
5- Desulfobulbus
6- Desulfonema
7- Syntrophbacter
8- Acetobacterium Woodii
9- Clostridium Aceticum
10- Methanogens
11- Obligate Proton Reducers
12- Obligate Hydrogenogens
13- Methanosarcina
14- Sulphate - Reducing Bacteria
15- Desulfobacter Pastgatei
16- Sulphure - Reducer
17- Desulfuromonas
18- actoxidans
19- Biogas
20- Marsh Gas
21- Sewer Gas
22- Sludge Gas

نیز که دارای بوی زننده‌ای است، از بیوگاز جدا می‌نمایند. در صورت وجود بیش از ۵۰ درصد دی‌اکسیدکربن در بیوگاز، بیوگاز قابل اشتعال نخواهد بود.

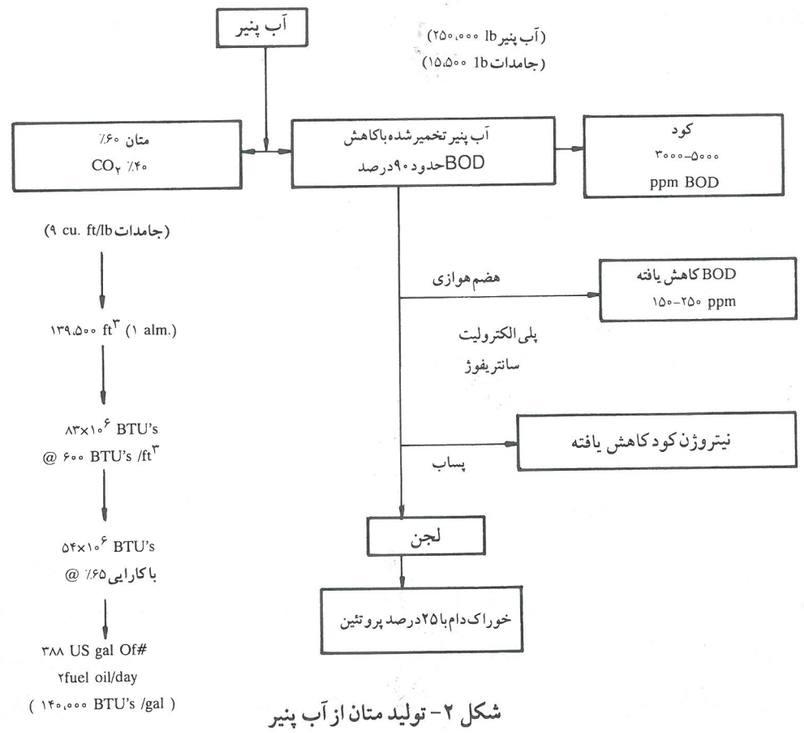
درصد متان بیوگاز، به درجهٔ حرارت واکنش مواد اولیه وابسته است. در درجه حرارت‌های کم درصد متان بیشتر است.

بیوگاز به مقدار خیلی جزیی از هوا سبک‌تر بوده و ارزش حرارتی آن ۸۰ درصد ارزش حرارتی گاز طبیعی است و با سرعت ۴۰ cm/s در هوا منتشر می‌شود.

تولید متان از آب پنیر

همانگونه که قبلاً نیز بیان شد، آب پنیر یک مشکل جدی برای صنایع پنیرسازی است، چراکه آلودگی حاصل از آن به علت BOD و COD بالای آن بسیار زیاد می‌باشد. به منظور مصرف آب پنیر، علاوه بر تولید متان[1] از آن سیستم‌های بسیار متفاوت و پرهزینه‌ای مانند تخمیر آب پنیر به الکل [۹]، تهیه پودر آب پنیر و استفاده از آن به عنوان یک ذخیره غذایی و دیگر سیستم‌ها طراحی شده است[۱۰]. اما ثابت شده است که هضم بیهوازی آن نیز، به علت کاهش ۶۰ تا ۸۰ درصد COD و کل مواد جامد، عملی امکانپذیر است [۳].

