



آب شیرین، انرژی پاک، هوای صاف: همه اش با آفتاب زلال

سید خطیب الاسلام صدرنژاد

دانشکده مهندسی و علم مواد
دانشگاه صنعتی شریف

آب، برق، هوا

- ❑ شیرین سازی آب: تبخیر و تقطیر
- ❑ تصفیه پساب: سم زدایی و ضد عفونی شهری-روستایی صنعتی-بیمارستانی
- ❑ تولید برق: فتوولتائیک
- ❑ پالایش هوا: تبدیل ترکیبات مضر به بی ضرر

تهیه آب شرب و کشاورزی

- ❑ شیرین سازی آب: تبخیر و تقطیر
 - ❑ حذف مواد زاید: جامدات معلق، گازها، آلاینده های شیمیایی، مواد بیولوژیکی، ...
 - ❑ فرایندهای فیزیکی: فیلتراسیون، ته نشینی، تقطیر و فرایندهای زیستی (فیلترهای شنی و ماسه ای کند، کربن اکتیو یا زغال فعال)
 - ❑ فرایندهای شیمیایی: کلرزنی، ازن زنی، استفاده از تابش الکترومغناطیسی مانند اشعه ماوراء بنفش، سم زدایی و ضد عفونی
- چالش ها:** هزینه زیاد-از بین رفتن آلاینده ها و نهایتا بازگشت به اکوسیستم-محصولات جنبی جهش زا و ایجاد سرطان

تهیه آب سالم

موجودات
زنده در منبع
آب شرب

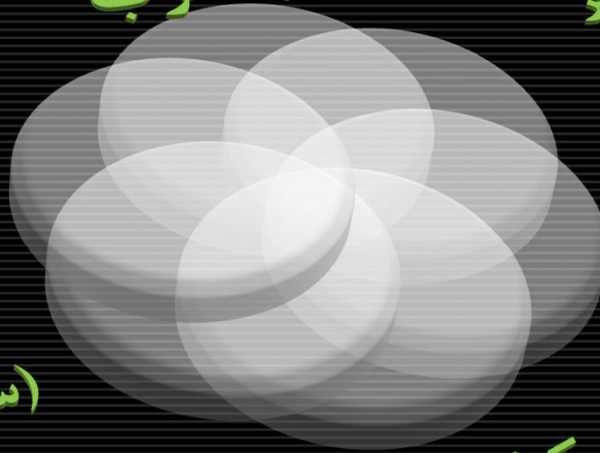
تأثیر غلظت و
ویسکوزیته بر
تصفیه

هزینه گندزداها

مشکلات ناشی از
گندزدایی
(سمیت و طعم و
بو در آب گند
زدایی شده)

تشکیل محصولات
جانبی گندزدا و
میزان آنها

کیفیت آب
فرآیندی



عوامل موثر بر بازدهی

نوع و غلظت میکروارگانیزم

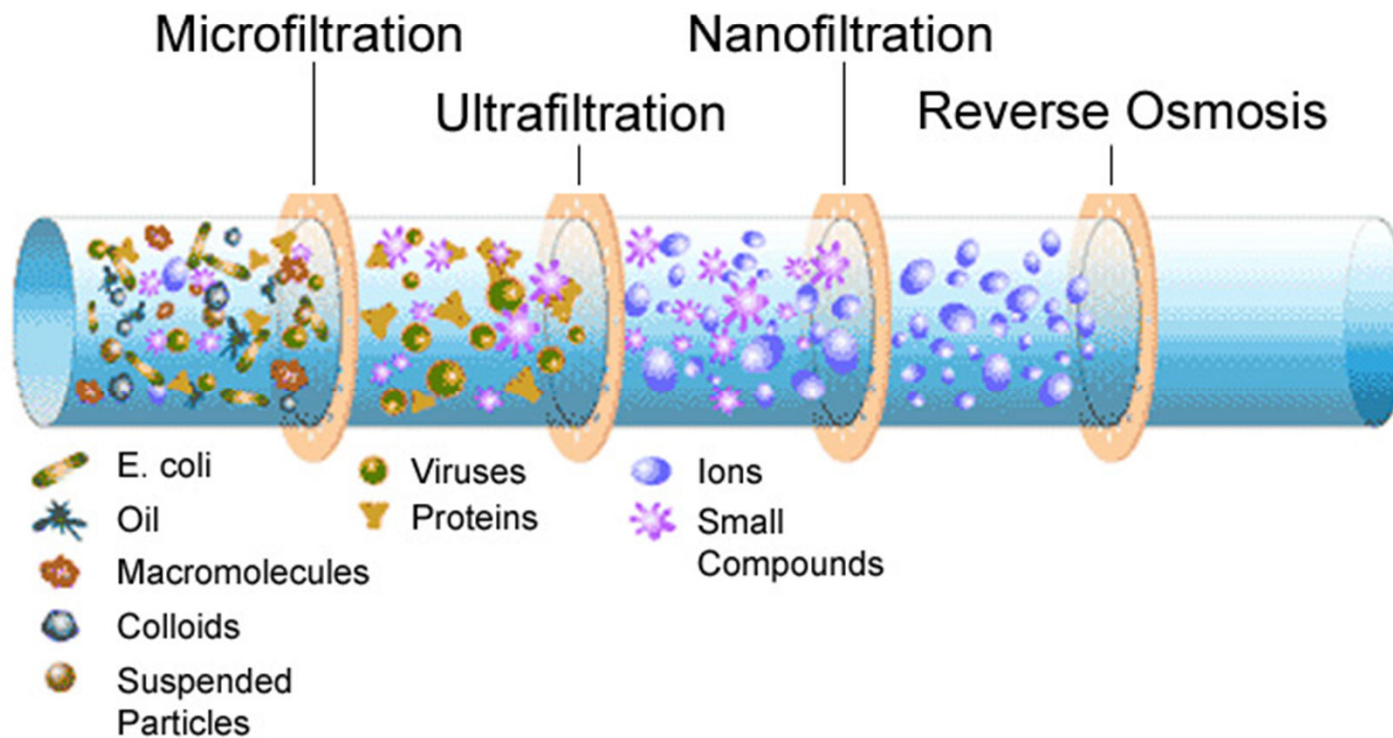
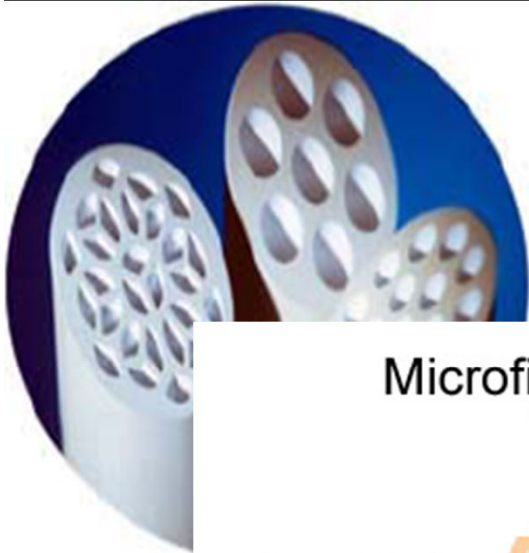
نوع و غلظت گندزدا

زمان تماس آب با گندزدا

کیفیت شیمیایی و دمای آب

pH و کدر بودن آب در تصفیه با نور

فیلتراسیون غشایی: نمونه ای از تصفیه فیزیکی



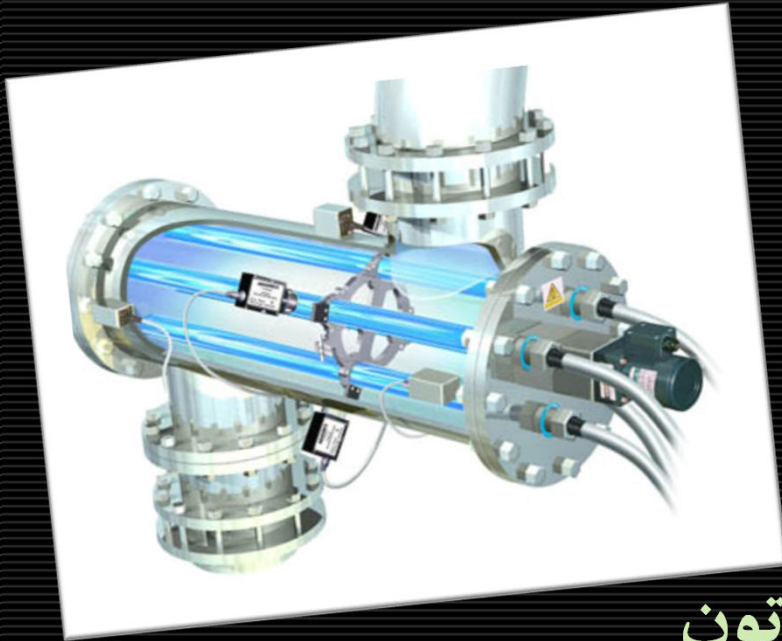
مکانیزم عمل ضد عفونی کننده ها



پتانسیل اکسایشی گونه های اکسنده

Oxidizing Agent	Oxidation Potential : Relative to normal hydrogen electrode (NHE)
Hydroxyl Radical ($\bullet\text{OH}$)	2.8 V
Ozone (O_3)	2.07 V
Hydrogen Peroxide (H_2O_2)	1.78 V
Hypochlorous acid (HOCl)	1.49 V
Chlorine (Cl)	1.36 V

شرایط کارآمدی کاتالیست



- سطح مقطع بزرگ
- داشتن بیشترین سطح واکنش
- انرژی شکاف نواری کم
- جذب پرتوهای پر شدت
- بکارگیری روشهای ترکیبی
- جذب کسر بزرگی از انرژی فوتون
- انتقال راحت الکترون از لایه ظرفیت به لایه هدایت

گستره عملکرد فتوکاتالیستها

- حذف عوامل پاتوژن
 - باکتری و ویروس
- خنثی سازی فلرات سمی و سنگین
 - جیوه، کروم، سرب
- استحاله ترکیبات آلی
 - الکلها، اسیدهای کربوکسیلیک، ترکیبات آروماتیک کلردار
- حذف مواد آلی طبیعی
- استحاله ضایعات انسانی
- حذف ترکیبات معدنی
 - بروماتها، اکسیدهای نیتریک، پالادیم و رودیم
 - گونه های سولفور، نیتریتها و نتراتها

ضد عفونی با نور فرابنفش در حضور TiO_2

□ مکانیزم مستقیم

نور UV مستقیماً در متابولیسم دخالت کرده و ساختار سلولی باکتری را تخریب می‌کند.

□ مکانیزم غیر مستقیم

نور UV با اکسیژن واکنش داده و رادیکالهای اکسیژن و پراکسید هیدروژن تشکیل می‌دهد که باعث تخریب باکتری می‌شود.

