دانشگاه زنجان

دانشکده فنی مهندسی

موضوع:

# بیوانفورماتیک- محاسبات با دی. ان. ای (DNA)

استاد راهنما:

آقای دکتر شهرام محمدی

ارائه دهنده:

محیا ظهیریان - ۸۴۴۴۲۲۷۵

رشته تحصیلی:

مهندسی برق- الکترونیک

زمستان ۸۹

تقدیم به:

# تقدیم به پدر و مادر عزیزم

## تقدیر و تشکر:

با سپاس از استاد راهنمای محترم

جناب آقای دکتر شهرام محمدی

## فهرست


فناوری نانو ..... ۱
نانو کامپیوترها ..... ۲
نانو کامپیوترهای کوانتومی ..... ۳
نانو کامپیوترهای DNA ..... ۴
بیوتکنولوژی: ..... ۵
نانو بیو تکنولوژی ..... ۵
کامپیوتر ..... ۶
DNA ..... ۸
تحقیقات آقای لئونارد آدلمن و کشف ایده ی ساختن کامپیوتر بر مبنای DNA ..... ۱۱
مسئله مسیر همیلتونی ..... ۱۵
حل مسئله مسیر همیلتونی با DNA ..... ۱۶
شرح آزمایش آدلمن ..... ۱۸
نکات برجسته مدل واتسون-کریک ..... ۲۰
گیتهای منطقی ساخته شده از DNA ..... ۲۲
تعریف جبر بول ..... ۲۳
اصول جبر بول ..... ۲۳
توابع سوئیچینگ ..... ۲۳
جدول درستی ..... ۲۴
مدارهای سوئیچینگ ..... ۲۵
انواع گیت ..... ۲۵
گیت های منطقی ساخته شده از DNA ..... ۲۹
الیگونوکلئتید ..... ۳۰
کاتالیست ها ..... ۳۰
دی اکسی ریبوزیم ..... ۳۰
تغییر در ساختار دی اکسی ریبوزیم ها ..... ۳۲
ساختار لایه ..... ۳۳
شکاف لایه ..... ۳۵
سنسور گیت ..... ۳۶
گیت OR ..... ۳۸
گیت NOT ..... ۳۸
گیت NAND ..... ۳۹
گیت AND ..... ۴۰
گیت XOR ..... ۴۱

Half adder نیم جمع کننده ..... ۴۴
فایده ها و مضرات محاسبات با دی اکسی ریبوزیم ..... ۴۶
نتیجه گیری ..... ۴۷
منابع ..... ۴۹

## فناوری نانو

نانو تقریبا همه چیز زندگی ما را تحت تاثیر قرار خواهد داد.از داروهایی که مصرف می کنیم تا توان رایانه هایمان،منابع انرژی مورد نیازمان،غذایی که می خوریم،ماشینی که می رانیم،خانه هایی که در آن زندگی می کنیم و لباسی که بر تن داریم و مهمتر آنکه در هر زمینه ای که تصور تغییری را در آن داشته باشیم تاثیرات جدیدی به وجود خواهد آورد که کسی فکرش را هم نمی کند.

نانو تکنولوژی به عنوان انقلاب صنعتی آینده جهان،در حال تغییر وضعیت کنونی جهان است.

در این میان به نظر می رسد که تاثیرات به عنوان رشته ای که حیات موجودات زنده را دگرگون می کند،از اهمیت ویژه ای در بررسی پیامدهای صنعتی و اجتماعی این انقلاب برخوردار است.در واقع برای بررسی فرصت ها و تهدید های نانو تکنولوژی به دلیل اینکه ماهیتی بسیار پیچیده در پیشرفت تکنولوژی کشورها دارند،می باید دانشمندان،سیاستمداران و مردم هر کشور در مورد نانوتکنولوژی مطالعه کنند تا بتوانند با تحلیل صحیح از انقلاب آینده جهان،مسائلی که پیرامون فرصتها و تهدید های نانو بیوتکنولوژی به وجود خواهد آمد را درک نمایند.

