



مدل سازی سری های زمانی مالی با R

تألیف:

مهرداد حیرانی

نسیم روشن ضمیر



انتشارات بورس وابسته به شرکت اطلاع‌رسانی و خدمات بورس
دفتر: تهران، خیابان حافظ، نرسیده به جمهوری، پست‌اثری، شماره ۱۰
تلفن: ۶۴۰۸۴۹۲۶
نمایشگاه و فروشگاه: تهران، میدان ونک، خیابان ملاصدرا، شماره ۲۵
تلفن: ۶۴۰۸۴۹۲۶
تارنمای انتشارات: www.boursepub.ir
رایانامه: info@boursepub.ir

مدل‌سازی سری‌های زمانی مالی با R

- مؤلفان: مهرداد حیرانی، نسیم روشن‌ضمیر
- ناشر: انتشارات بورس وابسته به شرکت اطلاع‌رسانی و خدمات بورس
- چاپ اول: ۱۳۹۷
- قیمت: ۲۵۰/۰۰۰ ریال
- شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
- طراح جلد: سمانه حق‌شناس
- چاپ و صحافی: مؤسسه چاپ و نشر عروج
- شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۸۷۲-۶۸-۰

همه حقوق محفوظ و متعلق به ناشر است.

سرشناسه: حیرانی، مهرداد، ۱۳۶۶ -

عنوان و نام پدیدآور: مدل‌سازی سری‌های زمانی مالی با R / تألیف مهرداد حیرانی، نسیم روشن‌ضمیر.

مشخصات نشر: تهران: شرکت اطلاع‌رسانی و خدمات بورس، انتشارات بورس، ۱۳۹۷.

مشخصات ظاهری: ۲۶۰ ص.

شابک: 978-600-7872-68-0

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

موضوع: ۱. امور مالی — الگوهای اقتصادسنجی / Finance -- Econometric models

۲. امور مالی — الگوهای ریاضی / Finance -- Mathematical models

۳. اقتصادسنجی — برنامه‌های کامپیوتری / Econometrics -- Computer programs

۴. تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی — الگوهای ریاضی / Time-series analysis -- Mathematical models

شناسه افزوده: روشن‌ضمیر، نسیم، ۱۳۶۷ -

شناسه افزوده: شرکت اطلاع‌رسانی و خدمات بورس، انتشارات بورس

شناسه افزوده: Company Information Exchange Services. Publication Exchange

ردمبندی کنگره: ۱۳۹۷ ج۹۳/۳/۴ H.A.۳۰

ردمبندی دیویی: ۳۳۰/۰۱۵۱۹۵۵

شماره کتابشناسی ملی: ۵۱۴۷۴۳

فهرست مطالب

1	پیشگفتار مدیرعامل فرابورس
3	پیشگفتار نویسندگان
7	فصل اول: مقدمه‌ای بر نرم‌افزار R
9	1-1. مقدمه
10	2-1. محیط نرم‌افزاری Rstudio
11	3-1. نصب بسته‌های نرم‌افزاری
12	4-1. استفاده از راهنما در R
13	5-1. کار با داده‌ها در R
18	6-1. نوشتن توابع در R
19	7-1. استفاده از دستور شرط در R
20	8-1. حلقه‌ها در R
21	9-1. ورود داده‌های خارجی به R

بخش اول: سری‌های زمانی مالی تک‌متغیره

25	فصل دوم: مدل‌سازی سری‌های زمانی تک‌متغیره
27	1-2. مقدمه
27	2-2. ویژگی‌های سری‌های زمانی
28	3-2. مفهوم مانایی
28	4-2. توابع هم‌بستگی و خودهم‌بستگی
31	5-2. فرایند خودرگرسیون
33	1-5-2. شناسایی مرتبه یک فرایند خودرگرسیونی

37	6-2. فرایند میانگین متحرک
38	1-6-2. شناسایی مرتبه یک فرایند میانگین متحرک
38	7-2. فرایند خودرگرسیون میانگین متحرک
39	1-7-2. شناسایی مرتبه یک فرایند خودرگرسیون میانگین متحرک (ARMA)
40	2-7-2. برآورد یک فرایند خودرگرسیون میانگین متحرک (ARMA)
41	3-7-2. کفایت مدل برآورد شده ARMA
43	8-2. سری های زمانی نامانا
43	1-8-2. آزمون ریشه واحد
44	1-1-8-2. آزمون دیکی - فولر تقویت شده
51	2-1-8-2. آزمون ریشه واحد کویکوفسکی، فلیپس، اسمیت و شین
52	3-1-8-2. آزمون ریشه واحد الیوت، راتنبرگ و استاک
53	2-8-2. آزمون ریشه واحد در شرایط شکست ساختاری
54	1-2-8-2. آزمون ریشه واحد پرون
54	2-2-8-2. آزمون ریشه واحد زیوت و اندروز
55	9-2. حافظه بلندمدت در سری های زمانی
59	10-2. پیش بینی در سری های زمانی
60	1-10-2. مقایسه مدل های پیش بینی کننده در سری های زمانی
60	1-1-10-2. مقایسه درون نمونه ای
60	2-1-10-2. مقایسه خارج از نمونه ای
63	11-2. پیوست فصل دوم

فصل سوم: مدل سازی سری های زمانی غیر خطی

67	1-3. مقدمه
68	2-3. مدل های خودرگرسیون آستانه (TAR، MTAR و SETAR)
69	1-2-3. آزمون غیرخطی بودن مدل
77	3-3. مدل خودرگرسیون انتقال ملایم
78	1-3-3. آزمون غیرخطی بودن
79	2-3-3. انتخاب تابع انتقال و مقدار مناسب اولیه تخمین
80	4-3. مدل های خودرگرسیون غیرخطی در R
86	5-3. مدل تغییر رژیم مارکوف

فصل چهارم: مدل سازی تلاطم در سری های زمانی

95	1-4. مقدمه
----	------------

95	2-4. مفهوم تلاطم در سری‌های زمانی
96	3-4. مدل واریانس ناهمسانی شرطی
99	4-4. مدل‌های خانواده GARCH
100	1-4-4. مدل IGARCH
101	2-4-4. مدل EGARCH
101	3-4-4. مدل GJR-GARCH
102	4-4-4. مدل apARCH
102	5-4. روش برآورد مدل‌های تلاطم
105	6-4. پیش‌بینی تلاطم
105	1-6-4. پیش‌بینی تلاطم به روش پنجره غلتان
106	2-6-4. ارزیابی مدل‌های مختلف در پیش‌بینی تلاطم
106	1-2-6-4. آزمون‌های مقایسه زیان
107	2-2-6-4. آزمون مقایسه برتری دیولد و ماریانو
108	7-4. مدل‌سازی تلاطم در R
108	1-7-4. مدل‌سازی با بسته fGarch
112	2-7-4. پیش‌بینی با بسته fGarch
116	3-7-4. مدل‌سازی با بسته rugarch
119	1-3-7-4. آزمون عدم تقارن تلاطم
120	2-3-7-4. منحنی اثرات اخبار
125	4-7-4. پیش‌بینی با بسته rugarch

