Journal of Mineral Resources Engineering, 8(1): 111-130, (2023)

Imam Khomeini International University
Vol. 8, No. 1, Spring 2023

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

Research Paper

Investigation of the Spillover Effects in the Base Metals Market with an Emphasis on Technological Changes

Tuiserkani S.[1], Zolfaghari M.[2*], Saranj A.[3]

1- M.Sc Student, Faculty of Management and Economics, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran
2- Assistant Professor, Faculty of Management and Economics, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran
3- Assistant Professor, Faculty of Finance and Accounting, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran

Received: 26 Oct. 2021 **Accepted: 15 Oct. 2022**

Abstract: In the basic metals market, copper and aluminum are among the most popular metals in manufacturing and construction industries due to their uses in various industries. Given Iran's favorable rank in the production and export of copper and aluminum in the region, this study had investigated the factors affecting on their global prices in the short and long-term. Therefore, in the current research, an attempt has been made to investigate the short-term (with emphasis on the spillover effect) and long-term influencing factors on the prices of these two important metals using DECO-GARCH and NARDL models. According to the results of the DECO-GARCH model, in the short term, the price of oil, parallel metal markets such as nickel, alumina, and the dollar index with the stock index have a significant effect on the global prices of copper and aluminum. Also the existence of the spillover effect among them was confirmed. According to the results of the short-term model, the existence of the spillover effect in the models was confirmed. In fact, any fluctuation in any of the variables instantly affects the fluctuations of other variables. According to the results of the long-term model, oil price, economic growth, technological changes, industrial production index, prices of metals such as nickel and alumina, stock index, and automobile production index have a significant effect on the global prices of copper and aluminum.

Keywords: Aluminum, Copper, Spillover Effect, DECO-GARCH, NARDL.

How to cite this article
Tuiserkani, S., Zolfaghari, M., and Saranj, A. (2023). *"Investigation of the spillover effects in the base metals market with an emphasis on technological changes"*. Journal of Mineral Resources Engineering, 8(1): 111-130.
DOI: 10.30479/JMRE.2022.16385.1553

*Corresponding Author Email: *m.zolfaghari@modares.ac.ir*

COPYRIGHTS
©2023 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.
This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCTION

In the literature of microeconomics, inputs and intermediate goods play an important role in the production and economic growth of countries. In the real world, one of the most important inputs for the production of goods, including intermediate durable goods (such as machinery) and consumer goods (such as cars and buildings) is basic metals. In a country like Iran, after oil and oil products, the export of mineral products has an important position. Therefore, the investigation of short-term and long-term influencing factors on the global prices of aluminum and copper is the main subject of this research. This research examines what factors affect the daily price or return of copper and aluminum. On the other hand, in the long-term (annual) horizon, it seeks to identify and investigate the effect of annual variables (some statistics are presented only annually, such as gross domestic production (GDP)) on the price behaviors of the two mentioned metals. By reviewing the research literature, the factors affecting the prices of basic metals include three groups: 1) the macroeconomic variables at the global level such as GDP, technology, industrial production, exchange rate, 2) the commodities prices in other markets, including the energy market, precious metals and other non-ferrous metal and mineral products and 3) finally, some intra-industry factors such as the amount of metal reserves and the internal developments of the major exporting and importing countries of these commodities.

The hypotheses of this research are: (i) In the short term (daily time frame), energy price, dollar index, prices of parallel metal markets such as nickel and alumina, and stock index have a significant effect on the global prices of copper and aluminum. (ii) In the long term, energy price, economic growth, technological changes, industrial production index, prices of parallel metal markets such as nickel and alumina, stock index and car production have a significant effect on the global prices of copper and aluminum.

METHODS

In the econometrics literature, structural time series models such as the GARCH family are most widely used for short-term modeling (and investigating the effects of contagion and transferability) among variables. Therefore, in this research, the developed DECO-GARCH model is used to investigate short-term effects and the NARDL model is used to investigate long-term relationships among variables. The DECO-GARCH model sets the average conditional correlation equal to all pairwise correlations to reduce the burden of calculating large-scale correlation matrices. In fact, this model uses the same structure to build the covariance matrix as in the DCC-GARCH model [1]. However, the conditional correlation matrix is different due to averaging the conditional correlations.

One of the attractions of the NARDL approach is that it reveals differences in response to positive and negative changes, and also shows how these change in the short and longer term [2]. The adoption of the bounds test also means that it can capture relationships between both stationary and non-stationary variables.

FINDINGS

The results of DECO-GARCH model

In this research, the multivariate DECO-GARCH model was used in order to investigate short-term relationships. Therefore, two separate models were estimated separately for copper and aluminum. According to the results, the first step is the univariate GARCH expression. At this step, ARCH and GARCH coefficients are significant for all variables. The sum of the coefficients of ARCH and GARCH is very close to one, which indicates that the volatility in the markets has a high persistence and is continuous. The second step is to estimate the DECO-GARCH model. At this stage, the average correlation coefficient is significant, which indicates the transfer of fluctuations among markets. parameter in the second model is positive and significant, which indicates the importance of the shock in the market. The significance of parameter in both models also means the existence of fluctuations in the market, that is, the correlations are highly dependent on the past correlations. In both models, there is an overflow or spillover effect, and this effect is mostly in the beta parameter. That is, the spillover effect is in the variance of their changes. In fact, any fluctuation in any of the variables instantly affects the fluctuations of other variables.

The results of NARDL model for aluminum:

- The positive shock of the car production index has a significant negative effect on aluminum price.

- The negative shock of the car production index has a positive and significant effect on aluminum price.
- Positive and negative shocks of global economic growth both have a negative and significant effect on aluminum price.
- The positive shock of the S&P500 index has a positive and significant effect on the price of aluminum.
- The negative shock of the technology index has a negative and significant effect on the price of aluminum.
- The positive and negative shocks of the oil price have significant positive and negative effects on the price of aluminum, respectively.

The results of NARDL model for copper:

- The general effect of industrial production index shocks on copper price is positive.
- The negative shock of the price of nickel has a positive and significant effect on the price of copper.
- The negative shock of the S&P500 index has a negative and significant effect on the price of copper.
- The negative shock of the global economic growth has a negative and significant effect on copper price.
- Positive and negative technology index shocks have a negative and significant effect on the price of copper.
- A positive oil price shock has a limited positive effect on copper price.

CONCLUSIONS

In the current research, an attempt was made to investigate the impact of the effecting factors on the global prices of copper and aluminum by using the short-term developed models that emphasize the transferability of prices in markets (DECO-GARCH model) and long-term models that emphasize the asymmetric, non-linear and different effects of positive and negative shocks (non-linear ARDL model). The results of the DECO-GARCH model estimation showed that in the short term, the price of oil, the dollar index, the prices of parallel metal markets such as nickel and alumina, and the stock index have a significant effect on the global prices of copper and aluminum, and the existence of the spillover effect was also confirmed; In such a way that the fluctuation in the price of each market instantly affects the fluctuations of other markets. Also, based on the results of the NARDL model, oil price, economic growth, technological changes, industrial production index, prices of parallel metal markets such as nickel and alumina, stock index, and automobile production index have a significant effect on the global prices of copper and aluminum in the long term. Therefore, the second hypothesis of the research is also confirmed.

REFERENCES

[1] Engle, R., and Kelly, B. (2012). *"Dynamic equicorrelation"*. Journal of Business & Economic Statistics, 30(2): 212-228.

[2] Shin, Y., Yu, B., and Greenwood-Nimmo, M. (2014). *"Modelling Asymmetric Cointegration and Dynamic Multipliers in a Nonlinear ARDL Framework"*. Festschrift in Honor of Peter Schmidt, 281-314.

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering (JMRE)

دانشگاه بین المللی امام خمینی
IMAM KHOMEINI INTERNATIONAL UNIVERSITY

دوره هشتم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحه ۱۱۴ تا ۱۳۰
Vol. 8, No. 1, Spring 2023, pp. 114-130

علمی-پژوهشی

بررسی انتقال پذیری قیمت در بازار فلزات پایه با تأکید بر تغییرات فناوری

سارا تویسرکانی[۱]، مهدی ذوالفقاری[۲*]، علیرضا سارنج[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- استادیار، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۳- استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، پردیس فارابی، دانشگاه تهران، قم

دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۴ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۳

چکیده

در بازار فلزات اساسی، دو فلز مس و آلومینیم به دلیل استفاده در صنایع مختلف، جزو فلزات پرطرفدار در صنایع تولیدی و ساخت‌اند. از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر قیمت این فلزات می‌توان به شاخص دلار، قیمت نفت، قیمت سایر فلزات، میزان ذخایر، رشد اقتصادی کشورها اشاره کرد. شواهد تجربی نشان داده است که بازارها از یکدیگر جدا نیستند و نوسانات در بازارهای مختلف با یکدیگر در ارتباط هستند. سرریز قیمتی نیز حاکی از انتقال نوسانات قیمت بین بازارها است. با توجه به این که کشور ایران از نظر تولید آلومینیم و مس رتبه مناسبی دارد و صادرات مس و آلومینیم جزو ده قلم عمده کالای صادراتی غیرنفتی است، در نتیجه بررسی عواملی که در کوتاه‌مدت و بلندمدت بر قیمت مس و آلومینیم تاثیرگذار هستند، برای سیاستگذاران، صاحبان کسب و کارهای مرتبط و سرمایه‌گذاران در بازارهای مالی و کالایی حایز اهمیت است. از این‌رو در پژوهش حاضر تلاش شده تا با استفاده از مدل‌های DECO-GARCH و NARDL به بررسی عوامل تاثیرگذار کوتاه‌مدت (با تاکید بر اثر سرریز) و بلندمدت بر قیمت این دو فلز باارزش پرداخته شود. طبق نتایج مدل کوتاه‌مدت، وجود اثر سرریز در مدل‌ها تایید شد. نتایج نشان می‌دهد که این اثر در واریانس تغییرات داده‌ها قرار دارد. در واقع هر نوسانی در هر یک از متغیرها به صورت آنی بر نوسان سایر متغیرها اثرگذار است. طبق نتایج مدل بلندمدت، قیمت نفت، رشد اقتصادی، تغییرات تکنولوژی، شاخص تولیدات صنعتی، قیمت فلزاتی مانند نیکل و آلومینا، شاخص سهام، شاخص تولید خودرو اثر معناداری بر قیمت جهانی مس و آلومینیم دارند.

کلمات کلیدی

آلومینیم، مس، اثر سرریز، مدل DECO-GARCH، مدل NARDL.

استناد به این مقاله
تویسرکانی، س.، ذوالفقاری، م.، سارنج، ع.؛ ۱۴۰۲؛ "**بررسی انتقال پذیری قیمت در بازار فلزات پایه با تأکید بر تغییرات فناوری**". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره هشتم، شماره ۱، ص ۱۳۰-۱۱۱.