کاربری سیستم های اکسیداسیون پیشرفته

تصفیه پساب های صنعتی شامل صنایع شیمیایی، کشاورزی، تقطیری، پالپ، کاغذ، رنگ، نساجی، نفت و آبکاری

تصفیه پساب های خطرناک بیمارستانی و کشتارگاه ها

حذف گونه های پاتوژن، باقیمانده مواد دارویی مقاوم و مواد هورمونی در تداخل با محیط زیست از واحدهای تصفیه پساب شهری (بعد از تصفیه ثانویه)

حذف میکروآلاینده های آلی مانند حشره کشها و حذف فلزات سنگین مانند آرسنیک و کروم از آب

کنترل و پایدارسازی لجن بیولوژیک حاصل از واحدهای تصفیه پساب

مکانیزم ضد عفونی سازی

حمله گونه های اکسنده به :

■ دیواره سلول

■ غشا سلول

■ RNA و DNA

از بین رفتن دیواره سلول منجر به :

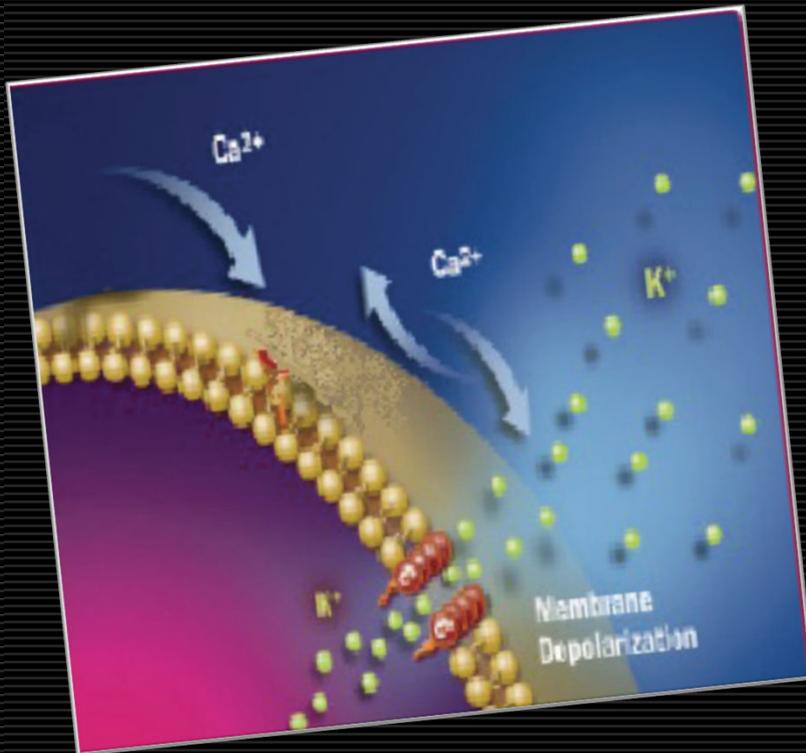
■ از دست رفتن سیال درون سلولی

■ افزایش تراوایی یونی

■ جلوگیری از تنفس سلولی

■ حمله گونه های اکسنده به اجزای داخل سلول

■ مرگ سلول



عوامل موثر بر کارایی UV در غیرفعالسازی گونه های بیمارستانی

- اکسیژن محلول
 - تولید گونه های اکسنده
 - تاثیر دمای اکسایش بر گونه های باکتریایی
 - بهم زدن
- جذب و پخش نور
تماس رادیکالها با مواد آلی

حذف فلزات سنگین

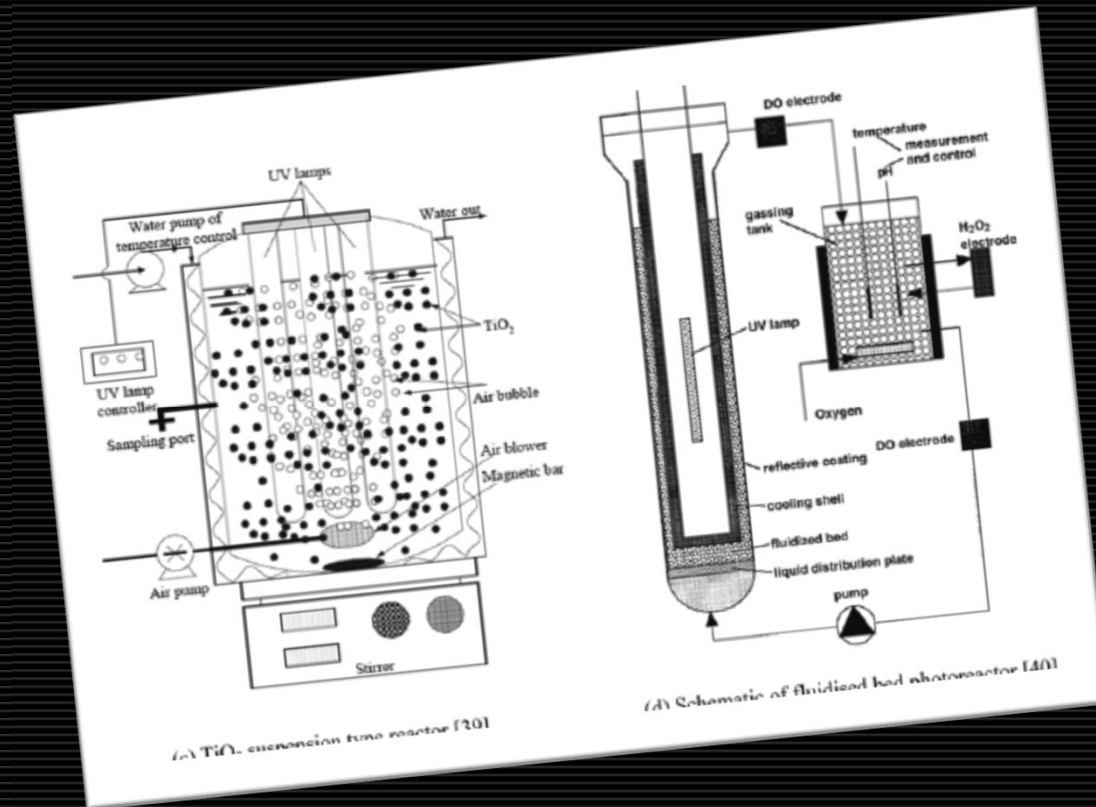
□ الکترونهاى آزاد لایه هدایت می توانند فلزات سنگین را احیا کرده و آنها را رسوب دهند:



مزایای روش فتوکاتالیستی

- عدم تولید لجن ثانویه
- عدم تولید محصولات جانبی سمی
- کارایی حتی در غلظت‌های پایین آلاینده
- عدم مصرف مواد شیمیایی
- فعال ماندن دائمی کاتالیست
- استفاده از آفتاب
- کمی هزینه

طبقه بندی راکتورهای فتوکاتالیستی



بر اساس شکل

چاه غوطه وری

حلقوی

بیضوی

چند لامپی

لایه ای

بستر سیال

نوع فرایند فتوکاتالیز

معلق

ثابت

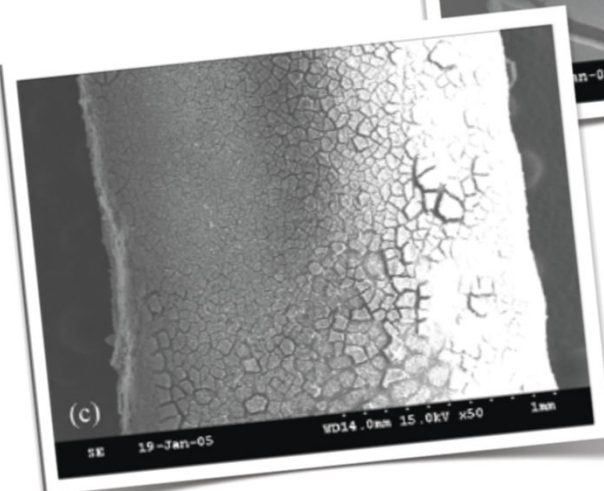
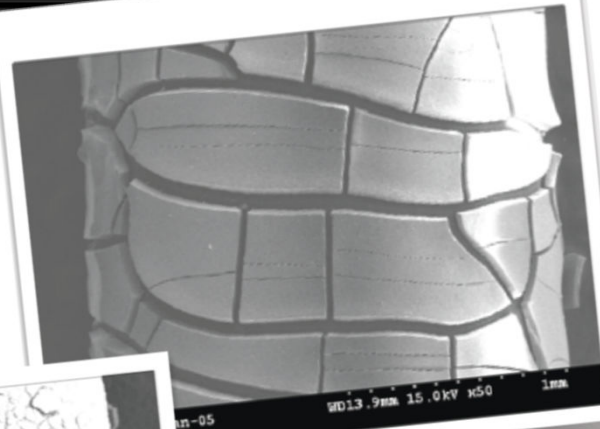
منبع انرژی

