

مقایسه نتایج خوشه‌بندی سلسله مراتبی و غیرسلسله مراتبی پروتئین‌های مرتبط با سرطان‌های مری، معده و کلون بر اساس تشابهات تفسیر هستی‌شناسی ژنی

نویسندگان: حمید علوی مجد^{۱*}، یلدا زرنگارنیا^۲، مصطفی رضایی طاویرانی^۳، نصیبه خیر^۴، علی‌اکبر خادم معبودی^۵

۱. دانشیار گروه آمار زیستی دانشکده پیراپزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. کارشناس ارشد آمار زیستی، مرکز تحقیقات پروتئومیکس دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران

۳. دانشیار گروه علوم پایه دانشکده پیراپزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۴. کارشناس ارشد علوم سلولی ملکولی، مرکز تحقیقات پروتئومیکس دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۵. استادیار گروه آمار زیستی دانشکده پیراپزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران

E-mail: alavimajd@gmail.com

*نویسنده مسئول:

چکیده

مقدمه و هدف: به‌کارگیری روش‌های پروتئومیک و پیشرفت پژوهش‌های با توان بالای پروتئین‌ها زمینه‌ساز نیاز به روش‌های تازه در تحلیل‌های بیوانفورماتیک نتایج آزمایشگاهی شده‌است. تحلیل خوشه‌ای، روش آماری مناسبی است که می‌تواند در تحلیل این-گونه داده‌ها، استفاده شود. هدف از این پژوهش، ارزیابی کارایی روش خوشه‌بندی فازی در تحلیل پروتئین‌های مرتبط با سرطان‌های دستگاه گوارش بوده‌است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، پروتئین‌های شناسایی شده مرتبط با سرطان‌های مری، معده و کلون با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی و غیرسلسله مراتبی تحلیل و بررسی شدند. براساس هر یک از ابعاد هستی‌شناسی ژنی، پروتئین‌ها را خوشه‌بندی کرده، نتایج را با یکدیگر مقایسه کردیم.

یافته‌ها: نتایج به‌دست آمده نشان داد، عملکرد دو روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی و تقسیم-بندی به یکدیگر نزدیک بوده‌است. با وجود چشمگیر نبودن عرض سایه‌نمای کل خوشه‌بندی-ها، بیشتر پروتئین‌های در هر خوشه، دارای اشتراکات بیولوژیکی قابل توجهی هستند. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد، روش‌های خوشه‌بندی توانسته‌اند الگوهای تفسیری جدیدی را که قبل از خوشه‌بندی پروتئین‌ها مشخص نشده بودند، آشکار سازند.

نتیجه‌گیری: با بررسی نتایج حاصل از خوشه‌بندی PAM و خوشه‌بندی سلسله مراتبی، مشخص شد، نتایج این دو خوشه‌بندی بسیار مشابه یکدیگر هستند. شاید بتوان گفت، روش PAM به دلیل معرفی نماینده‌ای برای هر خوشه، موشکافانه‌تر عمل کرده، در حالی‌که روش سلسله مراتبی ساده‌تر بوده‌است. همچنین به نظر می‌رسد، پروتئین‌هایی که براساس تشابهات جایگاه سلولی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، دارای تشابهات بیولوژیکی و عملکردی نیز هستند که باید این مسئله بیشتر بررسی شود.

واژگان کلیدی: بیوانفورماتیک، تفسیر هستی‌شناسی ژنی (Gene Ontology)، خوشه‌بندی، سرطان دستگاه گوارش

دوماهنامه علمی-پژوهشی
دانشگاه شاهد
سال هفدهم - شماره ۸۸
شهریور ۱۳۸۹

وصول: ۸۹/۴/۱۶
آخرین اصلاحات: ۸۹/۸/۱
پذیرش: ۸۹/۸/۸

مقدمه

دارند اما اغلب آن‌ها نتایج حاصله را در یک تصویر ساده و شفاف و قابل تفسیر ارائه نمی‌دهند (۵). بوریس آدریان و همکاران، در سال ۲۰۰۴ نرم‌افزار GO-Clust را معرفی کردند که از ساختار درختی پایگاه-داده هستی‌شناسی ژنی به‌عنوان چارچوبی برای خوشه‌بندی داده‌های بیان ژن، استفاده می‌کند (۶). پوپسکو و همکاران، در سال ۲۰۰۴ به منظور یافتن عبارات‌هایی که بتوانند در خوشه‌بندی براساس تشابهات هستی‌شناسی ژنی نمایندگان خوبی برای خوشه‌ها باشند از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی و اندازه مشابهت‌های حاصل از BLAST و اندازه مشابهت فازی استفاده کردند (۷). هوگو و همکاران، در سال ۲۰۰۶ به منظور بررسی کارایی خوشه‌بندی پروتئین‌ها در تسریع مطالعه آن‌ها، پروتئین‌ها را به کمک اندازه مشابهت‌های حاصل از BLAST خوشه‌بندی کردند. آن‌ها پس از بررسی خوشه‌ها از لحاظ هستی‌شناسی ژنی، متوجه شدند مرکز هر خوشه می‌تواند اطلاعات پروتئین‌های خوشه را در برگرد (۸). کریستین اواسکا و همکاران، در سال ۲۰۰۸ با اندازه‌گیری مشابهت‌های بین عبارات هستی‌شناسی ژنی و اجرای روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی توانستند روشی ارائه دهند که در شناسایی سریع ژن‌هایی که دارای عبارات GO مشترک هستند، کمک کند (۹). در این پژوهش، روش‌های خوشه‌بندی تقسیم‌بندی، حول میدوئیدها و خوشه‌بندی سلسله مراتبی تجمعی به منظور مطالعه پروتئین‌های مرتبط با سرطان‌های دستگاه گوارش، استفاده شده و هدف این بوده است تا بدانیم، آیا با خوشه‌بندی پروتئین‌ها براساس تشابهات بین تفاسیر هستی‌شناسی آن‌ها می‌توان به الگوهایی در زیرمجموعه-هایی از پروتئین‌ها دست یافت که در مطالعه جداگانه آن‌ها، به نظر نیامده باشند؟ همچنین با مقایسه نتایج خوشه‌بندی سلسله مراتبی و غیرسلسله مراتبی، عملکرد آن‌ها را در تفسیر بهتر پروتئین‌ها، با یکدیگر مقایسه کنیم.

سرطان، یکی از عمده علل اختلالات، مرگ و میر و ناتوانی در سراسر جهان است. براساس آمار سازمان بهداشت جهانی تا سال ۲۰۲۰ میلادی، شیوع سرطان در موارد جدید با پنجاه درصد افزایش روبه‌رو خواهد شد و این بیماری در سال ۲۰۳۰ اولین عامل مرگ و میر در دنیا به شمار خواهد آمد (۲۰۱). از جمله سرطان‌های شایع در جهان، سرطان‌های دستگاه گوارش هستند که در کشورهای در حال توسعه، از شایع‌ترین سرطان‌های حال حاضر به‌شمار می‌روند. به‌طورمثال، سرطان معده اکنون به تنهایی نزدیک به ده درصد کل سرطان‌ها را در جهان تشکیل می‌دهد و یکی از شایع‌ترین انواع سرطان‌ها است (۳). بدیهی است، حجم وسیعی از مطالعات پزشکی معطوف به شناسایی عوامل مؤثر در ابتلا به سرطان و همچنین درمان آن و به‌طور کلی، یافتن روش‌هایی برای پیش‌گیری از ابتلا به انواع سرطان شده-است. در این میان، شناسایی بیومارکرهای وابسته به بیماری که پیش از ظهور علائم بیماری خود را نشان دهند، اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت.

