هضم بيهوازي زباله:
شيوه‌اي نو براي دفع مواد زائد جامد فسادپذير و توليد انرژي

ابوالقاسم علي قارداشي ـ مهرداد عدل

گروه انرژيهاي نو ـ پژوهشگاه نيرو

چكيده

روشهاي هضم بيهوازي از جمله روشهاي متعدد موجود براي توليد انرژي از زيست توده مي‌باشد. مزاياي گوناگون اين روش مانند تركيب خاص و مناسب هضم زبالة شهري در ايران، فناوري ساده و احتراز از مشكلات محيط‌زيستي به كارگيري اين روش را در ايران امكان‌پذير مي‌سازد. در اين مقاله ابتدا روش هضم بيهوازي شناخته شده و سپس زبالة شهري به عنوان يك خوراك براي روش هضم بيهوازي مورد بررسي قرار مي‌گيرد. در انتها روشهاي متعارف موجود در جهان براي هضم بيهوازي زباله (از جمله روشهاي درانكو، بيوسل، والورگا، كومپوگاز و بي.تي. اي) معرفي و بررسي مي‌شوند.

كلمات كليدي: *زبالة شهري، هضم بيهوازي، بيوگاز*

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

مقدمه

زباله‌هاي شهري از جمله موادي هستند كه در همة كشورها با مشكلات عديدة دفع و اضمحلال روبرو مي‌باشند. مهمترين اين معضلات تحميل هزينه‌هاي زياد اقتصادي و زيست‌محيطي به جامعه است. هر چه شهرها بزگتر بوده و رفاه اجتماعي بيشتر باشد، زبالة توليدي بيشتر بوده و مسائل ياد شده محسوس‌تر مي‌گردد. در ايران به دليل تفاوت بسيار زياد تركيب زبالة شهري با ساير نقاط جهان ـ كه بيشتر به دليل بالا بودن درصد مواد فسادپذير و رطوبت مي‌باشد ـ مشكلات دفع زباله، ويژه بوده و راه حلهاي متعارف در اين باره كار ساز نبوده‌اند. اين مقاله شيوه‌اي نو را براي دفع مواد زائد جامد فسادپذير معرفي مي‌نمايد.

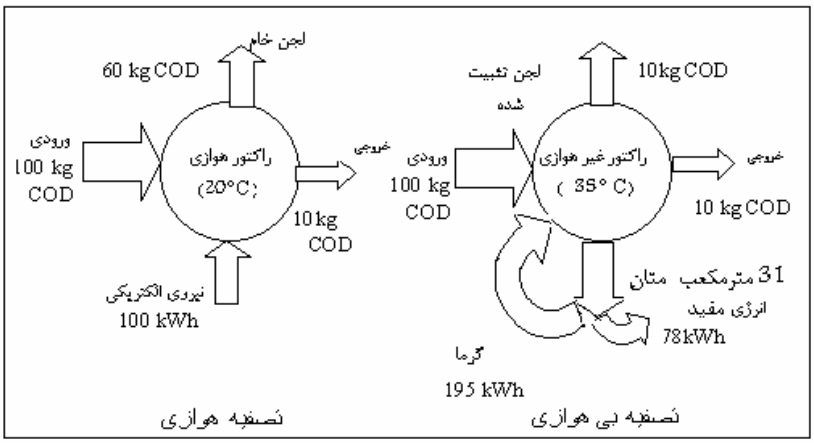
۱ـ هضم بيهوازي زباله

زباله از جملة موادي بوده كه از طريق هضم بيهوازي قابل تبديل به متان مي‌باشد. در عمل هضم بيهوازي مواد آلي به كمك باكتريهاي بيهوازي تجزيه شده و بيوگاز توليد مي‌شود. برآوردهاي صورت گرفته نشان مي‌دهند كه پتانسيلهاي تقريبي توليد متان بوسيلة فنآوري هضم بيهوازي در ايران براي سال ۱۳۷۵، حدود ۹۳۰۰ ميليون مترمكعب متان در سال بوده كه ۱۰۰۰ ميليون مترمكعب آن از زباله مي‌باشد [۱].

۱ـ۱ـ شناخت كلي تصفيه بيهوازي

به طور كلي براي حذف مواد آلي به روش هضم يا گوارش دو راه موجود است: هوازي و بيهوازي. در تصفيه هوازي مواد آلي به آب و دي‌اكسيدكربن تبديل مي‌شوند، در حاليكه در تصفية بيهوازي اين مواد در غياب اكسيژن محلول به گاز متان و دي‌اكسيدكربن تبديل مي‌گردند. انتخاب روش زيست‌شناختي مناسب براي حذف مواد آلي به عوامل متعددي از جمله نوع و غلظت مواد ورودي، درصد حذف مورد نظر، عوامل محيطي، وسايل و تجهيزات موجود، عوامل اقتصادي بستگي دارد. انرژي حاصل از تغيير و تبديل بيهوازي اندك بوده و در واقع انرژي به صورت ذخيره شده در متان باقي مي‌ماند. به همين دليل رشد باكتريها در اينگونه سيستم‌ها كم بوده و به تبع آن هزينه‌هاي مربوط به دفع لجن مازاد كاهش مي‌يابد. شكل (۱) توليد و مصرف انرژي براي حذف مقدار يكساني از بار آلودگي ورودي در دو سيستم هوازي و بيهوازي نشان مي‌دهد [۲].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]



شکل ۱ـ مقایسة سیستم هوازي و بي‌هوازي [۲]

۱ـ۲ـ شناخت فرآیند تبدیل

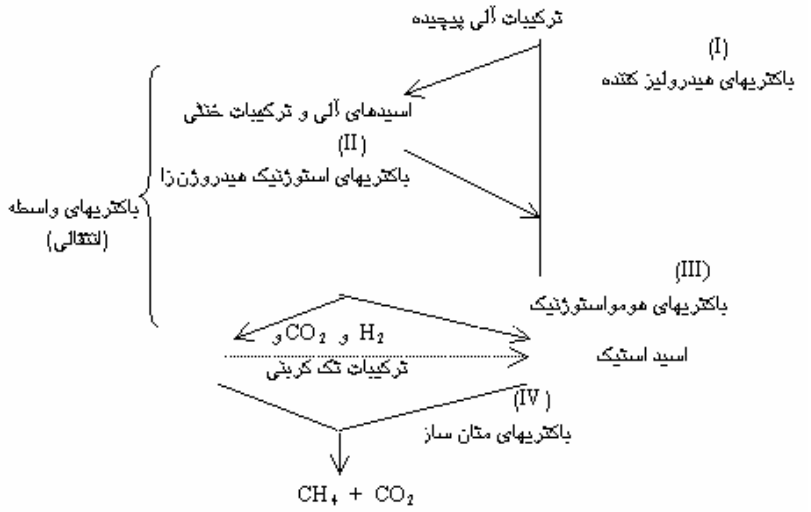
فرآیند تبدیل زیست توده به متان، به صورت کلي مي‌تواند به دو طریق صورت پذیرد: گرمایي و زیستي. عوامل اصلي که تبدیل گرمایي را از لحاظ اقتصادي تحت تأثیر قرار مي‌دهند عبارتند از: محدودیت خوراك، درصد رطوبت و تجهیزات به کار گرفته شده (خصوصاً براي حذف رطوبت). مهمترین مزیت تبدیل گرمایي، قابلیت تبدیل انواع مواد آلي در زمان کوتاه مي‌باشد.

