# سیستمی نوین در ساختمان‌سازی با نگرشی نو به سازه‌های فضاکار

**رضا کمالی صالح‌آباد، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده عمران- دانشگاه شهید باهنر کرمان[×]**

**علیرضا آهنگر عصر، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده عمران- دانشگاه شهید باهنر کرمان[××]**

[×]تلفن : ۷۷۰۰۸۳۲۳-۰۲۱، پست الکترونیکی : Reza_kmli@yahoo.com

[××]تلفن : ۰۹۱۴۱۱۶۷۳۲۱ ، پست الکترونیکی : A_Ahangarasr@Graduate.uk.ac.ir

## چکیده:

***امروزه مسئله بهینه سازی و صرفه جویی در مصالح مصرفی در ساختمان سازی بسیار مورد توجه مهندسان و دست اندرکاران امر ساخت و ساز می باشد. روشهای معمول طرح و محاسبه ساختمانها اعم از فولادی یا بتنی، استفاده از قابهای مهاربندی شده، قابهای خمشی معمولی و یا سیستم های دوگانه می باشد. تحقیقاتی که تاکنون انجام گرفته در جهت سبک سازی مصالح مصرفی در این نوع ساختمانها و با هدف کاهش بار زلزله وارده بر ساختمان بوده است. در این مطالعه روشی برای به کارگیری سازه های فضاکار در احداث ساختمانهای چند طبقه که بخش اعظمی از ساخت و سازها را به خود اختصاص داده اند، ارائه می گردد. مدلسازی ساختمان فضاکار با استفاده از برنامه SAP 2000 و به روش استاتیک معادل و بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ انجام گرفته و از مقایسه آن با ساختمان هایی با سیستم‌های مختلف سازه ای، نتیجه شده است که، وزن اسکلت و همچنین تغییر مکان ناشی از بارهای جانبی در این سازه ها به سیستم‌های دارای بادبند بسیار نزدیک می‌باشد. در ضمن استفاده از سازه های فضاکار از لحاظ سادگی اجرا و کاهش زمان ساخت، دارای صرفه اقتصادی بوده و مهمتر از آن به علت دارا بودن اتصالات مطمئن و مشارکت تعداد قابل ملاحظه ای از اعضای سازه ای در انتقال بارهای ثقلی و جانبی، مناسب تر از دیگر سیستمهای سازه‌ای متداول می باشد.***

**کلید واژه:** *سازه فضاکار، شبکه دولایه، سبک سازی.*

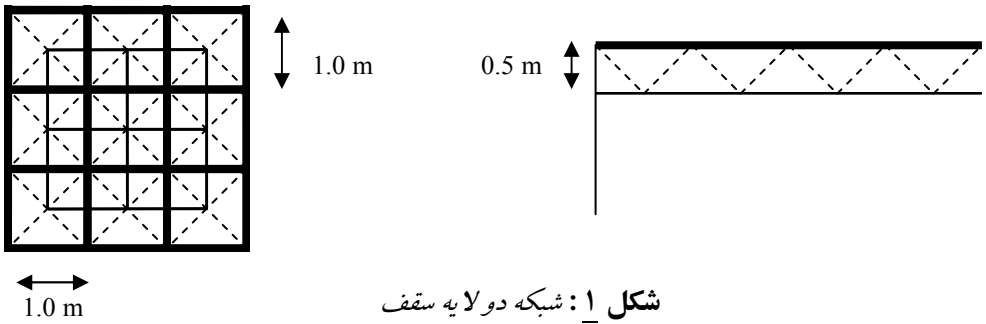
## ۱- مقدمه

سازه‌های فضاکار گروهی از سازه‌ها هستند که از تعداد زیادی اعضا با عملکرد محوری تشکیل می‌گردند. این سازه‌ها دارای اشکال متفاوتی می‌باشند، که بر همین اساس در چند گروه طبقه‌بندی می‌شوند. این گروه‌ها عبارتند از: شبکه‌های تک‌لایه، دولایه و سه‌لایه، چلیک‌های تک‌لایه و دولایه، گنبدهای تک‌لایه و دولایه، دکل‌های فضاکار و غیره. در دهه‌های اخیر استفاده از این سازه‌ها بسیار معمول شده و اکثراً برای پوشش دهانه‌های بزرگ مانند ژیمناسیوم‌ها، استادیوم‌ها، سالن‌های تئاتر و غیره، به کار گرفته می‌شوند. ولی تاکنون در ایران از این سازه‌ها، در احداث ساختمان‌های معمولی استفاده نشده است. ساختمانهای فضاکار،

