# Performance Evaluation of Two - Stage Activated Sludge Process ( AB ) at Isfahan's Municipal Wastewater Treatment Plant

*Mesdaghinia, A., Prof., Center for Environmental Science and Technology, University of Tehran*
*Mahvi, A.H., Assist. Prof., Center for Environmental Science and Technology, University of Tehran*
*Alimohammadi, F., MSc., Tarbiat Modarres University*

Performance of AB process was evaluated at Isfahan's north wastewater treatment plant for nearly five months. A pilot plant was designed and started by feeding an influent of 3.6 $m^3/d$. The main goal of study was to determine the removal efficiency in regard to optimum condition in aeration tanks. The food to microorganism ( F/M ) ratio in stage A was between 2-6 kg $BOD_5$ / Kg MLSS.d. This range was achieved by regulation of hydrulic retention time ( HRT ) and mixed liquor suspended solids ( MLSS ) concentration. The average removal of more than 80, 90 and 82 percent was achieved for $BOD_5$ , SS and COD respectively. These results showed that the AB process was quite efficient in optimum condition. The average removal of TKN was more than 48% which also showed the nitrification has occured.

This study showed that AB system is very sensitive to alternating in operational situations and may cause difficulties such as sludge bulking.

# ارزیابی فرایند لجن فعال دو مرحله‌ای ( AB ) در تصفیه فاضلاب شهر اصفهان

علیرضا مصداقی‌نیا* امیر حسین محوی** فریبرز علی‌محمدی***

**چکیده**

در این تحقیق که در تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان انجام گرفت، فرایند AB در مقیاس واحد نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت و هدف اصلی آن تعیین کارایی این فرایند در تصفیهٔ فاضلاب شهری و به تبع آن تعیین شرایط بهینه در حوض‌های هوادهی بود. مدت اجرای این تحقیق ۱۴۴ روز بود و در شرایطی که مقدار بارگذاری لجن ( F/M ) در مرحله A حداقل ۲ و حداکثر ۶ کیلوگرم $BOD_5$ بر کیلوگرم MLSS بود (که به وسیله تغییر در زمان‌های ماند هیدرولیکی و میزان MLSS به دست می‌آمد ) مورد بهره‌برداری قرار گرفت. مقدار فاضلاب ورودی به پایلوت ۳/۶ مترمکعب در روز ( ۲/۵ لیتر در دقیقه ) در نظر گرفته شد.

میانگین حذف بالاتر از ۹۰ درصد $BOD_5$ و SS و بالاتر از ۸۲ درصد COD در شرایط بهینه بهره‌برداری نشان داد که می‌توان به کیفیت مطلوب پساب خروجی در تصفیه فاضلاب شهری به روش AB دست یافت. همچنین میانگین حذف بالاتر از ۴۸ درصد TKN نشان می‌دهد که شرایط مطلوب برای فرایند نیتریفیکاسیون فراهم می‌باشد. تغییرات در وضعیت‌های بهره‌برداری از فرایند AB نشان داد که در صورت عدم کنترل دقیق شرایط بهره‌برداری، این فرایند به مانند فرایندهای یک مرحله‌ای نسبت به پدیده حجیم شدن لجن حساس می‌باشد.