پروتئین‌ها به دلایل مختلف، بیومارکرهای بسیار خوبی به‌شمار می‌روند. با بررسی پروتئین‌ها می‌توان به طور مستقیم، عوامل مؤثر در بیماری را مطالعه کرد. از طرفی، تنها با مطالعه پروتئین‌ها می‌توان تغییرات پس از ترجمه را بررسی کرد (۴). با پیشرفت آزمایش‌های پروتئومیک با توان بالا، مانند آرایه‌بندی پروتئین‌های تصفیه‌شده، لازم است پروتئین‌ها را به صورت جمعی مطالعه کنیم. البته این برخلاف روش سنتی تحلیل در هر بار یک پروتئین است. باید دانست، زمانی که تعداد پروتئین‌ها زیاد باشد، امکان این‌که در هر بار آزمایش یکی از آن‌ها را بررسی کنیم، وجود ندارد. علاوه بر این، شاید الگوهای جالبی در هر مجموعه از پروتئین‌ها وجود داشته باشد که اگر هر بار یکی از آن‌ها را تحلیل کنیم به نظر نیایند. ابزار در دسترس و بدون محدودیت بسیاری، برای تحلیل مجموعه‌های پروتئین‌ها وجود

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از داده‌های جمع‌آوری شده در مرکز تحقیقات پروتئومیک دانشکده پیراپزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، استفاده شده است. این داده‌ها، شامل حدود پانصد پروتئین شناسایی شده مرتبط با سرطان‌های مری، معده و کلون هستند که پس از بررسی‌های صورت گرفته تعداد هفده پروتئین، به عنوان پروتئین‌های دخیل مشترک در سرطان‌های مری، معده و کلون شناسایی شده‌اند (۱۰).

به منظور تحلیل این پروتئین‌ها براساس هستی‌شناسی ژنی، اطلاعات مورد نیاز از وبسایت مربوط به اطلاعات هستی‌شناسی ژنی جمع‌آوری شد (۱۱). پروژه GO سه دسته واژگان را برای توصیف ژن و خواص محصول ژنی مانند پروتئین در هر ارگانیسم فراهم می‌کند. از لحاظ هستی‌شناسی، هر پروتئین را می‌توان از سه جهت بررسی کرد. این سه ویژگی عبارتند از: فرایند بیولوژیکی (Biological Process (BP)، جایگاه سلولی (Cellular Component (CC) و عملکرد ملکولی (Molecular Function (MF). براساس هر یک از این وجوه، گراف‌های GO از وبسایت Gene Ontology استخراج شدند.

برای اندازه‌گیری اندازه مشابهت‌های بین پروتئین‌ها، از میان روش‌های موجود، از روش simUI استفاده شد. براساس این روش، تشابه گرافیکی بین دو پروتئین عبارت است از: تعداد گره‌های مشترک در هر دو گراف GO تقسیم بر تعداد گره‌ها در اجتماع دو گراف با هم (۱۲ و ۱۳).

روش‌های خوشه‌بندی مشتمل بر روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی و غیرسلسله مراتبی هستند. روش‌های غیرسلسله مراتبی برای دسته‌بندی کردن اقلام به جای متغیرها به مجموعه‌ای از k خوشه طراحی شده است. یکی از روش‌های خوشه‌بندی غیرسلسله مراتبی، روش تقسیم‌بندی حول k میدوئید (Partitioning Around Medoids) است. الگوریتم به کار رفته در این روش، براساس جست‌وجو برای یافتن K عنصر نماینده از بین مجموعه داده‌هاست که این k ، عنصر نماینده را Medoids می‌نامند. در حقیقت، میدوئیدها نمایندگان

خوشه‌ها هستند که باید بتوانند به خوبی ساختار داده‌ها را نشان دهند. نمایندگان هر خوشه کمترین مقدار متوسط عدم تشابه را با بقیه اعضای خوشه دارند. پس از مشخص شدن میدوئیدها k خوشه به این صورت ساخته می‌شود که هر عنصر به خوشه‌ای می‌رود که کمترین فاصله را با نماینده آن خوشه داشته باشد (۱۴ و ۱۵). پس از اجرای روش‌های خوشه‌بندی و حاصل شدن خوشه‌ها، می‌توان یک نمایش گرافیکی برای خوشه‌بندی به روش PAM داشت که آن را Silhouette یا سایه‌نما می‌نامیم. می‌توان به ازای هر خوشه، نمودار سایه‌نما داشت و با کنار هم قرار دادن آن‌ها کیفیت خوشه‌بندی‌ها را با یکدیگر مقایسه کرد. محور افقی این نمودار نشان‌دهنده عرض خوشه‌ها و محور عمودی، نحوه تعلق گرفتن عناصر به خوشه‌ها را نشان می‌دهد.

روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی با یک سری از تقسیم‌بندی‌های متوالی انجام می‌شود. روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی بر دو دسته‌اند: سلسله مراتبی تجمعی (Agglomerative) و سلسله مراتبی تقسیمی (Divisive). روشی را که ما استفاده کردیم، خوشه‌بندی سلسله مراتبی تجمعی ترکیب براساس پیوند متوسط (AGNES) است (۱۴ و ۱۵). در روش‌های سلسله مراتبی، نخست به تعداد داده‌ها، خوشه وجود دارد. آنگاه عناصری که بیشترین شباهت را دارند، دسته‌بندی شده و این دسته‌های اولیه براساس شباهت‌هایشان ظاهر می‌شوند. سرانجام، وقتی شباهت‌ها کاهش می‌یابد، تمام زیردسته‌ها به یک خوشه تبدیل می‌شوند. نتایج حاصل از این خوشه‌بندی را می‌توان در نمودار دندروگرام (Dendrogram) یا درختی نشان داد. در دندروگرام، محور عمودی فاصله بین خوشه‌ها را اندازه‌گیری می‌کند، ارتفاع هر یک از خوشه‌ها بیانگر آن است که، دو خوشه مورد نظر در چه نقطه‌هایی با یکدیگر ترکیب شده‌اند (۱۴ و ۱۵).

یکی از مسائل مهم در خوشه‌بندی، تعیین تعداد بهینه خوشه‌هاست. مقدار کوچک k خوشه‌های بزرگی را نتیجه می‌دهد که ممکن است، روابطی را در آن خوشه نشان دهند که واقعاً وجود نداشته باشد. مقادیر بزرگ K نیز خوشه‌های کوچکی را نتیجه می‌دهد که ممکن است،

بررسی کنیم، عبارت‌های GO غنی‌شده آماری مربوط به پروتئین‌های هر خوشه را با عبارت‌های غنی‌شده آماری در کل مجموعه داده‌ها مقایسه می‌کنیم. چنانچه این عبارات در مجموعه کل داده‌ها به‌عنوان غنی‌شده آماری شناسایی نشده‌باشند، آنگاه روش AGNES الگوهای تفسیر جدیدی را در مجموعه داده‌ها آشکار ساخته‌است. به منظور بررسی درستی عملکرد روش خوشه‌بندی AGNES از معیار همبستگی کوفنتیک (Cophenetic Correlation) که همبستگی بین فواصل اولیه بین پروتئین‌ها و فواصل کوفنتیک حاصل از خوشه‌بندی را محاسبه می‌کند، استفاده می‌کنیم (۱۷). برای مقایسه نتایج خوشه‌بندی‌های PAM و AGNES نیز از شاخص دان (Dunn Index)، ضریب همبستگی Hubertgamma و $wb.ratio$ (average.within/average.between) استفاده می‌کنیم. (۱۸ و ۱۹ و ۲۰)

