

## جمع کننده اتوماتای سلولی کوانتومی هم صفحه بر اساس سه داده مفید مدخل XOR

### چکیده

اتوماتای سلولی کوانتومی (QCA)، که یک فن آوری کاندید برای جایگزین کردن تکنولوژی CMOS است، ساختارهای کم قدرت، بسیار متراکم و با سرعت بالا در مقیاس نانو را وعده می دهد. در این مقاله، یک ساختار جدید مدخل داده XOR با سه داده مبتنی بر نیم فاصله و تعامل سلولی پیشنهاد شده است. به این ترتیب، جمع کننده کامل یک بیت QCA با سرعت بالا و پیچیدگی کمتر با استفاده از مدخل 3-داده پیشنهادی QCA XOR طراحی شده است. سپس جمع کننده با بیت نقلی موج گونه (RCA) 4 QCA بییتی جدید بر اساس گیت XOR با 3 ورودی پیشنهاد شده است. طرح های پیشنهادی با استفاده از موتورهای شبیه سازی هر دو پیوسته و دو جانبه از نسخه طراح QCAD 2.0.3 شبیه سازی می شود. نتایج شبیه سازی ما کارایی و استحکام طرح های پیشنهادی را نشان می دهد. نتایج شبیه سازی 50٪ بهبود مساحت برای مدخل 3-داده پیشنهادی XOR را نشان می دهد، 76٪ و 50٪ از نظر تعداد سلول و تاخیر زمانی، به ترتیب برای جمع کننده کامل قوی پیشنهادی QCA، 58٪ و 52٪ بهبود از نظر تاخیر زمانی و هزینه به ترتیب برای 4 بیت QCA RCA در مقایسه با طرح قبلی بهبود می یابد.

کلید واژه ها: اتوماتای سلولی کوانتومی نقطه ای، مدخل XOR، جمع کننده کامل، جمع کننده با بیت نقلی موج گونه، فناوری نانو، هم صفحه ای

### مقدمه

تکنولوژی های متداول مانند تکنولوژی CMOS با مشکلاتی مانند جذب بالای نویز، مصرف انرژی بالا، اثرات اتصال کوتاه [1] و کاهش کنترل مدخل [2] مواجه شده اند. در نتیجه، امکان ساخت VLSI با مصرف کم توان، سرعت بالا، چگالی بالا و ساخت آسان، دشوارتر شده است. به این ترتیب، محققان مجبور هستند تا از تکنولوژی های جایگزین استفاده کنند. ترانزیستورهای الکترون تک {3}، دستگاه های مولکولی {4}، اسپین ترونیکس (چرخش انتقال الکترونیک) [5]، اتوماتای سلولی کوانتومی (QCA) {7,6,1} و ترانزیستورهای اثر میدان مغناطیسی لوله کربن-نانو (CNTFETs) {9,8} به عنوان تکنولوژی جایگزین در نظر گرفته شده اند {10}،

بر اساس سه ضریب توان، مساحت و تاخیرزمانی، QCA می تواند به عنوان یک جایگزین برای تکنولوژی CMOS مورد توجه قرار گیرد.

در این مقاله، یک گیت سه داده کارمد QCA XOR با استفاده از تعامل صریح بین سلول های QCA پیشنهاد می کنیم. علاوه بر این، ما از نیم فاصله استفاده می کنیم. برای نشان دادن عملکرد مناسب مدخل پیشنهادی QCA XOR، 4 بیتی جمع کننده با بیت نقلی موج گونه (RCA) بر اساس پیشنهاد مدخل QCA XOR ساخته شده است.

معماری پیشنهادی با استفاده از طرح QCAD شبیه سازی شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که معماری های پیشنهادی در مقایسه با دیگر معماری QCA دارای مزایایی هستند. بقیه این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: در قسمت "پیشینه تحقیق"، مرور کلی QCA و آثار مربوطه ارائه شده است.

مدخل سه داده جدید QCA XOR در بخش "معماری پیشنهادی" پیشنهاد شده است. علاوه بر این، ما یک سلول جمع کننده کامل تک بیتی QCA جدید و یک RCA 4 بیتی جدید بر اساس این دروازه XOR جدید ایجاد می کنیم. بخش «نتایج شبیه سازی و مقایسه» معماری پیشنهادی را با معماری دیگر از QCA مقایسه می کنیم. در نهایت بخش «نتیجه» این مقاله، نتیجه گیری می کند.

#### پیشینه تحقیق

#### سلول های کوانتومی

سلول های کوانتومی عناصر تونلی هستند که بر مبادلات و تعامل بین نقاط کوانتومی عمل می کند. سلول های کوانتومی به عنوان بلوک های مربعی شکل می گیرند که دو الکترون در آنها هستند. برخلاف ساختارهای متعارف، مقادیر منطقی در این ساختار با استفاده از سطوح ولتاژ نمایش داده نمی شوند، بلکه بر اساس موقعیت الکترون ها در نقاط کوانتومی تعیین می شود. این مفهوم در سال 1993 توسط لنت و همکاران ارائه شد. [6]

با استفاده از QCA، ناحیه تراشه و مصرف برق به طور قابل توجهی کاهش می یابد و عملکرد فرکانس بطور قابل توجهی افزایش می یابد. شکل 1 یک سلول کوانتومی ساده را نشان می دهد.

همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است، یک فضای مربع با دو الکترون آزاد، سلول کوانتومی را تشکیل می دهد. یک نقطه در هر گوشه به نام نقاط کوانتومی وجود دارد. جفت الکترون در هر سلول می تواند با نقاط کوانتومی تونل حرکت کند، اما به دلیل برهم کنش کولنی بین آنها، که همیشه در قطر قرار دارند، موقعیت الکترون ها در سلول، قطب سلولی را تعیین می کند. این قطبی شدن دارای دو مقدار 1 و -1 است که در منطق باینری 1 و 0 صفر تفسیر می شوند. بنابراین، اگر یک سلول با قطب 1 در نزدیکی سلول های دیگر قرار گیرد، به علت انفجار بین الکترونها از دو سلول مجاور، قطب سلولی نیز به 1 تغییر می کند.

### سیم های تماس QCA

شکل 2 روش های عبور سیم در تکنولوژی QCA را نشان می دهد. در این تکنولوژی، سیم ها که از سلول های کوانتومی مشابه تشکیل می شوند، برای انتقال اطلاعات با یکدیگر همکاری می کنند. این بدان معنی است که پلاریزاسیون سلول های مجاور در طول سیم به علت تعاملات کولون انتقال داده می شود.

