تصفیه فاضلاب یک واحد تولید مواد غذایی از طریق حوضچه‌های هوادهی

محسن موسوی[1]

چکیده

فاضلاب یک واحد تهیه مواد غذایی که محصولات خود را که عمدتاً غیر گوشتی هستند در ظروف شیشه‌ای و فلزی به بازار عرضه می‌کند مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مطالعه فاضلاب خام که طی آزمایشهایی بار آلی قابل هضم (BOD_5) در آنها عموماً کمتر از ۳۰۰ پی‌پی‌ام بدست آمد به چهار طریق هوازی تشدید یافته، هوازی معمولی و بدون هوادهی، غیر هوازی اختیاری و بالاخره غیر هوازی مورد تثبیت قرار گرفت. در این آزمایشها جهت بهینه سازی روند تثبیت هیچگونه ترکیبات افزودنی از قبیل ترکیبات از ته به عنوان کمک خوراک و یا ترکیبات دیگر بکار نرفت. نتایج آزمایشها نشان می‌دهند که برای هضم غیر هوازی راندمان تثبیت و جداسازی بار آلی قابل هضم بعد از دو هفته به مرز ۲۵ درصد میرسد. نتایج فوق راندمان عملیات را در موارد غیرهوازی اختیاری و هوازی معمولی بعد از گذشت همان زمان به ترتیب به ۲۰ درصد و ۲۴ درصد نشان می‌دهد. در ۳ مورد فوق راندمان کاهش بار آلی بعد از ۶ هفته بهبود محسوسی نمی‌یابد نتایج آزمایشات فوق نشان می‌دهد که اثر هوادهی در یک حوضچه هوادهی برروی کاهش بار آلی قابل هضم بطورکلی متفاوت و بارز است. این آزمایشها نشان می‌دهند که ترکیبات فوق بعد از دو هفته هوادهی تا حدود ۹۴ درصد کاهش می‌یابند و کاهش جذب فوق بعد از ۳ هفته تا ۹۶ درصد افزایش می‌یابد. در هر ۴ تکنیک فوق سینتیک کاهش بار آلی قابل هضم واکنشهای درجه یک را پیروی می‌کند.

مقدمه

واحدهای تولید محصولات غذایی که تولید انبوه دارند چه آن دسته از آنها که فرآورده‌های حیوانی تولید می‌کنند و چه آن دسته دیگر که به تولید فرآورده‌های گیاهی مشغول هستند هنگام تولید ایجاد ضایعاتی می‌کنند که چنانچه این گونه ضایعات به نحو مقتضی و مطلوب به صورت تصفیه شده‌ای درنیایند در کیفیت محصولات این نوع واحدها به گونه‌ای محسوس و غیر منتظره اثر نامطلوب خود را باقی می‌گذارند. چه از یک طرف این گونه ضایعات در داخل آبهای زیرزمینی و یا سطحی نفوذ کرده و موجبات آلودگی آنها را بوجود می‌آورند و از طرف دیگر وجود آنها در محیط کار باعث جلب وجذب و بالاتر ازآن تکثیر حشراتی می‌شود که تا امروز بسیاری از رفتارهای آنها ناشناخته باقی مانده است. این دو مورد نمونه‌ای از موارد متعدد خسارات و ضایعاتی است که از رهگذر بی‌توجهی و یا کم‌توجهی به امر تصفیه فاضلاب عاید تولید کنندگان محصولات غذایی می‌شود.

۱- عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز
استاد بخش مهندس شیمی - دانشگاه شیراز

جدول (۱): آب مورد نیاز، بار آلی و جامدات معلق تولید شده به ازاء هر تن محصول در چند مورد(۱)

نوع محصول	بار آلی (کیلوگرم)	آب موردنیاز (مترمکعب)	جامدات‌دورریختنی (کیلوگرم)
کنسرو ذرت	۱۳	۴	–
کنسرو لوبیاسبز	۲/۸	۱۴	–
خیارشور	۸/۶	۶/۲	۱/۷
مربا گیلاس	۸/۷	۷	۰/۵
مربا آلبالو	۱۵/۶	۱۰/۹	۰/۹۵
مایونز	۱۳/۵	۲/۸	۲/۳
رب گوجه فرنگی	۱/۲	۴/۳	۲/۴

باتوجه به پیشرفتهایی که در تکنولوژی در زمینه‌های مختلف بوجود آمده صنعت تصفیه فاضلاب مخصوصاً فاضلاب واحدهای تولید محصولات غذایی از امور عادی و روزمره درآمده است و دیگر از آن پیچیدگیهای بغرنج گذشته، امروز در این صنعت خبری نیست لذا جای امیدواری است که بیش از این مورد توجه قرارگیرد.