نتایج

برای اجرای الگوریتم خوشه‌بندی از زبان برنامه‌نویسی R استفاده شد (۲۱) و Package‌های موردنیاز نیز از وب‌سایت bioconductor دانلود شدند (۲۲). امتیازهای مشابهت براساس روش simUI برای تمام هفده پروتئین برای هر وجه GO به‌طور جداگانه محاسبه شد. تعداد بهینه خوشه‌ها براساس روش silcheck برای خوشه‌بندی به روش PAM به ترتیب ۵ و ۵ خوشه براساس فرایند بیولوژیکی (BP) و مؤلفه سلولی (CC) و تابع ملکولی (MF) و برای خوشه‌بندی به روش AGNES برش دندروگرام در تعداد ۴ خوشه براساس فرایند بیولوژیکی (BP) و مؤلفه سلولی (CC) و تابع ملکولی (MF) تعیین شد. نتایج حاصل از خوشه‌بندی به روش PAM را می‌توان در جدول ۱ مشاهده کرد. نمودار سایه‌نمای این سه خوشه‌بندی در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ ارائه شده‌اند. برچسب میدوئید هر خوشه عبارت GO مربوط به آن پروتئین است که در مقابل پروتئین میدوئید هر خوشه و. عرض سایه‌نمای کل در پایین هر خوشه‌بندی نوشته شده‌است. عرض سایه‌نما مربوط به هر خوشه نیز در مقابل هر خوشه به همراه تعداد پروتئین‌ها متعلق به آن خوشه قرار گرفته‌است.

اطلاع مناسبی را در اختیار قرار ندهد زیرا روابط بین تعداد کمتری از اقلام را نشان می‌دهند. به منظور محاسبه تعداد بهینه خوشه‌ها، از روش Silcheck در Bioconductor براساس پیشینه کردن متوسط عرض سایه - نمای کل با تعیین تعداد حداکثر پنج خوشه، استفاده کرده‌ایم (۱۲). برای ارزیابی و اعتبارسنجی روش خوشه‌بندی PAM براساس تشابهات تفاسیر هستی - شناسی ژنی، نتایج خوشه‌بندی PAM را با یک روش تحلیلی مورد استفاده در تحلیل ریزآرایه DNA به کمک تعیین عبارت‌های GO غنی‌شده آماری مقایسه می‌کنیم. به این صورت که تفسیر GO یک زیر مجموعه از ملکول - ها با تفسیر GO مجموعه مرجع (UniProtKB) مقایسه می‌شود. اگر هر عبارت یا عبارت‌های نیایی آن (عبارت نیایی، والد عبارت موردنظر ما در گراف GO است). بیشتر از حد معمول در هر زیرمجموعه نسبت به مجموعه مرجع رخ دهد، می‌گوییم آن عبارت GO غنی‌شده آماری است (۱۲ و ۱۶).

در روش خوشه‌بندی PAM، برای هر خوشه یک نماینده (میدوئید) تعیین می‌شود که برچسب هر خوشه تفسیر GO پروتئین میدوئید آن خوشه خواهد بود. اگر تفسیر GO پروتئین نماینده خوشه یک عبارت غنی‌شده آماری برای پروتئین‌های آن خوشه باشد، آنگاه می‌فهمیم برچسب پروتئین میدوئید به درستی تفسیر GO پروتئین‌ها را در آن خوشه نشان می‌دهد (۱۲).

برای آن‌که توانایی روش خوشه‌بندی PAM را در آشکارسازی الگوهای تفسیر جدید در مجموعه داده‌ها بررسی کنیم، عبارت‌های GO پروتئین‌های میدوئید را با عبارت‌های غنی‌شده آماری در کل مجموعه داده‌ها مقایسه می‌کنیم. چنانچه عبارات GO میدوئیدها عبارات غنی‌شده آماری در کل مجموعه داده‌ها باشند، آنگاه در حقیقت، به اطلاعات جدیدی در مجموعه داده‌ها دست نیافته‌ایم. اما اگر این عبارات در مجموعه کل داده‌های غنی‌شده آماری نباشند، آنگاه روش PAM الگوهای تفسیر جدیدی را در مجموعه داده‌هایمان آشکار کرده که قبلاً شناسایی نشده بودند (۱۲).

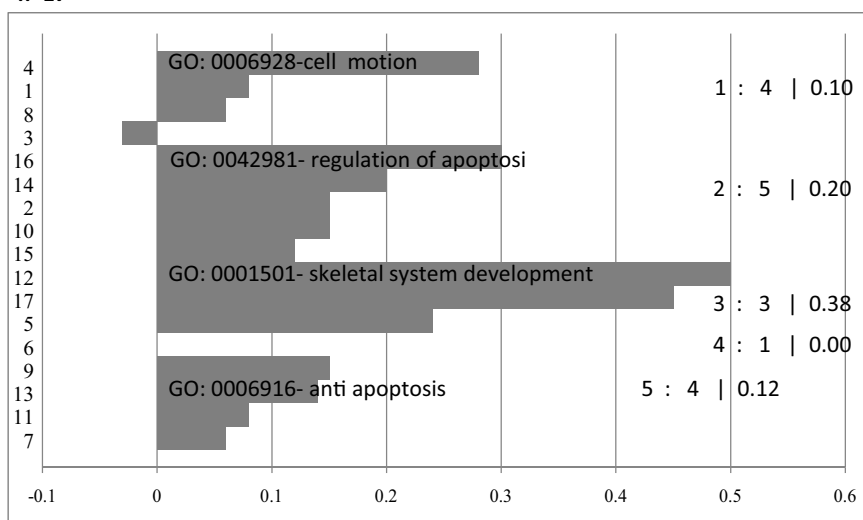
برای آن‌که توانایی روش خوشه‌بندی AGNES را در آشکارسازی الگوهای تفسیر جدید در مجموعه داده‌ها

دکتر حمید علوی مجد و همکاران

جدول ۱. نتایج خوشه‌بندی به روش PAM

| Name | | BP | | CC | | MF | |
|-------------------------------|---------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|
| cluster | Standard name | cluster | Silhouette width | cluster | Silhouette width | cluster | Silhouette width |
| ۱ | CAH2 | ۱ | ۰/۰۹۱ | ۱ | ۰/۱۲ | ۱ | ۰/۱۶ |
| ۲ | SODM | ۲ | ۰/۱۹ | ۲ | ۰/۱۴ | ۱ | ۰/۱۵ |
| ۳ | K2C8 | ۱ | -۰/۰۱۴۲ | ۳ | ۰/۶۶ | ۲ | ۰/۴۵ |
| ۴ | VIME | ۱ | ۰/۲۵ | ۳ | ۰/۶۶ | ۲ | ۰/۴۷ |
| ۵ | SPRC | ۳ | ۰/۲۲ | ۴ | ۰/۵۰ | ۱ | ۰/۱۵ |
| ۶ | DESM | ۴ | ۰/۰۰ | ۱ | ۰/۲۸ | ۲ | ۰/۴۷ |
| ۷ | PRDX2 | ۵ | ۰/۰۵ | ۱ | ۰/۶۵ | ۳ | ۰/۰۰ |
| ۸ | ACTB | ۱ | ۰/۰۶ | ۲ | ۰/۲۴ | ۲ | ۰/۱۴ |
| ۹ | AIAT | ۵ | ۰/۱۸ | ۴ | ۰/۳۰ | ۴ | ۰/۰۱۹ |
| ۱۰ | HSPBI | ۲ | ۰/۱۹ | ۲ | -۰/۲۴ | ۲ | ۰/۳۱ |
| ۱۱ | S10A9 | ۵ | ۰/۰۹۱ | ۲ | ۰/۲۵ | ۱ | ۰/۰۷ |
| ۱۲ | ANXA2 | ۳ | ۰/۴۸ | ۴ | ۰/۳۴ | ۴ | ۰/۴۰ |
| ۱۳ | ANXA5 | ۵ | ۰/۱۶ | ۱ | ۰/۶۵ | ۴ | ۰/۴۰ |
| ۱۴ | PCNA | ۲ | ۰/۲ | ۲ | ۰/۲۵ | ۵ | ۰/۰۰ |
| ۱۵ | CALR | ۲ | ۰/۱۷ | ۲ | -۰/۰۲۲ | ۱ | ۰/۰۹ |
| ۱۶ | PHB | ۲ | ۰/۲۷ | ۲ | ۰/۱۵ | ۲ | ۰/۲۰ |
| ۱۷ | TAGL | ۳ | ۰/۴۴ | ۱ | ۰/۶۵ | ۲ | ۰/۲۴ |
| Number of proteins clustered: | | ۱۷ | | ۱۷ | | ۱۷ | |

