

طراحی و ساخت گازگیر پیش ساخته در صنعت فاضلاب

مجید حکیم جوادی (مربی)
سید جمال الدین هاشمیان (استاد یار)
مرکز تحقیقات آب و انرژی، دانشگاه صنعتی شریف

از آنجا که گازگیرها مهم‌ترین قسمت یک واکنشگر جریان رو به بالا از بستر لجن بی‌هوازی (UASB) هستند، بیشترین مخارج و خدمات و زمان ساخت را به خود اختصاص می‌دهند. در این نوشتار با توجه به تجربیات گذشته، مسائل و مشکلات گازگیرهای فلزی و مواد مصنوعی مورد بررسی قرار گرفته و برای رهایی از این مشکلات یک گازگیر پیش ساخته بتنی از سیمان نوع ۵ پیشنهاد و پس از انتخاب شکل هندسی، ضخامت بتن از نظر خنثی کردن نیروی شناوری طراحی و محاسبه شده است. با توجه به موارد مذکور، محاسبات سازه‌یی صورت گرفته و پس از طراحی قالب فلزی یک نمونه از آن به طول ۵/۳۰ و عرض ۰/۸۲ و ارتفاع ۰/۲۸ متر در مرکز تحقیقات آب و انرژی دانشگاه صنعتی شریف بتن‌ریزی شد و نتیجه‌ی مطلوب از دیدگاه مقاومت سازه‌یی و آب‌بندی عبور گاز CH_4 و CO_2 به دست آمد.

مقدمه

باکتری‌ها طی یک فرایند بی‌هوازی فاضلاب را تجزیه، و بیوگاز تولید می‌کنند. بر اثر جریان رو به بالا و نیز از طریق چسبیدن گاز به ذرات لجن، این مواد به قسمت بالای بستر^۱ منتقل می‌شوند. چون تولید مثل باکتری‌های بی‌هوازی به مراتب کمتر از هوازی است، لذا حفظ لجن در داخل واکنشگر از اهمیت خاصی برخوردار است. از این رو با قرار دادن جداکننده‌ی گاز و لجن (GSS) در بالای بستر لجن، پس از جداسازی گاز از ذرات لجن و سیال، لجن تحت وزن خود به بستر می‌رود و گاز نیز به منظور سوزاندن از طریق لوله‌هایی به خارج واکنشگر فرستاده می‌شود.

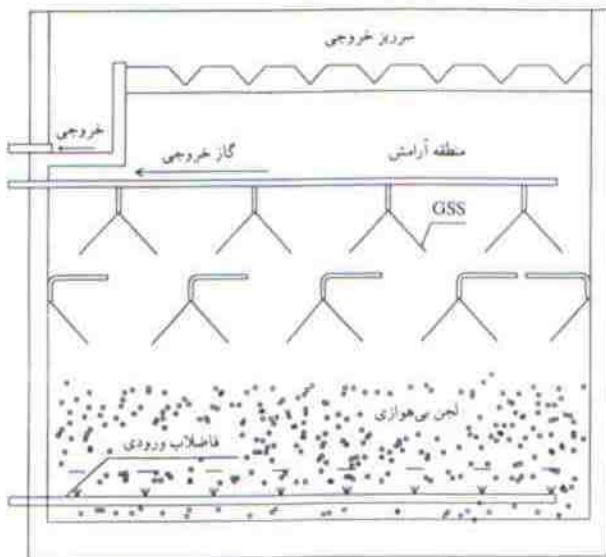
در سیستم‌های تصفیه‌ی فاضلاب به‌روش UASB، توده‌ی میکروب پس از تغذیه‌ی فاضلاب آن را تجزیه کرده و گاز CO_2 و CH_4 تولید می‌کند. این گازها به توده‌ی میکروب، که همان لجن است، می‌چسبند و آن را شناور می‌کنند. اگر سیستمی وجود نداشته باشد که این گاز را جمع‌آوری کند، لجن شناور به سطح سیستم می‌آید و از راه‌های خروجی فاضلاب خارج می‌شود. اگر این کار ادامه یابد، در کوتاه‌زمان تمام لجن واکنشگر تخلیه شده و سیستم از کار می‌افتد. یکی از راه‌های جلوگیری از فرار لجن، تعبیه‌ی گازگیر در این سیستم‌هاست.

