

# جلسه دفاع کارشناسی

بررسی اثر مشخصات غشا ، فاضلاب ورودی و زیست توده بر کاهش گرفتگی غشا  
در بیوراكتور غشایی و مقایسه نتایج پژوهش‌های محققین در سال‌های اخیر با  
نتایج شبیه سازی توسط نرم افزار GPS-X

پژوهشگر: فاطمه رضایی  
استاد راهنما: دکتر مریم همایونفال فینی

تاریخ دفاع: ۱۴۰۱/۳/۱۷



گروه مهندسی شیمی دانشگاه اصفهان

# فهرست مطالب

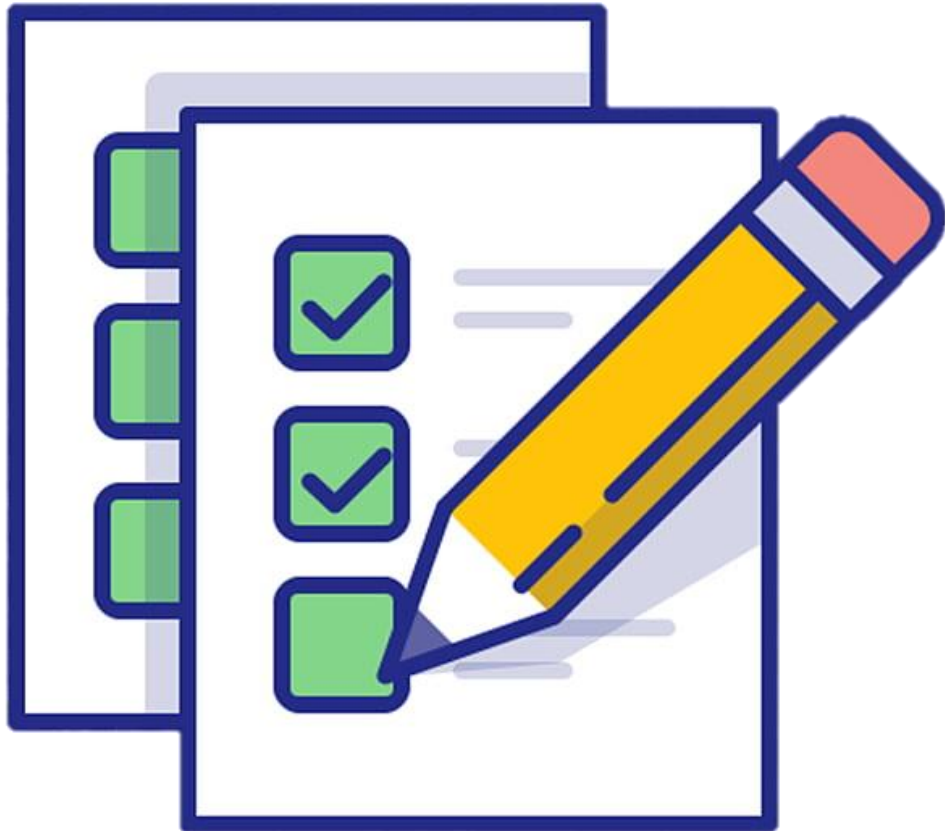
مقدمه

پیشینه تحقیق

نحوه شبیه سازی

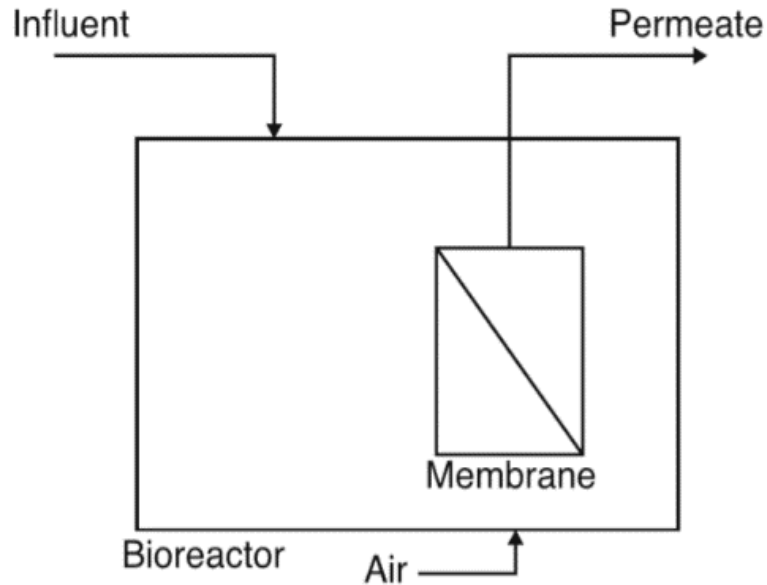
شبیه سازی

بحث و نتیجه گیری

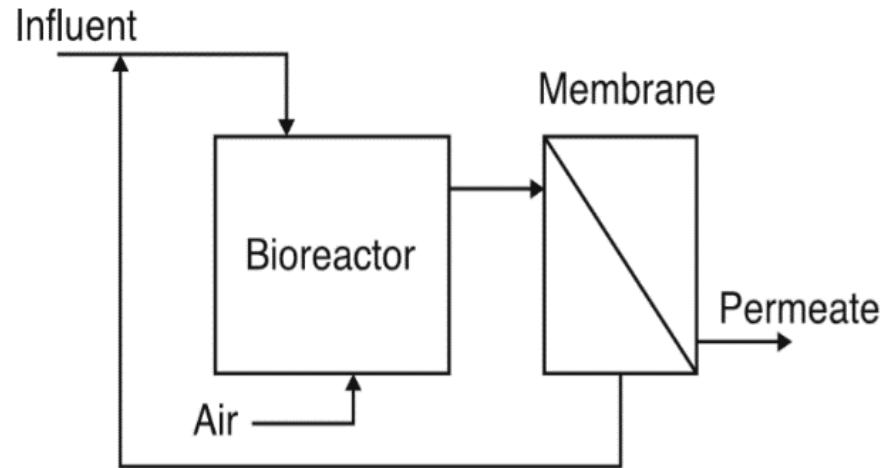


## بیوراکتور غشایی

### غوطه ور



### جریان جانبی



## مزایا و معایب بیوراکتور غشایی

- + اشغال فضای کم
- + کیفیت بالای پساب
- + عدم تولید بوی نامطبوع
- + تولید لجن کم

