

# مقایسه نیتریفیکاسیون جزئی و کامل در سیستم SBR با هدف استفاده در فرایندهای جریان جانبی

علی دهنوی<sup>۱</sup>

حسین گنجی دوست<sup>۲</sup>

بیبا آیتی<sup>۳</sup>

گیتی امتیازی<sup>۴</sup>

(دریافت ۸۹/۳/۸ پذیرش ۸۹/۱۱/۲۱)

## چکیده

یکی از روشهای نوین مورد توجه محققان، استفاده از روشهای کم هزینه بیولوژیکی حذف آمونیاک تحت عنوان نیتریفیکاسیون جزئی است. در این تحقیق که هدف از انجام آن مقایسه دو فرایند نیتریفیکاسیون کامل و جزئی به منظور به کارگیری در فرایندهای جریان جانبی بود، میزان حذف آمونیاک در فاضلابهای با غلظت بالای آمونیاک تحت سیکل‌های مختلف در سیستم SBR در مقیاس پایلوت مورد بررسی قرار گرفت. غلظت آمونیاک در فاضلاب سینتزی حدود ۹۰۰ میلی گرم در لیتر و حجم ثابت راکتور ۳ لیتر و حجم قابل تعویض آن برای ایجاد زمان ماند مناسب تا ۶ لیتر متغیر بود که بر این اساس زمان ماندهای ۱/۰۵ تا ۱/۵۵ روز در حالت‌های مختلف به کار رفت. بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری آمونیاک، نیتريت و نیترات با دستگاه اسپکتروفتومتر، مشخص گردید که با کنترل دما، pH، اکسیژن محلول و زیرسیکل‌های بیشتر می‌توان به نیتریفیکاسیون جزئی دست یافت. بر اساس محاسبات انجام شده مشخص گردید که نرخ ویژه اکسیداسیون آمونیاک در نیتریفیکاسیون کامل در قیاس با جزئی در حدود ۱۳ تا ۱۶ درصد بیشتر است و این در حالی است که در این حالت، درصد تجمع نیتريت از حدود ۹۱ به ۵۱ درصد در سه زیرسیکل و از حدود ۸۱ به ۳۰ درصد در یک زیرسیکل در قیاس با نوع جزئی کاهش یافته است. علاوه بر این، افزایش تعداد زیرسیکل‌های فرعی از یک به سه تأثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش نرخ ویژه اکسیداسیون آمونیاک از ۲۹ تا ۳۲ درصد به ترتیب در نیتریفیکاسیون جزئی و کامل داشت. این موضوع نشان داد که استفاده از روش مذکور می‌تواند علاوه بر حذف آمونیاک با غلظت بالا در فرایندهای جریان جانبی، باعث اکسیداسیون کمتر نیتريت در نیتریفیکاسیون جزئی نسبت به نوع کامل شود.

واژه‌های کلیدی: نیتریفیکاسیون، فرایند جریان جانبی، راکتورهای پیوسته متوالی

## Comparison of Partial and Complete Nitrification in SBR System for Use in Side Stream Processes

Ali Dehnoei<sup>1</sup>

Hossein Ganjidoost<sup>2</sup>

Bitaa Ayati<sup>3</sup>

Giti Emtiazi<sup>4</sup>

(Received May 28, 2010 Accepted Feb. 9, 2011)

### Abstract

Use of low-cost biological methods for ammonia removal as partial nitrification has been attracted by many environmental engineering researchers in recent years. In this study the removal of ammonia in high concentration sewage based on both complete and partial nitrification with the different sub-cycles has been investigated in pilot-scale and the results were compared. Ammonia concentration in synthetic wastewater was about 900 mg-N/L and fixed and variable volume of reactor was 3 and 6 liter respectively to create a suitable hydraulic retention time of 1.05-1.55 days in the different cases. The results of ammonia, nitrite and nitrate measurements by spectrophotometer have shown that it is possible to achieve partial nitrification by controlling temperature, pH, and dissolved oxygen and having more sub-cycles. Ammonia specific oxidation rate was about

1. Ph.D. Student of Civil and Env. Eng., Tarbiat Modares University, Tehran
2. Prof. of Civil and Env. Eng., Tarbiat Modares University, Tehran  
(Corresponding Author) (+98 21) 82883332 h-ganji@modares.ac.ir
3. Assoc. Prof. of Civil and Env. Eng., Tarbiat Modares University, Tehran
4. Prof. of Microbiology, Faculty of Public Health, Isfahan University, Isfahan

- ۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- ۲- استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران  
(نویسنده مسئول) ۸۲۸۸۳۳۳۲ (+۹۸ ۲۱) h-ganji@modares.ac.ir
- ۳- دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- ۴- استاد بخش میکروبیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه اصفهان

13 to 16 percent more in complete nitrification compared to partial nitrification and in this condition the percent of nitrite accumulation was reduced from 91 to 51 in 3 sub-cycles and from 81 to 30 in 1 sub-cycle. Furthermore, increase of sub-cycles number from 1 to 3 had significant effect on increasing ammonia specific oxidation rate from 29 to 32 percent in partial and full nitrification, respectively. Results of this study showed that this method will be used for high ammonia removal in side stream process in addition to low nitrite oxidation rate in partial nitrification as compared to complete nitrification

**Keywords:** Nitrification, Side Stream Process, Sequencing Batch Reactor.

گروه دوم نیتروباکتر<sup>۵</sup> است [۵ و ۷].

با توجه به روابط حاکم بر مرحله اول و دوم نیتریفیکاسیون مشخص می‌گردد که نیتریفیکاسیون کامل، مستلزم ایجاد احجام بزرگ در هوادهی برای ایجاد یک سن لجن مناسب، تأمین اکسیژن و نیز تأمین قلیائیت کافی است که همگی مستلزم هزینه زیاد هستند [۸]. از این رو، مبنای تحقیقات وسیع اخیر در خصوص روشهای نوین بیولوژیکی حذف و تبدیل شکلهای متفاوت نیتروژن از فاضلابهای مختلف از جمله فاضلابهای حاوی غلظت بالای آمونیاک مانند مایع جداسازی شده از هاضم‌های بی‌هوازی<sup>۶</sup> و نیز آبگیری لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری، مسائل اقتصادی و کاهش هزینه‌های تصفیه بوده است [۹].

روشهای بیولوژیکی حذف و تبدیل شکلهای مختلف نیتروژن را مانند سایر روشها به دو بخش مرسوم و نوین تقسیم می‌کنند که می‌توان در بخش مرسوم به نیتریفیکاسیون کامل و دنیتریفیکاسیون از نیترات و در بخش نوین به فرایندهای نیتریفیکاسیون جزئی<sup>۷</sup> از جمله روشهای آناموکس<sup>۸</sup>، کن<sup>۹</sup>، اولند<sup>۱۰</sup>، شارون<sup>۱۱</sup> و نیز فرایندهای جریان جانبی کامل<sup>۱۲</sup> اشاره کرد [۱۰ و ۱۱].

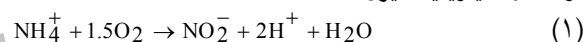
فرایندهای جریان جانبی فرایندهایی هستند که اساس کار آنها بر تولید نیتریفایرها تحت شرایط مناسب و افزودن آنها به فرایند اصلی لجن فعال و به‌منظور جایگزینی آنها با نیتریفای‌هایی است که با لجن از سیستم خارج شده‌اند. برای این منظور از یک تانک جداگانه کوچک در کنار تانک هوادهی استفاده می‌شود که در آن نیتریفای‌ها تحت شرایط مناسب از جمله مهیا نمودن آمونیاک از مایع خروجی هاضم‌های لجن، مایع حاصل از آبگیری لجن و یا به طرق دیگر از جمله افزودن دستی، به‌مقدار زیادی رشد داده شده و سپس به تانک اصلی لجن فعال و یا تانک نیتریفیکاسیون مجرا افزوده می‌شوند. بررسی‌های انجام شده نشان داده است که این عمل

## ۱- مقدمه

آمونیاک موجود در فاضلابهای مختلف را می‌توان به روشهای کلی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تبدیل و یا حذف نمود، اما به‌طور قطع مهم‌ترین آنها، استفاده از روشهای بیولوژیکی است [۱-۳]. دلیل برتری روشهای بیولوژیکی در حذف و تبدیل شکلهای مختلف نیتروژن، اثربخشی و ارزانی این روشها است [۴].