سازه‌هایی هستند که سقف و دیوارهای جانبی آنها را شبکه‌ها تشکیل می‌دهند. اگر ساختمان‌های فضاکار را با ساختمان‌های معمول مقایسه کنیم، خواهیم دید که شبکه‌های به کار رفته در دیوارها، نقش ستون‌های یک ساختمان معمولی را بازی کرده و بارهای قائم و همچنین بارهای جانبی ناشی از باد و زلزله را به پی منتقل می‌نمایند. شبکه دولایه تشکیل‌دهنده سقف ساختمان‌های فضاکار نیز عملکردی همانند سقف صلب در ساختمان‌های معمولی را داشته و نیروی ناشی از بارهای جانبی باد و زلزله را به نسبت سختی بین دیوارهای باربر تقسیم می‌کند. طراحی تمامی اعضا و اتصالات این سازه‌ها به دلیل عدم وجود آیین‌نامه‌ای بخصوص برای این سازه‌ها، همانند سایر ساختمان‌های معمول، بر اساس مراجع معتبر و آیین‌نامه‌های رایج طراحی، AISC [۱] یا آیین‌نامه فولاد ایران [۲] و آیین‌نامه ۲۸۰۰ [۳]، انجام می‌گیرد.

## ۲- سیستم ساختمانی فضاکار

بدیهیست اشکالی از سازه‌های فضاکار که برای استفاده جهت پوشش سقف در ساختمانهای چند طبقه قابل استفاده هستند، شبکه‌های تخت می‌باشند. شبکه‌های تک‌لایه به دلیل دارا بودن اتصالات گیردار به منظور ارضای شرایط پایداری، دارای اعضایی قوی‌تر برای تحمل لنگر خمشی ناشی از بارهای اعمالی می‌باشند. همچنین لنگر خمشی ایجاد شده درآنها، باعث ایجاد خیز زیاد در سقف و خیز جانبی بیش از حد در شبکه‌های قائم باربر می‌گردد. شبکه‌های سه‌لایه نیز به دلیل داشتن ارتفاع زیاد و غیراقتصادی بودن برای دهانه‌های کوچک، در این نوع ساختمان‌ها قابل استفاده نیستند. بنابرین مناسب‌ترین سازه فضاکار، برای استفاده به عنوان سقف در این ساختمان‌ها، شبکه دولایه می‌باشد. در این مطالعه ارتفاع این شبکه برابر ۵۰ سانتیمتر بوده و هر یک از لایه‌ها به صورت مربع‌هایی با ابعاد ۱ متر شبکه‌بندی شده‌اند.(شکل ۱)




**شکل ۱ :** *شبکه دولایه سقف*

دیوارهای این سازه ها که علاوه بر تحمل بارهای قائم، به عنوان سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی نیز مورد استفاده قرار می گیرند، از جنس شبکه های تک لایه با اتصالات صلب می باشند. فاصله اعضای

