مروری بر روش‌های افزایش امنیت ارتباطات جهت طراحی مدارات مبتنی بر آتوماتای سلولی کوانتومی

سعید سیدی[1] و نیما جعفری نویمی‌پور*[2]

[1] باشگاه پژوهش‌گران جوان و نخبگان، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
Stu.SaeidSeyedi@iaut.ac.ir

[2] گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
Jafari@iaut.ac.ir

چکیده

فناوری اکسید فلز نیمه‌هادی مکمل یک روش محبوب و فراگیر در طراحی مدارات الکترونیکی و دیجیتالی است؛ ولی در این فناوری، کاهش در سطح زیر میکرون به‌سادگی امکان‌پذیر نیست؛ بدین‌دلیل فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو به‌عنوان یک فناوری پیشتاز در زمینه نانو و روشی جدید جهت طراحی مدارات دیجیتال و کاهش توان مصرفی معرفی شد. آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو یک روش جدید برای انجام محاسبات با انتقال اطلاعات از طریق اندرکنش سلول‌های کوانتومی را بیان می‌کند. ابعاد کوچک، سرعت بالا، توان مصرفی پایین و تأخیر کم از ویژگی‌های اصلی این فناوری است. طراحی مدارات با امنیت بالا در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو با درنظرگرفتن ارتباطات بین سلولی و مصرف توان کم، فضای مصرفی بهینه، برای طراحان امری بسیار مهم و حائز اهمیت است؛ لذا، در این مقاله ابتدا آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو شرح داده و سپس سلول‌های کوانتومی، ساختارهای مهم در این فناوری، مبحث زمان‌بندی و نکات مهم در مدارات آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو مطرح شده و درنهایت مروری بر پژوهش‌های ارائه‌شده در زمینه امنیت نظیر مدار رمزنگاری در ارتباط بین مدارات در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو صورت گرفته و درنهایت ساختارها، مدارات و صحت عملکرد آن‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که می‌توان با روش‌هایی همچون استفاده از منطق برگشت‌پذیر در دروازه فینمن، کلید برگشت‌پذیر با مدار فردکین و پیاده‌سازی فرآیند رمز گزاری رمزگشایی، امنیت و قابلیت اطمینان را در ارتباطات نانو بر اساس آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای افزایش داد.

واژگان کلیدی: امنیت، آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای، نانو فناوری، ارتباطات بر اساس نانو

۱- مقدمه

فناوری اکسید فلز نیمه‌هادی مکمل[1] به‌عنوان یک فناوری محبوب، برخلاف مشکلات فراوان و اساسی همچون محدودیت فیزیکی، طی چندین دهه اخیر توانسته است پیش‌بینی گوردن مور[2] «به‌طور تقریبی در هر هیجده ماه تعداد ترانزیستورها در واحد سطح دو برابر می‌شوند» را به حقیقتی عملی تبدیل کند [۱, ۲]. با کاهش اندازهٔ ترانزیستورها در حد نانو، توسعهٔ مدارات نانو با مشکلاتی همچون نوفه‌پذیری بالا، نشتی جریان، توان بالا، کاهش بسیار محسوس دقت مدار که ناشی از دمای بالای تراشه است روبه‌رو خواهد شد [۳]. بدین دلیل پژوهش‌گران مطالعات زیادی را برای یافتن فناوری جایگزین انجام داده‌اند که یکی از دست‌یافته‌های مهم در این زمینه فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو[3] است [۴, ۵].

آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو یکی از فناوری‌های نوظهور در مقیاس نانو برای ساخت مدارهای دیجیتال است [۶]. این فناوری به‌دلیل چگالی، سرعت بالا و توان مصرفی پایین در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته [۷] و از سوی دیگر ارتباطات امن بر اساس نانو در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای به‌دلیل حساسیت بالایی که در طراحی و پیاده‌سازی مدارات دارد از اهمیت بالایی برخوردار است. ارتباطات امن می‌تواند برای کاربردهای

[1] CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)
[2] Gordon Moore
[3] QCA(quantum-dot cellular automata)

*نویسندهٔ مسؤول

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24763047.1398.8.1.6.2]

بسیار ساده اما درعین‌حال سریع، دقیق و مؤثر استفاده شود و آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو فناوری جدیدی است که با توجهی خاص به نانو فناوری پا به دنیای رایانه و امنیت آن نهاده و قادر است، امنیت اطلاعات و ارتباطات را افزایش دهد. با ظهور این فناوری دنیای امنیت ناچار است که دیر یا زود استفاده از روش‌های سنتی و نرم‌افزارهای پیچیده و حجیم را فراموش کرده و روند ایجاد پیچیدگی‌های غیرضروری و فربه‌کردن نرم‌افزارهای امنیتی را متوقف سازد و هر چه بیشتر از قبل به امنیت اطلاعات در سطح سخت‌افزاری اعتماد کند [۱, ۸].

از سال ۱۹۹۳ که فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو مطرح شد [۱]، تاکنون مطالعات بسیاری برای طراحی، پیاده‌سازی، تحلیل مدارهای گوناگون و افزایش امنیت در ارتباطات بر اساس فناوری نانو انجام شده است. امنیت در بیشتر دستگاه‌ها و ارتباطات بین مدارات بر اساس نانو، یک امر بسیار مهم و حائز اهمیت است. امنیت در ارتباطات یکی از بخش‌های مهم در بالابردن امنیت و قابلیت اطمینان مدارات است [۹]. لذا در این مقاله مداراتی که دارای امنیت بالا هستند و با قابلیت اطمینان طراحی و پیاده‌سازی شده‌اند، بررسی و مقایسه و همچنین مزایا و معایب هر یک از طراحی‌ها مطرح شده است. به‌دلیل اهمیت بالای این موضوع، تاکنون طرح‌های مختلفی برای بالابردن امنیت و قابلیت اطمینان در ارتباطات بر اساس نانو در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی ارائه شده است که در این مقاله مهم‌ترین طرح‌ها بررسی و تحلیل شده است.

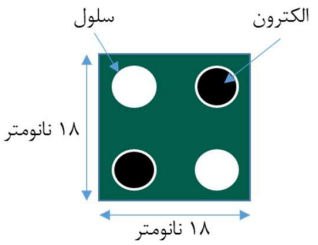
آشنایی کلی با آتوماتای سلولی کوانتومی و اجزای اصلی آن در بخش دوم انجام می‌پذیرد و سپس کارهای انجام‌گرفته در زمینه مورد بحث در بخش سوم مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم مقایسه‌ای بین روش‌های بررسی‌شده انجام و در بخش پنجم پیشنهاد کارهای آینده مطرح می‌شود و در بخش آخر نتیجه‌گیری و محدودیت‌های پژوهش ارائه شده است.