فرآیند گازي کردن زیستي[7] از بهترین فرآیندهاي هضم بیهوازي شناخته شده و مي‌تواند در دماي پایین و در خوراکهاي مرطوب یا خشك (با اضافه کردن آب)، به صورت اقتصادي و در مقیاسهاي مختلف به کار گرفته شود. گاز اولیة تولید شده شامل متان، دي‌اکسیدکربن و کمي سولفید هیدروژن مي‌باشد. مهمترین عامل بازدارندة این فرآیند، تبدیل نشدن ۵۰% ـ و حتي بیشتر ـ مواد آلي است.. شدت واکنش مشخصاً کمتر از فرآیند گرمایي بوده و باکتریهاي مؤثردر فرآیند، به مواد مغذي[8] نیاز دارند. انتخاب نوع فرآیند مناسب براي متان‌سازي به فاکتورهاي اساسي زیر بستگي دارد[۳]: درصد رطوبت خوراك، تجزیه پذیري آلي خوراك، درصد مواد مغذي و بزرگي یا ابعاد تأسیسات.

تبدیل زیستي مواد آلي به متان، تخمیر بي‌هوازي پیچیده‌اي است که مستلزم فعالیت‌هاي هماهنگ تعداد زیادي میکروارگانیسم بوده که داراي اختلافات زیادي در مشخصه‌هاي سوخت و سازي مي‌باشند. شکل (۲) صورت ساده شده‌اي از این فرآیندها را نشان مي‌دهد.

1.Biological Gasification
2. Noutrient

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]



شکل ۲ـ پیکره‌بندي باکتریهاي مختلف شرکت کننده در سوخت و ساز تخمیر متان ساز [۳]

همانطور که در شکل (۲) دیده مي‌شود سه گروه از باکتریها در این واکنشها شرکت مي‌کنند: باکتریهاي هیدرولیزکننده، باکتریهاي واسطه و باکتریهاي متان‌ساز. در اغلب موارد، بزرگ مولکولهاي پلیمري غیرمحلول (سلولز، همي سلولز و لیگنین)، جزء اصلي زیست توده را تشکیل مي‌دهند، به همین دلیل نیاز به هیدرولیز این ترکیبات پلیمري داراي جرم مولکولي سنگین، به واحدهاي متشکله، اولین گام در هضم بیهوازي مي‌باشد. این عمل به وسیلة باکتریهاي هیدرولیز کننده مانند باکتروئیدس ساکسینوژنز[۳]، کلاستریدیوم ترموسلوم[۴] و لاکنواسپیرو مولتي پاروس[۵] انجام مي‌شود. محصولات اصلي آزاد شده توسط این باکتریها فرمات، استات، پروپیونات،لاکتات، متانول، H_2 و CO_2 مي‌باشند. باکتریهاي واسطه، مواد آلي حل شوندة تولیدشده توسط باکتریهاي هیدرولیزکننده را به مواد متان‌ساز تبدیل مي‌کنند. اسیدهاي چرب ـ مهمترین محصول هیدرولیز چربي‌ها ـ در ابتدا توسط استوژنهاي انحصاري کاهندة پروتون[۶] مورد سوخت و ساز قرار گرفته و به مواد متان‌ساز تبدیل مي‌شوند. پپتیدها ـ محصولات هیدرولیز شدة پروتئین ـ توسط باکتریها جذب شده و به آمینواسیدها که ممکن است به عنوان منبع کربن و انرژي در طي واکنش تخمیر مورد استفاده قرار گیرند، هیدرولیز مي‌شوند. الیگو ساکاریدها ـ محصولات عمدة هیدرولیزشدة پلیمرهاي کربوهیدرات ـ توسط باکتریها جذب شده و از طرق گوناگون تخمیر، سوخت و ساز مي‌شوند[۳]. سه گروه باکتري در تقسیم‌بندي باکتریهاي واسطه جاي مي‌گیرند:

3. Bacteriodes Succinogenes
4. Clastridium Thermocellum
5. Lachnospra Multiparus
6. Obligate Proton-Reducing Actogens

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

بـــاکتريهاي تخميرکننده (نظير دي سولفوويبريو[۷] و رومينوکوکوس فلاوه فاسينس[۸] ، استوژنهاي کاهنـــدهٔ پـــروتون (مـــانند ترمـــو ان اروبيوم بروکي[۹] و سينتروفوموناس ولفي[۱۰]) و استفاده‌کننده از هـيـــدروژن «واکنـــش‌هاي برگشتـــي» (مـــانند ائـــوباکتريـــوم ليموزوم[۱۱] و پپتواستريتوکوکوس پروداکتوس[۱۲]) [۳].

باکتريهاي متان‌ساز (توليدکنندهٔ متان) آخرين مرحلهٔ تشکيل بيوگاز از تجزيهٔ بيهوازي زيست توده را تشکيل مي‌دهند. متان‌سازها تعداد اندکي از مواد غذايي شامل H_2-CO_2، فرمات، متانول، استات، مونو متيل آمين، دي و تري متيل آمين را تجزيه مي‌کنند. برخي مواد ديگر(نظير دي متيل سلنيد و دي متيل سولفيد) نيز به متان تبديل شده‌اند اما احتمالاً اين ترکيبات در هضم بيهوازي مهم نمي‌باشند. در يك هاضم بيهوازي معرف، دو ماده متان‌ساز اصلي استات و H_2-CO_2 مي‌باشند. حدود ۷۰ درصد از متان حاصله از استات بدست آمده و بقيه از احياي CO_2 به CH_4 حاصل مي‌شود. اين روابط براي فرآيندهاي هضم بيهوازي ميان دوست (۳۰ تا ۴۰°C) و گرمادوست (۵۰ تا ۶۰°C) هر دو صادق مي‌باشد. به دليل اينکه باکتريهاي متان‌ساز، استات يا H_2 را به عنوان محصولات اصلي توليد نمي‌کنند، اين ترکيبات مشخصاً توسط باکتريهاي غير متان‌ساز توليد مي‌شوند. انواع و گونه‌هاي مختلف زيادي از باکتريهاي متان‌ساز شناخته شده‌اند که برخي از آنها را در جدول (۱) ملاحظه مي‌کنيد.

جدول ۱ـ برخي از انواع شناخته شدهٔ گونه‌هاي باکتريهاي متان‌ساز **[۳]**

ماده هاي آلي مورد مصرف	*نوع و گونه*
فرمات ، H2 – CO2	*Methanobacterium formicicum DSM863*
فرمات ، H2 – CO2	*Methanobreuibacter smithii PS*
H2 – CO2	*Methanothermus feruidus DSM 2088*
فرمات ، H2 – CO2	*Methanococcus thermolithotrophicus*
تري متيل آمين*، متانول	*Methanococcus halophilus*
فرمات، H2 – CO2	*Methanomicrobium mobile BP*
فرمات ، H2 – CO2	*Methanogenium marisnigri JR1*
فرمات ، H2 – CO2	*Methnosarcina barkeri MS*
استات، تري متيل آمين و متانول	*Methnosarcina thermophila TM-1*
تري متيل آمين* ، متانول	*Methanococcoides methylutens*
تري متيل آمين*، متانول	*Methanolobus tindarius*
استات	*Methanothrix soehngenii*
متانول به همراه H2 †	*Methanosphaera stadmanae*

* همچنين ممکن است مونو و دي متيل آمين مصرف شوند

† ترکيب متانول و H2 لازم است

7. Desulfovibrio
8. Ruminococcus Flavefaciens
9. Thermoanerobium Brockii
10. Syndrophomoans Wolfei
11. Eubacterium Limosum
12. Peptosreptococcus Products

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

۲ـ۱ـ شناخت زباله به عنوان خوراك هاضم‌هاي بيهوازي

تركيب خوراك هاضم مي‌تواند بسيار متنوع، گوناگون و گسترده باشد. تركيب مواد آلي خوراك عامل اصلي مؤثر در بهرة متان و نرخ توليد متان از هاضم‌هاي زيست توده مي‌باشد. در ادامه، با توجه به هدف خاص اين مقاله كه توليد متان از بخش آلي و فسادپذير زباله‌هاي شهري است، اين نوع خوراك مورد بررسي قرار مي‌گيرد. زباله را مي‌توان از ديدگاه‌هاي مختلف بررسي كرد و در نتيجه، تقسيم‌بندي‌هاي مختلفي را براي آن در نظر گرفت. اين امر به دليل ماهيت ناهمگن زباله و خصوصيات مختلفي است كه مي‌توان براي آن متصور شد. در تقسيم‌بندي زباله، آنچه مهم است، هدف از اين تقسيم‌بندي است. به عبارت ديگر آنچه نوع تقسيم‌بندي زباله را مشخص مي‌كند، نتيجه‌گيري و كاربردي است كه از اين كار مورد نظر است. به عنوان مثال براي ساخت كارخانه كود و كمپوست، نياز به تقسيم‌بندي زباله از نظر فسادپذيري است اما براي جمع‌آوري زباله نياز به دسته‌بندي و شناخت منبع زباله و تشخيص خطرناك يا غيرخطرناك بودن آن مي باشد.

