

برنامه درسی رشته

# فناوری نانو- نانوالکترونیک

مقطع دکتری

## الف) مقدمه

رشته نانوالکترونیک یکی از شاخه‌های الکترونیک است که به صورت مشترک در دوره دکتری نانو ارائه می‌شود. در طی این دوره دانشجویان با اصول پایه‌ای و پیشرفته در حوزه ادوات و قطعات نانو الکترونیک آشنا خواهند شد. بدون شک نانوالکترونیک به مباحث عمیق فیزیکی بسیار نزدیک است و تبلور آن در طراحی و ساخت قطعات پیشرفته‌ای مانند ترانزیستورهایی با ابعاد چند نانومتر و نیز نانو نوارهای گرافنی دیده می‌شود. در این رشته دانشجویان به صورت همزمان با مسائل نظری و تجربی در حوزه ادوات نانو آشنا شده و بسته به علایق شخصی خود در زمینه‌های مرتبط به تحقیق و پژوهش خواهند پرداخت. حوزه‌های تحقیقاتی فعال در دانشگاه تهران عبارتند از ساخت انواع ادوات نیمه‌هادی از جمله حسگرها، ادوات بیوالکترونیک، نانوبیوالکترونیک، باتری‌ها و ذخیره‌سازهای انرژی، سلول‌های خورشیدی، ریزسیالات (میکروفلوئیدیک)، میکروالکترومکانیک، و ... .

پیشرفت روز افزون علوم فیزیک و الکترونیک سبب گشته است که امکان استفاده از مواد یک بعدی و دوبعدی در ساخت ادوات الکترونیک فراهم گردد و تحقیق روی آنها به عنوان یکی از مسائل مهم و اساسی رشته نانوالکترونیک مطرح شود. آشنایی با فرآیندهای ساخت قطعات الکترونیکی مانند انواع سوئیچها، ترانزیستورها، حسگرها، و قطعات الکترومکانیکی از مواردی است که دانشجویان در این گرایش با آن مواجه خواهند شد که خوشبختانه با توجه به وجود آزمایشگاه‌های متعدد در دانشگاه تهران امکان آشنایی ملموس و نزدیک با این بخش را خواهند داشت. نقطه قوت دیگر در گرایش افزاره مباحث مربوط به بیوالکترونیک و مخصوصاً نانوبیوالکترونیک است که با معرفی روش‌های جدید در تشخیص و درمان بیماری‌های صعب‌العلاج، اهمیت روزافزونی یافته است.

## ب) مشخصات کلی، تعریف و اهداف

برنامه حاضر برای مقطع دکترای رشته فناوری نانو - نانوالکترونیک تهیه شده است. این رشته به طور متوسط برای چهار سال تحصیلی (۸ نیم سال) طراحی شده و هر نیم سال مشتمل بر ۱۶ هفته آموزشی است. برای هر واحد نظری ۱۶ ساعت آموزش در نظر گرفته شده است. در راستای ارتقای دانش نظری و فناوریانه، دانشجویان باید با تشخیص استاد راهنما و تایید گروه نسبت به اخذ ۱۸ واحد از دروس ارائه شده در مقطع تحصیلات تکمیلی اقدام نمایند. بر اساس مصوبات وزارت عتف، تعداد ۱۸ واحد نیز برای رساله دکتری و در نتیجه تعداد کل ۳۶ واحد برای دانش‌آموختگی در نظر گرفته شده است.

## پ) ضرورت و اهمیت

هدف اصلی در این رشته تربیت پژوهشگرانی است که توانایی درک، تحلیل، طراحی، و ساخت ادوات نانوالکترونیک را پیدا کرده و علاوه بر آن کار با انواع نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در این حوزه را آموخته باشند. اساساً هیچ فن‌آوری مهمی در دنیا وجود ندارد که نیازمند قطعات و مدارات الکترونیک نباشد. حوزه کاربرد ادوات و افزاره‌های الکترونیک و نانوالکترونیک هر روزه در زندگی بشر گسترده‌تر شده و طبیعتاً آشنایی با آنها اهمیت بالاتری پیدا خواهد کرد. سلول‌های خورشیدی، ادوات انرژی، ترانزیستورها، حسگرهای نیمه‌هادی، و خلاصه بخش بزرگی از ابزارهای مورد استفاده روزمره ما محصول پژوهش‌های انجام شده در این رشته هستند.

ت) تعداد و نوع واحدهای درسی

توزیع واحدها

| تعداد واحد | نوع دروس     |
|------------|--------------|
| ۰          | دروس جبرانی  |
| ۰          | دروس عمومی   |
| ۰          | دروس پایه    |
| ۱۸ واحد    | دروس اختیاری |
| ۱۸ واحد    | رساله        |
| ۳۶         | جمع          |

## جدول عناوین و مشخصات دروس

### عنوان و مشخصات کلی دروس جبرانی

| ردیف | عنوان درس   | تعداد واحد (۱-۳) | نوع واحد |      |            | تعداد ساعات |      | پیش نیاز | هم نیاز |
|------|-------------|------------------|----------|------|------------|-------------|------|----------|---------|
|      |             |                  | نظری     | عملی | نظری- عملی | نظری        | عملی |          |         |
| ۰.۱  | روش تحقیق ۱ | ۱                | *        |      |            | ۱۶          | ۰    | -        | -       |
| ۰.۲  | روش تحقیق ۲ | ۱                | *        |      |            | ۱۶          | ۰    | -        | -       |

- به تشخیص گروه آموزشی، دانشجویانی که در مقطع کارشناسی ارشد خود دروس جدول فوق را نگذرانده اند موظف به اخذ آنها هستند.

### عنوان و مشخصات کلی دروس تخصصی اختیاری

| ردیف | عنوان درس                              | تعداد واحد | نوع واحد |      |            | تعداد ساعات |      | پیش نیاز | هم نیاز |
|------|--|------------|----------|------|------------|-------------|------|----------|---------|
|      |  |            | نظری     | عملی | نظری- عملی | نظری        | عملی |          |         |
| ۰.۱  | نانوتکنولوژی و نانوالکترونیک           | ۳          | *        |      |            | ۴۸          |      | -        | -       |
| ۰.۲  | تئوری و فناوری ساخت افزارهای نیم رسانا | ۳          | *        |      |            | ۴۸          |      | -        | -       |
| ۰.۳  | مکانیک کوانتومی                        | ۳          | *        |      |            | ۴۸          |      | -        | -       |
| ۰.۴  | فیزیک حالت جامد پیشرفته                | ۳          | *        |      |            | ۴۸          |      | -        | -       |
| ۰.۵  | نانویوالکترونیک                        | ۳          | *        |      |            | ۴۸          |      | -        | -       |
| ۰.۶  | الکترونیک سرطان                        | ۳          | *        |      |            | ۴۸          |      | -        | -       |
| ۰.۷  | افزارهای نیم رسانا                     | ۳          | *        |      |            | ۴۸          |      | -        | -       |
| ۰.۸  | مشخصه یابی مواد و افزارهای نیم رسانا   | ۳          | *        |      |            | ۴۸          |      | -        | -       |
| ۰.۹  | شبه سازی افزارهای نیم رسانا            | ۳          | *        |      |            | ۴۸          |      | -        | -       |
| ۰.۱۰ | انتقال کوانتومی                        | ۳          | *        |      |            | ۴۸          |      | -        | -       |
| ۰.۱۱ | پدیده انتقال در نیم رساناها            | ۳          | *        |      |            | ۴۸          |      | -        | -       |
| ۰.۱۲ | افزارهای ذخیره انرژی ۱                 | ۳          | *        |      |            | ۴۸          |      | -        | -       |
| ۰.۱۳ | افزارهای ذخیره انرژی ۲                 | ۳          | *        |      |            | ۴۸          |      | -        | -       |
| ۰.۱۴ | حسگرهای نیم رسانا                      | ۳          | *        |      |            | ۴۸          |      | -        | -       |

| ردیف | عنوان درس   | تعداد واحد | نوع واحد |      |            | تعداد ساعات |      | پیش نیاز | هم نیاز |
|------|---|------------|----------|------|------------|-------------|------|----------|---------|
|      |   |            | نظری     | عملی | نظری- عملی | نظری        | عملی |          |         |
| ۱۵.  | سلول خورشیدی  | ۳          | *        |      |            | ۴۸          | -    | -        |         |
| ۱۶.  | محاسبات کوانتومی  | ۳          | *        |      |            | ۴۸          | -    | -        |         |
| ۱۷.  | اینترکانکت‌ها و یک پارچگی سیگنال در مدارهای VLSI و نانوسیستم‌ها | ۳          | *        |      |            | ۴۸          | -    | -        |         |
| ۱۸.  | سامانه‌های الکترومکانیکی ریز و بسیار ریز                        | ۳          | *        |      |            | ۴۸          | -    | -        |         |
| ۱۹.  | الکترونیک نوری  | ۳          | *        |      |            | ۴۸          | -    | -        |         |
| ۲۰.  | زیست حسگرها   | ۳          | *        |      |            | ۴۸          | -    | -        |         |
| ۲۱.  | مباحث ویژه  | ۳          | *        |      |            | ۴۸          | -    | -        |         |
| ۲۲.  | دروس تحصیلات تکمیلی سایر رشته‌ها                                | ۳          | *        |      |            | ۴۸          | -    | -        |         |

- به تشخیص استاد راهنما و تایید گروه آموزشی، دانشجویان موظف به اخذ ۱۸ واحد از لیست دروس جدول بالا که در مقطع کارشناسی ارشد نگذرانده‌اند، هستند.
- دانشجویی که به تشخیص استاد راهنما و موافقت گروه آموزشی می‌تواند حداکثر دو درس اختیاری خود را از میان دروس سایر رشته‌های تحصیلات تکمیلی اخذ نماید.

### جدول (۳) - عنوان و مشخصات کلی رساله

| ردیف | عنوان درس   | تعداد واحد | نوع واحد |      |            | تعداد ساعات |      | پیش نیاز | هم نیاز |
|------|-------------|------------|----------|------|------------|-------------|------|----------|---------|
|      |             |            | نظری     | عملی | نظری- عملی | نظری        | عملی |          |         |
| ۱.   | رساله دکتری | ۱۸         |          |      |            |             | -    | -        |         |

## ویژگی‌های دروس

|                                   |                         |                       |             |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|
| عنوان درس به فارسی: روش تحقیق - ۱ |                         |                       |             |
| نوع درس و واحد                    | Research Methodology_S1 | عنوان درس به انگلیسی: |             |
| پایه ■ نظری ■                     |                         | دروس پیش نیاز:        |             |
| تخصصی □ عملی □                    |                         | دروس هم نیاز:         |             |
| اختیاری □ نظری-عملی □             |                         | ۱                     | تعداد واحد: |
| رساله / پایان نامه □              |                         | ۱۶                    | تعداد ساعت: |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

.....