PAM clustering for BP
n=17

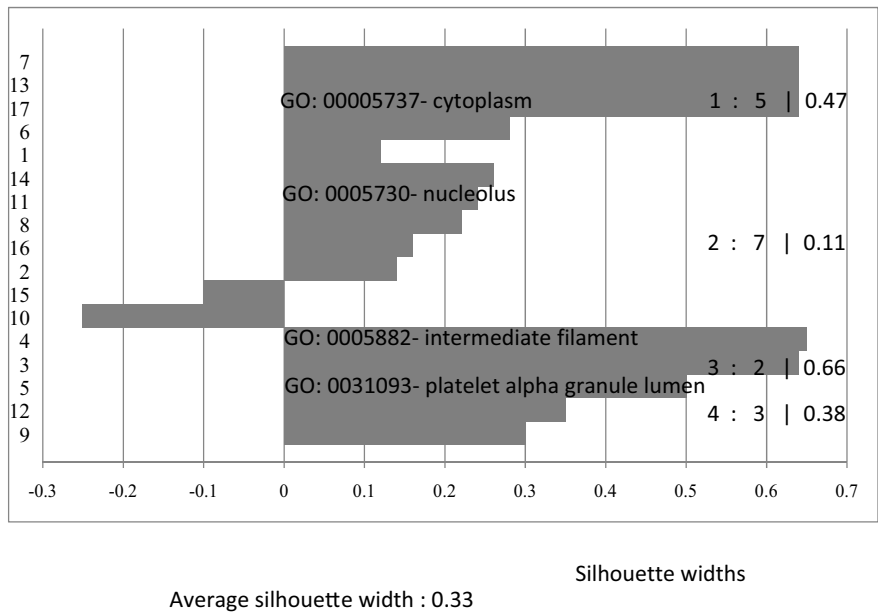


Silhouette widths

Average silhouette width : 018

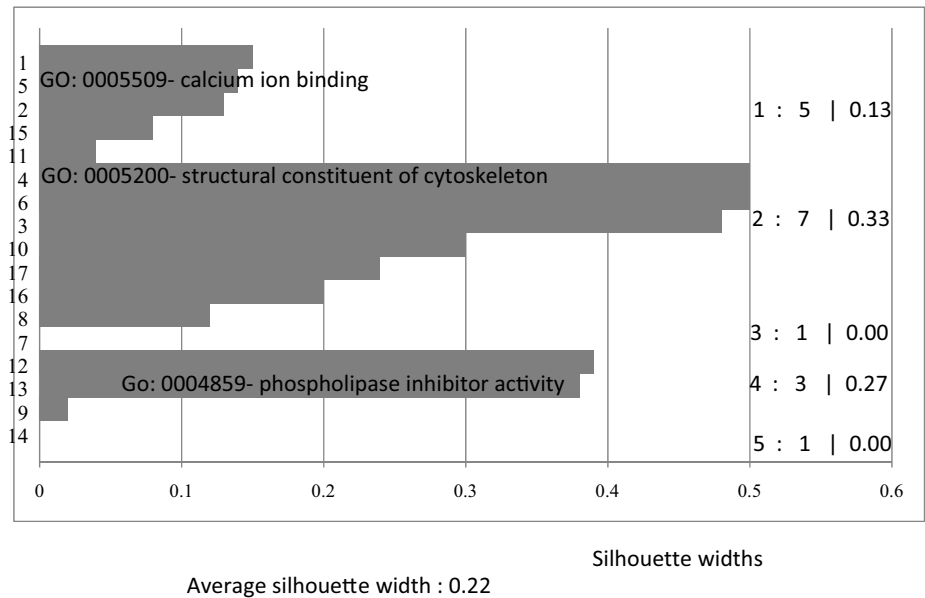
شکل ۱- نمودار سایه‌نما برای خوشه‌بندی PAM براساس BP

PAM clustering for CC
n=17



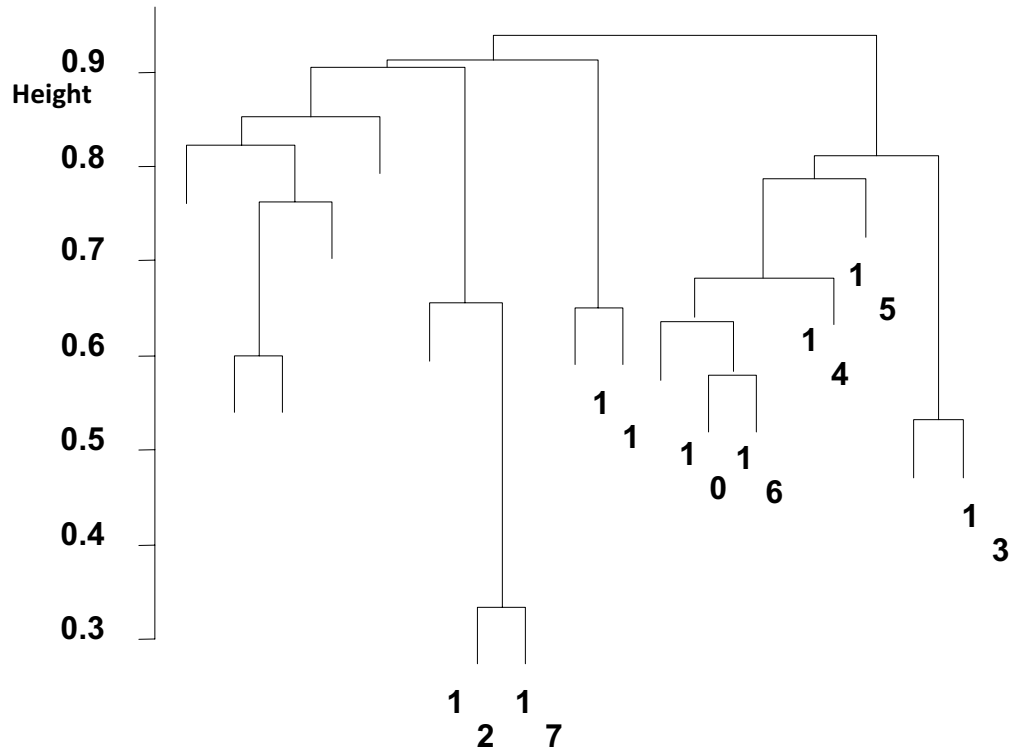
شکل ۲- نمودار سایه‌نما برای خوشه‌بندی PAM براساس CC

