مقاله پژوهشی

ارائه یک الگوریتم فراابتکاری جهت کشف توالی تنظیمی در ژنوم بیماران مبتلا به سرطان سینه

محمدجواد حسین پور[۱،۷]، حمید پروین[۲،۶*]، صمد نجاتیان[۳،۵]، وحیده رضایی[۴،۵]، کرم الله باقری‌فرد[۱،۵]

۱ - دانشکده مهندسی کامپیوتر، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
۲- دانشکده مهندسی کامپیوتر، واحد نورآباد ممسنی، دانشگاه آزاد اسلامی، نورآباد ممسنی، ایران
۳- دانشکده مهندسی برق، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
۴- دانشکده ریاضیات، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
۵- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
۶- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد نورآباد ممسنی، دانشگاه آزاد اسلامی، نورآباد ممسنی، ایران
۷- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۱۲

چکیده

زمینه و هدف: امروزه در دانش پزشکی، روش‌های تشخیص علائم و کشف بیماری‌ها، بسیار وسیع و گسترده شده است. درنتیجه، تحلیل کلیه عوامل دخیل در یک بیماری، اغلب چالش‌برانگیز است؛ بنابراین به یک سیستم مکانیزه برای کمک به کشف قوانین، شناسایی الگوهای موجود و پیش‌بینی رخ دادهای آینده، کاملاً احساس می‌شود. در این تحقیق قصد داریم با استفاده از یک الگوریتم فراابتکاری چندهدفه، روشی را ارائه کنیم که بتواند توالی‌های تنظیمی (Regulatory Elements) با طول متغیر از ژنوم را کشف و استخراج کرده و برهم‌کنش‌های بین آن‌ها را نیز شمارش کند. درواقع این توالی تنظیمی می‌توانند نقش قابل‌توجهی در بروز و تشدید بیماری سرطان ایفا کنند.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، از یک متد پیشنهادی جهت کشف توالی تنظیمی در ژنوم بیمار مبتلا به سرطان سینه استفاده‌شده است. متد پیشنهادی در نرم‌افزار Matlab پیاده‌سازی شده است. همچنین، جهت سنجش عملکرد و کارایی روش پیشنهادی، الگوریتم موردنظر بر روی مجموعه داده‌های Hi-C (Hi-C Dataset) مربوط به بیماران مبتلا به سرطان سینه در دو رده سلول خونی GM۱۲۸۷۸ و $CD۳۴^+$ معرفی‌شده توسط میفسود و همکاران، اجرا گردید.

نتایج: اجرای روش پیشنهادی با روش HiCUP مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که روش MSARE در کشف توالی‌های تنظیمی، عملکرد بهتری را نسبت به روش HiCUP داشته است.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش، بررسی‌های تجربی نشان می‌دهند که دو پروموتر BLC۶ و HOTTIP کشف‌شده توسط روش پیشنهادی در هر دو سلول خونی GM۱۲۸۷۸ و $CD۳۴^+$ در بروز و تشدید بیماری سرطان سینه تأثیر معنی‌داری داشته‌اند.

کلمات کلیدی: توالی تنظیمی، الگوریتم فراابتکاری، پروموتر BLC۶، پروموتر HOTTIP

مقدمه

تنظیم ژن (gene regulation) فعالیتی است که منجر به بیان ژن می‌شود و یا برعکس می‌تواند بیان ژن را متوقف کند. عواملی مانند (پروموتر، تشدیدکننده) می‌توانند بر روی عملیات تنظیم ژن تأثیر داشته باشند، به این عوامل توالی‌های تنظیمی گفته می‌شود. درصورتی‌که این توالی‌های تنظیمی شناسایی شوند، آنگاه عملاً می‌توان تنظیم بیان ژن را مشخص و تعیین نمود. امروزه ابزارها و تکنولوژی‌هایی به وجود آمده‌اند که می‌توانند توالی‌های تنظیمی را شناسایی کنند. همچنین این ابزارها توانایی آن را دارند که برهم‌کنش‌های مختلف بین این توالی‌های تنظیمی را نیز شناسایی کنند (۱). Hi-C یکی از این تکنولوژی‌ها است. این تکنولوژی، به جهت کشف برهم‌کنش‌های بیشتر در توالی‌های

*نویسنده مسئول: **حمید پروین**، دانشکده مهندسی کامپیوتر، واحد نورآباد ممسنی، دانشگاه آزاد اسلامی، نورآباد ممسنی، ایران
Email: parvin@iust.ac.ir
https://orcid.org/0000-0002-4877-182X

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-02-16]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2020.10.1.5.5]

تنظیمی به وجود آمد (۲). این تکنولوژی برای اولین بار توسط آیدین و همکاران در سال ۲۰۰۹ جهت شبیه‌سازی همه برهم-کنش‌های کروموزومی در یک آزمایش خاص مطرح گردید (۳). در حقیقت، تکنولوژی Hi-C به همراه ابزارهای آن، برهم‌کنش-های بین نقاط مختلف ژنوم را در یک ساختار سه‌بعدی ارائه می-دهد. این نقاط، می‌توانند توالی‌های تنظیمی باشند. بدین معنی که ازنظر ساختاری کدام توالی از ژنوم با کدام توالی دیگر از ژنوم برهم‌کنش دارد (۴). این اطلاعات می‌توانند دانش زیادی را درزمینه ساختار برهم‌کنش ژنوم ارائه کند و بسیار گران‌قیمت نیز می‌باشند. امروزه از تکنولوژی Hi-C، برای شناسایی توالی‌های منظم، خصوصاً شناسایی پروموتر/تشدیدکننده‌ها استفاده‌شده است (۵). مقالات (۸-۶) با استفاده این تکنولوژی توانسته‌اند پروموتر/تشدیدکننده‌های جدید را کشف کنند، که با یکدیگر برهم‌کنش داشته و بیان ژن را تنظیم می‌کنند.

در سال‌های گذشته، پژوهش‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است که در ادامه به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌شود. کابروس و همکاران در سال ۲۰۱۵، الگوریتمی جهت تشخیص اجماعی بر روی داده‌های Hi-C در ساختار DNA موش و انسان بکار بردند. الگوریتم پیشنهادی آن‌ها قادر به کشف اجماع‌ها در DNA به‌صورت پویا بود (۹). میفسود و همکاران در سال ۲۰۱۵، در مقاله‌ای به کشف و استخراج پروموترها در سلول‌های انسانی با استفاده از تکنولوژی HiCUP در رزولوشن بالا پرداختند. آن‌ها در این پژوهش، از ضبط Hi-C (Chi-C) جهت کشف برهم‌کنش-های موجود بین توالی ژنوم در ۲ نوع از سلول‌های خونی انسان استفاده کردند (۱۰). سروانت و همکاران در سال ۲۰۱۵، در مقاله‌ای ابزار HiC-Pro را جهت کشف توالی تنظیمی و برهم-کنش‌های بین آن‌ها در کروموزوم‌های انسانی ارائه دادند. ابزار پیشنهادی آن‌ها می‌توانست برهم‌کنش‌های یک توالی خاص از ژنوم را با دیگر توالی از ژنوم به دست آورد. همچنین HiC-Pro می‌توانست به‌صورت موازی اجرا شود؛ بنابراین سرعت تحلیل و آنالیز مجموعه داده‌های Hi-C در آن بالابود (۱۱). چارالامبوس و همکاران در سال ۲۰۱۷، در مقاله‌ای، ابزاری بنام HiC-bench را جهت تجزیه‌وتحلیل مجموعه داده‌های Hi-C ارائه کردند. این ابزار، علاوه بر آنکه قادر به کشف توالی تنظیمی شامل پروموتر/تشدیدکننده بود، می‌توانست، برهم‌کنش بین آن‌ها را نیز کشف و ضبط کند. کارایی عملکرد این ابزار در برخورد با مجموعه داده‌های Hi-C، همانند HiCUP و HiC-Pro است. همچنین HiC-bench همانند HiC-Pro می‌توانست به‌صورت موازی بر روی چند سیستم اجرا شود. ابزار پیشنهادی آن‌ها، قادر بود، توالی‌های تنظیمی و برهم‌کنش‌های بین آن‌ها را در مدت‌زمان محدودی کشف و استخراج کند (۱۲).

