بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه آمار

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی آمار گرایش آمار ریاضی

ارزیابي تابع قابلیت اعتماد نانوسیستم‌ها و ریزمولفه‌ها

استاد راهنما:

دکتر مجید اسدی

استاد مشاور:

دکتر رسول رکنی‌زاده

پژوهشگر:

زهرا غلامی

آذر ماه ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق
موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه
اصفهان است.

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه آمار

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی آمار گرایش آمار ریاضی

خانم زهرا غلامی

تحت عنوان:

ارزیابی تابع قابلیت اعتماد نانوسیستم‌ها و ریزمولفه‌ها

در تاریخ **۱۳۹۱/۹/۲۷** توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه **عالی** به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر مجید اسدی با مرتبه‌ی علمی استاد امضا

۲- استاد مشاور پایان نامه دکتر رسول رکنی‌زاده با مرتبه‌ی علمی دانشیار امضا

۳- استاد داور داخل گروه دکتر پرورده با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۴- استاد داور خارج از گروه دکتر علی همدانی با مرتبه‌ی علمی استاد امضا

امضای مدیر گروه

سپاس شایسته آن کسی است که اندیشیدن را به من آموخت

نه اندیشه‌ها را

اساتید محترم

جناب آقای دکتر اسدی و دکتر رکنی زاده

از اینکه با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در تدوین این پایان نامه، بر من دریغ ننمودید، بسیار سپاسگذارم.

جناب آقای دکتر حسین صمیمی، استاد عزیز دوره ی کارشناسی، امروز بیشتر از هر زمان تلاش شما را به یاد دارم.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که

وجودشان برایم همه عشق است و

وجودم برایشان همه رنج.

توانشان رفت تا به توانایی رسم و

مویشان گرد سپیدی گرفت تا

رویم سپید بماند.

و

کسانی که مشتاق

فزونی علم خویش‌اند.

چکیده:

نانوسیستم‌ها ابزارهایی می‌باشند که مواد تشکیل دهنده آن‌ها در ابعاد نانو ($۱۰^{-۹}$ متر) هستند. از این رو لازم است در طراحی و ساخت آن‌ها از اتم‌های منحصر به فردی استفاده شود. در عرصه نانوعلوم و نانوتکنولوژی به مسائلی از قبیل ساخت و طراحی نانوسیستم‌ها با ویژگی‌های فیزیکی جدید توجه ویژه‌ای شده‌است. اما سوالاتی نظیر قابلیت اعتماد چنین سیستم‌هایی کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از آنجایی که طول عمر محصولات ساخته شده یکی از فاکتورهای مهم تولید است، ضروری به نظر می‌رسد که در مورد نانوسیستم‌های به تازگی طراحی شده نیز، تصمیماتی در راستای افزایش طول عمر و بالا بردن احتمال بقا در نظر گرفته شود. پایان نامه حاضر در جهت مرور مطالعات انجام شده‌ی مربوط به نانوسیستم‌ها با ساختارهای متفاوت و ارزیابی قابلیت اعتماد آن‌هاست. در این راستا دو نوع از نانوسیستم‌های تک بعدی و دو بعدی را در نظر گرفته و رابطه ساختاری بین مولفه‌های آن‌ها را از نقطه نظر آماری بررسی می‌کنیم. در نهایت با برازش مدل‌هایی متناسب با ساختار درونی آن‌ها، قابلیت اعتماد برای انواع مختلفی از این سیستم‌ها به دست می‌آید. از جمله می‌توان به سیستم‌های k از N اشاره کرد که در حالت ساده به مفهوم آن است که سیستم، مادامیکه حداقل k مولفه در حال کار کردن باشند، به فعالیت خود ادامه خواهد داد. با توجه به اینکه در نانوسیستم‌ها، مولفه‌های تشکیل دهنده سیستم، اتم‌ها می‌باشند، منظور از فعال بودن مولفه‌های سیستم، جابه‌جا نشدن اتم‌ها و تغییر آرایش ندادن در ساختار آن‌هاست. نکته قابل توجه در اینجا این است که لزوماً مولفه‌های درون نانوسیستم‌ها غیرهمبسته نیستند. ساختار اتمی و برهم‌کنش‌های بین اتم‌ها و عوامل محیطی مؤثر، از جمله دلایل وابستگی بین مولفه‌ها می‌باشند. از این رو برای به دست آوردن قابلیت اعتماد در چنین سیستم‌هایی فرض غیرهمبسته بودن مولفه‌ها، فرضی درست نخواهد بود. بنابراین برای به دست آوردن قابلیت اعتماد باید به مدل‌هایی متوصل شد که وابستگی بین مولفه‌ها را دخالت دهد. از جمله‌ی این مدل‌ها، مدل میدان تصادفی مارکف است که برای بیان رفتار توأم مولفه‌ها مفید واقع می‌شود. همچنین می‌توان از مفهوم تابع مفصل برای وارد نمودن ساختار وابستگی بین مولفه‌ها استفاده کرد. در نتیجه با استفاده از این مدل‌ها و با در نظر گرفتن شرایطی تحت عنوان شرایط فشردگی (کم پراکندگی)، که به موجب آن تعداد اتم‌ها زیاد و جابه‌جایی یک اتم یک پیشامد بسیار نادر است، می‌توان تابع قابلیت اعتماد را بهبود بخشید.