در سال ۱۹۶۵ فردی به اسم « مور » پیش بینی کرد که تعداد ترانزیستورهای موجود در یک ریز پردازنده تقریباً هر ۱۸ ماه دو برابر خواهد شد و این بدان معنی است که مدارها با گذشت زمان فشرده تر و پیچیده تر خواهند شد . این پیش بینی ، پس از اختراع فناوری هایی مثلCMOS به طرز شگفت آوری درست از آب در آمد .

ولی در حال حاضر تحلیلگران از ادامه ی این روند تردید دارند . به عقیده ی ایشان ، این فرایند کوچک سازی بالأخره در جایی متوقف خواهد شد . مگر اینکه دانشمندان به فکر روش ها و فناوری های جدیدی برای ادامه ی این روند باشند . با پیشرفت نانو فناوری ، امید این را داریم که در آینده نه تنها بتوانیم این مشکل را حل کنیم ، بلکه حتی از سد قانون مور نیز بگذریم.

هم اکنون یکی از بهترین فناوری هایی که برای تولید ترانزیستورها و مدارهای مجتمع داریم ، فناوری CMOSمی باشد . ولی این فناوری نیز در مورد فرایند کوچک سازی محدودیت هایی دارد:

۱- پیش بینی می شود که در ترانزیستورهای اثر میدانی CMOS با ولتاژتغذیه ی یک ولت ، به طول کانال حدوداً ۳۰ نانومتر و ضخامت اکسید تقریباً ۱,۵ نانومتر دست یافت.

۲-با افزایش تعداد ترانزیستورهای مجتمع در ریزپردازنده ها ، ترانزیستورهایی که از بین می روند افزایش یافته و درنتیجه خطای سیستم بالا می رود.

۳- با افزایش تعداد ترانزیستورها طول سیم های مورد استفاده افزایش و قطر آنها کاهش می یابد و این دو پدیده منجر به افزایش مقاوت الکتریکی مدار می گردد.

۴-با کوچکتر کردن ترانزیستورها ، ضخامت عایق کاهش یافته و در نتیجه ظرفیت الکتریکی آنها افزایش می یابد.

۵-تاخیر یک مدار الکتریکی متناوب که برابر است با حاصلضرب مقاومت در ظرفیت الکتریکی ، با افزایش این دو مؤلفه بالا رفته و تهایتاً سرعت محاسباتی سیستم کمتر می شود.

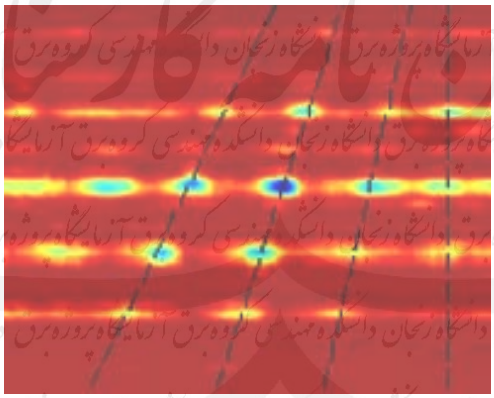
اگر در این مورد ، مجموعه ی فناوری های جدید مبتنی بر نانو را " نانوالکترونیک " بنامیم ، تجهیزات ایجاد شده با این فناوری منجر به تولید نسل جدیدی از رایانه ها خواهد شد که به آنها «نانوکامپیوتر»اطلاق می گردد.

**نانوکامپیوترها:**

پیشرفت هایی که در سایه ی فناوری نانو در دهه های اخیر حاصل شده ، روش ها و فناوری های جدیدی را برای طراحی و تولید قطعات الکترونیکی و سخت افزارهای کامپیوتری ایجاد کرده است . این فناوری ها منجر به تولید نسل جدیدی از کامپیوترها ، بنام « نانو کامپیوترها » گشته است . در ادامه به بحث در مورد دو نسل مهم از این کامپیوترها خواهیم پرداخت ؛ نانو کامپیوترهای DNA و نانو کامپیوترهای کوانتومی.

## نانوکامپیوترهای کوانتومی:

«ریچارد فاینمن » از فیزیکدانان مشهور قرن بیستم و از بانیان فناوری نانو است .لقب « پدر علم نانو » را به وی نسبت می دهند . او اولین کسی بود که پیشنهاد بکارگیری « مکانیک کوانتومی » را برای الگوریتم های محاسباتی داد.