خصوصیت فاضلاب صنایع غذایی

صنایع غذایی از جمله صنایعی هستند که به آب نیاز مبرم و فراوان دارند به همین دلیل فاضلاب فراوانی نیز دارا می‌باشند در جدول(۱) نیاز چند محصول کشاورزی به آب جهت تبدیل آنهابه محصولات خوراکی مشخص شده است.

در جدول (۱) فاز آلی قابل هضم در فاضلاب (BOD_5) و همچنین وزن جامداتی که در پساب حاصل می‌شوند و لازم است از آب جداگردند نیز مشخص شده است.

با توجه به محدودیتهایی که معمولاً ازنظر آب مورد مصرف وجود دارد همچنین هزینه‌هایی که تصفیه فاضلاب دربر می‌گیرید می‌توان ابتکاراتی بکار برد تا از اقدام مذکور در جدول فوق کاسته گردد.

شواهد عینی

جداسازی جامدات از فاضلاب به چند متد در صنایع مختلف متد اول است یکی از این متدها استفاده از دمیدن هوا به فاضلاب است. برای این که حبابهای هوای موجود در سیستم ریزتر و در نتیجه اثر مطلوبتری داشته باشد ابتدا سیستم را در فشار بالا از هوا اشباع می‌نمایند و آنگاه فشار هوا را می‌کاهند تا هوای حل شده به صورت حبابهای ریزی در آب ظاهر شده و باعث رانده شدن ذرات جامد از محیط به خارج گردد (DAF)[1] با چنین متدی می‌توان تا بیش از ۸۰ درصد جامدات را از سیستم به خارج راند جدول (۲) برای جداسازی ضایعات گوجه فرنگی بدست آمده است.

نحوه دیگر جداسازی جامدات از فاضلاب صنایع غذایی استفاده از لخته‌سازهای طبیعی می‌باشد در این متد هم ذرات معلق جداسازی می‌شوند و هم بار آلی قابل هضم تقلیل می‌یابد. در جدول (۳) نتیجه چنین تکنیکی در مورد چند فاضلاب ماده غذایی گرد آمده است.

متدهای دیگری در صنعت متداولند که بطور خلاصه ذیلاً از آنها نام برده می‌شود:

متد پاشش برروی سطح زمین

در صورتی که ترکیبات جامد معلق و یا کلوئیدی نشاسته‌ای در آنها وجود نداشته باشد که باعث نفوذ ناپذیری زمین شود تا بار بیشتر از ۶۰گرم بر مترمربع در روز در زمینهای شنی و مسطح امکان پذیر است.

1- Dissolved Air floatation

جدول (۲): راندمان جداسازی جامدات موجود در فاضلاب گوجه فرنگی از طریق (DAF) (۲)

دبی ترکیب ورودی (لیتر در دقیقه)	۱۱۰ - ۳۰
بار هیدرولیکی ترکیب ورودی (لیتر در دقیقه بر مترمربع)	۱ - ۰/۴
جامدات معلق در ترکیب ورودی (میلی‌گرم در لیتر)	۱۱۰۰ - ۵۰۰
درصد جداسازی جامدات (٪)	۸۴ - ۶۰
ضریب بار جامدات (کیلوگرم در ساعت بر مترمربع)	۰/۹ - ۰/۴

جدول (۳): جداسازی جامدات و تقلیل بارآلی قابل هضم برای چند دور ریز توسط لخته‌سازها(۳)

