

## نقش پژوهش در توسعه فن آوری مطالعه موردی

جلال الدین شایگان

دانشگاه صنعتی شریف

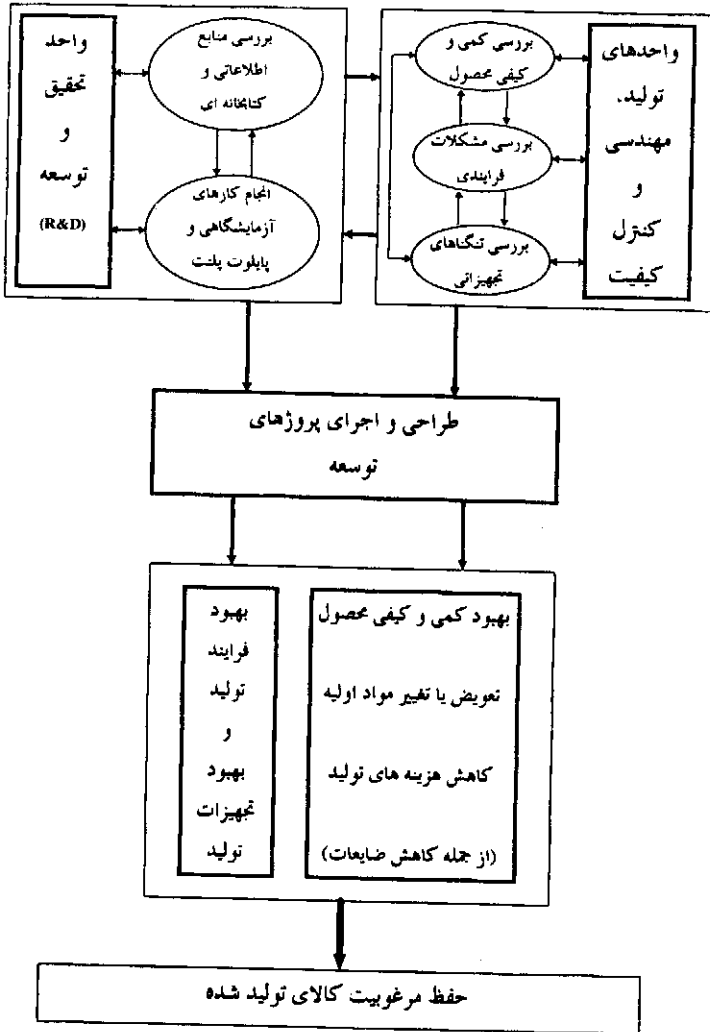
**چکیده:** اگرچه ایرانیان در گذشته دور با رمز و فن بسیاری از صنایع آشنا بوده‌اند اما نتوانستند سهم قابل توجهی در صنعتی شدن جهان داشته باشند. واردات ماشین‌آلات و بعضاً فن‌آوریهای مختلف صنعتی توانسته است تا حد زیادی نیاز کشور را به مصنوعات خارجی مرتفع نماید ولی صاحبان صنایع در شناخت و توسعه این فن‌آوریها پیشرفت زیادی نداشته‌اند. از طرف دیگر فن‌آوریهای ملی که بتواند برای حل نیازها و مشکلات جامعه به کار گرفته شود گسترش نیافته است. در این مقاله ضمن ارائه دو مدل برای حفظ و توسعه فن‌آوریهای وارداتی و ایجاد فن‌آوریهای ملی، یک مطالعه موردی را در نحوه توسعه فن‌آوری تصفیه بی‌هوازی فاضلابهای غلیظ صنعتی به بحث می‌گذارد. در ابتدا، مطالعات کتابخانه‌ای و آزمایشگاهی مقبولیت این فن‌آوری را برای حل معضل فاضلابهای صنعتی کشور نشان داد و سپس طراحی و ساخت دو واحد پایلوت برای دو فاضلاب صنعتی با ترکیب و غلظت‌های متفاوت انجام شد. با استقرار این دو پایلوت در دو واحد صنعتی، مشکلات راه‌اندازی و عوامل مؤثر در راه‌بری بهینه آنها در یک دوره یکساله مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده پارامترهای طراحی برای ساخت در مقیاس بزرگ به دست آمد و با استفاده از این پارامترها طراحی و ساخت دو تصفیه‌خانه بی‌هوازی به اجرا درآمد که در حال حاضر عملیات راه‌اندازی و به راندمان رساندن آنها در مراحل تکمیلی است.