تبدیل بیولوژیکی آمونیاک (نیتریفیکاسیون) در دو مرحله شامل نیتريت‌زایی و نیترات‌زایی صورت می‌گیرد که در روابط ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند. علاوه بر این، لازم است محصولات نهایی نیتریفیکاسیون طی فرایند دنیتریفیکاسیون (نیترات و نیتريت زدایی) به گاز نیتروژن تبدیل شوند که در روابط ۳ و ۴ با فرض استفاده از استات به‌عنوان منبع کربن خارجی، نشان داده شده‌اند [۵ و ۶].

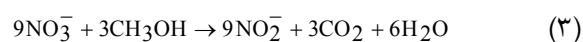
مرحله اول نیتریفیکاسیون



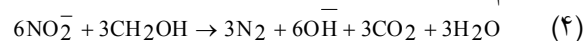
مرحله دوم نیتریفیکاسیون



مرحله اول دنیتریفیکاسیون



مرحله دوم دنیتریفیکاسیون



که در این روابط

$\text{NH}_4^+$  مقدار آمونیاک،  $\text{NO}_2^-$  مقدار نیتريت تولیدی و  $\text{NO}_3^-$  مقدار نیترات تولیدی است.

مرحله اول و دوم نیتریفیکاسیون به‌ترتیب توسط گروهی از باکتری‌ها به نام اکسایندگان آمونیاک<sup>۱</sup> و اکسایندگان نیتريت<sup>۲</sup> صورت می‌گیرد. پنج جنس از باکتری اکساینده آمونیاک و چهار جنس از باکتری اکساینده نیتريت در سال ۱۹۸۹ توسط پروسر<sup>۳</sup> شناسایی شدند که مهم‌ترین جنس گروه اول نیتروزومانوس<sup>۴</sup> و برای

<sup>5</sup> Nitrobacter

<sup>6</sup> Supernatant from Anaerobic Sludge Digesters

<sup>7</sup> Short-Cut Nitrification or Partial Nitrification

<sup>8</sup> Anaerobic Ammonium Oxidation (Anammox)

<sup>9</sup> Completely Autotrophic Nitrogen Removal Over Nitrite (Canon)

<sup>10</sup> Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification-Denitrification (Oland)

<sup>11</sup> Single Reactor System for High Ammonia Removal Over Nitrite (SHARON)

(SHARON)

<sup>12</sup> Side Stream Nitrification Process

<sup>1</sup> Ammonia Oxidizing Bacteria (AOB)

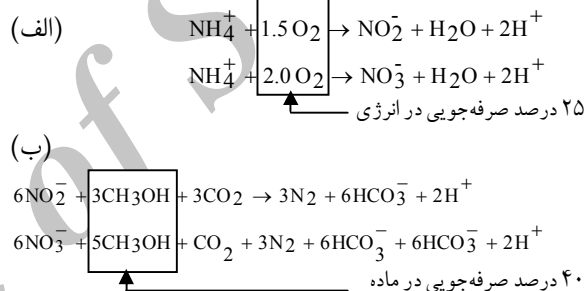
<sup>2</sup> Nitrite Oxidizing Bacteria (NOB)

<sup>3</sup> Prosser

<sup>4</sup> Nitrosomonas

مزایای زیادی از جمله انجام نیتروفیکاسیون در فرایند اصلی در دماهای کم و سن های پایین لجن، حذف آمونیاک با غلظت بالا در فرایند جریان جانبی و جلوگیری از ورود بار آمونیاک به ابتدای تصفیه خانه و نیز کاهش حجم تانک هوادهی را به دنبال خواهد داشت [۱۲-۱۴].

نیتروفیکاسیون جزئی از دیگر فرایندهای نوبنی است که برای تبدیل بیولوژیکی آمونیاک در غلظتهای زیاد استفاده می شود. در صورتی که بتوان با روشهایی از اکسیداسیون نیتريت در مرحله دوم نیتروفیکاسیون مرسوم (نیترات زایی) جلوگیری نمود، به این فرایند اصطلاحاً نیتروفیکاسیون جزئی گفته می شود که مزایای زیادی از جمله کاهش نیاز به اکسیژن به مقدار ۲۵ درصد، کاهش نیاز به منبع کربن خارجی در فرایند نیتروفیکاسیون تا ۴۰ درصد و نیز افزایش نرخ دنیتروفیکاسیون از نیتريت حدود ۱/۵ تا ۲ برابر نسبت به نیترات دارد. در شکل ۱ این مزایا به خوبی نشان داده شده است [۱۵-۱۷].



شکل ۱- مقایسه نیتروفیکاسیون و دنیتروفیکاسیون کامل و جزئی (الف- نیتروفیکاسیون و ب- دنیتروفیکاسیون)

برای انجام موفقیت آمیز این فرایند، لازم است فعالیت اکسایندها نیتريت در مرحله دوم نیتروفیکاسیون مرسوم متوقف گردد. به این منظور از کنترل فاکتورهای مختلفی از جمله اکسیژن محلول، دما، pH، بازدارنده ها و غیره استفاده می شود [۵، ۱۵ و ۱۸]. براساس تحقیقات مختلف صورت گرفته مشخص شده که حداقل دما برای انجام نیتروفیکاسیون جزئی باید بیش از ۲۵ درجه سلسیوس و دمای بهینه در محدوده ۳۰ تا ۳۵ درجه سلسیوس باشد [۶، ۸ و ۱۵]. همچنین مشخص شده که اکسیژن محلول نیز یکی از عوامل مؤثر بر فرایند است به طوری که اکسایندها آمونیاک نسبت به اکسایندها نیتريت بسیار به شرایط کمبود اکسیژن محلول مقاوم تر هستند و کاهش اکسیژن محلول علاوه بر اینکه تأثیر قابل توجهی بر اکسایندها آمونیاک ندارد، باعث محدودیت زیادی در فعالیت اکسایندها نیتريت خواهد شد [۱۱، ۱۵ و ۱۶]. به همین منظور در این فرایندها، حد بهینه غلظت اکسیژن محلول در محدوده

۰/۸ تا ۱/۵ و ترجیحاً در حدود ۱ میلی گرم در لیتر پیشنهاد شده است و این درحالی است که در نیتروفیکاسیون کامل، این غلظت بیش از ۲ میلی گرم در لیتر پیشنهاد شده است [۹، ۱۹ و ۲۰].

علاوه بر این دو فاکتور مهم، pH نیز از دو جنبه ی اثر مستقیم بر روی اکسایندها آمونیاک و نیتريت و نیز تأثیر بر روند تولید نیتروز اسید آزاد و آمونیاک غیر یونی به عنوان عوامل بینابینی مؤثر بر فرایند، نقش اساسی در فرایند نیتروفیکاسیون جزئی بازی می کند [۱۵، ۱۸ و ۲۱]. pH بهینه برای باکتری های اکسایندها آمونیاک و نیتريت به ترتیب در دامنه ۷/۹ تا ۸/۲ و ۷/۲ تا ۷/۶ قرار دارد اما از دامنه ۷ تا ۸ برای نیتروفیکاسیون کامل و از دامنه ۷/۵ تا ۸/۵ برای نیتروفیکاسیون جزئی استفاده می شود [۱۸ و ۲۲]. بر اساس تحقیقات آنتونیزن<sup>۱</sup> در خصوص تعیین شرایط مرزی تأثیر pH که مبنای بسیاری از مطالعات بعدی واقع شده، در صورتی که pH به نحوی تنظیم گردد که غلظت آمونیاک آزاد بیش از ۰/۱ تا ۱ میلی گرم در لیتر باشد، اکسایندها نیتريت بازداشته شده و نیتريت تجمع می یابد. بر اساس این یافته ها مشخص گردید که غلظتهای بین ۱۰ تا ۱۵۰ میلی گرم در لیتر آمونیاک غیر یونی ممکن است باعث بازدارندگی فعالیت اکسایندها آمونیاک نیز بشود و قطعاً غلظتهای بیش از ۱۵۰ میلی گرم در لیتر باعث عدم فعالیت آنها خواهد شد [۵، ۱۸ و ۱۹]. بر این اساس، pH باید به نحوی تنظیم گردد تا بر اساس آن و با لحاظ نمودن سایر عوامل مؤثر در غلظت آمونیاک غیر یونی، از جمله دما و غلظت آمونیاک، حداقل ۰/۱ تا ۱ و ترجیحاً بیش از ۱ میلی گرم در لیتر آمونیاک غیر یونی برای بازدارندگی فعالیت اکسایندها نیتريت در محیط وجود داشته باشد تا از تجمع نیتريت با رعایت سایر عوامل اطمینان حاصل گردد [۶، ۱۸ و ۱۹].