به نظر می‌رسد که در سال‌های آتی، منابع انرژی متغیر از اهمیت بیشتری برخوردار خواهند شد. برای صنایع پنیرسازی که تنها از مقادیر اندکی از آب پنیرشان استفاده می‌نمایند، آب پنیر به عنوان یک محصول فرعی مشکل‌آفرین، باید از نظر اقتصادی به انرژی قابل استفاده تبدیل شود. یک گالن از آب پنیر قادر است حدود پنج فوت مکعب گاز تولید نماید که ۵۰ تا ۶۰ درصد آن گاز متان است (شکل ۲).



شکل ۲- تولید متان از آب پنیر

1- Biomethanation

کاتن[1] در سال ۱۹۷۹ نشان داد که در طی فرایند تبدیل لاکتوز به متان و دی‌اکسیدکربن با بازدهی ۸۰٪، یک تن لاکتوز، ۰/۳۲ تن بیوگاز تولید می‌نماید[۱۱]. سویتزنبام و دانسکین[2] در سال ۱۹۸۲ نیز به منظور تیمار آب پنیر یک سیستم (AAFED)[3] را در دو شرایط مختلف مورد استفاده قرار دادند:[۱۲]. (الف) در حالت ثابت بودن غلظت آب پنیر و با سرعت بارگیری[4] هیدرولیکی متغیر و (ب) سرعت بارگیری هیدرولیکی ثابت ولی غلظت آب پنیر متغیر.

آنها از ذرات اکسیدآلومینیوم با قطر ۵۰۰میکرومتر، به عنوان نگهداری کننده‌هایی که به لایه بیولوژیکی اجازه رشد می‌دادند، استفاده کردند. در زمانی که غلظت آب پنیر ثابت نگهداشته شود (مواد جامد غذایی ۱۰میلی‌گرم در لیتر باشد)، زمان ماند هیدرولیک بین ۲۷-۴ متغیر است، سرعت بارگیری مواد آلی ۶۰-۸/۹ Kg COD/m^3 day و درجه حرارت تنظیم شده ۳۱-۲۵ $^\circ$C می‌باشد. تحت این شرایط بیش از ۸۷٪ از برداشت مواد آلی در طی ۱۴-۱۲ ساعت با سرعت‌های بارگیری مواد آلی ۲۰Kg COD/m^3 day حاصل می‌شود. به علت بالا بودن COD اولیه، بازدهی بالا نمی‌تواند یک خروجی با COD پائین را ایجاد نماید. این نشان می‌دهد که تیمار بعد از خروجی لازم است.

در حالت دوم، غلظت آب پنیر ورودی بین ۲۰-۵گرم در لیتر متغیر بود، در حالی که متوسط زمان ماند هیدرولیکی ثابت نگه داشته شد (۱۵/۳۵ h±٪۱۰) و درجه حرارت نیز در ۳۵ $^\circ$C تنظیم شد. سرعت حجمی مواد آلی نیز بین ۸/۲-۲۹/۱ Kg COD/m^3 day متغیر بود. تحت این شرایط لاکتوز در غلظت‌های بالای آب پنیر، ناپایدار بود و روزانه مقادیر بالایی از متان، بر اساس حجم لاکتوز تولید می‌شد.

در طرحی که بر اساس آزمایش سینتیک برای رشد بیولوژیکی و برداشت سوبسترا مبتنی است، سرعت رشد مخصوص میکروارگانیسم (μ) از فرمول زیر محاسبه می‌شود [۱]:

$$\mu = \frac{1}{x}.\frac{dx}{dt} = Yk\text{-}b \qquad (۱)$$

μ = سرعت رشد خاص ارگانیسم {M/(M-T)}

x = غلظت ارگانیسم (M/V)

Y = تولید ارگانیسم (M/M)

k = مصرف سوبسترای خاص {M/M-T}

b = ضریب فساد ارگانیسم ($1/T$)

M = توده حیاتی

T = زمان

V = واحدهای حجمی

از آنجایی که در یک راکتور بیولوژیکی μ معادل زمان ماند مواد جامد یا SRT[5] سیستم می‌باشد، فرمول را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$1/SRT = Yk\text{-}b \qquad (۲)$$