## ۱. مقدمه

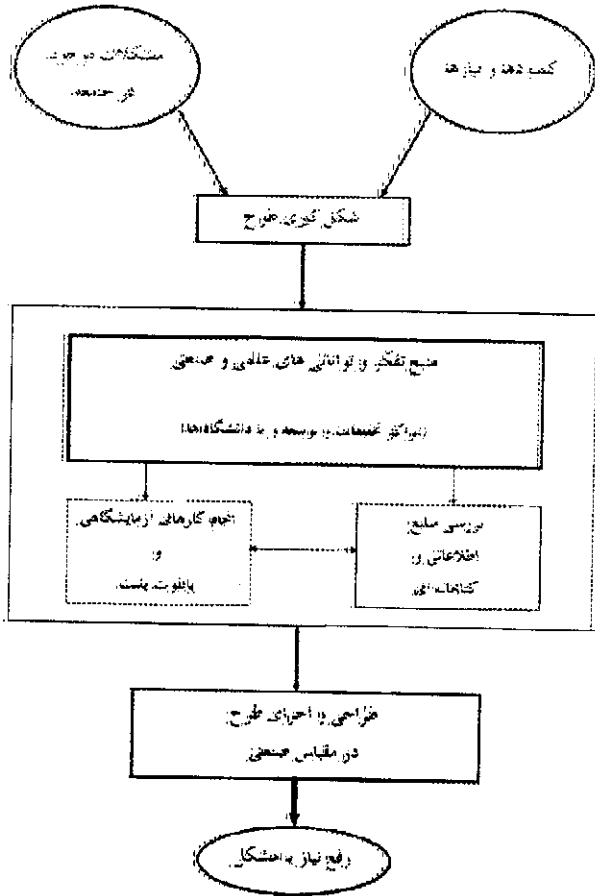
شواهد زیادی در دست است که ایرانیان در گذشته دور به رمز و فن تولید بسیاری از صنایع از جمله نساجی، چرمسازی، کاشی و سرامیک آشنایی داشته‌اند و در آن عصر و زمان سرآمد سایر اقوام بوده‌اند. به تدریج و در گذر زمان این رمز و فن‌ها توسط سایر اقوام از جمله اروپاییان مدون شد و به‌عنوان منشأ تفکر و پایه اصلی برای توسعه‌های صنعتی قرار گرفت. اما آن رمز و فن‌ها در نزد ما بدون تغییر ماند و آنچه میراث آن است همین صنایع دستی است که بعضاً به همان روال چند هزار سال قبل تولید می‌شود که البته باعث مباحث اما توسعه این فن‌آورها در آنسوی مرزها و در نزد اروپاییان باعث تحولات صنعتی و ساخت محصولات متنوع صنعتی گردید که امروزه، از طریق واردات آن مصنوعات به این توسعه‌های صنعتی تهنیت گفته‌ایم. آنچه که جای تفکر و تعمق است و به راستی جای شگفتی است قرن‌ها سکوت و سکون ما در مقابل ابداعات، اکتشافات و اختراعات نیاکان ماست. ماشین‌زده کردن صنایع دستی، انبوه‌سازی، بهبود کیفیت، نوآوری و خلاقیت اگر همراه ارث و میراث صنعت و هنر بازمانده از پیشینیان ما می‌شد ما نیز بی‌شک سهم عمده‌ای در تحولات صنعتی دنیا می‌داشتیم. در اینجا دلایل این عقب‌افتادگی مورد بحث نیست اما نحوه جبران این عقب‌ماندگی می‌تواند مورد بحث قرار گیرد.