۲ـ۲ـ طبقه‌بندي زباله‌هاي شهري از نظر نوع مواد توليدي

از آنجا كه هاضم بيهوازي، از زباله‌هاي فسادپذير تغذيه مي‌كند، اين تقسيم‌بندي تشريح مي‌گردد: طبقه‌بندي زباله از نظر مواد توليدي، در واقع بررسي انواع مختلف زباله‌هاي شهري مي‌باشد. بديهي است كه توزيع انواع مختلف زباله براي مؤلفه‌هاي موجود در زباله‌هاي شهري با توجه به موقعيت مكاني، فصل، شرايط اقتصادي و بعضي عوامل ديگر تغيير مي‌كند. به طور كلي زباله توليدي در شهرها به ۸ گروه تقسيم مي‌شوند [٤]: الف ـ پسماندهاي فسادپذير، ب ـ آشغال، ج ـ مواد زائد ويژه، د ـ نخاله‌هاي ساختماني، هـ ـ خاكستر و مواد باقيمانده، وـ مواد زائد حاصل از تصفيه‌خانه‌ها، زـ مواد زائد كشاورزي، ح ـ پسماندهاي خطرناك، در اين تقسيم‌بندي منظور از مواد فسادپذير، پس‌مانده‌هاي غذايي، ميوه‌جات، سبزيجات و ساير مواد آلي فاسد شدني مي‌باشد.

بنابر تقسيم‌بندي فوق، گروه‌هاي "الف"، " و" و" ز" قابل هضم در هاضم بيهوازي مي‌باشند. براي آن كه وضعيت زبالة شهري در ايران شناخته گردد، اجزاي زبالة شهر تهران در جدول (۲) آمده است. چنان كه از جدول برمي‌آيد نزديك ۷۰ درصد زباله را مواد فسادپذير غذايي تشكيل مي‌دهد. درصد مواد فسادپذير براي شهر كرج نيز حدود ۷٤ درصد به دست آمده است [٤]. اين آمار به اين معني است كه دست كم ۷۰ درصد زبالة شهري قابل استفاده در هاضم بيهوازي است. اگر عمليات جداسازي و تفكيك از مبدأ صورت بگيرد اين درصد رشد چشمگيري خواهد داشت. در تحقيقي كه در منطقة بيست تهران انجام پذيرفته، درصد زباله‌هاي فسادپذير از ۷۳/۱۸ درصد پيش از تفكيك به ۹۱/۵۸ درصد پس از تفكيك رسيده است[٤].

جدول ۲ـ ميانگين اجزاي مختلف درون زبالة شهر تهران در سال ۱۳۷۸ **[٤]**

جزء	نان	مواد فسادپذير	پلاستيك نرم	مشمع	پلاستيك سخت	كاغذ	مقوا	فلزات آهني
درصد	۱/٤۸	٦۹/۷	۱/۷۱	٤/٦۳	۰/۷۹	٤/۸٦	٤/۵	۱/۵۳
فلزات غير آهني	پارچه	شيشه	چوب	خاك	لاستيك	مواد خطرناك	چرم	مواد باغباني
۰/۵۲	۲/۹۸	۱/۸۷	۱/۲۹	۲/٦۹	۰/۳۳	۱/٦۵	۰/٤۷	۰/۱

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

۲ـ۳ـ آناليز فيزيكي و شيميايي زباله

بررسي خصوصيات فيزيكي زباله به منظور تعيين نوع و ابعاد مجموعة هاضم به كار مي‌آيد. مهمترين پارامتر فيزيكي براي هضم بيهوازي ميزان رطوبت موجود در زباله مي‌باشد. ميزان رطوبت با موقعيت جغرافيايي، فصل و وضعيت خانواده تغيير مي‌كند. در بيشتر روشهاي هضم بيهوازي ـ كه در بخش‌هاي بعدي معرفي خواهند شد ـ درصد رطوبت لازم حدود ۷۰ درصد مي‌باشد. ميزان رطوبت براي زبالة تهران ٦١ درصد به دست آمده است[٤]. ديده مي‌شود كه از اين جهت نيز زباله‌هاي شهري ايران براي هضم بيهوازي، بر خلاف روش‌هاي ديگر ـ نظير زباله‌سوزي و تهية كود آلي ـ كاملاً مناسب مي‌باشند.

شناخت تركيبات شيميايي خوراك براي تعيين مواد آلي، مواد مغذي وساير نيازهاي غذايي ميكروارگانيسمها لازم مي‌باشد. مهمترين پارامترهاي شيميايي كه براي هضم بيهوازي بايد اندازه‌گيري شوند عبارتند از: تعيين ميزان كربن آلي (از طريق آزمايشهاي C O D,TOC و تعيين مواد آلي تجزيه‌پذير)، تعيين نيتروژن و فسفر، عناصر كمياب و فاكتورهاي رشد.

تحقيقات به عمل آمده نشان مي‌دهند كه نيازهاي غذايي هاضم‌هاي بيهوازي زيست‌توده ـ و از جمله زباله ـ به صورت زير مي‌باشد [۳و٦] :

- مقدار بهينة نسبت C/N براي توليد متان بين ۲۰/۱ تا ۳۰/۱ است.
- مقدار فسفر مورد نياز حدود ۰/۵ كيلوگرم با ازاي هر ۱۰۰۰ كيلوگرم استات مصرفي مي‌باشد. نسبت N/P حدود ۱/^{0} توصيه شده است.
- مقدار آهن مورد نياز حدود $10\frac{mg}{lit}$، كبالت $5\frac{mg}{lit}$، نيكل، موليبدن و سلنيم $0.1\frac{mg}{lit}$ مي‌باشد.
- از ميان فاكتورهاي متعدد رشد، ريبوفلاوين و ويتامين B12 مهمتر از بقيه مي‌باشند.

متأسفانه آناليز دقيق شيميايي از وضعيت زبالة شهري در ايران موجود نيست تا بتوان براساس آن قضاوت قطعي از موجود بودن اين مقادير در زباله ارائه داد. با اين حال با توجه به تركيب زبالة شهري در ايران و بالا بودن درصد مواد غذايي و فسادپذير در آن و تركيب شيميايي زباله ـ كه در پي مي‌آيد ـ ، مي‌توان انتظار داشت كه حداقل‌هاي ياد شده در زبالة شهري ايران موجود باشد. نتايج آناليز شيميايي زبالة شهري ايران چنين مي‌باشد:

سازمان بازيافت شهر تهران فرمول شيميايي زبالة اين شهر را ـ با در نظر گرفتن آب موجود در زباله به عنوان جزئي از آن ـ به صورت ذيل ارائه كرده است [٤]:

$C_{1.7}\,H_{8.3}\,O_{3.8}\,N_{0.05}\,S_{0.038}$

گروه انرژي‌هاي نو پژوهشگاه نيرو درصد اجزاي زبالة خشك شهر تهران را به صورت جدول (۳) ارائه داده است.