11 فصل پنجم: ارزش در معرض ریسک

133	1-5. مقدمه
133	2-5. مفهوم ارزش در معرض ریسک
136	1-2-5. روش‌های پارامتریک محاسبه VaR
136	2-2-5. روش‌های ناپارامتریک محاسبه VaR
137	3-2-5. روش‌های نیمه پارامتریک محاسبه VaR
138	3-5. ارزش در معرض ریسک شرطی (ریزش مورد انتظار)
138	4-5. پس‌آزمایی ارزش در معرض ریسک
139	1-4-5. آزمون کوپیک
141	2-4-5. آزمون کریستوفرسن
143	3-4-5. آزمون انگل و مگنالی
143	4-4-5. آزمون مدت زمان تا تخطی بعدی

143	5-4-5. پس آزمایی بر مبنای تابع زیان.....
144	5-5. مدل سازی ارزش در معرض ریسک در R.....
144	5-5-1. برآورد ارزش در معرض ریسک در R.....
148	5-5-2. پس آزمایی ارزش در معرض ریسک در R.....
155	5-6. آزمون تجربی جهت مقایسه مدل های مختلف.....
159	5-7. پیوست فصل پنجم (کدهای کاربردی در R).....

بخش دوم: سری های زمانی مالی چند متغیره

161	فصل ششم: مدل سازی سری های زمانی چند متغیره خطی.....
163	6-1. مقدمه.....
163	6-2. مدل خودرگرسیون برداری پویای خطی.....
166	6-2-1. شرط مانایی خودرگرسیون برداری پویای خطی.....
166	6-2-2. مدل میانگین متحرک برداری.....
168	6-2-3. تابع واکنش آنی.....
169	6-2-4. تجزیه واریانس.....
171	6-2-5. انتخاب طول وقفه در مدل VAR.....
172	6-3. مدل تصحیح خطای برداری پویای خطی.....
174	6-3-1. آزمون هم انباشتگی.....
175	6-4. مدل سازی سری های زمانی چند متغیره در R.....
175	6-4-1. بررسی مانایی متغیرها.....
178	6-4-2. تعیین وقفه بهینه مدل.....
180	6-4-3. برآورد مدل VAR در R.....
189	6-4-4. بررسی هم انباشتگی در R.....
193	6-4-5. برآورد مدل تصحیح خطا در R.....
194	6-4-6. برآورد مدل تصحیح خطای ساختاری در R.....

199	فصل هفتم: مدل سازی سری های زمانی چند متغیره غیر خطی.....
201	7-1. مقدمه.....
201	7-2. خودرگرسیون برداری آستانه پویا.....
202	7-2-1. تابع واکنش آنی آستانه.....
203	7-3. مفهوم هم انباشتگی غیر خطی.....
204	7-3-1. آزمون هم انباشتگی غیر خطی.....
205	7-3-2. تبیین مقدار آستانه.....

206	4-7. تصحیح خطای برداری آستانه پویا.....
207	5-7. مدل سازی سری های زمانی چند متغیره غیرخطی در R.....
207	1-5-7. آزمون غیرخطی بودن مدل چند متغیره در R.....
208	2-5-7. آزمون هم انباشتگی غیرخطی در R.....
211	3-5-7. برآورد مدل TVAR در R.....
213	4-5-7. برآورد مدل TVECM در R.....
216	5-5-7. برآورد تابع واکنش آنی غیرخطی در R.....

فصل هشتم: مدل سازی سرایت تلاطم در سری های زمانی 225

227	1-8. مقدمه.....
227	2-8. مفهوم سرایت تلاطم.....
229	3-8. مدل سازی سرایت تلاطم.....
229	1-3-8. تلاطم شرطی $m\text{-GARCH}(1,1)$
230	2-3-8. مدل های هم بستگی شرطی: مدل های CCC و DCC.....
231	4-8. مدل سازی سرایت تلاطم در R.....
243	5-8. کدهای کاربردی محاسبه مدل های تلاطم چند متغیره در R.....

منابع 255

257	الف) منابع فارسی.....
257	ب) منابع لاتین.....

فهرست نمودارها

10	نمودار شماره (1-1). شمایی کلی از محیط R
11	نمودار شماره (2-1). شمایی کلی از محیط RSTUDIO
17	نمودار شماره (3-1). نمودار توزیع نرمال
17	نمودار شماره (4-1). نمودار توزیع تجمعی نرمال
18	نمودار شماره (5-1). نمودار توزیع نرمال با متن
22	نمودار شماره (6-1). روند تغییرات قیمت و بازدهی شاخص شرکت اپل
30	نمودار شماره (1-2). نمودار پراکنش بازدهی سهام گروه اپل و S&P500
35	نمودار شماره (2-2). نمودار شبیه‌سازی فرایند AR
36	نمودار شماره (3-2). معیار اطلاعاتی مرتبه‌های مختلف AR
36	نمودار شماره (4-2). نمودارهای خودهم‌بستگی نگار و معیار اطلاعاتی تولید ناخالص داخلی
50	نمودار شماره (5-2). نمودارهای کفایت مدل مدل‌سازی ARIMA
59	نمودار شماره (6-2). پیش‌بینی داده‌های مالی به روش ARFIMA
74	نمودار شماره (1-3). مقدار آستانه تخمین زده شده و مقدار معیار اطلاعاتی
76	نمودار شماره (2-3). مقدار آستانه تخمین زده شده و نحوه انتخاب آن
76	نمودار شماره (3-3). نمودار تغییر رژیم مدل TAR
78	نمودار شماره (4-3). تابع انتقال لجستیک با رژیم و سرعت‌های متفاوت
81	نمودار شماره (5-3). رابطه غیرخطی در وقفه‌های مختلف شاخص فرابورس ایران
84	نمودار شماره (6-3). نمودار تغییر رژیم و مقدار آستانه شاخص فرابورس ایران
85	نمودار شماره (7-3). پیش‌بینی درون نمونه شاخص فرابورس با روش‌های غیرخطی
89	نمودار شماره (8-3). احتمال قرارگیری در رژیم‌های بالا و پایین شاخص فرابورس
90	نمودار شماره (9-3). احتمال قرارگیری در رژیم‌های بالا و پایین شاخص فرابورس (تسطیح شده)
91	نمودار شماره (10-3). پسماندهای مدل در رژیم‌های بالا و پایین شاخص فرابورس