خوشبختانه ما توانسته‌ایم با سهمی از فروش منابع طبیعی از جمله نفت، انبوهی از ماشین‌آلات صنعتی وارد کنیم و امروزه تعدادی از نیازهای مصرفی ما با استفاده از همین ماشین‌آلات تأمین می‌شود. معمولاً محصولات نفتی تولید شده در کشور، در مرحله نو بودن ماشین‌آلات، کاملاً قابل رقابت با محصولات مشابه خارجی است. اما بتدریج با کهنه‌شدن ماشین‌آلات، بهنگام نشدن فن‌آوری مربوطه و عدم نوآوری و خلاقیت از مرغوبیت محصولات کاسته شده و در مقابل پیشرفتهای کشورهای صاحب نوآوری و خلاقیت مجبور به عقب‌نشینی است. دیاگرام شماره (۱) مراحل می‌تواند کیفیت محصول تولید شده را بطور پیوسته و در طی زمان در حد مطلوب و قابل رقابت در بازارهای بین‌المللی حفظ نماید نشان می‌دهد. به این طریق می‌توان از یک فن‌آوری وارداتی نهایتاً به یک تکنولوژی بومی شده دست یافت.

ایجاد منابع تفکر علمی و صنعتی می‌توان پایه‌ریز ایجاد فن‌آورهای ملی باشد. دیاگرام ساده شده شماره (۲) نحوه شکل‌گیری فن‌آوری بومی را با توجه به نیازها و مشکلات جامعه که منطبق با توانایی‌ها و شرایط اجتماعی - اقلیمی کشور باشد نشان می‌دهد.



دیاگرام ۱ برنامه پایش دائمی برای حفظ مرغوبیت محصول (بومی کردن فن‌آوریهای وارداتی)



دیاگرام ۲ نحوه شکل گیری فن آوری ملی با توجه به نیازها و مشکلات جامعه

## ۲. بررسیهای موردی

کمبود آب در کشور ضرورت تصفیه فاضلابهای شهری و صنعتی و حفظ منابع آبی را از خطر آلودگی ایجاب می نماید. اکثر فن آوریهای تصفیه فاضلاب وارداتی بوده و بدلیل نیاز به تجهیزات پیچیده و سنگینی هزینه های سرمایه ای و جاری نمی تواند کاربرد وسیعی در کشور داشته باشد. علاوه اکثر تصفیه خانه های فاضلاب که با استفاده از این فن آورها ساخته شده اند بدلیل بومی

نبودن آن از حداقل کارآیی برخوردارند. این نیاز و این مشکل جامعه طرح توسعه روشهای تصفیه ارزان برای تصفیه فاضلابهای شهری و صنعتی را بعنوان یک فن آوری ملی متبلور می‌سازد. بررسی منابع اطلاعاتی و مطالعات کتابخانه‌ای در دانشگاه صنعتی شریف نشان داده بود که روشهای تصفیه بی‌هوازی می‌تواند بعنوان یک روش کارا و ارزان برای تصفیه فاضلابهای با آلودگی بالا بکار گرفته شود. کارهای آزمایشگاهی اولیه برای توسعه و شناخت این فن آوری و توانایی آن برای تصفیه فاضلابهای شهری و صنعتی در سطح میز و پایلوت نیز انجام گردید [۹-۱] و با توجه به این مطالعات و تجربیات جدول مقایسه اقتصادی بین دو روش هوازی (متداول) و بی‌هوازی (جدید) تهیه گردید (جدول ۱).