### دروازه بررسی QCA

با استفاده از سلول های جابجایی و ایجاد طرح جدید، دروازه های اصلی فن آوری QCA ساخته می شوند. مدخل اینورتر و اکثریت دو مدخل اصلی در این تکنولوژی هستند. شکل های 3 و 4 به ترتیب سه نوع اینورتر و دو نوع از مدخل اکثریت 3-داده را نشان می دهند. مدخل اکثریت یکی از مهمترین مدخل ها در فناوری QCA است که نقش مهمی در ساخت مدار دارد. تابع منطقی از مدخل اکثریت 3-داده به شرح زیر است:

$$M(A, B, C) = AB + AC + BC \quad (1)$$

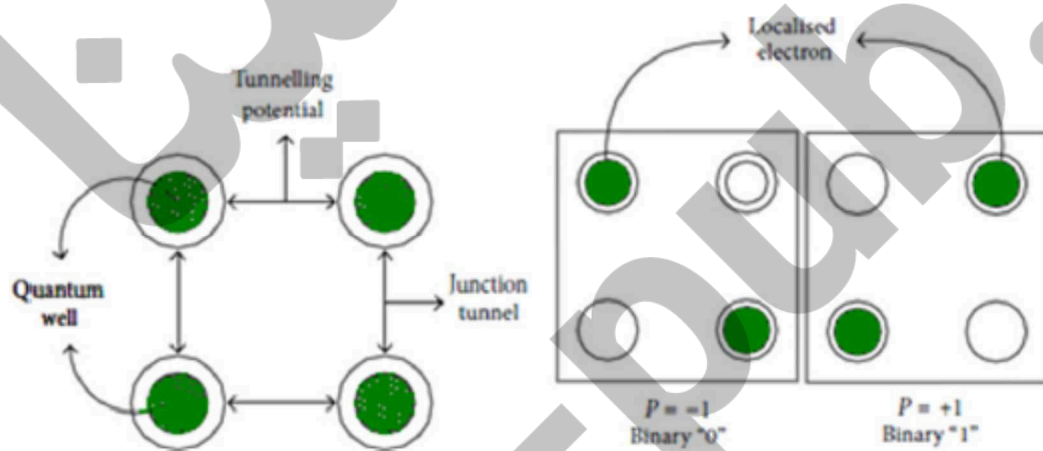
علاوه بر این، اکثریت مدخل 5-داده طبق معادله 2 و نمودار 5 تعریف می شود:

$$M(A, B, C, D, E) = ABC + ABD + ABE + ACD + ACE + ADE \\ + BCD + BCE + BDE + CDE \quad (2)$$

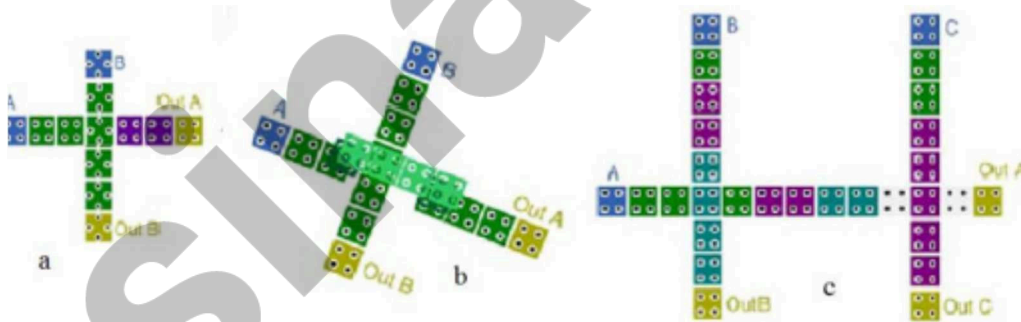
### زمان سنج QCA

مدارهای QCA از سیگنال های زمان سنج برای انتقال سیگنال استفاده می کنند. سیگنال های زمان سنج مدارهای QCA بدون نیاز به برق یا سیم تک رشته ای کنترل می شوند. به هر حال، سیستم QCA هیچ کنترل خارجی در هر سلول در مقایسه با مدارهای معمول CMOS ندارد. مدارهای QCA به چهار مساحت زمان سنج تقسیم می شوند که 90 - بدون فاز از یکدیگرند. این چهار مساحت زمان سنج، که در شکل 6 نشان داده شده، به ترتیب به عنوان سوئیچ، نگهداری، آزاد شدن و استراحت شناخته می شوند {17}. سلول ها هر چرخه ساعت را برای همگام سازی و کنترل اطلاعات در هر نقطه محاسباتی تجدید می کنند.

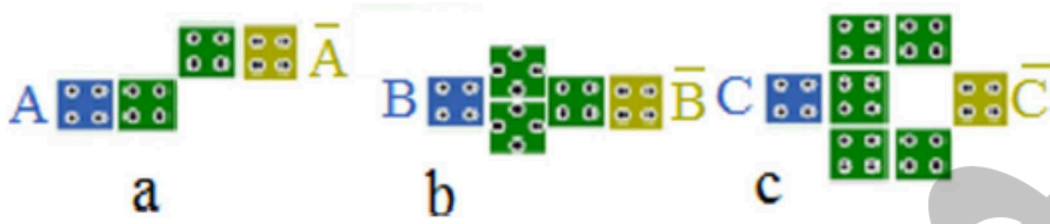
شکل 1: سلول کوانتومی ساده شده {12}.