در این نوشتار، پس از بررسی مشکلات گازگیرها یک نوع گازگیر پیش ساخته‌ی بتنی پیشنهاد و محاسبات و مزایای آن ارائه شده است.

واکنشگر UASB

کاربرد واکنشگرهای تصفیه‌ی فاضلاب، در دو دهه‌ی اخیر به‌منظور پیش تصفیه‌ی فاضلاب‌های بسیار آلوده رایج شده است. واکنشگر UASB بستر توده‌ی زنده‌ی بی‌هوازی است و شامل محفظه‌یی است با ارتفاع نسبتاً زیاد که تقریباً نصف حجم آن را بستری از لجن بی‌هوازی فراگرفته است (شکل ۱).

فاضلاب خام به صورت گسترده از کف وارد شده و پس از عبور از بستر لجن، به صورت تصفیه شده از سرریزهای متعددی که در بالای واکنشگر تعبیه شده است خارج می‌شود.



شکل ۱. واکنشگر UASB.

بتن ریزی قسمتی از دیواره‌های بتنی واکنشگر، گازگیرها هم برای جاسازی در بتن آماده باشد. در غیر این صورت می‌توان ساخت کل گازگیرها را به یک کارگاه مرکزی سفارش داد.

جنس گازگیر

از آنجا که محیط فاضلاب خورنده است، اگر گازگیر از جنس آهن یا نظیر آن ساخته شود لازم است کاملاً ماسه‌پاشی^۵ شده و در چهار لایه (حدود ۲۰۰ میکرون) رنگ اپوکسی بخورد. اگر جنس گازگیر از فایبرگلاس یا اجناس پلاستیکی دیگر نظیر PVC، پلی اتیلن و غیره باشد، به علت زیاد بودن نیروی شناوری باید به لبه‌ها و بدنه چنان فرم داد که تحمل نیرو و مقدور باشد. همچنین، نیرو در محل بستن گازگیر به ستون نباید متمرکز باشد بلکه باید گسترده شود. برای این کار لازم است در داخل ساختمان گازگیر آهن قرار گیرد که خود ایجاد مشکلات تازه‌یی خواهد کرد. این مشکلات با به کارگیری گازگیر بتنی در فاضلاب‌هایی که خوردگی بتن نوع ۵ را ندارند برطرف خواهد شد.

مزیت گازگیر بتنی

تجربه‌های به دست آمده از طراحی چندین پایلوت از ۳۰۰ تا ۵۰۰ لیتری، و نیز طراحی و اجرای طرح‌های صنعتی ۲۰۰، ۲۵۰ و ۴۰۰ متر مکعبی واکنشگر UASB در ایران، حاکی از مشکلاتی در طراحی و اجرای گازگیرهای این سیستم است - به خصوص استقرار این سیستم در ارتفاع ۲ تا ۳ متری توسط تیرها و ستون‌ها و آویزهای متعدد و نیز مسائل خوردگی آنها که لازم است این مطالب تحت یک پروژه‌ی تحقیقاتی جداگانه بررسی و برای طراحان ارائه‌ی شیوه شود. لذا طرح گازگیر بتنی که برای اولین بار در سیستم UASB ارائه می‌شود، مشکلات اجرایی و نگهداری طرح‌های قبلی را نداشته و از مزایای زیر برخوردار است.

الف) کار با بتن به علت مواد اولیه‌ی ارزان و خدمات اجزایی با تخصص پائین‌تر، معمولاً ارزان‌تر از سایر مواد است. به خصوص اگر به صورت پیش ساخته باشد، خدمات قالب‌بندی به مراتب کمتر خواهد شد.

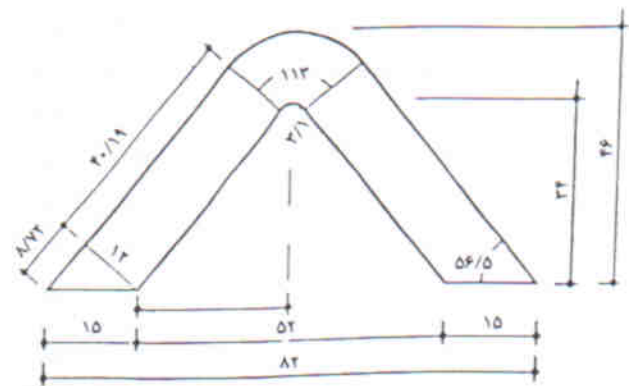
ب) در گازگیر پلاستیکی و فلزی برای هر گازگیر با مقطع حدود $2 \times 0.5 \text{ m}^2$ حداقل دو عدد آویز یا ستون لازم است و چون گازگیرهای هر طبقه باید در یک سطح افقی باشند تا بتوان فشار زیر آن را تنظیم کرد، لازم است تمام آویزها یا ستون‌ها مجهز به پیچ تنظیم باشند. از سوی دیگر، برای منحرف نشدن گازگیر در جهت افقی باید این آویزها توسط بازوهای افقی به یکدیگر مهار شوند. در گازگیر بتنی، چون گازگیر روی دیوار جانبی بتنی قرار

