





دانشکده علوم ریاضی

پایان نامه کارشناسی ارشد آمار ریاضی

ساخت شاخص های نقدشوندگی مرکب با استفاده از نظریه مفصل

نگارنده: نجمه جعفرزاده

استادان راهنما

دکتر احمد نزاکتی رضازاده
دکتر محمد میر باقری جم

استاد مشاور
دکتر حسین باغیشنی

بهمن ۱۳۹۹

تقديم به:

امام زمان عجل الله تعالى فرجه الشريف

سپاس‌گزاری...

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم مفتخرمان نمود و خوشه‌چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

تشکر و سپاس از اساتید محترم و فرهیخته‌ام جناب آقای دکتر نزاکتی رضازاده و جناب آقای دکتر میرباقری‌جم و هم‌چنین جناب آقای دکتر باغیشنی که از محضر پرفیضشان، بهره‌ها برده‌ام.

و سپاس آخر را به مهربان‌ترین همراهان زندگی‌ام، به پدر و مادر عزیزم تقدیم می‌کنم که حضورشان در فضای زندگی‌ام مصداق بی‌ریای سخاوتمند بوده است.

نجمه جعفرزاده

بهمن ۱۳۹۹

تعهد نامه

اینجانب **نجمه جعفرزاده** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آمار ریاضی دانشکده علوم ریاضی دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده پایان نامه با عنوان **ساخت شاخص های نقدشوندگی مرکب با استفاده از نظریه مفصل**، تحت راهنمایی **احمد نزاکتی رضازاده** و **محمد میر باقری جم** متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های دیگر پژوهش گران، به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب این پایان نامه، تا کنون توسط خود، یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارایه نشده است.
- حقوق معنوی این اثر، به دانشگاه صنعتی شاهرود تعلق دارد، و مقالات مستخرج با نام “دانشگاه صنعتی شاهرود” یا “Shahrood University of Technology” به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده اند، در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در تمام مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته (یا استفاده شده است)، اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

نجمه جعفرزاده

بهمن ۱۳۹۹

مالکیت نتایج و حق نشر

- تمام حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی، در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در این پایان نامه بدون ذکر منبع مجاز نمی باشد.

چکیده

نقدشوندگی مفهومی چندبعدی است که از جهات مختلف تصمیمات سرمایه گذاری فعالان بازار را تحت تأثیر قرار می دهد. مهم ترین ابعاد نقدشوندگی عبارتست از عمق، سختی، وسعت، فوریت معامله و انعطاف پذیری آن است. شاخص های متعددی برای سنجش سطح نقدشوندگی وجود دارد که هر کدام از این شاخص ها بر یک یا چند بعد از نقدشوندگی تأکید دارند. تعدد شاخص های نقدشوندگی و ابعاد نقدشوندگی اتخاذ تصمیم سرمایه گذاران در انتخاب پرتفوی بر مبنای ریسک نقدشوندگی را با مشکل مواجه می سازد. لذا در راستای رفع این مشکل در این تحقیق ما بر اساس توابع مفصل R-Vine یک شاخص نقدشوندگی مرکب ساخته ایم این شاخص نقدشوندگی مرکب به نوعی شاخص های متعدد نقدشوندگی را پوشش می دهد. ساخت یک شاخص نقدشوندگی مرکب این امکان را فراهم ساخت تا بتوانیم سطح نقدشوندگی یک نماد معاملاتی و یک سبد سهام را به سادگی محاسبه کنیم. جهت اعتبار سنجی تحقیق از داده های لحظه ای معاملات و مظنه های برتر بورس از تاریخ ۲۰۱۶/۱/۱ تا تاریخ ۲۰۱۹/۱/۱ استفاده نموده ایم. و شاخص های سختی معامله برای نمادهای معاملاتی و سبد سهام نمونه محاسبه شده است.

کلمات کلیدی: ابعاد نقدشوندگی، شاخص های نقدشوندگی، سختی معامله، شاخص های نقدشوندگی مرکب، نقدشوندگی سبد سهام، توابع مفصل R-Vin

فهرست مطالب

ف	فهرست تصاویر
ق	فهرست جداول
۱	۱ بیان مسئله
۱	۱.۱ مقدمه
۱	۲.۱ تعریف نقدشوندگی و مفهوم آن
۲	۳.۱ اهمیت نقدشوندگی سرمایه
۳	۴.۱ هزینه های نقدشوندگی
۳	۱.۴.۱ هزینه های مستقیم معاملات
۳	۲.۴.۱ هزینه های تاثیر قیمتی
۳	۳.۴.۱ هزینه های جستجو و تأخیر
۳	۵.۱ منابع عدم نقدشوندگی
۴	۱.۵.۱ هزینه های برونی معاملات
۴	۲.۵.۱ فشار تقاضا
۴	۳.۵.۱ ریسک موجودی
۵	۴.۵.۱ عدم تقارن اطلاعاتی
۵	۵.۵.۱ موانع جستجو
۵	۶.۱ ابعاد نقدشوندگی
۶	۱.۶.۱ وسعت
۶	۲.۶.۱ عمق
۶	۳.۶.۱ فوریت معامله
۶	۴.۶.۱ انعطاف پذیری
۷	۵.۶.۱ سختی
۱۰	۷.۱ شاخص های نقدشوندگی
۱۰	۱.۷.۱ شاخص های یک بعدی

۱۱	شاخص‌های چند بعدی	۲.۷.۱
۱۵	محاسبه شاخص نقدشوندگی سرمایه	۸.۱
۱۵	مبنای محاسبات شاخص‌ها	۱.۸.۱
۱۹	نوع داده‌های مورد نیاز	۲.۸.۱
۲۲	سطح نقدشوندگی نماد معاملاتی	۳.۸.۱
۲۲	سطح نقدشوندگی سبد سهام	۴.۸.۱
۲۲	سطح نقدشوندگی کل بازار	۵.۸.۱
۲۲	نرم افزارهای مورد استفاده در تحقیق	۹.۱
۲۳	مطالعات پیشین	۱۰.۱
۲۳	داخلی	۱.۱۰.۱
۲۳	خارجی	۲.۱۰.۱
۲۶	خلاصه فصل	۱۱.۱
۲۷	توابع مفصل	۲
۲۷	مقدمه	۱.۲
۲۸	تعریف آماری تابع مفصل	۲.۲
۳۱	توابع مفصل و مدل سازی ساختار بین متغیرها	۳.۲
۳۲	سنجش وابستگی بین متغیرها	۱.۳.۲
۳۳	برخی از مفصل های مهم	۴.۲
۳۴	توابع مفصل بیضوی	۱.۴.۲
۳۴	تابع مفصل ضربی	۲.۴.۲
۳۵	خانواده توابع مفصل ارشمیدسی	۳.۴.۲
۳۹	مفصل تی استیودنت	۴.۴.۲
۳۹	مفصل کلایتون	۵.۴.۲
۴۰	مفصل گامبل	۶.۴.۲
۴۰	تابع مفصل فرانک	۷.۴.۲
۴۰	تابع مفصل جو	۸.۴.۲
۴۱	تابع مفصل کلایتون - گامبل	۹.۴.۲
۴۱	تابع مفصل جو- کلایتون	۱۰.۴.۲
۴۱	تابع مفصل هماهنگی	۱۱.۴.۲
۴۱	تابع مفصل ناهماهنگی	۱۲.۴.۲
۴۲	تابع مفصل FGM	۱۳.۴.۲
۴۲	تابع مفصل مقدار فرین	۱۴.۴.۲
۴۳	توابع مفصل ارشمیدسی سلسله مراتبی	۱۵.۴.۲

۴۴	توابع مفصل وین	۱۶.۴.۲
۵۰	الگوریتم روش کار	۵.۲
۵۲	خلاصه فصل	۶.۲
۵۳	۳ اعتبار سنجی تحقیق	
۵۳	۱.۳ مقدمه	
۵۳	۲.۳ نتایج محاسبه شاخص های نقدشوندگی برای یک نماد معاملاتی	
۵۴	۱.۲.۳ برخی از نتایج شاخص های نقدشوندگی سختی معامله	
	۳.۳ نتایج ساخت شاخص مرکب نقدشوندگی برای یک نماد معاملاتی با توابع	
۵۷	مفصل آر-وین	
۵۷	۱.۳.۳ بتا ماتریس	
۶۰	۲.۳.۳ ضریب همبستگی بین شاخص های نقدشوندگی (سختی معامله)	
۶۱	۳.۳.۳ ساختار وابستگی بین شاخص های نقدشوندگی (سختی معامله)	
	۴.۳ نتایج ساخت شاخص مرکب نقدشوندگی برای سبدسهم با تابع مفصل آر-	
۶۵	وین	
	۱.۴.۳ ساختار وابستگی نقدشوندگی بین نمادهای تشکیل دهنده سبد	
۶۸	سهم	
۷۰	۲.۴.۳ سطح نقدشوندگی سبدسهم	
۷۲	۵.۳ نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات	
۷۳	۶.۳ محدودیت های تحقیق	
۷۵	مراجع	
۸۵	آ کدهای برنامه نویسی	
۱۰۳	ب خروجی های نرم افزار R	

فهرست تصاویر

۸	۱.۱	نمودار ابعاد نقدشوندگی
۲۰	۲.۱	داده‌های مظنه بورس
۲۱	۳.۱	داده‌های معامله بورس
۳۲	۱.۲	شکل‌های مفصل‌های دو بعدی با ساختار همبستگی متفاوت
۴۷	۲.۲	شکل‌های ساختار وابستگی دسته D-Vine
۴۷	۳.۲	شکل‌های ساختار وابستگی دسته C-Vine
۴۷	۴.۲	شکل‌های ساختار وابستگی دسته R-Vine
۶۰	۱.۳	نمودار ضریب همبستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی
۶۲	۲.۳	نمودار ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی معامله (Tightness)
	۳.۳	شکل وابستگی تابع مفصل جفت جفت شاخص‌های نقدشوندگی در بعد سختی معامله (Tightness)
۶۳	۴.۳	نمودار سطح شاخص مرکب نقدشوندگی سختی معامله (Tightness) برای نماد معاملاتی وملت
۶۴	۵.۳	جدول ترکیب پرتفوی بورسی شرکت سرمایه‌گذاری وملت
۶۶	۶.۳	نمودار ساختار وابستگی شاخص نقدشوندگی سختی معامله (Tightness) بین دارایی‌های سبد سرمایه‌گذاری
۶۹	۷.۳	شکل تابع مفصل دومتغیره شاخص‌های نقدشوندگی سختی معامله (Tightness) بین جفت دارایی
۷۰	۸.۳	نمودار سطح نقدشوندگی شاخص مرکب سختی معامله (Tightness) برای سبد سرمایه‌گذاری در افق زمان
۷۱		

فهرست جداول

۱۳	شاخص‌های یک بعدی	۱.۱
۱۴	شاخص‌های چند بعدی	۲.۱
۳۴	خانواده توابع مفصل بیضوی	۱.۲
۳۷	خلاصه ویژگی‌های برخی از توابع مفصل دو متغیره	۲.۲
۳۸	خانواده توابع مفصل ارشمیدسی تک پارامتری و دو پارامتری	۳.۲
۵۴	شناسه نماد معاملاتی "وملت"	۱.۳
	نتایج شاخص‌های نقدشوندگی سختی معامله (Tightness) برای نماد معاملاتی "وملت"	۲.۳
۵۵	ادامه نتایج شاخص‌های نقدشوندگی سختی معامله (Tightness) برای نماد معاملاتی "وملت"	۳.۳
۵۶	ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی معامله (Tightness)	۴.۳
۶۱	برای نماد معاملاتی "وملت"	
۶۵	سهم دارایی‌های تشکیل دهنده پرتفوی بورسی شرکت سرمایه‌گذاری وملت	۵.۳
	نتایج شاخص نقدشوندگی مرکب سختی معامله (Tightness) محاسبه شده برای هریک از دارایی‌های تشکیل دهنده پرتفوی بورسی شرکت سرمایه‌گذاری وملت	۶.۳
۶۷	درختواره ۱، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای سبد سهام	۷.۳
۶۸	Names of 316 Trading Symbols	۱.آ
۸۵	درختواره ۱، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای یک نماد معاملاتی	۱.ب
۱۰۴	درختواره ۲، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای یک نماد معاملاتی	۲.ب

ب.۳	درختواره ۳، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای	
۱۰۵	یک نماد معاملاتی	.....
ب.۴	درختواره ۴، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای	
۱۰۵	یک نماد معاملاتی	.....
ب.۵	درختواره ۵، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای یک	
۱۰۵	نماد معاملاتی	.....
ب.۶	درختواره ۶، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای	
۱۰۶	یک نماد معاملاتی	.....
ب.۷	درختواره ۷، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای	
۱۰۶	یک نماد معاملاتی	.....
ب.۸	درختواره ۸، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای	
۱۰۶	یک نماد معاملاتی	.....
ب.۹	درختواره ۹، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای	
۱۰۶	یک نماد معاملاتی	.....
ب.۱۰	درختواره ۱۰، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای	
۱۰۷	یک نماد معاملاتی	.....
ب.۱۱	درختواره ۱۱، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای	
۱۰۷	یک نماد معاملاتی	.....
ب.۱۲	درختواره ۱، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای	
۱۰۷	سبد سهام	.....
ب.۱۳	درختواره ۲، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای	
۱۰۸	سبد سهام	.....
ب.۱۴	درختواره ۳، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای	
۱۰۸	سبد سهام	.....
ب.۱۵	درختواره ۴، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای	
۱۰۸	سبد سهام	.....
ب.۱۶	درختواره ۵، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای	
۱۰۸	سبد سهام	.....

فصل ۱

بیان مسئله

۱.۱ مقدمه

شاخص‌های متعددی برای سنجش نقدشوندگی^۱ سهام وجود دارد. نقدشوندگی یک مفهوم چندبعدی است و ابعاد آن شامل پنج بعد است. برای سرمایه‌گذار یا سیاست‌گذار یا سهام‌دار، دانستن سطح نقدشوندگی سبد سهام یا سرمایه مهم است. چون سبدي که نقدشوندگی آن بالاست فروش آن بالاست و تبدیل به پول نقد می‌شود. مسئله این است که تعدد شاخص‌ها و تعدد ابعاد نقدشوندگی، تعدد تصمیم‌گیری سرمایه‌گذار یا سهام‌دار را راجع به نقدشوندگی مشکل می‌کند. در این تحقیق اولاً شاخص‌های نقدشوندگی را برای یک شرکت خاص به صورت یک شاخص مرکب در می‌آوریم، دوماً یک سبد دارایی، مرکب از چند نوع سهام است که هر سهام شاخص نقدشوندگی آن با بقیه فرق دارد. در نتیجه در این تحقیق نقدشوندگی یک سبد سهام را می‌سنجیم و محاسبه می‌کنیم.

۲.۱ تعریف نقدشوندگی و مفهوم آن

تعریف، مفهوم نقدشوندگی و اندازه‌گیری آن ساده نیست. زیرا تعریف واحد و توافق شده‌ای برای آن ارائه نشده است. به طور ساده، نقدشوندگی به معنی امکان تبدیل یک دارایی به دارایی

¹Liquidity

دیگر در بازه زمانی کوتاه و بدون ایجاد ضرر ناشی از تغییرات قیمت است. اسچموکلو، یاتی و هورن بازار نقد را جایی می‌دانند که در آن، امکان اجرای حجم بالایی از معاملات بدون ایجاد تأثیر معنی‌دار قیمت، برای مشارکت کنندگان وجود دارد [۱].

تعریف ساده دیگر از نقدشوندگی در بازارهای سفارش مالی، توانایی در جذب آسان جریان سفارش‌های خرید و فروش است هر چند شن و استار^۱ عقیده دارند که این تعریف نمی‌تواند تمام مشخصات نقدشوندگی را بیان دارد زیرا نقدشوندگی مفهومی چندبعدی است [۹۳].

علاوه بر این، تعاریف ارائه شده برای نقدشوندگی با روش‌های مورد استفاده برای محاسبه آن یکسان نیستند. برای نمونه بی‌کر^۲ در مطالعه خود، ارتباط عمق بازار را به روش عرضه و تقاضا بیان می‌کنند [۲۳]. در حالی که این معیار شاخصی برای به دست آوردن عرض بازار است. برای یک مشارکت کننده منفرد، بازار نقد جایی است که او بتواند حجم بسیار زیادی از معامله را به سرعت و با کمترین تأثیر ممکن بر قیمت انجام دهد. درحالی که نقدشوندگی از دیدگاه بازار، کل حجم عرضه و تقاضا مؤثر بازار می‌باشد. عرضه و تقاضا مؤثر به نیازهای معاملاتی هر مشارکت کننده در یک زمان خاص مربوط است که لزوماً در دفتر ثبت سفارش به دلیل وجود هزینه‌های معاملاتی ضمنی منعکس نمی‌شود.

۳.۱ اهمیت نقدشوندگی سرمایه

درک و بررسی نقدشوندگی به واسطه نقش و تأثیرات متعدد آن در بازار سرمایه حائز اهمیت می‌باشد. نقدشوندگی در کنار عواملی مانند افشا و عدم تقارن اطلاعاتی نقش مهمی را در کیفیت یک بازار به ویژه سهام می‌تواند ایجاد کند [۴۹].

یک ویژگی مهم اوراق بهادار نقدشوندگی می‌باشد که از جنبه‌های مختلف دارای اهمیت است، از آنجایی که فقدان آن ریسک نقدشوندگی را تحت تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین بر بازده مورد انتظار سهم و قیمت آن تأثیر گذاشته و از این نظر نقدشوندگی نقش مهمی در تعیین هزینه سرمایه بنگاه دارد.

هرچه سهام یک بنگاه، قدرت نقدشوندگی بیشتری داشته باشد، صرف بازده ناشی از عدم نقدشوندگی سهام کاهش یافته و این امر به هزینه سرمایه کمتر و ارزش بازار بالاتر منجر خواهد شد. بنگاه‌های با سهام نقدشونده‌تر، انگیزه بیشتری برای انتشار سهام دارند و هر شرایطی که بتواند هزینه خالص حقوق صاحبان سهام را کاهش دهد، باعث جذابیت بیشتر حقوق صاحبان سهام نسبت به بدهی می‌شود که این امر باعث درصد کمتر بدهی و کم رنگ شدن نقش آن در ساختار سرمایه می‌گردد [۹۷].

¹Shen and Starr

²Baker

۴.۱ هزینه های نقدشوندگی

به هزینه های انجام یک معامله در بازار سرمایه هزینه های نقدشوندگی گفته می شود [۶۹]. آمیهود نقدشوندگی را در یک دسته بندی کلی به هزینه های مستقیم معاملات، هزینه های تأثیر قیمتی و هزینه های جستجو و تأخیر تقسیم می کند [۲۱].

۱.۴.۱ هزینه های مستقیم معاملات^۱

این نوع هزینه ها کاملاً شهودی می باشند و برای نمونه می توان به هزینه های مربوط به کمیسیون کارگزاری، هزینه های معاوضه و نیز مالیات اشاره کرد [۱۶].

۲.۴.۱ هزینه های تأثیر قیمتی^۲

این هزینه ها به صرف قیمت در زمان خرید و کسر قیمت در هنگام فروش اشاره دارد و می تواند به طور بالقوه بزرگ باشد. هزینه های اثر قیمتی با درجه عدم تقارن اطلاعاتی در ارتباط می باشد، به این صورت که عدم تقارن اطلاعاتی بالاتر منجر به اثر قیمتی شده و هزینه های معاملاتی بالاتری را در پی خواهد داشت. ریسک موجودی از مواردی می باشد که هزینه های اثر قیمتی را تحت تأثیر قرار می گذارد [۱۶].

۳.۴.۱ هزینه های جستجو و تأخیر^۳

این هزینه ها برای زمانی می باشد که معامله کننده در جستجوی قیمت های بهتر از قیمت های پیشنهاد شده در بازار می باشد. هم چنین این هزینه ها ممکن است در زمانی که سرمایه گذار به دنبال پرهیز از هزینه های اثر قیمتی می باشد، ایجاد شود. به عبارت دیگر هزینه های جستجو و تأخیر وقتی بر سرمایه گذار وادار می شود که معاملات به سرعت و با فوریت انجام نشود [۱۶].

۵.۱ منابع عدم نقدشوندگی

عدم نقدشوندگی^۴ اوراق بهادار دلایل مختلفی می تواند داشته باشد. هزینه های برونی معاملات، فشار تقاضا، ریسک موجودی، عدم تقارن اطلاعاتی و موانع جستجو از منابع عدم نقدشوندگی می باشد [۳۵]. تمامی منابع عدم نقدشوندگی، هزینه هایی را بر صاحب سرمایه تحمیل می کنند و از آنجا که سرمایه گذاران، جبرانی را برای نگهداری سرمایه خود تقاضا می کنند، این هزینه های

^۱Direct Trading Costs

^۲Price-Impact Costs

^۳Search and Delay Costs

^۴illiquidity

عدم نقدشوندگی باید در قیمت سرمایه اعمال شود. در زیر منابع عدم نقدشوندگی بیان شده است [۱۶].

۱.۵.۱ هزینه‌های برونی معاملات^۱

از منابع مشهود عدم نقدشوندگی^۲ هزینه‌های معاملاتی می‌باشد. برای نمونه می‌توان به هزینه‌های مربوط به فرایند سفارش، هزینه‌های کارگزاری و مالیات اشاره کرد. این هزینه‌ها، اثر مستقیمی بر سود معامله گران می‌گذارند و هر دو طرف خریدار و فروشنده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به همین علت این هزینه‌ها، نمادی از اصطحکاک در بازار سرمایه می‌باشند و می‌توان آن‌ها را به عنوان منابع عدم نقدشوندگی بیان کرد [۳۵].

۲.۵.۱ فشار تقاضا^۳

یکی دیگر از منابع مهم عدم نقدشوندگی فشار تقاضا می‌باشد. این امر به عمق بازار یک دارایی اشاره می‌کند و بیان کننده امکان فروش حجم بالایی از یک دارایی به شکلی سریع و بدون کاهش قیمت است. بخشی از تأثیر قیمتی ممکن است اطلاعاتی باشد. در صورتی که یک سرمایه‌گذار اقدام به یک معامله بزرگ کند، این امکان وجود دارد که سایر سرمایه‌گذاران در بازار احساس کنند که این سرمایه‌گذار دارای بعضی اطلاعات جدید و محرمانه می‌باشد. این موضوع فشاری رو به بالا بر قیمت سهام می‌تواند ایجاد کند. این تأثیر قیمتی نمی‌تواند پایدار بماند و در حالتی که بازار از کارایی لازم برخوردار باشد، قیمت‌ها مجدداً به حالت تعادل می‌گردند [۳۵].

۳.۵.۱ ریسک موجودی^۴

ریسک موجودی، عمیقاً با فشار تقاضا در ارتباط می‌باشد. در حالتی که بازار برای یک سهام خیلی عمیق نیست، سرمایه‌گذار خود را در وضعیتی می‌یابد که هیچ خریداری در بازار برای نقد نمودن سریع حجم مشخصی از سهام وجود ندارد. سرمایه‌گذار به جای منتظر ماندن برای یافتن یک خریدار، می‌تواند سهامش را به یک دلال در قیمت پیشنهادی او بفروش برساند. بنابراین ریسک موجودی بالاتر، باعث می‌شود قیمت‌های پیشنهادی خرید و فروش با اختلاف بیشتری رو به رو شود و به همین دلیل، یک منبع مهم عدم نقدشوندگی به محسوب می‌شود [۳۵].

¹Exogenous Transaction Costs

²illiquidity

³Demand pressure

⁴Inventory Risk

۴.۵.۱ عدم تقارن اطلاعاتی^۱

عدم تقارن اطلاعاتی در رابطه با اطلاعات محرمانه می‌باشد و می‌تواند به روش‌های مختلف هزینه‌هایی را بر سرمایه‌گذار اعمال کند [۳۵]. در صورتی که عدم تقارن اطلاعاتی در بازار وجود داشته و یکی از طرفین معامله دارای اطلاعات محرمانه باشد و طرف دیگر از این موضوع اطلاعی نداشته باشد زمانی که از این موضوع آگاهی پیدا کند، عدم معامله را انتخاب می‌کند که این امر محدودیت در نقدشوندگی را پی خواهد داشت [۷۳].

۵.۵.۱ موانع جستجو

یکی دیگر از منابع عدم نقدشوندگی موانع جستجو می‌باشد. این منبع که با فشار تقاضا و ریسک موجودی در ارتباط است، اصطحاک در جستجو است. هزینه فرصت و هزینه‌های مالی از موانع جستجو می‌باشد که بر یک سرمایه‌گذار در هنگام جستجوی یک خریدار برای فروش سهامش تحمیل می‌شود. [۳۵]

۶.۱ ابعاد نقدشوندگی

مجموعه گسترده ادبیات مربوط به نقدشوندگی در مورد وجود جنبه‌های مختلف نقدشوندگی که ابعاد آن را تعیین می‌کنند، توافق دارند اگرچه لیست ابعاد مشخصی وجود ندارد. طبق گفته‌های سارولیک [۹۰] و بروا [۲۶] بازار نقدشوندگی پنج بعد مختلف را ارائه می‌دهد: وسعت، عمق، فوریت، انعطاف پذیری (جهندگی) و سختی. برخی از ادبیات قبلی چهار جنبه مختلف را مشخص می‌کند، یعنی سختی، عمق، انعطاف پذیری بعلاوه فوریت. (بلک [۲۷]، گروسمن و میلر [۵۱] و هریس [۵۳]). برعکس، نویسندگان دیگر فقط سه بعد اصلی نقدشوندگی را در نظر می‌گیرند که با سختی، عمق، انعطاف پذیری مطابقت دارد. (گراباد [۴۵]، کیل [۶۸] و هولدن [۵۷]) در حالی که برنشتاین [۲۵] بین ابعاد، وسعت، عمق و انعطاف‌پذیری تفاوت قائل می‌شود. این اختلاف عمدتاً به این دلیل است که این نویسندگان ماندگار به طور ضمنی تصور می‌کنند که فوریت خود ابعادی نیست بلکه در بازارهای خودکار ارائه می‌شود (شوارتز [۹۱]). ماهیت همه این ابعاد متفاوت است. اما به نظر می‌رسد برخی از آنها با هم مرتبط هستند [۳۶].

¹ Asymmetric Information

۱.۶.۱ وسعت

وسعت^۱ بازار مربوط به حجم معاملات سفارشات موجود با قیمت‌های مختلف است. به این احتمال اشاره دارد که وقتی فعالان بازار می‌خواهند دارایی دور انداخته شده را بفروشند، از امتیازات زیادی در قیمت برخوردار شوند. گفته می‌شود که یک بازار گسترده است در صورتی که سفارشات خرید و فروشنده بی شماری وجود دارد که در همان زمان حجم زیادی را ارائه می‌دهد [۳۶].

۲.۶.۱ عمق

عمق^۲ بازار به تعداد سفارشات پیرامون قیمت‌های تعادل پاسخ می‌دهد و همچنین به فشار تقاضا و ریسک موجودی کالا مربوط می‌شود. زمانی که سفارشات خرید و فروشنده زیادی در مورد قیمت‌های تعادل وجود دارد، یک بازار عمیق است. به عبارت دیگر یعنی کالا یا سهام خود را به قیمت روز بازار به تعدادی که بخواهیم بتوانیم بفروش برسانیم بدون افت قیمت و فروشنده زیادی هم وجود داشته باشد [۳۶].

۳.۶.۱ فوریت معامله

فوریت معامله^۳ (فوری) بازار سرعت اجرای سفارشات در بازار است. این به تقاضا و عرضه آن بستگی دارد، یعنی به تمایل فروشندگان و خریداران برای تجارت بستگی دارد. فروشندگان ادعا می‌کنند و خواستار فوریت در مورد تمایل خود به فروش هستند، در حالی که سازندگان بازار مسئولیت قرار دادن عرضه فوری را برعهده دارند. اگر معاملات بین خریداران و دلالان یا بین فروشندگان و دلالان در مدت زمان کوتاهی انجام شود بازار فوری‌تر است [۳۶].

۴.۶.۱ انعطاف پذیری

انعطاف پذیری^۴ (جهندگی) بازار با توانایی بازار در جذب و بازار یابی از شوک غیرمنتظره دارایی سروکار دارد. اگر سفارشات زیادی برای پاسخ به تغییر قیمت‌ها و اصلاح عدم تعادل سفارشات ناشی از شوک دارایی وجود داشته باشد، بازار انعطاف‌پذیر است. [۳۶]

¹Breadth

²Depth

³Immediacy

⁴Resilience

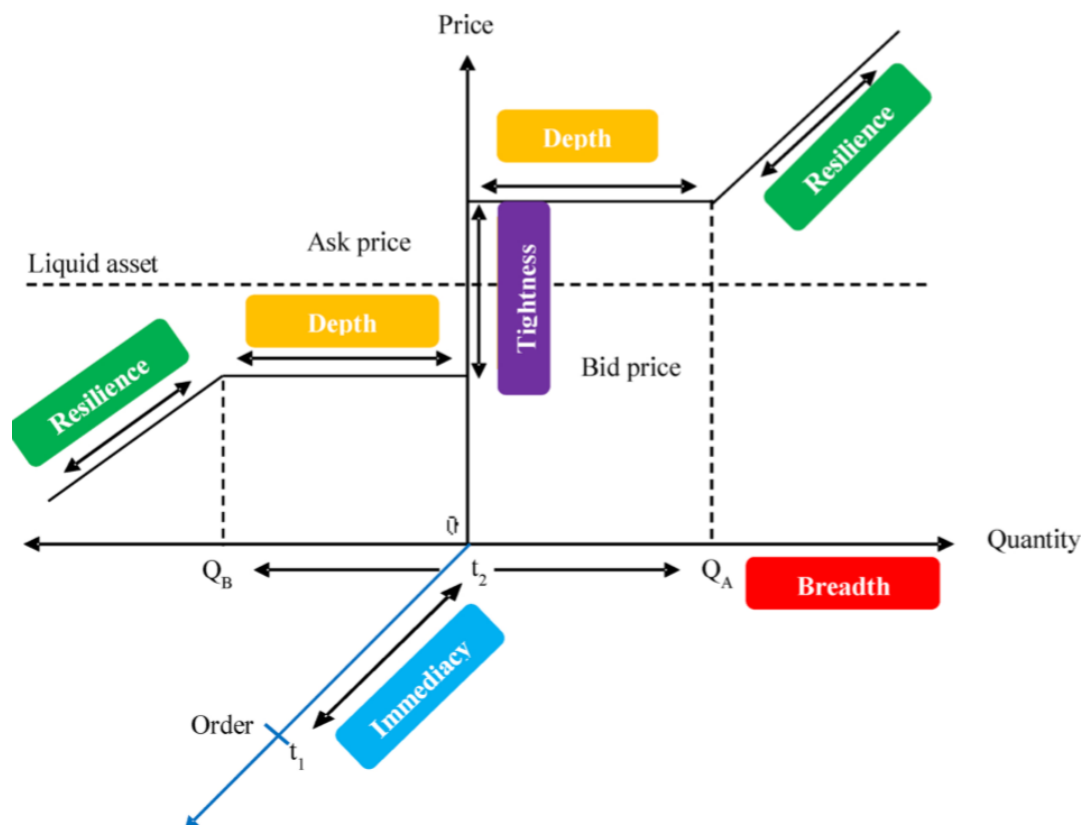
۵.۶.۱ سختی

سرانجام سختی^۱ بازار با میزان هزینه‌های معاملاتی چرخش حول یک موقعیت مرتبط است. بازارهای سخت‌تر، بازارهایی هستند که در آن فعالان بازار هنگام خرید یا فروش دارایی با هزینه‌های معاملاتی زیادی روبرو می‌شوند. سختی بدین معنا و مفهوم می‌باشد که قیمت‌هایی که خریداران و فروشندگان پیشنهاد می‌دهند؛ این تفاوت قیمت‌ها هرچه نزدیک‌تر باشد سختی بازار کمتر است و هر چه تفاوت قیمت دورتر باشد سختی بازار بیشتر است [۳۶].

در بین این ابعاد، وسعت و عمق به هم پیوسته‌اند زیرا هر دو جنبه به تعداد سفارشات با قیمت تعادل متکی هستند. در عین حال، وسعت و عمق هر دو با فوریت مرتبط هستند، تا آنجا که در صورت سفارشات متعدد، خریداران و فروشندگان تجارت، بلافاصله یا در لحظه دیگر با یک قیمت معین امکان پذیر باشد. علاوه بر این فوریت با انعطاف‌پذیری ارتباط دارد زیرا یک بازار انعطاف‌پذیرتر قادر خواهد بود به سرعت پس از شوک در دارایی، قیمت‌ها را به سطح طبیعی خود بازگرداند، به این معنی که سفارشات فروشندگان و خریداران در یک دوره کوتاه اجرا می‌شود. همبستگی قوی بین برخی از ابعاد، انجام اقدامات نقدشوندگی را برای پرداختن به هریک از این ابعاد مطلوب و ضروری می‌کند. در حقیقت، این به عنوان شاخصی از نیاز به سنجش نقدشوندگی برای اندازه‌گیری نقدشوندگی به طور همزمان در ابعاد مختلف عمل می‌کند. در پژوهش حاضر لازم به ذکر است که تمرکز ما بر روی بعد سختی می‌باشد [۳۶].

شکل ۱.۱ برگرفته از (برواز [۲۶] هیبارت [۵۶] و همکاران) از لحاظ گرافیکی پنج بعد فوق الذکر را نشان می‌دهد. تفاوت بین قیمت‌های پیشنهادی^۲ و سؤالی^۳ نشان دهنده سختی بازار است. گسترش^۴ پایین پیشنهاد و درخواست به معنای کاهش هزینه‌های معامله و در نتیجه سطح سختی آن کمتر است. هرچه این گسترش کاهش یابد، به خط نقطه‌ای نزدیک می‌شود که نشان دهنده سطح عالی نقدشوندگی است. به محض ورود سفارش در سیستم، سرعت اجرای این سفارش فوریت^۵ بازار را ارزیابی می‌کند. t_1 و t_2 به ترتیب زمان معرفی و اجرای سفارش را نشان می‌دهد. بنابراین فوریت از تفاوت بین آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود. علاوه بر این تعدا سفارشات موجود در مورد قیمت‌های تعادل عمق^۶ بازار را نشان می‌دهد. Q_1 و Q_2 مقادیر قابل معامله در پیشنهاد دائمی را نشان می‌دهد و قیمت‌ها را با حداقل تأثیر بر قیمت‌ها می‌پرسد و وسعت بازار را اندازه می‌گیرد. سرانجام ظرفیت بازار برای بازیابی از حوادث غیر مترقبه با انعطاف‌پذیری اندازه‌گیری می‌شود. از آستانه حجم معاملات Q_1 و Q_2 نشان داده می‌شود [۳۶].

¹Tightness²Bid³Ask⁴Spread⁵Immediacy⁶Depth



شکل ۱.۱: نمودار ابعاد نقدشوندگی

باتوجه به ماهیت چند بعدی نقدشوندگی، ادبیات موجود؛ اقدامات و معیارهای متفاوتی را بر اساس این ویژگی‌ها باهدف پرداختن به جنبه‌های مختلف ایجاد و اجرا کرده است. عمدتاً از طریق اقدامات مبتنی بر حجم معاملات که حجم معاملات را با تغییر قیمت مرتبط می‌کند، تجزیه و تحلیل شده است. از طرف دیگر، عمق را می‌توان با اقدامات مبتنی بر حجم و از طریق فرکانس معاملات ارزیابی کرد. با این حال، حجم زیادی از اقدامات هم‌چنین می‌تواند شاخصی از شرایط دیگر باشد؛ به عنوان مثال ورود اطلاعات جدید به بازار. بنابراین سایر موارد دیگری مانند تعداد معاملات باید برای کنترل سایر منابع بالقوه، حجم فزاینده معامله در نظر گرفته شود. علاوه بر این، سایر اقدامات مبتنی بر حجم نیز شامل قیمت معاملات است که اجازه می‌دهد تأثیر قیمت سطوح مختلف معاملات، مختلف برآورد شود. برعکس، معیارهای فرکانس معاملاتی شامل معیارهایی است که فرکانس معاملات یک بازار یا دارایی را در بر می‌گیرد و اساساً تعداد معاملات انجام شده در یک دوره زمانی خاص را در نظر می‌گیرد. تعداد زیادی از معاملات می‌تواند با تعداد زیادی از فعالان بازار معامله شود، که طی یک دوره دارایی‌های مختلفی را معامله می‌کنند. علاوه بر این، تعداد بیشتری از معاملات نیز می‌تواند از تعداد کمتری از فعالان بازار حاصل شود که با این وجود قادر به تجارت در فرکانس بالا هستند. علاوه بر این، فوریت از طریق هزینه فرصت حضور مداوم سازندگان بازار در ارائه قیمت‌ها و هم‌چنین ترجیحات تقاضای مشتریان ثبت شده است. علاوه بر این، انعطاف پذیری را می‌توان

از طریق اقدامات مبتنی بر قیمت که قادر به جذب گرایش قیمت‌ها برای بازگشت به مقادیر اساسی یا تعادل خود پس از شوک هستند، برطرف کرد.

هدف از این اقدامات، به دست آوردن حرکات منظم بالقوه است که برای دستیابی به قیمت‌های تعادل انجام می‌شود. آنها سعی می‌کنند نقدشوندگی را از سایر عواملی که می‌توانند قیمت را به بالا یا پایین منتقل کند، جدا کند. به عنوان مثال چرخه اقتصادی که از آن عبور می‌کند یا رسیدن خبری که می‌تواند قیمت معاملات اوراق بهادار را تحت تأثیر قرار دهد. سرانجام سختی به طور سنتی از طریق اقدامات مبتنی بر پیشنهادات خرید، ارزیابی می‌شود، به عنوان مثال اقدامات هزینه معامله که ممکن است هزینه تجارت را به دست آورد. هزینه‌های بالاتر معاملات مربوط به کاهش نقدشوندگی خواهد بود، بشرطی که فعالان بازار تقاضای خود را برای معاملات کاهش دهند و فعالیت خود را روی معاملات محدود متمرکز کنند تا از هزینه‌های بیشتر جلوگیری کنند.