- نمودار شماره (4-1). مدل سازی تلاطم بازدهی شاخص فرابورس با بسته FGARCH (بخش اول).....111
- نمودار شماره (4-2). مدل سازی تلاطم بازدهی شاخص فرابورس با بسته FGARCH (بخش دوم).....111
- نمودار شماره (4-3). پیش بینی ده دوره ای خارج از نمونه تلاطم بازدهی شاخص فرابورس113
- نمودار شماره (4-4). پیش بینی پنجره غلتان تلاطم بازدهی شاخص فرابورس115
- نمودار شماره (4-5). مدل سازی تلاطم بازدهی شاخص فرابورس با بسته RUGARCH (بخش اول).....123
- نمودار شماره (4-6). مدل سازی تلاطم بازدهی شاخص فرابورس با بسته RUGARCH (بخش دوم).....124
- نمودار شماره (4-7). مدل سازی تلاطم بازدهی شاخص فرابورس به روش بوت استرپ (بخش اول).....127
- نمودار شماره (4-8). مدل سازی تلاطم بازدهی شاخص فرابورس به روش بوت استرپ (بخش اول).....127
- نمودار شماره (4-9). پیش بینی تلاطم بازدهی شاخص فرابورس به روش پنجره غلتان (بخش اول).....129
- نمودار شماره (4-10). پیش بینی تلاطم بازدهی شاخص فرابورس به روش پنجره غلتان (بخش دوم).....129
- نمودار شماره (5-1). ارزش در معرض ریسک یک توزیع نرمال134
- نمودار شماره (5-2). ارزش در معرض ریسک بازدهی فرابورس با مدل های نرمال، تاریخی و GARCH148
- نمودار شماره (5-3): ارزش در معرض ریسک بازدهی فرابورس با مدل EGARCH155
- نمودار شماره (5-4). ارزش در معرض ریسک بازدهی فرابورس با مدل GARCH نرمال و تی-استیودنت157
- نمودار شماره (5-5). ارزش در معرض ریسک بازدهی فرابورس با مدل EGARCH نرمال و تی-استیودنت157
- نمودار شماره (5-6). ارزش در معرض ریسک بازدهی فرابورس با مدل GJRGARCH نرمال و تی-استیودنت158
- نمودار شماره (5-7). ارزش در معرض ریسک بازدهی فرابورس با مدل APGARCH نرمال و تی-استیودنت158
- نمودار شماره (6-1). مقادیر واقعی، برآورد شده و توابع ACF و PACF پسماندهای تعادل اول182
- نمودار شماره (6-2). مقادیر واقعی، برآورد شده و توابع ACF و PACF پسماندهای تعادل دوم183
- نمودار شماره (6-3). مقادیر واقعی، برآورد شده و توابع ACF و PACF پسماندهای تعادل سوم183
- نمودار شماره (6-4). آزمون ثبات ساختاری مدل185
- نمودار شماره (6-5). نمودار تجزیه واریانس مدل VAR برآورد شده187
- نمودار شماره (6-6). تابع واکنش آنی به شوک بازدهی فرابورس ایران188
- نمودار شماره (6-7). تابع واکنش آنی به شوک بازدهی بازار طلا188
- نمودار شماره (6-8). تابع واکنش آنی به شوک بازدهی بازار ارز189
- نمودار شماره (6-9). تابع واکنش آنی به شوک شاخص فرابورس ایران (مدل SVECM)197
- نمودار شماره (6-10). تابع واکنش آنی به شوک قیمت سکه طلا (مدل SVECM)197
- نمودار شماره (6-11). تابع واکنش آنی به شوک نرخ ارز (مدل SVECM)198
- نمودار شماره (6-12). نمودار تجزیه واریانس (مدل SVECM)198
- نمودار شماره (7-1). مقادیر آماره و توزیع بوت استرپ برای آزمون هم انباشتگی غیرخطی فرابورس و بازار ارز210
- نمودار شماره (7-2). مقادیر آماره و توزیع بوت استرپ برای آزمون هم انباشتگی غیرخطی فرابورس و بازار طلا210
- نمودار شماره (7-3). مقدار آستانه، مقدار TRIM و نقاط آزمون شده برای مدل TVAR212
- نمودار شماره (7-4). تابع واکنش آنی غیرخطی به شوک بازار طلا221

- نمودار شماره (5-7). تابع واکنش آنی غیرخطی به شوک بازار ارز..... 222
- نمودار شماره (6-7). تابع واکنش آنی غیرخطی به شوک بازار فرابورس ایران..... 222
- نمودار شماره (1-8). نمودار واریانس شرطی سری‌های مدل شده..... 237
- نمودار شماره (2-8). نمودار کواریانس شرطی مدل DCC..... 238
- نمودار شماره (3-8). نمودار همبستگی شرطی مدل DCC..... 238
- نمودار شماره (4-8). نمودار ارزش در معرض ریسک سبد سهام با وزن برابر..... 238
- نمودار شماره (5-8). نمودار غلتان پیش‌بینی شده DCC..... 240
- نمودار شماره (6-8). نمودار غلتان پیش‌بینی شده کواریانس مدل DCC..... 241
- نمودار شماره (7-8). نمودار غلتان پیش‌بینی شده همبستگی مدل DCC..... 241
- نمودار شماره (8-8). نمودار غلتان پیش‌بینی شده ارزش در معرض خطر مدل DCC..... 241

فهرست جداول

جدول شماره (1-2). مراحل آزمون ریشه واحد.....	46
جدول شماره (1-4). مقادیر زیان مدل‌های پیش‌بینی تلاطم بازدهی شاخص فرابورس ایران.....	115
جدول شماره (2-4). مقایسه برتری مدل‌های پیش‌بینی تلاطم بازدهی شاخص فرابورس ایران.....	116
جدول شماره (2-4). آزمون‌های عدم تقارن در تلاطم.....	120
جدول شماره (1-5). بررسی پس‌آزمایی 8 مدل برآوردکننده ارزش در معرض ریسک به روش غلتان.....	156

فهرست کدهای نرم‌افزاری

12	کد شماره (1-1). کدهای نصب و بازخوانی بسته‌های R.....
12	کد شماره (2-1). کدهای استفاده از راهنما در R.....
13	کد شماره (3-1). نام‌گذاری و شروع کار در R.....
14	کد شماره (4-1). نام‌گذاری و تجزیه اجزا در R.....
14	کد شماره (5-1). عملیات ریاضی در R.....
15	کد شماره (6-1). عملیات ریاضی و آماری در R.....
15	کد شماره (7-1). توزیع‌های آماری در R.....
16	کد شماره (8-1). نمودار توزیع احتمال اعداد تصادفی در R.....
17	کد شماره (9-1). توزیع احتمال تجمعی اعداد تصادفی در R.....
18	کد شماره (10-1). توزیع احتمال اعداد تصادفی با متنی از فرمول ریاضی در R.....
19	کد شماره (11-1). توزیع احتمال اعداد تصادفی با متنی از فرمول ریاضی در R.....
20	کد شماره (12-1). اجرای کدهای IF در R.....
20	کد شماره (13-1). اجرای حلقه در R.....
20	کد شماره (14-1). اجرای حلقه به همراه شرط در R.....
22	کد شماره (15-1). بازخوانی داده‌ها در R.....
29	کد شماره (1-2). دانلود داده‌های سهام گروه اپل و S&P500 و بررسی هم‌بستگی در R.....
34	کد شماره (2-2). شبیه‌سازی یک فرایند AR با $\Phi=0/7$ در R.....
35	کد شماره (3-2). تعیین مرتبه AR با رهیافت معیار اطلاعاتی در R.....
36	کد شماره (4-2). مدل‌سازی AR تولید ناخالص داخلی ایران (1338-1393) در R.....
40	کد شماره (5-2). تعیین مرتبه ARMA با رهیافت تسی و تیائو در R.....
42	کد شماره (6-2). مدل‌سازی ARMA تولید ناخالص داخلی ایران (1338-1393) در R.....
47	کد شماره (7-2). آزمون ریشه واحد برای سری نقدینگی در ایران در R.....