واژگان کلیدی: تابع بقا، تابع کواریانس ایزوتروپیک، تابع قابلیت اعتماد، تابع مفصل، توزیع دو جمله‌ای، توزیع گیبز، متغیرهای تصادفی وابسته، مفصل فارلی-گامبل-مورگنسترن، مفصل گاوسی، میدان تصادفی مارکف، نانوسیستم تک بعدی، ریزمولفه‌ی دو بعدی، نرخ خطر چند متغیره، نمونه‌گیری گیبز.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مفاهیم پایه

۱-۱ مقدمه ۱
۱-۲ فناوری نانو چیست؟ ۲
۱-۲-۱ تعریف و انواع نانوسیستم‌ها ۴
۱-۲-۲ روش‌های ساخت عناصر پایه ۵
۱-۲-۳ تجهیزات ۶
۱-۳ مفاهیم سالخوردگی ۶
۱-۳-۱ تابع قابلیت اعتماد (تابع بقا) ۶
۱-۳-۲ تابع نرخ خطر ۷
۱-۴ قابلیت اعتماد سیستم‌هایی با اجزای وابسته ۸
۱-۴-۱ وابستگی ۹
۱-۴-۲ برخی از مفاهیم وابستگی چند متغیره ۱۱
۱-۵ مفصل‌ها ۱۲
۱-۵-۱ مفصل‌های دو متغیره ۱۳
۱-۶ میدان‌های تصادفی مارکف و کاربردهای آن‌ها ۱۸
۱-۷ نمونه‌گیری گیبز ۲۳
۱-۸ چند تعریف و قضیه مفید دیگر ۲۴
۱-۹ روند پایان‌نامه ۲۶

فصل دوم: ارزیابی قابلیت اعتماد حدی نانوسیستم‌های تک بعدی

۲-۱ مقدمه ۲۷
۲-۲ ارائه توزیع توأم ۲۹
۲-۳ بررسی عملکرد دو مدل از نانوسیستم‌ها ۴۳
۲-۴ ارزیابی قابلیت اعتماد نانوسیستم خطی l از N: F (مدل (۱)) ۴۴
۲-۵ ارزیابی قابلیت اعتماد نانوسیستم خطی تحت مدل (۲) ۴۵