DOI: 10.30479/JMRE.2022.16385.1553

*نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: m.zolfaghari@modares.ac.ir

حق‌مؤلف © نویسندگان
ناشر: دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

۱- مقدمه

در ادبیات اقتصاد خرد، نهاده‌ها و کالاهای واسطه‌ای نقش مهمی در تولید و رشد اقتصادی کشورها دارند. در جهان واقعی یکی از مهم‌ترین نهاده‌ها برای تولید کالاها اعم از کالاهای بادوام واسطه‌ای (مانند ماشین‌آلات) و مصرفی (مانند خودرو و ساختمان) فلزات اساسی‌اند. اهمیت این فلزات در کشورهایی که به وفور یافت می‌شود، در تجارت خارجی نیز تبلور می‌کند. به عنوان مثال در کشوری مانند ایران، صادرات محصولات معدنی، پس از نفت و فرآورده‌های نفتی، در جایگاه مهمی قرار دارد. علیرغم وجود بازارهای داخلی برای مبادلات فلزات اساسی (مانند بورس کالا)، فرآیند قیمت‌گذاری و معامله بر اساس قیمت‌های جهانی این نهاده‌ها تعیین می‌شود. زیرا علاوه بر انگیزه عرضه‌کنندگان، بخش عمده‌ای از اقلام داد و ستد شده در مسیر تبدیل و صادرات به بازارهای جهانی قرار می‌گیرد. از این‌رو بررسی عوامل تاثیرگذار کوتاه‌مدت و بلندمدت بر قیمت جهانی دو فلز آلومینیم و مس موضوع محوری پژوهش حاضر است. منظور از عوامل تاثیرگذار کوتاه‌مدت و بلندمدت، بازه‌های زمانی تعیین شده برای مدل‌سازی است. به عبارت دیگر این پژوهش به بررسی این موضوع می‌پردازد که چه عواملی بر قیمت یا بازدهی روزانه قیمت جهانی مس و آلومینیم تاثیر دارد. از سوی دیگر در افق بلندمدت مانند فصلی یا ساله نیز به دنبال شناسایی و بررسی میزان اثرگذاری متغیرهای سالانه (که آمار برخی مانند تولید ناخالص داخلی، صرفا به صورت سالانه ارایه می‌شود) بر قیمت دو فلز یاد شده است. در ادبیات اقتصادسنجی، مدل‌های سری زمانی ساختاری مانند خانواده GARCH، بیشترین کاربرد را در مدل‌سازی کوتاه‌مدت و بررسی اثرات سرایت و انتقال‌پذیری بین متغیرها ایفا می‌کند. از این رو در پژوهش حاضر از مدل توسعه‌یافته DECO-GARCH برای بررسی اثرات کوتاه‌مدت و از مدل NARDL برای بررسی روابط بلندمدت بین متغیرها استفاده خواهد شد.

با بررسی ادبیات تحقیقات، عوامل تاثیرگذار بر قیمت فلزات اساسی شامل سه گروه ۱) متغیرهای اقتصادی کلان در سطح جهان مانند تولید ناخالص داخلی، تکنولوژی، تولیدات صنعتی، نرخ ارز، ۲) قیمت محصولات در سایر بازارها اعم از بازار انرژی، فلزات گرانبها و سایر محصولات فلزی و معدنی غیرآهنی و ۳) در نهایت برخی عوامل درون‌صنعتی مانند میزان موجودی ذخایر مس و آلومینیم و تحولات داخلی کشورهای عمده صادرکننده و واردکننده این محصولات است.

فرضیه‌های این پژوهش عبارت‌اند از: ۱- در کوتاه‌مدت (بازه زمانی روزانه) قیمت انرژی، شاخص دلار، قیمت بازارهای فلزات موازی مانند نیکل، قیمت آلومینا، شاخص سهام بر قیمت جهانی مس و آلومینیم تاثیر معناداری دارند. ۲- در بلندمدت قیمت انرژی، رشد اقتصادی، تغییرات تکنولوژی، شاخص تولیدات صنعتی، قیمت بازارهای فلزات موازی مانند نیکل، قیمت آلومینا، شاخص سهام و شاخص تولید خودرو بر قیمت جهانی مس و آلومینیم تاثیر معناداری دارند.

در این پژوهش در بخش دوم به بررسی مبانی نظری مدل‌های اقتصادسنجی منتخب برای مدل پرداخته می‌شود و در بخش سوم به بررسی داده‌ها و یافته‌های تحقیق پرداخته می‌شود. در پایان نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادهای تحقیق ارایه می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

از مطالعات اخیر انجام گرفته بر بازار مس و آلومینیم می‌توان به مطالعه گالان گوتیرز و همکاران اشاره کرد که به بررسی رابطه علیت گرنجر بین قیمت جاری و آتی مس در کشورهای حوزه بریکس (BRICS)[1] پرداختند. یافته‌های مطالعه نشان می‌دهد که به طور ضمنی یک رابطه دوطرفه بین قیمت جاری و آتی مس در بازارهای این منطقه وجود دارد[۱]. میشرا و گاته با استفاده از مدل DCC-GARCH[2] به بررسی رابطه بین بازدهی و نوسانات فلزات غیرآهنی (مس، آلومینیم، قلع، روی، نیکل و سرب) در بازار هند پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که قلع، آلومینیم و روی فرستنده‌های خالص اختلالات‌اند که به نوبه خود بر بازدهی فلزات دیگر تاثیر می‌گذارند. در عین حال، مس و قلع گیرندگان خالص سرریزهای برگشتی‌اند. [۲]

ژانگ و یو در مطالعه‌ای با استفاده از مدل ARJI[3] GARCH به بررسی تاثیرات شوک‌های جهانی بهای نفت در کل بازار فلزات و دو بازار فلز معمولی مس و آلومینیم در چین پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که شوک‌های قیمت نفت خام تاثیرات قابل‌توجهی در بازارهای فلزی چین دارد و تاثیرات آن متقارن است. همچنین در مقایسه با آلومینیم، مس به راحتی تحت تاثیر شوک‌های قیمت نفت قرار می‌گیرد[۳]. رحمان و همکاران با استفاده از مدل GARCH[4] اثر سرریز بین بازده قیمت جهانی فلزات گران‌بها (طلا و نقره) و فلزات غیرآهنی (آلومینیم، مس، سرب و روی) را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که آلومینیم بیشترین نقش را در

ایجاد شوک در سایر بازارهای فلزی دارد، در حالی که سرب و مس کمترین نقش را در این زمینه دارند. علاوه بر این، مسیر شاخص سرریز در بین تمام فلزات مورد بررسی تحت تاثیر بحران‌های اقتصادی است[۴]. عباسی و صادقی به محاسبه ارزش در معرض ریسک[۵] سبدی از ۴ فلز اساسی بورس لندن شامل روی، سرب، مس و آلومینیم پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که انتخاب سطوح اطمینان مختلف و اوزان متفاوت بر نتایج محاسبات ارزش در معرض ریسک تاثیرگذار است[۵]. آزاد و همکاران ضمن پیش‌بینی قیمت و میزان تولید فلز مس با استفاده از روش «روند» به بررسی کاربرد آن برای تعیین محدوده نهایی معادن در ایران پرداختند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد با توجه به بلندمدت بودن صنایع معدنی و نیاز آن به ماشین‌آلات برای افزایش تولید و با در نظر گرفتن امکانات محدود در برخی از کشورهای در حال توسعه، در سال‌های آتی می‌توان انتظار کاهش عرضه مس و رشد قیمت آن را داشت[۶]. اومر و همکاران با استفاده از مدل DECO[۶] GARCH به بررسی ارتباط بین قیمت نفت و قیمت فلزات پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که اثرات سرریز در دوره مورد بررسی متغیر بوده است، همچنین سرریز خالص همه فلزات به استثنای نفت خام در بحران مالی جهانی ۲۰۰۸ به اوج خود رسیده است و از بین فلزات، مس بیشترین فرستنده سرریز است[۵]. منسی و همکاران در مطالعه‌ای اثر سرریز بین چهار فلز گران‌بها (طلا، نقره، پالادیم و پلاتین) و ۲۰ بازار مهم ارز ایالات‌متحده را بررسی کرده‌اند. برای این منظور، از مدل چند متغیره DECO-GARCH و شاخص سرریز استفاده کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که فلزات گران‌بها (به استثنای پلاتین) و ارزها (به استثنای ارزهای استرالیا، برزیل، دانمارک، یورو، مکزیک، نروژ، نیوزیلند و سوئد) خالص دریافت‌کننده شوک هستند [۷].

طبق بررسی‌هایی که در رابطه با مطالعات قبلی انجام گرفته است، در این مطالعات برای بررسی انتقال‌پذیری قیمت از مدل‌های سنتی GARCH استفاده شده است. در حالی که در مطالعه حاضر از مدل DECO استفاده شده که ایرادات مدل‌های سنتی را رفع کرده است. همچنین در مطالعات قبلی از شاخص تکنولوژی، شاخص تولید خودرو و شاخص تولیدات صنعتی برای توضیح رفتار قیمت‌های فلزات مس و آلومینیم استفاده نشده است که این موضوع یکی از برتری‌های مطالعه حاضر نسبت به مطالعات پیشین است.

از نوآوری‌های این تحقیق می‌توان به توسعه ادبیات جدید اقتصاد معدن در مطالعات داخلی، بررسی اثر سرایت بین نوسانات قیمت‌های جهانی فلزات، استفاده از مدل‌های توسعه‌یافته اقتصادسنجی برای بررسی روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت با لحاظ متغیرهای مهم و جدید در ادبیات تحقیق و همچنین تاکید بر تغییرات تکنولوژی و قوانین محیط زیستی اشاره کرد.

۳- مبانی نظری مدل‌های DECO-GARCH و NARDL

۳-۱- مدل DECO-GARCH

مدل DECO-GARCH برای نخستین بار توسط انگل و کلّی[۷] با ارایه یک نسخه متفاوت از مدل DCC –GARCH معرفی شد[۱۲]. این مدل برای کاهش بار محاسبه ماتریس‌های همبستگی در مقیاس بزرگ، میانگین همبستگی شرطی را برابر با همه همبستگی‌های جفتی تعیین می‌کند. در واقع این مدل از همان ساختار برای ساخت ماتریس کوواریانس استفاده می‌کند که در مدل DCC- GARCH وجود دارد. با این حال، ماتریس همبستگی شرطی به دلیل گرفتن میانگین همبستگی‌های شرطی متفاوت است. همان‌طور که معادله ۱ نشان می‌دهد:

$$\bar{\rho}_t = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{n} \hat{\rho}_{ij,t} \qquad (1)$$

به صورتی که $\bar{\rho}_t$ به عنوان همبستگی شرطی تعریف شده است و $\hat{\rho}_{ij,t}$ به همبستگی جفتی اشاره دارد.

پس از یافتن همبستگی متوسط، ماتریس جدید همبستگی شرطی به صورت معادله ۲ ساخته می‌شود:

$$\bar{M}_t = \bar{\rho}_t I_{n\times n} + (1 - \bar{\rho}_t) I_{n\times n} \qquad (2)$$

این معادله تقریبا با معادله‌ای که ماتریس همبستگی ثابت را محاسبه می‌کند یکسان است. تنها تفاوت این است که ماتریس همبستگی از سری ماتریس کوواریانس مدل‌سازی شده به وسیله فرآیند GARCH تک متغیره استخراج می‌شود و بنابراین، ماتریس همبستگی متوسط در آن معادله شرطی و زمان متغیر است.

انگل و کلّی معادله درست‌نمایی آن را به این صورت تعریف کردند:

(۳)

$$L = -\frac{1}{T}\sum_t [log([1-\rho_t]^{n-1}[1+(n-1)\rho_t]) + \frac{1}{1-\rho_t}\left(\sum_i (e_{i,t}^2) - \frac{\rho_t}{1+(n-1)\rho_t}\left(\sum_i e_{i,t}\right)^2\right)]$$

لازم به توجه است که در مدل DCC لازم است که همبستگی‌های جفتی $\frac{n\times(n-1)}{2}$ تخمین زده شود.

در مدل DECO به جای تخمین هر همبستگی جفتی، فقط یک پارامتر برای همبستگی شرطی برآورد می‌شود.

۳-۲- مدل NARDL

در این تحقیق برای بررسی اثرات بلندمدت از الگوی خود رگرسیون با وقفه‌های توزیعی غیرخطی NARDL[۸] ارایه شده توسط شین و همکاران[۹] استفاده شده است، که یکی از روش‌های هم‌انباشتگی نامتقارن تلقی می‌شود. در مطالعات اخیر روش هم‌انباشتگی نامتقارن در مدل خود رگرسیونی با وقفه توزیعی به گونه‌ای گسترش یافت که در آن مجموع مولفه‌های مثبت و منفی متغیرها کمک می‌کند تا تاثیرات نامتقارن متغیرهای توضیحی در کوتاه‌مدت و بلندمدت شناسایی شود. در واقع خصوصیات ARDL[۹] غیرخطی این اجازه را به ما می‌دهد تا تحلیل مشترکی از مسایل مربوط به نامانایی و غیرخطی بودن در مدل تصحیح خطای نامقید[۱۰] داشته باشیم.