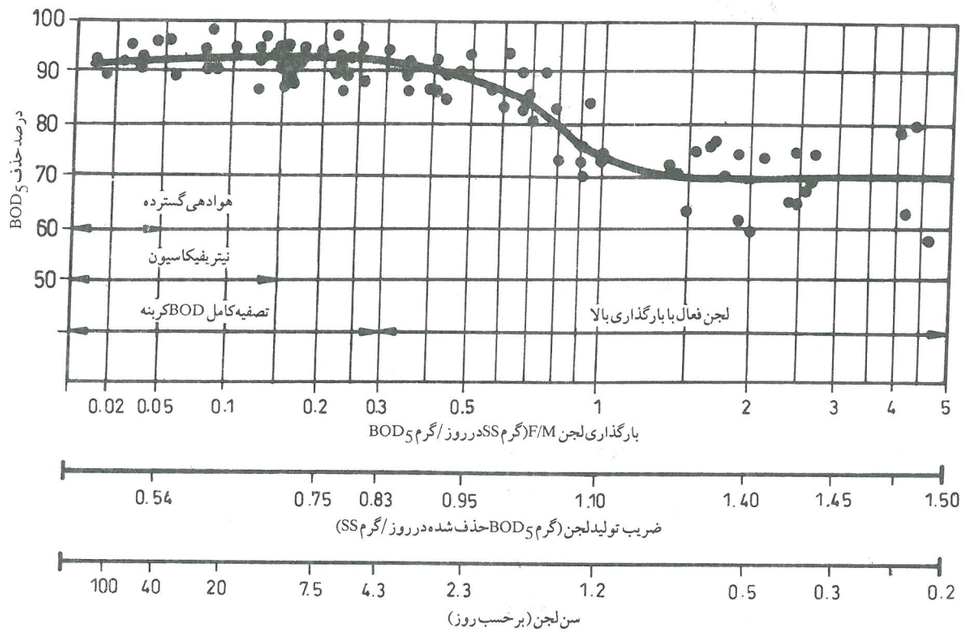
**مقدمه**

هم اکنون در تعدادی از شهرهای بزرگ کشورمان تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به روش لجن فعال در حال کار می‌باشند و تا چند سال آینده نیز برای سایر نقاط کشور تصفیه‌خانه‌هایی از این نوع ساخته خواهد شد. با توجه به این که در کشور ما جمعیت شهرنشین از رشد بالایی برخوردار است، تصفیه‌خانه‌های موجود و آتی در سطح کشور قطعاً با مسأله افزایش جریان فاضلاب و میزان بارآلودگی وارده به آنها روبرو خواهند شد که این مسأله باعث کاهش راندمان تصفیه و نیز بروز مشکلاتی در امر راهبری تصیفه‌خانه‌ها خواهد گردید. یکی از روش‌هایی که به کمک آن می‌توان با اندک تغییراتی در سیستم

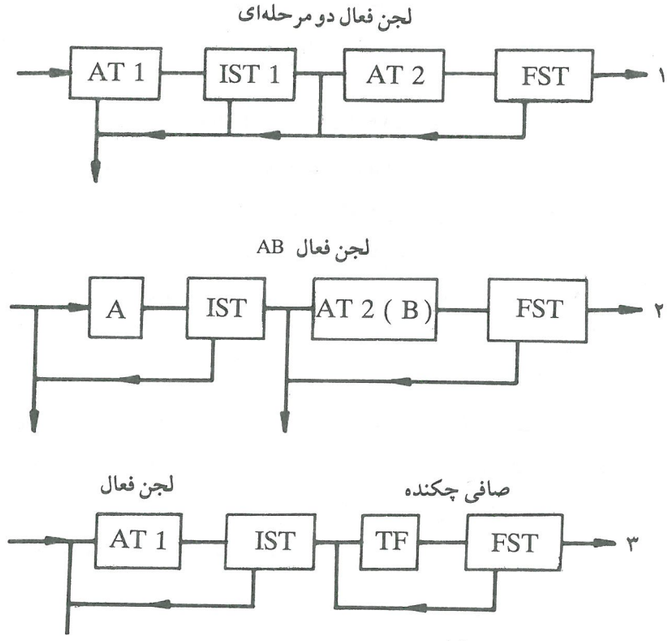
* استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

** استادیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

*** کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشگاه تربیت مدرس




**شکل ۱- پارامترهای بارگذاری لجن ( F/M )، سن لجن و تولید لجن مرتبط با حذف BOD که از نتایج بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های آلمان به دست آمده است.**




**شکل ۲- انواع فرایندهای دو مرحله‌ای**



موجود به راندمان تصفیه قابل توجه‌ای دست یافت، (ضمن این‌که در آن از تأسیسات موجود استفاده بهینه می‌شود)، فرایند لجن فعال دو مرحله‌ای موسوم به AB می‌باشد. هم‌چنین این سیستم برای شهرهایی که فاقد تصفیه‌خانه فاضلاب می‌باشند وگزینهٔ فرایند لجن فعال برای آنها در نظرگرفته شده است، می‌تواند به‌کار رود. با توجه به مطالب فوق و با توجه به این‌که فرایند AB درکشورمان در قالب یک طرح تحقیقاتی مورد بررسی قرار نگرفته است، ارزیابی این فرایند در قالب ساخت واحدهای نمونه امری ضروری به نظر می‌رسد.