### هدف کلی:

۱. چگونه یک مقاله را ارزیابی کرده، بخوانیم و یا بنویسیم.
۲. انتخاب حوزه تحقیقاتی، آموزش برنامه تحقیق با محوریت مسئله پژوهش

### اهداف ویژه:

در صورت اتمام موفقیت آمیز درس؛ دانشجویان قادر خواهند بود که:

۱. حوزه تحقیقاتی مورد علاقه خود را انتخاب کرده و منابع مرتبط را ارزیابی نمایند.
  ۲. در حوزه تحقیقاتی فوق، مسائل باز تحقیقاتی را شناسایی و حل مسئله را آغاز کنند.
  ۳. یک مقاله را خوب و موثر مطالعه کنند.
- مهارت های مقدماتی نوشتن نتایج تحقیق را در قالب مقاله فرا گیرند.

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

۱. چگونه یک مقاله را ارزیابی کرده، بخوانیم و یا بنویسیم.
۲. انتخاب حوزه تحقیقاتی، آموزش برنامه تحقیق با محوریت مسئله پژوهش

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

- ۸ تمرین و تکلیف؛ بخش هایی از مقاله ها را بازنویسی می کنند؛ بخش هایی را ارزیابی و تصحیح می کنند.
- هدف اصلی این درس، آمادگی تدوین به موقع و با کیفیت پروپوزال کارشناسی ارشد است. لذا کلیه تمرین ها با این هدف طراحی شده است.

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت های کلاسی در طول نیم سال ۷۰ درصد

- مقاله نویسی
- گزارش نویسی
- یافتن مسئله پژوهش
- شرکت در کارگاه ها



- شرکت در جلسات دفاع
- آزمون های متعدد در طول ترم از هر مبحث ۳۰ درصد.

### ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

- ابزارهای نوشتن و ارائه کردن مانند OFFICE

### چ) فهرست منابع پیشنهادی:

1. L. Cohen, L. Manion, K. Morrison, Research Methods in Education, Taylor & Francis, 2017.
2. Peter Lang, English as an Additional Language in Research Publication and Communication, 2008
3. N. Huckin Thomas, A. Olsen Leslie, English for Science and Technology a handbook of nonnative speakers, McGrawhill, 1983.
4. D. James, Jr. Lester, Writing Research Papers, A Complete Guide, Pearson Education, 2015.
5. JW. Creswell, J. D. Creswell, Research, Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches, SAGE Publications, 2018

|                       |             |                         |             |
|-----------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| عنوان درس به فارسی:   |             | روش تحقیق - ۲           |             |
| عنوان درس به انگلیسی: |             | Research Methodology_S2 |             |
| نوع درس و واحد        |             |                         |             |
| پایه ■                | نظری ■      |                         |             |
| تخصصی □               | عملی □      |                         |             |
| اختیاری □             | نظری-عملی □ |                         |             |
| رساله / پایان نامه □  |             | ۱                       | تعداد واحد: |
|                       |             | ۱۶                      | تعداد ساعت: |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟؛ سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

.....

### هدف کلی:

۱. یادگیری قالب های گزارش فنی، گزارش مرور روشمند ادبیات و پروپوزال
۲. ارائه شفاهی موثر در دو زبان فارسی و انگلیسی

### اهداف ویژه:

در صورت اتمام موفقیت آمیز درس؛ دانشجویان قادر خواهند بود که:

۴. یک پروپوزال تحقیقاتی بنویسند.
۵. یک گزارش مرور روشمند ادبیات تحقیق بنویسند و با روش های ارزیابی تحقیق آشنا شوند.
۶. ارائه شفاهی موثر انجام دهند(انگلیسی و فارسی).
۷. آخرین ابزارهای حوزه مرتبط با درس را بشناسند.

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

۱. یادگیری قالب های گزارش فنی، گزارش مرور روشمند ادبیات و پروپوزال
۲. ارائه شفاهی موثر در دو زبان فارسی و انگلیسی

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

- ۸ تمرین و تکلیف؛ بخش هایی از مقاله ها را بازنویسی می کنند؛ بخش هایی را ارزیابی و تصحیح می کنند.
- هدف اصلی این درس، آمادگی تدوین به موقع و با کیفیت پروپوزال کارشناسی ارشد است. لذا کلیه تمرین ها با این هدف طراحی شده است.

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت های کلاسی در طول نیم سال ۷۰درصد

- ✓ پروپوزال دوره ارشد
- ✓ ارائه های مختلف شفاهی دو زبانه
- ✓ مرور سیستماتیک ادبیات

✓ شرکت در کارگاه ها

✓ شرکت در جلسات دفاع

آزمون های متعدد در طول ترم از هر مبحث ۳۰ درصد

**(ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

– ابزارهای نوشتن و ارائه کردن مانند OFFICE

**(چ) فهرست منابع پیشنهادی:**

1. L. Cohen, L. Manion, K. Morrison, Research Methods in Education, Taylor & Francis, 2017.
2. Peter Lang, English as an Additional Language in Research Publication and Communication, 2008
3. N. Huckin Thomas, A. Olsen Leslie, English for Science and Technology a handbook of nonnative speakers, McGrawhill, 1983.
4. D. James, Jr. Lester, Writing Research Papers, A Complete Guide, Pearson Education, 2015.
5. JW. Creswell, J. D. Creswell, Research, Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches, SAGE Publications, 2018

|                       |                                |   |                                    |
|-----------------------|--------------------------------|---|------------------------------------|
| عنوان درس به فارسی:   |                                | نانو تکنولوژی و نانو الکترونیک              |                                    |
| عنوان درس به انگلیسی: |                                | Nano-Electronics and Nano-technology        |                                    |
| دروس پیش نیاز:        | پایه <input type="checkbox"/>  | نظری <input checked="" type="checkbox"/>    | نوع درس و واحد                     |
| دروس هم نیاز:         | تخصصی <input type="checkbox"/> | عملی <input type="checkbox"/>               |                                    |
| تعداد واحد:           | ۳                              | اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> | نظری-عملی <input type="checkbox"/> |
| تعداد ساعت:           | ۴۸                             | رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/> |                                    |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

.....

### الف) هدف کلی:

هدف این درس آشنایی با فیزیک و جنبه های تکنولوژیک نانو ساختارهاست. توجه ویژه ای به نانولوله های کربنی، گرافن و نانونوارهای کربنی خواهد شد. همچنین جنبه های تکنولوژی مدارهای نانو الکترونیک امروزی مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت ارائه خواهد شد. در نهایت نگاه مختصری به الکترونیک مولکولی و کوانتوم دات ها و نانوسیم های سیلیکنی خواهیم داشت.

### ب) اهداف ویژه:

دانشجویانی که این درس را با موفقیت پشت سر بگذارند دانش مربوط به:

۱. فرآیندهای پیچیده و خاص در ساخت مواد و افزارها در ابعاد نانو
۲. افزارهای نانو الکترونیک شامل کوانتم دات ها؛ افزارهای یک بعدی و دو بعدی
۳. فیزیک مربوط به افزارهای در مقیاس نانو و بخصوص بررسی گرافن و نانو نوارهای کربنی
۴. الکترونیک مولکولی و تخمین ها کل را کسب خواهند کرد.

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

۱. فرآیند ساخت افزارهای نیم رسانا: مروری بر مراحل ساخت مدارهای مجتمع
۲. آشنایی با فرآیندهای ساخت نانو: فرآیندهای بالا به پایین و پایین به بالا
۳. ابزار مشخصه یابی: میکروسکوپ نیروی اتمی، میکروسکوپ الکترونی، میکروسکوپ تونل زنی و میکروسکوپ نوری
۴. تئوری تونل زنی در میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل باردین)
۵. تئوری Tight-Binding: مدل های نانولوله های کربنی و ساختارهای گرافنی
۶. نانوسیم / دات های کوانتومی: فیزیک عملکرد کوانتوم دات، تشدید تونل زنی، انتقال، رساناهای کوانتومی
۷. الکترونیک مولکولی: آشنایی با اوربیتال های مولکولی هوکل، شکاف های انرژی HOMO, LUMO، افزاره و سوئیچ های مولکولی
۸. ترانزیستورهای بالستیک: انتقال در افزارهای بالستیک، اشباع سرعت

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

- دو تا سه تمرین برای تسلط بر مفاهیم و مطالب
- ارائه حضوری به صورت اختیاری (در صورت وجود زمان)

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

۴۰ درصد

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال

۶۰ درصد

آزمون پایان نیم‌سال

**(ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**(چ) فهرست منابع پیشنهادی:**

1. Charles P. Poole, Frank J. Owens, Introduction to Nanotechnology, Wiley, 2003.
2. Carbon Nanotubes, S. Reich, C. Thomsen, J. Maulltzh, Wiley-VCH, 2003.
3. C. Dupas, P. Houdy, M. Lahmani, Nanoscience, Nanotechnologies and Nanophysics, Springer, 2004.
4. Ashcraft and Mermin, Solid State Physics, 2011.

|  |  |   |             |
|--|--|---|-------------|
| تئوری و فناوری ساخت افزاره‌های نیم‌رسانا                                       |  | <b>عنوان درس به فارسی:</b>                  |             |
| نوع درس و واحد   |  | Theory and Technology of Device Fabrication |             |
| نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>         |  | عنوان درس به انگلیسی:                       |             |
| عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input type="checkbox"/>                   |  | دروس پیش نیاز:                              |             |
| نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> |  | دروس هم‌نیاز:                               |             |
| رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>                                    |  | ۳   | تعداد واحد: |
|  |  | ۴۸  | تعداد ساعت: |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

.....

### الف) هدف کلی:

- هدف این درس ارائه اطلاعات پایه‌ای از فیزیک افزاره‌های نیم‌رسانا و پروسه‌های ساخت انواع قطعات نیم‌رسانا مانند اکسیداسیون و یفرهای سیلیکنی و آلایش آنها، و ایجاد توانایی طراحی و ساخت پروسه‌های پیچیده برای ساخت مدارهای مجتمع الکترونیکی می‌باشد.

### ب) اهداف ویژه:

دانشجویانی که این درس را با موفقیت پشت سر بگذارند قادر خواهند بود:

۱. روشهای ساخت را برای ایجاد پروسه‌های پیچیده برای ساخت افزاره‌های کاربردی و مدارهای الکترونیک (برای مثال ساخت ترانزیستور، سلول خورشیدی و ...) با هم ادغام نمایند.
۲. افزاره‌های خاص را در میان انتخاب‌های متفاوت در دسترس انتخاب نمایند.
۳. روشهای ساخت مختلف را با هم مقایسه نمایند.
۴. پروسه تکنولوژی ساخت قطعات و مدارهای نانو-میکرو الکترونیک را شرح دهند.