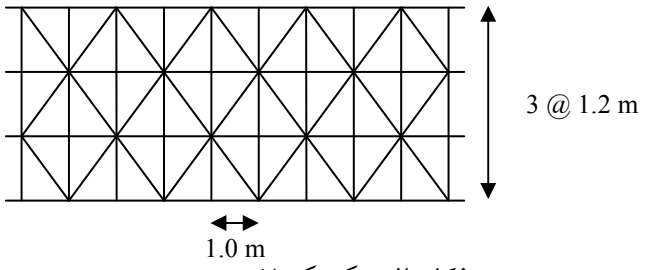
---

[۱] American Institute of Steel Construction

[۲] مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران

[۳] آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

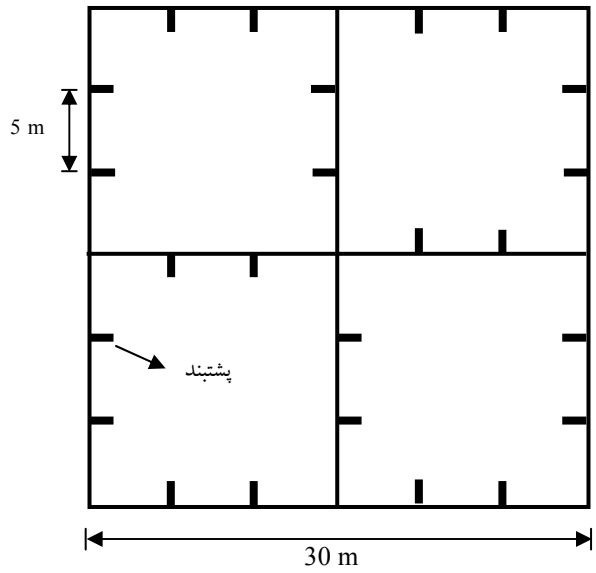
قایم تشکیل دهنده این دیوارها ۱ متر و فاصله اعضای افقی برابر با ۱/۲ متر در نظر گرفته شده است.در ضمن اعضای مورب در دیوارها برای تحمل بارهای جانبی به کار گرفته شده‌اند.( شکل ۲ )




**شکل ۲ :** *شبکه تک لایه دیوار*

شایان ذکر است برای کاهش طول آزاد اعضای افقی دیوارها، از پشتبندهای فضاکار در فواصل ۵ متری استفاده می گردد.( شکل ۳ ) باید توجه داشت که اگر برای ساخت دیوارهای داخلی نیز از شبکه های تک لایه استفاده گردد، این شبکه ها علاوه بر قابلیت انتقال بارهای ثقلی و جانبی، قادر به ایفای نقش پشتبندها نیز بوده و تاثیر زیادی در کاهش خیز سقف و ابعاد پروفیل های مصرفی خواهند داشت.

ساختمانی که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته، یک ساختمان چهار طبقه با طول و عرض ۳۰ متر می باشد، که هر طبقه به چهار واحد مجزا تقسیم شده است.



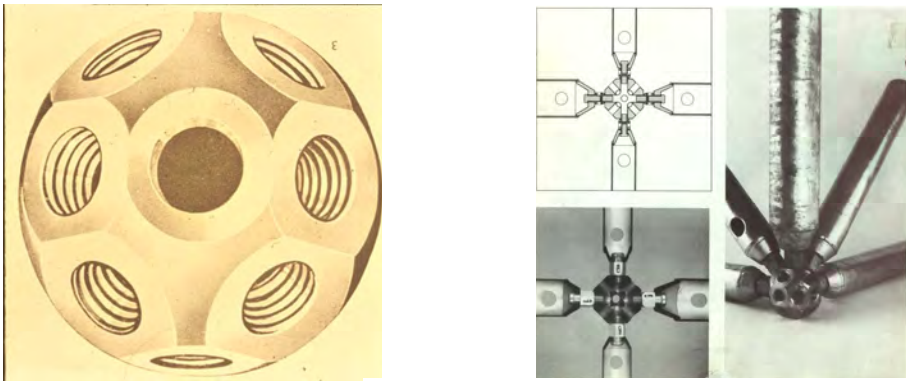

**شکل ۳ :** *پلان تیپ طبقات در ساختمان فضاکار*

## ۳- اتصالات در سازه‌های فضاکار

تاکنون انواع متنوعی از اتصالات در سازه های فضاکار معرفی گردیده اند که عبارتند از: سیستم‌های اتصال گوی سان[1]، سوکتی[2]، صفحه ای[1] و دیگر سیستم ها. معمول ترین اتصالی که در اکثر سازه های