جدول ۳ـ درصد اجزاي زبالة خشك شهر تهران **[٤]**

مواد	C	H_2	S	N	Cl	O_2	خاكستر
درصد	۳۷/۰۱	۵/۱٤	۰/۲۵۷	۱/٦٤	۱/۰۹۸	۲۹/۸۵۵	۲۵

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

۳ـ انواع روشهاي هضم بيهوازي زباله

از اواخر دهه هشتاد ميلادي نسبت به هضم بيهوازي مكانيكي مواد زائد جامد و ساختن رآكتور توجه جدي نشان داده شد. ابتدا فرآيندهاي بكار گرفته شده قابل اطمينان و از لحاظ اقتصادي سودده نبودند. اما به تدريج در اين زمينه پيشرفت‌هايي حاصل شد، به نحوي كه تنها در اروپا تا سال ۱۹۹۹، ۵۳ واحد هضم پسماندهاي بهداشتي و تجاري ساخته شده است. اين واحدها داراي ظرفيت بيش از ۳۰۰۰ تن هضم مواد زائد در سال مي‌باشند كه حداقل ۱۰٪ مواد جامد آلي را شامل مي‌شوند. توان عملياتي سالانه اين واحدها در سال ۲۰۰۰ حدود ۱,۰۳۷,۰۰۰ تن بوده كه در مقايسه با ۱۲۲,۰۰۰ تن در سال ۱۹۹۰، در طول يك دهه ۷۵۰ ٪ رشد داشته است [۷].

هاضم‌هاي بيهوازي از منظرهاي گوناگون قابل تقسيم‌بندي و شناسايي مي‌باشند، مثلاً از لحاظ خوراك، زمان ماند، دماي هضم، تعداد مراحل هضم، وجود يا عدم وجود اختلاط، برگشت شيرابه به فرآيند، تصفيه تكميلي وغيره. شناسايي و تقسيم‌بندي ارائه شده در اين بخش بر اساس درصد مواد جامد در خوراك مي‌باشد اما سعي بر آن بوده است كه ساير مشخصه‌هاي اصلي هر روش نيز مورد اشاره قرار گيرد.

۳ـ۱ـ روشهاي فرآيند هضم با غلظت پايين مواد جامد[۱۳]

در اين فرآيندها غلظت مواد جامد غالباً زير ۱۵٪ است. معمولاً براي رسيدن به اين غلظت لازم است كه پسماندها با آب آميخته شده و رقيق گردد. مهمترين مزاياي اين نوع خوراك‌دهي بالا بودن نرخ توليد گاز، راهبري آسان و نگهداري ساده مي‌باشد. مهمترين معايب آن نيز بالا رفتن حجم مخزن رآكتور و هزينه‌هاي اقتصادي، بيشتر شدن انرژي گرمايش رآكتور و نياز به آبگيري مجدد از پسماند است. اغلب روش‌هايي كه براي هضم اين خوراك استفاده مي‌گردد، از نوع اختلاط كامل و زمان ماند حدود ۲ تا ٤ هفته مي‌باشد. زمان ماند در اين فرآيندها در محدوده ۲ تا ٤ هفته است. فرآيندهايي از اين دست كه براي هضم بيهوازي زباله‌هاي فسادپذير بكار مي‌روند به شرح زير مي‌باشند.

❖ فرآيند « **Refcom**»

فرآيند Refcom كه مخفف زائدات تبديل شده به متان[۱٤]مي‌باشد، در سال ۱۹۸۷ توسط ايساكسون و همكاران[۱۵] در پمپانوبيچ فلوريدا[۱٦] به كار گرفته شد. در اين واحد دو رآكتور با اختلاط كامل (CSTR) به كار گرفته شد كه ظرفيت هر يك ۱۲۷٤ مترمكعب بوده و در دماي گرمادوست (ترموفيليك) كار مي‌كردند. خوراك هاضم از سوخت مشتق از زباله[۱۷] بدست مي‌آمد. غلظت مواد جامد رآكتور از ۲/۷ تا ٦/۳ درصد با نرخ خوراك‌دهي (تغذيه) متغير ۱۰ تا ۲۱ تن در

13. Low Solids Digestion
14. Refuse Converted to Methane
15. Isaacson et al.
16. Pompano Beach, Florida
17. Refused-derived Fuel (=RDF)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

روز معادل $\frac{kg_{dry\ \ matter}}{m^3.day}$ ۰/۵ –۰/٤٤ تغییر مي‌کرد. نرخ تولید ویژه گاز از ۰/۱۳ تا ۰/۳ مترمکعب متان به ازاي هر کیلوگرم مواد جامد فرار اضافه شده بود[۷].

❖ فرآیند « **SOLCON**»

این فرآیند که مخفف تغلیظ مواد جامد[۱۸] مي‌باشد، در مجموعه دیزني ریسورت[۱۹] فلوریدا در سال ۱۹۸۸ به وسیلة «بیلجتینا و همکاران[۲۰]» ابداع شد. در این فرآیند یك رآکتور ـ که در آن اختلاط صورت نمي‌گرفت ـ براي هضم مواد جامد به کار مي‌رفت. خروجي فرآیند داراي کمترین غلظت مواد جامد بود که از ۲ و ۳ برابر شدن زمان ماند مواد جامد حاصل شده بود. واحد داراي حجم ۵/۵ مترمکعب بوده و در دماي میان‌دوست کار مي‌کرد. خوراك هاضم مانند فرآیند Refcom، از سوخت مشتق از زباله بدست مي‌آمد. غلظت مواد جامد خوراك حدود ۷ ٪ و میانگین تولید ویژة گاز ۰/۲۵ مترمکعب متان به ازاي هر کیلوگرم مواد جامد فرار اضافه شده بود[۷].

❖ فرآیند «**Wassa**»

این فرآیند نخستین بار در شهر «واسا» در فنلاند به سال ۱۹۷۷ به کار گرفته شد. پس از آن در سوئد و شهر گرونینگن[۲۱] هلند نیز از آن ساخته گردید. واحد گرونینگن یکي از بزرگترین واحدهاي هضم بیهوازي در جهان است که ۲۳۰ هزارتن در سال ظرفیت دریافت زبالة خام و ۲/۵ مگاوات ظرفیت تولید بیوگاز دارد.

این فرآیند هم براي دماي میان‌دوست و هم براي دماي گرمادوست طراحي شده است، چنانچه واحد شهر «واسا» هر دو نوع را به صورت موازي دارد: زمان ماند دماي گرمادوست ۱۰ روز و زمان ماند دماي میان دوست ۲۰ روز است. در نوع گرمادوست این فرآیند، غلظت مواد جامد ۱۳ درصد و آهنگ بارگذاري ٦/۸ کیلوگرم ماده خشك به ازاي هر مترمکعب ظرفیت هاضم در روز بوده است.

فرآیند براي انواعي از مواد زائد جامد که شامل مخلوطي از مواد زائد جامد پردازش شدة مکانیکي و لجن فاضلاب بوده، آزمایش شده است. دامنة غلظت مواد جامد ۱۰ تا ۱۵ بوده است. رآکتور تنها یك مخزن بوده که داراي جداشدگي داخلي (براي به وجود آوردن محفظه پیش هضم) مي‌باشد. اختلاط توسط تزریق بیوگاز از کف رآکتور صورت مي‌گیرد. داده‌هاي راهبري به طور خلاصه نشان مي‌دهند که تولید گاز در دامنة ۱۵۰ـ۱۰۰ مترمکعب به ازاي هر تن پسماندهاي زیستي اضافه شده، کاهش حجم حدود ٦۰ ٪، کاهش وزن ۵۰ تا ٦۰ ٪ و مصرف داخلي بیوگاز ۳۰ـ۲۰ درصد بوده است. مواد هضم شده مي‌توانند به وسیله کمپوست‌سازي هوازي، بیشتر تصفیه گردند که بستگي به کیفیت پسماندها دارد[۷و۸].