همه این انواع مختلف اندازه‌گیری می‌توانند مستقیماً محاسبه شوند، یعنی معیارهای نقدشوندگی مستقیم یا غیرمستقیم. تفاوت بین آنها اساساً به فراوانی و نوع داده‌ها مربوط می‌شود. معیارهای نقدشوندگی برای محاسبه دقیق به داده‌های فرکانس بالا معاملات و یا مظنه‌های برتر نیاز دارند. داده‌های فرکانس بالا همیشه در دسترس نیستند و استفاده از آنها نیاز به روش‌های محاسبات و تمیزکردن^۱ دارد. این مهم‌ترین دلایلی است که سایر نویسندگان از داده‌های روزانه یا ماهانه برای محاسبه معیارهای نقدشوندگی استفاده می‌کنند. بعلاوه در مورد داده‌های اوراق بهادار، که معمولاً از بازارهای خارج از بورس تهیه می‌شوند، اجرای اقدامات با فرکانس بالا دشوار است. در این حالت، بیشتر نویسندگان تمایل دارند که از معیارهای نقدشوندگی برای معیار برای نقدشوندگی استفاده کنند. معیارهای نقدشوندگی برای محاسبه به داده‌های با فرکانس پایین نیاز دارند و معمولاً نسبت به معیارهای نقدشوندگی با فرکانس بالا محاسبه پیچیده‌ای ندارند. در دسترس بودن و دسترسی به داده‌های فرکانس پایین بیشتر است و همچنین منابع محاسباتی مورد نیاز ساده‌تر است. بنابراین تخمین آن‌ها آسان‌تر است [۳۶].

پرتفوی^۲ در عبارت ساده به ترکیبی گفته می‌شود که توسط یک سرمایه‌گذار برای سرمایه‌گذاری تشکیل می‌شود. این سرمایه‌گذار می‌تواند فرد یا موسسه باشد. به عبارت دیگر پرتفوی مجموعه دارایی‌های یک فرد یا سازمان است [۹].

بازده: به پاداش سرمایه‌گذار در ازای سرمایه‌گذاری، بازده گفته می‌شود، که نیروی محرکی جهت ایجاد انگیزه می‌باشد، هدف سرمایه‌گذاران حداکثر کردن بازده مورد انتظار است. اگر چه در راستای حداکثر کردن بازده آن‌ها همواره قصد دارند ریسک را نیز کاهش دهند [۷].

سبد سهام: سبدی که از سهام شرکت‌های مختلف تشکیل شده است و بازده آن پس از

^۱cleaning

^۲Portfolio

یک دوره آتی در مقایسه با دیگر سبدهای ممکن، حداکثر است.

۷.۱ شاخص های نقدشوندگی

نقدشوندگی پدیده‌ای پیچیده و چندبعدی است و دارای مفهومی گیج کننده می باشد. و اندازه گیری نقدشوندگی از این نظر که معیاری که تمامی ابعاد نقدشوندگی را در بگیرد وجود ندارد. استفاده از معیارهای مختلف باعث شده سنجش نقدشوندگی دارای اختلال شود و احتمال اینکه نتایج به یک معیار خاص وابسته باشد را کاهش دهد. و توافقی بر اینکه کدام معیار بهتر است وجود ندارد [۷۶] [۶۹]. در مطالعات صورت گرفته معیارهای مورد استفاده، عموماً یک جنبه نقدشوندگی را ترکیب نموده‌اند [۹۵]. در مجموع می توان معیارهای نقدشوندگی را چهار دسته کلی معیارهای مبتنی بر هزینه معامله، (panel A) معیارهای مبتنی بر قیمت، (panel B) معیارهای مبتنی بر حجم (panel C) معیارهای مبتنی بر فرکانس معامله (panel D) تقسیم بندی کرد.

در این جا شاخص های نقدشوندگی به دو گروه یک بعدی و چند بعدی تقسیم می شوند. که برخی از این شاخص ها در نرم افزار R و برخی دیگر در ویژوال بیسک قابل محاسبه است. توضیحات بیشتر درباره‌ی نحوه محاسبه شاخص ها در بخش ۲.۸.۱ بیان شده است.

۱.۷.۱ شاخص های یک بعدی

در این قسمت برخی از شاخص های یک بعدی که توانسته ایم آنها را بسازیم معرفی می کنیم که فقط مربوط به یکی از پنج بعد گفته شده است برای مطالعه بیشتر در این زمینه به مقاله [۳۶] مراجعه کنید. جدول ۱.۱ عبارات و مدل های اندازه گیری نقدشوندگی که عبارتند از نام شاخص، فرمول مربوطه، نوع داده (لحظه ای یا روزانه)، معیارهای نقدشوندگی، بعد و... که براساس نوع گروه بندی شده اند را نشان می دهد. صفحه A اندازه گیری مبتنی بر هزینه معامله، صفحه B اندازه گیری مبتنی بر قیمت، صفحه C اندازه گیری مبتنی بر حجم، صفحه D اندازه گیری مبتنی بر فرکانس معاملات را نشان می دهد. در بخش های بعدی به توضیحات بیشتر درباره‌ی این چهار صفحه خواهیم پرداخت. در رابطه (۱.۱) Ask_t و Bid_t بهترین پیشنهاد بیش از k معاملات در روز t است. هم چنین در رابطه (۲.۱) $\bar{p}_t^{buy}(\bar{p}_t^{sell})$ متوسط قیمت خرید یا فروش مشتری در روز t است. در رابطه (۳.۱) داریم که $P_t^{75th}(P_t^{25th})$ مقدار صدک ۷۵ یا ۲۵ می باشد و $\bar{p}_t$ متوسط قیمت روز t است. p_{max} و p_{min} حداکثر (حداقل) قیمت معاملات بیش از k معاملات در روز t است. در رابطه (۴.۱) $V_{t,k}$ حجم دلاری معاملات $k - th$ در بازه زمانی t است. منظور از K_t در رابطه (۷.۱) تعداد معاملات در روز t است. TV حجم دلاری است که در طی روز t معامله می شود. در رابطه (۹.۱) N تعداد منابع قیمت گذاری موجود است. η در رابطه (۱۰.۱) میانگین روزانه بالا و پایین بودن قیمت ورود به سیستم است. C قیمت روزانه

بسته شدن روزانه است [۳۶].

$$QS^1 = \frac{Ask_t - Bid_t}{\frac{Ask_t + Bid_t}{2}} \quad (1.1)$$

$$ABidAsk^2 = \frac{\bar{p}_t^{buy} - \bar{p}_t^{sell}}{\frac{1}{2}(\bar{p}_t^{buy} + \bar{p}_t^{sell})} \quad (2.1)$$

$$IQR^3 = \frac{P_t^{\Delta th} - P_t^{\Delta th}}{\bar{P}_t} * 100 \quad (3.1)$$

$$TV^4 = \sum_{k=1}^n TV_{t,k} \quad (4.1)$$

$$RG = \frac{\frac{P_{max} - P_{min}}{P_t} * 100}{TV_t} \quad (5.1)$$

$$QuoteSize = V_{t,k} \quad (6.1)$$

$$K = \sum_{k=1}^{K_t} K_{t,k} \quad (7.1)$$

$$Roll = 2\sqrt{-cov(\Delta P_t, \Delta P_{t-1})} \quad (8.1)$$

$$CPQS^5 = \frac{1}{N} \left(\frac{ClosingAsk_t - ClosingBid_t}{\frac{ClosingAsk_t + ClosingBid_t}{2}} \right) \quad (9.1)$$

$$Spread = 2\sqrt{E[(c_t - \eta_t)(c_t - \eta_{t+1})]} \quad (10.1)$$

۲.۷.۱ شاخص های چند بعدی

همانطور که در بخش ۱.۷.۱ شاخص های یک بعدی را معرفی کردیم در این قسمت نیز به معرفی برخی از شاخص های چند بعدی می پردازیم. این جدول عبارات و مدل های نقدشوندگی را براساس نوع گروه بندی می کند. صفحه A اندازه گیری مبتنی بر هزینه معامله، صفحه B

¹Quoted spread

²Average bid-ask

³Interquartile range

⁴Trading volume

⁵Closing Percent Quoted Spread

اندازه‌گیری مبتنی بر قیمت، صفحه C اندازه‌گیری مبتنی بر حجم، صفحه D اندازه‌گیری مبتنی بر فرکانس معاملات را نشان می‌دهد. در رابطه (۱۱.۱) $P_{max\ t}(P_{min\ t})$ حداکثر (حداقل) قیمت معاملات بیش از k در روز t را نشان می‌دهد. در رابطه (۱۲.۱) ΔP اشاره به تغییرات قیمت دارد. در رابطه (۱۳.۱) $V_{t,k}$ حجم دلاری تجارت در بازه‌ی زمانی t است. همچنین در رابطه (۱۴.۱) ZR به معنای صفر $Zero$ است. و T تعداد مشاهدات است. در رابطه (۱۶.۱) p_m قیمت میانه و M تعداد کل معاملات یک دارایی در یک بازه زمانی خاص است. در رابطه (۱۸.۱) $u_t(x)$ نشانگر سفارشات روز t از معامله گران آگاه است. r_t بازده اوراق قرضه در روز t است. در رابطه (۱۹.۱) K_t تعداد معاملات در روز t است. در رابطه (۲۲.۱) n تعداد اوراق بهادار مانده است و $\bar{P}_t$ متوسط قیمت روز t است. [۳۶]

$$IRC^1 = \frac{P_{max\ t} - P_{min\ t}}{P_{max\ t}} \quad (11.1)$$

$$Gamma = -cov(\Delta P_K, \Delta P_{k+1}) \quad (12.1)$$

$$Lambda = \lambda \cdot \sum_k sign(V_{t,k}) \sqrt{|V_{t,k}|} + \epsilon_t \quad (13.1)$$

$$Zeros = \frac{\#of\ days\ with\ ZR}{T} \quad (14.1)$$

$$FTH = \Psi \sigma \Phi^{-1} \cdot \frac{1 + \frac{\#of\ days\ with\ ZR}{T}}{\Psi} \quad (15.1)$$

$$LR = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left| \frac{p_m - p_{m-1}}{p_{m-1}} \right| * 100 \quad (16.1)$$

$$Martin^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(P_{i,t} - P_{i,t-1})^2}{TV_{i,t}} \quad (17.1)$$

$$Kyleslambda = P_{t-1} + \lambda_t(u_t + x_t) + u_t \quad (18.1)$$

$$Amihud = \frac{1}{K_t} \sum_{k=1}^{D_t} \frac{|r_{t,k}|}{P_{t,k} \cdot TV_{t,k}} \quad (19.1)$$

$$Amivest = \frac{1}{K_t} \sum_{k=1}^{D_t} \frac{P_{t,k} \cdot TV_{t,k}}{|r_{t,k}|} \quad (20.1)$$

$$Zeros^3 = \frac{\#of\ Positive\ volumns\ days\ with\ ZR}{T} \quad (21.1)$$

$$LRt = \frac{\left(\frac{P_{max\ t} - P_{min\ t}}{P_{min\ t}} \right)}{\left(\frac{TV_t}{n \cdot P_t} \right)} \quad (22.1)$$

¹Imputed roundtrip cost

²Martin index

جدول ۱.۱: شاخص های یک بعدی

بازار	نوع داده ^a	نقدشوندگی یا عدم نقدشوندگی	صفحه	منبع اصلی	بعد نقدشوندگی	فرکانس داده	فرمول مربوطه	نام شاخص	ردیف
سهام	مطلنه قیمتی	عدم نقدشوندگی	A	stoll (1989)	سختی	میلی ثانیه	$\frac{Ask_t - Bid_t}{Ask_t + Bid_t}$	QS	۱
سهام	قیمت معامله	عدم نقدشوندگی	A	Hong and wargo (2000)	سختی	میلی ثانیه	$\frac{p_t^{buy} - p_t^{sell}}{p_t^{buy} + p_t^{sell}}$	ABidAsk	۲
سهام	معاملات قیمتی	عدم نقدشوندگی	B	Han and Zhou (2008)	جهنگی	میلی ثانیه	$\frac{p_t^{th} - p_t^{th}}{p_t^{th}} * 100$	IQR	۳
سهام	اندازه ^b	نقدشوندگی	C	Chordia et al (2001)	عمق	میلی ثانیه / روزانه	$\sum_{k=1}^n TV_{t,k}$	TV	۴
سهام	معاملات قیمتی	عدم نقدشوندگی	C	Downing et al (2005)	وسعت	میلی ثانیه	$\frac{p_{max} - p_{min}}{TV_t} * 100$	RG	۵
سهام	مطلنه های قیمتی	نقدشوندگی	D	(۲۰۰۳)	عمق	میلی ثانیه	$V_{t,k}$	Quote size	۶
سهام	تعداد معاملات	نقدشوندگی	D	Chordia et al (2001)	عمق	میلی ثانیه - روزانه	$\sum_{k=1}^{K_{t,k}} K_{t,k}$	K	۷
سهام	معاملات قیمتی	عدم نقدشوندگی	A	Roll (1984)	سختی	میلی ثانیه / روزانه	$\sqrt{-cov(\Delta P_t, \Delta P_{t-1})}$	Roll	۸
سهام	قیمت بسته شدن نماد در بازار	عدم نقدشوندگی	B	Chung and Zahang (2014)	سختی	روزانه	$\frac{1}{N} (\frac{ClosingAsk_t - ClosingBid_t}{ClosingAsk_t + ClosingBid_t})$	CPQS	۹
سهام	بیشترین قیمت و کمترین قیمت	عدم نقدشوندگی	B	Abdi and Ranaldo (2017)	سختی	روزانه	$\sqrt{E[(c_t - \eta_t)(c_t - \eta_t + 1)]}$	Spread	۱۰

^aData-requirements

^bVolume

جدول ۲.۱: شاخص‌های چند بعدی

بازار	نوع داده ^a	نقدشوندگی یا عدم آن	صفحه	منبع اصلی	بعد نقدشوندگی	فرکانس داده	فرمول مربوطه	نام شاخص	ردیف
سهام	معاملات قیمتی	عدم نقدشوندگی	A	Dick-Nielsen et al(2012)	سختی- فوریت معامله	مبلی ثانیه	$\frac{P_{max,t}-P_{min,t}}{P_{max,t}}$	IRC	۱
سهام	معاملات قیمتی	عدم نقدشوندگی	B	Bao et al(2011)	انعطاف‌پذیری-سختی-فوریت معامله	مبلی ثانیه-روزانه	$-cov(\Delta P_{K,t}, \Delta P_{k+1})$	Gamma	۲
سهام	معاملات قیمتی و حجم معاملات	عدم نقدشوندگی	B	Hasbrouck(2009)	انعطاف‌پذیری - وسعت	مبلی ثانیه	$\lambda \cdot \sum_k sign(V_{t,k}) \sqrt{|V_{t,k}|}$	Lambda	۳
سهام	معاملات قیمتی	عدم نقدشوندگی	A	Fong et al(2017)	سختی- عمق	روزانه	$\gamma \sigma \Phi^{-1} \cdot \frac{1 + \#of\ days\ with\ ZR}{\gamma}$	FTH	۴
سهام	معاملات قیمتی و تعداد معاملات	نقدشوندگی	A	Marsh and Rode(1986)	وسعت- انعطاف‌پذیری	روزانه- مبلی ثانیه	$\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M | \frac{P_m - P_{m-1}}{P_{m-1}} | * 100$	LR	۵
سهام	معاملات قیمتی و حجم معاملات	نقدشوندگی	C	Martin(1975)	عمق - وسعت	روزانه	$\sum_{i=1}^N \frac{(P_{i,t}-P_{i,t-1})^\gamma}{TV_{i,t}}$	Martin	۶
سهام شرکت	معاملات قیمتی و حجم معاملات	عدم نقدشوندگی	C	Kyle(1985)	عمق - وسعت	مبلی ثانیه	$P_{t-1} + \lambda_t(u_t + x_t) + u_t$	Kyleslambda	۷
سهام	معاملات قیمتی و حجم معاملات	عدم نقدشوندگی	C	Amihud(2002)	عمق - وسعت	مبلی ثانیه- روزانه	$\frac{1}{K_t} \sum_{k=1}^{D_t} \frac{|r_{t,k}|}{P_{t,k} \cdot TV_{t,k}}$	Amihud	۸
سهام	معاملات قیمتی و حجم معاملات	نقدشوندگی	C	Cooper et al(1985)	عمق - وسعت	مبلی ثانیه- روزانه	$\frac{1}{K_t} \sum_{k=1}^{D_t} \frac{P_{t,k} \cdot TV_{t,k}}{|r_{t,k}|}$	Amivest	۹
سهام	معاملات قیمتی	عدم نقدشوندگی	A	Lesmond et al(1999)	عمق - سختی	روزانه	$\frac{\#of\ days\ with\ ZR}{\gamma}$	Zeros	۱۰
سهام	معاملات قیمتی و مقداری	عدم نقدشوندگی	A	Lesmond et al(1999)	عمق - سختی	روزانه	$\#of\ Positive\ volume\ days\ with\ ZR$	Zeros ^۳	۱۱
سهام شرکت	معاملات قیمتی و حجم معاملات	عدم نقدشوندگی	C	Hui and Heibel(1984)	عمق- وسعت	روزانه	$\frac{(P_{max,t}-P_{min,t})}{\frac{P_{min,t}}{n \cdot F_t}}$	LRt	۱۲

^aData-requirements

۸.۱ محاسبه شاخص نقدشوندگی سرمایه

۱.۸.۱ مبنای محاسبات شاخص‌ها

طبقه‌بندی ابعاد مختلف نقدشوندگی به عنوان راهنمایی برای طبقه‌بندی آن دسته از اقدامات نقدشوندگی که یک یا چند بعد نقدشوندگی را دربر می‌گیرد خدمت می‌کند. علاوه بر این، طبقه‌بندی انواع مختلف داده‌های مورد نیاز برای محاسبه میزان نقدشوندگی نیز به عنوان یک قاعده دیگر برای طبقه‌بندی صحیح آنها عمل خواهد کرد. با این حال، هیچ طبقه‌بندی واضح از اقدامات مربوط به اینکه بعد توسط هر یک ارزیابی می‌شود وجود ندارد.

ممکن است که برخی از این اقدامات، به عنوان مثال، مبتنی بر حجم پیچیده و یا قیمت نتواند به طور واضح به یک بعد اختصاص داده شوند، زیرا یک شاخص می‌تواند بیش از یک جنبه از جنبه‌های مختلف نقدشوندگی را به خود اختصاص دهد. شاخص‌های یک بعدی هم وجود دارد که تنها یک بعد نقدشوندگی را شامل می‌شود. به عنوان مثال شاخص ABidask بعد سختی و یا شاخص TV بعد عمق را شامل می‌شود.

علاوه بر این، شاخص‌های دو بعدی هم وجود دارد که قادر به جذب دو بعد از نقدشوندگی هستند، به عنوان مثال شاخص Martin از [۷۷] که بعد وسعت و عمق را اندازه‌گیری می‌کند. علاوه بر این شاخص‌های سه بعدی هم وجود دارد که ممکن است حداقل سه بعد نقدشوندگی یعنی عمق، فوریت و سختی را اندازه‌گیری کند. به عنوان مثال شاخص آمیهود از آمیهود [۲۰] یا نسبت نقدشوندگی آمیوست از کوپر [۳۱] و همکاران. در این بخش ما سعی کردیم شاخص‌ها را با توجه به معیارهای مختلفی که هریک اندازه می‌گیرند، طبقه‌بندی کنیم [۳۶].

معیارهای نقدشوندگی با فرکانس بالا

جدول یک متداول‌ترین معیارهای نقدشوندگی^۱ با فرکانس^۲ بالاست که توسط ادبیات موجود برای هر شاخص جمع‌بندی شده است. برای هر شاخص برخی ویژگی‌ها مانند اولین نویسنده پیشنهادی برای اندازه‌گیری، نویسندگان دیگر که از آن استفاده کرده‌اند، اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه، نقدشوندگی یا عدم نقدشوندگی، نوع داده، بعد نقدشوندگی و بازاری که در آن اجرا شده است را آورده‌ایم.

● صفحه A

این صفحه معیارهایی را نشان می‌دهد که هزینه‌های معامله را اندازه‌گیری می‌کنند و شاخص‌های بعد سختی را نشان می‌دهد. از میان این اقدامات، شاخص QS^۳ و Effective

^۱Liquidity proxies

^۲منظور از فرکانس تعداد کارهایی که در واحد زمان انجام می‌شود. در اینجا مقصودمان تعداد معاملات در واحد زمان است.

^۳Quoted spread

spread [۷۰] و Realized spread [۵۸] معیارهای استاندارد نقدشوندگی هستند (فونگ [۴۳]). شاخص QS ساده‌ترین اندازه‌گیری هزینه‌های معاملاتی است و برابر با میانگین متوسط بین قیمت درخواست و قیمت پیشنهادی سیاست. شاخص Effective Spread [۷۰] معیار مفیدی برای تخمین هزینه‌های معامله است که معاملات در داخل یا خارج از قیمت بازار انجام می‌شود [۲۴]. شاخص Realized Spread [۵۸] معکوس قیمت‌ها را در صورت وجود معامله‌گران آگاه ثبت می‌کند. (گوینکو [۴۸] و همکاران). شاخص IRC^۱ معیار مستقیمی برای برآورد هزینه‌های معامله است. توسط دیک نیلسن [۳۷] و همکاران اجرا شد [۳۶].

● صفحه B

این صفحه^۲ از جدول ۱.۱ شامل معیارهای مبتنی بر قیمت است که اساساً شاخص‌های مربوط به بعد انعطاف‌پذیری (جهندگی) را اندازه‌گیری می‌کند. به عنوان مثال، شاخص Gamma از بائو [۲۲] و همکاران، پیشنهاد شده که از داده‌های روزانه یا لحظه‌ای استفاده کنید. به عنوان یک پالایش، شاخص lambda از مدل Hasbrouck [۵۴] یک مؤلفه زمان را معرفی می‌کند. یکی دیگر از اقدامات در این کلاس، پراکندگی قیمت است (جان کوپچ^۳ [۶۱] و همکاران) که اثرات پراکندگی قیمت به طور قابل توجهی را ضبط می‌کند این شاخص را می‌توان به عنوان نوسانات پراکندگی قیمت تفسیر کرد [۳۶].

● صفحه C

در صفحه C جدول ۱.۱، اقدامات مبتنی بر حجم را نشان می‌دهد و شاخص‌های مربوط به وسعت بازار را ارزیابی می‌کنند. شاخص Range از داوینگ [۳۸] و همکاران، از شاخص daily range بدست می‌آید که تفاوت مطلق بین قیمت‌های بالا و پایین دارایی در یک روز خاص است.

● صفحه D

در صفحه D از جدول ۱.۱، معیارهای فرکانس معاملاتی کرا بیان کرده‌ایم که عمق بازار را در برمی‌گیرد. Quote Size [۴۱] اوراق بهاداری است که، در هر قیمت پیشنهادی خرید و فروش قابل معامله است. این شاخص برای ارزیابی عمق بازار استفاده می‌شود، اما معمولاً دست کم گرفته می‌شود، با توجه به اینکه سازندگان بازار همیشه نمی‌خواهند مقادیری را که مایل به معامله با قیمت‌های معین هستند، نشان دهند. معیار Trade Size [۴۱] مقدار اوراق بهاداری است که در واقع در هر پیشنهاد و قیمت درخواست شده معامله می‌شود. این معیار همچنین می‌تواند عمق بازار را دست کم بگیرد، با توجه به اینکه مقداری که در واقع مورد معامله قرار می‌گیرد می‌تواند پایین تر از مقداری باشد که می‌توانست با چنین قیمت‌هایی معامله شود. شاخص K_t [۲۸] را می‌توان برای اندازه‌گیری نقدشوندگی در یک بازه زمانی استفاده کرد [؟].

¹Imputed Roundtrip Cost

²Panel

³Jankowitsch

معیارهای نقدشوندگی با فرکانس پایین

جدول دو جزئیات معیارهای نقدشوندگی مندرج در این معیار را ارائه می‌دهد. در این جدول نیز داده‌های مورد نیاز، ابعاد نقدشوندگی، نوع داده، مقالات مرتبط با هر شاخص و ... را لیست کرده‌ایم.

● صفحه A

این صفحه، اولین گروه معیارهای نقدشوندگی یعنی معیارهای هزینه معامله، را نشان می‌دهد. به عنوان مثال شاخص Roll [۸۶] در ابتدا برای برآورد هزینه‌های معامله از تغییرات روزانه طراحی شده است. رول نشان داد که نرخ سود پیشنهادی مؤثر برابر با ریشه مربع کوواریانس منفی بین تغییرات قیمت در معاملات مجاور است. با این وجود، اگر تغییرات قیمت به جای قیمت‌های متوالی روزانه، بین معاملات پی در پی محاسبه شود، می‌تواند با داده‌های فرکانس بالا نیز سازگار باشد. معیار دیگری که در این کلاس گنجانده شده است، شاخص LOT از لزموند [۷۱] و همکاران است که از یک ایده اساسی شبیه به شاخص Roll از رول [۸۶] برای ارزیابی هزینه‌های معامله پیروی می‌کند، اما براساس وقوع بازده صفر است. آن‌ها آنچه را «بازده واقعی» می‌نامند که براساس بازده مشاهده شده و هزینه‌های متناسب با معاملات برآورد می‌کنند و منجر به سه سناریوی بازده واقعی می‌شوند. تفاوت بین این سه هزینه‌ها، اندازه‌گیری آن‌ها از هزینه‌های معاملات متناسب برای سرمایه‌گذاران است. هر دو شاخص Zeros [۷۱] و Zeros2 [۴۸] از یک ایده اساسی برخوردارند: دارایی با هزینه‌های معاملاتی بزرگ (نقدشوندگی کم)، تمایل به تجارت نسبت به دارایی‌های دیگر با هزینه‌های معامله کم (نقدشوندگی) اگر فرکانس معاملات کم باشد، به احتمال زیاد بازده صفر بین روزهای معاملاتی اتفاق می‌افتد، تا زمانی که قیمت‌ها حرکت نکنند. علاوه بر این، شاخص FHT از فونگ [۴۳] یکی دیگر از این اقدامات گسترده است که از لزموند [۷۱] و همکاران پیروی می‌کند [۳۶].

● صفحه B

صفحه B از جدول ۲.۱، آن دسته از معیارهای مبتنی بر قیمت را شامل می‌شود که نقدشوندگی را از نظر جهندگی (انعطاف پذیری) و وسعت بازار ارزیابی می‌کند. به عنوان مثال، شاخص LR از مارش [۷۴] یک نسبت است که مقدار مطلق بازده در یک دوره، تقسیم بر تعداد معاملات در آن دوره است. این نویسندگان متعقدند که تغییرات قیمت مستقل از اندازه معاملات هستند و برای اندازه‌گیری نقدشوندگی بیش از حجم معاملات، به تغییرات قیمت و تعداد معاملات در یک دوره زمانی معین اعتماد می‌کنند. شاخص (MEC)^۱ ضریب کارایی بازار است که توسط هاسبورک و شوارتز [۵۵] برای به دست آوردن درجه انعطاف پذیری در یک بازار ارائه شده است. ماهیت این ضریب این است که برای تغییر قیمت دائمی معین، تغییرات گذرا در آن قیمت باید در یک بازار انعطاف پذیر (مقاوم) حداقل باشد. شاخص (CPQS)^۲ توسط

^۱Market-Efficiency Coefficient

^۲Closing Percent Quoted Spread

چانگ [۲۹] تهیه شده است. این شاخص براساس قیمت پیشنهادی بسته شده در یک دروه است. نویسندگان این شاخص را به طور مشترک با دیگران در داده‌های ایالت متحده آزمایش می‌کنند و می‌یابند که به طور کلی، اما نه همیشه، عملکرد بهتری نسبت به سایر معیارهای آزمایش شده دارد [۳۶].

● صفحه C

صفحه C جدول دو معیارهای مبتنی بر حجم را که ابعاد وسعت و عمق نقدشوندگی را اندازه‌گیری می‌کند نشان می‌دهد. یکی از مهم‌ترین معیارهایی که به عنوان الهام برای سایر افراد توسعه یافته نیز محسوب می‌شود، شاخص Kyle's Lambda [۶۸] است. کایل شاخص نقدشوندگی lambda را پیشنهاد می‌کند، که معمولاً از رگرسیون تغییرات قیمت در حجم خالص معاملات در بازه‌های زمانی مشخص تخمین زده می‌شود. کایل [۶۸] معتقد است که وقتی تجارت با فروشنده آغاز می‌شود، قیمت‌ها کاهش می‌یابند و وقتی به معاملات آغاز شده توسط خریدار پرداخته می‌شوند، افزایش می‌یابند. شیب این رگرسیون رابطه بین قیمت‌ها و حجم‌ها را نشان می‌دهد. سایر معیارهای مربوطه عبارتند از: نسبت نقدشوندگی آمیوست و معیار آمیهود از Amihud [۲۰]. اولین نسبت نقدشوندگی Amivest توسط کوپر [۳۱] و همکاران استفاده شد. به دنبال گزارش ماهانه نقدشوندگی شرکت سهامی آمیوست^۱ که از سال ۱۹۷۲ منتشرکرد. این نسبت بیان می‌کند که چگونه یک دارایی می‌تواند حجم معاملات را بدون حرکت قابل توجهی در قیمت روز خود جذب کند. به طور خاص، این نسبت نشان دهنده حجم دلار مورد نیاز برای انتقال ۱ درصد قیمت‌ها به بالا یا پایین است. بخش عمده‌ای از دارایی‌های غیر مجاز گاهی با افت قیمت اجباری فروخته می‌شوند. در عین حال، تعداد زیادی دارایی نقدشوندگی را می‌توان با روند صعودی قابل توجهی خریداری کرد. بنابراین، باتوجه به حجم معامله‌شده، قیمت‌های بالاتر نشان می‌دهد که آنها با دارایی نقدشوندگی سروکار دارند. شاخص آمیهود یکی از پرکاربردترین معیارهای در سهام و بازارهای درآمد ثابت است. کایل [۶۸] با الهام از مفهوم عدم نقدشوندگی، نشان داده این رابطه به ارتباط متوسط بین تغییر قیمت و واحد حجم معاملات مربوط می‌شود. به عنوان مثال نشان دهنده تغییر قیمت مورد نیاز برای انتقال یک واحد از حجم معاملات دلار است. شاخص Turnover^۲ از نسبت شاخص volume traded^۳ نسبت به مقدار مانده است. ازسوی دیگر، نسبت تاثیر قیمت معیار گردش مالی که در فلورکیس [۴۲] و همکاران اجرا شده است. از کمبودهای نسبت آمیهود [۲۰] الهام گرفته شده است. این نسبت بر توانایی نقدشوندگی غلبه می‌کند. زیرا از نظر اندازه بی طرف است و برای ساختن و تفسیر واضح نیست. سرانجام، شاخص Trading volume پرکاربردترین معیارهای فرکانس معاملات برای ارزیابی نقدشوندگی است [۳۶].

● صفحه D

^۱Corporation's Amivest

^۲گردش مالی
^۳حجم معامله شده

سرانجام، در صفحه D جدول ۲.۱ آن معیارهایی را شامل می‌شود که فرکانس معاملات را اندازه‌گیری می‌کند. شاخص Days traded^۱ [۷۸] تعداد روزهایی است که دارایی در طول یک دوره معامله می‌شود [۳۶].

۲.۸.۱ نوع داده‌های مورد نیاز

در این قسمت به معرفی شرکت‌های مورد استفاده در تحقیق که از ۶۰۰ تا ۳۰۶ شرکت را در نظر می‌گیریم. دوره انجام تحقیق از سال ۲۰۱۶-۰۱-۰۱ تا سال ۲۰۱۹-۰۱-۰۱ می‌باشد. نوع داده‌ها که به صورت لحظه‌ای (میلی ثانیه‌ای) هست. محاسبات انجام یافته برای هر روز می‌باشد. از آنجا که گرفتن دیتا خام حجم بالایی نزدیک به هفتاد گیگ و زمان بسیار زیادی را لازم داشت از سرور دانشگاه استفاده کردیم کدهای مربوط به دانلود داده‌های خام همچنین لینک دانلود شرکت‌های مربوطه، تاریخ روزهایی که داده رو گرفته‌ایم، اسامی شرکت‌های مربوطه، کدهای ساخت شاخص‌های نقدشوندگی، ساخت وین مفصل مربوطه و سبد سهام همگی در پیوست ارائه شده است.

لازم به ذکر است که محاسبه شاخص‌ها با استفاده از دو دسته داده‌های مظنه‌های برتر و معامله بورس انجام شده است. در شکل ۲.۱ و ۳.۱ هر کدام از ستون‌های هر دسته از داده‌ها نشان دهنده یک متغیر است. ما در واقع برای محاسبه هر کدام از شاخص‌ها از چند متغیر استفاده کرده‌ایم. بنابراین در دسته مظنه‌های برتر به ترتیب از ستون اول نماد به فارسی، زمان به میلی ثانیه، تعداد معاملات، تعداد سهام خرید مظنه برتر، قیمت خرید مظنه برتر، تعداد سهام فروش مظنه برتر، قیمت فروش مظنه برتر و... را داریم و در دسته داده معامله هم تاریخ به میلادی، زمان به میلی ثانیه، تعداد معاملات در ثانیه، نماد به لاتین، نماد به فارسی، تعداد سهام، قیمت معامله، ارزش معامله و... را داریم.

^۱ روزهای معامله شده

شکل ۲.۱: داده‌های مضنه بورس

Object Explorer

Connect * SQLQuery1.sql - DE-PT301pc (53) | SQLQuery1.sql - DE-PT301pc (53)

File Edit View Query Project Debug Tools Window Help

Execute Debug

Script for SelectOptions command from SSIS *****

```

SELECT TOP 1000 [TRD_EVENT_TM]
, [TRD_EVENT_MS]
, [TRD_STOCK_CD]
, [TRD_STOCK_ID]
, [TRD_INSTR_NAME]
, [TRD_STOCK_GRP_ID_CD]
, [TRD_PR]
, [TRD_TUOVR]
, [TRD_TRA_MR]
FROM [trade97].[dbo].[trd97]

```

Results

	TRD_EVENT_TM	TRD_EVENT_MS	TRD_STOCK_ID	TRD_STOCK_CD	TRD_INSTR_NAME	TRD_STOCK_GRP_ID_CD	TRD_PR	TRD_TUOVR	TRD_TRA_MR
1	2017/07/22 11:51:38	989	IRBCKAN9761	CK601	صندوق ۱/۱	N4	1000000	2000	1
2	2017/07/22 11:52:40	755	IRBCKAN9761	CK601	صندوق ۱/۱	N4	1000000	1000	2
3	2017/07/22 11:53:06	777	IRBCKAN9761	CK601	صندوق ۱/۱	N4	1000000	1000	3
4	2017/07/22 12:12:06	076	IRBCKAN9761	CK601	صندوق ۱/۱	N4	1000000	1	4
5	2017/07/22 12:43:43	881	IRBCKAN9761	CK601	صندوق ۱/۱	G1	1000000	999973	1
6	2017/07/22 12:43:43	964	IRBCKAN9761	CK601	صندوق ۱/۱	G1	1000000	999974	2
7	2017/07/22 12:43:43	964	IRBCKAN9761	CK601	صندوق ۱/۱	G1	1000000	53	3
8	2017/07/22 12:10:25	895	IRBCKAN9761	CK601	صندوق ۱/۱	N4	1000000	100	1
9	2017/07/22 12:25:58	475	IRBCKAN9761	CK601	صندوق ۱/۱	N4	1000000	120	2
10	2017/07/22 12:25:58	476	IRBCKAN9761	CK601	صندوق ۱/۱	N4	1000000	460	3
11	2017/07/22 09:05:11	565	IRBCKAN9761	CK601	صندوق ۱/۱	N4	1000000	4000	1
12	2017/07/22 09:05:11	565	IRBCKAN9761	CK601	صندوق ۱/۱	N4	1000000	564	2
13	2017/07/22 09:19:51	038	IRBCKAN9761	CK601	صندوق ۱/۱	N4	1000001	1000	3
14	2017/07/22 09:19:51	038	IRBCKAN9761	CK601	صندوق ۱/۱	N4	1000000	5436	4

Query executed successfully.

DESKTOP-FVTD08 (11.0 RTM) | master | 00:00:00 | 1000 rows

شکل ۳.۱: داده‌های معامله بورس

۳.۸.۱ سطح نقدشوندگی نماد معاملاتی

اگر ما بخواهیم نقدشوندگی یک نماد معاملاتی را محاسبه کنیم. از آن جا که شاخص‌های متعددی وجود دارد که هرکدام یک یا چند بعد از نقدشوندگی را در بر می‌گیرد، پس برای این کار باید شاخصی را استفاده کنیم که همه ابعاد نقدشوندگی را پوشش می‌دهد. به همین دلیل از تابع مفصل برای ساخت شاخص مرکب استفاده کرده‌ایم.

۴.۸.۱ سطح نقدشوندگی سبد سهام

در این قسمت می‌خواهیم نقدشوندگی سبد سهام را به دست بیاوریم. در واقع نقدشوندگی سبد سهامی که ما بدست آورده‌ایم شامل شش نماد می‌باشد ما باید نقدشوندگی برای تک تک نمادها بدست بیاوریم این درحالی است که سهام موجود در یک سبد همزمان خرید و فروش می‌شود پس باید راهی پیدا می‌کردیم که نقدشوندگی همه نمادهای سبد بطور همزمان انجام می‌شد به همین دلیل از تابع مفصل R-Vine برای رفع این مشکل استفاده کرده‌ایم.

تفاوت نقدشوندگی سبد سهام با نقدشوندگی نماد معاملاتی در این است که در یک سبد هرکدام از نمادها یک نقدشوندگی دارند که با بقیه فرق دارد.

۵.۸.۱ سطح نقدشوندگی کل بازار

باتوجه به اینکه این مدل‌سازی برای یک سبد سهام قابل محاسبه است برای کل بازار نیز می‌توان محاسبه کرد. و بررسی کرد که نقدشوندگی بازار در زمان‌های مختلف چگونه است و تحت تأثیر چه عواملی است.

۹.۱ نرم افزارهای مورد استفاده در تحقیق

نرم‌افزارهای استفاده شده در این تحقیق اکسل، R، R سرور، اکسل سرور و ویژوال بیسیک است. در مرحله‌ای از کار از ویژوال بیسیک اکسل برای بدست آوردن کدهایی مربوط به ساخت شاخص‌های نقدشوندگی که در R نمی‌توان محاسبه کرد، استفاده نموده‌ایم. از آنجا که حجم داده‌های خام گرفته‌شده از سایت بورس بسیار زیاد بود از سرور دانشگاه در تمامی مراحل استفاده کردیم. تا سرعت انجام کار بالا برود.