جدول ۱ مقایسه پارامترهای اقتصادی تصفیه هوازی و تصفیه بی‌هوازی

برای یک فاضلاب نسبتاً غلیظ (با COD حدود ۷۵۰۰ mg/l)

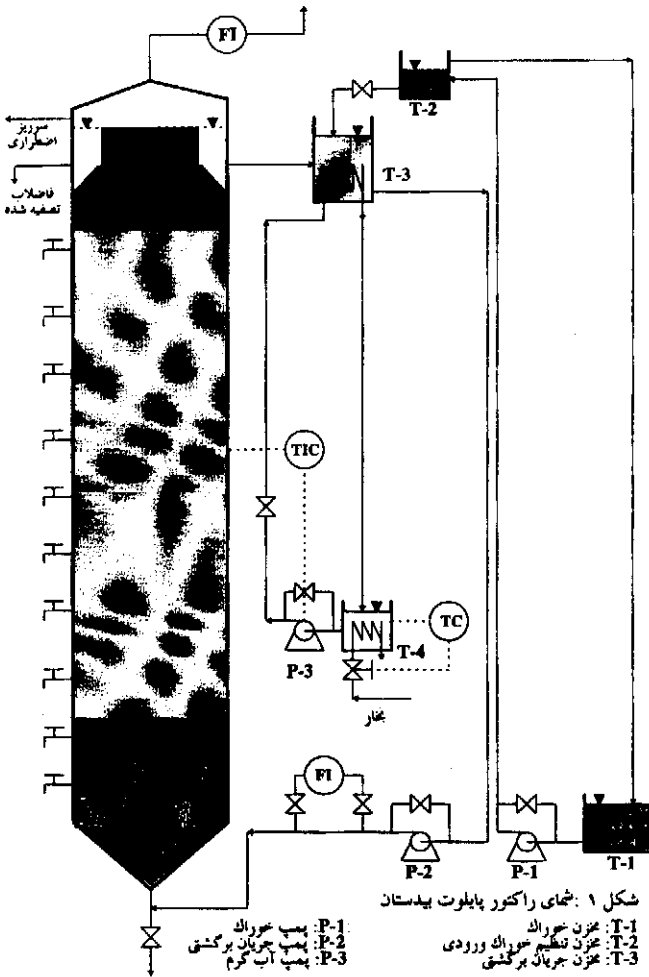
پارامترهای اقتصادی	اقدام هزینه
انرژی برای اختلاط و هوادهی	فرایند هوازی ۱۵-۱۳ برابر فرایند بی‌هوازی است
لجن اضافی تولید شده	فرایند هوازی حدود ۱۰ برابر فرایند بی‌هوازی است
نیاز به سفر و نیتروژن	فرایند هوازی حدود ۵ برابر فرایند بی‌هوازی است
تولید گاز متان	فقط در فرآیندهای بی‌هوازی و در حد یک متر مکعب گاز متان برای حذف ۳ کیلوگرم COD بدست می‌آید
هزینه	فرآیند هوازی ۱۲-۱۰ برابر فرایند بی‌هوازی است

با توجه به این دستاوردهای تحقیقاتی تصمیم گرفته شد با صنایعی که فاضلاب با آلودگی زیاد تولید می‌کنند تماس گرفته شود و امکان تصفیه فاضلاب آنها با بکارگیری چنین روشی مطرح شود. دو شرکت الکل سازی بیدستان قزوین و آرد و نشاسته و گلوکز یاسوج برای استفاده از این فن آوری برای تصفیه فاضلابشان استقبال و اعلام آمادگی نمودند. جدول (۲) کمیت و کیفیت فاضلاب این دو شرکت را نشان می‌دهد.