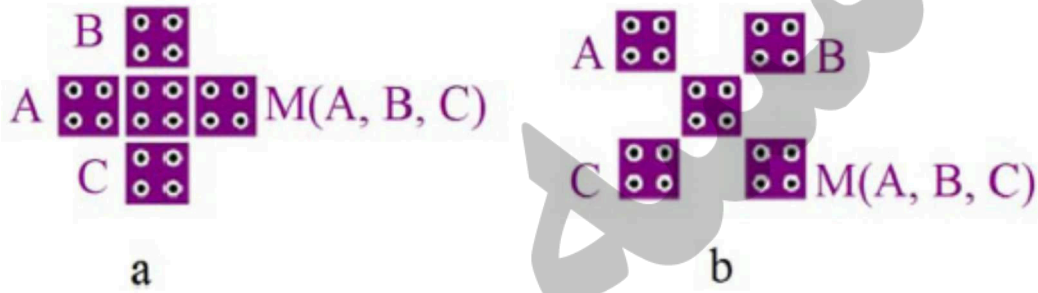
شکل 2: روشهای عبور سیم: الف) عبور سیم تک رشته ب) عبور سیم چند رشته ج) عبور منطقی {13}



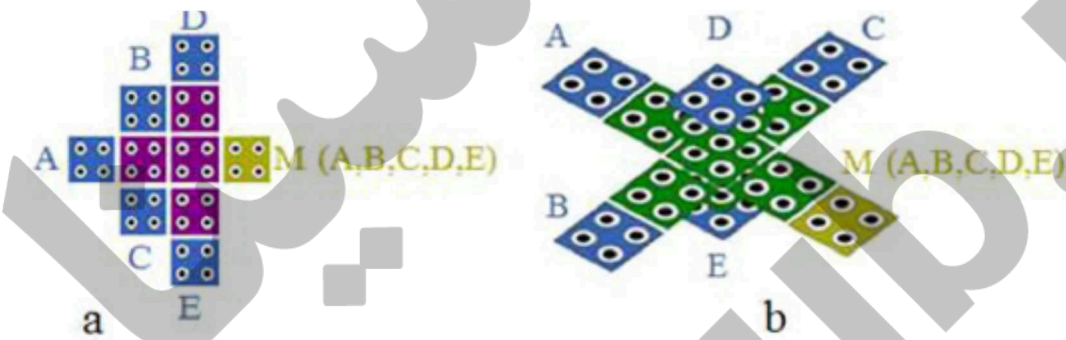
شکل 3: سه نوع اینورتر



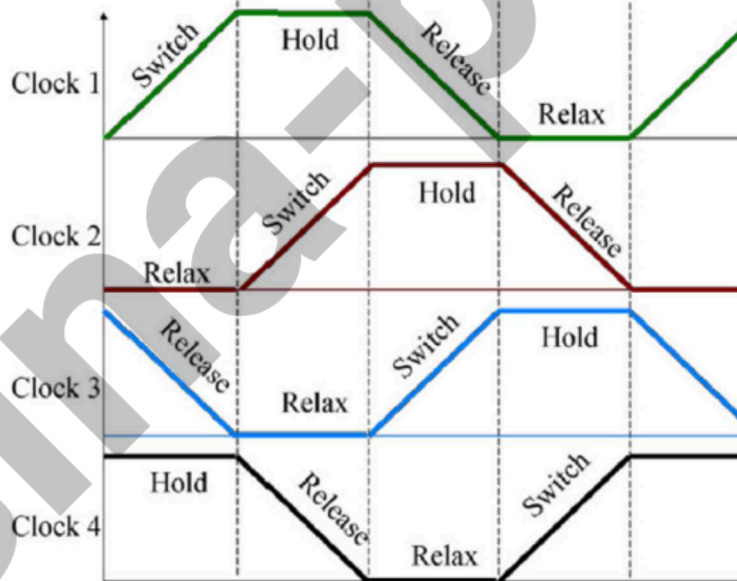
شکل 4: دو نوع از اکثریت مدخل 3-داده {15}



شکل 5: دو نوع از اکثریت مدخل 5-داده (الف) تک لایه (ب) چند لایه ای {16}



شکل 6: مناطق زمان سنج در فناوری QCA {18}



## مدخل QCA XOR

به علت کاربرد قابل توجه مولفه XOR در کارهای مختلف از جمله طراحی جمع کننده کامل، کنترل برابری و مکانیزم تشخیص و اصلاح در واحدهای گیرنده و فرستنده، اجرای مدخل GOR کارآمد و با سرعت بالا یکی از مهمترین چالش های فناوری QCA است.

در مدخل 2 XOR - داده با داده A و B خروجی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$A \oplus B = \bar{A}B + A\bar{B} \quad (3)$$

محصول 3-داده مدخل XOR نیز به شرح ذیل است:

$$A \oplus B \oplus C = ABC + \bar{A}BC + A\bar{B}C + AB\bar{C} \quad (4)$$

## جمع کننده کامل QCA

در جمع کننده کامل با داده A، B و C، محصول جمع و اجرا به شرح ذیل محاسبه می شود:

$$\text{Carry}_{out} = AB + BC_{in} + AC_{in} \quad (5)$$

$$\text{Sum} = A \oplus B \oplus C_{in} = \bar{A}BC_{in} + \bar{A}\bar{B}C_{in} + A\bar{B}\bar{C}_{in} + A\bar{B}C_{in} \quad (6)$$

به منظور طراحی کردن جمع کننده کامل در فناوری QCA، اجرا می تواند به شرح ذیل فرمول بندی مجدد شود:

$$\text{Carry}_{out} = M(A, B, C_{in}) \quad (7)$$

که  $M(A, B, C_{in})$  بر اکثریت مدخل 3-داده دلالت می کند.

علاوه براین، مجموع می تواند به شرح ذیل فرمول بندی شود:

$$\begin{aligned} \text{Sum} &= M(\overline{\text{Carry}_{out}}, M(A, B, \overline{\text{Carry}_{out}}), C_{in}) \\ &= M(\overline{\text{Carry}_{out}}, M(A, B, \overline{\text{Carry}_{out}}), B) \\ &= M(\overline{\text{Carry}_{out}}, M(A, B, \overline{\text{Carry}_{out}}), A) \\ &= M(\overline{\text{Carry}_{out}}, \overline{\text{Carry}_{out}}, C_{in}, A, B) \end{aligned} \quad (8)$$

که می تواند با استفاده از اکثریت مدخل 5 داده اجرا شود. در نتیجه، اجرای کارآمد مدخل 3 داده XOR و مدخل اکثریت 5 داده می تواند اجرای کامل جمع کننده را بهبود بخشد.

طرح های گزارش شده قبلی

مدخل XOR یکی از مهمترین مدخل ها در فناوری QCA است.

شکل 7 و 8 مدخل های 3 - داده XOR QCA و 2 داده را نشان می دهد {19,20,21}

مدخل 3 داده XOR معمولا با استفاده از مدخل های 2 داده XOR طراحی شده است. در این روش، اجرای

QCA از مدخل 2-داده XOR نقش مهمی در عملکرد مدار دارد {19,20,14}.