در تحقیق حاضر که به بررسی و مقایسه فرایندهای نیتروفیکاسیون جزئی و کامل تحت شرایط بهینه در یک فرایند جریان جانبی اختصاص داشت، از یک سیستم SBR برای حذف آمونیاک با غلظت بالا تحت چهار الگوی مختلف شامل نیتروفیکاسیون کامل و جزئی در یک و سه زیر سیکل استفاده شد. لذا هدف اصلی تحقیق، مقایسه دو فرایند مورد نظر تحت الگوهای مختلف به منظور بررسی چگونگی حذف آمونیاک، اکسیداسیون نیتريت و تجمع نیتريت بود.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- پیلوت مورد استفاده

پیلوت مورد استفاده در این تحقیق که در شکل ۲ مقطعی از آن

<sup>1</sup> Anthonisen

استفاده در فرایند کنارگذر در جدول ۱ ارائه شده است. قابل ذکر اینکه  $BOD_5$  فاضلابهای مورد نظر در قیاس با COD بسیار ناچیز بوده و به همین دلیل استفاده از منبع کربن خارجی برای دنیتریفیکاسیون الزامی است که در این تحقیق از متانول به عنوان منبع کربن استفاده شد [۱۹].

### ۳-۲- غنی سازی ارگانیکها

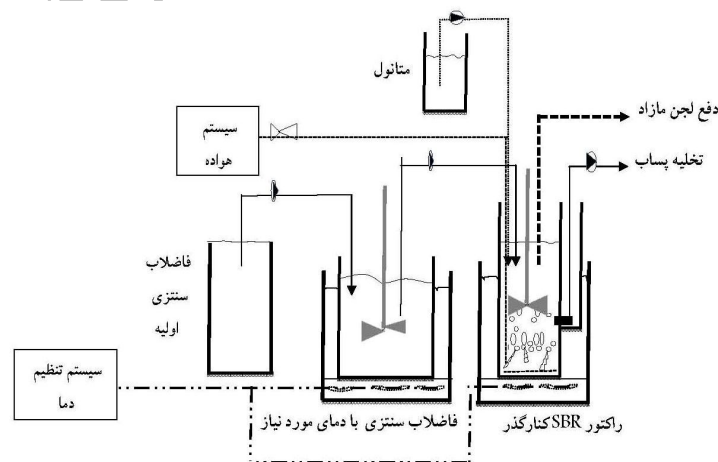
غنی سازی نیتریفای ها با استفاده از لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری و در مدت ۵ تا ۶ هفته انجام شد. برای بررسی عملکرد غنی سازی از شاخص نرخ ویژه اکسیداسیون آمونیاک استفاده گردید. به این منظور مقداری از لجن ثانویه به راکتور وارد و غلظت بیومس با وارد کردن محلول آمونیاک به حدود ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر رسانده شد. غلظت آمونیاک و اکسیژن محلول به ترتیب حدود ۱۵۰ و بیشتر از ۳ میلی گرم در لیتر نگه داشته شد و غنی سازی در سیکل های ۱۲ ساعته با زمان ماند هیدرولیکی ۰/۷۵ روز انجام پذیرفت. در پایان غنی سازی که بدون دفع لجن انجام گردید غلظت بیومس تا حدود ۴۰۰ میلی گرم در لیتر کاهش یافت. پس از انجام موفق غنی سازی نیتریفای ها و به منظور همزمانی نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون، نیتریفای های غنی شده با لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری که حاوی تعداد زیادی دنیتریفای است، مخلوط و برای مراحل بعدی استفاده شد. غلظت بیومس مخلوط در ابتدا در حدود ۳۵۰۰ میلی گرم در لیتر بود که در نهایت و در شرایط پایدار و تحت الگوهای مختلف شامل نیتریفیکاسیون کامل و مختصر در زیرسیکل های متفاوت و با توجه به زمان ماند سلولی، MLVSS و MLSS نهایی موجود در راکتور به ترتیب در محدوده  $3000 \pm 200$  و  $3500 \pm 250$  میلی گرم در لیتر قرار گرفت.

نشان داده شده شامل سیستم SBR و نیز محفظه های مکعبی برای تنظیم دما بود. برای تنظیم دقیق دما به عنوان یکی از مهم ترین عوامل مؤثر بر فرایند، از محفظه های مکعبی با گنجایش تا ۷۵ لیتر آب، المنت و سنسور تنظیم دما استفاده شد که راکتور مورد نظر در داخل آن قرار گرفته بود. حجم ثابت سیستم SBR استفاده شده برای نیتریفیکاسیون کامل و جزئی در فرایند جریان جانبی معادل ۳ لیتر و حجم متغیر آن بسته به زمان ماند هیدرولیکی مورد نیاز می توانست متغیر باشد. در هر حال حجم کل راکتور بالغ بر ۹ لیتر بود. ورود و خروج فاضلاب به راکتور جریان جانبی و اضافه کردن ماده آلی خارجی، به صورت اتوماتیک و در طی سه سیکل در شبانه روز و زیر سیکل های مختلف انجام شد. هر سیکل شامل ۵ ساعت هوازی، ۲/۵ ساعت بی اکسیژن و ۰/۵ ساعت ته نشینی و تخلیه بود و پر کردن که کمتر از ۵ دقیقه طول می کشید، در ابتدای هر سیکل و همزمان با هوادهی انجام می شد. مدت زمان تخلیه در تمام حالات کمتر از ۲ دقیقه و مدت زمان بهره برداری از این پایلوت تحت حالت های متنوع بالغ بر شش ماه بود.

### ۲-۲- نوع فاضلاب

فاضلاب مورد استفاده در این تحقیق از نوع سنتزی با پایه فاضلاب خروجی تصفیه خانه شهری و مشابه با مایع خروجی از هاضم های بی هوازی لجن تصفیه خانه های فاضلاب شهری بود. با توجه به وجود مواد مغذی و ریزمغذی مختلف در فاضلاب مورد نظر، نیازی به اضافه کردن آنها نبود و فقط مقدار آمونیاک، فسفر و COD با توجه به مشخصات مایع خروجی از هاضم های بی هوازی لجن تصفیه خانه های فاضلاب شهری به صورت دستی به فاضلاب تصفیه خانه اضافه گردید [۸ و ۱۹]. ترکیب فاضلاب نهایی مورد

1 Supernatant from Anaerobic Digestion of Sewage Sludge



شکل ۲- مقطع راکتور مورد استفاده برای نیتریفیکاسیون جزئی و کامل

جدول ۱- ترکیب نهایی فاضلاب سنتزی با پایه فاضلاب تصفیه خانه فاضلاب شهری

مقدار	ماده مصرفی	شاخص
۸۰۰-۹۰۰	NH <sub>4</sub> Cl	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)
۲۰	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	TP (mg/L)
۱۵۰۰-۲۰۰۰	پودر گوشت	COD (mg/L)
۸/۲-۸/۵	NaOH	pH
۱-۱/۱	NaHCO <sub>3</sub>	Alk. (mol/mol)
۳۰±۱	-	T(°c)

جدول ۲- مقادیر بهینه پیشنهادی برای پارامترها و متغیرهای در نظر گرفته شده در نیتروفیکاسیون جزئی و کامل

مقدار		پارامترها - متغیرها
در نیتروفیکاسیون جزئی	در نیتروفیکاسیون کامل	
تعیین می شود	تعیین می شود	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (میلی گرم در لیتر)
تعیین می شود	تعیین می شود	HRT (روز)
۷/۵-۸/۵	۷/۵-۸/۵	pH
در محدوده ۱/۳-۰/۸	بیش از ۲	DO (میلی گرم در لیتر)
۳۰-۳۵	۳۰-۳۵	T (درجه سلسیوس)
۹±۱	۹±۱	SRT (روز)
۳	۳	تعداد سیکل در شبانه روز (عدد)
۳ و ۱	۳ و ۱	تعداد زیرسیکل (عدد)
حداقل ۲	حداقل ۲	نسبت زیر سیکل های هوازی به بی اکسیژن

ارائه شده در کتاب روشهای استاندارد تصفیه آب و فاضلاب و همچنین آمونیاک با استفاده از معرف نسلر<sup>۱</sup> و در طول موج ۴۱۰ نانومتر و در تطابق با منحنی استاندارد آمونیاک، اندازه گیری شد [۲۳]. نیتريت و نترات بر اساس دستورالعمل شرکت هچ<sup>۲</sup> و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR4000 اندازه گیری شدند [۲۴]. DO توسط دستگاه Oxi 340i-WTW اندازه گیری شد و pH توسط دستگاه pHs-25cw microprocessor pH/mv meter مورد سنجش قرار گرفت. همچنین برای بررسی های میکروبیولوژی، از شاخص MPN و تغییر رنگ محیط کشت از صورتی به بی رنگ برای اکسایندگان آمونیاک استفاده شد [۲۵ و ۲۶].