18. Solids Concentrating
19. Disney Resort
20. Biljetina et al.
21. Groningen

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

❖ فرآيند «**Wabio**»

اين فرآيند توسط شركت اكوتكنولوژي در شهر «وابيو» در فنلاند ابداع شد و سپس در شهرهاي «بوتروپ[۲۲]» آلمان و «كاليان[۲۳]» هند نيز به اجرا درآمد. اين فرآيند با غلظت مواد جامد در محدوده ۱۰ تا ۲۰ درصد و شرايط دمايي ميان دوست كار مي‌كند.

در فرآيند وابيو لجن فاضلاب با زباله فسادپذير شهري آميخته شده و مورد هضم قرار مي‌گيرد. مراحل مهم اين فرآيند بدين ترتيب است كه در مرحله يكم يا مرحله پيش تصفيه، زباله دريافت شده و بر روي يك نوار نقاله مورد پردازش و تفكيك دستي و زدايش مغناطيسي فلزات آهني قرار مي‌گيرد. آنگاه تا اندازة ۲۵ تا ۵۰ ميليمتر خرد مي‌شود و بر روي سرند دوار الك مي‌گردد. در مرحله دوم ابتدا مواد سرند شده در مخازن آماده‌سازي خوراك با آب آميخته شده تا غلظت مواد جامد به ۱۵% برسد. مخلوط حاصله به بيورآكتورها فرستاده مي‌شود تا مورد گوارش بيهوازي قرار بگيرد. بيوگاز از بالاي مخازن بيورآكتور و لجن هضم شده از پايين آن خارج مي‌گردد. عصاره لجناب خروجي از بالاي مخزن نيز براي توليد خوراك مخلوط هاضم به مخازن آماده‌سازي خوراك بازگردانده مي‌شود. بخشي از بيوگاز براي اختلاط محتويات بيورآكتور و بقيه آن براي موتورهاي گازسوز توليد برق مصرف مي‌گردد. لجن خروجي از بيورآكتورها را براي آبگيري به صافي فشاري مي‌فرستند كه عصارة خروجي از صافي به مخازن آماده‌سازي خوراك بازفرستاده مي‌گردد و مواد آبگيري شده مي‌توانند به عنوان حاصلخيزكننده مورداستفاده قرار گيرند[۹].

۳ـ۲ـ روشهاي فرآيند هضم با غلظت بالاي مواد جامد[۲۴]

اين روش‌ها برپاية هضم مواد با رطوبت كمتر و غلظت مواد جامد ۲۰ تا ۳۰ درصد و حتي بيشتر استوار است. در اين فرآيندها حجم و اندازه‌هاي رآكتور كاهش يافته، آب افزودني كمتري نياز بوده و هزينه‌هاي گرمايش پايين‌تر مي‌باشد. مهمترين اين روشها در زير معرفي مي‌شوند.

❖ فرآيند والورگا [۲۵]

اين فرآيند در فرانسه پي‌ريزي شد و در ساير كشورها مانند هلند نيز توسعه يافت. در اين روش غلظت مواد جامد ۲۵ تا ۳۵ درصد و زمان ماند ۱۸ تا ۲۵ روز است. بهرة ويژة متان بين ۲۲۰ تا ۲۵۰ مترمكعب به ازاي هر تن مواد جامد فرار تغذيه شدة ورودي به هاضم يا بين ۸۰ تا ۱٦۰ مترمكعب به ازاي هر تن پسماند ورودي ـ بسته به نوع پسماند ـ مي‌باشد. بيوگاز حاصله داراي ٦۰ـ۵۵ درصد متان مي‌باشد. محتواي متان بيوگاز در اين فرآيند مي‌تواند تا ۹۷٪ هم برسد

22. Bottrop
23. Kalian
24. Hight Solids Digestion
25. Valogra

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

که در آنصورت مي‌تواند در شبكة گاز (مانند واحد تيلبورگ[۲۶])، در فرآيند و واحدهاي صنعتي (نظير واحد «آمينز[۲۷]») يا براي ايجاد گرما و توليد برق (مثل واحد «انگلس كيرشن[۲۸]») به كار رود. واحدي كه در شهر آمينز وجود دارد، داراي چهار رآكتور بوده كه در دماي ميان‌دوست (مزوفيليك) كار مي‌كنند. همچنين يك زباله‌سوز در مجموعه وجود دارد كه پسماند رآكتور در آن سوزانده مي‌شود. اختلاط در رآكتورها به وسيلة گردش معكوس جزء كوچكي از بيوگاز صورت مي گيرد[۱۰] . شكل (۳) نمايي از ساختار فرآيند را در شهر تيلبورگ هلند نمايش مي‌دهد.

شكل ۳ـ نماي كارخانه هضم بيهوازي زباله‌هاي شهر تيلبورگ (فرآيند والورگا) **[۱۳]**

❖ فرآيند كومپوگاز[۲۹]

در فرآيند كومپوگاز كه در سوئيس ابداع شد، غلظت مواد جامد بالا بوده (حدود۲۰ تا ۳۰ درصد) و هاضم در دماي گرمادوست فعاليت مي‌كند. رآكتور به صورت استوانة افقي بوده و تغذيه به صورت روزانه انجام مي‌پذيرد. حركت مواد در داخل رآكتور به حالت جريان قالبي بهبود يافته[۳۰] افقي است و پسماند هضم شده از انتهاي رآكتور بعد از حدود ۲۰ روز خارج مي‌شود. يك همزن داخل رآكتور، به طور متناوب باعث اختلاط مواد مي‌گردد. مواد هضم شده، در انتها آبگيري مي‌شوند. قسمتي از مايع حاصله به عنوان ماده كشت به رآكتور بازگردانده مي‌شود و قسمت ديگر به تصفيه‌خانه‌هاي فاضلاب ـ براي توليد بيوگاز ـ مي‌رود. جدول (٤) برخي مشخصات چند واحد كه داراي فرآيند كومپوگاز مي‌باشند را نشان مي‌دهد[۷].

26. Tilburg
27. Amiens
28. Engelskirchen
29. KOMPOGAS
30. Modified Plug Flow

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

مواد خام مصرف‌شده در اين فرآيند عبارتند از پسماندهاي ميوه، سبزيجات و باغباني. بهترين عملكرد رآكتور در غلظت TS معادل ۲۷٪ ارزيابي شده است [۱۱]. فرآيند كومپوگاز براي هضم و تثبيت پسماند سبزيجات ايده‌آل است. درحاليكه كمپوست كردن اين مواد بدليل رطوبت زياد در آنها، دشوار و غيراقتصادي است. لازم به تذكر است كه نسبت سبزيجات در خوراك ورودي بايد به تدريج افزايش يابد.

جدول ٤ـ مشخصات برخي از واحدهاي فرآيند كومپوگاز[۷]

محل ساخت	تعداد ونوع رآكتور	ظرفيت (تن درسال)	سال راه اندازي	نوع استفاده از بيوگاز
روملانگ[۳۱]، سوئيس	۲ فلزي	٤۰۰۰	۱۹۹۲	توليد گرماوبرق(BHGP) ايستگاه فروش گاز
باخن بولاخ[۳۲]،سوئيس	۲ فلزي	۱۰۰۰۰	۱۹۹٤	BHGP ،ايستگاه فروش گاز
كمپتن[۳۳]، آلمان	۲ فلزي	۱۰۰۰۰	۱۹۹۵	(BHGP)
اوتلفينگن[۳٤]،سوئيس	۱ بتني	۱۲۰۰۰	۱۹۹٦	BHGP، ايستگاه فروش گاز
مونيخ، آلمان	۲ فلزي	۲۰۰۰۰	۱۹۹۷	(BHGP)
فرانكفورت، آلمان	۱ بتني	۱۵۰۰۰	۲۰۰۰	(BHGP)

فرآيند بيوسل[۳۵]