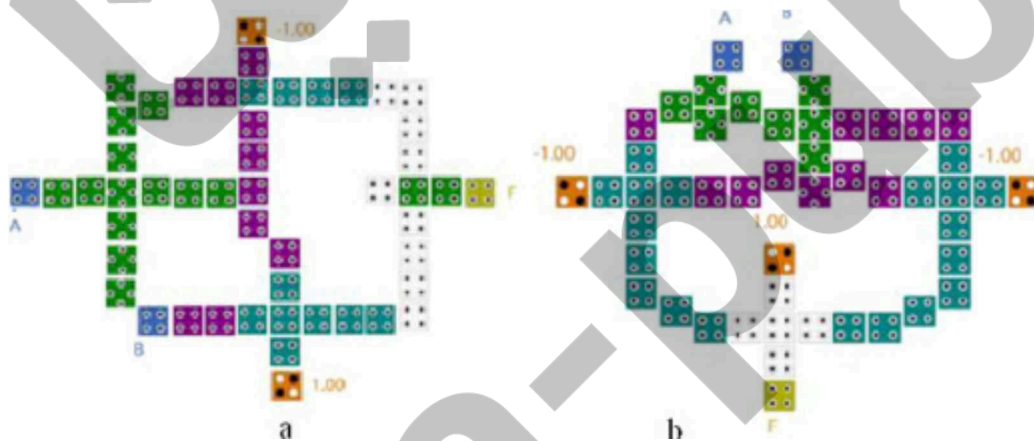
نویسندگان {21,22} 3-داده QCA XOR را با استفاده از دو مدخل اکثریت (مدخل اکثریت 3 داده و 5

داده) پیشنهاد داده اند، همانطور که در شکل 8 و 9 نشان داده شده است. با توجه به تاخیر زمانی مشابه

مدخل اکثریت چند داده، این طراحی کاهش سطح مدخل می تواند عملکرد مدخل QCA XOR را بهبود

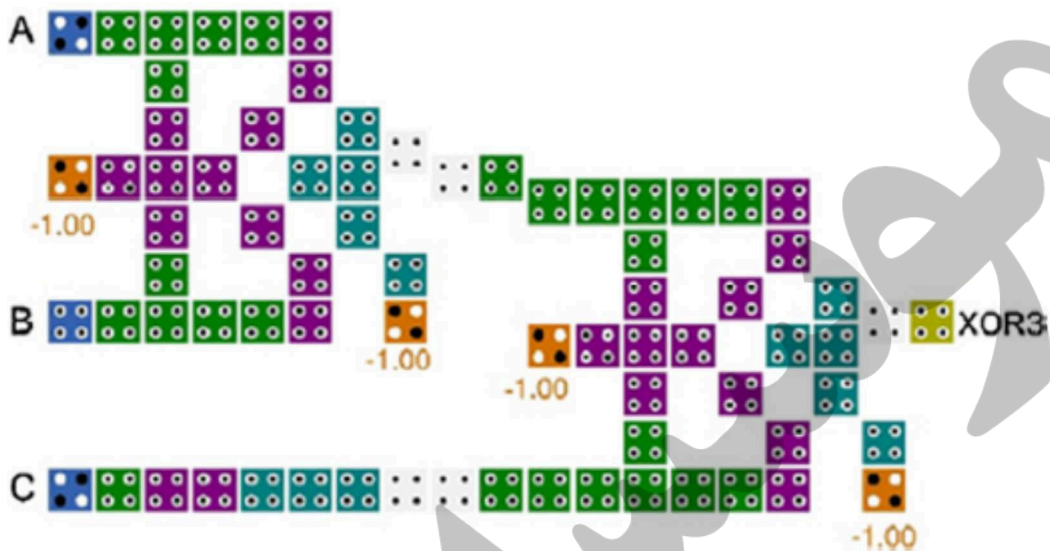
بخشد. {22}

شکل 7: مدخل 2-داده QCA XOR: الف) در {19} ب) در {20}

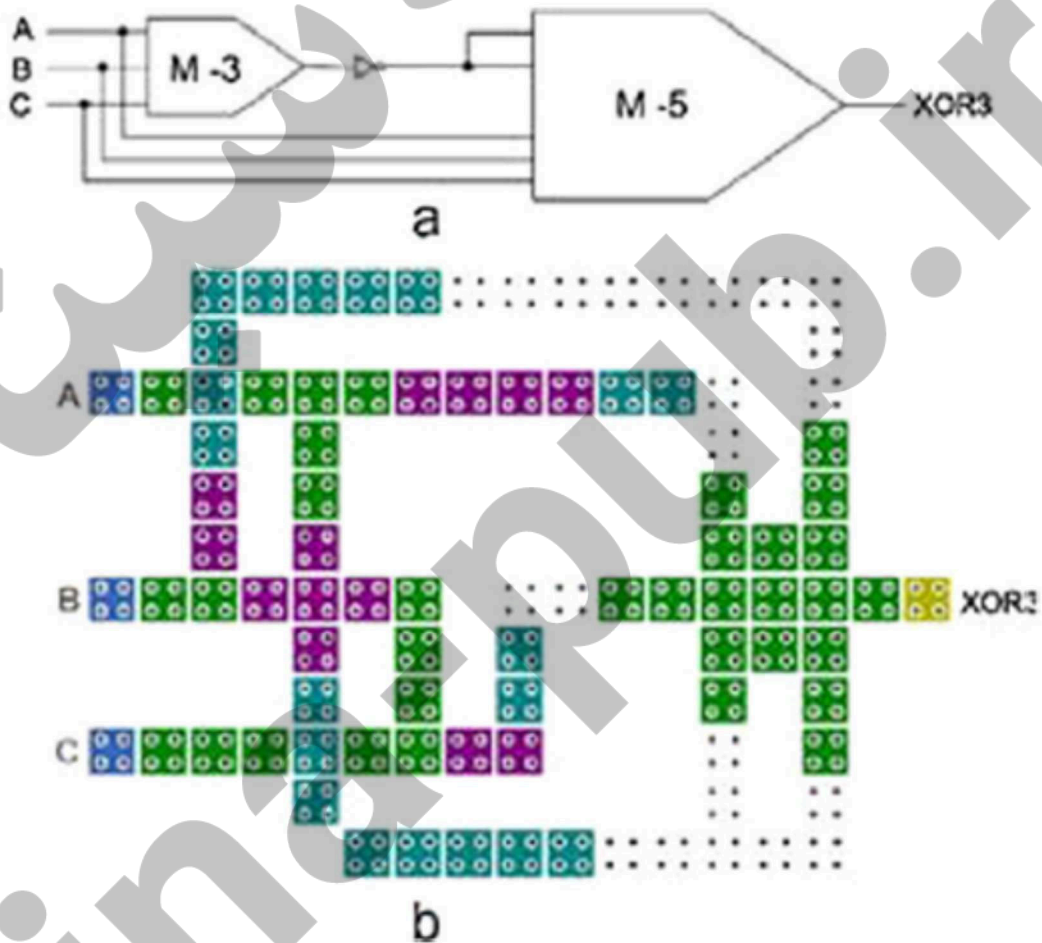


شکل 8: اجرای رسمی مدخل 3-داده QCA XOR با استفاده از مدخل 2-داده QCA XOR مبتنی برمدول