پس از اندازه گیری آمونیاک، نیتريت و نترات، شاخصهای نرخ ویژه اکسیداسیون آمونیاک، نرخ ویژه اکسیداسیون نیتريت، نسبت نیتريت به کل نیتريت و نترات تولیدی به عنوان شاخصی برای بررسی تجمع نیتريت و نیز غلظت آمونیاک غیر یونی بر اساس روابط ۵ تا ۸ محاسبه و مورد استفاده قرار گرفتند [۱۹، ۲۷ و ۲۸].

$$SAOR = \frac{NH_4^+ \text{Oxidize as N}}{MLVSS \times \theta_{ar}} \times 1000 \quad (5)$$

<sup>2</sup> Nessler's Reaction

<sup>3</sup> HACH

#### ۴-۲- پارامترها و متغیرهای تحقیق

در این تحقیق متغیرهای در نظر گرفته شده شامل اکسیژن محلول، HRT و تعداد زیرسیکل های فرعی هوازی - بی اکسیژن بودند که با توجه به حدود بهینه آنها بر اساس تحقیقات اشاره شده در بخش مقدمه مورد استفاده قرار گرفتند. در جدول ۲ پارامترها و متغیرهای مختلف و حدود بهینه آنها برای نیتروفیکاسیون کامل و جزئی ارائه و به منظور ایجاد شرایط یکسان برای بررسی مقایسه ای نیتروفیکاسیون جزئی و کامل، به جز DO سایر عوامل در یک محدوده یکسان در نظر گرفته شدند. تنظیم اکسیژن محلول در محدوده بهینه (۰/۸ تا ۱/۳) برای جزئی و حدود ۲ میلی گرم در لیتر برای کامل) به صورت دستی و با شیر کنترلی که به همین منظور تعبیه شده بود انجام پذیرفت و سیستم هوادهی، پمپ های آکوارיום هایلیا<sup>۱</sup> مدل ACO-320 بود. قابل ذکر اینکه کنترل اکسیژن محلول به صورت دستی، پس از شرایط پایدار در محدوده های مورد نظر به راحتی امکان پذیر بود.

#### ۵-۲- روشهای آنالیز و محاسبات

در این تحقیق، شاخصهای MLSS و MLVSS بر اساس روشهای

<sup>1</sup> Hailea

نیتروفیکاسیون کامل که حداقل ۲ میلی گرم در لیتر، گزارش شد، عملکرد راکتور مورد نظر در سیکل های ۸ ساعته و با دو الگوی متفاوت شامل سه زیرسیکل و یک زیرسیکل فرعی هوزی - بی اکسیژن برای انجام همزمان نیتروفیکاسیون و دنیتروفیکاسیون و به منظور مقایسه با نیتروفیکاسیون جزئی، مورد بررسی قرار گرفت [۹]. تعداد آزمایش های انجام شده پس از شرایط پایدار که کمتر از ۳ هفته به طول انجامید برای هر یک از شاخص های آمونیاک، نیتريت و نترات و به ترتیب سه و یک زیرسیکل بالغ بر ۴۸ و ۲۷ مورد با احتساب سه بار تکرار بود.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- نیتروفیکاسیون جزئی

نتایج این حالت برای سه زیرسیکل فرعی و برای تغییرات DO و pH در شکل ۳ و برای تغییرات آمونیاک، نیتريت و نترات در شکل ۴ ارائه شده است. در این حالت و به منظور تعیین زمان ماند هیدرولیکی مورد نیاز برای حذف کامل آمونیاک در یک سیکل، در سعی اولیه از زمان ماند ۱/۵ روز با توجه به زمان ماندهای مورد استفاده برای تصفیه چنین فاضلابهایی که در محدوده ۱ تا ۲ روز بود استفاده گردید و در نهایت با توجه به محاسبه نرخهای اکسیداسیون آمونیاک، زمان ماند بهینه تعیین و بر اساس آن تغییرات آمونیاک، نترات و نیتريت مورد بررسی قرار گرفت. زمان ماند مورد نظر برای این حالت معادل ۱/۲ روز تعیین و استفاده شد. همچنین نتایج حالت یک زیرسیکلی برای تغییرات DO و pH در شکل ۵ و برای تغییرات آمونیاک، نیتريت و نترات در شکل ۶ ارائه شده است. زمان ماند هیدرولیکی بهینه برای این حالت نیز با توجه به کاهش نرخ اکسیداسیون آمونیاک معادل ۱/۵۵ روز تعیین گردید. به منظور مقایسه نرخها در شرایط مختلف، نتایج محاسبه شده برای هر حالت در جدول ۳ ارائه گردیده است.

پس از انجام موفق نیتروفیکاسیون جزئی برای تبدیل آمونیاک به نیتريت در سه و یک زیرسیکل فرعی مشخص شد که با کنترل عوامل مهم تأثیرگذار بر فرایند شامل دما، اکسیژن محلول و pH، می توان از تبدیل بخش قابل توجهی از نیتريت به نترات جلوگیری نمود. در این حالت با توجه به حدود بهینه ارائه شده در تحقیقات مختلف قبلی، متوسط نرخ اکسیداسیون آمونیاک برای سه زیرسیکل فرعی بر حسب mg/gvs معادل ۱۶/۲۴ بوده است که در مقایسه با مقدار ارائه شده توسط دوستا و همکاران در حدود ۱۵ درصد کمتر است که دلیل آن با توجه به شرایط تقریباً یکسان، می تواند به نوع ماده آلی مورد استفاده در فاضلاب سنتزی (پودر گوشت) در این تحقیق و فاضلاب خروجی از هاضم های بی هوزی در تحقیق دوستا و همکاران باشد [۱۹]. بینا و همکاران با بررسی تأثیر میزان

$$SNOR = \frac{NO_3^- \text{ produce as N}}{MLVSS \times \theta_{ar}} \times 1000 \quad (۶)$$

$$NO_2^- (\%) = \frac{NO_2^- \text{ produce as N}}{(NO_2^- + NO_3^-) \times \text{as N}} \times 100 \quad (۷)$$

$$C_{NH_3} = \frac{C_1}{1 + \frac{10^{-pH}}{K_e^{NH}}} = e\left(\frac{-6344}{T + 273}\right) \quad (۸)$$

که در این روابط

SAOR نرخ و ویژه اکسیداسیون، SNOR نرخ ویژه اکسیداسیون نیتريت،  $C_{NH_3}$  غلظت آمونیاک غیر یونی (آزاد) و  $\theta_{ar}$  مدت زمان هوادهی در یک سیکل است.

در پایان و پس از محاسبه شاخصهای مورد نظر، از آنالیز آماری با برنامه SPSS استفاده شد. در مواردی که تعداد نتایج کمتر از ۳۰ مورد بود از روشهای ناپارامتری و آزمون من ویتنی<sup>۱</sup> برای تعیین P-Value مورد استفاده قرار گرفت.

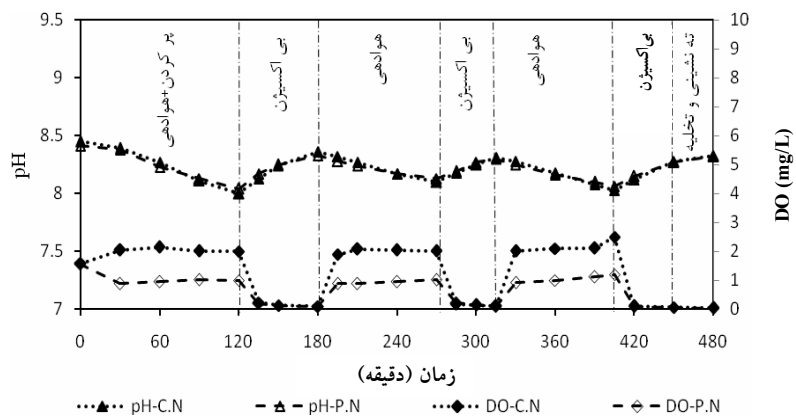
#### ۲-۶- بهره برداری از پایلوت

پس از غنی سازی موفق نیتروفیکای ها و اختلاط آنها با دنیتروفیکای های موجود در لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری و اضافه نمودن آنها به سیستم SBR و ایجاد شرایط بهینه برای انجام نیتروفیکاسیون جزئی شامل دما، اکسیژن محلول و pH، عملکرد راکتور مورد نظر در سیکل های ۸ ساعته و سه زیرسیکل فرعی هوزی - بی اکسیژن برای انجام همزمان نیتروفیکاسیون و دنیتروفیکاسیون بر اساس حدود بهینه تحقیقات قبلی انجام شده توسط دوستا و همکاران<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۶ و به منظور استفاده در فرایند جریان جانبی، مورد بررسی قرار گرفت [۱۹]. علاوه بر این و با توجه به لزوم استفاده از روشهای کاربردی در تصفیه فاضلابها، علاوه بر استفاده از سه زیرسیکل فرعی پیشنهادی توسط دوستا و همکاران، از یک زیرسیکل نیز به عنوان مقایسه با سه زیرسیکل استفاده شد. نسبت سیکل های فرعی هوزی به بی اکسیژن با توجه به رشد سریع تر دنیتروفیکای ها نسبت به نیتروفیکای ها باید حداقل ۲ باشد که از این مقدار استفاده گردید [۱۹]. تعداد آزمایش های انجام شده پس از شرایط پایدار که در حدود ۵ هفته به طول انجامید برای هر یک از شاخص های آمونیاک، نیتريت و نترات بالغ بر ۴۸ مورد با احتساب سه بار تکرار بود. این آزمایش ها برای یک زیرسیکل بالغ بر ۲۷ مورد با احتساب سه بار تکرار بود.