نوع فاضلاب	نوع‌لخته‌سازوغلظت (میلی‌گرم درلیتر)	درصد تقلیل جامدات	درصد تقلیل بار آلی قابل هضم (BOD_5)
گوجه فرنگی	شیر آهک (۸)	۸۶/۵	۳۹
ذرت	شیرآهک(۹/۱)	—	۶۰
ذرت	زاج سبز (۱۲-۹)		
هویج	شیرآهک (۳)	–	۷۵
نخودفرنگی	شیرآهک (۷/۵)	–	۷۵-۵۰
نخودفرنگی	زاج سبز (۳/۳۵)		

در صورتی که زمین بطور صحیح زه‌کشی شده باشد آب تصفیه شده قابل بازیابی است.

حوضچه‌های هوازی

این حوضچه‌ها از متداولترین متدها برای تصفیه فاضلاب صنایع غذایی گیاهی هستند. شرایط طراحی برای این حوضچه‌ها به شرح زیر است:

شدت بار آلی قابل هضم (کیلوگرم برای هر هکتار در روز)	۱۵۶
زمان ماند (روز)	۳۸
عمق (متر)	۱/۷۷
کاهش بار آلی قابل هضم (BOD5)(٪)	۹۸

البته لازم است برای مناطق سردتر شدت بار آلی کمتری مناسب با دمای محیط در نظر گرفت.

عیب عمده این حوضچه‌ها بوی نامطبوعی است که بعضی مواقع ایجاد می‌کنند و همچنین جامداتی است که در اثر رشد جلبکها بوجود می‌آید.

حوضچه‌های غیر هوازی

روی سطح این گونه حوضچه‌ها راکه معمولاً عمیق هستند، پوششی از ورق پلاستیکی از جنس پی وی سی و یا مشابه می‌پوشانند تا از نفوذ هوا جلوگیری به عمل آید شدت بار آلی قابل هضم (BOD_5) در این حوضچه‌ها حدود ۳۲۰ کیلوگرم برای هر هکتار در روز می‌باشد. ایجاد بوی نامطبوع از خصوصیات آنها است.

در حوضچه‌های هوادهی که هوا در آنها دمیده می‌شود حجم کمتری نسبت به دو نوع قبلی دارند. عمق آنها معمولاً بین ۲ الی ۴/۵ متر است. طراحی آنها معمولاً ۲ نوع است در نوع اول محتوی حوضچه کاملاً به هم می‌خورد و جامدات پیوسته در تماس با اکسیژن هستند در نوع دوم جامدات که سنگینترند در ته حوضچه گرد آمده و بطور غیر هوازی هضم می‌گردند. در این حوضچه‌ها نیز سرعت هضم بار آلی بستگی به درجه حرارت محیط دارد. همچنین مقدار اکسیژن لازم که باید در آب دمیده شود رابطه مستقیم با بار آلی قابل هضم دارد. بطور ساده به ازاء هضم هر میلی‌گرم بار آلی قابل هضم معادل ۰/۹ الی ۱/۵ میلی‌گرم اکسیژن لازم است که در حجم هوایی معادل ۵/۲۵ - ۳/۱۵ سانتیمتر مکعب در شرایط استاندارد یافت می‌شود. برای این که اثرات جامد پیوسته در حال تعلیق قرار گیرند لازم است آب حوضچه سرعتی برابر با ۰/۱۲ الی ۰/۱۵ متر در ثانیه داشته باشد. برای برقراری چنین سرعتی در حوضچه‌های به عمق ۴/۳ کمتر قدرتی معادل ۶ کیلووات برای هر ۱۰۰۰ متر مکعب حجم حوضچه لازم است مصرف شود.

جدول زیر راندمان کار چنین حوضچه‌هایی را برای جداسازی بار آلی قابل هضم فاضلاب یک واحد گوجه فرنگی نشان می‌دهد.