- محدودیت های عملیاتی
- نیاز به شستشوی غشا
- گرفتگی غشا



## پارامترهای مؤثر در عملکرد بیوراکتور غشایی

HRT

MLSS

TMP

SRT

COD

F/M

EPS

SMP

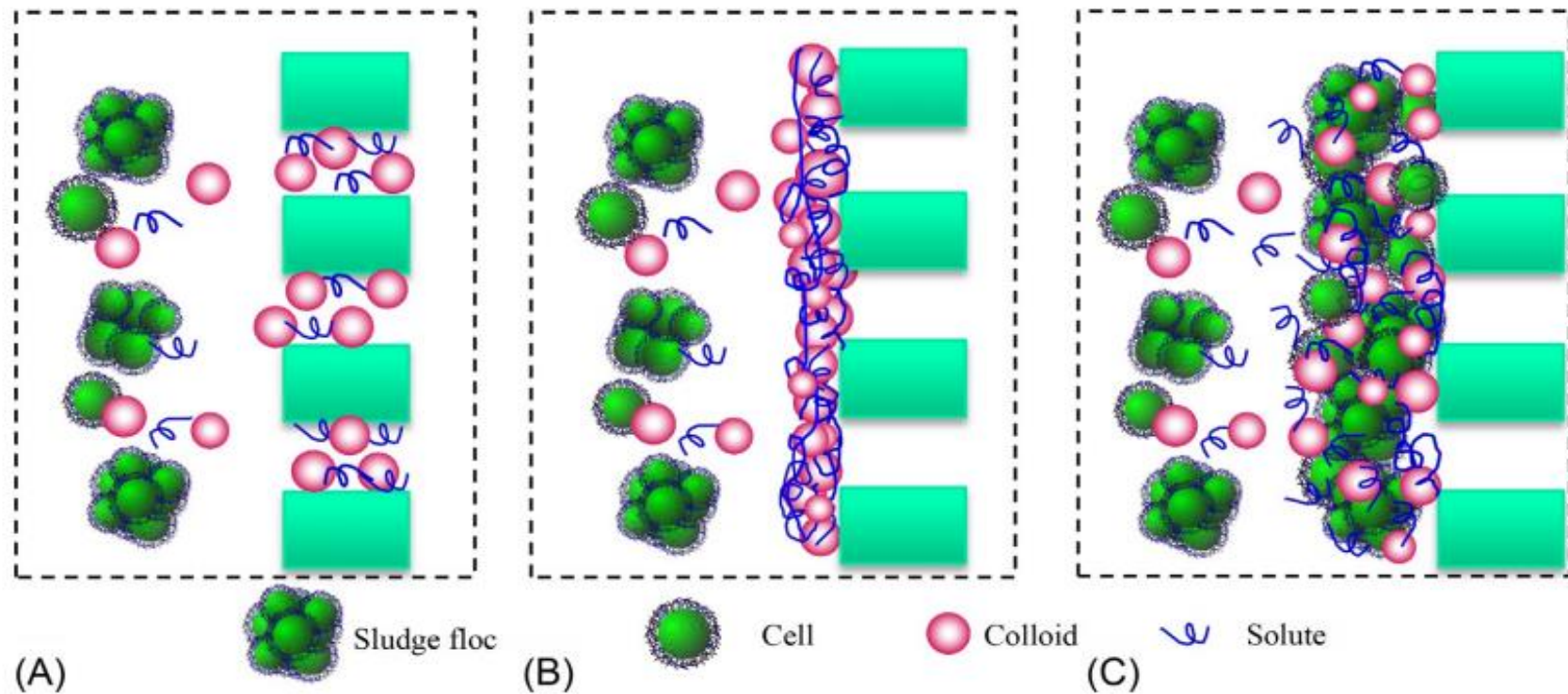
OLR

هوادهی

ویسکوزیته

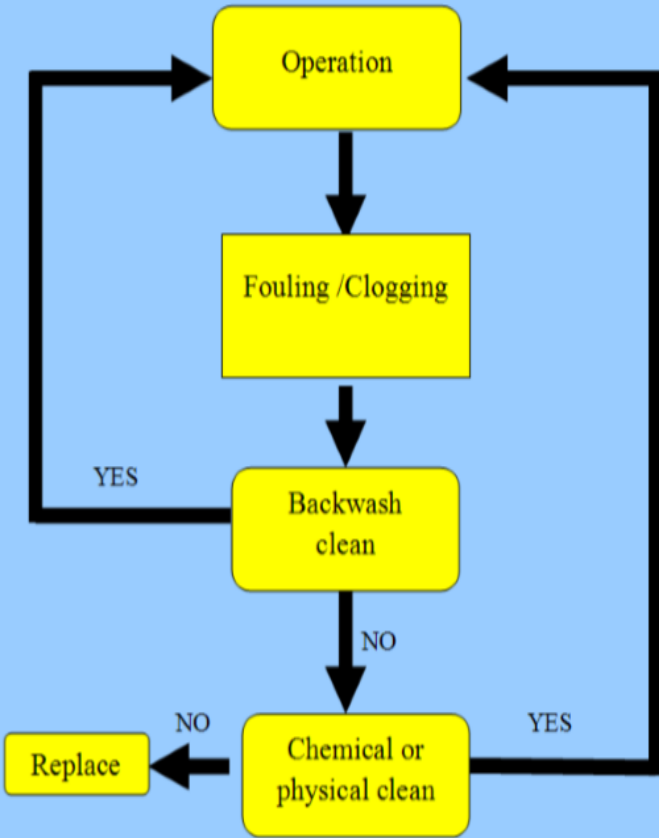
دما

## مکانیسم های گرفتگی غشا



## انواع گرفتگی غشا

## مراحل پاکسازی غشا



## محل وقوع گرفتگی

- داخلی
- خارجی
- پلاریزاسیون غلظت

## برهمکنش رسوبات با سطح

- برگشت پذیر
- برگشت ناپذیر
- غیر قابل حذف

## عوامل مؤثر بر گرفتگی غشا



### مشخصات غشا

جنس غشا

آبدوستی

بار سطحی

اندازه حفرات

تخلخل و زبری

ماژول غشا



### مشخصات فاضلاب

C/N/P

شوری

نوع بار یونها

pH



### مشخصات زیست توده

MLSS

SMP

EPS

دما

نوع میکروارگانیسم ها

### مشخصات فرایندی

HRT

SRT

هوادهی

## روش های کنترل گرفتگی غشا

### اصلاح مشخصات فاضلاب ورودی

- پیش تصفیه خوراک
- تنظیم نسبت کربن به نیتروژن به فسفر در خوراک
- کنترل شوری و غلظت نمک های معدنی
- کنترل pH خوراک

### اصلاح مشخصات غشا

- افزایش آبدوستی سطح
- باردار کردن سطح
- تغییر مورفولوژی و سایز حفرات
- بهینه سازی هندسه ماژول

### اصلاح مشخصات زیست توده

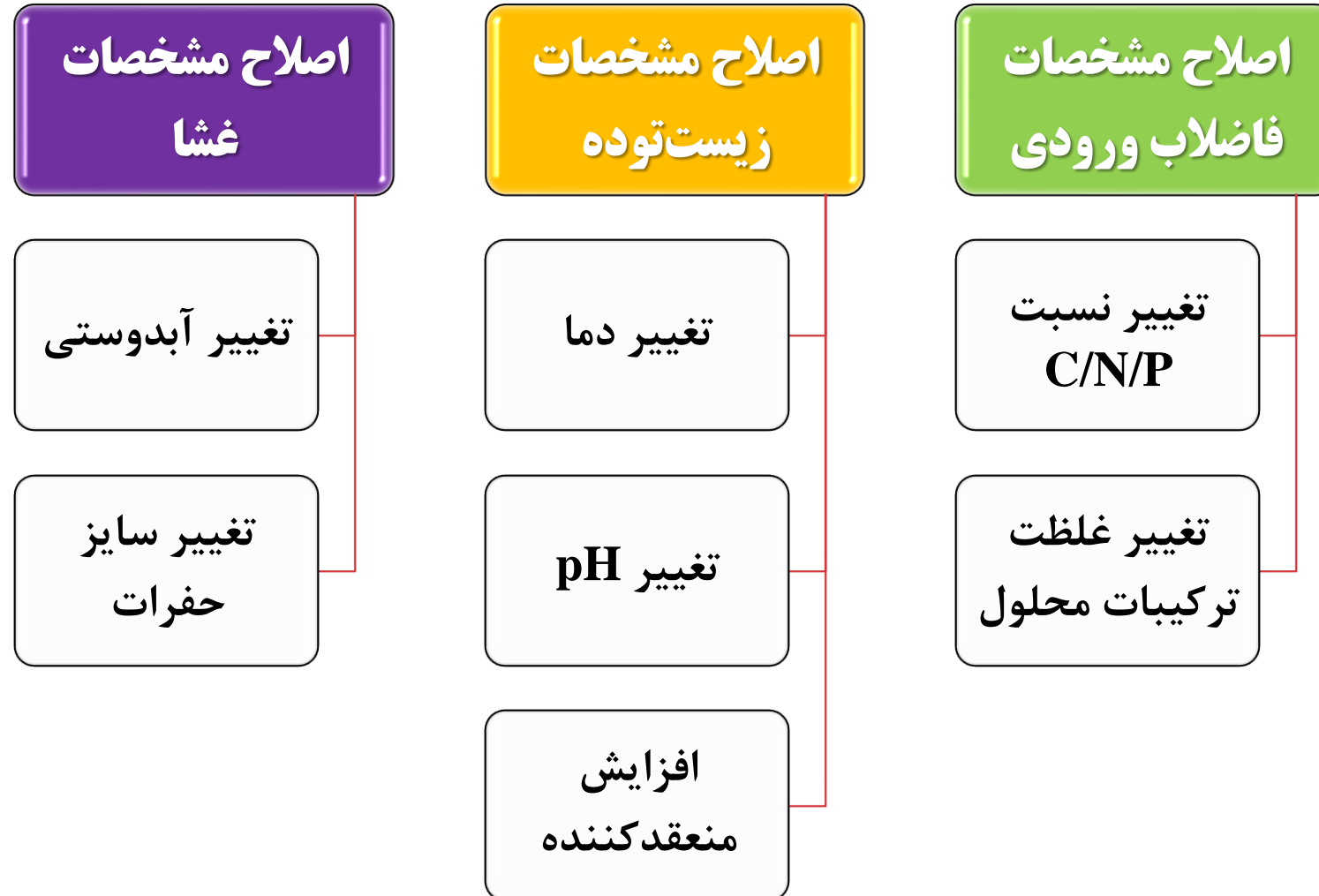
- کنترل تولید SMP
- افزودن جاذب
- افزودن منعقدکننده
- افزودن نانو مواد
- کنترل دما
- کنترل pH لجن

### اصلاح مشخصات فرایندی

- کنترل شرایط هیدرودینامیکی: شار، سرعت جریان متقاطع ، نرخ هوادهی
- شستشوی معکوس استراحت و تمیز کردن شیمیایی
- بهینه سازی سن لجن
- بهینه سازی هندسه مخزن



## دسته بندی مطالعات براساس رویکرد کلی در کاهش گرفتگی



## اصلاح مشخصات فاضلاب ورودی به منظور کاهش گرفتگی

هائو و همکاران در سال ۲۰۱۵ اثر نسبت ترکیبات ارگانیک به نیتروژن را بر عملکرد بیوراکتور غشایی مورد بررسی قرار دادند. بررسی ها نشان داد افزایش نسبت مواد ارگانیک به نیتروژن باعث کاهش بازدهی زیست توده، کاهش MLSS، افزایش اندازه لخته ها و در نتیجه کاهش گرفتگی در غشا می شود. لازم به ذکر است با توجه به نیاز زیست توده به نیتروژن برای رشد و نمو مقدار نیتروژن باید بهینه باشد که توصیه محقق مقداری بین ۲/۵:۱۰۰ و ۱/۸:۱۰۰ است (Hao and Liao 2015).

در پژوهشی که توسط ارکان و همکاران در سال ۲۰۱۶ انجام شد، اثر نسبت کربن به نیتروژن در خوراک و SRT را بر عملکرد بیوراکتور غشایی غوطه ور مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش نسبت کربن به نیتروژن به همراه افزایش SRT موجب کاهش فلاکس بحرانی، کاهش EPS، کاهش آبگریزی لجن فعال و در نتیجه کاهش گرفتگی غشا می شود (Erkan, Onkal and Engin et al. 2016).



پژوهش	چشم انداز کلی	درصد کاهش گرفتگی نسبت به بدترین نتیجه	نفوذپذیری (LMH)	زمان عملیات (روز)	TMP(in)	COD:N:P	OLR	SRT (روز)	HRT (ساعت)	MLSS (g/l)	درصد حذف COD	ماژول	سطح غشا (m <sup>2</sup> )	سایز حفرات (میکرومتر)	جنس غشا	ردیف
					TMP(out)	C:N:P				MLVSS						
(Hao and Liao 2015)	افزایش COD/N/P ← کاهش گرفتگی	-26.09	10	130	4kPa	100:1.8:1	2.5gCO D/Lday	15	24	6.363	98.40	FS	0.03	0.3	PVDF	۱
					9kPa	NR				NR						
(Chen, Guo et al. 2018)	افزایش C/N/P ← کاهش گرفتگی	-80.64	5.21	75	0.9kPa	NR	NR	NR	12	NR	95.5	HF	0.06	0.22	PVDF	۲
					30.8kPa	100/5/1				NR						
(Erkan, Onkal Engin et al. 2016)	افزایش SRT و C/N ← کاهش گرفتگی	-90	NR	34	NR	NR	1.5-1.7kg/ m3day	20	31	14.3	95	HF	0.2	0.4	NR	۳
					NR	21/1				6.15						
(Chen, Hu et al. 2019)	کاهش غلظت NaCl از ۴۰ به صفر گرم بر لیتر ← کاهش گرفتگی	-85.45	15	28	4kPa	NR	NR	120	6	NR	96.2 to 94.1	FS	0.08	0.1	PVDF	۴
					8kPa											
(Viero, Melo et al. 2008)	کاهش غلظت ترکیبات فنولیک در فاضلاب پالایشگاه ← کاهش گرفتگی	-37.14	7.5	30	0.1bar	NR	1.37kg COD/ m3d	NR	10	NR	67	HF	0.0278	0.15	PEI	۵
					0.4bar					2.89						
(Johir, Vignes waran et al. 2013)	کاهش غلظت NaCl از ۳۵ به صفر گرم بر لیتر ← کاهش گرفتگی	-50	2.5	110	9mbar	150/5/1	0.25kg COD/ m3d	40	8	5.1	NR	HF	0.2	0.1	PAN	۶
					12 to 21mbar	NR				3.8						

## اصلاح مشخصات زیست توده به منظور کاهش گرفتگی

در پژوهشی که توسط وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۰ به منظور بررسی اثر تغییرات دمای فصلی بر مشخصات لجن و عملکرد و گرفتگی غشای MBR انجام شد، محدوده تغییرات دما بین ۸ تا ۲۶ درجه سانتیگراد بود. نتایج نشان داد که EPS استخراج شده از زیست توده، SCOD، PS، و PN تحت عملیات با دمای پایین افزایش یافتند. افزایش EPS، PS و PN در MBR منجر به افزایش بیوپلیمرهای متصل به سطح غشا شده و در نتیجه باعث گرفتگی شدید غشا در طول عملیات با دمای پایین در MBR می شود (Wang, Wu et al. 2010).