جدول ۲ کمیت و کیفیت فاضلاب در صنعت تولید الکل و نشاسته و مقایسه آنها با فاضلاب مناطق مسکونی

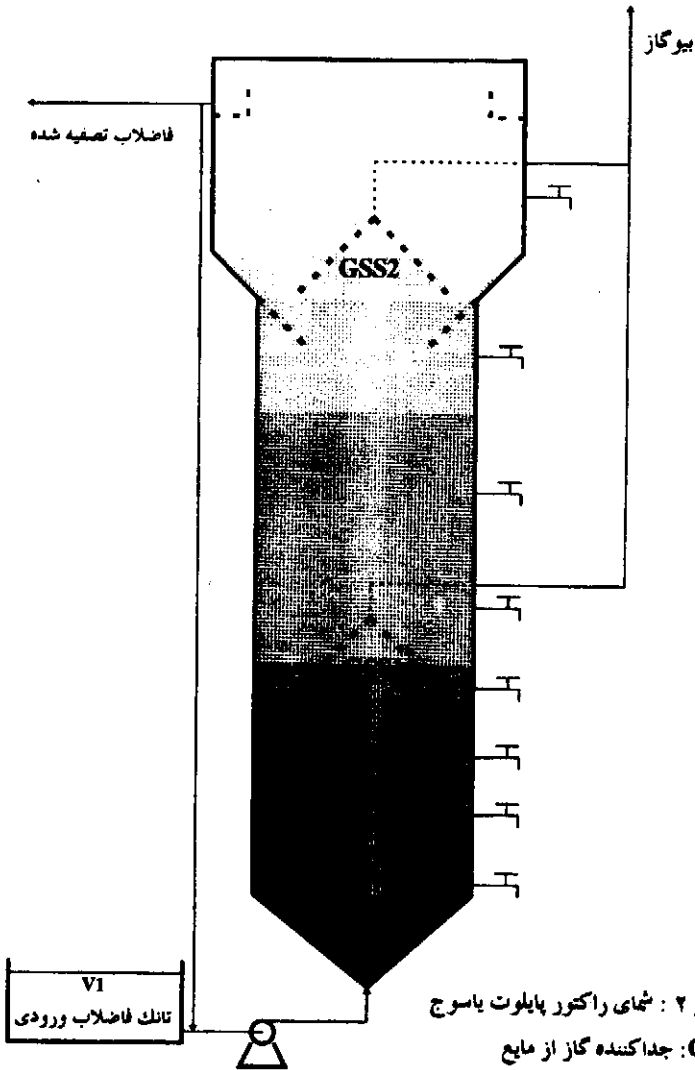
فاصلاب مناطق مسکونی (برای مقایسه)	فاضلاب آرد و نشاسته	فاضلاب شرکت الکل سازی	پارامترهای آلودگی
۰/۱۵-۰/۲۵ برای هر نفر	۱۰۰۰-۱۲۰۰	۴۸۰	دبی ( $m^3/d$ )
۷	۳/۵-۶	۴/۵-۵	پ هاش (pH)
۲۰-۲۵	۲۰-۲۵	۸۰-۱۰۰	دما ( $^{\circ}C$ )
۴۵۰	۷۰۰۰-۱۲۰۰۰	۴۵۰۰۰-۷۰۰۰۰	(mg/l) COD
۲۵۰	۵۰۰۰-۸۵۰۰	۳۰۰۰۰-۵۰۰۰۰	(mg/l) BOD <sub>5</sub>
۲۵۰	-	۶۰۰	کل مواد معلق (mg/l)
۸۰۰-۱۰۰۰	-	۵۵۰۰۰-۸۰۰۰۰	کل جامد محلول (mg/l)
۳۵	۵۰-۱۰۰	۱۰۰۰-۱۲۰۰	کل ازت (mg/l)
۱۰	۲۰	۲۰۰-۲۵۰	کل فسفر (mg/l)

دو پروژه کارشناسی ارشد تحت عنوان بررسی تصفیه پذیری فاضلاب صنایع الکل سازی و تولید نشاسته با استفاده از راکتور پایلوت UASB<sup>۱</sup> تعریف و پس از ثبت نام دو دانشجو در این دو پروژه طراحی و ساخت پایلوت انجام و هر دو پایلوت در کارخانه در محلهایی نزدیک به تولید فاضلاب نصب گردید. هر دو دانشجو بطور شبانه روزی در کارخانه اسکان یافتند تا بتوانند عملیات راه اندازی و راهبری پایلوتها را در تمام ساعات شبانه روز و حتی در روزهای تعطیل بی وقفه و بدقت مراقبت نمایند. مشخصات پایلوتهای ساخته شده در شکل های (۱) و (۲) و جدول (۳) ارائه شده است.



