

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

حسگر زیستی مبتنی بر بلور مایع برای تشخیص پروتئین آمیلوئیدبتا در خون به منظور تشخیص زودهنگام بیماری آلزایمر

حوریه سهراب‌نوی

استادان راهنما:

دکتر محمد محمدی مسعودی

دکتر حسن حاج قاسم صابون‌پز

ارائه پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی فوتونیک گرایش نانوفوتونیک

شهریور ۱۴۰۲

مقدمه	۱
پیشینه تحقیق	۲
روش و نتایج تحقیق	۳
جمع بندی	۴

بیماری آلزایمر



باعث زوال عقل



چالش اجتماعی



غیرقابل برگشت



وابستگی به سایرین



رایج‌ترین بیماری عصبی



مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع‌بندی

بیماری آلزایمر



سالانه ۷,۷ میلیون بیمار آلزایمر



مقدمه

تا اواسط قرن ۲۱، ۱۱۵ میلیون بیمار آلزایمر



پیشینه تحقیق

در ۲۰ سال آینده، ۱,۷ میلیون بیمار آلزایمر



روش و نتایج
تحقیق

ششمین علت مرگ در آمریکا
افزایش ۱۴۶٪ مرگ ناشی از آلزایمر



جمع بندی

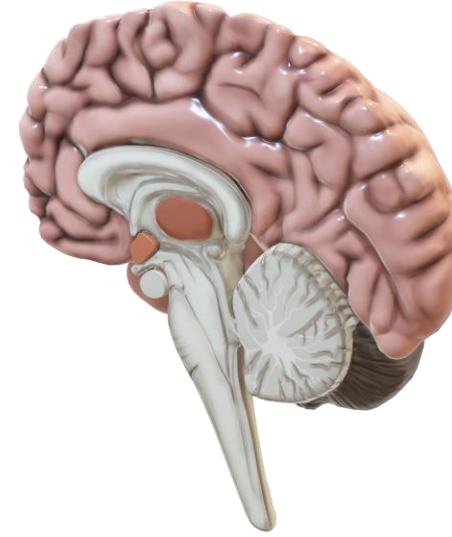
۸۱۸ میلیارد دلار هزینه مراقبت از بیماران



درمان موثر در مرحله اول بیماری

تشخیص زود هنگام بیماری

پروتئین آمیلوئید بتا



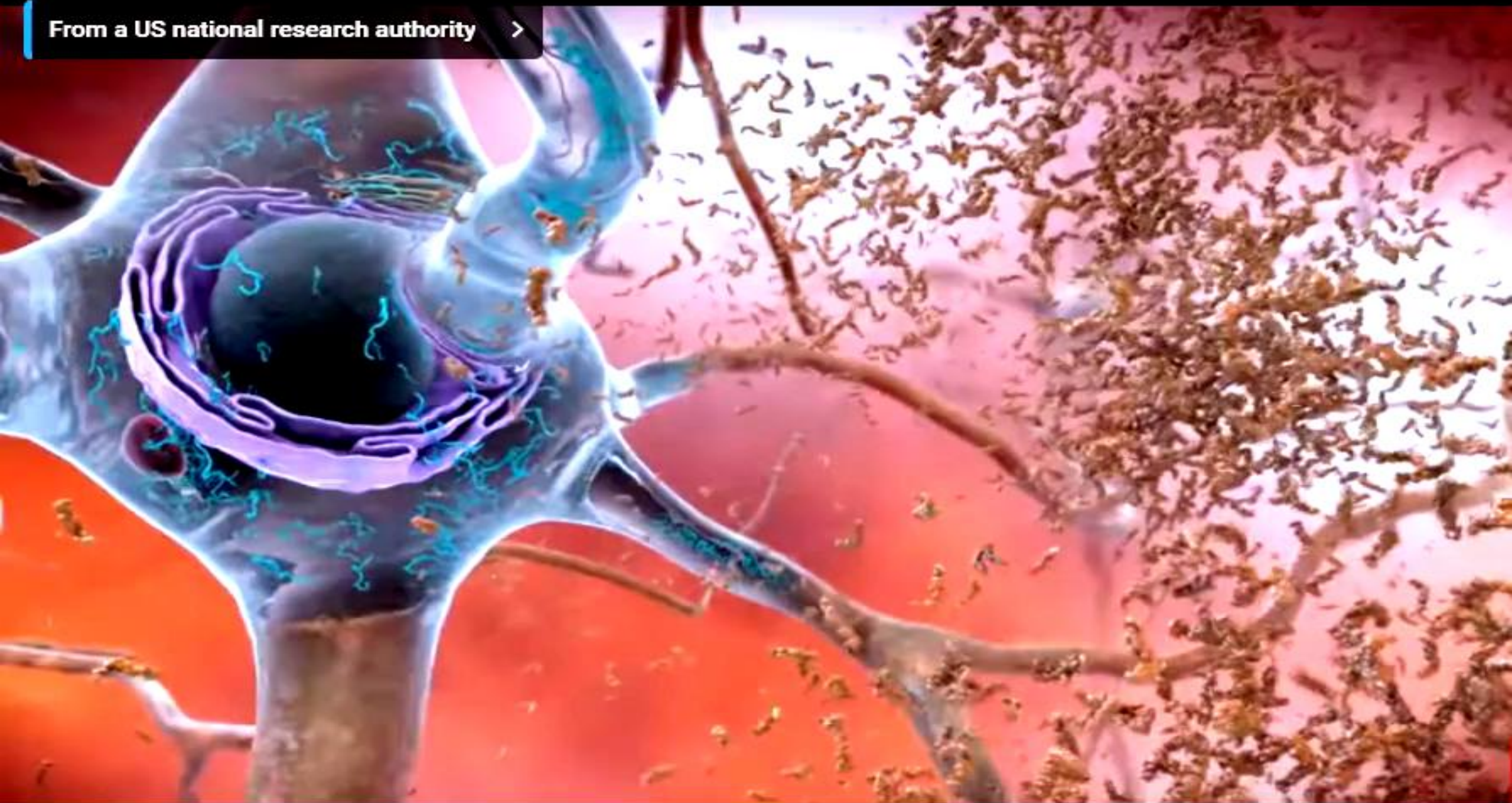
مقدمه

پیشینه تحقیق

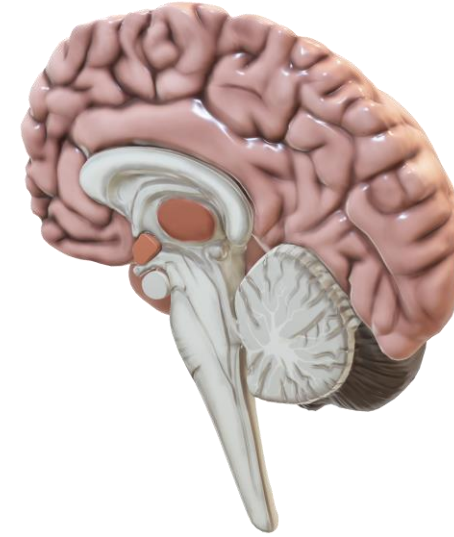
روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

From a US national research authority >



پروتئین آمیلوئید بتا



تصویربرداری عصبی

تصویربرداری پرتو مغناطیسی
(MRI)

برش نگاری با گسیل پوزیترون
(PET)

تهوع



سردرد



گرگرفتگی



خارش



تشخیص دیر هنگام

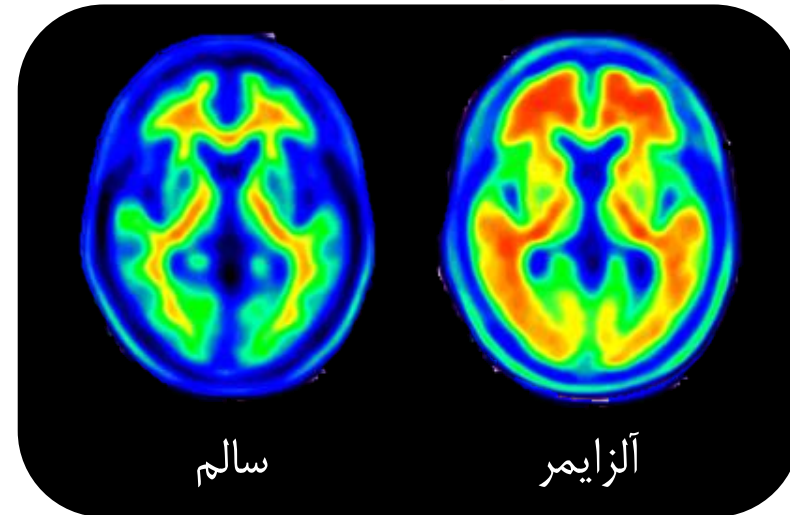


مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

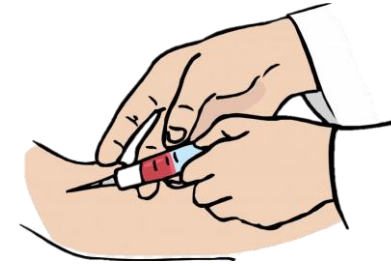


سالم

آلزایمر

[1]. Hsiao, Ing-Tsung, et al. "Correlation of early-phase 18 F-florbetapir PET images to FDG images: preliminary studies." *European journal of nuclear medicine and molecular imaging* (2012)

پروتئین آمیلوئید بتا



خون

آسان

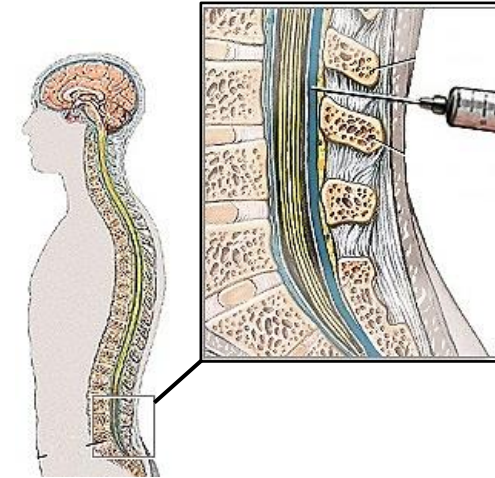
در دسترس

مقرون به صرفه

مایع مغزی نخاعی
(CSF)

دشوار

فرایند تهاجمی



مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع‌بندی

غربالگری جمعیت

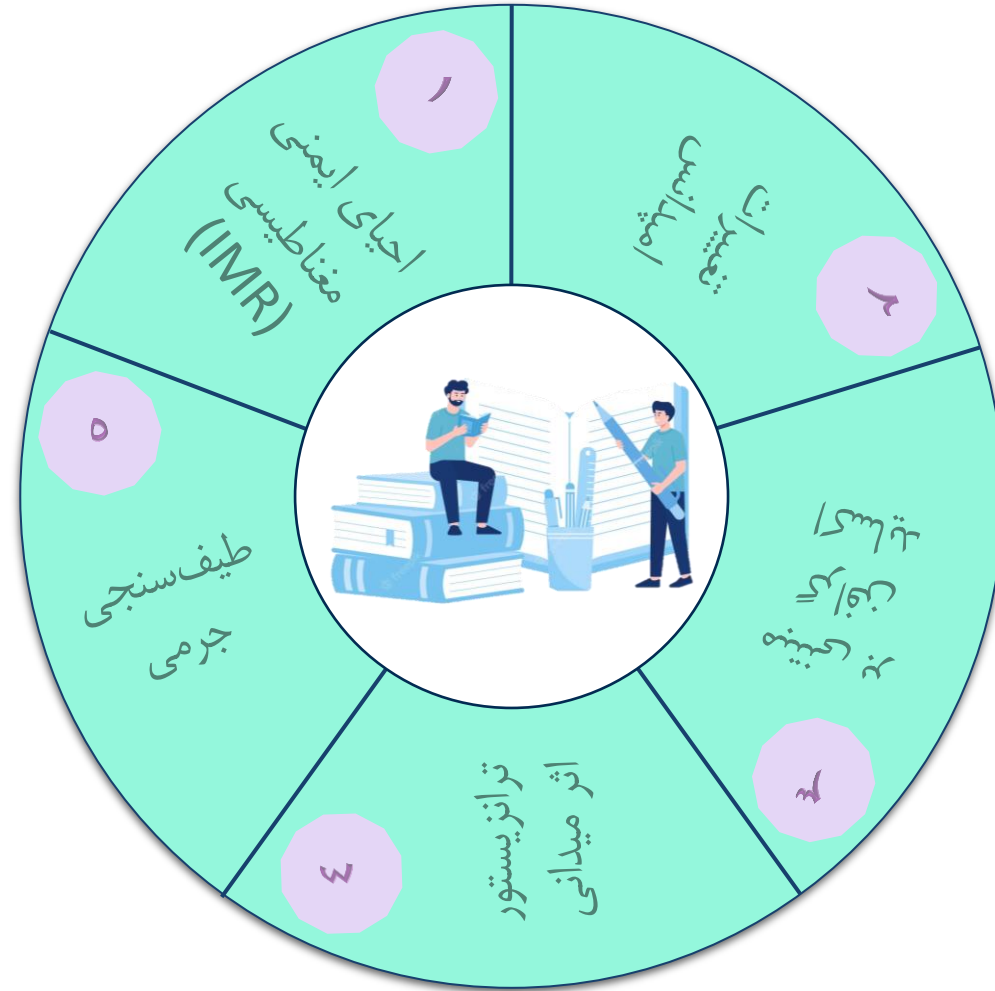
شناسایی بیماران احتمالی

تشخیص زودهنگام

بررسی تاثیر درمان بر بیماری



حسگرهای تشخیص آمیلوئید بتا



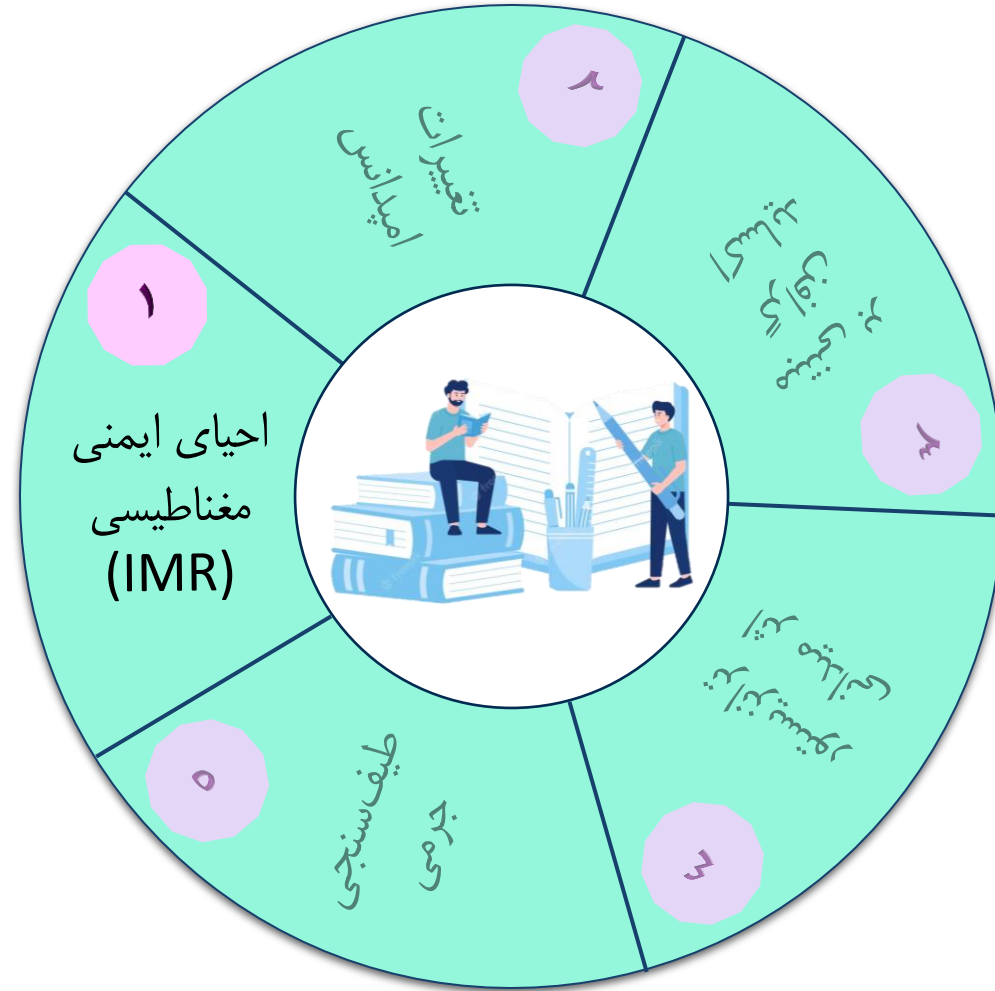
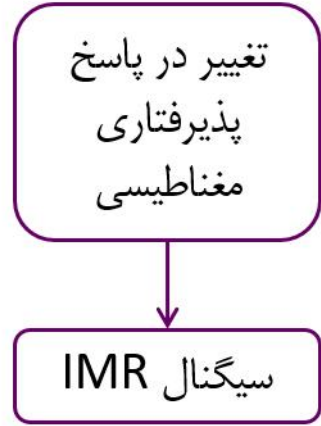
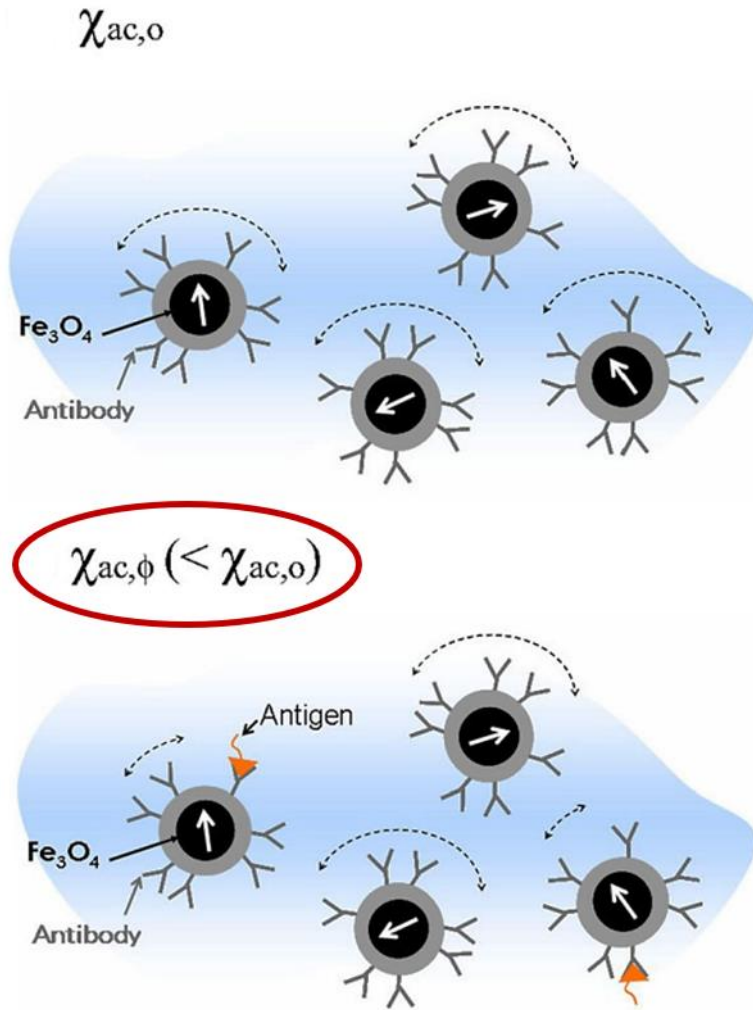
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

جمع‌بندی

حسگرهای تشخیص آمیلوئید بتا

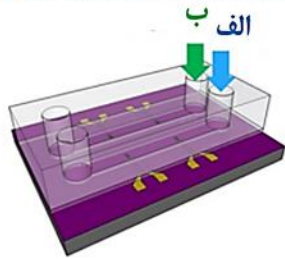
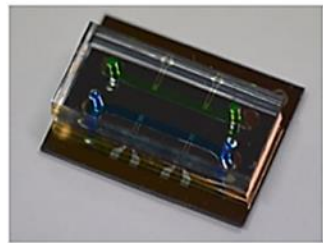
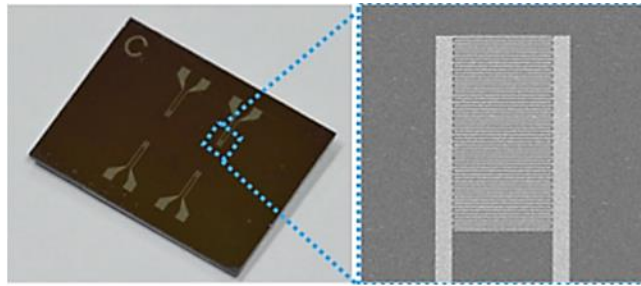


- مقدمه
- پیشینه تحقیق
- روش و نتایج تحقیق
- جمع بندی

[2]. Yang, Shieh-Yueh, et al. "Detection of plasma biomarkers using immunomagnetic reduction: a promising method for the early diagnosis of Alzheimer's disease." *Neurology and therapy* (2017)



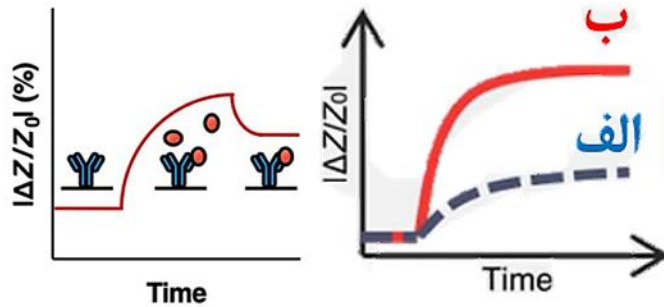
حسگرهای تشخیص آمیلوئید بتا



میکروالکتروود شانه‌ای

تزریق نمونه به
میکروکانال

تغییرات امپدانس



مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع‌بندی

[3]. Kim, YoungSoo, et al. "Comparative analyses of plasma amyloid- β levels in heterogeneous and monomerized states by interdigitated microelectrode sensor system." *Science advances* (2019)