PAM clustering for CC
n=17



شکل ۳- نمودار سایه‌نما برای خوشه‌بندی PAM براساس MF

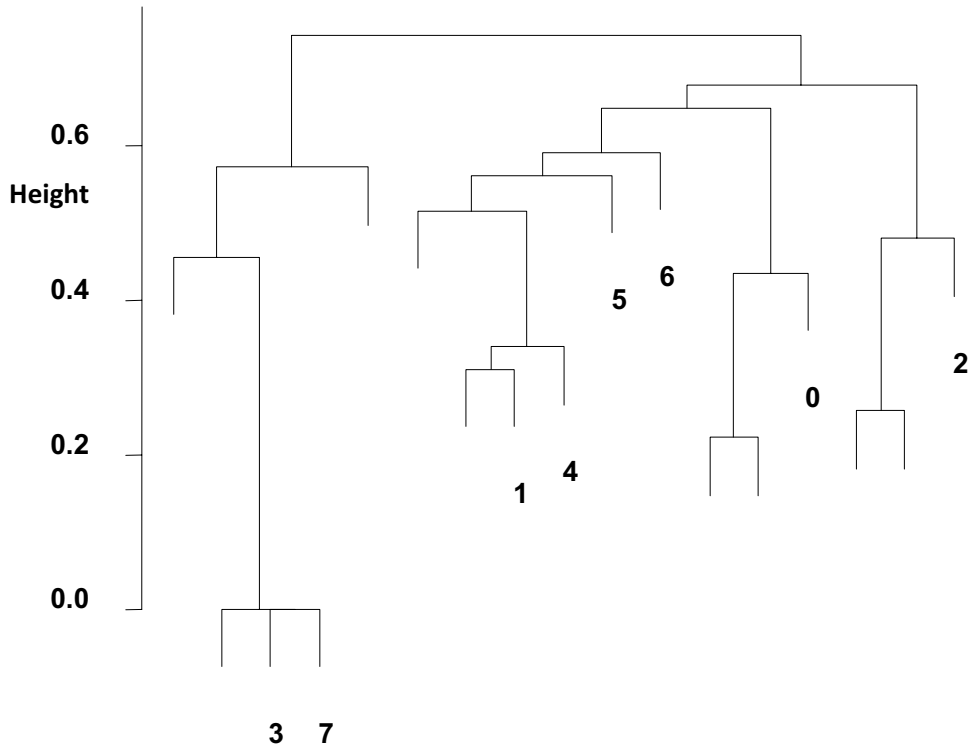
Dendrogram of agnes ("BP")



Agglomerative Coefficient = 0.34

شکل ۴- نمودار دندروگرام برای خوشه‌بندی AGNES براساس BP

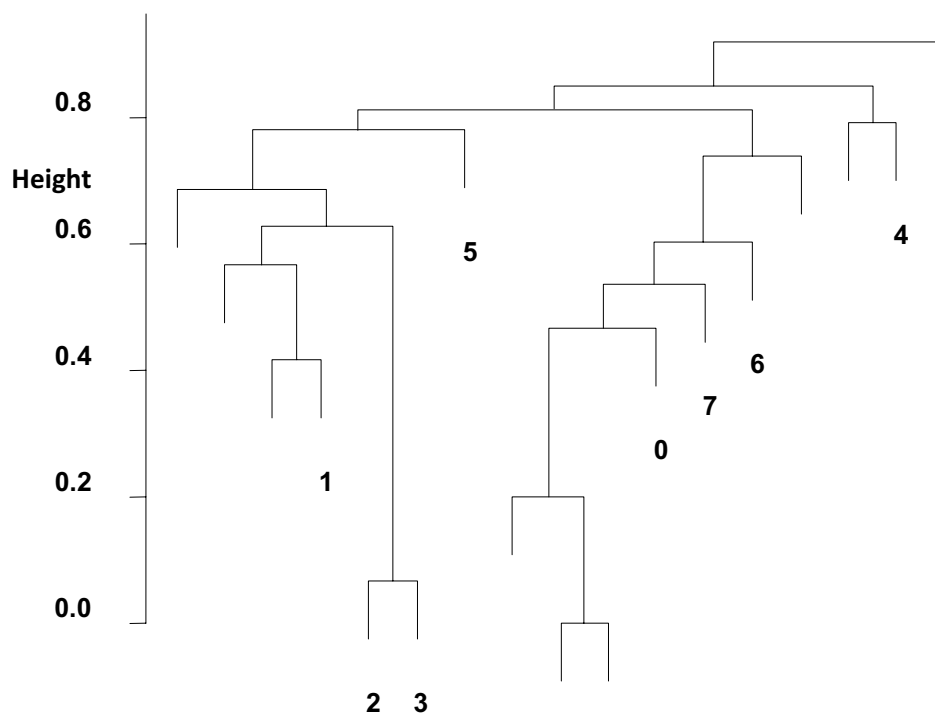
Dendrogram of agnes ("CC")



Agglomerative Coefficient = 0.56

شکل ۵- نمودار دندروگرام برای خوشه‌بندی AGNES براساس CC

Dendrogram of agnes("MF")



Agglomerative Coefficient = 0.49

شکل ۶- نمودار دندروگرام برای خوشه‌بندی AGNES براساس MF

ضعیفی شده‌اند. خوشه سوم BP با $(S_i^C = 0.38)$ خوشه به نسبت خوبی است. بررسی بیشتر نشان می‌دهد، هر سه این پروتئین‌ها در توسعه برخی از اندام‌ها نقش دارند. پروتئین‌های شماره ۵ و ۱۲ در توسعه سیستم اسکلتی و پروتئین ۱۷ نیز در توسعه اندام ماهیچه‌ای نقش دارد. علاوه بر این هر سه این پروتئین‌ها در اتصال به کلسیم نقش دارند. همچنین به‌رغم کوچک شدن عرض خوشه پنجم $(S_i^C = 0.12)$ پروتئین‌های شماره ۹ و ۱۱

همان‌طور که دیده می‌شود ساختارهای خوشه‌بندی براساس MF و BP $(S_i^D = 0.22, S_i^D = 0.18)$ (ساختارهای ضعیفی بوده‌اند و ساختار خوشه‌بندی براساس CC $(S_i^D = 0.33)$ نیز ساختار به نسبت خوبی بوده‌است که البته به تحلیل‌های بیشتر نیاز دارد. مقدار S_i^D برای خوشه‌بندی بر اساس BP مقداری ضعیف و در کل تعداد ۳ مقدار از ۴ مقدار S_i^C مقادیر

پروتئین‌های این خوشه پروتئین‌های بازدارنده آنزیمی هستند.

خوشه‌بندی براساس CC با $S_i^C = 0.33$ ساختار خوشه‌بندی به نسبت متعادلی بوده است. خوشه‌های اول ($S_i^C = 0.47$) و سوم ($S_i^C = 0.66$) دارای عرض خوشه‌های خوبی هستند و به خوبی از بقیه خوشه‌ها جدا شده‌اند. هر پنج پروتئین موجود در این خوشه، در سیتوپلاسم فعالیت دارند. هر دو پروتئین خوشه سوم نیز در سیتوپلاسم و در قسمت Inter Mediate Filament فعالیت می‌کنند، بنابراین به درستی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. اما در مورد پروتئین‌های خوشه چهارم باید گفت، با وجود عرض خوشه متوسط 0.38 ، هر سه پروتئین شماره ۵ و ۹ و ۱۲ در فضای خارج از سلول و در Basement Membrane فعالیت دارند و به درستی در یک خوشه قرار گرفته‌اند. خوشه دوم نسبت به بقیه خوشه‌ها براساس تشابهات CC دارا عرض خوشه کمتری ($S_i^C = 0.11$) است. با وجود کوچکی عرض خوشه، علاوه بر آن‌که پروتئین‌های شماره ۲، ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۵ در سیتوپلاسم فعال هستند، پروتئین‌های شماره ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۴ و ۱۵ نیز در نوکلئوز فعالیت دارند.