شکل ۱ شمای راکتور پایلوت بیدستان

- |                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| P-1 پمپ خوراک        | T-1 مخزن خوراک             |
| P-2 پمپ جریان برگشتی | T-2 مخزن تنظیم خوراک ورودی |
| P-3 پمپ آب گرم       | T-3 مخزن جریان برگشتی      |



شکل ۲ شماره راکتور پایلوت یاسوج : GSS : جداکننده گاز از مایع



جدول ۳ مشخصات فیزیکی پایلوت‌های ساخته شده برای بررسی تصفیه پذیری فاضلاب

الکل سازی بی‌دستان و نشاسته یاسوج

پایلوت یاسوج	پایلوت بی‌دستان ۵	مشخصات
۱۳۰۰	۷۰۰	حجم مفید (لیتر)
۴۲۶	۲۱۸	ارتفاع (cm)
۶۲	۶۴	قطر (cm)
۵	۱۰	شیرهای نمونه گیری (تعداد)
در دو بخش میانی و فوقانی	بدون قیف وارونه	جمع آوری گاز

۵ پایلوت بی‌دستان با استفاده از امکانات شرکت بی‌دستان و پایلوت یاسوج با استفاده از امکانات کارگاه مرکز آب و انرژی دانشگاه صنعتی شریف ساخته شد.

برای راه‌اندازی پایلوت‌ها نیاز به میکروارگانیسم‌های مناسب (لجن) تصفیه بی‌هوازی بود که بدلیل نبودن این روش لجن مناسب نیز می‌بایست پرورش داده می‌شد. لجن نطفه برای بی‌دستان از لاگوتهای بی‌هوازی تصفیه فاضلاب کشتارگاه زیاران و برای یاسوج از لجنهای بی‌هوازی برکه‌های تصفیه فاضلاب قند یاسوج تهیه شد. آماده‌سازی و تطبیق این لجنها با شرایط فاضلابهای جدید نزدیک به سه ماه و سایر عملیات برای بدست آوردن پارامترهای طراحی ۸ ماه بطول انجامید. جدول (۴) پارامترهای طراحی را به طور خلاصه نشان می‌دهد.

جدول ۴ پارامترهای طراحی برای ساخت راکتورهای UASB برای دو فاضلاب مورد مطالعه

فاضلاب یاسوج	فاضلاب بی‌دستان	پارامترهای طراحی
۱۴	۱۰	بار آبی ( $\text{KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ )
۱۲	۴۸	زمان ماند (h)
۷۰۰	۲×۲۵۰	حجم کل ( $\text{m}^3$ )
۵	۵	ارتفاع مفید (m)
بتن مسطح	ورق آهن با پوشش اپوکسی	جنس دیواره

با توجه به پارامترهای طراحی بدست آمده، طراحی فرایند و جانمایی واحدهای تصفیه برای هر کدام از فاضلابها تهیه شد. شرکت بیدستان ترجیح داد نقشه‌های اجرایی نیز در دانشگاه صنعتی شریف تهیه شود<sup>۱</sup> اما شرکت یاسوج با توجه به طرح مهندسی پایه تهیه شده اقدام به اخذ استعلام از شرکتهای پیمانکاری کرد. در هر حال عملیات ساخت هر دو تصفیه‌خانه با نظارت طراح اجرا و عملیات راه‌اندازی و به راندمان رساندن هر دو تصفیه‌خانه در مراحل نهایی است. جدول (۵) مقایسه‌ای از هزینه‌های سرمایه‌ای و انرژی برق مصرفی برای هر دو تصفیه‌خانه در دو حالت تصفیه هوازی (لجن فعال) و تصفیه بی‌هوازی (راکتور UASB) را نشان می‌دهد. در روش جدید علاوه بر کاهش میزان برق مصرفی، مقدار زیادی گاز متان تولید می‌شود. جدول (۶) این مقادیر را برای هر دو تصفیه‌خانه نشان می‌دهد. از این مقدار حدود نصف آن برای حفظ دمای راکتور UASB در ماههای سرد مورد نیاز است.