مطابق تحقیقات انجام‌شده در سال‌های گذشته، تکنولوژی Hi-C و ابزارهای آن می‌توانند داده‌های Hi-C را به‌عنوان ورودی گرفته و تعداد برهم‌کنش‌های بین توالی‌های تنظیمی موجود در هر کروموزوم را شناسایی کند (۱۳)؛ اما این تکنولوژی و ابزارهای مورداستفاده در آن، تنها می‌توانند با قطعات (Fragments) با طول ثابت (Fix-bin size) از ژنوم (که تشکیل توالی‌های تنظیمی را می‌دهند) کشف و استخراج کرده و برهم‌کنش‌های بین آن‌ها را شمارش کنند. در این صورت، خروجی این ابزارها که تنها قادر هستند، با فرگمنت‌های به طول ثابت کار کنند، نمی‌تواند بهینه باشد. درواقع، دلیل بهینه نبودن این ابزارها ثابت نبودن طول توالی‌های تنظیمی و متغیر بودن طول آن‌ها است (۱۴، ۱۵). حال، در این تحقیق قصد داریم با ارائه یک الگوریتم چندهدفه مبتنی بر شبیه‌سازی تبرید روشی را بیان کنیم که بتواند فرگمنت‌های با طول متغیر از ژنوم که تشکیل توالی‌های تنظیمی با طول متغیر را می‌دهند کشف و استخراج کرده و برهم‌کنش‌های بین آن‌ها را شمارش کنیم. درواقع این توالی‌های تنظیمی می-توانند پروموتر/تشدیدکننده‌های بالقوه‌ای باشند که نقش قابل‌توجهی در بروز و تشدید بیماری سرطان را ایفا کنند.

مواد و روش‌ها

در این مقاله، قصد داریم با استفاده از الگوریتمی چندهدفه مبتنی بر شبیه‌سازی تبرید توالی‌های تنظیمی با طول متغیر را در ژنوم بیماران سرطانی کشف و استخراج کنیم. توالی‌های تنظیمی کشف‌شده می‌توانند پروموتر/تشدیدکننده‌های بالقوه‌ای باشند که در بیماری سرطان مؤثر بوده‌اند. جهت سنجش عملکرد و کارایی الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم موردنظر بر روی مجموعه داده‌های Hi-C معرفی‌شده توسط میفسود و همکاران مربوط به سلول‌های خونی GM12878 و $CD34^+$ در چهار طول فرگمنت (Fragment size) ۱۰Kbp، ۱۰۰Kbp، ۵۰۰Kbp و ۱Mbp، اجراشده است. در ادامه ابتدا تابع تناسب مورداستفاده در الگوریتم پیشنهادی توضیح داده می‌شود. سپس نحوه اجرای الگوریتم پیشنهادی و نتایج اجرای آن بر روی مجموعه داده Hi-C مربوط به این دو نوع سلول خونی توضیح داده خواهد شد.

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-02-16]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2020.10.1.5.5]

تابع تناسب

تابع تناسب برای دو توالی کشف‌شده به‌عنوان پروموتر و تشدیدکننده بالقوه در یک کروموزوم، مطابق با فرمول ۱، برابر با جمع تمامی برهم‌کنش‌های موجود بین این دو توالی تقسیم‌بر مجموع طول هر دو توالی پروموتر و تشدیدکننده است. مقدار تابع تناسب عددی در بازه [۰،۱] است؛ و هرچقدر این مقدار بیشتر باشد نشان می‌دهد که این دو توالی با یکدیگر برهم‌کنش بالاتری داشته و مقدار تابع تناسب آن‌ها بهتر است.

$$\text{تابع تناسب} = \frac{\text{مجموع برهم‌کنش‌های بین دو توالی کشف شده}}{\text{مجموع طول هر دو توالی}}$$

الگوریتم موردنظر یک الگوریتم چند هدفه مبتنی بر SA به نام MSARE (Multi-objective Simulation Annealing Regulatory Element) جهت کشف و استخراج توالی‌های منظم، در مجموعه داده‌های Hi-C است. الگوریتم MSARE علاوه بر کشف و استخراج این عناصر قادر به شمارش تمامی برهم‌کنش‌های بین آن‌ها نیز است. ورودی‌های الگوریتم مجموعه داده Hi-C شامل اطلاعات برهم‌کنش‌های بین ژنومی در هر کروموزوم، بیشینه تکرار (Maxitr) و بیشینه زیر تکرار (Itr) است. در مرحله پیش‌پردازش عملیات توالی‌سازی (Sequencing) و حذف برهم‌کنش‌های برون کروموزومی بر روی مجموعه داده ورودی انجام می‌گیرد. سپس به‌اندازه بیشینه تکرار، جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی جهت کشف توالی‌های تنظیمی ایجاد می‌شود. جمعیت ورودی موردنظر، بر اساس مشخص کردن ابتدا و انتهای پروموتر و ابتدا و انتهای تشدیدکننده تنظیم می‌شود. در مرحله بعد با استفاده از تابع تناسب هر یک از جمعیت ورودی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. پس از محاسبه تابع تناسب برای هر عضو، جمعیت ورودی موردنظر جهت انجام پردازش بعدی وارد فاز الگوریتم شبه‌سازی تبرید می‌شود. در این فاز، به‌اندازه بیشینه زیر تکرار، ۲۰ همسایه پیرامون بهترین عضو از جمعیت ورودی مرحله قبل ایجاد می‌شود. سپس هر یک از همسایه‌های ایجادشده، با استفاده از فرمول ۱ مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. سپس، بهترین پاسخ یافته شده در هر تکرار که دارای بهترین مقدار تابع ارزیابی است، ذخیره می‌شود. بهترین پاسخ در هر تکرار، نشان‌دهنده توالی‌های تنظیمی بهینه کشف‌شده در مجموعه داده ورودی است. در مرحله آخر تمامی توالی‌های تنظیمی کشف‌شده در مجموعه داده به‌عنوان خروجی نمایش داده می‌شود.

پارامترها

در الگوریتم پیشنهادی، بیشینه تکرار برابر با ۱۰۰۰، تعداد زیر تکرار برابر با ۲۰، تعداد جمعیت اولیه ۲۵ و تعداد همسایگان قابل‌کشف در نزدیکی جواب بهینه ۲۰ در نظر گرفته‌شده است. همچنین در الگوریتم شبیه‌سازی تبرید نیز دمای اولیه برابر با ۱۰ و میزان کاهش دما ۰/۹۹ تنظیم‌شده است. برای هر عضو از جمعیت ورودی با استفاده از فرمول ۱، مقدار تابع تناسب آن محاسبه می‌شود. سپس از بین جمعیت ورودی، عضوی که نشان‌دهنده پروموتر/تشدیدکننده بالقوه با بهترین مقدار تابع تناسب است به‌عنوان بهترین پاسخ فعلی در نظر گرفته می‌شود. حال به‌اندازه بیشینه تکرار، مراحل زیر تکرار می‌گردد. در نزدیکی پاسخ بهینه موجود به‌اندازه ۲۰ همسایه، جمعیت جدید تولید می‌شود، سپس مقدار تابع تناسب هر عضو از آن جمعیتی محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد، مقدار تابع تناسب هر عضو از جمعیت همسایه با بهترین پاسخ حاصله مقایسه می‌شود. حال اگر پاسخ جدید از بهترین پاسخ یافته شده بهتر بود، پاسخ جدید را به‌عنوان بهترین پاسخ در نظر گرفته می‌شود، اما اگر بهتر نبود، آن را با درصد احتمالی به‌صورت پاسخ مشروط در نظر می‌گیرد. سپس الگوریتم موردنظر، بهترین پاسخ یافته شده را به‌روزرسانی کرده و کاهش دما نیز به‌عنوان آخرین مرحله انجام می‌گیرد. گردش کار موردنظر، به‌اندازه تعداد تکرار ادامه پیدا می‌کند و در هر تکرار پاسخ بهینه (شامل بهترین توالی پروموتر/تشدیدکننده بالقوه کشف‌شده)، ذخیره می‌شود.