پیش از توسعه مدل NARDL، با فرض دو متغیر وابسته y و مستقل x رابطه بلندمدت زیر بر اساس مطالعه گرنجر و یون[۱۱] تعریف می‌شود[۱۱]:

$$y_t = \beta^+ x_t^+ + \beta^- x_t^- + u_t \quad (۴)$$

که در آن:

y_t و x_t : متغیرهای انباشته از مرتبه یک هستند.

$$x_t = x_. + x_t^+ + x_t^- \quad (۵)$$

به نحوی که:

$$x_t^+ = \sum_{j=1}^t \Delta x_j^+ = \sum_{j=1}^t Max(\Delta x_j, \cdot)$$

و (۶)

$$x_t^- = \sum_{j=1}^t \Delta x_j^- = \sum_{j=1}^t Min(\Delta x_j, \cdot)$$

که در این روابط:

x_t^+ و x_t^- : به زبان اقتصادی به ترتیب شوک‌های (تغییرات) منفی و مثبت در متغیرهای مستقل‌اند.

این رویکرد ساده برای مدل‌سازی نامتقارن هم‌انباشتگی بر اساس تجزیه مجموع تجمعی مولفه‌ها توسط شوردرت[۱۰] در زمینه رابطه غیرخطی بین بیکاری و تولید مطرح شد.

با توجه به تعریف گرنجر و یوان[۱۱]، هرگاه مولفه‌های مثبت و منفی آن‌ها با یکدیگر هم‌انباشته باشند، دو سری زمانی به طور نامتقارن هم‌انباشته‌اند. آن‌ها هم‌چنین نشان دادند که هم‌انباشتگی خطی استاندارد (متقارن)، حالت خاصی از هم‌انباشتگی پنهان است و هم‌انباشتگی پنهان مورد خاصی از هم‌انباشتگی نامتقارن است. رابطه هم‌انباشته خطی مولفه‌های مجموع تجمعی مثبت و منفی به صورت زیر خواهد بود:

$$\beta_0^+ = \beta_0^- \text{ و } \beta_1^+ = \beta_1^- \quad (۷)$$

اگر z_t انباشته از مرتبه صفر باشد، در اینصورت گفته می‌شود که y_t و x_t به صورت نامتقارن هم‌انباشته‌اند. چنانچه $\beta_1^+ = \beta_1^-$ و $\beta_0^+ = \beta_0^-$ باشد، در اینصورت هم انباشتگی متقارن خواهد بود [۱۰].

حال با در نظر گرفتن مولفه‌های مثبت و منفی که از رابطه ۷ استخراج شده است و وارد کردن آن در یک مدل ARDL(p,q)، به مدل NARDL(p,q)، به صورت زیر خواهیم رسید:

$$y_t = \sum_{j=1}^p \emptyset_j y_{t-j} + \sum_{j=0}^q (\theta_j^+ x_{t-j}^+ + \theta_j^- x_{t-j}^-) + \varepsilon_t \quad (۸)$$

که در آن:

p و q : تعداد وقفه‌های بهینه

$\emptyset_j$: ضرایب وقفه‌های متغیر وابسته

θ_j^+ و θ_j^- : ضرایب نامتقارن وقفه‌های متغیر مستقل

ε_t : جمله اخلال با میانگین صفر و واریانس ثابت (همسان) است.

با نوشتن مدل ARDL(p,q) به صورت مدل تصحیح خطا (ECM)[۱۲] معادله زیر حاصل می‌شود:

$$\Delta y_t = \mu + \rho y_{t-1} + \theta x_{t-1} + \sum_{j=0}^{p-1} \alpha_j \Delta y_{t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \pi_j \Delta x_{t-j} + \varepsilon_t \quad (۹)$$

در نهایت مدل تصحیح خطای نامتقارن (AECM) به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$\Delta y_t = \mu + \rho y_{t-1} + \theta^+ x_{t-1}^+ + \theta^- X_{t-1}^- + \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_j \Delta y_{t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} (\pi_j^+ \Delta X_{t-j}^+ + \pi_j^- \Delta X_{t-j}^-) + \varepsilon_t \quad (۱۰)$$

با استفاده از رابطه AECM[۱۳] ارایه شده در معادله ۱۰ می‌توان رابطه کوتاه‌مدت و بلندمدت (در صورت وجود) را به صورت هم‌زمان تخمین زد.

۴- داده‌ها و یافته‌های تحقیق

۴-۱- معرفی متغیرها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش برای مدل کوتاه‌مدت قیمت روزانه مس و آلومینیم است. همچنین از متغیرهای کنترلی شاخص دلار، قیمت نفت برنت، شاخص S&P500، قیمت آلومینا، قیمت نیکل استفاده شده است که به صورت روزانه از تاریخ اول ژانویه ۲۰۱۰ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۲۰ به تعداد ۲۸۷۰ مشاهده جمع‌آوری شده است. در ابتدا سری زمانی بازدهی این متغیرها به صورت زیر استخراج می‌شود:

$$r_t = \frac{p_t - p_{t-1}}{p_t} \times 100 \quad (۱۱)$$

که در آن:

r_t : بازدهی

p_t و p_{t-1} : به ترتیب شاخص قیمت روز جاری و روز قبل است.

لازم به ذکر است که متغیرهای پژوهش با بررسی تحقیقات و یافته‌های سایر محققان انتخاب شده‌اند. به عنوان نمونه، بونسیک و مورتو در مطالعه خود برای بررسی رفتار قیمت مس از متغیرهای قیمت نفت، نرخ ارز، شاخص S&P500 و موجودی انبار استفاده کرده‌اند [۱۴]. ها و همکاران در مطالعه خود از متغیرهای شاخص دلار و قیمت نفت برای بررسی رفتار قیمت مس استفاده کرده‌اند [۱۵]. همچنین سیلوا و گازمن نیز از متغیرهای قیمت نفت و شاخص S&P500 برای مدل‌سازی قیمت مس و سایر فلزات اساسی بهره جسته‌اند [۱۶] و متغیرهایی مانند شاخص تکنولوژی، شاخص تولیدات صنعتی و شاخص تولید خودرو برای ایجاد نوآوری در این مقاله استفاده شده‌اند.

علاوه بر مطالعات خارجی در ادامه، دلیل به کارگیری متغیرهای یاد شده به عنوان متغیر مستقل به طور خلاصه ارایه می‌شود:

- شاخص دلار

قیمت جهانی مس و دلار در بازارهای بین‌المللی بر اساس دلار قیمت‌گذاری می‌شود. با کاهش ارزش برابری دلار در مقایسه با سایر ارزهای معتبر (کاهش شاخص دلار)، قیمت مس و آلومینیم برای خریداران غیرآمریکایی ارزان‌تر می‌شود و تقاضای آنها برای دو محصول یاد شده افزایش و در نتیجه قیمت آنها افزایش می‌یابد. این وضعیت برای حالت افزایش شاخص دلار نتیجه معکوسی دارد.

- شاخص S&P500

در ادبیات اقتصادی، بازار سهام به عنوان نماگر وضعیت اقتصاد کشورها در کوتاه‌مدت (به دلیل عدم محاسبه GDP در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت) شناخته می‌شود، بنابراین بهبود شاخص سهام به منزله نشانه بهبود اوضاع اقتصادی قلمداد می‌شود. در اکثر مطالعات خارجی شاخص S&P500 آمریکا به عنوان نمانگر وضعیت اقتصاد جهانی در تحقیقات کاربردی استفاده می‌شود.

- قیمت نفت

در ادبیات اقتصاد بین‌الملل، تغییرات قیمت نفت از دو بعد کلان و خرد بر قیمت سایر محصولات تاثیر دارد. از بعد کلان افزایش قیمت نفت نشان از بهبود تقاضای جهانی است و از بعد خرد، از آنجایی که سوخت به عنوان نهاده مورد استفاده در صنایع به کار برده می‌شود، افزایش قیمت آن موجب افزایش بهای تمام شده محصولات و نشانه بروز تورم در اقتصاد جهانی است.

- قیمت آلومینا

پودر آلومینا یک ماده معدنی است که به عنوان نهاده اصلی تولید آلومینیم استفاده می‌شود.

- قیمت نیکل

در اقتصاد معدن، به دلیل کاربرد نیکل در صنایعی که از مس استفاده فراوانی می‌کنند، قیمت این محصول تاثیر محسوسی بر قیمت مس دارد. حتی برخی فلزات آلیاژی مانند کوپرنیکل از ترکیب مس و نیکل تولید می‌شوند.

در مدل بلندمدت (سالانه)، علاوه بر متغیرهای مدل روزانه از متغیرهای کنترلی شاخص تکنولوژی، شاخص تعداد خودرو تولید شده، رشد اقتصادی، شاخص تولیدات صنعتی استفاده شده است. این داده‌ها به صورت سالانه از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ جمع‌آوری شده‌اند.

در ادبیات اقتصادی اثر دو متغیر رشد اقتصادی و شاخص تولیدات صنعتی بر قیمت فلزات اساسی مانند مس و آلومینیم بدیهی است. در این پژوهش شاخص تعداد خودرو تولید شده معرف میزان تقاضا برای مس و آلومینیم است که به طور گسترده در صنعت خودروسازی (به ویژه خودروهای الکترونیکی) استفاده می‌شود. شاخص تکنولوژی نشان‌دهنده اثر تغییرات تکنولوژی بر میزان کاربری فلزات است. با بررسی تئوری‌های جدید مطرح شده در اقتصاد کلان مشاهده شد که یکی از تقریب‌های شاخص تکنولوژی، شاخص هزینه استفاده از حقوق مالکیت معنوی[۱۴] است که به صورت سالانه منتشر می‌شود. از این رو در این پژوهش این شاخص مورد استفاده قرار گرفت که داده‌های مربوط به آن از بانک داده‌های شاخص‌های توسعه جهانی[۱۳] جمع‌آوری شده است.

با توجه به اهمیت شاخص تکنولوژی، پیش از ورود به تجزیه و تحلیل داده‌ها در ادامه به تشریح مفهوم عملی شاخص تکنولوژی پرداخته می‌شود.