گازگیر

در واکنشگرهای UASB گازگیرها محفظه‌هایی هستند که گازهای تولید شده از بستر لجن را جمع‌آوری می‌کنند و به خارج از واکنشگر انتقال می‌دهند (شکل ۲). این کار باعث می‌شود که در بالای گازگیر یک منطقه‌ی آرامش ایجاد شود و لجنی که به بالای گازگیر انتقال یافته ته‌نشین شود و به بستر لجن که پائین سطح گازگیر است منتقل شود. لذا در طراحی گازگیر باید حتی‌المقدور از به کارگیری سطوح افقی اجتناب شود تا لجن روی این سطوح انباشته نشود. اگر لجن در بالای گازگیر انباشته شود، پس از تغذیه گاز تولید می‌کند و چون گازگیری در بالای آن نیست، به صورت شناور از سیستم خارج می‌شود.

گاز ایجاد شده در سیستم بی‌هوای عمدتاً متان و گاز کربنیک و مقادیر کمی گازهای دیگر مثل H_2S است. این گازها به لحاظ آلودگی محیط و بوی بد نباید از گازگیر به هوای باز نشتی داشته باشند. لذا انواع گازگیرها از نظر جوشکاری و چسب و یا ریخته‌گری از حساسیت خاصی برخوردارند. اغلب بهتر است گازگیرها به صورت پیش ساخته در کارگاهی مجزا ساخته شوند و پس از ساخت واکنشگر، در داخل آن نصب شوند. ولی در مورد طرح جدید گازگیر بتنی، غیر از موارد فوق باید برای ایجاد سطح صاف از قالب فلزی استفاده کرد. همچنین شکل گازگیر بتنی به گونه‌یی است که وقتی لبه‌های گازگیر به سمت پائین است امکان لرزاندن بتن موجود نیست (لبه‌ی قالب فلزی در موقع بتن‌ریزی باید به سمت بالا باشد و پس از رسیدن بتن به ۶۰٪ مقاومت نهایی، قالب همراه بتن برگردانده شده و گازگیر بتنی خارج شود).

با توجه به موارد مذکور، گازگیر بتنی باید حتماً پیش ساخته باشد و چون در هر تصفیه‌خانه‌یی تقریباً بین ۳۰ تا ۱۰۰ گازگیر بتنی مصرف می‌شود، (حدود ۱۳۰ تا ۴۰۰ عدد گازگیر فلزی) باید همزمان با شروع کار هر تصفیه‌خانه، ۲ تا ۳ قالب ساخته شود تا پس از



شکل ۲. ابعاد هندسی گازگیر بتنی به واحد سانتی‌متر.

می‌گیرد و قبل از بتن ریزی کاملاً تنظیم می‌شود، به هیچ‌یک از موارد مذکور احتیاج ندارد.

ج) عمر گازگیر بتنی به اندازه‌ی عمر دیواره‌های بتنی واکنشگر است. (د) احتیاج نداشتن به تعمیرات در صورتی که گازگیرهای دیگر احتیاج به تعمیرات ونگه‌داری از نظر شکستگی، ماسه‌پاشی و رنگ‌آمیزی مجدد دارد.

ها) کم بودن تعداد گازگیر بتنی در واکنشگرهای با مقطع مساوی؛ مثلاً در یک واکنشگر 250 m^3 با مقطع حدود 56 m^2 ، تعداد ۱۵ گازگیر بتنی یا ۶۵ گازگیر غیربتنی به کار می‌رود که به تبع آن از لوله‌کشی‌ها و اتصالات به مقدار قابل ملاحظه‌ی کاسته خواهد شد. در واکنشگر با گازگیر بتنی یک لوله‌ی جمع‌کننده‌ی اصلی لازم است. در حالی که در سایر واکنشگرها تعدادی لوله جمع‌کننده‌ی فرعی باید گاز را از یک سری گازگیر جمع‌آوری و به جمع‌کننده‌ی اصلی تحویل دهد.