خورشید

الکتریسیته

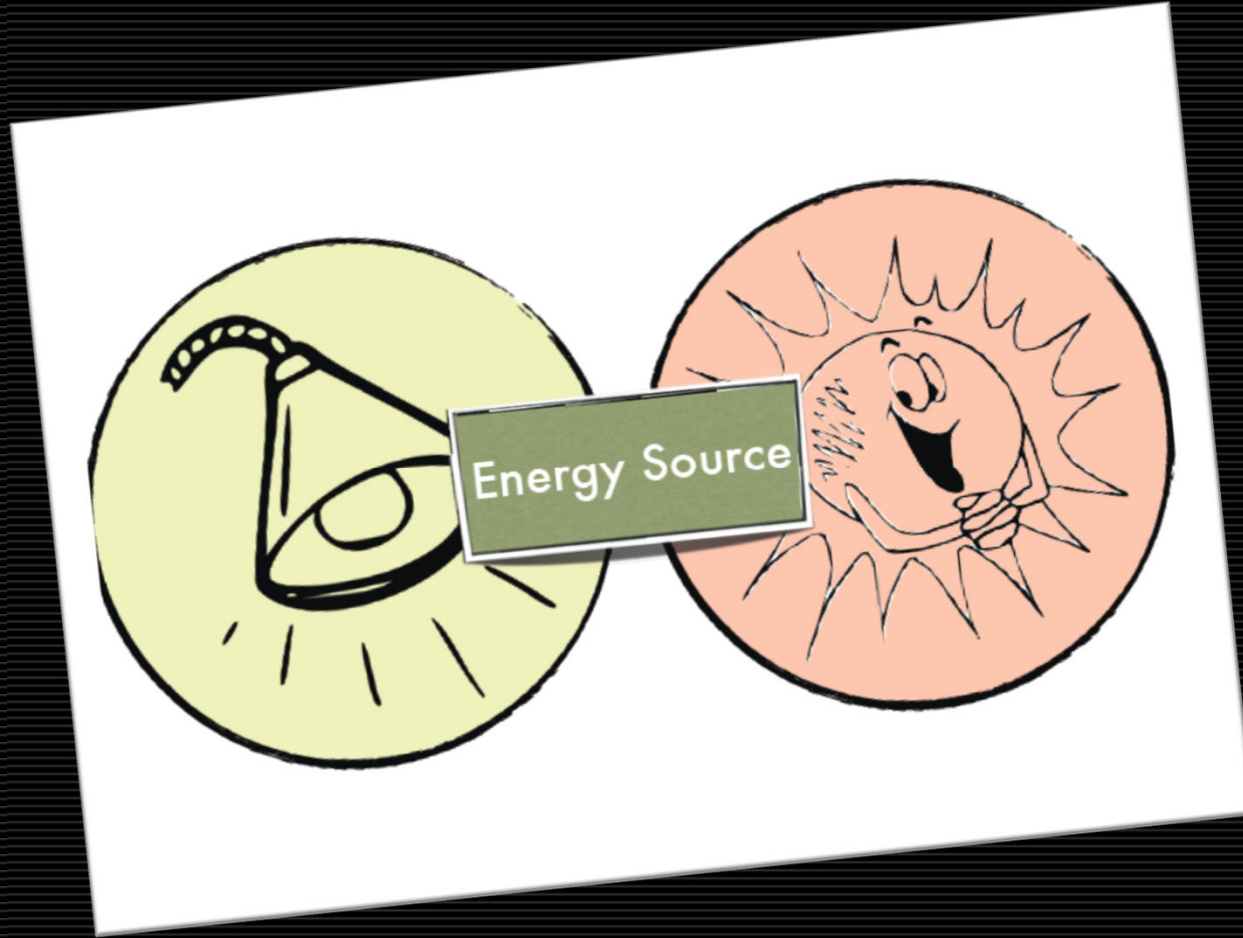
مشکل گرفتگی در مقیاس نانو

Fouling



PMR

منبع تامین انرژی



انتخاب راکتور

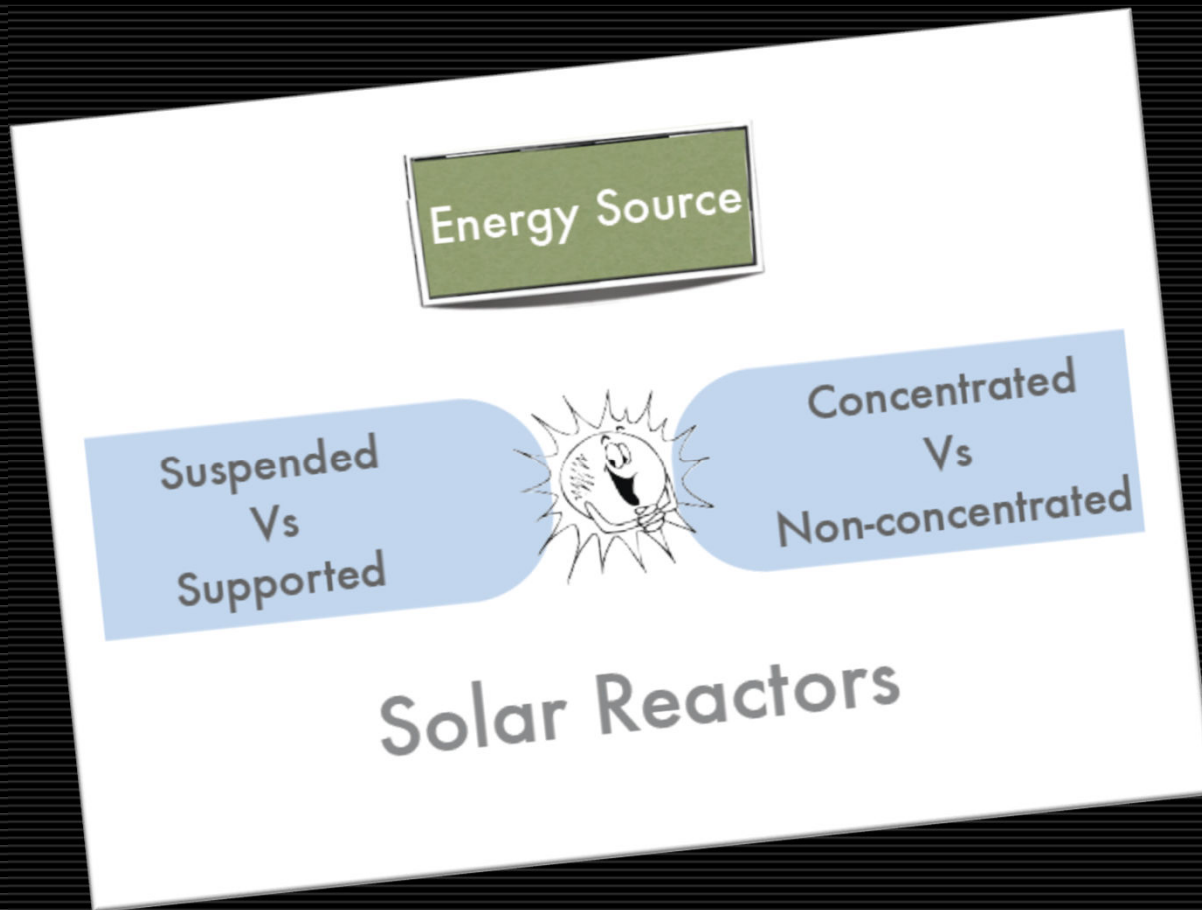
راکتور غیر متمرکز

- حجم بالاتر راکتور
- محدودیت فشار
- نبود شرایط افت نور
- قابلیت استفاده از نور خورشید و لامپ UV

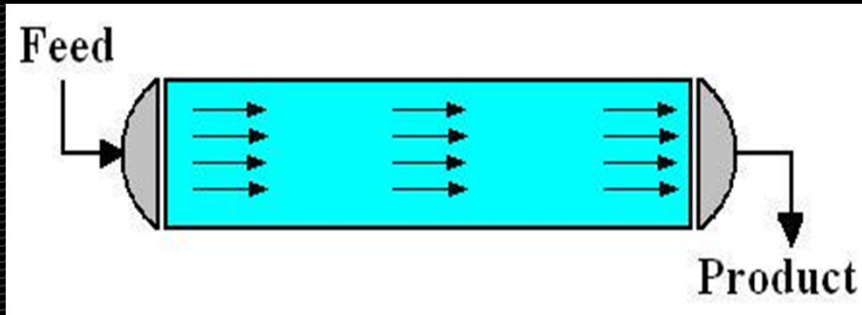
راکتور متمرکز

- حجم راکتور: کوچکتر
- دبی جریان: بزرگتر
- انتقال جرم: بهتر
- امکان افت نور

راکتورهای متمرکز یا غیرمتمرکز؟



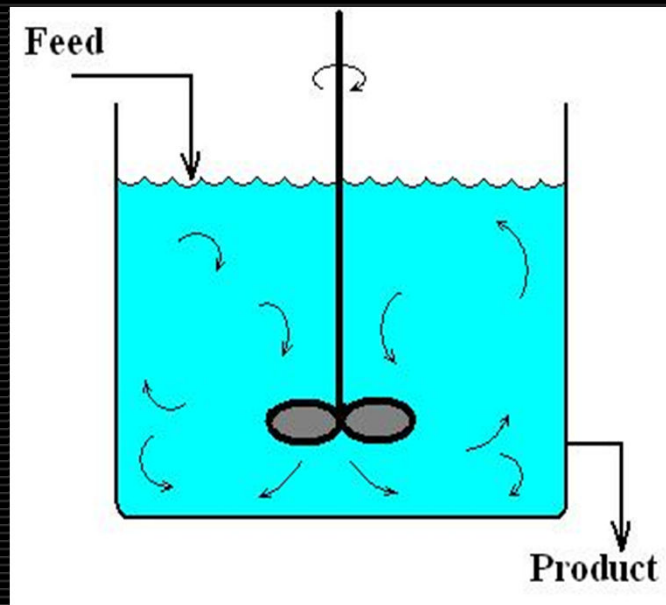
لوله ای یا مخلوط شونده؟



الف) **Plug Flow** (بدون بهم خوردن)

■ اجزاء سیال با هم مخلوط نمی شوند.

■ زمان اقامت برای تمام اجزاء سیال یکسان است.



ب) **Stirred Flow** (مخلوط شونده)

■ محتویات بخوبی مخلوط می شوند.

■ ترکیب جریان خروجی با سیال موجود یکسان می باشد.

حداکثر سرعت، حداقل هزینه؟

عوامل مؤثر بر انتخاب نوع و ابعاد راکتور:

مشخصات واکنش - مقدار مواد ترکیب شونده و محصولات واکنش - هزینه ساختن و بکار بردن سیستم - زمان موجود برای مطالعه

ملاک: حداکثر سرعت و حداقل هزینه

تابع منافع: کلیه هزینه‌های سرمایه گذاری و جاری همراه با تأثیر عواملی همچون غلظت‌های ورودی و خروجی و سرعت پیشرفت واکنشها در آن در نظر گرفته شده و به صورت معادله‌ای نوشته می‌شود

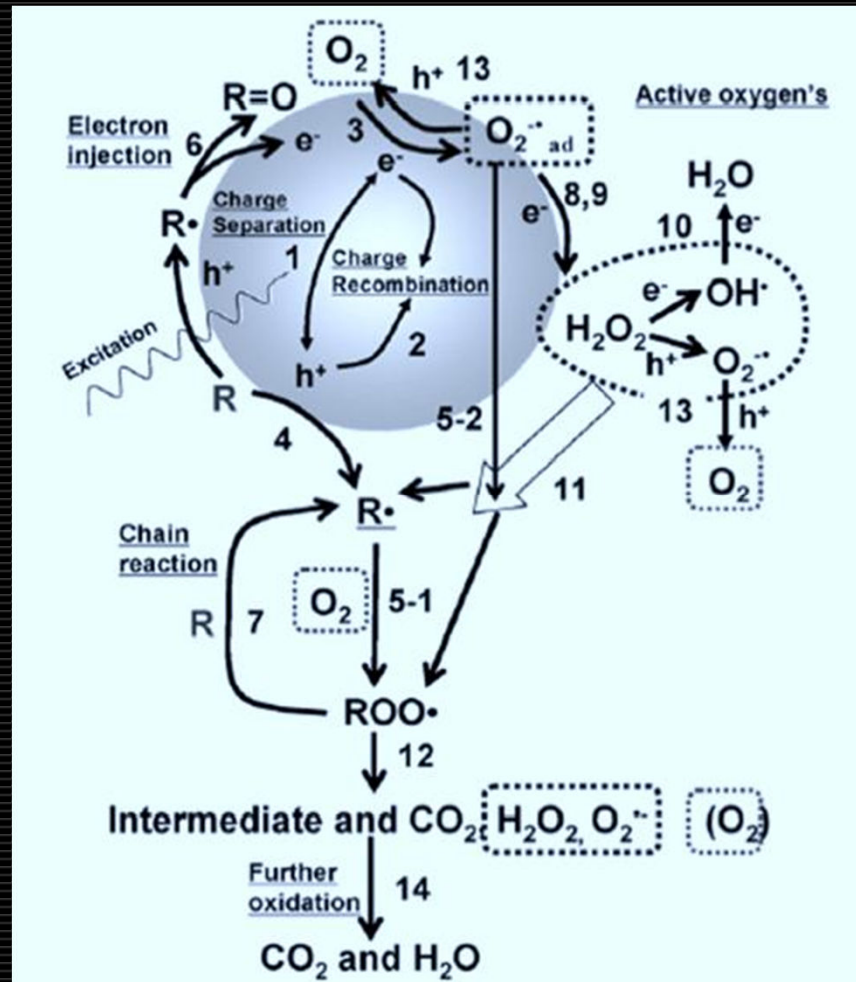
انواع راکتور فتوکاتالیستی

- ❑ **Immersion well photoreactor**
- ❑ Annular photoreactor
- ❑ Elliptical photoreactor
- ❑ Multi-lamp photoreactor
- ❑ Film type photoreactor
- ❑ **Fluidized bed photoreactor**