50	کد شماره (2-8). برآورد مدل ARIMA سری زمانی نقدینگی در ایران در R
51	کد شماره (2-9). آزمون ریشه واحد KPSS سری زمانی نقدینگی در ایران در R
53	کد شماره (2-10). آزمون ریشه واحد ERS سری زمانی نقدینگی در ایران در R
55	کد شماره (2-11). آزمون ریشه واحد ZA سری زمانی نقدینگی در ایران در R
58	کد شماره (2-12). مدل‌سازی ARFIMA برای داده‌های ماهانه سکه طلا (1378-1394) در R
62	کد شماره (2-13). مقایسه مدل‌سازی ARIMA برای داده‌های ماهانه سکه طلا در R
63	کد شماره (پ2-1). کدهای تعیین مرتبه فرایند ARMA بر اساس معیارهای اطلاعاتی در R
64	کد شماره (پ2-2). کدهای تشکیل تابع پس‌آزمایی در R
71	کد شماره (3-1). آزمون غیرخطی بودن بازدهی شاخص فرابورس ایران در R
74	کد شماره (3-2). آزمون انتخاب مدل بهینه TAR بازدهی شاخص فرابورس ایران در R
75	کد شماره (3-3). برآورد مدل بهینه TAR بازدهی شاخص فرابورس ایران در R
80	کد شماره (3-4). آزمون انتخاب مدل بهینه LSTAR بازدهی شاخص فرابورس ایران در R
81	کد شماره (3-5). مدل‌سازی غیرخطی شاخص فرابورس ایران در R (بخش اول)
82	کد شماره (3-6). مدل‌سازی غیرخطی شاخص فرابورس ایران در R (بخش دوم)
83	کد شماره (3-7). مدل‌سازی غیرخطی شاخص فرابورس ایران در R (بخش سوم)
85	کد شماره (3-8). مدل‌سازی غیرخطی شاخص فرابورس ایران در R (بخش چهارم)
88	کد شماره (3-9). مدل‌سازی غیرخطی شاخص فرابورس ایران در R (بخش پنجم)
109	کد شماره (4-1). مدل‌سازی تلاطم بازدهی شاخص فرابورس ایران در R
113	کد شماره (4-2). پیش‌بینی ده دوره‌ای خارج از نمونه تلاطم بازدهی شاخص فرابورس ایران در R
114	کد شماره (4-3). پیش‌بینی به روش غلتان تلاطم بازدهی شاخص فرابورس ایران در R
117	کد شماره (4-4). مدل‌سازی تلاطم بازدهی شاخص فرابورس ایران با بسته RUGARCH
121	کد شماره (4-5). مدل‌سازی تلاطم بازدهی شاخص فرابورس به روش EGARCH با بسته RUGARCH
126	کد شماره (4-6). پیش‌بینی بوت‌استرپ تلاطم بازدهی شاخص فرابورس ایران با بسته RUGARCH
128	کد شماره (4-7). پیش‌بینی غلتان تلاطم بازدهی شاخص فرابورس ایران با بسته RUGARCH
144	کد شماره (5-1). برآورد ارزش در معرض ریسک بازدهی شاخص فرابورس ایران
146	کد شماره (5-2). برآورد ارزش در معرض ریسک بازدهی شاخص فرابورس ایران به صورت غلتان
149	کد شماره (5-3). پس‌آزمایی ارزش در معرض ریسک بازدهی شاخص فرابورس به روش غلتان
151	کد شماره (5-4). پس‌آزمایی ارزش در معرض ریسک بازدهی شاخص فرابورس ایران
151	کد شماره (5-5). پس‌آزمایی ارزش در معرض ریسک بازدهی شاخص فرابورس (زمان تا خطا)
153	کد شماره (5-6). پس‌آزمایی ارزش در معرض ریسک بازدهی شاخص فرابورس (تابع زیان)
154	کد شماره (5-7). پس‌آزمایی ارزش در معرض ریسک بازدهی شاخص فرابورس با تابع UGARCHROLL
159	کد شماره (پ5-1). پس‌آزمایی ارزش در معرض ریسک به روش تاریخی و پنجره غلتان
176	کد شماره (6-1). آزمون مانایی لگاریتم شاخص فرابورس ایران

- کد شماره (2-6). بررسی وقفه بهینه مدل مورد بررسی..... 179
- کد شماره (3-6). برآورد مدل VAR(2) خلاصه شده..... 180
- کد شماره (4-6). آزمون برازش مناسب مدل..... 184
- کد شماره (5-6). تعیین نمودارهای واکنش آنی و تجزیه واریانس..... 186
- کد شماره (6-6). آزمون مانایی لگاریتم شاخص فرابورس ایران..... 189
- کد شماره (7-6). آزمون هم‌انباشتگی یوهانسن..... 193
- کد شماره (8-6). برآورد VECM به روش OLS..... 194
- کد شماره (9-6). برآورد SVECM..... 195
- کد شماره (1-7). آزمون غیرخطی بودن رابطه بازار فرابورس با بازار طلا و ارز..... 208
- کد شماره (2-7). آزمون هم‌انباشتگی غیرخطی بازار فرابورس با بازار طلا و ارز..... 209
- کد شماره (3-7). برآورد مدل TVAR برای بازار فرابورس با بازار طلا و ارز..... 211
- کد شماره (4-7). برآورد مدل TVECM برای بازار فرابورس و بازار ارز..... 214
- کد شماره (5-7). برآورد مدل TVECM برای بازار فرابورس و بازار طلا..... 215
- کد شماره (6-7). کد اجرایی تابع واکنش آنی برای مدل TVAR..... 216
- کد شماره (1-8). برآورد مدل قطری ECC برای بررسی سرایت بازار فرابورس و جهانی طلا..... 231
- کد شماره (2-8). برآورد مدل قطری DCC برای بررسی سرایت بازار فرابورس و جهانی طلا (بخش اول)..... 234
- کد شماره (3-8). برآورد مدل قطری DCC برای بررسی سرایت بازار فرابورس و جهانی طلا (بخش اول)..... 236
- کد شماره (4-8). برآورد مدل غلتان DCC برای بررسی سرایت بازار فرابورس و جهانی طلا..... 239
- کد شماره (5-8). برآورد مدل BEKK برای بررسی سرایت بازار فرابورس و جهانی طلا..... 242
- کد شماره (6-8). کد مرتبط به تابع BEKK برگرفته از بسته نرم‌افزاری MGARCH..... 244