عنوان **صفحه**

۲-۶ عدم برقراری شرایط فشردگی ۵۰
۲-۷ نتیجه‌گیری ۵۳

فصل سوم: ارزیابی قابلیت اعتماد ریزمولفه‌های دو بعدی

۳-۱ مقدمه ۵۴
۳-۲ معرفی نمادها و ارائه توزیع توأم ۵۵
۳-۳ بررسی عملکرد دو مدل از ریزمولفه‌های دو بعدی ۵۹
۳-۴ ارزیابی قابلیت اعتماد یک ریزمولفه‌ی دو بعدی مدل (۱) ۶۰
۳-۵ ارزیابی قابلیت اعتماد ریزمولفه‌ی دو بعدی مدل (۲) ۶۲
۳-۵-۱ برقراری شرط اول فشردگی ۶۳
۳-۵-۲ برقراری شرط دوم فشردگی ۶۷
۳-۶ عدم برقراری شرایط فشردگی ۷۰
۳-۷ نتیجه‌گیری ۷۳

فصل چهارم: ارزیابی تابع قابلیت اعتماد ریزمولفه‌ها با استفاده از مفصل‌های گاوسی و فارلی، گامبل، مورگنسترن

۴-۱ مقدمه ۷۴
۴-۲ مفصل گاوسی و فارلی، گامبل، مورگنسترن ۷۵
۴-۳ فرضیات مورد نظر و مدل‌بندی رفتار توأم متغیرهای $T(s_N), \dots, T(s_1)$ ۷۸
۴-۳-۱ مدل گاوسی ۸۰
۴-۳-۲ تابع چگالی توأم $T(s_N), \dots, T(s_1)$ در مدل گاوسی ۸۲
۴-۳-۳ تابع نرخ خطر چند متغیره تحت مدل گاوسی ۸۲
۴-۳-۴ مدل FGM ۸۸
۴-۳-۵ نرخ خطر چند متغیره تحت مدل FGM ۸۹
۴-۴ محاسبه تابع قابلیت اعتماد یک مدل ریزمولفه ۹۰
۴-۵ نتیجه‌گیری ۹۴

عنوان **صفحه**

فصل پنجم: ارائه مدلی یکپارچه برای ارزیابی قابلیت اعتماد ریزمولفه‌ها

۵-۱ مقدمه ۹۵
۵-۲ مدل MRF یکپارچه ۹۶
۵-۳ نتایج حدی تحت برقراری شرایط فشردگی (کم پراکندگی) ۱۰۰
۵-۴ بررسی دو مدل متفاوت از عملکرد ریزمولفه‌ها ۱۰۳
۵-۴-۱ ارزیابی قابلیت اعتماد حدی ریزمولفه‌های نوع ۱ و ۲ با فرض شرط کم پراکندگی ۱۰۵
۵-۴-۲ کران‌هایی برای قابلیت اعتماد ۱۰۷
۵-۴-۳ ارزیابی قابلیت اعتماد در حالت نافشردگی ۱۰۹
۵-۵ نتیجه‌گیری ۱۱۱
پیوست ۱۱۲
واژه‌نامه ۱۱۳
منابع و مآخذ ۱۱۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ نمایشی ساده از نحوه‌ی قرارگیری اسپین‌ها بر روی نقاط یک خط. برگرفته از مقاله کیندرمن و اسنل.....۱۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱، کران بالا برای $R_3(t)$، برگرفته از مقاله‌ی ابراهیمی، ($۲۰۱۱a$). ۸۶

مخففها و کوتاه نوشتها

CIS	Conditionally Increasing in Sequence
DFR	Decreasing Failure Rate
FGM	Farlie-Gumbel-Morgenestern
IFR	Increasing Failure Rate
MFGM	Modifying Farlie-Gumbel-Morgenestern
MRF	Markov Random Field
PLOD	Positive Lower Orthant Dependency
PUOD	Positive Upper Orthant Dependency
SI	Stochastically Increasing