■ نوع فرایند فتوکاتالیز

- ❑ Suspended
 - ❑ Immobilized
-

مکانیزم اثر نور



فرایند اکسیداسیون پیشرفته

Energy of light

Initial excitation

Electron-hole production

Free radicals

Acceleration of photo-catalytic reactions

For decomposition of pollutants

TiO₂

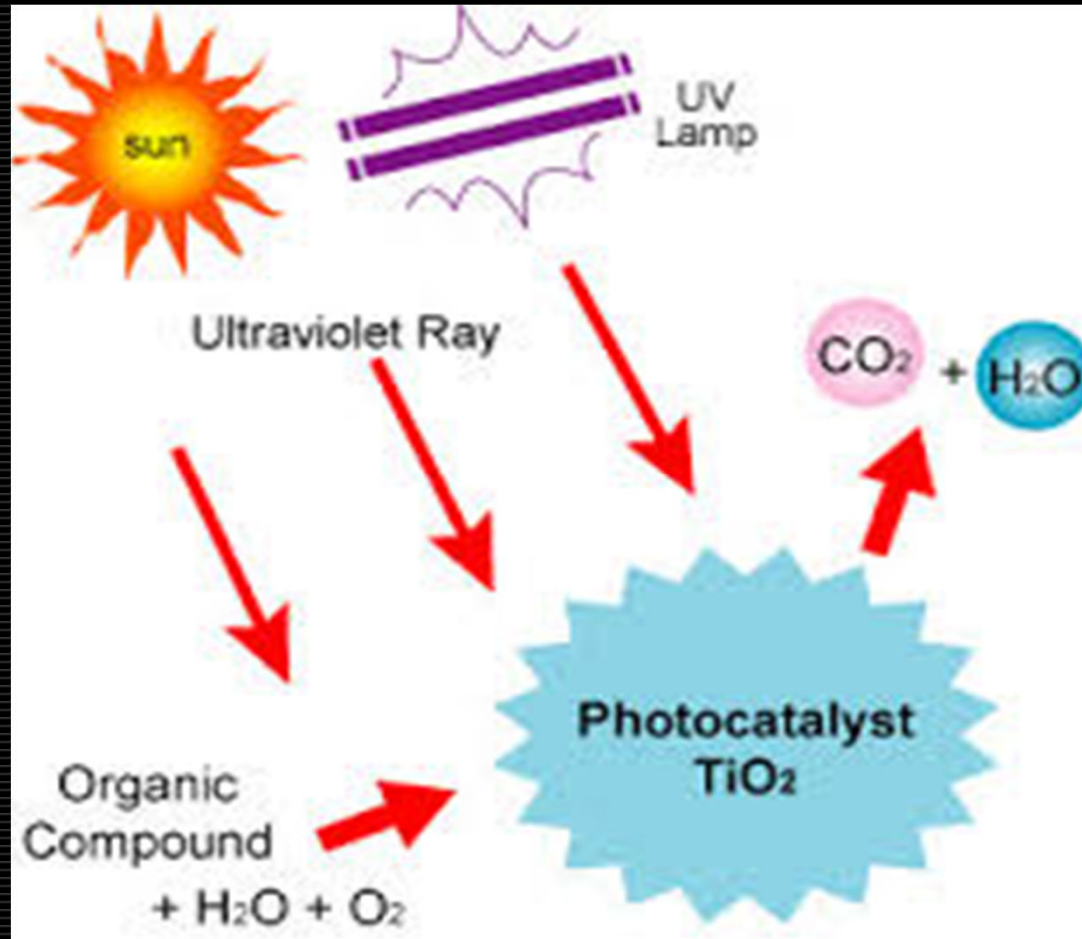
□ Favorable

- Medium band gap (3.2eV)
- Inexpensive
- Chemically stable
- Non-toxic

□ Photo-catalytic activity

- n-type semiconductor
-

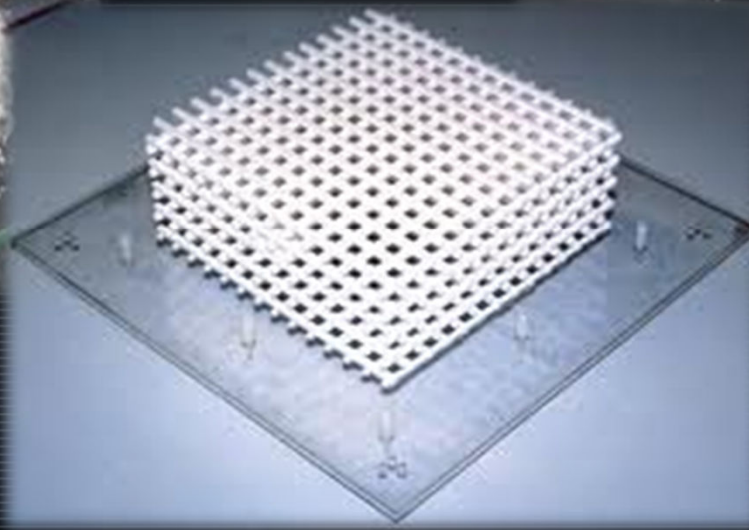
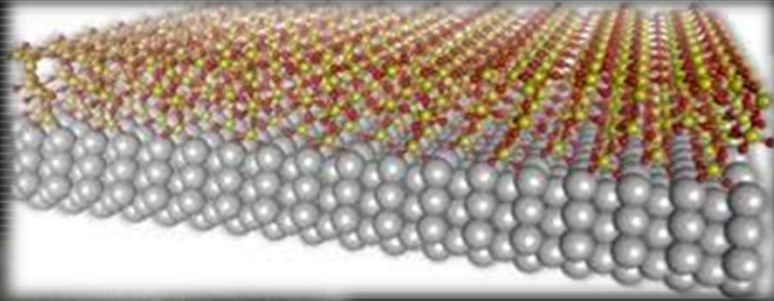
Overall process



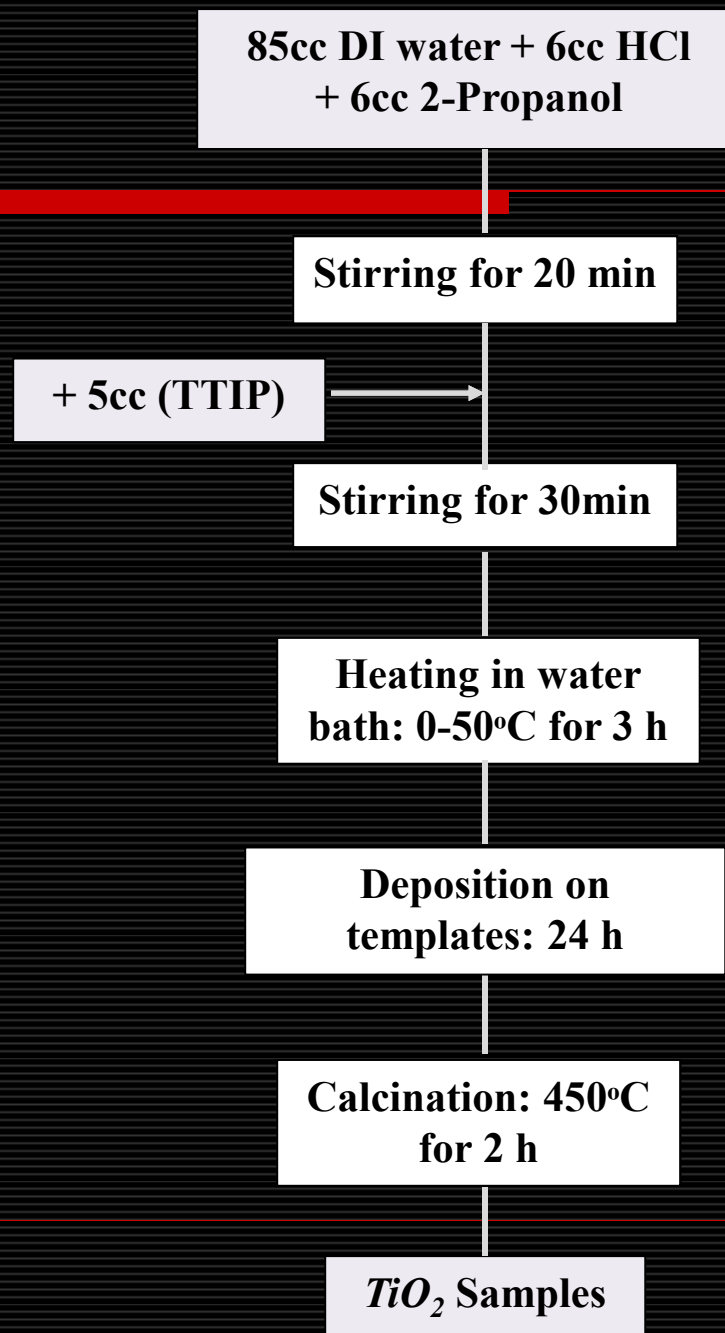
پارامترهای موثر

- **Crystallinity**
 - **Phase structure**
 - **Crystallite size**
 - **Porosity**
 - **Shape**
 - **Single, double or multi layer**
-

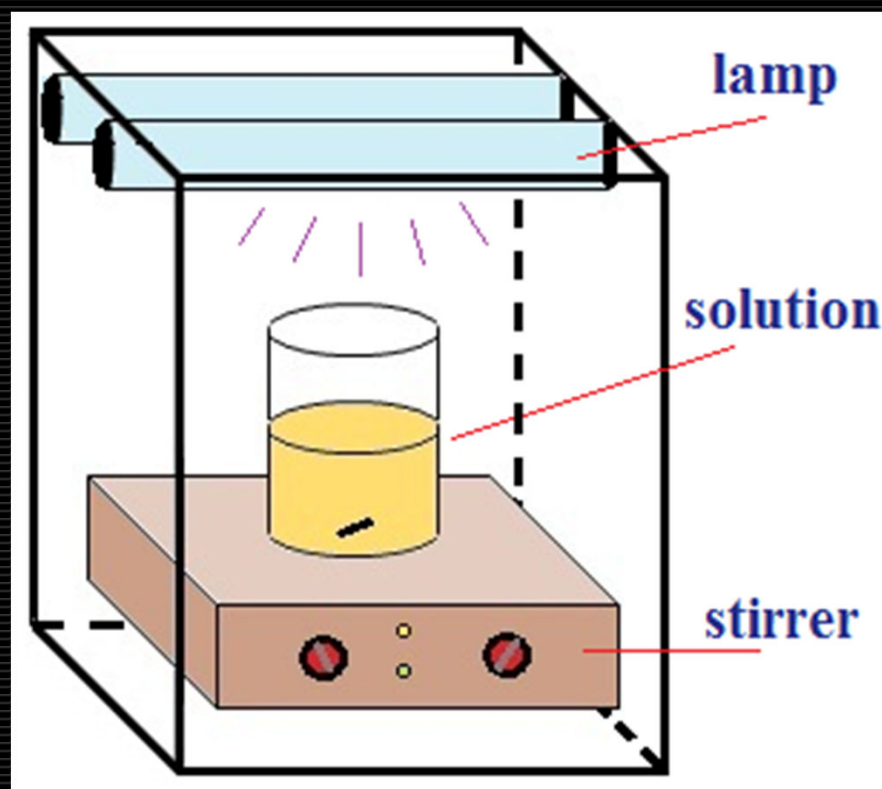
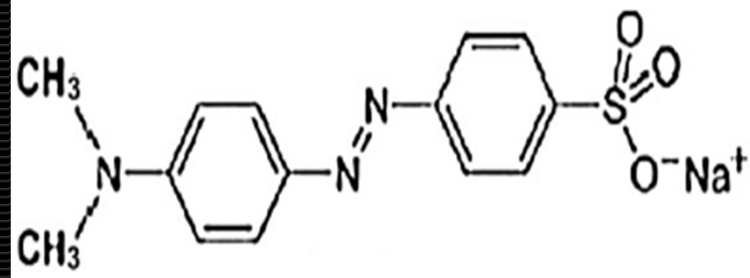
هندسه



Process



Methyl Orange (MeO)



واکنش

$C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$
Solution: 10 mg/L, 60 cc