۲- آشنایی با فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو

آتوماتای سلولی کوانتومی برای نخستین‌بار در سال ۱۹۹۳ توسط لنت[1] و تاگو[2] معرفی شد [۱۰]. پژوهش‌گران مطالعات فراوانی را از نظر آزمایشی و از نظر تئوری بر اساس فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو انجام داده‌اند. امروزه اطلاعات دودویی در رایانه‌ها بر پایهٔ دو وضعیت روشن و خاموش که به‌ترتیب به‌صورت بیت‌های صفر و یک نشان داده می‌شوند، بیان می‌شود [۱, ۱۱]. اطلاعات دودویی در رایانه‌ها بر پایهٔ دو وضعیت روشن و خاموش که به‌ترتیب به‌صورت بیت‌های صفر و یک نشان داده می‌شوند، بیان می‌شود [۱]. آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو روش جدیدی برای استفاده از جریان الکتریکی برای نمایش صفر و یک منطقی با چگونگی آرایش الکترون‌ها در سلول‌های کوانتومی ارائه داده است [۱۲]. درواقع در آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو اطلاعاتی که به‌صورت دودویی هستند با بهره‌گیری از پیکربندی بارها در داخل یک سلول مشخص و رمزنگاری می‌شوند [۱۰]. در آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو عملیات جاری و پردازش اطلاعات توسط تراکنش کولمبی[3] میان سلول‌های مشابه‌صورت می‌پذیرد؛ بدین دلیل برای ایجاد اتصال مابین سلول‌ها از هیچ‌گونه سیم استفاده نمی‌شود [۱۳]. در این بخش ابتدا واحد اصلی و اساسی یعنی سلول در آتوماتای سلولی کوانتومی مورد بحث قرار می‌گیرد و سپس به‌ترتیب سیم‌های ارتباطی، دروازه معکوس‌کننده، دروازه‌های پایه و درنهایت ساعت‌زنی در آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲-۱- سلول در آتوماتای سلولی کوانتومی

سلول[4] کوچک‌ترین واحد در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو است. یک سلول کوانتومی ساده همانند شکل (۱) دارای ساختاری مربعی شکل است که از چهار نقطه کوانتومی[5] برای نگه‌داری بار[6] در گوشه‌ها از آن‌ها استفاده می‌کند. در یک سلول کوانتومی دو الکترون آزاد موجود است که این الکترون‌ها می‌توانند به‌صورت آزادانه بین نقطه‌های کوانتومی بین آن‌ها حرکت کنند.



(شکل-۱): پیاده‌سازی یک سلول با نقطه‌های کوانتومی [۱, ۱۰]

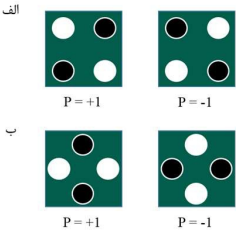
[1] Lent
[2] Tougaw
[3] Coulombic interaction
[4] Cell
[5] Quantum Dot
[6] Charge containers

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24763047.1398.8.1.6.2]

الکترون‌ها نمی‌توانند عمل تونل‌زنی را خارج از سلول انجام دهند. محل قرارگیری الکترون‌ها در یک سلول را قطبش سلول[1] مشخص می‌کند. قطبش در سلول به‌صورت رابطه (۱) تعیین می‌شود [۱].

$$p_i = \frac{(P_1+P_3)-(P_2+P_4)}{P_1+P_2+P_3+P_4} \qquad (۱)$$

در این رابطه P_i نشان‌دهندهٔ چگالی بار الکتریکی موجود در هر یک از نقطه‌های کوانتومی است. رقم‌های دودویی در آتوماتای سلولی کوانتومی با آرایش الکترون‌ها در درون نقطه سلول‌ها مشخص می‌شود. به‌دلیل دافعه الکترواستاتیکی[2] در بین الکترون‌ها آن‌ها تمایل به جهت‌گیری قطری در درون نقطه‌های سلول‌ها دارند. به‌گونه‌ای که یکی از دو آرایش موجود با قطبش $P = -1$ به‌عنوان صفر منطقی و دیگری با قطبش $P = +1$ به‌عنوان یک منطقی در نظر گرفته می‌شود. این مفهوم در شکل (۲) نشان داده شده است [۱۴]. این مفاهیم در مورد سلول‌های ۴۵ درجه چرخش یافته در آتوماتای سلولی کوانتومی نیز صدق می‌کند. شکل (۲-الف) ساختار استاندارد ۹۰ درجه سلول آتوماتای سلولی کوانتومی با قطبش‌های ممکن را نشان می‌دهد و شکل (۲-ب) ساختار ۴۵ درجه سلول آتوماتای سلولی کوانتومی با قطبش‌های موجود را نشان می‌دهد.

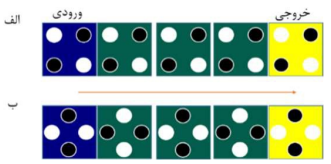


(شکل۲- الف): ساختار استاندارد ۹۰ درجه سلول آتوماتای سلولی کوانتومی با قطبش‌های ممکن. ب) ساختار ۴۵ درجه سلول آتوماتای سلولی کوانتومی با قطبش‌های موجود [۱۴]

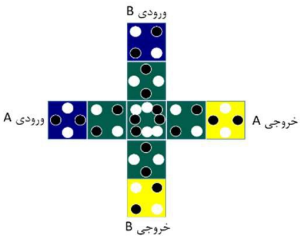
۲-۲- سیم‌های ارتباطی در آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو

سلول‌ها در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو نقش سیم را ایفا می‌کنند و از آن‌ها برای انتقال داده و ارتباطات استفاده می‌شود. با در کنار هم قراردادن سلول‌های پایه، سیم ایجاد می‌شود.

در حالت کلی دو روش برای سیم‌کشی در آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو به‌کاربرده می‌شود، روش نخست که استاندارد سیم‌کشی در آتوماتای سلولی کوانتومی است از کنار هم قراردادن سلول‌های استاندارد به‌وجود می‌آید که در شکل (۳-الف) مشاهده می‌شود. روش دیگری نیز وجود دارد که در این روش سلول‌های مورداستفاده در سیم‌کشی سلول‌های ۴۵ درجه هستند. بااین‌که سلول‌ها در این روش سیم‌بندی با قطبش *+۱* و *-۱* یک‌درمیان کنار هم قرار می‌گیرند (شکل ۳-ب)، ولی سیم‌بندی با استفاده از این سلول‌ها ایجاد می‌شود و توسط این سیم می‌توان سیگنال را انتقال داد. برتری‌ای که این روش سیم‌بندی دارد، امکان استفاده از مقدار خود سیگنال و معکوس آن در طول سیم است که به‌ترتیب در سلول‌های فرد و زوج انتشار می‌یابد.



(شکل۳-الف): سیم‌بندی با استفاده از سلول‌های ۹۰ درجه. ب) سیم‌بندی با استفاده از سلول‌های ۴۵ درجه [۱۵]



(شکل-۴): سیم‌کشی هم‌سطح و عبور دو سیگنال از روی یکدیگر بدون اثر مخرب بر روی یکدیگر [۱۵]

عبور دو سیم از روی همدیگر را سیم‌کشی هم‌صفحه[3] می‌گویند که در آن از دو سیم ۴۵ و ۹۰ درجه استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود یک سیم با استفاده از روش سیم‌کشی سلولی ۹۰ درجه و دیگری با استفاده از سلول‌های ۴۵ درجه تشکیل یافته است و با عبور این سیم‌ها از روی همدیگر کوچک‌ترین اثری بر روی‌هم نگذاشته و بدون هیچ تداخلی سیگنال را منتقل می‌کنند [۱, ۱۵].