جدول (۴): راندمان جداسازی بار قابل هضم و ذرات معلق از یک فاضلاب واحدگوجه‌فرنگی دریک حوضچه هوادهی

دبی (متر مکعب در روز)	۴۰۰
بار آلی قابل هضم (میلی‌گرم در لیتر)	۱۰۰۰
کل ذرات معلق (میلی‌گرم در لیتر)	۶۹۰۰
راندمان جداسازی بار آلی قابل هضم (٪)	۹۹
راندمان جداسازی ذرات معلق (٪)	۹۳

برای این که عملیات هضم بیولوژیکی در این حوضچه‌ها بطور کامل انجام گیرد بعضی مواقع افزایش ازت و فسفر به دورریز لازم است بطوری که نسبت BOD/N/P معادل ۱۰۰/۲/۰/۵ باشد.

جدول (۵)نسبت فوق را در مورد چند فاضلاب‌نشان می‌دهد.

بررسیهای انجام شده ـ شرح آزمایش

در یک دوره از آزمایشهای مقدماتی فاضلابهایی که از تولید ۱۳ نوع مواد خوراکی گیاهی بدست آمده بود جمع‌آوری گردید و سپس بطور تقریبی آن فاضلابها به نسبتی با یکدیگر مخلوط شدند که نماینده فاضلاب واقعی باشند. ابتدا برروی آنها آزمایشات مقدماتی جهت اندازه‌گیری بار آلی غیر قابل هضم (COD) و همچنین بار آلی قابل هضم (BOD_5) و ذرات جامد معلق و محلول در نمونه مخلوط انجام گرفت. نتایج حاصله در جدول (۶) گرد آمده است. کلیه عملیات تجزیه‌ای در این جدول مطابق متدهای استاندارد بوده است (۵).

در دوره‌های دیگر از آزمایشهای مقدماتی یک نمونه فاضلاب مخلوط در ستونی به سطح مقطع ۱۷۰ سانتیمتر مربع و ارتفاع ۶ متر قرار داده شد. قسمتهای تحتانی این ستون کاملاً در شرایط غیر هوازی قرار داشت و قسمتهای لایه فوقانی راکه در مجاورت هوا قرار داشت می‌شد شرایط هوازی تلقی کرد. در طول ستون فوق دریچه‌هایی به فاصله نیم متر جهت نمونه برداری تعبیه شده بود که از آنها جهت

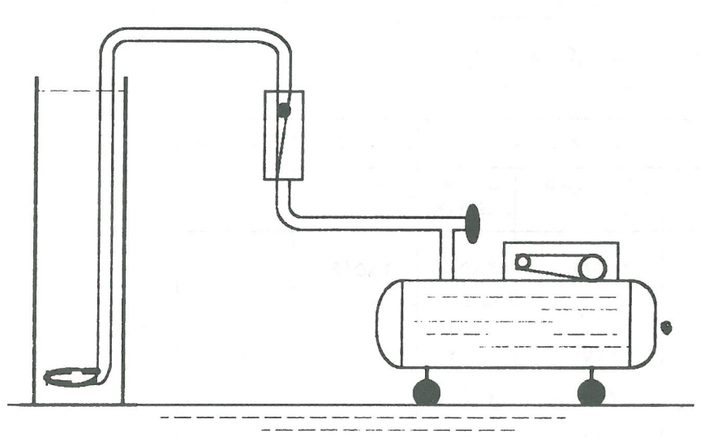
جدول (۵): نسبت $BOD_5/N/P$ موجود در چند فاضلاب صنایع غذایی (۱)

نوع دورریز	BOD5/N/P	ملاحظات
ذرت	۱۰۰/۲/۸/۰۵	افزایش ازت و فسفر لازم نیست
گوجه فرنگی	۱۰۰/۴/۰۶	مع‌الوصف برای تصفیه کامل
		افزایش ازت و فسفر لازم است
کنسرو هلو	۱۰۰/۱۰۴/۰/۳	افزایش ازت و فسفر لازم نیست
کنسرو آناناس	۱۰۰/۰/۶/۰/۱	افزایش ازت و فسفر لازم نیست
آب انگور	۱۰۰/۱/۶/۰/۱	افزایش ازت و فسفر لازم نیست
مربا و ژله	۱۰۰/۰/۱/۰/۰۱	افزایش ازت و فسفر لازم نیست
خیارشور	۱۰۰/۱/۰/۲	افزایش ازت و فسفر لازم نیست