سیستم های کوانتومی می توانند بسیار کوچکتر و با توان مصرفی پایین تر از کامپیوترهای امروزی طراحی شوند . به عنوان مثال ، عمل خواندن و نوشتن در کامپیوترهای امروزی به جریانی از $10^6$ تا $10^9$ الکترون نیاز دارد ؛ درحالیکه این عمل در سیستم های کوانتومی تنها با یک الکترون قابل اجرا است.

در کامپیوترهای سیلیکونی ،حالات دیجیتالی را با ولتاژ یک سیم نشان می دهند.(0 برای ولتاژ کمتر و 1 برای ولتاژ بیشتر ) . ولی این حالات را با روشهای دیگری نیز می توان نشان داد . مثلاً با حالات یک اتم هیدروژن ؛ حالت پایه معادل با 0 منطقی و یکی از حالات برانگیخته معادل با 1 منطقی . به هر بیت در سیستم کوانتومی ، یک « کوانتوم بیت » گفته می شود.

طبق قوانین مکانیک کوانتومی ، هر کوانتوم بیت علاوه بر دو حالت مذکور ، یک ابر حالت را نیز می تواند اختیار کند ( هر ترکیب خطی از دو حالت مذکور ) . به عبارتی دیگر هر کوانتوم بیت ، برخلاف بیت های معمولی ، سه حالت دارد.

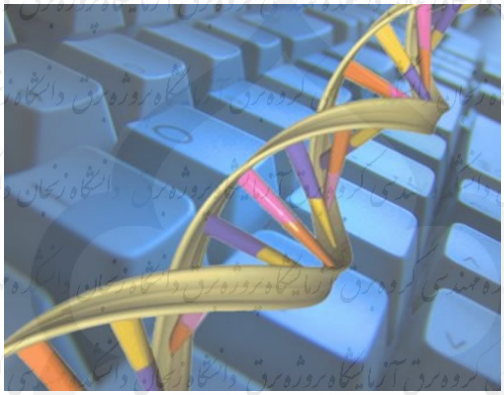
از آنجاییکه سیستم های کوانتومی امکان نگهداری اطلاعات چند گانه را دارند ، پیش بینی می شود که بتوانند یک میلیون محاسبه را به طور همزمان اجرا کنند . ولی چون این کامپیوترها وابسته به پدیده

های کوانتومی اند ، شدیداً ناپایدار و آسیب پذیر در مقابل نویز می باشند . به همین جهت به یک سیستم اصلاح خطا نیاز دارند.

نانوکامپیوترهای کوانتومی در حال حاضر در مراحل مقدماتی تحقیقات قرار دارند و هنوز راه درازی را پیش رو دارند

## نانوکامپیوترهای DNA :

دسته ای از اکتشافات ۵۰ سال اخیر ، قابلیت بالای سلول های زنده در نگهداری و پردازش اطلاعات را آشکار ساخته است . دانشمندان به این مطلب پی برده اند که اطلاعات وراثتی و دستورالعمل های لازم برای اجرای صحیح وظایف سلولی به طور دیجیتالی در ژن ها ذخیره می شوند.



پردازش و ذخیره ی اطلاعات در سیستم های زیستی ، از بسیاری جهات ، کارآمدتر از سیستم های سیلیکونی الکترونیکی - دیجیتالی است ( از جمله تراکم اطلاعات و مصرف انرژی ).با توجه به این واقعیت که هر سی سی DNA حدوداً ۲ به توان ۶۰ بیت اطلاعات را در خود نگهداری می کند ، می توان گفت که نانوکامپیوترهای DNA جایگزین مناسبی برای رایانه های امروزی در برخی کاربردها به حساب می آیند . در حال حاضر متخصصان به تکنیک هایی برای خواندن ، بریدن و کپی کردن اطلاعات دست یافته اند و می توانند با کنار هم قرار دادن تکه های مختلف مولکول DNA الگو های ژنتیکی دلخواه را ایجاد کنند.