جدول ۵ مقایسه هزینه‌های سرمایه‌ای و میزان برق مورد نیاز برای روش معمول و روش نتیجه شده از تحقیقات انجام شده

فاضلاب یاسوج	فاضلاب بیدستان	سیستم تصفیه فاضلاب
		روش معمول لجن فعال:
۱۵۰۰	۲۵۰۰	هزینه سرمایه‌ای (میلیون تومان)
۳/۶۰	۷/۲	انرژی الکتریکی سالانه (میلیون کیلووات ساعت) (فقط برای هوادهی)
		روش جدید بی‌هوازی UASB:
۲۲۰	۲۰۰	هزینه سرمایه‌ای (میلیون تومان)
۰	۰	انرژی الکتریکی (برای هوادهی)

۱. چا دارد از آقای مهندس حکیم جوادی استاد دانشگاه صنعتی شریف که نقشه‌های اجرایی را محاسبه و تهیه نمودند قدردانی

جدول ۶ مقدار بیوگاز تولید شده در روش بی‌هوازی برای دو فاضلاب صنعتی مورد بحث

نوع فاضلاب	مقدار گاز با ۸۰ درصد متان ( $m^3/d$ )
آرد و نشاسته	۵۵۰۰
الکل‌سازی	۱۲۰۰۰

### ۳. نتیجه‌گیری

الف. فن‌آوریهای وارداتی می‌تواند با شناخت کامل آنها و ایجاد تغییرات در جهت انطباق با شرایط محیطی، افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها بصورت فن‌آوریهای بومی درآید.  
ب. واحدهای تحقیقاتی می‌توانند با توجه به نیازها و مشکلات، طرحهای تحقیقاتی تعریف و سپس با جمع‌آوری اطلاعات و انجام کارهای آزمایشگاهی و پایلوت، فن‌آوریهای ملی را برای توسعه صنعتی پایه‌ریزی نمایند.

ج. فن‌آوری تصفیه بی‌هوازی فاضلاب با توجه به مراحل ذکر شده در بند «ب» و غلیرغم فقدان هرگونه تجربه قبلی با همکاری دانشگاه صنعتی شریف بعنوان یک واحد تحقیقاتی و دو شرکت تولیدی بیدستان و آرد و نشاسته و گلوکز یاسوج بعنوان مصرف‌کننده فن‌آوری بوجود آمد و با استفاده از این فن‌آوری دو واحد تصفیه بی‌هوازی برای تصفیه فاضلاب کارخانجات این دو شرکت طراحی و ساخته شد.

د. بخش بی‌هوازی این دو تصفیه‌خانه قادر است با هزینه یکدهم روشهای قبلی و با مشکلات بهره‌برداری کمتر بار آلودگی فاضلاب صنعتی این دو کارخانه را تصفیه نماید.