بررسی خوشه‌های حاصل از اجرای روش PAM، براساس تشابهات CC نشان می‌دهد، عناصر موجود در این خوشه‌ها از لحاظ کارکرد و شرکت در فرایندهای بیولوژیکی بسیار به یکدیگر نزدیک هستند. پروتئین‌های شماره ۱۳ و ۱۷ درون خوشه اول متصل‌شوندگان به یون‌های کلسیم و پروتئین شماره ۱ متصل‌شونده به یون روی است. اما خوشه دوم، عرض سایه‌نمای

($S_i^C = 0.11$) کوچکی دارد. با این حال، چهار پروتئین از پروتئین‌های این خوشه به شماره‌های ۲، ۱۰، ۱۵ و ۱۶ در تنظیم Apoptosis نقش دارند. خوشه سوم، عرض خوشه ($S_i^C = 0.66$) خوبی داشته‌است و هر دو پروتئین شماره ۳ و ۴ موجود در این خوشه در فرایند بیولوژیکی اثرات متقابل بین اندام‌ها نقش داشته، در سلول‌های ماهیچه‌ای فعالیت دارند. در خوشه چهارم نیز

و ۱۳ درون این خوشه پروتئین‌های بازدارنده هستند. پروتئین‌های شماره ۹ و ۱۱ در فرایند بیولوژیکی Inflammatory Response نقش دارند و پروتئین‌های شماره ۷ و ۱۳ نیز تنظیم‌کننده‌های Apoptosis هستند. در خوشه اول نیز با وجود عرض خوشه کوچک ($S_i^C = 0.10$) پروتئین‌های شماره ۴ و ۳ در اثرات متقابل بین ارگان‌سیم‌ها و پروتئین‌های شماره ۴ و ۸ نیز در حرکت سلول نقش دارند. همچنین پروتئین‌های شماره ۳ و ۸ هر سه در سیتوپلاسم موجودند و دو پروتئین شماره ۳ و ۴ نیز در سلول‌های ماهیچه‌ای فعالیت می‌کنند. خوشه دوم نیز مقدار عرض خوشه کوچکی ($S_i^C = 0.20$) دارد، اما چهار پروتئین شماره ۲، ۱۰، ۱۵ و ۱۶ موجود در این خوشه، در تنظیم Apoptosis نقش دارند.

مقدار S_i^D برای خوشه‌بندی براساس MF نیز مقداری کمتر از 0.25 شده‌است که نشان می‌دهد، ساختار خوشه‌بندی چشمگیری به‌دست‌نیامده‌است. مقدار S_i^C در خوشه‌های سوم و پنجم، صفر شده‌است زیرا در هر کدام از این خوشه‌ها تنها یک پروتئین قرار گرفته‌است. در خوشه اول، $S_i^C = 0.13$ شده‌است که مقدار کوچکی است. به نظر می‌رسد، این خوشه از بقیه خوشه‌ها به خوبی جدا شده‌است. اما با وجود کوچکی عرض خوشه، بررسی نشان می‌دهد، پروتئین‌های شماره ۵، ۱۱ و ۱۵ موجود در این خوشه، متصل‌شوندگان به یون‌های کلسیم و پروتئین‌های شماره ۱ و ۱۵ نیز متصل‌شوندگان به یون‌های روی هستند، بنابراین به درستی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. مقادیر عرض خوشه در خوشه‌های دوم ($S_i^C = 0.33$) و چهارم ($S_i^C = 0.27$) از 0.25 بیشتر شده‌اند. در خوشه دوم، سه پروتئین شماره ۳، ۴ و ۶ در سلول‌های ماهیچه‌ای فعالیت می‌کنند و هر سه به خانواده Inter Mediate Filament تعلق دارند. در خوشه چهارم نیز پروتئین‌های شماره ۱۲ و ۱۳ جزء خانواده Annexin هستند. در ضمن هر سه

پیش از خوشه‌بندی آن‌ها، Term Enrichment توانست تنها ۰/۲۹ (چهار خوشه از چهارده خوشه) از برجسب خوشه‌ها را به‌عنوان غنی‌شده آماری شناسایی کند، بنابراین روش PAM در خوشه‌بندی پروتئین‌ها براساس مشابهت‌های تفاسیر هستیشناسی ژنی و انتخاب عبارات GO پروتئین‌های میدوئید به‌عنوان برجسب خوشه‌ها، توانسته تفسیر بهتری از داده‌ها را در اختیار ما بگذارد و به‌عنوان ابزاری مفید در چهار خوشه (خوشه سوم مربوط به BP و خوشه اول، سوم و پنجم مربوط به MF) الگوهای تفسیر جدیدی را که قبلاً مشخص نشده‌اند، شناسایی کند.

برای اجرای روش خوشه‌بندی AGNES، ماتریس‌های مشابهت برای هر یک از وجوه GO به کمک روش simUI محاسبه و براساس هر یک از وجوه GO خوشه‌بندی اجرا شد. نمودارهای دندروگرام مربوط به این خوشه‌بندی را می‌توان در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ مشاهده کرد. مقادیر ضریب ادغام (Agglomerative Coefficient) برای خوشه‌بندی براساس BP، MF و CC به ترتیب ۰/۳۴، ۰/۴۹ و ۰/۵۶ به‌دست آمده‌اند. براساس مقادیر این ضریب می‌توان گفت، ساختار خوشه‌بندی براساس BP متعادل و براساس MF و CC خوب بوده- است. متوسط عرض نماهای حاصله براساس برش بین دو الی پنج خوشه نیز در جدول ۲ نشان‌داده شده‌است. براساس مقادیر این جدول، تعداد بهینه چهار خوشه برای برش دندروگرام‌ها استفاده می‌شود.

جدول ۲. متوسط عرض سایه‌نمای کل در خوشه‌بندی به روش AGNES

| Number of clusters | BP | MF | CC |
|--------------------|------|------|------|
| 2 | 0/14 | 0/18 | 0/27 |
| 3 | 0/15 | 0/14 | 0/29 |
| 4 | 0/20 | 0/23 | 0/33 |
| 5 | 0/19 | 0/21 | 0/32 |

هایی قوی نبوده‌اند. این ساختارها براساس MF و BP S_i^D (BP $S_i^D=0/19$, MF $S_i^D=0/21$) ضعیف و ساختار

پروتئین‌های شماره ۹ و ۱۲ بازدارنده‌های آنزیمی هستند و پروتئین‌های شماره ۵ و ۱۲ در گسترش سیستم اسکلتی نقش دارند. در ضمن، پروتئین شماره ۹ متصل-شونده به پروتئین‌های شماره ۵ و ۱۲ متصل‌شوندگان به یون‌های کلسیم هستند.