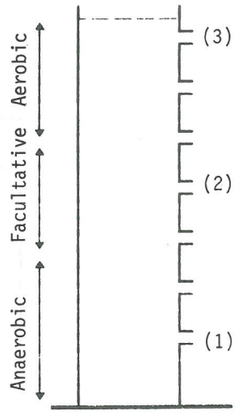
جدول (۶): آنالیز نمونه مخلوط شده از واحدهای تولیدی (ppm)

بار آلی قابل هضم (BOD_5)	۲۸۵/۶
بار آلی غیر قابل هضم (COD)	۱۲۶/۴
کل جامدات (TS)	۶۸۸
کل جامدات فرار (TVS)	۵۰۲
کل جامدات معلق (TSS)	۶۳/۳
جامدات فرار معلق (VSS)	۵۱/۷
کل املاح محلول (TDS)	۶۲۴/۷

اندازه‌گیری بار آلی قابل هضم (BOD_5) نمونه برداری انجام می‌گرفت حجم نمونه در این ستون حدود صد لیتر بود. یک نمونه دیگر از فاضلاب فوق در استوانه‌ای قرار گرفت که سطح مقطع آن ۱۷۰ سانتیمتر مربع و ارتفاع آن ۲ متر بود در داخل استوانه لوله‌ای قرار داشت که در قسمت تحتانی به یک افشانک ختم می‌شد. این لوله برای هوادهی در داخل نمونه بکار می‌رفت. جمع نمونه در این ستون برابر ۳۵ لیتر و دبی هوا برابر با ۱/۷۶ سانتیمتر مکعب در ثانیه در فشار ۸۰ سانتیمتر جیوه و ۲۰ درجه سانتیگراد بوده است. (شکل ۱) بر روی نمونه‌های برداشته شده از دو ستون فوق آزمایشهای تعیین میزان بار آلی قابل هضم انجام گرفت که نتایج آن در جدول (۷) مشاهده می‌گردد. در هیچ یک از دو ستون فوق هیچ گونه ترکیب غذایی جهت ترمیم ازت و فسفر به محیط افزوده نشده بود. شکل ۲ عملیات واحد در این آزمایشها را نشان می‌دهد.