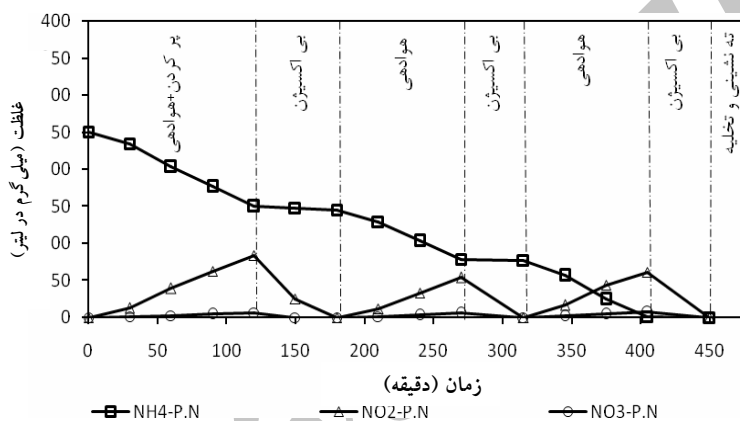
پس از انجام موفق نیتروفیکاسیون جزئی همراه با دنیتروفیکاسیون، فقط با افزایش اکسیژن محلول به حد بهینه

<sup>1</sup> Mann-Whitney Test

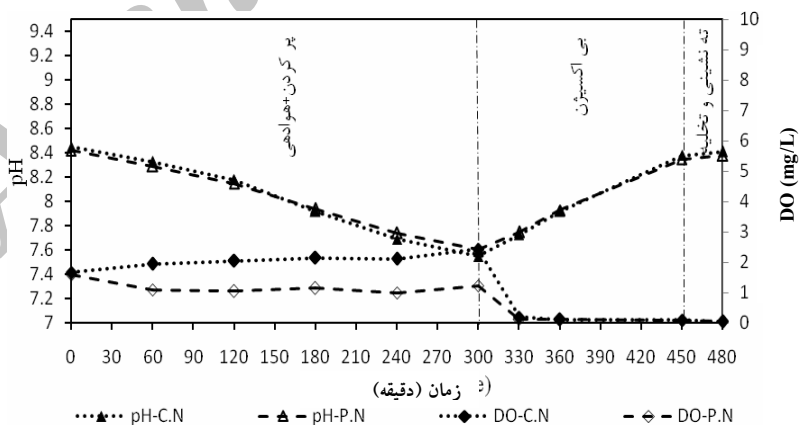
<sup>2</sup> Dosta et al.



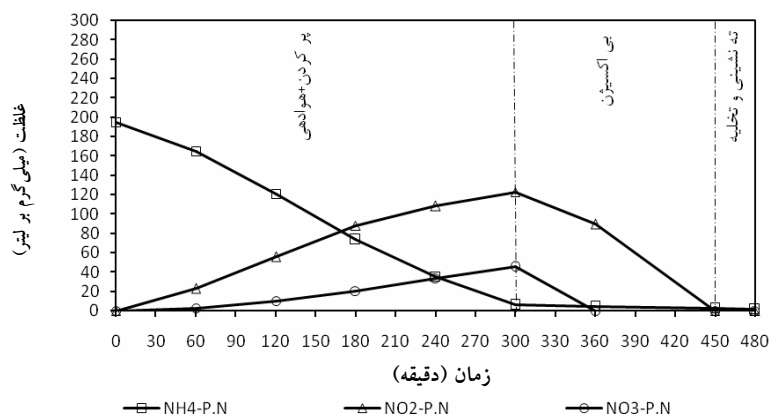
شکل ۳- تغییرات pH و DO در یک سیکل معمول نیتریفیکاسیون جزئی و کامل و با سه زیرسیکل فرعی



شکل ۴- تغییرات آمونیاک، نیتريت و نترات در یک سیکل معمول نیتریفیکاسیون جزئی و با سه زیرسیکل فرعی



شکل ۵- تغییرات pH و DO در یک سیکل معمول نیتریفیکاسیون جزئی و کامل و با یک زیرسیکل فرعی



شکل ۶- تغییرات آمونیاک، نیتريت و نترات در یک سیکل معمول نیتريفیکاسیون جزئی و با یک زیرسیکل فرعی

جدول ۳- نرخهای اکسیداسیون حاصل از راه اندازی راکتور در حالت‌های مختلف

شاخص	واحد	نیتريفیکاسیون جزئی		نیتريفیکاسیون کامل	
		سه زیر سیکل	یک زیر سیکل	سه زیر سیکل	یک زیر سیکل
(HRT)	(Hr)	۱/۲	۱/۵۵	۱/۰۵	۱/۳۶
SAOR	$\frac{\text{mg NH}_4^+ - \text{N}}{\text{gVSS.hr}}$	۱۶/۲۴±۳/۷	۱۲/۵۸±۲/۷۳	۱۸/۷۹±۴/۰۷	۱۴/۱۵±۳/۷۲
SNOR	$\frac{\text{mg NO}_3^- - \text{N}}{\text{gVSS.hr}}$	۱/۳۴±۰/۳۷	۳/۰۴±۱/۳۶	۸/۹۴±۲/۵۸	۹/۵۱±۲/۲
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	%	۹۱/۱±۱/۸	۸۰/۷±۶/۵	۵۱/۱±۶/۲	۲۹/۷±۵/۱
MPN	Cell/ml	۲/۱×۱۰ <sup>۵</sup>	۱/۵×۱۰ <sup>۵</sup>	۲/۱×۱۰ <sup>۵</sup>	۱/۵×۱۰ <sup>۵</sup>

موضوع عامل افزایش نرخ ویژه اکسیداسیون آمونیاک بوده است. نتایج آنالیز آماری نشان داد که در مقایسه دو حالت اخیر P-Value نزدیک صفر بوده و لذا فرض برابری میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد می‌شود و بنابراین اختلاف بین دو حالت مورد نظر معنی دار بوده و حالت سه زیرسیکلی در حذف آمونیاک بهتر از یک زیرسیکلی عمل نموده است. این درحالی است که این مقادیر در طول یک سیکل کامل متغیر بوده‌اند که به نظر می‌رسد با توجه به ثابت بودن DO و دما در طول یک سیکل، این تغییرات در اثر تغییر در pH، تغییر در آمونیاک آزاد و نیز تغییر در غلظت کل آمونیاک باشد.

بررسی بیشتر و استفاده از نتایج شکل‌های ۴ و ۶ برای محاسبه متوسط نرخ اکسیداسیون نیتريت نشان داد که این شاخص، به ترتیب برای سه و یک زیرسیکل فرعی معادل ۱/۳۴ و ۳/۰۴ بر حسب mg/gVSS بوده که نشان دهنده افزایش این نرخ با کاهش تعداد سیکل‌ها است که احتمالاً دلیل آن کاهش بیشتر pH همزمان با کاهش غلظت آمونیاک و در نتیجه کاهش میزان آمونیاک غیر یونی به عنوان عامل بازدارنده اکسیدنگان نیتريت بوده است. این موضوع با تحقیقات پامبرن و همکاران نیز مطابقت می‌کند [۸]. آنها

مواد آلی بر روی نرخ ویژه نیتريفیکاسیون نشان دادند که در COD های بالا، نرخ ویژه اکسیداسیون آمونیاک کاهش خواهد یافت و لذا میزان ماده آلی نیز می‌تواند این نرخ تحت تأثیر قرار دهد [۲۹].