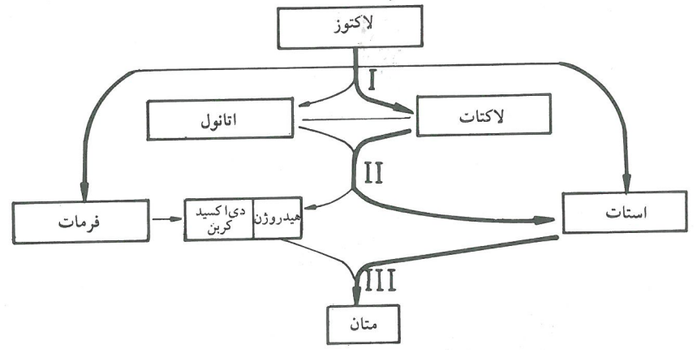
لی[6] و ساتن[7] در سال ۱۹۷۹ پیشنهاد کردند که:

$$VL = \frac{QS_o}{V} = \frac{S_o}{t} \qquad (۳)$$

که در آن Q = سرعت جریان ورودی (V/T)، S_o = غلظت سوبسترا در ورودی (M/V)، V = حجم رآکتور ، و t = زمان ماند هیدرولیکی رآکتور. آنها با استفاده از این فرمول، سرعت تولید متان و بیوماس از آب پنیر تیمار شده با UF (اولترافیلتراسیون) راگزارش دادند[۱۳]. تولید متوسط متان ۰/۲۷۴ m^3/Kg COD در مقایسه با مقدار ما کزیممی که از طریق تئوری حاصل شد (۰/۳۵m^3/Kg COD) بود.

در صورتی که فرایند تولید متان در شرایط محیطی شناخته شده‌ای انجام پذیرد، این فرایند پایدار خواهد بود، که علت آن نیز فعالیت کاتابولیکی جمعیت باکتریهای بیهوازی می‌باشد. در

1- Coton
2- Switzenbaum & Danskin
3- Anaerobic Attached Film Expanded Bed
4- Loading
5- Solids Retention Time
6- Li
7- Sutton



I- باکتریهای هیدرولیتیک: Clostridium butyricum, Klebsiella oxytoca, Leuconostoc mesenteroides
II- باکتریهای استوژنیک: Desulfovibrio vulgaris, Clostridium propionicum
III- باکتریهای متانوژنیک Methanobacterium formicicum, Methanosarcina barkeri, Methanothrix soehngenii

شکل ۳- زنجیره غذایی میکروبی تولید متان از لاکتوز (خطوط پررنگ نشان دهنده جریان اصلی کربن و الکترون می‌باشند).

مورد آب پنیر پرمآت[1] یا آب پنیر دپروتئینه، اولین مرحله، تجزیه لاکتوز به گلوکز و گالاکتوز است که به وسیله تخمیر این هگزوزها به اسیدهای فرار ادامه می‌یابد. تخمیر متان یک مرحله محدودکنندهٔ سرعت در تیمار بیهوازی لاکتوز می‌باشد، چراکه باکتریهای عمل‌کننده در این مرحله دارای سرعت رشد و بازدهی کمتر و حساسیت بیشتری نسبت به شرایط محیطی در مقایسه با باکتریهای تشکیل‌دهنده اسید می‌باشند. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در صنایع پنیرسازی دو رآکتور طراحی شود که یکی تولیدکننده اسیدهای فرار در شرایط هوازی از آب پنیر و دیگری تولیدکننده بیوگاز از خروجی رآکتور اولی است [۱].

بررسی‌های مهندسی هضم بی‌هوازی آب پنیر در یک رآکتور غوطه‌ور، استات، لاکتات، پروپیونات و بوتیرات را به عنوان متابولیت‌های حد واسط قابل ارزیابی در تولید متان از آب پنیر، گزارش داده‌اند [۱۴].