در پژوهشی که توسط ال امیری و همکاران در سال ۲۰۱۰ با هدف بررسی اثر دما و فلاکس بر عملکرد و گرفتگی غشا در MBR انجام شد، محدوده تغییرات دما بین ۲۵ تا ۴۵ درجه سانتیگراد بود. نتایج حاکی از آن است که افزایش دمای عملیاتی منجر به کاهش غلظت زیست توده و EPS، افزایش SMP، کاهش نرخ حذف نیترات و نیتروژن و افزایش کدورت محصول می شود. هم چنین نرخهای بالای حذف COD در دماهای پایین و کمترین آنها در دماهای بالا رخ داد. هم چنین نتایج نشان داد که شار کم در عملیات با دمای پایین منجر به ایجاد کمترین TMP و گرفتگی غشای کم تری شده است (Al-Amri, Salim et al. 2010).



پژوهش	چشم انداز کلی	درصد کاهش گرفتگی نسبت به بدترین نتیجه	نفوذپذیری (LMH)	زمان عملیات (روز)	TMP(in)	Temperature (C)	SRT (روز)	HRT (ساعت)	MLSS (g/l)	درصد حذف COD	مازول	سطح غشا (m <sup>2</sup> )	سایز حفرات (میکرومتر)	جنس غشا	ردیف
					TMP(out)				MLVSS						
(Ma, Wen et al. 2013)	افزایش دما از ۸/۷ تا ۱۹/۷°C ← کاهش گرفتگی	-71.77	NR	180	NR	19.7	40	4.9	NR	NR	HF	2.85	0.1	PVDF	۱
					60kPa				NR						
(Wang, Wu et al. 2010)	افزایش دما از ۸ تا ۲۶°C ← کاهش گرفتگی	-50	45	730	2.5kPa	26	40	2.2	21.5	95	FS	0.98	0.2	PES	۲
					10.5kPa				15						
(Sun, Xiao et al. 2014)	افزایش دما از ۱۳ تا ۲۷°C ← کاهش گرفتگی	-55	10	365	5.2kPa	27	20	17	NR	NR	HF	NR	0.04	PVDF	۳
					22kPa				NR						
(Al-Amri, Salim et al. 2010)	کاهش دما تا ۲۵°C ← کاهش گرفتگی	-91.42	10	14	0	25	NR	5.3	8to10	95	HF	0.065	0.2	PES	۴
					40mbar				5.22						
(Kunacheva, Soh et al. 2016)	کنترل pH در محدوده خنثی ← کاهش گرفتگی	-50	15	1	2.95kPa	35	200	6	NR	98	FS	0.116	0.2	CPE	۵
					18kPa				6						
(Song, Kim et al. 2008)	افزایش منعقدکننده ← کاهش گرفتگی	-70	12to24	1h	NR	NR	NR	NR	5	90	FS	0.2	0.4	PE	۶
					NR				NR						

## اصلاح مشخصات غشا به منظور کاهش گرفتگی

میوشی و همکاران در سال ۲۰۱۵ اثر جنس غشا را بر گرفتگی غشا در بیوراكتور غشایی بررسی کردند. بررسی‌ها نشان داد که در غشاهای با سایز حفرات کم (۰/۰۲ تا ۰/۴ میکرومتر) بیش‌ترین گرفتگی غشا به ترتیب در غشاهای با جنس PVDF، CAB و PVB رخ می‌دهد. همچنین نتایج نشان داد که در غشاهای PVDF هرچه سایز حفرات غشا بیشتر باشد گرفتگی غشا کمتر است ولی در غشاهای CAB این موضوع برعکس است (Miyoshi, Yuasaa et al. 2015).

در پژوهشی که توسط تای و همکاران در سال ۲۰۱۷ انجام شد عملکرد بیوراكتور غشایی با دو غشای متفاوت نانوفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که گرفتگی ناشی از انسداد حفرات در غشای اولترافیلتراسیون بیشتر بوده و گرفتگی ناشی از تشکیل کیک در غشای نانوفیلتراسیون بیشتر است. همچنین میزان حذف آلاینده‌ها توسط غشای نانوفیلتراسیون ۹۰ درصد و توسط غشای اولترافیلتراسیون ۷۵ درصد گزارش شد (Tay, Liu et al. 2018).



پژوهش	چشم انداز کلی	درصد کاهش گرفتگی نسبت به بدترین نتیجه	نفوذ پذیری (LMH)	زمان عملیات (روز)	TMP(in)	EPS (mg/l)	SRT (روز)	HRT (ساعت)	MLSS (g/l)	درصد حذف COD	ماژول	سطح غشا (m <sup>2</sup> )	سایز حفرات (میکرومتر)	جنس غشا	ردیف
					TMP(out)										
(Choi and Ng 2008)	تغییر جنس غشا از PTFE به PCTE ← کاهش گرفتگی	-53	1.6to0.4 LMH/kPa	40	NR	205.9	15	8	1.6	NR	FS	0.1	0.1	PCTE	۱
					NR										
(Jeon, Rajabzadeh et al. 2016)	افزایش آبدوستی غشا با تغییر جنس غشا از CA به PVDF ← کاهش گرفتگی	-75	9.58	1h	2 kPa	164	15	NR	4	NR	HF	NR	0.06	CA	۲
					5kPa										
(Zhao, Xu et al. 2014)	افزایش آبدوستی سطح غشا با گرافن اکسید ← کاهش گرفتگی	-66.67	10-12	80	0	5.97	1.75	12	4-5	88	FS	0.0162	0.089	PVDF/GO	۳
					0.37Mpa										
(Marel, Zwijnenburg et al. 2010)	افزایش سایز حفرات غشا PVDF تا ۰/۳ میکرومتر ← کاهش گرفتگی	-77.27	50	12.5	NR	NR	NR	1	10	NR	FS	NR	0.3	PVDF	۴
					NR										
(Miyoshi, Yuasaa et al. 2015)	افزایش سایز حفرات از ۰/۰۲ تا ۰/۰۴ میکرومتر ← کاهش گرفتگی	-84.37	9.6	8.3	3kPa	NR	90	35	15	NR	HF	0.015	0.4	PVDF	۵
					29kPa										
(Fan, Xiao et al. 2018)	اصلاح جنس غشا و آبدوستی با ترکیب PTFE/PVDF ← کاهش گرفتگی	-50	25	30	0	1.74mgTOC/g SS	30	16	4.5	93.5	FS	0.012	0.1	PTFE/PVDF	۶
					30kPa										
Tay, Liu et al. 2018)	تغییر سایز حفرات غشا از UF به NF ← کاهش گرفتگی	-90	10	80	8	NR	30	22	0.503-0.513	NR	HF	0.031	NF/UF	PES	۷
					35										

GPS-X 8.0.1 [tozih\*] - Comprehensive - Carbon, Nitrogen, Phosphorus, pH (mantis2lib)

File Edit View Layout Tools Library Help

Units: SI

Modelling Simulation

**Influent**

- Wastewater Influent
- Batch Influent
- Water Influent
- Stormwater Runoff
- COD Chemical Dosage
- Acid Dosage
- Alkali Dosage
- Nutrient Dosage

Flow Combiners and Splitters

Preliminary Treatment

Primary Treatment

**Suspended Growth Processes**

- Attached Growth Processes
- Secondary Clarifiers
- Tertiary Treatment
- Biosolids Treatment
- Process Control
- Miscellaneous
- Custom Processes

**Effluent**

Influent completely-mixed MBR Effluent

Models

- Input Parameters
- Initial Conditions
- Output Variables
- Source Data

Note...

Summary of Changes

Labels...

Mode: Edit



GPS-X 8.0.1 [al-amiri] - Comprehensive - Carbon, Nitrogen, Phosphorus, pH (mantis2lib)

File Edit View Layout Tools Library Help

Units: SI

Modelling Simulation

Controls

Input: 1 Input: 2

[x3] setpoint for control variable: 10000.0

[3] solids backwash removal rate: 0.0 1/m3

[3] cross-flow solids removal rate: 150.0 mg/L

[3] initial particulate inert material: 10000.0 mgCOD/L

Outputs

Wastewater Outfall Plot: 4 Plot: 5 Plot: 6 Plot: 7

Wastewater Influent Completely-Mixed MBR

Completely-Mixed MBR Display: Flow m3/d

+ Simulation Parameters

- Simulation Results

		1	Internal	4	
MLSS	mg/L	-	-	-	
MLVSS	mg/L	-	-	-	
Soluble COD	mg/L	-	-	-	
Ammonia N	mgN/L	-	-	-	

- Mass Flows

		1	3	4	5	Total In	Total Ou
TSS	kg/d	-	-	-	-	-	-
COD	kg/d	-	-	-	-	-	-
TN	kg/d	-	-	-	-	-	-
TP	kg/d	-	-	-	-	-	-

Steady State  Scenario Stop Time 0.0 d

Scenario: Base Model Mode: Simulate

GPS-X 8.0.1 [tozih\*] - Comprehensive - Carbon, Nitrogen, Phosphorus, pH (mantis2lib)

File Edit View Layout Tools Library Help

Units: SI

Modelling Simulation

Controls

Input: 1

[1] influent flow 2000.0 m3/d

0.0 10000.0

Outputs

Influent completely-mixed MBR Effluent Plot: 4

Membrane Filter Variables

Membrane Operational Variables

[3] trans-membrane pressure	0.008133	atm
[3] flow from membrane filter	2017	m3/d
[3] membrane flux	0.4802	m/d
[3] backwash flow	0.0	m3/d
[3] hydraulic permeability	0.5827	m3/(m2.d.k...

Membrane Resistance Variables

[3] cake resistance	4.656e+10	1/m
[3] intrinsic membrane resistance	1.0e+11	1/m
[3] membrane fouling resistance	0.0	1/m
[3] total resistance	1.466e+11	1/m

More...