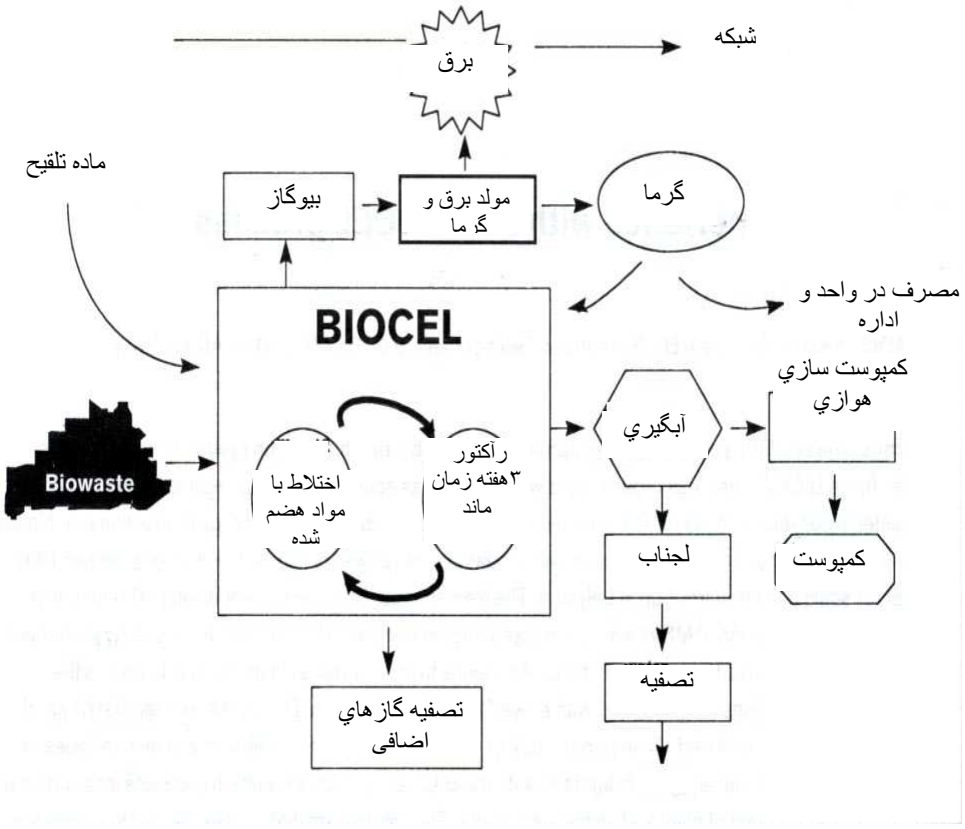
فرآيند بيوسل يك فرآيند ناپيوسته بوده كه در آن غلظت مواد جامد ۲۰ تا ۳۰ ٪ است و هضم در دماي ميان‌دوست صورت مي‌گيرد. خوراك پيش از ورود به رآكتور با ماده كشت آميخته مي‌گردد. اختلاط در رآكتور انجام نمي‌گيرد. مواد زائد تا هنگاميكه توليد گاز كاهش نيابد، در رآكتور باقي مي‌مانند (معمولاً ۲۱ تا ٤۰ روز). شيرابه‌اي كه بصورت روزانه از هاضم‌ها خارج مي‌شود، گرم شده و دوباره به فرآيند بازگردانده مي‌شود. يك واحد با مقياس كامل از اين فرآيند در شهر «للیستد[۳٦]» هلند در سپتامبر ۱۹۹٦ راه اندازي گرديد. ظرفيت اين واحد۵۰۰۰۰ تن در سال و خوراك آن زباله‌هاي تجزيه‌پذير تفكيك‌شده از مبداء مي‌باشد. در اين واحد ١٤ مخزن هاضم مكعب‌مستطيل از بتن مسلح ساخته شده كه درازا و پهناي هريك ٦×۲۰ و ارتفاع ٦ متر و حجمشان ۷۲۰ مترمكعب است. كف رآكتورها سوراخدار و مشبك است و در زير آن محفظه جمع‌آوري شيرابه تعبيه شده و ارتفاع مؤثر رآكتور نيز ٤ متر مي‌باشد. بارگيري رآكتور با مخلوط زباله فسادپذير و ماده تلقيح و به وسيلة بيل مكانيكي انجام مي‌گيرد. پس از پايان بارگيري درپوش

31. Rumlang
32. Bachenbulach
33. Kempton
34. Otelfingen
35. BIOCEL
36. Lelysted

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

رآكتور بسته و درزبندي مي‌شود، فشار زير درپوش حدود ۵۰۰ پاسكال بوده و بيوگاز توليدشده بصورت پيوسته خارج شده و به واحدهاي توليد تركيبي برق و گرما منتقل مي‌گردد. عمل تنظيم دماي رآكتور (۳۵ تا ۴۰°C) با گرم نمودن شيرابة خروجي و پاشيدن آن روي سطح مواد درون رآكتور انجام مي‌پذيرد[۷و۱۳].

فرآيند بيوسل در آزمايش غيرفعال‌سازي ميكروبهاي بيماريزا (مانند انتروباكتر[۳۷]، سالمونلا[۳۸]، پـزودوموناس[۳۹] و فوساريوم اكسي اسپوروم[۴۰]) ۹۹/۹۹ ٪ عملكرد حذف نشان داده است [۲۲]. شكل (٤) نمودار فرآيند بيوسل را نمايش مي‌دهد.



شكل ٤ـ نمودار فرآيند بيوسل در واحد شهر لليستد هلند [۱۲]

37-Entrobacter
38-Salmonella Typhimurium
39-Psedomonas Solanacearum
40-Fusarium Oxysporum

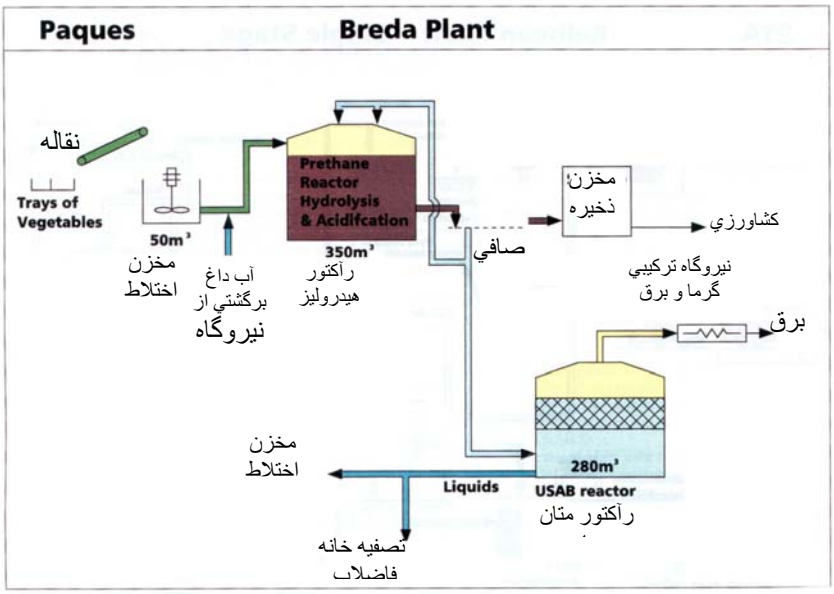
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

❖ فرآیند پکوئس[41]

این فرآیند يك سامانه (سیستم) دومرحله‌اي ميان‌دوست است که در هلند ابداع شده است. مواد زائد ورودي در يك مخزن ـ قبل از ورود به رآکتور هیدرولیزکننده ـ با آب برگشتي آميخته مي‌گردند. آب برگشتي در واحد تولید برق و گرما داغ شده است تا دماي فرآيند را در حد ۳۵ تا ۴۰°C نگه دارد. در این رآکتور، اختلاط بوسیلة تزریق گاز صورت مي‌گیرد. بعد از گذشت زمان ماند کافي، مواد هیدرولیز شده بر روي يك صافي نواري به روش ثقلي آبگیري شده و بخشي از قسمت مایع به رآکتور هیدرولیز برگشته و باقیمانده به يك رآکتور UASB فرستاده مي‌شود تا متان‌سازي صورت پذیرد. مقداري از خروجي رآکتور UASB مي‌تواند در رقیق‌سازي خوراك بکار رود و بقیه به تصفیه خانه فاضلاب فرستاده مي‌شود.