- شاخص تکنولوژی

در مدل‌های رشد اقتصادی (مانند رومر[۱۵] [۱۷]؛ آلوگوسوفیس[۱۶] [۱۸])، در تابع تولید کلان، «شاخص تکنولوژی» یا «شاخص توسعه و انتقال تکنولوژی» یکی از مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر رشد اقتصادی و همچنین تقاضا برای کالا و نهاده واسطه‌ای (مانند فلزات اساسی) است. با بررسی مولفه‌های اصلی این شاخص، مولفان (به ویژه آلوگوسوفیس، ۲۰۱۹) در سطح کلان (و نه خرد و درون صنعتی) شاخص هزینه استفاده از حقوق مالکیت معنوی را به عنوان تقریبی از شاخص توسعه تکنولوژی نامیدند. البته شاخص‌های دیگری نیز در این حوزه پیشنهاد شده اما بزرگترین محدودیت استفاده از آنها عدم دسترسی به داده‌های جهانی است. از سوی دیگر سازمان جهانی مالکیت فکری (WIPO)[۱۷] هر ساله شاخص هزینه استفاده از حقوق مالکیت معنوی را محاسبه و گزارش می‌دهد. در این ادبیات، به طور کلی تکنولوژی به دو بخش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تقسیم می‌شود. بخش سخت‌افزاری تکنولوژی از تجهیزات و ماشین‌آلات تشکیل شده و به عنوان نهاده سرمایه در تابع تولید کل آورده می‌شود، اما بخش نرم‌افزاری تکنولوژی ناشی از تراوشات فکری انسان است و حمایت از این بخش را «حقوق مالکیت معنوی» بر عهده دارد. حقوق مالکیت معنوی شامل مقرراتی است که حق بهره‌برداری مادی از یک فعالیت نو و مبتکرانه را ایجاد می‌کند و آن را مورد حمایت قرار می‌دهد. WIPO بر اساس توافق با سازمان ملل متحد به عنوان یک آژانس تخصصی، مسوول تسهیل انتقال تکنولوژی مربوط به مالکیت صنعتی، به کشورهای در حال رشد، برای سرعت بخشیدن به توسعه اقتصادی آنها عمل می‌کند. در یک تعریف ساده، توسعه و انتقال تکنولوژی حالت خاصی از دگرگونی تکنولوژیک است که در ۳ مرحله اختراع، نوآوری و انتشار انجام می‌گیرد. مالکیت‌های معنوی به حفظ و حمایت از تراوشات فکری، ابداعات، نوآوری‌ها و اختراعات می‌پردازد. مالکیت‌های یاد شده از جمله حقوقی است که در تمامی دنیا از سوی قانون‌گذار و عرف دارای اهمیت شناخته شده است. در اقتصادهای مبتنی بر تکنولوژی پیشرفته همچنان که سرمایه‌گذاران از نظر زمان، هزینه و سرمایه منتفع می‌شوند، در صورت حمایت مناسب از حقوق مالکیت معنوی آنان، کشورهای میزبان این تکنولوژی نیز به منافع بسیاری نائل خواهند شد. در مجموع می‌توان بیان داشت که امروزه حمایت از حقوق مالکیت معنوی برای نوآوران و مبدعان تکنولوژی برتر دنیا امری حیاتی و برای واردکنندگان این تکنولوژی مساله‌ای غیر قابل انکار است و در جهت تسهیل تجارت جهانی و توسعه بین‌المللی نه تنها گام مثبتی در جهت منافع انتقال‌دهندگان و انتقال‌گیرندگان تکنولوژی است بلکه می‌توان با دیدی عمیق‌تر و آینده‌نگری بیشتر آن را حرکتی جهانی در مسیر رفاه نوع بشر محسوب کرد.

در ادامه ابتدا نتایج مدل کوتاه‌مدت (روزانه--DECO GARCH) و سپس نتایج مدل بلندمدت (سالانه- NARDL) توضیح داده می‌شود.

۴-۲- نتایج تخمین مدل کوتاه‌مدت DECO-GARCH

۴-۲-۱- بررسی مانایی داده‌ها

یکی از شرایطی که قبل از تخمین مدل باید بررسی شود مانا بودن داده‌ها است. در این پژوهش با استفاده از آزمون دیکی- فولر تعمیم‌یافته[۱۸] به بررسی مانایی داده‌ها پرداخته شده است. نتایج حاصل شده در جدول ۱ ارایه شده است.

در این آزمون فرضیه صفر مبنی بر وجود ریشه واحد است. نتایج حاصل از آماره محاسبه شده و P-VALUE نشان‌دهنده رد فرضیه صفر است، بنابراین مانا بودن بازدهی داده‌ها تایید می‌شود.

۴-۲-۲- آزمون ARCH[۱۹]

برای بررسی وجود اثرات ARCH[۲۰] انجام آزمون ضریب لاگرانژ بر روی پسماندها بررسی می‌شود. نتایج آزمون اثر ARCH در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول۱: آزمون مانایی داده‌های کوتاه‌مدت به روش دیکی فولر تعمیم‌یافته

دیکی- فولر تعمیم‌یافته	بازدهی آلومینیوم	بازدهی نیکل	بازدهی مس	بازدهی آلومینا	بازدهی دلار	بازدهی S&P500	بازدهی نفت برنت
آماره‌ی t	-۵۵/۷۴۷	-۵۳/۶۶۲	-۵۴/۹۲۴	-۵۷/۰۵۱	-۵۲/۹۷۸	-۲۰/۴۵۸	-۵۲/۹۷۰
P-value	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۱

جدول۲: آزمون آرچ داده‌های کوتاه‌مدت

	بازدهی آلومینیوم	بازدهی نیکل	بازدهی مس	بازدهی آلومینا	بازدهی دلار	بازدهی S&P500	بازدهی نفت برنت
آماره‌ی F	۳۹/۷۲۴۰	۳۶/۷۰۹۳	۵۴/۶۶۴۱	۱۸۳/۷۴۰	۳۹/۴۱۵۷	۵۵۶/۷۹۳۵	۲۵۱/۰۶۲
P-VALUE	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
آماره χ^2	۳۹/۲۰۸۳	۳۶/۲۷۰۳	۵۳/۶۷۸۴	۱۷۲/۷۹۰	۳۸/۹۰۸۱	۴۶۶/۵۴۴۰	۲۳۱/۰۰۱
P-VALUE	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰

آزمون ضریب لاگرانژ که با وقفه‌ای معین بالاترین مقدار همبستگی پیاپی را مشخص می‌کند، نشان‌دهنده معناداری تمامی مقادیر به دست آمده اجزای اخلال است. با بررسی آماره F و χ^2 مشاهده شد که اثرات ARCH وجود دارد. به این معنی که واریانس جملات خطا خودهمبستگی دارند و اثرات ARCH وجود دارد، بنابراین می‌توان از مدل خانواده GARCH استفاده کرد.

۴-۲-۳- تخمین مدل DECO-GARCH

در این پژوهش، برای بررسی روابط کوتاه‌مدت از مدل DECO-GARCH چندمتغیره استفاده شده است. از این رو دو مدل جداگانه به تفکیک برای مس و آلومینیم برآورد شد که نتایج تخمین در جداول ۳ و ۴ آورده شده است.

جدول ۳ مدل DECO-GARCH برای بازدهی آلومینیم، بازدهی آلومینا، بازدهی نفت برنت، بازدهی دلار و بازدهی شاخص S&P500 را نشان می‌دهد. همچنین جدول ۴ مدل DECO-GARCH برای بازدهی مس، بازدهی نیکل، بازدهی دلار، بازدهی نفت برنت و بازدهی شاخص S&P500 است.

طبق جداول بالا مرحله اول بیان‌گر GARCH تک متغیره است. در این مرحله ضرایب ARCH و GARCH برای تمامی متغیرها معنادار است. مجموع ضرایب ARCH و GARCH بسیار نزدیک به یک است که این نشان می‌دهد که نوسانات در بازارها ماندگاری بالایی دارند و به هم پیوسته‌اند. مرحله دوم برآورد مدل DECO-GARCH است. در این مرحله متوسط ضریب همبستگی معنی‌دار است که بیان‌گر انتقال نوسانات بین بازارها است. پارامتر alpha در مدل دوم مثبت و معنی‌دار است که نشان‌دهنده اهمیت شوک در بازار است. معناداری پارامتر beta در هر دو مدل نیز به معنی وجود نوسانات در بازار است یعنی همبستگی‌ها بسیار وابسته به همبستگی‌های گذشته است. در هر دو مدل اثر سرریز یا انتقال‌پذیری وجود دارد و این اثر بیشتر در پارامتر beta قرار دارد، یعنی اثر سرریز در واریانس تغییرات آن‌ها قرار دارد. در واقع هر نوسانی در هر یک از متغیرها به صورت آنی بر نوسان سایر متغیرها اثر می‌گذارد.

۴-۳- نتایج تخمین مدل بلندمدت NARDL

۴-۳-۱- بررسی مانایی

در این پژوهش برای استفاده از مدل NARDL هیچ‌کدام از متغیرها نباید I(۲) باشند. بررسی مانایی داده‌ها با آزمون دیکی- فولر تعمیم‌یافته انجام شده است.

نتایج حاصل از جدول ۵، بیان‌گر عدم مانایی کلیه متغیرها در سطح است، بنابراین از همه متغیرها یک مرتبه تفاضل‌گیری شد و نتایج نشان داد که کلیه متغیرها مانا هستند.

۴-۳-۲- نتایج حاصل از برآورد الگوی غیرخطی بلندمدت آلومینیم

پس از بررسی مانایی متغیرهای سالانه، در ادامه با استفاده مدل NARDL به برآورد دو مدل مجزا برای مس و آلومینیم پرداخته می‌شود. نتایج برآورد در جداول ۶ و ۷ ارایه شده است[۲۱].

جدول ۳: نتایج برآورد مدل DECO-GARCH برای بازدهی آلومینیم، بازدهی آلومینا، بازدهی نفت برنت، بازدهی دلار، بازدهی S&P500

	بازدهی آلومینیوم	بازدهی آلومینا	بازدهی نفت برنت	بازدهی دلار	بازدهی S&P500
	مرحله اول: برآورد مدل GARCH یک متغیره				
ARCH(Alpha)	۰/۰۴۲۷۲۲ (۰/۰۰۶۹)	۰/۰۷۳۵۹۴ (۰/۰۰۰۲)	۰/۰۹۲۴۹۶ (۰/۰۰۰۰)	۰/۰۳۸۳۶۵ (۰/۰۰۰۰)	۰/۱۸۵۳۶۷ (۰/۰۰۰۰)
GARCH(Beta)	۰/۹۴۴۶۹۶ (۰/۰۰۰۰)	۰/۹۰۱۸۲۲ (۰/۰۰۰۰)	۰/۸۹۹۶۰۱ (۰/۰۰۰۰)	۰/۹۵۶۴۳۳ (۰/۰۰۰۰)	۰/۷۸۴۹۰۱ (۰/۰۰۰۰)
	مرحله دوم: برآورد مدل دکو				
متوسط ضریب همبستگی(rho)	۰/۰۶۰۹۷۲ (۰/۰۰۰)				
Alpha	۰/۰۱۶۲۰۵ (۰/۰۸۰۴)				
Beta	۰/۹۳۰۸۰۶ (۰/۰۰۰۰)				
Log-likelihood = -۲۱۵۰۲/۱۷۱					

جدول ۴: نتایج برآورد مدل DECO-GARCH برای بازدهی مس، بازدهی نیکل، بازدهی نفت برنت، بازدهی دلار، بازدهی S&P500

	بازدهی مس	بازدهی نیکل	بازدهی نفت برنت	بازدهی دلار	بازدهی S&P500
	مرحله اول: برآورد مدل GARCH یک متغیره				
ARCH(Alpha)	۰/۰۵۱۵ (۰/۰۰۰۱)	۰/۰۳۵۱۶ (۰/۰۲۴۴)	۰/۰۹۲۴۹۶ (۰/۰۰۰۰)	۰/۰۳۸۳۶۵ (۰/۰۰۰۰)	۰/۱۸۵۳۶۷ (۰/۰۰۰۰)
GARCH(Beta)	۰/۹۲۹۸ (۰/۰۰۰۰)	۰/۹۵۲۰۴ (۰/۰۰۰۰)	۰/۸۹۹۶۰۱ (۰/۰۰۰۰)	۰/۹۵۶۴۳۳ (۰/۰۰۰۰)	۰/۷۸۴۹۰۱ (۰/۰۰۰۰)
	مرحله دوم: برآورد مدل دکو				
متوسط ضریب همبستگی(rho)	۰/۰۳۵۵۹۸ (۰/۰۰۰۴)				
Alpha	۰/۰۱۶۷۴۹ (۰/۰۰۷۴)				
Beta	۰/۹۵۴۷۵۱ (۰/۰۰۰۰)				
Log-likelihood = -۲۰۶۶۴/۳۳۳					

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود:

- شوک مثبت قیمت آلومینا اثر مثبت و معناداری بر قیمت آلومینیم دارد، به این علت که آلومینا از مواد اولیه تولید آلومینیم است. در نتیجه افزایش قیمت آن موجب افزایش قیمت آلومینیم می‌شود.
- شوک منفی قیمت آلومینا نیز اثر مثبت و معناداری بر قیمت آلومینیم دارد. زمانی که عرضه آلومینیم در بازارهای جهانی کاهش یابد قیمت آن افزایش خواهد یافت، از طرفی کارخانه تولیدکننده آلومینیم تقاضاکننده آلومینا است که با کاهش تولید، تقاضای کارخانه برای آلومینا کاهش می‌یابد و افت تقاضا برای آلومینا موجب افت قیمت آن می‌شود.