نتایج

الگوریتم پیشنهادی در محیط Matlab 2017a پیاده‌سازی شده است. اجرای الگوریتم پیشنهادی جهت حصول نتایج، بر روی سرور با مشخصات (3 CPU Cor i7, 16 G RAM, 2 T H.D.D, Winodws Server 2016) انجام گردیده است. الگوریتم پیشنهادی ازنظر عملکرد بر اساس مقدار تابع تناسب، همچنین کشف توالی‌های پروموتر/انهسر بالقوه و شمارش برهم‌کنش‌های بین آن‌ها با روش استفاده‌شده در میفسود (HiCUP) مقایسه شده است. در ادامه، تجزیه‌وتحلیل هر یک از نتایج حاصله در قالب جداول و نمودارها توضیح داده می‌شود.

در جدول ۱، میانگین مقدار تابع تناسب مربوط به هر کروموزوم در مجموعه داده‌های Hi-C ورودی با فرگمنت‌های به طول

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-02-16]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2020.10.1.5.5]

جدول ۱- میانگین مقدار تابع تناسب در هر کروموزوم در فرگمنت‌های مختلف مربوط به روش پیشنهادی و روش HiCUP

شماره کروموزوم	Kbp۱۰		Kbp۱۰۰		Kbp۵۰۰		Mbp۱	
	روش پیشنهادی	HiCUP	روش پیشنهادی	HiCUP	روش پیشنهادی	HiCUP	روش پیشنهادی	HiCUP
۱	۰۶E-۲۰/۳	۰۷E-۷۲/۱	۰۷E-۳۷/۹	۰۹E-۴۵/۴	۰۷E-۷۴/۲	۰۹E-۴۵/۴	۰۸E-۴۸/۱	۰۹E-۳۳/۴
۲	۰۶E-۳۳/۲	۰۷E-۷۳/۱	۰۶E-۰۶/۱	۰۹E-۲۱/۴	۰۷E-۷۷/۲	۰۹E-۲۱/۴	۰۸E-۵۵/۱	۰۹E-۱۲/۴
۳	۰۶E-۰۰/۳	۰۷E-۸۵/۱	۰۶E-۰۷/۱	۰۹E-۱۵/۵	۰۷E-۶۶/۲	۰۹E-۱۵/۵	۰۸E-۴۹/۱	۰۹E-۰۸/۵
۴	۰۶E-۲۵/۳	۰۷E-۹۳/۱	۰۶E-۰۴/۱	۰۹E-۴۰/۵	۰۷E-۹۰/۲	۰۹E-۴۰/۵	۰۸E-۶۳/۱	۰۹E-۲۷/۵
۵	۰۶E-۶۵/۳	۰۷E-۱۶/۲	۰۶E-۰۴/۱	۰۹E-۶۹/۵	۰۷E-۷۳/۲	۰۹E-۶۹/۵	۰۸E-۷۷/۱	۰۹E-۵۶/۵
۶	۰۶E-۶۱/۳	۰۷E-۴۰/۲	۰۶E-۱۳/۱	۰۹E-۹۶/۵	۰۷E-۹۰/۲	۰۹E-۹۶/۵	۰۸E-۷۵/۱	۰۹E-۹۰/۵
۷	۰۶E-۵۴/۳	۰۷E-۷۸/۲	۰۶E-۱۷/۱	۰۹E-۴۵/۶	۰۷E-۷۴/۲	۰۹E-۴۵/۶	۰۸E-۴۸/۱	۰۹E-۳۱/۶
۸	۰۶E-۰۹/۴	۰۷E-۸۴/۲	۰۶E-۱۸/۱	۰۹E-۹۸/۶	۰۷E-۹۱/۲	۰۹E-۹۸/۶	۰۸E-۴۳/۱	۰۹E-۸۵/۶
۹	۰۶E-۵۴/۴	۰۷E-۳۸/۳	۰۶E-۰۱/۱	۰۹E-۴۳/۸	۰۷E-۸۲/۲	۰۹E-۴۳/۸	۰۸E-۸۹/۱	۰۹E-۰۰/۸
۱۰	۰۶E-۵۸/۴	۰۷E-۶۰/۳	۰۶E-۱۲/۱	۰۹E-۵۴/۷	۰۷E-۸۵/۲	۰۹E-۵۴/۷	۰۸E-۴۸/۱	۰۹E-۴۳/۷
۱۱	۰۶E-۸۲/۴	۰۷E-۷۶/۳	۰۶E-۱۶/۱	۰۹E-۵۵/۷	۰۷E-۶۴/۲	۰۹E-۵۵/۷	۰۸E-۴۲/۱	۰۹E-۴۶/۷
۱۲	۰۶E-۴۷/۴	۰۷E-۱۳/۴	۰۶E-۰۱./۱	۰۹E-۶۱/۷	۰۷E-۰۱/۳	۰۹E-۶۱/۷	۰۸E-۵۹/۱	۰۹E-۵۳/۷
۱۳	۰۶E-۴۰/۴	۰۷E-۳۴/۴	۰۶E-۱۷/۱	۰۸E-۰۳/۱	۰۷E-۸۶/۲	۰۸E-۰۳/۱	۰۸E-۵۷/۱	۰۸E-۰۲/۱
۱۴	۰۶E-۹۴/۴	۰۷E-۱۸/۵	۰۶E-۰۲/۱	۰۸E-۱۳/۱	۰۷E-۹۸/۲	۰۸E-۱۳/۱	۰۸E-۵۳/۱	۰۸E-۱۱/۱
۱۵	۰۶E-۴۸/۵	۰۷E-۳۹/۶	۰۶E-۰۷/۱	۰۸E-۲۱/۱	۰۷E-۸۹/۲	۰۸E-۲۱/۱	۰۸E-۴۴/۱	۰۸E-۱۹/۱
۱۶	۰۶E-۴۷/۵	۰۷E-۱۴/۷	۰۶E-۱۰/۱	۰۸E-۲۵/۱	۰۷E-۶۹/۲	۰۸E-۲۵/۱	۰۸E-۶۲/۱	۰۸E-۲۲/۱
۱۷	۰۶E-۷۴/۵	۰۷E-۸۸/۸	۰۶E-۱۵/۱	۰۸E-۲۶/۱	۰۷E-۸۷/۲	۰۸E-۲۶/۱	۰۸E-۸۳/۱	۰۸E-۲۳/۱
۱۸	۰۶E-۹۹/۵	۰۷E-۸۲/۶	۰۷E-۹۳/۹	۰۸E-۳۳/۱	۰۷E-۶۸/۲	۰۸E-۳۳/۱	۰۸E-۴۱/۱	۰۸E-۲۹/۱
۱۹	۰۶E-۱۸/۶	۰۶E-۱۵/۱	۰۶E-۱۰/۱	۰۸E-۷۴/۱	۰۷E-۹۴/۲	۰۸E-۷۴/۱	۰۸E-۰۴/۲	۰۸E-۶۹/۱
۲۰	۰۶E-۸۱/۶	۰۷E-۷۳/۹	۰۶E-۰۸/۱	۰۸E-۶۴/۱	۰۷E-۰۳/۳	۰۸E-۶۴/۱	۰۸E-۶۷/۱	۰۸E-۶۱/۱
۲۱	۰۶E-۱۸/۷	۰۷E-۳۳/۹	۰۶E-۳۰/۱	۰۸E-۶۹/۲	۰۷E-۲۲/۳	۰۸E-۶۹/۲	۰۸E-۸۱/۱	۰۸E-۵۶/۲
۲۲	۰۶E-۱۶/۷	۰۶E-۷۳/۱	۰۶E-۱۹/۱	۰۸E-۷۹/۲	۰۷E-۰۰/۳	۰۸E-۷۹/۲	۰۸E-۴۳/۱	۰۸E-۷۰/۲
X	۰۶E-۳۸/۷	۰۷E-۸۵/۸	۰۶E-۰۵/۱	۰۹E-۷۷/۶	۰۷E-۴۹/۲	۰۹E-۷۷/۶	۰۸E-۲۷/۱	۰۹E-۶۶/۶
Y	۰۵E-۶۷/۱	۰۵E-۹۹/۲	۰۶E-۴۳/۳	۰۷E-۱۱/۶	۰۷E-۸۱/۴	۰۷E-۱۱/۶	۰۸E-۱۰/۲	۰۷E-۶۸/۲
M	۰۵E-۸۹/۴	۰۵E-۳۳/۳	۰۶E-۰۰/۵	۰۶E-۰۰/۱	۰۶E-۰۰/۱	۰۶E-۰۰/۱	۰۷E-۰۰/۵	۰۷E-۰۰/۵