Accept Cancel

Output: 1

Output: 1

[3] trans-membrane pressure [atm]

Time [days]

0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0

0.0 1.974 3.948 5.922 7.896 9.869

Steady State  Scenario Stop Time 0.0 d

Scenario: Base Model Mode: Simulate

GPS-X 8.0.1 [al-amiri] - Comprehensive - Carbon, Nitrogen, Phosphorus, pH (mantis2lib)

File Edit View Layout Tools Library Help

Units: SI

Modelling Simulation

Controls

Input: 1 Input: 2

[x3] setpoint for control variable	10200.0	0.0	40000.0
[3] solids backwash removal rate	0.0 1/m3	0.0	500.0
[3] cross-flow solids removal rate	150.0 mg/L	0.0	1000000.0
[3] initial particulate inert material	10000.0 mgCOD/L	0.0	50000.0
[1] VSS/TSS ratio	0.58 gVSS/gTSS	0.0	2.9

Wastewater Outfall Plot: 4 Plot: 5 Plot: 6 Plot: 7

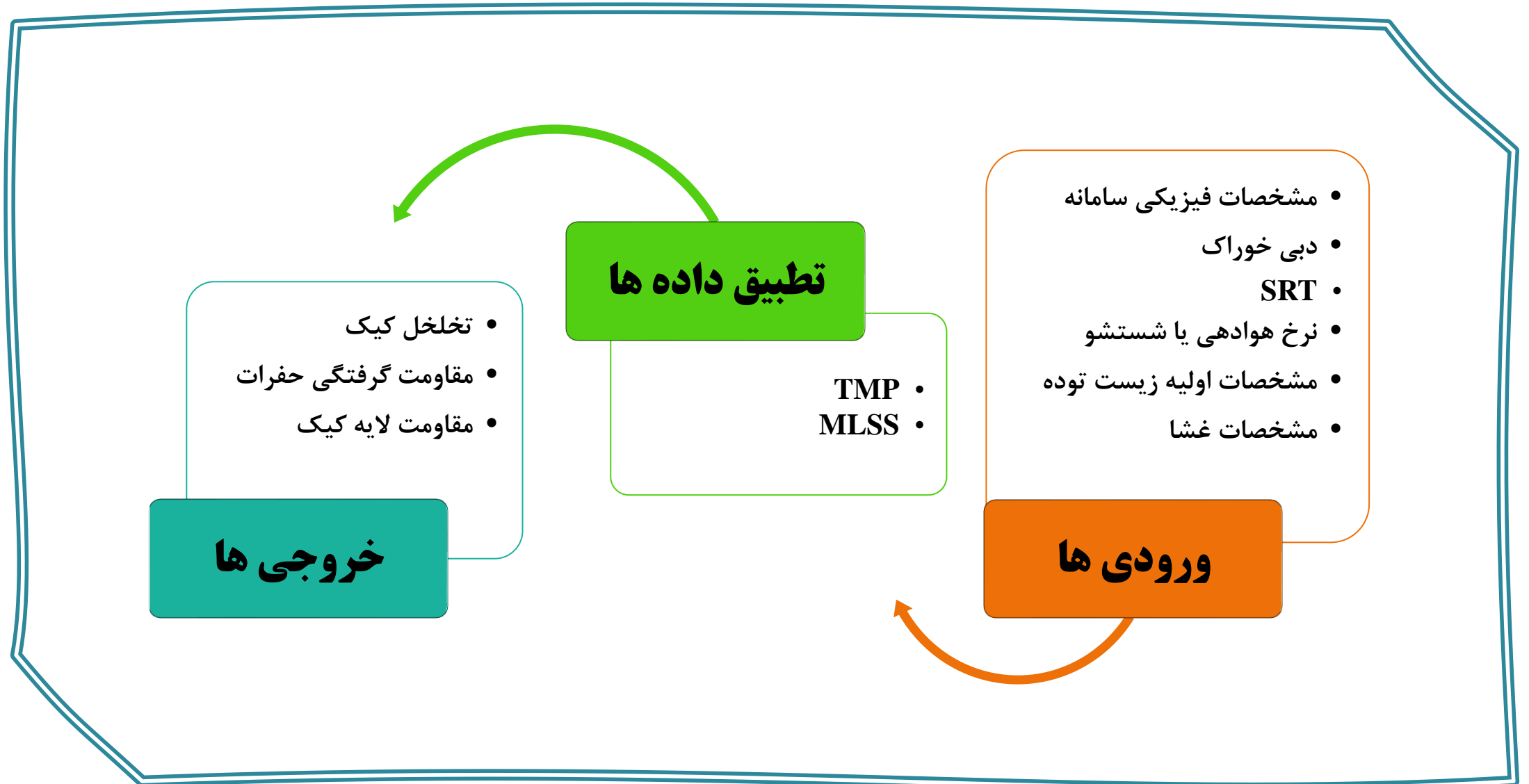
Wastewater Influent Completely-Mixed MBR

Output: 1

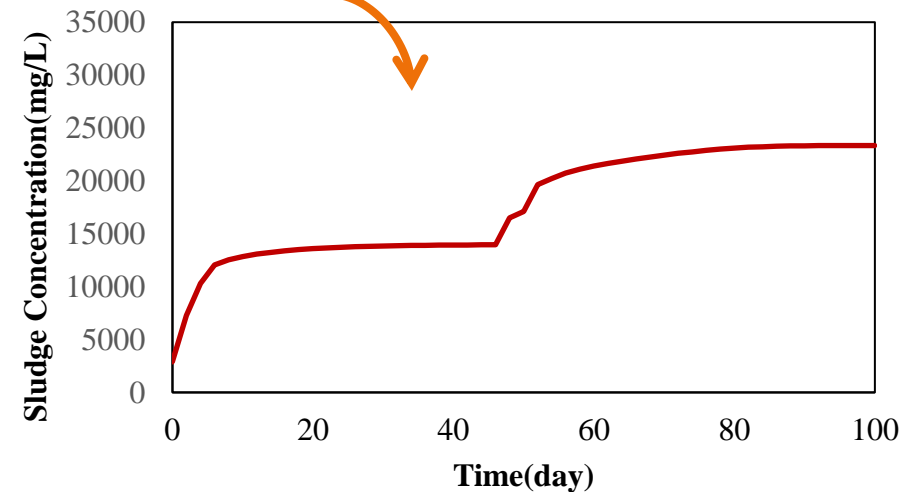
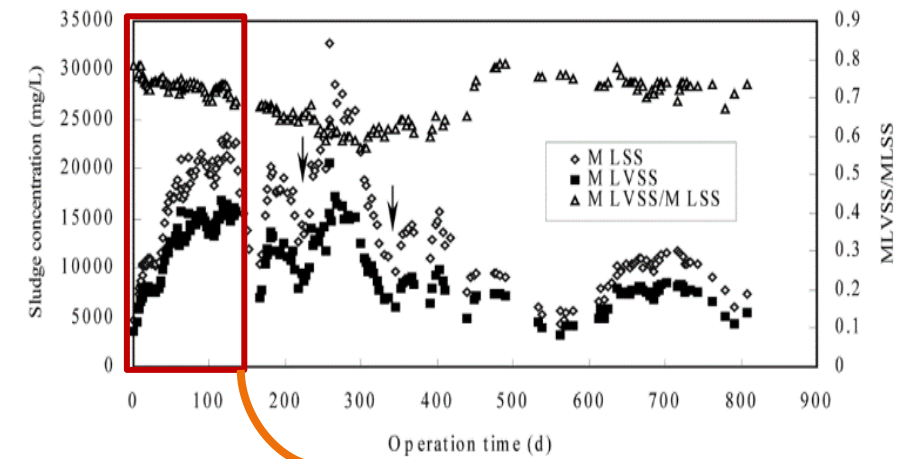
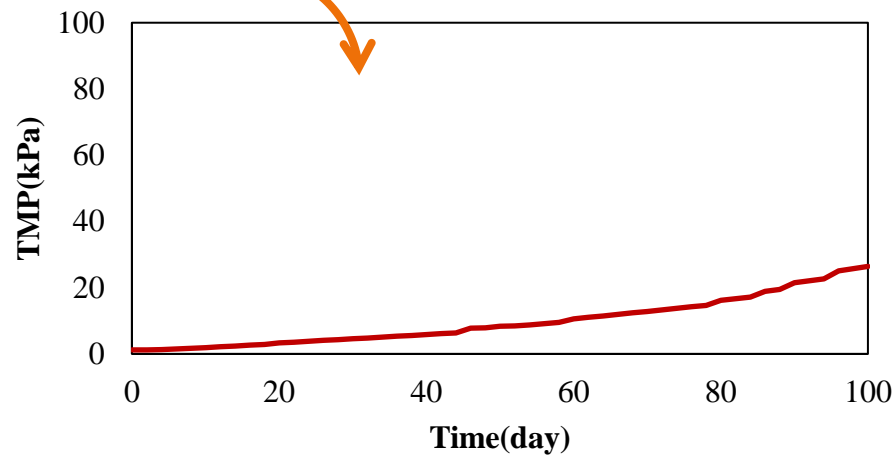
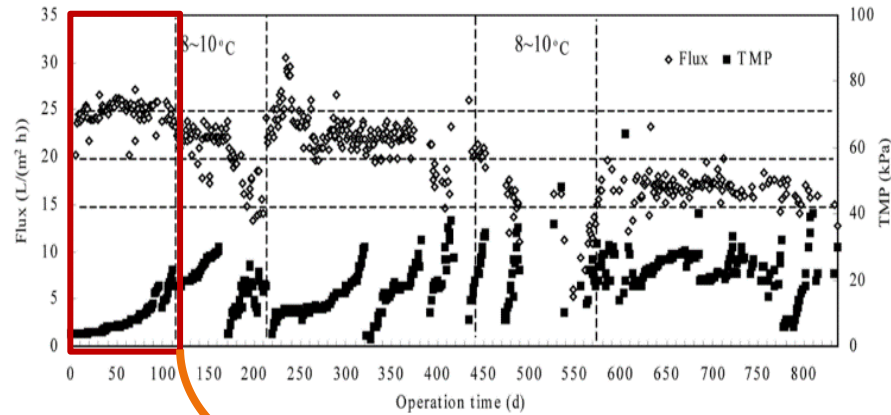
Output: 2