جدول ۵: آزمون مانایی داده‌های بلندمدت به روش دیکی فولر

متغیر	آزمون دیکی فولر در سطح		آزمون دیکی فولر با یک بار تفاضل		
	کمیت بحرانی	احتمال	کمیت بحرانی	احتمال	
لگاریتم آلومینیوم	۰٫۰۳۷	۰٫۶۸۷	-۶٫۷۸۲	۰٫۰۰۰	I(1)
لگاریتم مس	۰٫۶۳۲	۰٫۸۴۷	-۴٫۳۳۳	۰٫۰۰۰	I(1)
لگاریتم نفت خام برنت	۰٫۰۹۸	۰٫۷۰۶	-۷٫۶۹۶	۰٫۰۰۰	I(1)
لگاریتم رشد اقتصادی جهانی	-۱٫۳۶۸	۰٫۱۵۴	-۳٫۸۵۹	۰٫۰۰۰	I(1)
لگاریتم شاخص تولیدات صنعتی	۱٫۳۵۸	۰٫۹۵۲	۲٫۲۲۴	۰٫۰۲۷	I(1)
لگاریتم شاخصS&P500	-۰٫۰۲۶	۰٫۶۶۵	-۵٫۷۷۳	۰٫۰۰۰	I(1)
لگاریتم قیمت نیکل	۰٫۲۰۰	۰٫۷۳۷	-۲٫۸۳۰	۰٫۰۰۶	I(1)
لگاریتم شاخص تولید خودرو	-۱٫۲۵۷	۰٫۱۸۷	-۲٫۷۴۳	۰٫۰۰۷	I(1)
لگاریتم شاخص تکنولوژی	۵٫۰۳۸	۱٫۰۰	-۲٫۳۰۶۸	۰٫۰۲۴۱	I(1)
لگاریتم آلومینا	-۰٫۶۱۳	۰٫۴۴۳	-۶٫۷۵۶	۰٫۰۰۰	I(1)

جدول ۶: نتیجه تخمین مدل NARDL بلندمدت برای آلومینیم

متغیرهای توضیحی		ضریب	t-statastic	سطح احتمال
شوک مثبت لگاریتم آلومینا	Lalumina-pos	۶٫۶۲۸	۲٫۳۴۲	۰٫۰۴۷
شوک منفی لگاریتم آلومینا	Lalumina-neg	۴٫۹۴۳	۳٫۳۰۹	۰٫۰۱۰۷
شوک مثبت لگاریتم شاخص تولید خودرو	Lautomobile-pos	-۱۲٫۸۴۲	۳٫۶۱۸	۰٫۰۰۶۸
شوک منفی لگاریتم شاخص تولید خودرو	Lautomobile-neg	۲۳٫۷۱۲	۵٫۰۲۷	۰٫۰۰۱۰
شوک مثبت لگاریتم رشد اقتصادی جهانی	Lworldgdp-pos	-۷٫۸۱۸	-۲٫۲۱۷	۰٫۰۵۷
شوک منفی لگاریتم رشد اقتصادی جهانی	Lworldgdp-neg	-۴٫۵۳۷	-۴٫۸۰۳	۰٫۰۰۱۳
شوک مثبت لگاریتم شاخص ۵۰۰s&p	Ls&p۵۰۰-pos	۱٫۴۶۳	۳٫۱۵۹	۰٫۰۱۳۴
شوک منفی لگاریتم شاخص ۵۰۰s&p	Ls&p۵۰۰-neg	-۰٫۵۴۱	-۰٫۹۰۲	۰٫۳۹۳۲
شوک مثبت لگاریتم شاخص تکنولوژی	Ltehcno-pos	-۱٫۹۷۱	-۰٫۶۳۴	۰٫۵۴۳۷
شوک منفی لگاریتم شاخص تکنولوژی	Ltechno-neg	-۸۷٫۱۱۰	-۳٫۳۱۵	۰٫۰۱۰۶
شوک مثبت قیمت نفت	LOIL_POS	۵٫۳۰۳	۲٫۵۹۸	۰٫۰۳۱۷
شوک منفی قیمت نفت	LOIL_NEG	-۲٫۱۵۸	-۲٫۲۶۵	۰٫۰۵۳۲

- شوک مثبت شاخص تولید خودرو اثر منفی معناداری بر قیمت آلومینیم دارد. طبق نظریه اتریشی بین صنعت خودروسازی و بازار جهانی آلومینیم، موجودی انبار قرار دارد. به این معنی که خودروسازها در یک دوره قبل از تولید خودرو به تکمیل موجودی انبار خود اقدام می‌کنند. به این صورت که خودروسازها در سال t-۱ برای تکمیل موجودی انبار خود تقاضایشان برای آلومینیم افزایش می‌یابد که این افزایش تقاضا موجب افزایش قیمت آلومینیم در همان سال می‌شود اما در سال t چون موجودی انبارشان تکمیل است تقاضایشان برای آلومینیم کاهش می‌یابد که موجب کاهش قیمت آلومینیم می‌شود و از طرفی به علت این که با موجودی انبارشان به تولید خودرو اقدام می‌کنند این شاخص افزایش می‌یابد.
- در مقابل شوک منفی شاخص تولید خودرو اثر مثبت و معناداری بر قیمت آلومینیم دارد. عمدتا شوک منفی در شاخص تولید خودرو در بحران‌های اقتصادی رخ می‌دهد. بخش عمده‌ای از تولید خودرو در جهان در اروپا و آمریکا است. در طی بحران‌ها در حالی که به علت بروز بحران، شاخص تولید خودرو کاهش یافته است به صورت هم‌زمان در یک بازه چندماهه قیمت آلومینیم نیز کاهش می‌یابد. در همین زمان برخی کشورهایی

که کمتر از بحران آسیب دیده‌اند به خرید آلومینیم در قیمت‌های پایین برای تکمیل موجودی انبار خود اقدام می‌کنند که این موجب افزایش قیمت آلومینیم می‌شود. به طور مثال در بحران‌های مالی و اقتصادی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۸ و ۲۰۲۰ کشور چین، در حالی که تولید جهانی خودرو کاهش پیدا کرده بود به خرید آلومینیم اقدام می‌کرد.

- شوک مثبت و منفی رشد اقتصادی جهانی هر دو اثر منفی و معناداری بر قیمت آلومینیم دارند. در تحلیل ضرایب این متغیر می‌توان بیان داشت که یک دوره پیش از ایجاد شوک مثبت در رشد اقتصاد جهانی، چشم‌انداز جهانی برای رشد اقتصاد جهانی تقویت می‌شود و بسیاری از بنگاه‌ها اقدام به تقویت موجودی انبار خود می‌کنند، اما به محض رخ دادن شوک مثبت در رشد اقتصاد جهانی، به علت تکمیل بودن موجودی انبارشان تقاضایشان برای آلومینیم کاهش می‌یابد که به دنبال آن قیمت آلومینیم نیز کاهش می‌یابد.
- شوک مثبت لگاریتم شاخص S&P500 اثر مثبت و معناداری بر قیمت آلومینیم دارد. طبق نظریه انتظارات عقلایی وقتی انتظار افزایش قیمت آلومینیم وجود داشته باشد، تقاضا برای آن افزایش می‌یابد که موجب افزایش قیمت آن می‌شود.
- شوک منفی لگاریتم شاخص تکنولوژی اثر منفی و معناداری بر قیمت آلومینیم دارد. به گونه‌ای که یک درصد افزایش در شاخص تکنولوژی باعث ۸۷٫۱۱۰ درصد کاهش در قیمت آلومینیم می‌شود.
- شوک مثبت لگاریتم قیمت نفت اثر مثبت معناداری بر قیمت آلومینیم دارد که دلیل آن را می‌توان به اثر تورمی ناشی از افزایش بهای تمام شده محصولات نسبت داد.
- شوک منفی لگاریتم قیمت نفت اثر منفی معناداری بر قیمت آلومینیم دارد که معکوس تحلیل ارایه شده در بالا است.

۴-۳-۳- نتایج حاصل از برآورد الگوی غیرخطی کوتاه‌مدت آلومینیم

مدل NARDL از یک نمونه تنظیم شده از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ (یعنی شامل ۲۸ مشاهده پس از تنظیمات) با حداکثر تاخیر ۱ بار با استفاده از انتخاب خودکار، استفاده کرده و مدل بدون روند و عرض از مبدا است.

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود:

- در کوتاه‌مدت شوک مثبت قیمت آلومینا باعث افزایش قیمت آلومینیم می‌شود. با توجه به این که آلومینا ماده اولیه تولید آلومینیم است این امر قابل توجیه است.
- شوک منفی قیمت آلومینا باعث کاهش قیمت آلومینیم در کوتاه‌مدت می‌شود، اما شوک منفی در قیمت آلومینا با یک وقفه موجب افزایش قیمت آلومینیم می‌شود. وقتی یک شوک منفی در قیمت
- آلومینا در زمان t-۱ رخ می‌دهد، در همان دوره قیمت آلومینیم نیز کاهش می‌یابد، اما با گذشت یک دوره در زمان t اثر این شوک کاهش و مجددا قیمت آلومینیم افزایش می‌یابد.
- شوک مثبت شاخص تولید خودرو اثر منفی معناداری بر قیمت آلومینیم دارد. تحلیل این اثر مشابه تحلیل اثر بلندمدت آن است.
- شوک منفی شاخص تولید خودرو اثر مثبت معناداری بر قیمت آلومینیم دارد. تحلیل این اثر مشابه تحلیل اثر بلندمدت آن است.
- شوک مثبت رشد اقتصادی جهانی تاثیر معناداری بر قیمت آلومینیم ندارد، اما شوک مثبت در وقفه آن اثر منفی و معناداری بر قیمت آلومینیم دارد. وقتی سال قبل شوک مثبت در رشد اقتصاد جهانی اتفاق افتاده است تقاضا برای آلومینیم نیز افزایش‌یافته، اما بعد از یک دوره تقاضا کاهش‌یافته و قیمت آلومینیم کاهش می‌یابد.
- شوک منفی رشد اقتصاد جهانی تاثیر منفی معناداری بر قیمت آلومینیم دارد.
- شوک مثبت شاخص S&P500 اثر مثبت معناداری بر قیمت آلومینیم دارد. تحلیل این اثر مشابه تحلیل اثر بلندمدت آن است.
- شوک منفی شاخص S&P500 اثر منفی معناداری بر قیمت آلومینیم دارد. تحلیل این مورد نیز طبق نظریه انتظارات عقلایی است. البته وقفه آن اثر مثبت معنادار بر قیمت آلومینیم دارد که علت این است که پس از یک دوره، انتظار کاهش قیمت تعدیل می‌شود و در نتیجه تقاضا برای آلومینیم و قیمت آن نیز افزایش می‌یابد.
- شوک منفی شاخص تکنولوژی با یک وقفه اثر منفی معنادار بر قیمت آلومینیم دارد. وقتی به طور مثال در سال قبل رشد اقتصاد جهانی منفی می‌شود مخارج