در {21}



شکل 9: مدخل 3-داده XOR3 QCA در {22} الف) نمودار منطقی ب) طراحی QCA



فردوس احمد و همکاران [23] یک XOR3 QCA سه-داده را ارائه می دهند که در شکل 10 نشان داده شده است. ساختار این طرح با طرح های قبلی متفاوت است و بر اساس اکثریت مدخل ها نیست. همانطور که در بخش قبلی ذکر شد، ساختار جمع کننده کامل QCA را می توان با استفاده از مدخل QCA

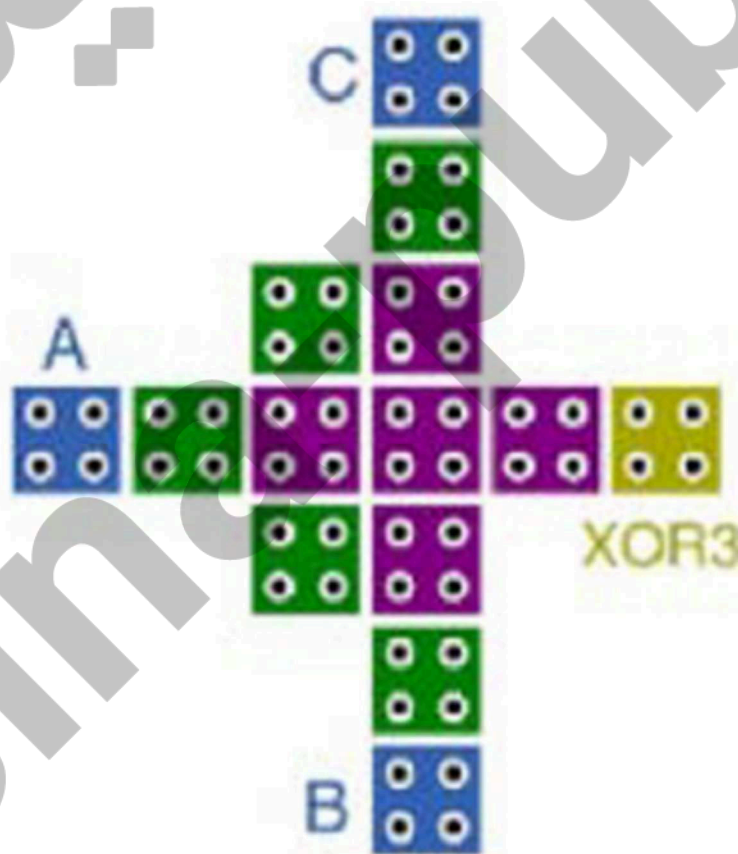


XOR اجرا کرد. به عنوان مثال، نویسندگان {24} جمع کننده کامل هم صفحه ای QCA را با استفاده از 59 سلول پیشنهاد داده اند همانطور که در شکل 11 نشان داده شده است. در این جمع کننده کامل، تاخیر زمانی 1 چرخه ساعت است، و مساحت  $0.043 \mu m^2$  است. معماری پیشنهادی

این بخش یک مدخل جدید QCA XOR را ارائه می دهد. سپس یک جمع کننده کامل جدید و معماری RCA بر اساس این مدخل جدید QCA XOR معرفی می شود.

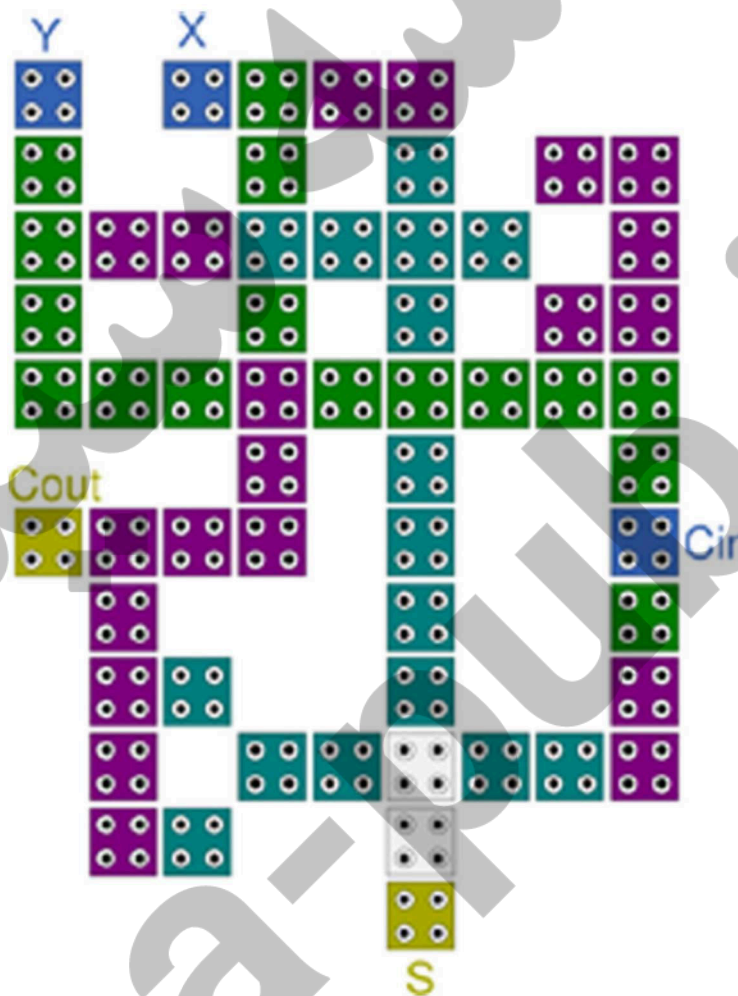
### گشتاور QCA XOR با سه ورودی پیشنهاد شده QCA XOR

شکل 12 مدخل پیشنهاد شده 3 داده QCA XOR را نشان می دهد. مدخل 3 داده XOR پیشنهاد شده ما، از تعاملات صریح و نیم فضای بین سلول های QCA استفاده می کند. همان طور که در شکل 12 نشان داده شده است، معماری 3 داده پیشنهاد شده QCA XOR تنها شامل یک اکثریت 5 داده ای و 14 سلول QCA می باشد. مساحت گیت 3 QCA XOR ورودی 0.01 میلیمتر است. شکل 10: مدخل 3 داده XOR ارائه شده در {23}.