در اینجا لازم است شرح کلی از این فرایند داشته باشیم و سپس به روش تحقیق و نتایج حاصل از آن پرداخته شود.

## جایگاه و مشخصات فرایند AB

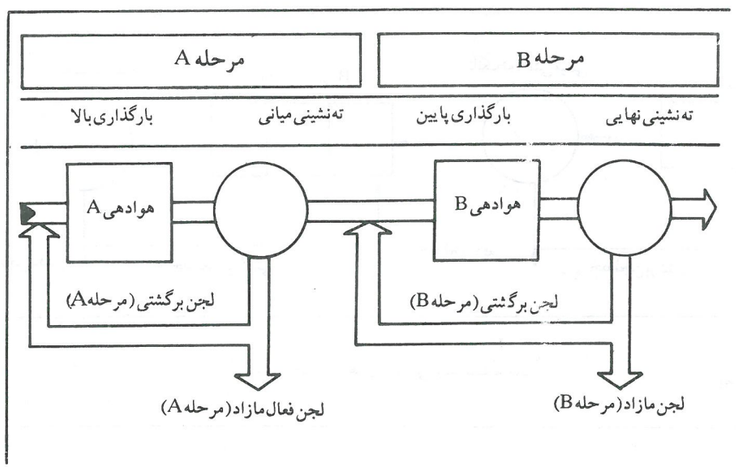
به طور کلی تقسیم‌بندی فرایندهای لجن فعال می‌تواند بر اساس بارگذاری لجن، نوع جریان و نوع هوادهی باشد. اما آن چیزی که اساس طراحی واحدهای لجن فعال می‌باشد، مقدار بارگذاری لجن است. بارگذاری پارامتری است که میزان غذای در دسترس به ازای هر واحد جرم میکروارگانیسم‌ها را بیان می‌کند. بنابراین نسبت غذا به میکروارگانیسم یا F/M[1] نامیده می‌شود [۱].

واحدهای لجن فعال بر اساس بارگذاری به سه دسته. با بارگذاری متعارف، بارگذاری پایین و بارگذاری بالا تقسیم می‌شوند. تصفیه‌خانه‌های لجن فعال متعارف معمولاً دارای نسبت F/M بین ۰/۲ تا ۰/۴ می‌باشند. مقادیر کمتر F/M معمولاً در صورت نیاز به نیتریفیکاسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقادیر بالاتر برای سیستم‌های با بارگذاری بالا استفاده می‌شود [۲،۱].

همان طورکه در شکل ۱ نشان داده شده است، با افزایش بارگذاری لجن راندمان حذف مواد آلی کاهش می‌یابد. بنابراین سیستم‌های با بارگذاری بالا نمی‌توانند استانداردهای پساب خروجی از واحدهای تصفیه را تأمین کنند. بدین منظور این گونه فرایندها، به صورت ترکیب با فرایندهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل ۲ نشان می‌دهدکه فرایند AB یکی از انواع فرایندهای ترکیبی می‌باشد [۲،۱].

AB مخفف جذب[2] و اکسیداسیون بیولوژیکی[3] می‌باشد. این سیستم شامل دو مرحله فرایند لجن فعال به صورت سری است ( شکل ۳ ) و صفت مشخصه آن نداشتن ته‌نشینی اولیه و مجزا بودن لجن مرحله اول از دوم است [۲].