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. آشنایی با پروسه ساخت قطعات میکروالکترونیک
۲. تکنولوژی ساخت ترانزیستورهای اثرمیدان در یک نگاه
۳. روشهای ساخت و یفرهای سیلیکنی و Epitaxy
۴. اتاق تمیز، تمیزکاری و یفر و پروسه Gettering
۵. لیتوگرافی نوری
۶. اکسیدهای حرارتی
۷. پروسه‌های گرمادهی
۸. نفوذ
۹. کاشت یونی
۱۰. لایه نشانی بخار شیمیایی

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

- ۶ سری تمرین

**ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):**

۶۰ درصد

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال

۴۰ درصد

آزمون پایان نیم‌سال

**ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**چ) فهرست منابع پیشنهادی:**

1. J. Plummer, M. Deal, Griffin , P. Deal, Griffin, Silicon VLSI Technology. Fundamentals, Models and Computer Simulations, Prentice Hall, 2000.
2. Henry Radamson, Lars Thylen, Monolithic Nanoscale Photonics-Electronics Integration in Silicon and Other Group IV Elements, Elsevier, 2014.
3. Dieter. K. Schroder , Semiconductor Material and Device Characterization, John Wiley sons Inc, 1998.

|  |                   |                       |             |
|--|-------------------|-----------------------|-------------|
| عنوان درس به فارسی: مکانیک کوانتومی  |                   |                       |             |
| نوع درس و واحد   | Quantum Mechanics | عنوان درس به انگلیسی: |             |
| پایه <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/>         |                   | دروس پیش نیاز:        |             |
| تخصصی <input type="checkbox"/> عملی <input type="checkbox"/>                   |                   | دروس هم نیاز:         |             |
| اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> نظری-عملی <input type="checkbox"/> |                   | ۳                     | تعداد واحد: |
| رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>                                    |                   | ۴۸                    | تعداد ساعت: |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### الف) هدف کلی:

آشنایی با مفاهیم اصلی مکانیک کوانتومی، روش‌ها، ارائه مثالهای ساده و کاربردها

### ب) اهداف ویژه:

۱. درک دوگانگی رفتار ذره و موج
۲. یادگیری استفاده از روش‌های تقریب در مکانیک کوانتومی
۳. درک رفتار کوانتومی الکترون‌ها در شبکه‌های بلوری
۴. آشنایی با سیستم‌های بس ذره‌ای و آمار کوانتومی و کوانتش دوم

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. معادله موج شرودینگر وابسته و مستقل از زمان
۲. نوسان گر هارمونیک
۳. عملگرها و حالت‌های ویژه در مکانیک کوانتومی
۴. عملگر ممان زاویه‌ای در مکانیک کوانتومی
۵. ذرات در میدان‌های پتانسیل متقارن کروی و اتم هیدروژن
۶. روش‌های تقریب در مکانیک کوانتومی و نظریه اختلال
۷. نظریه نوارهای انرژی الکترون‌ها در بلورها
۸. اسپین الکترون و ماتریس‌های پاولی
۹. سیستم‌های بس ذره‌ای، فرمیون‌ها و بوزون‌ها و آمار کوانتومی
۱۰. حالات خالص و مختلط و ماتریس‌های چگالی
۱۱. عملگرهای خلق و فنا و عملگرهای میدان و کوانتش نوع دوم
۱۲. کوانتیزه شدن امواج الکترومغناطیسی و گسیل خود بخودی

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):



۳۵ درصد

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال

۶۵ درصد

آزمون‌های میان و پایان نیم‌سال

**(ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**(چ) فهرست منابع پیشنهادی:**

1. D. Miller, Quantum Mechanics for Scientists and Engineers, Cambridge University Press, 2008.
2. W. Greiner, Quantum Mechanics: An Introduction, Springer, 2001.
3. D.J. Griffiths, D. F. Schroeter, Introduction to Quantum Mechanics, Plenum Press, 2008.
4. A.F.J. Levi, Applied Quantum Mechanics, Cambridge University Press, 2012.

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| عنوان درس به فارسی: فیزیک حالت جامد پیشرفته        |   |  |  |
| عنوان درس به انگلیسی: Advanced Solid-State Physics | نوع درس و واحد                              |  |  |
| دروس پیش نیاز:                                     | پایه <input type="checkbox"/>               | نظری <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| دروس هم نیاز:                                      | تخصصی <input type="checkbox"/>              | عملی <input type="checkbox"/>            |  |
| تعداد واحد: ۳                                      | اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> | نظری-عملی <input type="checkbox"/>       |  |
| تعداد ساعت: ۴۸                                     | رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/> |  |  |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

.....

### الف) هدف کلی:

- آشنایی با مفاهیم اصلی و روش‌های تحلیل رفتار الکترون‌ها در بلورهای جامد با تمرکز روی نیم‌رساناها

### ب) اهداف ویژه:

۱. درک خواص الکترون و فونون در بلورهای کریستالی
۲. توصیف دینامیک و توزیع الکترون‌ها در افزاره‌های نیم‌رسانا با استفاده از معادلات انتقال
۳. آشنایی و تحلیل خواص نانو ساختارها
۴. درک فرآیندهای جذب و گسیل نوری در بلورها

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. گاز الکترونی در یک، دو و سه بعد
۲. شبکه‌های بلوری و شبکه وارون
۳. حالات الکترون در مولکول‌ها و جامدات
۴. نوارهای انرژی و دینامیک الکترون در بلورها
۵. فونون‌ها در شبکه‌های بلوری و ظرفیت حرارتی شبکه
۶. مکانیزم‌های پراکندگی الکترون در نیم‌رساناها (فونون‌ها و ناخالصی‌های باردار)
۷. معادله انتقال بولتزمن و ممان‌های آن
۸. تقریب زمان واهلش و قابلیت تحرک
۹. اثر پلتیر و سیبک و افزاره‌های ترموالکتریک
۱۰. انتقال بالستیک الکترون‌ها در افزاره‌های نیم‌رسانا
۱۱. نانو ساختارها و اثرات کوانتومی بر خواص الکترون‌ها در این ساختارها
۱۲. فرآیندهای نوری در بلورها

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ۳۵ درصد

آزمون‌های میان و پایان نیم‌سال ۶۵ درصد

**ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**چ) فهرست منابع پیشنهادی:**

5. C. Kittel, Introduction to Solid State Physics, John Wiley & Sons, 2004.
6. N.W. Ashcroft , N.D. Mermin, Solid State Physics, Cengage Learning, 1976.
7. M. Razeghi, Fundamentals of Solid-State Engineering, Springer, 2009.
8. J.D. Patterson , B.C. Bail, Solid-State Physics: Introduction to the Theory, Springer, 2018.

|                       |                                |   |                                    |
|-----------------------|--------------------------------|---|------------------------------------|
| عنوان درس به فارسی:   |                                | نانوبیوالکترونیک                            |                                    |
| عنوان درس به انگلیسی: |                                | Nano bioelectronics                         |                                    |
| دروس پیش نیاز:        | پایه <input type="checkbox"/>  | نظری <input checked="" type="checkbox"/>    | نوع درس و واحد                     |
| دروس هم نیاز:         | تخصصی <input type="checkbox"/> | عملی <input type="checkbox"/>               |                                    |
| تعداد واحد:           | ۳                              | اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> | نظری-عملی <input type="checkbox"/> |
| تعداد ساعت:           | ۴۸                             | رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/> |                                    |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

.....

### الف) هدف کلی:

هدف این درس آشنایی با مفهوم نانوبیوالکترونیک است که به معنی ترکیب عناصر بیولوژیکی با الکترونیک است. در این درس آموخته می شود که با الهام از سیگنال های بیولوژیکی می توانیم شناخت بهتری نسبت به جمع آوری داده ها و دستکاری موثرتری بر سلول ها و مولکول های زیستی داشته باشیم و در نهایت پیوندی بین زیست شناسی و الکترونیک برقرار کنیم. هدف نانوبیوالکترونیک ساخت افزارهای الکترونیکی نانو ساختار به منظور تشخیص بیماری، درمان و دارورسانی و مهندسی فرایندهاست.

### ب) اهداف ویژه:

۱. آشنایی با مفاهیم زیستی و پیوند بین مهندسی الکترونیک با علم زیست شناسی
۲. آشنایی با حوزه نانوبیوالکترونیک بر پایه DNA
۳. آشنایی با حوزه نانو بیوالکترونیک بر پایه پروتئین
۴. آشنایی با حوزه نانو بیوالکترونیک بر پایه سلول

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

۱. مروری بر نانو بیوالکترونیک
۲. نانو بیوالکترونیک بر پایه DNA: توانایی DNA در هدایت جریان، مروری بر مباحث تونل زنی کوانتومی، فوتون و الکترون، hopping و ترازهای HOMO و LUMO، نانو افزارهای تشخیصی بر پایه DNA، نانو ساختارهای DNA functionalized
۳. نانو بیوالکترونیک بر پایه سلول: مناطق الکتریکی از سلول بیوالکترونیک، غشای سلولی و سیتواسکلتون، تشخیص بیماری بر اساس الکترون اختلال الکتریکی سلولی، نانوبیوسگراهای الکتریکی برای تشخیص سلول و درمان
۴. سیستم های تشخیصی الکتروشیمیایی CV و EIS برای تشخیص سرطان بصورت in-vitro و in-vivo و نقش نانو ساختارهای فعال الکتریکی در آن
۵. ترجمه بیوالکترونیک از ساز ROS توسط سلول های سرطانی
۶. برهمکنش پتانسیل الکتروستاتیک جهت ایجاد تغیی در متابولیزم سلول های سرطانی و میزان برهمکنش رگ های خونی و لنفاوی با بافت مجاور، مدالیته جدید در درمان
۷. پدیده الکترو پوریشن و چگونگی بکار گیری آن در دارو رسانی انتخاب گرایانه به بافت های سرطانی
۸. پدیده CELLEX و تفاوت زمان دی پلاریزاسیون الکتریکی بین سلول های متاستاتیک و غیر متاستاتیک سرطانی

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ارائه سمینار در خصوص یکی از موضوعات جدید در این حوزه و تشریح آن و بررسی مقالات روز مرتبط به آن

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ۵۰ درصد

آزمون پایان نیم‌سال ۵۰ درصد

### ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

### چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. مقالات و پتنت‌های استاد درس

2. A. Offenhäusser, R. Rinaldi ,Nanobioelectronics - for Electronics, Biology, and Medicine, Springer New York, 2009.
3. I. Willner, E. Katz Bioelectronics: From Theory to Applications, Wiley. 2006.
4. Q. Liu, P. Wang ,Cell-based Biosensors: Principles and Applications, Artech House. 2009.
5. R. Pethig, S. Smith ,Introductory Bioelectronics: For Engineers and Physical Scientists, Wiley, 2012

|                       |  |                    |  |
|-----------------------|--|--------------------|--|
| عنوان درس به فارسی:   |  | الکترونیک سرطان    |  |
| عنوان درس به انگلیسی: |  | Cancer Electronics |  |
| نوع درس و واحد        | پایه <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/>         |                    |  |
| دروس پیش نیاز:        | تخصصی <input type="checkbox"/> عملی <input type="checkbox"/>                   |                    |  |
| دروس هم نیاز:         | اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> نظری-عملی <input type="checkbox"/> |                    |  |
| تعداد واحد:           | رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>                                    | ۳                  |  |
| تعداد ساعت:           |  | ۴۸                 |  |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### الف) هدف کلی:

هدف این درس آشنایی با فانکشن الکتریکی سلولهای سرطانی و روشهای شناسایی و پردازش آنها با هدف استفاده در تشخیص و درمان سرطان است که بر مبنای Electrotechnical Onco-Surgery و Electrotechnical Onco-Diagnosis استوار است. فناوریهای پیشرفتهای مثل ECT، IRE و پدیده CELLEXO، Metaschip و Signed Transduction در سلولهای سالم و سرطانی و نگاه پایه بیوالکترونیک به تومورهای جامد کارسینومی.