نتایج حالت یک زیرسیکلی که به منظور مقایسه انجام پذیرفت نشان داد که متوسط نرخ اکسیداسیون آمونیاک بر حسب mg/gVSS کاهش یافته و به حدود ۱۲/۵۸ رسیده که نسبت به حالت سه زیرسیکلی در حدود ۲۳ درصد کاهش نشان می‌دهد و لذا می‌توان گفت که افزایش تعداد زیرسیکل‌های فرعی می‌تواند بر افزایش نرخ اکسیداسیون آمونیاک مؤثر باشد. این موضوع می‌تواند به دلیل تنظیم بیشتر pH در زیرسیکل‌های بیشتر به دلیل تولید قلیائیت باشد که با تحقیقات پامبرن و همکاران<sup>۱</sup> مطابقت می‌کند [۸]. آنها نشان دادند که افزایش pH از ۷/۵ به ۸/۵ علاوه بر کمک به تجمع نیتريت باعث افزایش نرخ نیتريفیکاسیون تا حدود پنجاه درصد نیز خواهد شد. چنانچه از شکل‌های ۳ و ۵ مشخص است، تغییرات pH در حالت سه زیرسیکلی محدودتر شده و به حد بهینه اکسیدنگان آمونیاک یعنی ۷/۹ تا ۸/۲ نزدیک‌تر گشته و این

<sup>۱</sup> Pambrun et al.



در یافتند که افزایش pH از ۷/۵ به ۸/۵ باعث افزایش تجمع نیتريت و کاهش اکسیداسیون نیتريت خواهد شد و بر عکس کاهش آن نتیجه عکس دارد. همچنین بر اساس تحقیقات مختلفی که به بررسی اثر pH پرداخته‌اند مشخص گردید که کاهش pH نقش مهمی در کاهش آمونیاک آزاد و افزایش فعالیت اکسایندها نیتريت دارد [۱۵ و ۱۸].

محاسبه مقدار آمونیاک آزاد با توجه به تغییرات pH و بر اساس رابطه ۸ نشان داد که این مقدار در ابتدای هر سیکل و برای سه و یک زیرسیکل فرعی به ترتیب حدود ۳۴/۴ و ۴۰/۹ میلی‌گرم در لیتر بر حسب نیتروژن بوده که البته در محدوده مناسب ارائه شده توسط آنتونیزن نیز قرار داشته است [۱۸، ۵، ۱۹]. این مقادیر با اکسیداسیون آمونیاک کاهش یافته تا در انتهای هر سیکل کامل به صفر رسید و همین موضوع باعث افزایش نیتريت به موازات کاهش آمونیاک آزاد و به خصوص در پایان هر سیکل فرعی گردید (شکل‌های ۴ و ۶). تنظیم بیشتر pH در سه زیرسیکل که در شکل ۳ در قیاس با شکل ۵ نشان داده شده، می‌تواند باعث افزایش آمونیاک یونی در این حالت در قیاس با یک زیرسیکلی شده باشد و این موضوع باعث کاهش اکسیداسیون نیتريت در این حالت شده است. وی یون و همکاران<sup>۱</sup> در تحقیقات دریافتند که عدم وجود آمونیاک در محیط باعث افزایش نرخ و ویژه اکسیداسیون نیتريت از ۲/۹ تا ۱۲ برابر حداکثر نرخ و ویژه اکسیداسیون آمونیاک در یک دمای ثابت خواهد شد. آنها همچنین دریافتند که وجود غلظت کافی آمونیاک باعث کاهش شدید اکسیداسیون نیتريت شده و حداکثر نرخ و ویژه آن را تا محدوده ۱۹ تا ۴۵ درصد حداکثر نرخ و ویژه اکسیداسیون آمونیاک متوقف می‌کند [۳۰].

همچنین بررسی میزان نیتريت و نیتريت در شکل‌های ۴ و ۶ و محاسبه درصد تجمع نیتريت با استفاده از این مقادیر و بر اساس رابطه ۸ نشان می‌دهد که متوسط درصد تجمع نیتريت در حالت یک زیرسیکلی، کاهشی در حدود ۱۲ درصد نسبت به حالت دیگر دارد که این موضوع با توجه به ثابت بودن دیگر عوامل به pH و نیز کاهش مقدار آمونیاک ارتباط دارد که با تحقیقات پامبرن و همکاران نیز مطابقت دارد [۸]. بر همین اساس افزایش تعداد زیرسیکل‌های فرعی می‌تواند با تثبیت مناسب تر pH در ارتباط با دنیتريفیکاسیون، علاوه بر افزایش سرعت اکسیداسیون آمونیاک باعث کاهش اکسیداسیون نیتريت و تجمع بیشتر آن گردد. افزایش زیرسیکل‌های فرعی به منظور دنیتريفیکاسیون همزمان، می‌تواند با تولید قلیائیت، باعث تعدیل و افزایش pH و در نتیجه افزایش آمونیاک آزاد با وجود کاهش مقدار کل آمونیاک گردد ولی باید

توجه داشت که افزایش بیش از حد این زیرسیکل‌ها از کاربردی کردن آنها نیز خواهد کاست. مقایسه آماری شاخص نرخ اکسیداسیون نیتريت و نیز درصد تجمع نیتريت، نشان داد که در این حالتها نیز P-Value نزدیک صفر بوده و لذا فرضیه برابری میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد می‌شود و بنابراین اختلاف بین دو حالت مورد نظر معنی‌دار بوده و حالت یک زیرسیکلی در اکسیداسیون نیتريت بهتر از سه زیرسیکلی عمل نموده است و لذا افزایش تعداد زیرسیکل‌های فرعی باعث کاهش نرخ اکسیداسیون نیتريت، افزایش تجمع آن و بهبود نیتريفیکاسیون جزئی شده است.

### ۳-۲- نیتريفیکاسیون کامل

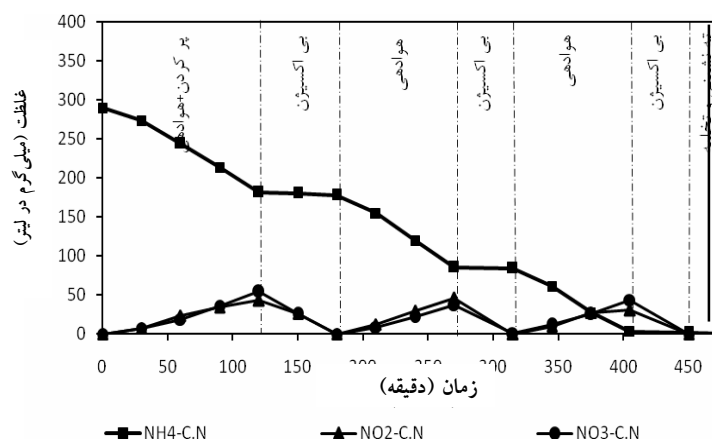
نتایج این حالت برای تغییرات DO و pH در شکل‌های ۳ و ۵ به ترتیب برای سه و یک زیرسیکل فرعی و به همین ترتیب برای تغییرات آمونیاک، نیتريت و نیتريت در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. زمان ماند مورد نظر در این حالت و به ترتیب برای سه و یک زیرسیکل فرعی معادل ۱/۰۵ و ۱/۳۶ روز تعیین و استفاده شد که برای مقایسه با دیگر حالتها در جدول ۳ نیز ارائه شده‌اند.

پس از انجام موفق نیتريفیکاسیون کامل با توجه به افزایش غلظت اکسیژن محلول به بیش از ۲ میلی‌گرم در لیتر، متوسط نرخ و ویژه اکسیداسیون آمونیاک برای سه و یک زیرسیکل فرعی بر حسب mg/gVSS به ترتیب معادل ۱۸/۸ و ۱۴/۱۵ تعیین شد. مقایسه این دو عدد نشان داد که حالت سه زیرسیکلی نسبت به دو زیرسیکلی در حدود ۳۲ درصد در حذف آمونیاک بهتر عمل نموده است. مقایسه آماری نرخ و ویژه اکسیداسیون آمونیاک در این حالت نشان داد که P-Value تقریباً صفر است و لذا فرض برابری میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد می‌شود و بنابراین اختلاف بین دو حالت مورد نظر معنی‌دار بوده و حالت یک سه زیرسیکلی در اکسیداسیون آمونیاک بهتر از یک زیرسیکلی عمل نموده است. همچنین مقایسه آماری نرخ و ویژه اکسیداسیون نیتريت و نیز درصد تجمع نیتريت در نیتريفیکاسیون کامل برای سه و یک زیرسیکل نیز نشان داد که به ترتیب P-Value در اکسیداسیون نیتريت و تجمع نیتريت بیشتر و کمتر از ۵ درصد بوده است. این موضوع نشان داد که حالت سه زیرسیکلی در تجمع نیتريت بهتر از یک زیرسیکلی عمل نموده است.