پیشگفتار

اصولاً در مباحث قابلیت اعتماد به بررسی رفتار سیستم‌هایی در طول زمان پرداخته می‌شود که در ابعاد بزرگ طراحی یافته‌اند. در این موارد با بررسی عملکرد اجزای سیستم‌ها، که قابل رویت هستند و انجام آزمایش‌ها، اطلاعاتی از کارکرد سیستم چون امید ریاضی طول عمر، باقیمانده طول عمر، میانگین باقیمانده طول عمر، نرخ خطر سیستم و ... به دست می‌آید. حال در عرصه نانوعلوم و نانوتکنولوژی به ساخت سیستم‌هایی در ابعاد نانو روی آورده شده‌است که دارای ویژگی-هایی متفاوت از سیستم‌ها در ابعاد بزرگ هستند. اما آنچه که در این مسائل کمتر مورد توجه قرار گرفته‌است، قابلیت اعتماد و میزان اطمینان به این ابزارها است. توجه به این مسئله که این سیستم‌ها تا چه اندازه و تحت چه شرایطی، عملکرد درستی از خود نشان می‌دهند، کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. پایان‌نامه پیش‌رو به مروری بر مسائل مربوط به ارزیابی قابلیت اعتماد نانوسیستم‌ها می‌پردازد.

این پایان‌نامه در ۵ فصل تدوین یافته است. مطالب فصل اول به هدف آشنایی با مفاهیم اولیه مورد نیاز آورده شده‌اند و به معرفی نانوعلوم و نانوتکنولوژی و انواع سیستم‌ها در این ابعاد، پرداخته می‌شود. از جمله معرفی نانوسیستم‌های تک بعدی و دو بعدی در این فصل آمده‌است. در فصل دوم نانوسیستم‌های تک بعدی یا خطی را مورد بررسی قرار داده و بر اساس مفهوم میدان تصادفی مارکف، مدل احتمال توأمی برای بررسی رفتار توأم مولفه‌های سیستم ارائه می‌گردد. همچنین با در نظر گرفتن فرض برقراری شرایطی تحت عنوان شرایط فشردگی، می‌توان قابلیت اعتماد را در این سیستم‌ها افزایش داد. همچنین در حالت عادی با استفاده از روش نمونه‌گیری گیبز، روندی برای یافتن قابلیت اعتماد مطرح شده‌است. در فصل سوم نانوسیستم‌های دو بعدی را در نظر گرفته و باز هم با فرض برقراری شرایط فشردگی به ارزیابی قابلیت اعتماد حدی در این نانوسیستم‌ها پرداخته شده‌است و در حالت عدم برقراری این شرایط نیز، با استفاده از روش نمونه‌گیری گیبز قابلیت اعتماد محاسبه شده‌است. در فصل چهارم با بکارگیری مفهوم تابع مفصل، مدلی مناسب برای وارد نمودن ساختار وابستگی بین مولفه‌های نانوسیستم‌ها، ارائه می‌شود و نتایج جالب توجهی برای رفتار قابلیت اعتماد سیستم‌ها به دست می‌آید. در نهایت در فصل پنجم مدل احتمال استفاده شده در فصل‌های دوم و سوم را که بر مبنای قضیه میدان تصادفی مارکف بود، گسترش داده و یک مدل احتمالی یکپارچه که انعطاف‌پذیرتر از مدل قبلی است و حاوی اطلاعات بیشتری از مولفه‌هاست، برای به دست آوردن قابلیت اعتماد نانوسیستم‌ها به کار برده می‌شود. نتایج به ازای دو حالت برقراری شرایط پراکندگی و عدم برقراری این شرایط به دست آمده‌اند.

فصل اول

مفاهیم پایه

۱-۱ مقدمه

در طول سال‌های اخیر نانوعلوم[1] و نانوتکنولوژی[2] (فناوری نانو) در شاخه‌های مختلف علوم از جمله فیزیک، شیمی، مهندسی، ریاضی و زیست‌شناسی پیشرفت‌های بسیاری داشته است. نانوعلوم، مطالعه جهان در مقیاس نانو از تقریب یک متر به چند صد نانومتر است. نانوعلوم اشتراک بین علوم مرسوم و مهندسی، مکانیک کوانتومی و بسیاری از فرآیندهای اساسی در زندگی است. از طرف دیگر نانوتکنولوژی، روش استفاده از نانوعلوم به منظور ساخت ریزمولفه‌ها[3] و نانوسیستم‌ها[4] است. واژه‌ی یونانی «نانو» اشاره به کاهش اندازه یا زمان تا 10^{-9} مرتبه دارد که یک هزارم بار، کمتر از یک میکرون است. خواص نانوسیستم‌های طراحی شده وابسته به چگونگی آرایش اتم‌ها است و قابلیت اعتماد[5] آن‌ها به دوام و استحکام روابطی که بین آن‌ها برقرار است، محدود می‌شود.