۱۰.۱ مطالعات پیشین

۱.۱۰.۱ داخلی

مطالعات داخلی از دو جنبه قابل بررسی است:

۱- مطالعات متمرکز شده روی سنجش نقدشوندگی سرمایه

طی پژوهش‌هایی حسینی و همکاران (۱۳۸۹)، تأثیر نقدشوندگی سهام بر عملکرد شرکت‌ها را بررسی کرده‌اند [۸]. صلواتی و رسائیان، طی پژوهش‌هایی نشان دادند بین ساختار سرمایه و نقدشوندگی رابطه معناداری وجود ندارد [۱۴]. احمدپور و رسائیان، نیز رابطه بین نوسان بازده سهام و ارزش بازار شرکت را با اختلاف بالاترین قیمت پیشنهادی خرید و پایین‌ترین قیمت پیشنهادی فروش، آزمون کرده‌اند [۴]. سنجش و ارزیابی شاخص‌های بازاری و تعیین ساختار بازار از جمله مسائل مورد مطالعه بسیاری از پژوهشگران بوده است. در ایران مطالعات کاربردی قابل توجهی درباره ساختار بازارها صورت گرفته است. احمدپور و باغبان (۱۳۹۳) در زمینه نقدشوندگی دارایی‌های شرکت بر نقدشوندگی سهام پژوهش‌هایی داشته‌اند و هم چنین تأثیر مثبت نقدشوندگی دارایی‌های شرکت بر نقدشوندگی را نشان دادند [۳]. علوی، طبری و حاجی مراد خانی (۱۳۹۴) به بیان رابطه کیفیت حسابرسی و نقدشوندگی سهام پرداخته‌اند [۱۵]. یحیی‌زاده فر، شمس‌لاریمی (۱۳۸۹) رابطه نقدشوندگی سهام با بازده سهام را بررسی نموده‌اند [۱۹]. زمانی، فغانی کندی (۱۳۹۵) در زمینه محاسبه نقدشوندگی سهام و بررسی عوامل اثر گذار بر آن مطالعاتی را داشته‌اند [۱۲]. ابزری، کبیری و سهیلی (۱۳۹۲)، چگونگی تأثیر نقدشوندگی بر بازده سهام با کنترل عوامل سبک‌های سرمایه‌گذاری را نشان دادند [۲].

۲- مطالعاتی که متمرکز شده بر مدل‌سازی ساختار وابستگی بین متغیرها و ساخت شاخص مرکب

از عمده‌ترین این مطالعات شهیکی‌تاش و همکاران (۱۳۹۶)، مطالعاتی در زمینه وابستگی بین شاخص‌های ساختاری در صنایع کارخانه ایران بر مبنای توابع مفصل شرطی انجام دادند [۱۳]. همچنین میرباقری‌جم و همکاران در زمینه تجمیع ریسک‌ها در مدل‌های توانگری مالی با استفاده از توابع کاپیولا پژوهش‌هایی انجام داده‌اند [۱۷]. امروزه در زمینه مالی از توابع مفصل جهت مدل‌سازی ساختار وابستگی بین متغیرها، جهت تعیین ترکیب بهینه سبد دارایی‌ها و ساخت شاخص مرکب استفاده می‌شود.

۲.۱۰.۱ خارجی

مطالعات خارجی از دو جنبه قابل بررسی است:

۱- مطالعات متمرکز شده روی سنجش نقدشوندگی سرمایه

دیاز^۱ [۳۶] در زمینه ابعاد نقدشوندگی و معیارهای نقدشوندگی پژوهش‌هایی را داشته است. هم‌چنین کزدا [۳۳] در زمینه تجزیه و تحلیل داده‌های وابسته پژوهش‌هایی داشته است. نگوین و استوارت در سال (۲۰۱۳) ساختار بازار سیستم بانکداری ویتنام را بین سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹ مطالعه کردند. پاپویس کراماریک و کیتیسی^۲ (۲۰۱۲)، ساختار بازار در صنعت بیمه کشورهای جدید عضو اتحادیه اروپا را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج تجزیه و تحلیل ساختار بازار این صنعت نشان داد که در همه کشورها، سطح انحصار مؤثر با شدت‌های مختلف به طور قابل توجهی کاهش یافته است. ماسیت^۳، ساختار بازار را در بخش بانکداری ترکیه مورد بررسی قرار داد و دریافت که رقابت انحصاری در بخش بانکی ترکیه وجود دارد و در دوره‌های مربوطه میزان رقابت کاهش یافته است. میلاک در بررسی ساختار بازار صادرات در کشورهای کوچک نشان داده است که اندازه اقتصاد و مرحله توسعه اقتصاد مربوط به غلظت صادرات است [۱۳].

۲- مطالعاتی که متمرکز شده بر مدل‌سازی ساختار وابستگی بین متغیرها و ساخت شاخص مرکب از عمده‌ترین این مطالعات عبارتند از اسکالر (۱۹۵۹) برای نخستین بار در قضیه‌ای، از توابع مفصل برای تشریح ارتباط توابع توزیع یک بعدی با توابع چند متغیره آنها استفاده کرد. از این رو، قضیه اسکالر زمینه‌ای برای تحقیقات در مورد مفصل‌ها با ساختار وابستگی شد [۹۴].

کزدا [۴۰] در زمینه وابستگی بین متغیرها پژوهش‌هایی داشته است و ما ایده اصلی کارمان را از این مقاله گرفته‌ایم.

پس از اسکالر، توابعی که اکنون به نام مفصل مشهورند، توسط پژوهشگران دیگر مطرح شدند. مفصل‌های مقدار فرین^۴ با استفاده از نظریه مقدار فرین که برای ساختن مدل‌های مناسب با ساختار وابستگی در حوادث نادر استفاده می‌شود. در سال ۱۹۸۱ توسط پیکند^۵ [۸۴] ارائه شدند. مفصل‌های ارشمیدسی^۶ که براساس مفهوم تبدیل لاپلاس توزیع‌ها به دست می‌آیند، یک کلاس مهم از توابع مفصل می‌باشند که به دلیل فرم ساده و دارا بودن خواص، توسط جنست و مکی^۷ [۴۷]، مارشال و الکین^۸ [۷۵] و جو^۹ [۶۳] [۶۲] معرفی شدند. گرومبمب^{۱۰} [۵۰]، کوادراس^{۱۱} [۳۲] و کلاین^{۱۲} [۶۵] و همکاران با استفاده از میانگین

¹Díaz

²Pavic kramaric, Tomislava

³Macit

⁴Extreme Value Copula

⁵Pickands

⁶Archimediennes Copulas

⁷Genest and MacKay

⁸Marshall and Olkin

⁹Joe

¹⁰Grobman

¹¹Cuadras

¹²Klein

موزون دو مفصل به ساخت توابع مفصل پرداختند. جو^۱ [۶۳] و نلسن^۲ [۸۱] شرح جامعی از توابع مفصل و ویژگی‌های آنها ارائه دادند. امروزه توابع مفصل به طور گسترده در علوم مختلف به کار می‌روند. امبرشت^۳ و همکاران [۳۹] (۲۰۰۲)، هورلیمن^۴ [۵۹]، سالوادروی و دومیشل^۵ [۸۷] [۸۸] ژانگ و سینگ^۶ [۹۸]، کائو و گوایندارجو^۷ [۶۴]، جنست و فالور^۸ [۴۷]، گیبرمیخائیل و کرجیوسکی^۹ [۴۶]، سالوادوری و دومیشل [۸۹] و مدیریت ریسک در هیدرولوژی استفاده کرده‌اند. همچنین، لی و فانگ^{۱۰} [۷۲] از توابع مفصل برای مدل‌سازی آماری بین متغیرهای وابسته در علوم زیستی استفاده نموده‌اند. بسیاری از مدل‌بندی آماری براساس فرض استقلال بین داده‌ها انجام می‌گیرد. اما برای بخش بزرگی از مدل‌بندی‌ها، این فرض مناسب نمی‌باشد و برخی از مدل‌بندی‌ها، باید براساس فرض عدم استقلال بین داده‌ها شکل بگیرند، از این رو اندازه‌ها و مفاهیم وابستگی برحسب تابع مفصل ارائه شده است. شوایزر و ولف^{۱۱} [۹۲] اندازه‌های وابستگی و تانگ^{۱۲} [۹۶] وهاچینسون و لی^{۱۳} [۶۰] مفاهیم بین متغیرها را برحسب تابع مفصل مورد بحث و بررسی قرار دادند. نلسن [۸۰]، ضریب همبستگی پیرسن را برحسب تابع مفصل به دست آورد و نشان داد که می‌توان ضریب همبستگی اسپیرمن را به صورت میانگین فاصله توزیع توام که به وسیله تابع مفصل بدست آمده و حاصلضرب توابع توزیع حاشیه‌ای اندازه‌گیری کرد. جو [۶۳]، توجه زیادی به کشف ویژگی‌های وابستگی بین متغیرهای تصادفی داشته است و به ارتباط بین ضریب همبستگی اسپیرمن و کندال پرداخته است. امبرشت^{۱۴} [۳۹] نشان داد که می‌توان ضریب همبستگی را تحت شرایطی به صفر نزدیک کرد. فردریک و نلسن [۴۴] نشان دادند که اگر متغیرهای تصادفی دارای ساختار وابستگی منفی خاصی باشند، آنگاه ضریب همبستگی اسپیرمن همیشه از ضریب همبستگی کندال بزرگتر است. با توجه به اهمیت توابع مفصل در برنامه‌های نظری و کاربردی اخیراً، تلاش‌هایی به منظور معرفی و ساخت توابع مفصل انجام شده است. کیوسادا-مولینا و رودریگز-لاینا^{۱۵} [۸۵]، یک تابع مفصل با مقاطع چند جمله‌ای درجه دو معرفی کردند.

¹Joe²Nelsen³Embrechts⁴Hurlimann⁵Salvadori and De Michele⁶Zhang and Singh⁷Kao and Govindaraju⁸Genest and Favre⁹Gebremichael and Krajewski¹⁰Li and Fang¹¹Schweizer and Wolff¹²Tung¹³Hutchinson and Lai¹⁴Embrechts¹⁵Quesada-Molina and Rodriguez-Lallena

۱۱.۱ خلاصه فصل

در این فصل به مفهوم نقدشوندگی، ابعاد آن، هزینه‌های نقدشوندگی، منابع عدم نقدشوندگی و شیوه محاسبه نقدشوندگی و مطالعاتی که در این زمینه و هم چنین توابع مفصل شده است ارائه کرده‌ایم.

فصل ۲

توابع مفصل

۱.۲ مقدمه

کلمه‌ی «copula» یک اسم مرکب می‌باشد که در لاتین از سه قسمت co+apt+ula تشکیل شده است و در فرهنگ‌های وبستر^۱، کمبریج^۲ و آکسفورد^۳ هم معنی با کلمات bond، connect، link و tie است که در فارسی به «مفصل» ترجمه شده است. این کلمه اولین بار توسط اسکالر^۴ (۱۹۵۹) در یک قضیه که توزیع‌های یک متغیره را به توزیع‌های چند متغیره متصل می‌کند، بیان شده است [۹۴] و پس از آن به دلیل اهمیتی که این تابع در نمایش ساختار وابستگی متغیرها پیدا کرد، توسط سایر نویسندگان حائز اهمیت واقع شد. اندیشه‌ی تابع مفصل در نظریه احتمال از تبدیل‌های انتگرالی احتمال توسط فیشر معرفی^۵ والهام گرفته شد [۵]. بهترین معرفی برای تابع مفصل و خلاصه‌ای از ویژگی‌های این توابع را می‌توان در نلسن^۶ پیدا کرد [۶].

توابع مفصل وسیله‌ای قوی برای ساختن تابع توزیع چندمتغیره با استفاده از توابع توزیع حاشیه‌ای یک متغیره است. به عبارت دیگر، توابع مفصل نوع و چگونگی ارتباط میان متغیرها

¹Webster

²Cambridge

³Oxford

⁴Sklar

⁵Fisher

⁶Nelsen

را بیان می‌کند.

دلایل مهم استفاده از توابع مفصل عبارتند از:

- ۱- همه‌ی توزیع‌های توأم را می‌توان با استفاده از یکی از توابع مفصل روی توزیع‌های حاشیه‌ای آن ساخت.
 - ۲- پارامترهای همبستگی در توزیع توأم را می‌سازد.
- امروزه از توابع مفصل در بسیاری از موضوعات نظری و کاربردی در علوم مختلف استفاده شده است، در این پایان‌نامه نیز پس از مطالعه کلیاتی درباره تابع مفصل در حالت دومتغیره و چندمتغیره، از تابع مفصل وین برای ساخت شاخص نقدشوندگی مرکب برای یک نماد معاملاتی و هم‌چنین برای سبد سهام استفاده نموده‌ایم [۵].

۲.۲ تعریف آماری تابع مفصل

در این فصل فرض کنید متغیرهای تصادفی، روی فضای احتمال (Ω, A, P) تعریف شده باشند. و هم‌چنین $R = (-\infty, +\infty)$ ، $\bar{R} = [-\infty, +\infty]$ ، $\bar{R}^2 = \bar{R} * \bar{R}$ ، $I = [0, 1]$ و $I^2 = I * I$ تعریف شده باشند.

اسکلار (۱۹۵۹) نشان داد که اگر توابع حاشیه‌ای تک متغیره در دسترس باشند، می‌توان از توابع مفصل به عنوان روشی مفید برای یافتن توزیع‌های چند متغیره استفاده کرد که در قضیه‌های زیر نشان داده شده است.

تعریف ۱.۲.۲. اگر S_1 و S_2 زیر مجموعه‌های ناتهی از $\bar{R}$ و H تابعی با

$$Dom(H) = S_1 * S_2 \subseteq \bar{R}^2$$

و $Ran(H) \subseteq R$ است. فرض کنید $B = [x_1, x_2] * [y_1, y_2]$ یک مستطیل باشد که رئوس آن متعلق به $Dom(H)$ است، آن‌گاه H حجم مجموعه‌ی B به صورت زیر می‌باشد:

$$V_H(B) = H(x_2, y_2) - H(x_1, y_2) - H(x_2, y_1) + H(x_1, y_1)$$

تعریف ۲.۲.۲. فرض کنید برای هر $S_1 * S_2 \subseteq \bar{R}^2$ داریم $V_H(B) \geq 0$ آن‌گاه تابع H را دو-صعودی می‌گویند.

تعریف ۳.۲.۲. تابع H را با دامنه $Dom(H) = S_1 * S_2 \subseteq \bar{R}^2$ و برد $Ran(H) \subseteq R$ زمین گیر گویند، هرگاه

$$\forall x \in S_1, y \in S_2 \quad H(a_1, y) = H(x, a_2) = 0$$

که در آن $a_2 = \inf\{y | y \in S_2\}$ و $a_1 = \inf\{x | x \in S_1\}$. [۱۱]

تعریف ۴.۲.۲. تابع دو متغیره‌ی C' را زیر مفصل گویند، هرگاه داشته باشیم:

۱- $Dom(C') = S_1 * S_2$ که در آن S_1 و S_2 زیر مجموعه‌هایی از I و شامل صفر و ۱ باشند.

۲- C' تابعی دو-صعودی و زمین گیر باشد [۱۱].

۳- $\forall u \in S_1, v \in S_2 : C'(u, 1) = u$ و $C'(1, v) = v$

تعریف ۵.۲.۲. تابع زیر مفصل $c : I^2 \rightarrow I$ یک مفصل می‌باشد، هرگاه در شرایط زیر صدق کند:

۱- برای هر $u, v \in I$ داشته باشیم

$$C(u, \circ) = \circ = C(\circ, v), \quad C(u, 1) = u, \quad C(1, v) = v.$$

۲- برای هر $u_1, u_2, v_1, v_2 \in I$ به طوری که $u_1 \leq u_2, v_1 \leq v_2$ ، داشته باشیم [۱۱]

$$V_c([u_1, u_2] * [v_1, v_2]) = C(u_2, v_2) - C(u_1, v_2) - C(u_2, v_1) + C(u_1, v_1) \geq \circ$$

شرط دوم بیانگر این موضوع می‌باشد که مفصل C برای هر مستطیل $B = [x_1, x_2] * [y_1, y_2] \subseteq S_1 * S_2$ عدد $C(u, v)$ را نسبت می‌دهد که مقداری در I است.

در واقع تفاوت میان زیر مفصل و مفصل در دامنه آن‌ها است و واضح است که هر مفصل یک زیر مفصل است ولی برعکس آن برقرار نیست. البته تمامی خواص مهم مفصل برای زیر مفصل نیز برقرار است.

قضیه ۱.۲.۲. (نلسن ۲۰۰۶) فرض کنید C' یک زیر مفصل باشد برای هر (u_1, u_2) و (v_1, v_2) عضو $Dom(C')$ ، رابطه زیر که تحت عنوان نامساوی لیپ شیتز^۱ مشهور است همواره برقرار است:

$$|C(u_2, v_2) - C(u_1, v_1)| \leq |u_2 - u_1| + |v_2 - v_1|$$

از این رو روی دامنه‌اش به طور یکنواخت پیوسته است [۱۱].

قضیه ۲.۲.۲. (نلسن ۲۰۰۶) (کران‌های مفصل) اگر (C') یک زیر مفصل باشد، آن‌گاه داریم

$$\forall (u, v) \in S_1 * S_2 = Dom(C')$$

$$W(u, v) = \max\{u + v - 1, \circ\} \leq C'(u, v) \leq \min\{u, v\} = M(u, v)$$

(در برخی از مقالات W و M را به ترتیب با نمادهای C^- و C^+ نیز نشان می‌دهند.) [۱۱].

تعریف ۶.۲.۲. فرض کنید X یک متغیر تصادفی و a یک عدد حقیقی باشد در این صورت گوییم X حول a متقارن است اگر توابع توزیع متغیرهای تصادفی $X - a$ و $a - X$ یکسان باشند یا عبارت دیگر برای هر $x \in R$ داشته باشیم:

$$P[X - a \leq x] = P[a - X \leq x]$$

^۱Lipschitz

وقتی که X پیوسته با تابع توزیع F باشد، تساوی بالا به صورت زیر می‌شود:

$$F(a+x) = \bar{F}(a-x)$$

در ضمن وقتی که F ناپیوسته باشد تساوی فقط در نقاط پیوسته F برقرار است.

تعریف ۷.۲.۲. اگر (X, Y) یک زوج تصادفی باشند. آن‌گاه X و Y تعویض‌پذیر^۱ می‌شوند. همچنین اگر (X, Y) و (Y, X) هم توزیع باشند. این ویژگی در توابع مفصل با ویژگی متقارن^۲ بودن معادل می‌باشد. یعنی، یک مفصل C ، متقارن می‌باشد اگر برای هر $u, v \in [0, 1]$ ، $C(u, v) = C(v, u)$ ، در غیر این صورت مفصل C نامتقارن^۳ می‌شود [۵]. فرض کنید (X, Y) یک زوج تصادفی باشند. گوییم X و Y تعویض‌پذیر^۴ هستند اگر (X, Y) و (Y, X) هم توزیع باشند. ویژگی تعویض‌پذیر بودن در توابع مفصل معادل با ویژگی متقارن^۵ بودن است. یعنی، یک مفصل C ، متقارن است. اگر برای هر $u, v \in [0, 1]$ ، $C(u, v) = C(v, u)$ ، در غیر این صورت مفصل C نامتقارن^۶ است [۵].

قضیه ۳.۲.۲ (اسکلار). فرض کنید H تابع توزیع توأم متغیرهای تصادفی X و Y با توابع توزیع حاشیه‌ای F_X و G_Y باشد آن‌گاه برای هر x و y در $\mathbb{R}$ ؛ خواهیم داشت

$$H(x, y) = C(F_X(x), G_Y(y)).$$

قضیه بالا نشان‌دهنده این موضوع است که برای هر تابع توزیع F_X و G_Y و تابع مفصل C می‌توان تابع توزیع توأم H را با استفاده از توابع توزیع حاشیه‌ای F_X و G_Y به دست آورد. اسکلار (۱۹۵۹) نشان داد در صورتی که F_X و G_Y به طور مطلق پیوسته باشند، آنگاه تابع مفصل یکتاست. در غیر این صورت C به صورت یک تابع غیر یکتا بر روی $Ran(F) * Ran(G)$ تعریف می‌شود، که $Ran(F)$ و $Ran(G)$ به ترتیب برد توابع F_X و G_Y هستند. اگر متغیرهای تصادفی پیوسته X و Y به ترتیب دارای تابع چگالی $f_X(x)$ و $g_Y(y)$ و تابع توزیع $F_X(x)$ و $G_Y(y)$ باشند، در این صورت تابع چگالی توأم برای دو متغیر تصادفی به صورت

$$h_{X,Y}(x, y) = c(F_X(x), G_Y(y)) f_X(x) g_Y(y)$$

است که ساختار وابستگی $c(F_X(x), G_Y(y))$ را از توابع چگالی‌های حاشیه‌ای $f_X(x)$ و $g_Y(y)$ جدا می‌کند. تابع c ، تابع چگالی توأم تابع مفصل است که از رابطه

$$c(F_X(x), G_Y(y)) = \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} C(F_X(x), G_Y(y))$$

بدست می‌آید [۵].

¹Exchangeable

²Symmetric

³Asymmetric

⁴Exchangeable

⁵Symmetric

⁶Asymmetric

۳.۲ توابع مفصل و مدل سازی ساختار بین متغیرها

تابع مفصل نخستین بار توسط اسکالر [۹۴] بیان شد اما استفاده از آن در زمینه مالی و مدیریت از اواخر دهه ۱۹۹۰ با معرفی تابع مفصل توسط امبرجت و همکاران^۱ (۱۹۹۹) آغاز شد، امروزه استفاده از توابع مفصل به عنوان یک روش قوی و انعطاف پذیر در مدل سازی وابستگی متغیرهای تصادفی در حوزه های مختلف علوم رو به افزایش است. در تئوری آمار و احتمال، تابع مفصل یک تابع توزیع احتمال چندمتغیره ای می باشد که تابع توزیع حاشیه ای (چگالی) هریک از متغیرها دارای توزیع یکنواخت^۲ است. از ویژگی مهم توابع مفصل این می باشد که آن ها با یک تبدیل اکیدا صعودی، تغییر نمی کنند. طبق قضیه اسکالر تابع چگالی هر توزیع چند متغیره را به صورت دو مؤلفه کاملاً جدا از هم نشان داده می شود: توزیع های حاشیه ای و ساختار وابستگی. توزیع های حاشیه ای با استفاده از توابعی که دارای توزیع یکنواخت می باشند مدل سازی می شوند و ساختار وابستگی بین متغیرها هم از طریق تابع مفصل مدل سازی به دست می آید. در این قسمت قضیه اسکالر را در حالت چند متغیره بیان می کنیم.

قضیه ۱.۳.۲. در صورتی که $X = (X_1, X_2, \dots, X_d)'$ برداری از متغیرهای تصادفی باتوزیع مشترک F و با توزیع های حاشیه ای F_1 و F_2 و ... و F_d باشد؛ آنگاه یک تابع مفصل مانند C خواهیم داشت به طوری که برای هر $x = (x_1, x_2, \dots, x_d)' \in [-\infty, \infty]^d$ داریم:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_d) = C(F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_d(x_d)) \quad (1.2)$$

و اگر F_1 و F_2 و ... و F_d پیوسته باشد آن گاه C یکتا خواهد بود.

با توجه به اینکه تابع مفصل براساس توزیع مشترک توزیع های حاشیه ای یکنواخت بیان می شود، بنابراین تابع مفصل C در رابطه (۱.۲) به صورت

$$C(u_1, u_2, \dots, u_d) = F(F_1^{-1}(u_1), \dots, F_d^{-1}(u_d))$$

تعریف می شود. که در آن C یک تابع مفصل d بعدی و $u_1, u_2, \dots, u_d$ توزیع حاشیه ای یکنواخت هریک از متغیرهای تصادفی می باشد؛ F_i^{-1} معکوس تابع توزیع، توزیع های حاشیه ای یکنواخت می باشد. تابع مفصل باعث می شود هیچ محدودیتی در انتخاب نوع توزیع های حاشیه ای متغیرهای تصادفی نداشته باشیم، به همین جهت می توان توابع حاشیه ای موردنظر را با یک تابع مفصل مشخص جهت تشکیل توزیع چند متغیره ترکیب نمود. از دلایل متنوع بودن خانواده تابع مفصل می توان به همین مورد اشاره کرد.

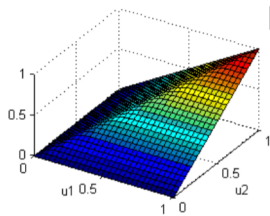
بنابراین سه حالت مختلف برای ساختار وابستگی^۳ یک توزیع دو متغیره می توان بیان کرد

^۱Embrechts, Paul, Alexander McNeil, and Daniel Straumann

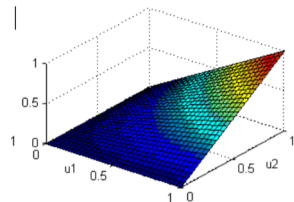
^۲ $c : [0, 1]^d \rightarrow [0, 1]$

^۳ یکی از معیارهای وابستگی بین بازده مالی ضریب همبستگی خطی است، در آمار برای بررسی دقیق ارتباط بین متغیرها از دو مفهوم وابستگی و همبستگی برای تعیین این گونه ارتباطها استفاده شده می شود.

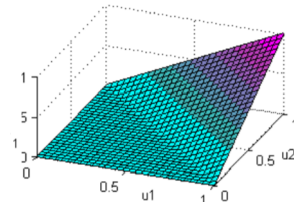
و متناظر با ساختار وابستگی میان آن‌ها شکل تابع مفصل آن‌ها نیز متفاوت است. نمودارهای ۱.۲ از چپ به راست به ترتیب توابع مفصل دوبعدی با ساختار همبستگی کاملاً وابسته مثبت، مستقل و کاملاً وابسته منفی را نشان می‌دهد [۱۸].



(ج) ساختار همبستگی
کامل مثبت



(ب) ساختار همبستگی
مستقل



(آ) ساختار همبستگی
کامل منفی

شکل ۱.۲: شکل‌های مفصل‌های دو بعدی با ساختار همبستگی متفاوت

۱.۳.۲ سنجش وابستگی بین متغیرها

از مشهورترین وابستگی بین متغیرهای تصادفی یا وابستگی ساختار توابع مفصل می‌توان به ضریب همبستگی خطی پیرسون، ضریب رواسپیرمن (ρ)، ضریب تاو کندال (τ) و ضریب همبستگی دم بالا و پایین ($\wedge$) اشاره کرد.

● ضریب پیرسون

ضریب پیرسون، همبستگی خطی بین دو متغیر X_1 و X_2 را بیان می‌کند و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\rho(X_1, X_2) = \frac{Cov(X_1, X_2)}{\sqrt{Var(X_1)Var(X_2)}}$$

برای پارامترهای ثابت α و β و q_1 و q_2 داریم:

$$\rho(\alpha.X_1 + q_1, \beta.X_2 + q_2) = \alpha\beta.\rho(X_1, X_2)$$

یعنی ضریب همبستگی خطی با تبدیل خطی متغیرها تغییر نمی‌کند. اما به طور کلی اگر E_1 و E_2 تبدیل‌های غیر خطی از متغیرها باشد آن‌گاه داریم: $\rho(x_1, x_2) \neq \rho(E_1(X_1), E_2(X_2))$ یعنی ρ خواص توابع مفصل را ندارد و به توزیع حاشیه‌ای متغیرها بستگی دارد.

● ضریب تاو کندال

برای دو بردار مستقل از هم با توزیع‌های یکسان (X_1, X_2) و $(\tilde{X}_1, \tilde{X}_2)$ به صورت احتمال انطباق توزیع‌ها منهای احتمال عدم انطباق توزیع‌ها تعریف شده است. یعنی:

$$\tau(X_1, X_2) = P[(X_1 - \tilde{X}_1)(X_2 - \tilde{X}_2) > 0] - P[(X_1 - \tilde{X}_1)(X_2 - \tilde{X}_2) < 0]$$

ضریب تاوکندال ویژگی تابع مفصل دارد و همچنین به شرح زیر بیان می شود [۱۸]:

$$\tau(X_1, X_2) = 4 \int \int_0^1 c(u, v) \cdot dc(u, v) - 1$$

● ضریب رو اسپیرمن

ترکیب خطی متغیرهایی با توزیع یکنواخت $u = F_1(X_1)$ و $v = F_2(X_2)$ می باشد یعنی:

$$\rho_s(X_1, X_2) = \rho(F_1(X_1), F_2(X_2)) \quad (2.2)$$

در این حالت ضریب رو اسپیرمن مانند یک تابع مفصل می باشد و مشخصات یک تابع مفصل را دارد با این تفاوت که دیگر در اینجا توزیع های حاشیه ای یکنواخت نمی باشد. بعضی مواقع ضریب رو اسپیرمن، مرتبه همبستگی اسپیرمن گفته می شود. [۱۸]

● ضریب همبستگی دم بالا و پایین

یکی دیگر از کمیت های سنجش همبستگی توابع مفصل، ضریب همبستگی دم بالا و دم پایین $\Lambda_U(X_1, X_2)$ و $\Lambda_L(X_1, X_2)$ می باشد که به ترتیب به حالت های زیر بیان می شوند: فرض می شود که $\Lambda_U(X_1, X_2) \in [0, 1]$ است و حدهای ذکر شده وجود دارد.

$$\Lambda_U(X_1, X_2) = \lim_{u \nearrow 1} P[X_1 > F_1^{-1}(u) | X_2 > F_2^{-1}(v)]$$

و

$$\Lambda_L(X_1, X_2) = \lim_{u \searrow 0} P[X_1 > F_1^{-1}(u) | X_2 > F_2^{-1}(v)]$$

در روابط بالا فرض می شود که حدهای ذکر شده وجود دارند و $\Lambda_U(X_1, X_2) \in [0, 1]$ می باشد. اگر $\Lambda_U(X_1, X_2)$ برابر صفر باشد، گفته می شود که دو متغیر X_1, X_2 دارای عدم همبستگی دم مجانبی بالا بوده و اگر $\Lambda_U(X_1, X_2) \in [0, 1]$ گفته می شود که شامل همبستگی دم مجانبی بالا می باشند. به همین ترتیب برای $\Lambda_V(X_1, X_2)$ نیز این بحث مطرح است [۱۸].

۴.۲ برخی از مفصل های مهم

در این قسمت برخی از توابع مفصل دو متغیره را معرفی می کنیم در ابتدا با مفصل های بیضوی (نرمال و تی استیودنت) شروع می کنیم. آنها فرم بسته ای ندارند و با استفاده از تابع توزیع شان به دست می آیند. در ادامه برخی از توابع مفصل ارشمیدسی یک پارامتری و دو پارامتری را معرفی خواهیم کرد، این مفصل ها به دلیل فرم بسته ساده ای آنها، به آنها مفصل های صریح گفته می شود. علاوه بر معرفی مفصل های کلایتون، گامبل، فرانک، جو، کلایتون-گامبل، جو-کلایتون و... در انتها به معرفی مفصل وین که در این تحقیق برای ساخت شاخص مرکب نقدشوندگی هم از آن استفاده نموده ایم می پردازیم. تابع مفصل چند متغیره، درواقع یک توزیع چندمتغیره با توزیع های حاشیه ای یکنواخت می باشد [۱۸]. دال اگلی در سال ۱۹۹۱

برای نخستین بار تابع‌های مفصل چند متغیره را مطرح نمود [۳۴]. همچنین نلسن [۷۹] و دوروت [۶۶] بسیاری از تابع‌های مفصل چند متغیره را بیان کردند و به جزئیات آن پرداختند. تابع‌های مفصل چند متغیره برای همه توزیع‌های چند متغیره با حاشیه‌های پیوسته مانند نرمال وجود دارد. این تابع‌ها در واقع تابع توزیع چند متغیره با حاشیه‌های توزیع یکنواخت بر $[0, 1]^n$ است [۶۷].

۱.۴.۲ توابع مفصل بیضوی

خانواده‌ی توزیع‌های بیضوی^۱ در آمار و اقتصاد کاربردهای فراوانی دارد. تابع مفصل گوسی^۲ و تی‌استیودنت^۳ از توابع مفصل بیضوی پارامتریک می‌باشند. فرمول کلی این توابع به صورت زیر می‌باشد

$$C_{\rho}^{Gauss}(u_1, u_2) = \Phi_{\rho}(\Phi^{-1}(u_1), \Phi^{-1}(u_2)) \quad (1.2)$$

که در آن $\Phi_{\rho}(\cdot)$ توزیع نرمال استاندارد دو متغیره با ماتریس همبستگی پیرسون ρ و $\Phi^{-1}(\cdot)$ معکوس تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد است.

$$C_{\rho}^{T-Student}(u_1, u_2) = T_{\rho, v}(t_v^{-1}(u_1), t_v^{-1}(u_2)) \quad (2.2)$$

که در آن $T_{\rho, v}(\cdot)$ توزیع نرمال تی-استیودنت دو متغیره با ماتریس همبستگی ρ و درجه آزادی v و $t_v^{-1}(\cdot)$ معکوس تابع توزیع تی‌استیودنت تجمعی است. در جدول ۱.۲ ویژگی‌های توابع مفصل بیضوی ارائه شده است. [۱۸]. در تابع مفصل گوسی وابستگی دم صفر داریم

جدول ۱.۲: خانواده توابع مفصل بیضوی

ردیف	نام تابع مفصل	دامنه تغییر پارامترها	ضریب تاو کندال	وابستگی دم بالا و پایین
۱	گوسی	$\rho \in (-1, 1)$	$\frac{2}{\pi} \arcsin(\rho)$	۰
۲	تی-استیودنت	$\rho \in (-1, 1), v > 2$	$\frac{2}{\pi} \arcsin(\rho)$	$2t_{v+1}(-\sqrt{v+1}\sqrt{\frac{1-\rho}{1+\pi}})$

اما در تابع مفصل تی‌استیودنت وابستگی دم صفر نداریم. تابع مفصل تی‌استیودنت با افزایش درجه آزادی به سمت تابع مفصل گوسی همگرا می‌شود.

۲.۴.۲ تابع مفصل ضربی

تابع مفصل ضربی^۴ از مهم‌ترین توابع مفصل است که به صورت زیر می‌باشد

$$\Pi(u, v) = uv$$

¹Elliptical Distribution

²Gaussian Copula

³T-Copula

⁴Product Copula

و در صورتی که دو متغیر تصادفی دارای تابع مفصل ضربی باشند آنگاه از هم مستقل خواهند بود. هم‌چنین بنابر قضیه اسکالر داریم

$$H(x, y) = C(F_X(x), G_Y(y)) = \prod (F_X(x), G_Y(y)) = F_X(x), G_Y(y)$$

۳.۴.۲ خانواده توابع مفصل ارشمیدسی

برای نخستین بار تابع‌های مفصل ارشمیدسی^۱ توسط شوایزر و اسکالر (۱۹۶۱) کشف شد. اما توسط لینگ (۱۹۶۵) نامگذاری شد. این تابع‌ها به طور گسترده‌ای در امور مالی و بیمه به استفاده می‌شوند. ایده‌ی استفاده از تابع‌های مفصل ارشمیدسی در بیمه به صورت غیر مستقیم توسط کلایتون (۱۹۷۸) مطرح و توسط اوکس (۱۹۸۲)، کوک و جانسون (۱۹۸۷) استفاده شد. مفصل‌های ارشمیدسی یکی از مهم‌ترین خانواده‌های تابع‌های مفصل به شمار می‌روند، زیرا اکثر تابع‌های مفصل متعلق به این خانواده است. سهولت ساخت و ویژگی‌های جالب تابع‌های مفصل این خانواده باعث گسترش و توجه هر چه بیشتر آن شده است. به عنوان مثال می‌توان به کارهای مارشال و الکین (۱۹۸۸) و جو (۱۹۹۳) اشاره کرد [۶]. جنست و مکی (۱۹۸۶) یک زیر کلاس مهم از مفصل‌ها را بررسی کرده‌اند. آنها این زیر کلاس را مفصل ارشمیدسی نامیده‌اند. بسیاری از خصوصیات این کلاس در متون آماری بررسی شده است. این کلاس از مفصل‌ها به دلایل زیادی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد و که در زیر به چند دلیل عمده اکتفا خواهیم کرد:

- ۱- سادگی ساخت این کلاس و اعضای آن
 - ۲- تعداد بسیار زیادی از مفصل‌ها در این کلاس قرار دارند.
 - ۳- این کلاس بسیاری از خواص مطلوب را دارا است [۱۰].
- توابع مفصل ارشمیدسی بسیار انعطاف پذیرند و دامنه گسترده‌ای از ساختار وابستگی‌ها را به ویژه وابستگی دم متغیرهای تصادفی را مدل‌سازی می‌کنند [۱۸].

تعریف ۱.۴.۲. فرض کنید φ یک تابع پیوسته‌ی نزولی اکید از I به $[0, \infty]$ باشد، به طوری که $\varphi(1) = 0$. در این صورت شبه وارون φ ، تابع $\varphi^{[-1]}$ با دامنه $[0, \infty]$ و برد I به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\varphi^{[-1]}(t) = \begin{cases} \varphi^{-1}(t) & 0 \leq t < \varphi(0) \\ 0 & \varphi(0) \leq t \leq \infty \end{cases}$$

لازم به ذکر است که $\varphi^{[-1]}$ تابعی پیوسته و نزولی روی $[0, \infty]$ و تابعی اکیداً نزولی روی $[0, \varphi(0))$

¹Archimedean Copulas

است به علاوه روی I داریم، $\varphi^{-1}(\varphi(u)) = u$ و

$$\begin{aligned}\varphi(\varphi^{[-1]}(t)) &= \begin{cases} t & 0 \leq t < \varphi(0) \\ \varphi(0) & \varphi(0) \leq t \leq \infty \end{cases} \\ &= \min(t, \varphi(0))\end{aligned}$$

و اگر $\varphi(0) = 1$ ، آن گاه $\varphi^{[-1]} = \varphi^{-1}$

قضیه زیر روش ساختن تابع مفصل را با استفاده از تابع φ بیان می کند [۱۱].

قضیه ۱.۴.۲. (نلسن ۲۰۰۶) تابع پیوسته و نزولی اکید $\varphi: I \rightarrow [0, \infty]$ به طوری که $\varphi(1) = 0$ و $\varphi^{[-1]}$ شبه وارون آن باشد را در نظر بگیرید، در این صورت تابع

$$C(u, v) = \varphi^{[-1]}(\varphi(u) + \varphi(v)) = \begin{cases} \varphi^{-1}(\varphi(u) + \varphi(v)) & \varphi(u) + \varphi(v) \leq \varphi(0) \\ 0 & o.w \end{cases} \quad (3.2)$$

یک مفصل است، اگر و تنها اگر φ محدب باشد [۱۱].