### ب) اهداف ویژه:

۱. بررسی امیدانسی سلولهای سرطانی در فرکانسهای مختلف
۲. متدهای تشخیص کلینیکی سرطان به کمک الکترومیکس
۳. متدهای درمان سرطان (IRE, ECT) و کمک الکترونیکی

### پ) مباحث یا سرفصلها:

۱. تشخیص الکتریکی گره لفاوی سرطانی (Metas Chip)
۲. پدیده و تفاوت آن بین سلول primary و متاستاتیک سرطان (CELLEX)
۳. پاسخ GHz مولکولهای آب سلولهای سالم و سرطانی با هدف تشخیص سرطان (GHz Response)
۴. پدیده electro taxis سلولهای سرطانی در میدانهای DC و کم فرکانس (Electro taxis)
۵. آشنایی با فناوری پروب تشخیص مارچینهای سرطانی و گرههای لفاوی (CDP, ELS)
۶. تاثیر بار الکترواستاتیک مثبت در ایجاد و اختلال در متابولیسم سلولهای سرطانی و دارورسانی (PECT)
۷. رویکردهای الکتروشیمیایی در حوزه بیولوژی سرطان
۸. رویکردهای الکتروشیمیایی در حوزه درمان سرطان
۹. رویکرد مگنتوفورتیک در حوزه درمان سرطان
۱۰. پدیده الکتروپوریشن و تاثیر آن در درمان سرطان با و بدون کمک داروی شیمی درمانی

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ارائه سمینار در خصوص یکی از موضوعات جدید در این حوزه و تشریح آن و بررسی مقالات روز مرتبط به آن

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

۵۰ درصد

فعالیتهای کلاسی در طول نیمسال

۵۰ درصد

آزمون پایان نیم سال

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. مقالات و پتنت های استاد درس

2. R. KhanB , Biosensor Based Advanced Cancer Diagnostics, Elsevier , 2021.
3. Raji Sundararajan, Electroporation-Based Therapies for Cancer, Elsevier, 2014.
4. Saldier, Electrical Properties of Tissues, Springer, 2022.

|  |  |                       |             |
|--|--|-----------------------|-------------|
| افزاره‌های نیم‌رسانا   |  | عنوان درس به فارسی:   |             |
| نوع درس و واحد   |  | Solid State Devices   |             |
| نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>         |  | عنوان درس به انگلیسی: |             |
| عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input type="checkbox"/>                   |  | دروس پیش نیاز:        |             |
| نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> |  | دروس هم‌نیاز:         |             |
| رساله / پایان‌نامه <input type="checkbox"/>                                    |  | ۳                     | تعداد واحد: |
|  |  | ۴۸                    | تعداد ساعت: |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

.....

### الف) هدف کلی:

هدف این درس ارائه اطلاعات تخصصی از فیزیک نیم‌رسانا و به کارگیری مباحث مطرح شده در توجیه و تفسیر خروجی‌های افزاره‌های نیم‌رسانا است. این دانش به دانشجویان در راستای تجزیه و تحلیل و طراحی و ساخت افزاره‌ها جهت مدارهای مجتمع الکترونیکی کمک شایانی می‌کند.

### ب) اهداف ویژه:

۱. آشنایی با فیزیک نیم‌رساناها
۲. آشنایی با افزاره‌های اثر میدان
۳. آشنایی با افزاره‌های بر پایه ساختارهای ناهمگون
۴. آشنایی با افزاره‌های خاص سرعت بالا

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مرور فیزیک کوانتوم و فیزیک آماری
۲. مروری بر فیزیک مواد نیم‌رسانا
۳. پیوندهای p-n همگون و ناهمگون
۴. پیوندهای تونلی و سازو کار تونل زنی
۵. پیوند شاتکی
۶. ترازستورهای دوقطبی همگون
۷. ترازستورهای دوقطبی ناهمگون
۸. ساختارهای دو پایانه ای، سه پایانه ای MOS، ترانزیستور اثر میدانی MOS
۹. آثار کانال کوتاه در ترانزیستور اثر میدانی MOS
۱۰. افزاره‌های سرعت بالا و مدرن: Finfet

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ۵۰ درصد



**ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**چ) فهرست منابع پیشنهادی:**

۱. یانیس.پی. تسیویدیس، ترجمه مرتضی فتحی، عملکرد و مدل سازی ترانزیستور MOS، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.
2. S.M. Sze, , K. K. Ng, Physics of Semiconductor Device, J. Wiley, 2006.
3. Y. Taur, T. H. Ning Fundamentals Of Modern VLSI Devices, Cambridge University Press, 2009.
4. S.M. Sze, and M. K. Lee, Semiconductor Devices: Physics and Technology, Wiley, 2013.

|  |  |  |             |
|--|--|--|-------------|
| مشخصه یابی مواد و افزاره های نیم رسانا   |  | <b>عنوان درس به فارسی:</b>                         |             |
| نوع درس و واحد   |  | Semiconductor Material and Device Characterization |             |
| پایه <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/>         |  | عنوان درس به انگلیسی:                              |             |
| تخصصی <input type="checkbox"/> عملی <input type="checkbox"/>                   |  | دروس پیش نیاز:                                     |             |
| اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> نظری-عملی <input type="checkbox"/> |  | دروس هم نیاز:                                      |             |
| رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>                                    |  | ۳  | تعداد واحد: |
|  |  | ۴۸   | تعداد ساعت: |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

.....

### الف) هدف کلی:

- در این درس، بررسی عمیقی از انواع روشهای مشخصه یابی که برای افزاره های نیم رسانا مورد استفاده قرار می گیرد ارائه می شود. روشهای الکتریکی و فیزیکی و همچنین روشهای تجربی در کار با ابزار پیچیده توضیح داده خواهد شد. به دلیل اهمیت روشهای بر پایه الکترون و اشعه ایکس، مفاهیم فیزیکی و بنیادی در این تکنیک ها ارائه خواهند شد. همچنین روابط کوانتومی برای طیف سنجی رامان برای فهم بهتر سیگنال های رامان ارائه خواهد شد.

### ب) اهداف ویژه:

دانشجویانی که این درس را با موفقیت پشت سر بگذارند، دانش مربوط به:

۱. تکنیک های مختلف مشخصه یابی شامل اندازه گیری های الکتریکی و طیف سنجی های حوزه زمان
۲. میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) و آنالیز XRD و آنالیز با رزولوشن بالای آن
۳. میکروسکوپ الکترونی و نحوه عملکرد TEM
۴. طیف سنجی رامان و تئوری کوانتومی مربوط به آن را بدست خواهند آورد.

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

۱. روشهای مشخصه یابی الکتریکی شامل اندازه گیری مقاومت و خازن
۲. اندازه گیری چهار سوزنی (Four Point Probe)
۳. مشخصه یابی خازن MOS و ترانزیستورهای اثر میدان
۴. طیف سنجی عمیق ترازهای تله به کمک رفتار گذرای خازنی
۵. طیف سنجی پروب روبشی با تاکید بر AFM، STM، و پروب کلون
۶. کریستالوگرافی با اشعه ایکس شامل روشهای XRD، SAXS و DCD
۷. میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) و الگوهای پراش الکترونی
۸. طیف سنجی رامان با نگاه به برهم کنش فوتون-فونون، قطبیت پذیری مولکول ها
۹. مشخصه یابی الکتروشیمیایی: ولتامتری چرخه ای، EIS

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

- ۲ تا ۳ سری تمرین برای تسلط بر سرفصل مطالب

- یک ارائه به صورت اختیاری

**ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):**

۴۰ درصد

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال

۶۰ درصد

آزمون پایان نیم‌سال

**ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**چ) فهرست منابع پیشنهادی:**

1. D. K. Schroder, Semiconductor Material and Device Characterization, J. Wiley , 2015.
2. D. Williams, C. Carter, Transmission Electron Microscopy Plenum press, 2009.
3. Simon M. Sze, Yiming Li, Kwok K. Ng, Physics of Semiconductor Devices, J. Wiley, 2021.
4. Ashcraft and Mermin, Solid State Physics, 2011.

|  |  |                                 |             |
|--|--|---------------------------------|-------------|
| شبه سازی افزاره های نیم رسانا  |  | عنوان درس به فارسی:             |             |
| نوع درس و واحد   |  | Semiconductor Device Simulation |             |
| نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>         |  | عنوان درس به انگلیسی:           |             |
| عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input type="checkbox"/>                   |  | دروس پیش نیاز:                  |             |
| نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> |  | دروس هم نیاز:                   |             |
| رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>                                    |  | ۳                               | تعداد واحد: |
|  |  | ۴۸                              | تعداد ساعت: |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

.....