این فرآیند ابتدا براي هضم پسماندهاي سبزي و میوه به کار رفت، اما پس از آن براي زباله پردازش شده شهر لیدن در هلند هم به کار گرفته شد. از جمله داده‌هاي موجود این فرآیند ، ۷۵ ٪ اضمحلال مواد جامد با تولید متان $\frac{m^3 CH_4}{kg \quad VS_{applied}}$ ۰/۲۲ مي‌باشد [۷].

شکل (٤) نمودار فرآیند پکوئس را در شهر « بردا [42]» در هلند نشان مي‌دهد. ظرفیت این واحد ۱۵۰۰۰ تن پسماند میوه و سبزیجات در سال است که تنها ٦ ماه از سال کار مي کند.



شکل ٤ـ نمودار فرآیند پکوئس در هلند [٦]

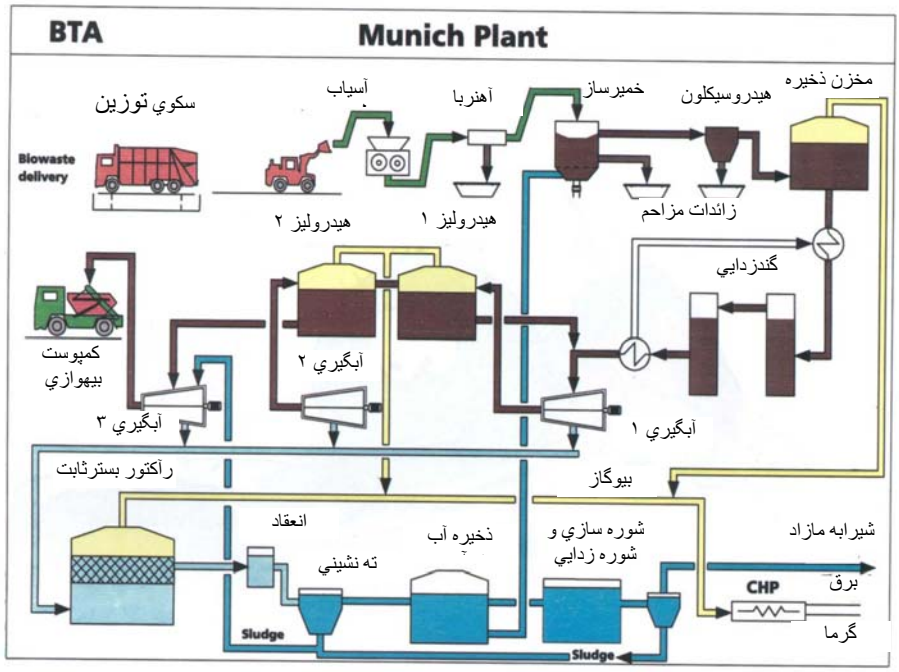
41. Pacques
42. Breda

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

❖ فرآيند بي.تي.آ **BTA**

اين فرآيند براي هضم و تثبيت بخش آلي و فسادپذير زباله‌هاي شهري ـ به صورت سه مرحله‌اي- در آلمان ابداع شد. BTA نام شركتي در مونيخ است كه خدمات مهندسي در زمينه مديريت مواد زائد جامد، دفع زباله و توليد بيوگاز و كمپوست از زباله‌هاي آلي ارائه مي‌دهد و تا كنون ١٤ طرح كامل از نوع تحويل قطعي[٤٣] در جهان اجرا نموده است. يكي از جديدترين واحدهاي ساخته شده توسط اين شركت در شهر نيوماركت[٤٤] كشور كانادا مي‌باشد كه حدود ١٥٠٠٠٠ تن در سال مخلوط زباله‌هاي تجاري، غذايي و لجن‌هاي آلي را هضم مي‌كند[١٣و١٤].

روش B.T.A پيچيده بوده و تجهيزات نسبتاً زيادي را شامل مي‌گردد. براي نمونه شكل (٤) فرآيند به كار گرفته شده براي شهر مونيخ را نشان مي‌دهد. ظرفيت اين واحد ٢٠٠٠٠ تن زباله تفكيك شده در سال است. بيوگاز حاصله براي توليد تركيبي برق و گرما (CHP) بكار مي‌رود. برق توليدي حدود ٥٠٠ كيلووات است كه نيمي از آن در واحد مصرف شده و بقيه به فروش مي‌رسد [١٤]. شكل (٥) نمايي از اين واحد را نشان مي‌دهد.



شكل ٥ ـ نمودار فرآيند **BTA** در واحد مونيخ [٦]

43. turn kay
44. Newmarket

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

شكل ٦ـ نمايي از واحد **BTA** در مونيخ [١٤]

❖ فرآيند درانكو[٤٥]

فرآيند درانكو ـ كه مخفف كلمات كمپوست سازي بيهوازي خشك[٤٦]مي‌باشد ـ در ژنت[٤٧] بلژيك ابداع شد. اين فرآيند در دماي گرمادوست كار كرده و غلظت مواد جامد كل در هاضم ١٥ تا ٤٠ درصد مي‌باشد. خوراك، روزانه از بالاي رآكتور وارد شده از كف هاضم خارج مي‌گردند. قسمتي از خروجي دوباره ـ به عنوان مادة كشت ـ به ورودي برگردانده شده و قسمت باقيمانده، آبگيري شده و به طرف سالن‌هاي كمپوست‌سازي فرستاده مي‌شود. هيچگونه اختلاطي در داخل رآكتور وجود نداشته و جريان قالبي ـ از بالا به پايين ـ درون رآكتور برقرار مي‌باشد. زمان ماند در رآكتور بين ١٥ تا ٣٠ روز، دماي عمليات بين ٥٠ تا ٥٨ درجة سانتيگراد و بهرة متان بين ١٠٠ تا ٢٠٠ مترمكعب بر تن زائدات ورودي به هاضم مي‌باشد[٧]. جدول (٥) مشخصات كلي برخي ديگر از واحدهاي موجود در جهان را نشان مي‌دهد.

45. Dranco
46. Dry Anearobic Composting
47. Ghent

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

جدول ۵ ـ مشخصات اصلي تعدادي از واحدهاي فرآيند درانكو[۷]

محل واحد (شهر،كشور)	نوع خوراك	ظرفيت (تن در سال)	سال بهره برداري (ميلادي)
برشت/بلژيك	مواد جامد زائد شهري تفكيك شده از مبدا يا زائدات سبز باغباني	۱۲۰۰۰	۱۹۹۲
سالزبورگ[۴۸]/ اطريش	"	۲۰۰۰۰	۱۹۹۳
باسوم[۴۹] / آلمان	"	۱۳۰۰۰	۱۹۹۷
آربرگ[۵۰] / سو ئيس	"	۱۱۰۰۰	۱۹۹۷
كايزرسلاترن[۵۱] / آلمان	"	۲۰۰۰۰	۱۹۹۸

٤ـ عوامل بازدارندة اقتصادي و زيست‌محيطي

هر چند تا اجراي كامل و گستردة پروژه‌هاي هضم بيهوازي زباله اظهار نظر قطعي دربارة عوامل منفي به كارگيري اين روش ممكن نيست، با اينحال با توجه به تجربيات جهاني و مطالعات انجام گرفته شده در اينباره، مي‌توان به برخي نكات اشاره داشت:

- مهمترين عامل باز دارنده در به كارگيري اين روش نياز به جداسازي زباله و پردازش آن مي باشد. اين كار خواه در مبدأ (منازل) و حين جمع‌آوري و خواه در محل كارخانه صورت پذيرد، نياز به اختصاص نيرو و هزينه دارد. انجام تبليغات و بالابردن فرهنگ عمومي جامعه، تربيت كادر و نيروي متخصص، نصب تجهيزات ويژة جداسازي و خرد كردن و ساير نيازها همگي نياز به صرف هزينه دارد.
- از عوامل مهمي كه پيش‌بيني مي‌شود استفاده از اين روش را دچار مشكل كرده و رفع آن هزينة زيادي را به وجود بياورد، اين است كه ورود موادي مانند پلاستيك و شيشه‌هاي خرد و يا مواد سمي، هم باعث اختلال در فرآيند رآكتورهاي هضم شده و هم استفاده از مواد هضم شده را با مشكلات زيادي همراه مي‌كند. جدا كردن دقيق مواد ياد شده نياز به فناوري پيچيده و گران قيمت دارد. مهمترين راه‌حل در اين زمينه تفكيك هر چه بهترمواد از مبدأ توليد بوده كه در ايران هنوز رايج نمي‌باشد.
- مهمترين مشكل محيط‌زيستي كه احتمال وقوع آن بيشتر است، گسترش بوهاي ناخوشايند در محل كارخانه است. هر گونه اهمال و كم‌كاري يا بروز اشكال در فرآيند باعث ايجاد بوهاي زننده مي‌شود براي مثال انباشت زباله قبل از ورود به هاضم يا هر گونه اختلال در عمل هضم چنين مشكلي را در پي خواهد داشت.

48. Salzburg
49. Bassum
50. Aarberg
51. Kaiserslautern

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

خلاصه و نتيجه گيري

دلايلي متعددي ـ كه در متن مقاله به تفصيل بررسي شدند ـ وجود دارد كه باعث مي شوند هضم بيهوازي زباله يك روش مناسب براي دفع مواد زائد جامد در ايران تشخيص داده شود. ازجمله مي‌توان به موارد در پي آمده اشاره كرد:

- حجم بسيار زياد زباله فسادپذير و بالا بودن درصد رطوبت زباله در ايران: اين دوعامل مانع عمده‌اي در فناوري‌هاي توليد كمپوست و دفن بهداشتي زباله به حساب مي‌آيند در حاليكه در روش هضم بيهوازي باعث بهتر شدن بهرة متان توليدي و بيشتر شدن بازده مي‌شوند.
- توليد انرژي درروش هضم بيهوازي: در ساير روشهاي دفع مواد جامد نياز به انرژي وجود دارد در صورتيكه در بسياري از روش‌هاي هضم بيهوازي مي‌توان حتي انرژي مازاد بر مصرف هم توليد كرد.
- احتراز از مشكلات زيست‌محيطي: دفن بهداشتي زباله همراه با خطرات و معضلات متعددي است. براي مثال مي‌توان به ورود شيرابه توليدي به آبهاي زيرزميني، نشت گاز و پراكندگي زباله در محل‌هاي دفن اشاره كرد. در توليد كمپوست، وجود عوامل متعدد بيماري‌زا و خطرناك (مانند خرده شيشه) در محصول توليدي از عوامل مهم بازدارنده محسوب مي‌شوند. در روش‌هاي هضم بيهوازي اين مشكلات وجود ندارد چرا كه اولاً شيرابه توليدي به هاضم برگردانده مي‌شود، ثانياً به علت زمان ماند بالا و وجود فاز اسيدي اغلب پاتوژنها از بين مي‌روند.
- فناوري نسبتاً سادة هضم بيهوازي: از آنجا كه صنعت آب و فاضلاب در ايران داراي قدمت تقريباً طولاني بوده و صنعت و مشاغل مرتبط با آن رشد پيدا كرده است و از سوي ديگر فنآوري هضم بيهوازي زباله الگوبرداري شده از هاضم‌هاي لجن فاضلاب مي‌باشد، پيش‌بيني مي‌شود به كارگيري اين فناوري با مشكلات زيادي همراه نباشد. بايد توجه داشت كه رعايت تمام نكات علمي و تئوري در ساير روشهاي دفع زباله ـ كه در ايران مورد توجه قرار نمي گيرند ـ باعث پيچيدگي فني و پرهزينه شدن اين روشها مي‌گردد.
- پژوهش‌هاي صورت گرفته نشان مي‌دهند كه با توجه به درصد بالاي رطوبت زبالة خام در ايران و مقايسة روش‌هاي گوناگون به كار كرفته شده در دنيا، روش‌هاي هضم با درصد مواد جامد بالا مانند روش‌هاي والورگا، درانكو و كومپو گاز ـ كه در ضمن پيچيدگي‌هاي فني زيادي ندارند ـ براي احداث در ايران مناسب مي‌باشند [۱۵]. هرچند بايد توجه داشت كه قضاوت نهايي در اين‌باره منوط به انجام تحقيقات بيشتر مي‌باشد.

تشكر و قدرداني

نويسندگان مقاله بر خود واجب مي‌دانند كه از همياري صميمانة همكاران خود در پژوهشگاه نيرو ـ خصوصاً گروه انرژي‌هاي نو ـ، مدير و كاركنان سازمان بازيافت كرج و آقاي دكتر عبدالرضا كرباسي تشكر و قدرداني نمايند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

منابع

۱ـ گروه انرژي‌هاي نو:" پتانسيل‌سنجي منابع عمده زيست‌توده در ايران، پژوهشگاه نيرو، بهمن ۱۳۷۸ (گزارش منتشر نشده).

۲ـ جلال الدين شايگان، حسين مهديزاده و فريده قوي پنجه: "تبديل مواد آلي فاضلاب به گاز متان با استفاده از روش تصفية بي هوازي"، مجموعه مقالات اولين سمينار بيوگاز، ۱۳۷۵، ص ٤٦-۳۲.

3. Chynoweth, David P. , Ron Isaacson :" Anaerobic Digestion of Biomass" Elsevier Applied Science Publisher Ltd, GB, 1987.

٤ـ گروه انرژي‌هاي نو:"بررسي تئوريك زباله شهري"، پژوهشگاه نيرو، مرداد ۱۳۷۹ (گزارش منتشر نشده).

۵ـ گروه انرژي‌هاي نو:" بررسي زباله تهران"، پژوهشگاه نيرو، شهريور ۱۳۷۹ (گزارش منتشر نشده).

6. IWM,Anaerobic Digestion Working Group" Anaerobic Digestion (a detailed report on the latest methods and technology for the Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste)" IWM Business Services-1998.

7. Stringfellow Anne " Anaerobic Digestion ", INTERNET \ SunRISE Research Topics.html

8. Anaerobic Digestion goes Dutch, Renewable Energy World ,vol. 3, No.1, 2000.

9. Chhabria,N.D.:"Wabio Anaerobic Digestion Process to Produce Energy from Garbage", Bio Energy News , september 1999, pp:13-15.

10. INTERNET \ www.caddet-re.org

11. Wellinger A. , K. Wyder , E. Metzder - KOMPOGAS , A new system for anaerobic treatment of source seperated waste - Water Science and Technology , vol 27, No 2, pp: 153-158 , 1993.

12. Brummeler,E.ten :"Full scale experience with the BIOCELL process",Water Science and Technology , vol 41, No 3, pp: 299-304, 2000.

13. Salaff Stephen :"Anaerobic Digestion in Toronto, Canada",Renewable Energy World, April 2000.

14. INTERNET/ BTA Biotechnische Abfallverwertung GmbH & CO KG, Rottmannstr. 18, D-80333 München - Plants Operating with BTA-Process

۱۵ـ گـــروه انـرژي‌هاي نو:" مطالعات امكان‌سنجي هضم بيهوازي زباله‌هاي شهري در ايران"- پژوهشگاه نيرو- ۱۳۸۰- [گزارش منتشر نشده].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]