قابلیت اجرای موازی تعداد زیادی محاسبه در این کامپیوترها ( حدوداً ۱۰ به توان ۶ محاسبه بطور همزمان ) ، از جمله مزیت های آنها نسبت به رایانه های سیلیکونی است . همچنین اخیراً پیشرفتهایی

در این زمینه صورت گرفته که امکان آشکار سازی خروجی قطعات مبتنی بر فناوری DNA به صورت الکتریکی را فراهم می کند . بنابراین امید این را داریم که در آینده ای نزدیک از این نوع کامپیوترها برای مسائل بیولوژیک استفاده کنیم.

## بیوتکنولوژی:

بیوتکنولوژی یا زیست فناوری را در حالت کلی می توان بکارگیری فرایندهای زیستی و ساختارهای بیولوژیک در صنعت دانست . بکارگیری فرایندهای زیستی برای تولید سابقه ای بسیار طولانی دارد ؛ مثل : ساخت پنیر و سرکه . ولی در حال حاضر کاربردهایی مطرح شده که آن را به عنوان یک فناوری قدرتمند در صنایع امروز و فردا جلوه می دهد.

در دهه های اخیر رشد تعداد بانک های اطلاعاتی - توالی ، ضرورتی را برای ایجاد روشهای ذخیره و مدیریت اطلاعات زیستی ایجاد کرده است و این ضرورت موجب ترکیب علم بیولوژی با فناوری اطلاعات ، تحت عنوان « بیوانفورماتیک » گشته است . این علم در اوایل سال ۱۹۷۵ با هدف بکارگیری کامپیوترها ، نرم افزارها و بانک های اطلاعاتی برای پردازش داده های بیولوژیک مطرح شد . حوزه بیوانفورماتیک حوزه بسیار جدیدی است که از همپوشانی چند حوزه ی نوین به وجود آمده‌است و شکی نیست که با گذر زمان و با پژوهش‌های صورت گرفته همپوشانی های بیشتری انجام خواهد شد.

## نانو بیو تکنولوژی:

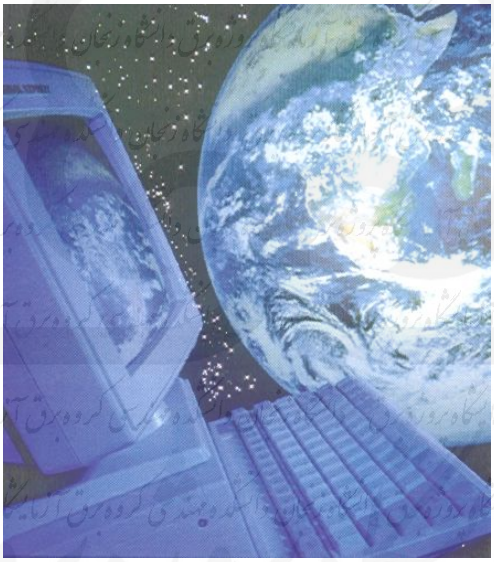
نانو بیو تکنولوژی پیش از آنکه شاخه ای از بیوتکنولوژی باشد،شاخه ای از نانو تکنولوژی است.

بیوتکنولوژی استفاده از سازوارهای زنده در کاربردهای مختلف صنعتی است.بنابراین واژه نانو تکنولوژی نیز مانند واژه هایی چون« بیو مکانیک»و «بیومتریال» به استفاده از تکنولوژی های مختلف در کاربردهای زیستی اشاره دارد و نه به استفاده از قابلیت های ارگانیزم های حیاتی در کاربردهای مختلف صنعتی.البته نانو تکنولوژی ابزاری کارآمد در پیشبرد بیوتکنولوژی بوده و نقش آن در توسعه تحقیقات بیوتکنولوژی حائز اهمیت است.لذا بعضا همانند «بیو انفورماتیک» به عنوان شاخه ای از بیو تکنولوژی نیز مطرح شده است.بنابراین نانو بیوتکنولوژی عبارت است از شاخه ای از نانوتکنولوژی که در زمینه های بیولوژی