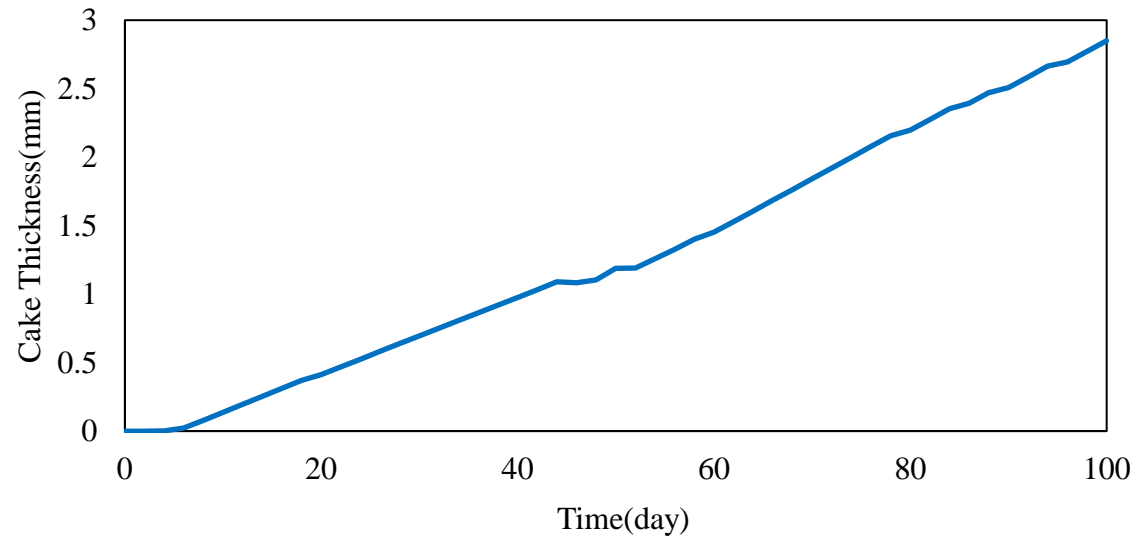
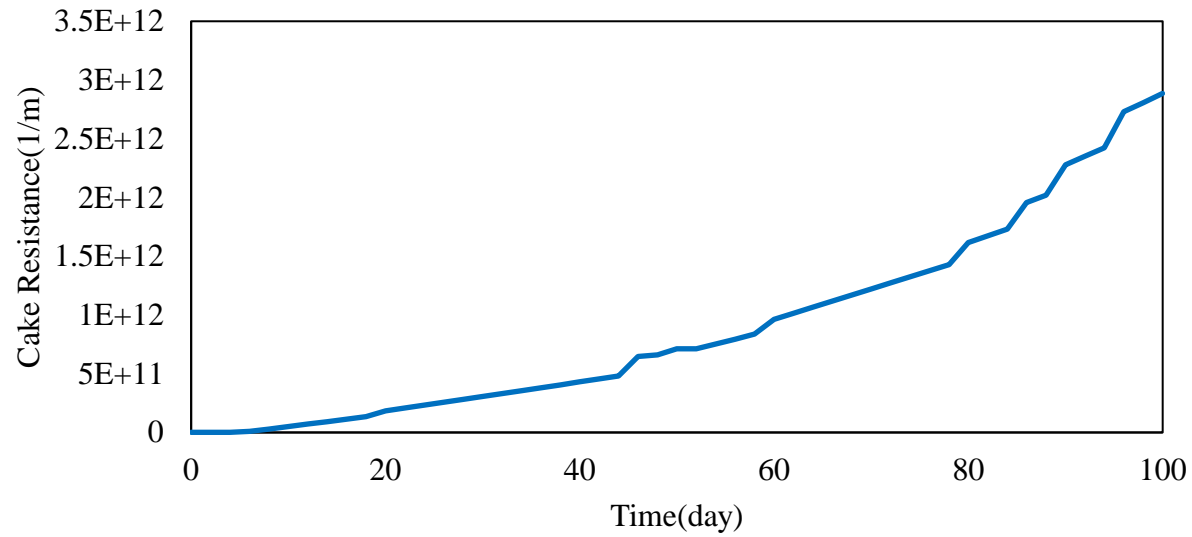
Steady State  Wed, Jan 16, 2019 00:00:00 Scenario Stop Time 14.0 d

Scenario: Base Model Mode: Simulate



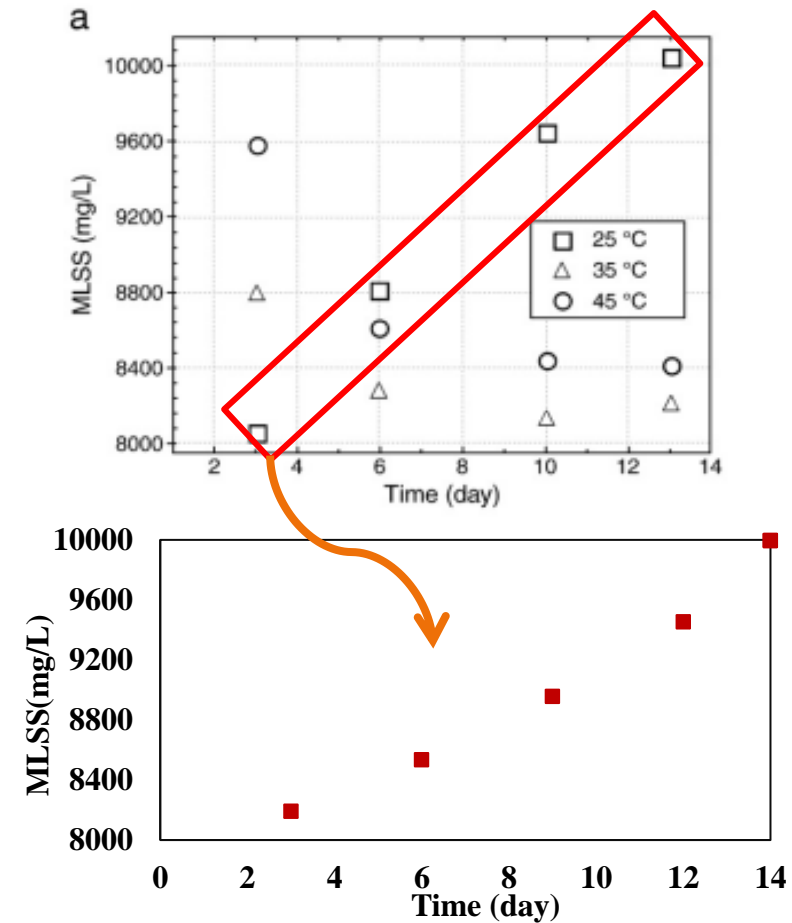
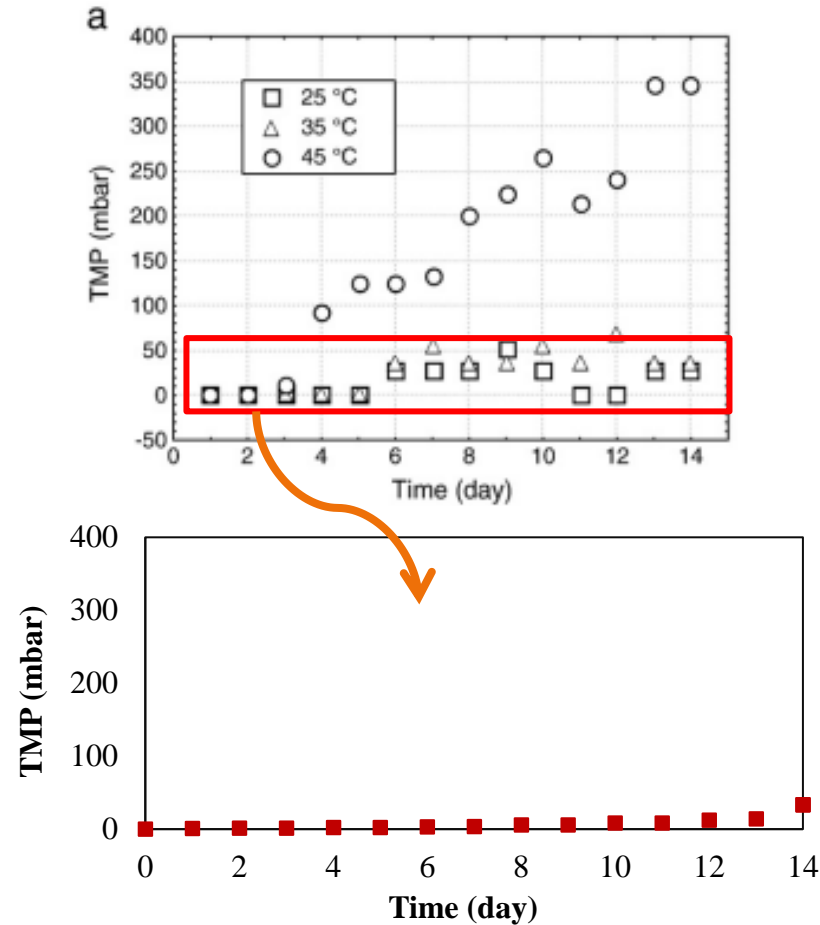
در پژوهش انجام شده توسط وانگ و همکاران (Wang, Wu et al. 2010) اصلاح مشخصات زیست توده با تنظیم دما هدف پژوهش بود. در ۱۱۰ روز آغازین پژوهش دمای بیوراکتور غشایی از ۲۶ درجه به ۱۱ درجه سانتیگراد کاهش و SRT از ۱۰ به ۴۰ روز افزایش و سرعت جریان هوای برشی از ۰/۲ به ۰/۳ متر بر ثانیه افزایش یافت.