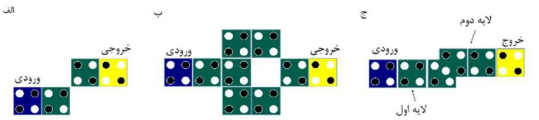
۲-۳- دروازهٔ معکوس‌کننده[4]

یکی از دروازه‌های پرکاربرد در مدارات منطقی دروازهٔ

[1] Cell polarization
[2] Electrostatic
[3] Coplanar wired crossing
[4] Invertor

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24763047.1398.8.1.6.2]

معکوس‌کننده است و فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو از این امر مستثنا نیست. در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو برای معکوس‌سازی یک سیگنال به‌راحتی می‌توان سلول‌ها را مانند شکل (۵-الف) به‌صورت اریب در بالا و پایین سلول موردنظر قرارداد و بدین ترتیب معکوس ورودی را در خروجی تولید کرد. این روش در هنگام تولید خروجی با نوفه همراه است و برای از بین این نوفه از روش دیگری استفاده می‌شود، بدین‌صورت که مطابق شکل (۵-ب) در این وارون اگر به‌جای یک معکوس‌کننده از دو معکوس‌کنندهٔ ساده استفاده می‌شود که باعث به‌وجودآمدن یک معکوس‌کنندهٔ قوی و بدون نوفه در خروجی می‌شود [۱۰]. روش سومی که برای ساخت معکوس‌کننده از آن استفاده می‌شود، روش لایه‌ای است که در این روش عمل معکوس‌کردن سیگنال در لایه‌ها صورت می‌گیرد. بر اساس دافعه کولمبی در سلول‌ها، دو لایه روی یکدیگر قطبش معکوس ایجاد می‌کنند [۱۴].



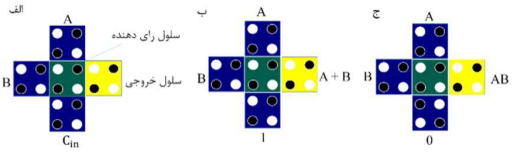
(شکل۵-الف): معکوس‌کنندهٔ ساده ب) معکوس‌کننده با دو سلول اثرگذار ج) معکوس‌کنندهٔ دولایه [۳]

۴-۲- دروازه‌های پایه در آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو

یکی از دروازه‌های پرکاربرد در آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو دروازهٔ اکثریت[1] است و برخی از دروازه‌ها همچون دروازه‌های *AND* و *OR* نیز توسط این دروازه ساخته می‌شوند. دروازه اکثریت شامل سه ورودی و یک خروجی و یک سلول رأی‌دهنده است که در وسط دروازه قرار می‌گیرد و قطبش آن توسط قطبش سلول‌های ورودی کنترل می‌شود و متغیر است؛ یعنی اگر بیشتر ورودی‌ها دارای قطبش *۱-* باشند، قطبش خروجی نیز *۱-* و به همین ترتیب اگر ورودی‌ها بیشترشان دارای قطبش *۱+* باشند، قطبش سلول خروجی نیز برابر *۱+* خواهد بود [۱۴]. دروازهٔ اکثریت سه ورودی در شکل (۶-الف) قابل‌مشاهده است. رابطه منطقی دروازه اکثریت سه وردی در رابطه (۲) نشان داده شده است.

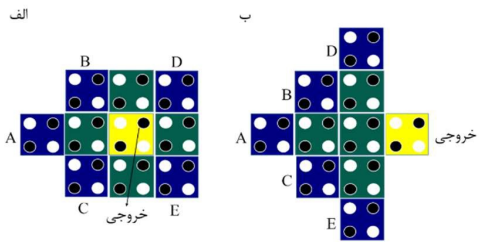
$$M(A, B, C) = AB + AC + BC \qquad (۲)$$

[1] Majority gate



(شکل۶-الف): ساختار دروازه اکثریت سه ورودی ب) دروازه AND دو ورودی ج) دروازه OR دو ورودی [۱۴]

همان‌طور که اشاره شد دروازه‌های منطقی دیگر را می‌توان با دروازهٔ اکثریت سه ورودی[2] پیاده‌سازی کرد، به‌این‌ترتیب که یک سلول ورودی این دروازه ثابت در نظر گرفته می‌شود و مقادیر دلخواه به ورودی‌های دیگر اعمال می‌شود؛ به این شکل که اگر یکی از ورودی‌ها را ثابت و مقدار ۱- در نظر گرفته شود و به دو ورودی دیگر مقادیر دلخواه داده شود، در خروجی مقدار AND ورودی‌ها به دست می‌آید (شکل ۶-ب). به همین ترتیب، با فرض سلول با مقدار ثابت ۱+، مقدار OR ورودی‌ها در سلول خروجی به‌دست خواهد آمد (شکل۶-ج). جدول (۱) هشت حالت ممکن ورودی و خروجی به‌دست‌آمده را برای یک دروازه اکثریت سه ورودی نمایش می‌دهد.



(شکل-۷): دروازه‌های اکثریت پنج ورودی [۱۶]

(جدول-۱): جدول درستی دروازه اکثریت سه ورودی

A	B	C	Maj (A,B,C)
۰	۰	۰	۰
۰	۰	۱	۰
۰	۱	۰	۰
۰	۱	۱	۱
۱	۰	۰	۰
۱	۰	۱	۱
۱	۱	۰	۱
۱	۱	۱	۱

علاوه‌بر دروازه اکثریت سه ورودی دروازه اکثریت پنج ورودی[3] نیز ارائه شده که تاکنون طرح‌های متفاوتی نیز از این دروازه طراحی شده که دو نمونه از آن در شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دروازهٔ اکثریت

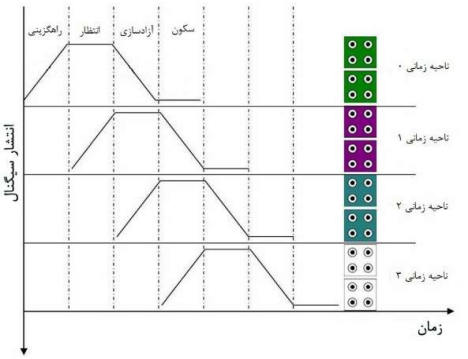
[2] Three input majority gate
[3] Five input majority gate

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24763047.1398.8.1.6.2]

پنج ورودی شکل (۷-الف) خروجی توسط سلول‌های ورودی محاصره شده است؛ اما در شکل (۷-ب) خروجی محصور نیست. دروازه اکثریت پنج ورودی شامل پنج ورودی و یک خروجی است [۱۶]. می‌توان همانند دروازهٔ اکثریت سه ورودی با ۱ و ۱- کردن دو ورودی از پنج ورودی دروازه اکثریت آن راه به‌ترتیب به دروازه AND و OR سه ورودی تبدیل کرد [۱۶, ۱۷].