1- Food / Microorganism
2- Absorbtion
3- Bio - oxidation




**شکل ۳- شماتیک نحوه قرارگیری واحدها در فرایند AB**

مشخصات کلی فرایند به شرح زیر است:

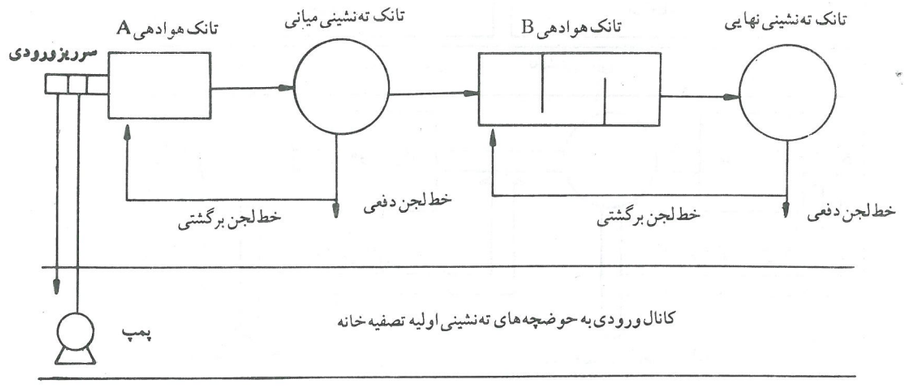
- بارگذاری حداکثر در مرحله A ( بیش از ۲ کیلوگرم $BOD_5$ بر کیلوگرم MLSS[1] ) و بارگذاری کم در مرحله B ( ۰/۳ کیلوگرم $BOD_5$ بر کیلوگرم MLSS در روز )
- تولید لجن در مرحله A زیاد است که دلیل عمده آن بالا بودن F/M می‌باشد.
- میکروارگانیسم‌ها در مرحله A در فاز رشد لگاریتمی قرار دارند.
- عمر لجن در مرحله A پایین است و به زیر نیم روز می‌رسد. عمر لجن در مرحله B بالا است.
- شاخص حجمی لجن ( SVI ) در مرحله A پایین است ( ml/g ۶۰-۴۰ ) و در مرحله B تقریباً مشابه سیستم‌های یک مرحله‌ای است ( ml/g ۱۳۰-۹۰ ) [ ۱، ۲، ۳ ].

## روش تحقیق

در این تحقیق که در تصفیه‌خانه شمال اصفهان انجام گرفته است، فرایند AB در مقیاس واحد نمونه[2] مورد ارزیابی قرار گرفت که هدف اصلی آن بررسی کارایی این فرایند در تصفیه فاضلاب شهری و به تبع آن تعیین شرایط بهینه در حوض‌های هوادهی بود. این نمونه شامل حوض هوادهی مرحله A، تانک ته‌نشینی میانی، حوض هوادهی مرحله B، تانک ته‌نشینی نهایی و متعلقات مربوطه می‌باشد ( شکل ۴ ). فاضلاب ورودی به پایلوت، فاضلابی است که به تصفیه‌خانه وارد شده و از واحدهای آشغالگیر و شن‌گیر عبور می‌کرد.

مقدار جریان فاضلاب ورودی ۲/۵ لیتر در دقیقه در نظر گرفته شد. حجم حوض هوادهی A، ۱۰۰ لیتر می‌باشد که توسط کارگذاری ۳ خروجی در ارتفاعات مختلف زمان‌های ماند هیدرولیکی ۴۰، ۳۲ و ۲۸ دقیقه در آن تأمین می‌گردید. عمر لجن در این حوض بین ۶ تا ۱۲ ساعت در نظر گرفته شد. زمان ماند در تانک ته‌نشینی میانی ۱/۵ ساعت و بار سطحی ۱۸m/d بود. حجم حوض هوادهی مرحله B، ۳۷۵ لیتر و عمر لجن آن ۴ روز در نظر گرفته شد و بالاخره زمان ماند در تانک ته‌نشینی نهایی ۲ ساعت و بار سطحی ۱۸m/d بود. مدت اجرای این تحقیق مجموعاً ۱۴۴ روز بود که در ۳ دورهٔ زمانی بر اساس زمان‌های ماند هیدرولیکی ۴۰، ۳۲ و ۲۸ دقیقه در حوض هوادهی A مورد بهره‌برداری قرار گرفت. پس از تشکیل لخته در حوض‌های هوادهی میزان MLSS، MLVSS[3]، SVI[4]، $BOD_5$، COD، SCOD[5] ( COD محلول )، درجه حرارت، pH، TKN[6] و فسفر به صورت روزانه و هر دو روز یک‌بار اندازه گیری شد.