---

[1] - Nanoscience
[2] - Nanotechnology
[3] - Nanocomponents
[4] - Nanosystems
[5] - Reliability

در عرصه نانوعلوم و نانوتکنولوژی توجه زیادی به دو مسئله‌ی طراحی نانوسیستم‌ها با ویژگی‌های فیزیکی جدید و چگونگی ساخت آن‌ها شده است. اما سوالاتی نظیر قابلیت اعتماد نانوسیستم‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. اینکه چطور یک نانوسیستم از کار می‌افتد یا تا چه مدت زمانی تحت یک شرایط خاص به فعالیت خود ادامه می‌دهد، به طور جدی مطالعه نشده‌است. قابلیت اعتماد، توانایی یک ریزمولفه یا نانوسیستم را در انجام نقش محول شده به آن اندازه‌گیری می‌کند. ارائه محصولاتی با قابلیت اعتماد بالاتر برای تولید کنندگان، اصلی اساسی به شمار می‌آید. مصرف کنندگان انتظار دارند که محصولات مورد نیاز، مدت زمان طولانی‌تری کار کنند. از این رو ضمانت در مورد قابلیت اعتماد، یکی از ویژگی‌های مهم محصولات شده‌است و در نتیجه برآورد هر چه دقیق‌تر قابلیت اعتماد از طریق انجام آزمایش سیستم‌ها در مراحل مختلف تولید محصول، یک رکن اساسی است. با توجه به این واقعیت که ممکن است هزینه‌ی ساخت نانوسیستم‌ها بالا باشد و از نقطه نظر عملی، از کار افتادن آن‌ها جنبه‌ی حیاتی داشته باشد، بالا بردن قابلیت اعتماد آن‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد (برای جزئیات بیشتر به جنگ و همکاران[1] (۲۰۰۷) مراجعه کنید).

در این فصل مفاهیم پایه‌ای مورد نیاز در پایان نامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا در بخش ۱–۲ فناوری نانو و مفاهیم مرتبط با آن را به اختصار توضیح داده خواهد شد. در بخش ۱–۳ مفاهیم سالخوردگی را مطرح کرده و در بخش ۱–۴ به قابلیت اعتماد در سیستم‌هایی با اجزای وابسته و مفاهیم وابستگی که در فصول بعد از آن‌ها استفاده می‌شود، اشاره می‌شود. در بخش ۱–۵ به بیان مفهوم مفصل و معرفی آن پرداخته می‌شود. در بخش ۱–۶ مفهوم میدان تصادفی مارکف را معرفی کرده و در بخش ۱–۷ به چند تعریف و قضیه مفید دیگر پرداخته می‌شود. روش نمونه‌گیری گیبز را در بخش ۱–۸ توضیح داده و در نهایت در بخش ۱–۹ روند پایان نامه مطرح می‌گردد.

۱–۲ فناوری نانو چیست؟

فناوری نانو واژه‌ای است کلی که به تمام فناوری‌های پیشرفته در عرصه کار با مقیاس نانو اطلاق می‌شود. منظور از مقیاس نانو ابعادی در حدود nm ۱ تا nm ۱۰۰ می‌باشد. (۱ نانومتر یک میلیاردم متر یا به عبارت دیگر یک هزارم میکرون است). اگر بخواهیم احساس فیزیکی نسبت به آن داشته باشیم می‌توان گفت که یک نانومتر ۸۰۰۰ بار کوچک‌تر از قطر موی انسان می‌باشد یا اینکه سلول‌های خون در بدن، چیزی در حدود ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰

[1] - Jeng et al

نانومتر طول دارند. یک رشته DNA دارای عرضی به طول ۲.۵ نانومتر است. با ایجاد ارتباط میان اندازه اتم‌ها و مقیاس نانو می‌توان یک نانومتر را راحت‌تر تصور کرد. یک نانومتر برابر قطر ۱۰ اتم هیدروژن و یا ۵ اتم سیلسیم می‌باشد. چیزی که با این تشابه مشخص می‌شود، این است که نانوفناوری عبارت است از دستکاری کوچکترین اجزاء ماده یا اتم‌ها، بدین منظور که بتوان ساختاری پیچیده را با خصوصیات اتمی تولید کرد. به دیگر سخن می‌توان گفت فناوری نانو تحقیق بر روی قطعات بسیار کوچکی است که خواص آن‌ها به خواص الکترونیکی این قطعات وابسته است و حرکت و جابه‌جایی تعداد معدودی الکترون در طی عملکرد قطعه، بر روی خواص الکتریکی آن‌ها موثر است.

اولین جرقه‌ی فناوری نانو (البته در آن زمان هنوز به این نام شناخته نشده بود) در سال ۱۹۵۹ زده شد. در این سال ریچارد فاینمن[1] طی یک سخنرانی با عنوان «فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد» ایده فناوری نانو را مطرح کرد. وی این نظریه را ارائه داد که در آینده‌ای نزدیک می‌توانیم مولکول‌ها و اتم‌ها را به صورت مستقیم دستکاری کنیم.

اولین بار واژه‌ی فناوری نانو توسط نوریوتانیگوچی[2] استاد دانشگاه علوم توکیو در سال ۱۹۷۴ بر زبان‌ها جاری شد. او این واژه را برای توصیف ساخت مواد (وسایل) دقیقی که تلورانس ابعادی آن‌ها در حد نانومتر می‌باشد، به کار برد. در سال ۱۹۸۶ این واژه توسط کی اریک درکسلر[3] در کتابی تحت عنوان : «موتور آفرینش: آغاز دوران فناوری نانو» بازآفرینی و تعریف مجدد شد. وی این واژه را به شکل عمیق‌تری در رساله دکترای خود مورد بررسی قرار داده و بعدها آنرا در کتابی تحت عنوان «نانوسیستم‌ها ماشین‌های مولکولی، چگونگی ساخت و محاسبات آن‌ها» توسعه داد.

تفاوت اصلی فناوری نانو با فناوری‌های دیگر، در مقیاس مواد و ساختارهایی است که در این فناوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته تنها کوچک بودن اندازه مد نظر نیست؛ بلکه زمانی که اندازه مواد در این مقیاس قرار می‌گیرد، خصوصیات ذاتی آن‌ها از جمله رنگ، استحکام، مقاومت خوردگی و ... تغییر می‌یابد. در حقیقت زمانی که اندازه یک مولفه از اندازه‌های بزرگ و یا ماکرو همچون متر و سانتی متر به طور مستمر به اندازه‌های کوچک کاهش می‌یابد، در ابتدا خواص و ویژگی‌ها ثابت باقی می‌ماند تا زمانیکه اندازه‌ها به زیر ۱۰۰ نانومتر برسد، آنگاه تغییرات چشمگیری در خواص اتفاق می‌افتد. به عنوان مثال طلا در ابعاد نانو خاصیت رسانایی خود را