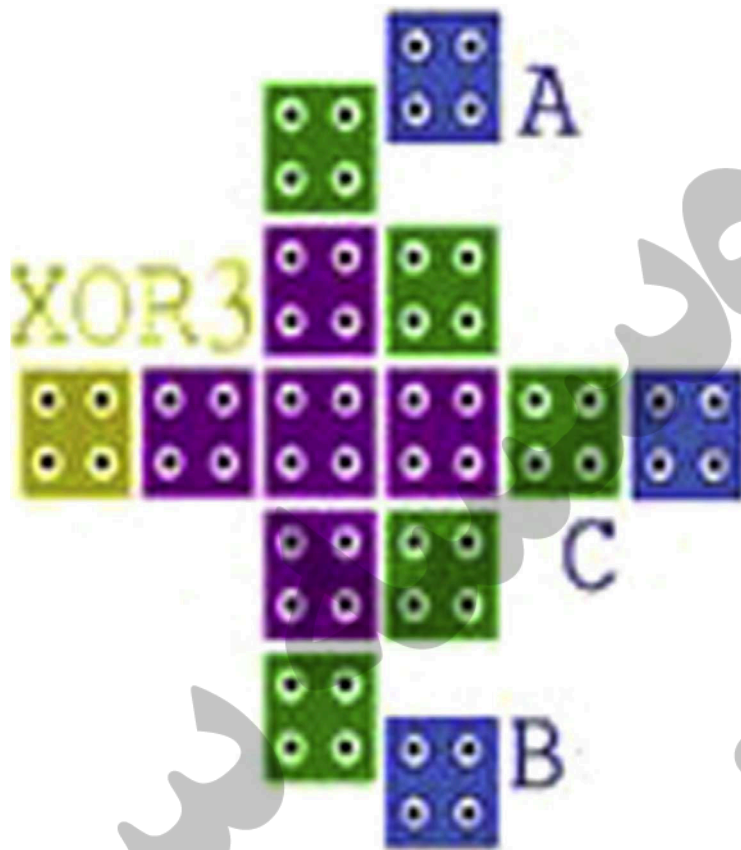


لازم به ذکر است که با تثبیت هر یک از سه مدخل در تعامل صریح پیشنهاد شده از مدخل های 3 داده QCA XOR به 0 یا 1، 2 داده XOR یا XNOR ورودی می توانند به ترتیب انجام شوند. معماری جمع کننده کامل پیشنهاد شده QCA در این بخش، یک جمع کننده کامل قوی QCA با استفاده از مدخل سه داده QCA XOR QCA ارائه شده است. شکل 13 ساختار معماری جمع کننده کامل QCA را نشان می دهد.

شکل 11: طرح جمع کننده کامل QCA در {24}



شکل 12: مدخل 3-داده پیشنهادی XOR



همانطور که در این شکل نشان داده شده، حمل توسط اکثریت مدخل 3 داده ورودی و مجموع با استفاده از داده 3 پیشنهاد شده QCA XOR تولید می شود.

#### 4 RCA بیتی پیشنهاد شده

شکل 14، معماری RCA QCA 4 بیتی پیشنهادی را نشان می دهد که از مدخل 3 - داده - QCA XOR پیشنهادی به عنوان واحد ساختاری آن استفاده می کند.

RCA 4 بیتی پیشنهادی شامل 29 سلول است که دارای یک مساحت 02/02 است. بنابراین، سلول ها نیز در چهار بخش ساعت قرار دارند.

نتایج شبیه سازی و مقایسه در این بخش، مقدار هزینه با استفاده از معادله زیر تعیین می شود:  
معادله:

$$\text{هزینه} = \text{مساحت} * \text{تاخیر زمانی} \quad (9)$$

که در آن مساحت از لحاظ  $\mu\text{m}^2$  نشان داده شده است و عدد زمان تاخیر را نشان می دهد از چرخه های ساعت مدخل 3 داده QCA XOR پیشنهاد شده است.

شکل 15 نتایج شبیه سازی برای مدخل 3- داده ای QCA XOR پیشنهادی در طراح QCAD را نشان می دهد.

همانطور که در شکل موج شبیه سازی حاصل شده در شکل 15 نشان داده شده که مدار به درستی انجام می شود. به هر حال، زمان تاخیر 0.5 چرخه ساعت است

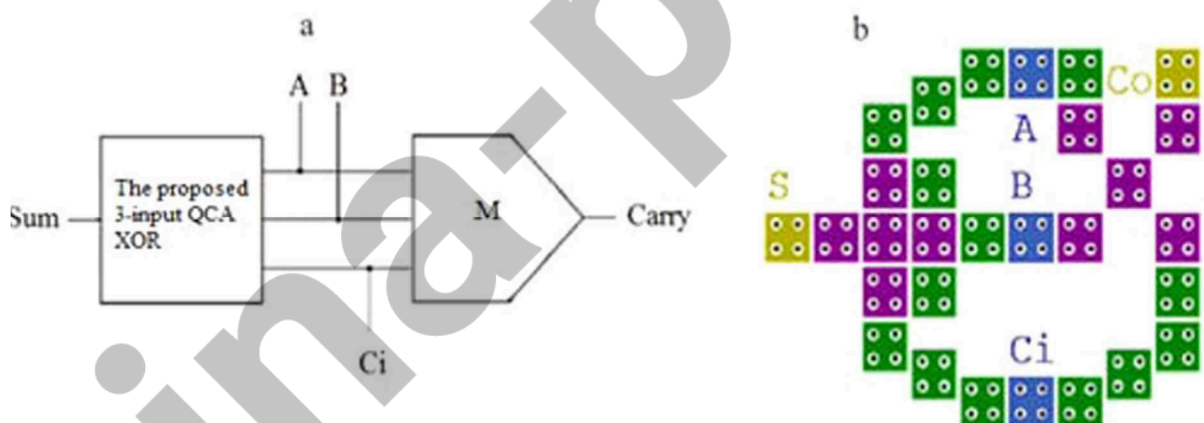
جدول 1 مقایسه مدخل 3- داده پیشنهادی QCA XOR با 3 مدخل 3 داده دیگر QCA XOR با 3 در [21،23،24] نشان می دهد که در لایه تک طراحی شده اند.