### قدردانی و تشکر

در توسعه فن‌آوری بی‌هوازی تصفیه فاضلابهای صنعتی، عده زیادی از محققان و مدیران صنعت در مراحل مختلف کار نویسنده مقاله را یاری و راهنمایی نمودند که متأسفانه بعلت ضرورت در اختصار ذکر همه اساسی مقدور نیست. جا دارد بدینوسیله از کلیه این افراد بویژه:

۱. آقایان دکتر هاشمیان و مهندس حکیم جوادی استادان دانشگاه صنعتی شریف، مهندس ابراهیمی استاد دانشگاه سهند و مهندس مهدی‌زاده دانشجوی دوره دکترا در دانشگاه صنعتی شریف بخاطر کمک در توسعه مبانی علمی، ساخت پایلوت و انجام آزمایشها

۲. حاجی آقا کریم باریک بین رئیس هیئت مدیره، آقایان مهندس عرفان و مهندس کشاورز مدیران عامل، مهندس وحید مدیر کارخانجات، حاجی آقا مرسلی مسئول فنی، مهندس خونساری مدیر تصفیه خانه فاضلاب
۳. آقای مهندس کورش سلیمانی مدیر عامل، مهندس بهشتی مدیر کارخانه و مهندس مظفری مدیر تصفیه خانه فاضلاب که با کمکهای علمی، فنی و مالی و ایجاد فضای مناسب جهت رشد تحقیقات صنعتی باعث به نتیجه رسیدن این فن‌آوری شدند صمیمانه قدرانی و تشکر شود.

## منابع

۱. شایگان، جلال - مهدیزاده، حسین و قوی پنجه، فریده؛ تبدیل مواد آلی فاضلاب به گاز متان با استفاده از روشهای تصفیه بی‌هوازی؛ مجموعه مقالات سمینار بیوگاز سازمان انرژی اتمی ایران؛ ۱۳۷۵.
۲. ابراهیمی، سیروس - شایگان، جلال و هاشمیان، جمال؛ کاربرد راکتورهای UASB در تصفیه بی‌هوازی فاضلابهای صنعتی؛ مجموعه مقالات بیهینه‌سازی کاربردی در جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب؛ دانشگاه علوم پزشکی اصفهان؛ ۱۳۷۶.
۳. شایگان، جلال؛ طراحی سیستم تصفیه فاضلاب شرکت آرد و نشاسته و گلوکز یاسوج گزارش نهایی؛ ۱۳۷۵.
۴. شایگان، جلال؛ طراحی تصفیه فاضلاب صنعتی شرکت بیدستان؛ گزارش نهایی؛ ۱۳۷۲.
۵. مهدیزاده، حسین؛ مطالعات پایلوت UASB برای تصفیه پذیری فاضلاب نشاسته‌سازی؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی جلال شایگان؛ دانشگاه صنعتی شریف؛ ۱۳۷۴.
۶. ابراهیمی، سیروس؛ طراحی، نصب و راه‌اندازی راکتورهای UASB جهت تصفیه بی‌هوازی فاضلاب الکل‌سازی بیدستان؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی جلال شایگان؛ دانشگاه صنعتی شریف؛ ۱۳۷۲.
۷. امامی، احد؛ طراحی، ساخت و راه‌اندازی واحد پایلوت راکتور UASB برای تصفیه فاضلاب شهری؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی جلال شایگان؛ دانشگاه صنعتی شریف؛ ۱۳۷۲.
۸. کمبرانی، مسعود؛ بررسی تصفیه‌پذیری فاضلاب شرکت صنعتی بهشهر با استفاده از سیستم‌های بی‌هوازی UASB؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی جلال شایگان؛ دانشگاه صنعتی شریف؛ ۱۳۷۳.
۹. خراسانیان، محسن؛ بررسی تصفیه‌پذیری آمیزه فاضلاب شرکتهای صنعتی بهشهر و پاکسان با استفاده از

راکتور UASB؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی جلال شایگان؛ دانشگاه سیستان و بلوچستان  
زاهدان؛ ۱۳۷۵.

۱۰. شایگان، جلال - مهدیزاده، حسین؛ مروری بر گرانول و گرانوله شدن لجن در راکتورهای بی‌هوازی؛  
مجموعه مقالات چهارمین کنگره مهندسی شیمی ایران، جلد سوم، دانشگاه صنعتی شریف؛ ۱۳۷۷.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۷۸/۱۰/۲۵)