۲-۵- ساعت‌زنی[1] در آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو

در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو، منطق دودویی بر دو مشخصهٔ آتوماتای سلولی و مکانیک کوانتومی استوار است و این موضوع ناشی از اطلاعات دودویی است که در آرایش بارها در داخل سلول‌های کوانتومی قرار می‌گیرند و سلول‌ها به‌جز برای ساعت‌های (کلاک) آتوماتا به توان خارجی نیاز ندارد. ساعت‌زنی در آتوماتای سلولی کوانتومی با کاهش و افزایش انرژی در داخل حفره‌هایی که الکترون‌ها در آن قرار دارند امکان‌پذیر است. با استفاده از ساعت‌زنی، سلول‌ها در داخل یک منطقه ساعت‌زنی با قطبش مشخص نگاه داشته می‌شوند.



(شکل-۸): نمایش چهار مرحله در مدارهای آتوماتای سلولی کوانتومی و تغییرات مرزهای پتانسیل سلول نسبت به زمان [۱۸, ۱۹]

۲-۶- نرم‌افزارهای شبیه‌سازی

طراحان مدارات آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو به یک ابزار سریع و دقیق برای تحلیل مدارات و بررسی صحت طراحی‌ها و تعیین قابلیت مدارات نیاز دارند. QCADesigner به طراحان این اجازه را می‌دهد که سریع و با دقت بالا به طراحی و بررسی مدارت بپردازند و نتایج حاصل را به‌راحتی تحلیل و بررسی کنند. این نتایج با استفاده از نرم‌افزار QCADesigner نسخه ۲.۰.۳ به‌دست می‌آید [۲۰]. در حال حاضر از این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی مدارات تمام جمع‌کننده و شیفت ریجیسترها و واحد پردازش و محاسبه و منطق و حافظه باقابلیت دسترسی تصادفی استفاده می‌شود. نرم‌افزار QCADesigner همچنان در جهت ارائه خدمات دقیق و سریع برای طراحی مدارات آتوماتای سلولی کوانتومی در حال پیشرفت است. این نرم‌افزار قادر به شبیه‌سازی تمامی مدارات طراحی‌شده در آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو و با استفاده از سیستم‌عامل‌های استاندارد است؛ همچنین، نرم‌افزار QCAPro ابزاری برای ارزیابی خطا و برآورد میزان انرژی مصرفی و اتلاف انرژی در مدارات طراحی‌شده در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو است [۲۱]. این ابزار از یک روش تشخیص سریع بر اساس برآورد اشتباه سلول‌ها استفاده می‌کند. QCAPro همچنین میزان انرژی ازدست‌رفته در مدارات در هر سیکل ساعت و در هر انتقال را برآورد کرده و میزان انرژی صرف‌شده در هر سلول را محاسبه می‌کند و به‌صورت نمودار نشان می‌دهد. از این ابزار می‌توان برای برآورد کمینه و بیشینهٔ اتلاف انرژی در طول تعویض یک ورودی استفاده کرد. این کار بستر مناسبی را برای پژوهش‌گران برای بررسی مسائل مربوط به خطا در قطبش و اتلاف انرژی مصرفی را فراهم می‌کند. این ابزار از فایل طراحی و تولیدشده توسط QCADesigner به‌عنوان ورودی استفاده می‌کند. QCAPro میزان تلفات توان در تغییر قطبش در هر مدار بر اساس آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو را برحسب متوسط، بیشیه و کمینه تخمین می‌زند و خروجی را در دو حالت متن و فرمت‌های گرافیکی (عکس) تولید می‌کند.

۳- مروری بر روش‌های موجود

در این بخش مروری بر روش‌ها و مقالات انجام‌شده برای افزایش امنیت ارتباطات مدارات در فناوری نانو بر اساس آتوماتای سلولی کوانتومی صورت می‌گیرد. مقالات انتخاب‌شده در شکل (۹) نشان داده شده است.

در [۲۲] توسط دَس و همکاران مدار دروازه دیکودر[2] باقابلیت برگشت‌پذیری برای افزایش امنیت در ارتباطات بر اساس نانو ارائه شده است. مدار دروازه دیکودر از یک دروازه اصلی به نام QCA1 تشکیل که توسط دَس و همکاران طراحی شده است و قابلیت برگشت‌پذیری را دارد. درواقع این دروازه از سه دروازهٔ اکثریت سه ورودی تشکیل و در سه لایهٔ فعال

[1] Clocking

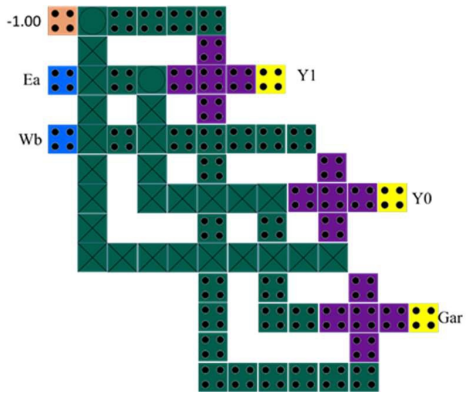
[2] Decoder

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763047.1398.8.1.6.2]

پیاده‌سازی شده که دارای سه ورودی و سه خروجی است. دروازه طراحی‌شده مقیاس فضای استفاده‌شدهٔ کمتری نسبت به طرح‌های دیگر دارد. اتلاف توان در این مقاله موردبررسی قرارگرفته است که در این مقاله توان مصرفی بسیار کمتر از مدار جایگزین در فناوری اکسید فلز نیمه‌هادی مکمل است. همچنین با استفاده از این دروازه می‌توان دروازه‌های پایهٔ AND و OR را پیاده‌سازی و اجرا کرد. مدار ارائه‌شده می‌تواند برای طراحی‌های برگشت‌پذیر که امنیت مدار موردنظر است استفاده شود. این مقاله نخستین مقاله ارائه‌شده در زمینه برگشت‌پذیری و افزایش امنیت در مدار دیکودر بر اساس فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو است. شبیه‌سازی این مدار در محیط QCADesigner صورت گرفته است. مدار دروازه دیکودر برگشت‌پذیر با امنیت بالا در شکل (۱۰) نشان داده شده است. در مقایسهٔ مدار طراحی‌شده با مدارات قبلی، مدار طراحی‌شده توسط دَس و همکاران از سرعت بیشتر، مصرف توان کمتر و امنیت در ارتباطات بر اساس نانو و انتقال داده نسبتا به طرح‌های قبلی برخوردار است و نیز از این مدار می‌توان در مدار برگشت‌پذیر دیگر استفاده کرد.