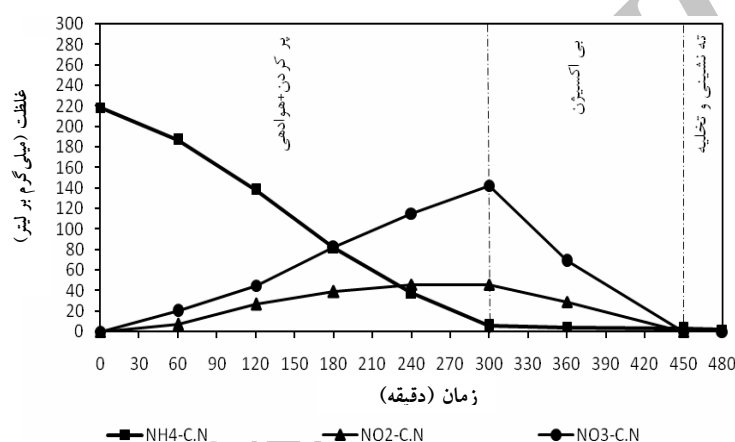
### ۳-۳- مقایسه نیتريفیکاسیون کامل و جزئی

از آنجایی که انجام نیتريفیکاسیون کامل برای مقایسه با نیتريفیکاسیون جزئی انجام پذیرفت، مقایسه این دو حالت در زیرسیکل‌های مشابه نیز مد نظر قرار گرفت.

<sup>1</sup> Weon et al.



شکل ۷- تغییرات آمونیاک، نیتريت و نترات در یک سیکل معمول نیتريفیکاسیون کامل و با سه زیر سیکل فرعی



شکل ۸- تغییرات آمونیاک، نیتريت و نترات در یک سیکل معمول نیتريفیکاسیون کامل و با یک زیر سیکل فرعی

لیتر باعث افزایش نرخ ویژه اکسیداسیون آمونیاک تا ۶۰ درصد خواهد شد و افزایش بیشتر اکسیژن محلول تأثیر چندانی بر روی نرخ مورد نظر نداشته است [۹].

مقایسه آماری نرخ اکسیداسیون آمونیاک برای نیتريفیکاسیون کامل و جزئی در حالت سه زیرسیکلی نشان داد که مقدار P-Value معادل ۱/۵ درصد است و لذا فرض برابری میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد می‌شود و بنابراین اختلاف بین دو حالت مورد نظر معنی‌دار بوده و نیتريفیکاسیون کامل در اکسیداسیون آمونیاک بهتر از نیتريفیکاسیون جزئی عمل نموده است. این مقایسه برای حالت یک زیر سیکلی نشان داد که P-Value معادل ۷/۸ درصد است و لذا در این حالت فرض برابری میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد نمی‌شود و بنابراین اختلاف بین دو حالت نیتريفیکاسیون جزئی و کامل در یک زیرسیکلی برای اکسیداسیون آمونیاک معنی‌دار نیست.

بررسی‌های مقایسه‌ای بر روی نتایج نیتريفیکاسیون کامل و جزئی در زیرسیکل‌های مشابه نشان داد که با افزایش اکسیژن محلول، نرخ اکسیداسیون آمونیاک و نیتريت نسبت به حالت‌های مشابه در نیتريفیکاسیون جزئی، افزایش یافته و به همین دلیل نیز زمان ماند هیدرولیکی نسبت به آن حالت‌ها، کاهش یافته و باعث افزایش نرخ بارگذاری حجمی برای سه و یک زیرسیکل به ترتیب معادل ۰/۸۶ و ۰/۶۶ کیلوگرم نیتروژن بر مترمکعب در شبانه روز در قیاس با سه و یک زیرسیکل نیتريفیکاسیون جزئی معادل ۰/۷۵ و ۰/۵۸ کیلوگرم نیتروژن بر مترمکعب در شبانه روز شد. افزایش نرخ متوسط اکسیداسیون آمونیاک در نیتريفیکاسیون کامل برای سه و یک زیرسیکل فرعی نسبت به حالات مشابه در نیتريفیکاسیون جزئی به ترتیب حدود ۱۶ و ۱۳ درصد بود. جی یو و همکاران<sup>۱</sup> نشان دادند که افزایش اکسیژن محلول از ۰/۵ به ۲ میلی‌گرم در

<sup>۱</sup> Guo et al.

بررسی بیشتر نشان داد که اکسیداسیون نیتريت در نیتريفیکاسیون کامل به مراتب افزایش یافته و از مقادیر متوسط  $1/34$  و  $3/04$  به ترتیب برای سه و یک زیرسیکل در نیتريفیکاسیون جزئی به  $8/94$  و  $9/51$  بر حسب  $mg/gVSS$  در نیتريفیکاسیون کامل رسیده که بیانگر اکسیداسیون بخش قابل توجهی از نیتريت تولیدی به نیترات در نیتريفیکاسیون کامل در قیاس با نیتريفیکاسیون جزئی است. این موضوع از نظر تأثیر اکسیژن محلول بر اکسیداسیون بیشتر نیتريت در تطابق با یافته های جی یو و همکاران قرار دارد. آنها دریافتند که افزایش اکسیژن محلول از  $0/5$  به  $2$  میلی گرم در لیتر و البته در  $pH$  ثابت  $8/3 \pm 0/1$  باعث افزایش  $45$  درصدی اکسیداسیون نیتريت می شود [9]. همچنین پامبرن و همکاران نشان دادند که کاهش  $pH$  از  $8/5$  به  $7/5$  باعث اکسیداسیون بیشتر نیتريت خواهد شد [8]. لذا افزایش اکسیژن محلول و کاهش  $pH$  به صورت توأم، باعث افزایش نرخ ویژه اکسیداسیون نیتريت شده است. مقایسه آماری شاخص نرخ اکسیداسیون نیتريت و نیز درصد تجمع نیتريت برای سه زیرسیکل در نیتريفیکاسیون کامل و جزئی نشان داد که در این حالت  $P$ -Value نزدیک صفر بوده و لذا فرض برابری میانگین ها در سطح اطمینان  $95$  درصد رد می شود و بنابراین اختلاف بین دو حالت مورد نظر معنی دار بوده و اکسیداسیون نیتريت و درصد تجمع آن در نیتريفیکاسیون جزئی نسبت به کامل به ترتیب کمتر و بیشتر بوده است. مقایسه  $P$ -Value برای یک زیرسیکل نیز به همین نتایج منجر گشت و در این حالت نیز اکسیداسیون نیتريت و درصد تجمع آن در نیتريفیکاسیون جزئی نسبت به کامل به ترتیب کمتر و بیشتر بوده است.

از مقایسه نرخهای اکسیداسیون و تجمع در هر حالت و انجام موازنه جرم مشخص می گردد که بین  $10$  تا  $11$  درصد از آمونیاک در بخش هوازی و حدود  $13$  تا  $14$  درصد از آن در طول هر سیکل ناپدید شده است. بر اساس نتایج تحقیقات مختلف مشخص گردیده که حدود  $7$  تا  $8$  درصد از آمونیاک برای رشد سلولی مصرف می شود و ناپدید شدن بقیه آن می تواند به دو دلیل شامل خروج بخشی از آن به صورت گاز آمونیاک و نیز خطای آزمایش ها باشد [19].

#### ۴- نتیجه گیری

از انجام این تحقیق مشخص گردید که از نیتريفیکاسیون جزئی و کامل با زیرسیکل های مختلف به نحو مؤثری می توان برای تبدیل آمونیاک در فاضلابهای با غلظت بالا به عنوان فرایندهای جریان جانبی استفاده نمود و افزایش تعداد زیرسیکل های فرعی به منظور

تنظیم بیشتر  $pH$  در خلال نیتريفیکاسیون، تأثیر قابل ملاحظه ای بر افزایش نرخ اکسیداسیون آمونیاک از یک طرف و افزایش نرخ تجمع نیتريت از طرف دیگر دارد.

افزایش اکسیژن محلول به منظور ایجاد شرایط مناسب برای نیتريفیکاسیون کامل، باعث افزایش نرخ اکسیداسیون آمونیاک در حدود  $13$  تا  $16$  درصد نسبت به نیتريفیکاسیون جزئی شد و این در حالی است که نرخ تجمع نیتريت در این حالت بسته به تعداد زیر سیکل های فرعی، کاهش چشمگیری داشت و بخش قابل توجهی از آن به نیترات تبدیل شد. متوسط درصد تجمع نیتريت در تمام حالتها به دلیل دمای بالا به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر آن، اتفاق افتاده و حداقل آن در نیتريفیکاسیون کامل با یک زیرسیکل فرعی معادل حدود  $30$  درصد و حداکثر آن در نیتريفیکاسیون جزئی با سه زیرسیکل معادل  $91$  درصد بود.