در مجموع می‌توان گفت با وجود آن‌که با استفاده از روش PAM خوشه‌هایی حاصل شده‌است که دارای عرض سایه‌نمای کل کوچکی هستند و ساختارهای خوشه‌بندی چشمگیری مشاهده نشده، اما خوشه‌های حاصل از لحاظ بیولوژیکی مفهوم داشته و به بررسی‌های بیشتر نیاز دارند. به‌خصوص در مورد خوشه‌بندی براساس مؤلفه سلولی، خوشه‌هایی حاصل شده‌است که عناصر آن‌ها از لحاظ کارکرد و شرکت در فرایندهای بیولوژیکی بسیار به یکدیگر نزدیک هستند.

برای ارزیابی اعتبار خوشه‌بندی‌های به‌دست‌آمده از روش PAM، عبارات غنی‌شده آماری خوشه‌ها نرم‌افزار Term Enrichment موجود در وب‌سایت هستی‌شناسی ژنی (P-value=0/05) مشخص شدند. از کل تعداد چهارده خوشه ایجادشده به روش PAM، تعداد هشت خوشه دارای حداقل یک عبارت غنی‌شده آماری بودند. پس از مقایسه آن‌ها با عبارت‌های GO میدوئیدهای خوشه‌ها معلوم شد، برجسب میدوئیدهای صددرصد (هشت خوشه از هشت خوشه) از خوشه‌های تولیدشده به روش PAM، عبارت‌های غنی‌شده برای آن خوشه‌ها هستند. این، نشان‌دهنده مناسبیت انتخاب عبارت‌های GO پروتئین‌های میدوئید به‌عنوان برجسب خوشه‌هاست.

برای بررسی توانایی روش خوشه‌بندی PAM در شناسایی الگوهای جدید، در بررسی مجموعه داده‌ها

ساختار خوشه‌های به‌دست‌آمده از روش سلسله مراتبی، مانند نتایج به‌دست‌آمده از روش PAM، ساختار-

جدول ۳، می‌توان گفت، نتایج برای خوشه‌بندی براساس CC بیشترین تطابق را داشته‌اند. به‌طور کل، نتایج بسیار به یکدیگر نزدیک بوده‌اند. از لحاظ بیولوژیکی، پروتئین‌هایی که در یک خوشه قرار گرفته‌اند مانند نتایج روش PAM، دارای اشتراکات فراوانی هستند و به درستی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند.

خوشه‌بندی براساس CC ($S_i^D = 0/32$) نیز به نسبت متوسط بوده‌است. نتایج به دست آمده با برش دندروگرام-ها در تعداد چهار خوشه، بسیار مشابه نتایج به دست آمده از روش PAM هستند. برای بررسی میزان تطابق نتایج خوشه‌بندی سلسله مراتبی و خوشه‌بندی PAM، اندازه مشابهت کسینوسی (Cosine Similarity Mmeasure) را اندازه‌گیری کردیم. با توجه به نتایج به دست آمده در

جدول ۳. میزان تطابق نتایج خوشه‌بندی PAM و AGNE

| | BP | MF | CC |
|-----------|------|------|------|
| PAM-AGNES | 0/71 | 0/84 | 0/88 |

جدول ۴. ارزیابی نتایج خوشه‌بندی PAM و AGNES

| GO aspects | Clustering methods | Dunn | wb ratio | Hubert gamma |
|------------|--------------------|------|----------|--------------|
| BP | PAM | 0/76 | 0/77 | 0/73 |
| | AGNES | 0/76 | 0/80 | 0/74 |
| MF | PAM | 0/68 | 0/70 | 0/66 |
| | AGNES | 0/85 | 0/70 | 0/69 |
| CC | PAM | 0/61 | 0/65 | 0/65 |
| | AGNES | 0/63 | 0/62 | 0/67 |

از تعداد دوازده خوشه تولید شده به روش AGNES، تعداد هفت خوشه دارای عبارت‌های غنی شده آماری بوده‌اند. از تعداد ۲۹ عبارت غنی شده آماری یافت شده در خوشه‌ها، تعداد ۲۱ عبارت در مجموعه کل داده‌ها به عنوان غنی شده آماری شناسایی نشده‌اند. بنابراین روش AGNES نیز به خوبی روش PAM توانسته، الگوهای جدیدی را شناسایی کند. به منظور مقایسه و ارزیابی دو روش PAM و AGNES از شاخص‌هایی همچون Dunn INDEX، نسبت wb و همبستگی Hubert Gamma استفاده شد. مقدار مطلوب برای این سه شاخص به ترتیب مقادیر دورتر از صفر، نزدیک به صفر و نزدیک به یک خواهد بود. با توجه به نتایج حاصل در جدول ۴، به دلیل نزدیکی مقادیر به یکدیگر هر دو روش، عملکرد بسیار نزدیک به یکدیگر داشته‌اند و می‌توان گفت، براساس این سه شاخص، ساختار خوشه‌بندی‌های حاصل چشمگیر نبوده‌اند. اما باید در نظر داشت، روش‌های خوشه‌بندی PAM و AGNES

براساس تفاسیر GO، به رغم ایجاد عرض سایه‌نمای کل ضعیف، به خوبی توانسته‌اند، الگوهای تفسیر جدیدی را شناسایی کنند که متفاوت از عبارت‌های بیش نشان-داده شده آماری در مجموعه کل داده‌ها بوده‌اند. بنابراین می‌توان گفت، اگر چه براساس منابع موجود در استفاده از روش PAM و AGNES خوشه‌های به وجود آمده با $S_i^C \leq 0.25$ چندان قابل تفسیر نیستند اما چنین چیزی در مورد خوشه‌بندی پروتئین‌ها درست نیست و خوشه‌های با مقادیر کم S_i^C نیز از لحاظ بیولوژیکی خوشه‌هایی قابل تفسیر هستند.

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه مجموعه‌ای از پروتئین‌ها، همواره هدف این است تا به الگوها و روابط و تفاسیری از آن‌ها دست یابیم که شاید ناشناخته مانده باشند. شریل ولتینگ و همکاران در سال ۲۰۰۶ مجموعه‌ای از داده‌های

پروتئینی مربوط به مخمر را به کمک روش خوشه‌بندی تقسیم بندی حول نماینده‌ها براساس تشابهات هستی-شناسی ژنی خوشه‌بندی کردند و داخل خوشه‌ها به الگوهای تفسیر جدید دست یافتند (۱۲). آن‌ها علاقه‌مند بودند، از روش PAM در خوشه‌بندی پروتئین‌های موجودات عالی‌تر استفاده کنند. در این پژوهش با اجرای روش خوشه‌بندی PAM برای تحلیل پروتئین‌های مرتبط با سرطان‌های دستگاه گوارش مشخص شد، تحلیل خوشه‌ای توانسته، الگوهای تفسیر جدیدی را در مجموعه داده‌ها آشکار سازد. همچنین به منظور مقایسه روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی با روش تقسیم‌بندی حول نماینده‌ها با اجرای هر دو روش و تعیین عبارت‌های غنی‌شده آماری مشخص شد، روش‌های خوشه‌بندی PAM و AGNES توانسته‌اند زیرمجموعه‌های کوچکی را داخل داده‌ها ایجاد کنند که با تعیین عبارت GO پروتئین می‌دوئید به‌عنوان برچسب نماینده آن خوشه، به الگوهای جدیدی دست یابیم که با نگاه کلی به داده‌ها به چشم نیامده‌اند. این الگوهای شناسایی‌شده، ما را به مطالعات و پی‌گیری آزمایش‌های بیشتر برای بررسی مکانیسم‌ها و تأثیر وجود اثرات متقابل در غربالگری آرایه پروتئین‌ها ترغیب می‌کند.