(شکل-۹): مقالات انتخاب‌شده جهت مرور

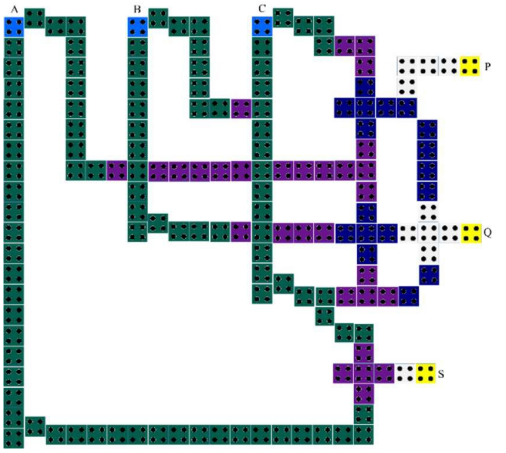


(شکل-۱۰): مدار دیکودر برگشت‌پذیر طراحی‌شده توسط دَس و همکاران [۲۲]

با رشد روزافزون مدارات بر اساس فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو و نیاز به قابل‌اطمینان بودن این مدارات و امنیت در آن‌ها و ارتباطات بر اساس نانو سبب افزایش مطالعات در این زمینه شد [۲۳]. گوس وامی و همکاران در [۲۳] طرح جدیدی ارائه داده‌اند که توجه ویژه‌ای به امر قابلیت اطمینان مدار، امنیت و بحث آزمودن‌پذیری مدارات دارد. الگوهای خرابی برای آزمودن مدار همچون جابه‌جایی سلول و پیچش سلول و عدم وجود سلول در مدار موردبررسی قرار گرفته‌اند. مهم‌ترین ویژگی که این مدار دارد، آزمون‌کردن کل مدار با استفاده از سه بردار آزمون است. تجزیه‌وتحلیل‌های جامعی با استفاده از نرم‌افزار QCAPro برای بررسی مصرف انرژی و اتلاف توان در مدار پیشنهادی صورت گرفته است که نشان می‌دهد مدار پیشنهادی علاوه بر قابلیت اطمینان و امنیت بالا در انتقال اطلاعات، از مصرف توان کمی نسبت به مدارات دیگر برخوردار است. اصلی‌ترین مزیت مدار طراحی‌شده، قابلیت آزمون ۹۸٪ مدار توسط خودمدار برای خطاهای تکی است که نخستین‌بار در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی مطرح شده است. مدار طراحی‌شده توسط گوس وامی و همکاران در شکل (۱۱) نشان داده‌شده است. قابلیت اطمینان با امنیت بالا و توان مصرفی کم مدار ارائه‌شده باعث شده است گزینه مناسبی برای طراحی بخش محاسبه و منطق[1] و انجام توابع منطقی (۱۰ تابع منطقی مهم) در این بخش باشد. طراحی مدار در نرم‌افزار QCADesigner صورت گرفته و توسط همین نرم‌افزار آزمون شده و تحلیل مصرف انرژی و تلفات توان مدار توسط نرم‌افزار شبیه‌ساز QCAPro صورت گرفته است.

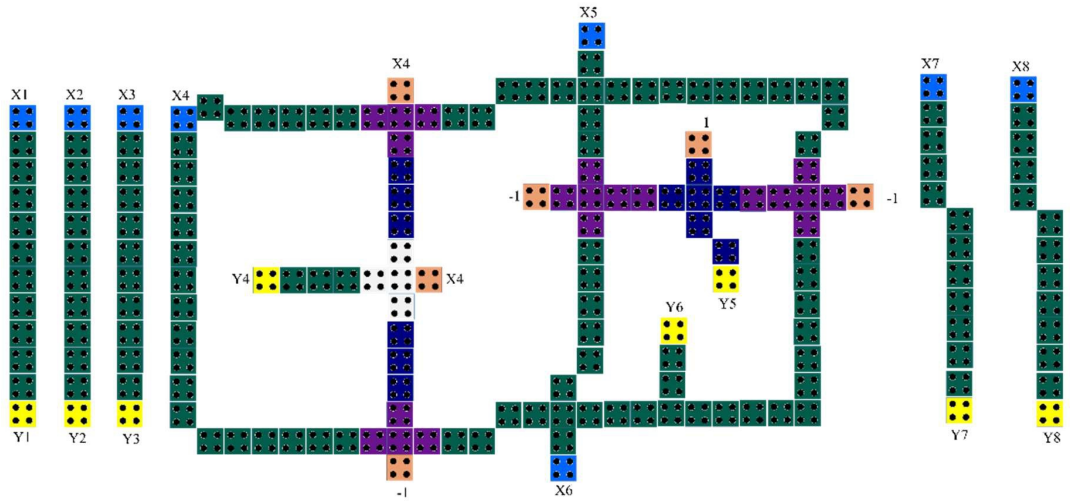
[1] ALU

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24763047.1398.8.1.6.2]



(شکل-۱۱): مدار پیشنهادی توسط گوس وامی [۲۳]

معماری قطعات سخت‌افزاری با لحاظ‌کردن مسأله‌های امنیت، اتلاف توان کم، قابلیت اطمینان بالای مدار، رمزگذاری و بازگشایی رمز در ارتباطات بر اساس نانو امر بسیار مهم و اثرگذاری است [۲۴]. رمزنگاری می‌تواند مسیری امیدبخش در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی باشد. در [۲۴]، مداری توسط دَس و همکاران طراحی‌شده که این طراحی، مداری با دروازه Atbash در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی برای رمزگذاری ارتباطات نانویی است. طرح پیشنهادی برای پیاده‌سازی به فضا و مساحت کم، شش دروازه اکثریت سه ورودی، نه معکوس کننده و چهار ناحیه ساعت‌زنی نیاز دارد. مدار پیشنهادی دارای مصرف توان پایین است به همین دلیل می‌تواند در مقابل حملات توان در ارتباطات بر اساس نانو مقاومت لازم را داشته باشد. مدار طراحی‌شده در شکل (۱۲) نشان داده شده و توسط نرم‌افزار QCADesigner پیاده‌سازی شده و تحلیل مصرف انرژی آن نیز توسط نرم‌افزار QCAPro انجام شده است. در طراحی این مدار مسائل زیادی همچون تراکم مدار و ناسازگاری در نظر گرفته شده است. به‌منظور بررسی مدار دنبالهٔ هشت‌بیتی از داده‌ها به‌عنوان‌مثال، جریان یک بایت از داده‌ها از یک متن ساده در یک‌زمان به‌عنوان یک ورودی به مدار پیشنهادی داده می‌شود و صحت عملکرد مدار موردبررسی قرار گرفته است. مطالعه نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده بهره‌وری کاربردی مدار طراحی شده است.

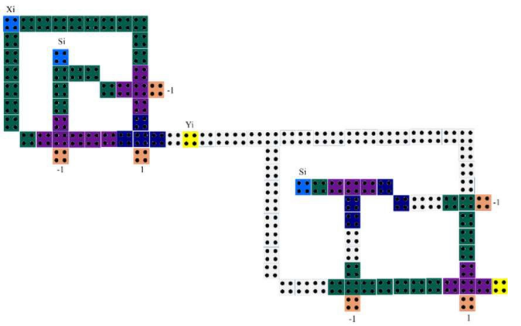


(شکل-۱۲): مدار انکودر و دیکودر پیشنهادی توسط دَس و همکاران [۲۴]

فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو با استفاده از ارتباطات بین سلولی می‌تواند در بحث رمز و امنیت داده بسیار مهم واقع شود و نقش عمده‌ای را بازی کند. در [۲۵]، مدار جدیدی توسط دَس و همکارانش در سال ۲۰۱۲ ارائه و هر دو فرایند رمزنگاری و رمزگشایی با استفاده از دروازه‌های پایه در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو پیاده‌سازی شده است [۲۵]. این دروازه در شکل (۱۳) نشان داده شده است. در این مقاله راه‌های اساسی برای ارتباطات بین سلولی در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی برای تولید متن رمزشده و ایمن موردبررسی قرارگرفته و درنهایت دروازه رمزنگار و رمزگشای امن طراحی شده است. با توجه به تولید حملات زیاد بر روی مدارات سخت‌افزاری با استفاده از دروازه رمزنگار و رمزگشایی تا حد بسیار زیادی می‌توان از وقوع این حملات جلوگیری کرد. مدار ارائه‌شده مدار بهینه‌ای از لحاظ ایمنی و مقاومت در مقابل حملات مختلف است و در شرایط نا امن بهتر از مدارات سنتی بر اساس آتوماتای سلولی کوانتومی در مقیاس نانو عمل می‌کند و دارای توان مصرفی کمتر و منطقه زمانی کمتر

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24763047.1398.8.1.6.2]

نسبت به مدارات سنتی است. رمزگذاری و رمزگشایی در این مدار در پیام هفت بیتی صورت می‌گیرد و کلید نیز هفت بیتی است اما می‌تواند هر مقدار داده را رمزنگاری و رمزگشایی کند و کلید نیز قابل تغییر است. با این دروازه می‌توان رمزنگاری سامانه‌های ارتباطی امن مبتنی بر نانو در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو را انجام داد. پیاده‌سازی و آزمون نتایج با استفاده از نرم‌افزار QCADesigner صورت گرفته و نتایج حاصل نشان‌دهندهٔ صحت عملکرد مدار در رمزگذاری و رمزگشایی است.

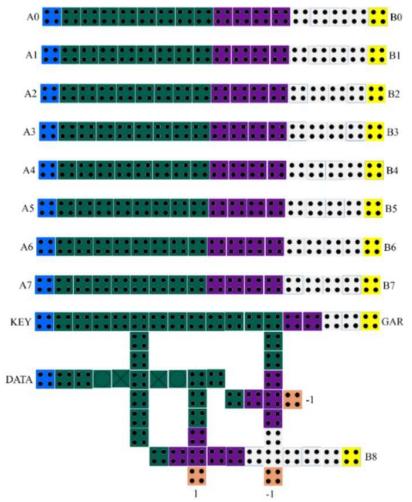


(شکل-۱۳): مدار ارائه‌شده توسط دَس و همکاران [۲۵]

همچنین، دب ناس و همکاران در [۲۶] به ارائهٔ روش جدیدی برای پنهان نگاری و رمزنگاری عکس و افزایش امنیت با استفاده از منطق برگشت‌پذیر در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو پرداخته‌اند [۲۶]. در این مدار از دروازه فینمن[1] برای رمزگذاری و رمزگشایی تصویر استفاده شده است. در شکل (۱۴) ارتباطات بر اساس نانو و مدار طراحی‌شده نشان داده است. مدار پیشنهادی ارائه‌شده از مصرف توان انرژی کمتر، مصرف سلول کم و مصرف مساحت مورداستفاده کمتری برخوردار است که نشان‌دهنده اثربخشی بالای این طرح در سایر طراحی‌ها بر پایه این مدار است. این مدار برای رمزنگاری و پنهان‌نگاری تصویر از فنّاوری[2] LSB استفاده می‌کند. همچنین نسبت سیگنال به نوفه[3] و اوج نسبت سیگنال به نوفه محاسبه می‌شود و میانگین مجذور خطاها[4] نیز محاسبه می‌گردد. مدار ارائه‌شده برای مدارات برگشت‌پذیر بسیار مناسب است. در مرحله آزمون مدار، از نرم‌افزار متلب[5] برای تولید ورودی به مدار استفاده و مدار در نرم‌افزار شبیه‌ساز QCADesigner پیاده‌سازی و صحت مدار در این نرم‌افزار تأیید شده است.

[1] Feynman gate
[2] Least significant bit
[3] Signal to noise ratio
[4] Mean squared error

نتایج حاصل مدار رمزگذار و رمزگشای ارائه‌شده اتلاف انرژی کم نسبت به مدارات دیگر را نشان می‌دهند. تجزیه‌وتحلیل نقص‌ها مبتنی بر سلول اضافی و گم‌شدگی نیز در این مطالعه موردبررسی قرارگرفته و درصد امنیت و قابلیت اطمینان مدار نسبت به دماهای گوناگون متفاوت است.



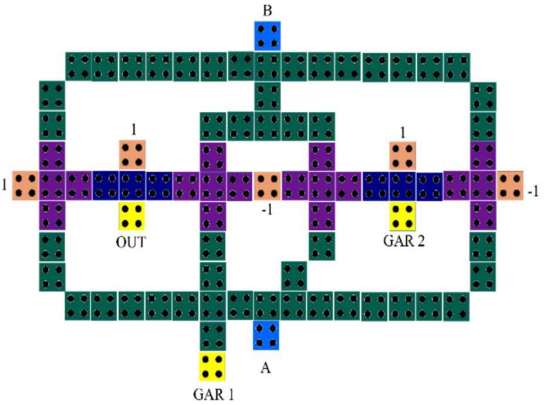
(شکل-۱۴): مدار ارائه‌شده توسط دب ناس و همکاران [۲۶]

باید توجه داشت، ارتباطات بر اساس نانو فناوری امری بسیار مهم و حائز اهمیت است. ارتباطات بر اساس نانو، تنها به کاربران، اجازه دسترسی به داده‌ها را می‌دهد. اتلاف انرژی بالا در مدارات برگشت‌ناپذیر سنتی بر اساس فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو، بسیار مهم و به آن توجهی نشده است. منطق برگشت‌پذیر یک جایگزین مناسب برای مدارات سنتی است. منطق برگشت‌پذیر دارای کمینه مصرف انرژی و در حالت کلی مصرف انرژی صفر است. در سال ۲۰۱۶، در [۲۷] مدار بهینه‌شدهٔ مدار فردکین[6] طراحی‌شده است. مدار ارائه‌شده نسبت به مدار فردکین ازلحاظ مساحت مورداستفاده، تعداد سلول و تأخیر بسیار بهینه است و کلید برگشت‌پذیر با مدار فردکین طراحی و پیاده‌سازی و درواقع برای ارتباطات بر اساس نانو و محافظت از اطلاعات یک کاربر از مدارات برگشت‌پذیر و کلید تأییدشده استفاده که این روش با استفاده از دروازه فردکین طراحی شده است و گفتنی است برای نخستین‌بار، روش احراز هویت مبتنی بر فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو در این مقاله بررسی شده است. مدار طراحی‌شده در شکل (۱۵) نشان داده شده است. مدار در محیط شبیه‌سازی

[5] Matlab
[6] Fredkin

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24763047.1398.8.1.6.2]

QCADesigner پیاده‌سازی شده و صحت درستی مدار مورد آزمایش قرار گرفته است و نسبت به مدارات قبلی پیشرفت قابل‌توجهی ازلحاظ افزایش امنیت، افزایش سرعت، کاهش سطح مصرفی و ناحیه زمانی کمتر را دارد.