TiO_2 , 150 mg/L

Stirring at dark, 1 h

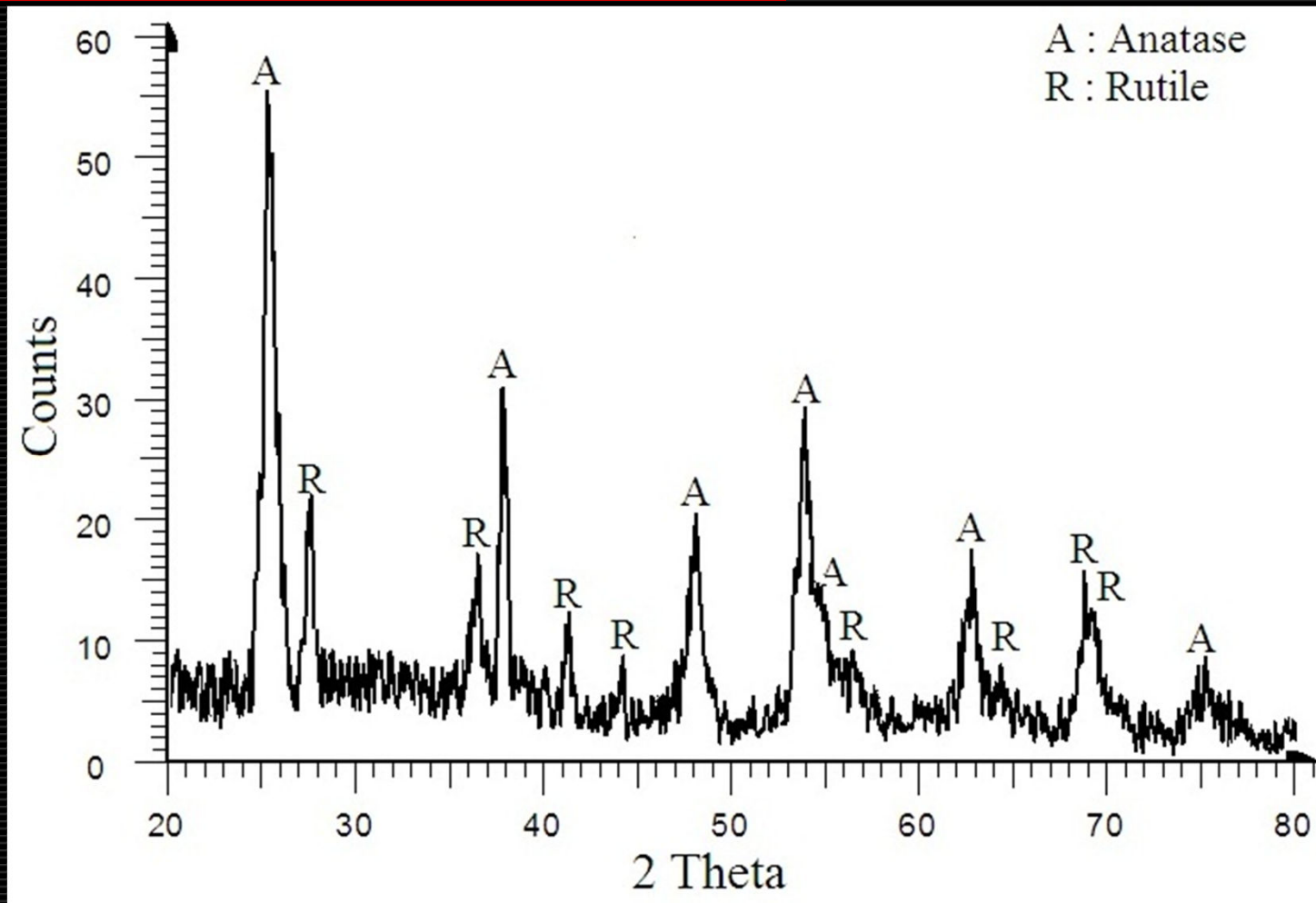
UV light, 2 × 6 W lamps

Sampling every 30 min

Analysis by UV-vis
Spectrophotometry



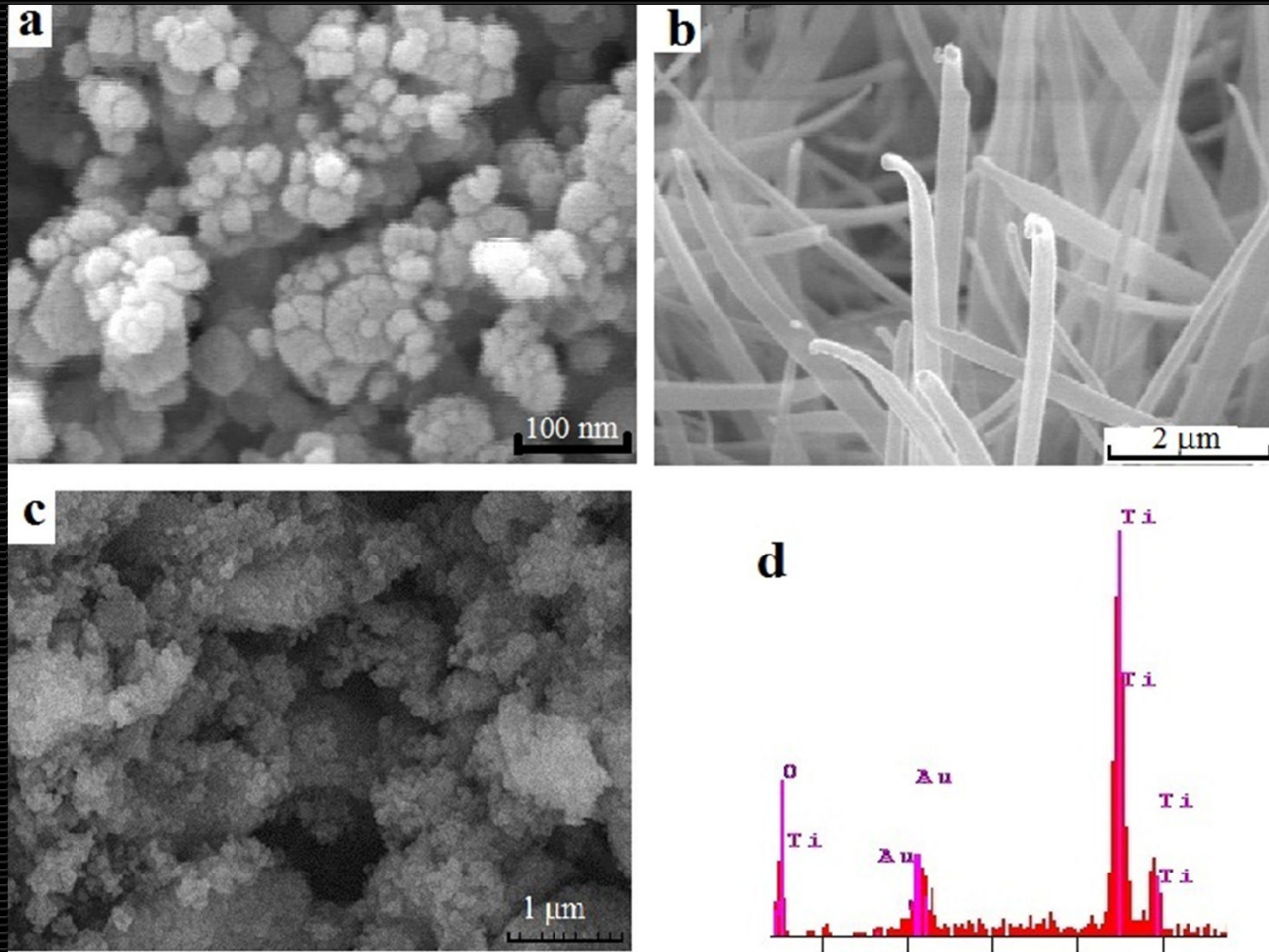
XRD pattern



آنالیز

- **Average crystalline size:**
 - 21 nm Anatase**
 - 19 nm Rutile**
 - **Weight fractions**
 - $W_A = 0.27$, $W_R = 0.73$**
-

SEM images



(a) Powder, (b) Hollow Fiber, (c) Film, (d) EDS result

Image of network samples

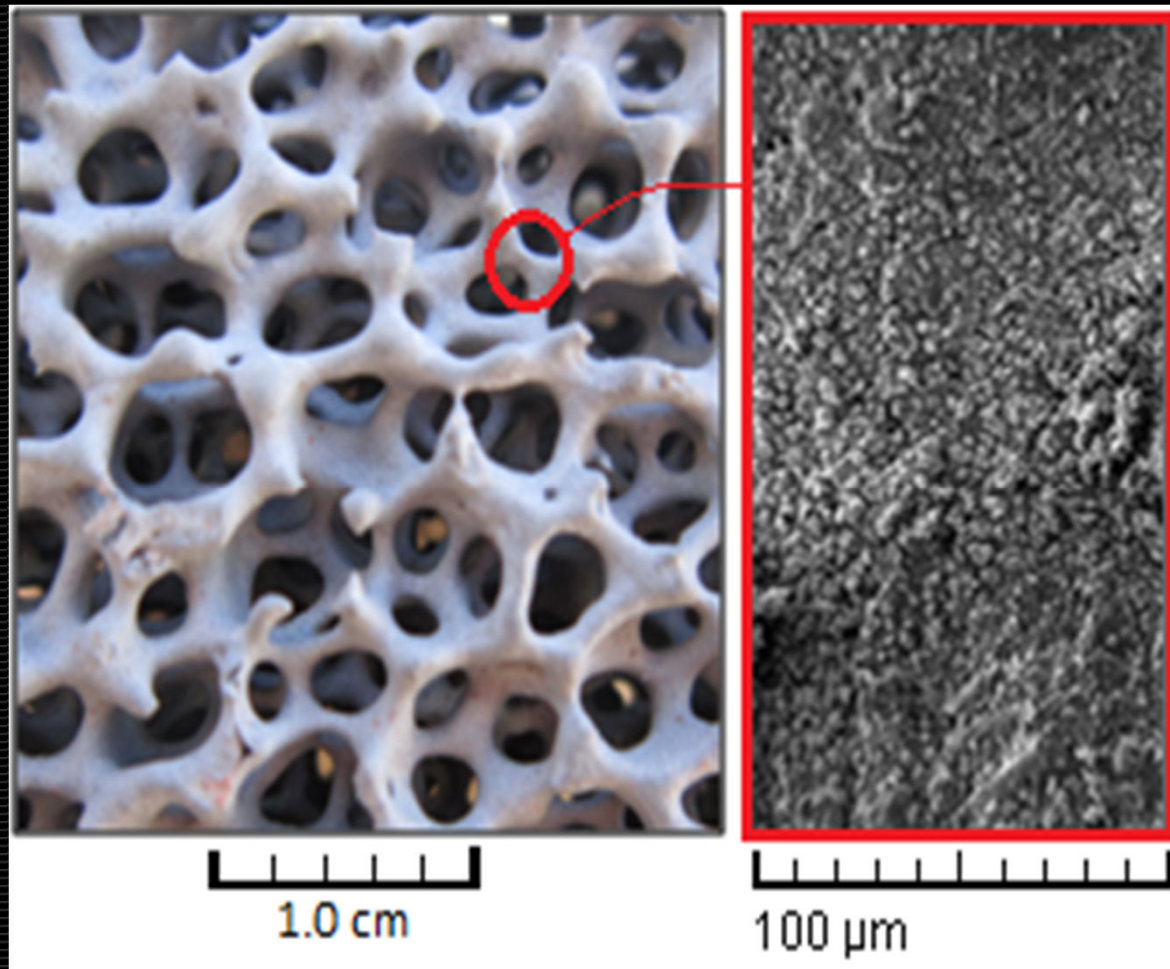
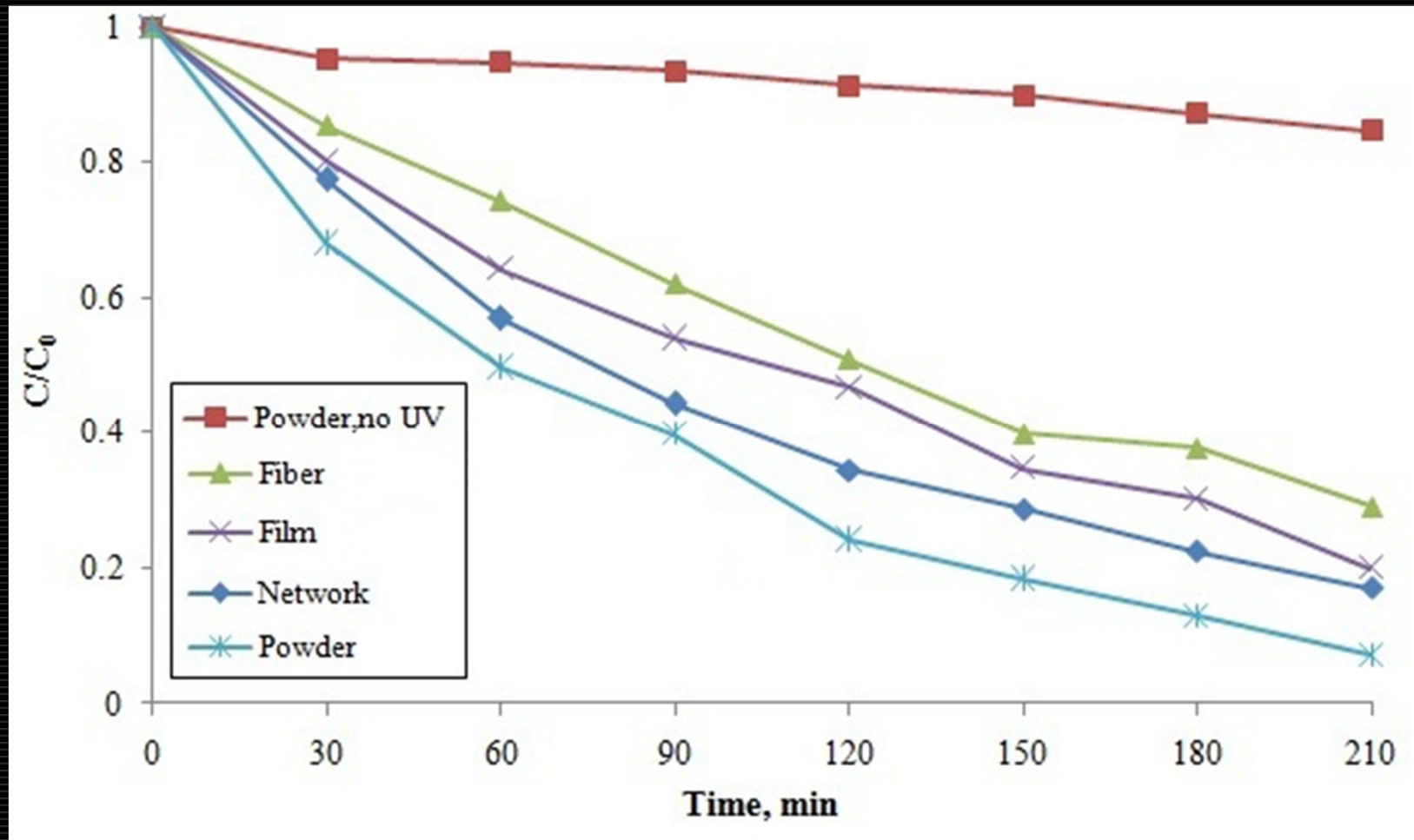