حسگرهای تشخیص آمیلوئید بتا

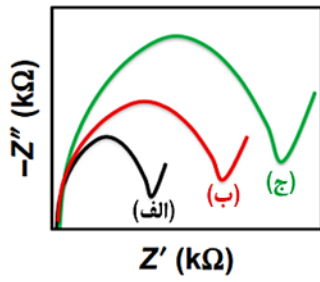
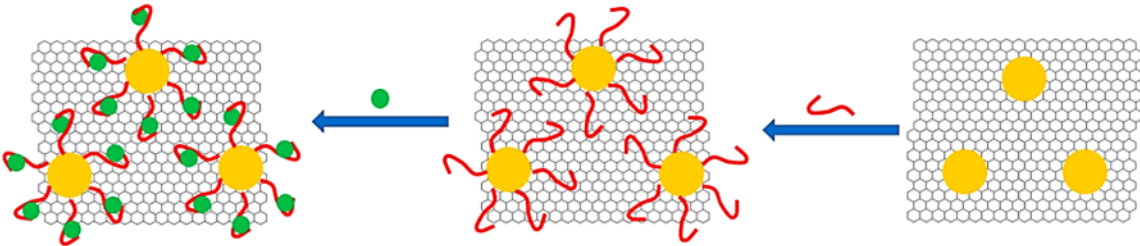
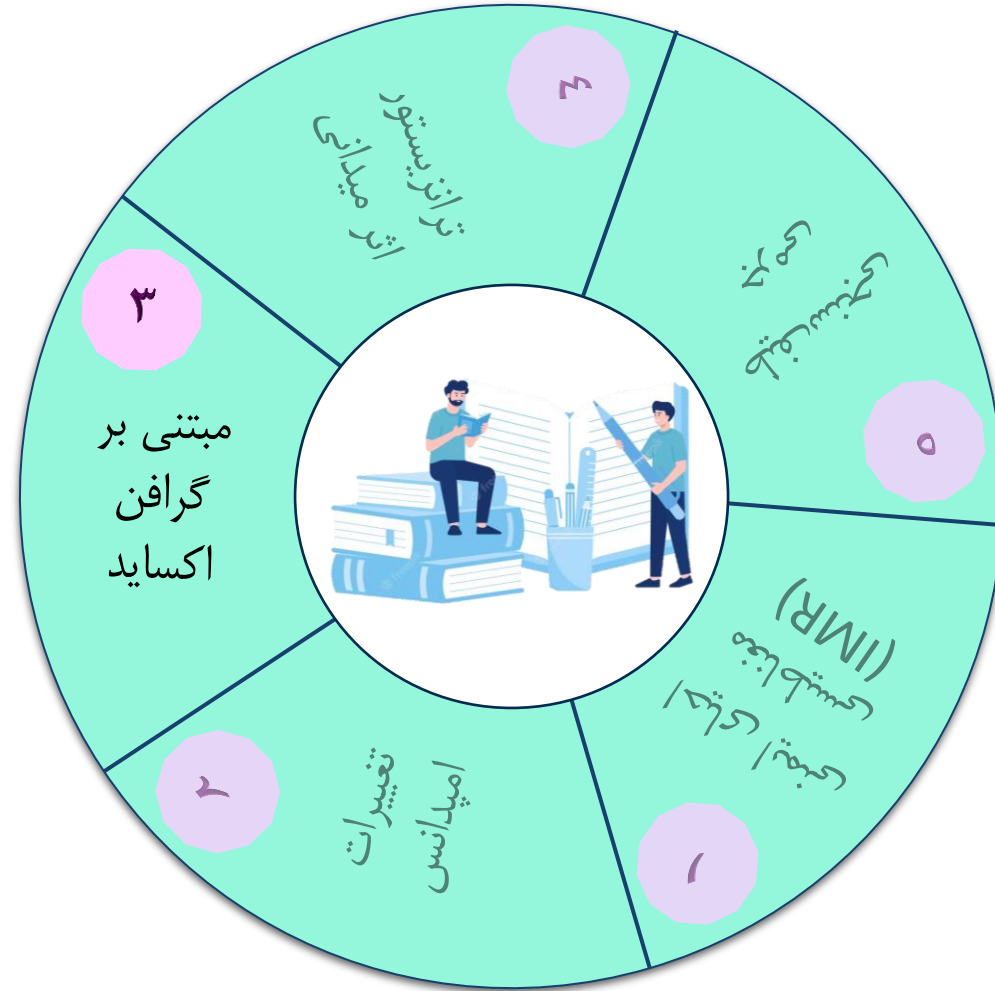


مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

جمع‌بندی



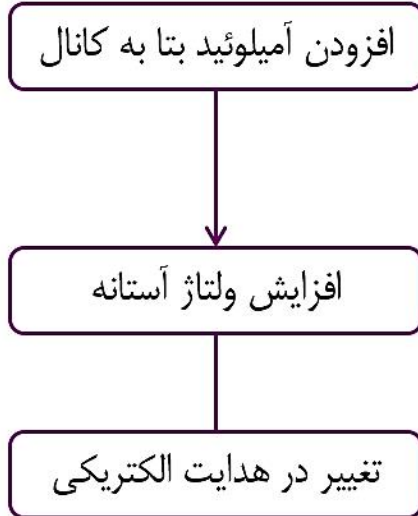
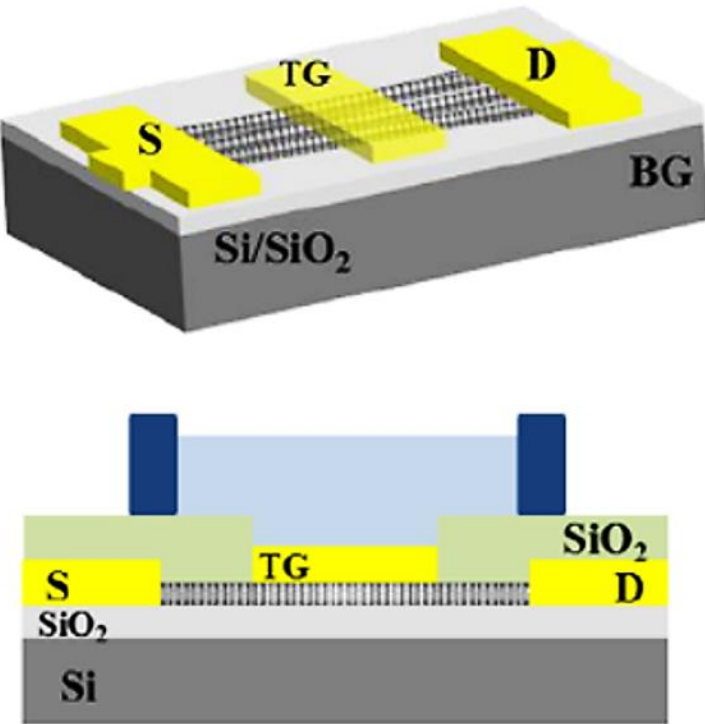
لایه گرافن اکساید ● نانوذره طلا ● آمیلوئید بتا ۱ گیرنده زیستی

اتصال آمیلوئید بتا به گیرنده زیستی → افزایش مقاومت انتقال بار

[4]. Sun, Liping, et al. "A hydrogel biosensor for high selective and sensitive detection of amyloid-beta oligomers." *International journal of nanomedicine* (2018)



حسگرهای تشخیص آمیلوئید بتا

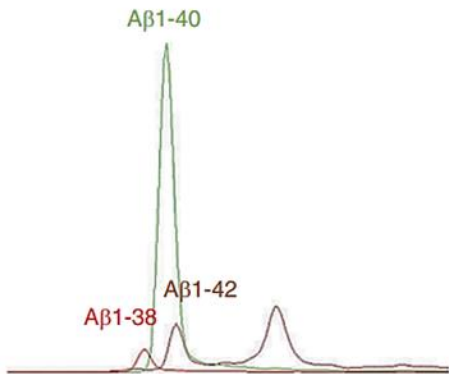
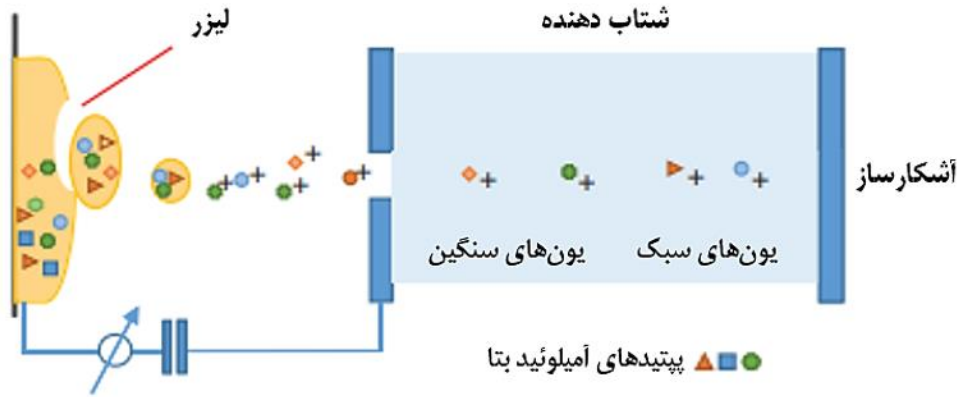


- مقدمه
- پیشینه تحقیق
- روش و نتایج تحقیق
- جمع بندی

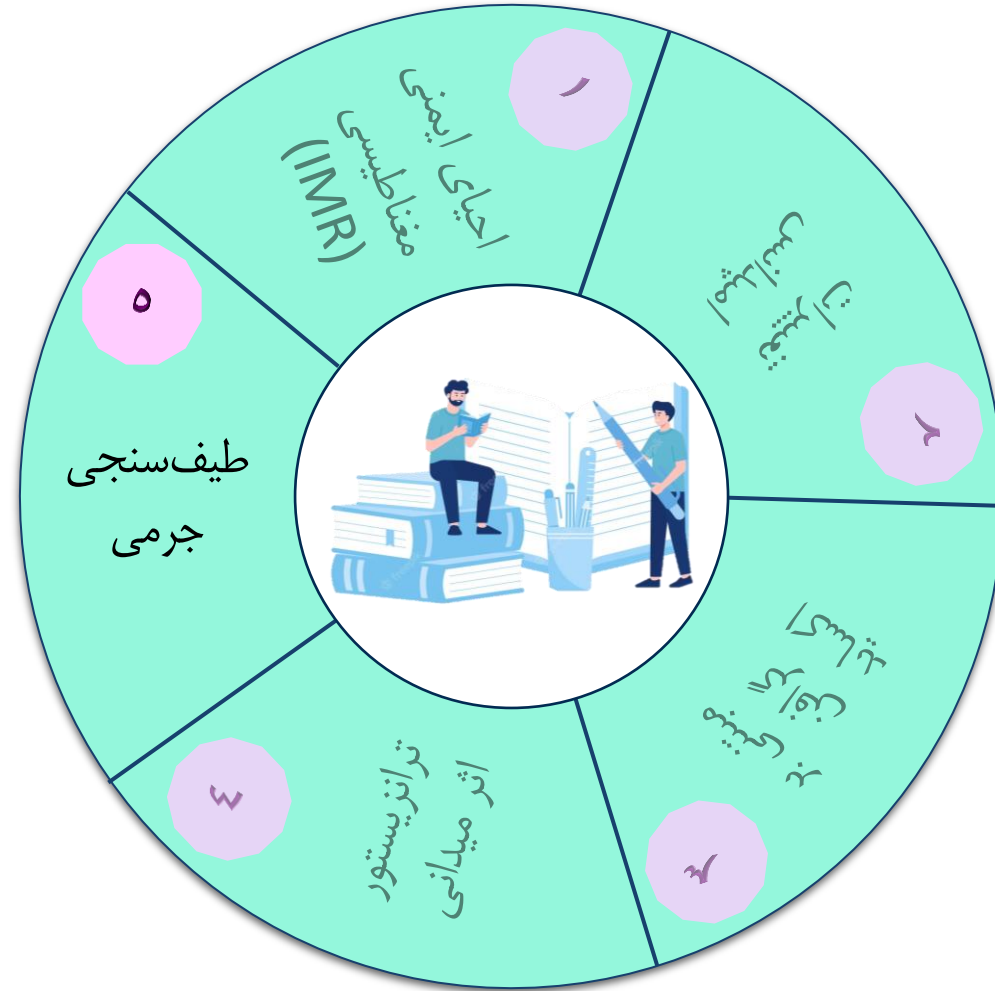
[5]. Oh, Jeseung, et al. "A carbon nanotube metal semiconductor field effect transistor-based biosensor for detection of amyloid-beta in human serum." *Biosensors and Bioelectronics* (2013)



حسگرهای تشخیص آمیلوئید بتا



تفکیک اجزای نمونه
بر اساس جرم و بار آنها



مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

جمع بندی

[6]. Bros, Pauline, et al. "Quantitative detection of amyloid-β peptides by mass spectrometry: state of the art and clinical applications." *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)* (2015)





حسگرهای نوری تشخیص آمیلوئید بتا



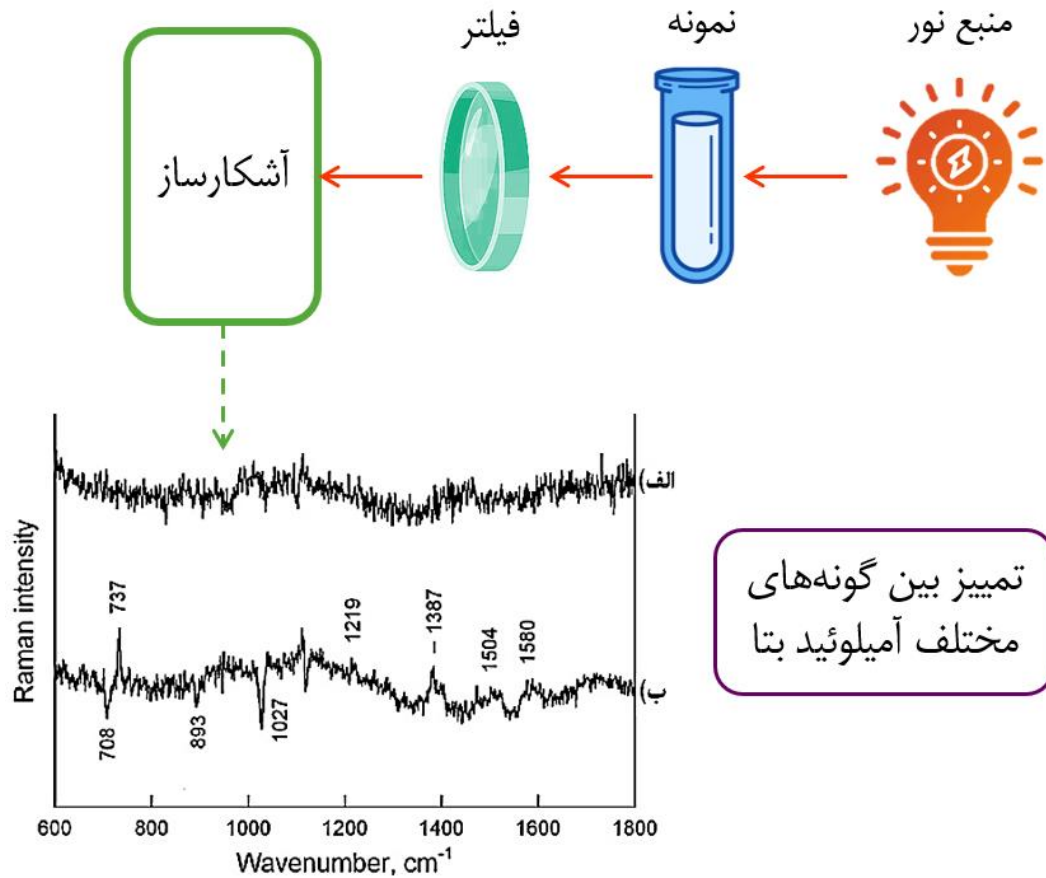
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع‌بندی

حسگرهای نوری تشخیص آمیلوئید بتا



مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

جمع‌بندی

[7]. Voiciuk, Vladislava, et al. "Surface-enhanced Raman spectroscopy for detection of toxic amyloid β oligomers adsorbed on self-assembled monolayers." *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* (2012)

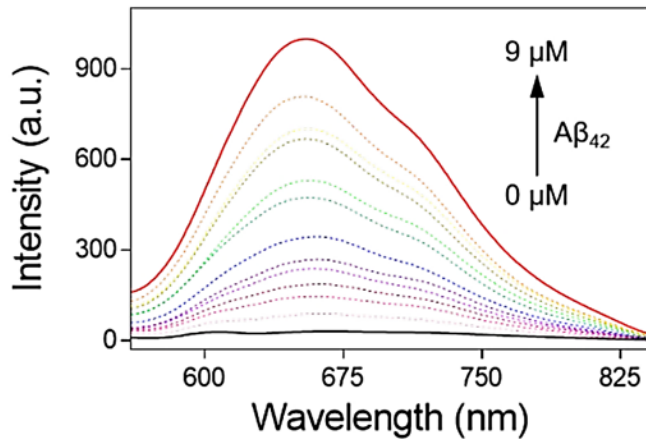
حسگر زیستی مبتنی بر بلور مایع برای تشخیص پروتئین آمیلوئید بتا در خون به منظور تشخیص زودهنگام بیماری آلزایمر - حوریه سهراب‌نوی - شهریور ۱۴۰۲



حسگرهای نوری تشخیص آمیلوئید بتا



ماده فلورسنسی حساس به آمیلوئید بتا



مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

جمع بندی

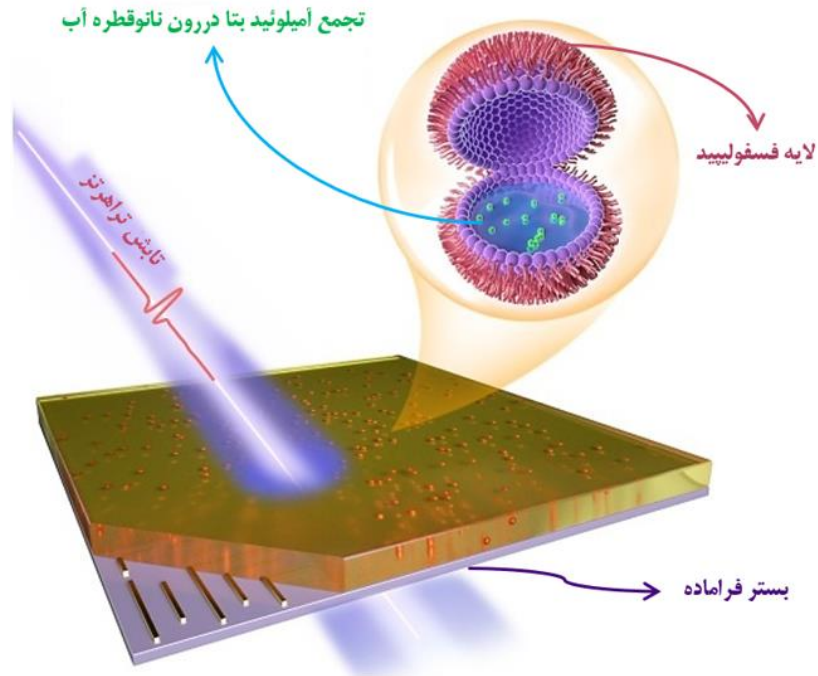
[8]. Fu, Wei, et al. "Rational design of near-infrared aggregation-induced-emission-active probes: in situ mapping of amyloid- β plaques with ultrasensitivity and high-fidelity." *Journal of the American Chemical Society* (2019)

حسگر زیستی مبتنی بر بلور مایع برای تشخیص پروتئین آمیلوئید بتا در خون به منظور تشخیص زودهنگام بیماری آلزایمر - حوریه سهراب نوبی - شهریور ۱۴۰۲





حسگرهای نوری تشخیص آمیلوئید بتا



تغییرات غلظت آمیلوئید بتا

تغییرات ضریب جذب و ضریب شکست



مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

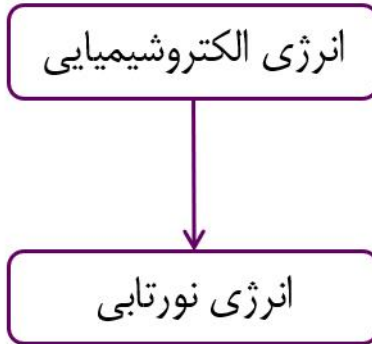
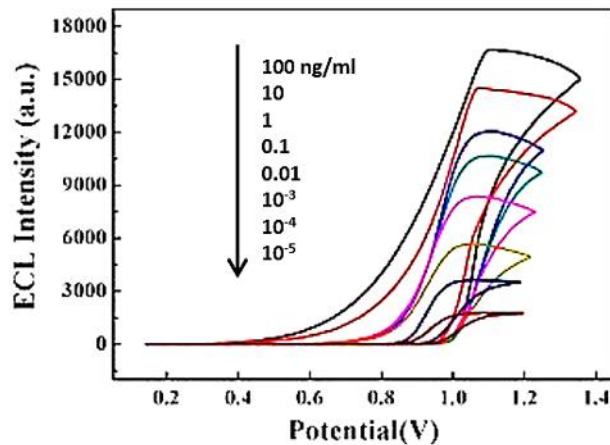
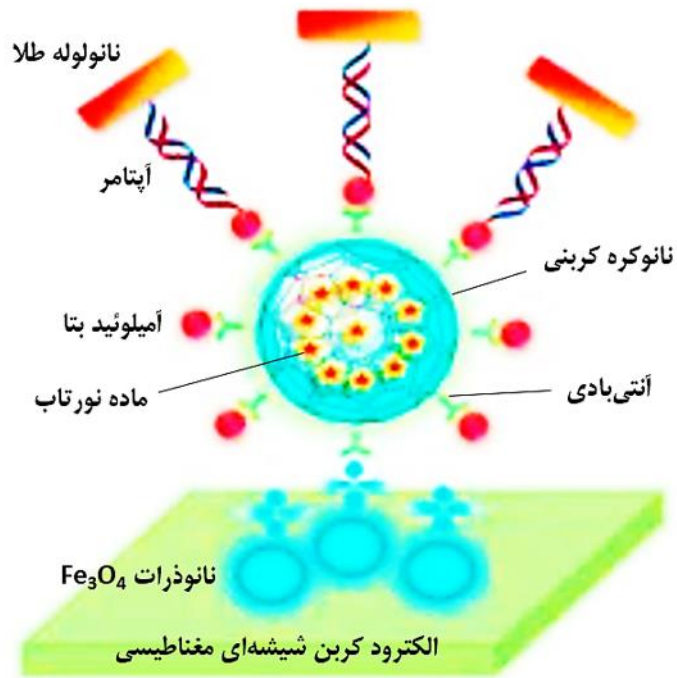
جمع بندی

[9]. Tang, Chao, et al. "Integrating terahertz metamaterial and water nanodroplets for ultrasensitive detection of amyloid β aggregates in liquids." *Sensors and Actuators B: Chemical* (2021)





حسگرهای نوری تشخیص آمیلوئید بتا

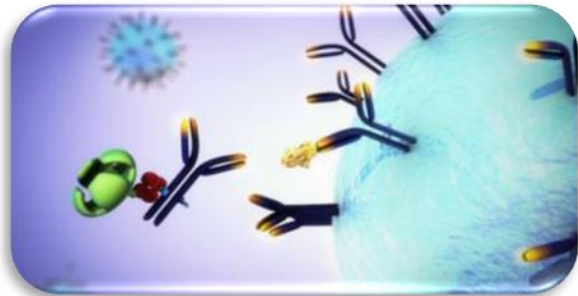


- مقدمه
- پیشینه تحقیق
- روش و نتایج تحقیق
- جمع بندی

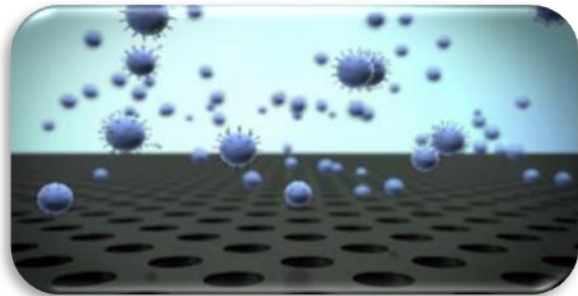
[10]. Ke, Hong, et al. "Electrochemiluminescence resonance energy transfer system between GNRs and Ru (bpy) 32+: application in magnetic aptasensor for β -amyloid." *Biosensors and Bioelectronics* (2018)