(ژنتیک مولکولی وسلولی) و بیوتکنولوژی کاربرد یافته است.بدین ترتیب نانو بیوتکنولوژی به عنوان یک رویکرد جدید و همگراکننده حوزه های مختلف علوم پایه،فنی مهندسی،کشاورزی و صنایع غذایی،محیط زیست،علوم پزشکی و بیوتکنولوژی بوده و کاربردهای فراوانی خواهد داشت.نانو بیوتکنولوژی به ما اجازه می دهد تا اجزل و ترکیبات را داخل سلول ها قرار داده و مواد جدیدی را با استفاده از روشهای خود اسمبلی بسازیم.در روش خوداسمبلی،برای سرهم کردن اجزا،نیاز به روبات یا ابزار دیگری نیست.ایجاد ساختارهایی بر مبنای DNA در علوم پزشکی،داروسازی،مهندسی ژنتیک و بیوتکنولوژی ایجاد یک تحول و انقلاب جدید در این علوم خواهد بود.

**کامپیوتر**

وقتی که این واژه را می شنویم ذهنمان معطوف کلماتی مانند ROM،RAM،keyboard، و گیگا بایت و مگاهرتز می شود.می شود و اغلب بر این باوریم که محاسبات فقط از طریق لوازم و وسایل الکتریکی انجام می شود. ولی آیا واقعا چنین است؟



توسعه با سرعت زیاد در کوچک شدن ابعاد تراشه ها باعث مطرح شدن قانون مور شد.مور پیش بینی کرد که تعداد ترانزیستورهای موجود در یک ریز پردازنده تقریبا هر ۱۸ ماه، دو برابر خواهد شد.این پیش بینی پیش از اختراع فناوری هایی مانند CMOS به طرز شگفت انگیزی درست از آب درآمد.اما این توسعه با

این سرعت در آینده ای نه چندان دور به حد نهایت خود خواهد رسید.که در نتیجه باید به دنبال جایگزینی بود.

ساخت و طراحی پردازشگرهای سیلیکونی دیر یا زود به پایان می رسد و محدوده ی سرعت آنها در ابعادی که روز به روز کوچکتر می شود،روز ی به بن بست می رسد.

اگر به دنبال راهی برای گذر از این مانع باشیم،باید به دنبال ماده ای متفاوت برای ساخت پردازشگر باشیم.کامپیوترهای کوانتومی،نوری به عنوان راه حل برای جایگزین ارائه شده اند.

تراشه‌سازان، سال‌هاست که به دنبال جایگزینی برای سیلیکون هستند که این جایگزینی، همان مولکول DNAموجود در سلول‌های ارگانیسم زنده است؛ منبعی فراوان و ارزان که بر خلاف مواد سمی ریزپردازنده‌های رایج، از نظر مسائل زیست محیطی، منبعی پاک محسوب می‌شود.

در سال ۱۹۹۴ آزمایش آدلمان جهان تازه ای از امکانات را در محاسبات گشود.او از DNA برای حل مسئله ی مسیر همیلتونی استفاده کرد.این یک کار جدیدی بود که راهی را برای اجتناب از محدودیتهای تکنولوژی سیلیکون نشان می داد.یکی از عواملی که به توسعه ی محاسبات به عنوان جایگزین تکنولوژی سیلیکون کمک کرد،دانش وسیع DNA بود که در طول دهه های متمادی پیشرفت کرده است.

زیست شناسان با DNA و رخدادهای مرتبط با آن سروکار داشته اند .قبل از اینکه کسی بتواند ارتباط بین DNA و پردازش داده را تصور کند.

امروزه محققان در شاخه ی DNA computing بیشتر از این دانش بهره می برند واز عکس العملهای شیمیایی که توسط زیست شناسان شناخته شده است استفاده می کنند.

در سالهای اخیر پیشرفتهای زیادی در DNA computing اتفاق افتاده است.این امکان وجود دارد که مسائل پیچیده ی مشخصی در زمانی بسیار کمتر از زمان محاسبات کامپیوترهای سیلیکونی حل شود.اکنون به نظر می آید که DNA computing در حل مسائل بزرگ،کارآمدتر از محاسبات کلاسیکی است.