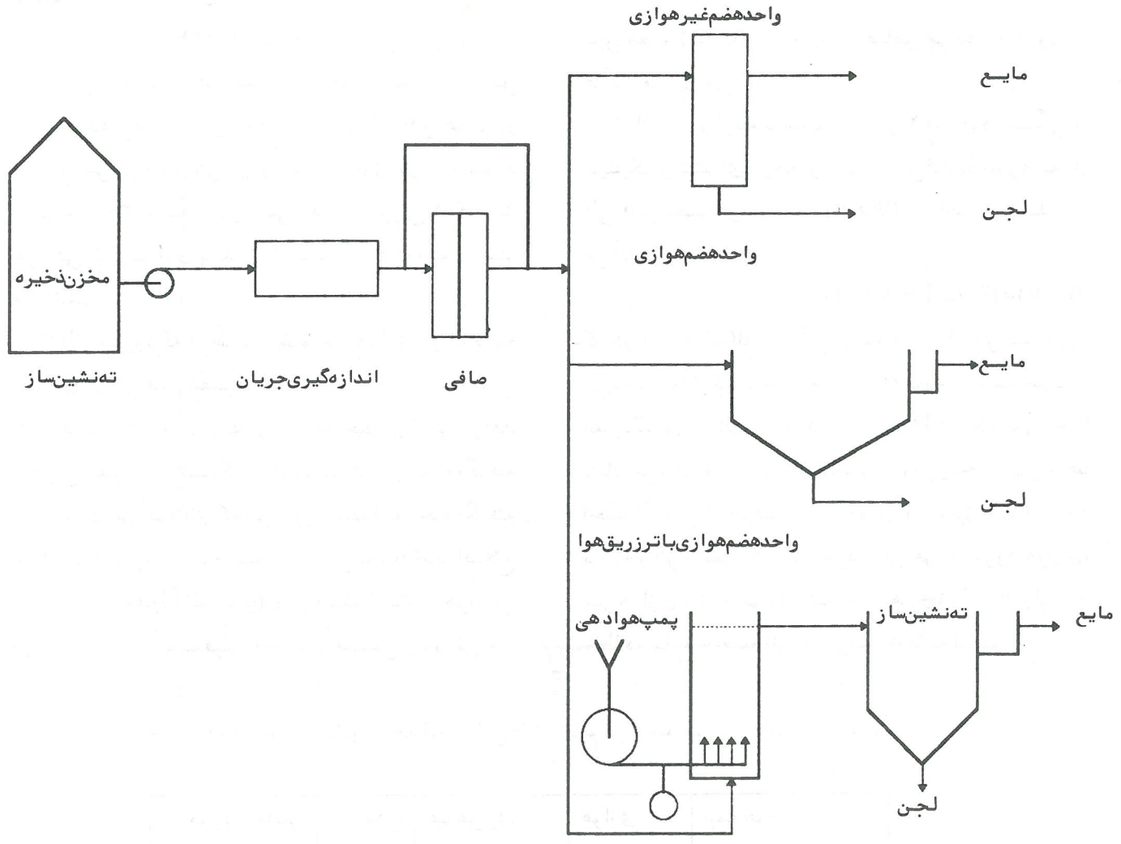


شماتیک سیستم هوادهی کامل



شماتیک سیستم شبیه سازی یک برکه تثبیت با عمق زیاد

شکل (۱)



شکل ۲ ـ تکنیک های بکار رفته جهت تصفیه دور ریزها

جدول (۷): اندازه‌گیری بار آلی قابل هضم (BOD_5) در نمونه‌هایی که به چهار طریق مورد هضم بیولوژیکی قرار گرفتند (پی پی ام)

زمان (روز)	ستون ۲ متری	ستون ۶ متری		
	ستون هوادهی	ناحیه غیر هوازی	ناحیه هوازی	ناحیه نیمه هوازی
۰	۲۸۵/۶	۲۸۵/۶	۲۸۵/۶	۲۸۵/۶
۵	–	۹۳/۷	۹۳/۷	۱۴۷/۵
۱۰	–	۲۳۲	۲۲۷	۲۳۲
۱۵	۲۰/۴	۲۱۵/۷	۲۴۵	–
۲۰	۰۱۵	۲۶۱	۲۴۵	۲۲۲/۵
۴۵	۲/۳	۲۱۶/۵	۲۱۶/۵	۲۳۴/۵

بحث و نتیجه گیری

در شکل شماره (۳) راندمان حذف بار آلی قابل هضم در ۴ آزمایش فوق نشان داده شده است. همانگونه که این شکل نشان می‌دهد ضریب بهره جداسازی بار آلی قابل هضم در سه متد هوازی، غیر هوازی و نیمه هوازی در سه مورد ناچیز و از ۳۰ درصد تجاوز نمی‌کند در صورتی که در متد هوادهی ضریب فوق بعد از ۲ هفته از ۹۰ درصد بیشتر می‌باشد.

انتظار می‌رود که از طریق هضم غیر هوازی (و یا نیمه هوازی) بار آلی قابل هضم کاهش یابد چنانچه این کار عملی باشد هزینه‌های انجام آن بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر خواهد بود ولی جدول فوق نشانگر آن است که این کار انجام نگرفته است. از دلائل عمده‌ای که این کار به سهولت انجام نگرفته این است که نسبت ازت و فسفر با بار آلی تجزیه پذیر اصلاح نشده است (جدول شماره ۵). ولی مسلم است که هوادهی در امر کاهش جامدات فرار که احتمالاً قسمتی از بار آلی غیر قابل هضم (COD) را به خود اختصاص می‌دهد (جدول ۶) فرآیند موفقی می‌باشد.

اطلاعات و ارقام بدست آمده در ۴ متد فوق همگی از سینتیک واکنشهای درجه اول پیروی می‌کند به طوری که بار آلی قابل هضم در هر زمان (BODr) از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$(BODr)=(BOD\ L)EXP\ (-kt)$$

که در آن (BOD L) بار آلی اولیه و t زمان برحسب روز می‌باشد مقدار ثابت k در جدول (۸) محاسبه شده است.