### الف) هدف کلی:

- آشنایی با روش های عددی حل معادلات حاکم بر افزاره های نیم رسانا

### ب) اهداف ویژه:

- آشنایی با معادلات نفوذ و رانش، هیدرودینامیک و بولتزمان برای انتقال الکترون ها
- مدل سازی پارامترها و ضرایب مورد معادلات انتقال
- یادگیری روش های حل عددی معادلات انتقال و تحلیل پایداری آنها
- مدل های پیشرفته افزاره های نیم رسانا

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

- معادلات دیفرانسیل سهموی، بیضوی، هذلولی
- روش های حل دسته معادلات خطی و غیر خطی و روش نیوتن
- روش های گسسته سازی تفاضل محدود و حجم محدود
- شبه سازی های دو بعدی و سلول بندی با شبکه های بدون ساختار
- دقت گسسته سازی فضایی و آنالیز پایداری گسسته سازی زمانی
- معادلات پیوستگی، نفوذ و رانش و پواسون و شرایط مرزی
- حل عددی معادلات انتقال و روش شارفتر-گومل
- مدل سازی قابلیت تحرک حامل ها با لحاظ اثرات فونون، ناخالصی های یونیزه، سطح و مرز و گرم شدن حامل ها
- مدل سازی نرخ تولید و باز ترکیب با فوتون و فونون، اوژه، شکلی-رید-هال، یونیزاسیون ضربه ای
- مدل سازی دیود، ترانزیستورهای دو قطبی و اثر میدانی
- تابع توزیع، معادله بولتزمان و ممان ها آن، معادلات هیدرودینامیک
- روش مونت کارلو، اشباع سرعت و الکترون های داغ

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ۳۵ درصد

آزمون‌های میان و پایان نیم‌سال ۶۵ درصد

**ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**چ) فهرست منابع پیشنهادی:**

9. K.M. Kramer , W.N.G. Hitchon, Semiconductor Devices: A Simulation Approach, Prentice Hall, 1997.
10. S. Selberherr, Analysis and Simulation of Semiconductor Devices, Springer, 1984.
11. C. Jungemann, B. Meinerzhagen, B. Meinzerhagen, Hierarchical Device Simulation, Springer, 2003.
12. M. Lundstrom, Fundamentals of Carrier Transport, Cambridge University Press, 2000.

|  |  |                       |             |
|--|--|-----------------------|-------------|
| انتقال کوانتومی  |  | عنوان درس به فارسی:   |             |
| نوع درس و واحد   |  | Quantum Transport     |             |
| نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>         |  | عنوان درس به انگلیسی: |             |
| عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input type="checkbox"/>                   |  | دروس پیش نیاز:        |             |
| نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> |  | دروس هم نیاز:         |             |
| رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>                                    |  | ۳                     | تعداد واحد: |
|  |  | ۴۸                    | تعداد ساعت: |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

.....

### الف) هدف کلی:

- درک ارتباط قانون اهم و عملکرد افزاره‌های نیم‌رسانا با رفتار کوانتومی الکترون‌ها در مقیاس اتمی

### ب) اهداف ویژه:

۱. آشنایی با پدیده انتقال الکترون‌ها در مقیاس اتمی و سیستم‌های کوانتومی باز
۲. درک به اثرات کوانتومی و کوانتیزه شدن رسانایی در عملکرد افزاره‌های نانوالکترونیک
۳. آشنایی و یادگیری نحوه مدل سازی افزاره‌های نانوالکترونیک با استفاده از توابع گرین

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. روش‌های عددی حل معادله شرودینگر
۲. ترکیب خطی اربیتال‌های اتمی و حالات الکترونی در مولکول‌ها
۳. روش تنگ بست و نوار انرژی الکترون‌ها در شبکه‌های بلوری
۴. معادله دیراک و اسپین الکترون و برهمکنش اسپین-مدار
۵. زیر نوارهای انرژی و چگالی حالات در ساختارهای صفر، یک و دو بعدی
۶. کوانتیزه شدن رسانایی، مقاومت اتصال و مقاومت اهمی
۷. سیستم‌های کوانتومی باز و ماتریس چگالی
۸. پهن شدگی حالات و عدم قطعیت انرژی زمان
۹. توابع گرین و ارتباط مشاهده پذیرها با این توابع
۱۰. انتقال همدوس و رابطه لاندائور-بوتیکر
۱۱. انتقال نا همدوس و خود انرژی برای مدل سازی برهمکنش‌ها
۱۲. تجزیه و تحلیل افزاره‌های نانو با استفاده از توابع گرین

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ۳۵ درصد

**ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**چ) فهرست منابع پیشنهادی:**

1. S. Datta, Quantum Transport: From Atoms to Transistors, Cambridge University Press, 2005.
2. M. Pourfath, The Non-Equilibrium Green's Function Method for Nanoscale Device Simulation, Springer, 2014.
3. S. Datta, Lessons from Nanoelectronics: A New Perspective on Transport, World Scientific, 2012.
4. S. Datta, Electronic Transport in Mesoscopic Systems, Cambridge University Press, 1995.

|  |  |                                       |             |
|--|--|---------------------------------------|-------------|
| پدیده انتقال در نیم رساناها  |  | عنوان درس به فارسی:                   |             |
| نوع درس و واحد   |  | Transport Phenomena in Semiconductors |             |
| پایه <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/>         |  | عنوان درس به انگلیسی:                 |             |
| تخصصی <input type="checkbox"/> عملی <input type="checkbox"/>                   |  | دروس پیش نیاز:                        |             |
| اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> نظری-عملی <input type="checkbox"/> |  | دروس هم نیاز:                         |             |
| رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>                                    |  | ۳                                     | تعداد واحد: |
|  |  | ۴۸                                    | تعداد ساعت: |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

.....

### الف) هدف کلی:

- تحلیل و آشنایی با عوامل مؤثر بر دینامیک الکترون‌ها در نیم رساناها و کاربرد آن برای درک رفتار افزاره‌های مختلف نیم رسانا

### ب) اهداف ویژه:

- آشنایی با مکانیزم‌های مختلف پراکندگی در نیم رساناها
- محاسبه قابلیت تحرک و رسانایی در نیم رساناها
- یادگیری روش‌های مختلف حل معادله انتقال بولتزمن
- درک و تحلیل رفتار الکترون‌ها در میدان‌های الکتریکی ضعیف و قوی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- الکترون و فونون‌ها در شبکه‌های کریستالی
- پراکندگی الکترون با فونون‌های صوتی، نوری و نوری قطبی
- پراکندگی الکترون با ناخالصی‌های یونیزه و برهم کنش الکترون-الکترون
- مکانیک آماری و تابع توزیع در حالت تعادل
- معادله بولتزمن برای تابع توزیع در حالت غیر تعادل
- حل آنالیتیک معادله بولتزمن برای مسائل ساده
- روش ممان‌های تابع توزیع و استخراج معادلات هیدرودینامیک و رانش و نفوذ
- روش مونت کارلو برای حل عددی معادله بولتزمن
- پدیده انتقال در میدان‌های ضعیف: پاسخ خطی و ضرایب انتقال
- موبیلیتی در میدان‌های ضعیف، اثر هال و اثرات ترموالکتریک
- پدیده انتقال در میدان‌های قوی: الکترون‌های داغ و اشباع سرعت حاملها
- انتقال بالستیک و گذار به انتقال کوانتومی

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):



فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ۳۵ درصد

آزمون‌های میان و پایان نیم‌سال ۶۵ درصد

**ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**چ) فهرست منابع پیشنهادی:**

1. M. Lundstrom, Fundamentals of Carrier Transport, Cambridge University Press, 2000.
2. C. Jacoboni, Theory of Electron Transport in Semiconductors, Springer, 2010.
3. M. Lundstrom and C. Jeong, Near-Equilibrium Transport: Fundamentals and Applications, World Scientific, 2013.
4. M. Lundstrom, Fundamentals of Nanotransistors, World Scientific, 2017

|  |  |                          |                |
|--|--|--------------------------|----------------|
| عنوان درس به فارسی:  |  | افزاره‌های ذخیره انرژی ۱ |                |
| عنوان درس به انگلیسی:  |  | Energy Storage Devices 1 |                |
| نوع درس و واحد   |  |                          |                |
| پایه <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/>         |  |                          | دروس پیش نیاز: |
| تخصصی <input type="checkbox"/> عملی <input type="checkbox"/>                   |  |                          | دروس هم نیاز:  |
| اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> نظری-عملی <input type="checkbox"/> |  | ۳                        | تعداد واحد:    |
| رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>                                    |  | ۴۸                       | تعداد ساعت:    |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### الف) هدف کلی:

هدف این درس آشنایی با ذخیره‌سازهای انرژی به صورت الکتروشیمیایی، (مانند باتری‌های لیتیم یونی، ابرخازن‌ها و پیل‌های سوختی) است. در این میان عمده توجه درس بر روی باتری‌های لیتیم یونی، اصول عملکرد آن‌ها و پارامترهای تعیین کننده در کارایی این افزاره‌ها متمرکز شده است. مشخصه‌یابی این افزاره‌ها نیز در دستور کار درس قرار دارد.

### ب) اهداف ویژه:

- آشنایی با فیزیک ذخیره‌سازهای انرژی بصورت الکتروشیمیایی
- شناسایی محدودیت‌ها، مشکلات پیش رو و فرصت‌های موجود در زمینه افزاره‌های ذخیره کننده انرژی، به خصوص باتری‌های لیتیم یونی
- آشنایی با مشخصه‌یابی‌های مربوط به این افزاره‌ها

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- منابع انرژی
- مقدمه‌ای بر باتری‌ها و انواع مواد الکترودی
- پارامترهای تعیین کننده در کارایی یک باتری
- تلفات اهمی
- تلفات اکتیواسیون
- تلفات تراکم: دیفیوژن در باتری
- پروفایل ولتاژ باتری
- مقدمه‌ای بر مشخصه‌یابی‌های ذخیره‌سازهای انرژی به صورت الکتروشیمیایی: ولتامتری چرخه‌ای

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

۲ تا ۴ سری تمرین

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

تمرین‌ها: ۲۰~ درصد

آزمون میان ترم ۳۵~ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

1. Bard, Allen J., Faulkner, Larry R., White, Henry S, Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications, Wiley, 2022.
2. John Newman, Karen E. Thomas-Alyea, Electrochemical Systems, Electrochemical Society Series, 2020.
3. Peter Atkins, Julio de Paula. W.H. Freeman, Atkin's Physical Chemistry, 2012.
4. F. Torabi, P. Ahmadi, Simulation of Battery Systems, Fundamentals and Applications, Academic Press, Elsevier, 2019.
5. R. A. Huggins, Advanced Batteries: Materials Science Aspects, Springer, 2009.

|   |  |                          |                |
|---|--|--------------------------|----------------|
| عنوان درس به فارسی:                         |  | افزاره‌های ذخیره انرژی ۲ |                |
| عنوان درس به انگلیسی:                       |  | Energy Storage Devices 2 |                |
| نوع درس و واحد                              |  |                          |                |
| پایه <input type="checkbox"/>               | نظری <input checked="" type="checkbox"/> |                          | دروس پیش نیاز: |
| تخصصی <input type="checkbox"/>              | عملی <input type="checkbox"/>            |                          | دروس هم نیاز:  |
| اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> | نظری-عملی <input type="checkbox"/>       | ۳                        | تعداد واحد:    |
| رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/> |  | ۴۸                       | تعداد ساعت:    |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### الف) هدف کلی:

هدف این درس آشنایی با ذخیره‌سازهای انرژی به صورت الکتروشیمیایی، (مانند باتری‌های لیتیم یونی، ابرخازن‌ها و پیل‌های سوختی) است. این درس در ادامه درس افزاره‌های ذخیره انرژی ۱ طراحی شده است. در افزاره‌های ذخیره انرژی ۱ به اصول عملکرد باتری‌های لیتیم یونی پرداخته شده بود. در افزاره‌های ذخیره انرژی ۲، بر روی ابرخازن‌ها و مشخصه‌یابی ذخیره‌سازهای انرژی بحث خواهد شد.