جدول ۷: نتیجه تخمین مدل NARDL کوتاه‌مدت برای آلومینیم

متغیرهای توضیحی		ضریب	t-statastic	سطح احتمال
شوک مثبت قیمت آلومینا	LALUMINA_POS	۰٫۴۰۰	۳٫۰۶۹	۰٫۰۱۵
شوک مثبت قیمت آلومینا با وقفه یک	LALUMINA_POS(-۱)	۰٫۳۲۸	۱٫۶۳۶	۰٫۱۴۰
شوک منفی قیمت آلومینا	LALUMINA_NEG	-۰٫۲۴۳	-۱٫۹۸۶	۰٫۰۸۲
شوک منفی قیمت آلومینا با وقفه یک	LALUMINA_NEG(-۱)	۰٫۷۸۷	۶٫۰۹۹	۰٫۰۰۰
شوک مثبت شاخص تولید خودرو	LAUTOMOBILE_POS	-۱٫۴۱۲	-۴٫۳۰۴	۰٫۰۰۲
شوک منفی شاخص تولید خودرو	LAUTOMOBILE_NEG	۲٫۶۰۸	۷٫۱۳۵	۰٫۰۰۰
شوک مثبت رشد اقتصادی جهانی	LWORLDGDP_POS	۰٫۰۵۷	۰٫۳۰۲	۰٫۷۷۰
شوک مثبت رشد اقتصادی جهانی با وقفه یک	LWORLDGDP_POS(-۱)	-۰٫۹۱۷	-۴٫۸۹۹	۰٫۰۰۱
شوک منفی رشد اقتصادی جهانی	LWORLDGDP_NEG	-۰٫۴۹۹	-۳٫۹۸۶	۰٫۰۰۴
شوک مثبت شاخص S&P500	LS&P۵۰۰_POS	۰٫۱۶۱	۲٫۶۹۵	۰٫۰۲۷
شوک منفی شاخص S&P500	LS&P۵۰۰_NEG	-۰٫۱۸۷	-۲٫۴۲۳	۰٫۰۴۱
شوک منفی شاخص S&P500 با وقفه یک	LS&P۵۰۰_NEG(-۱)	۰٫۱۲۸	۲٫۳۳۲	۰٫۰۴۷
شوک مثبت شاخص تکنولوژی	LTECHNO_POS	-۰٫۲۱۶	-۰٫۶۰۲	۰٫۵۶۳
شوک منفی شاخص تکنولوژی	LTECHNO_NEG	-۲٫۶۳۸	-۱٫۴۸۶	۰٫۱۷۵
شوک منفی شاخص تکنولوژی با وقفه یک	LTECHNO_NEG(-۱)	-۶٫۹۴۵	-۳٫۳۳۱	۰٫۰۱۰
شوک مثبت قیمت نفت	LOIL_POS	۰٫۲۳۶	۱٫۵۳۷	۰٫۱۶۲
شوک مثبت قیمت نفت با وقفه یک	LOIL_POS(-۱)	۰٫۳۴۷	۳٫۰۲۵	۰٫۰۱۶
شوک منفی قیمت نفت	LOIL_NEG	۰٫۱۲۹	۱٫۰۳۷	۰٫۳۲۹
شوک منفی قیمت نفت با وقفه یک	LOIL_NEG(-۱)	-۰٫۳۶۷	-۲٫۲۰۵	۰٫۰۵۸

پروژه‌های تحقیقاتی به شدت افت پیدا می‌کند و در نتیجه اثر منفی بر شاخص تولید خودرو می‌گذارد و به دنبال آن تقاضا برای آلومینیم و قیمت آلومینیم کاهش می‌یابد.

- شوک مثبت قیمت نفت اثر مثبت محدودی بر قیمت آلومینیم دارد. وقفه آن نیز اثر مثبت معناداری بر قیمت آلومینیم دارد.
- شوک منفی قیمت نفت اثر معناداری بر قیمت آلومینیم ندارد، اما وقفه آن اثر منفی معناداری بر قیمت آلومینیم دارد.

۴-۳-۴- آزمون‌های تشخیصی غیرخطی آلومینیم

طبق جدول ۸، با توجه به سطوح احتمال و آماره‌های آزمون‌های انجام شده، عدم وجود خودهمبستگی و ناهمسانی واریانس در مدل تایید می‌شود. همچنین مدل توزیع نرمال دارد. با توجه به نتایج حاصل از آزمون رمزی می‌توان گفت الگو فرم تبعی مناسبی دارد.

جدول ۸: آزمون‌های تشخیصی غیرخطی برای مدل NARDL آلومینیم

	آماره آزمون	سطح احتمال
آزمون خودهمبستگی بریوش- گادفری	۹٫۵۴۵	۰٫۰۹۴
آزمون ناهمسانی واریانس بریوش- پاگان- گادفری	۰٫۵۶۷	۰٫۸۱۸
آزمون نرمال بودن جملات پسماند(جارک برا)	۰٫۹۷۰	۰٫۶۱۵
آزمون شناسایی شکل تبعی مدل رمزی	۲٫۷۵۴۰	۰٫۱۴۱۰

۴-۳-۵- نتایج مدل تصحیح خطا (ECM) آلومینیم

مطابق نتایج به دست آمده از جدول ۹، ضریب تصحیح خطا معنی‌دار و برابر ۰٫۱۱۰- است. با توجه به این که ضریب بین صفر و منفی یک است، وجود رابطه هم‌جمعی و بلندمدت بین متغیرها تایید می‌شود. از آنجایی که ضریب تصحیح خطا منفی است، بیان‌گر سرعت تصحیح خطا و میل به تعادل

بلندمدت خواهد بود. این ضریب نشان می‌دهد که در صورت وارد آمدن شوک و انحراف از تعادل، در هر دوره به میزان ۱۱ درصد از عدم تعادل کوتاه‌مدت در یک دوره نسبت به دوره قبل برای رسیدن به تعادل بلندمدت تعدیل می‌شود و حدود ۹ دوره طول خواهد کشید تا اثر شوک به طور کامل تعدیل شود.

۴-۳-۶- نتایج حاصل از برآورد الگوی غیرخطی بلندمدت مس

همان‌طور که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود:

- اثر کلی شوک‌های شاخص تولیدات صنعتی بر قیمت مس مثبت است. در زمان t شوک مثبت در شاخص تولیدات صنعتی رخ می‌دهد، اما بنگاه‌ها در سال t-۱ برای تکمیل موجودی انبار خود تقاضایشان برای مس افزایش می‌یابد که این افزایش تقاضا موجب افزایش قیمت مس در همان سال می‌شود، اما در سال t چون موجودی انبارشان تکمیل است تقاضایشان برای مس کاهش می‌یابد که موجب کاهش قیمت مس می‌شود. در مقابل شوک منفی لگاریتم شاخص توسعه صنعتی اثر مثبت و معناداری بر لگاریتم قیمت مس دارد.
- شوک منفی لگاریتم قیمت نیکل اثر مثبت و معناداری بر قیمت مس دارد. نیکل یکی از آلیاژهایی است که به همراه مس در تولید بسیاری از کالاهای واسطه‌ای استفاده می‌شود. وقتی قیمت نیکل کاهش می‌یابد سیگنالی به بازار می‌دهد که هزینه تمام شده تولید کالای واسطه‌ای کاهش پیدا کرده است و در نتیجه تقاضا برای نیکل افزایش می‌یابد، اما چون برای تولید

جدول ۹ : نتایج مدل تصحیح خطا (ECM) آلومینیم

متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره t	احتمال
D(LWORLDGDP-POS)	۰٫۰۵۷	۰٫۰۶۶	۰٫۸۵۷	۰٫۴۱۶
D(LSP500-NEG)	-۰٫۱۸۷	۰٫۰۱۹	-۹٫۸۴۸	۰٫۰۰۰
D(LTECHNO-NEG)	-۲٫۶۳۸	۰٫۷۴۸	-۳٫۵۲۲	۰٫۰۰۷
D(LALUMINA-POS)	۰٫۴۰۰	۰٫۰۵۴	۷٫۴۱۵	۰٫۰۰۰
D(LALUMINA-NEG)	-۰٫۲۴۳	۰٫۰۴۳	-۵٫۵۵۳	۰٫۰۰۰
D(LOIL-POS)	۰٫۲۳۶	۰٫۰۵۰	۴٫۶۳۹	۰٫۰۰۱
D(LOIL-NEG)	۰٫۱۲۹	۰٫۰۵۳	۲٫۴۲۸	۰٫۰۴۱
ECM(-1)	-۰٫۱۱۰	۰٫۰۰۶	-۱۵٫۸۱۲	۰٫۰۰۰

جدول ۱۰: نتیجه تخمین مدل NARDL بلندمدت مس

متغیرهای توضیحی		ضریب	t-statastic	سطح احتمال
شوک مثبت لگاریتم شاخص تولیدات صنعتی	LHOUSING-POS	-۷٫۳۵۵	-۳٫۳۹۳	۰٫۰۱۹۴
شوک منفی لگاریتم شاخص تولیدات صنعتی	LHOUSING-NEG	۲۲٫۳۶۸	۴٫۲۳۴	۰٫۰۰۸۲
شوک مثبت لگاریتم قیمت نیکل	LNICKEL-POS	۰٫۵۱۲	۰٫۵۱۵	۰٫۶۲۸۲
شوک منفی لگاریتم قیمت نیکل	LNICKEL-NEG	۳٫۲۰۴	۴٫۴۶۷	۰٫۰۰۶۶
شوک مثبت لگاریتم شاخص S&P500	LSP500-POS	-۰٫۰۳۹	-۰٫۰۷۵	۰٫۹۴۲۴
شوک منفی لگاریتم شاخص S&P500	LSP500-NEG	-۲٫۸۰۷	-۱۲٫۶۳۳	۰٫۰۰۰۱
شوک مثبت لگاریتم رشد اقتصادی جهانی	LWORLDGDP-POS	۰٫۰۹۳	۰٫۱۳۱	۰٫۹۰۰۸
شوک منفی لگاریتم رشد اقتصادی جهانی	LWORLDGDP-NEG	-۲٫۱۱۱	-۳٫۰۰۹	۰٫۰۲۹۸
شوک مثبت لگاریتم شاخص تکنولوژی	LTECHNO-POS	-۶٫۲۴۶	-۴٫۱۷۴	۰٫۰۰۸۷
شوک منفی لگاریتم شاخص تکنولوژی	LTECHNO-NEG	-۱۹٫۷۳۷	-۲٫۵۶۸	۰٫۰۵۰۱
شوک مثبت لگاریتم قیمت نفت برنت	LBRENTOIL-POS	۱٫۰۴۸	۱٫۷۰۸	۰٫۱۴۸۳
شوک منفی لگاریتم قیمت نفت برنت	LBRENTOIL-NEG	-۳٫۹۵۰	-۴٫۸۷۱	۰٫۰۰۴۶

محصول به طور هم‌زمان مس نیز نیاز است پس به اجبار تقاضا برای مس نیز افزایش می‌یابد که موجب افزایش قیمت مس می‌شود.

- شوک منفی لگاریتم شاخص S&P500 اثر منفی و معناداری بر قیمت مس دارد. طبق نظریه انتظارات عقلایی وقتی انتظار کاهش قیمت مس وجود داشته باشد، تقاضا برای مس کاهش می‌یابد که موجب کاهش قیمت آن می‌شود.
- شوک منفی لگاریتم رشد اقتصادی جهانی اثر منفی و معناداری بر قیمت مس دارد.
- شوک مثبت لگاریتم شاخص تکنولوژی اثر منفی و معناداری بر قیمت مس دارد. با پیشرفت تکنولوژی و اختراعات جدید برخی از محصولات پتروشیمی مانند پلاستیک به علت وزن کم جایگزین مس در بسیاری از صنایع می‌شوند. همچنین بخش عمده‌ای از پیشرفت تکنولوژی مربوط به صنعت بازیافت است. با پیشرفت صنعت بازیافت تقاضا برای مس کاهش می‌یابد، زیرا به جای خود مس از قراضه مس استفاده می‌شود. این موارد باعث می‌شوند تقاضا برای مس کاهش یابد و در نتیجه قیمت آن کاهش می‌یابد.
- شوک منفی لگاریتم شاخص تکنولوژی اثر منفی معنادار بر قیمت مس دارد.
- شوک مثبت لگاریتم قیمت نفت اثر مثبت محدودی بر قیمت مس دارد. شوک منفی لگاریتم قیمت نفت اثر منفی و معناداری بر قیمت مس دارد.