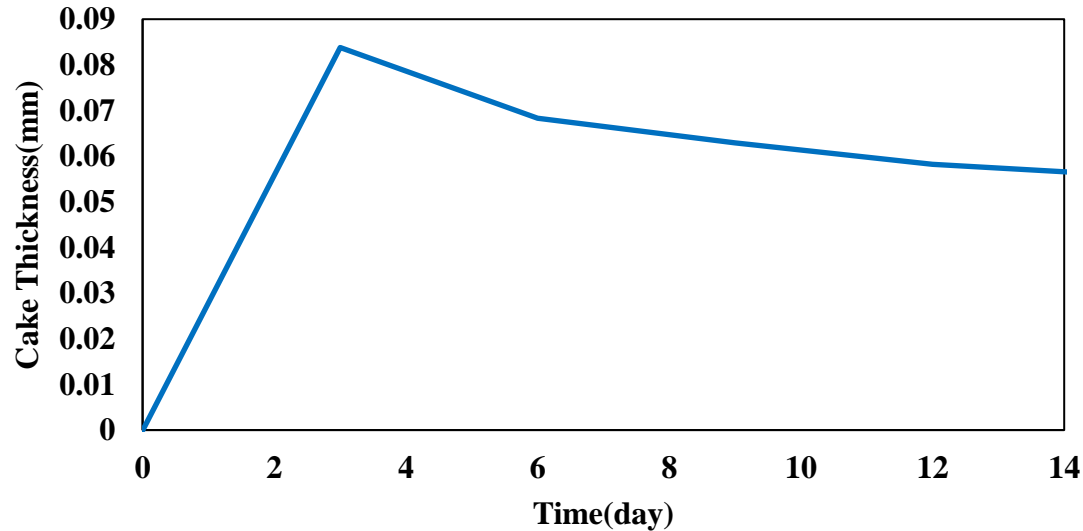
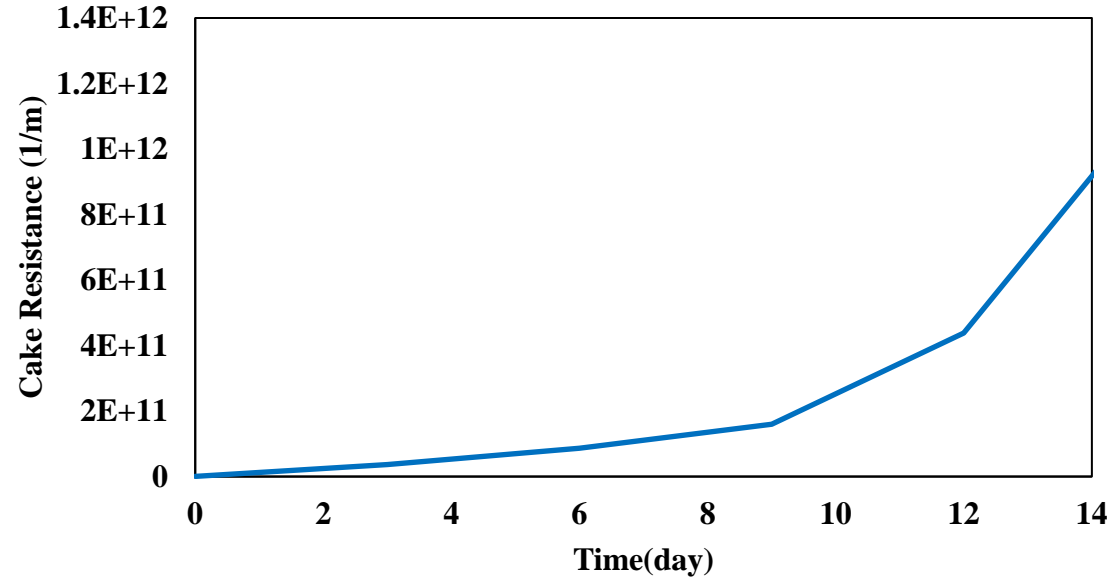




کاهش دما و افزایش SRT ← افزایش جامدات معلق ← افزایش نرخ تشکیل کیک ← کاهش سطح عبور جریان از غشا ← افزایش سرعت جریان عرضی ← ایجاد تنش برشی در جهت عبور جریان ← کاهش تخلخل ← افزایش مقاومت کیک

در پژوهش انجام شده توسط الامیری و همکاران (Al-Amri, Salim et al. 2010) عملکرد زیست توده در دما و HRT متغیر در فرایند تصفیه با بیوراکتور غشایی مورد بررسی قرار گرفت. بهترین نتایج از نظر پایین بودن نرخ گرفتگی در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و HRT ۵/۳ ساعت با فلاکس ۱۰ لیتر بر متر مربع بر ساعت بدست آمد.



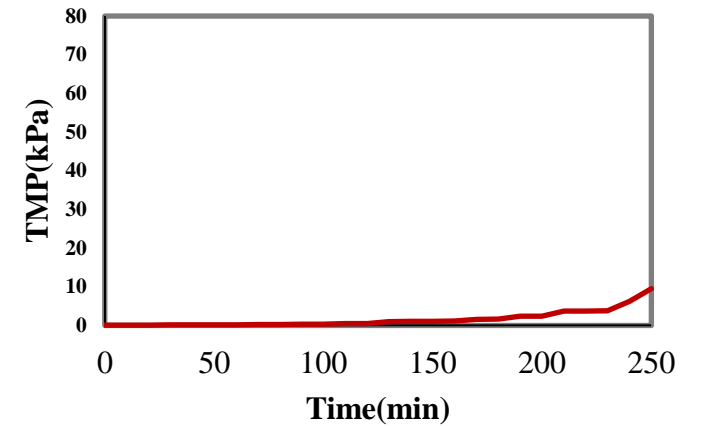
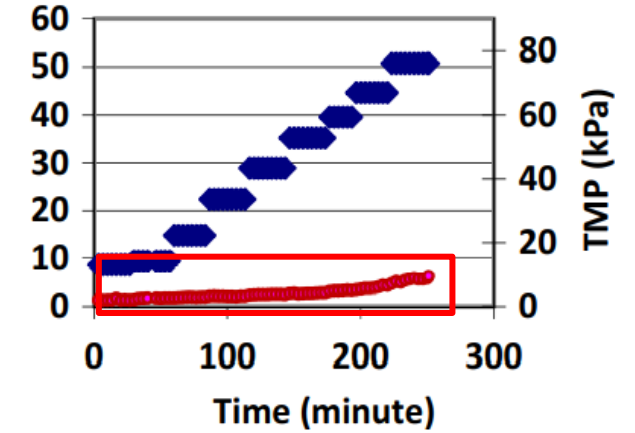
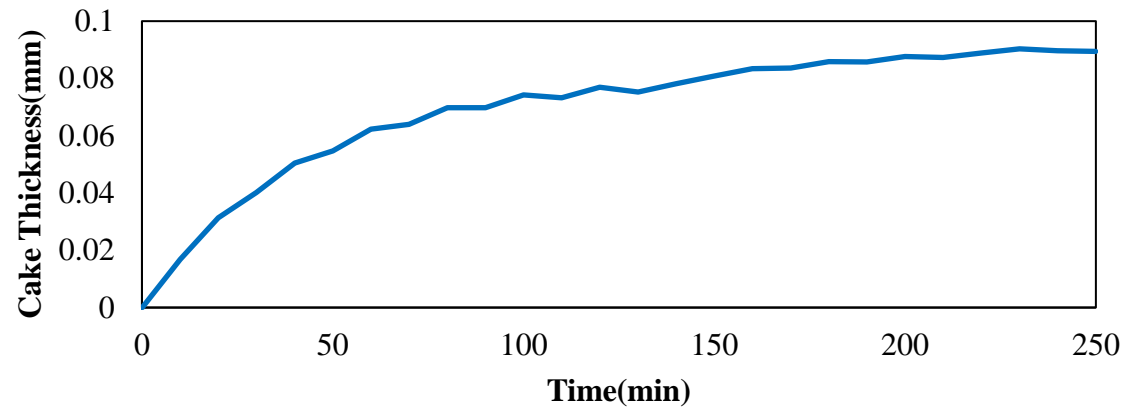
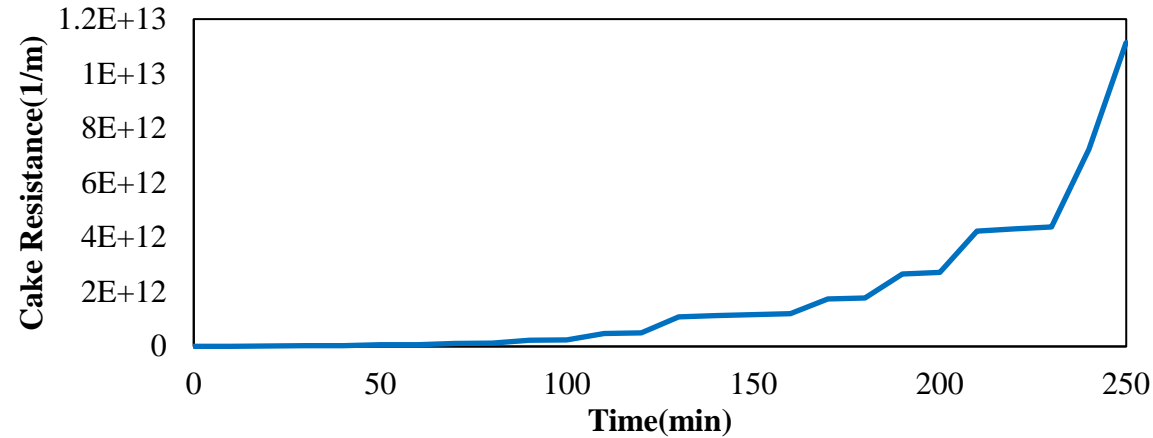


کاهش دما ← افزایش جامدات معلق ← افزایش تشکیل کیک ←  
 کاهش سطح عبور جریان از غشا ← افزایش سرعت جریان عرضی  
 ← ایجاد تنش برشی در جهت عبور جریان ← کاهش تخلخل  
 افزایش مقاومت کیک