1- Mixed Liquid Suspended Solids
2- Pilot Scale
3- Mixed Liquid Volatile Suspended Solids
4- Sludge Volume Index
5- Soluble chemical oxygen demand
6- Total kjeldahl nitrogen




شکل ۴- شمای کلی واحدهای نمونه



جدول ۱- متوسط راندمان حذف و کیفیت فاضلاب ورودی و پساب خروجی در مرحله A

| | مرحله‌اول | | | مرحله‌دوم | | | مرحله‌سوم | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ورودی | خروجی | راندمان حذف | ورودی | خروجی | راندمان حذف | ورودی | خروجی | راندمان حذف |
| SS ( mg/l ) | ۲۶۳ | ۹۴/۴ | ۶۴/۱ | ۲۸۲/۸ | ۱۰۱/۲ | ۶۴/۲ | ۲۹۰/۴ | ۱۷۵ | ۳۹/۷ |
| COD ( mg/l ) | ۴۰۰/۱ | ۲۰۹/۵ | ۴۷/۶ | ۴۲۲/۵ | ۲۲۳/۵ | ۴۷/۱ | ۴۰۴/۶ | ۳۰۳/۸ | ۲۴/۹ |
| SCOD ( mg/l ) | ۱۹۲/۳ | ۱۲۸/۸ | ۳۳ | ۱۹۹/۴ | ۱۳۴/۴ | ۳۲/۶ | ۱۸۵/۲ | ۱۵۲/۸ | ۱۷/۴ |
| $BOD_5$ ( mg/l ) | ۲۳۷/۷ | ۱۰۷/۳ | ۵۴/۹ | ۲۴۶/۶ | ۱۱۴/۶ | ۵۳/۵ | ۲۳۲/۸ | ۱۴۹/۴ | ۳۵/۸ |
| فسفرکل ( mg/l ) | ۱۱/۵ | ۹ | ۲۱/۷ | ۱۲/۳ | ۸/۹ | ۲۷/۲ | ۱۱/۶ | ۱۱ | ۴/۶ |
| TKN ( mg/l ) | ۶۲/۴ | ۵۲/۹ | ۱۵/۲ | ۵۸/۵ | ۴۹/۱ | ۱۶ | ۶۳/۴ | ۶۲/۳ | ۱/۹ |

## نتایج

### ارزیابی مرحله A

۱- حذف $BOD_5$ با میانگین ۵۵ درصد و نیز حذف COD محلول با میانگین ۳۳ درصد در مرحله A نشان می‌دهد که فرایند تصفیه بیولوژیکی در این مرحله صورت می‌گیرد ( جدول ۱ ).

۲- حجم زیاد لجن مازاد، عمر لجن کمتر از نیم روز، افزایش سریع MLSS و بالا بودن جامدات معلق خروجی نشان می‌دهد که میکروارگانیسم‌ها در فاز رشد لگاریتمی قرار دارند.

۳- علیرغم وجود شرایط برای رشد معلق، مشاهدات میکروسکوپی و آزمایشات فیزیکی ( ته‌نشینی نیم ساعته ) نشان می‌دهد که لخته‌های تشکیل شده از این خصوصیت ( رشد معلق ) پیروی نکرده و دارای کیفیت مطلوبی از نظر ساختار لخته‌ای ( اندازه، دانسیته و ... ) می‌باشند. با این حال پساب خروجی دارای کدورت بالا است. شاید بهترین توجیه پدیده مزبور این باشد که هسته‌های تشکیل دهنده لخته‌ها جامدات قابل ته‌نشینی می‌باشند که به علت عدم وجود زلال‌ساز اولیه، از فاضلاب حذف نشده‌اند. میکروارگانیسم‌ها بر روی هسته‌های مزبور ( که می‌تواند الیاف سلولزی و ... باشند ) چسبیده و طی فرایند ته‌نشینی از پساب جدا می‌شوند.