(شکل-۱۵): مدار ارائه‌شده توسط دَس و همکاران [۲۷]

۴- روش‌های بررسی‌شده

در این بخش مقایسه جامع میان طرح‌ها و پیاده‌سازی‌های مداراتی که در بخش قبل برای بالابردن امنیت مدارات در ارتباطات بر اساس نانو در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو معرفی شد انجام و تعداد سلول، تعداد لایه، روش امنیت و هدف هرکدام بررسی و مقایسه شده است. همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، ساختارهای ارائه‌شده، با هدف بالابردن امنیت در ارتباطات بر اساس نانو از جنبه‌های مختلف مقایسه شده‌اند.

ستون نخست در جدول (۲) طراحی‌های ارائه‌شده برای بالابردن امنیت را مشخص می‌کند. ستون دوم لایه، ستون سوم تعداد سلول، ستون چهارم و پنجم به‌ترتیب روش امنیت و هدف طراحی‌های ارائه‌شده را نمایش می‌دهند.

در زمینه مدارات طراحی‌شده با ارتباطات بر اساس نانو در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای برای بالا بردن امنیت، با توجه به مقایسه‌های انجام‌گرفته، مشاهده شد که پژوهش‌گران همواره ارتباطات بر اساس نانو ایمنی و امنیت بالا را مدنظر قرار داده‌اند و برای رسیدن به هدفی بهینه در این زمینه تلاش کرده و همواره تلاش کرده‌اند از ملزومات سخت‌افزاری مدارات امن بکاهند و همزمان سرعت آن را افزایش داده و باعث کاهش مصرف انرژی گردند. همواره دست‌یابی به مدارهایی با امنیت بالا در سطح نانو نیازمند ارائهٔ طراحی نوین و سازگار در ارتباطات بر اساس نانو با فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی است.

۵- پیشنهاد کارهای آینده

با توجه به مطالعات و پژوهش‌های انجام‌شده در زمینهٔ افزایش امنیت در ارتباطات بر اساس نانو، اهمیت این موضوع مشخص می‌شود؛ ازاین‌رو می‌توان پیشنهادهایی را برای افزایش امنیت ارتباطات بر اساس نانو ارائه کرد. بدین‌منظور می‌توان به استفاده از روش‌های مقالات مرورشده در طراحی سایر مدارات و طراحی مدارت جدید با امنیت بالا، استفاده از مدارات طراحی‌شده در مدارات دیگر، بالابردن ضریب اطمینان و امنیت آن‌ها، پایین‌آوردن تعداد سلول مصرفی، مساحت مورداستفاده، کم‌کردن مصرف توان در طراحی مدارات با امنیت بالای جدید، تحلیل انرژی مصرفی مدارات امن با ضریب اطمینان بالا و مطالعات مربوط به پیاده‌سازی مدارات اشاره کرد.

۶- نتیجه‌گیری و محدودیت‌های پژوهش

مسأله موردمطالعه در این مقاله طراحی مدارت امن در ارتباطات بر اساس نانو با استفاده از فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی بود. مدارات در آتوماتای سلولی کوانتومی بسیار حساس به نوفه و حملات هستند و امنیت در ارتباطات بر اساس نانو نیز امری بسیار مهم در این فناوری جدید به‌شمار می‌رود؛ ازاین‌رو بحث امنیت به مسأله مهم و اساسی بین پژوهش‌گران در این زمینه تبدیل شده است. هرچه امنیت در مدارات بر اساس فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو افزایش یابد، قابلیت اطمینان مدارات افزایش می‌یابد و مدار قابلیت اطمینان و امنیت بالایی نسبت به سایر مدارات نظیر خود دارد، می‌تواند در دیگر مدارات استفاده شود و امنیت و قابلیت اطمینان در آن مدار را نیز افزایش دهد. هدف نهایی این پژوهش‌ها طراحی مدارات پربازده و امن با قابلیت اطمینان بالا است که با استفاده از آن‌ها رایانه‌های کوانتومی آینده را پیاده‌سازی کرد؛ درواقع هدف اصلی از بالابردن امنیت در مدارت و ارتباطات بر اساس نانو بالابردن قابلیت ساخت مدارات و قابلیت اطمینان است. نتایج حاصل از بررسی مقالات موجود در این زمینه نشان می‌دهد که بحث امنیت در ارتباطات مبتنی بر پایهٔ فناوری نانو امری بسیار مهم و اساسی است و باید توجه گسترده‌ای به این هدف صورت گیرد. باید پژوهش‌گران امنیت را در تمام بخش‌های

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24763047.1398.8.1.6.2]

فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی نقطه‌ای در سطح نانو گسترش دهند.

کافی‌نبودن منابع علمی در دسترس برای جمع‌بندی یا کمبود و یا فقدان منابع علمی قابل‌دسترس و استفاده و منابع علمی بسیار کم و محدود (دست کم به‌صورت فارسی) در این زمینه موجود است که به‌طور مستقیم به موضوع موردمطالعه و پژوهش مربوط باشد؛ به همین دلیل نیازمند استفاده از منابع غیر لاتین است که خود مشکلات دیگری همچون محدودبودن زمان، ترجمه صحیح متون و یک‌دست‌کردن آن‌ها را به همراه دارد. همچنین نبود کار مشابه در این زمینه که به‌طور مستقیم به این موضوع پرداخته باشد، و عدم وجود امکانات لازم برای پیاده‌سازی عملی این مدارات و بررسی نتایج حاصل از دیگر محدودیت‌های پژوهش است.

(جدول-۲): مقایسه مدارات طراحی‌شده

طرح	لایه	سلول	روش امنیت	هدف
مدار طراحی‌شده توسط دَس و همکاران[۲۲]	۳	۹۶	ارائه دروازه دیکودر جدید باقابلیت برگشت‌پذیری	افزایش امنیت در ارتباطات بر اساس نانو
مدار طراحی‌شده توسط گوس وامی و همکاران [۱۷]	۱	۱۷۵	ارائه مدار t-adder باقابلیت آزمون و سنجش امنیت	قابلیت اطمینان مدار و امنیت و نیز بحث آزمون‌پذیری مدارات
مدار طراحی‌شده توسط دَس و همکاران [۲۴]	۱	۱۸۶	طراحی مداری با دروازه Atbash در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی	رمزگذاری ارتباطات نانویی
مدار طراحی‌شده توسط دَس و همکاران [۲۵]	۱	۱۰۹	پیاده‌سازی فرایند رمزنگاری و رمزگشایی با استفاده از دروازه‌های پایه در فناوری آتوماتای سلولی کوانتومی	تولید متن رمز شده و ایمن و مدار بهینه‌ای ازلحاظ ایمنی و مقاوم در مقابل حملات مختلف
مدار طراحی‌شده توسط دب ناس و همکاران [۲۶]	۳	۱۸۱	استفاده از منطق برگشت‌پذیر مدار از دروازه فیمن برای رمزگذاری و رمزگشایی تصویر	روش جدیدی برای پنهان‌نگاری و رمزنگاری عکس و افزایش امنیت
مدار طراحی‌شده توسط دَس و همکاران [۲۷]	۱	۸۸	ارائه مدار بهینه‌شدهٔ مدار فردکین و کلید برگشت‌پذیر با مدار فردکین	کاهش مساحت مورداستفاده، تعداد سلول و تأخیر

۷- مراجع

[1] C. S. Lent, P. D. Tougaw, W. Porod, and G. H. Bernstein, "Quantum cellular automata," *Nanotechnology,* vol. 4, no. 1, p. 49, 1993.