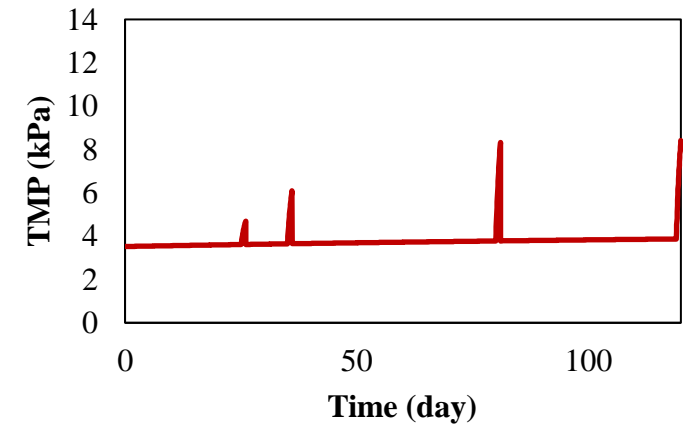
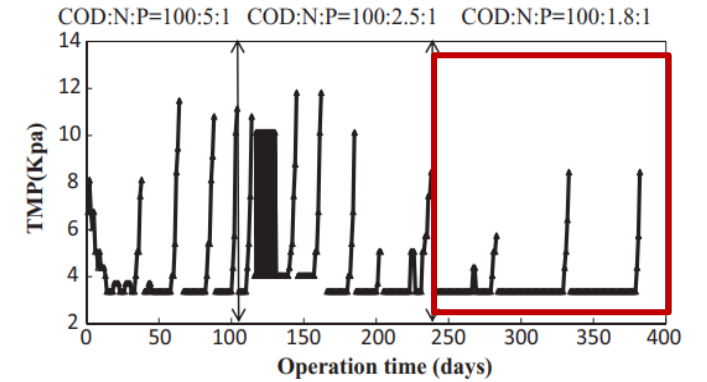
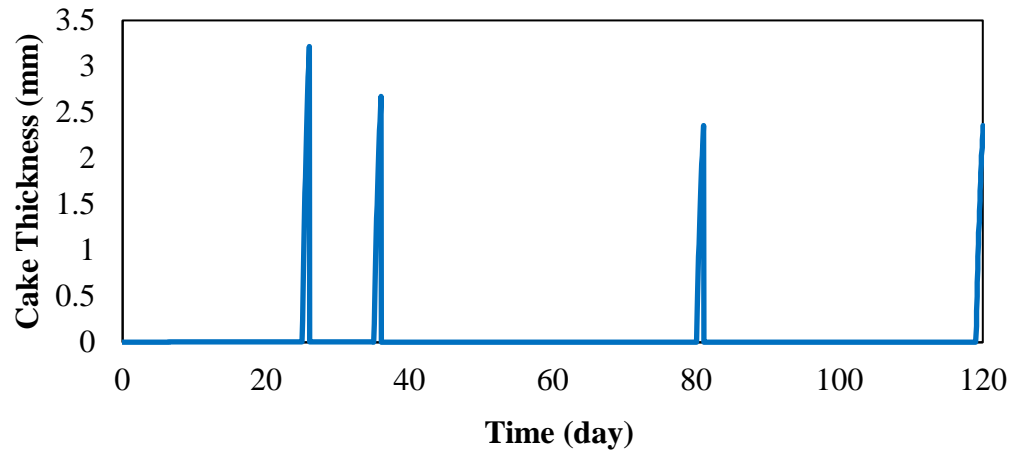
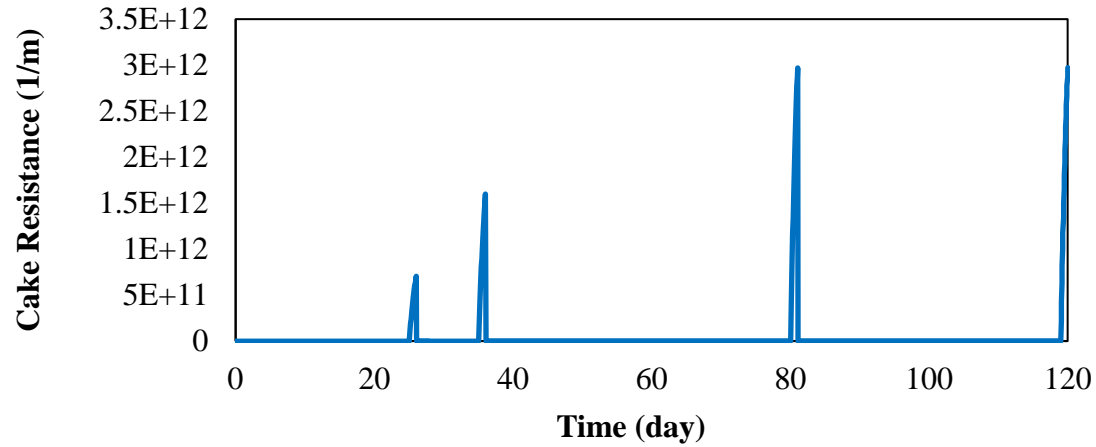




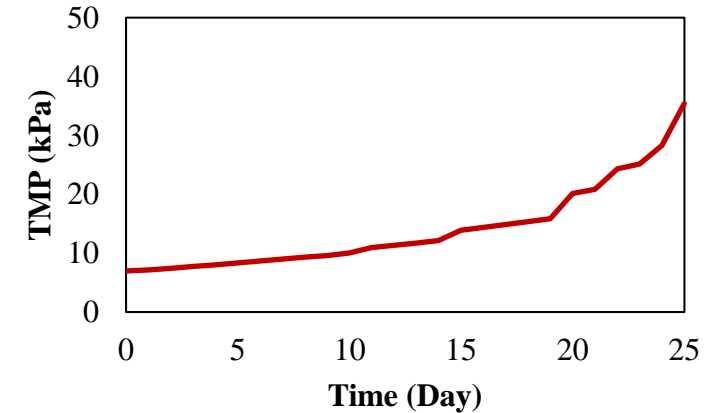
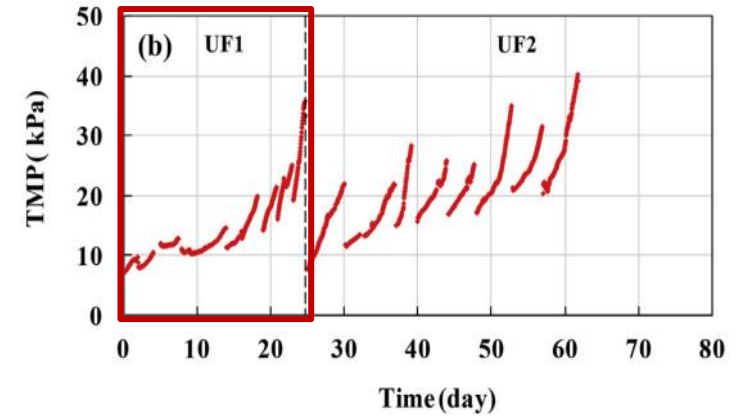
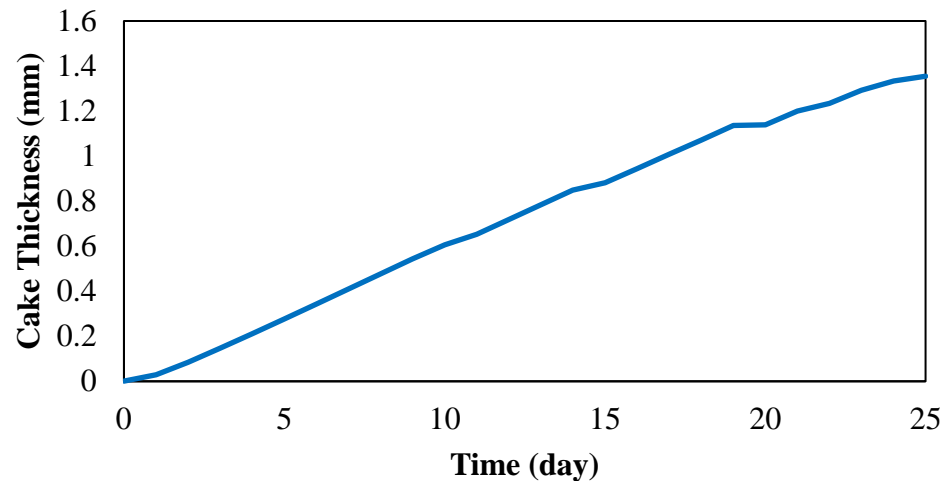
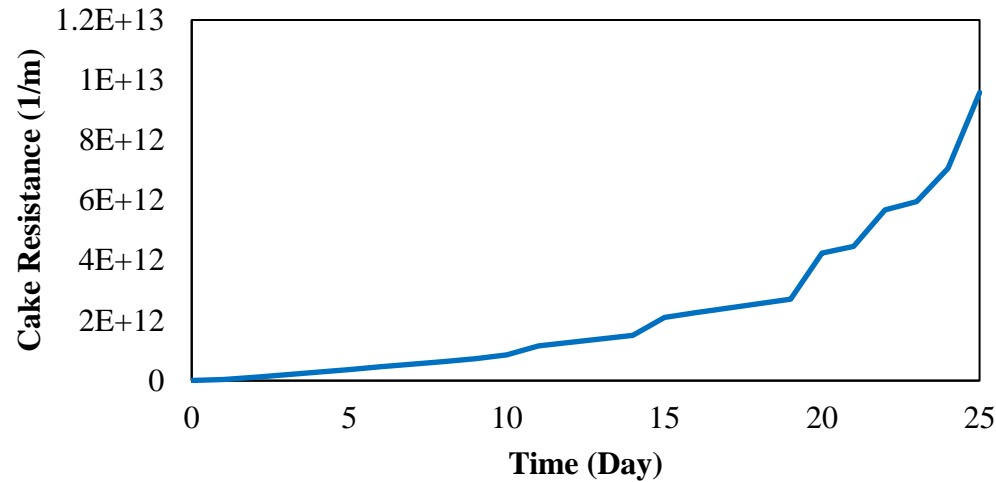
در پژوهشی که توسط ارکان و همکاران انجام شد (Erkan, Onkal Engin et al. 2016)، اصلاح نسبت کربن به نیتروژن در خوراک با هدف دستیابی به نسبت کربن به نیتروژن بهینه، هدف پژوهشگران بود. نسبت کربن به نیتروژن بهینه حاصل از آزمایش‌ها برابر با ۲۱ در SRT برابر با ۲۰ روز گزارش شد. مقدار MLSS در حدود ۱۴/۳ گرم بر لیتر ثابت است.