۴- علیرغم تغییرات زیاد در کیفیت شیمیایی و بیوشیمیایی فاضلاب ورودی، وجود راندمان حذف بالای ۵۰ درصد $BOD_5$ در مراحل اول و دوم بهره‌برداری می‌تواند دلیلی بر اثبات فرایند بیولوژیکی در این مرحله باشد ( جدول ۱ ).

۵- تغییرات کیفیت پساب خروجی از مرحله A و ارتباط آن با MLSS نشان می‌دهد که کیفیت پساب خروجی در زمانی که MLSS در محدوده ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر قرار دارد، بهترین شرایط را دارا خواهد بود.

۶- تغییرات زمان ماند هیدرولیکی در حوض هوادهی نشان می‌دهد که با کاهش زمان ماند ( خصوصاً در زیر ۳۰ دقیقه ) کیفیت پساب خروجی روند نزولی دارد. کاهش زمان ماند هیدرولیکی ( HRT ) به زیر ۳۰ دقیقه در مرحله سوم بهره‌برداری از حوض هوادهی A باعث فرار لخته‌ها و به تبع آن کاهش MLSS در حوض هوادهی شد. در این حالت مقدار F/M بالاتر از ۶ کیلوگرم $BOD_5$ بر کیلوگرم MLSS در روز بود.

۷- SVI پایین و مشاهده وضعیت ته‌نشینی نشان داد که بار سطحی انتخابی برای تانک ته‌نشینی میانی، پایین می‌باشد و مقادیر بار سطحی بالاتر نیز می‌تواند در نظر گرفته شود.

### ارزیابی مرحله B

۱- کیفیت حذف در مرحله B تابعی از شرایط حذف مواد آلی در مرحله A می‌باشد. در مرحله سوم بهره‌برداری از حوض هوادهی A ( جدول ۱ ) که کیفیت پساب خروجی از آن بسیار پایین آمده بود، تأثیر مستقیم بر روی حوض هوادهی B گذاشت و موجب از بین رفتن شرایط مطلوب برای حوض هوادهی و نهایتاً پایین آمدن کیفیت پساب خروجی از آن مرحله گردید. بنابراین مرحله B را نمی‌توان تابعی مستقل در فرایند تصفیه تلقی نمود. تأثیر مرحله A باعث می‌شود که علیرغم HRT نسبتاً پایین‌تر در حوض هوادهی B ( ۲/۵ ساعت )، این حوض مانند

جدول ۲- متوسط راندمان حذف وکیفیت فاضلاب ورودی و پساب خروجی در مرحله B

| | مرحله‌اول | | | مرحله‌دوم | | | مرحله‌سوم | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ورودی | خروجی | راندمان حذف | ورودی | خروجی | راندمان حذف | ورودی | خروجی | راندمان حذف |
| SS ( mg/l ) | ۹۴/۴ | ۱۹/۸ | ۷۸/۹ | ۱۰۱/۲ | ۲۳/۸ | ۷۶/۴ | ۱۷۵ | ۱۰۴/۲ | ۴۰/۴ |
| COD ( mg/l ) | ۲۰۹/۵ | ۶۷/۷ | ۶۷/۷ | ۲۲۳/۵ | ۷۷ | ۶۵/۵ | ۳۰۳/۸ | ۲۰۶/۲ | ۳۲/۱ |
| SCOD ( mg/l ) | ۱۲۸/۸ | ۴۸/۱ | ۶۲/۶ | ۱۳۴/۴ | ۵۴/۷ | ۵۹/۳ | ۱۵۲/۸ | ۱۱۴/۴ | ۲۵/۱ |
| $BOD_5$ ( mg/l ) | ۱۰۷/۳ | ۲۲/۱ | ۷۹/۴ | ۱۱۴/۶ | ۲۲/۷ | ۸۰/۲ | ۱۴۹/۴ | ۹۱ | ۴۰/۴ |
| فسفرکل ( mg/l ) | ۹ | ۷/۸ | ۱۲/۴ | ۸/۹ | ۷/۳ | ۱۷/۹ | ۱۱ | ۱۱/۳ | ۰ |
| TKN ( mg/l ) | ۵۳/۹ | ۲۸/۸ | ۴۵/۴ | ۴۹/۱ | ۳۰/۱ | ۳۸/۷ | ۶۲/۳ | ۵۶/۲ | ۹/۷ |