۱۰Kbp، ۱۰۰Kbp، ۵۰۰Kbp و ۱Mbp به تصویر کشیده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، به دلیل اینکه، روش پیشنهادی قادر به کشف پروموتر/تشدیدکننده‌های بالقوه با طول-های متغیر است؛ بنابراین، مطابق با جدول زیر، میانگین مقدار تابع تناسب الگوریتم پیشنهادی در هر کروموزوم نسبت به روش HiCUP بهتر است؛ بنابراین میانگین مقدار تابع تناسب درروش پیشنهادی نسبت به روش HiCUP که پروموتر/تشدیدکننده‌های بالقوه با طول ثابت را استخراج می‌کند، بهتر بوده است. در حقیقت

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-02-16]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2020.10.1.5.5]

جدول ۲- میانگین تعداد برهم‌کنش‌های شمارش‌شده بین توالی پروموتر/تشدیدکننده بالقوه کشف‌شده در هر کروموزوم در فرگمنت‌های مختلف مربوط به روش پیشنهادی و روش HiCUP

شماره کروموزوم	Kbp۱۰		Kbp۱۰۰		Kbp۵۰۰		Mbp۱	
	روش پیشنهادی	HiCUP	روش پیشنهادی	HiCUP	روش پیشنهادی	HiCUP	روش پیشنهادی	HiCUP
۱	۱۸	۳۴۸۹۹۲۷۲۱/۱	۵۶۵۲۱۷۴/۷۸۶	۰۳۵۴۵۵۸۶۵/۵	۲۶۱۹۰۵/۲۷۹۶	۳۶۳۶۶۷۳۷/۵۴	۸۸۲۳۵/۵۳۳۷	۰۳۸۷۴۳۹/۲۱۰
۲	۴۲/۱۴	۳۲۰۰۶۱۶۳۴/۱	۰۴۱۶۶۶۷/۶۳۹	۳۰۰۸۰۳۴۳۹/۴	۲۸۹۴۷۴/۲۸۱۳	۷۷۳۶۲۴۸۱/۴۳	۶۵/۵۱۴۱	۹۶۹۲۲۹۲/۱۶۹
۳	۷۱/۱۷	۳۴۸۰۳۵۹۳۸/۱	۳۶/۷۶۹	۵۵۰۶۴۳۰۳۹/۴	۳۷۹۳۱/۲۶۲۱	۹۸۹۵۷۳۳۲/۵۳	۲۲۲۲۲۲/۵۲۸۱	۴۲۰۶۹۸۲/۲۱۲
۴	۹۲/۱۵	۳۱۷۴۰۲۲۲۲/۱	۳۴۴	۲۵۰۴۱۵۱۹۳/۴	۷۱۴۲۸۶/۲۴۵۴	۷۲۱۵۳۴/۴۷	۰۶۶۶۶۷/۵۰۰۷	۴۰۵۰۷۳۸/۱۸۵
۵	۲۵/۲۲	۳۵۱۷۳۹۶۵۳/۱	۴/۵۹۱	۹۱۳۰۸۰۷۸۷/۴	۲۷۵۸۶۲/۲۶۰۷	۷۰۸۵۰۴۱/۵۶	۹۴۷۳۶۸/۵۵۳۴	۹۷۵۷۰۶۷/۲۲۱
۶	۴۶/۲۲	۳۶۵۷۴۰۰۹۱/۱	۲۸۵۷۱۴/۶۳۵	۹۹۳۱۲۶۷۵/۴	۱۷۱۴۲۹/۲۵۱۵	۷۲۵۰۱۷۲۱/۶۱	۱۱۱۱۱۱/۵۵۵۶	۹۹۳۷۴۷۸/۲۴۲
۷	۳۱۳۰۴۳۴۸/۲۳	۳۷۵۶۵۹۵۲۵/۱	۹۳۳۳۳۳۳/۴۷۱	۹۰۷۵۴۳۷۵۹/۴	۲/۲۴۰۵	۶۱۸۰۰۸۴۷/۵۷	۹۰۹۰۹۱/۵۲۳۲	۸۷۵۲۸۹۴/۲۲۳
۸	۸۲۶۹۲۳۰۸/۲۰	۳۶۰۶۱۸۰۱۴/۱	۵/۴۷۱	۰۷۵۸۲۲۱۴۲/۵	۱۷۸۵۷۱/۲۳۳۵	۲۵۱۰۳/۶۶	۱۵۳۸۴۶/۳۸۸۱	۳۰۵۷۷۳۴/۲۵۸
۹	۸/۲۶	۴۱۹۷۹۳۷۵۲/۱	۳۵/۵۶۸	۹۴۵۸۸۱۷۳۹/۵	۱۹۳۵۴۸/۲۴۴۱	۹۰۳۸۸۱۴۵/۶۸	۲۶۳۱۵۸/۶۶۴۴	۵۷۶۱۸۴۴/۲۵۹
۱۰	۶۵۵۵۵۵۵۶/۲۸	۴۰۳۹۶۱۴۴۵/۱	۰۶۲۵/۵۱۶	۴۳۷۱۰۸۱۵۲/۵	۱۱۵۳۸۵/۲۴۶۷	۰۲۲۸۸۸۲۷/۷۰	۷۵/۳۸۴۹	۹۷۷۳۹۱۱/۲۷۴
۱۱	۶۶۹۳۵۴۸۴/۲۳	۴۰۷۲۷۷۸۵۲/۱	۶۶۶۶۶۶۷/۷۱۳	۷۴۴۷۰۵۳۴/۶	۶۸۱۸۱۸/۳۱۵۷	۶۵۷۴۴۵۶۶/۹۱	۳/۴۰۳۲	۰۴۴۵۵۱۷/۳۶۱
۱۲	۳۴۹۲۰۶۳۵/۱۲	۴۱۸۴۱۵۵۶۳/۱	۷۵۱	۱۰۹۴۶۱۶۴۱/۶	۷۶۶۶۶۷/۲۳۸۸	۶۶۷۲۳۵۸۹/۸۴	۹۳۷۵/۵۱۲۵	۵۵۲۲۲۳۵/۳۳۳
۱۳	۷۳۹۱۳۰۴۳/۱۰	۳۸۴۶۱۹۲۱۶/۱	۲۲۲۲۲۲۲/۴۳۰	۳۵۸۹۹۴۸۵۵/۵	۵/۱۷۰۵	۵۴۰۳۴۸۴۴/۷۹	۲۵/۴۱۳۶	۱۴۰۹۶۳۶/۳۱۳
۱۴	۸۰۸۲۱۹۱۸/۱۱	۴۴۹۲۵۲۲۲۳/۱	۶/۵۸۲	۳۲۳۰۹۴۰۱۸/۷	۸۵۷۱۴۳/۲۹۵۹	۳۵۷۸۶۳۲/۱۱۷	۳۸۴۶۱۵/۵۸۴۶	۲۳۱۵۱۸۵.۴۵۹
۱۵	۶۵۹۳۴۰۶۶/۱۰	۵۰۷۹۲۵۸۰۱/۱	۴۲۱۰۵۲۶/۶۲۱	۴۴۲۰۴۵۳۷۱/۷	۱۹۴۴۴۴/۲۴۶۳	۴۳۱۱۴۰۴/۱۱۰	۷۲۷۲۷۳/۴۱۰۷	۳۶۱۴۴۵۸/۴۳۳
۱۶	۹۵۹۵۹۵۹۶/۹	۴۵۲۴۱۲۹۸۶/۱	۶۵/۵۴۳	۲۵۴۳۹۹۲۴۶/۷	۶۸/۲۰۶۱	۲۷۱۹۵۸۷/۱۰۱	۴/۴۴۷۸	۳۵۶۸۲/۳۸۹
۱۷	۷۸۰۴۸۷۸۰۵/۹	۵۴۹۷۵۹۱۳۳/۱	۴۵/۷۶۸	۸۳۸۶۵۷۶۷۲/۸	۳۲۵/۲۸۴۶	۳۰۹۸۲۴۳/۱۳۵	۲۱۴۲۸۶/۵۲۹۱	۸۶۳۸۸۸۹/۵۲۲
۱۸	۳۴۲۶۵۷۳۴/۱۱	۴۳۹۶۶۰۱۷۸/۱	۳۰۶	۹۲۵۰۴۲۸۹۴/۵	۷۰۸۳۳۳/۱۴۴۶	۸۲۱۱۰۲۵۳/۹۸	۰۹۰۹۰۹/۲۸۵۸	۴۱۰۰۸۴/۳۷۸
۱۹	۵۸۳۳۳۳۳۳۳/۸	۴۶۴۳۹۳۶۱۶/۱	۲۲۲۲۲۲۲/۶۷۰	۶۴۵۷۶۸۱۱/۱۰	۴۳۴۷۸۳/۳۴۰۰	۷۹۰۴۹۵۱/۱۷۹	۳۳۳۳۳۳/۷۸۶۵	۶۳۸۲۲۳۳/۶۸۷
۲۰	۷۶۰۶۳۸۳/۱۰	۵۱۱۳۱۶۱۸۳/۱	۵۳۸۴۶۱۵/۵۶۱	۶۶۵۳۴۰۵۹۶/۸	۵/۲۲۱۵	۴۸۵۷۳۷۶/۱۵۱	۷۵/۴۹۰۷	۷۶۰۹۷۳/۵۸۹