Photo-catalytic MeO degradation

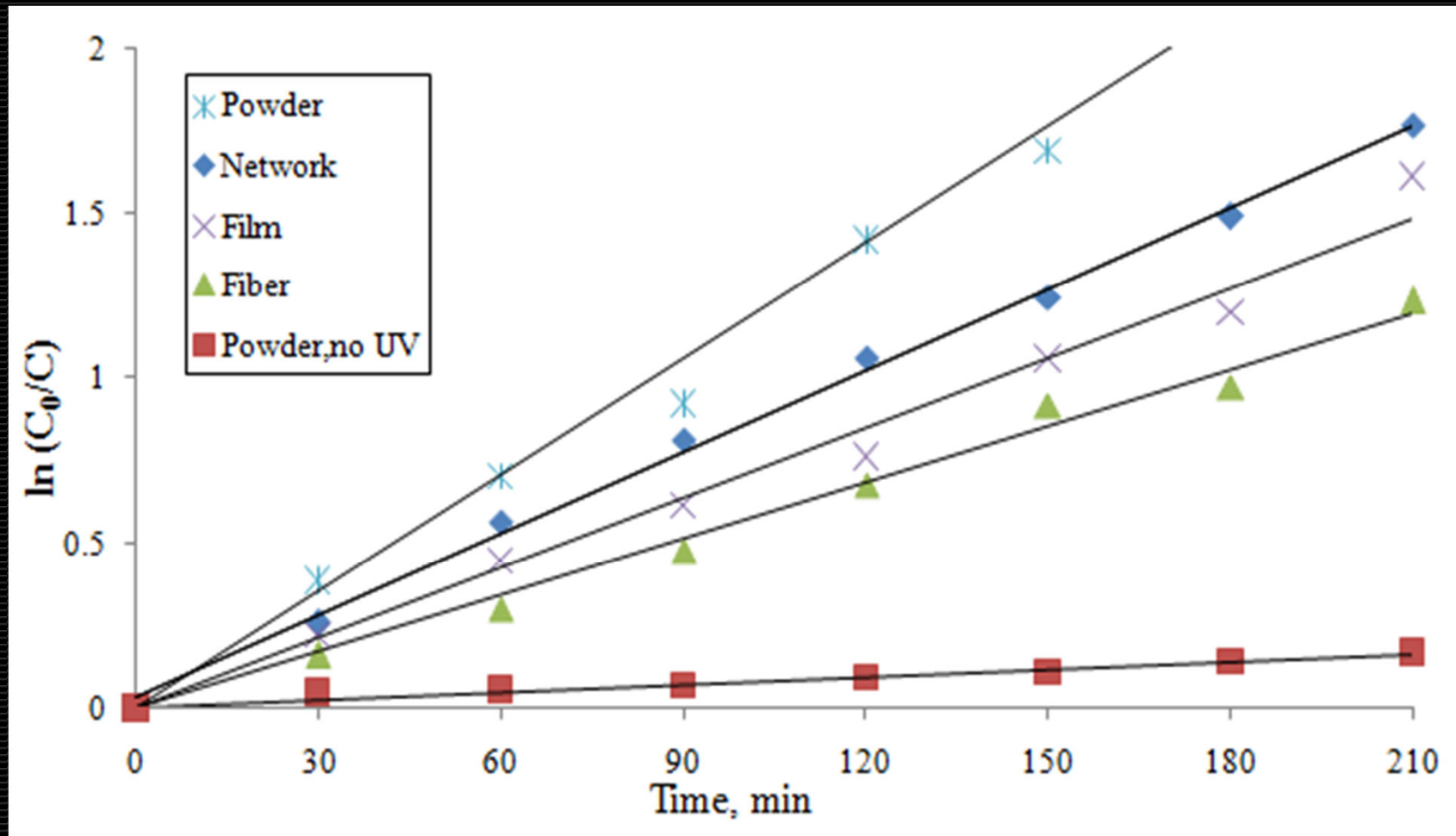


Langmuir-Hinshelwood Model

$$\frac{dC}{dt} = k \frac{KC}{1+KC} \quad \rightarrow \quad \ln\left(\frac{C_0}{C}\right) + K(C_0 - C) = kKt$$

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = kKt = k't$$

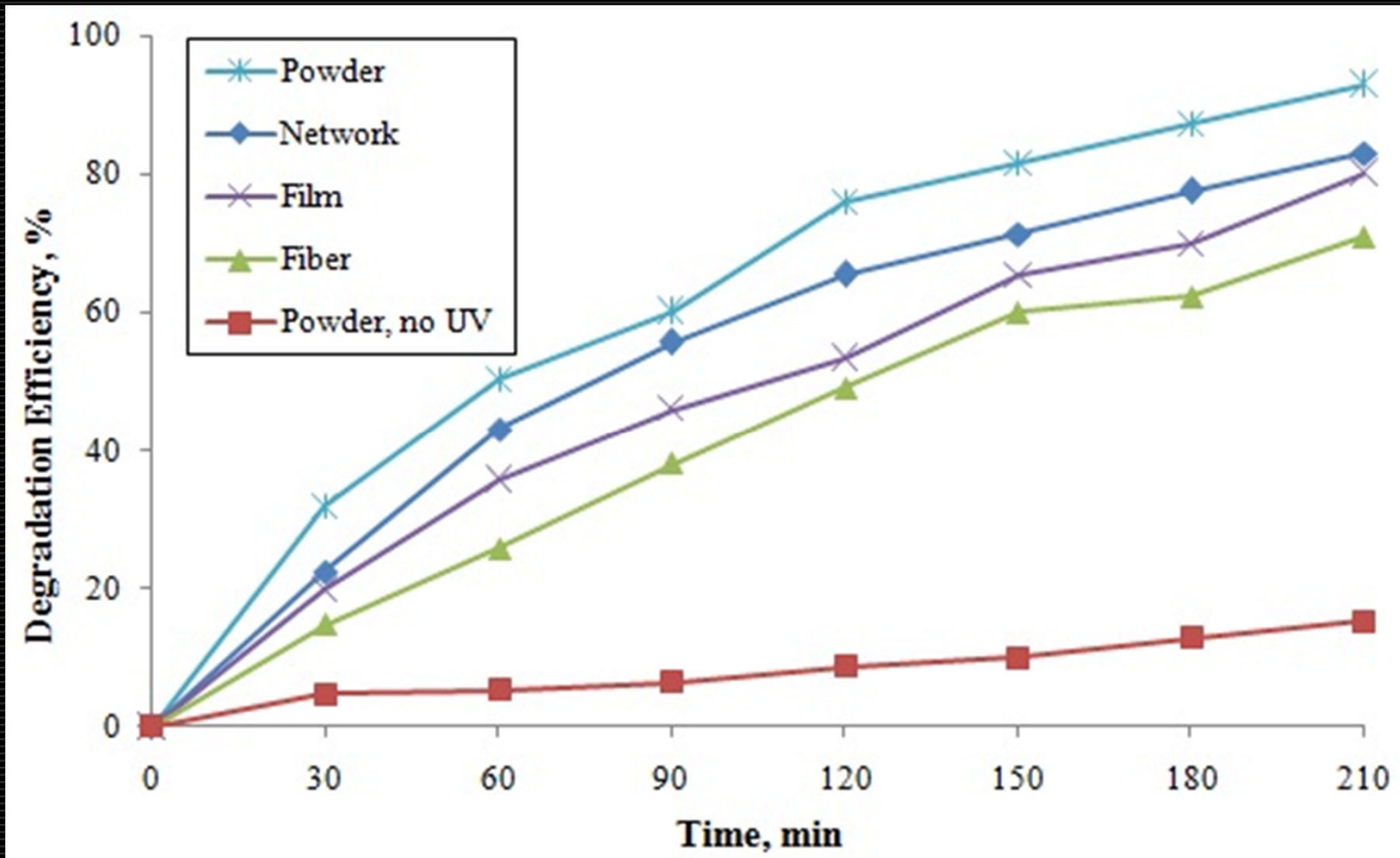
Model test



Rate Constants

Sample	k' (1/min)	R^2
Powder	0.0118	0.989
Network	0.0084	0.997
Film	0.0077	0.984
Fiber	0.0059	0.991
Powder, No UV	0.0008	0.957