از آنجا که در بررسی کل داده‌ها تنها توانستیم چهار عبارت از هشت عبارت برچسب می‌دوئید غنی‌شده آماری به‌دست‌آمده از خوشه‌بندی PAM را مشخص کنیم، خود نشان‌دهنده آن است که مطالعه کلی پروتئین‌ها نتوانسته در مورد ارتباطات بین زیرمجموعه‌های کوچک‌تر، ایده‌های چندانی بدهد، بنابراین در چهار خوشه از هشت خوشه تولیدشده به روش PAM، به نتایجی مبنی بر وجود الگوهای جدید کشف‌نشده در مجموعه داده‌ها می‌رسیم. با توجه به این که برچسب خوشه سوم حاصل از اجرای روش PAM، براساس BP در بررسی کلی داده‌ها در وب‌سایت GO به‌عنوان عبارت غنی‌شده آماری شناسایی نشده‌است، بنابراین یک مجموعه از داده‌ها را شناسایی کرده‌ایم که نشان‌دهنده وجود الگوهای جدیدی هستند که قبلاً مشاهده

نشده‌اند، پس لازم است، این خوشه بیشتر مرد تحلیل شود.

همچنین برچسب خوشه اول حاصل از اجرای روش PAM براساس MF نیز در مطالعه کلی داده‌ها به‌عنوان یک عبارت غنی‌شده آماری شناسایی نشد که این خوشه نیز باید بیشتر بررسی شود. در روش خوشه‌بندی AGNES نیز ۲۱ عبارت از ۲۹ عبارت GO غنی‌شده آماری یافت‌شده در خوشه‌ها، در مجموعه کل داده‌ها شناسایی نشده‌اند که به مطالعه بیشتر نیاز دارند. روش‌های خوشه‌بندی PAM و AGNES دارای نتایج بسیار مشابهی شدند و ارزیابی‌ها نیز نشان داد، هر دو روش عملکرد به‌نسبت مشابهی داشته‌اند. شاید بتوان گفت، روش PAM به دلیل معرفی نماینده‌ای برای هر خوشه دقیق‌تر عمل کرده در حالی که روش AGNES ساده‌تر بوده‌است. همچنین پروتئین‌های شماره ۳ و ۴ در تمامی خوشه‌بندی‌ها در کنار یکدیگر قرار گرفتند و به نظر می‌رسد، ارتباط خاصی بین این سرطان‌ها و این دو پروتئین برقرار باشد و لازم است این دو پروتئین بیشتر مطالعه شوند. بررسی بیشتر خوشه‌های حاصل از خوشه‌بندی‌های PAM و AGNES براساس CC، نشان داد، پروتئین‌های قرارگرفته در هر خوشه از لحاظ عملکرد و فرایندهای بیولوژیکی که در آن‌ها نقش دارند دارای تشابهات بسیاری هستند که خود تأمل‌برانگیز است. شاید با مطالعات بیشتر بتوان گفت، چنانچه مجموعه‌ای از پروتئین‌ها را داشته باشیم که مکان آن‌ها در سلول مشخص باشد، با خوشه‌بندی آن‌ها براساس CC، بتوان خوشه‌هایی تولید کرد که پیش‌بینی کنند، پروتئین‌های موجود در هر خوشه دارای کارکردهای مشترکی هستند یا در فرایندهای بیولوژیکی مشابهی نقش دارند.

تشکر و قدردانی

این مقاله، حاصل طرح تحقیقاتی مشترک بین گروه آمار زیستی و مرکز تحقیقات پروتئومیکس دانشکده پیراپزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی است که به‌دین‌وسيله از هیئت رئیسه محترم دانشکده پیراپزشکی برای تأمین بودجه طرح پژوهشی، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

منابع

- 1- Tavoli A, Montazeri Ali, Mohagheghi MA, Roushan Rasoul, Tavoli Z, Meliani M. Role of information of cancer diagnosis in the quality of patients life are affected by digestive system cancer. Payesh, 6'th Year, No.3, 1386.
- 2- Are the number of cancer cases increasing or decreasing in the world?, April 2008, Available from World health organization:
<http://www.who.int/features/qa/15/en/index.html>.
- 3- Parkin DM. Epidemiology of cancer: global patterns and Trends. Toxicol Lett 1998; 227:102-103.
- 4- M. Rezaei Tavirani, A. Marashi, F. Ghalanbar, M. Mostafavi. Proteomics. Andishe Zohoor Publication, 1384.
- 5- Khatri P, Draghici S. Ontological analysis of gene expression data: current tools, limitations, and open problems. Bioinformatics 2005; 21:3587-3595.
- 6- Boris Andryan, Reinhard Schuch. Gene-Ontology-based clustering of gene expression data. Bioinformatics 2004; vol.20.no.16.
- 7- Popescu M, Keller IM, Mitchell JA, Bezdek JC. Functional summarization of gene produced clusters using Gene Ontology similarity measures. Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference; 2004, 553-558.
- 8- Hugo Bastos, Daniel Faria, Catia pesquita and Andreo Flacao. Using GO terms to evaluate protein clustering. In ISMB/ECCB 2007 SIG Meeting Program Materials, July 2007; pages 107-110.
- 9- Kristian Ovaska, Marko Laakso and Sampsa Hautaniemi. Fast Gene Ontology based clustering for microarray experiments. BioData Mining 2008; 1:11.
- 10- Nasibeh Khaier, Mostafa Rezaei-Tavirani, Amir Rostami. Proteomics analysis of included proteins in esophagus, stomach and colon cancer. 10th Iranian congress of Biochemistry and 3th international congress of Biochemistry and Molecular Biology; Tehran, 2009.
- 11- Search the Gene Ontology database, 2009 May-June, Available from <http://amigo.geneontology.org/cgi-bin/amigo/go.cgi>
- 12- Cheryl Wolting, C Jane McGlade, and David Trichler. Cluster analysis of protein array results via similarity of Gene Ontology Annotation. BMC Bioinformatics July 2006; Vol. 7.
- 13- Lord PW, Stevens RD, Brass A, Goble CA. investigating semantic similarity measures across the Gene Ontology: the relationship between sequence and annotation. Bioinformatics 2003; 19:1275-1283.
- 14- Leonard Kaufman, Peter J. Rousseeuw. Finding Groups in data- An Introduction to Cluster Analysis. John Wiley & Sons, Inc. Publication, ISBN 0-471-73578-7.
- 15- Richard A. Johnson, Dean W. Wichern. Applied Multivariate Statistical Analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey; 1988.
- 16- Susmita Datta, Somnath Datta. Methods for evaluating clustering algorithms for gene expression data using a reference set of functional classes. Department of Bioinformatics and Biostatistics, University of Louisville, Louisville, KY 40202, USA, 2006.
- 17- Sneath, P.H.A. and Sokal, R.R. Numerical Taxonomy: The Principles and Practice of Numerical Classification, p. 278 ff; Freeman, San Francisco, 1973.
- 18- Haldiki M, Batistakis Y, Vazirgiannis M. Cluster validity methods, SIGMOD, Record 31, 40-45, 2002.
- 19- Milligan, G. W. and Cooper MC. An examination of procedures for determining the number of clusters. Psychometrika, 50, 159-179, 1985.
- 20- Gordon A. D. (1999) Classification, 2nd ed. Chapman and Hall, 1999.
- 21- Michael J. Crawley. The R Book. Imperial College London at Silwood Park, UK, 2007.
- 22- The R Project for Statistical Computing Available from: URL: <http://www.r-project.org>, Version 2.8.