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-02-16]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2020.10.1.5.5]

۲۱	۵۴۱۶۶۶۶۶۷/۹	۴۸۱۲۶۷۷۳۷/۱	۴۶۶۶۶۶۷/۵۵۱	۵۷۶۱۱۴۱۳/۱۲	۳۵۲۹۴۱/۲۵۴۷	۹۶۶۱۳۲۶/۲۱۷	۸۱۸۱۸۲/۶۴۱۳	۷۳۹۵۴۱۲/۸۰۷
۲۲	۷۹۰۱۲۳۴۵۷/۶	۵۸۰۲۰۱۵۴۵/۱	۳۵۲۹۴۱۲/۴۶۶	۲۲۸۳۹۵۰۶/۱۲	۵/۱۸۹۹	۸۱۳۲۸۶۲/۲۱۸	۲۵/۳۲۳۹	۸۲۷۳۲۷۳/۸۳۵
X	۰۸۱۸۷۱۳۵/۱۰	۳۰۲۹۴۷۵۴۴/۱	۱۱۱۱۱۱۱/۲۷۵	۴۰۶۴۳۰۶۳۱/۴	۵۳۸۴۶۲/۱۵۲۱	۵۰۹۸۱۸۸/۵۶	۶۶۶۶۷/۳۱۸۹	۴۶۵۸۵۳۷/۲۲۰
Y	۳	۶۳۸۸۸۸۸۸۹/۲	۲۴	۹۸۶۱۱۱۱۱۱/۴	۵	۴۸۱۴۸۱۴۸/۶	۷۵/۳	۷۵۶۰۹۷۵۶۱/۸
M	۳۵۸	۳۳۳۳۳۳۳/۱۴۸	۵۸۸۳	۵۸۸۳	۵۸۸۳	۵۸۸۳	۵۸۸۳	۵۸۸۳

جدول ۳- تعداد توالی‌های پروموتر/تشدیدکننده بالقوه کشف‌شده توسط روش پیشنهادی به تفکیک هر کروموزوم در فرگمنت‌های مختلف

شماره کروموزوم	۱۰Kbp	۱۰۰Kbp	۵۰۰Kbp	۱Mbp
۱	۰	۱۸	۳	۰
۲	۰	۱۰	۵	۰
۳	۰	۱۲	۵	۰
۴	۰	۶	۶	۳
۵	۱	۱۰	۲	۱
۶	۱	۸	۸	۱
۷	۰	۳	۲	۰
۸	۴	۸	۴	۲
۹	۱	۸	۲	۱
۱۰	۳	۹	۶	۰
۱۱	۶	۷	۳	۱
۱۲	۳	۱۲	۳	۲
۱۳	۵	۴	۳	۲
۱۴	۷	۸	۲	۲
۱۵	۱۴	۱۰	۳	۱
۱۶	۲۱	۱۳	۲	۰
۱۷	۲۳	۱۲	۳	۱
۱۸	۲۴	۷	۵	۱
۱۹	۱۷	۹	۳	۱
۲۰	۴۳	۶	۲	۱
۲۱	۲۶	۸	۱	۱
۲۲	۲۷	۹	۴	۱
X	۷۹	۲	۲	۱
Y	۰	۰	۰	۰
M	۰	۰	۰	۰

الگوریتم پیشنهادی، توالی‌های پروموتر/تشدیدکننده بالقوه با طول‌های متغیر را که تابع تناسب آن‌ها نسبت به حالت با طول ثابت بهتر باشد، استخراج می‌کند. بهتر بودن تابع تناسب بدین معنی است که تعداد برهم‌کنش‌های بین پروموتر/تشدیدکننده بالقوه استخراج‌شده با طول متغیر بیشتر از حالت با طول ثابت باشد. همچنین مطابق با جدول ۱، میانگین مقدار تابع تناسب