### ب) اهداف ویژه:

- آشنایی با فیزیک ذخیره‌سازهای انرژی بصورت الکتروشیمیایی
- شناسایی محدودیت‌ها، مشکلات پیش رو و فرصت‌های موجود در زمینه افزاره‌های ذخیره‌کننده انرژی، به خصوص ابرخازن‌ها
- آشنایی با مشخصه‌یابی‌های مربوط به این افزاره‌ها

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مقدمه‌ای بر ابرخازن‌ها
- انواع ابرخازن‌ها
- دولایه الکتریکی
- انواع مواد الکترودی
- پارامترهای تعیین‌کننده در کارایی یک ابرخازن
- مشخصه‌یابی‌های ذخیره‌سازهای انرژی به صورت الکتروشیمیایی: ولتاژتری چرخه‌ای در ابرخازن‌ها
- مشخصه‌یابی‌های ذخیره‌سازهای انرژی به صورت الکتروشیمیایی: طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی
- مشخصه‌یابی‌های ذخیره‌سازهای انرژی به صورت الکتروشیمیایی: GCD، نمودار راگون، ..

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

۲ تا ۴ سری تمرین

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

تمرین‌ها: ۲۰~ درصد

آزمون میان ترم ۳۵~ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

1. Bard, Allen J., Faulkner, Larry R., White, Henry S, Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications, Wiley, 2022.
2. John Newman, Karen E. Thomas-Alyea, Electrochemical Systems, Electrochemical Society Series, 2020.
3. Peter Atkins, Julio de Paula. W.H. Freeman, Atkin's Physical Chemistry, 2012.
4. Sandeep A Arote, Electrochemical Energy Storage Devices and Supercapacitors, IOP Publishing Ltd, 2021.
5. Kamal K. Kar, Handbook of Nanocomposite Supercapacitor Materials I: Characteristics, Springer, 2020.  
Kamal K. Kar, Handbook of Nanocomposite Supercapacitor Materials II: Performance, Springer, 2020.  
Kamal K. Kar, Handbook of Nanocomposite Supercapacitor Materials III: Selection, Springer, 2021.

|                       |    |   |  |
|-----------------------|----|---|--|
| عنوان درس به فارسی:   |    | حسگرهای نیم‌رسانا                           |  |
| عنوان درس به انگلیسی: |    | Semiconductor Sensors                       |  |
| دروس پیش نیاز:        |    | پایه <input type="checkbox"/>               | نظری <input checked="" type="checkbox"/> |
| دروس هم نیاز:         |    | تخصصی <input type="checkbox"/>              | عملی <input type="checkbox"/>            |
| تعداد واحد:           | ۳  | اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> | نظری-عملی <input type="checkbox"/>       |
| تعداد ساعت:           | ۴۸ | رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/> |  |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

.....

### الف) هدف کلی:

- هدف این درس آشنایی با فرآیند ساخت مدارهای مجتمع، آشنایی با انواع فرآیندهای ساخت مخصوصاً با استفاده از فناوری MEMS، فهم فیزیک پلاسما در فرآیندهای ساخت، آشنایی با حسگرهای مختلف و نحوه عملکرد آنها شامل حسگرهای مکانیکی، مغناطیسی، نوری، حرارتی، تشعشعی، هسته‌ای، شیمیایی و بیولوژیکی است.

### ب) اهداف ویژه:

۱. کسب دانش فرآیندهای پیچیده ساخت افزاره و حسگرها
۲. کسب دانش در زمینه ساخت محرکه‌ها و مبدل‌های ریز ماشینکاری
۳. آشنایی با ساختارهای آشکارسازهای نوری و مادون قرمز منظم آرایه‌ای
۴. آشنایی با فرآیند پلاسمای سرد و فیزیک مربوط به آن

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. فرآیندهای ساخت افزاره‌های نیم‌رسانا
۲. آشنایی با فرآیندهای ساخت افزاره‌های MEMS
۳. فیزیک پلاسما
۴. حسگرهای مکانیکی و محرکه‌ها
۵. حسگرهای حرارتی و اندازه‌گیر جریان (flow-meter)
۶. حسگرهای نوری، حسگر مادون قرمز، CCDها
۷. حسگرهای تشعشعی و هسته‌ای
۸. حسگرهای شیمیایی، حسگر گاز
۹. مقدمه ای بر حسگرهای بیولوژیکی و ساختارهای آن

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

- دو تا سه سری تمرین برای تسلط بر مفاهیم مطرح شده
- یک ارائه به صورت اختیاری

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

۴۰ درصد

فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال

۶۰ درصد

آزمون پایان نیم سال

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

1. Simon M. Sze, Yiming Li, Kwok K. Ng, Physics of Semiconductor Devices, J. Wiley, 2021.
2. M.A. Lieberman and A.J. Lichtenberg, Principles of Plasma Discharges and Material processing, John Wiley, 2005.
3. Sami Franssila , Introduction to Micro-Fabrications, John Wiley, 2010.

|  |  |                       |             |
|--|--|-----------------------|-------------|
| سلول خورشیدی   |  | عنوان درس به فارسی:   |             |
| نوع درس و واحد   |  | Solar cell            |             |
| نظری <input checked="" type="checkbox"/> پایه <input type="checkbox"/>         |  | عنوان درس به انگلیسی: |             |
| عملی <input type="checkbox"/> تخصصی <input type="checkbox"/>                   |  | دروس پیش نیاز:        |             |
| نظری-عملی <input type="checkbox"/> اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> |  | دروس هم نیاز:         |             |
| رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>                                    |  | ۳                     | تعداد واحد: |
|  |  | ۴۸                    | تعداد ساعت: |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

.....

### الف) هدف کلی:

هدف از این درس آشنایی دانشجویان با بحث بنیادی فیزیک فیزیک سلول خورشیدی با محوریت شبیه سازی و نقش علوم و فناوری نانو در نسل جدید سلول های خورشیدی است. اصول کاربردی و آخرین دستاوردها در نسل جدید سلول های خورشیدی شامل سلول های خورشیدی لایه نازک، پروسکایت و نقاط کوانتومی شرح داده خواهد شد.

### ب) اهداف ویژه:

۱. تسلط دانشجویان تحصیلات تکمیلی بر فیزیک و انواع سلول های خورشیدی
۲. آشنایی با مباحث مربوط به نصب پنل ها و نیروگاه های خورشیدی
۳. کسب مهارت در شبیه سازی سلول های خورشیدی
۴. کسب توانمندی در جهت پژوهش در زمینه سلول های خورشیدی

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

۱. فیزیک سلول خورشیدی
۲. سلول های خورشیدی نانو ساختار پروسکایتی
۳. مشخصه یابی سلول های خورشیدی
۴. پنل و ماژول های خورشیدی: مسائل نصب و راه اندازی
۵. سلول های خورشیدی لایه نازک CdS و CIGS
۶. سلول های خورشیدی بازدهی بالا III-V
۷. نرم افزارهای متداول شبیه سازی و آموزش کد نویسی در SCAPS
۸. شبیه سازی سلول های خورشیدی متنوع در قالب پروژه

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

- فعالیت های کلاسی و امتحانک ها در طول ترم ۱۰ درصد
- پروژه ۲۰ درصد



۳۰ درصد

آزمون میان ترم

۴۰ درصد

آزمون پایان ترم

**ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**چ) فهرست منابع پیشنهادی:**

۱. راضیه تیموری و راحله محمدپور، مبانی مدل‌سازی سلول‌های خورشیدی، انتشارات سازمان جهاد دانشگاهی تهران، چاپ اول ۱۴۰۰.

2. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, 2003
3. S.M. Sze, and M. K. Lee, Semiconductor Devices: Physics and Technology, Wiley, 2013.

|                       |                                |   |                                    |
|-----------------------|--------------------------------|---|------------------------------------|
| عنوان درس به فارسی:   |                                | محاسبات کوانتومی                            |                                    |
| عنوان درس به انگلیسی: |                                | Quantum Computing                           |                                    |
| دروس پیش نیاز:        | پایه <input type="checkbox"/>  | نظری <input checked="" type="checkbox"/>    | نوع درس و واحد                     |
| دروس هم نیاز:         | تخصصی <input type="checkbox"/> | عملی <input type="checkbox"/>               |                                    |
| تعداد واحد:           | ۳                              | اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> | نظری-عملی <input type="checkbox"/> |
| تعداد ساعت:           | ۴۸                             | رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/> |                                    |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

.....

### الف) هدف کلی:

- کامپیوترهای کوانتومی می توانند مسائلی مثل شکستن سیستم های رمز را سریع تر از کامپیوترهای سنتی حل کنند. در این درس، مدل محاسبات کوانتومی و روش های حل مسئله با این مدل بررسی می شوند.

### ب) اهداف ویژه:

۱. آشنایی با مبانی فیزیک مدرن و خصوصاً مکانیک کوانتومی؛ آشنایی با مبانی جبر خطی
۲. مهارت یافتن در استفاده از نرم افزار QISKIT که از پکیج های Python میباشد
۳. آشنایی با پروتکل های ارتباطات کوانتومی
۴. شناخت الگوریتم های مهم در محاسبات کوانتومی

### پ) مباحث یا سرفصل ها:

۱. مقدمات: آشنایی با مفاهیم پایه در محاسبات کوانتومی، کاربردهای محاسبات کوانتومی، آینده سامانه های کوانتومی و محدودیت فعلی سامانه های کوانتومی
۲. محاسبات برگشت پذیر: گیت های برگشت پذیر، گیت های CNOT، TOFOLI، FREDKIN، MKG و HNG
۳. ریاضیات مکانیک کوانتومی: تعریف ریاضی-کوانتومی اطلاعات، اعداد مرکب، اعداد اول، تبدیل فوریه کوانتومی، ماتریس های پاولی، ضرب تنسورها، نماد دیراک، کت و براهت
۴. محاسبات کوانتومی: مبانی محاسبات کوانتومی، فضای هیلبرت، افزاره های کوانتومی، کیوبیت، رجیسترهای کوانتومی، مدارهای کوانتومی، روش های طراحی مدارهای کوانتومی، طراحی خودکار مدارهای کوانتومی، مسأله داچ-جوزا، الگوریتم شور، سنتز مدارهای کوانتومی، طراحی فیزیکی مدارهای کوانتومی
۵. رمزنگاری کوانتومی: رمزنگاری RSA، الگوریتم های رمزنگاری کوانتومی
۶. آشنایی با مبانی و پروتکل های ارتباطات/مخابرات کوانتومی
۷. برنامه نویسی با پکیج های محاسبات کوانتومی مانند Qiskit
۸. آشنایی با الگوریتم های جدید مانند HHL
۹. یادگیری ماشین کوانتومی
۱۰. فناوری های مرتبط برای ساخت کامپیوتر کوانتومی

**ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:**

- ۲ تا ۴ تکلیف دستی
- ۴ پروژه کامپیوتری در طول ترم در زمینه‌های طراحی مدارها و الگوریتم‌های کوانتومی

**ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):**

- فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ۶۰ درصد
- آزمون پایان نیم‌سال ۴۰ درصد

**ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**چ) فهرست منابع پیشنهادی:**

1. Michael Nielsen, Isaac Chuang, Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press. 2011.
2. David McMahon, Quantum Computing Explained. John Willy, 2008.
3. Jack Hidary, Quantum Computing: An Applied Approach, Springer, 2021.

| عنوان درس به فارسی:   |    | اینترکانکت‌ها و یک‌پارچگی سیگنال در مدارهای VLSI و نانو سیستم‌ها |  |
|-----------------------|----|--|--|
| عنوان درس به انگلیسی: |    | Interconnects and Nano Wires in VLSI Circuits and Nano Systems   |  |
| دروس پیش نیاز:        |    | پایه <input type="checkbox"/>                                    | نظری <input checked="" type="checkbox"/> |
| دروس هم‌نیاز:         |    | تخصصی <input type="checkbox"/>                                   | عملی <input type="checkbox"/>            |
| تعداد واحد:           | ۳  | اختیاری <input checked="" type="checkbox"/>                      | نظری-عملی <input type="checkbox"/>       |
| تعداد ساعت:           | ۴۸ | رساله / پایان‌نامه <input type="checkbox"/>                      |  |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

### الف) هدف کلی:

از بهترین اهداف درس موارد زیر را می‌توان نام برد:

- ایجاد شناخت جامعی از جایگاه، اهمیت، و کارایی اینترکانکت‌ها (اتصالات میانی) در مدارهای مجتمع، سیستم‌های الکترونیکی و بوردهای مدارچاپی با روند کوچک شدن تکنولوژی تا مقیاس نانو. بررسی آثار اتصالات میانی/سیم‌ها در عملکرد، کارایی، توان مصرفی و قابلیت اطمینان مدارهای مجتمع، و سیستم‌های الکترونیکی و بوردهای مدارچاپی، بررسی اثرات پارازیتیکی اتصالات میانی و روشهای مدلسازی آنها، بررسی و تحلیل یکپارچگی سیگنال و توان و خطاهای ناشی از اتصالات میانی و سیم‌ها، تحلیل تأخیر انتشار و روش‌های مدل سازی و کاهش آن، بررسی نویز هم‌شنوایی و روشهای مدلسازی و کاهش آن.
- بررسی رفتار و مدلسازی سیم‌ها در سطح سیستم و بوردهای مدارچاپی PCB، کمی‌سازی خطا و آسیب‌پذیری الکترومغناطیسی سیستم‌های الکترونیکی ناشی از اثر امواج و مسیریابی روی برد، سازگاری و تداخل الکترومغناطیسی EMC/EMI در PCB ها، معرفی تکنولوژیهای جایگزین برای ساختار مدارات مجتمع و سیم بندی در آنها نظیر ساختار 3D، بررسی نانو سیم‌ها و نانولوله‌های کربنی به عنوان جایگزین برای اتصالات میانی، بررسی تأخیر انتشار و نویز هم‌شنوایی در نانولوله‌های کربنی، نانو نوارهای گرافینی، و مدل سازی مداری آنها

### ب) اهداف ویژه:

۱. بدست آوردن بینش علمی و دقیق از جایگاه و اهمیت اینترکانکت‌ها (اتصالات میانی) و یکپارچگی سیگنال در دو سطح مدار مجتمع و سیستم‌های همگن و غیرهمگن، و توانایی بکارگیری نرم افزارهای ADS، HSPICE برای شبیه‌سازی و تحلیل اتصالات میانی
۲. درک مفاهیم و نحوه‌ی محاسبه پارامترها (پارازیتیکی) اینترکانکت‌ها، یادگیری روش‌های مدل‌سازی اتصالات میانی و نحوه‌ی بکارگیری آنها، مفهوم تأخیر و نایقینی تأخیر و مدل‌سازی آن، مفاهیم هم‌شنوایی و توان مصرفی و مدل‌سازی آنها، روشهای کارآمد برای کاهش هم‌شنوایی و توان مصرفی
۳. آشنایی به بسته‌بندی انواع مدارهای مجتمع و اثر آنها در یکپارچگی سیگنال نظیر تأخیر، توان مصرفی و قابلیت اعتماد، و ایجاد توانایی تحلیل سازگاری/تداخل الکترومغناطیسی در بوردهای مدارچاپی، طراحی برد مقاوم و چالشهای آن، آسیب‌پذیری سیستم‌های الکترونیکی
۴. آشنایی با فناوری نانوالکترونیک، رژیم انتقال الکترون و هدایت، نانو سیم‌ها و انواع نانولوله‌های کربنی به عنوان تکنولوژی‌های جدید اتصالات میانی مدارات مجتمع و روش‌های مدل‌سازی آنها و مدل‌سازی نویز هم‌شنوایی و ...

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه‌ای بر فناوری‌های ساخت سیستم‌های مدار مجتمع VLSI زیر میکرون تا نانو سیستم‌ها، انواع اینترکانکت‌ها در مدارهای مجتمع، بسته‌بندی مدارهای مجتمع، نگاه کلی بر جایگاه اتصالات میانی/سیم‌ها در مدارات مجتمع، سیستم‌های الکترونیکی و بوردهای مدار چاپی و نقش آنها در عملکرد بک سیستم

۲. اینترکانکت‌ها و مساله ی مقیاس شدن Scaling و آثار ناشی از آن از IC تا مجتمع‌سازی همگن و ناهمگن، یک پارچگی سیگنال Signal Integrity، پدیده کوچ الکتريکی Electromigration
۳. انواع پارازيتيکی های اتصالات میانی و محاسبه آنها، پدیده‌های مرتبط با اینترکانکت‌ها و مدل‌سازی آنها شامل: تاخیر، ناپیینی در تاخیر، روش‌های کاهش تأخیر، تلف توان، نویز هم‌شنوایی و روش‌های کاهش آن، یکپارچگی سیگنال و توان Power/Signal Integrity
۴. تکنیک‌های مدل‌سازی اینترکانکت‌ها، مدل‌های مداری فشرده و گسترده RC، RLC، مدل خط انتقال،
۵. انواع اینترکانکت‌ها و مدل‌های آنها در FPGA، ساختار و مدل‌سازی اینترکانکت‌ها و تأخیر در مدارات مجتمع سه بعدی 3D-VLSI، توابع توزیع اتصالات میانی در مدارات مجتمع دو بعدی و سه بعدی
۶. انواع بسته‌بندی مدارهای مجتمع، مدل‌های IBIS، تداخل الکترومغناطیسی در بوردهای مدارچاپی EMC/EMI، تحلیل آسیب پذیری سیستم‌های الکترونیکی در سطح سیستم و PCB و کمی‌سازی خطا
۷. اینترکانکت‌های نوری Optical Interconnects، اینترکانکت‌ها با ساختارهای بیولوژیکی، معرفی تکنولوژی Low-k و نقش آن در تاخیر و نویز هم‌شنوایی اتصالات میانی.
۸. انواع نانوسیم‌ها Nano Wires، مکانیزهای پراکندگی الکترون در نانو سیم‌ها، مقایسه عملکرد اتصالات میانی متداول مسی با نانوسیم‌ها
۹. معرفی نانو لوله‌های کربنی CNT (Carbon Nano Tubes) و انواع آنها، اشاره ای بر روش‌های ساخت و کاربردهای نانو لوله‌های کربنی، انتقال الکتريکی و هدایت کوانتمی در نانو لوله‌های کربنی
۱۰. مدل‌های مداری فرکانس بالا برای نانو لوله‌های کربنی تک‌دیواره و چند دیواره
۱۱. مدل‌سازی دسته نانو لوله‌های تک‌دیواره و چند دیواره

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

- استفاده از اسلایدهای درس با توجه به پیچیدگی محتوای درس و لزوم استفاده بهینه از زمان،
- به‌روز نگهداشتن محتوای درس بر اساس پیشرفت دانش نظری مرتبط با درس،
- استفاده از نوشتن بر روی وایت‌بورد در توضیح و تشریح روابط و مفاهیم اصلی،
- پیش مطالعه درس توسط دانشجویان با توجه به اسلایدها و مستندات که از قبل در اختیار دانشجو قرار می‌گیرد.
- پرسش و پاسخ و بحث کلاسی برای هوشیار نگهداشتن، توجه دادن و مشارکت دانشجو،
- دادن تکالیف درسی، تمرین‌های کامپیوتری و پروژه کوچک درسی برای ایجاد مهارت‌های تخصصی.
- تعداد ۷ تکلیف کامپیوتری به صورت شبیه‌سازیهای کامپیوتری و تحلیل نتایج، پروژه درسی

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

- فعالیت‌های کلاسی: تکالیف منزل، تمرین‌های کامپیوتری، پروژه درسی، و امتحان میان‌ترم: ۷۰ درصد
- آزمون پایان‌ترم: ۳۰ درصد

### ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

امکانات متداول نظیر ویدئو پروژکتور برای ارائه درس، نرم‌افزارهای ADS، Hspice برای انجام تکالیف کامپیوتری.

### چ) فهرست منابع پیشنهادی:

1. B. K. Kaushik and V. R. Kumar, Crosstalk in Modern On-Chip Interconnects: A FDTD Approach, Springer, 2016.
2. S. Saini, Low Power Interconnect Design, Springer, 2015.
3. B. K. Kaushik, Majumder, K. Manoj, Carbon Nanotube Based VLSI Interconnects, Springer, 2015.
4. T. Gupta, Copper Interconnect Technology, Springer, 2014.

5. M. S. Bakir, and J. D. Meindl, *Integrated Interconnect technologies for 3D Nanoelectronic Systems*, Artech House, 2009.

|  |   |                       |             |
|--|---|-----------------------|-------------|
| عنوان درس به فارسی: سامانه‌های الکترومکانیکی ریز و بسیار ریز                   |   |                       |             |
| نوع درس و واحد   | Micro/Nano Electro-Mechanical Systems (MEMS/NEMS) | عنوان درس به انگلیسی: |             |
| پایه <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/>         |   | دروس پیش نیاز:        |             |
| تخصصی <input type="checkbox"/> عملی <input type="checkbox"/>                   |   | دروس هم نیاز:         |             |
| اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> نظری-عملی <input type="checkbox"/> |   | ۳                     | تعداد واحد: |
| رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/>                                    |   | ۴۸                    | تعداد ساعت: |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

.....

### الف) هدف کلی:

هدف از این درس، معرفی مفاهیم پایه‌ای و مسائل سامانه‌های الکترومکانیکی با ابعاد ریز (سامانه‌های میکروالکترومکانیکی یا MEMS)، آشنایی با مکانیک مواد و از جمله فرآیندهای ساخت این سامانه‌ها، اصول حاکم بر عملکرد آنها و تاثیر کاهش ابعاد بر این عملکرد، روش‌های تحلیل و شبیه‌سازی آنها، و نیز آشنایی با سامانه‌های با ابعاد بسیار ریز (نانوالکترومکانیکی یا NEMS) است.