مفصل ۳.۲ را مفصل "ارشمیدی" می نامند و تابع φ را "تابع مولد" مفصل می نامند. علاوه بر این اگر داشته باشیم $\varphi(0) = \infty$ ، آن گاه φ مولد اکید می باشد. از این رو طبق تعریف ۱.۴.۲ داریم $\varphi^{[-1]} = \varphi^{-1}$ و بنابراین

$$\forall u, v \in I^{\neq}, C(u, v) = \varphi^{-1}(\varphi(u) + \varphi(v))$$

را "مفصل ارشمیدی اکید" می نامند [۱۱].

فرم کلی توابع مفصل ارشمیدی را نیز می توان به صورت بیان کرد:

$$C(u_1, u_2, \dots, u_M, \theta) = \varphi_{\theta}^{-1}\left(\sum_{m=1}^M \varphi_{\theta}(u_m)\right), \quad u_m \in [0, 1] \quad (4.2)$$

که در آن $\varphi: [0, \infty) \rightarrow [0, 1]$ و φ تابع کاهشی و پیوسته می باشد. بطوریکه $\varphi(0) = 1$ و $\varphi(\infty) = 0$ و معکوس آن φ^{-1} است که در بازه $[0, \infty)$ یکنوا و محدب می باشد. $\varphi_{\theta}(t)$ تابع مولد توابع مفصل ارشمیدی یک پارامتری می باشد با قرار دادن $\varphi(t) = (-\log t)^{\theta}$ و با فرض $\theta \geq 1$ در رابطه فوق تابع مفصل گامبل^۱ حاصل می شود. تابع مفصل کلایتون برعکس تابع مفصل گامبل تنها وابستگی دم پایین متغیرها را نشان می دهد. اگر $\varphi(t) = -\log \frac{(e^{-\theta t} - 1)}{e^{-\theta} - 1}$ و با فرض $\theta \in R\{0\}$ تابع فرانک بدست می آید؛ تابع مفصل فرانک مانند تابع مفصل گوسی وابستگی دم بالا و پایین ندارد. در جدول ۲.۲ خصوصیات بعضی از توابع مفصل دو متغیره به لحاظ نوع وابستگی بین آنها ارائه شده است. همچنین تابع مولد، اندازه وابستگی و دامنه

¹Gumbel Copula

تغییر پارامترهای بعضی از توابع مفصل خانواده ارشمیدسی یک پارامتری (با پارامتر θ) و دو پارامتری (با پارامترهای θ, δ) در جدول ۳.۲ ارائه شده است. در این جدول همچنین دامنه تغییر پارامترها و تابع مولد تابع مفصل دو پارامتری BB1، BB6، BB7 و BB8 که به ترتیب از ترکیب توابع مفصل (کلایتون-گامبل)، (جوی-گامبل)، (جوی-کلایتون) و (جوی-فرانک) به دست می آیند، بیان شده است.

جدول ۳.۲: خلاصه ویژگی های برخی از توابع مفصل دو متغیره

تابع مفصل	وابستگی مثبت	وابستگی منفی	تقارن دنب توزیع	وابستگی در دنب پایین	وابستگی در دنب بالا
نرمال	✓	✓	✓	-	-
تی استیودنت	✓	✓	✓	✓	✓
کلایتون	✓	-	-	✓	-
گامبل	✓	-	-	-	✓
فرانک	✓	✓	✓	-	-
جو	✓	-	-	-	✓
RC	-	✓	-	-	-
RG	-	✓	-	-	-
RJ	-	✓	-	-	✓
کلایتون-گامبل	✓	-	-	✓	✓
جو-گامبل	✓	-	-	✓	✓
جو-کلایتون	✓	-	-	✓	✓
جو-فرانک	✓	-	-	✓	✓

جدول ۳.۲: خانواده توابع مفصل ارشمیدی تک پارامتری و دو پارامتری

ردیف	نام مفصل	تابع مولد	دامنه تغییر پارامترها	ضریب تاو کنمال	وابستگی دنب بالا و پایین
۱	کلایتون	$\frac{1}{\theta}(t^{-\theta}-1)$	$\theta > 0$	$\frac{\theta}{\theta+1}$	$(\frac{1}{\theta}, 0)$
۲	گامبل	$(-\log t)^\theta$	$\theta \geq 1$	$1 - \frac{1}{\theta}$	$(0, 1 - \frac{1}{\theta})$
۳	فرانک	$-\log [\frac{e^{-\theta t}-1}{\theta-1}]$	$\theta \in \mathbb{R}^+$	$1 - \frac{\gamma}{\theta} + \gamma \frac{D_1(\theta)}{\theta}$	$(0, 0)$
۴	جوی	$-\log [1 - (1-t)^\theta]$	$\theta > 1$	$1 + \frac{\gamma}{\theta} \int_0^\gamma t \log(t)(1-t) \frac{\gamma(1-\theta)}{\theta} dt$	$(0, 1 - \frac{1}{\theta})$
۵	کلایتون-گامبل	$(t^{-\theta}-1)^\delta$	$\theta > 0, \delta \geq 1$	$1 - \frac{\gamma}{\delta(\theta+1)}$	$(\frac{1}{\theta\delta}, 1 - \frac{1}{\theta\delta})$
۶	جو-گامبل	$(-\log [1 - (1-t)^\theta])^\delta$	$\theta \geq 1, \delta \geq 1$	$1 + \frac{\gamma}{\theta\delta} \int_0^1 \{-\log(1 - (1-t)^\theta) * (1-t)(1 - (1-t)^{-\theta})\} dt$	$(0, 1 - \frac{1}{\theta\delta})$
۷	جو-کلایتون	$(1 - (1-t)^\theta)^{-\delta} - 1$	$\theta \geq 1, \delta > 0$	$1 + \frac{\gamma}{\theta\delta} \int_0^1 \{-(1 - (1-t)^{\delta+1}) * \frac{(1-(1-t)^\theta)^{-\delta}-1}{(1-t)^{\theta-1}}\}$	$(\frac{1}{\theta\delta}, 1 - \frac{1}{\theta\delta})$
۸	جو-فرانک	$-\log [\frac{1-(1-\delta)t^\theta}{1-(1-\delta)^\theta}]$	$\theta \geq 1, \delta \in (0, 1]$	$1 + \frac{\gamma}{\theta\delta} \int_0^1 \{-\log (\frac{(1-\delta t)^\theta-1}{(1-\delta)^\theta-1}) * (1-t\delta)(1 - (1-t\delta)^{-\theta})\} dt$	$(0, 0)$

۴.۴.۲ مفصل تی استیودنت

تابع توزیع توأم دو متغیره تی استیودنت به صورت

$$F(x, y; \rho, v) = \int_{-\infty}^x \int_{-\infty}^y \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \left(1 + \frac{s^2 + t^2 - st\rho}{v(1-\rho^2)}\right)^{\frac{v+2}{2}} ds dt$$

است که در آن v درجه آزادی و ρ ضریب همبستگی می باشد. تابع توزیع و تابع چگالی مفصل دو متغیره تی استیودنت به صورت زیر می باشد

$$\begin{aligned} C(u, v; \rho, v) &= t_{\rho, v}(t_v^{-1}(u), t_v^{-1}(v)) \\ &= \int_{-\infty}^{t_v^{-1}(u)} \int_{-\infty}^{t_v^{-1}(v)} \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \left(1 + \frac{s^2 + t^2 + 2st\rho}{v(1-\rho^2)}\right)^{\frac{v+2}{2}} ds dt \end{aligned}$$

$$c(u, v; \rho, v) = \frac{\frac{\Gamma(\frac{v+2}{2})}{\Gamma(\frac{v}{2})}}{v\pi dt_v(x_1)dt_v(x_2)\sqrt{1-\rho^2}} \left(1 + \frac{s^2 + t^2 + 2st\rho}{v(1-\rho^2)}\right)^{-\frac{v+2}{2}}$$

که در آن $(s = t_v^{-1}(u), t = t_v^{-1}(v))$.

تابع مفصل تی استیودنت مانند تابع مفصل گوسی مقارن انعکاسی می باشد و کران بالای فرچه - هافدینگ برای ضریب همبستگی خطی $\rho = 1$ و کران پایین فرچه - هافدینگ برای $\rho = -1$ را نتیجه می دهد، اما تابع مفصل این خانواده برای $\rho = 0$ برابر با تابع مفصل حاصل ضربی نمی باشد [۶].

۵.۴.۲ مفصل کلایتون

تابع مفصل کلایتون^۱ برای پارامتر $\theta \in [-1, 0) \cup (0, +\infty)$ به صورت

$$C(u, v; \theta) = \text{Max}\{(u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1)^{\frac{-1}{\theta}}, 0\}$$

و برای $\theta > 0$ به صورت

$$C(u, v; \theta) = (u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1)^{\frac{-1}{\theta}}$$

توسط کلایتون (۱۹۷۸) معرفی شد [۳۰]. که تابع چگالی مفصل آن به صورت

$$c(u, v; \theta) = (\theta + 1)(u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1)^{\frac{-1}{\theta}-2} (uv)^{-\theta-1}$$

به دست می آید. برای $\theta > 0$ تابع مولد این تابع ها به صورت $\varphi(t) = \frac{t^\theta - 1}{\theta}$ می باشد و دارای وابستگی دنباله ای پایین است. [۶].

¹Clayton Copula

۶.۴.۲ مفصل گامبل^۱

تابع مفصل گامبل برای پارامتر $\theta \geq 1$ به صورت

$$C(u, v; \theta) = \exp \left\{ \left[-(-\ln u)^\theta + (\ln v)^\theta \right]^{\frac{1}{\theta}} \right\}$$

توسط گامبل (۱۹۶۰) معرفی شده است [۵۲]. تابع چگالی مفصل گامبل به صورت زیر می باشد

$$c(u, v; \theta) = c(u, v; \theta) \frac{[(-\ln u)(-\ln v)]^{\theta-1}}{uv} [(-\ln u)^\theta + (\ln v)^\theta]^{\frac{1}{\theta}-2} * \\ \{(\theta-1)[(-\ln u)^{-\theta} + (-\ln v)^{-\theta}]^{\frac{1}{\theta}} + 1\}$$

همچنین تابع مولد این تابع به صورت $\varphi(t) = (-\ln t)^\theta$ می باشد که وابستگی دنباله ای بالایی دارد [۶].

۷.۴.۲ تابع مفصل فرانک^۲

تابع مفصل فرانک برای پارامتر $\theta \in R$ به صورت

$$C(u, v; \theta) = \frac{-1}{\theta} \ln \left[1 + \frac{(e^{-\theta u} - 1)(e^{-\theta v} - 1)}{e^{-\theta} - 1} \right]$$

توسط فرانک (۱۹۷۹) معرفی شده است. تابع چگالی مفصل فرانک به صورت زیر می باشد

$$c(u, v; \theta) = \frac{\theta e^{-\theta(u+v)}(e^{-\theta} - 1)}{[e^{-\theta(u+v)} - e^{-\theta u} - e^{-\theta v} + e^{-\theta}]^2}$$

. تابع مولد این مفصل به صورت $\varphi = -\ln \frac{\exp(-\theta t) - 1}{\exp(-\theta) - 1}$ است [۶].

۸.۴.۲ تابع مفصل جو

تابع مفصل جو برای پارامتر $\theta \in [1, \infty)$ به صورت

$$C(u, v; \theta) = 1 - \left[(1-u)^\theta + (1-v)^\theta - ((1-u)(1-v))^\theta \right]^{\frac{1}{\theta}}$$

توسط جوی (۱۹۹۳) معرفی شد [۶۲]، تابع چگالی این مفصل به صورت

$$c(u, v; \theta) = \left[(1-u)^\theta + (1-v)^\theta - ((1-u)(1-v))^\theta \right]^{\frac{1}{\theta}-2} ((1-u)(1-v))^{\theta-1} \\ * \left[(\theta-1) + (1-u)^\theta + (1-v)^\theta - ((1-u)(1-v))^\theta \right]$$

می باشد. همچنین تابع مولد این مفصل به صورت $\varphi(t) = -\ln(1 - (1-t)^\theta)$ می باشد که وابستگی دمی بالایی دارد [۶].

¹Gumbel copula

²Frank Copula

۹.۴.۲ تابع مفصل کلایتون – گامبل

تابع مفصل کلایتون – گامبل یک مفصل ارشمیدسی دو پارامتری می باشد. به این تابع مفصل ترکیبی، مفصل BB1 نیز گفته می شود. تابع توزیع و تابع چگالی این مفصل به صورت زیر می باشد [۶]

$$C(u, v) = [1 + [(u^{-\theta} - 1)^\delta + (v^{-\theta} - 1)^\delta]^{\frac{1}{\delta}}]^{-\frac{1}{\theta}} \quad \theta > 0 \quad \delta \geq 1$$

$$\begin{aligned} c(u, v) &= [1 + [(u^{-\theta} - 1)^\delta + (v^{-\theta} - 1)^\delta]^{\frac{1}{\delta}}]^{-\frac{1}{\theta}-2} * [(u^{-\theta} - 1)^\delta + (v^{-\theta} - 1)^\delta]^{\frac{1}{\delta}-2} \\ &\quad * \{ \theta \delta + 1 + \theta(\delta - 1)[(u^{-\theta} - 1)^\delta + (v^{-\theta} - 1)^\delta]^{\frac{1}{\delta}} \} \\ &\quad * (u^{-\theta} - 1)^{-\delta-1} u^{-\theta-1} (v^{-\theta} - 1)^{-\delta-1} v^{-\theta-1} \end{aligned}$$

.

۱۰.۴.۲ تابع مفصل جو – کلایتون

تابع مفصل جو – کلایتون، مانند مفصل BB1 یک تابع مفصل دو پارامتری می باشد که ترکیبی از خانواده های تابع مفصل یک پارامتری جو و کلایتون است و به آن BB7 نیز گفته می شود. تابع مفصل BB7 به صورت

$$C(u, v) = 1 - \left\{ 1 - [(1 - (1 - u)^\theta)^{-\delta} + (1 - (1 - v)^\theta)^{-\delta} - 1]^{\frac{1}{\delta}} \right\}^{\frac{1}{\theta}}$$

برای $\theta \geq 1$ و $\delta > 0$ می باشد.

۱۱.۴.۲ تابع مفصل هماهنگی^۱

کران های فرشه – هافدینگ با مفصل در ارتباط است. مفصل هماهنگی، کران بالای فرشه – هافدینگ می باشد و به صورت زیر تعریف می شود.

$$M(u, v) = C^+(u, v) = \min\{u, v\}$$

هماهنگی به حالتی می گویند که بین متغیرها وابستگی کامل مثبت برقرار باشد [۱۱].

۱۲.۴.۲ تابع مفصل ناهماهنگی^۲

حالت دیگر مفصل ناهماهنگی کامل است و فقط برای حالت دو بعدی می توان محاسبه کرد. مفصل ناهماهنگی یا کران پایین فرشه – هافدینگ به صورت زیر تعریف می شود:

$$W(u, v) = C^-(u, v) = \max\{u + v - 1, 0\}$$

¹Comonotonicity copula

²Countermonotonicity Copula

ساختار وابستگی این مفصل وابستگی منفی کامل است. [۱۱].

۱۳.۴.۲ تابع مفصل FGM

خانواده‌ی مفصل‌های فارلی-گامبل-مونگسترون^۱ (FGM) تنها مفصل‌هایی هستند که اعضای آن را می‌توان به صورت عبارت چند جمله‌ای درجه دو از u و v بیان کرد. تابع مفصل این خانواده به صورت زیر است

$$C(u, v) = uv + \theta uv(1-u)(1-v), \quad \theta \in [-1, 1], u, v \in I$$

و در صورتی که $\theta = 0$ مفصل FGM، برابر با مفصل استقلال می‌شود. تابع چگالی این خانواده نیز به صورت زیر می‌باشد [۱۱].

$$c_{\theta}(u, v) = 1 + \theta(1-u)(1-v)$$

۱۴.۴.۲ تابع مفصل مقدار فرین

ابتدا به بیان قضیه و توضیحاتی در ارتباط با تبدیل یک مفصل پرداخته و در ادامه به معرفی این خانواده از مفصل‌ها می‌پردازیم. اگر $(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)$ زوج متغیرهای تصادفی مستقل و هم‌توزیع با تابع توزیع توأم $H(x, y)$ و توابع توزیع حاشیه‌ای $X_i \sim F$ و $Y_i \sim G$ و همچنین دارای تابع مفصل متناظر $C(u, v)$ باشند. در صورتی که $X_{(n)} = \max\{X_1, \dots, X_n\}$ و $Y_{(n)} = \max\{Y_1, \dots, Y_n\}$ باشد، آنگاه مفصل متناظر آن به شکل زیر بیان می‌گردد:

$$\forall n \geq 1, u, v \in I, \quad C_{(n)}(u, v) = C^n(u^{\frac{1}{n}}, v^{\frac{1}{n}}) \quad (5.2)$$

زیرا اگر فرض کنیم $F_{(n)}$ و $G_{(n)}$ به ترتیب توابع توزیع متناظر با $X_{(n)}$ و $Y_{(n)}$ باشند، در این صورت خواهیم داشت برای $i = 1, 2, \dots, n$

$$F_{(n)}(x) = P(X_{(n)} \leq x) = P(X_i \leq x) = P[(X_1 \leq x)]^n = [F(x)]^n \quad (6.2)$$

به صورت مشابه برای $Y_{(n)}$ داریم

$$G_{(n)}(y) = [G(y)]^n \quad (7.2)$$

بنابراین

$$H_{(n)}(x, y) = P(X_{(n)} \leq x, Y_{(n)} \leq y) = P(\text{all } X_i \leq x, \text{all } Y_i \leq y) = [H(x, y)]^n$$

و با استفاده از قضیه‌ی اسکالر و روابط ۶.۲ و ۷.۲

$$H_{(n)}(x, y) = [C(F(x), G(y))]^n = [C([F_{(n)}(x)]^{\frac{1}{n}}, [G_{(n)}(y)]^{\frac{1}{n}})]^n$$

¹Farlie-Gumbel-Morgenstern(FGM)

بنابراین می‌توان گفت

$$\forall n \geq 1, C_{(n)}(u, v) = C^n(u^{\frac{1}{n}}, v^{\frac{1}{n}})$$

حال مطالب فوق را در قضیه زیر بیان می‌کنیم.

قضیه ۲.۴.۲. (نلسن، ۲۰۰۶): فرض کنید C یک تابع مفصل باشد، آن‌گاه

$$\forall n \geq 1; u, v \in I, \quad C_{(n)}(u, v) = C^n(u^{\frac{1}{n}}, v^{\frac{1}{n}})$$

یک مفصل است. بعلاوه اگر $(X_i, Y_i), i = 1 \dots n$ زوج متغیرهای تصادفی مستقل و هم توزیع با مفصل C باشند، آن‌گاه $C_{(n)}$ مفصل متناظر با متغیرهای تصادفی $X_{(n)} = \max\{X_1, \dots, X_n\}$ و $Y_{(n)} = \max\{Y_1, \dots, Y_n\}$ می‌باشد. [۱۱]

مثال ۱.۴.۲. اگر X_i و Y_i متغیرهای تصادفی مستقل باشند، لذا

$$\prod_n (u, v) = [u^{\frac{1}{n}}, v^{\frac{1}{n}}]^n = uv$$

مفصل متناظر با $X_{(n)}$ و $Y_{(n)}$ است [۱۱].

۱۵.۴.۲ توابع مفصل ارشمیدسی سلسله مراتبی^۱

در مدل‌سازی ساختار وابستگی بین متغیرهای تصادفی با توابع مفصل تک پارامتری و چند پارامتری مانند بیضوی و ارشمیدسی محدودیت‌های زیادی یافت می‌شود. اولاً در این نوع توابع مفصل ساختار وابستگی متغیرها فقط با یک یا دو پارامتر انجام می‌گیرد؛ ثانیاً ساختار وابستگی نسبت به جایگشت متغیرها دارای تقارن می‌باشد. بنابراین در همین راستا توابع مفصل جدیدی ساخته شدند که خانواده مفصل HAC مهم‌ترین آنهاست.

به این خانواده از توابع مفصل بر اساس الگوی ساختی که دارند، توابع مفصل ارشمیدسی تودرتو هم گفته می‌شود. اگر مجموعه‌ای شامل چهار متغیر تصادفی با توزیع‌های حاشیه‌ای (u_1, u_2, u_3, u_4) داشته باشیم، آن‌گاه این مجموعه را با C_4^4 حالت می‌توان به مجموعه‌های یک عضوی و سه عضوی افراز نمود؛ در نتیجه اگر مثلاً با مجموعه سه عضوی (u_1, u_2, u_3) و پارامتر θ_{123} تابع مفصل ارشمیدسی $C_{123, \theta_{123}}$ را ایجاد کنیم؛ آنگاه می‌توان با توزیع حاشیه‌ای این تابع مفصل و توزیع حاشیه‌ای متغیر مجموعه یک عضوی و با پارامتر θ_{123} تابع مفصل ارشمیدسی جدید $C_{123, \{4\}, \theta_{123}}$ را ایجاد نمود؛ به تابع مفصل به دست آمده اخیر، تابع مفصل ارشمیدسی سلسله مراتبی گفته می‌شود. [۱۸] بنابراین براساس نحوه افراز مجموعه متغیرهای تصادفی به مجموعه‌های زیرمجموعه و نوع تابع مفصل و پارامتر استفاده شده در هر مرحله از مراحل ایجاد شده توسط تابع مفصل جدید، خانواده‌ای از توابع مفصل HAC با ساختارهای مختلف درختی خواهیم داشت. برای مطالعه بیشتر در انتخاب ساختار درختی مناسب برای هریک از خانواده‌های HAC به مقاله [۸۳] مراجعه کنید.

^۱Hierarchical Archimedean Copula (HAC)

۱۶.۴.۲ توابع مفصل وین^۱

با اینکه مدل سازی ساختار وابستگی دو متغیر با طیف وسیعی از توابع مفصل قابل محاسبه می باشد اما در حالتی که تعداد متغیرها بیش از دو مورد باشد مدل سازی ساختار وابستگی یک مسئله با مشکل روبه رو می شود و استفاده از بعضی توابع مفصل مانند مفصل بیضوی و ارشمیدسی دارای مشکلات زیادی می شود: توابع مفصل بیضوی وابستگی دنب های بالا و پایین توزیع متغیرها را متقارن سازی می کند و در حالتی که تعداد متغیرها خیلی باشد با محدودیت بسیار زیاد پارامترهای قابل برآورد روبه رو می شویم. در مدل سازی ساختار وابستگی با توابع مفصل ارشمیدسی یک پارامتری یا دو پارامتری، خصوصیات ساختار وابستگی بسیار محدود می شود؛ چون که فقط از یک نوع تابع مفصل در مدل سازی ساختار وابستگی بین همه متغیرها استفاده نموده ایم و فرض می شود که توزیع همه ی حاشیه های چند متغیره یکسان باشد. (اواخرین و همکاران ۲۰۱۳) لذا در جهت رفع این مشکلات و محدودیت ها در استفاده از توابع مفصل خانواده ارشمیدسی و خانواده بیضوی مطالعات بسیار خوبی با رویکردهای متفاوت صورت گرفته است. یکی از این روش ها، توابع مفصل HAC می باشد؛ اما در مدل سازی ساختار وابستگی با این نوع توابع مفصل، نیز محدودیت هایی را داریم؛ در توابع مفصل HAC یافتن تابع چگالی توزیع مشترک سخت است؛ بنابراین در این نوع توابع مفصل همیشه وابستگی درون خوشه ها^۲ قوی تر از بین خوشه ها^۳ می باشد ساویو و تردی^۴ (۲۰۱۰). روش دیگر، توابع مفصل R-Vine می باشد که هیچ یک از محدودیت های توابع مفصل خانواده ارشمیدسی و بیضوی را ندارد.

اگر $X = (X_1, X_2, \dots, X_d)$ برداری از متغیرهای تصادفی با تابع چگالی توأم $f(x_1, x_2, \dots, x_d)$ باشد. تجزیه این تابع چگالی به صورت زیر می باشد

$$f(x_1, x_2, \dots, x_d) = f(x_d)f(x_{d-1}|x_d)f(x_{d-2}|x_{d-1}, x_d) \dots f(x_1|x_2, \dots, x_d) \quad (۸.۲)$$

که این تجزیه نسبت به تغییر اندیس ها یکتا است. برای یک تابع کاملاً پیوسته مانند F با تابع حاشیه ای $F_1, F_2, \dots, F_d$ که اکیداً صعودی و پیوسته می باشند. رابطه زیر را می توان بدست آورد (مک نیل و همکاران، ۲۰۰۶)

$$f(x_1, x_2, \dots, x_d) = c_{1\dots d}(F_1(x_1), \dots, F_d(x_d))f_1(x_1) \dots f_d(x_d)$$

که در آن $c_{1\dots d}$ ، تابع چگالی مفصل d متغیره می باشد که به طور منحصر به فرد تعیین شده می باشد. در حالت دو متغیره این رابطه به صورت زیر ساده می شود.

$$f(x_1, x_2) = c_{12}(F_1(x_1), F_2(x_2))f_1(x_1)f_2(x_2) \quad (۹.۲)$$

^۱ Vine^۲ Within-Cluster^۳ Between-Cluster^۴ Savu, Cornelia, and Mark Trede

که در آن $c_{۱۲}(.,.)$ یک چگالی مفصل مشترک مناسب برای جفت متغیرهای تبدیل شده‌ی $F_1(x_1)$ و $F_2(x_2)$ می‌باشد. برای چگالی شرطی $f(x_1|x_2)$ ، معامله‌ی

$$f(x_1|x_2) = \frac{f(x_1, x_2)}{f_2(x_2)} = \frac{c_{۱۲}(F_1(x_1), F_2(x_2))f_1(x_1)f_2(x_2)}{f_2(x_2)} \quad (۱۰.۲)$$

$$= c_{۱۲}(F_1(x_1), F_2(x_2))f_1(x_1) \quad (۱۱.۲)$$

به طور یکتا تعیین می‌شود. در حالی که چگالی شرطی $f(x_1|x_2, x_3)$ به فرم زیر تجزیه می‌شود. حال می‌توان چگالی شرطی توأم سه متغیره را با توجه به روابط فوق به صورت زیر نوشت.

$$\begin{aligned} f(x_1|x_2, x_3) &= \frac{f(x_1, x_2, x_3)}{f(x_2, x_3)} = \frac{f(x_1, x_2|x_3)f(x_3)}{f(x_2|x_3)f(x_3)} = \frac{f(x_1, x_2|x_3)}{f(x_2|x_3)} \\ &= \frac{c_{۱۲|۳}(F(x_1|x_3), F(x_2|x_3))f(x_1|x_3)f(x_2|x_3)}{f(x_2|x_3)} \end{aligned}$$

$$= c_{۱۲|۳}(F(x_1|x_3), F(x_2|x_3))f(x_1|x_3)$$

$$= c_{۱۲|۳}(F(x_1|x_3), F(x_2|x_3)) c_{۱۳}(F_1(x_1), F_3(x_3))f_1(x_1)$$

بنابراین یکی از تجزیه‌های تابع چگالی $f(x_1, x_2, x_3)$ با در نظر گرفتن مفصل مشترک به صورت

$$f(x_1, x_2, x_3)$$

$$= f_1(x_1)f_2(x_2)f_3(x_3)c_{۲۳}(F_2(x_2), F_3(x_3))c_{۱۳}(F_1(x_1), F_3(x_3))c_{۱۲|۳}(F(x_1|x_3), F(x_2|x_3))$$

می‌توان نوشت.

در اینجا مثال دیگری را می‌آوریم. متغیرهای تصادفی $X = (X_1, X_2, X_3)'$ با تابع چگالی مشترک $f(x_1, x_2, x_3)$ را داریم؛ تابع چگالی مشترک این متغیرها به صورت زیر تجزیه می‌شود:

$$f(x_1, x_2, x_3) = f(x_1) * f(x_2|x_1) * f(x_3|x_1, x_2) \quad (۱۲.۲)$$

و طبق قضیه اسکلار داریم

$$\begin{aligned} f(x_2|x_1) &= \frac{f(x_1, x_2)}{f(x_1)} \\ &= \frac{c_{۱,۲}(F_1(x_1), F_2(x_2)) * f_1(x_1) * f_2(x_2)}{f(x_1)} \quad (۱۳.۲) \\ &= c_{۱,۲}(F_1(x_1), F_2(x_2)) * f_2(x_2) \end{aligned}$$

$$f(x_3|x_1, x_2) = c_{۲,۳|۱}(F(x_2|x_1), F(x_3|x_1)) \quad (۱۴.۲)$$

$$= c_{۲,۳|۱}(F(x_2|x_1), F(x_3|x_1)) * c_{۱,۳}(F_1(x_1), F_3(x_3)) * f_3(x_3)$$

بنابراین باتوجه به رابطه‌های فوق تابع چگالی مشترک سه متغیره را می‌توان با توابع چگالی سازهایی از توابع مفصل دو متغیره $c_{۱,۲}$ و $c_{۱,۳}$ و $c_{۲,۳|۱}$ به صورت زیر نشان داد:

$$f(x_3|x_1, x_2) = \frac{f(x_1, x_2, x_3)}{f(x_1, x_2)} = f_1(x_1).f_2(x_2).f_3(x_3)$$

$$c_{1,2}(F_1(x_1), F_2(x_2)), c_{1,3}(F_1(x_1), F_2(x_3)), c_{2,3|1}(F_1(x_1), F_2(x_2))$$

که در آن $c_{1,2}$ و $c_{1,3}$ و $c_{2,3|1}$ به ترتیب چگالی توابع مفصل دو متغیره $C_{1,2}$ و $C_{1,3}$ و $C_{2,3|1}$ است. با توجه به اینکه در اینجا توابع مفصل $C_{1,2}$ و $C_{1,3}$ و $C_{2,3|1}$ مستقل از یکدیگر انتخاب نموده‌ایم. بنابراین طیف وسیعی از اشکال ساختار وابستگی متفاوت از هم قابل تصور می‌باشد که با روش PCCs مدل سازی می‌شوند. در صورتی که تعداد متغیرهای تصادفی d باشد، تعداد کل حالت‌های ممکن در مدل سازی ساختار وابستگی بین آنها با یک تابع مفصل دو متغیره از رابطه زیر قابل محاسبه است و هر حالت دارای شکل خاص خود می‌باشد.

$$\binom{d}{2} * (d-2)! * 2^{\binom{d-2}{2}}$$

با زیاد شدن تعداد متغیرهای تصادفی (d)، شکل‌های ساختار وابستگی متغیرهای تصادفی مدل سازی شده با توابع مفصل خوشه انگور بسیار زیاد و متنوع می‌شود؛ آس و همکاران^۱ (۲۰۰۹) اشکال مختلف ساختار وابستگی با توابع خوشه انگور را به سه دسته اشکال خوشه انگور معمولی^۲ R-Vine، اشکال خوشه انگور گسترده^۳ D-Vine و اشکال خوشه انگور متمرکز^۴ C-Vine دسته‌بندی نموده است. تعداد اشکال ساختار وابستگی در هر یک از دسته‌های D-Vine و C-Vine در حالتی که d متغیر تصادفی وجود داشته باشد، $\frac{d!}{4}$ می‌باشد. مورالس-ناپلز و همکاران^۵ (۲۰۰۹) ثابت کردند که تعداد اشکال ساختار وابستگی در دسته R-Vine برابر با $\frac{d!}{2} * \binom{d-2}{2}$ می‌باشد.

در نمودار ۲.۲ تا ۳.۲ بعضی از شکل‌های ساختار وابستگی پنج متغیر تصادفی متناظر با دسته بندی با توابع مفصل C-Vine و D-Vine و R-Vine آمده است. برای پنج متغیر تصادفی، تعداد ۲۴۰ شکل و حالت ساختار وابستگی متفاوت از هم از سازه‌های تابع مفصل دو متغیره وجود دارد؛ از این تعداد اشکال ساختار وابستگی متفاوت، ۶۰ شکل شبیه خوشه انگور متمرکز C-Vine، ۶۰ شکل دیگر شبیه خوشه انگور گسترده D-Vine و ۱۲۰ شکل باقی مانده شبیه خوشه انگور معمولی R-Vine می‌باشد. در نمودارهای ۲.۲ و ۳.۲ فقط برخی از اشکال C-Vine و D-Vine نشان داده شده است. در نمودار ۴.۲ شکلی از دسته اشکال R-Vine برای پنج متغیر رسم شده که هیچ شباهتی به اشکال D-Vine و C-Vine در نمودارهای ۲.۲ و ۳.۲ ندارد. چون در اشکال D-Vine، هر گره از متغیرها فقط حداکثر با دو گره از متغیرها می‌تواند همسایه باشد، در حالی که در نمودار ۴.۲، گره متغیر ۴ در همسایگی خود سه گروه از متغیرهای ۱ و ۳ و ۲ را دارد؛ بنابراین شبیه اشکال دسته D-Vine نمی‌باشد؛ هم‌چنین شکل ساختار وابستگی در نمودار ۴.۲ شبیه دسته اشکال C-Vine هم نمی‌باشد چون در دسته اشکال C-Vine گره یک متغیر باید با گره همه دیگر متغیرهای باقی مانده همسایه باشد در صورتی که در نمودار ۴.۲، گره متغیر ۴ فقط به لبه سه متغیر ۱ و ۳ و ۲ چسبیده و به لبه متغیر ۵ نچسبیده است.

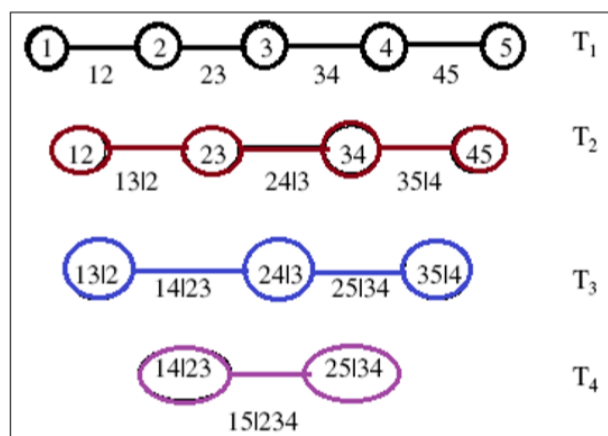
¹Aas, K., Czado, C., Frigessi, A., and Bakken, H. (2009)

²Regular Vine (R-Vines)

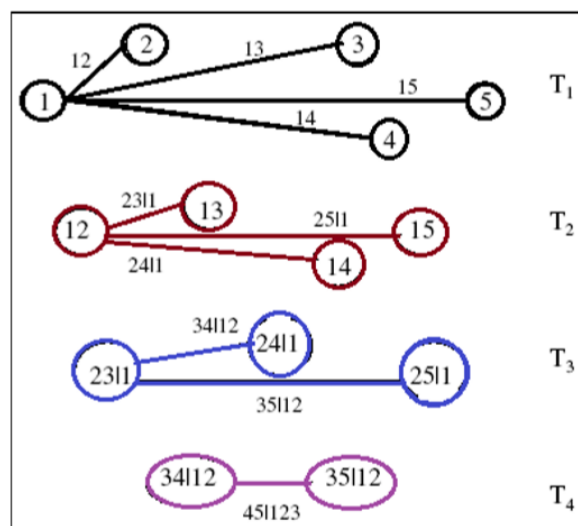
³Drawable Vines (D-Vines)

⁴Canonical Vine (C-Vines)

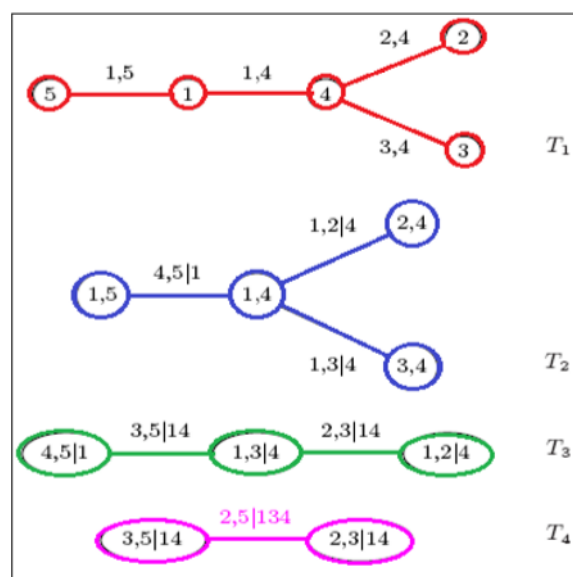
⁵Morales-Napoles et al (2009)



شکل ۲.۲: شکل های ساختار وابستگی دسته D-Vine



شکل ۳.۲: شکل های ساختار وابستگی دسته C-Vine



شکل ۴.۲: شکل های ساختار وابستگی دسته R-Vine

علاوه براین، شکل‌های ساختار وابستگی داخل هریک از دسته‌های R-Vine و D-Vine و C-Vine را می‌توان در تعداد $d-1$ گروه متمایز از ساختار درختی و براساس تعداد گره‌های موجود در هر شکل درختی طبقه‌بندی نمود؛ گروه‌های متمایز از هم داخل هریک از دسته‌های توابع مفصل وین را با حروف لاتین T_1, T_2, T_3 تا T_{d-1} نشان می‌دهند در نمودارهای ۲.۲، ۳.۲ و ۴.۲، ساختار درختی متمایز برای شکل‌های ساختار وابستگی پنج متغیر در دسته‌های R-Vine و D-Vine و C-Vine با حروف لاتین T_1, T_2, T_3 و T_4 بیان شده است. هر تابع مفصل وین متشکل سه مؤلفه ساختار درختی، سازه‌هایی از توابع مفصل دو متغیره و پارامترهای توابع مفصل می‌باشد. نوع سازه‌های به کار برده شده و ساختار درختی متناظر در هر تابع وین مفصل d متغیره را می‌توان با یک ماتریس قطری پایین مثلثی $d \times d$ ارائه نمود. به همین ترتیب پارامترهای توابع مفصل دو متغیره متناظر با هر سازه یک ماتریس پایین مثلثی قابل نمایش می‌باشد. برای نمونه اگر تعداد متغیرهای تصادفی $d = 5$ باشد؛ آنگاه ماتریس پایین مثلثی زیر ساختارهای درختی متناظر در نمودار ۴.۲ را بیان می‌کند:

$$\begin{bmatrix} 2 & & & & \\ 5 & 3 & & & \\ 3 & 5 & 4 & & \\ 1 & 1 & 5 & 5 & \\ 4 & 4 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (15.2)$$

درایه‌های این ماتریس، شماره‌های متغیرهای تصادفی است؛ ترتیب و تعداد دفعات استفاده از شماره‌های متغیرهای تصادفی در هر درایه ماتریس، شکل ساختار وابستگی بین متغیرها را در تابع وین مفصل نشان می‌دهد سازه‌های ساختار درختی T_1 در نمودار ۴.۲ به صورت $\{2, 4\}\{3, 4\}\{4, 1\}\{5, 1\}$ می‌باشد؛ همچنین سازه‌های درختی T_2 در نمودار ۴.۲

$$\{4, 5|1\}\{3, 1|4\}\{2, 1|4\}$$

می‌باشد. سازه‌های ساختار درختی T_3 در نمودار ۴.۲ دو عبارت $\{2, 3|1, 4\}$ ، $\{3, 5|1, 4\}$ می‌باشد؛ ساختار درختی T_4 فقط یک سازه $\{2, 5|314\}$ را شامل می‌شود. توابع مفصل دو متغیره به کار برده شده برای سازه‌های ساختارهای درختی T_1, T_2, T_3 و T_4 در نمودار ۴.۲ به صورت ماتریس پایین مثلثی با ابعاد $(d-1) \times (d-1)$ می‌باشد [۱۸].

$$\begin{bmatrix} C_{25;314} & & & & \\ C_{23;14} & C_{35;14} & & & \\ C_{21;4} & C_{31;4} & C_{45;1} & & \\ C_{24} & C_{34} & C_{41} & C_{51} & \end{bmatrix} \quad (16.2)$$

در این قسمت تابع چگالی مشترک d متغیرهای تصادفی را به ترتیب براساس ساختارهای وابستگی توابع مفصل وین دسته C-Vine و دسته R-Vine را ارائه کرده‌ایم.

$$f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_d) = \prod_{k=1}^d f_k(x_k) * \quad (17.2)$$

$$\prod_{i=1}^{d-1} \prod_{j=1}^{d-i} c_{i,i+j|1,\dots,i-1}(F(x_i|x_1, \dots, x_{i-1}), F(x_{i+j}|x_1, \dots, x_{i-1})|\theta_{i,i+j|1,\dots,i-1})$$

که در آن f_k به ازای $k = 1, 2, \dots, d$ توزیع‌های حاشیه‌ای هریک متغیر تصادفی می‌باشد.