پیشگفتار مدیرعامل فرابورس

در سال‌های اخیر با توجه به رشد چشمگیر بازارهای مالی و مطالعات صورت گرفته در ارزیابی سری‌های زمانی مالی و همچنین توسعه رویکردهای اقتصادسنجی در این زمینه، تحلیل و مدل‌سازی این داده‌ها از اهمیت روزافزونی برخوردار است. وابستگی بیشتر بازارهای مالی به بازارهای هم‌راستا در جهان و سنجش مدیریت ریسک و ارزیابی تأثیرپذیری و تأثیرگذاری آن‌ها موجب شده است که محققان به تبیین عملی مدل‌سازی این سری‌ها بپردازند. در این راستا، نرم‌افزارهای توانمندی در حیطه آمار و ریاضی به عرصه مدل‌سازی سری‌های زمانی مالی وارد شده‌اند. یکی از نرم‌افزارهای پرکاربرد به‌واسطه وجود منبع باز آن، نرم‌افزار R است. زبان برنامه‌نویسی R، یک محیط برنامه‌نویسی با توان بالای آماری و گرافیکی است که در گروه آمار دانشگاه اوکلند نیوزلند در سال 1995 نوشته شده است.

توسعه چشمگیر این بسته آماری سبب شده است که به یکی از کاربردی‌ترین نرم‌افزارهای حال حاضر در دنیای مدل‌سازی اقتصادسنجی و به‌ویژه اقتصادسنجی مالی تبدیل شود. این توسعه در دو دهه ابتدایی قرن 21 به‌گونه‌ای بوده است که تعداد زیادی از محققان با تدوین بسته‌های برنامه‌نویسی در این حیطه، سهم قابل توجهی در توسعه این نرم‌افزار داشته باشند. استفاده ساده از بسته‌های این زبان برنامه‌نویسی، مشاهده، ویرایش و بازنویسی در جزئیات آن‌ها به‌واسطه باز بودن منبع آن موجب شده است که این نرم‌افزار در بین دانشجویان و تحلیلگران حرفه‌ای بازارهای مالی در جهان از اهمیت بسزایی برخوردار شود؛ به نحوی که در کارهای پژوهشی و کاربردی خود از آن استفاده کنند.

شرکت فراپورس ایران در راستای ایفای رسالت و رسیدن به اهداف تعیین شده در برنامه استراتژیک خود، به حمایت از کتاب «مدل‌سازی سری‌های زمانی مالی با R» اقدام کرده است که به‌وسیله آقای مهرداد حیرانی و سرکار خانم نسیم روشن‌ضمیر تألیف و به‌وسیله انتشارات بورس منتشر شده است.

مدل‌سازی سری‌های زمانی به صورت تک‌متغیره و چند متغیره با رویکردهای خطی و غیرخطی و همچنین ارزیابی دقیق ریسک‌های مالی، سبب تدوین دقیق روش‌های مؤثر در شناسایی بهتر سری‌های مالی می‌شود. امید است کتاب حاضر که از باب تحلیل نظری و تجربی به مدل‌سازی سری‌های زمانی مالی با نرم‌افزار R پرداخته است، مورد استفاده دانشجویان کارشناسی ارشد، دکتری و متخصصان حرفه‌ای در بازارهای مالی ایران قرار گیرد.

امیر هامونی

مدیرعامل شرکت فراپورس ایران

پیشگفتار نویسندگان

در سال‌های اخیر، توسعه اقتصادسنجی در حیطه بازارهای مالی به یکی از شاخه‌های اقتصادسنجی تبدیل شده که نظریه‌ها و رویکردهای سری‌های زمانی مالی را در خود گنجانده است. با توجه به خاصیت این سری‌ها، اقتصادسنجی مالی به صورت نظری و کاربردی در حیطه بازارهای مالی و در سطوح مختلف، مورد استفاده محققان و دانشجویان قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، توسعه روزافزون بسته‌های آماری رایانه‌ای موجب شده است که کاربرد تجربی این نظریه‌ها بیش از پیش مورد استقبال محققان قرار گیرد.

در این بین، نرم‌افزار R با توجه به ویژگی‌های بی‌مانند خود، جایگاه ویژه‌ای را در تحلیل داده‌های مالی به خود اختصاص داده است. بر این اساس، در این کتاب سعی شده است که با بیان مبانی تئوری ساده و همچنین تبیین کاربردی آن‌ها در نرم‌افزار R، یادگیری دو مبحث یاد شده را برای دانشجویان و محققان در این زمینه ساده‌تر کند. این کتاب با دیدی تجربی از منابع مختلفی که در سری‌های زمانی مالی بیش از سایرین مطرح هستند استفاده کرده است و با کاربردهایی از بازار مالی ایران، سعی در آموزش زبان برنامه‌نویسی R دارد.

کتاب حاضر پس از معرفی نرم‌افزار R و جزئیات برنامه‌نویسی در این محیط، در دو بخش سری‌های زمانی مالی تک‌متغیره و چند متغیره مطرح شده است. در هر بخش نیز تجزیه و تحلیل به صورت خطی و غیرخطی با بیان مدل‌های پرکاربرد آن ارائه گردیده است. در هریک از فصول، پس از بیان مبانی نظری به تبیین کاربردی آن در محیط نرم‌افزار R پرداخته شده است؛ به نحوی که کدهای مورد استفاده به همراه خروجی نرم‌افزار با نوشتار متفاوت قابل

شناسایی بوده و تفاسیر مربوط به هر خروجی ارائه شده است. در انتهای هر فصل نیز کدهای کاربردی نرم‌افزار جهت استفاده علاقه‌مندان قرار دارد.

لازم به ذکر است که داده‌های مورد استفاده در این کتاب در پایگاه داده‌های تحقیقاتی مالی ایران به نشانی ifdc.ir در دسترس است. این پایگاه که متعلق به مرکز مالی ایران می‌باشد علاوه بر داده‌های مورد استفاده از این کتاب، گستره مناسبی از داده‌های مالی را در خود جای داده است که اساتید، پژوهشگران و دانشجویان گرامی می‌توانند در تحقیقات خود از آن استفاده کنند.