---

[1] - Richard. P. Feynman
[2] - Norio Taniguchi
[3] - K. Eric. Drexler

که در ابعاد بزرگ داراست از دست می‌دهد. در حقیقت اگر بخواهیم تفاوت این فناوری را با فناوری‌های دیگر به صورت قابل ارزیابی بیان نماییم، می‌توانیم وجود "عناصر پایه" را به عنوان یک معیار ذکر کنیم. عناصر پایه در حقیقت همان عناصر نانومقیاسی هستند که خواص آن‌ها در حالت نانومقیاس با خواص‌شان در مقیاس بزرگتر فرق می‌کند. مطالب این بخش از سایت ستاد توسعه فناوری نانو[1] استخراج شده‌است. برای اطلاعات بیشتر در رابطه با "عناصر پایه" می‌توانید به این سایت مراجعه کنید. برای معرفی و آشنایی بیشتر در هر دو زمینه نانوعلوم و نانوتکنولوژی می‌توان به درکسلر (۱۹۹۲)، رتنر و رتنر[2] (۲۰۰۳)، پول و اونز[3] (۲۰۰۳)، بهار و همکاران[4] (۲۰۰۵)، بوشان[5] (۲۰۰۷)، تاباتا و تیسوشیا[6] (۲۰۰۸) و مراجعی که در آن‌ها آمده‌است، مراجعه کرد.

۱-۲-۱ تعریف و انواع نانوسیستم‌ها

به هر سیستم فیزیکی که در مقیاس نانو طراحی شده باشد، یک نانوسیستم گویند. نانوسیستم‌ها از نظر ساختاری به سه دسته تقسیم می‌شوند.

۱- نانوسیستم‌های دو بعدی[7]: یک مکعب با اضلاع معمولی در نظر بگیرید. اگر یک بعد این مکعب را آنقدر کوچک کنیم تا به اندازه نانو کاهش یابد، در حالیکه دو بعد دیگر آن، همچنان بزرگ باقی بمانند، ساختاری ملقب به چاه کوانتومی[8] به دست می‌آید. به نانوسیستم‌هایی با چنین آرایش‌هایی، نانوسیستم‌های دو بعدی گویند. در این حالت اتم‌ها تنها می‌توانند آزادانه در دو جهت حرکت نمایند. از نانودیسک‌ها[9] و نانوفیلم‌ها[10] می‌توان به عنوان نمونه‌ای از نانوسیستم‌های دو بعدی نام برد.

۲- نانوسیستم‌های تک بعدی یا خطی[11]: اگر اندازه دو بعد از یک مولفه به نانوبرد (کمتر از ۱۰۰ نانومتر) کاهش یابد و تنها یک بعد آن نسبت به دو بعد دیگر بزرگ باقی بماند، ساختاری ملقب به سیم

---

[1] - WWW.nano.ir
[2] - Ratner and Ratner
[3] - Poole and Owens
[4] - Bahar et al
[5] - Bhushan
[6] - Tabata and Tsuchiya
[7] - Two Dimensional Nanosystems
[8] - Quantum Well
[9] - Nanodiscs
[10] - Nanofilms
[11] - One Dimensional Nanosystems or Linear Nanosystems

کوانتومی[1] به دست می‌آید. به عبارت دیگر در این حالت، اتم‌های موجود در نانوسیستم‌ها تنها می‌توانند در یک جهت آزادانه حرکت کنند. مثال‌هایی از این نانوسیستم‌ها عبارتند از نانو تیوپ‌ها[2] و نانوفیبرها[3].

۳- نانوسیستم‌های صفر بعدی[4]: اگر هر سه بعد از یک مولفه به اندازه نانو کاهش یابند، ساختاری ملقب به ذره (نقطه) کوانتومی[5] به دست می‌آید.

۱-۲-۲ روش‌های ساخت عناصر پایه

به طور کلی عناصر پایه با دو رویکرد «بالا به پایین»[6] و «پایین به بالا»[7] قابل ساخت می‌باشند. در رویکرد بالا به پایین برای تولید محصول، یک ماده توده‌ای را شکل‌دهی و اصلاح می‌کنند. در حقیقت در این روش، یک ماده بزرگ را برمی‌داریم و با کاهش ابعاد و شکل‌دهی آن، به یک محصول با ابعاد نانو می‌رسیم. به عبارت دیگر، اگر اندازه‌ی یک ماده توده‌ای را به طور متناوب کاهش دهیم تا به یک ماده با ابعاد نانومتری برسیم، از رویکرد بالا به پایین استفاده کرده‌ایم. این کار اغلب و نه همیشه شامل حذف بعضی از مواد به شکل ضایعات است، مثل ماشین-کاری یک بخش فلزی از یک موتور یا نانوساختاری کردن فلزات به طریق شکل‌دهی (که شامل ضایعات نیست).