اندازه‌گیری بار آلی باقیمانده در نمونه‌ها در یک مورد خطا نشان می‌دهد (بار آلی باقیمانده در روز پنجم).این خطا احتمالاً ناشی از آلودگی است که در آب رقیق کننده وجود داشته و اثر مسموم کنندگی خود را در هر سه مورد هوازی، غیر هوازی و نیمه هوازی نشان می‌دهد جدول (۷). ولی این خطا در نتایج حاصله اثر محسوسی نداشته است.

جدول (۸): ثابت واکنشهای حذف بار آلی قابل هضم در ۴ متد مورد آزمایش (day - 1)

متد مورد آزمایش	هوادهی	غیرهوازی	هوازی	نیمه هوازی
$k(x10^3)$	۰/۱۴۳	۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۰۴۲

REFERENCES:

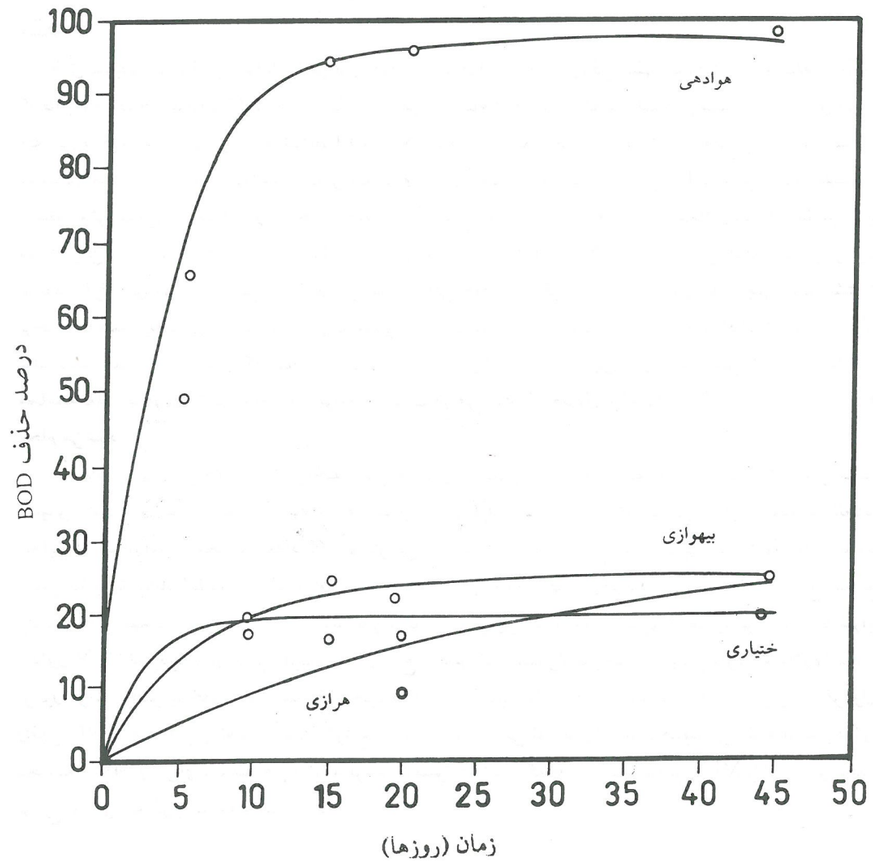
1- Gallup, J.D. and Anderson, D.F. US Environmental Protection Agency, EPA 440/1-75/046 Group I, phase II, Oct. 1975, p. 197.

2- US National Canners Association,"Waste Reduction in Food Canning Operations" EPCA, Water Pollution Control Project Series, 1970.

3- US Department of Interior, Summary Report, Advanced Waste Treatment, 1967.

4- Missouri Basin Engineering Health Council Waste Treatment Lagoons State-of-the-Art,USEPA Project # 17090EHX, 1971.

5- Rand, M.C. Ctandard Methods for the Examination of Water and wastewater, 14 th ed. 1975.



شکل (۳)