در بخش سری‌های زمانی مالی تک‌متغیره، در فصل دوم رویکردهای خطی شامل سری‌های زمانی مانا، نامانا، متغیرهای دارای حافظه بلندمدت و پیش‌بینی آن‌ها بیان شده است. در فصل سوم، به مدل‌های غیرخطی همچون رگرسیون‌های آستانه، انتقال ملایم و رویکرد تغییر رژیم مارکوف اشاره گردیده است. در این فصل نیز مطالب مرتبط با آزمون‌های مربوطه به همراه کاربرد نرم‌افزار R و همچنین نحوه پیش‌بینی سری‌های غیرخطی، همچون فصل قبل گنجانده شده است.

در فصول چهارم و پنجم به مقوله مهم در سری‌های زمانی مالی شامل برآورد تلاطم و محاسبه ارزش در معرض ریسک و پیش‌بینی آن‌ها به همراه کاربرد تجربی در محیط نرم‌افزار R پرداخته شده است. این فصول شامل رویکردهای خطی و غیرخطی برای بررسی و مدل‌سازی تلاطم و محاسبه ریسک در سری‌های زمانی مالی و همچنین پیش‌بینی ارزش در معرض ریسک و معرفی رویکردهای پس‌آزمایی به روش‌های موجود در این حیطه می‌باشد. همچنین در این دو فصل، مقایسه مدل‌های پیش‌بینی‌کننده به همراه آزمون‌های پراکندگی در محیط R نیز در کنار مباحث نظری با کاربردی از بازار مالی ایران ارائه شده است.

در بخش دوم به مقوله سری‌های زمانی چند متغیره به صورت نظری و تجربی در قالب محیط نرم‌افزار R پرداخته شده است. در فصل ششم مدل‌های پراکندگی در سری‌های زمانی مالی چند متغیره شامل خودرگرسیون برداری، خودرگرسیون برداری ساختاری، مفاهیم هم‌انباشتگی، مدل تصحیح خطای برداری و مدل تصحیح خطای برداری ساختاری بیان گردیده است. در فصل هفتم مدل‌های بیان‌شده در فصل ششم به صورت غیرخطی با ارائه مدل‌های چند متغیره آستانه به صورت نظری و کاربردی در محیط برنامه‌نویسی R قرار گرفته است. در

فصل آخر نیز به مفهوم سرایت تلاطم پرداخته شده و کاربرد این مفهوم در محیط نرم‌افزاری R به همراه کدهای پرکاربرد ارائه گردیده است.

در این کتاب سعی بر این است در کنار ارائه رویکرد تجربی در محیط نرم‌افزار R، کاربرد بسته‌های مختلف نیز ارائه شود. بیان بسته‌های مختلف برای برآورد موجب می‌شود علاقه‌مندان بتوانند ضمن دسترسی به سایر کدهای نوشته‌شده برای مدل‌های مختلف، به توانایی نوشتن توابع در محیط R دست یابند.

با توجه به روند روبه‌رشد نرم‌افزار ارائه شده و روند توسعه اقتصادسنجی مالی، بی‌شک ارائه تمامی مطالب در یک کتاب میسر نخواهد بود. بدیهی است که سعی شده است که با بیشترین گستردگی ممکن به ارائه مطالب در اقتصادسنجی مالی با دیدی کاربردی پرداخته شود. بی‌شک ارائه نظرات به ارتقای مطالب کتاب کمک شایانی خواهد کرد.

بر این اساس، هرگونه نظرات این عزیزان می‌تواند از طریق ایمیل¹ به نویسندگان این مجموعه انتقال یابد. همچنین علاقه‌مندان در صورت مشکل در اجرای کدهای نرم‌افزاری یا هرگونه مشکل در نرم‌افزار به‌واسطه کتاب حاضر می‌توانند از طریق ایمیل یاد شده با نویسندگان کتاب در ارتباط باشند.

لازم است از کمک‌های بی‌دریغ مجموعه شرکت فرابورس ایران و مرکز مالی ایران نهایت قدردانی را نماییم که به‌واسطه سهم خود در بازار مالی ایران، همیشه پشتیبان تحقیقات علمی در این عرصه بوده‌اند. در این راستا از جناب آقای هامونی عزیز، مدیرعامل شرکت فرابورس ایران به‌واسطه حضور پررنگ خود در جهت‌دهی در مسیر این کتاب و پشتیبانی همیشگی از نویسندگان، تشکر ویژه می‌کنیم. همچنین از استاد گرامی دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه شریف، جناب آقای دکتر غلامرضا کشاورز حداد به سبب راهنمایی‌های همیشگی و پُر مهرشان سپاسگزاریم.

زمستان 1396

1-1. مقدمه

زبان نرم‌افزاری R یک محیط برنامه‌نویسی آماری با توان بالای گرافیکی است. محیط نرم‌افزاری R در صفحه اینترنتی <https://www.r-project.org> به صورت رایگان در دسترس عموم قرار دارد. R بر اساس زبان‌های S و اسکیم پیاده‌سازی شده است. این نرم‌افزار به شکل متن باز، عرضه شده و به صورت رایگان قابل دسترس است. نرم‌افزار R به وسیلهٔ راس ایحاکا و رابرت جتلمن¹ در گروه آمار دانشگاه اوکلند نیوزلند در سال 1995 نوشته شده است. نام این نرم‌افزار به خاطر اسم اول این دو پژوهشگر "R" انتخاب شده است.