### ب) اهداف ویژه:

- آشنایی با فرایندهای ساخت سامانه‌های ریز از جمله ریزماشین کاری توده و سطحی
- اصول عملگر و حسگرهای ریزمکانیکی الکترونیکی
- آشنایی با سامانه‌های الکترواپتیکی
- آشنایی با ریزسیالات

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

- مروری بر سامانه‌های ریز الکترومکانیکی: تغییر مقیاس
- روشهای ساخت سامانه‌های ریز الکترومکانیکی: ریزماشین کاری سطحی و حجمی، روندهای تولید انبوه MEMS
- اصول عملکرد سامانه‌های ریز: سامانه‌های لختی سنجی
- مفاهیم مهندسی مواد و مکانیک و کاربرد آنها در طراحی و ساخت سامانه‌های ریز الکترومکانیکی
- ریزسیالات و سامانه‌های سیالی الکتروشیمیایی و بیوشیمی
- آزمایشگاه بر روی تراشه
- سامانه‌های اپتومکانیکی
- سامانه‌های در ابعاد بسیار ریز (NEMS)

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

- |                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال | ۵۰ درصد |
| آزمون پایان نیم‌سال             | ۵۰ درصد |

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

1. S.D. Senturia Microsystem Design, Springer, 2001.
2. M. Madou, Fundamentals of Microfabrication, CRC Press, 2002.
3. C. Liu, Foundations of MEMS, Pearson Education, 2012.



|                       |                                |   |                                    |
|-----------------------|--------------------------------|---|------------------------------------|
| عنوان درس به فارسی:   |                                | الکترونیک نوری                              |                                    |
| عنوان درس به انگلیسی: |                                | Optoelectronics                             |                                    |
| دروس پیش نیاز:        | پایه <input type="checkbox"/>  | نظری <input checked="" type="checkbox"/>    | نوع درس و واحد                     |
| دروس هم نیاز:         | تخصصی <input type="checkbox"/> | عملی <input type="checkbox"/>               |                                    |
| تعداد واحد:           | ۳                              | اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> | نظری-عملی <input type="checkbox"/> |
| تعداد ساعت:           | ۴۸                             | رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/> |                                    |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر:

.....

### الف) هدف کلی:

- آشنا کردن دانشجویان تحصیلات تکمیلی، با مفاهیم فیزیکی پایه‌ای مربوط به کارکرد ادوات الکترونیک نوری، نحوه کارکرد این ادوات، و مقدمه‌ای بر مخابرات نوری به عنوان کاربرد مهمی از این نوع ادوات

### ب) اهداف ویژه:

۱. آشنایی با مفاهیم پایه‌ای مکانیک کوانتومی و الکترونیک حالت جامد مرتبط با فرآیندهای نوری در نیمه‌هادی
۲. نحوه کارکرد و پارامترهای کارایی سلول‌های خورشیدی
۳. نحوه کارکرد، پارامترهای کارایی، و انواع آشکارسازهای نوری نیمه‌هادی
۴. نحوه کارکرد، پارامترهای کارایی، و انواع دیودهای نور دهنده نیمه‌هادی و نیز انواع لیزرهای نیمه‌هادی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مروری بر الکترونیک حالت جامد: دسته‌بندی مواد و مقایسه نیمه‌هادی‌ها؛ روش‌های رشد نیمه‌هادی‌ها؛ انواع مواد کریستالی
۲. مروری بر مکانیک کوانتومی: دوگانه ذره و موج، تابع موج الکترون، و معادله شرودینگر؛ الکترون در اتم هیدروژن و سایر عناصر جدول تناوبی؛ نظریه ساختار باند انرژی و عدد (بردار) موج؛ انواع ذرات و خواص آنها، اصل انحصار پائولی، و اسپین؛ تابع توزیع و چگالی حالت‌های مجاز الکترونها بر اساس انرژی
۳. ساختار باند انرژی: مدل‌های به دست آوردن ساختار باند انرژی و روش Tight Binding؛ نیمه‌هادی‌های با باند انرژی ممنوعه مستقیم و غیر مستقیم؛ تقارن تابع موج و روش k.p برای محاسبه ساختار باند انرژی؛ نظریه اغتشاش مستقل از زمان و وابسته به زمان؛ تغییر ساختار باند با روش‌های آلیاژ کردن، کرنش، و محدود کردن حرکت الکترون؛ جرم مؤثر
۴. برهمکنش نور و ماده: مدل کردن ماهیت نور: فوتون و موج؛ تئوری‌های الکترو-دینامیک کلاسیک و کوانتومی؛ کوانتیزه کردن اول و دوم؛ نظریه‌های نور کلاسیک و کوانتومی؛ امواج الکترومغناطیس و قطبیت؛ مدل فوتونی نور؛ جذب و گسیل نور خود به خودی و تحریک شده؛ نرخ و ضریب جذب؛ نرخ گسیل و ضریب بهره؛ المان ماتریسی در نیمه‌هادی بدنه و چاه پتانسیل؛ ضرائب A/B انیشتن
۵. گذرهای نوری: گذر بین باندهای نیمه‌هادی بدنه؛ چگالی حالت مشترک؛ چگالی حالت فوتون؛ گذر بین باندهای درون باندهای نیمه‌هادی چاه پتانسیل کوانتومی؛ جذب و تقویت نوری
۶. آشکار ساز نوری: انواع آشکارسازهای نوری؛ اثر نور الکتریکی (اثر نوری خارجی)؛ اثر نوری داخلی؛ پارامترهای عملکردی آشکارساز نوری؛ آشکار ساز هدایت نوری؛ دیودهای نوری PN، PIN، سد شاتکی، بهمینی، ...؛ ترانزیستور نوری، آشکار ساز نوری فلز - نیمه‌هادی - فلز، آشکار

ساز مادون قرمز چاه کوانتومی، ...؛ حالت نور ولتاژی (سلول خورشیدی)؛ کارایی عملکرد سلول خورشیدی؛ حالت نور هدایتی؛ تقویت کننده فیبری آلانید شده با اریوم

۷. دیود گسیل نوری (LED): لومینانس تزریقی؛ ساختار نامتجانس دوگانه و سیستم‌های مواد آن؛ انواع گذرهای نوری؛ طول موج‌های گسیل نوری؛ پارامترهای کارایی؛ بسته‌بندی؛ کاربرد برای مخابرات؛ ساختارهای گسیل از لبه و سطح؛ کوپل نور به فیبر

۸. لیزر: سیستم دو سطحه؛ اصول عملکرد لیزری؛ سیستم چهار سطحه؛ لیزر دیودی نیمه‌هادی؛ حفره Fabry-Perot؛ مقایسه LED و لیزر؛ وارونگی جمعیت؛ شرط انجام عمل لیزری؛ شرط آستانه حفره؛ آستانه بهره؛ محیط بهره داخل حفره؛ موج‌های ایستاده و مودهای موج طولی و عرضی؛ مشخصات عملکردی؛ بستگی حرارتی خروجی؛ پروفایل خروجی؛ ساختارهای با پیوند نامتجانس تک‌ و دوتایی؛ ساختارهای محدود سازی افقی (نواری) هدایت شده با بهره و با ضریب شکست؛ ساختارهای ECL، GRIN، DBR، DFB، ...؛ ساختار چاه و نقطه کوانتومی؛ چگالی جریان آستانه؛ پاسخ فرکانسی؛ پدیده‌های Chirp و پرش مدی

**ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:**

**ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):**

|                  |         |
|------------------|---------|
| امتحانات         | ۷۰ درصد |
| پروژه (+ تکالیف) | ۳۰ درصد |

**ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**چ) فهرست منابع پیشنهادی:**

1. S. L. Chuang, Physics of Optoelectronic Devices, John Wiley, 2009.
2. J. Singh, Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures, Cambridge University Press, 2003.
3. Michael A. Parker, Physics of Optoelectronics, CRC Press Taylor & Francis, 2005
4. Rosencher, Vinter, Optoelectronics, Cambridge University Press, 2004
5. J. Singh, Semiconductor Optoelectronics: Physics and Technology, Mc Graw-Hill, 1995.

|   |  |             |             |
|---|--|-------------|-------------|
| عنوان درس به فارسی:                         |  | زیست حسگرها |             |
| عنوان درس به انگلیسی:                       |  | Biosensors  |             |
| نوع درس و واحد                              |  |             |             |
| پایه <input type="checkbox"/>               | نظری <input checked="" type="checkbox"/> |             |             |
| تخصصی <input type="checkbox"/>              | عملی <input type="checkbox"/>            |             |             |
| اختیاری <input checked="" type="checkbox"/> | نظری-عملی <input type="checkbox"/>       |             |             |
| رساله / پایان نامه <input type="checkbox"/> |  |             |             |
|   |  | ۳           | تعداد واحد: |
|   |  | ۴۸          | تعداد ساعت: |

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی  آزمایشگاه  سمینار  کارگاه  موارد دیگر: .....

### الف) هدف کلی:

- هدف از این درس، کسب شناخت درباره اصول، فناوری و روش‌ها در حوزه حسگرهای زیستی می‌باشد.

### ب) اهداف ویژه:

۱. آشنایی با برهمکنش میکرو ارگانیسم‌ها با ادوات حسگری الکتریکی با هدف تشخیص در حوزه پزشکی
۲. یافتن مکانیسم‌ها و ساختارهای نوین جهت افزایش انتخاب‌گری و حساسیت در پروتکل‌های تشخیص افتراقی

### پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. آشنایی با سیستم‌ها و فرایندهای مهم زیستی، آنزیم‌ها و پروتئین‌های دخیل و کارکرد زیست حسگرها
۲. بررسی اجمالی زیست حسگرها
۳. عناصر اساسی دستگاه‌های حسگر
۴. مهندسی حسگر
۵. زیست حسگرهای الکتروشیمیایی پروتئین
۶. شناخت پروتئین‌ها و خصوصیات آن‌ها
۷. کلیات ژنتیک و خصوصیات DNA و فرایندهای زیستی وابسته به آن
۸. بیوالکترونیک سلولی
۹. حسگر امپدانس سلولی
۱۰. نانوبیو الکترونیک بر پایه DNA
۱۱. نانوبیو الکترونیک بر پایه پروتئین
۱۲. سامانه‌های ریز و بسیار ریز زیستی (BIO MEMS AND MEMS)

### ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

### ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

- فعالیت‌های کلاسی در طول نیم‌سال ۵۰ درصد
- آزمون پایان نیم‌سال ۵۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

1. A.L. Lehninger, D.L. Nelson, and M. M. Cox, Principles of Biochemistry, W. H. Freeman, 2008.
2. A. Offenhausser, et al., Nanobioelectronics for Electronics, Biology, and Medicine, Springer , 2009.
3. Q. Liu, P. Wang, Cell Based Biosensors: Principles and Applications, Artech House, 2007.