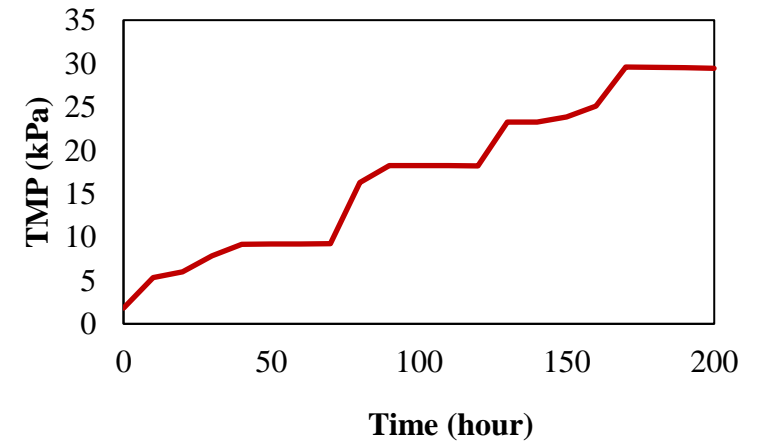
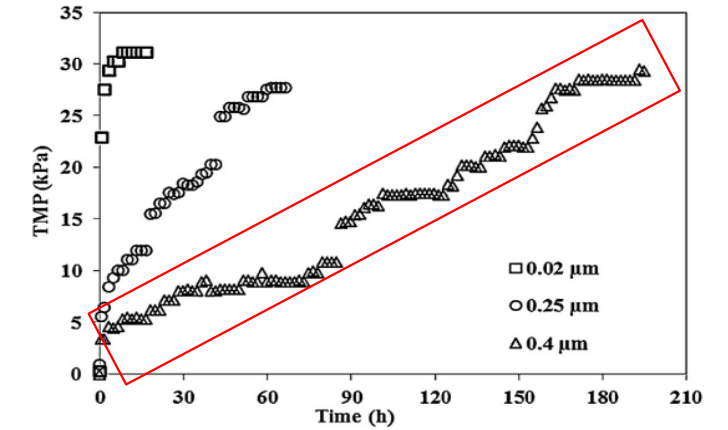
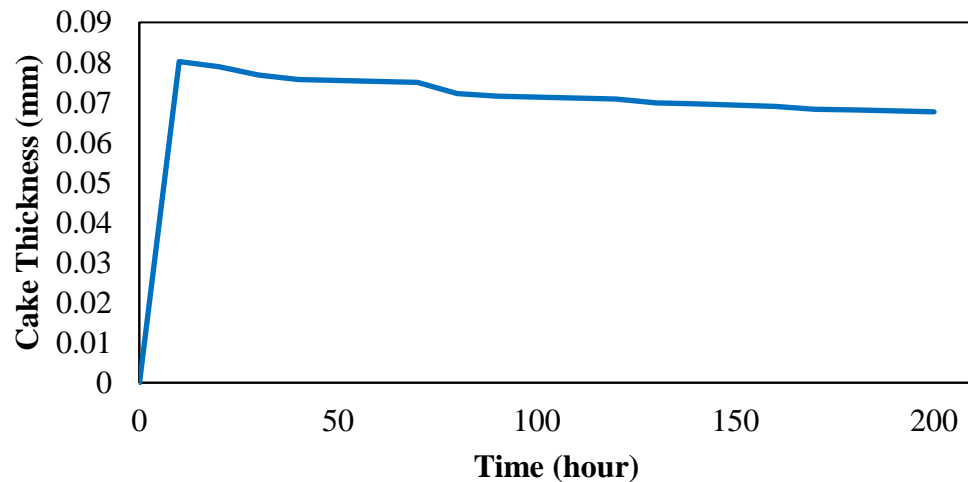
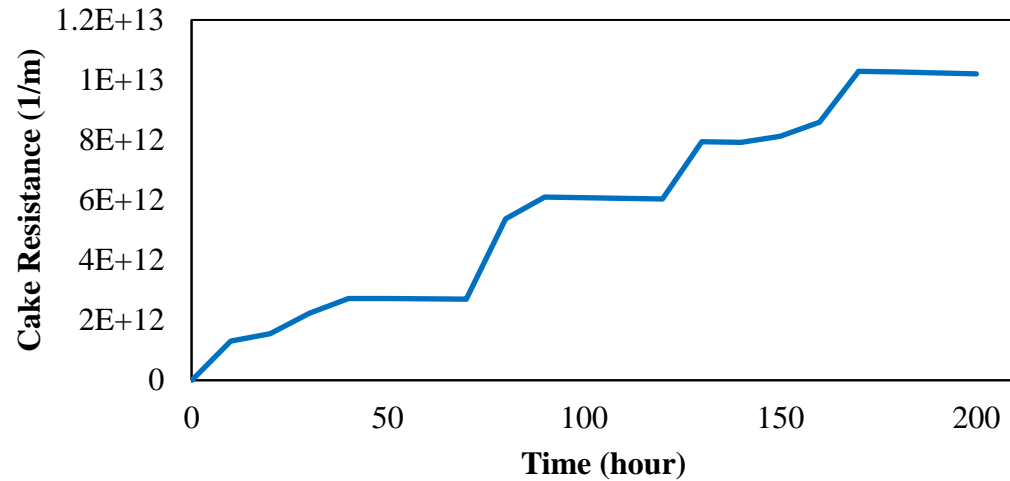
در پژوهش انجام شده توسط هائو و همکاران (Hao and Liao 2015) اصلاح نسبت کربن به نیتروژن به فسفر در خوراک به منظور دستیابی به نسبت بهینه در کاهش گرفتگی غشا، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد نسبت کربن به نیتروژن به فسفر (COD:N:P) برابر با ۱۰۰: ۱/۸: ۱ بهترین عملکرد را بدست می‌دهد. مقدار MLSS در حدود ۷ گرم بر لیتر ثابت است.



در پژوهش انجام شده توسط تای و همکاران (Tay, Liu et al. 2018) بررسی عملکرد غشاهای مختلف در فرایند تصفیه فاضلاب با بیوراکتور غشایی هدف پژوهشگران بود. غشای اولترافیلتراسیون عملکرد مناسبی را از نظر سرعت گرفتگی نشان داد و شبیه سازی بر اساس مشخصات داده شده در مقاله انجام شد. مقدار MLSS به علت استفاده از حامل‌های زیستی بسیار کم است و حداکثر به حدود ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر می رسد.



در پژوهش انجام شده توسط میوشی و همکاران (Miyoshi, Yuasaa et al. 2015) اثر جنس غشا و سایز حفرات آن در عملکرد بیوراكتور غشایی مورد مطالعه قرار گرفت. بهترین نتایج از نظر پایین بودن میزان گرفتگی با غشا PVDF با سایز حفرات ۰/۴ میکرومتر حاصل شد. مقدار MLSS در حدود ۱۵ گرم بر لیتر ثابت است.



## نتیجه

### ترتیب اثربخشی روش های کاهش گرفتگی

اصلاح مشخصات غشا

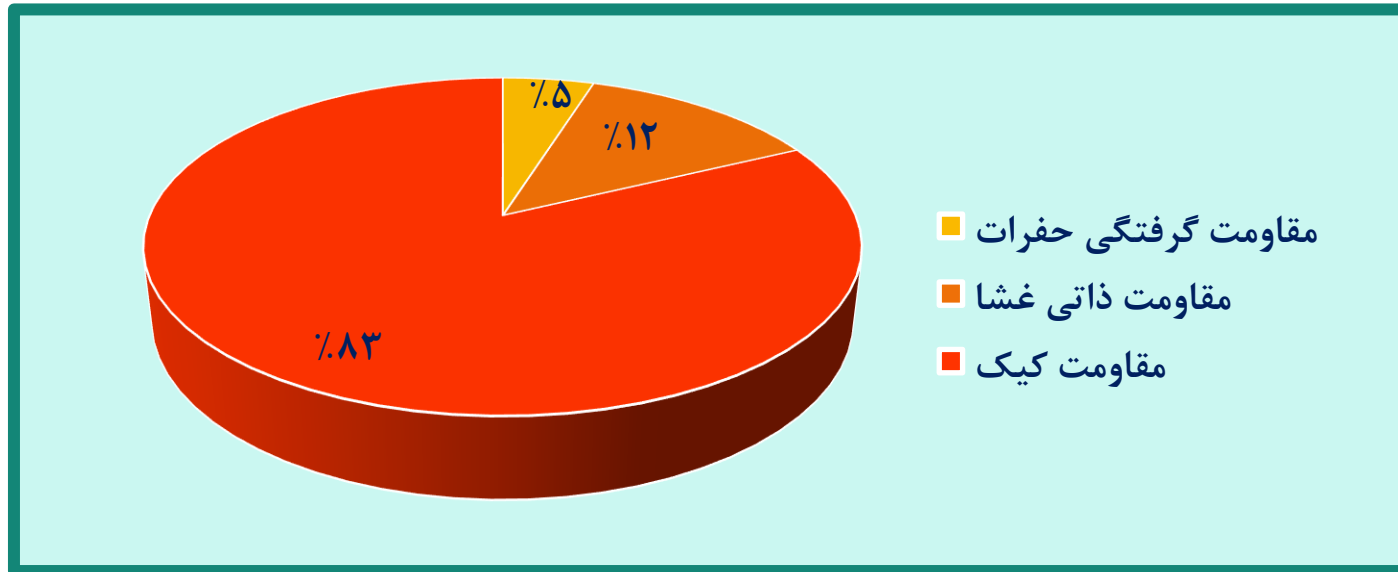
اصلاح مشخصات  
زیست توده

اصلاح مشخصات  
فاضلاب ورودی



مقاله	پیش بینی مشخصات گرفتگی غشا در بیوراکتور توسط نرم افزار					تطبیق نتایج شبیه سازی با یافته های پژوهشگر								
	ضخامت لایه کیک ( $\mu\text{m}$ )	تخلخل کیک	مقاومت ذاتی غشا ( $\text{m}^{-1}$ )	مقاومت گرفتگی ( $\text{m}^{-1}$ )	مقاومت کیک ( $\text{m}^{-1}$ )	MLSS (g/L)		TMP (kPa)		دما (C)	هوادهی (L/min)	شار غشا ( $\text{L}/\text{m}^2\text{h}$ )	HRT (hour)	SRT (days)
						نرم افزار	مقاله	نرم افزار	مقاله					
Erkan, Onkal ) Engin et al. (2016	89.41	0.5-0.105	1e5	8.677e8	1.114e13	14.28	14.3	0-10.6	0-10.67	20	-	0.654	31	20
Hao and ) (Liao 2015	2280	0.56-0.38	2.3e12	2.254e11	2.972e12	6.38	6.4	3.9-8.1	4-8	35	3.2	10	24	15
Wang, Wu et ) (al. 2010	3356	0.48-0.42	1.5e11	4.226e11	2.753e12	3.44-23.3	3.5-23.5	0-24.4	0-24.37	26-11	4800	15	2.2	10-40
Al-Amri, ) Salim et al. (2010	55.49	0.5-0.18	1e5	6.761e10	1.152e12	7.98-9.8	8-10	0-3.3	0-3.3	25	0.494	10	5.3	-
Tay, Liu et ) (al. 2018	1355	0.375-0.244	2.5e12	5.875e11	9.594e12	0.513	0.503	7.16-35.45	7.16-35.44	20	3	10	22	30
Miyoshi, ) Yuasaa et al. (2015	67.7	0.193-0.1	1.4e12	2.857e11	1.02e13	14.85	15	1.9-29.3	2-29.5	-	-	9.6	35	90

## راهکار اصلی کنترل گرفتگی ← کنترل تشکیل کیک



پایین نگه داشتن MLSS

هوادهی

طراحی نازل ها

## پیشنهاد

در این پژوهش، کلیه مطالعات در دسته‌بندی‌های مجزا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و هر دسته از مطالعات بر روی یک روش در کاهش گرفتگی غشا متمرکز بود، حال آنکه روش‌های ذکرشده می‌توانند بصورت ترکیبی برای کاهش گرفتگی غشا مورد استفاده قرار گیرند و مطالعه ترکیبی روش‌های کاهش گرفتگی می‌تواند پژوهشگر را به سوی دستیابی به یک الگوی چندجانبه در بهینه سازی سامانه بیوراكتور غشایی رهنمون سازد.





**با تشکر از توجه شما**