چارتین[2] و زیکوس[3] در سال ۱۹۸۶ سیکل کربن و الکترون تجزیه لاکتوز در تولید متان از آب پنیر را درکشت مداوم مورد بررسی قرار دادند [۱۵]. در آزمایشهای آنها، سیستم کیموستات[4] تحت شرایط محدود شده لاکتوز با یک زمان ماند ۱۰۰ ساعت مورد مطالعه قرار گرفت. تعادل کربن مشاهده شده برای تجزیه لاکتوز ۴/۶۵ m mol از متان، m ۴/۳۶mol از دی‌اکسیدکربن و ۱/۱۵m mol کربن سلولی در میلی‌مول لاکتوز مصرف شده، با دیگر متابولیت‌های حد واسط (به عنوان مثال استات، لاکتات و ...) برای کمتر از ۲درصد لاکتوز مصرف شده گزارش شد. برداشت‌های کربن و الکترون برای تولید متان به ترتیب ۸۷٪ و ۹۰٪ بود. مطالعات سیستم با کربن رادیواکتیو (C^{14}) نیز، انجام تولید متان در سه مرحله خود به خود را تأیید کرد. در مرحله اول، لاکتوز به لاکتات، اتانول، استات، فرمات و دی‌اکسیدکربن متابولیزه می‌شود. در طی این مرحله هیدرولیز، ۸۲٪ از لاکتوز به لاکتات تبدیل می‌شود. در فاز دوم یا مرحله استوژنیک، متابولیت‌های فوق، به استات، دی‌اکسید و هیدروژن تبدیل می‌شوند. در نهایت، پیش‌سازهای مستقیم متان به مرحله سوم یا مرحله تولیدکننده متان[5] منتقل می‌شوند، از استات حاصل از فاز دوم، ۸۱٪ از متان تولیدی، حاصل می‌شود.

1- Permeate
2- Chartain
3- Zeikus
4- Chemostat
5- Methanogenic

جدول (۱ - ترکیب شیمیایی آب پنیر (بر اساس حجم مایع) [۲]

فاکتور	آب پنیراسیدی	آب پنیرشیرین
اسیدیته (pH)	۴/۷	۵/۶-۶/۱
آب (٪)	۹۳/۲	۹۳/۲-۹۳/۶
مواد جامد تام (٪)	۶/۸	۶/۴-۶/۸
ترکیبات مواد جامد(٪)		
لاکتوز	۴/۳-۴/۴	۴/۹-۵/۱
پروتئین	۰/۸	۰/۸-۰/۹
چربی	<۰/۰۵	<۰/۰۵
اسید لاکتیک	۰/۵-۰/۶	۰/۲
خاکستر	۰/۸	۰/۶-۰/۷
ترکیبات خاکستر(٪)		
کلسیم	۰/۱۰	۰/۰۵
فسفر	۰/۰۸	۰/۰۵
آهن	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
پتاسیم	۰/۱۴	۰/۱۶
سدیم	۰/۰۵	۰/۵
ویتامین‌ها (mg/۱۰۰g)		
ویتامین A	<۱۰	<۱۰
تیامین	۰/۰۴	۰/۰۴
ریبوفلاوین	۰/۱۴	۰/۱۶
نیاسین	۰/۰۸	۰/۰۸
پانتوتنیک اسید	۰/۴۰	۰/۴۰
ویتامین B_6	۰/۰۴	۰/۰۳

نتیجه گیری

زنجیره غذایی بیهوازی، شامل گروهی از ارگانیسم‌هاست که کاتوبولیت‌های ارگانیسم‌های گروههای دیگر را مورد استفاده قرار می‌دهند. به عنوان مثال سوبستراهای یک گروه در واقع محصولات نهایی تولید شده توسط گروه دیگر است. باکتریهای تولیدکننده متان یا متانوژنیک‌ها قادرند یک گروه محدود از سوبستراها شامل هیدروژن، دی‌اکسیدکربن، فرمات، متانول، متیل‌آمین‌ها و استات را جذب نمایند. به منظور تولید متان، بقیه ترکیبات باید به یکی از سوبستراهای فوق تبدیل شوند. لاکتات می‌تواند توسط پروپیونی باکتریها[1] یا توسط کلستریدیوم تیروبوتیریکوم[2] به بوتیرات تبدیل شود. با مصرف لاکتات و استات قادر است بوتیرات و دی‌اکسیدکربن را تولید نماید. دی‌اکسیدکربن تولید شده نیز در طی واکنشهایی که در پنج مرحله متوالی انجام می‌گیرد، نهایتاً به متان تبدیل می‌شود. طبق بررسیهای انجام شده تولید آب پنیر در صنایع لبنی کشور با توجه به تأسیس مراکز جدید و گسترش صنایع پنیرسازی روبه افزایش است. بنابراین با تولید متان از آب پنیر علاوه بر تأمین یک منبع انرژی مورد نیاز، آلودگی محیط‌زیست حاصل از این ماده زائد با BOD و COD بالا تا حد زیادی کاهش می‌یابد. زنجیره غذایی - میکروبی تولید متان از لاکتوز در سه مرحله