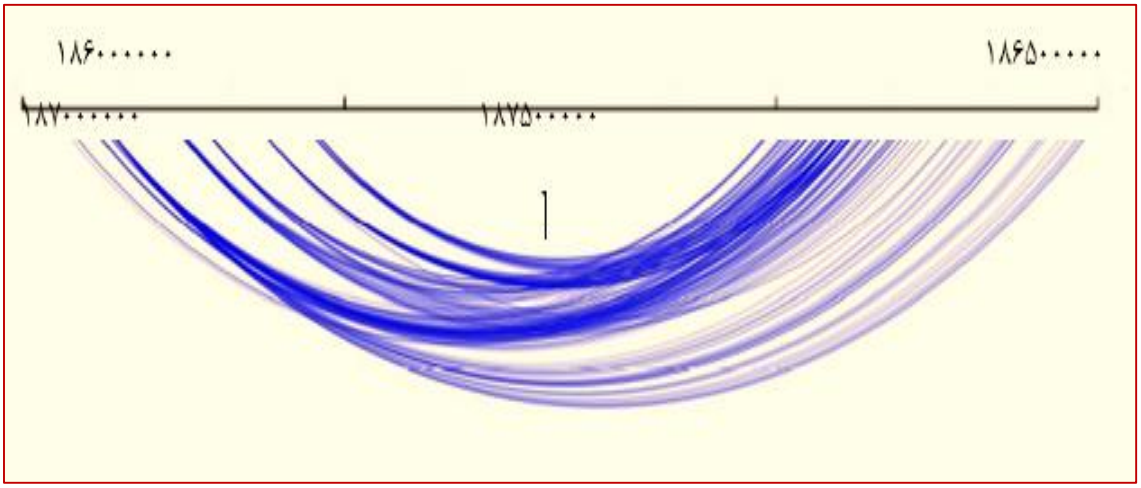
[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-02-16]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2020.10.1.5.5]

روش پیشنهادی در فرگمنت‌های با طول‌های ۱۰Kbp، ۱۰۰Kbp و ۵۰۰Kbp از روش HiCUP بیشتر است. در مقابل، در مجموعه داده با فرگمنت ۱Mbp مقدار میانگین این تابع درروش پیشنهادی تقریباً در همه کروموزوم‌ها نزدیک به روش HiCUP است. این نشان‌دهنده می‌دهد که روش پیشنهادی در فرگمنت-های با طول کوچک‌تر نسبت به روش HiCUP عملکرد بهتری را در کشف پروموتر/تشدیدکننده‌های بالقوه دارد. همچنین به دلیل این‌که میانگین مقدار تابع تناسب مربوط به توالی‌های تنظیمی کشف‌شده توسط روش پیشنهادی در هر فرگمنت بهتر بوده است. درنتیجه، تعداد برهم‌کنش‌های شمارش‌شده بین آن‌ها نیز درروش پیشنهادی نسبت به روش مورد مقایسه بهتر است.

جدول ۲، میانگین تعداد برهم‌کنش‌های شمارش‌شده بین توالی پروموتر/تشدیدکننده بالقوه کشف‌شده مربوط به هر کروموزوم مجموعه داده‌های Hi-C ورودی، به ترتیب شامل فرگمنت‌های به طول ۱۰Kbp، ۱۰۰Kbp، ۵۰۰Kbp و ۱Mbp را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، میانگین تعداد برهم‌کنش‌های شمارش‌شده درروش پیشنهادی بر اساس هر کروموزوم در همه فرگمنت‌ها بهتر از روش HiCUP است. درنتیجه، توالی‌های تنظیمی کشف‌شده توسط روش پیشنهادی می‌تواند قابل‌اطمینان‌تر[1] از توالی‌های تنظیمی کشف‌شده توسط روش میفسود باشند.

به ترتیب شامل فرگمنت‌های به طول ۱۰Kbp، ۱۰۰Kbp، ۵۰۰Kbp و ۱Mbp که روش HiCUP قادر به کشف آن‌ها نبوده است را به تفکیک هر کروموزوم نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تعداد ۶۰۶ توالی‌های پروموتر/تشدیدکننده بالقوه در فرگمنت‌های مختلف توسط روش پیشنهادی استخراج گردیده است که روش میفسود قادر به کشف و استخراج آن نبوده است. مطابق با این جدول، در بین این ۶۰۶ توالی کشف‌شده، تعداد ۳۰۵ توالی به تفکیک هر کروموزوم در مجموعه داده با فرگمنت ۱۰ Kbp، تعداد ۱۹۹ توالی مربوط به مجموعه داده با فرگمنت ۱۰۰ Kbp تعداد ۷۹ توالی در مجموعه داده با فرگمنت ۵۰۰ Kbp و در آخر تعداد ۲۳ توالی در مجموعه داده با فرگمنت ۱Mbp است. همچنین این نتایج نشان می‌دهند که در مجموعه داده‌های با طول فرگمنت پایین روش پیشنهادی نسبت به روش میفسود در کشف برهم‌کنش‌ها عملکرد بهتری را دارا است.

در ادامه دو پروموتر کشف‌شده توسط روش پیشنهادی که در بروز و تشدید بیماری سرطان سینه تأثیر داشته‌اند را بررسی می-کنیم. طبق تحقیقات انجام‌شده توسط میفسود و همکاران در (۱۰) دو پروموتر BLC۶ و HOTTIP در هر دو سلول خونی GM۱۲۸۷۸ و $CD۳۴^+$ تأثیر زیادی در بروز و تشکیل بیماری سرطان سینه داشته‌اند. مطابق با شکل ۱، پروموتر BLC۶ کشف-شده توسط روش پیشنهادی، در هر دو سلول خونی GM۱۲۸۷۸



شکل ۱- پروموتر BLC۶ کشف‌شده توسط روش پیشنهادی، در هر دو سلول خونی GM۱۲۸۷۸ و $CD۳۴^+$ و برهم‌کنش‌های آن

جدول ۳، تعداد توالی‌های پروموتر/تشدیدکننده بالقوه کشف-شده توسط روش پیشنهادی در مجموعه داده‌های Hi-C ورودی، و $CD۳۴^+$ در توالی ۱۸۶۰۰۰۰۰۰ تا ۱۸۶۵۰۰۰۰۰ در کروموزوم ۳ است که با توالی ۱۸۷۰۰۰۰۰۰ تا ۱۸۷۵۰۰۰۰۰ از همان

[1] robustness

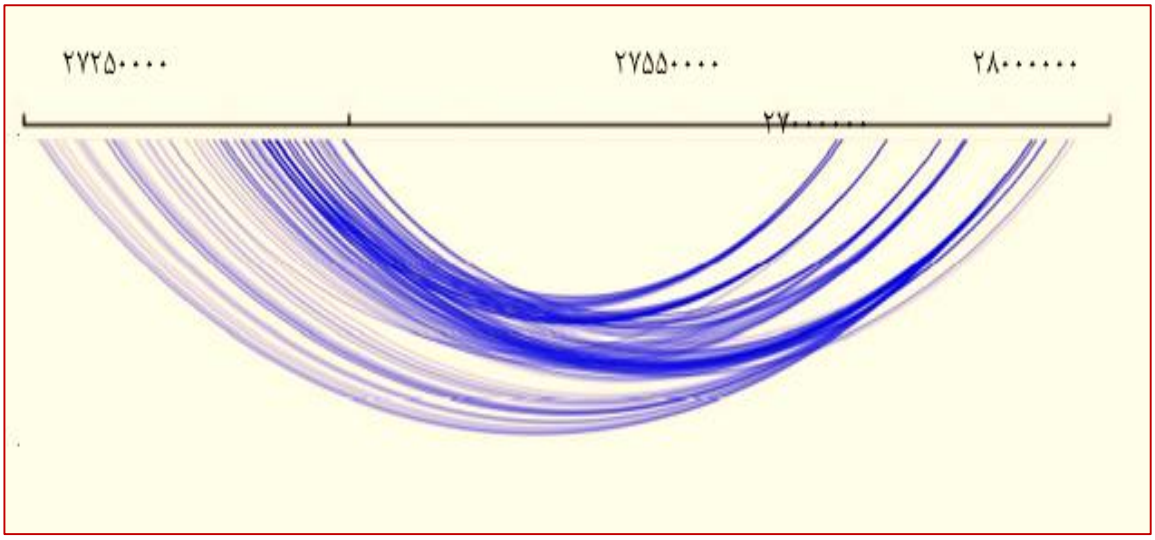
[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-02-16]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2020.10.1.5.5]