و) به منظور بعضی از تعمیرات یا بازدیدها بعضاً کارگر روی گازگیر می‌رود که در گازگیرهای از نوع پلاستیکی مثل PVC موجب شکستگی، و در گازگیر آهنی موجب زخمی شدن رنگ و از آن مهم‌تر خسارت خوردن به آب‌بندی لوله‌کشی‌های گاز در اثر انعطاف‌پذیری پلاستیک و فلز می‌شود. در گازگیر بتنی، سازه به صورت یک تیر قوی عمل می‌کند و نیروی وزن انسان در آن تغییر مکان ایجاد نکرده و منجر به خسارت مذکور نمی‌شود.

نیروهای گازگیر

گازگیرها را می‌توان از اجناس مختلف ساخت که بسته به حجم طراحی شده، دارای نیروی شناور به سمت بالا و نیروی وزن به سمت پایین خواهد بود. برای خنثی کردن این نیروها باید گازگیرها را به یک سری تیرهای افقی متصل کرد یا توسط ستون‌هایی به تیرهای فوقانی مرتبط ساخت. همچنین نباید ستون‌هایی در زیر آن ساخت و گازگیرها را به آنها بست.

با توجه به مواد به کار رفته در گازگیر و نیروهای اعمال شده بر آن، می‌توان نتیجه گرفت که یک گازگیر اولاً بهتر است آن قدر سنگین باشد که نیروی شناوری را خنثی کند، ثانیاً جنس آن باید به گونه‌ی باشد که بی‌حفاظت با سایر مواد قادر به تحمل محیط خورنده‌ی فاضلاب باشد. شرط اول را می‌توان با به کارگیری گازگیر سنگین - با توجه به وزن و حجم گاز محبوس شده در آن - به وجود آورد. شرط دوم در سیمان نوع ۵ وجود دارد که برای عمده‌ی فاضلاب‌ها مناسب است. بنابراین می‌توان با یک طراحی مناسب، از بتن به لحاظ سنگینی و مقاومتش در قبال خوردگی سود برد.

انتخاب مقطع گازگیر

اولین محدودیت گازگیر زاویه‌ی آن است. لجن‌هایی که از گازگیر عبور می‌کنند و به منطقه‌ی آرام بالای گازگیر می‌رسند، چون در آنجا مواد مغذی وجود ندارد کم‌کم گاز چسبیده به خود را از دست داده و تحت تأثیر وزن سقوط کرده و به روی گازگیر می‌نشینند. زاویه‌ی گازگیر باید به اندازه‌ی باشد که این لجن از روی آن بلغزد و به کف واکنشگر برگردد.

محدودیت دوم، ضخامت جداره‌ی گازگیر است که اولاً از نظر اجرایی باید قابل ساخت باشد؛ ثانیاً قادر به تحمل نیروی وزن خود به هنگام خالی بودن واکنشگر باشد؛ ثالثاً ضخامتش آن قدر زیاد باشد که نیروی وزن آن بتواند نیروی شناوری را خنثی کند.

لجن‌ها بسته به این که توده‌ی زنده‌ی دانه‌دانه متراکم با ته‌نشینی خوب، دانه‌های ریز با ته‌نشینی متوسط، توده‌ی زنده‌ی لخته‌ی، یا توده‌ی زنده‌ی لخته‌ی و حجیم باشند لغزششان روی سطح گازگیر متفاوت است.

زاویه‌ی سطح داخلی گازگیرها هیچ تأثیری در جمع‌آوری گاز ندارد، ولی سطح بالایی آن - که منطقه‌ی برای ته‌نشینی لجن است - معمولاً مثل حوضچه‌های ته‌نشینی سیستم هوازی شیب‌دار انتخاب می‌شود. این زاویه معمولاً بین 45° تا 60° است. ^[۲] برای این که طرح به یک نقطه‌ی بهینه برسد، چند زاویه (بین 45° تا 60°) با ضخامت‌های مختلف انتخاب و ابعاد مقطع هر کدام محاسبه شد. در یک محاسبه نمونه‌ی بهترین مقطع به صورت مقطع نشان داده شده در شکل ۲ انتخاب شد. که عرض 80 cm و ارتفاع 50 cm پیش فرض‌های آن بودند. چنانچه حباب‌های گاز به هنگام صعود با لبه‌ی بتنی پائین گازگیر (یعنی قسمت ۱۵ سانتی‌متری) برخورد کند، ممکن است به زیر گازگیر هدایت نشود. لذا این سطح را می‌توان با شیبی حدود ۱۵٪ به سمت داخل ساخت تا هدایت گاز بهتر انجام شود.