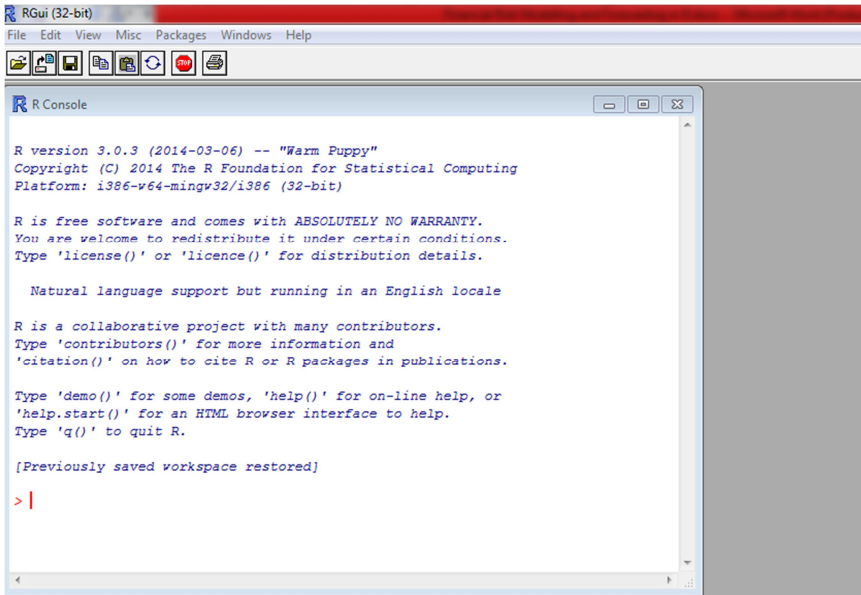
زبان S به جز R، به وسیلهٔ شرکت *Insightful*، در نرم‌افزار تجاری *S-plus* نیز پیاده‌سازی شده است. اگرچه دستورات *S-plus* و R بسیار شبیه است، ولی این دو نرم‌افزار دارای هسته‌های متمایزی هستند. همانطور که بیان شد، زبان R یک *dialect* از زبان S است که به وسیلهٔ چمبرز و کوليجوس² در لابراتوار Bell در اواسط دههٔ 1970 به دنیای آمار معرفی شد. یک پیشرفت عمده از زبان S در سال 1988 صورت گرفت که در آن، سیستم در محیط C بازنویسی شد و توابعی برای انجام تجزیه و تحلیل آماری به آن اضافه شد. این نسخه‌ها در طی سال‌های اخیر توسعه یافته و به عنوان S4 به جامعهٔ آماری معرفی شده است. نرم‌افزار R قابلیت ارائه مجموعهٔ متنوعی از تکنیک‌های آماری و گرافیکی را به کاربران خود دارد که برای مثال در این رابطه می‌توان از مدل‌های خطی و غیرخطی، آزمون‌های آماری کلاسیک، تحلیل سری زمانی، طبقه‌بندی اطلاعات، خوشه‌بندی، شبیه‌سازی، مدل‌سازی و موارد مانند آن نام برد. به خاطر شباهت بالایی که نرم‌افزار *S-plus* به نرم‌افزار R دارد، یادگیری این نرم‌افزار برای افرادی که با *S-plus* آشنایی دارند بسیار جالب و آسان خواهد بود، از طرف دیگر، یادگیری R می‌تواند *S-plus* را هم در بر گیرد. در این رابطه برخی تفاوت‌های اساسی در نرم‌افزار R در مقایسه با نرم‌افزار *S-plus* ایجاد شده، ولی کدهای نوشته شده برای اجرا در نرم‌افزار S تغییر نکرده است. به هر حال بسیاری از استانداردهای توابع R به طور انحصاری برای این نرم‌افزار نوشته شده و به این ترتیب دنبال کردن الگوریتم‌های انتخاب در این نرم‌افزار به سادگی برای کاربران امکان‌پذیر است.

1. Ross Ihaka and Robert Gentleman

2. Chambers and colleagues

یک مزیت دیگر نرم افزار آمار، در گرافیک استاتیک آن است که می تواند نمودارهای باکیفیت شامل سمبل های ریاضی تولید کند. علاوه بر این، گرافیک های دینامیک و جذاب از طریق بسته های اضافی طراحی شده برای این نرم افزار، قابل دسترسی و استفاده است.

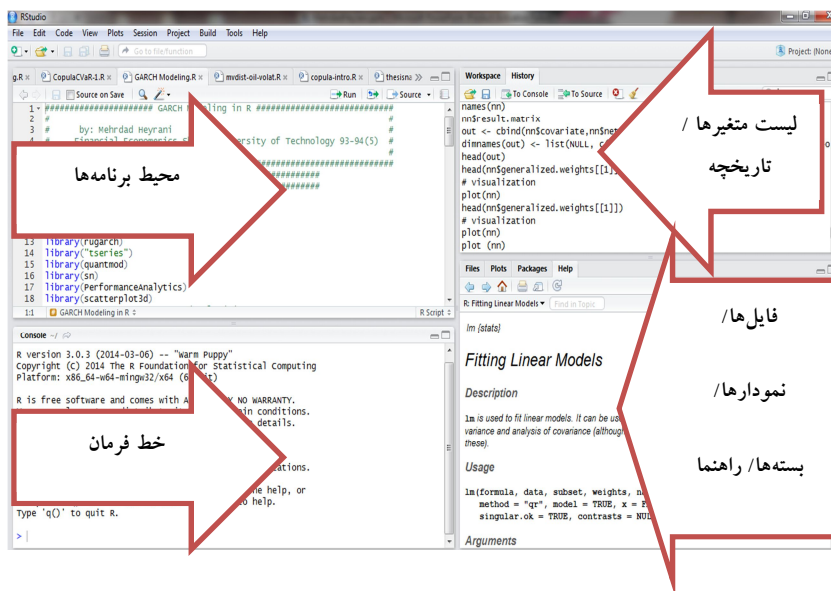
نمودار شماره (1-1). شمایی کلی از محیط R



2-1. محیط نرم افزاری Rstudio

نرم افزار R دارای یک محیط خط فرمان برای ورود و اجرای دستورات است. برای تسهیل استفاده از R ابزارهای مختلفی به صورت ¹R GUI معرفی شده اند. یک محیط توسعه یکپارچه برای R به صورت Rstudio است که ترکیبی از ابزارهای قدرتمند برنامه نویسی و یک رابط گرافیکی قوی است که منجر به سهولت استفاده از R می گردد. این نرم افزار رابط از سایت <https://www.rstudio.com> قابل دسترس است. این نرم افزار دارای محیطی به شکل نمودار شماره (2-1) است.

نمودار شماره (2-1). شمایی کلی از محیط RStudio



این محیط از چهار بخش اصلی تشکیل شده است. در بخش اول در سمت بالا و چپ، محیط نوشتن برنامه‌ها است که به صورت یک Script قابلیت ذخیره‌سازی دارد. در بخش پایین و سمت چپ این محیط نرم‌افزاری، خط فرمان واقع شده است. در بخش راست، در بالا لیست متغیرها و تاریخچه نرم‌افزار در مورد برنامه‌های نوشته شده قرار گرفته است و در پایین آن چهار بخش، فایل‌ها، نمودارها، بسته‌های موجود و بازخوانی شده و راهنمای نرم‌افزار قرار دارد.

1-3. نصب بسته‌های نرم‌افزاری

با توجه به متن باز¹ بودن این نرم‌افزار و تنوع بالای بسته‌های توابع و اشیاء در R، امکان توسعه قابلیت‌های R، با افزودن بسته‌های ایجاد شده به وسیله کاربران آن، یکی از ویژگی‌های مهم این نرم‌افزار است. این بسته‌ها به وسیله R، LaTeX، جاوا، سی++ و فورترن نوشته شده‌اند.

1. Open Source

مجموعه ای از بسته های اصلی R، هنگام نصب، همراه برنامه وجود دارند. برای استفاده از این توابع نیاز است که این بسته ها در محیط نرم افزاری R نصب شده و در صورت استفاده، مورد بازخوانی قرار بگیرد.

کد شماره (1-1). کدهای نصب و بازخوانی بسته های R

<code>install.packages()</code>	نصب بسته های R
<code>library()</code>	بازخوانی بسته های R

در محیط R با دو مفهوم اصلی اشیا و توابع روبه رو هستیم. اشیا، یک فضای ذخیره سازی برای یک متغیر، توابع و... در فضای حافظه R است. در این بین، توابع، نوع خاصی از اشیا هستند که برای برخی عملیات در نظر گرفته می شوند و خروجی و نتیجه ای را به وسیله این عملیات حاصل می کنند. برای مثال می توان با استفاده از دستور مرتبط با اشیا به صورت زیر؛

```
> objects("package:base")
```

اشیای بسته های مختلف در بسته نرم افزاری base را مشاهده کرد.