اصلی ترین مزیت محاسبات مولکولی در مقایسه با محاسبات سیلیکونی،امکان اجرای چندین پردازش به صورت موازی(همزمان) است.

پردازش موازی به معنی به کارگیری تکنیک‌های متنوع در پردازش همزمان داده‌ها است که به منظور افزایش سرعت و محاسبات سیستم‌های کامپیوتری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یک سیستم پردازش موازی، به جای پردازش متوالی دستورات (خطی)، قادر است پردازش همزمان داده‌ها را برای رسیدن به سرعت پردازش بیشتر انجام دهد. به عبارت دیگر، هدف از پردازش موازی، بالا بردن سرعت پردازش کامپیوتر و افزایش دفعات پردازش درطول بازه معینی از زمان است.

مزیتهای دیگر شامل مصرف کم انرژی و سرعت بالای رخدادها می باشند.

یکی از استفاده های ممکن از محاسبات مولکولی این است که از ساختمان سیستمهای مولکولی برای پیدا کردن بیماریها استفاده می شود.این سیستمها می توانند به عنوان سیستم عامل،سیگنالهای ورودی را محاسبه کنند ودر نتیجه نشانه های بیماری را تشخیص دهند.

**DNA چیست:**

دی ان ای همانند پروتئین پلیمر است.پلیمر یک مولکول دراز زنجیرواری است که از واحد هایی به نام مونومر،متصل به هم تشکیل می یابد.مونومرهای DNA نوکلئوتیدها هستند.یک نوکلئتید از سه قسمت مشخص تشکیل می یابد:

یک قند،یک باز ازته و اسید فسفریک

## فایده ها و مضرات محاسبات با دی اکسی ریبوزیم:

محاسبات با DNA در مقابل محاسبات با سیلیکون فایده هایی دارد. پردازش موازی ، مصرف کم انرژی و سرعت بالای رخدادها از مزایای این روش می باشند و البته این روش مضراتی نیز دارد. الزامی بودن دخالت انسان در محاسبات ، دسترسی کند به نتایج علیرغم سرعت بالای محاسبات از مضرات این روش هستند.

اما نکاتی در این مدل توضیح داده شده وجود دارد که راهکارها و امکانات جدیدی را نشان می دهد . تا به حال امکان محاسبات خطی مثل (1+1) با DNA بسیار پیچیده به نظر می رسید اما با این مدل ، پیشنهاد یک نیم جمع کننده ساده را داریم. تا به حال هیچ مجموعه کاملی از گیتهای منطقی با ورودی و خروجی یکسان وجود نداشته است. دی اکسی ریبوزیم ها امکان پیاده سازی تمام گیتها را می دهند و این امکان را می دهند که تمامی عملیاتی که ترکیبی از گیتهای اصلی می باشند ، انجام یابند.

ورودیها و خروجی ها طبیعت یکسانی دارند. هر دو از جنس الیگونوکلئتید می باشند. از این رو خروجی های یک گیت ، می توانند به عنوان ورودیهای گیت دیگر استفاده شوند تا یک سیستم را شکل دهند. هدف این پژوهش این است که گیتهای منطقی را به هم متصل کند تا در کشف بیماریها در یک سیستم مولکولی به کاربرده شوند این هدف با تکنولوژی سیلیکون قابل تحقق نمی باشد . این می تواند یک زمینه خاص در محاسبات مولکولی شود.

دی اکسی ریبوزیم ها در مقایسه با متدهای معمولی برای محاسبات مبتنی بر DNA ، از استفاده کردن از آنزیم ها اجتناب می کنند. آنزیم ها محدود هستند و با رشته های خاصی از الیگونوکلئتیدها وارد عمل می شوند. دی اکسی ریبوزیم یک کاتالیست است و می تواند تقریبا با هر طول مناسب اسید نوکلئیک به عنوان ورودی ، وارد عمل شوند. و این به معنای آزادی در انتخاب ورودی است.

از سوی دیگر ، کشف دی اکسی ریبوزیمها نسبتا جدید می باشد. تحقیقات و جستجوهای زیادی برای آن انجام گرفته است و دانش درباره امکانات استفاده از دی اکسی ریبوزیمها به عنوان موادی که محاسبات را انجام دهند، در مقایسه با آنزیم ها کم می باشد.