چگالی توابع دو متغیره با پارامترهای $\theta_{i,j|1,\dots,i-1}$ می باشد.

$$f(x_1, x_2, \dots, x_d) = [\prod_{k=1}^d f(x_k)] * \quad (18.2)$$

$$[\prod_{i=1}^{d-1} \prod_{e \in E_i} c_{i(e),k(e)|D(e)}(F(x_{j(e)}|x_{D(e)}), F(x_{k(e)}|x_{D(e)}))]$$

که در آن $x_{D(e)}$ زیر مجموعه ای از مجموعه بردارهای تصادفی $x = (x_1, x_2, \dots, x_d)'$ است که با عناصر آن با اندیس درون مجموعه $D(e)$ مشخص می شود. برای درک بهتر مفصل وین در زیر به بیان برخی از تعاریف و قضایای مهم درباره مفصل می پردازیم.

تعریف ۲.۴.۲ (گراف، گره یا رأس، لبه، درجه). یک گراف ساده مانند G عبارت است از زوج مرتبی مانند (N, E) که در آن N ، مجموعه ای از رئوس یا متغیرها می باشد و E مجموعه ی لبه ها می باشد. به طور دقیق تر E عبارت است از زیر مجموعه ای از مجموعه ی تمام زیر مجموعه های زوج مرتب که به صورت زیر بیان شده است:

$$E \subseteq \{\{x, y\} : x, y \in N\}$$

اعضای N را رأس ها (گره) و اعضای E را لبه های گراف G می نامند. گراف به صورت $G(N, E)$ نشان داده می شود. در هر گراف مانند G ، تعداد رأس ها را مرتبه گراف می نامند و به صورت $d(v)$ نمایش می دهند.

[۳۳]

تعریف ۳.۴.۲. به گرافی که در آن هر دو رأس دلخواه توسط یک لبه به هم متصل شوند گراف کامل گفته می شود به عبارتی

$$E = \{(x, y) : x, y \in N\}$$

$G' = (N', E')$ یک زیر گراف از گراف $G = (N, E)$ به طوری که $E' \subseteq E, N' \subseteq N$

تعریف ۴.۴.۲ (مسیر، دور، همبند و درخت). یک مسیر، گراف $G = (N, E)$ با مجموعه گره $N = \{v_0, v_1, \dots, v_k\}$ و لبه $E = \{\{v_0, v_1\}, \{v_1, v_2\}, \dots, \{v_{k-1}, v_k\}\}$ است و یک دور مسیری می باشد که $v_0 = v_k$ باشد.

یک گراف G همبند است اگر هر دو گره توسط یک مسیر به هم وصل شده باشند. یکی از مهم ترین کلاس های گراف ها، درختی است که همبند می باشد و دور ندارد [۳۳].

قضیه ۳.۴.۲. گزاره های زیر برای یک گراف $T = (N, E)$ معادل یکدیگرند:
۱- T یک درخت است.

۲- در درخت T فقط یک مسیر منحصر به فرد بین هر دو رأس متمایز وجود دارد.

۳- T به طور مینیمال همبند می باشد به عبارتی T همبند است درحالی که $T - e$ برای هر لبه $e \in E$ ناهمبند است.

۴- T به طور ماکسیمال نا دوره‌ای می‌باشد به عبارتی T شامل هیچ دوره‌ای نیست، درحالی که $T - e$ برای هردو رأس نا مجاور شامل دوره است [۳۳].

تعریف ۵.۴.۲ (توزیع معمولی وین). توزیع توأم F برای بردار تصادفی d بعدی،

$$X = (X_1, \dots, X_d)$$

دارای توزیع منظم (معمولی) وین است، اگر بتوانیم یک سه گانه (F, V, B) را مشخص کنیم به این صورت که:

۱- توزیع‌های حاشیه‌ای: $F = (F_1, \dots, F_d)$ بردار توابع توزیع حاشیه‌ای وارون پیوسته است که نمایانگر توابع حاشیه‌ای متغیر تصادفی $X_i, i = 1, \dots, d$ است.

۲- توالی منظم (معمولی) درخت انگور: V توالی درخت $R - Vine$ روی عناصر d است.

۳- مفصل‌های دو متغیره: مجموعه $B = \{C_e | e \in E_i; i = 1, \dots, d-1\}$ که در آن C_e یک مفصل متقارن دو متغیره با تراکم است. در اینجا E_i مجموعه لبه درخت T_i در توالی (دنباله) درخت $R - Vine$ است.

۴- رابطه بین $R - Vine$ دنباله درخت V و مجموعه B از مفصل‌های دو متغیره: برای هر $C_e, e \in E_i, i = 1, \dots, d-1, e = \{a, b\}, X_{C_{e,b}}$ و $X_{C_{e,a}}$ شروط $a, X_{C_{e,a}}$ مرتبط است، با توجه به $X_{D_e} = x_{D_e}$ بیشتر $C_e(.,.)$ به مقدار خاص X_{D_e} بستگی ندارد [۳۳].

تعریف ۶.۴.۲ (مفصل معمولی وین). یک وین مفصل معمولی، یک توزیع معمولی وین است، جایی که تمام حاشیه‌ها به طور یکنواخت روی $[0, 1]$ توزیع می‌شوند [۳۳].

قضیه ۴.۴.۲ (مفصل‌های چند متغیره به صورت مفصل‌های معمولی خوشه انگوری نشان داده می‌شوند). کلاس‌های چند متغیره مفصل را می‌توان به صورت مفصل‌های انگور معمولی نشان داد:

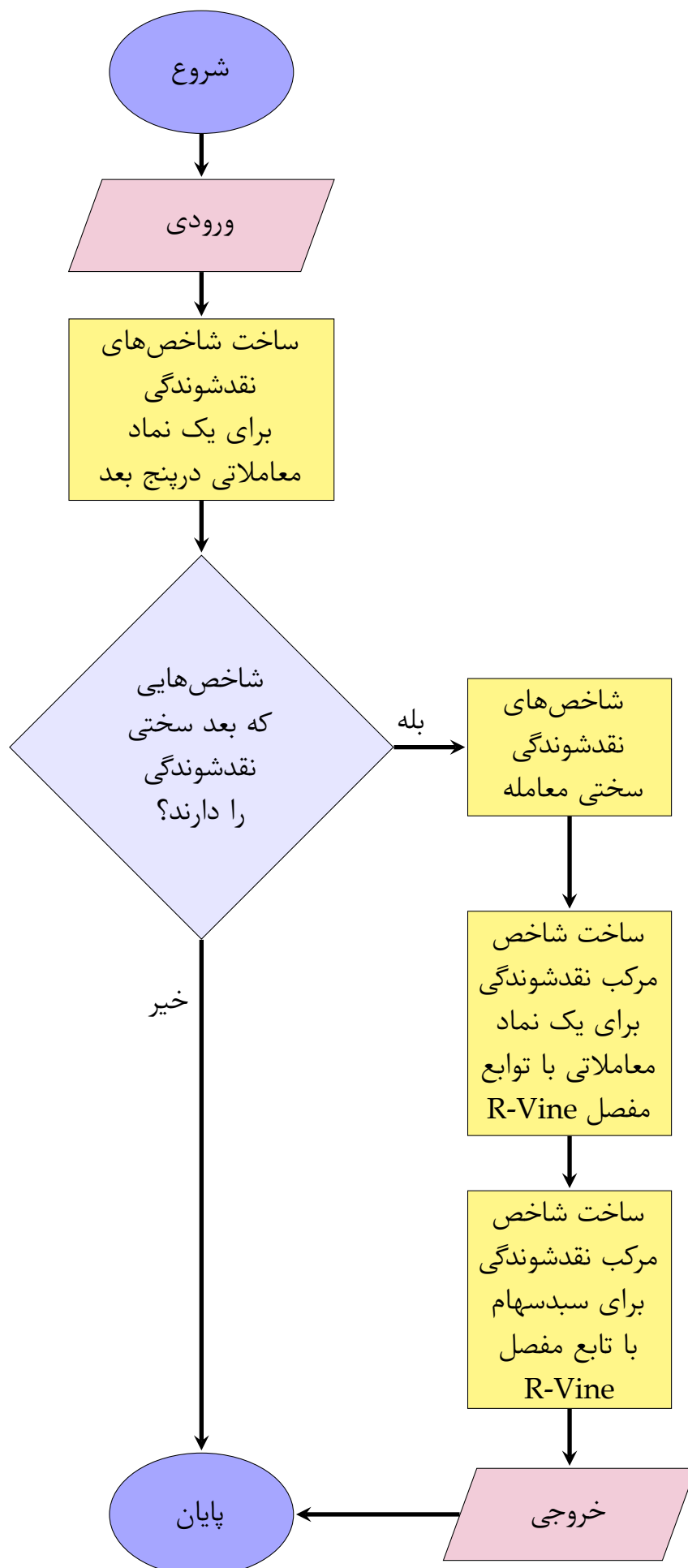
۱- کلاسی از توابع چند متغیره گوسی. در اینجا، مفصل‌های جفتی، مفصل‌های گوسی با پارامتر وابستگی هستند که توسط همبستگی جزئی مربوطه نشان داده می‌شوند.

۲- کلاسی از توابع مفصل چند متغیره تی‌استیودنت با V درجه آزادی و ماتریس وابستگی R که یک ماتریس همبستگی است. در اینجا، مفصل‌های جفتی از درخت T_j ، مفصل‌های دو متغیره تی‌استیودنت با $v + j - 1$ درجه آزادی و پارامتر وابستگی با همبستگی نسبی مربوطه هستند.

۳- کلاسی از مفصل‌های چند متغیره کلایتون [۳۳].

۵.۲ الگوریتم روش کار

در این قسمت لازم است که بیان کنیم ایده اصلی تحقیق را از مقاله‌ی [۴۰] گرفته‌ایم، اما همانطور که در الگوریتم صفحه بعد مشاهده می‌کنید ما روش کار این تحقیق را روی آن پیاده نموده‌ایم.



۶.۲ خلاصه فصل

در این فصل در ابتدا در مورد تابع مفصل سخن گفته شد. در ادامه انواع توابع مفصل و کاربردهای آن را گفته‌ایم از دو متغیره تا چند متغیره و در پایان با استفاده از الگوریتم مقاله [۴۰] به بیان روش کار پرداختیم.

فصل ۳

اعتبار سنجی تحقیق

۱.۳ مقدمه

در این فصل در سه مرحله محاسبات انجام داده‌ایم، مرحله اول شاخص‌های نقدشوندگی را برای یک نماد معاملاتی به دست آورده‌ایم، در مرحله بعد از نتایج قسمت قبل برای ساخت شاخص مرکب نقدشوندگی برای یک نماد معاملاتی با توابع مفصل R-Vine استفاده کرده، سپس در مرحله آخر از نتایج بخش قبل برای ساخت شاخص مرکب نقدشوندگی برای سبد سهام با تابع مفصل R-Vine استفاده می‌کنیم. در این پژوهش تمرکز ما بر روی بعد سختی است.

۲.۳ نتایج محاسبه شاخص‌های نقدشوندگی برای یک نماد معاملاتی

برای ساخت شاخص‌های نقدشوندگی در ابتدا داده مورد نظر را از سایت بورس به صورت خام دریافت کرده سپس با اجرای یکسری برنامه در R داده را به صورتی در می‌آوریم که بتوانیم از آن استفاده کنیم. برای اجرا گرفتن در R در ابتدا باید پکیج‌های مربوطه را سرچ کرده و دانلود و در R نصب کرده سپس در هر بار اجرا برنامه‌هایمان این پکیج‌ها را فراخوانی کنیم. در مرحله بعد فایل data و داده اصلی را فراخوانی و در مرحله بعد برای ساخت شاخص‌ها با استفاده از حلقه

for و فرمولی ک برای هر شاخص وجود دارد شاخص‌ها را محاسبه می‌کنیم که از مقاله^۱ [۳۶] برای محاسبه شاخص‌ها استفاده کرده در این پژوهش ما ۲۵ تا از این شاخص‌ها را برای ۳۱۴ نماد یا شرکت استفاده نموده‌ایم. البته بعضی از شاخص‌ها در R و بعضی دیگر در Visual Basic Excel محاسبه شده‌است هم‌چنین داده‌ها به صورت لحظه‌ای و روزانه می‌باشد. و در انتها در یک فایل ذخیره کرده تا در مراحل بعد از آن استفاده شود. کد برنامه‌های مربوط به استخراج داده و فهرست نمادهای شرکت‌ها، فهرست لینک دانلود نمادهای شرکت‌های مختلف جهت گرفتن داده و هم‌چنین کد برنامه ساخت شاخص‌های نقدشوندگی در محیط R و Visual Basic Excel در پیوست ارائه شده‌است.

در جدول ۱.۳ اطلاعات نماد معاملاتی ”وملت” از نماد فارسی و لاتین، کد صنعت و... که از سایت بورس گرفته‌شده را مشاهده می‌کنید.

جدول ۱.۳: شناسه نماد معاملاتی ”وملت”

شناسه	
IROVMIVPOOO۱	کد ۱۲ رقمی نماد
MIVP۱	کد ۵ رقمی نماد
MelatInvestment	نام لاتین شرکت
MIVP	کد ۴ رقمی شرکت
سرمایه گذاری وملت	نام شرکت
وملت- لغو پذیرش شده	نماد فارسی
IROVMIVPOOO۶	کد ۱۲ رقمی شرکت
بازار پایه زرد فرابورس	بازار
۷	کد تابلو
۵۶	کد گروه صنعت
سرمایه گذاری ها	گروه صنعت
۵۶۹۹	کد زیر گروه صنعت
سایر واسطه های مالی	زیر گروه صنعت

۱.۲.۳ برخی از نتایج شاخص‌های نقدشوندگی سختی معامله

در جدول ۲.۳ و ۳.۳ نتایج شاخص‌های نقدشوندگی سختی معامله (Tightness) برای نماد معاملاتی ”وملت” را که شامل چند سطر اول و آخر نتایج می‌باشد را می‌بینید.

¹Díaz, A and Escribano, A

جدول ۲.۳: نتایج شاخص‌های نقدشوندگی سختی معامله (Tightness) برای نماد معاملاتی "وملت"

data	QS	ABidAsk	a°	a1	IRC	IQR	Gamma
۳/۲۶/۲۰۱۳	۰/۰۰۷۸۰۵	۷۴۳/۷۶۷۳۹۰	۰/۰۳۲۱۳۲-	۰/۰۰۰۱۹۲	۰/۰۲۰۵۱۳	۱/۰۳۰۲۸۰	۰/۵۳۷۷۶۴-
۳/۲۷/۲۰۱۳	۰/۰۰۹۲۲۵	۶۳۹/۵۳۹۸۸۰	۰/۰۸۲۲۵۹-	۰/۰۰۰۷۲۰	۰/۰۵۵۱۳۸	۱/۰۵۵۲۰۴۰	۳/۳۵۳۶۵۰-
۳/۳۰/۲۰۱۳	۰/۰۰۸۰۲۰	۷۷۸/۵۳۵۶۰۰	۰/۱۰۰۶۸۹-	۰/۰۰۰۸۱۵	۰/۰۴۳۳۶۷	۲/۳۳۳۶۱۰	۲/۵۰۶۷۰۶-
۳/۳۱/۲۰۱۳	۰/۰۰۵۸۵۷	۳۳/۸۸۱۲۹۰	۰/۱۳۴۱۸۹	۰/۰۰۰۳۹۴-	۰/۰۴۹۸۷۵	۱/۲۵۶۹۷۰	۰/۲۷۱۱۹۱-
۴/۳/۲۰۱۳	۰/۰۱۱۰۹۶	۶۹۳/۰۹۸۴۷۰	۰/۰۲۴۵۴۶	۰/۰۰۰۰۹۲-	۰/۰۱۹۳۲۴	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۲۲۷۷۷۳۲-
۴/۶/۲۰۱۳	۰/۰۰۴۱۱۳	۶۳۰/۲۰۲۸۲۰	۰/۰۵۳۳۷۶-	۰/۰۰۰۱۴۶	۰/۰۳۳۳۳۳	۰/۰۷۲۶۵۰۰	۰/۹۸۸۶۹۸-
۴/۷/۲۰۱۳	۰/۰۰۵۹۳۰	۹۹۰/۴۲۹۷۲۰	۰/۰۵۵۵۸۴-	۰/۰۰۰۲۹۸	۰/۰۳۳۶۵۴	۱/۰۷۲۲۷۹۰	۱/۷۴۳۸۶۵-
			...				
۳/۳/۲۰۱۸	۰/۰۰۵۸۱۵	۳۰۴۴/۰۲۷۴۴۰	۰/۰۸۷۰۰۴	۰/۰۰۰۱۲۶-	۰/۰۶۸۳۴۰	۲/۰۷۱۴۵۴۰	۲/۴۴۹۹۸۵-
۳/۴/۲۰۱۸	۰/۰۰۵۰۳۰	۲۶۵۲/۹۴۶۳۴۰	۰/۰۶۰۴۵۵-	۰/۰۰۰۱۷۴	۰/۰۴۱۶۶۷	۱/۰۷۰۴۸۳۰	۳/۲۴۰۵۷۹-
۳/۵/۲۰۱۸	۰/۰۱۰۶۴۷	۲۲۲۰/۵۲۹۰۱۰	۰/۰۹۰۹۵۲-	۰/۰۰۰۲۲۳	۰/۰۳۲۶۷۰	۱/۰۳۰۸۴۰۰	۴/۶۹۲۳۸۶-
۳/۶/۲۰۱۸	۰/۰۰۸۳۲۸	۱۷۶۲/۰۲۴۴۱۰	۰/۰۹۸۸۳۱	۰/۰۰۱۴۰۲-	۰/۰۳۱۵۶۴	۰/۰۷۳۲۹۱۰	۳/۰۹۴۸۹۱-
۳/۷/۲۰۱۸	۰/۰۰۶۳۴۲	۱۶۷۲/۰۱۱۹۶۰	۰/۰۹۸۹۶۹-	۰/۰۰۱۲۰۵	۰/۰۲۴۶۳۸	۰/۰۴۴۴۰۶۰	۳/۰۶۰۵۸۴۸-
۳/۱۰/۲۰۱۸	۰/۰۰۴۶۳۳	۱۲۲۰/۶۴۶۴۹۰	۰/۱۰۲۴۶۷-	۰/۰۰۱۰۱۰	۰/۰۱۴۷۰۶	۰/۰۴۴۶۶۰	۱/۰۶۵۸۲۹۱-
۳/۱۱/۲۰۱۸	۰/۰۰۶۵۸۵	۱۰۶۸/۰۸۰۰۰۰	۰/۰۹۴۹۴۴-	۰/۰۰۰۸۰۵	۰/۰۰۸۹۴۲	۰/۰۲۹۹۸۵۰	۱/۰۳۰۷۶۰۶-

جدول ۳.۳: ادامه نتایج شاخص‌های نقدشوندگی سختی معامله (Tightness) برای نماد معاملاتی ”وملت“

Roll	Zero	FHT	CPQS	Spread	uniform. Tightness. x
۱/۴۶۶۶۵۰	۰/۷۸۶۷۸۷	۴/۶۰۷۷۶۰	۲۸/۲۶۴۷۶۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۱۰۳۴۰۴/۸۵
۳/۶۶۲۵۹۰	۰/۶۷۷۷۷۸	۹/۶۵۷۸۱۰	۵/۸۷۹۷۰۰	۲۱/۹۰۸۹۰۰	۳۳۹۸۶/۷۸
۳/۱۶۶۵۲۰	۰/۶۳۶۷۷۱	۹/۰۲۷۷۲۰	۱۲/۸۴۰۵۳۰	۱۴/۴۲۲۲۱۰	۱۸۶۱۲۳/۸۷
۱/۰۴۱۵۲۰	۰/۸۶۶۲۲۸	۱۰/۵۲۹۳۶۰	۴/۷۰۱۷۵۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۲۹۵/۴۹
۰/۹۵۴۴۳۰	۰/۹۳۵۲۹۴	۵/۴۶۵۲۶۰	۴۳/۸۳۰۱۶۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۵۱۷۳۴۰۷/۶۰
۱/۹۸۸۶۷۰	۰/۷۳۲۶۰۹	۶/۲۴۱۶۷۰	۳/۸۴۰۷۵۰	۱۳/۴۱۶۴۱۰	۴۰۹۴۸۳/۳۰
۲/۶۴۱۱۱۰	۰/۷۵۷۵۷۶	۹/۰۶۸۰۱۰	۵/۱۱۸۴۸۰	۱۳/۸۵۶۴۱۰	۱۰۰۲۰۲/۰۱
		...			
۳/۱۳۰۴۹۰	۰/۷۰۰۵۸۱	۲۹/۹۲۲۱۷۰	۲/۶۶۶۰۴۰	۳۴/۲۹۲۸۶۰	۵۴۰۰۴/۳۵
۳/۶۰۰۳۲۰	۰/۶۱۲۹۰۳	۱۳/۷۶۲۳۰۰	۱۵/۱۲۹۹۶۰	۲۸/۲۸۴۲۷۰	۱۰۵۶۵۹/۶۸
۴/۳۳۲۳۸۰	۰/۶۵۲۴۰۶	۹/۸۵۸۲۳۰	۷۰/۶۴۲۶۷۰	۹/۳۸۰۸۳۰	۱۹۶۸۸۹/۷۰
۳/۵۱۸۴۶۰	۰/۵۸۲۷۳۴	۷/۰۵۶۷۳۰	۴۸/۲۱۱۷۶۰	۱/۸۴۳۹۰۹۰	۲۱۲۵۲/۵۱
۳/۷۹۷۸۱۰	۰/۶۳۳۷۲۱	۴/۴۹۰۰۰۰	۱۵/۳۶۳۶۴۰	۱۶/۲۴۸۰۸۰	۳۸۶۷۵۷/۶۰
۲/۵۷۵۴۹۰	۰/۷۱۶۴۱۸	۳/۹۵۹۱۹۰	۲۱/۰۹۴۲۴۰	۱۰/۰۰۰۰۰۰	۶۷۴۰/۳۱
۲/۲۸۷۰۱۰	۰/۶۵۵۶۲۹	۳/۰۰۲۰۷۰	۱۱/۹۵۵۱۶۰	۴/۴۷۲۲۱۴۰	۱۶۱۱۴/۱۰

۳.۳ نتایج ساخت شاخص مرکب نقدشوندگی برای یک نماد معاملاتی با توابع مفصل آر-وین

در این بخش از نتایج قسمت قبل برای ساخت مدل مربوطه استفاده می کنیم همانطور که در فصل ۲ معرفی کردیم تابع مفصل وین شامل سه شکل ساختاری می باشد عبارتند از اشکال خوشه انگور معمولی R-Vine، اشکال خوشه انگور گسترده D-Vine و اشکال خوشه انگور متمرکز C-Vine دسته بندی کرده است. که ما در این پایان نامه از تابع مفصل R-Vine استفاده می کنیم. بدین صورت که در ابتدا پکیج های مربوط به ساخت مدل را باید شناسایی نمود. در مراحل بعد داندلود و نصب و فراخوانی کرد. سپس نتایج بخش قبل که همان شاخص های نقدشوندگی می باشد را در R فراخوانی کرده، اما از آنجا که در این پایان نامه ما بر روی بعد سختی^۱ متمرکز شده ایم به همین دلیل آن شاخص هایی را انتخاب می کنیم که دارای بعد سختی می باشند و چون قرار است در بخش بعد یک سبد سهام بسازیم از نمادهای مربوط به سبد مربوطه استفاده می نماییم. در ادامه این شاخص های منتخب را در R به همراه فایل my Data و داده اصلی فراخوانی می کنیم. بعد با استفاده از حلقه for مدل R-Vin و همچنین نمودارهایی که برای تحلیل نیازمندیم، را برای شاخص های نقدشوندگی در بعد سختی تولید می کنیم.

۱.۳.۳ بتا ماتریس

رابطه های ۱.۳، ۲.۳، ۳.۳، ۴.۳ و ۵.۳ نتایج محاسبه بتا ماتریس داده های مربوطه و ماتریس تاو کندال استخراج شده شرکت های سبد وملت را آورده ایم در مرحله بعد ما از این ماتریس برای رسم نمودار ضریب همبستگی بین شاخص های نقدشوندگی استفاده کرده ایم.

```
> BetaMatrix(as.matrix(firmx[,c(3:9,16:18,20:21)]));
```

```
#Computes the empirical Blomqvist's beta
```

¹Tightness

(۱.۳)

	[, QS]	[, ABidAsk]	[, a°]	[, aλ]	[, IRC]	[, IQR]
[QS,]	۱/۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۹۶۶۲۹۲۱	۰/۹۷۹۴۰۰۷	۰/۹۹۸۱۲۷۳	۰/۹۹۸۱۲۷۳	-۰/۶۳۴۸۳۱۵
[ABidAsk,]	-۰/۹۶۶۲۹۲۱	۱/۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۹۴۵۶۹۲۹	-۰/۹۶۴۴۱۹۵	-۰/۹۶۴۴۱۹۵	۰/۶۳۴۸۳۱۵
[a°,]	۰/۹۷۹۴۰۰۷	-۰/۹۴۵۶۹۲۹	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۰/۹۸۱۲۷۳۴	۰/۹۸۱۲۷۳۴	-۰/۶۲۱۷۲۲۸
[aλ,]	۰/۹۹۸۱۲۷۳	-۰/۹۶۴۴۱۹۵	۰/۹۸۱۲۷۳۴	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۶۳۶۷۰۴۱
[IRC,]	۰/۹۹۸۱۲۷۳	-۰/۹۶۴۴۱۹۵	۰/۹۸۱۲۷۳۴	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۶۳۶۷۰۴۱
[IQR,]	-۰/۶۳۴۸۳۱۵	۰/۶۳۴۸۳۱۵	-۰/۶۲۱۷۲۲۸	-۰/۶۳۶۷۰۴۱	-۰/۶۳۶۷۰۴۱	۱/۰۰۰۰۰۰۰
[Gamma,]	۰/۹۹۸۱۲۷۳	-۰/۹۶۴۴۱۹۵	۰/۹۸۱۲۷۳۴	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۶۳۶۷۰۴۱
[Roll,]	-۰/۹۹۲۵۰۹۴	۰/۹۵۸۸۰۱۵	-۰/۹۷۵۶۵۵۴	-۰/۹۹۴۳۸۲۰	-۰/۹۹۴۳۸۲۰	۰/۶۴۲۳۲۲۱
[Zero,]	-۰/۹۸۸۱۷۶۴۰	۰/۹۵۳۱۸۳۵	-۰/۹۷۱۹۱۰۱	-۰/۹۹۰۶۳۶۷	-۰/۹۹۰۶۳۶۷	۰/۶۳۱۰۸۶۱
[FHT,]	-۰/۹۹۶۲۵۴۷	۰/۹۶۲۵۴۶۸	-۰/۹۷۹۴۰۰۷	-۰/۹۹۸۱۲۷۳	-۰/۹۹۸۱۲۷۳	۰/۶۳۸۵۷۶۸
[CPQS,]	-۰/۹۴۷۵۶۵۵	۰/۹۱۳۸۵۷۷	-۰/۹۳۰۷۱۱۶	-۰/۹۴۹۴۳۸۲	-۰/۹۴۹۴۳۸۲	۰/۶۱۶۱۰۴۹
[Spread,]	-۰/۴۷۷۵۲۸۱	۰/۵۰۳۷۴۵۳	-۰/۴۷۵۶۵۵۴	-۰/۴۷۵۶۵۵۴	-۰/۴۷۵۶۵۵۴	۰/۴۱۵۷۳۰۳

(۲.۳)

	[, Gamma]	[Roll]	[, Zero]	[, FHT]	[, CPQS]	[, Spread]
[QS,]	۰/۹۹۸۱۲۷۳	-۰/۹۹۲۵۰۹۴	-۰/۹۸۸۱۷۶۴۰	-۰/۹۹۶۲۵۴۷	-۰/۹۴۷۵۶۵۵	-۰/۴۷۷۵۲۸۱
[ABidAsk,]	-۰/۹۶۴۴۱۹۵	۰/۹۵۸۸۰۱۵	۰/۹۵۳۱۸۳۵	۰/۹۶۲۵۴۶۸	۰/۹۱۳۸۵۷۷	۰/۵۰۳۷۴۵۳
[a°,]	۰/۹۸۱۲۷۳۴	-۰/۹۷۵۶۵۵۴	-۰/۹۷۱۹۱۰۱	-۰/۹۷۹۴۰۰۷	-۰/۹۳۰۷۱۱۶	-۰/۴۷۵۶۵۵۴
[aλ,]	۱/۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۹۹۴۳۸۲۰	-۰/۹۹۰۶۳۶۷	-۰/۹۹۸۱۲۷۳	-۰/۹۴۹۴۳۸۲	-۰/۴۷۵۶۵۵۴
[IRC,]	۱/۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۹۹۴۳۸۲۰	-۰/۹۹۰۶۳۶۷	-۰/۹۹۸۱۲۷۳	-۰/۹۴۹۴۳۸۲	-۰/۴۷۵۶۵۵۴
[IQR,]	-۰/۶۳۶۷۰۴۱	۰/۶۴۲۳۲۲۱	۰/۶۳۱۰۸۶۱	۰/۶۳۸۵۷۶۸	۰/۶۱۶۱۰۴۹	۰/۴۱۵۷۳۰۳
[Gamma,]	۱/۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۹۹۴۳۸۲۰	-۰/۹۹۰۶۳۶۷	-۰/۹۹۸۱۲۷۳	-۰/۹۴۹۴۳۸۲	-۰/۴۷۵۶۵۵۴
[Roll,]	-۰/۹۹۴۳۸۲۰	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۰/۹۸۳۱۴۶۱	۰/۹۹۶۲۵۴۷	۰/۹۴۷۵۶۵۵	۰/۴۸۱۲۷۳۴
[Zero,]	-۰/۹۹۰۶۳۶۷	۰/۹۸۳۱۴۶۱	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۰/۹۸۶۸۹۱۴	۰/۹۳۸۲۰۲۲	۰/۴۶۸۱۶۴۸
[FHT,]	-۰/۹۹۸۱۲۷۳	۰/۹۹۶۲۵۴۷	۰/۹۸۶۸۹۱۴	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۰/۹۴۷۵۶۵۵	۰/۴۷۷۵۲۸۱
[CPQS,]	-۰/۹۴۹۴۳۸۲	۰/۹۴۷۵۶۵۵	۰/۹۳۸۲۰۲۲	۰/۹۴۷۵۶۵۵	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۰/۴۷۰۰۳۷۵
[Spread,]	-۰/۴۷۵۶۵۵۴	۰/۴۸۱۲۷۳۴	۰/۴۶۸۱۶۴۸	۰/۴۷۷۵۲۸۱	۰/۴۷۰۰۳۷۵	۱/۰۰۰۰۰۰۰

Warning message:

In BetaMatrix: 2950 observations (73.4%)

contain NAs. Only complete observations are used.

```
> TauMatrix(as.matrix(firmx[,c(3:9,16:18,20:21)]),
weights=NA);#Computes the empirical Kendall's tau
```

نتایج ساخت شاخص مرکب نقدشوندگی برای یک نماد معاملاتی با توابع مفصل آر-وین ۵۹

	<i>QS</i>	<i>ABidAsk</i>	<i>a°</i>	<i>a۱</i>	<i>IRC</i>
<i>QS</i>	۱/۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۳۹۷۹۷۹۶	-۰/۰۴۸۴۷۸۵۳	۰/۰۴۹۲۲۶۱۹	۰/۰۲۴۰۲۰۵۹
<i>ABidAsk</i>	۰/۰۳۹۷۹۷۹۵۶	۱/۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۶۹۳۲۵۲۵	-۰/۰۱۰۵۷۴۲۹۴	۰/۰۲۰۱۳۰۳۲۰
<i>a°</i>	-۰/۰۴۸۴۷۸۵۳۰	۰/۰۶۹۳۲۵۲۵	۱/۰۰۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۰۷۸۸۹۸۰۹۷	-۰/۰۱۲۳۴۳۸۲
<i>a۱</i>	۰/۰۴۹۲۲۶۱۹۰	-۰/۰۱۰۵۷۴۲۹۴	-۰/۰۷۸۸۹۸۰۹۷	۱/۰۰۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۰۲۲۵۵۳۰۹
<i>IRC</i>	۰/۰۲۴۰۲۰۵۸۷	۰/۰۲۰۱۳۰۳۲۰	-۰/۰۱۲۳۴۳۸۲	-۰/۰۲۲۵۵۳۰۹	۱/۰۰۰۰۰۰۰۰۰
<i>IQR</i>	-۰/۰۱۸۸۱۷۹۵۸	۰/۰۲۶۰۹۱۸۱۲	۰/۰۳۰۰۴۶۵۹	-۰/۰۴۹۷۶۵۱۵	۰/۰۴۹۶۴۵۵۳۲
<i>Gamma</i>	-۰/۰۲۰۸۴۰۰۴۶۵	-۰/۰۴۰۰۶۰۵۱۵	۰/۰۷۵۳۴۵۱۳	-۰/۰۲۳۱۸۰۹۶	-۰/۰۲۱۰۷۸۹۲۶
<i>Roll</i>	۰/۰۲۰۸۴۰۰۴۶۵	۰/۰۴۰۰۶۰۵۱۵	-۰/۰۷۵۳۴۵۱۳	۰/۰۲۳۱۸۰۹۶	۰/۰۲۱۰۷۸۹۲۶
<i>Zero</i>	-۰/۰۰۵۹۴۳۱۹۷	-۰/۰۷۲۵۳۶۵۰	۰/۰۶۲۷۵۲۸۶	-۰/۰۴۰۲۸۵۹۶	۰/۰۳۲۷۵۸۲۸
<i>FHT</i>	-۰/۰۳۵۰۶۲۷۷۹	۰/۰۳۱۴۳۳۹۹۷	۰/۰۴۱۸۶۵۴۳	-۰/۰۷۱۰۹۴۳۶	۰/۰۶۰۹۶۹۵۳۱
<i>CPQS</i>	۰/۰۳۰۶۶۸۷۰۴۴	۰/۰۸۸۰۳۵۳۷	-۰/۰۳۳۳۶۷۱۸	۰/۰۳۰۹۴۸۳۳	-۰/۰۹۰۹۶۸۷۰
<i>Spread</i>	-۰/۰۷۹۹۳۹۱۹۳	۰/۰۱۳۷۵۶۰۷۱	-۰/۰۸۶۶۹۰۹۷	۰/۰۵۲۶۶۲۴۳	۰/۰۳۵۵۴۶۱۸۶

(۳.۳)

	<i>IQR</i>	<i>Gamma</i>	<i>Roll</i>	<i>Zero</i>	<i>FHT</i>
<i>QS</i>	-۰/۰۱۸۸۱۷۹۶	-۰/۰۲۰۸۴۰۰۴۶	۰/۰۲۰۸۴۰۰۴۶	-۰/۰۰۵۹۴۳۱۹۷	-۰/۰۳۵۰۶۲۷۸
<i>ABidAsk</i>	۰/۰۲۶۰۹۱۸۱۲	-۰/۰۴۰۰۶۰۵۱۵	۰/۰۴۰۰۶۰۵۱۵	-۰/۰۷۲۵۳۶۴۹۶	۰/۰۳۱۴۳۳۹۹۷
<i>a°</i>	۰/۰۳۰۰۴۶۵۹	۰/۰۷۵۳۴۵۱۳	-۰/۰۷۵۳۴۵۱۳	۰/۰۶۲۷۵۲۸۶۳	۰/۰۴۱۸۶۵۴۳
<i>a۱</i>	-۰/۰۴۹۷۶۵۱۵	-۰/۰۲۳۱۸۰۹۶	۰/۰۲۳۱۸۰۹۶	-۰/۰۴۰۲۸۵۹۶۲	-۰/۰۷۱۰۹۴۳۶
<i>IRC</i>	۰/۰۴۹۶۴۵۵۳۲	-۰/۰۲۱۰۷۸۹۲۶	۰/۰۲۱۰۷۸۹۲۶	۰/۰۳۲۷۵۸۲۷۹	۰/۰۶۰۹۶۹۵۳۱
<i>IQR</i>	۱/۰۰۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۰۱۹۴۸۰۶۸۶	۰/۰۱۹۴۸۰۶۸۶	-۰/۰۷۸۰۹۳۰۰۱	۰/۰۵۱۴۰۴۳۲۷
<i>Gamma</i>	-۰/۰۱۹۴۸۰۶۸۶	۱/۰۰۰۰۰۰۰۰۰	-۱/۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۳۶۳۷۴۹۶۵۷	-۰/۰۱۱۸۸۸۴۹۰
<i>Roll</i>	۰/۰۱۹۴۸۰۶۸۶	-۱/۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۰۳۶۳۷۴۹۶۵۷	۰/۰۱۱۸۸۸۴۹۰
<i>Zero</i>	-۰/۰۷۸۰۹۳۰۰۰	۰/۰۳۶۳۷۴۹۶۶	-۰/۰۳۶۳۷۴۹۶۶	۱/۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۰۲۲۰۸۷۷۷۲
<i>FHT</i>	۰/۰۵۱۴۰۴۳۲۷	-۰/۰۱۱۸۸۸۴۹۰	۰/۰۱۱۸۸۸۴۹۰	۰/۰۲۲۰۸۷۷۷۲۰	۱/۰۰۰۰۰۰۰۰۰
<i>CPQS</i>	-۰/۰۷۹۲۱۹۸۵	-۰/۰۱۰۴۱۷۷۴۴	۰/۰۱۰۴۱۷۷۴۴	-۰/۰۲۱۵۴۸۶۷۹	-۰/۰۳۵۲۳۴۸۶
<i>Spread</i>	۰/۰۲۸۰۷۵۲۶۸	-۰/۰۲۶۹۴۵۱۸۱	۰/۰۲۶۹۴۵۱۸۱	-۰/۰۲۵۸۱۶۳۰۴۷	۰/۰۲۲۸۰۹۲۱۴