سیستم‌های متعارف رفتار کند.

۲- در شرایط مطلوب بهره‌برداری از مرحله A، در مرحله B راندمان حذف $BOD_5$ در حدود ۸۰ درصد، COD در حدود ۶۵درصد و SCOD در حدود ۶۰ درصد قابل دست‌یابی است ( جدول ۲ ).

۳-کاهش TKN در مرحله B نشان می‌دهد که شرایط مطلوب برای فرایند نیتریفیکاسیون فراهم می‌باشد. این در حالی است که عمر لجن در مرحله B بین ۳ تا ۴ روز است. توجیه علمی این امر آن است که حذف بخشی از BOD کربنه در مرحله A باعث می‌شود تا باکتری‌های نیتریفه ( باکتری‌های عامل نیتریفکیاسیون ) در مرحله B به صورت راحت‌تری اکسیژن محلول در اختیار داشته باشند.

۴- وجود حجم نسبتاً پایین لجن مازاد، عمر لجن بین ۳ تا ۴ روز، افزایش نسبتاً بطئی MLSS در حوض هوادهی B، پایین بودن جامدات معلق و کدورت پایین در پساب خروجی از مرحله B نشان می‌دهد که میکروارگانیسم‌ها در فاز کاهش رشد قرار گرفته‌اند.

۵- در وضعیت‌های مطلوب بهره‌برداری از حوض هوادهی B، امکان رشد پروتوزئرهایی که در عمر لجن پایین‌تر از ۳ تا ۴ روز در سیستم‌های متداول دیده نمی‌شوند، قابل دسترسی است. علت این امر آن است که کیفیت پساب ورودی به حوض هوادهی B از نظر کنترل بارآلودگی و عدم وجود مواد سمّی، امکان رشد برای این گونه میکروارگانیسم‌ها را فراهم می‌کند.

۶- تغییرات کیفیت پساب خروجی از مرحله B و ارتباط آن با میزان MLSS موجود در حوض هوادهی B نشان می‌دهد که کیفیت مطلوب پساب خروجی در زمانی که MLSS در محدوده ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد قابل دسترسی است.

۷- در انتهای مراحل اول و دوم بهره‌برداری از حوض هوادهی مرحله B مشکل حجیم شدن لجن ( بالکینگ ) به وجود آمد که فاکتور مؤثر در این مسئله افزایش MLSS و به پیروی از آن کاهش F/M و نیز کاهش اکسیژن محلول می‌باشد. بنابراین کنترل MLSS در یک محدوده معین امری ضروری است. از طرف دیگر برای هر مرحله بهره‌برداری از حوض هوادهی مرحله A سعی شد که زمان ماند هیدرولیکی ( HRT ) ثابت بماند و به مرور زمان که MLSS در حوض افزایش یافت، $BOD_5$ خروجی از مرحله A کاهش می‌یابد. بنابراین نسبت F/M تحت تأثیر این مسئله نیز کاهش می‌یافت.

ارزیابی فرایند AB در مراحل مختلف بهره‌برداری از پایلوت AB نشان داد که :

۱-کیفیت پساب خروجی با توجه به وضعیت‌های مناسب بهره‌برداری ( در مراحل اول و دوم ) از شرایط مطلوبی برخوردار بود ( جدول ۳ ). بنابراین فرایند AB در تصفیه فاضلاب شهری قابل اجرا می‌باشد.