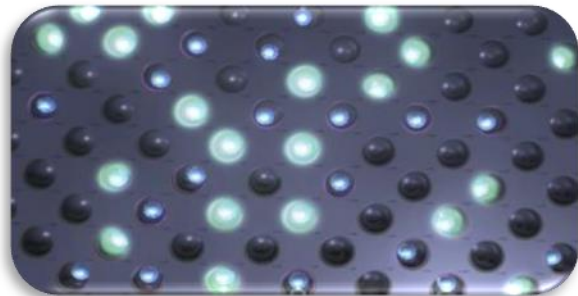
حسگرهای نوری تشخیص آمیلوئید بتا



اتصال آبتا به مهره مغناطیسی



آرایه‌ای از میکروچاه‌ها



تصویربرداری فلورسنت



مقدمه

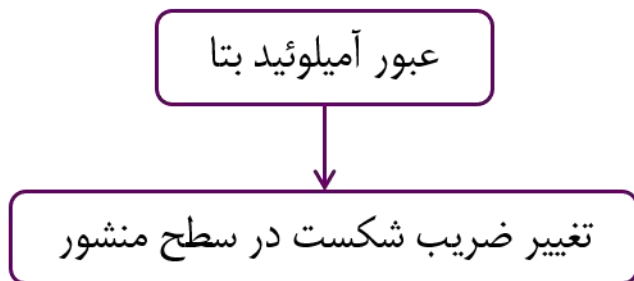
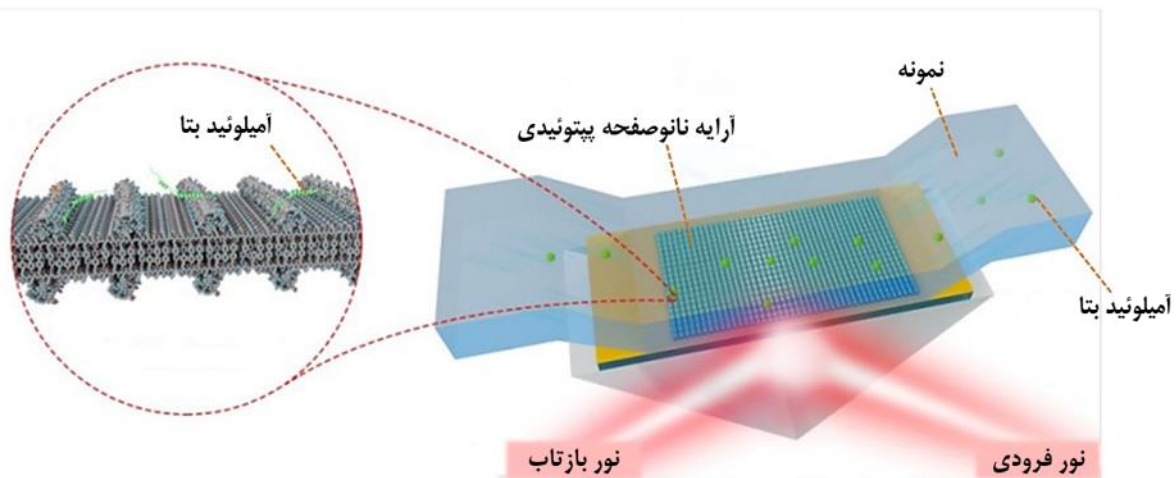
پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

جمع‌بندی

[11]. Li, Danni, and Michelle M. Mielke. "An update on blood-based markers of Alzheimer's disease using the SiMoA platform." *Neurology and therapy* (2019)

حسگرهای نوری تشخیص آمیلوئید بتا



مقدمه

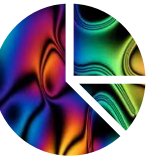
پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

جمع بندی

[12]. Gao, Houqian, et al. "Diagnosis of mild cognitive impairment and Alzheimer's disease by the plasma and serum amyloid-beta 42 assay through highly sensitive peptoid nanosheet sensor." *ACS applied materials & interfaces* (2020)





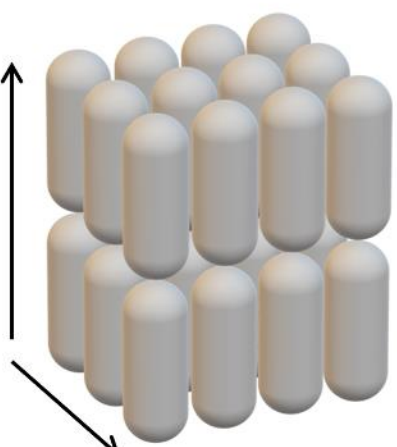
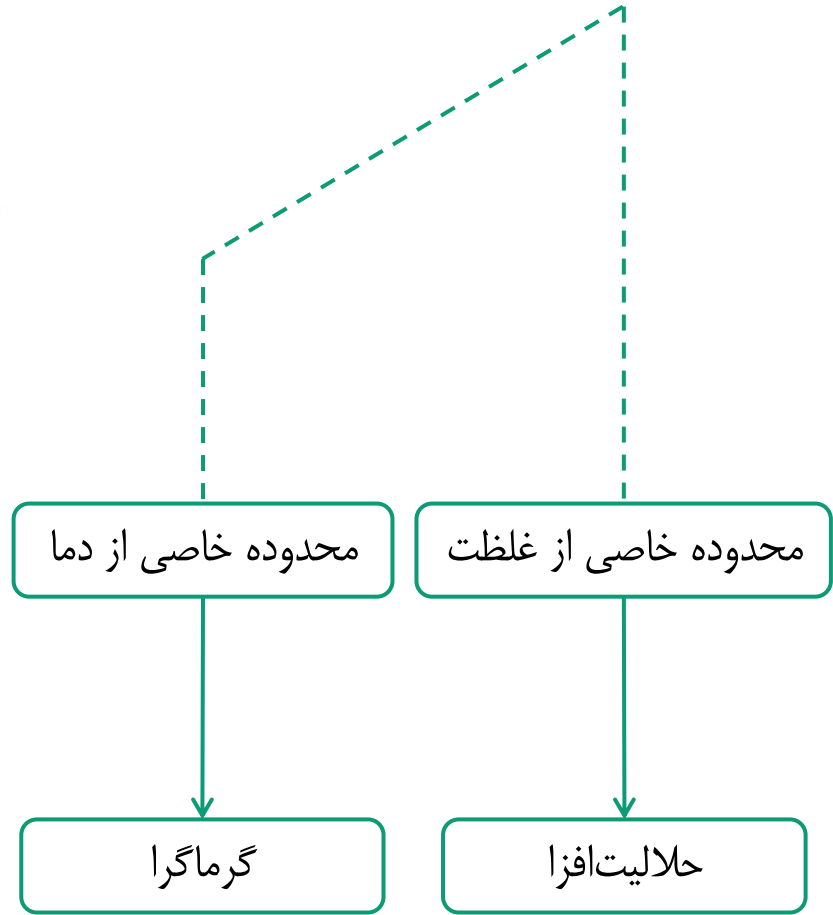
فاز بلور مایع

مقدمه

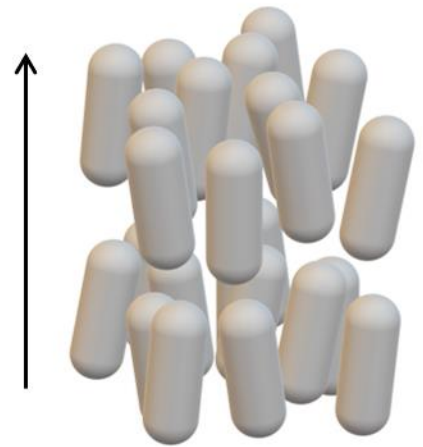
پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

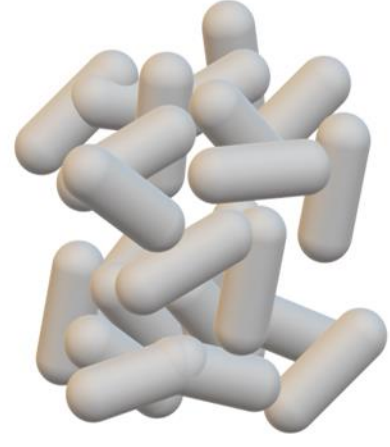
جمع بندی



فاز جامد



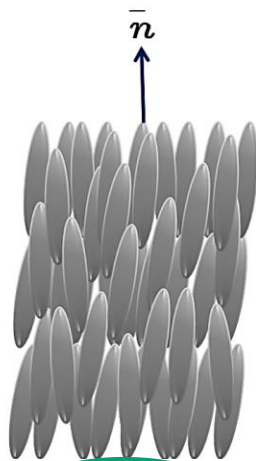
فاز بلور مایع



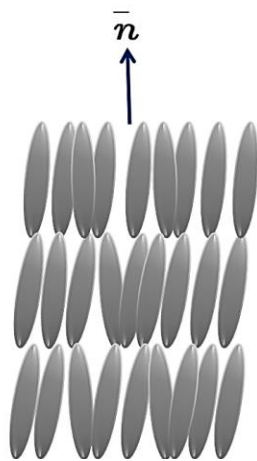
فاز مایع



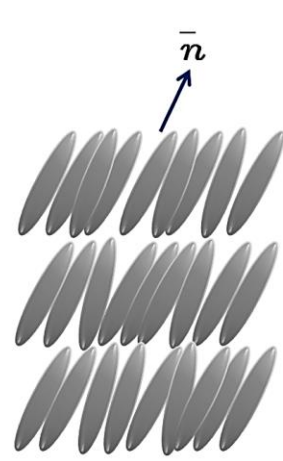
همسانگرد



نماتیک



سمکتیک A



سمکتیک C

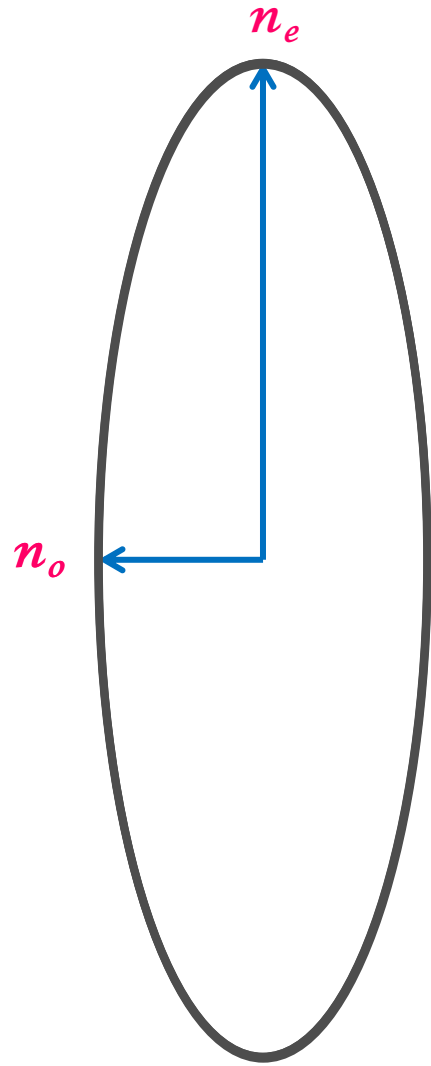
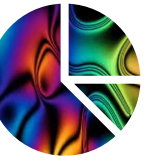
\bar{n}

\bar{n}

\bar{n}



دو ضریب شکستی در فاز بلور مایع



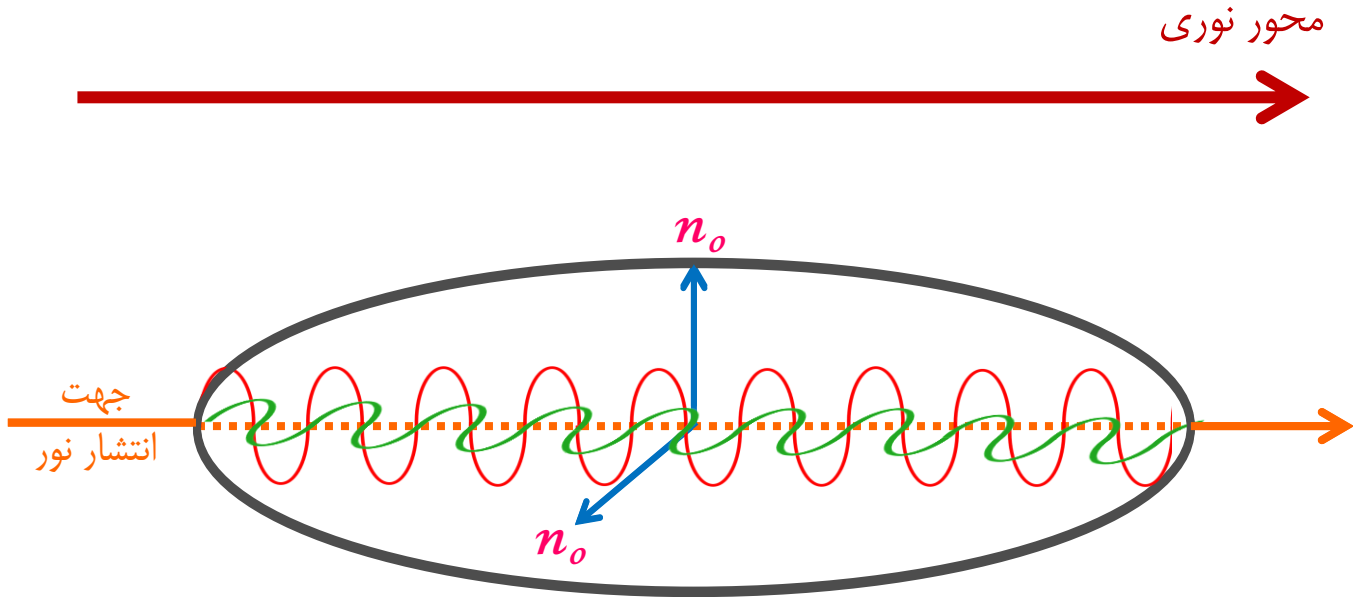
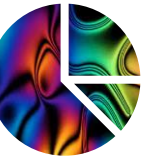
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

دو ضریب شکستی در فاز بلور مایع



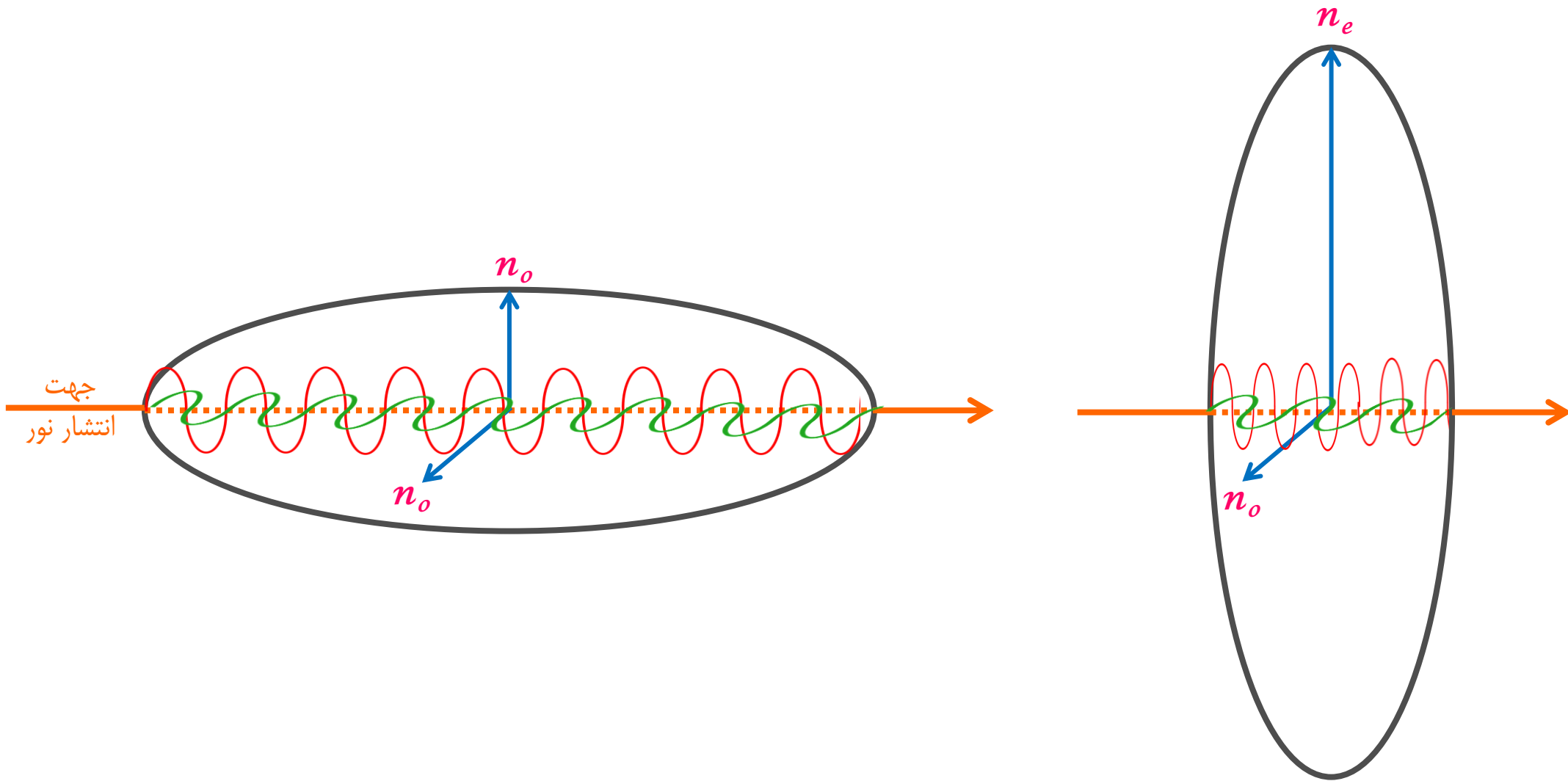
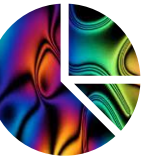
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

دو ضریب شکستی در فاز بلور مایع



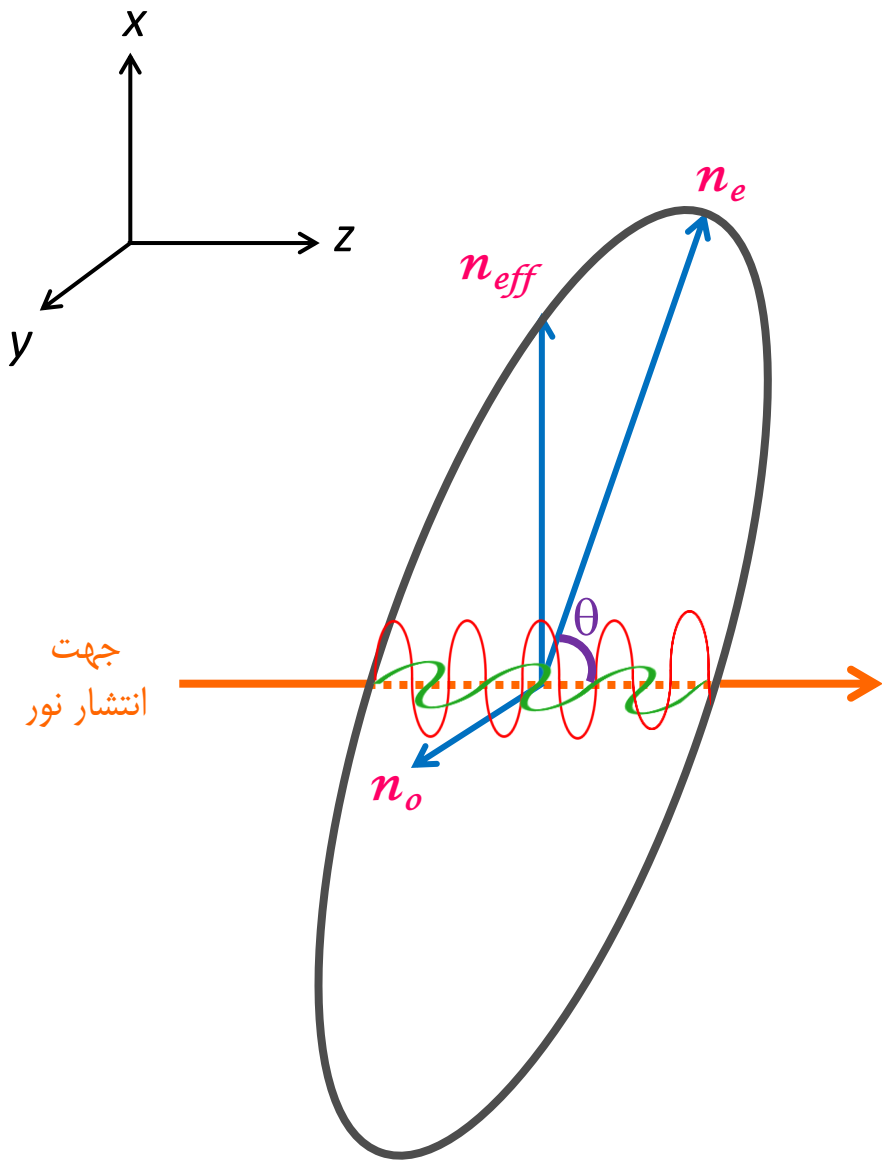
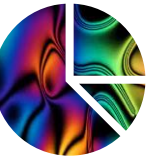
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

دو ضریب شکستی در فاز بلور مایع



ضریب شکست موثر

$$n_{eff}(z) = \frac{n_e n_o}{\sqrt{[n_e^2 \sin^2 \theta(z) + n_o^2 \cos^2 \theta(z)]}}$$

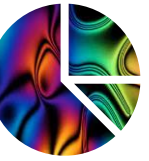
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

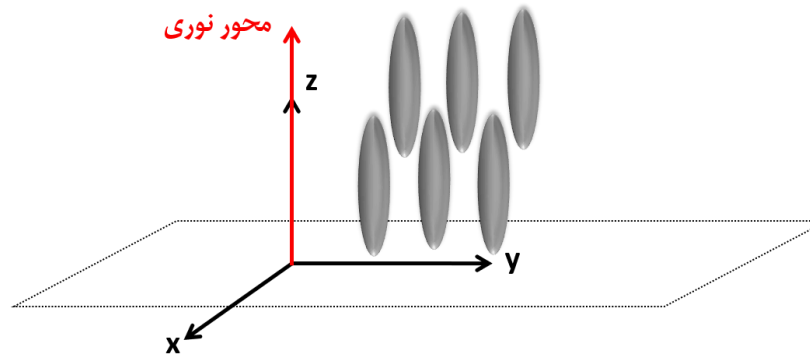
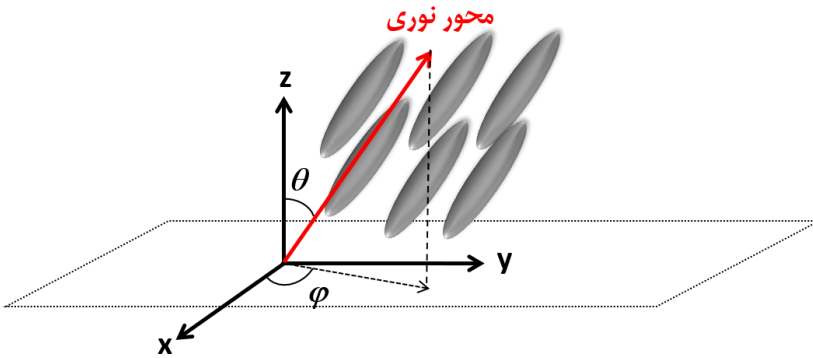
دو ضریب شکستی در فاز بلور مایع



$$I = I_0 \sin^2(2\varphi) \sin^2\left(\frac{\pi d \Delta n(z)}{\lambda}\right)$$



قطبشگر دوم
(آشکارساز)



قطبشگر اول



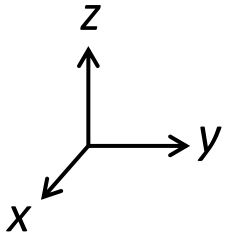
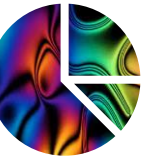
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع‌بندی