4-1. استفاده از راهنما در R

با توجه به گسترش R در دنیای امروزی، راهنماهای متنوعی را می توان در این زمینه به دست آورد. برای استفاده مستقیم از راهنمای خود نرم افزار، می توان از کدهای زیر بهره برد.

کد شماره (2-1). کدهای استفاده از راهنما در R

<code>?qt</code>	راهنماهای بسته های R
<code>help(qt)</code>	
<code>help.start()</code>	
<code>help.search("covariance")</code>	
<code>RSiteSearch("Kalman Filter")</code>	راهنماهای بسته های نصب نشده در R

این دستورات، توانایی نرم افزار در مورد جست و جو با ذکر یک علامت سؤال، جست و جو با لفظ کمک و شروع به جست و جوی عبارتی خاص به صورت آنلاین را از بسته های نصب و بازخوانی شده انجام می دهد. برای جست و جو در بسته ها و توابع یا مواردی که تا به حال در

کتابخانه این نرم‌افزار نصب نشده است می‌توان از عبارت جست‌وجوی سایت رسمی این نرم‌افزار جهت دسترسی به توابع، بسته‌ها و کدهای از پیش نوشته شده استفاده کرد.

1-5. کار با داده‌ها در R

نرم‌افزار R این اجازه را به شما می‌دهد تا برای ایجاد بسیاری از انواع اشیا، ذخیره‌سازی داده‌ها به صورت اعداد، بردارها، ماتریس، رشته‌ها و فریم‌های داده، توانایی لازم را داشته باشید. استفاده از دستور `ls()` یک لیست از تمام اشیای داده در حال حاضر و در دسترس را نشان می‌دهد. با دستور `rm()` نیز می‌توان آن اشیا را حذف کرد. همچنین برای نام‌گذاری اشیا در R می‌توان از علامت `<=` یا `=` استفاده کرد. برای ساختن یک بردار از دستور `c()` و برای دانستن طول این بردار از `length()` استفاده می‌شود. برای ساخت یک ماتریس نیز از دستور `matrix()` برای پی بردن به ابعاد ماتریس از `dim()` و برای ساخت دنباله در R از دستور `seq()` استفاده می‌شود. در اجزای این شیء می‌توان شروع دنباله و طول دنباله را ترسیم کرد.

کد شماره (1-3). نام‌گذاری و شروع کار در R

<code>x = 10</code>	اختصاص واژه <i>x</i> به عدد 10
<code>x</code>	بازخوانی شیء ساخته شده در R
<code>y = c(1,3,5,7,9)</code>	ساخت یک بردار با نام <i>y</i>
<code>y</code>	بازخوانی شیء ساخته شده در R
<code>length(y)</code>	طول بردار ساخته شده
<code>y = matrix(nrow = 2, ncol = 3)</code>	ساخت یک ماتریس با دو سطر و سه ستون
<code>dim(y)</code>	ابعاد ماتریس ساخته شده
<code>y = matrix(c(1,2,3), 3, 1)</code>	ساخت یک ماتریس با اعداد 1 و 2 و 3 در یک ماتریس 3 در 1
<code>seq(1:10)</code>	ساخت دنباله اعداد از 1 تا 10
<code>seq(from = 1, to = 10, by = 2)</code>	ساخت دنباله از 1 تا 10 با نوسان 2
<code>seq(from = 1, to = 10, length = 5)</code>	ساخت دنباله از 1 تا 10 با طول 5

در محیط R می‌توان اعداد، بردارها و ماتریس‌ها را نام‌گذاری کرد و همچنین بخشی از

داده های مورد نظر را در این محیط انتخاب کرد. خلاصه این اعمال در کد شماره (4-1) قابل مشاهده است.

کد شماره (4-1). نام گذاری و تجزیه اجزا در R

X <- c(1,2,3)	ساخت بردار
names(X) <- c("Iran","China","Japan")	نام گذاری اجزای بردار
X	مشاهده نتیجه
X[2:3]	انتخاب بخشی از بردار
X["Iran"]	انتخاب بخشی از بردار
X[1:3]	انتخاب بخشی از بردار
A <- matrix(1:6, nrow=2)	ساخت یک ماتریس از اعداد 1 تا 6
A	مشاهده اجزای ماتریس ساخته شده
t(A)	ترانسپوز ماتریس
dim(A)	محاسبه ابعاد ماتریس
nrow(A)	تعداد سطر و ستون ماتریس
ncol(A)	تعداد سطر و ستون ماتریس
A[1,]	انتخاب ستون اول ماتریس
A[,1]	انتخاب سطر اول ماتریس

توابع و نام گذاری ها در R با <- یا = شروع می شوند.

برای اعمال ریاضی پایه ای نیز می توان از موارد زیر در R بهره برد.

کد شماره (5-1). عملیات ریاضی در R

+	جمع
-	تفریق
*	ضرب
/	تقسیم
^	توان
%%	باقی مانده
>	بزرگ تر
<	کوچک تر
=	مساوی
>=	بزرگ تر مساوی
<=	کوچک تر مساوی
==	به صورت اکید مساوی
!=	تفاوت

سایر این عوامل را نیز می‌توان در کد شماره (6-1) مشاهده کرد.

کد شماره (6-1). عملیات ریاضی و آماری در R

sum(y)	جمع بستن
prod(y)	تولید عناصری در Y
max(y)	محاسبه حداکثر مقدار
min(y)	محاسبه حداقل مقدار
range(y)	تفاوت بین حداکثر و حداقل داده
length(y)	طول مجموعه Y
mean(y)	میانگین
median(y)	میانه
var(y)	واریانس
cov(y)	کوارینانس
cor(y)	هم‌بستگی خطی
sort(y)	مرتب‌سازی
log(y)	لگاریتم
library(moments)	بازخوانی بسته گشتاورها
skewness(y)	محاسبه چولگی
kurtosis(y)	محاسبه کشیدگی

ساخت توزیع‌های آماری و توابع چگالی در R مستلزم نصب و بازخوانی بسته‌های متفاوتی خواهد بود. در این بخش به تعدادی از توابع R نیاز است که در کد (7-1) بخشی از آن‌ها ارائه شده است.

کد شماره (7-1). توزیع‌های آماری در R

S=10	# number of simulations
df=3	# degees of freedom
rt(S,df)	# Student-t
rlnorm(S)	# log-normal
runif(S,min=0,max=)	# uniform
rchisq(S,df)	# chi-squared
rbinom(S,size=4,prob=0.1)	# binomial
rpois(S,lambda=0.1)	# Poisson
rexp(S,rate=1)	# exponential