بنابراین باید منتظر آینده باشیم تا از این تکنولوژی خاطر جمع شویم اما این تکنولوژی به نظر، دلگرم کننده می رسد.

**نتیجه گیری و چشم اندازهای آینده:**

بعد از آزمایش آدلمن در سال ۱۹۹۴ ، علاقه مندی به محاسبات با DNA شروع به رشد کرد. بسیاری از دانشمندان در زمینه توانایی محاسبه DNA شروع به تحقیق کردند. محاسبات وسیع در سال های اخیر، زمینه جدیدی را برای استفاده از محاسبات مولکولی باز کرد. در آغاز این موضوع ، دانشمندان فکر می کردند که کاربرد محاسبات DNA به مسائلی محدود خواهد شد که با تکنولوژی سیلیکون قابل حل نمی باشند. اما امروزه تکنولوژی محاسبات مولکولی به موضوعات در حوزه مولکولها مربوط می شود که هیچ ارتباطی به تکنولوژی کلاسیک ندارد.

برای مثال هدف گیتهای منطقی بر پایه دی اکسی ریبوزیم این است که در سیستم های بزرگتر مولکولی استفاده شوند تا بیماریها و کم و کاستی ها را تشخیص دهند. تکنولوژی محاسبات کلاسیک قادر به انجام این هدف نمی باشند. بعلاوه با تکامل DNA computing ما می بینیم که فرایندها تا کنون بر پایه رخدادهای شناخته شده در بیولوژی بوده اند. به طور معمول تمام واکنش ها به آنزیم مرتبط می شدند چون DNA به تنهایی قادر به انجام آن واکنش خاص نبود و حضور یک کاتالیست ضروری بود. این دلیل دیگری است که چرا دی اکسی ریبوزیم یک کشف نوین محسوب می شود. دی اکسی ریبوزیم به DNA ها اجازه می دهد بدون حضور آنزیم ها واکنش انجام دهند. این واقعیت یک درجه جدیدی از آزادی در طراحی سیستم های مولکولی به ما می دهد.

مدل جدید محاسبات بر پایه الیگونوکلئتیدهای کاتالیست ، راههای جدیدی را برای محاسبات با DNA گشوده است. برای اولین بار است که مجموعه کاملی از گیتها توسط قطعات مولکولی طراحی شده اند.

آینده ی مدل دی اکسی ریبوزیم به طور قطع تضمین شده است و در دو سه سال اخیر محاسبات بیشتری صورت خواهد گرفت . اکنون قطعات زیادی هستند که با کاتالیستهای DNA درست شده اند. برای مثال سوئیچ هایی با این روش درست شده اند.

با گذشت زمان امکانات جدید با ویژگیهای رشته های الیگونوکلئتیدی در زمینه محاسبات به وجود خواهد آمد.

همانگونه که اشاره شد، آدلمان، ریاضی‌دان و دانشمند علوم کامپیوتر، با مطالعه کتاب بیولوژی مولکولی واتسون و بررسی ساختار DNA در مدل واتسون - کریک (**آوریل ۱۹۵۳م.**) توانست به عملکرد مشابه مولکول DNA و سیستم‌های کامپیوتری پی ببرد.

منابع:

1. maria Belen canadas Ruiz-perez “logic Gates made with DNA”

2.Adleman, Leonard M. “computing with DNA” scientific American, Auqust,1998

3. Adleman, L.M “on constructing a molecular computer”

4. lovgren st ,” computer made from DNA and Enzymes” for N Geo news febrary 2003

5. s.livstone M, weiss R, landweber l, “Automated design and programming of micae fluidic DNA computer.” Natural computer 2006.

6. z. frank QIU. And MIU. “take Advantage of the computing power of DNA computers “.

7. MILAN.N STOJANOVIC “Implicit-OR tiling of deoxyribozymes:Construction of molecular scale OR,NAND and four-input logic gates “

۸. بابک بابا عباسی، سلیمان احمد زاده ، حامد بهمنی " کاربرد فناوری نانو در بیو تکنولوژی"