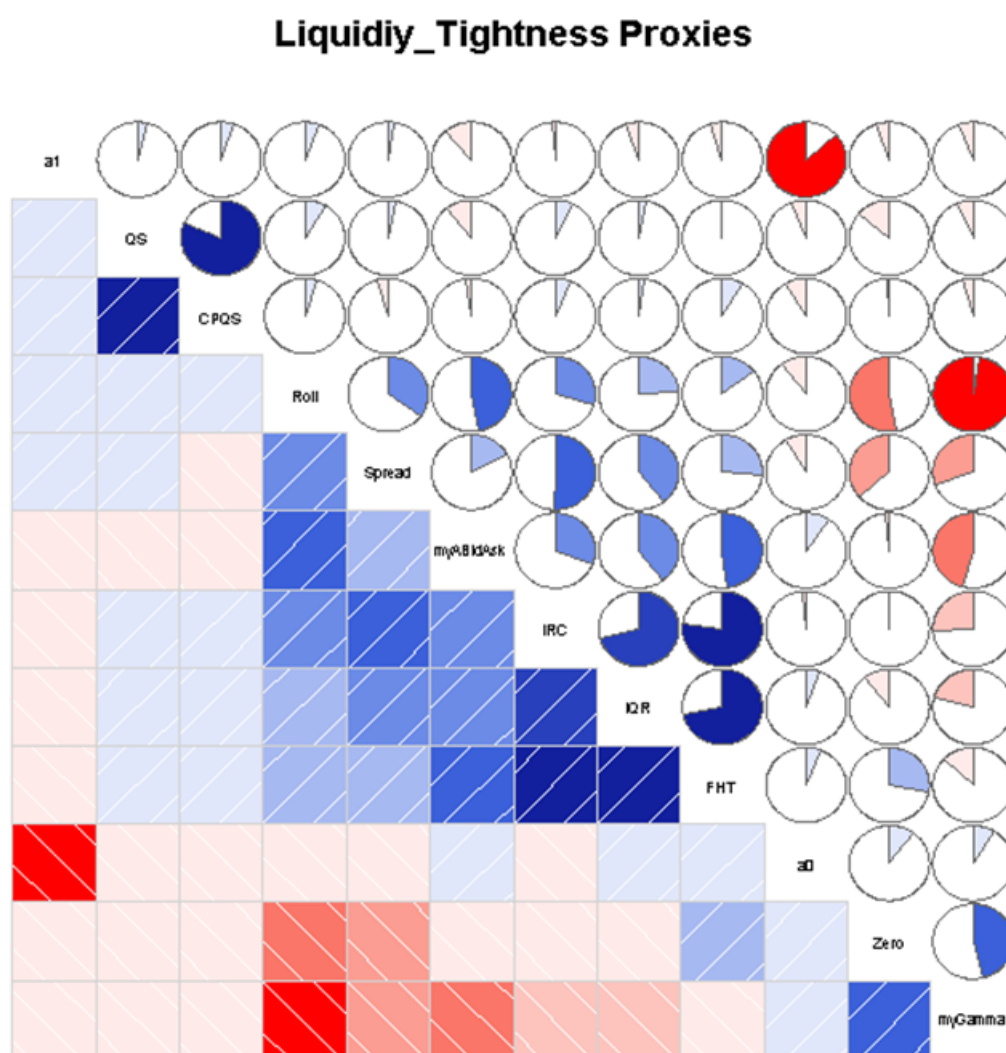
(۴.۳)

	<i>CPQS</i>	<i>Spread</i>
<i>QS</i>	۰/۰۳۰۶۶۸۷۰۴	-۰/۰۷۹۹۳۹۱۹
<i>ABidAsk</i>	۰/۰۸۸۰۳۵۳۷	۰/۰۱۳۷۵۶۰۷۱
<i>a°</i>	-۰/۰۳۳۳۶۷۱۸	-۰/۰۸۶۶۹۰۹۷
<i>a۱</i>	۰/۰۳۰۹۴۸۳۳	۰/۰۵۲۶۶۲۴۳
<i>IRC</i>	-۰/۰۹۰۹۶۸۷۰	۰/۰۳۵۵۴۶۱۸۶
<i>IQR</i>	-۰/۰۷۹۲۱۹۸۵	۰/۰۲۸۰۷۵۲۶۸
<i>Gamma</i>	-۰/۰۱۰۴۱۷۷۴۴	-۰/۰۲۶۹۴۵۱۸۱
<i>Roll</i>	۰/۰۱۰۴۱۷۷۴۴	۰/۰۲۶۹۴۵۱۸۱
<i>Zero</i>	-۰/۰۲۱۵۴۸۶۸	-۰/۰۲۵۸۱۶۳۰۵
<i>FHT</i>	-۰/۰۳۵۲۳۴۸۶	۰/۰۲۲۸۰۹۲۱۴
<i>CPQS</i>	۱/۰۰۰۰۰۰۰۰۰	-۰/۰۱۴۶۲۳۳۰۶
<i>Spread</i>	-۰/۰۱۴۶۲۳۳۰۶	۱/۰۰۰۰۰۰۰۰۰

(۵.۳)

۲.۳.۳ ضریب همبستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی (سختی معامله)

در شکل ۱.۳ نمودار ضریب همبستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی معامله (Tightness) را می‌توان دید که در قسمت‌های قرمز رنگ همبستگی خطی منفی و در قسمت‌های آبی همبستگی خطی مثبت داریم. (از ضریب همبستگی خطی پیرسون^۱ استفاده شده است). در قسمت‌هایی که به شکل دایره مانند هستند ما می‌توانیم مقدار ضریب همبستگی را ببینیم. اما در قسمت پایین نمودار که به شکل مربع مانند است فقط از روی رنگ می‌توانیم به همبستگی مثبت یا منفی بودن آن پی ببریم. مشاهده می‌کنیم که در بعضی قسمت‌ها مثلاً بین شاخص‌های FHT و IQR همبستگی خطی مثبت و بین شاخص‌های QS و CPQS همبستگی خطی منفی داریم.



شکل ۱.۳: نمودار ضریب همبستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی

^۱ضریب همبستگی پیرسون، وابستگی خطی در میانگین توزیع دو متغیر را نشان می‌دهد.

۳.۳.۳ ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی (سختی معامله)

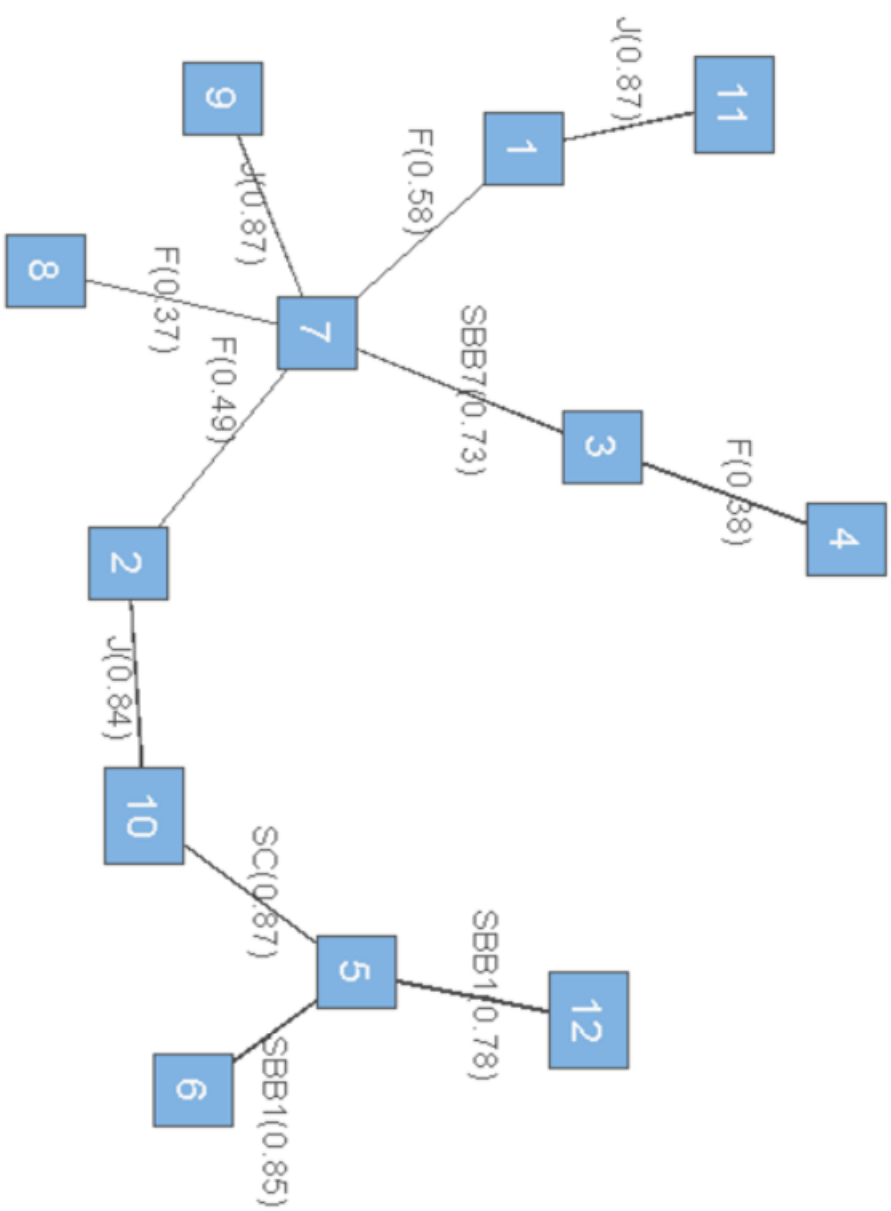
خروجی برنامه‌نویسی زیر که مربوط به نمودار وابستگی بین شاخص‌های سختی بازار^۱ است نشان می‌دهد که وابستگی بین هر دو شاخص که با یک تابع مفصل آمده چگونه است بدین صورت که آرگومان اول تعداد پارامترهای تابع مفصل و آرگومان دوم درصد وابستگی تاوکنندال می‌باشد.

جدول ۴.۳: ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی معامله (Tightness) برای نماد معاملاتی ”وملت”

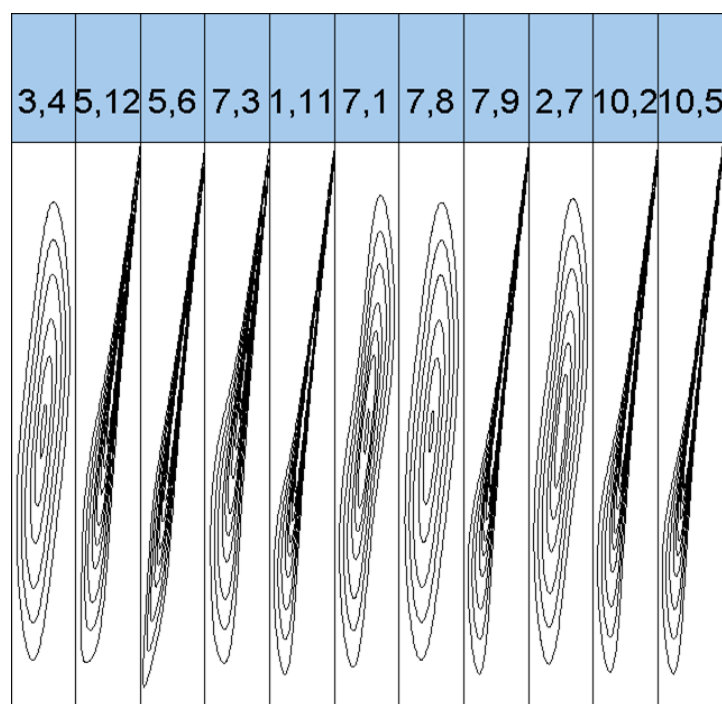
درختواره ۱ (Tree)		
a°, a۱	۳, ۴	Frank(par = ۴, tau = ۰/۳۸)
IRC, Spread	۵, ۱۲	SurvivalBB۱(par = ۵, par۲ = ۱/۳, tau = ۰/۷۸)
IRC, IQR	۵, ۶	SurvivalBB۱(par = ۵, par۲ = ۱/۹۴, tau = ۰/۸۵)
myGamma, a°	۷, ۳	SurvivalBB۷(par = ۱/۰۹, par۲ = ۵/۵۹, tau = ۰/۷۳)
QS, CPQS	۱, ۱۱	Joe(par = ۱۴/۶۵, tau = ۰/۸۷)
myGamma, QS	۷, ۱	Frank(par = ۵/۵۳, tau = ۰/۴۹)
myGamma, Roll	۷, ۸	Frank(par = ۳/۸۵, tau = ۰/۳۷)
myGamma, Zero	۷, ۹	Joe(par = ۱۴/۱۶, tau = ۰/۸۷)
myABidAsk, myGamma	۲, ۷	Frank(par = ۵/۵۳, tau = ۰/۴۹)
FHT, myABidAsk	۱۰, ۲	Joe(par = ۱۰/۹۶, tau = ۰/۸۴)
FHT, IRC	۱۰, ۵	SurvivalClayton(par = ۱۳/۲۲, tau = ۰/۸۷)

شکل ۲.۳ نمودار وابستگی بین شاخص‌های سختی بازار با استفاده از تابع مفصل R-Vin می‌باشد. هریک از اعداد نشانگر یک شاخص نقدشوندگی سختی بازار است که بین هر دو شاخص یک تابع مفصل می‌بینیم که این تابع مفصل همان وابستگی بین شاخص‌ها را نشان می‌دهد. به طور مثال وابستگی بین شاخص‌های شماره ۷ و ۱ (myGamma و QS) و همچنین ۷ و ۸ (myGamma و Roll) نمودار تابع مفصل فرانک و یا وابستگی بین شاخص‌های ۱۱ و ۱ (QS و CPQS) و همچنین ۷ و ۹ (myGamma و Zero) تابع مفصل جوی می‌باشد.

¹Tightness



شکل ۲.۳: نمودار ساختار وابستگی بین شاخص‌های نفوذپذیری سختی معامله (Tightness)

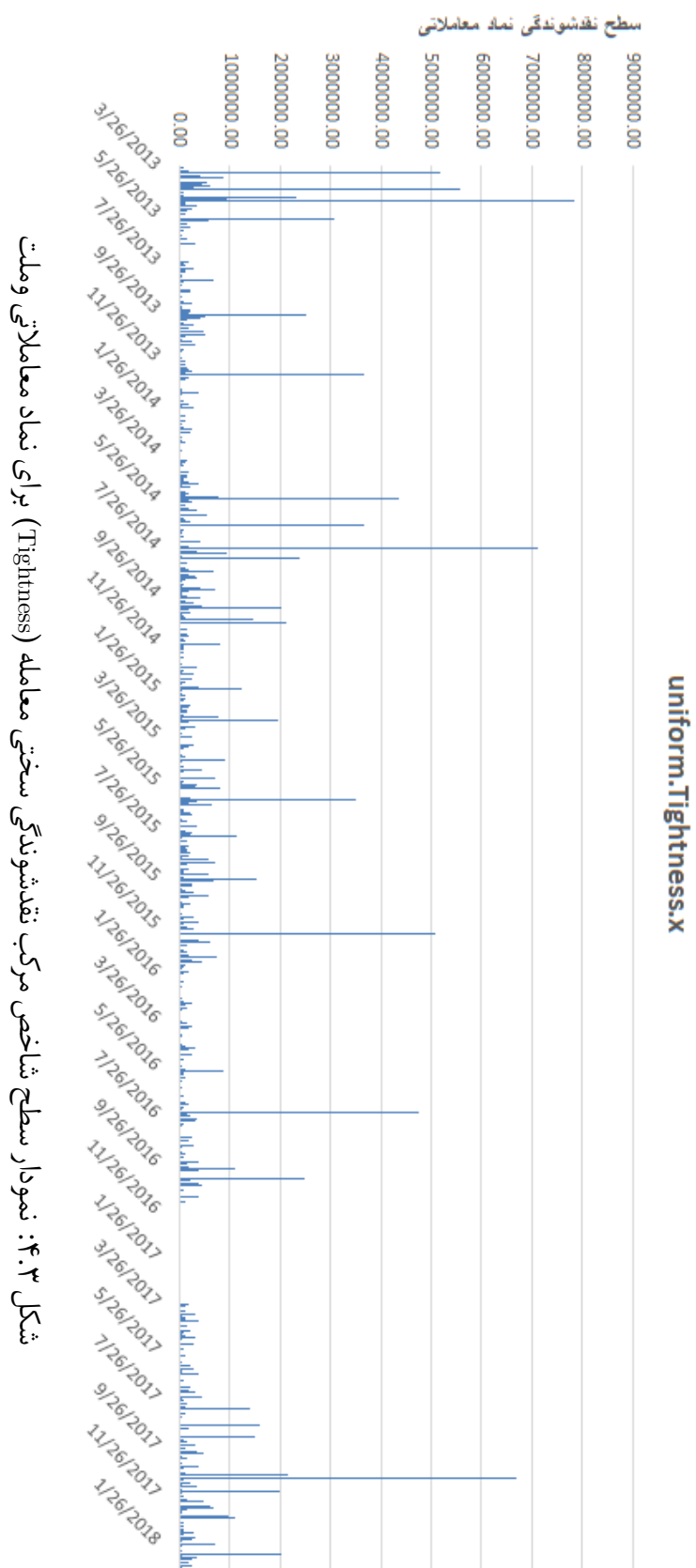


شکل ۳.۳: شکل وابستگی تابع مفصل جفت جفت شاخص‌های نقدشوندگی در بعد سختی معامله (Tightness)

در نمودار شکل ۳.۳ همانطور که مشاهده می‌کنید وابستگی بین هر دو شاخص در یک ستون آمده‌است. در واقع در هر کدام از ستون‌ها دو عدد^۱ مشاهده می‌کنیم که نشانگر دو شاخص می‌باشند. وابستگی بین شاخص سه و چهار از همه کمتر است این درحالی است که بیشترین وابستگی بین شاخص‌های ۱۱ و ۷ و همچنین ۱۰ و ۵ می‌باشد.

در شکل ۴.۳ می‌توان نمودار تغییرات سطح نقدشوندگی مدل مربوطه را در طی افق زمانی دید. مشاهده می‌کنیم در برخی روزها سختی بازار کمتر و در برخی روزها بیشتر است. سطح نقدشوندگی شاخص مرکب سختی معامله (Tightness) برای یک نماد معاملاتی و ملت در روزهای مختلف با هم فرق دارد. این تفاوت ناشی از دلایل مختلفی می‌تواند باشد که دلایل آن خارج از هدف این پژوهش می‌باشد.

^۱ شماره‌هایی که در نمودار می‌بینید مربوط به شاخص‌ها، متناظر با جدول ۴.۳ می‌باشد.



۴.۳ نتایج ساخت شاخص مرکب نقدشوندگی برای سبدسهم با تابع مفصل آر-وین

برای ساخت سبد پس از مطالعه و تحقیق یک سبد را به عنوان سبد منتخب در نظر گرفته و شرکت‌های مدنظر و دیتا موردنظر را دانلود کرده بعد شاخص‌های نقدشوندگی و مدل مفصل R-Vine را برای آن محاسبه می‌کنیم که در قسمت قبل ما مدل را ساختیم. لازم به ذکر است که در این بخش هم همانند بخش‌های قبل در ابتدا پکیج‌های مربوطه را شناسایی، دانلود و نصب نموده و در مراحل بعد برای اجرا گرفتن در R فراخوانی کرده و سپس از نتایج بخش قبل برای ادامه کار استفاده می‌کنیم. بنابراین بعد از فراخوانی داده‌های مربوطه و با استفاده از حلقه for سبدسهم مفروض و نمودارهای لازم جهت تحلیل را تولید می‌کنیم. کدبرنامه‌های مربوط به ساخت سبد سهم مفروض پیوست شده است.

تصویر ۵.۳ پرتفوی بورسی شرکت سرمایه‌گذاری وملت را نشان می‌دهد. پرتفوی بورسی این شرکت سرمایه‌گذاری شامل ۶ نماد به نام‌های وسپه^۱، قنیشا^۱، وغدیر^۱، وامید^۱، غمهر^۱ و ساخت^۱ است. سهم این نمادها در ابتدا و انتها دوره در جدول ۵.۳ ارائه شده است. در ادامه سطح نقدشوندگی سبد سهم شرکت سرمایه‌گذاری وملت محاسبه شده و نتایج ارائه شده است.

جدول ۵.۳: سهم دارایی‌های تشکیل دهنده پرتفوی بورسی شرکت سرمایه‌گذاری وملت

نماد	symbol	wight ^۱	wight ^۲
وسپه ^۱	SPAH ^۱	۰/۴۶۵	۰/۴۴۱
قنیشا ^۱	GNBO ^۱	۰/۳۹۷	۰/۴۲۱
وغدیر ^۱	GDIR ^۱	۰/۱۰۸	۰/۱۱۱
وامید ^۱	OMIC ^۱	۰/۰۲۱	۰/۰۱۹
غمهر ^۱	MRAM ^۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹
وساخت ^۱	SAKA ^۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
جمع کل		۱/۰۰۰	۱/۰۰۰

[illegible]

جدول ۶.۳: نتایج شاخص نقدشوندگی مرکب سختی معامله (Tightness) محاسبه شده برای هر یک از دارایی‌های تشکیل دهنده پرتفوی بورسی شرکت سرمایه‌گذاری وملت

Date	SPAH ^۱	GNBO ^۱	GDIR ^۱	OIMC ^۱	MRAM ^۱	SAKH ^۱	uniform.liquidity. Basket
۴/۸/۲۰۱۳	۹۵۹۰/۹	۷۶۷۱۸۰/۴	۹۳۹۶/۸	۹۹۲۲/۷	۶۶۶۴۶۰۱/۷	۵۸۳۰/۶	۱۹۶۰/۶۱
۴/۹/۲۰۱۳	۱۶۵۱/۲	۲۶۰۴۶۹۳/۹	۲۹۲۶۳/۹	۴۷۳۹۰۶/۲	۳۹۲۹۲۳/۱	۱۱۱۷۲/۱	۲۵۸/۴۹
۴/۱۲/۲۰۱۳	۹۹۸۳۴/۵	۸۳۶۷۰۵/۵	۱۸۳۲۸۴/۲	۵۸۰۹۶/۱	۷۷۰۵۵۷۳/۸	۳۷۰۴۷/۲	۳۶۳/۹۶
۴/۱۴/۲۰۱۳	۸۳۲۷۶/۵	۳۲۹۳۵۷/۴	۱۶۸/۳	۹۳۰۰/۹	۱۹۸۰۴۰۵۳۲/۹	۱۳۲۷۰۵/۵	۶۷/۳۶
۴/۱۵/۲۰۱۳	۸۷۷۵۵/۰	۲۸۱۵/۶	۱۰۷۷۲۵/۸	۱۰۴۷۸۰/۶	۲۹۱۹۶۵۵۸/۲	۶۸۵۱/۴	۲۸۷/۵۷
۴/۱۶/۲۰۱۳	۴۴۶۲۶۳/۱	۱۰۰۶۲۲/۹	۱۲۱۱۶۲/۵	۴۸۲۷۰۸/۲	۳۳۸۴۵۳/۷	۱۰۴۱/۰	۷۵/۸۶
۴/۲۹/۲۰۱۳	۵۷۴۰۸/۹	۲۸۶۸۶/۴	۱۸۱/۹	۳۲۳۳۶/۴	۴۶۵۷۲۷۱۱/۳	۳۶۱/۷	۱۱۰۶/۷۰
				...			
۷/۲۷/۲۰۱۸	۲۹۹۰/۲	۹۱۴۴۴۰۰/۶	۸۳۳۳۴۳/۵	۲۸۱۵/۶	۷۵۱۵۱۲۲۴/۶	۱۴۸۷۷/۰	۱۱۲/۶۲
۷/۲۸/۲۰۱۸	۱۲۲۸۰/۵	۳۷۲۳۳۹/۴	۱۶۳۰۰۵/۴	۵۴۰۱۲/۷	۲۴۶۱۸/۳	۲۵۰۷۷/۹	۵۵۳/۸۹
۸/۶/۲۰۱۸	۱۷۲۷/۰	۲۰۹۸۳۱/۹	۴۱۰۸۰/۸	۱۱۰۱۷/۶	۳۶۴۴۴۲۷۱/۸	۱۹۰۲/۹	۲۳۷۴/۳۷
۸/۱۱/۲۰۱۸	۷۸۲۲۵/۹	۴۲۰۸۹۹/۶	۵۲۴۹۶/۰	۲۴۲۷۹/۷	۱۶۷۷۹۰/۰	۷۰۵۵/۴	۴۲۴/۷۶
۸/۱۷/۲۰۱۸	۱۲۲۱۳۲/۲	۱۲۰۷۹۱/۶	۹۴۱۴۷۲/۱	۴۱۶۴۳/۷	۱۱۸۲۷/۰	۱۷۸۶۶/۶	۸۷/۶۷
۸/۲۸/۲۰۱۸	۲۶۱۳۰۹/۹	۱۰۴۹۸۷۲/۶	۳۳۵۴/۰	۴۶۳۹۷/۹	۱۰۲۰۳۵۰۰/۵	۲۶۰۴/۶	۱۵۳/۲۶
۸/۳۱/۲۰۱۸	۲۱۴۸۱۵/۰	۷۰۹۵/۵	۵۶۸۰۵/۳	۳۹۰۳۰/۵	۷۲۰/۷	۱۷۳/۷	۱۵۳/۰۹

در جدول ۶.۳ نتایج شاخص نقدشوندگی مرکب سختی معامله (Tightness) محاسبه شده برای هر یک از دارایی‌های تشکیل دهنده پرتفوی بورسی شرکت سرمایه گذاری وملت ارائه شده است که در این جا به دلیل محدودیت صفحات پایان نامه، شامل چند سطر اول و آخر نتایج می باشد.

جدول ۷.۳ مربوط به نمودارهای سبد سرمایه گذاری وملت می باشد. در این جدول می بینید که در هر سطر یک تابع مفصل با دو آرگومان که شامل پارامتر و ضریب وابستگی تاو کندانال آن دو شاخص می باشد را آورده ایم.

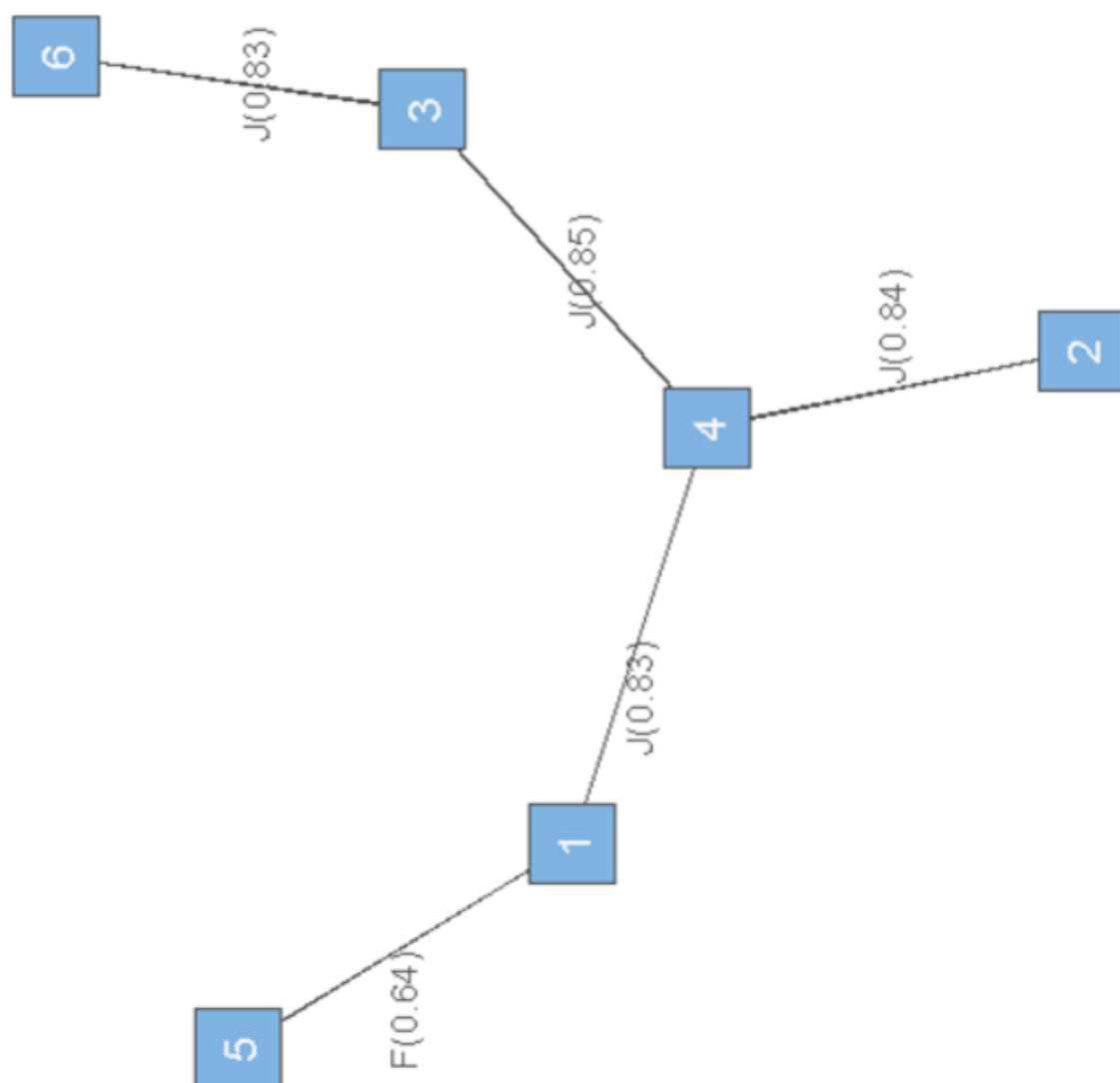
جدول ۷.۳: درختواره ۱، ساختار وابستگی بین شاخص های نقدشوندگی سختی برای سبد سهام

درختواره ۱ (Tree1)		
SPAH\, MRAM\	۱, ۵	Frank(par = ۹/۰۷, tau = ۰/۶۴)
OIMC\, GNBO\	۴, ۲	Joe(par = ۱۱/۱۱, tau = ۰/۸۴)
OIMC\, SPAH\	۴, ۱	Joe(par = ۱۰/۷۲, tau = ۰/۸۳)
GDIR\, OIMC\	۳, ۴	Joe(par = ۱۲/۰۸, tau = ۰/۸۵)
SAKH\, GDIR\	۶, ۳	Joe(par = ۱۰/۴۸, tau = ۰/۸۳)

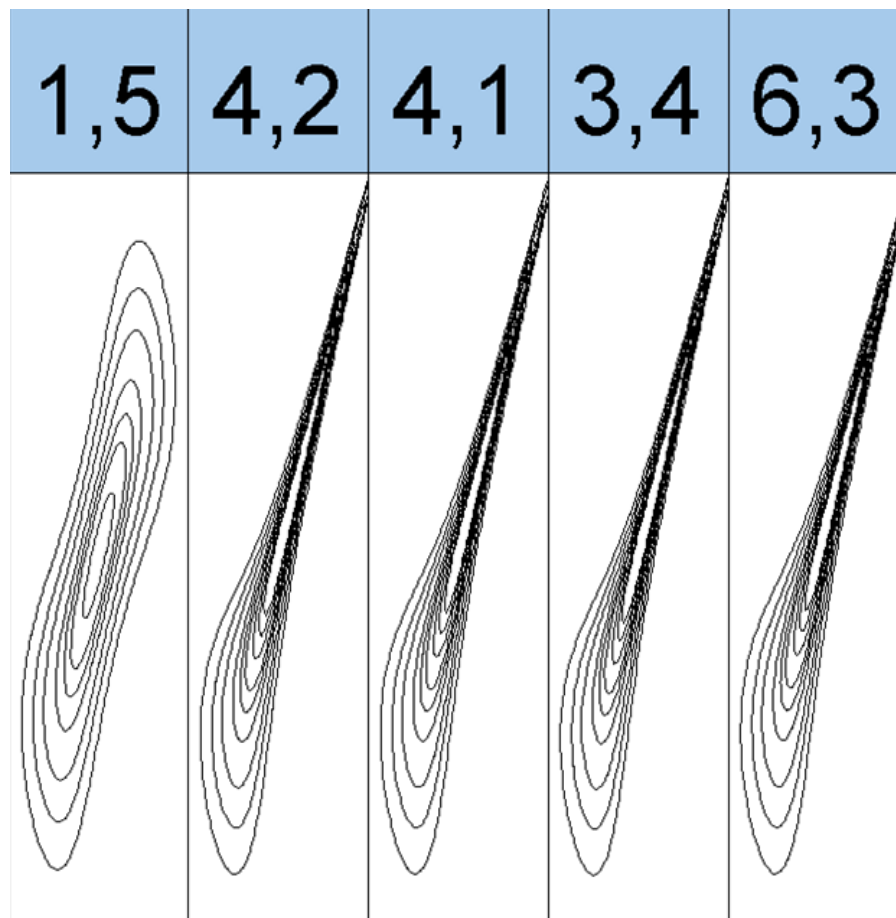
۱.۴.۳ ساختار وابستگی نقدشوندگی بین نمادهای تشکیل دهنده سبد سهام

در شکل ۶.۳ هر کدام از اعداد نشانگر یک دارایی از شش دارایی سبد بورسی شرکت سرمایه گذاری وملت است. باتوجه به نمودار می توان گفت شرکت یک و پنج (SPAH1 و MRAM1) کمترین وابستگی و شرکت سه و شش (SAKH1 و GDIR1) بیشترین وابستگی را به دنبال دارد. بین همه شرکت ها تابع مفصل جوی را داریم در حالیکه بین دو شرکت شماره یک و پنج فرانک می باشد.

شکل ۷.۳ نمودار سبد سرمایه گذاری وملت است و می بینیم که بین دو شرکت یک و پنج کمترین ضریب وابستگی تاو کندانال به مقدار ۰/۶۴ موجود است در حالی ک بقیه ضریب وابستگی شان بالا هشتاد درصد است.



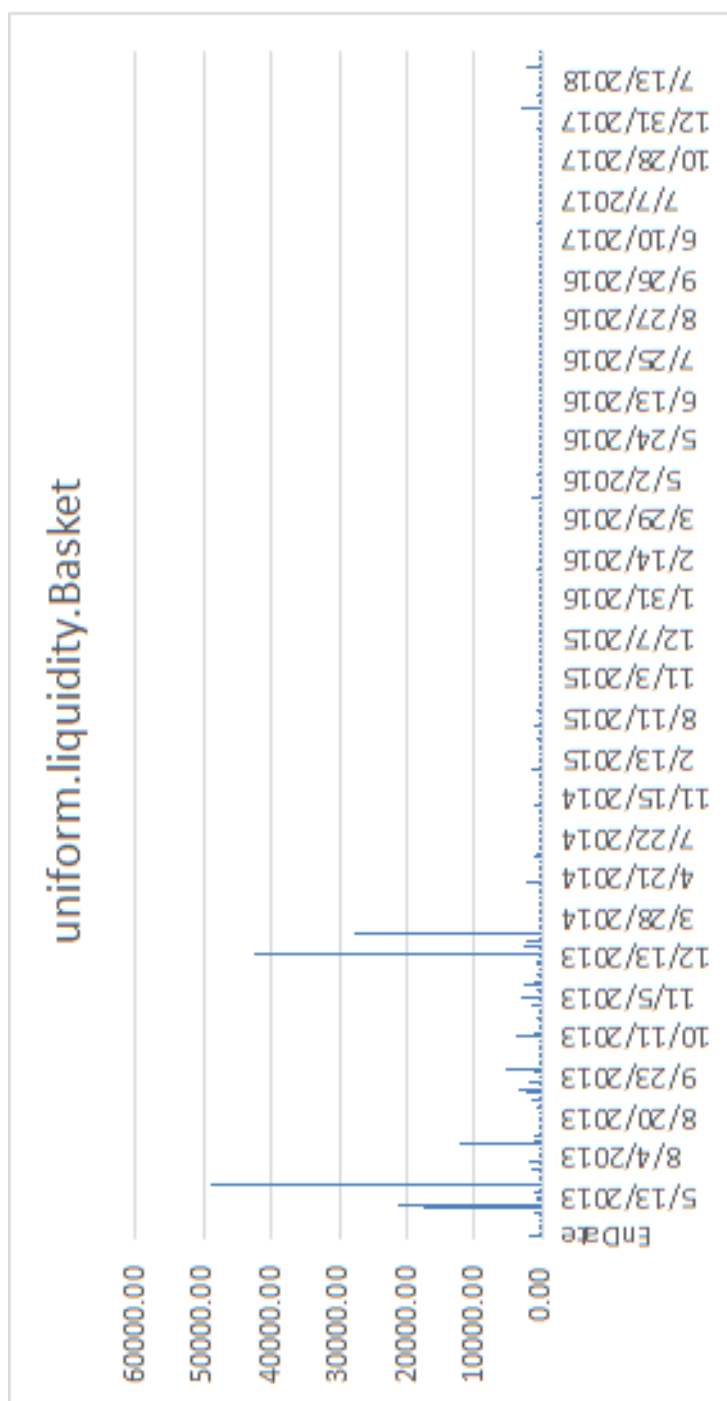
شکل ۶.۳: نمودار ساختار وابستگی شاخص نقدشوندگی سختی معامله (Tightness) بین دارایی‌های سبد سرمایه‌گذاری



شکل ۷.۳: شکل تابع مفصل دومتغیره شاخص‌های نقدشوندگی سختی معامله (Tightness) بین جفت دارایی

۲.۴.۳ سطح نقدشوندگی سبدسهم

در شکل ۸.۳ نمودار روند سطح نقدشوندگی شاخص مرکب سختی (Tightness) سبدسرمایه گذاری وملت در طی افق زمانی می‌باشد. مقدار شاخص نقدشوندگی مرکب سختی معامله برای سبد سهام مفروض در روزهای مختلف یکسان نیست. تغییر سطح سختی معامله در روزهای مختلف دلایل مختلفی دارد که توزیع دلایل آن خارج از هدف این پژوهش است.