کروموزوم برهم‌کنش‌های زیادی را داشته است. توالی‌ای که پروموتر مذکور با آن برهم‌کنش دارد تقریباً در توالی‌ای به فاصله ۱Mbp نسبت به توالی پروموتر قرارگرفته است. روش پیشنهادی، توالی تنظیمی[2] را که پروموتر BLC۶ در آن قرار دارد توالی ۱۸۶۰۰۰۰۰۰ تا ۱۸۷۵۰۰۰۰۰ از کروموزوم ۳ کشف و استخراج کرده است؛ اما در مقابل میفسود و همکاران با به‌کارگیری HiCUP، توالی تنظیمی را که این پروموتر موردنظر در آن قرار دارد توالی ۱۸۵۸۰۰۰۰۰ تا ۱۸۹۴۰۰۰۰۰ از کروموزوم ۳ کشف و استخراج کرده‌اند. این نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به‌صورت بهتری نسبت به روش میفسود قادر به کشف این پروموتر و برهم‌کنش‌های مؤثر آن بوده است.

پروموتر HOTTIP، پروموتر کشف‌شده توسط روش پیشنهادی است که در بروز و تشدید سرطان سینه مؤثر بوده است. مطابق با شکل ۲، پروموتر HOTTIP کشف‌شده توسط روش پیشنهادی، در هر دو سلول خونی GM۱۲۸۷۸ و $CD۳۴^+$ در توالی ۲۶۰۰۰۰۰۰ تا ۲۶۵۰۰۰۰۰ در کروموزوم ۷ است که با توالی ۲۷۵۰۰۰۰۰ تا ۲۸۰۰۰۰۰۰ از همان کروموزوم برهم‌کنش‌های زیادی را داشته است. توالی‌ای که پروموتر مذکور با آن برهم‌کنش دارد تقریباً در توالی‌ای به فاصله ۱/۱Mbp نسبت به توالی پروموتر در کروموزوم ۷ قرارگرفته است. روش پیشنهادی توالی تنظیمی را که پروموتر HOTTIP در آن قرار دارد توالی ۲۷۰۰۰۰۰۰ تا ۲۸۰۰۰۰۰۰ از کروموزوم ۷ کشف و استخراج کرده است؛ اما در مقابل میفسود و همکاران با به‌کارگیری HiCUP، توالی تنظیمی را که این پروموتر موردنظر در آن قرار دارد توالی ۲۵۶۰۰۰۰۰ تا ۲۹۲۰۰۰۰۰ از کروموزوم ۷ کشف و استخراج کرده‌اند. این نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در کشف این پرموتر و برهم‌کنش‌های آن نیز همانند پروموتر قبل عملکرد بهتری نسبت به روش میفسود داشته است.

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه در علم ژنتیک به اثبات رسیده است که توالی‌های تنظیمی در کروموزوم‌های یک انسان بیمار که با یکدیگر برهم‌کنش دارند، دارای طول ثابت (Fix-bin size) نمی‌باشند بلکه طول آن‌ها می‌تواند متغیر باشد (۱۶-۱۴). همچنین تاکنون، در مطالعات انجام‌گرفته در (۸-۶) روش‌هایی پیشنهادشده‌اند که توالی ثابت ژنوم که با یکدیگر برهم‌کنش دارند را کشف و استخراج می‌کنند. در این صورت ممکن است توالی‌های تنظیمی کشف‌شده (که این توالی‌ها می‌توانند پروموتر/انهسرهای بالقوه باشند)، بهینه نبوده و شمارش برهم‌کنش‌های بین آن‌ها دقیق نباشد. در این پژوهش، روشی مبتنی بر شبیه‌سازی تبرید جهت حل مسئله استخراج توالی‌های تنظیمی با طول‌های متغیر ارائه گردیده است. روش پیشنهادی می‌تواند توالی‌های تنظیمی با طول متغیر را کشف و استخراج کند. همچنین این روش قادر به شمارش برهم‌کنش‌های بین این توالی‌ها، نیز است. ازجمله مزایا روش



شکل ۲- پروموتر HOTTIP کشف‌شده توسط روش پیشنهادی، در هر دو سلول خونی GM۱۲۸۷۸ و $CD۳۴^+$ و برهم‌کنش‌های آن

[2] Regulatory regions

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-02-16]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2020.10.1.5.5]

پیشنهادی می‌توان به همین دو مورد (اول، کشف و استخراج توالی‌های تنظیمی با طول متغیر و دوم، شمارش برهم‌کنش‌های بین آن‌ها) اشاره کرد؛ که می‌تواند دقت در تشخیص این نواحی را بالا ببرد. همچنین سرعت‌پایین اجرای روش پیشنهادی نیز ازجمله عیبی است که در این روش وجود دارد. نتایج و مقایسه-های انجام‌گرفته، حاکی از عملکرد بالا و بهینه روش پیشنهادی در کشف توالی‌های تنظیمی با طول متغیر نسبت به روش بکار رفته در میفسود (HiCUP) است. درواقع روش HiCUP به‌عنوان ابزاری قدرتمند در آنالیز داده‌های Hi-C بشمار می‌رود؛ اما این روش توانایی کشف توالی‌های تنظیمی با طول متغیر را ندارد.

به دلیل اینکه، روش پیشنهادی قادر به کشف توالی‌های تنظیمی با طول‌های متغیر است؛ بنابراین، در همه طول فرگمنت‌های مورد آزمایش، میانگین مقدار تابع تناسب الگوریتم پیشنهادی در هر کروموزوم نسبت به روش HiCUP نیز بهتر است. در حقیقت الگوریتم پیشنهادی، توالی‌های تنظیمی با طول-های متغیر را که تابع تناسب آن‌ها نسبت به حالت با طول ثابت بهتر باشد، استخراج می‌کند. بهتر بودن تابع تناسب بدین معنی است که تعداد برهم‌کنش‌های بین توالی‌های تنظیمی استخراج‌شده با طول متغیر بیشتر از حالت با طول ثابت باشد. نتایج مربوط به میانگین مقدار تابع تناسب نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مجموعه داده با فرگمنت‌های به طول کوچک‌تر نسبت به روش HiCUP عملکرد بهتری را در کشف توالی‌های تنظیمی با طول متغیر دارد. همچنین تعداد برهم‌کنش‌های شمارش‌شده بین این توالی‌ها درروش پیشنهادی نسبت به روش مورد مقایسه نیز بهتر است.

در پایان، عملکرد روش پیشنهادی در تشخیص و استخراج توالی‌های تنظیمی دخیل در بروز و تشدید بیماری سرطان سینه موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که دو پروموتر BLC۶ و HOTTIP کشف‌شده توسط روش پیشنهادی در هر دو سلول خونی GM۱۲۸۷۸ و $CD۳۴^{+}$ در بروز و تشدید بیماری سرطان سینه تأثیر معنی‌داری داشته‌اند. مطابق مطالعات صورت گرفته توسط میفسود و همکاران در (۱۰) این دو پروموتر در هر دو سلول خونی تأثیرگذار در بروز و تشکیل بیماری سرطان سینه بوده‌اند. درنتیجه، روش پیشنهادی عملکرد قابل قبولی در کشف توالی تنظیمی دخیل در بروز سرطان را داشته است. مطابق نتایج و بررسی‌های صورت گرفته در بخش قبلی، توالی کشف‌شده پروموتر BLC۶ در کروموزوم ۳ و همچنین توالی کشف‌شده پروموتر HOTTIP در کروموزوم ۷ توسط روش پیشنهادی دقیق-تر از روش میفسود بوده است. در همین راستا، شمارش برهم-کنش‌های هر دو پروموتر با توالی‌های دیگر از کروموزوم ۳ و ۷ نیز توسط روش پیشنهادی دقیق‌تر از روش میفسود است. این نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به‌صورت بهتری نسبت به روش میفسود قادر به کشف این پروموترها و برهم‌کنش‌های مؤثر آن‌ها بوده است؛ بنابراین روش پیشنهادی که عملکرد بهتری در کشف و استخراج این توالی‌ها را دارد، می‌تواند به‌عنوان ابزاری جهت بهبود تشخیص بیماری سرطان به کار گرفته شود.