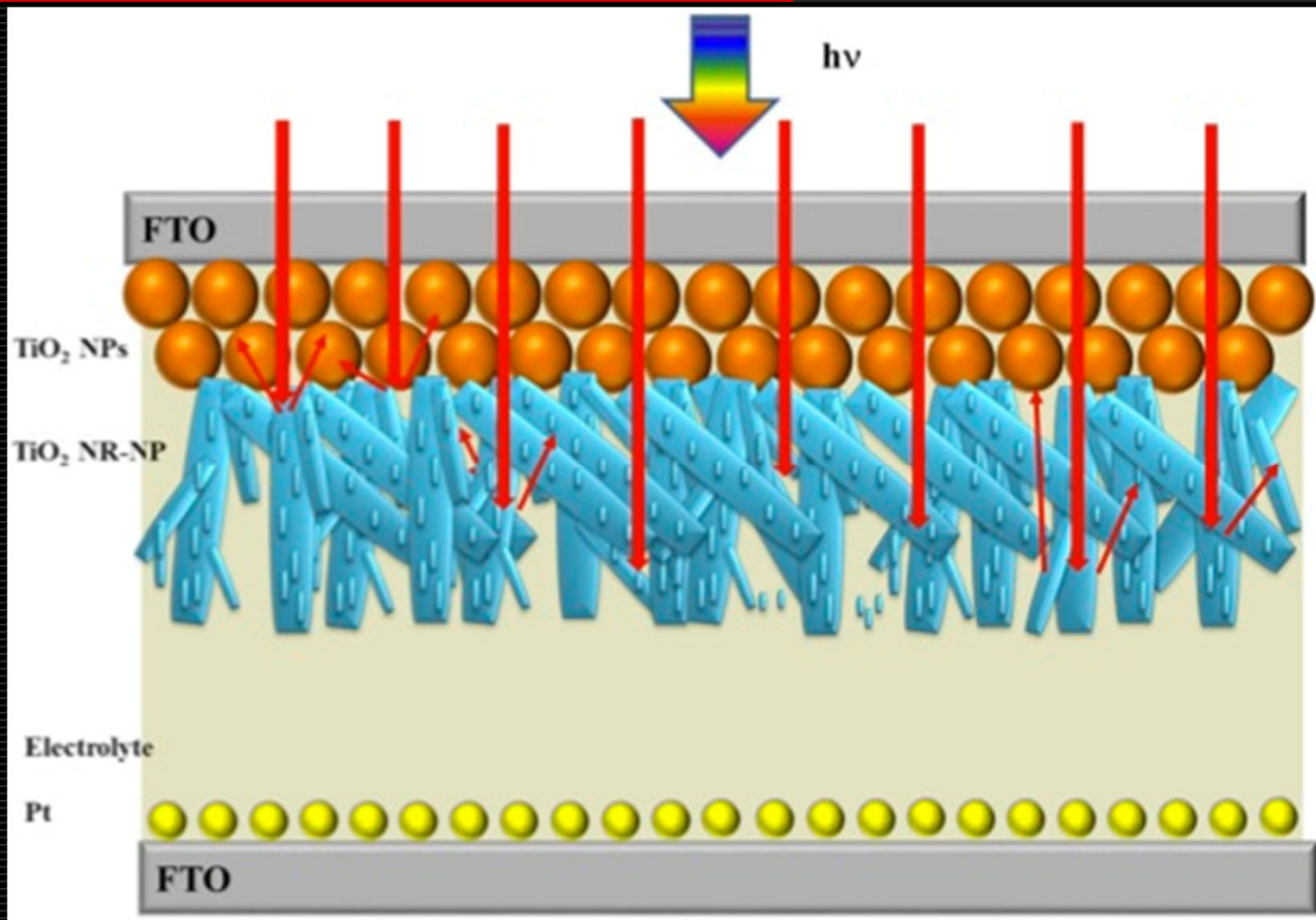
Degradation Efficiency



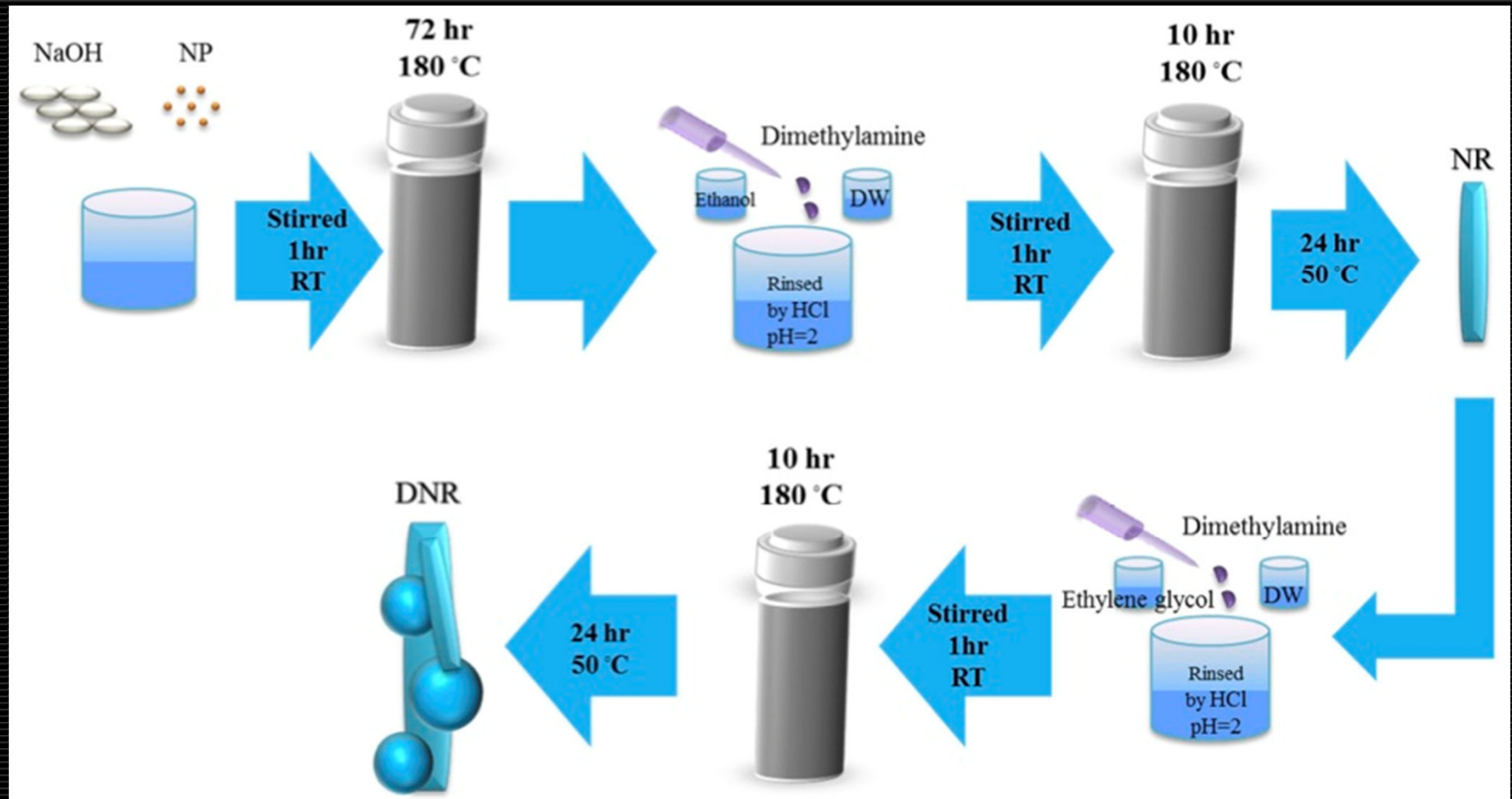
Efficiency of Photo-catalyst

Sample	$\eta\%$ (210 min)	$t_{1/2}$ (min)
Powder	92.9	60
Network	83.0	77
Film	80.1	105
Fiber	71.0	122
Powder, No UV	15.4	-

سلول خورشیدی نانومیله-نانوذره

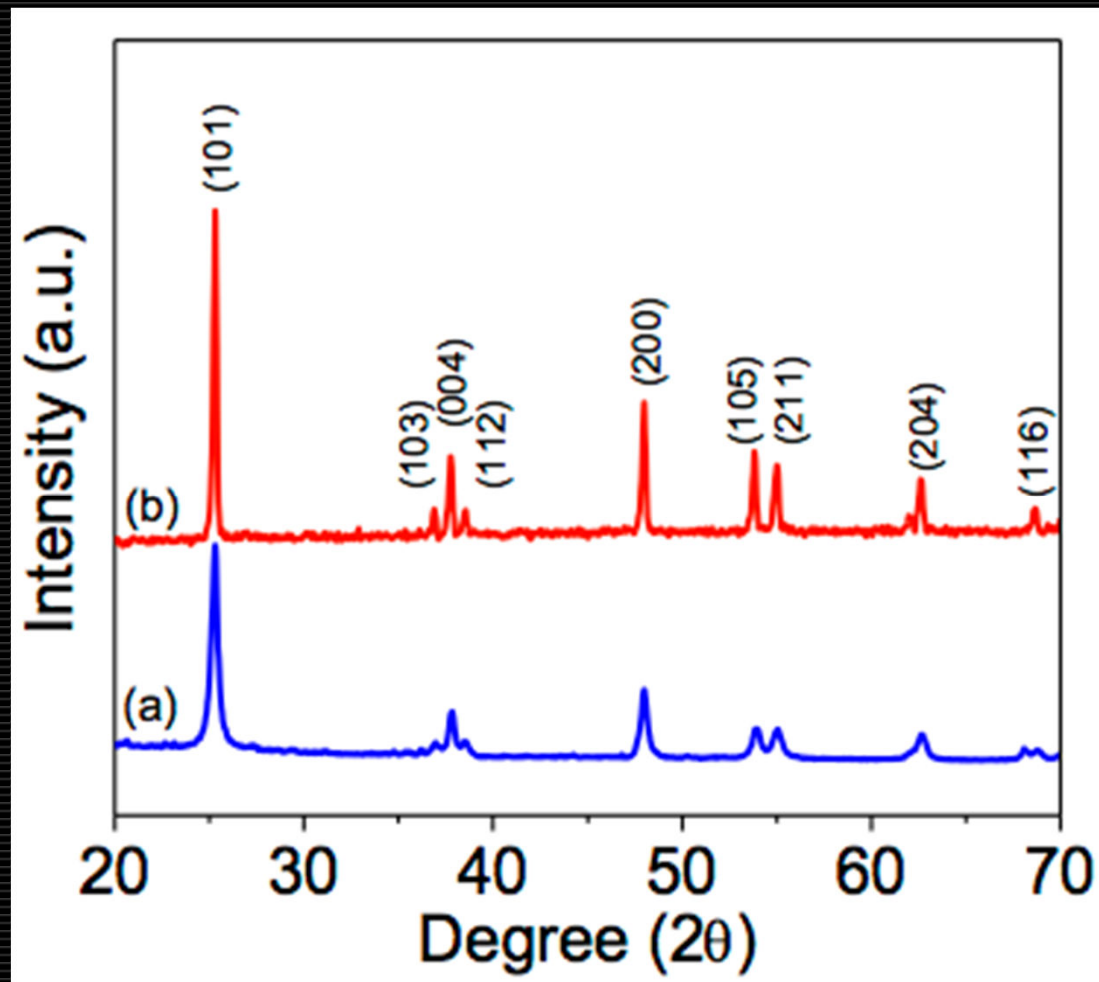


گردش کار روش ساخت نانو ذرات

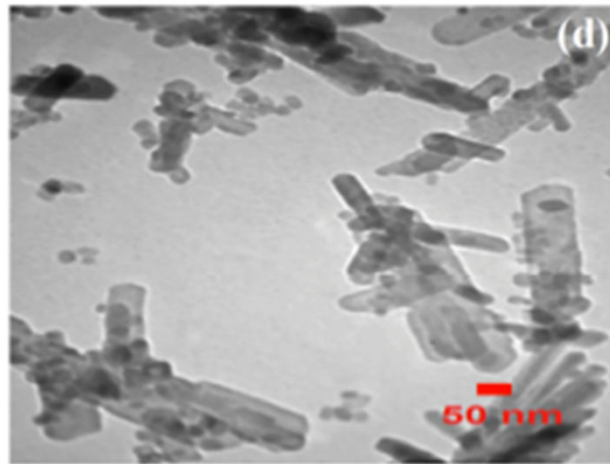
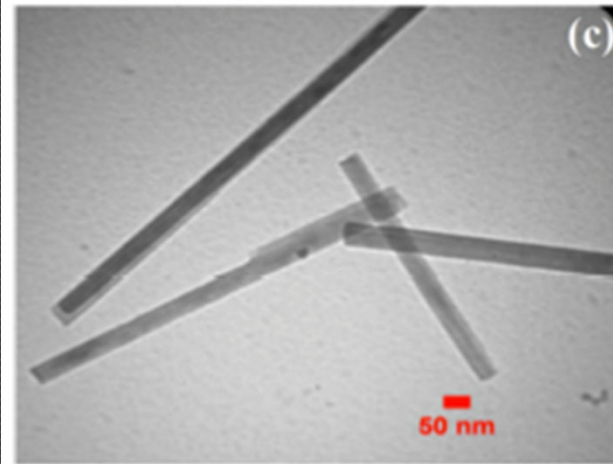
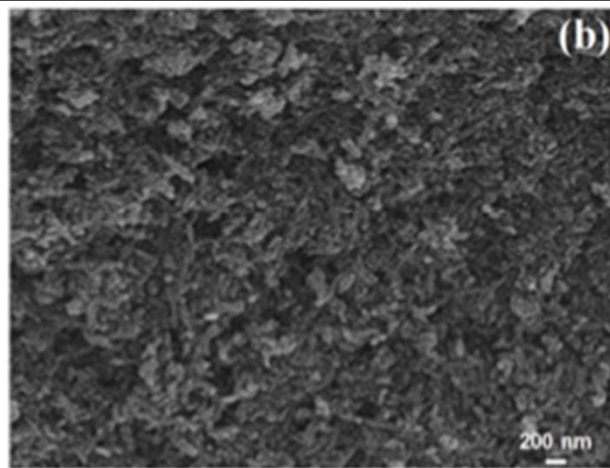
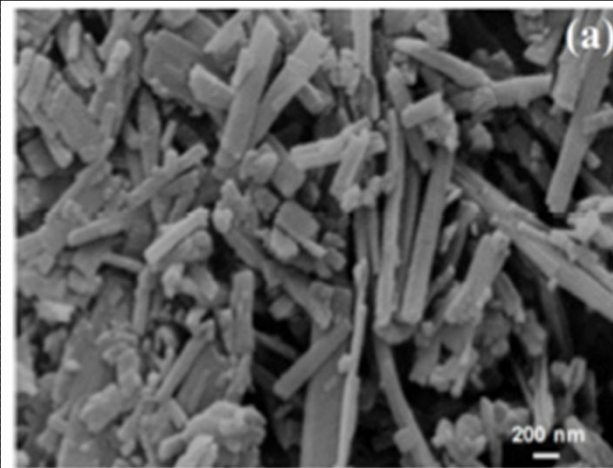