اساس حسگری مبتنی بر بلور مایع

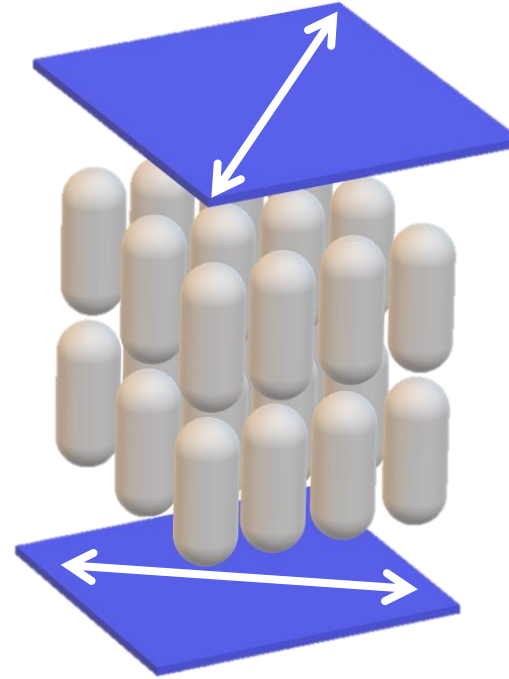
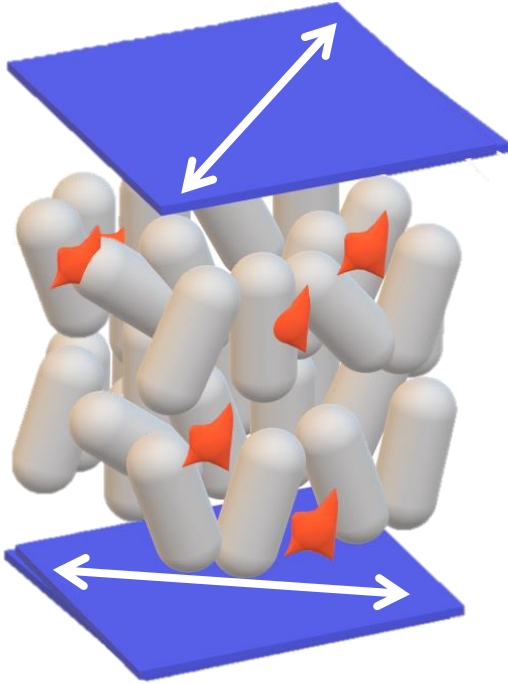


تصویر خروجی

قطبشگر دوم (آشکارساز)

قطبشگر اول

منبع نور



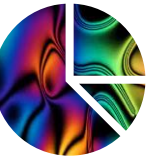
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

جمع بندی

انواع ساختارهای حسگر مبتنی بر بلور مایع



مقدمه

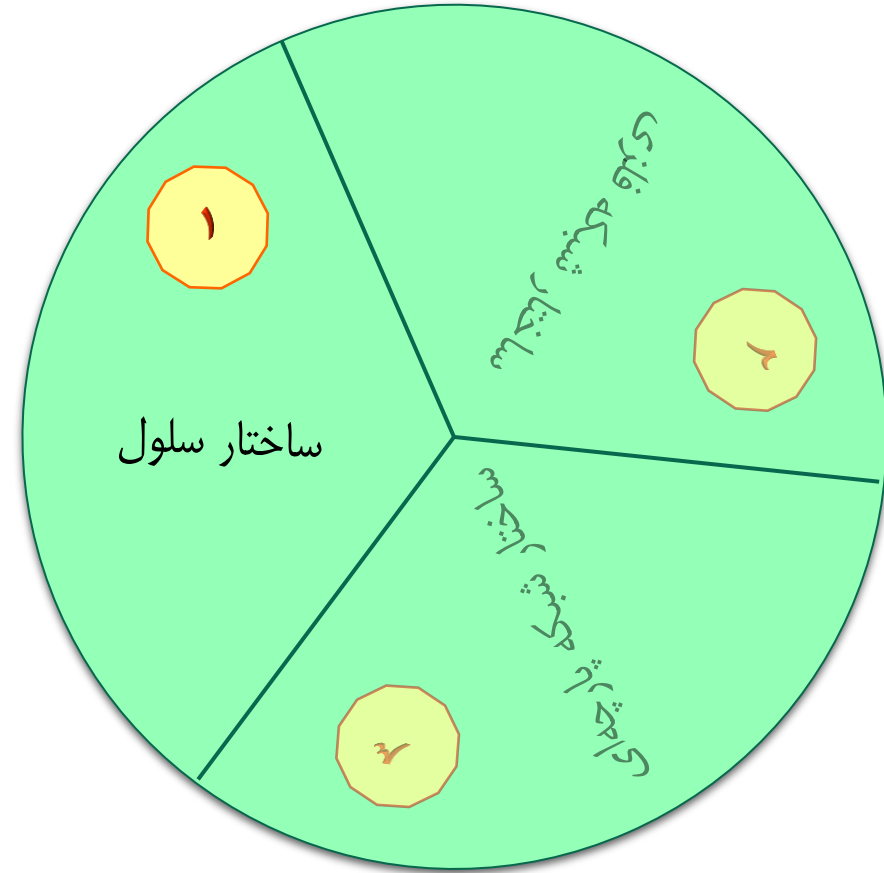
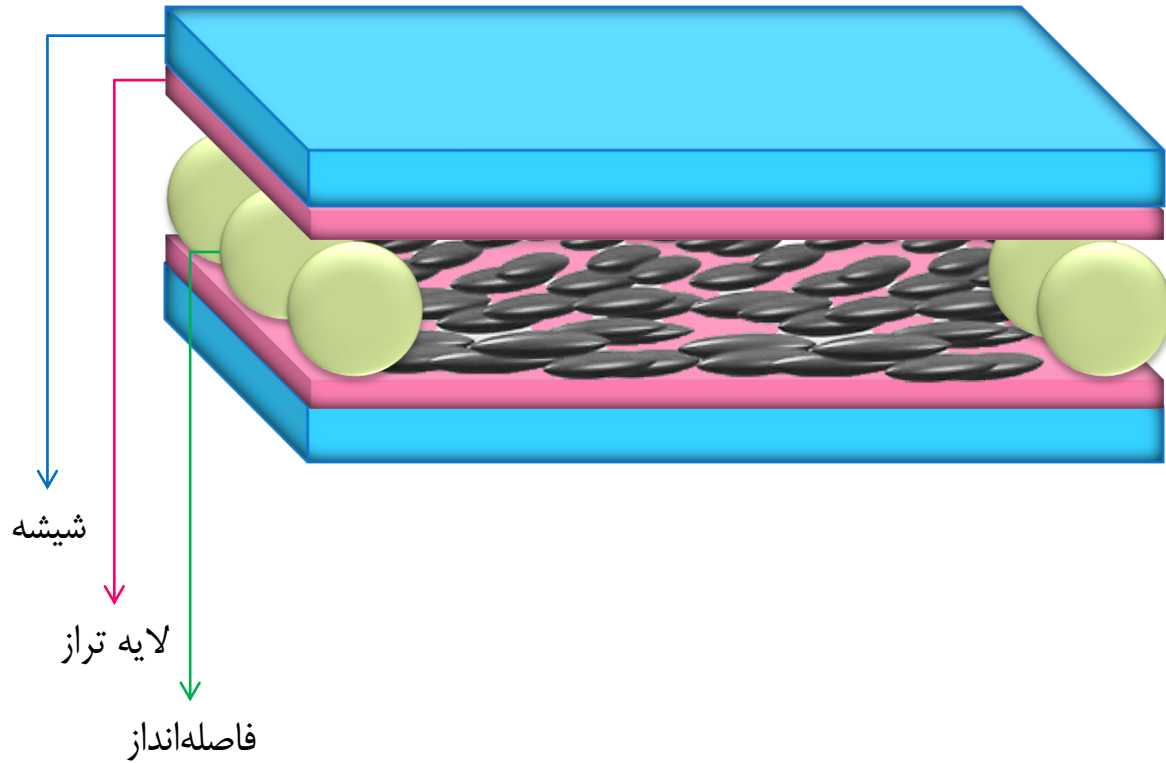
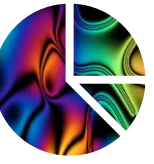
پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

جمع‌بندی



انواع ساختارهای حسگر مبتنی بر بلور مایع



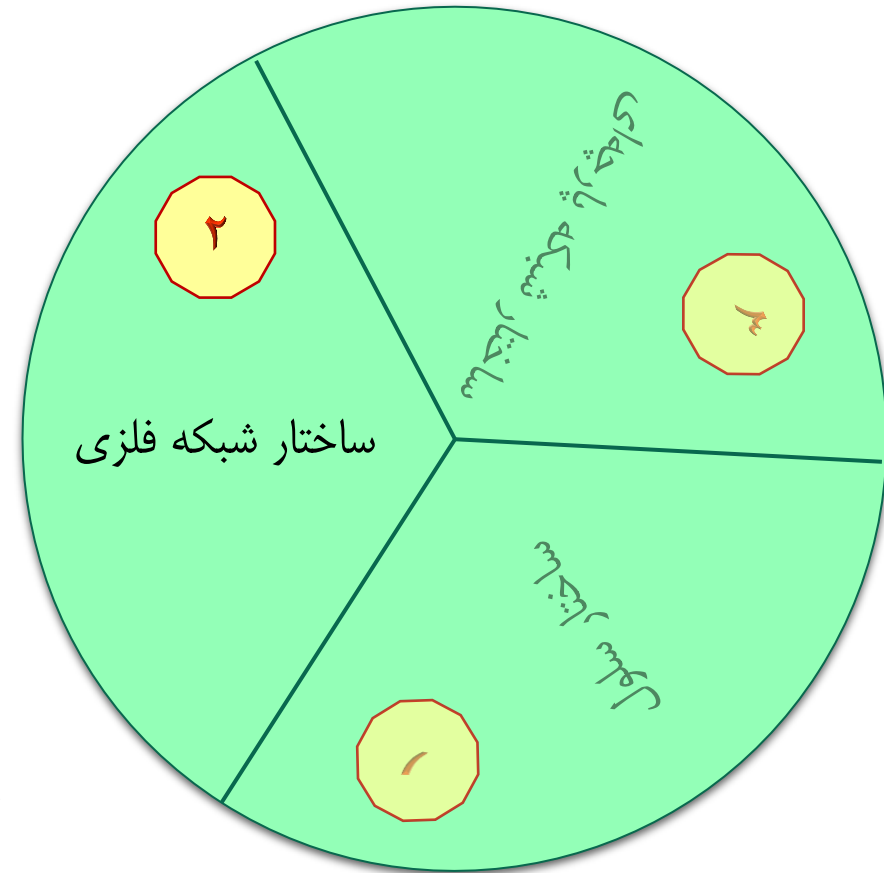
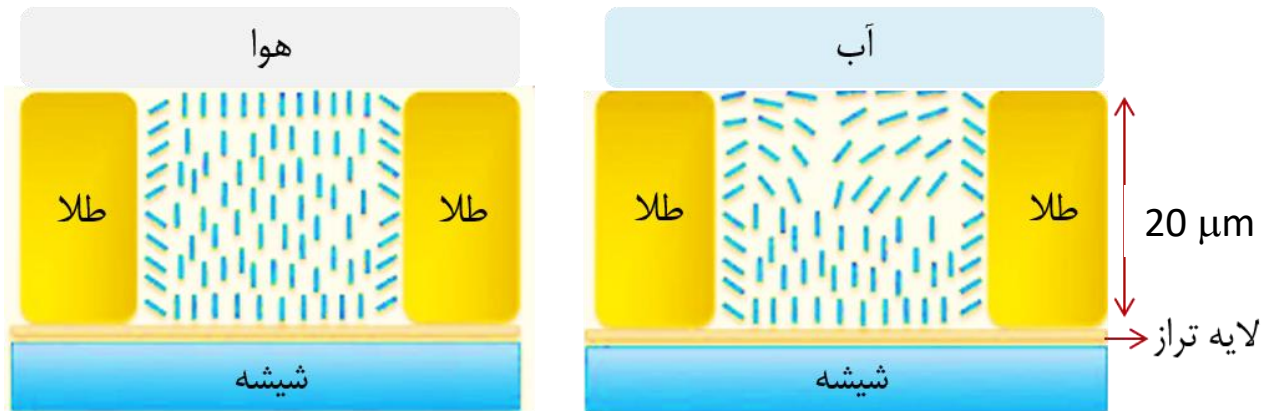
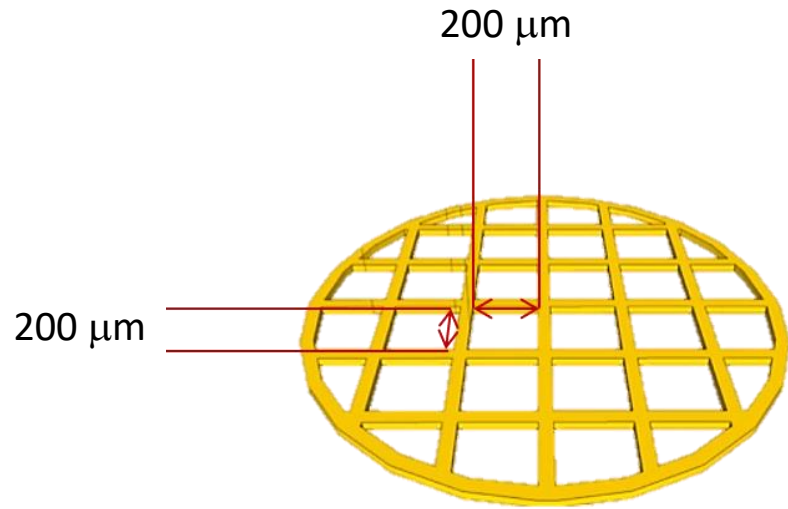
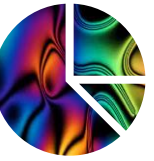
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

انواع ساختارهای حسگر مبتنی بر بلور مایع



مقدمه

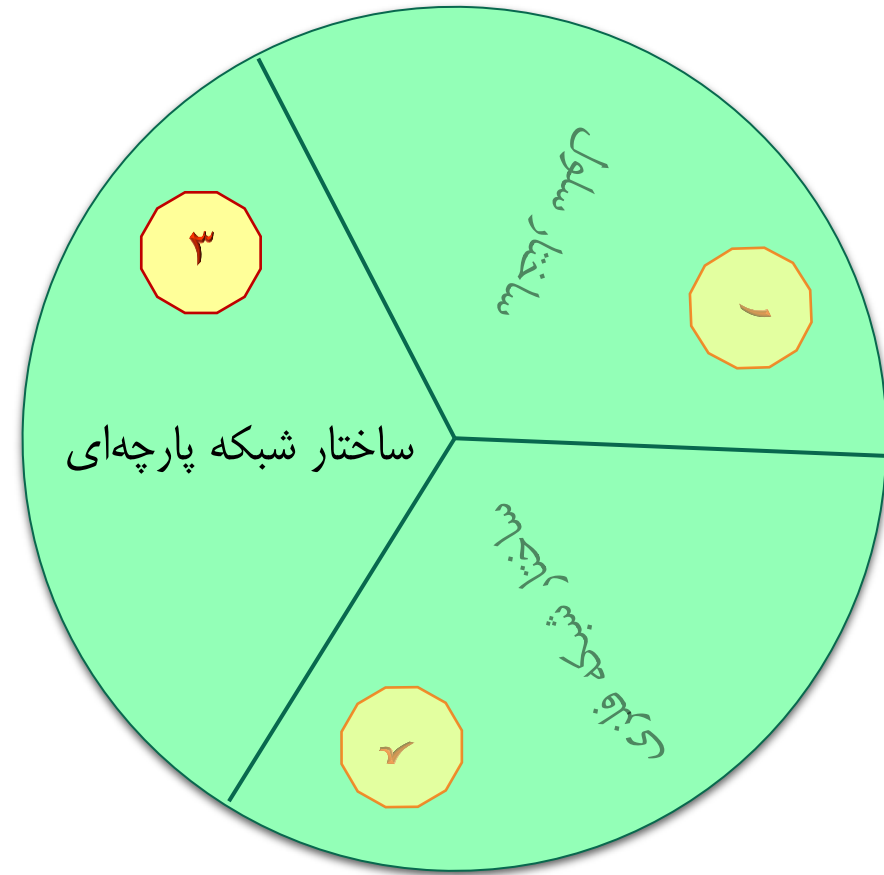
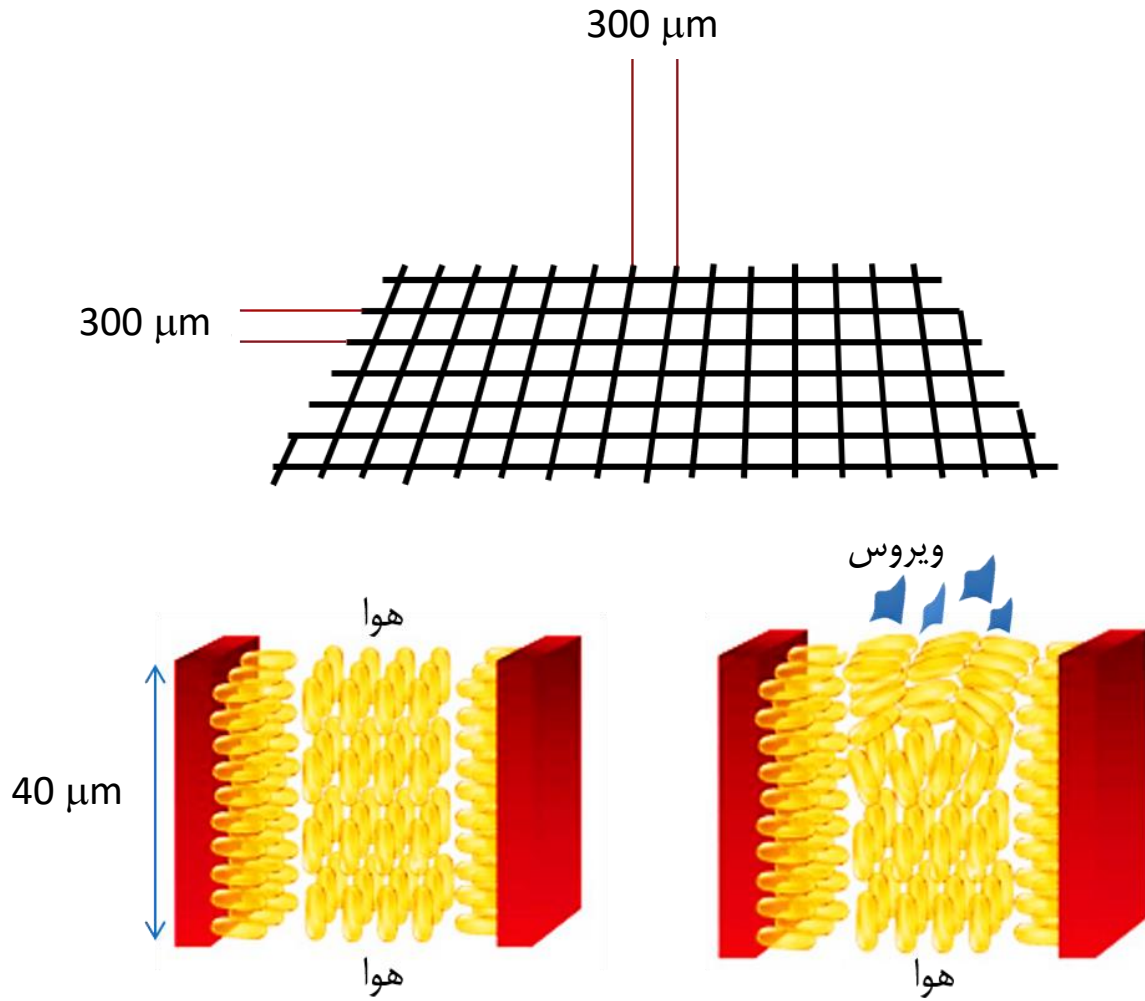
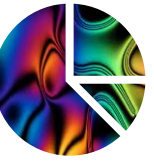
پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

جمع‌بندی

[13]. Popov et al. "Thermotropic liquid crystal films for biosensors and beyond." *Journal of Materials Chemistry B* (2017)

انواع ساختارهای حسگر مبتنی بر بلور مایع



مقدمه

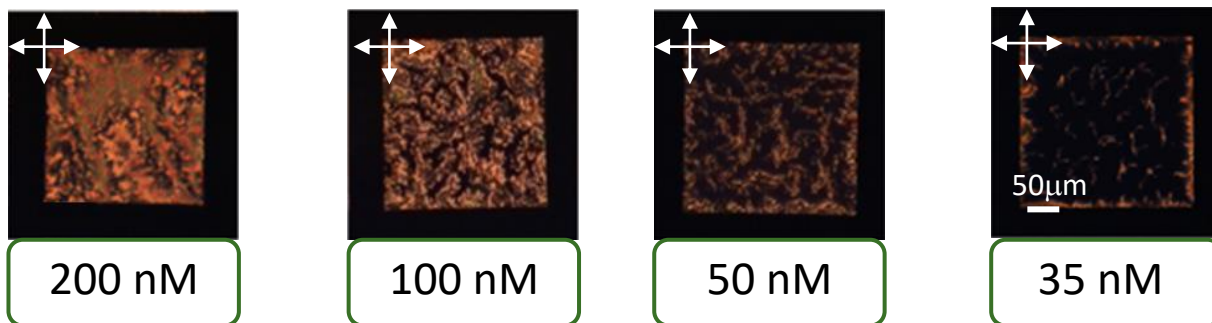
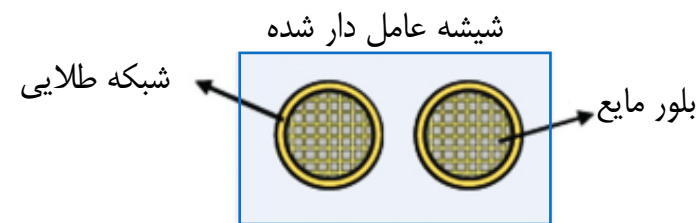
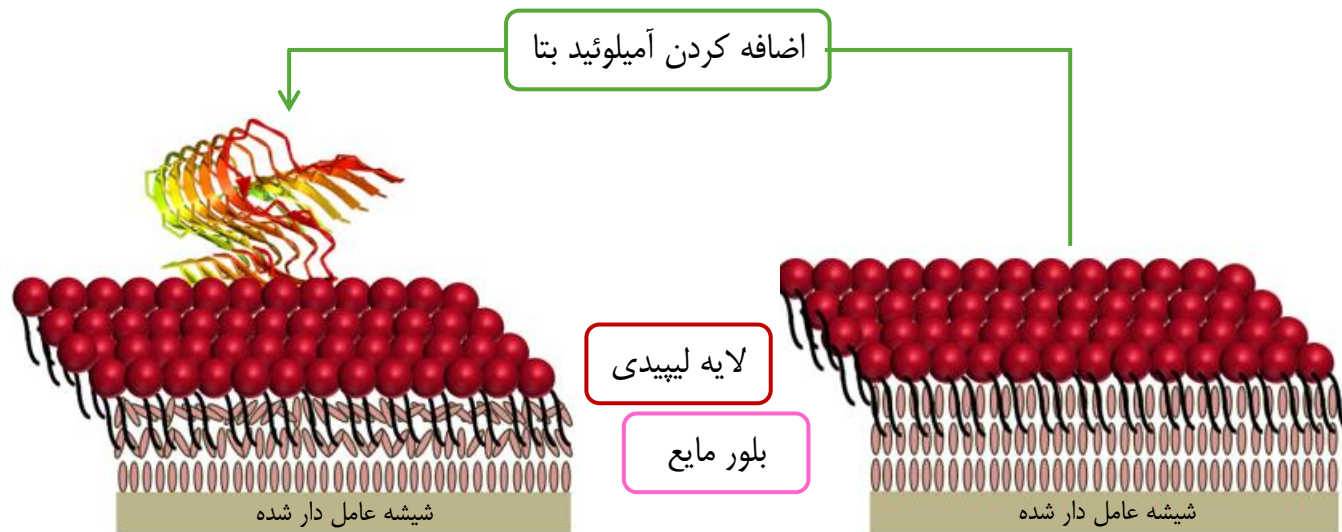
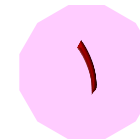
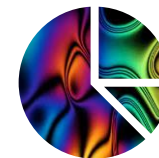
پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع‌بندی