شکل ۸.۳: نمودار سطح نقدشوندگی شاخص مرکب سختی معامله (Tightness) برای سبد سرمایه‌گذاری در افق زمان

۵.۳ نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

تابع مفصل ابتدا به طور تحلیلی توسط اسکالر (۱۹۵۹) در قضیه‌ای که برای بیان ارتباط توابع توزیع یک بعدی با توابع چندمتغیره آنها بیان شد، مورد بررسی قرار گرفت و بعدها به دلیل اهمیتی که این توابع در نمایش ساختار وابستگی متغیرها داشت به عنوان یکی از مباحث اساسی آمار مورد توجه قرار گرفت. تابع مفصل از دو دیدگاه قابل تفسیر است. از یک نگاه مفصل تابعی است که تابع توزیع توأم را به توابع توزیع کناری آن مرتبط می‌سازد. و از نگاه دیگر، مفصل یک تابع توزیع توأم است که توابع توزیع کناری آنها، توابع توزیع یکنواخت [۰, ۱] می‌باشند. امروزه در علوم مختلف به ویژه در حوزه بیمه و بازارهای مالی از انواع توابع مفصل در مدل سازی ساختار وابستگی متغیرهای تصادفی (مانند بازده سهام)، تعیین پورتفولیو مناسب و برآورد سرمایه‌ی اقتصادی استفاده‌های متعددی می‌شود. [۱۷] وابستگی بین متغیرهای تصادفی را با سنج‌های مختلفی می‌سنجند. در تعریف برخی از این سنج‌ها، فقط بر وابستگی بین میانگین توزیع متغیرها تأکید می‌شود؛ مانند ضریب همبستگی خطی پیرسون^۱. در برخی دیگر از سنج‌های وابستگی مانند ضریب تاو کندال^۲ و ضریب رو اسپیرمن^۳ (۳) وابستگی در کل دامنه توزیع مورد نظر است. [۱۷]

نقدشوندگی مفهومی پیچیده و گیج‌کننده است، که جنبه یا جنبه‌های مختلفی را شامل می‌شود و اندازه گیری آن با یک معیار دشوار می‌باشد. در پژوهش حاضر علاوه بر مطالعه در زمینه نقدشوندگی و توابع مفصل به ساخت شاخص‌های نقدشوندگی و سپس از بین شاخص‌های منتخبی یک شاخص مرکب با استفاده از نظریه مفصل پرداخته‌ایم.

هم‌چنین در این پژوهش، ضمن بررسی و مطالعه ویژگی‌های شاخص‌های نقدشوندگی و توابع مفصل و ساختار آنها، با استفاده از توابع مفصل وین به ساخت شاخص‌های نقدشوندگی مرکب با استفاده از نظریه مفصل می‌پردازیم.

نقدشوندگی یک مفهوم چند بعدی و شاخص‌های متعددی برای سنجش آن وجود دارد، لازم به ذکر است که نقدشوندگی را می‌توان برای یک نماد، یک سبد و هم‌چنین برای یک بازار محاسبه کرد. در اینجا هم روی یک نماد و هم روی یک سبد متمرکز شده‌ایم، با توجه به تعدد ابعاد نقدشوندگی و تعدد شاخص‌هایی که برای هر بعد مطرح است. به طور مثال تابع وین مفصل این امکان را به ما می‌دهد تا ما این شاخص‌ها را تجمیع کنیم و شاخص مرکب بسازیم. در سال‌های اخیر، از توابع مفصل، به عنوان یک مدل برای تجزیه و تحلیل وقایع چند متغیره پدیده‌ها به خصوص در تحلیل ارتباط بین پدیده‌ها استفاده شده است. در این مطالعه نیز، از توابع مفصل وین برای ساخت شاخص نقدشوندگی مرکب و هم‌چنین سبدهای مربوطه استفاده شده است. نتایج مدل سازی بین شاخص‌ها نشان می‌دهد که اولاً وابستگی بین

¹Pearson linear correlation coefficient

²Kendall's tau

³Spearman's rho

شاخص‌های نقدشوندگی یکنواخت و یکسان نیست. دوماً وابستگی بین نقدشوندگی نمادهای معاملاتی تشکیل دهنده یک سبد سهام نیز یکسان نیست و سطح نقدشوندگی در افق زمانی چه برای یک نماد معاملاتی و چه برای یک سبد سهام مقدار ثابتی نیست. و تحت تأثیر عوامل متعددی (شرایط بازار و ...) است که تغییر می‌کند. با توجه به هدف این تحقیق در اینجا از بررسی علل تغییر سطح نقدشوندگی نماد معاملاتی و سبد سهام صرف نظر شده است.

۶.۳ محدودیت‌های تحقیق

- در پژوهش حاضر ما با محدودیت‌هایی مواجه بودیم که در زیر به تشریح آنها می‌پردازیم.
- ۱- محدودیت تعداد صفحات باعث شده تا ما نتوانیم خیلی از نتایج را در متن پایان‌نامه کامل گزارش کنیم و لذا نتایج به صورت فایل اکسل در پیوست پایان‌نامه گنجانده شده است.
 - ۲- محدودیت دسترسی به داده‌های سال اخیر (سال ۹۸ و ۹۹)
 - ۳- محدودیت سخت افزاری برای انجام محاسبات و پردازش سریع با توجه به بزرگ بودن حجم داده مورد استفاده و استفاده از داده‌های لحظه‌ای، لذا برای رفع این محدودیت تا حدی از طریق استفاده از سرور دانشگاه رفع شده اما نه بطور کامل. از آنجا که داده‌های ما لحظه‌ای می‌باشد و یک کامپیوتر با RAM بالا و هسته پردازش قوی را لازم داشت.
 - ۴- چند بعدی بودن مفهوم نقدشوندگی و تعدد شاخص‌های سنجش نقدشوندگی برای هر بعد و تعدد نمادهای معاملاتی در بازار سرمایه و همچنین با توجه به محدودیت صفحات پایان‌نامه مانع از این شد که ما همه ابعاد را بررسی و مطالعه کنیم لذا در این پژوهش فقط بر بعد سختی بازار متمرکز شده و نتایج ارائه شده است.
- پیشنهاد می‌شود که مطالعه دقیق‌تر سایر ابعاد نقدشوندگی و نقدشوندگی در سطح کل بازار در پژوهش‌های آتی توسط پژوهشگران انجام شود. هم چنین مقایسه سطح نقدشوندگی بازار بورس با بازارهای دیگر مانند طلا، سکه انجام شود.

مراجع

- [۱] آزادبخت، س، دهقانی، ن، میرباقری جم، محمد (۱۳۹۷)، پایان نامه ارشد: ”رتبه بندی شرکت های مختلف بورس اوراق بهادار تهران براساس شاخص نقدینگی سهام” دانشکده مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود
- [۲] ابزري مهدي، کبيري پور وحيد، و سهيلي سيروس. تحليل تاثير نقدشوندي بر بازده سهام با کنترل سبک هاي سرمايه گذاري: رويکردي جديد با معياري چند بعدي.
- [۳] احمدپور، احمد، باغبان، م. (۲۰۱۴). ”بررسی رابطه‌ی بین نقد شوندي دارائي ها و نقد شوندي سهام در بورس اوراق بهادار تهران”. ”پژوهش های تجربی حسابداری”، ۱۴(۴)، ۶۱-۷۸.
- [۴] احمدپور، ا، رسائیان، ا، ”بررسی رابطه اختلاف قیمت پیشنهادی خرید و فروش سهام با نوسان های بازده سهام و ارزش بازار شرکت در بورس اوراق بهادار تهران”، کتابخانه دیجیتال دانشگاه علامه طباطبائی(ره)
- [۵] بکری زاده، ح، پرهام، غ، (۱۳۹۳)، رساله دکتری: ”تعمیم برخی از توابع مفصل”، دانشکده علوم ریاضی و کامپیوتر، دانشگاه شهید چمران اهواز
- [۶] پوراحمدی، ا، دانشخواه، ع، علوی، م، (۱۳۹۰)، رساله دکتری: ”مدل بندی توزیع های چند متغیره توسط توابع مفصل-جفتی(واین)”، دانشکده علوم ریاضی و کامپیوتر، دانشگاه شهید چمران اهواز
- [۷] تمندانی، ا، زمانیان، غ، میرباقری جم، م، پایان نامه ارشد: ”تأثیر ریسک عدم تقارن اطلاعات بر بازده سهام و حجم معاملات شرکت های منتخب بورس اوراق بهادار”، دانشکده مدیریت، دانشگاه سیستان و بلوچستان،
- [۸] حسینی، کرمی، شفیع پور، و سیدمجتبی. ”بررسی ارتباط عملکرد شرکتها و نقدشوندي بازار سهام”. ”فصلنامه بورس اوراق بهادار”، ۳(۱۱)، ۲۵-۴۲.

- [۹] دمرچی لو، ح، مرادی، م، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "تشکیل پرتفوی بهینه با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک براساس الگوی مارکوئیتز و شاخص نقدشوندگی در بورس اوراق بهادار تهران"، دانشگاه سیستان و بلوچستان
- [۱۰] رضایپور، م، علامت ساز، م، رساله دکتری: "مطالعه در مفصل و مدل‌های وابسته و کاربردهای آنها"، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان.
- [۱۱] رضایی، ن، نزاکتی رضازاده، (۱۳۹۱)، پایان‌نامه ارشد: "مفصل و کاربردهای آن"، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- [۱۲] زمانی، شیوا، فغانی کندی، و پگاه. (۲۰۱۷). "محاسبه میزان نقدشوندگی سهام بورس تهران و بررسی عوامل اثرگذار بر آن". **"چشم انداز مدیریت مالی"**، ۶(۱۵)، ۶۱-۸۰.
- [۱۳] شهیکی تاش، محمدنبی، خداداد کاشی، و میرباقری جم. "بررسی ضریب وابستگی شاخص‌های ساختاری بازار در صنایع کارخانه ایران بر مبنای توابع مفصل شرطی". **"مطالعات و سیاست‌های اقتصادی (سیاست‌های اقتصادی-نامه مفید)"**، ۱۳(۱)، ۲۹-۵۴.
- [۱۴] صلواتی، شاپور، و رسائی‌ان. (۲۰۰۷). "بررسی رابطه بین ساختار سرمایه و نقدشوندگی سهام در ایران". **"دوفصلنامه علمی مطالعات و سیاست‌های اقتصادی"**، ۱۲(۱)، ۱۴۳-۱۶۳.
- [۱۵] علوی طبری، ح، حاجی مراد خانی، ح. (۲۰۱۵). "رابطه کیفیت حسابرسی و نقدشوندگی سهام". **"پژوهش‌های حسابداری مالی و حسابرسی"**، ۷(۲۷)، ۹۲-۱۱۰.
- [۱۶] کبیری پور، ابزری، م، (۱۳۹۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "تحلیل تأثیر نقدشوندگی بر بازده سهام با کنترل سبک‌های سرمایه‌گذاری"، دانشگاه علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان
- [۱۷] میرباقری جم، م، شهیکی تاش، م، زمانیان و صفری. (۲۰۱۶). "تجمیع ریسک‌های بیمه‌گری صنعت بیمه ایران با استفاده از توابع مفصل (رویکرد توابع مفصل ارشمیدسی سلسله‌مراتبی)". **"فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش‌نامه بیمه"**، ۳۰(۴)، ۲۱-۴۲.
- [۱۸] میرباقری جم، م، شهیکی تاش، م، زمانیان، غ، (۱۳۹۴)، رساله دکتری: "تجمیع ریسک‌ها در مدل‌های توانگری مالی با استفاده از توابع کاپیولا (مطالعه موردی بنگاه‌های فعال در صنعت بیمه ایران)"، دانشکده مدیریت، دانشگاه سیستان و بلوچستان
- [۱۹] یحیی زاده فر، شمس، شهاب الدین، لاریمی، و سید جعفر. (۲۰۱۰). "بررسی رابطه نقدشوندگی با بازده سهام در بورس اوراق بهادار تهران". **"تحقیقات مالی"**، ۱۲(۲۹).

- [20] Amihud, Y. (2002). " Illiquidity and stock returns: cross-section and time-series effects". **Journal of financial markets**, 5(1), .31-56
- [21] Amihud, Y., and Mendelson, H. (2008). " Liquidity, the value of the firm, and corporate finance". **Journal of Applied Corporate Finance** , 20(2), 32-45.
- [22] Bao, J., Pan, J., and Wang, J. (2011). The illiquidity of corporate bonds. The Journal of Finance, 66(3), 911-946.
- [23] Baker, H. K. (1996). Trading location and liquidity: An analysis of US dealer and agency markets for common stocks. Blackwell Pubs..
- [24] Bessembinder, H., and Venkataraman, K. (2010). Bid-ask spreads: Measuring trade execution costs in financial markets. Encyclopedia of quantitative finance, 184-190.
- [25] Bernstein, P. L. (1987). Liquidity, stock markets, and market makers. Financial Management, .54-62
- [26] Bervas, A. (2006). Market liquidity and its incorporation into risk management. Financial Stability Review, 8(May), .63-79
- [27] Black, F. (1971). " Toward a fully automated stock exchange", part I. **Financial Analysts Journal**, 27(4), .28-35
- [28] Chordia, T., Roll, R., Subrahmanyam, A., 2001. " Market liquidity and trading activity". J. Finance 56 (2), 501–530.
- [29] Chung, K. H., and Zhang, H. (2014). A simple approximation of intraday spreads using daily data. Journal of Financial Markets, 17, 94-120.
- [30] Clayton, D. G. (1978). A model for association in bivariate life tables and its application in epidemiological studies of familial tendency in chronic disease incidence. Biometrika, 65(1), 141-151.
- [31] Cooper, S. K., Groth, J. C., and Avera, W. E. (1985). Liquidity, exchange listing, and common stock performance. Journal of Economics and Business, 37(1), .19-33
- [32] Cuadras, C. M. (2009). "Constructing copula functions with weighted geometric means". **Journal of Statistical Planning and Inference**, 139(11), 3766-3772.

-
- [33] Czado, C. (2019). "**Analyzing Dependent Data with Vine Copulas**". Lecture Notes in Statistics, Springer.
- [34] Dall'Aglio, G., Kotz, S., and Salinetti, G. (1991) Probability Distributions with Given Marginals; Beyond the Copulas. Kulwer Academic Publishers.
- [35] Dalgaard, R. (2009). "**Liquidity and stock returns: Evidence from Denmark**". Copenhagen Business School. Retrieved on September, 21, 2014.
- [36] Díaz, A., and Escribano, A. (2020). Measuring the multi-faceted dimension of liquidity in financial markets: A literature review. *Research in International Business and Finance*, 51, 101079.
- [37] Dick-Nielsen, J., Feldhütter, P., and Lando, D. (2012). Corporate bond liquidity before and after the onset of the subprime crisis. **Journal of Financial Economics**, 103(3), 471-492.
- [38] Downing, C., Underwood, S., and Xing, Y. (2005). "**Is liquidity risk priced in the corporate bond market**". Working Paper, Rice University.
- [39] Embrechts, P. (2008). nCopulas: A personal view, **forthcoming in Journal of Risk and Insurance**.
- [40] Erhardt, T. M., and Czado, C. (2015). "Standardized drought indices: A novel uni-and multivariate approach". arXiv preprint arXiv:1508.06476.
- [41] Fleming, M. (2003). J. "Measurement Treasury Market Liquidity," Federal Reserve Bank of New York, Economic Policy Review, .(3)9
- [42] Florackis, C., Gregoriou, A., and Kostakis, A. (2011). Trading frequency and asset pricing on the London Stock Exchange: Evidence from a new price impact ratio. **Journal of Banking and Finance**, 35(12), .3335-3350
- [43] Fong, K. Y., Holden, C. W., and Trzcinka, C. A. (2017). What are the best liquidity proxies for global research?. *Review of Finance*, 21(4), 1355-1401.
- [44] Fredricks, G. A., and Nelsen, R. B. (2007). On the relationship between Spearman's rho and Kendall's tau for pairs of continuous random variables. *Journal of statistical planning and inference*, 137(7), 2143-2150.
- [45] Garbade, K. (1982). Securities markets. McGraw-Hill.

- [46] Gebremichael, M., and Krajewski, W. F. (2007). "Application of copulas to modeling temporal sampling errors in satellite-derived rainfall estimates". **Journal of Hydrologic Engineering**, 12(4), .404-408
- [47] Genest, C., and MacKay, R. J. (1986). "Copules archimédiennes et familles de lois bidimensionnelles dont les marges sont données". **Canadian Journal of Statistics**, 14(2), .145-159
- [48] Goyenko, R. Y., Holden, C. W., and Trzcinka, C. A. (2009). "Do liquidity measures measure liquidity?". **Journal of financial Economics**, 92(2), .153-181
- [49] Grečuhina, K., Timofejeva, M., and Högholm, K. (2008). "**The impact of Liquidity providers on the Baltic Stock Exchange** ", Stockholm school of Economics in RIGA, Bachelor Thesis.
- [50] Grobmab, T. (2007). Copulae and Tail dependence, Diploma thesis, Center for Applied Statistics and Economics, Berlin.
- [51] Grossman, S. J., and Miller, M. H. (1988). "Liquidity and market structure". **the Journal of Finance**, 43(3), 617-633.
- [52] Gumbel, E. J. (1960). Bivariate exponential distributions. *Journal of the American Statistical Association*, 55(292), .698-707
- [53] Harris, L. (1990). Liquidity, trading rules and electronic trading systems (No. .(91-8
- [54] Hasbrouck, J. (2009). Trading costs and returns for US equities: Estimating effective costs from daily data. *The Journal of Finance*, 64(3), .1445-1477
- [55] Hasbrouck, J., and Schwartz, R. A. (1988). "Liquidity and execution costs in equity markets". **Journal of Portfolio Management**, 14(3), .10
- [56] Hibbert, J., Kirchner, A., Kretzschmar, G., Li, R., and McNeil, A. (2009). Liquidity Premium: Literature review of theoretical and empirical evidence. Barrie and Hibbert research report.
- [57] Holden, C. W. (1990). Intertemporal arbitrage trading: theory and empirical tests. Discussion Paper.
- [58] Hong, G., and Warga, A. (2000). "An empirical study of bond market transactions". **Financial Analysts Journal**, 56(2), .32-46

-
-
- [59] Hürlimann, W. (2004). Fitting bivariate cumulative returns with copulas. *Computational statistics and data analysis*, 45(2), 355-372.
 - [60] Hutchinson, T. P. (1990). Continuous bivariate distributions emphasising applications (No. 04; QA278, H8.).
 - [61] Jankowitsch, R., Nashikkar, A., and Subrahmanyam, M. G. (2011). "Price dispersion in OTC markets: A new measure of liquidity". **Journal of Banking and Finance**, 35(2), .343-357
 - [62] Joe, H. (1993). "Parametric families of multivariate distributions with given margins". **Journal of multivariate analysis**, 46(2), 262-282.
 - [63] Joe, H. (1997). *Multivariate models and multivariate dependence concepts*. CRC Press.
 - [64] Kao, S. C., and Govindaraju, R. S. (2007). "A bivariate frequency analysis of extreme rainfall with implications for design". **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 112(D13).
 - [65] Klein, I., Fischer, M. J., and Pleier, T. (2011). *Weighted power mean copulas: Theory and application* (No. 01/2011). IWQW Discussion Papers.
 - [66] Kotz, S., and Drouet, D. (2001). *Correlation and dependence*. World Scientific.
 - [67] Kurowicka, D., and Cooke, R. M. (2006). *Uncertainty analysis with high dimensional dependence modelling*. John Wiley and Sons
 - [68] Kyle, A. S. (1985). "Continuous auctions and insider trading". *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1315-1335.
 - [69] Laihomäki, M. (2010). "**Family firms, share liquidity, and the effect on firm value** ", Aalto University School of Economics, Master's thesis
 - [70] Lee, C. M. (1993). "Market integration and price execution for NYSE-listed securities". **The Journal of Finance**, 48(3), .1009-1038
 - [71] Lesmond, D. A., Ogden, J. P., and Trzcinka, C. A. (1999). A new estimate of transaction costs. *The review of financial studies*, 12(5), .1113-1141
 - [72] Li, X., and Fang, R. (2012). A new family of bivariate copulas generated by univariate distributions. **Journal of Data Science**, 10(1), .107-127

- [73] Liu, W. (2006). "A liquidity-augmented capital asset pricing model". **Journal of financial Economics**, 82(3), 631-671.
- [74] Marsh, T. A., and Rock, K. (1986). Exchange listing and liquidity: A comparison of the American Stock Exchange with the NASDAQ National Market System. American Stock Exchange.
- [75] Marshall, A. W., and Olkin, I. (1988). " Families of multivariate distributions". **Journal of the American statistical association**, 83(403), 834-841.
- [76] Marshall, B. R., Nguyen, N. H., and Visaltanachoti, N. (2018). "Do liquidity proxies measure liquidity accurately in ETFs?". **Journal of International Financial Markets, Institutions and Money**, 55, 94-111.
- [77] Martin, P. (1975). Analysis of the Impact of Competitive Rates on the Liquidity of NYSE Stocks. Economic Staff Paper, 75(3).
- [78] Nashikkar, A., Subrahmanyam, M. G., and Mahanti, S. (2011). "Liquidity and arbitrage in the market for credit risk". **Journal of Financial and Quantitative Analysis**, 46(3), 627-656.
- [79] Nelsen, R. B. (1991). Copulas and association. Dall'Aglio G, Kotz S, Salinetti G, eds. Advances in Probability Distributions with Given Marginals.
- [80] Nelsen, R. B. (1996). Nonparametric measures of multivariate association. Lecture Notes-Monograph Series, 223-232.
- [81] Nelsen, R. B. (2006). Archimedean Copulas. An Introduction to Copulas, .109-155
- [82] Nelsen, R. B. (2007). "**An introduction to copulas**". Springer Science and Business Media.
- [83] Okhrin, O., Okhrin, Y., and Schmid, W. (2013). "On the structure and estimation of hierarchical Archimedean copulas". **of Econometrics**, 173(2), .189-204
- [84] Pickands, J. (1981). Multivariate extreme value distribution. Proceedings 43th, Session of International Statistical Institution, 1981.
- [85] Quesada-Molina, J. J., and Rodríguez-Lallena, J. A. (1995). "Bivariate copulas with quadratic sections". **Journaltitle of Nonparametric Statistics**, 5(4), 323-.337

- [86] Roll, R. (1984). "A simple implicit measure of the effective bid-ask spread in an efficient market". **The Journal of finance**, 39(4), 1127-1139.
- [87] Salvadori, G., and De Michele, C. (2004). Analytical calculation of storm volume statistics involving Pareto-like intensity-duration marginals. *Geophysical Research Letters*, .(4)31
- [88] Salvadori, G., and De Michele, C. (2004). Frequency analysis via copulas: Theoretical aspects and applications to hydrological events. *Water resources research*, 40(12).
- [89] Salvadori, G., De Michele, C., Kottegoda, N. T., and Rosso, R. (2007). *Extremes in nature: an approach using copulas* (Vol. 56). Springer Science and Business Media.
- [90] Sarr, A., and Lybek, T. (2002). Measuring liquidity in financial markets.
- [91] Schwartz, R. A. (1988). " A proposal to stabilize stock prices". **Journal of Portfolio Management**, 15(1), .4
- [92] Schweizer, B., and Wolff, E. F. (1981). On nonparametric measures of dependence for random variables. *Annals of Statistics*, 9(4), .879-885
- [93] Shen, P., and Starr, R. M. (2002). Market-makers' supply and pricing of financial market liquidity. *Economics letters*, 76(1), .53-58
- [94] Sklar, M. (1959). Fonctions de repartition an dimensions et leurs marges. *Publ. inst. statist. univ. Paris*, 8, 229-231.
- [95] Teodorovic, N. (2008). "**Mathematical models of liquidity and price impact function**", University of Novi Sad London, Department of Mathematics and Informatics, Master Thesis.
- [96] Tong, Y. L. (2014). *Probability inequalities in multivariate distributions*. Academic Press.
- [97] Udomsirikul, P., Jumreornvong, S., and Jiraporn, P. (2011). "Liquidity and capital structure: The case of Thailand". **Journal of Multinational Financial Management** , 21(2), 106-117.

- [98] Zhang, L., and Singh, V. P. (2007). " Bivariate rainfall frequency distributions using Archimedean copulas". **Journal of Hydrology**, 332(1-2), .93-109

پیوست آ

کدهای برنامه نویسی

الف) فهرست نمادهای معاملاتی در بورس اوراق بهادار

جدول آ.۱: Names of 316 Trading Symbols

TRD-CD	TRD-ID	TRD-CD	TRD-ID	TRD-CD	TRD-ID
DOSE\	IRO\DOSE٠٠٠\	DKSR\	IRO\DKSR٠٠٠\	DFRB\	IRO\DFRB٠٠٠\
DRZK\	IRO\DRZK٠٠٠\	DRKH\	IRO\DRKH٠٠٠\	DPAK\	IRO\DPAK٠٠٠\
DSOB\	IRO\DSOB٠٠٠\	DSIN\	IRO\DSIN٠٠٠\	DSBH\	IRO\DSBH٠٠٠\
EXIR\	IRO\EXIR٠٠٠\	EPRS\	IRO\EPRS٠٠٠\	DTIP\	IRO\DTIP٠٠٠\
FKAS\	IRO\FKAS٠٠٠\	FIBR\	IRO\FIBR٠٠٠\	FAJR\	IRO\FAJR٠٠٠\
FOLD\	IRO\FOLD٠٠٠\	FNAR\	IRO\FNAR٠٠٠\	FKHZ\	IRO\FKHZ٠٠٠\
GBEH\	IRO\GBEH٠٠٠\	FRVR\	IRO\FRVR٠٠٠\	FRIS\	IRO\FRIS٠٠٠\
GGAZ\	IRO\GGAZ٠٠٠\	GDIR\	IRO\GDIR٠٠٠\	GCOZ\	IRO\GCOZ٠٠٠\
GHND\	IRO\GHND٠٠٠\	GHEG\	IRO\GHEG٠٠٠\	GHAT\	IRO\GHAT٠٠٠\
GNBO\	IRO\GNBO٠٠٠\	GMRO\	IRO\GMRO٠٠٠\	GLOR\	IRO\GLOR٠٠٠\
GSBE\	IRO\GSBE٠٠٠\	GOST\	IRO\GOST٠٠٠\	GOLG\	IRO\GOLG٠٠٠\
HFRS\	IRO\HFRS٠٠٠\	GTSH\	IRO\GTSH٠٠٠\	GSKE\	IRO\GSKE٠٠٠\
HSHM\	IRO\HSHM٠٠٠\	HMRZ\	IRO\HMRZ٠٠٠\	HJPT\	IRO\HJPT٠٠٠\
IDOC\	IRO\IDOC٠٠٠\	IAGM\	IRO\IAGM٠٠٠\	HTOK\	IRO\HTOK٠٠٠\
INFO\	IRO\INFO٠٠٠\	IKHR\	IRO\IKHR٠٠٠\	IKCO\	IRO\IKCO٠٠٠\
IRDR\	IRO\IRDR٠٠٠\	IPTR\	IRO\IPTR٠٠٠\	IPAR\	IRO\IPAR٠٠٠\
KALZ\	IRO\KALZ٠٠٠\	JOSH\	IRO\JOSH٠٠٠\	JAMD\	IRO\JAMD٠٠٠\
KFAN\	IRO\KFAN٠٠٠\	KCHI\	IRO\KCHI٠٠٠\	KBR5\	IRO\KBR5٠٠٠\
KHOC\	IRO\KHOC٠٠٠\	KHAZ\	IRO\KHAZ٠٠٠\	KGND\	IRO\KGND٠٠٠\

KLBR\	IRO\KLBR°°°\	KIMI\	IRO\KIMI°°°\	KHSH\	IRO\KHSH°°°\
KRIR\	IRO\KRIR°°°\	KPRS\	IRO\KPRS°°°\	KNRZ\	IRO\KNRZ°°°\
KSHJ\	IRO\KSHJ°°°\	KSAD\	IRO\KSAD°°°\	KRTI\	IRO\KRTI°°°\
KVRZ\	IRO\KVRZ°°°\	KSKA\	IRO\KSKA°°°\	KSIM\	IRO\KSIM°°°\
LEAB\	IRO\LEAB°°°\	LAPS\	IRO\LAPS°°°\	LAMI\	IRO\LAMI°°°\
LKGH\	IRO\LKGH°°°\	LIRZ\	IRO\LIRZ°°°\	LENT\	IRO\LENT°°°\
LPAK\	IRO\LPAK°°°\	LMIR\	IRO\LMIR°°°\	LMIR\	IRO\LMIR°°°\
LZIN\	IRO\LZIN°°°\	LZIN\	IRO\LZIN°°°\	LSMD\	IRO\LSMD°°°\
MARK\	IRO\MARK°°°\	MAPN\	IRO\MAPN°°°\	MAGS\	IRO\MAGS°°°\
MHKM\	IRO\MHKM°°°\	MESI\	IRO\MESI°°°\	MELT\	IRO\MELT°°°\
MNGZ\	IRO\MNGZ°°°\	MKBT\	IRO\MKBT°°°\	MINO\	IRO\MINO°°°\
MOBN\	IRO\MOBN°°°\	MNSR\	IRO\MNSR°°°\	MNMH\	IRO\MNMH°°°\
MRGN\	IRO\MRGN°°°\	MRAM\	IRO\MRAM°°°\	MOTJ\	IRO\MOTJ°°°\
NAFT\	IRO\NAFT°°°\	MSTI\	IRO\MSTI°°°\	MSMI\	IRO\MSMI°°°\
NBEH\	IRO\NBEH°°°\	NASI\	IRO\NASI°°°\	NALM\	IRO\NALM°°°\
NIRO\	IRO\NIRO°°°\	NIKI\	IRO\NIKI°°°\	NGFO\	IRO\NGFO°°°\
NOVN\	IRO\NOVN°°°\	NMOH\	IRO\NMOH°°°\	NKOL\	IRO\NKOL°°°\
NSPS\	IRO\NSPS°°°\	NSAZ\	IRO\NSAZ°°°\	NPRS\	IRO\NPRS°°°\
OFST\	IRO\OFST°°°\	OFRS\	IRO\OFRS°°°\	NSTH\	IRO\NSTH°°°\
PAKS\	IRO\PAKS°°°\	PABD\	IRO\PABD°°°\	OIMC\	IRO\OIMC°°°\
PASN\	IRO\PASN°°°\	PASH\	IRO\PASH°°°\	PARK\	IRO\PARK°°°\
PFAN\	IRO\PFAN°°°\	PETR\	IRO\PETR°°°\	PDRO\	IRO\PDRO°°°\
PKER\	IRO\PKER°°°\	PJMZ\	IRO\PJMZ°°°\	PFRB\	IRO\PFRB°°°\
PKOD\	IRO\PKOD°°°\	PKLJ\	IRO\PKLJ°°°\	PKHA\	IRO\PKHA°°°\
PMSZ\	IRO\PMSZ°°°\	PLKK\	IRO\PLKK°°°\	PLAK\	IRO\PLAK°°°\
PNTB\	IRO\PNTB°°°\	PNES\	IRO\PNES°°°\	PNBA\	IRO\PNBA°°°\
PSHZ\	IRO\PSHZ°°°\	PSER\	IRO\PSER°°°\	PRDZ\	IRO\PRDZ°°°\
PTEH\	IRO\PTEH°°°\	PTAP\	IRO\PTAP°°°\	PSIR\	IRO\PSIR°°°\
RIIR\	IRO\RIIR°°°\	RENA\	IRO\RENA°°°\	RADI\	IRO\RADI°°°\
ROOI\	IRO\ROOI°°°\	RKSH\	IRO\RKSH°°°\	RINM\	IRO\RINM°°°\
SAHD\	IRO\SAHD°°°\	RTIR\	IRO\RTIR°°°\	RSAP\	IRO\RSAP°°°\
SAMA\	IRO\SAMA°°°\	SAKH\	IRO\SAKH°°°\	SAJN\	IRO\SAJN°°°\
SBHN\	IRO\SBHN°°°\	SBEH\	IRO\SBEH°°°\	SBAH\	IRO\SBAH°°°\
SDST\	IRO\SDST°°°\	SDAB\	IRO\SDAB°°°\	SBOJ\	IRO\SBOJ°°°\
SFNO\	IRO\SFNO°°°\	SFKZ\	IRO\SFKZ°°°\	SEPP\	IRO\SEPP°°°\
SGOS\	IRO\SGOS°°°\	SGEN\	IRO\SGEN°°°\	SGAZ\	IRO\SGAZ°°°\
SHGN\	IRO\SHGN°°°\	SHFS\	IRO\SHFS°°°\	SHAD\	IRO\SHAD°°°\
SHND\	IRO\SHND°°°\	SHMD\	IRO\SHMD°°°\	SHKR\	IRO\SHKR°°°\
SHZG\	IRO\SHZG°°°\	SHSI\	IRO\SHSI°°°\	SHPZ\	IRO\SHPZ°°°\
SIPA\	IRO\SIPA°°°\	SINA\	IRO\SINA°°°\	SIMS\	IRO\SIMS°°°\
SKER\	IRO\SKER°°°\	SKAZ\	IRO\SKAZ°°°\	SISH\	IRO\SISH°°°\
SMAZ\	IRO\SMAZ°°°\	SLMN\	IRO\SLMN°°°\	SKOR\	IRO\SKOR°°°\
SPAH\	IRO\SPAH°°°\	SORB\	IRO\SORB°°°\	SNMA\	IRO\SNMA°°°\
SPPE\	IRO\SPPE°°°\	SPKH\	IRO\SPKH°°°\	SPDZ\	IRO\SPDZ°°°\
SSAP\	IRO\SSAP°°°\	SRMA\	IRO\SRMA°°°\	SPTA\	IRO\SPTA°°°\
SSIN\	IRO\SSIN°°°\	SSHR\	IRO\SSHR°°°\	SSEP\	IRO\SSEP°°°\
SYSM\	IRO\SYSM°°°\	SWIC\	IRO\SWIC°°°\	SURO\	IRO\SURO°°°\
TAZB\	IRO\TAZB°°°\	TAYD\	IRO\TAYD°°°\	TAIR\	IRO\TAIR°°°\
TKNO\	IRO\TKNO°°°\	TKIN\	IRO\TKIN°°°\	TGOS\	IRO\TGOS°°°\
TMKH\	IRO\TMKH°°°\	TMEL\	IRO\TMEL°°°\	TKSM\	IRO\TKSM°°°\
TSBE\	IRO\TSBE°°°\	TRIR\	IRO\TRIR°°°\	TOSA\	IRO\TOSA°°°\
VLMT\	IRO\VLMT°°°\	TSRZ\	IRO\TSRZ°°°\	TSHE\	IRO\TSHE°°°\
AMLH\	IRO\AMLH°°°\	ZMYD\	IRO\ZMYD°°°\	YASA\	IRO\YASA°°°\
DLGM\	IRO\DLGM°°°\	CHCH\	IRO\CHCH°°°\	BKHZ\	IRO\BKHZ°°°\
GMEL\	IRO\GMEL°°°\	FTIR\	IRO\FTIR°°°\	DZAH\	IRO\DZAH°°°\
KRAF\	IRO\KRAF°°°\	KAVR\	IRO\KAVR°°°\	GPSH\	IRO\GPSH°°°\
ROZD\	IRO\ROZD°°°\	MSKN\	IRO\MSKN°°°\	MRIN\	IRO\MRIN°°°\
SEFH\	IRO\SEFH°°°\	SAND\	IRO\SAND°°°\	SADB\	IRO\SADB°°°\
TMVD\	IRO\TMVD°°°\	SGRB\	IRO\SGRB°°°\	SEPA\	IRO\SEPA°°°\

FAIR\	IRO\FAIR°°°\	DJBR\	IRO\DJBR°°°\	BMEL\	IRO\BMEL°°°\
ATDM\	IRO\ATDM°°°\	SKBV\	IRO\SKBV°°°\	PIRN\	IRO\PIRN°°°\
SROD\	IRO\SROD°°°\	SEIL\	IRO\SEIL°°°\	GORJ\	IRO\GORJ°°°\
TRNS\	IRO\TRNS°°°\	SKHS\	IRO\SKHS°°°\	SSNR\	IRO\SSNR°°°\
SSOF\	IRO\SSOF°°°\	DAML\	IRO\DAML°°°\	DMOR\	IRO\DMOR°°°\
BENN\	IRO\BENN°°°\	NBR5\	IRO\NBR5°°°\	MADN\	IRO\MADN°°°\
SDOR\	IRO\SDOR°°°\	SFR5\	IRO\SFR5°°°\	BROJ\	IRO\BROJ°°°\
GESF\	IRO\GESF°°°\	TBAS\	IRO\TBAS°°°\	KDPS\	IRO\KDPS°°°\
STEH\	IRO\STEH°°°\	TAMI\	IRO\TAMI°°°\	TOKA\	IRO\TOKA°°°\
ALIR¥	IRO\SZPO°°°\	ALIRΔ	IRO\GSHI°°°\	ALIR¶	IRO\NOSH°°°\
ALIR¢	IRO\INDM°°°\	ALIRΔ	IRO\VSIN°°°\	ALIR¢	IRO\DMVN°°°\
ALIR\	IRO\PRKT°°°\	ALIR¥	IRO\BRKT°°°\	ALIR¢	IRO\PPAM°°°\
ALIR\	IRO\ALIR°°°\	ALIR°	\PRKT°°°\		