۴-۳-۷- نتایج حاصل از برآورد الگوی غیرخطی کوتاه‌مدت مس

مدل NARDL از یک نمونه تنظیم شده از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ (یعنی شامل ۲۸ مشاهده پس از تنظیمات) با حداکثر تاخیر ۱ بار با استفاده از انتخاب خودکار، استفاده کرده است. این مدل همچنین بدون روند و عرض از مبدا است.

همان‌طور که در جدول ۱۱ مشاهده می‌شود:

- شوک مثبت لگاریتم شاخص تولیدات صنعتی اثر مثبت معنادار بر قیمت مس دارد. به این علت که با رشد این شاخص، تقاضا برای مس و در نتیجه قیمت مس افزایش می‌یابد.
- وقفه شوک مثبت لگاریتم شاخص تولیدات صنعتی اثر منفی معنادار بر قیمت مس دارد. وقتی در زمان t-۱ شوک مثبت در شاخص تولیدات صنعتی رخ می‌دهد، در همان زمان بنگاه‌ها به تکمیل موجودی انبار خود اقدام می‌کنند و قیمت مس به علت افزایش تقاضا افزایش می‌یابد، اما در یک دوره بعد یعنی زمان t چون موجودی انبارشان تکمیل است تقاضایشان برای مس کاهش‌یافته و قیمت آن کم می‌شود.
- شوک مثبت قیمت نیکل در کوتاه‌مدت باعث افزایش قیمت مس می‌شود، اما وقفه آن باعث کاهش قیمت مس می‌شود. به علت این که افزایش قیمت نیکل در دوره t-۱ موجب افزایش قیمت مس در همان دوره شده است اما بعد از گذشت یک دوره در زمان t به علت تکمیل موجودی انبارها، تقاضا برای مس افت می‌کند و در نتیجه قیمت مس کاهش می‌یابد.
- شوک منفی در قیمت نیکل در کوتاه‌مدت نیز باعث افزایش قیمت مس می‌شود. تحلیل آن مشابه تحلیل بلندمدت آن است.
- شوک مثبت در لگاریتم شاخص S&P500 اثر معنادار بر قیمت مس در کوتاه‌مدت ندارد، اما وقفه آن اثر منفی بر قیمت مس دارد. به این علت که اثر انتظار عقلایی دوره قبل، در دوره فعلی از بین رفته است و مجدد تقاضا برای مس و قیمت آن نیز افزایش می‌یابد.
- شوک منفی در لگاریتم شاخص S&P500 موجب کاهش قیمت مس می‌شود. شوک منفی در وقفه آن نیز اثر منفی بر قیمت آلومینیم دارد که علت آن رفتارهای ریسک‌گریزی سرمایه‌گذاران است.
- شوک مثبت در لگاریتم رشد اقتصادی جهانی اثر معناداری بر قیمت مس در کوتاه‌مدت ندارد، اما شوک منفی در لگاریتم رشد اقتصادی جهانی موجب کاهش قیمت مس می‌شود و اثر وقفه آن بر قیمت مس مثبت است. به علت این که شوک منفی در سال گذشته رخ داده است و امسال چون وضعیت در حال بهبود است پس تقاضا برای مس و قیمت مس افزایش می‌یابد. به طور مثال در سال ۲۰۲۰ در پی بحران کرونا، قیمت مس نیز کاهش پیدا کرده بود، اما در سال ۲۰۲۱ تقاضا برای مس و قیمت مس افزایش یافت.
- شوک مثبت شاخص تکنولوژی فاقد اثر معنادار بر قیمت مس است، اما وقفه آن اثر منفی بر قیمت مس دارد.
- شوک منفی شاخص تکنولوژی اثر منفی بر قیمت مس دارد و وقفه آن فاقد اثر معنادار است.

جدول ۱۱: نتیجه تخمین مدل NARDL کوتاه‌مدت مس

متغیرهای توضیحی		ضریب	t-statastic	سطح احتمال
شوک مثبت لگاریتم شاخص تولیدات صنعتی	LHOUSING_POS	۳٫۳۹۰	۲٫۳۹۴	۰٫۰۶۲۱
شوک مثبت لگاریتم شاخص تولیدات صنعتی با وقفه ۱	LHOUSING_POS(-۱)	-۶٫۱۴۶	-۲٫۴۲۰	۰٫۰۶۰۰
شوک منفی لگاریتم شاخص توسعه صنعتی	LHOUSING_NEG	۸٫۳۸۰	۱٫۹۸۶	۰٫۱۰۳۷
شوک مثبت لگاریتم قیمت نیکل	LNICKEL_POS	۱٫۳۲۸	۴٫۲۳۹	۰٫۰۰۸۲
شوک مثبت لگاریتم قیمت نیکل با وقفه ۱	LNICKEL_POS(-۱)	-۱٫۱۳۶	-۴٫۶۱۷	۰٫۰۰۵۸
شوک منفی لگاریتم قیمت نیکل	LNICKEL_NEG	۱٫۲۰۰	۳٫۲۲۸	۰٫۰۲۳۲
شوک مثبت لگاریتم شاخص S&P500	LSP500_POS	۰٫۴۰۶	۲٫۲۵۹	۰٫۰۷۳۴
شوک مثبت لگاریتم شاخص S&P500 با وقفه ۱	LSP500_POS(-۱)	-۰٫۴۲۰	-۴٫۴۰۰	۰٫۰۰۷۰
شوک منفی لگاریتم شاخص S&P500	LSP500_NEG	-۰٫۶۷۷	-۳٫۲۱۹	۰٫۰۲۳۵
شوک منفی لگاریتم شاخص S&P500 با وقفه۱	LSP500_NEG(-۱)	-۰٫۳۷۴	-۲٫۳۹۷	۰٫۰۶۱۸
شوک مثبت لگاریتم رشد اقتصادی جهانی	LWORLDGDP_POS	۰٫۰۳۴	۰٫۱۳۳	۰٫۸۹۸۶
شوک منفی لگاریتم رشد اقتصادی جهانی	LWORLDGDP_NEG	-۱٫۳۲۹	-۳٫۰۰۳	۰٫۰۳۰۰
شوک منفی لگاریتم رشد اقتصادی جهانی با وقفه۱	LWORLDGDP_NEG(-۱)	۰٫۵۳۸	۲٫۸۶۴	۰٫۰۳۵۲
شوک مثبت لگاریتم شاخص تکنولوژی	LTECHNO_POS	-۱٫۱۱۲	-۱٫۷۸۸	۰٫۱۳۳۸
شوک مثبت لگاریتم شاخص تکنولوژی با وقفه ۱	LTECHNO_POS(-۱)	-۱٫۲۲۸	-۲٫۳۲۵	۰٫۰۶۷۶
شوک منفی لگاریتم شاخص تکنولوژی	LTECHNO_NEG	-۳٫۸۱۸	-۲٫۰۲۶	۰٫۰۹۸۵
شوک منفی لگاریتم شاخص تکنولوژی با وقفه ۱	LTECHNO_NEG(-۱)	-۳٫۵۷۶	-۱٫۸۴۳	۰٫۱۲۴۵
شوک مثبت لگاریتم قیمت نفت برنت	LBRENTOIL_POS	۰٫۵۲۹	۱٫۷۶۹	۰٫۱۳۷۱
شوک مثبت لگاریتم قیمت نفت برنت با وقفه ۱	LBRENTOIL_POS(-۱)	-۰٫۱۳۶	-۱٫۱۵۰	۰٫۳۰۱۹
شوک منفی لگاریتم قیمت نفت برنت	LBRENTOIL_NEG	-۰٫۹۷۱	-۲٫۴۲۰	۰٫۰۶۰۱
شوک منفی لگاریتم قیمت نفت برنت با وقفه ۱	LBRENTOIL_NEG(-۱)	-۰٫۵۰۸	-۲٫۰۶۹	۰٫۰۹۳۳

- شوک منفی در قیمت نفت اثر منفی بر قیمت مس دارد و وقفه آن نیز اثر منفی بر قیمت مس دارد.

۴-۳-۸- آزمون‌های تشخیصی غیرخطی مس

طبق جدول ۱۲، با توجه به سطوح احتمال و آماره‌های آزمون‌های انجام شده، عدم وجود خودهمبستگی و ناهمسانی واریانس در مدل تایید می‌شود. همچنین مدل توزیع نرمال دارد. با توجه به نتایج حاصل از آزمون رمزی می‌توان گفت الگو فرم تبعی مناسبی دارد.

جدول ۱۲: آزمون تشخیصی غیرخطی برای مدل NARDL مس

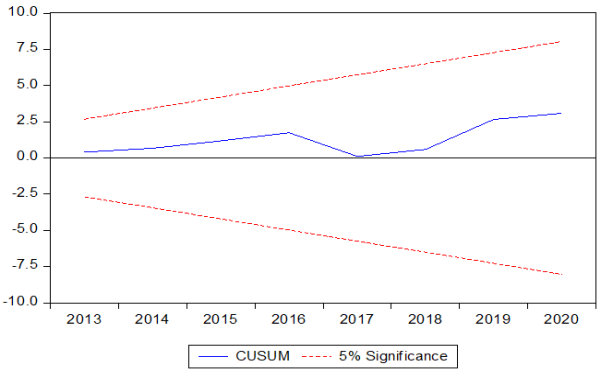
	آماره آزمون	سطح احتمال
آزمون خودهمبستگی بریوش-گادفری	۳٫۰۷۶	۰٫۱۵۴
آزمون ناهمسانی واریانس بریوش-پاگان-گادفری	۰٫۴۴۰	۰٫۹۰۷
آزمون نرمال بودن جملات پسماند (جارک برا)	۰٫۶۰۴	۰٫۷۳۹
آزمون شناسایی شکل تبعی مدل رمزی	۳٫۰۷۸	۰٫۱۵۴۲

۴-۳-۹- نتایج مدل تصحیح خطا (ECM) مس

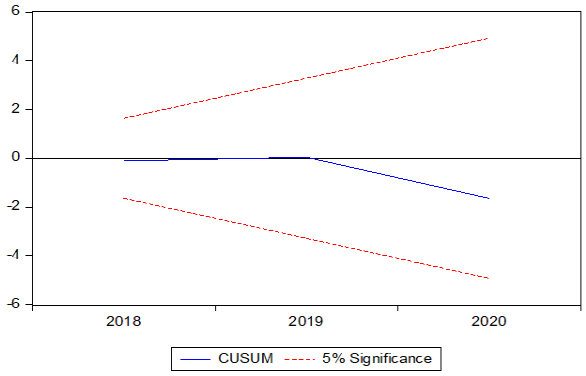
مطابق نتایج به دست آمده از جدول ۱۳، ضریب تصحیح خطا معنی‌دار و برابر ۰٫۱۴۸- است. با توجه به این که ضریب بین صفر و منفی یک است، وجود رابطه هم‌جمعی و بلندمدت بین متغیرها تایید می‌شود. از آنجایی که ضریب تصحیح خطا منفی است، بیان‌گر سرعت تصحیح خطا و میل به تعادل بلندمدت خواهد بود. این ضریب نشان می‌دهد که در صورت وارد آمدن شوک و انحراف از تعادل، در هر دوره به میزان ۱۴٫۸ درصد از عدم تعادل کوتاه‌مدت در یک دوره نسبت به دوره قبل برای رسیدن به تعادل بلندمدت تعدیل می‌شود و مدل پس از ۶٫۵ دوره به تعادل بلندمدت باز می‌گردد.