رویکرد پایین به بالا درست عکس رویکرد بالا به پایین می‌باشد. در این رویکرد، محصول از طریق کنار هم قرار دادن مواد ساده‌تر به وجود می‌آید، مانند ساخت یک موتور از قطعات آن. در حقیقت کاری که در اینجا انجام می‌شود، کنار هم قرار دادن اتم‌ها و مولکول‌ها (که ابعاد کوچکتر از مقیاس نانو دارند) برای ساخت یک محصول نانومتری است. تصور کنید که قادریم اتم‌ها و مولکول‌ها را به طور واقعی ببینیم و آن‌ها را به طور دلخواه کنار هم قرار دهیم تا شکل مورد نظر حاصل شود. معمولاً روش‌های پایین به بالا ضایعاتی ندارند؛ هر چند الزاماً این مسأله صادق نیست. این توانایی شناخت مواد و دانایی به رفتار آن‌ها در ابعاد فوق العاده کوچک، ما را قادر خواهد ساخت تا نانو ساختارهایی به دلخواه خود بسازیم و آن‌ها را تحت کنترل خود درآوریم.

---

[1] - Quantum Wire
[2] - Nonotubes
[3] - Nanofibers
[4] - Zero Dimensional Nanosystems
[5] - Quantom Dot
[6] - Up to down
[7] - Down to up

۱-۲-۳ تجهیزات

پیشرفت‌های سریع اخیر در فناوری نانو مربوط به توانایی‌های کسب شده برای اندازه‌گیری و کنترل ساختارهای مواد در مقیاس نانو می‌باشد. آشنایی با ابزارها و تجهیزات مورد استفاده در این زمینه می‌تواند در درک این فناوری مفید واقع شود. از جمله این ابزارها می‌توان به میکروسکوپ الکترونی عبوری[1]، میکروسکوپ الکترونی روبشی[2]، میکروسکوپ روبشی تونلی[3] و میکروسکوپ اتمی[4] اشاره کرد. برای آشنایی با چگونگی عملکرد این دستگاه‌ها می‌توان به سایت ستاد توسعه فناوری نانو مراجعه کرد.

۱-۳ مفاهیم سالخوردگی

موضوع اصلی در مبحث قابلیت اعتماد این است که می‌خواهیم از نقطه نظر آماری بررسی کنیم که یک قطعه یا سیستم در هر لحظه با چه احتمالی، از زمان $t > 0$ بیشتر عمر می‌کند. از این رو یک متغیر تصادفی چون T تعریف می‌کنیم که بیانگر طول عمر سیستم است. متغیر تصادفی T همواره نامنفی است و بسته به تعریف، می‌تواند پیوسته یا گسسته باشد. در نظریه قابلیت اعتماد و تحلیل بقا به بررسی خواص این متغیر تصادفی پرداخته می‌شود. در این راستا مفاهیمی چون تابع قابلیت اعتماد[5]، تابع نرخ خطر[6] یا نرخ شکست[7] و ... مطرح می‌شود که در ادامه به معرفی آن‌ها پرداخته خواهد شد.

۱-۳-۱ تابع قابلیت اعتماد (تابع بقا)

فرض کنید متغیر تصادفی T، نشانگر طول عمر یک سیستم، پیوسته و دارای تابع توزیع تجمعی $F(t)$ و تابع چگالی $f(t)$ باشد. آنگاه تابع قابلیت اعتماد آن، که با R نمایش می‌دهیم، به صورت زیر تعریف می‌شود.

---

[1] - Transmission Electron Microscopy
[2] - Scanning Electrom Microscopy
[3] - Scanning Tunneling Microscopy
[4] - Atomic Microscopy
[5] - Reliability Function
[6] - Hazard Rate Function
[7] - Failur Rate Function