طبق جدول 1، مدخل پیشنهاد شده 3 داده QCA XOR 85٪، 84٪، 60٪ و 94٪ پیشرفت در زمینه اشغال مساحت، تعداد سلول ها، زمان وقوع مدار و هزینه به ترتیب در مقایسه با [21] دارد. علیرغم مساحت مشابه ای که در طرح {23} ارائه شده است.

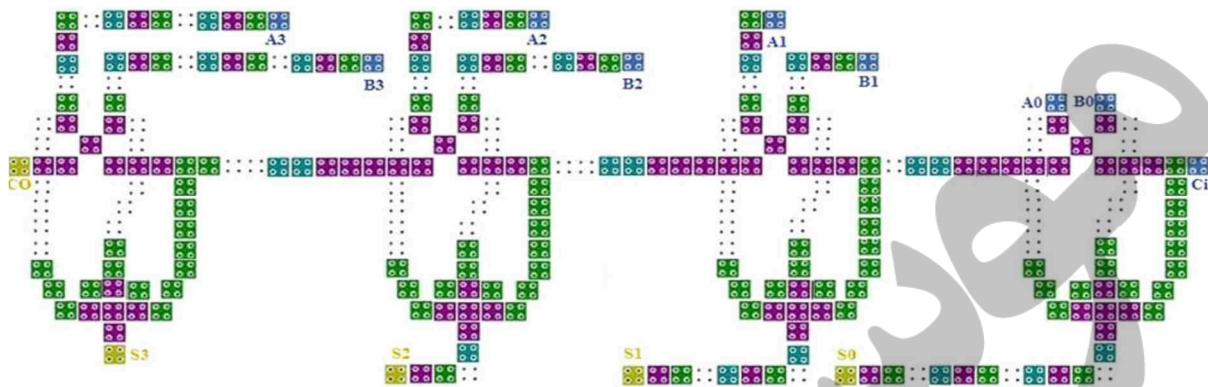
طراحی پیشنهادی ما آن را با پیشرفت 50 درصدی برحسب مساحت و هزینه به پیش می برد.

#### معماری جمع کننده کامل پیشنهادی QCA

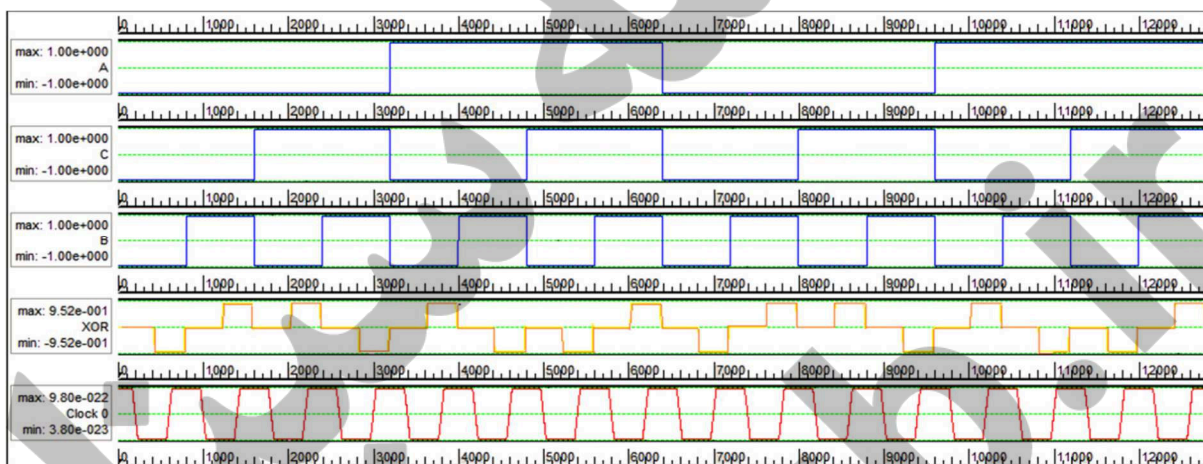
شکل 16 نتایج شبیه سازی برای جمع کننده کامل پیشنهادی QCA را نشان می دهد. همانطور که در شکل موج شبیه سازی به دست آمده در شکل 16 نشان داده شده است، مدار پیشنهادی برای جمع کننده کامل QCA به درستی انجام می شود.



شکل 13: جمع کننده کامل قوی پیشنهادی QCA (الف) نمودار منطقی (ب) آرایش QCA



شکل 14: آرایش پیشنهادی 4-بیتی RCA QCA



شکل 15: نتایج شبیه سازی برای 3-داده پیشنهادی XOR

جدول 1: جدول مقایسه برای مدخل های 3-داده QCA XOR تک لایه

منابع	مساحت	تعداد مدخل	تعداد سلول	زمان تاخیر (چرخه ساعت)	هزینه
21	0.08	2	75	2	0.16
23	0.07	3	93	1.25	0.0875
24	0.02	1	14	0.5	0.01
این مقاله	0.01	1	14	0.5	0.005

جدول 2 مقایسه کاملی از جمع کننده کامل پیشنهاد شده QCA با سایر افزودنی های کامل در [21, 23, 29]

را نشان می دهد.

طبق جدول 2، طرح پیشنهادی ما بهترین نتایج را در مقایسه با سایر مدارهای تقویت کننده QCA با توجه به اشغال مساحت، تعداد سلول ها، زمان تاخیر مدار و هزینه به دست آورد. به طور خاص، تعداد سلول ها، مساحت و هزینه ی جمع کننده کامل پیشنهادی حدود 29٪، 50٪ و 50٪ در مقایسه با جمع کننده کامل QCD در {23} کاهش می یابد.

با وجود مساحت مشابه، طراحی چند لایه در [25] ارائه شده است، طرح پیشنهادی ما به ترتیب 23٪، 83٪ و 83٪ از نظر تعداد سلول، تاخیر و هزینه سلول را بهبود می دهد.