XRD:

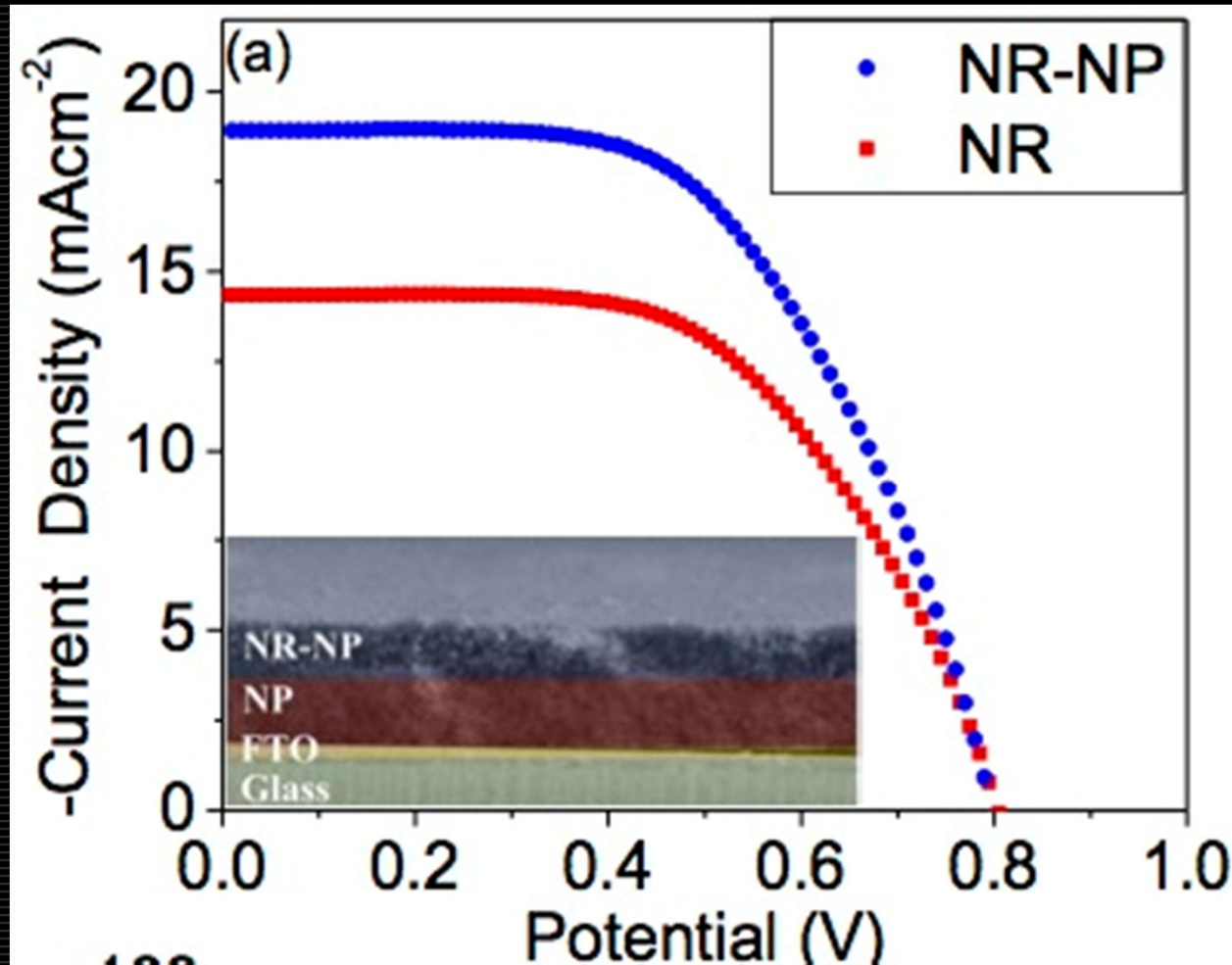
(a) NR-NP and (b) NR



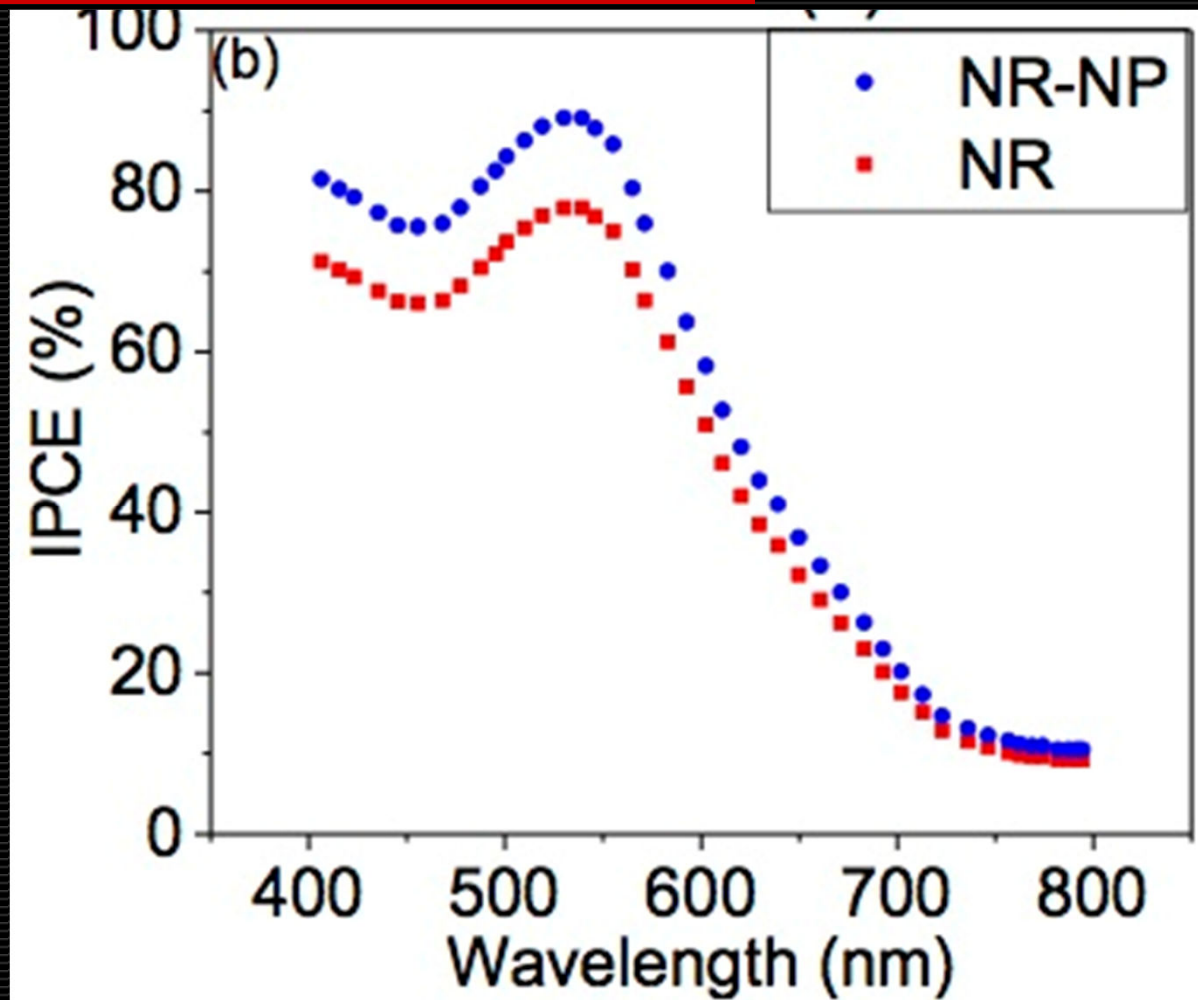
SEM: (a) NR (b) NR-NP
TEM: (c) NR (d) NR-NP



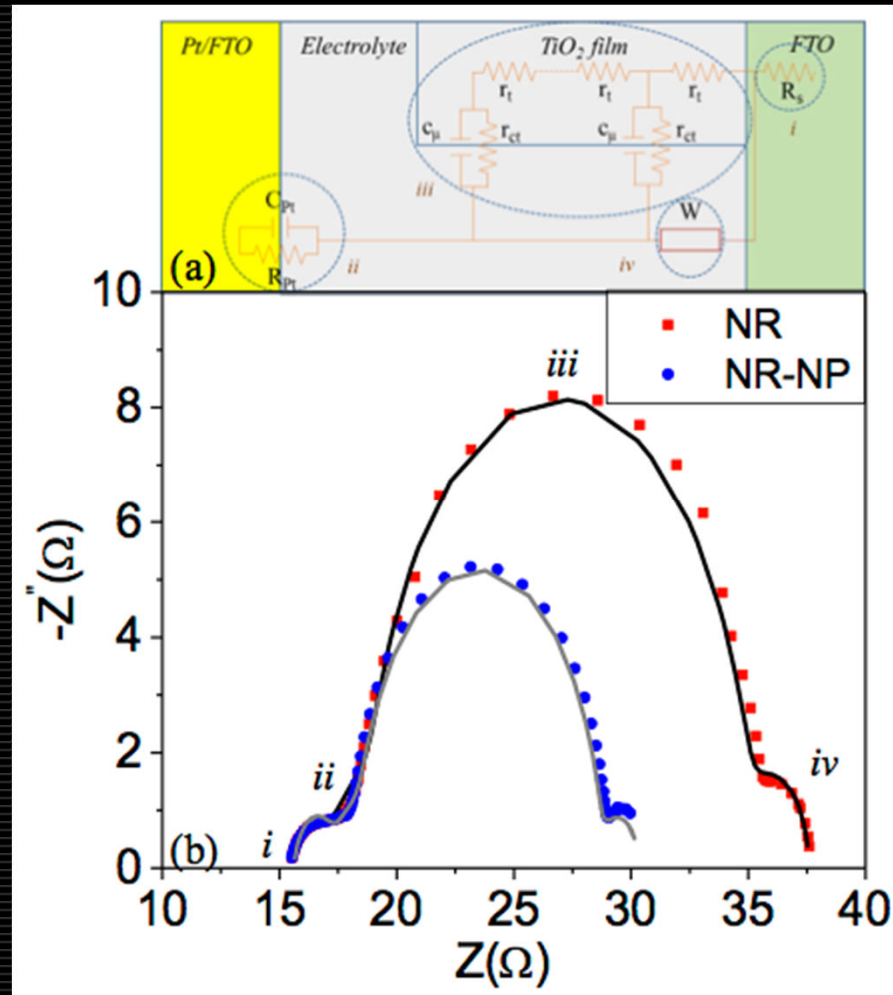
چگالی جریان بر حسب ولتاژ سلول خورشیدی



بازدهی بر حسب طول موج تابش



مدار معادل و نمودار نایکوئیست فتوآند سلول خورشیدی



Summary

- ❑ **TiO₂ geometries: powder, fiber, film, network, ...**
 - ❑ **TiO₂ catalytic effects: MeO Degradation**
 - ❑ **Photo-catalysis: Langmuir-Hinshelwood model**
 - ❑ **Nanorod-nanoparticle assembly**
 - ❑ **DSSC made by screen printing**
 - ❑ **Improved light scattering**
 - ❑ **High efficiency photoanode**
-