ب) لینک دانلود اطلاعات نمادهای معاملاتی

https://tse.ir/archive/Trade/Cash/SymbolTrade/SymbolTrade_IRO\ABAD°°°\.xls
https://tse.ir/archive/Trade/Cash/SymbolTrade/SymbolTrade_IRO\ABDI°°°\.xls
https://tse.ir/archive/Trade/Cash/SymbolTrade/SymbolTrade_IRO\ALBZ°°°\.xls
https://tse.ir/archive/Trade/Cash/SymbolTrade/SymbolTrade_IRO\ALMR°°°\.xls
https://tse.ir/archive/Trade/Cash/SymbolTrade/SymbolTrade_IRO\ALVN°°°\.xls
 ...
https://tse.ir/archive/Trade/Cash/SymbolTrade/SymbolTrade_IRO\PPAM°°°\.xls
https://tse.ir/archive/Trade/Cash/SymbolTrade/SymbolTrade_IRO\BRKT°°°\.xls
https://tse.ir/archive/Trade/Cash/SymbolTrade/SymbolTrade_IRO\PRKT°°°\.xls
https://tse.ir/archive/Trade/Cash/SymbolTrade/SymbolTrade_IRO\PRKT°°°\.xls
https://tse.ir/archive/Trade/Cash/SymbolTrade/SymbolTrade_IRO\ALIR°°°\.xls

¹Visual Basic Excell

```

For f = 1 To 3 '1 '3
myURL = Workbooks("Book1").Worksheets
("sheet1").Cells(f+1, 1).Value

ThisWorkbook.Followhyperlink myURL
Next
End sub

'-----

sub Read_External_Workbooks_new()
'macro for import data from web link
For f = 2 To 317 '317 ' the nummber of symbols is 316
Dim Source_Workbook As Workbook
mysheetName = Worksheets("URL").Cells(f, 8).value
Dim Source_Workbook As Workbook
Dim Source_Path As String
Dim Target_Workbook As Workbook

Source_Path = Worksheets("URL").Cells(f, 12).value '
Workbook.Open (Source_Path)
Set Source_Workbook = Workbooks.Open(Source_Path)
Set Target_Workbook = ThisWorkbook

'''' Read Data from Source File
'Target_Workbook.Worksheets.Add(After:=Worksheets
(Worksheets.Count)).Name = 5 + f

Source_Data = Source_Workbook.Sheets(1)
.Range("A:P") ' "A,B,D,I,P"
Target_Workbook.Sheet(mysheetName)
.Columns("A:P") = Source_Data
'Source_Workbook.Save False
Source_Workbook.Close True
Next
Target_Workbook.Save

```

```

End sub

'''=====

sub ORDER_RATIO()
For f = 1 To 316
    firmname = Worksheets("URL").Cells(f + 1, 8).Value
    For r = 2 To 4800
        Worksheets(firmname).Cells(r, 17).Value =
        Worksheets(firmname).Cells(r, 16).Value /
        Worksheets(firmname).Cells(r, 9).Value
    Next
Next
End sub

'''=====

sub macro_xx()
For f = 2 TO 317
    mysheetName = Worksheets("URL").Cells(f, 8).value
    Sheets(mysheetName).Activate
    LROW_N_Sheet = Cells(Rows.Count, 1).End(xlup).Row
    For i = 2 To LROW_N_sheet
        Cells(i, 17).Value = Cells(i, 16).Value /
        Cells(i, 9).Value
        Cells(i, 18).Value = Cells(i, 4).Value /
        Cells(i, 17).Value
        Cells(i, 19).Value = ((Cells(i, 7).Value /
        Cells(i, 8).Value)-1) / Cells(i, 18).Value
    Next
    'Activeworkbook.save
Next
'Activeworkbook.save
End sub

'''=====

sub Outstanding()
For f = 1 To 1 '316
    firmXName = Worksheets("URL").Cells(f + 1, 8).Value

```

```
Sheets(firmXName).Activate
LROW_N_sheet = Cells(Rows.Count, 1).End(xlup).Row
For i = 2 To LRow_N_sheet
For r = 2 To 4019
mydata = worksheets("Outstanding").cells(r, 2).Value
data_firmx = worksheets(firmXName).Cells(i, 1).Value
If mydata = data_firmx Then
Worksheets("Outstanding").Cells(r, 2 + f).Value =
Worksheets(firmXName).Cells(i, 17).Value
End If
Next
next
ActiveWorkbook.Save
Next
End sub
```

ت) کد برنامه R برای محاسبات شاخص های نقدشوندگی

```
#### R_codes for Calulate liquidity indices
setwd("E:/Jafarzadeh")# change to mydirectory #
note / innstead of \ in windows
#Memory hints#
#install.packages("xlcFreeMemory", lib="E:/R/Packages" )##methods
#library("xlcFreeMemory", lib.loc="E:/R/Package")#
#xlcFreeMemory()
#gc()
#J("java.Runtime")$getRuntime()$gc()
#options(java.paprameters="Xmx5g")

#1-install necessary Package for Liquidiy:
"data.table","rJava","xlsxjars","xlsx","bit","bit64"
#install.packages("data.table", lib="E:/R/Packages")#methods
#library(data.table, lib.loc="E:/R/Packages" )
library(data.table)
```

```
"rJava","xlsxjars","xlsx","bit","bit64"
#####
Sys.setlocale(locale = " persian")
gc()
#####
#2-Import Data:
myData=fread("E/Jafarzadeh/myDataNEW.txt", sep="auto",
header="auto");
str(myData)
FirmName=fread(E/Jafarzadeh/Name316Firms.txt" ,
sep="auto", header="auto"):str(FirmName)
#### Repeat for N.firms ####
N.firms=314 #Number of all firms
f=1
for (f in 10:314){
print(f)
tryCatch({
nameQFirmX=data.frame(FirmName)[f,1]
setwd("E:/Jafarzadeh/DataQoutes314Firms")

#q.FirmX=read.csv(nameQFirmX,
header = TRUE, sep = "," , dec= ".")

q.FirmX=fread(nameQFirmX, sep="auto", nrows=-1L,header= "auto",
na.strings="NA", stringAsFactors=FALSE, verbose=getOption
("datatable.verbose"), autostart=1L,
skip=0L,select=c(3,4,5,6,7,8,9,10,23,24,25,26), drop=NULL, colClasses=NULL,
integer64="integer64", encoding="UTF_8", strip.white=TRUE,
data.table=FALSE)

colnames(q.FirmX)[11]="LIM_EVENT_DT";
#str(q.FirmX); head(q.FirmX); tail(q.FirmX)

nameTFirmX=data.frame(FirmName)[f,2]
```

```
setwd("E:/Jafarzadeh/DataTrades314Firms")

t.FirmX=fread(nameTFirmX, sep="auto", nrows=-1L,
header="auto", na.strings="NA", stringsAsFactors=FALSE,
verbose=getOption("datatable.verbose"),
autostart=1L, skip=0L, select=c(2,3,4,5,6,8,9,10,11), drop=NULL,
colClasses=NULL,drop=NULL,colClasses=NULL,
integer64="integer64", encoding="UTF-8", strip.white=TRUE,data.table=FALSE)
#str(t.FirmX); head(t.FirmX); tail(t.FirmX)
})
}

#####
SymboollX=nameFirmX;
###For all days
N.days=4018 #Number of trade days
Overview=data.frame(matrix(NA,N.days,25))
colnames(overview)=c("myData", "QS", "myABidAsk", "a0", "a1", "IRC", "IQR",
"myGamma", "myLambda", "TV", "RG", "Quote_size_b", "Quote_size_a", "K", "Roll",
"Zero", "FHT", "LR", "CPQS", "Spread", "Martin", "LRt", "KylesLambda", "Amihud",
"Amivest");
head(overview);

for (d in 1:N.days) {
tryCatch({
gameDay=data.frame(myDate)[1+d,1]
overview[d,1]=gameDay
data.q=q.FirmX[q.FirmX$LIM_EVENT_DT==gameDay,]
data.t=t.FirmX[t.FirmX$TRD_EVENT_DT==gameDay,]#gameDay="2016-02-01"#

#####Compute liquidity#####
overview[d,2]=2*sum(data.q$LIM_PS1-data.q$LIM_PB1)/
sum(data.q$LIM_PS1+data.q$LIM_PB1)# QS #Quoted spread
Nt=nrow(data.t)
```

```

deltaP=diff(data.t$TRD_PR);
PBuySell=data.frame(data.t$TRD_PR[2:Nt],deltaP);
Pbuy=PBuySell[PBuySell$deltaP>0,][[1]];
Psell=PBuySell[PBuySell$deltaP<0,][[1]];

overview[d,3]=(mean(Pbuy)-mean(Psell))*
(mean(Pbuy)+mean(Psell))/2 #myABidAsk
#Schultz's roundtrip transaction costs#
DBuy=c(2:Nt);Schulz=lm(deltaP~DBuy,data.frame(deltaP,DBuy));

overview[d,4]=coefficients(Schulz)[[1]]#a0

overview[d,5]=coefficients(Schulz)[[2]]#a1

overview[d,6]=(max(data.t$TRD_PR)-min(data.t$TRD_PR))/
max(data.t$TRD_PR)#IRC

overview[d,7]=100*(quantile(data.t$TRD_PR)[[4]]-quantile(data.t$TRD_PR)[[2]])/
mean(data.t$TRD_PR)#IQR

overview[d,8]=-cov(diff(data.t$TRD_PR),diff(data.t$TRD_PR))#myGamma?

overview[d,9]=coefficients(lm(myReturn~signTurnover,
data.frame(myReturn,signTurnover)))[[2]] #myLambda

overview[d,10]=sum(data.t$TRD_TUROVR/data.t$TRD_PR)#Trade volume#TV

overview[d,11]=(max(data.t$TRD_PR)-min(data.t$TRD_PR))*100/
(mean(data.t$TRD_PR)*sum(data.t$TRD_TUROVR/data.t$TRD_PR)) #RG

overview[d,12]=sum(data.q$LIM_QB1)#Bid size#Quote size#

overview[d,13]=sum(data.q$LIM_QS1)#Ask size#Quote size#

```

```

overview[d,14]=nrow(data.t) #K #number of trading within a gameDay #equal to mylength

overview[d,15]=2*sqrt(cov(diff(data.t$TRD_PR),diff(data.t$TRD_PR)))#Roll#?

overview[d,16]=1-sum(myReturn!=0)/Nt #Zero

overview[d,17]=2*sd(data.t$TRD_PR)*qnorm((1+Zero)/2) #FHT

overview[d,18]=sum(abs(myReturn)*100)/nrow(data.t) #LR

Nq=nrow(data.q)
overview[d,19]=2*(data.q$LIM_PS1[Nq]-data.q$LIM_PB1[Nq])/
Nq*(data.q$LIM_PS1[Nq]+data.q$LIM_PB1[Nq]) #CPQS

overview[d,20]=2*sqrt(abs(data.t$TRD_PR[Nt]-max(data.t$TRD_PR))
*(data.t$TRD_PR[Nt]-min(data.t$TRD_PR)))#Spread

TV=sum(data.t$TRD_TUROVR/data.t$TRD_PR) #Trading volume
overview[d,21]=sum(diff(data.t$TRD_PR)^2)/TV #Martin

overview[d,22]=(max(data.t$TRD_PR)-min(data.t$TRD_PR))
*Nt*mean(data.t$TRD_PR)/min(data.t$TRD_PR)*TV #LRt

deltaV=diff(data.t$TRD_TUROVR/data.t$TRD_PR)
overview[d,23]=coefficients(lm(deltaP~deltaV,
data.frame(deltaP,deltaV)))[[2]]#KylesLambda

overview[d,24]=mean(abs(myReturn)/TV)#Amihud

overview[d,25]=mean(TV/abs(myReturn))#Amivest

#TN=TV/Amout #Turnover

#RtoTR#

#LM#

#MS #Market share

```

```
#Days #Days traded
#BondZero
#FirmZero
#####
rm(list=ls()[!ls() %in% c("Symbol1X", "gameDay","myDate",
"FirmName","t.FirmX","q.FirmX","N.days","d","overview")]);
gc()
}, error=function(e){})
}
#head(overview);
setwd("E:/Jafarzadeh/Results314")
write.csv(overview, Symbol1X);rm("Symbol1X")
rm(list=ls()[!ls() %in% c("myDate","FirmName")]);
#write.xlsx(overview,"E:/Jafarzadeh/Results314/LiquidityIndex314Firms.xlsx",
sheetName=Symbol1X, col.names=TRUE, row.names=FALSE, append=TRUE, showNA=FALSE)
#####
rm(data.q);rm(data.t);gc()
}, error=function(e){})
};
#####
repeat {
#
f=f+1
if (f == 1+fend){
break
}
#
};
```

ث) کد برنامه R برای محاسبات مدل سازی شاخص مرکب نقدشوندگی بعد سختی معامله (Tightness) برای یک نماد معاملاتی با استفاده از تابع مفصل R-Vin

```
##R-codes for VineCopula##
for firmX Tightness #####
#install.packages("data.table", lib="E:/R/Packages")## methods
```

```
library(data.table, lib.loc="E:/R/Packages")

"rJava","xlsxjars","xlsx","bit","bit64"
#####
"stats","ggplot2","zoo","lubridate","VineCopula","shiny","kdeCopula","TSP",
"CDVine","numDeriv","testthat","graphics","grDevices","network",
#####
if(!require(VineCopula)){
install.packages("VineCopula", lib="E:/R/Packages")
library(VineCopula, lib.loc="E:/R/Packages")
}

gc() #free RAM
Sys.setlocale(locale= "Persian")
firmx=fread("C:/MELT1", sep="auto", nrows=-1L, header="auto", skip=0L,
select=NULL, drop=NULL, colClasses=NULL, integer64="integer64",
encoding="unknown", strip.white=TRUE, data.table=FALSE);
str(firmx); head(firmx); tail(firmx); # 4018 obs. of 26 variables#
##"QS","myABidAsk","a0","a1","IRC","IQR",
"myGamma","Roll","Zero","FHT","CPQS","Spread"
matrix.x=as.matrix(na.omit(firmx[,c(3:9,16:18,20:21)]))
;str(matrix.x);head(matrix.x);
#####
BetaMatrix(as.matrix(firmx[,c(3:9,16:18,20:21)]))
;#Computes the empirical Blomqvist's beta
TauMatrix(as.matrix(firmx[,c(3:9,16:18,20:21)]), weights=NA);#Computes
the empirical Kendall's tau
#
Uniform.x=pobs(as.matrix(firmx[,c(3:9,16:18,20:21)]))
,na.last="keep",ties.method=eval(formals(rank)$ties.method),
lower.tail=TRUE) #nxd-matrix
str(Uniform.x)
#####
RVine0.x=RVineStructureSelect(data=Uniform.x,familyset=NA,
type=0,selectioncrit="AIC",indeptest=FALSE,level=0.05,
```

```
trunclevel=NA,progress=FALSE,weights=NA,trecrit="tau",
rotations=TRUE,se=FALSE,presel=TRUE,method="mle",cores=1)

print(RVine0.x, detail=TRUE)#
plot(RVine0.x,tree=1,type=0,edge.labels="family-tau",
legend.pos="bottomleft",interactive=FALSE)# tree="ALL"
contour(RVine0.x, tree=1, xylin=NULL, cex.num=1, data=NULL)
###
RVM.x=RVineMatrix(RVine0.x$Matrix,RVine0.x$family,
RVine0.x$par, RVine0.x$par2)

uniform.Tightness.x=RVinePDF(Uniform.x, RVM.x, verbose = TRUE)
###
write.csv(cbind(uniform.Tightness.x ,
firmx[,c(2,3:9,16:18,20:21)]),"G:/Sharoodut Students/Jafarzadeh
09389376235/myBasketTightness/Tightness_Symbol1_MELT1.csv");
#pit.x=RVinePIT(Uniform.x, RVM.x)
#par(mfrow=c(1,2))
#plot(Uniform.x[,1], Uniform.x[,2]) # correlated data
#plot(pit.x[,1], pit.x[,2]) # i.i.d. data
#####
#install.packages("corrgram", lib="E:/R/Packages") # Correlograms
library(corrgram, lib.loc="E:/R/Packages")
##
if(!require(corrgram)){
install.packages("corrgram", lib="E:/R/Packages")
library(corrgram, lib.loc="E:/R/Packages")
}
#
require(corrgram)
corrgram(matrix.x[,],order=TRUE,
lower.panel=panel.shade,upper.panel=panel.pie, main="Liquidiy_Tightness
Proxies")
require(corrgram)
```

```
corrgram(matrix.x[,],order=TRUE,
lower.panel=panel.shade,upper.panel=panel.pie, main="Liquidiy_Tightness
Proxies")
```

ج) کد برنامه R محاسبات ساخت شاخص نقدشوندگی مرکب برای سبد سهام سرمایه گذاری
وملت با استفاده از تابع مفصل R-Vine

```
##R-codes for VineCopula###
#####for Basket Tightness #####
#install.packages("data.table", lib="E:/R/Packages")
library(data.table, lib.loc="E:/R/Packages") #
"rJava","xlsxjars","xlsx","bit","bit64","stats","ggplot2","zoo",
"lubridate","VineCopula","shiny","kdecompula","TSP","CDVine","numDeriv",
"testthat","graphics","grDevices",
#####
if(!require(VineCopula)){
install.packages("VineCopula", lib="E:/R/Packages")
library(VineCopula, lib.loc="E:/R/Packages")
}
##### step
1: Build One Tightness index for each trading symbols #####
gc() #free RAM
Sys.setlocale(locale= "Persian")
#### Repeat for x.Basket:
#myBasket:GDIR1, GNB01, MRAM1, OIMC1, SAKH1,SPAH1
myDate=fread("G:/Sharoodut Students/Jafarzadeh
09389376235/myDateNew.txt", sep="auto", header="auto");str(myDate)

x.myBasket=fread("G:/Sharoodut Students/Jafarzadeh
09389376235/myBasket.txt", sep="auto", header="auto");str(myBasket)

N.Basket=6

overview=data.frame(matrix(NA,4018,N.Basket+1));
colnames(overview)[1]="EnDate";overview[,1]
```

```
=as.matrix(myDate)

b=1
for (b in 1:N.Basket){
firmx.name=data.frame(x.myBasket)[b,1]
print(b)
print(firmx.name)
colnames(overview)[1+b]=firmx.name
tryCatch({
setwd("G:/Sharoodut Students/Jafarzadeh 09389376235/Results314")

firmx=fread(firmx.name, sep="auto", nrows=-1L, header="auto", skip=0L,
select=NULL, drop=NULL, colClasses=NULL, integer64="integer64",
encoding="unknown", strip.white=TRUE, data.table=FALSE);
str(firmx); head(firmx); tail(firmx); # 4018 obs. of 26 variables#
#select Tightness ###"QS","myABidAsk","a0","a1","IRC","IQR",
"myGamma","Roll","Zero","FHT","CPQS","Spread"
matrix.x=as.matrix(na.omit(firmx[,c(3:9,16:18,20:21)]))
;str(matrix.x);head(matrix.x);
#
#BetaMatrix(as.matrix(firmx[,c(3:9,16:18,20:21)]));#Computes the
empirical Blomqvist's beta
#TauMatrix(as.matrix(firmx[,c(3:9,16:18,20:21)]), weights=NA);#Computes #
Uniform.x=pobs(as.matrix(firmx[,c(3:9,16:18,20:21)]))
,na.last="keep",ties.method=eval(formals(rank)$ties.method)
,lower.tail=TRUE) #nxd-matrix
#str(Uniform.x)
#
RVine0.x=RVineStructureSelect(data=Uniform.x,
familyset=NA,type=0,selectioncrit="AIC",indeptest=FALSE,
level=0.05,trunclevel=NA,progress=FALSE,weights=NA,
treecrit="tau",rotations=TRUE,se=FALSE,presel=TRUE,
method="mle",cores=1)
#print(RVine0.x, detail=TRUE)#
```

\o\

```
#plot(RVine0.x,tree=1,type=0,edge.labels="family-tau",legend.pos="bottoml
eft",interactive=FALSE)# tree="ALL"
#contour(RVine0.x, tree=1, xylim=NULL, cex.num=1, data=NULL)
####
RVM.x=RVineMatrix(RVine0.x$Matrix,RVine0.x$family,
RVine0.x$par, RVine0.x$par2)
uniform.liquidity.x=RVinePDF(Uniform.x, RVM.x, verbose = TRUE)
}, error=function(e){})
setwd("G:/Sharoodut Students/Jafarzadeh 09389376235/myBasketTightness")
write.csv(uniform.liquidity.x,firmx.name);
overview[,1+b]=as.matrix(uniform.liquidity.x)
};
```

```
setwd("G:/Sharoodut Students/Jafarzadeh 09389376235/myBasketTightness")
write.csv(overview,"G:/Sharoodut Students/Jafarzadeh
09389376235/myBasketTightness/Basket.csv");
head(overview);str(overview)
##### Step 2: Liquidity_Tightness index for Basket
consists of 6 trading Symbols #####
```

```
Basket=overview
str(Basket); head(Basket); tail(Basket); # 4018 obs. of
liquidity_Tightness index 6 firms#
```

```
Uniform.Basket=pobs(as.matrix(Basket[,2:7]),
na.last="keep",ties.method=eval(formals(rank)
$ties.method),lower.tail=TRUE) #nxd-matrix
str(Uniform.Basket)
#
RVine0.Basket=RVineStructureSelect(data=Uniform.Basket,
familyset=NA,type=0,selectioncrit="AIC",
indeptest=FALSE,level=0.05,trunclevel=NA,
progress=FALSE,weights=NA,trecrit="tau",
rotations=TRUE,se=FALSE,presel=TRUE,method="mle",cores=1)
```

```
print(RVine0.Basket, detail=TRUE)#

plot(RVine0.Basket,tree=1,type=0,edge.labels="family-tau",
legend.pos="bottomleft",interactive=FALSE)# tree="ALL"
contour(RVine0.Basket, tree=1, xylim=NULL, cex.num=1, data=NULL)
###
RVM.Basket=RVineMatrix(RVine0.Basket$Matrix,
RVine0.Basket$family,RVine0.Basket$par,
RVine0.Basket$par2)
uniform.liquidity.Basket=RVinePDF(Uniform.Basket, RVM.Basket,
verbose = TRUE);
####
write.csv(cbind(uniform.liquidity.Basket , Basket),"G:/Sharoodut
Students/Jafarzadeh 09389376235/myBasketTightness/
Tightness_Basket.csv");
```

پیوست ب

خروجی‌های نرم افزار R

الف) جداول ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی مرکب سختی معامله (Tightness) بین دارایی‌های سبد سرمایه‌گذاری

```
> print(RVine0.x, detail=TRUE)#
```

R-vine copula with the following pair-copulas:

جدول ب.۱: درختواره ۱، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای یک نماد معاملاتی

Tree1	
۳, ۴	Frank($\text{par} = ۴, \text{tau} = ۰/۳۸$)
۵, ۱۲	SurvivalBB1($\text{par} = ۵, \text{par}۲ = ۱/۳, \text{tau} = ۰/۷۸$)
۵, ۶	SurvivalBB1($\text{par} = ۵, \text{par}۲ = ۱/۹۴, \text{tau} = ۰/۸۵$)
۷, ۳	SurvivalBB۷($\text{par} = ۱/۰۹, \text{par}۲ = ۵/۵۹, \text{tau} = ۰/۷۳$)
۱, ۱۱	Joe($\text{par} = ۱۴/۶۵, \text{tau} = ۰/۸۷$)
۷, ۱	Frank($\text{par} = ۵/۵۳, \text{tau} = ۰/۴۹$)
۷, ۸	Frank($\text{par} = ۳/۸۵, \text{tau} = ۰/۳۷$)
۷, ۹	Joe($\text{par} = ۱۴/۱۶, \text{tau} = ۰/۸۷$)
۲, ۷	Frank($\text{par} = ۵/۵۳, \text{tau} = ۰/۴۹$)
۱۰, ۲	Joe($\text{par} = ۱۰/۹۶, \text{tau} = ۰/۸۴$)
۱۰, ۵	SurvivalClayton($\text{par} = ۱۳/۲۲, \text{tau} = ۰/۸۷$)

جدول ب.۲: درختواره ۲، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای یک نماد معاملاتی

Tree2	
۷, ۴; ۳	BB۷($\text{par} = ۱/۴۵, \text{par}۲ = ۰/۴۴, \text{tau} = ۰/۳۲$)
۶, ۱۲; ۵	SurvivalBB۷($\text{par} = ۱/۱۱, \text{par}۲ = ۰/۲۳, \text{tau} = ۰/۱۵$)
۱۰, ۶; ۵	Tawntype1($\text{par} = ۱/۶۸, \text{par}۲ = ۰/۴۲, \text{tau} = ۰/۲۲$)
۸, ۳; ۷	SurvivalClayton($\text{par} = ۰/۸۷, \text{tau} = ۰/۳$)
۷, ۱۱; ۱	Tawntype1($\text{par} = ۱/۶, \text{par}۲ = ۰/۳۴, \text{tau} = ۰/۱۸$)
۸, ۱; ۷	BB۷($\text{par} = ۳/۹۶, \text{par}۲ = ۰/۰۷, \text{tau} = ۰/۶۲$)
۲, ۸; ۷	BB۶($\text{par} = ۱/۸۸, \text{par}۲ = ۲/۰۷, \text{tau} = ۰/۶۷$)
۲, ۹; ۷	BB۸($\text{par} = ۲/۳۹, \text{par}۲ = ۰/۷۸, \text{tau} = ۰/۲۵$)
۱۰, ۷; ۲	Tawntype۲($\text{par} = ۱/۹۵, \text{par}۲ = ۰/۲۳, \text{tau} = ۰/۱۶$)
۵, ۲; ۱۰	RotatedBB1۹۰degrees($\text{par} = ۰, \text{par}۲ = -۱/۱۵, \text{tau} = -۰/۱۳$)

جدول ب.۳: درختواره ۳، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای یک نماد معاملاتی

Tree3	
۸, ۴; ۷, ۳	SurvivalClayton($\text{par} = ۴/۸۶, \text{tau} = ۰/۷۱$)
۱۰, ۱۲; ۶, ۵	RotatedBBV۹۰degrees($\text{par} = -۱/۱۵, \text{par}۲ = ۰, \text{tau} = -۰/۰۸$)
۲, ۶; ۱۰, ۵	Clayton($\text{par} = ۰/۱۷, \text{tau} = ۰/۰۸$)
۲, ۳; ۸, ۷	RotatedTawntype۱۱۸۰degrees($\text{par} = ۱/۴۷, \text{par}۲ = ۰/۳۴, \text{tau} = ۰/۱۶$)
۸, ۱۱; ۷, ۱	Joe($\text{par} = ۱/۳۸, \text{tau} = ۰/۱۸$)
۲, ۱; ۸, ۷	RotatedTawntype۲۲۷۰degrees($\text{par} = -۱/۳۵, \text{par}۲ = ۰/۱۸, \text{tau} = -۰/۰۸$)
۹, ۸; ۲, ۷	RotatedTawntype۱۹۰degrees($\text{par} = -۱/۳۱, \text{par}۲ = ۰/۱۶, \text{tau} = -۰/۰۷$)
۱۰, ۹; ۲, ۷	RotatedTawntype۱۱۸۰degrees($\text{par} = ۱/۷۶, \text{par}۲ = ۰/۳۵, \text{tau} = ۰/۲۱$)
۵, ۷; ۱۰, ۲	RotatedBBV۲۷۰degrees($\text{par} = -۱/۰۲, \text{par}۲ = -۰/۴۲, \text{tau} = -۰/۱۸$)

جدول ب.۴: درختواره ۴، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای یک نماد معاملاتی

Tree4	
۲, ۴; ۸, ۷, ۳	t($\text{par} = -۰/۰۴, \text{par}۲ = ۶/۹۴, \text{tau} = -۰/۰۲$)
۲, ۱۲; ۱۰, ۶, ۵	Clayton($\text{par} = ۰/۱۲, \text{tau} = ۰/۰۶$)
۷, ۶; ۲, ۱۰, ۵	Tawntype۱($\text{par} = ۱/۴۳, \text{par}۲ = ۰/۰۵, \text{tau} = ۰/۰۴$)
۹, ۳; ۲, ۸, ۷	t($\text{par} = -۰/۰۲, \text{par}۲ = ۵/۶۸, \text{tau} = -۰/۰۱$)
۲, ۱۱; ۸, ۷, ۱	Tawntype۲($\text{par} = ۱/۵۱, \text{par}۲ = ۰/۰۷, \text{tau} = ۰/۰۵$)
۹, ۱; ۲, ۸, ۷	BB۸($\text{par} = ۱/۵۵, \text{par}۲ = ۰/۹۴, \text{tau} = ۰/۱۸$)
۱۰, ۸; ۹, ۲, ۷	Tawntype۲($\text{par} = ۱/۹۲, \text{par}۲ = ۰/۱, \text{tau} = ۰/۰۸$)
۵, ۹; ۱۰, ۲, ۷	RotatedBB۱۹۰degrees($\text{par} = -۰/۱۳, \text{par}۲ = -۱/۰۸, \text{tau} = -۰/۱۳$)

جدول ب.۵: درختواره ۵، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای یک نماد معاملاتی

Tree5	
۹, ۴; ۲, ۸, ۷, ۳	t($\text{par} = -۰/۰۶, \text{par}۲ = ۷/۴۱, \text{tau} = -۰/۰۴$)
۷, ۱۲; ۲, ۱۰, ۶, ۵	BBV($\text{par} = ۲/۰۹, \text{par}۲ = ۰/۰۹, \text{tau} = ۰/۳۹$)
۹, ۶; ۷, ۲, ۱۰, ۵	RotatedGumbel۲۷۰degrees($\text{par} = -۱/۲۴, \text{tau} = -۰/۲$)
۱, ۳; ۹, ۲, ۸, ۷	RotatedTawntype۲۲۷۰degrees($\text{par} = -۲/۹۴, \text{par}۲ = ۰/۰۲, \text{tau} = -۰/۰۲$)
۹, ۱۱; ۲, ۸, ۷, ۱	RotatedTawntype۱۹۰degrees($\text{par} = -۱/۱۸, \text{par}۲ = ۰/۱۹, \text{tau} = -۰/۰۵$)
۱۰, ۱; ۹, ۲, ۸, ۷	RotatedClayton۹۰degrees($\text{par} = -۰/۱۷, \text{tau} = -۰/۰۸$)
۵, ۸; ۱۰, ۹, ۲, ۷	t($\text{par} = ۰/۵۳, \text{par}۲ = ۳۰, \text{tau} = ۰/۳۵$)

جدول ب.۶: درختواره ۶، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای یک نماد معاملاتی

Tree6	
۱,۴;۹,۲,۸,۷,۳	SurvivalClayton($\text{par} = 0/19, \text{tau} = 0/09$)
۹,۱۲;۷,۲,۱۰,۶,۵	RotatedJoe 27° degrees($\text{par} = -1/06, \text{tau} = -0/04$)
۸,۶;۹,۷,۲,۱۰,۵	Tawntype1($\text{par} = 1/96, \text{par}2 = 0/1, \text{tau} = 0/08$)
۱۰,۳;۱,۹,۲,۸,۷	SurvivalClayton($\text{par} = 0/05, \text{tau} = 0/03$)
۱۰,۱۱;۹,۲,۸,۷,۱	RotatedTawntype 227° degrees($\text{par} = -1/59, \text{par}2 = 0/05, \text{tau} = -0/04$)
۵,۱;۱۰,۹,۲,۸,۷	BBV($\text{par} = 1/24, \text{par}2 = 0/01, \text{tau} = 0/12$)

جدول ب.۷: درختواره ۷، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای یک نماد معاملاتی

Tree7	
۱۰,۴;۱,۹,۲,۸,۷,۳	RotatedClayton 27° degrees($\text{par} = -0/08, \text{tau} = -0/04$)
۸,۱۲;۹,۷,۲,۱۰,۶,۵	t($\text{par} = 0/44, \text{par}2 = 3^\circ, \text{tau} = 0/29$)
۱,۶;۸,۹,۷,۲,۱۰,۵	SurvivalBBV($\text{par} = 1/03, \text{par}2 = 0/23, \text{tau} = 0/11$)
۱۱,۳;۱۰,۱,۹,۲,۸,۷	Independence
۵,۱۱;۱۰,۹,۲,۸,۷,۱	Gaussian($\text{par} = -0/2, \text{tau} = -0/13$)

جدول ب.۸: درختواره ۸، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای یک نماد معاملاتی

Tree8	
۱۱,۴;۱۰,۱,۹,۲,۸,۷,۳	SurvivalClayton($\text{par} = 0/1, \text{tau} = 0/05$)
۱,۱۲;۸,۹,۷,۲,۱۰,۶,۵	Gaussian($\text{par} = 0/15, \text{tau} = 0/1$)
۱۱,۶;۱,۸,۹,۷,۲,۱۰,۵	Frank($\text{par} = -0/3, \text{tau} = -0/03$)
۵,۳;۱۱,۱۰,۱,۹,۲,۸,۷	Independence

جدول ب.۹: درختواره ۹، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای یک نماد معاملاتی

Tree9	
۵,۴;۱۱,۱۰,۱,۹,۲,۸,۷,۳	Independence
۱۱,۱۲;۱,۸,۹,۷,۲,۱۰,۶,۵	Joe($\text{par} = 1/35, \text{tau} = 0/17$)
۳,۶;۱۱,۱,۸,۹,۷,۲,۱۰,۵	Clayton($\text{par} = 0/11, \text{tau} = 0/05$)

جدول ب.۱۰: درختواره ۱۰، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای یک نماد معاملاتی

Tree10	
۶, ۴; ۵, ۱۱, ۱۰, ۱, ۹, ۲, ۸, ۷, ۳	SurvivalClayton($\text{par} = ۰/۰۶, \text{tau} = ۰/۰۳$)
۳, ۱۲; ۱۱, ۱, ۸, ۹, ۷, ۲, ۱۰, ۶, ۵	RotatedTawn $\text{type} ۲۱۸^{\circ}$ degrees($\text{par} = ۱/۲۷, \text{par} ۲ = ۰/۰۳, \text{tau} = ۰/۰۲$)

جدول ب.۱۱: درختواره ۱۱، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای یک نماد معاملاتی

Tree11	
۱۲, ۴; ۶, ۵, ۱۱, ۱۰, ۱, ۹, ۲, ۸, ۷, ۳	RotatedBB ۸۹° degrees($\text{par} = -۱/۱۴, \text{par} ۲ = -۰/۸۷, \text{tau} = -۰/۰۴$)

1 <-> QS, 2 <-> myABidAsk, 3 <-> a0, 4 <-> a1, 5 <-> IRC,
 6 <-> IQR, 7 <-> myGamma,
 8 <-> Roll, 9 <-> Zero, 10 <-> FHT, 11 <-> CPQS, 12 <-> Spread>

ب) خروجی کد برنامه R برای محاسبات ساخت شاخص نقدشوندگی مرکب برای یک سبد سهام با استفاده از تابع مفصل R-Vine برای شش شرکت منتخب

```
> print(RVine0.Basket, detail=TRUE)#
```

R-vine copula with the following pair-copulas:

جدول ب.۱۲: درختواره ۱، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای سبد سهام

Tree1	
۱, ۵	Frank($\text{par} = ۹/۰۷, \text{tau} = ۰/۰۶۴$)
۴, ۲	Joe($\text{par} = ۱۱/۱۱, \text{tau} = ۰/۰۸۴$)
۴, ۱	Joe($\text{par} = ۱۰/۷۲, \text{tau} = ۰/۰۸۳$)
۳, ۴	Joe($\text{par} = ۱۲/۰۸, \text{tau} = ۰/۰۸۵$)
۶, ۳	Joe($\text{par} = ۱۰/۴۸, \text{tau} = ۰/۰۸۳$)

جدول ب.۱۳: درختواره ۲، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای سبد سهام

Tree2	
۴, ۵; ۱	BB1(par = ۰, par2 = ۱/۴۶, tau = ۰/۳۱)
۱, ۲; ۴	Joe(par = ۱/۵, tau = ۰/۲۲)
۳, ۱; ۴	Joe(par = ۱/۴۶, tau = ۰/۲۱)
۶, ۴; ۳	Joe(par = ۱/۶۳, tau = ۰/۲۶)

جدول ب.۱۴: درختواره ۳، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای سبد سهام

Tree3	
۲, ۵; ۴, ۱	Tawntype2(par = ۲/۴۴, par2 = ۰/۰۷, tau = ۰/۰۷)
۳, ۲; ۱, ۴	Joe(par = ۱/۳, tau = ۰/۱۵)
۶, ۱; ۳, ۴	Joe(par = ۱/۲۸, tau = ۰/۱۴)

جدول ب.۱۵: درختواره ۴، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای سبد سهام

Tree4	
۳, ۵; ۲, ۴, ۱	SurvivalGumbel(par = ۱/۰۴, tau = ۰/۰۴)
۶, ۲; ۳, ۱, ۴	Gumbel(par = ۱/۱۸, tau = ۰/۱۵)

جدول ب.۱۶: درختواره ۵، ساختار وابستگی بین شاخص‌های نقدشوندگی سختی برای سبد سهام

Tree5	
۶, ۵; ۳, ۲, ۴, ۱	Tawntype1(par = ۳/۱۸, par2 = ۰/۲۱, tau = ۰/۱۹)

1 <-> SPAH1, 2 <-> GNBO1, 3 <-> GDIR1,
4 <-> OIMC1, 5 <-> MRAM1,6 <-> SAKH1>>

Abstract

Liquidity is a multidimensional concept that affects the investment decisions of market participants in different ways. The most important dimensions of liquidity are: its Depth, Tightness, Breadth, Immediacy, and Resilience. There are numerous indices to measure the level of liquidity, which each of them might emphasize on one or more dimensions of liquidity. Variety of liquidity indicators and dimensions of liquidity makes it difficult for investors to decide on a portfolio based on liquidity risk. Therefore, in this research, in order to solve this problem, we construct a composite liquidity index based on R-Vine copulas, this composite liquidity indicator covers several liquidity indices typically. Building the composite liquidity index allows us to calculate easily the liquidity level of a trading symbol and a stock portfolio basket. To validate the research, the instant data of quotes and trading symbols from 2016/1/1 to 2019/1/1 have been used, and the Tightness index has been calculated for an assumed trading symbol and an assumed portfolio basket.

keywords:Liquidity dimensions, Liquidity indices, Tightness, Composite Liquidity Indices, Liquidity of stock portfolio, R-Vine Copulas.



Faculty of Mathematical Sciences

MSc Thesis in Mathematical Statistics

Constructing Composite Liquidity Indices Using Copula Theory

By: Najme Jafarzade

Supervisors:

Dr. Ahmad Nezakati Rrezzade
Dr. Mohammad Mirbagherijam

Advisor:

Dr Hoosein Baghishani

February 2021