[2] G. Moore, "Moore's law," *Electronics Magazine,* vol. 38, no. 8, 1965.

[3] P. E. Allen and D. R. Holberg, *CMOS analog circuit design*. Oxford Univ. Press, 2002.

[4] S. Afrooz and N. J. Navimipour, "Memory designing using quantum-dot cellular automata: systematic literature review, classification and current trends," *Journal of Circuits, Systems and Computers,* vol. 26, no ,۱۲ .p. 1730004, 2017.

[5] S. Afrooz and N. J. Navimipour, "Fault-Tolerant Design of a Shift Register at the Nanoscale Based on Quantum-dot Cellular Automata," *International Journal of Theoretical Physics,* pp. 1-17, 2018.

[6] S. Seyedi and N. J. Navimipour" ,An optimized design of full adder based on nanoscale quantum-dot cellular automata," *Optik,* vol. 158, pp. 243-256, 2018.

[7] A. Orlov, I. Amlani, G. Bernstein, C. Lent, and G. Snider, "Realization of a functional cell for quantum-dot cellular automata ",*Science,* vol. 277, no. 5328, pp. 928-930, 1997.

[8] S. Seyedi and N. J. Navimipour, "Design and evaluation of a new structure for fault-tolerance full-adder based on quantum-dot cellular automata," *Nano communication networks,* vol. 16, pp. 1-9, 2018.

[9] S. Sayedsalehi, M. H. Moaiyeri, and K. Navi, "Novel efficient adder circuits for quantum-dot cellular automata," *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience,* vol. 8, no. 9, pp. 1769-1775, 2011.

[10] P. D. Tougaw and C. S. Lent, "Logical devices implemented using quantum cellular automata," *Journal of Applied physics,* vol. 75, no. 3, pp. 1818-1825, 1994.

[11] S. Seyedi and N. J. Navimipour, "An Optimized Three-Level Design of Decoder Based on Nanoscale Quantum-Dot Cellular Automata," *International Journal of Theoretical Physics,* pp. 1-12, 2018.

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24763047.1398.8.1.6.2]

[12]A. Vetteth, K. Walus, V. S. Dimitrov, and G. A. Jullien, "Quantum-dot cellular automata of flip-flops," *ATIPS Laboratory,* vol. 2500, 2003.

[13] M. R. Azghadi, O. Kavehic, and K. Navi, "A novel design for quantum-dot cellular automata cells and full adders," *arXiv preprint arXiv:1204.2048,* 2012.

[14] K. Kim, K. Wu, and R. Karri, "Towards designing robust QCA architectures in the presence of sneak noise paths," in *Proceedings of the conference on Design, Automation and Test in Europe-Volume 2*, 2005, pp. 1214-1219: IEEE Computer Society.

[15] W. K. Kim K., and R.Karri, "Fundam. Electron. Commun.Comput. Sci," *1607,* 2006.

[16] S. Sayedsalehi, M. R. Azghadi, S. Angizi, and K. Navi, "Restoring and non-restoring array divider designs in quantum-dot cellular automata," *Information sciences,* vol. 311, pp. 86-101, 2015.

[17] K. Navi, A. Roohi, and S. Sayedsalehi, "Designing reconfigurable quantum-dot cellular automata logic circuits," *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience,* vol. 10, no. 5, pp. 1137-1146, 2013.

[18] S. Sheikhfaal, S. Angizi, S. Sarmadi, M. H. Moaiyeri, and S. Sayedsalehi, "Designing efficient QCA logical circuits with power dissipation analysis," *Microelectronics Journal,* vol. 46 ,no. 6, pp. 462-471, 2015.

[19] M. T. Niemier, "Designing digital systems in quantum cellular automata," University of Notre Dame, 2004.

[20] K. Walus, T. J. Dysart, G. A. Jullien, and R. A. Budiman, "QCADesigner: A rapid design and simulation tool for quantum-dot cellular automata," *IEEE transactions on Nanotechnology,* vol. 3, no. 1, pp. 26-31, 2004.

[21] S. Srivastava, A. Asthana, S. Bhanja, and S. Sarkar, "QCAPro-an error-power estimation tool for QCA circuit design," in *2011 IEEE International Symposium of Circuits and Systems (ISCAS)*, 2011, pp. 2377-2380: IEEE.

[22] J. C. Das, D. De, and T. Sadhu, "A novel low power nanoscale reversible decoder using quantum-dot cellular automata for nano-communication," in *Devices, Circuits and Systems (ICDCS), 2016٣ rd International Conference on*, 2016, pp. 220-224: IEEE.

[23] M. Goswami, B. Sen, R. Mukherjee, and B. K. Sikdar, "Design of Testable Adder in Quantum-dot Cellular Automata with Fault Secure Logic," *Microelectronics Journal,* vol. 60, pp. 1-12, 2017.

[24] J. C. Das and D. De, "Atbash Cipher Design for Secure Nanocommunication Using QCA," *Nanomaterials and Energy,* pp. 1-42, 2017.

[25] J. C. Das and D. De, "Quantum Dot-Cellular Automata based cipher text design for nano-communication," in *Radar, Communication and Computing (ICRCC), 2012 International Conference on*, 2012, pp. 224-229: IEEE.

[26] B. Debnath, J. C. Das, and D. De, "Reversible logic-based image steganography using quantum dot cellular automata for secure nano-communication," *IET Circuits, Devices & Systems,* 2016.

[27] J. C. Das and D. De, "User authentication based on quantum-dot cellular automata using reversible logic for secure nanocommunication," *Arabian Journal for Science and Engineering,* vol. 41, no. 3, pp. 773-784, 2016.

سعید سیدی تحصیلات خود در مقطع کارشناسی مهندسی رایانه (سخت افزار) را سال ۱۳۹۳ در دانشگاه جهاد دانشگاهی تبریز به پایان رساند و مدرک کارشناسی ارشد مهندسی رایانه (معماری کامپیوتر) را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز اخذ کرد. زمینه‌های پژوهشی ایشان در حوزه فناوری نانو، آتوماتای سلولی کوانتومی، VLSI، شبکه بر روی تراشه و سخت-افزارهای تحمل‌پذیر خطا است.

نیما جعفری نویمی پور تحصیلات خود در مقطع کارشناسی مهندسی رایانه (نرم‌افزار) را سال ۱۳۸۶ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز و کارشناسی ارشد مهندسی رایانه (معماری کامپیوتر) را سال ۱۳۸۸ در همان دانشگاه به پایان رساند؛ سپس مدرک دکترای خود را سال ۱۳۹۳ در رشته مهندسی کامپیوتر (معماری کامپیوتر) از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران اخذ کرد. ایشان هم‌اکنون عضو هیأت علمی گروه مهندسی رایانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز بوده و تا کنون بیشتر از ۱۰۰ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های بین‌المللی معتبر به چاپ رسانده است. زمینه پژوهشی ایشان اتوماتای کوانتومی سلولی، اینترنت اشیا، رایانش ابری، نرم‌افزارهای تحمل‌پذیر خطا، هوش محاسباتی و شبکه بر روی تراشه است.

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763047.1398.8.1.6.2]