[14]. Esmailpour, Mahboube, et al. "Rapid, label-free and low-cost diagnostic kit for COVID-19 based on liquid crystals and machine learning." *Biosensors and Bioelectronics: X* (2022)

حسگر مبتنی بر بلور مایع در تشخیص آمیلوئید بتا



تصاویر خروجی
از میکروسکوپ
نوری قطبشی

مقدمه

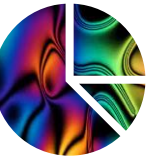
پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

[15] Pani, Ipsita, et al. "Differentiating conformationally distinct Alzheimer's amyloid-β oligomers using liquid crystals." *The Journal of Physical Chemistry Letters* (2020)

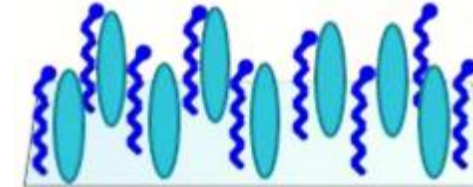
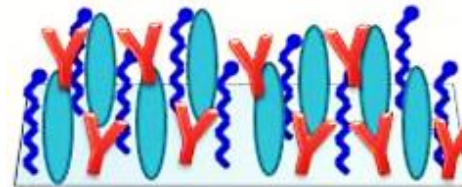
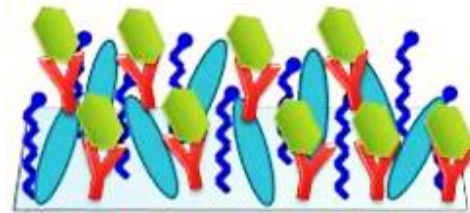
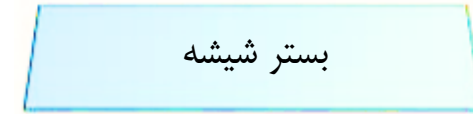
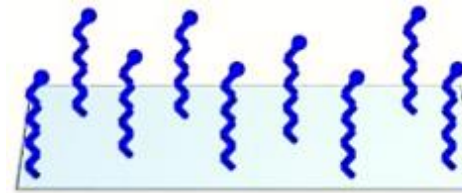
حسگر مبتنی بر بلور مایع در تشخیص آمیلوئید بتا



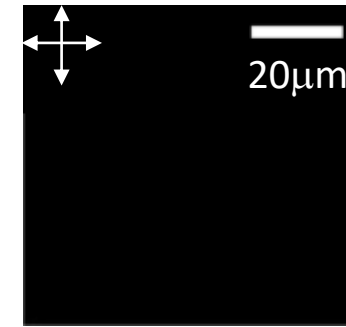
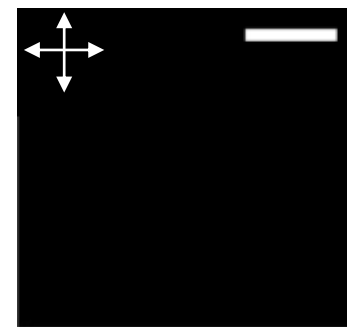
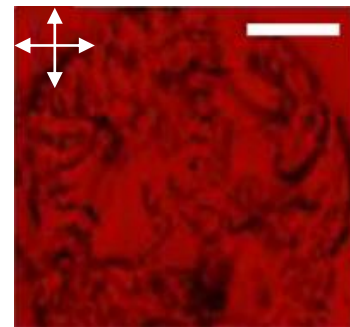
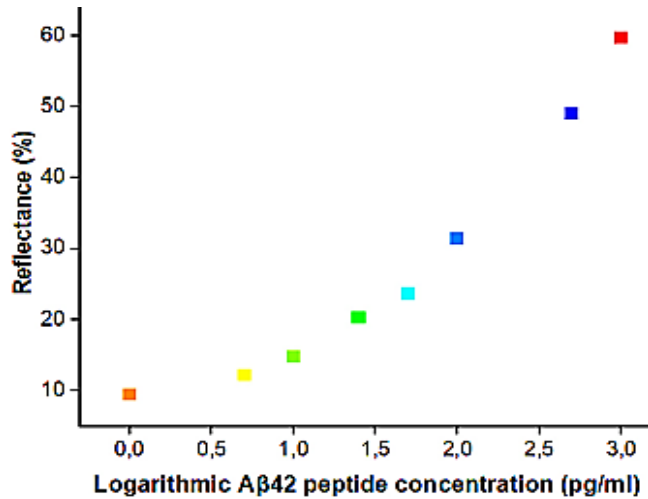
۲

بلور مایع DMOAP

آمیلوئید بتا آنتی‌بادی



تغییرات نور بازتابی نسبت به
تغییرات غلظت آمیلوئید بتا



مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

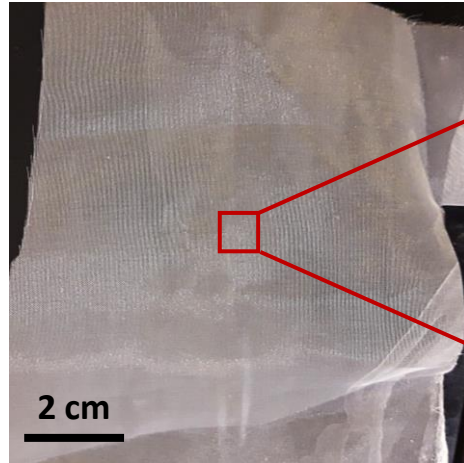
جمع‌بندی

[16]. Kemiklioglu et al.. "Development of liquid crystal biosensor for the detection of abeta-42 levels associated with Alzheimer's disease." *Journal of bioscience and bioengineering* (2021)

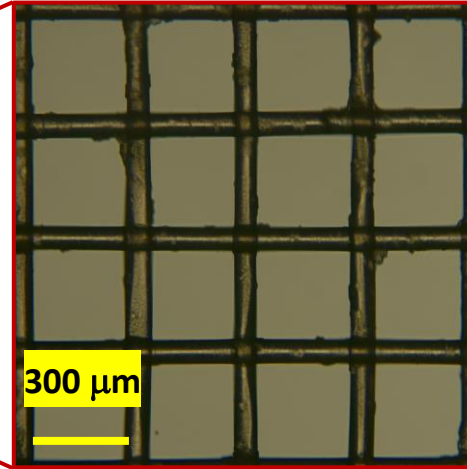
ساختار حسگر مورد استفاده



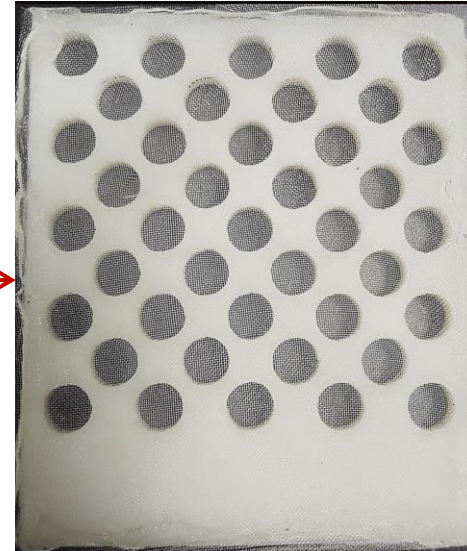
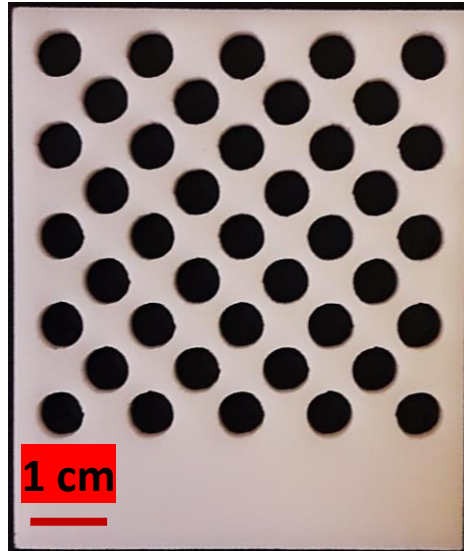
پارچه حریر از جنس پلی استر



300 μ m



چارچوب از جنس پلکسی



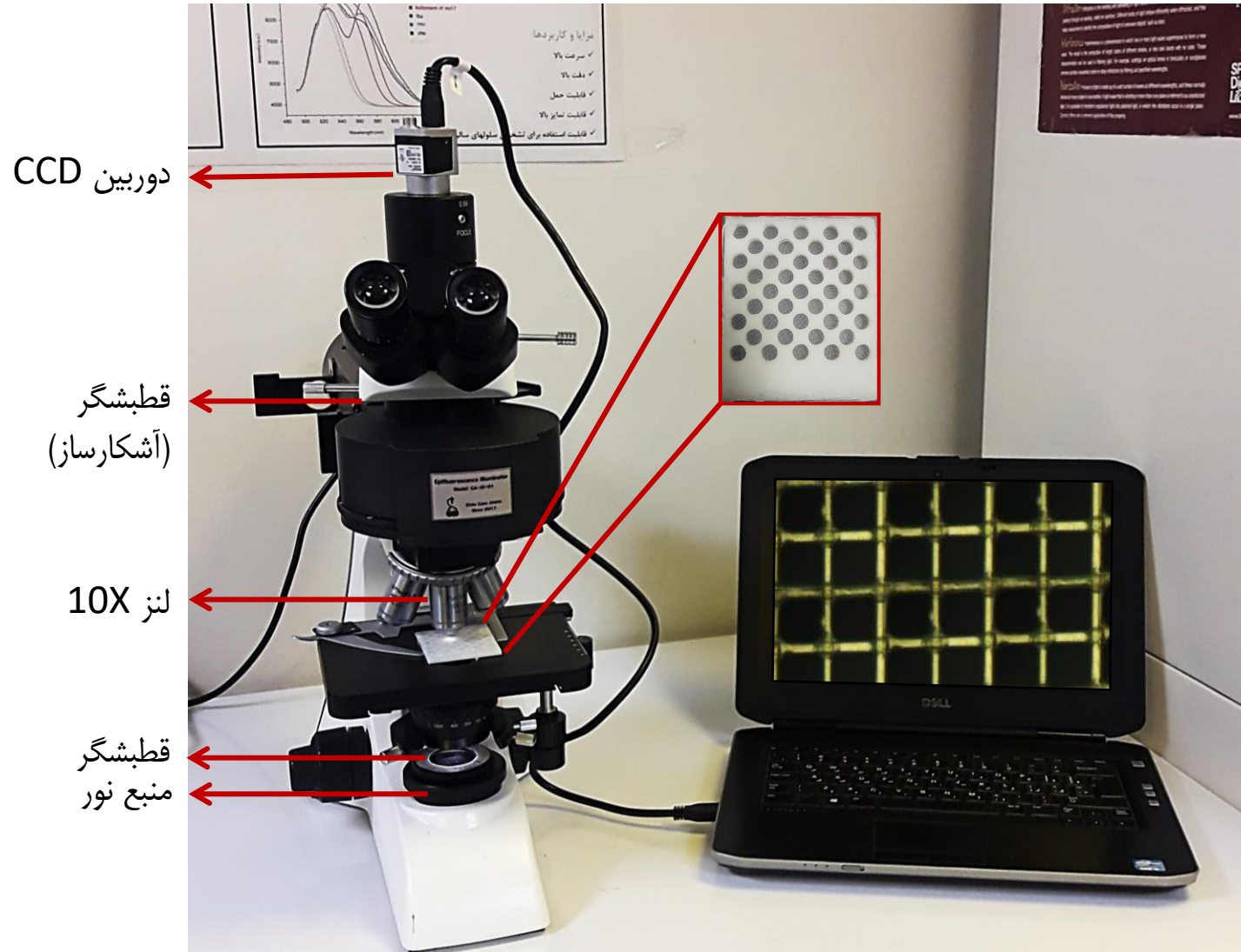
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

ساختار حسگر مورد استفاده



مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

مواد مورد استفاده



مقدمه

پیشینه تحقیق

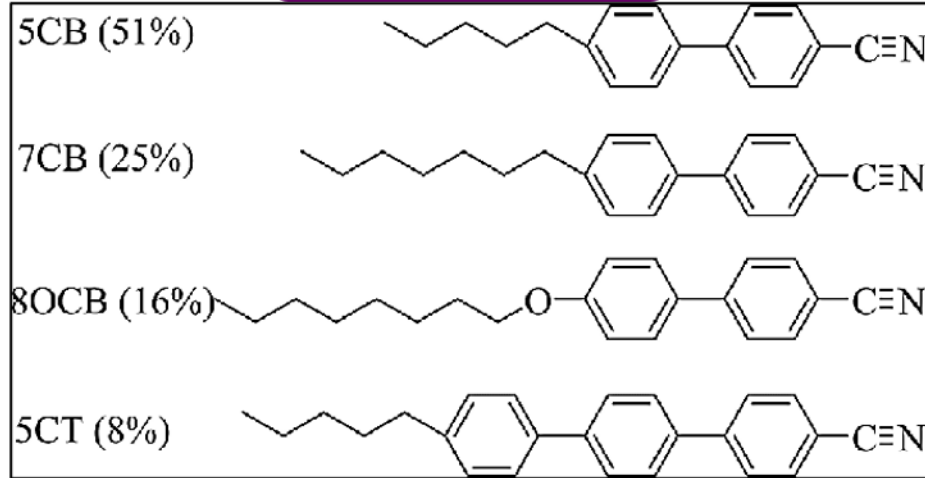
روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

مواد مورد استفاده



ترکیب بلور مایع E7



+۶۱	دمای گذار (°C)
$n_e=1.7464$ $n_o=1.5211$ $\Delta n=0.2253$	ضریب شکست



مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

مواد مورد استفاده

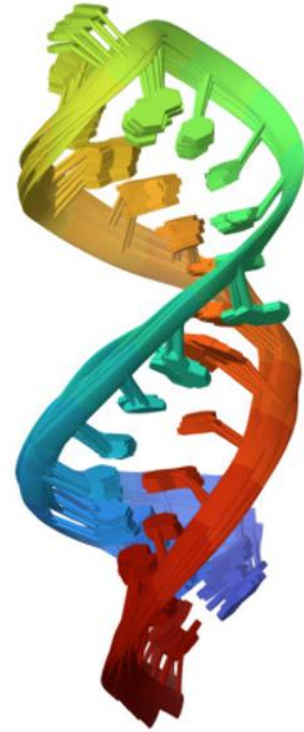
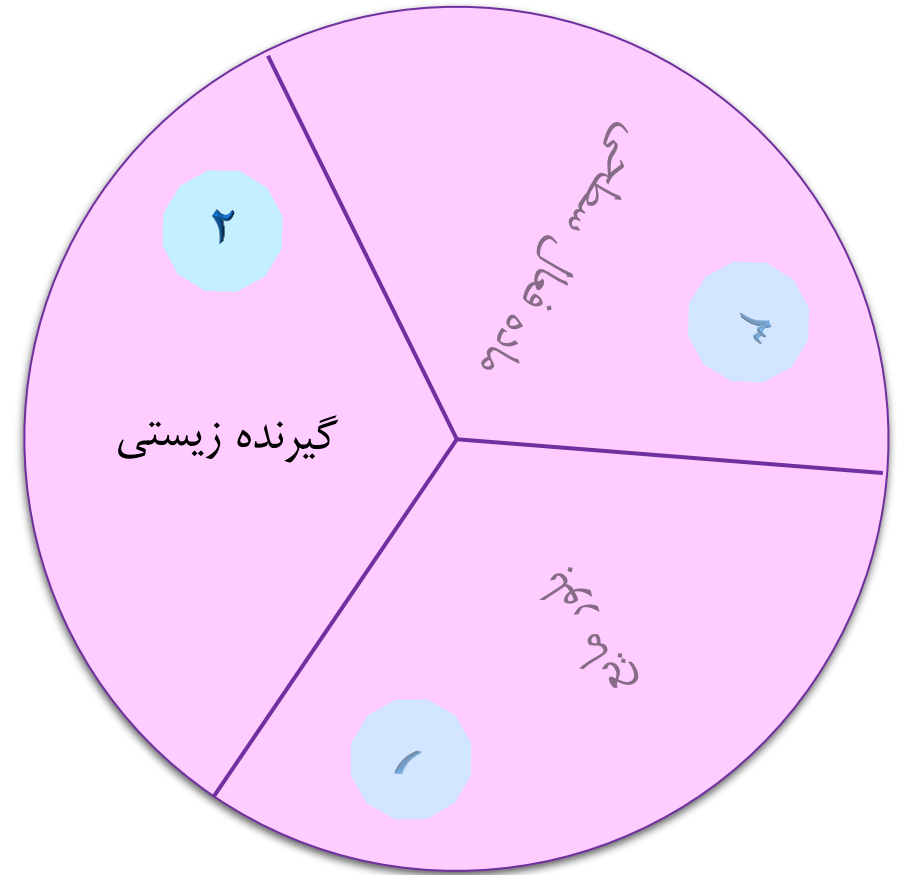


مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی



آپتامر DNA با بار منفی

قابلیت انحلال در آب در دمای اتاق

[17]. Reiter et al. "DNA mimicry by a high-affinity anti-NF- κ B RNA aptamer." *Nucleic acids research* (2008)

مواد مورد استفاده

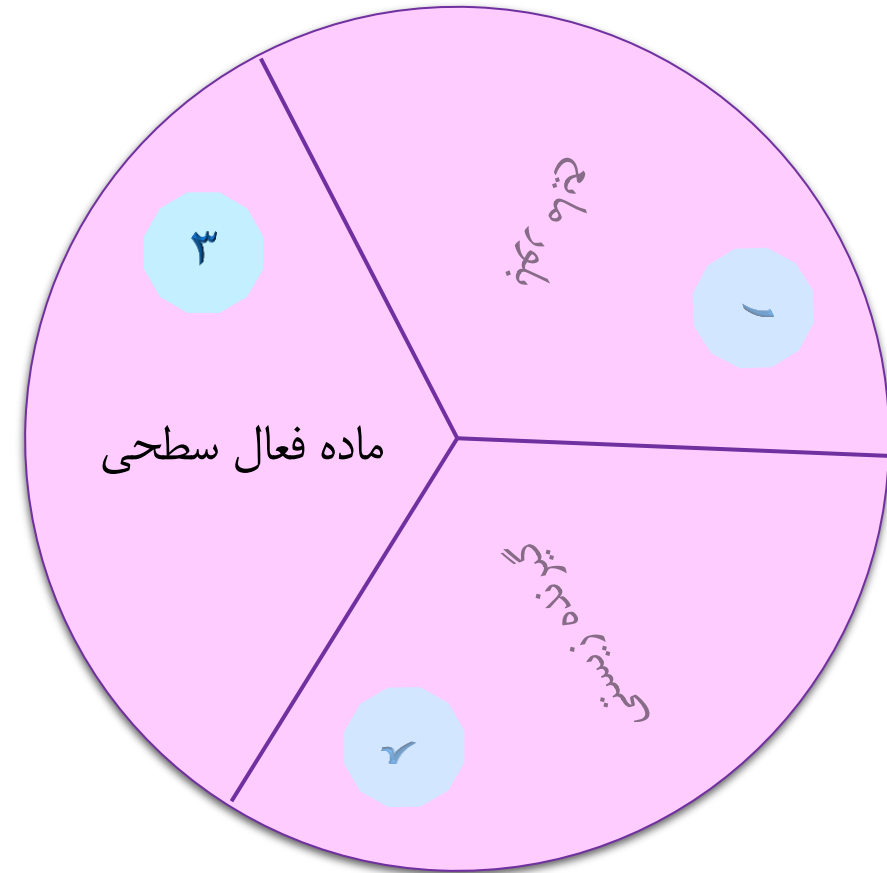


ستیل تری متیل آمونیوم بروماید (CTAB)



اتصال به آیتامر DNA با بار منفی

القای تراز عمودی به مولکول های بلور مایع

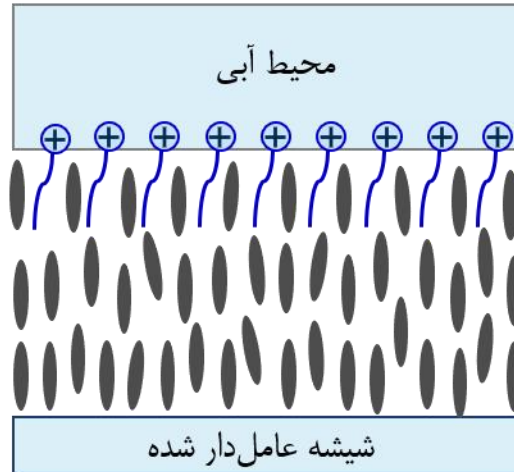
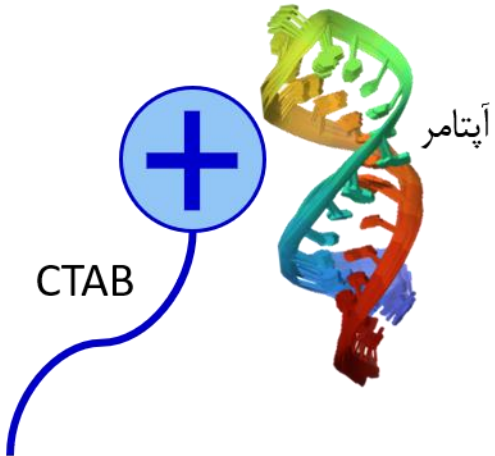


مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

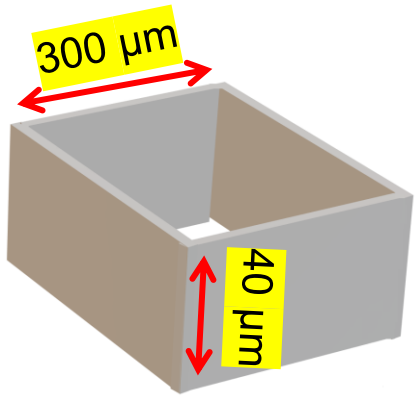
جمع بندی



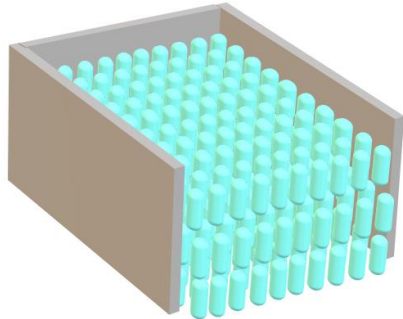


اساس کار حسگر برای تشخیص آمیلوئید بتا

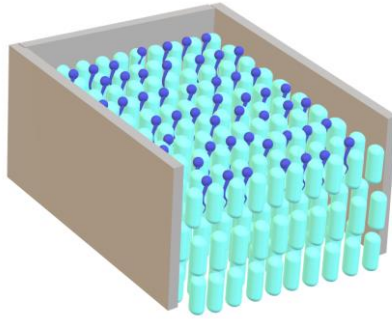
خالی



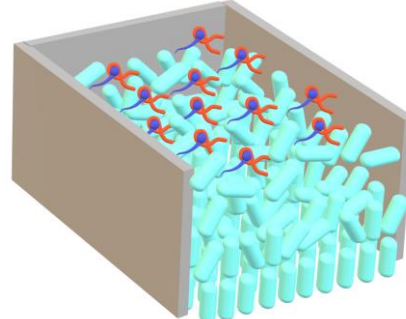
بلور مایع



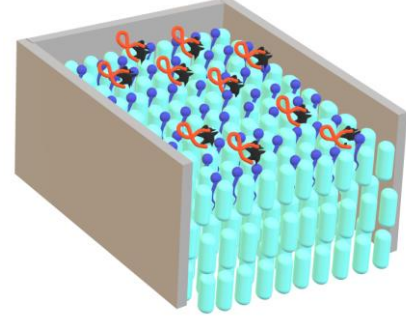
بلور مایع
CTAB



بلور مایع
CTAB
آپتامر



بلور مایع
CTAB
آپتامر
آمیلوئید بتا

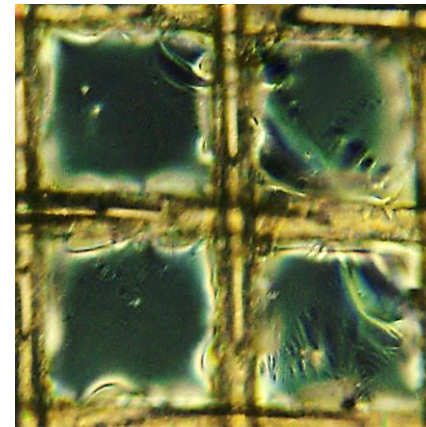
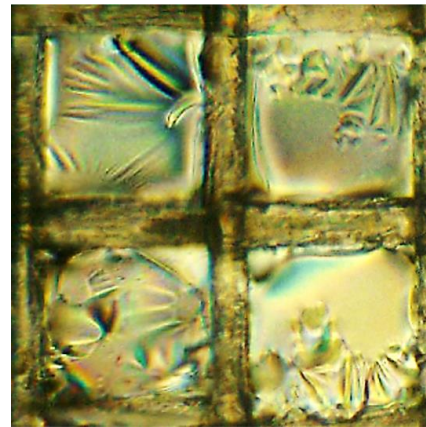
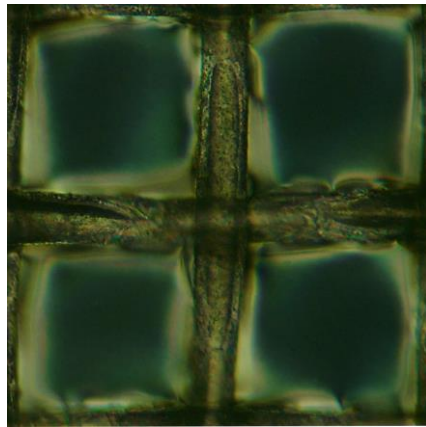
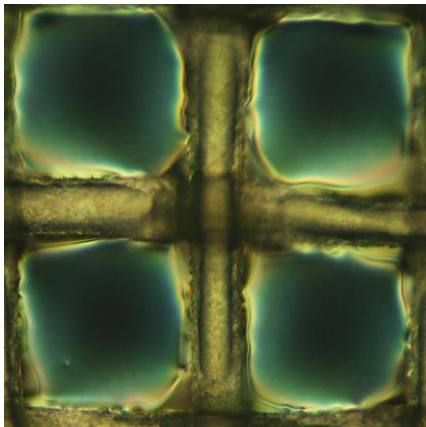
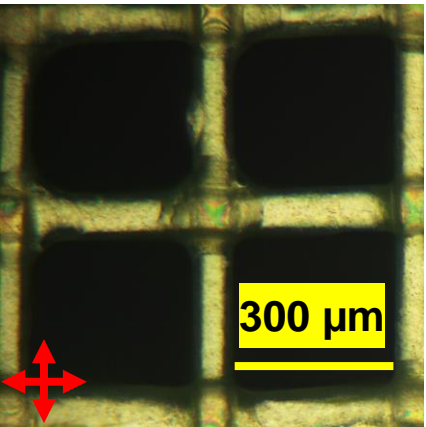


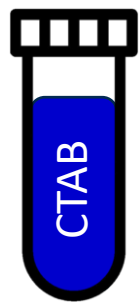
مقدمه

پیشینه تحقیق

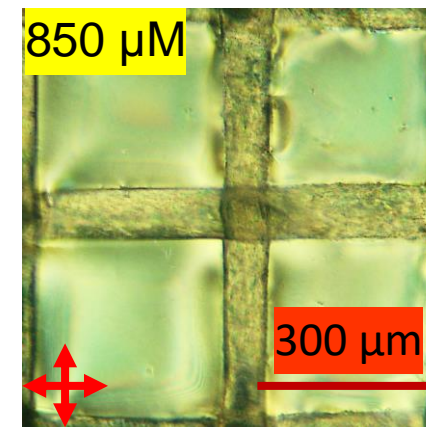
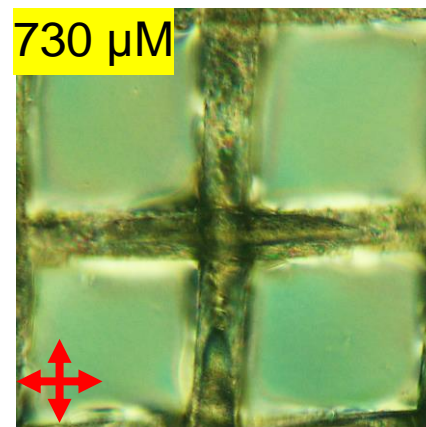
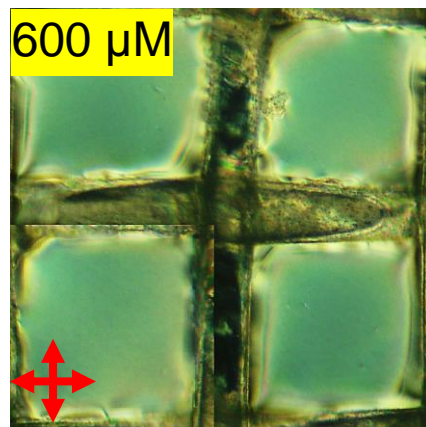
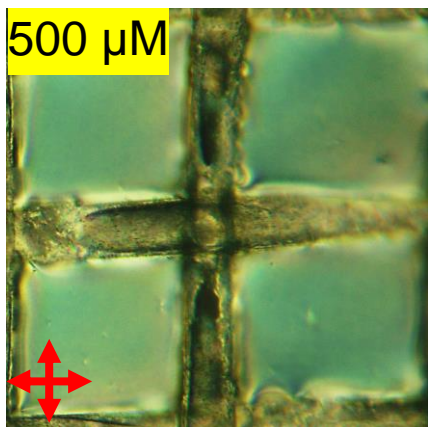
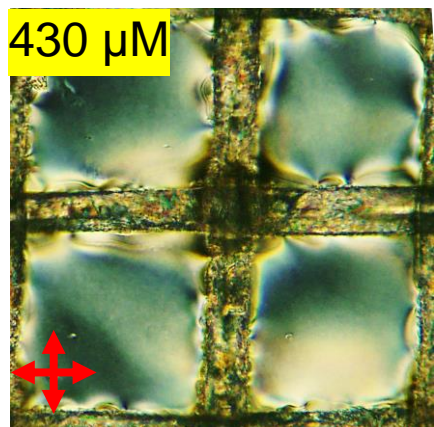
روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی





بهینه‌سازی غلظت CTAB

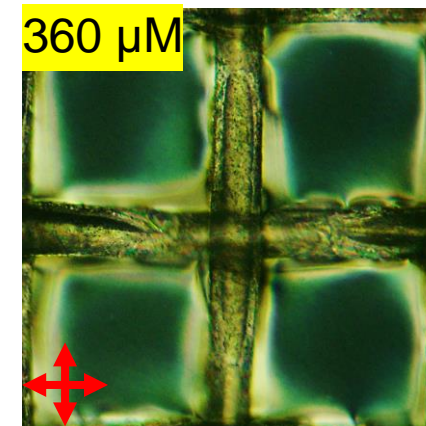
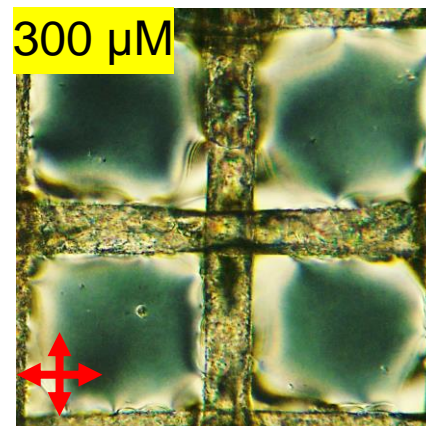
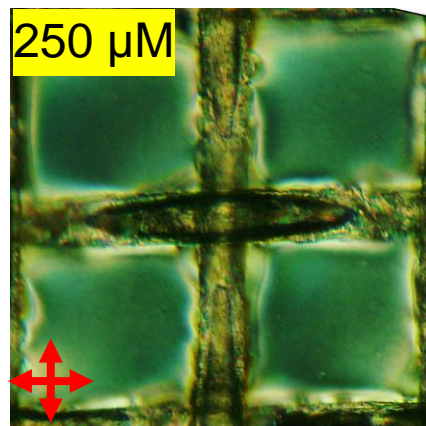
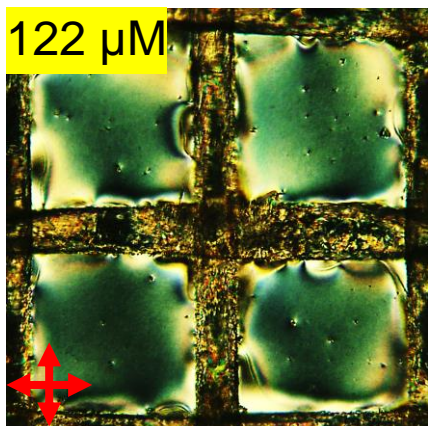
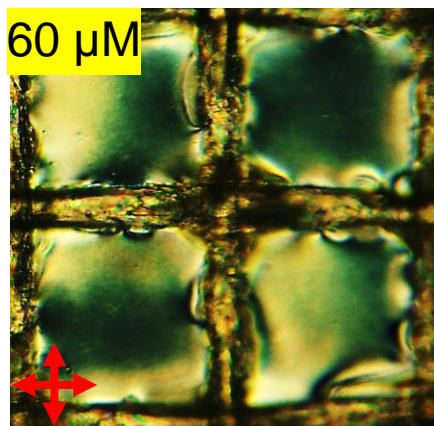


مقدمه

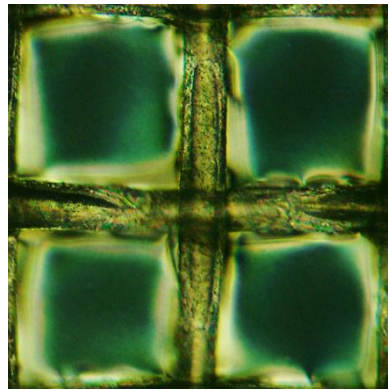
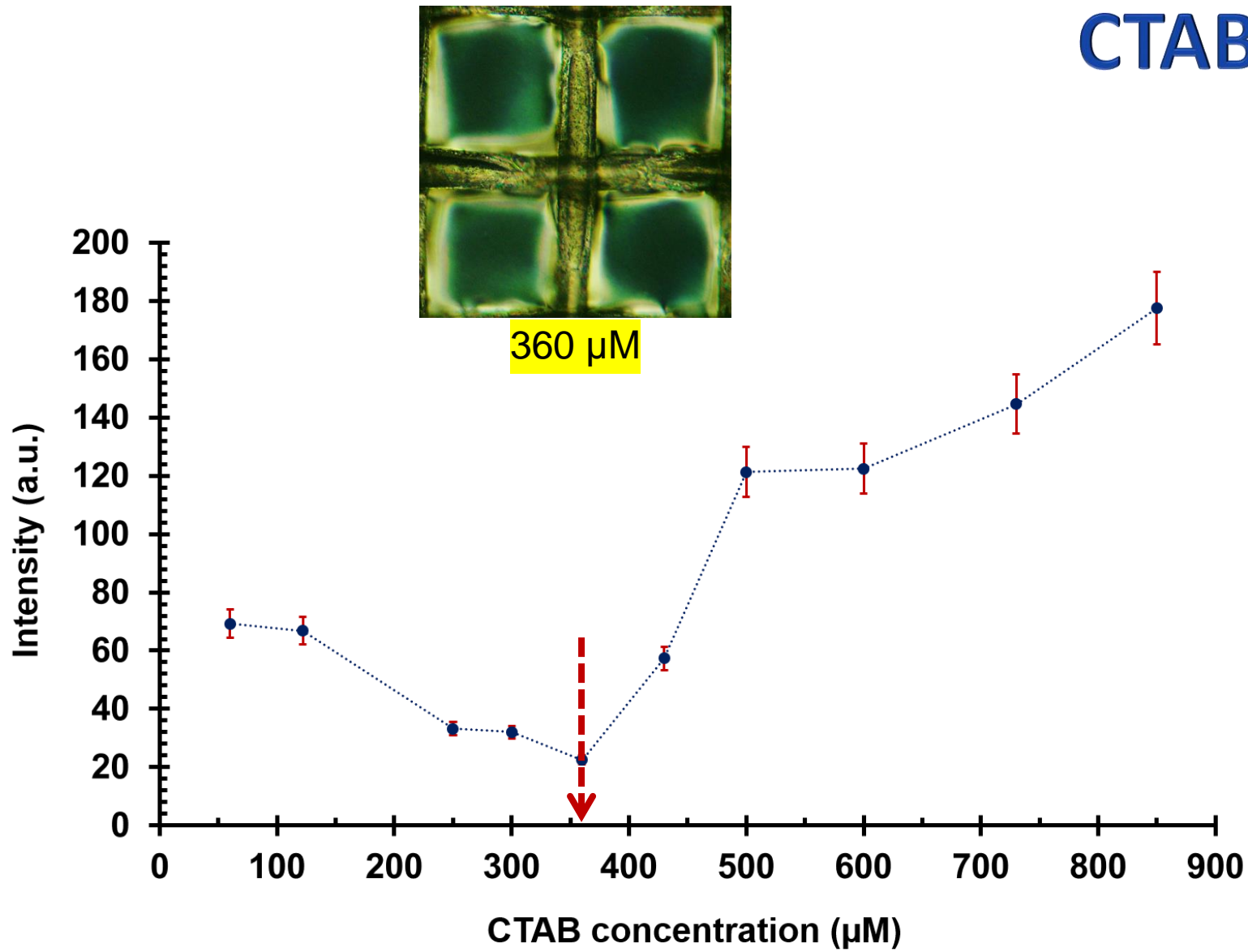
پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

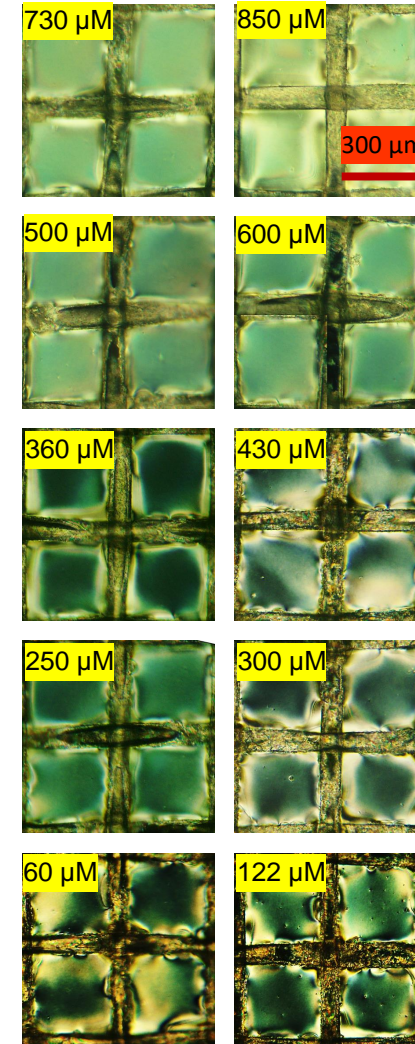
جمع‌بندی



بهینه‌سازی غلظت CTAB



360 μM



مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

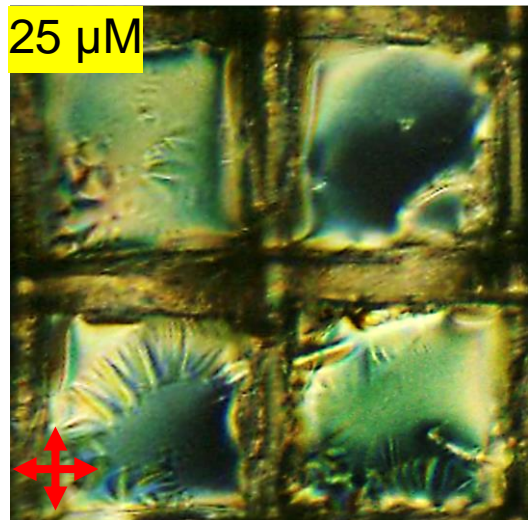
جمع‌بندی



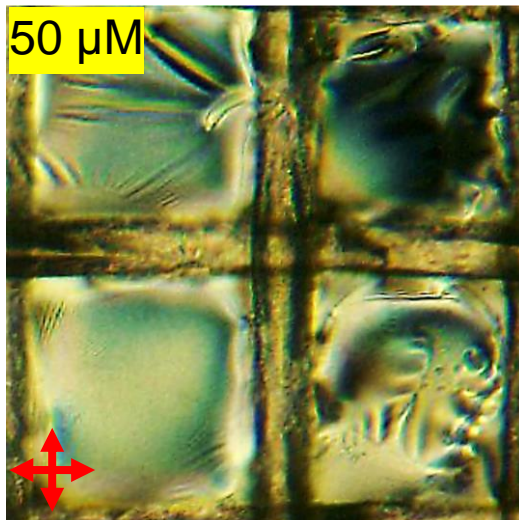
بهینه‌سازی غلظت آپتامر



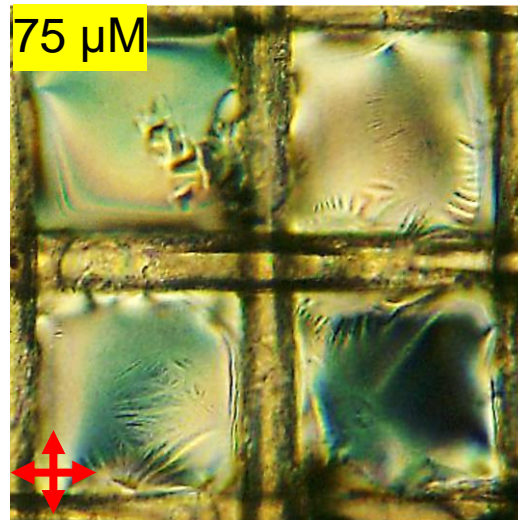
25 μM



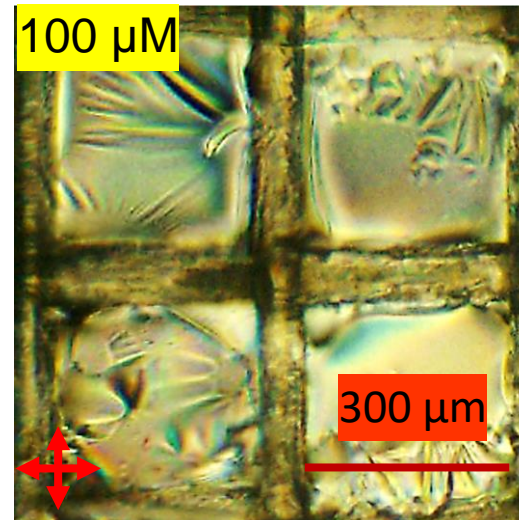
50 μM



75 μM



100 μM



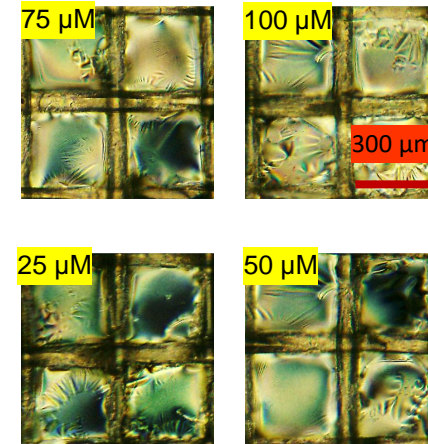
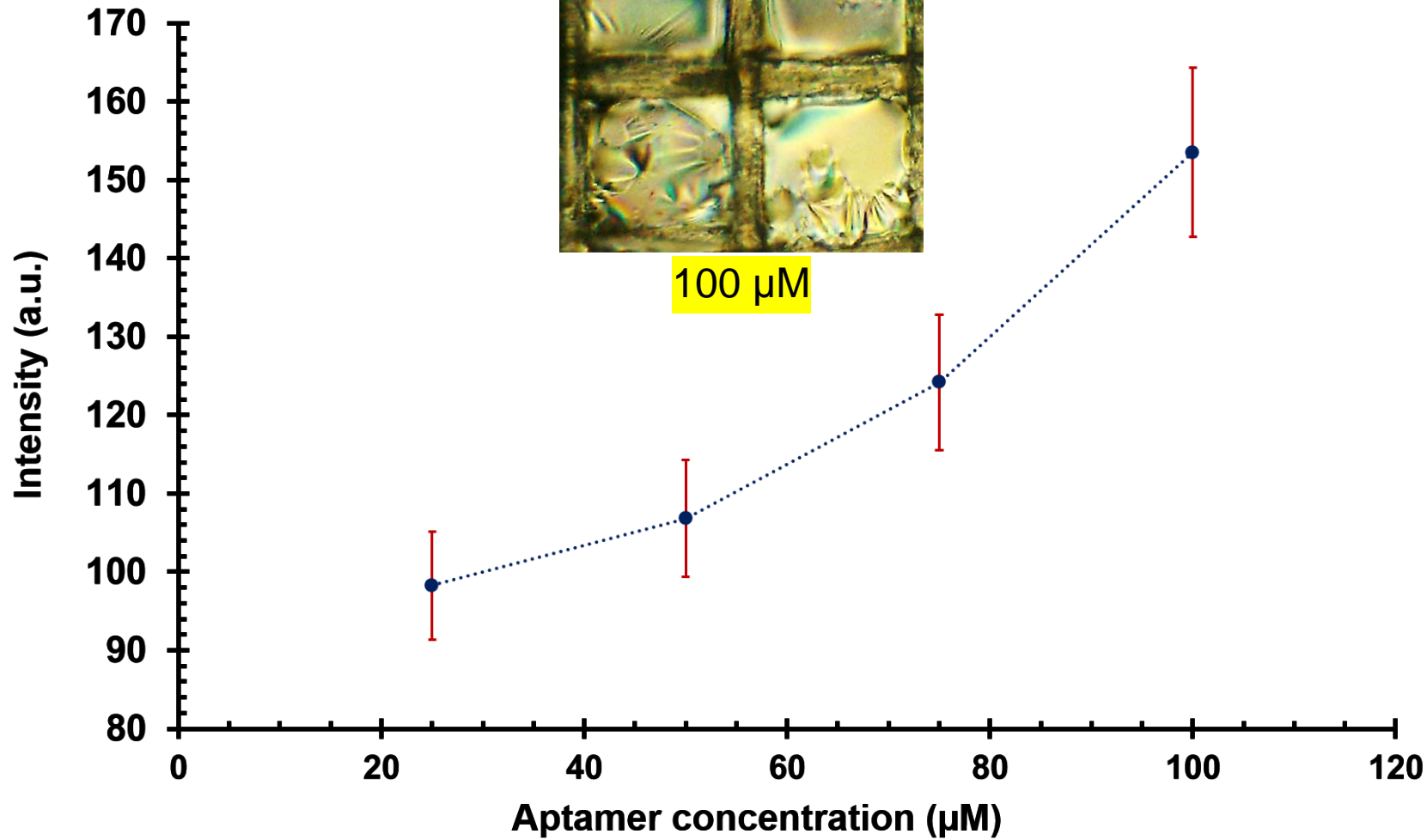
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع‌بندی