طول گازگیر

طول گازگیر بستگی به انتخاب جنس و طراحی گازگیر دارد. چون گازگیر از جنس بتن انتخاب شده، می‌توان طول آن را در هر اندازه‌ی ساخت. اگر گازگیر در طول دستگاه تعبیه شود، لازم است در زیر آن چند ستون پیش‌بینی شود. اما عرض دستگاه معمولاً کم است و گازگیر می‌تواند در نقش یک تیر عمل کند و وزن خود را وقتی واکنشگر خالی است تحمل کند. به منظور تسهیل در انجام محاسبات عملی فرض می‌شود عرض واکنشگر 50 cm باشد، که در این صورت با احتساب نشیمن‌گاه می‌توان طول گازگیر را برابر 52 cm انتخاب کرد.

بود و به همین دلیل بهتر است با تهیه‌ی یک قالب فلزی گازگیرها به صورت پیش ساخته تولید شوند. لذا قالب آن ساخته شد و برای بلند کردن و وارونه‌سازی و باز کردن قالب تمهیداتی به کار رفت. پس از هفت روز که قالب باز شد، مشاهده شد که گازگیر از نظر آب‌بندی بسیار خوب جواب داده است. البته از آنجا که آب‌بندی گازگیر از اهمیت بالایی برخوردار است. علی‌رغم این که بتن 300 kg/m^3 جواب نیروهای اعمال شده را می‌داد، ولی در اجرای نمونه بتن 350 kg/m^3 انتخاب شد. تا بتوان آب آن را جهت آب‌بندی مختصری اضافه کرد به طوری که مشخصات مکانیکی بتن 300 kg/m^3 حاصل شود.

نتیجه‌گیری

یکی از مشکلات گازگیرها نگره‌داری آن در محل تعیین شده‌ی واکنشگر به لحاظ اعمال نیروهای وارد بر آن است. همچنین در سیستم‌های بی‌هوازی ریزاندامگان‌های متان‌زا تولید گازهای CH_4 و CO_2 می‌کنند و اگر در محیط یون گوگرد وجود داشته باشد، گاز H_2S هم به گازهای فوق اضافه خواهد شد. وجود محیط مرطوب زیر گازگیر و وجود گازهای CO_2 و H_2S به شدت در گازگیرهای فولادی ایجاد خوردگی خواهد کرد. در واکنشگرهایی که از این گازگیرها استفاده می‌شود سطح فولاد باید به طور مطلوب ماسه پاشی شده و چهار لایه رنگ اپوکسی بخورد. این کار وقت و سرمایه‌ی زیاد و تخصص کافی در رنگ‌آمیزی اپوکسی را می‌طلبد. اگر از اجناسی نظیر PVC و فایبر گلاس استفاده شود باید لبه و بدنه‌ی آنها برای تحمل نیروی شناوری فرم داده شود. همچنین اگر این نوع گازگیرها در دو نقطه به ستون یا تیر متصل شوند، نیروی شناوری آنها را خواهد شکست. بنابراین باید برای گسترش نیرو، در داخل آنها از فولاد استفاده کرد که پس از چندی در اثر ترک‌های مویی، فولاد دچار زنگ‌زدگی و در نتیجه افزایش حجم می‌شود و گازگیر را می‌شکند. تعداد ستون‌ها و آویزها و تیرها نیز منجر به بروز مشکلات کاری و اقتصادی در سیستم خواهند شد. سیمان نوع ۵ از مصالحی است که در این محیط‌ها تا حد قابل قبولی مقاوم است. اگر برای ساخت گازگیر از سیمان استفاده شود مسائل نیروی شناوری حل شده و تمام نگره‌دارنده‌ها از قبیل ستون و آویز و تیرهای نگره‌دارنده و رنگ‌آمیزی حذف می‌شوند. تمام این مسائل باعث می‌شود مخارج و خدمات واکنشگرهای UASB به مراتب کمتر شود. همچنین با توجه به پیش ساخته بودن گازگیر، می‌توان به طور همزمان ساخت گازگیرها را از آغاز اجرای بدنه‌ی واکنشگر، یا قبل از آن شروع کرد. این امر در صرفه‌جویی در زمان اجرای طرح تأثیر به‌سزایی خواهد داشت.