[1] -Ball Joint Systems
[2] -Socket Joint Systems

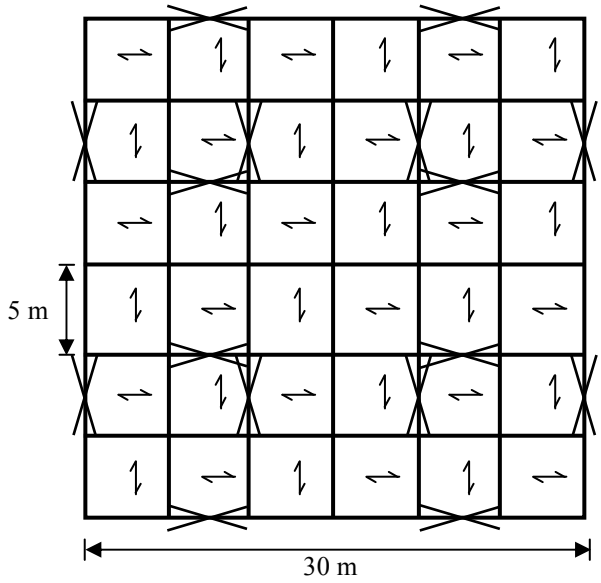
فضاکار مورد استفاده قرار می گیرد، نوعی از اتصال گوی سان به نام اتصال مرو[2] می باشد( شکل ۴ ) کـه از لحاظ اجرا دارای کارکردی ساده و کارآمد است. جنس گوی اتصال از آهن فورج شده می باشد کـه در جهات مختلف حفره هایی برای پیوند اعضا به صورت پیچی و با زوایای مختلف در آن تعبیه گردیـده است.



**شکل ۴ :** *نمونه ای از اتصال مرو*

## ۴- قابهای ساختمانی مورد مطالعه

سیستم‌های سازه‌ای کـه در ایـن مطالعـه بـرای مقایـسه بـا سیـستم سـاختمانی فـضاکار مـورد اسـتفاده قـرار گرفته‌اند، شامل سیستم قاب سـاختمانی سـاده، سیـستم قـاب خمـشی و سیـستم دوگانـه یـا ترکیبـی مـی باشـند. قاب‌های ساختمانی در نظر گرفته شده نیز با ابعـاد مـشابه و دارای ۶ دهانـه ۵ متـری در هـر راسـتا مـی‌باشـند. در سیستم‌های دارای بادبند، بادبندها از نوع ضربدری بوده و در قاب‌های فرد( ۱،۳،۵،۷ ) جای گرفته‌اند.(شکل ۵)

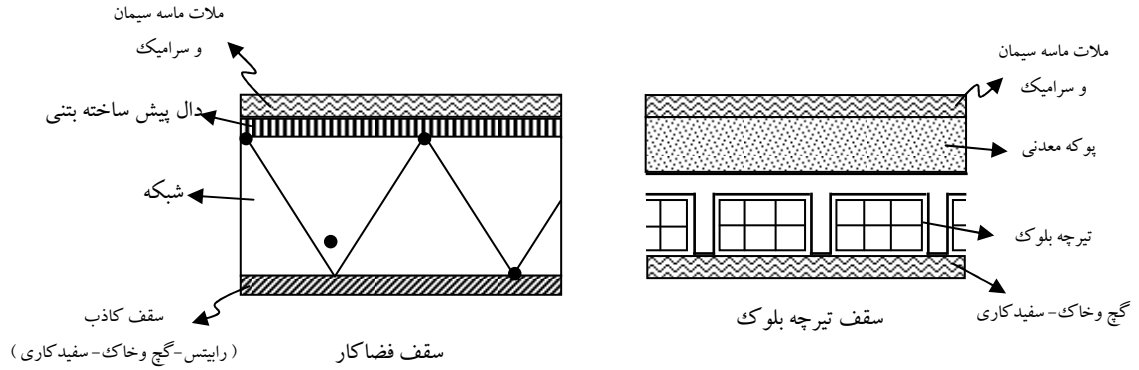



**شکل ۵ :** *پلان تیپ طبقات در قابهای بادبندی*

[1] -Plate Joint Systems
[2] -KK-System ( Mero )

## ۵- بارگذاری

جزئیات سقف‌های در نظر گرفته شده برای ساختمان‌ها، مطابق شکل ۶ می‌باشد، که بار مرده بر همین اساس ۵۰۰ کیلوگرم در هر متر مربع برای ساختمان‌های معمولی و ۳۰۰ کیلوگرم در هر متر مربع برای ساختمان فضاکار بدست آمده است. شایان ذکر است که بار زنده برای همه ساختمان های مورد مطالعه برابر مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هر متر مربع در نظر گرفته شده است.