تشکر و قدردانی

مقاله موردنظر مستخرج از رساله دکتری با کد ۱۲۰۴۱۰۰۶۹۵۱۰۰۳ انجام‌شده توسط محمدجواد حسین پور به راهنمایی دکتر حمید پروین و دکتر صمد نجاتیان در دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج است. لذا نویسندگان از کلیه افرادی که در این مقاله همکاری نموده‌اند کمال تشکر را دارند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی را اعلام ننموده‌اند.

References

1. Lieberman-Aiden E, van Berkum NL, Williams L, Imakaev M, Ragoczy T, Telling A, et al. Comprehensive mapping of long-range interactions reveals folding principles of the human genome. Science. 2009; 326(1):289–93.

2. Belton J-M, McCord RP, Gibcus JH, Naumova N, Zhan Y, Dekker J. Hi-C: a comprehensive technique to capture the conformation of genomes. Methods. 2012;58(1):268–76

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-02-16]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2020.10.1.5.5]

3. Vietri Rudan M, Barrington C, Henderson S, Ernst C, Odom DT, Tanay A, et al. Comparative Hi-C Reveals that CTCF Underlies Evolution of Chromosomal Domain Architecture. Cell Rep. 2015; 10(1):1297–309.
4. Hwang YC, Zheng Q, Gregory BD, Wang LS. High-throughput Identification of Long-range Regulatory elements and their Target Promoters in the Human Genome. Nucleic Acids Res. 2013; 41(9):4835–4846.
5. Heinz S, Benner C, Spann N, Bertolino E, Lin YC, Laslo P, et al. Simple combinations of lineage-determining transcription factors prime cis-regulatory elements required for macrophage and B cell identities. Mol Cell. 2010; 38(4):576-589.
6. Sauria ME, Phillips-Cremins JE, Corces VG, Taylor J. HiFive: a tool suite for easy and efficient HiC and 5C data analysis. Genome Biol. 2015; 16(237):1-10.
7. Jin F, Li Y, Dixon JR, Selvaraj S, Ye Z, Lee AY, et al. A high-resolution map of the three-dimensional chromatin interactome in human cells. Nature letter 2013; 503(7475):290-294.
8. Phanstiel DH, Boyle AP, Araya CL, Snyder MP. Sushi.R: flexible, quantitative and integrative genomic visualizations for publication-quality multi-panel figures. Bioinformatics. 2014; 30(19):2808–10.
9. Cabreros I, Abbe E, Tsirig A. Detecting Community Structures in Hi-C Genomic Data. Cornell Library University. 2015; 1509(1):1-17.
10. Mifsud B, Tavares-Cadete F, Young AN, Sugar R, Schoenfelder S, Ferreira L, et al. Mapping long-range promoter contacts in human cells with high-resolution capture Hi-C. Nature genetics 2015; 47(6):598-606.
11. Servant N, Varoquaux N, Lajoie BR, Viara E, Chen CJ, Vert JP, et al. HiC-Pro: an Optimized and Flexible pipeline for Hi-C Data Processing. Genome Biol. 2015; 16(259): 1-11.
12. Charalampos L, Stephen KBP, Panagiotis N, Iannis A, Aristotelis T, HiC-bench: comprehensive and reproducible Hi-C data analysis designed for parameter exploration and benchmarKbping. BMC Genomics. 2017; 18(22):1-16.
13. Riccardo, C, Qiuyang, W, Jihong, G, and Sheng, Z, GITAR: an open source tool for analysis and visualization of Hi-C data. Genomics Proteomics Bioinf. 2018;16(5):365-372.
14. Akdemir KC, Chin L. HiCPlotter integrates genomic data with interaction matrices. Genome Biol. 2015; 16(198):1-8.
15. Liu F, Li H, Ren C, Bo X and Shu W. PEDLA: predicting enhancers with a deep learning-based algorithmic frameworKbp. Nature. 2016; 6(28517):1-14.
16. Hosseinpoor M, Parvin H, Nejatian S, Rezaei V. Detection and Extraction of Potential Promoter/Enhancer Interactions in Genome of Cancer Patients using an Evolutionary Multi-Objective Algorithm. Journal of Health and Biomedical Informatics. 2018; 5 (2):304-313.

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-02-16]
[DOR: 20.1001.1.22285105.2020.10.1.5.5]

Original Article

Presenting a Meta-Heuristic Algorithm to Detect Regulatory Elements in the Genome of Breast Cancer Patients

Hosseinpoor MJ[1, 7], Parvin H[2, 6*], Nejatian S[3, 5], Rezaee V[4, 5], Bagherifard K[1, 5]

1. Department of Computer Engineering, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran
2. Department of Computer Engineering, Nourabad Mamasani Branch, Islamic Azad University, Nourabad Mamasani, Iran
3. Department of Electrical Engineering, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran
4. Department of Mathematics, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran
5. Young Researchers and Elite Club, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran
6. Young Researchers and Elite Club, Nourabad Mamasani Branch, Islamic Azad University, Nourabad Mamasani, Iran
7. Young Researchers and Elite Club, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran

Received: 16 Aug 2019 Accepted: 01 Feb 2020

Abstract

Background & Objectives: Nowadays, in medical sciences, the amount of data on symptoms of people affected with various illnesses on one hand, and finding assistive techniques for the diagnosis of those diseases on the other, has been widespread. Consequently, the analysis and consideration of all factors involved in a disease are often challenging. Thus, a mechanized system to help discover the rules, identify patterns, and predict future events is absolutely needed. In this research, we intend to use a multi-objective algorithm to provide a method capable of detecting, extract sequences of variable-length from the genome, and count the interactions among them. In fact, these regulatory elements could play a significant role in the incidence and exacerbation of cancer.

Material & Methods: In this research, a proposed method for the detection of regulatory elements in the genome of a breast cancer patient has been used. The proposed method is implemented in MATLAB software. Also, to measure the performance and effectiveness of the suggested method, the proposed algorithm is implemented on HiC dataset, regarding patients with breast cancer in two blood cells GM12878 and CD34+ introduced by Mifsud et al.

Results: The results of implementing the proposed method are compared with the HiCUP method. The results show that the MSARE method has a better performance in detecting regulatory elements compared to the HiCUP method.

Conclusion: Experimental studies have shown that the two promoters BLC6 and HOTTIP discovered by the proposed method have had a significant effect on the incidence and severity of breast cancer in both blood cells GM12878 and CD34+.

Keywords: Regulatory Elements, Meta-Heuristic Algorithm, BLC6 Promoter, HOTTIP Promote

***Corresponding Author: Hamid Parvin,** Department of Computer Engineering, Nourabad Mamasani Branch, Islamic Azad University, Nourabad Mamasani, Iran
Email: parvin@iust.ac.ir
https://orcid.org/0000-0002-4877-182X

Journal of Fasa University of Medical Sciences 10 (2020): 2070-2080

[Downloaded from jabs.fums.ac.ir on 2026-02-16]

[DOR: 20.1001.1.22285105.2020.10.1.5.5]