جدول ۱۳: نتایج مدل تصحیح خطا (ECM) مس

متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره t	احتمال
D(LHOUSING-POS)	۱٫۲۵۳	۱٫۰۴۶	۱٫۱۹۷	۰٫۲۸۴
D(LNICKEL-POS)	۰٫۹۰۹	۰٫۱۹۳	۴٫۷۱۱	۰٫۰۰۵
D(LSP500-POS)	۰٫۲۲۰	۰٫۰۸۴	۲٫۶۰۵	۰٫۰۴۷
D(LSP500-NEG)	-۰٫۴۰۰	۰٫۱۶۱	-۲٫۴۷۳	۰٫۰۵۶
D(LWORLDGDP-NEG)	-۰٫۵۱۵	۰٫۲۲۵	-۲٫۲۹۰	۰٫۰۷۰
D(LTECHNO-POS)	-۰٫۴۷۲	۰٫۵۹۲	-۰٫۷۹۶	۰٫۴۶۱
D(LTECHNO-NEG)	۰٫۹۹۲	۲٫۱۷۲	۰٫۴۵۶	۰٫۶۶۶
D(LBRENTOIL-POS)	-۰٫۰۲۱	۰٫۱۵۷	-۰٫۱۳۶	۰٫۸۹۶
D(LBRENTOIL-NEG)	-۰٫۱۵۸	۰٫۲۲۹	-۰٫۶۸۹	۰٫۵۲۱
ECM(-1)	-۰٫۱۴۸	۰٫۰۴۸	-۳٫۰۴۵	۰٫۰۲۸



شکل۱: آزمون پسماند تجمعی مدل آلومینیم



شکل۲: آزمون پسماند تجمعی مدل مس

۴-۳-۱۰- آزمون پسماند تجمعی مدل آلومینیم و مس

از آزمون مجموع تراکمی خطاهای بازگشتی(CUSUM)[۲۲] برای بررسی ثبات کوتاه‌مدت و بلندمدت الگو به طور همزمان استفاده می‌شود. در صورتی که شکل آماری، نقاط مرزی را در سطح اطمینان ۹۵٪ قطع نکند، فرضیه صفر مبنی بر باثبات بودن الگوی تحقیق قابل پذیرش است. نتیجه این آزمون مطابق شکل‌های ۱ و ۲ حاکی از باثبات بودن الگوی تحقیق است.

۵- نتیجه‌گیری

در دنیای امروز، نقش و جایگاه فلزات اساسی در معادلات رشد و توسعه اقتصادی کشورها نقش اساسی دارد. سرمایه‌گذاری به عنوان موتور رشد اقتصادی کشورها در تمام ابعاد خود (اعم از توسعه زیرساخت‌ها، تولیدات صنعتی، تولیدات کارخانه‌ای، صنعت ساخت و ساز و نظایر آن) نیاز مبرمی به دسترسی کافی به فلزات اساسی دارد. در این بین فلزاتی مانند مس و آلومینیم به دلیل قابلیت‌های فراوان، دوستی با محیط زیست و هم‌حرکتی با تحولات تکنولوژی (جایگزینی با سایر محصولات انرژی‌بر و آلاینده) و ملاحظات محیط زیستی نقش اساسی در این حوزه دارد. از این رو بررسی عوامل موثر بر رفتار قیمتی جهانی این دو فلز چه در بازه‌های کوتاه‌مدت (که مد نظر سرمایه‌گذاران در بازارهای مالی و بازرگانی خارجی) و چه در بازه‌های بلندمدت (که مدنظر سیاستگذاران و صاحب صنایع برای تدوین استراتژی‌های تولید و مصرف) حایز اهمیت است. از این رو در پژوهش حاضر تلاش گردید تا با بهره‌گیری از مدل‌های توسعه‌یافته کوتاه‌مدت که بیشتر بر انتقال‌پذیری قیمت‌ها در بازارها تاکید دارد (مدل DECO-GARCH) و مدل‌های بلندمدت که بر اثرگذاری نامتقارن، غیرخطی و متفاوت شوک‌های مثبت و منفی تاکید دارد (مدل ARDL غیرخطی)

به بررسی این عوامل پرداخته شود. نتایج حاصل از برآورد مدل DECO-GARCH نشان می‌دهد که در کوتاه‌مدت قیمت نفت، شاخص دلار، قیمت بازارهای فلزات موازی مانند نیکل، قیمت آلومینا و شاخص سهام تاثیر معناداری بر قیمت جهانی مس و آلومینیم دارند و وجود اثر سرریز نیز تایید می‌شود. به صورتی که نوسان در قیمت هر یک از بازارها به صورت آنی بر نوسان سایر بازارها اثر می‌گذارد. همچنین بر اساس نتایج مدل NARDL قیمت نفت، رشد اقتصادی، تغییرات تکنولوژی، شاخص تولیدات صنعتی، قیمت بازارهای فلزات موازی مانند نیکل، قیمت آلومینا، شاخص سهام، شاخص تولید خودرو اثر معناداری بر قیمت جهانی مس و آلومینیم در بلندمدت دارند، بنابراین فرضیه دوم پژوهش نیز تایید می‌شود.

بنا بر نتایج به دست آمده توصیه‌های زیر پیشنهاد می‌شود:

۱) با توجه به معنادار بودن اثر شاخص تکنولوژی، شاخص تولید خودرو و شاخص تولیدات صنعتی بر قیمت جهانی مس و آلومینیم پیشنهاد می‌شود صنایع تولید مس و آلومینیم در ایران توجه بیشتری به این شاخص‌ها داشته باشند.

۲) با توجه به آینده تکنولوژی پاک و نیاز آن به آلومینیم کم کربن پیشنهاد می‌شود در کشور، از روش‌هایی مانند جمع‌آوری و مرتب‌سازی برای امکان تولید بیشتر از قراضه، توسعه بیشتر فن‌آوری‌های جدید برای کاهش انتشار از تولید اولیه، سیاست‌های اجباری کاهش انتشار کربن دی‌اکسید استفاده شود.

۳) با توجه به تحریم بودن صادرات نفت ایران و با در نظر گرفتن این موضوع که صادرات محصولات معدنی پس از نفت و فرآورده‌های نفتی بیشترین درآمد ارزی را دارد، یافتن بازارهای جدید در راستای افزایش صادرات این محصولات بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

پژوهشگران می‌توانند در تحقیقات آتی از پیشنهادهای زیر استفاده کنند:

- استفاده از مدل های VAR[۲۳] برای بررسی اثر سرریز در کوتاه مدت
- استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی و یادگیری عمیق[۲۴] برای بررسی روابط بین متغیرها
- بررسی عوامل تاثیرگذار اقتصادی بر قیمت جهانی سایر فلزات اساسی اعم از فلزات آهنی (مانند فولاد، ورق گرم، اسلب و بیلت) و غیرآهنی (مانند سرب، روی، قلع) با استفاده از مدل‌های به کار گرفته شده در پژوهش حاضر

۶- مراجع

[1] Mishra, A. K., and Ghate, K. (2022). *"Dynamic connectedness in non-ferrous commodity markets: evidence from India using TVP-VAR and DCC-GARCH approaches"*. Resources Policy, 76: 102572.

[2] Galán-Gutiérrez, J. A., and Martín-García, R. (2021). *"Cointegration between the structure of copper futures prices and Brexit"*. Resources Policy, 71: 101998.

[3] Zhang, Ch., and Yu, D. (2018). *"The Effect of Global Price Shocks on Chinas Precious Metals Market:A Comparative Analysis of Gold and Platinum"*. Journal of Cleaner Production, 186: 652-661.

[4] Ur Rehman, M., Al-Yahyaee, Kh., Al-Jarreh, I., Mensi, W., and Vink Vo, X. (2020). *"Co-movements and Spillovers between Prices of Precious Metals and non-ferrous Metals: A Multiscale Analysis"*. Resources Policy, 67: 101836.

[۵] عباسی، ا.، صادقی، ف.؛ ۱۳۹۴؛ **"برآورد ارزش در معرض خطر فلزات اساسی با استفاده از رویکرد GARCH چندمتغیره"**. نشریه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار(مدیریت پرتفوی)، دوره ۶، شماره ۲۵، ص ۶۲-۴۱.

[۶] آزاد، ع.، فرجی کلاریجانی، ح. ر.، روحی جویباری، ع.، احمدمحمودی، م.؛ ۱۳۹۵؛ **"پیش‌بینی قیمت و میزان تولید فلز مس در سال ۲۰۳۰ میلادی و کاربرد آن برای تعیین محدوده نهایی معادن در ایران"**. دومین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین علوم و تکنولوژی، قم، مرکز مطالعات و تحقیقات اسلامی سروش حکمت مرتضوی.

[7] Umar, Z., Nasreen, S., Slarin, S., and Tiwari, A. (2019). *"Exploring the Time and Frequency Domain Connectedness of Oil Prices and Metal Prices"*. Resources Policy, 64: 101516.

[8] Mensi, W., Hammoudeh, Sh., Ur Rehman, M., Al-Maalid, A., and Kang, S. (2020). *"Dynamic Risk Spillovers and Portfolio Risk Management between Precious Metal and Global Foreign Exchange Markets"*. The North American of Economics and Finance, 51: 86-101.

[9] Shin, Y., Yu, B., and Greenwood-Nimmo, M. (2014). *"Modelling Asymmetric Cointegration and Dynamic Multipliers in a Nonlinear ARDL Framework"*. Festschrift in Honor of Peter Schmidt, 281-314.

[10] Schorderet, Y. (2001). *"Revisiting Okun's Law: An Hysteretic Perspective"*. Mimeo: University of California San Diego.

[11] Granger, C. W., and Yoon, G. (2002). *"Hidden Cointegration"*. University of California San Diego. Economics Working Paper, 2: 12-38.

[12] Schorderet, Y. (2003). *"Asymmetric Cointegration"*. Université de Genève/Faculté des sciences économiques et sociales.

[۱۳] وبسایت رسمی بانک جهانی، https://worldbank.org.

[14] Buncic, D., and Moretto, C. (2015). *"Forcasting Copper Prices with Dynamic Averaging and Election Models"*. The North American Journal of Economics and Finance, 33: 1-33.

[15] Hu, Y., and Wen., L. (2020). *"A Hybrid Deep Learning Approach by Integration LSTM-ANN Networks with GARCH Model for Copper Price Volatility Prediction"*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 557: 124907. DOI: https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.124907.

[16] Silva, E., and Guzman., J. (2017). *"Copper Price Determination: Fundamentals Versus Non-Fundamentals"*. Mineral Economics, 31: 283-300

[17] Romer, D. (2012). *"Advanced Macroeconomics"*. 4th Edition, New York: McGraw-Hill, pp. 716.

[18] Alogoskoufis, G. (2019). *"Dynamic macroeconomics"*. MIT Press.

---

[1] Brazil, Russia, India, China and South Africa (BRICS)

[2] Dynamic Conditional Correlation Garch

[3] Autoregressive Conditional Jump Intensity

[4] Generalized AutoRegressive Conditional Heteroskedasticity

[5] Value at Risk

[6] Dynamic Equicorrelation

[7] Engell and Kelley

[8] Non-linear autoregressive distributed lag

[9] Autoregressive distributed lag

[10] Unrestricted error correction model

[11] Granger and Yoon

[12] Error correction model

[13] Asymmetric Error correction model

[14] Charges for the Use of Intellectual Property, Peyments

[15] David Romer

[16] George Alogoskoufis

[17] World Intellectual Property Organization

[18] Augmented Dicky Fuller

[19] LM ARCH Test

[20] AutoRegressive Conditional Heteroskedasticity

[21] براساس مبانی اقتصادسنجی مدل‌های خودرگرسیو با وقفه توضیعی، برای بررسی رابطه NARDL کوتاه‌مدت باید بر اساس معیارهای معین (نظیر آکائیک، حنان کوئین و شوارتز) مقادیر جاری و با وقفه متغیرهای مستقل در مدل آورده شود، اما در صورت وجود رابطه بلندمدت (بر اساس ضریب ECM که باید بین صفر تا ۱- باشد)، متغیرهای مستقل در مسیر بلندمدت همگرا بوده و در مدل‌سازی صرفا خود متغیر (بدون افزودن وقفه) باید به مدل اصلی اضافه شود.

[22] Cumulative Sum

[23] Value at Risk

[24] Deep Learning