نتایج مقایسه ای بیشتر بین نیتريفیکاسیون کامل و جزئی نشان داد که اکسیداسیون نیتريت در نیتريفیکاسیون کامل به مراتب افزایش یافته و از مقادیر متوسط  $1/34$  و  $3/04$  به ترتیب برای سه و یک زیرسیکل در نیتريفیکاسیون جزئی به  $8/94$  و  $9/51$  بر حسب  $mg/gVSS$  در نیتريفیکاسیون کامل رسیده است. بر اساس این یافته ها و آنالیز آماری انجام شده مشخص گردید که از یک طرف نرخ ویژه اکسیداسیون در نیتريفیکاسیون کامل در مقایسه با جزئی، بیشتر بوده و از طرف دیگر افزایش زیرسیکل ها باعث افزایش این نرخ در هر دو فرایند شده است.

علی رغم پافشاری بسیاری از مقالات بر اقتصادی بودن روش نیتريفیکاسیون جزئی در قیاس با کامل به لحاظ صرفه جویی در نیاز به اکسیژن محلول تا  $25$  درصد و منبع کربن خارجی تا  $40$  درصد، افزایش نرخ اکسیداسیون آمونیاک در نیتريفیکاسیون کامل در قیاس با نیتريفیکاسیون جزئی (در این تحقیق در حدود  $13$  تا  $16$  درصد) و نیز عدم تبدیل همه نیتريت به نیترات در آن با توجه به تعداد زیر سیکل های فرعی، ممکن است باعث اقتصادی تر شدن آن به لحاظ نیاز به حجم کمتر و زمان ماند کمتر شود. این موضوع نیاز به بررسی بیشتر دارد و می تواند مبنای مطالعات بعدی قرار گیرد.

#### ۵- قدردانی

به این وسیله از همکاری صمیمانه مسئولان محترم شرکت آب و فاضلاب شهری استان اصفهان و دفتر تحقیقات آن شرکت و مسئولان تصفیه خانه فاضلاب شاهین شهر کمال تشکر را دارد. این تحقیق در راستای قرارداد حمایت از پایان نامه دانشجویی به شماره  $88/3225$  مورخ  $88/2/12$  آن شرکت انجام شده است.

- 1- Tchobanoglous, G., Franklin, L., Butron, H., and David Stensel, H. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse*, Metcalf and Eddy, Inc., McGraw-Hill, New York.
- 2- Chan, T. Y. (2003 ). "Ammonia removal in wastewater with anaerobic ammonium oxidation process." M.Sc. Thesis, Concordia University, Canada.
- 3- EPA. (1993 ). *Process design manual for nitrogen control*, US EPA, Washington, D.C.
- 4- Teichgraber, B., and Stein, A. (1994 ). "Nitrogen elimination from sludge treatment reject water comparison of the steam stripping and denitrification processes." *Water Sci. Technol.*, 30, 41-51.
- 5- Peng, Y., and Zhu, G. (2006). "Biological nitrogen removal with nitrification and denitrification via nitrite pathway." *Appl. Microbiol Biotechnol.*, 73 (1), 15-26.
- 6- Paredes, D., Kuschik, P., Mbvette, T. S. A., Stange, F., Müller, R. A., and Köser, H. (2007). "New aspects of microbial nitrogen transformations in the context of wastewater treatment - A review." *Eng. Life Sci.*, 7, 13-25.
- 7- Hiatt, W. C. (2006). "Activated sludge modeling for elevated nitrogen conditions." Ph.D. Thesis, Clemson University, United States.
- 8- Pambrun, V., Paul, E., and Sp'erandio, M. (2008). "Control and modeling of partial nitrification of effluents with high ammonia concentrations in sequencing batch reactor." *Chemical Engineering and Processing*, 47, 323-329.
- 9- Guo, X., Kim, J. H., Behera, S. K., and Park, H. S. (2008). "Influence of dissolved oxygen concentration and aeration time on nitrite accumulation in partial nitrification process." *Int. J. of Environ. Sci. Tech.*, 5, 527-534.
- 10- Szatkowska, B. (2007). "Performance and control of biofilm systems with partial nitrification and anammox for supernatant treatment." Ph.D. Thesis, KTH University, Stockholm.
- 11- EPA.(2007). *Wastewater technology fact sheet: Side stream nutrient removal*, Office of Water, US EPA.
- 12- Kos, P. (1997). *Method and system for improved biological nitrification of wastewater at low temperature*, US patent No: 5811009.
- 13- Kos, P. (1998). "Short SRT (solids retention time) nitrification process/flowsheet." *Water Science and Technology*, 38, 23-29.
- 14- Bailey, J., Walter, F., Murthy, S. N., Benson, L., Constantine, T., Daigger, G. T., Sadick, T. E., and Katehis, D. (2008). *Method for nitrogen removal and treatment of digester reject water in wastewater using bioaugmentation*, US patent No: 7404897B2.
- 15- Sinha, B., and Annachhatre, A. P. (2007). "Partial nitrification-operational parameters and microorganisms involved." *Rev. Environ. Sci Biotechnol*, 6, 285-313.
- 16- So-Hyun, J., Dong-Jin, K., Ik-Keun, Y., Kyungmoon, P., and Gi-Cheol, C. (2000). "Partial nitrification in an upflow biological aerated filter by O<sub>2</sub> limitation." *Biotechnology Letters*, 22, 937-940.
- 17- Ciudad, G., Rubilar, O., Mun˜oz, P., Ruiz, G., Chamy, R., Vergara, C., and Jeison, D. (2005). "Partial nitrification of high ammonia concentration wastewater as a part of a shortcut biological nitrogen removal process." *Process Biochemistry*, 40, 1715-1719.
- 18- Ciudad, G., Gonzalez, R., Bornhardt, C., and Antileo, C. (2007). "Modes of operation and pH control as enhancement factors for partial nitrification with oxygen transport limitation." *Water Research*, 41, 4621-4629.
- 19- Dosta, J., Galı́, A., Benabdallah El-Hadj, T., Mace', S., and Mata-A lvarez, J. (2007). "Operation and model description of a sequencing batch reactor treating reject water for biological nitrogen removal via nitrite." *Bioresource Technology*, 98, 2065-2075.

- 20- Gali, A., Dosta, J., and Mata-Alvarez, J. (2007). "Optimisation of nitrification-denitrification Process in a SBR for the treatment of reject water via nitrite." *Environmental Technology*, 28, 565 - 571.
- 21- Yoo, H., Ahn, K. H., Lee, H. J., Lee, K. H., Kwak, Y. J., and Song, K. G. (1999). "Nitrogen removal from synthetic wastewater by simultaneous nitrification and denitrification (SND) via nitrite in an intermittently aerated reactor." *Wat. Res.*, 33, 145-154.
- 22- Sinha, B., and Annachhatre, A. P. (2007). "Assessment of partial nitrification reactor performance through microbial population shift using quinone profile, FISH and SEM." *Bioresource Technology*, 98, 3602-3610.
- 23- APHA. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21<sup>st</sup> Ed., American Public Health Association, Washington, D.C.
- 24- HACH. (2008). *Water analysis handbook*, Loveland Co., United State.
- 25- Ghanavati, H., and Emtiazi, G. (2007). "Inhibitory effect of phenol on ammonia removal by nitrification of high ammonia and phenol contaminated coke wastewater from Isfahan steel company (ISCO)." *J. of Water and Wastewater*, 61, 43-52. (In Persian)
- 26- Van de graaf, A. A. (1997). "Biological anaerobic ammonium oxidation." Ph.D. Thesis, Delft University Press, The Netherlands.
- 27- Morling, S. (2009). "SBR-Technology-use and potential applications for treatment of cold wastewater." Ph.D. Thesis, KTH University, Stockholm.
- 28- Head, M. A., and Oleszkiewicz, J. A. (2005). "Bioaugmentation with Nitrifying bacteria acclimated to different temperatures." *J. of Environmental Engineering*, 131, 1046-1051.
- 29- Bina, B., Movahedian, H., and Pourzamani, H.R. (2005). "Effect of influent COD/N ratio on nitrification rate in a bench-scale biological reactor." *J. of Water and Wastewater*, 53, 30-37. (In Persian)
- 30- Weon, S. Y., Lee, S. I., and Koopman, B. (2004). "Effect of temperature and dissolved oxygen on biological nitrification at high ammonia concentrations." *Environ. Technol.*, 25, 1211-1219.