شکل 16 نتایج شبیه سازی شده برای جمع کننده پیشنهادی.

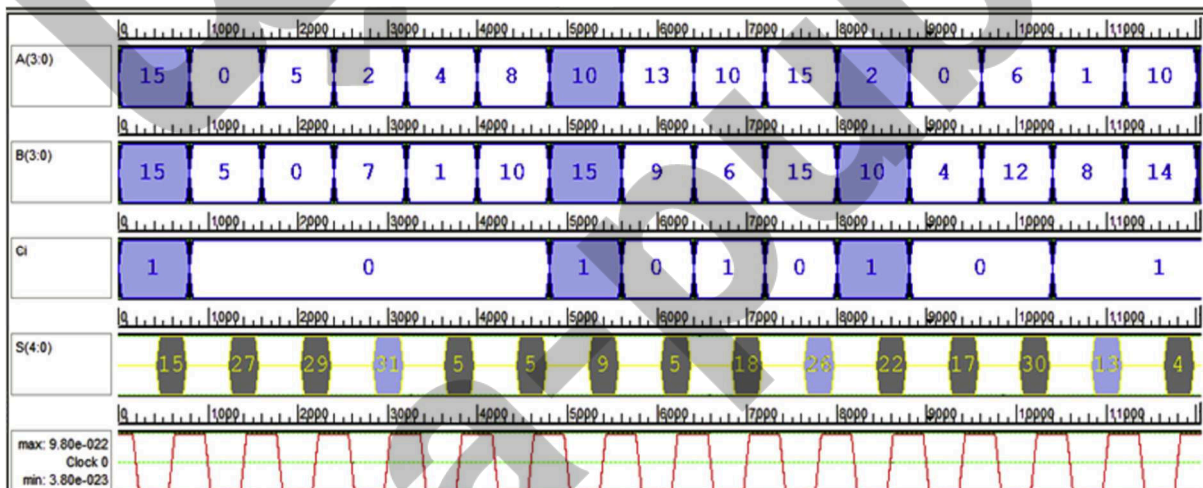


جدول 2: مقایسه جدول برای جمع کننده کامل QCA

منابع	تعداد سلول	مساحت ( $\mu\text{m}^2$ )	زمان تاخیر (چرخه ساعت)	نوع عبور	هزینه
26	48	0.05	3	هم صفحه ای	0.15
25	38	0.02	3	چند لایه	0.06
21	95	0.09	1.25	هم صفحه ای	0.1125

0.043	هم صفحه ای	1	0.043	59	24
0.04	هم صفحه ای	1	0.04	49	27
0.03	چند لایه	0.75	0.04	52	28
0.0225	چند لایه	0.75	0.03	51	29
0.02	هم صفحه ای	0.5	0.04	41	23
0.01	هم صفحه ای	0.5	0.02	29	این مقاله

شکل 17: نتایج شبیه سازی برای RCA 4-بیت پیشنهادی



جدول 3: جدول مقایسه برای RCA 4-بیت QCA

منابع	تعداد سلول	مساحت ( $\mu\text{m}^2$ )	زمان تاخیر (چرخه)	نوع عبور	هزینه
-------	------------	---------------------------	-------------------	----------	-------

		ساعت)			
20.4	هم صفحه ای	17	1.2	651	30
2.32	هم صفحه ای	8	0.29	308	29
1.456	هم صفحه ای	7	0.208	262	24
1.44	چند لایه	6	0.24	237	25
1.295	هم صفحه ای	3.5	0.37	269	این مقاله

علاوه بر این، نتایج شبیه سازی ما نشان می دهد که جمع کننده کامل پیشنهادی QCA، بهبود براساس اشغال مساحت، تعداد سلول ها، تأخیر مدار و هزینه در مقایسه با دیگر مدارهای جمع کننده کامل QCA در [28،29] ارائه می دهد، که در تک لایه تکمیل شده است به هر حال آن نیز با طرح های چند لایه ای رقابتی است.

#### RCA 4-بیتی پیشنهادی

نتایج شبیه سازی پیشنهاد 4 بیتی RCA در شکل 17 نشان داده شده است. با توجه به شکل 17، بعد از تأخیر فاز 3.5 ساعت، مجموع ورودی ها (A، B، Cin) محاسبه می شود که کاملاً تصحیح شده است.

جدول 3 شامل مقایسه بین QCA 4-بیتی پیشنهادی ما RCA و معماری QCA RCA 4-بیتی دیگر. بر اساس نتایج شبیه سازی ما، که در جدول 3 نشان داده شده است، طراحی پیشنهادی دارای کمترین زمان تأخیر و هزینه در مقایسه با سایر طرح های RCA QCA [24،25،29،30] دارد. به طور خاص، با وجود تعداد سلول کمتر در [25]، طراحی پیشنهادی ما به ترتیب 41٪ و 11٪ تأخیر و هزینه است. لازم به ذکر است که منبع [25] طراحی چند لایه بوده است. همانطور که در جدول 3 نشان داده شده است، ساختار پیشنهادی در شکل 14 تقریباً برتر از تمام همتایان یا برتری قابل توجهی است.



تعداد سلول، زمان تاخیر مدار و هزینه معماری RCA 4-بیتی پیشنهاد شده به ترتیب 13٪، 56٪ و 44٪ کمتر از [29] است.

### نتیجه گیری

QCA یک جایگزین برای تکنولوژی CMOS در سطح مقیاس نانو به دلیل اندازه کوچک، سرعت سوئیچینگ بسیار بالا و مصرف انرژی فوق العاده است. از سوی دیگر، مدخل XOR یکی از مهمترین مدخل های مدارهای دیجیتال، مانند جمع کننده کامل است. در این مقاله، یک ساختار QCA جدید برای سه داده QCA XOR ارائه شده که براساس نیم فاصله است. با استفاده از مدخل پیشنهادی QCA XOR به عنوان بلوک اصلی ساختمان، یک ساختار جدید QCA برای جمع کننده کامل ارائه شد. ما همچنین از این XOR 3 ورودی جدید استفاده کردیم تا یک RCA 4 بیتی قوی و کارآمد در تکنولوژی QCA طراحی کنیم. طرح های پیشنهادی با استفاده از QCA Designer نسخه 2.0.3 اجرا شد. نتایج شبیه سازی ما نشان داد که طرح های پیشنهادی ما بهبود قابل ملاحظه ای بر حسب هزینه دارند.