1- Propionibacteria
2- Clostridium tyrobutyricum

کاملاً مجزا ولی همزمان انجام می‌پذیرد. مدلی که نشان دهندهٔ جریان کربن و الکترون در فرایند تولیدمتان از لاکتوز آب پنیر می‌باشد در شکل (۳) آمده است. در مرحله اول، باکتری‌های هیدرولیتیک، در مرحله دوم، باکتریهای استوژنیک و در مرحله سوم یا مرحله تولید متان باکتریهای متانوژنیک، ایفاء نقش می‌نمایند.

بنابراین می‌توان گفت که آب پنیر یک مادهٔ بسیار مناسب برای فرایندهای تولید انرژی در صنایع پنیرسازی است. تکنولوژی فرایندهای اصلی تولید متان و الکل از آب پنیر کاملاً شناخته شده و قابل بکارگیری در کارخانجات پنیرسازی می‌باشد.

REFERENCES:

1- Zadow. J.G. (1992)." ***Whey and Lactose Processing*** ". First Edition. Chap. 1,4,11, Elsevier Apllied Science, London.

2- Modler, H.W., Muller, P.G., Elliot, J.T. & Emmons, D.B. (1980)." ***Economic and Technical Aspects of Feeding Whey to Livestock*** ", J. Dairy Sci. 63, 838 - 855.

3- Muller, L.L. (1989)." ***Observation on the Economics of Whey Utilization***" , J. Dairy Science Technology, 14,121-126.

4- Brodsky, J.A. & Grootwassink, J.W.D. (1986)." ***Development and Evaluation of Whole - Cell Yeast Lactose for Use in Dairy Processing***". Food Science, 51 (4): 892 - 898.

5- Lyons, T.P.& Cunningham, J.D. (1980)." ***Fuel Alcohol From Whey*** ", Am. Dairy Rev., 42 (11), 42 A-42E.

6- Wittenbury, R.K., Phillips, K.C. & Wilkson, J.F. (1990)." ***Enrichment, Isolation and Some Properties of Methane - Utilizing Bacteria*** ", General Microbiology, 205-218.

7- Zehnder, A.J.B. & Brock, T.D. (1979)." ***Methane Formation and Methane Oxidation by Metanogenic Bacteria*** ", Bacteriology 137, 420-432.

8- Herbert, R.A., and Codd Q.A. (1986)." ***Microbes in Extreme Environments*** ", Academic Press Inc. pp.26-49.

9- Chen., H.C., and Zall, R.R. (1982). " ***Continuous Fermentation of Whey into Alcohol Using an Attached Expanded Bed Reactor*** ", Process Biochem. 17:20-25.

10- Gillies, M.T. (1974). " ***Whey Producing and Utilization: Economic and Technical Aspects*** ", Noyes Data Corp., Park Ridge, N.J.

11- Coton, S.G. (1979), " ***The Utilization of Permeates From Ultrafiltration of Whey and Skim Milk***".Int. Dairy Federation, Geneva, Switzerland.

12- Switzenbaum, M.S. & Danskin, S.C. (1982)." ***Anaerobic Expanded Bed Treatment of Whey*** ", Agric. Wastes, 4,411-426.

13- Sutton, P.M. & Li, A. (1979). " ***Anitron and Oxitron Systems High rate Aerobic and Anaerobic Biological Treatment System for Industry*** ", In Proc. 36th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., W. Lafayette,IN. pp. 665-77.

14- Friend, B.A. and Shahani, K.M. (1989)." ***Whey Fermentation.***" J. Dairy Science Technology, 14, 143-152.

15- Chartrain M. & Zeikus J.G. (1986). " ***Microbial Ecophysiology of Whey Biomethanation: Intermediary Metabolism of Lactose Degradation in Continuous Culture*** ", Applied and Environmental Microbiology, Jan,. 180-187.