جدول ۱. بیشینه‌ی مقادیر عرض و ارتفاع برای شیب و ضخامت مختلف.

ارتفاع گازگیر	عرض گازگیر cm	شیب سطح	ضخامت بتن cm
۴۸	۱۰۷	۴۵	۱۰
۵۰	۹۸	۵۰	
۵۵	۹۱	۵۵	
۶۰	۸۵	۶۰	
۵۴	۱۲۹	۴۵	۱۲
۶۲	۱۱۸	۵۰	
۶۷	۱۰۹	۵۵	
۷۳	۱۰۲	۶۰	

وزن گازگیر و کنترل شناوری

وزن گازگیر از نظر کنترل نیروی شناوری برای ضخامت‌ها و زوایای مختلف محاسبه و بیشینه‌ی مقدار ابعاد آن در جدول ۱ آورده شده است. ارتفاع و عرض ممکن است کمتر از اندازه‌های داده شده در این جدول باشد. محاسبه‌ی انجام شده^[۱] در بدترین حالت شناوری - وقتی که تمام حجم زیر گازگیر مملو از گاز باشد - صورت گرفته است. وقتی دستگاه در حال کار است دستگاه تنظیم فشار طوری آن را کنترل می‌کند که حدود ۱۰ cm از ارتفاع سطح پائین گازگیر آب باشد. محاسبات فوق بر مبنای وزن مخصوص 2222 kg/m^3 یعنی بدون آرماتور انجام شد. در صورتی که محاسبات سازه‌ی نشان خواهد داد که در ساخت گازگیر استفاده از آرماتور ضروری است، چراکه آرماتورها منجر به افزایش وزن خواهند شد. وقتی سیستم خالی از فاضلاب است تمام وزن گازگیر روی آن اعمال می‌شود، بنابراین در محاسبات سازه‌ی وزن باید بر مبنای وزن مخصوص 2400 kg/m^3 به حساب آید.

محاسبات سازه‌ی گازگیر

آرماتورهای طولی و عرضی

در این نوشتار، گازگیر نمونه برای واکنشگری با عرض ۵m طراحی شده است. با توجه به این که گازگیر از هر طرف ۱۵ سانتی‌متر نشیمن‌گاه داشته باشد، طول آن ۵/۳ خواهد شد. با مقطع طراحی شده برای قسمت کشش گازگیر دو عدد میل‌گرد ۱۴ و برای قسمت عرضی ۲۷ عدد میل‌گرد ۱۰ محاسبه شد.

ساخت گازگیر نمونه

با توجه به ابعاد به دست آمده برای گازگیر، در هر واکنشگر باید حدود ۱۵ تا ۲۰ عدد از این گازگیرها به کار رود. با توجه به شکل هندسی گازگیر، قالب‌گیری یک پارچه‌ی آن بسیار مشکل و وقت‌گیر خواهد

پانویس

1. Up Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)
2. gas separator
3. blanket
4. Gas-Solid Separator (GSS)
5. sandblast
6. collector

۱. «۴۰ متر مکعبی UASB»، مجموعه مقالات پژوهشی دانشگاه صنعتی شریف، مرکز تحقیقات آب و انرژی، صص. ۴۱-۴۵ (۱۳۷۷).
۲. طساهونی، شاپور. طراحی سازه‌های بتن مسلح، جلد اول، چاپ دوم، صص. ۷۶-۷۸ (۱۳۷۰).
۳. نام، د. رینولدز. واحدهای عملیاتی و قناریتدی در مهندسی محیط زیست، ترجمه‌ی ایوب ترکیان، جلد اول، صص. ۸-۳۱۲.
4. Hashemian S.J. and James A., "Gas-solid-Liquide separator in anaerobic treatment of wastewater", *wat. Res.* 24 (3) pp. 381-382 (1990).

منابع

۱. حکیم‌جوادی، مجید. و هاشمیان، سیدجمال‌الدین. «ساخت و راه‌اندازی دستگاه