۲- بررسی‌ها و نتایج به دست آمده نشان داد که جهت دست‌یابی به وضعیت مطلوبی از تصفیه می‌بایست شرایط خاصی بر فرایند حاکم باشد ( در مرحله A می‌بایست زمان ماند هیدرولیکی، نسبت F/M، میزان MLSS و اکسیژن محلول در محدوده معینی قرار گیرد ).

- به دلیل آن که کیفیت پساب خروجی از مرحله A تأثیر



جدول ۳- متوسط راندمان حذف وکیفیت فاضلاب ورودی و پساب خروجی در فرایند AB

| | مرحله‌اول | | | مرحله‌دوم | | | مرحله‌سوم | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ورودی | خروجی | راندمان حذف | ورودی | خروجی | راندمان حذف | ورودی | خروجی | راندمان حذف |
| SS ( mg/l ) | ۲۶۳ | ۱۹/۸ | ۹۲/۵ | ۲۸۲/۸ | ۲۳/۸ | ۹۱/۶ | ۲۹۰/۴ | ۱۰۴/۲ | ۶۴/۱ |
| COD ( mg/l ) | ۴۰۰/۱ | ۶۷/۷ | ۸۳ | ۴۲۲/۵ | ۷۷ | ۸۱/۸ | ۴۰۴/۶ | ۲۰۶/۲ | ۴۹ |
| SCOD ( mg/l ) | ۱۹۲/۳ | ۴۸/۱ | ۷۵ | ۱۹۹/۴ | ۵۴/۷ | ۷۲/۶ | ۱۸۵/۲ | ۱۱۴/۴ | ۳۸/۲ |
| $BOD_5$ ( mg/l ) | ۲۳۷/۷ | ۲۲/۱ | ۹۰/۶ | ۲۴۶/۶ | ۲۲/۷ | ۹۰/۸ | ۲۳۲/۸ | ۹۱ | ۶۰/۹ |
| فسفرکل ( mg/l ) | ۱۱/۵ | ۷/۸ | ۳۲/۲ | ۱۲/۳ | ۷/۳ | ۴۰/۷ | ۱۱/۶ | ۱۱/۳ | ۲/۶ |
| TKN ( mg/l ) | ۶۲/۴ | ۲۸/۸ | ۵۳/۸ | ۵۸/۵ | ۳۰/۱ | ۴۸/۵ | ۶۳/۴ | ۵۶/۲ | ۱۱/۴ |

مستقیم بر روی مرحله B می‌گذاشت، مرحله B را می‌توان تابعی از مرحله A دانست. در وضعیت‌هایی که پارامترهای ذکر شده در مرحله A در محدوده معینی قرار داشت، کنترل شرایط فرایند در مرحله B آسان‌تر و کیفیت پساب خروجی بهتر بود.

۳- وضعیت‌های بهره‌برداری از فرایند AB نشان داد که در صورت عدم کنترل دقیق شرایط بهره‌برداری، این فرایند مانند فرایندهای یک مرحله‌ای نسبت به پدیده حجیم شده لجن ( بالکینگ ) حساس می‌باشد.

با تشکر و قدردانی از:

* شورای تحقیقات و بهبود بهره‌وری شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به خاطر حمایت مستقیم از طرح تحقیقاتی ارائه شده.

* جناب آقای مهندس محمد کرباسی معاونت محترم مهندسی و توسعه شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به خاطر مساعدت ایشان در طول مدت انجام طرح تحقیقاتی فوق‌الذکر.

## منابع و مراجع

1- Imhof, S., K., (1989). " *Handbook of Urban Drainage and Wastewater Disposal* ", John Wiley & Sons.

2- Botoho - Bohnke, E.H.C. (1992). " *Das AB - Verfahren Zur Blologischen Abwasserr* ", - Reingung, Aachen.

3- Hanel, K. (1988). " *Biological Treatment of Sewage by the Activated Sludge Process* ", Eliss Horwood Limited.