بهینه‌سازی غلظت آپتامر



مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

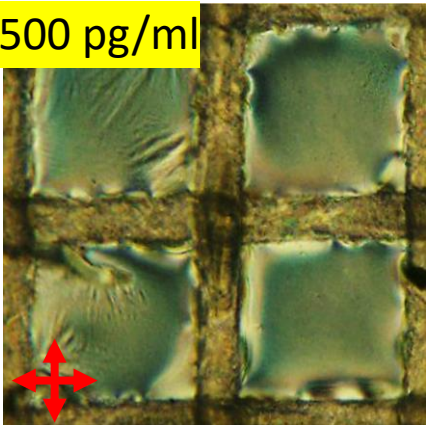
جمع‌بندی



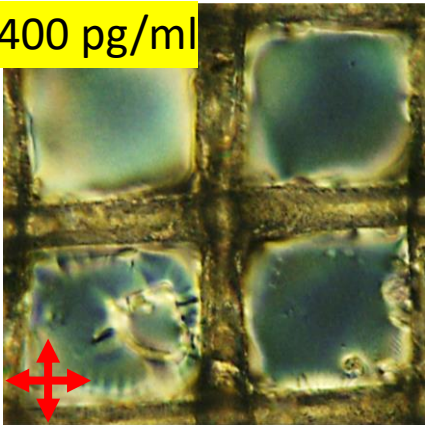
حساسیت حسگر نسبت به آمیلوئید بتا



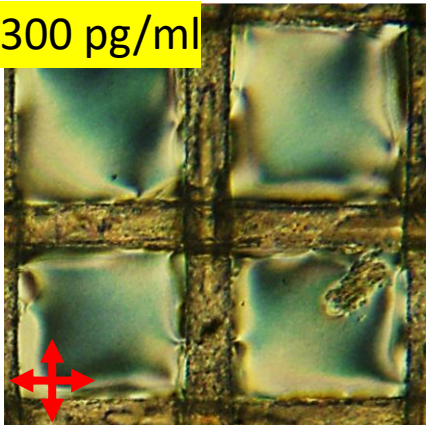
500 pg/ml



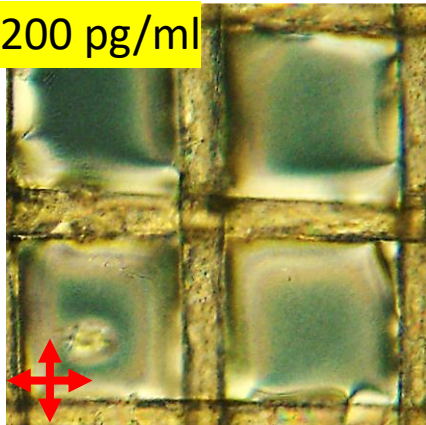
400 pg/ml



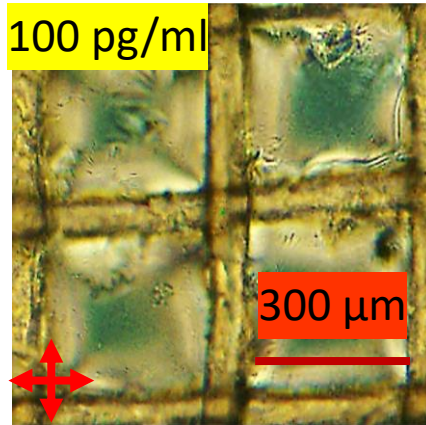
300 pg/ml



200 pg/ml



100 pg/ml



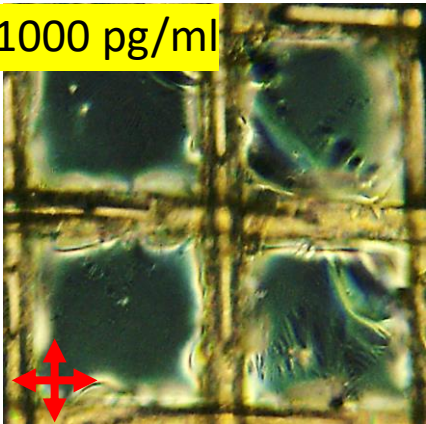
مقدمه

پیشینه تحقیق

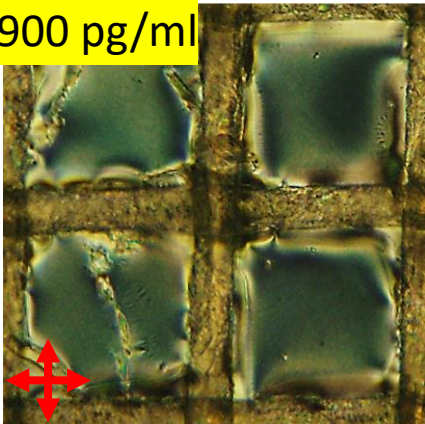
روش و نتایج
تحقیق

جمع‌بندی

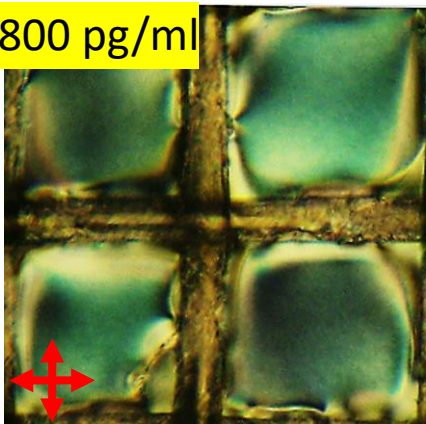
1000 pg/ml



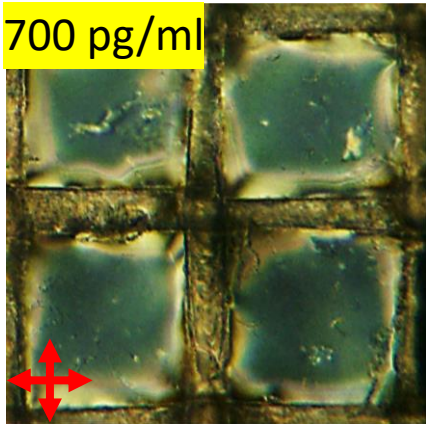
900 pg/ml



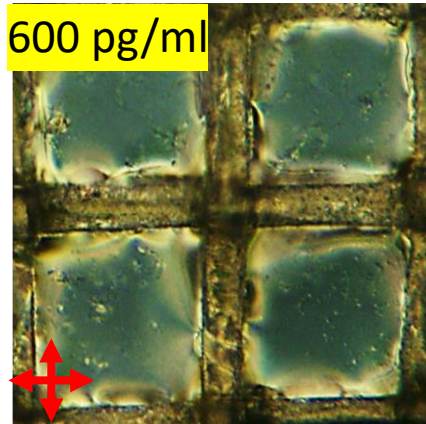
800 pg/ml



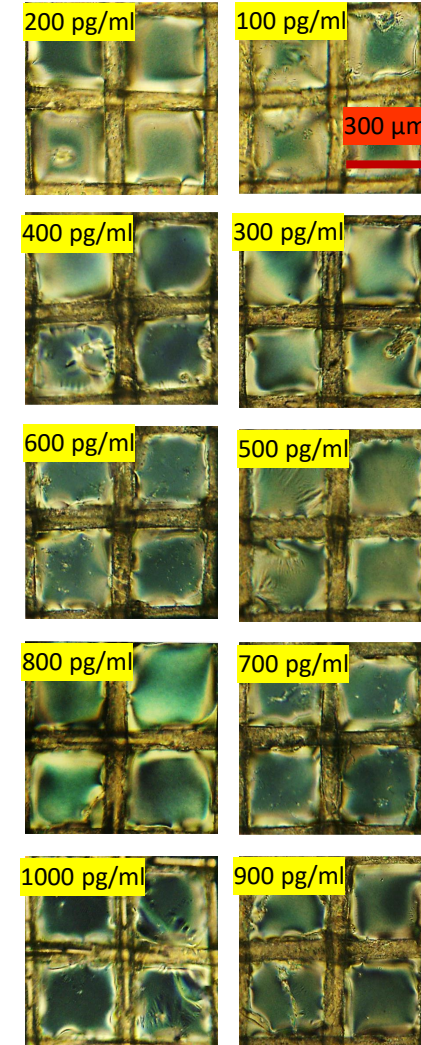
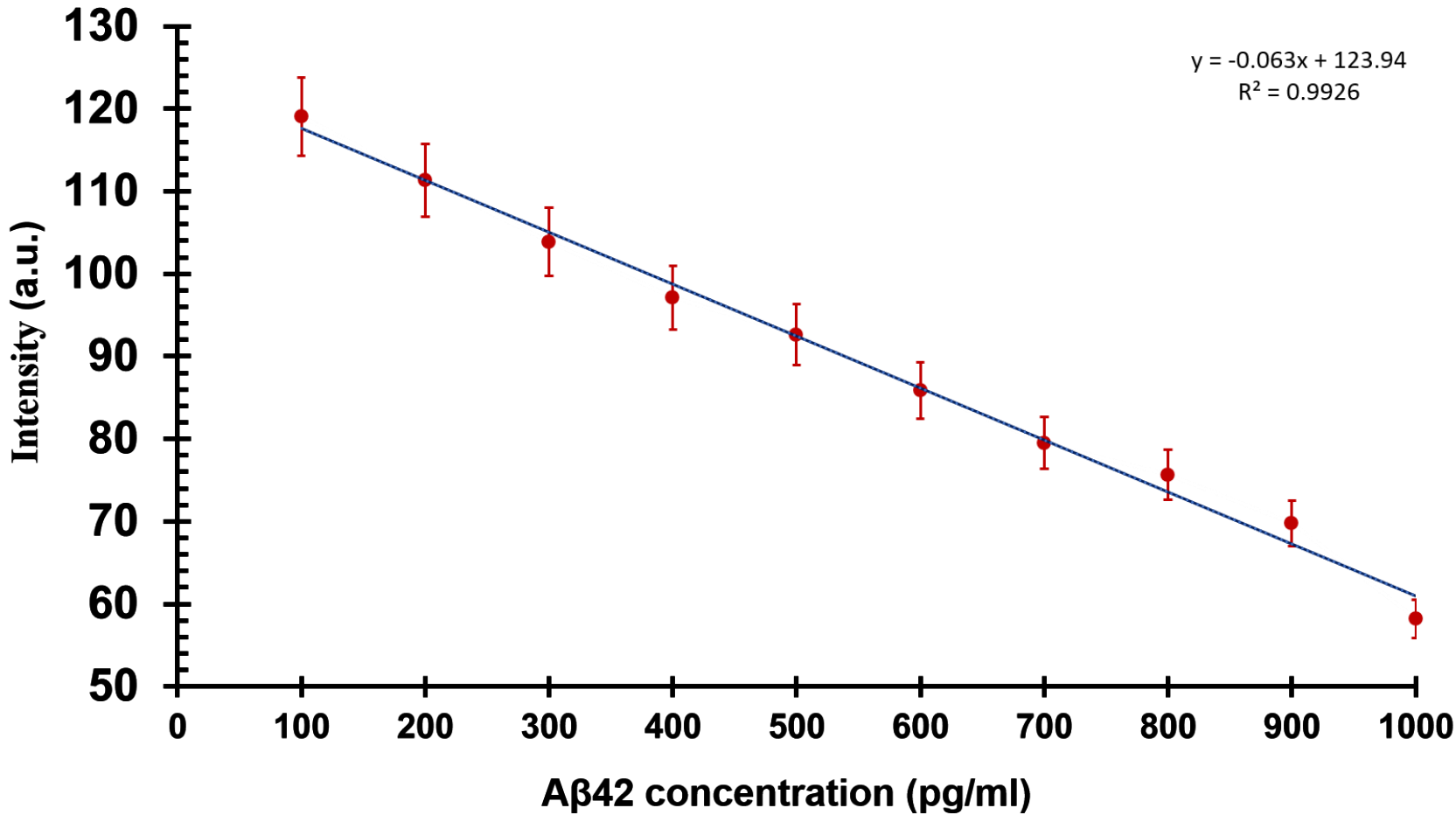
700 pg/ml



600 pg/ml



حساسیت حسگر نسبت به آمیلوئید بتا



مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

زمان پاسخ حسگر



۱۰۰۰ pg/ml	۹۰۰ pg/ml	۸۰۰ pg/ml	۷۰۰ pg/ml	۶۰۰ pg/ml	۵۰۰ pg/ml	۴۰۰ pg/ml	۳۰۰ pg/ml	۲۰۰ pg/ml	۱۰۰ pg/ml	
										شروع
										۲ دقیقه
										۴ دقیقه
										۶ دقیقه
										۸ دقیقه
										۱۰ دقیقه

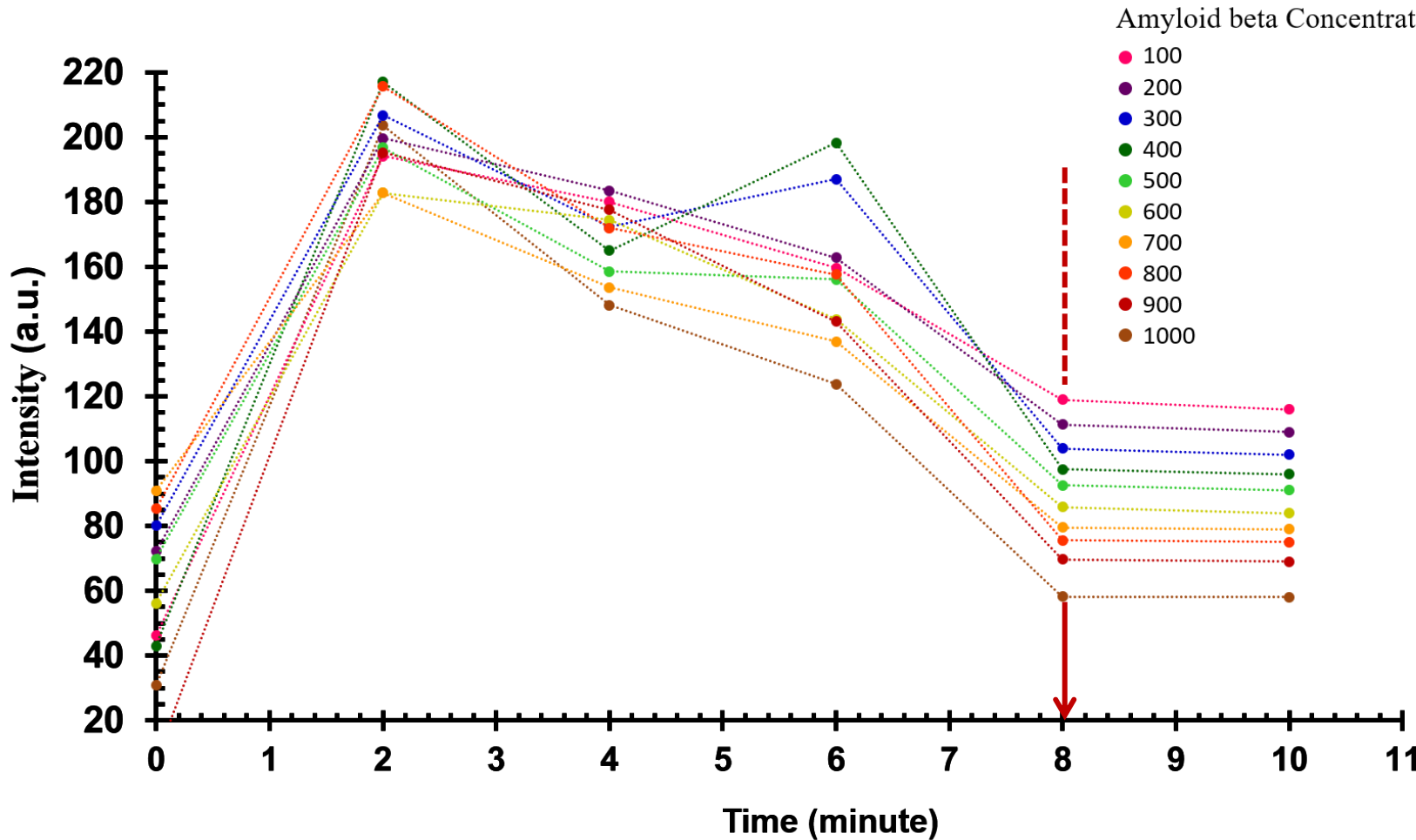
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

زمان پاسخ حسگر



	شروع	۲ دقیقه	۴ دقیقه	۶ دقیقه	۸ دقیقه	۱۰ دقیقه
۱۰۰ pg/ml						
۲۰۰ pg/ml						
۳۰۰ pg/ml						
۴۰۰ pg/ml						
۵۰۰ pg/ml						
۶۰۰ pg/ml						
۷۰۰ pg/ml						
۸۰۰ pg/ml						
۹۰۰ pg/ml						
۱۰۰۰ pg/ml						

مقدمه

پیشینه تحقیق

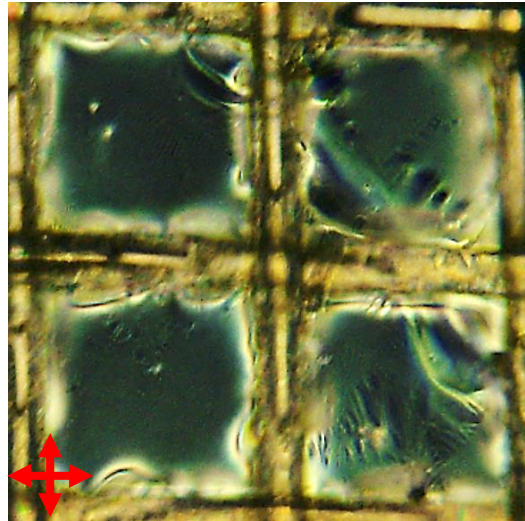
روش و نتایج تحقیق

جمع بندی

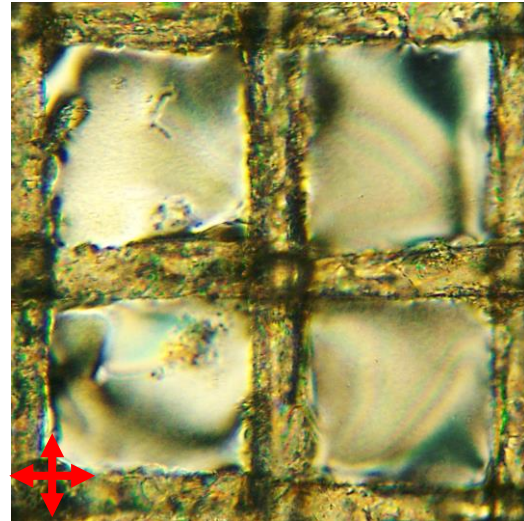
انتخابگری حسگر



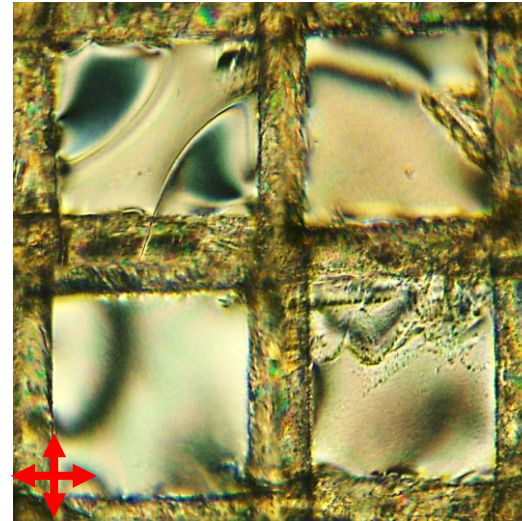
مقدمه



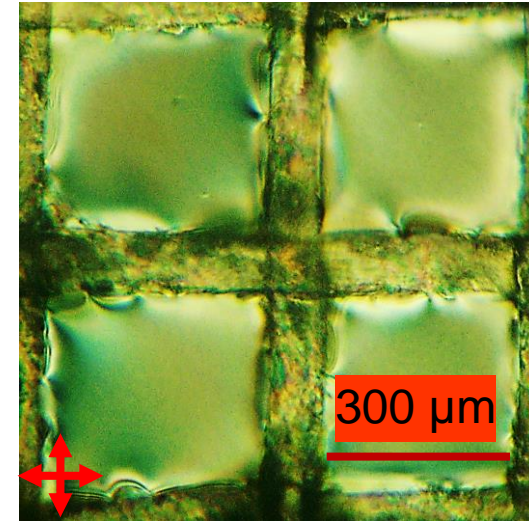
آمیلوئید بتا



آلبومین



آدرنالین



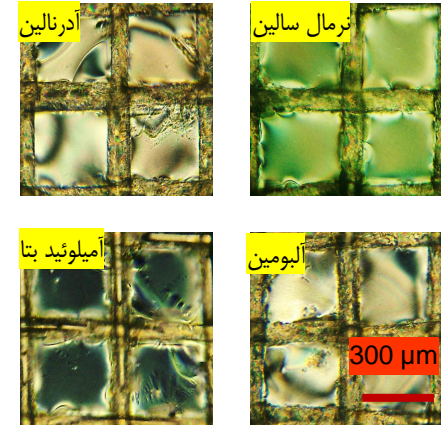
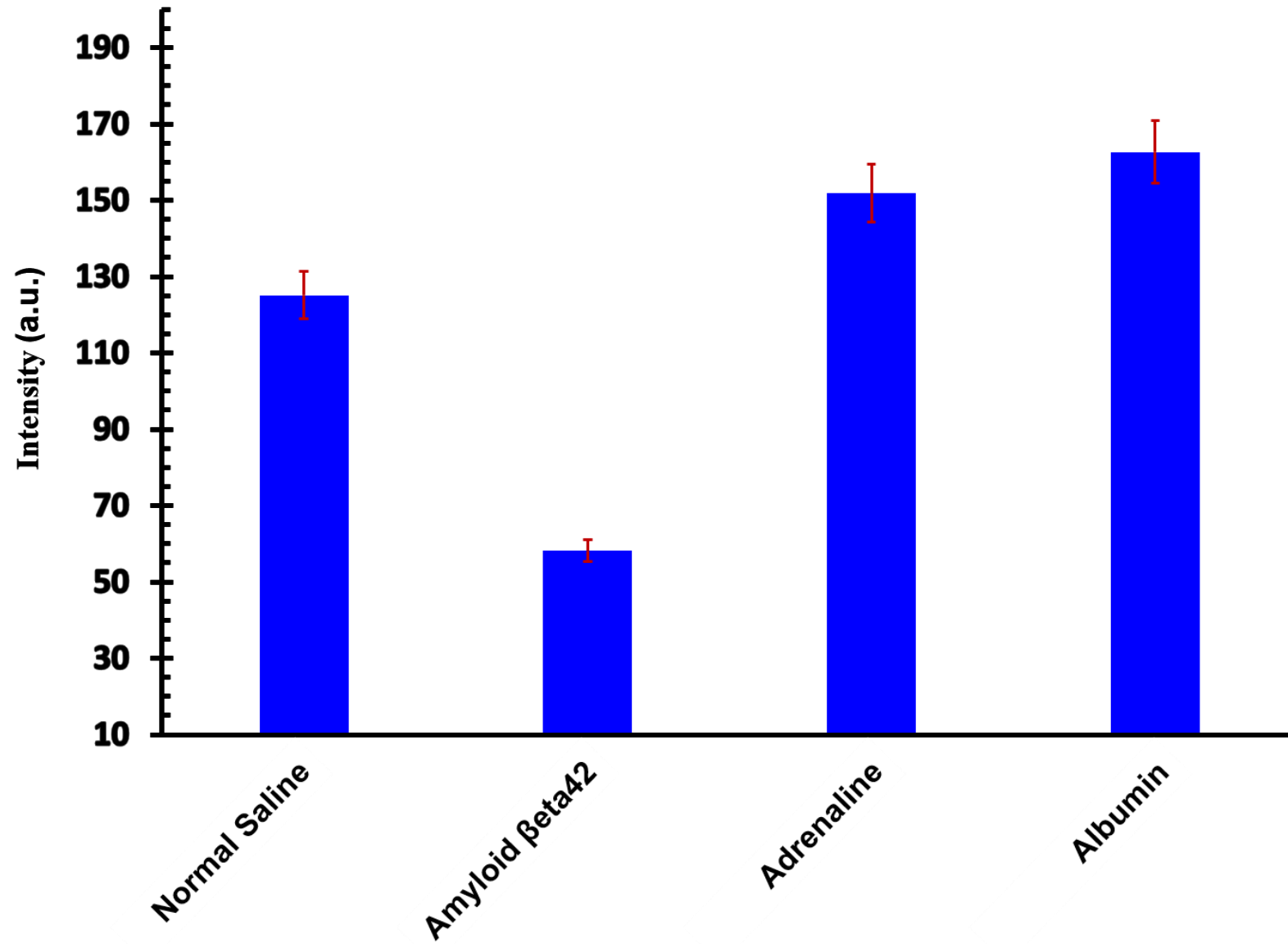
نرمال سالین

پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

جمع بندی

انتخابگری حسگر



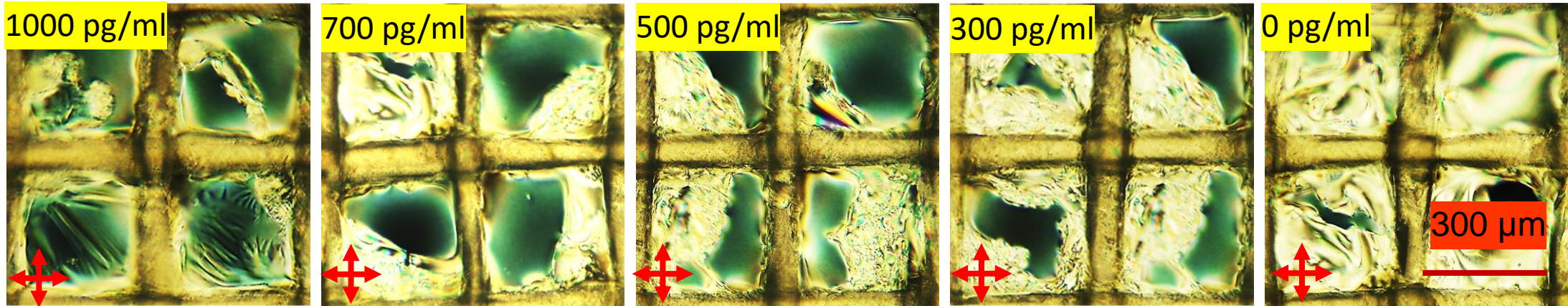
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

حساسیت حسگر در حضور سرم جنین گاوی



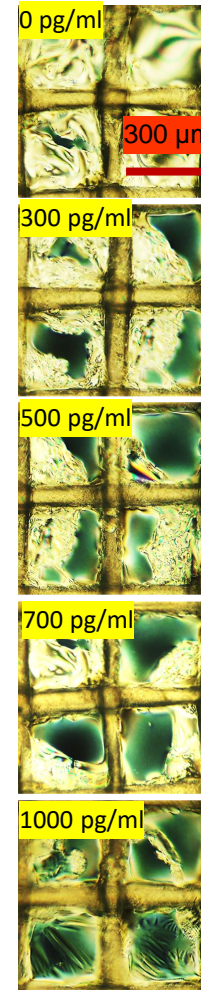
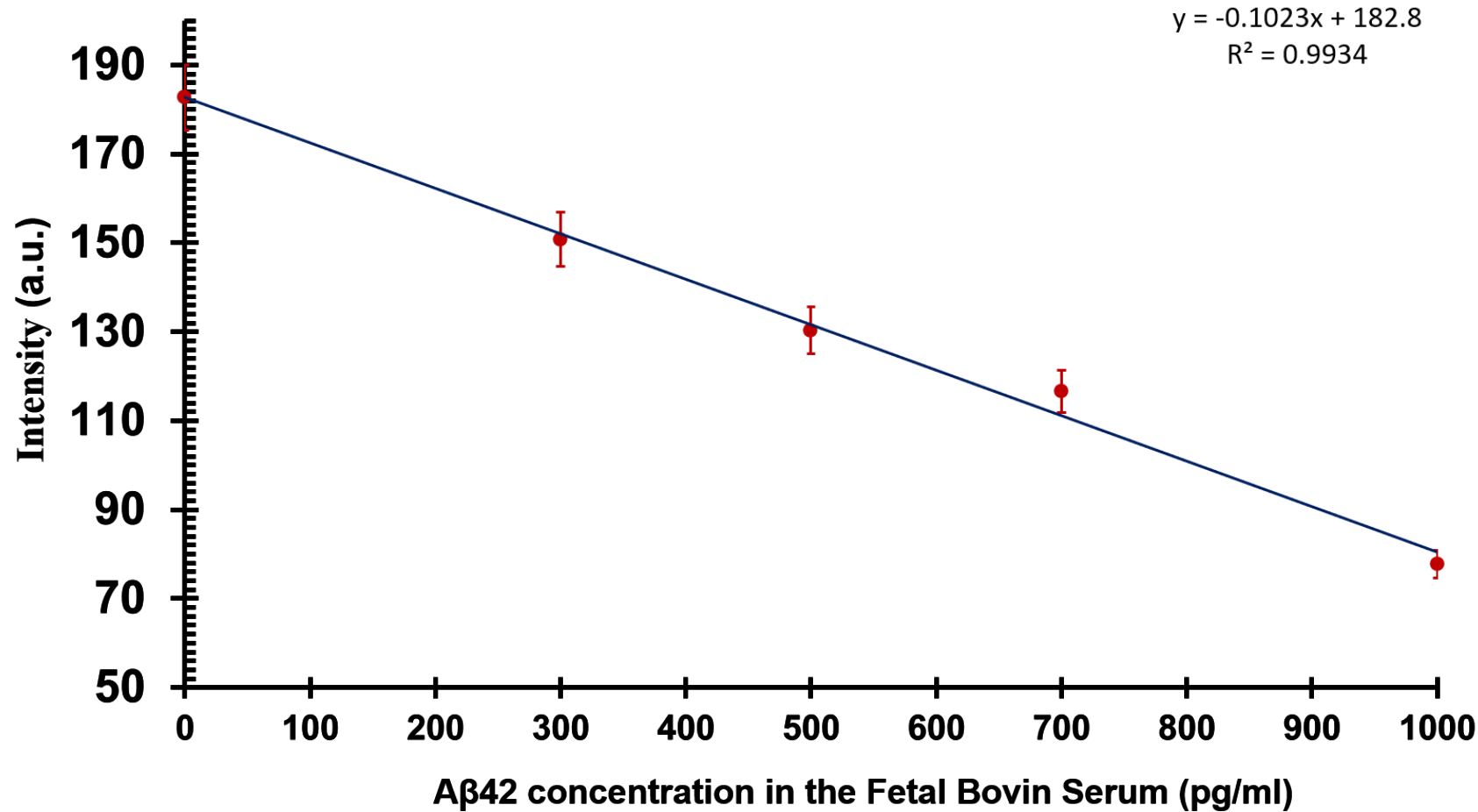
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

حساسیت حسگر در حضور سرم جنین گاوی



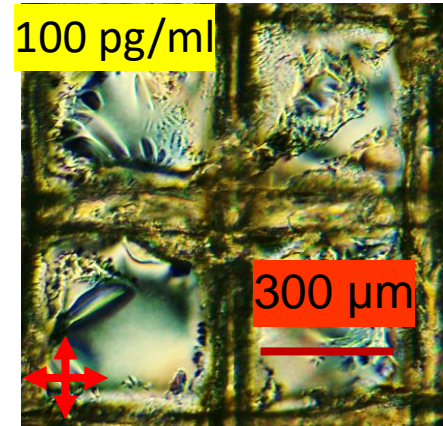
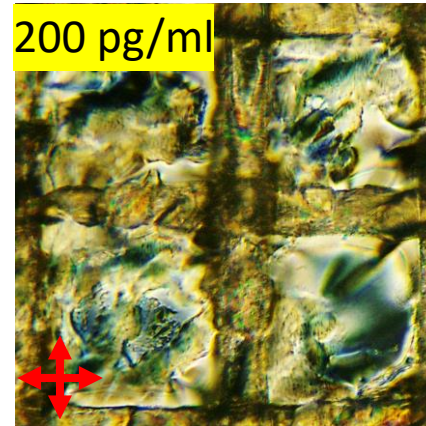
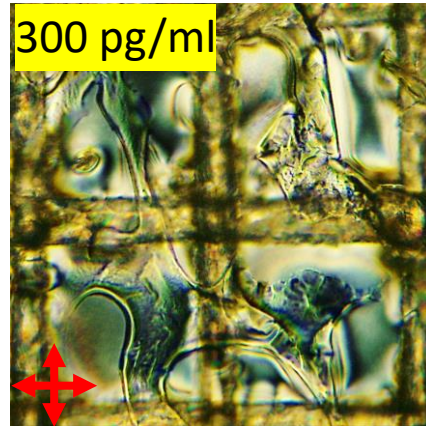
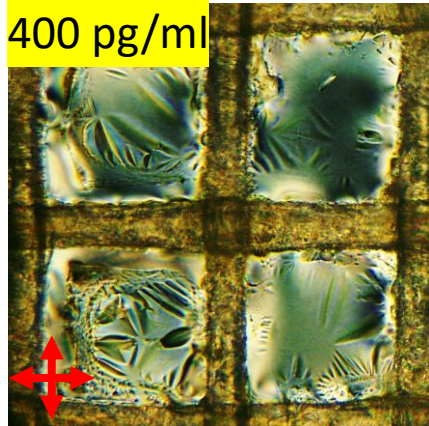
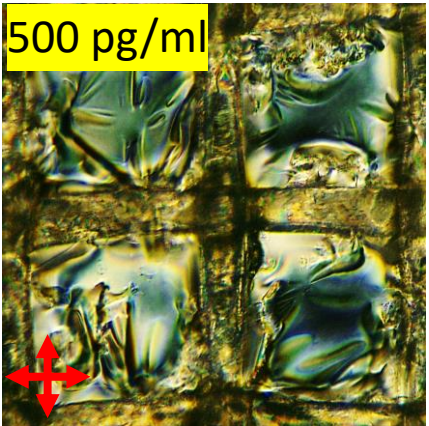
مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی

حساسیت حسگر در حضور سرم انسانی

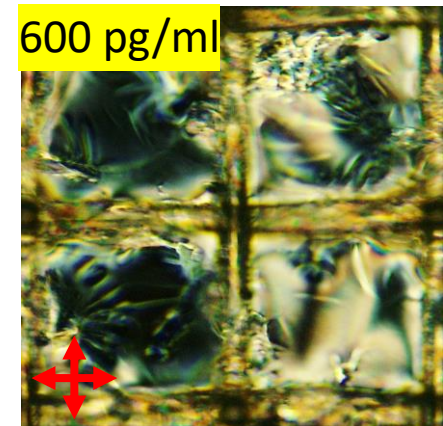
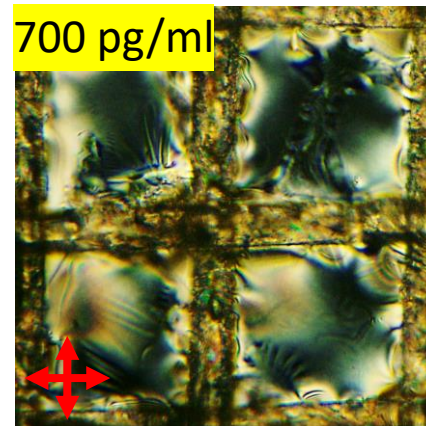
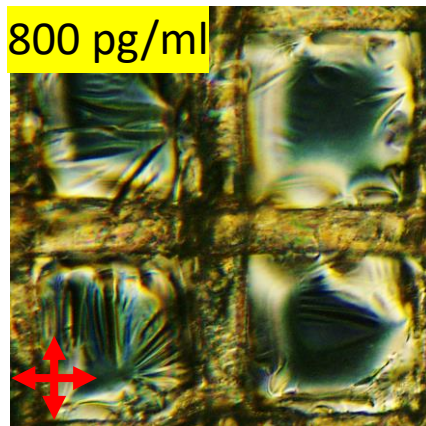
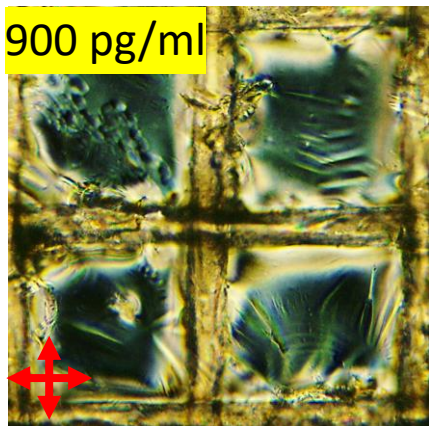
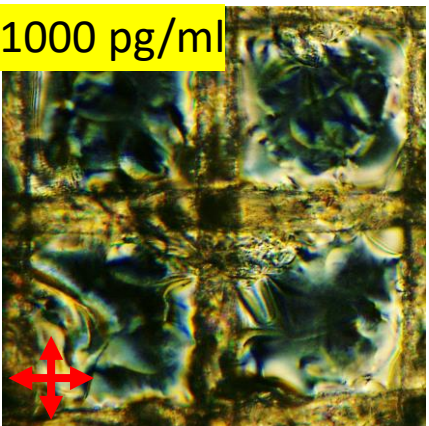


مقدمه

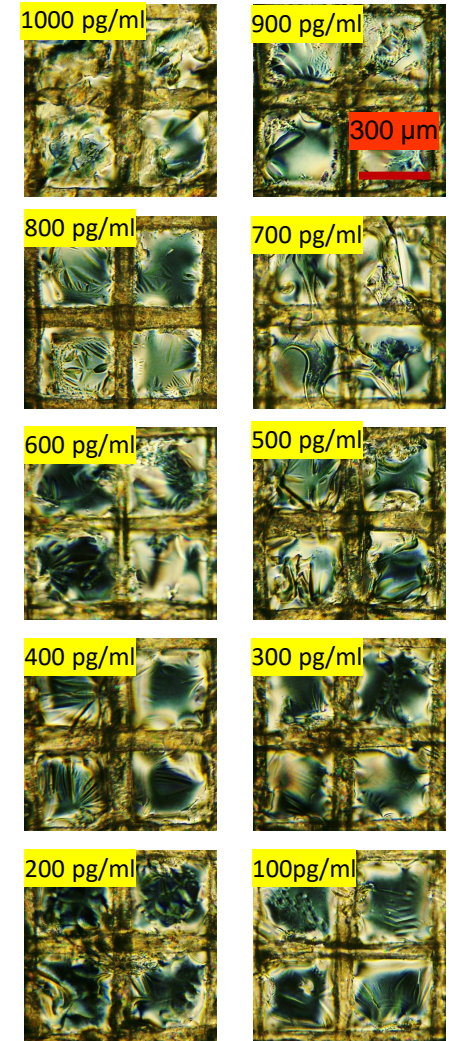
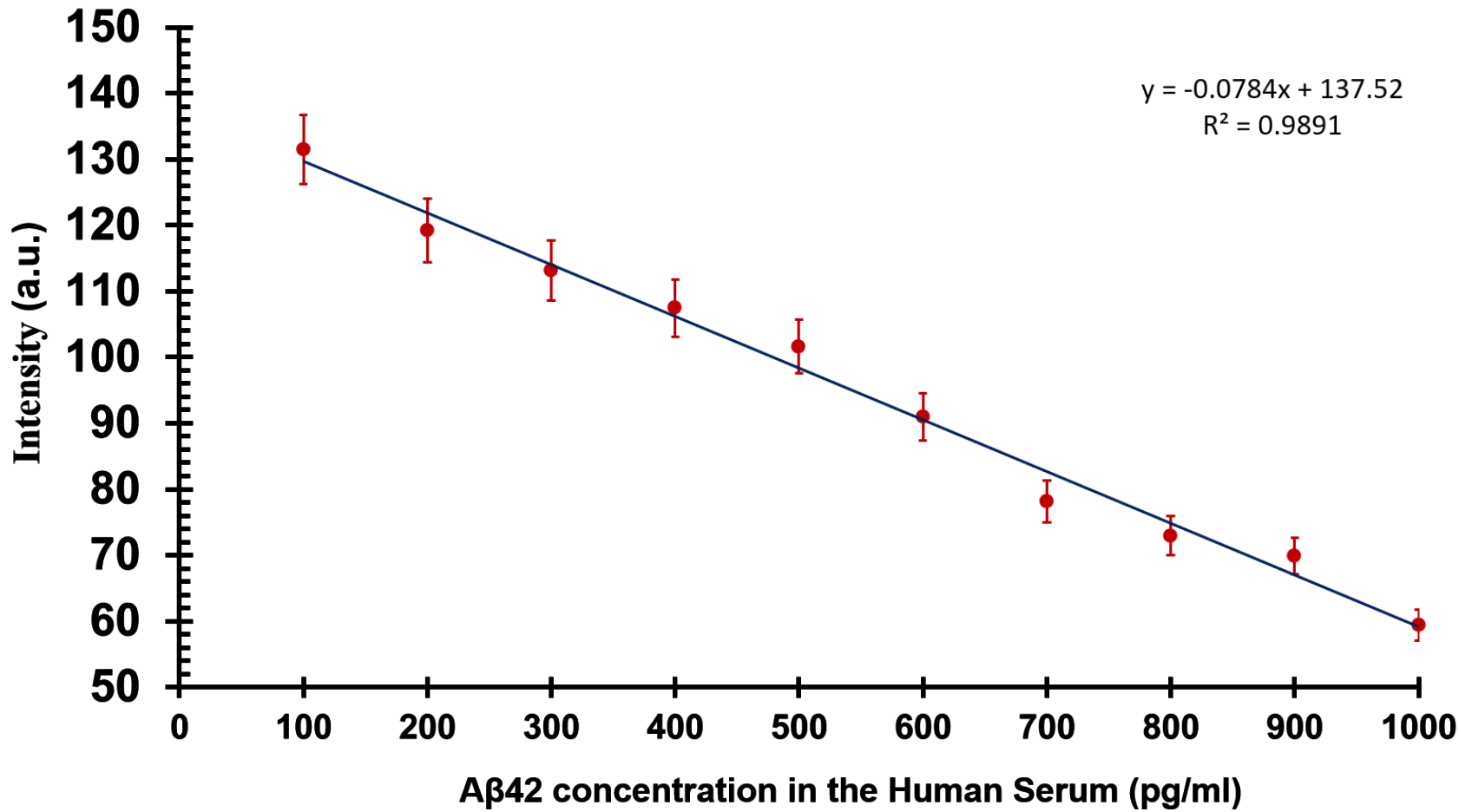
پیشینه تحقیق

روش و نتایج
تحقیق

جمع بندی



حساسیت حسگر در حضور سرم انسانی



مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

جمع بندی



جمع بندی

حد تشخیص

100 pg/ml
0.02 nM

مقدمه

پیشینه تحقیق

روش و نتایج تحقیق

جمع بندی

ساختار حسگر

شبکه پارچه‌ای

سرم انسانی

حسگر مبتنی بر نورتابی شیمیایی

حسگر بلور مایع با بستر شیشه

حسگر مبتنی بر پلاسمونیک

طیف‌سنجی رامان

حسگر مبتنی بر تغییرات امپدانس

100 pg/ml

35 nM

0.01 nM

1 μ M

0.03 nM

بدون نیاز به لیتوگرافی در ابعاد میکرو و نانو

بدون نیاز به برچسب فلورسنتی و مواد نورتاب

بدون نیاز به دستگاه‌های اندازه‌گیری گران

گیرنده زیستی

آپتامر

زمان پاسخ

۸ دقیقه

هزینه کمتر نسبت به آنتی‌بادی

۱۰۰ دقیقه

احیای ایمنی مغناطیسی

۸۰ دقیقه

آرایه تک مولکولی

۴ ساعت

حسگر مبتنی بر پلاسمونیک

اولین بار در حسگر مبتنی بر بلور مایع

- [1]. Hsiao, Ing-Tsung, et al. "Correlation of early-phase 18 F-florbetapir PET images to FDG images: preliminary studies." *European journal of nuclear medicine and molecular imaging* (2012)
- [2]. Yang, Shieh-Yueh, et al. "Detection of plasma biomarkers using immunomagnetic reduction: a promising method for the early diagnosis of Alzheimer's disease." *Neurology and therapy* (2017)
- [3]. Kim, YoungSoo, et al. "Comparative analyses of plasma amyloid- β levels in heterogeneous and monomerized states by interdigitated microelectrode sensor system." *Science advances* (2019)
- [4]. Sun, Liping, et al. "A hydrogel biosensor for high selective and sensitive detection of amyloid-beta oligomers." *International journal of nanomedicine* (2018)
- [5]. Oh, Jeseung, et al. "A carbon nanotube metal semiconductor field effect transistor-based biosensor for detection of amyloid-beta in human serum." *Biosensors and Bioelectronics* (2013)
- [6]. Bros, Pauline, et al. "Quantitative detection of amyloid- β peptides by mass spectrometry: state of the art and clinical applications." *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)* (2015)
- [7]. Voiciuk, Vladislava, et al. "Surface-enhanced Raman spectroscopy for detection of toxic amyloid β oligomers adsorbed on self-assembled monolayers." *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* (2012)
- [8]. Fu, Wei, et al. "Rational design of near-infrared aggregation-induced-emission-active probes: in situ mapping of amyloid- β plaques with ultrasensitivity and high-fidelity." *Journal of the American Chemical Society* (2019)
- [9] Tang., Chao, et al. "Integrating terahertz metamaterial and water nanodroplets for ultrasensitive detection of amyloid β aggregates in liquids." *Sensors and Actuators B: Chemical* (2021)
- [10]. Ke, Hong, et al. "Electrochemiluminescence resonance energy transfer system between GNRs and Ru (bpy) 32+: application in magnetic aptasensor for β -amyloid." *Biosensors and Bioelectronics* (2018)
- [11]. Li, Danni, and Michelle M. Mielke. "An update on blood-based markers of Alzheimer's disease using the SiMoA platform." *Neurology and therapy* (2019)
- [12]. Gao, Houqian, et al. "Diagnosis of mild cognitive impairment and Alzheimer's disease by the plasma and serum amyloid-beta 42 assay through highly sensitive peptoid nanosheet sensor." *ACS applied materials & interfaces* (2020)
- [13]. Popov et al. "Thermotropic liquid crystal films for biosensors and beyond." *Journal of Materials Chemistry B* (2017)
- [14]. Esmailpour, Mahboube, et al. "Rapid, label-free and low-cost diagnostic kit for COVID-19 based on liquid crystals and machine learning." *Biosensors and Bioelectronics: X* (2022)
- [15]. Pani, Ipsita, et al. "Differentiating conformationally distinct Alzheimer's amyloid- β oligomers using liquid crystals." *The Journal of Physical Chemistry Letters* (2020)
- [16]. Kemiklioglu et al.. "Development of liquid crystal biosensor for the detection of abeta-42 levels associated with Alzheimer's disease." *Journal of bioscience and bioengineering* (2021)
- [17]. Reiter et al. "DNA mimicry by a high-affinity anti-NF- κ B RNA aptamer." *Nucleic acids research* (2008)





از توجّه شما سپاسگزارم