**شکل ۶ :** *جزئیات سقف در قابها و ساختمان فضاکار*

لازم به توضیح است که در ساختمان های معمولی سقف ها صلب بوده و بار زلزله به مرکز جرم هر طبقه به طور مجزا وارد می شود. در ساختمان فضاکار، شبکه دولایه در برابر بارهای جانبی به صورت صلب عمل کرده و به همین دلیل بار جانبی به نسبت سطح بارگیر بین گره های فوقانی شبکه، توزیع می گردد. ضمناً جزییات بارگذاری زلزله هر چهار سیستم ساختمانی مطابق جدول ۱ می باشد.

**جدول ۱ :** *برآورد نیروی زلزله به روش استاتیک معادل*

| | قاب ساختمانی ساده | قاب خمشی | سیستم دوگانه یا ترکیبی | ساختمان فضاکار |
|---|---|---|---|---|
| ضریب رفتار R | 6 | 6 | 6.5 | 6 |
| ضریب زلزله C | 0.1458 | 0.1458 | 0.1346 | 0.1458 |
| وزن سازه $W_{(ton)}$ | 1944 | 1944 | 1944 | 1224 |
| برش پایه $V_{(ton)}$ | 283 | 283 | 262 | 178 |
| **I=1 , A=0.35 , T0=0.7 , B=2.5** | | | | |

## ۶- مقاطع مورد استفاده

سازه فضاکار مورد مطالعه دارای ۳۵۲۶۸ عضو بوده که در طراحی آنها از پروفیل های لوله ای با ضخامت و قطرهای مختلف استفاده گردیده و با توجه به نتایج حاصل از طراحی، ۲۴ تیپ مقطع از همین نوع برای ساختمان فضاکار بدست آمده است. مقاطع تشکیل دهنده همه ساختمان های مورد مطالعه مطابق جداول ۲ و ۳ می باشند.

**جدول ۲ :** *مقاطع مصرفی در قابهای ساختمانی*

| | تیر | ستون | بادبند |
|---|---|---|---|
| قاب ساختمانی ساده | 2 IPE 200 | 2 IPE 100 – 2 IPE 270 | 2 UNP 160 |
| قاب خمشی | 2 IPE 240 – 2 IPE 270 | 2 IPE 200 – 2 IPE 400 * | -------- |
| سیستم دوگانه یا ترکیبی | 2 IPE 180 | 2 IPE 220 – 2 IPE 300 | 2 UNP 160 |

× جهت فهم بهتر و مقایسه ساده از پروفیل هایی با نمرات بالا استفاده گردیده است.

**جدول ۳ :** *مقاطع مصرفی درساختمان فضاکار*

| | ضعیف ترین المان | قوی ترین المان |
|---|---|---|
| قطر $D_{(mm)}$ | 21.3 | 230 |
| ضخامت $t_{(mm)}$ | 2 | 8 |

## ۷- آنالیز و طراحی

آنالیز و طراحی همه ساختمان های ذکر شده در این مقاله توسط برنامه SAP 2000 انجام گرفته و اثرات زلزله با استفاده از روش استاتیک معادل اعمال گردیده است. با توجه به این موضوع که هنوز آیین نامه ای برای طراحی سازه های فضاکار تدوین نگردیده است، لذا آیین نامه های مورد استفاده در بارگذاری و طراحی تمامی سازه ها را آیین نامه حداقل بار وارده بر ساختمان ها و ابنیه فنی( استاندارد ۵۱۹ )، آیین نامه ۲۸۰۰ ، AISC و یا آیین نامه فولاد ایران تشکیل می دهند.

## ۸- مقایسه وزن اسکلت سازه ها

با توجه به نتایج حاصله از تحلیل و طراحی، وزن اسکلت سیستم های سازه ای مورد مطالعه در این تحقیق مطابق جدول ۴ می باشد. مشاهده می شود که وزن اسکلت ساختمان فضاکار با سیستم های بادبندی و دوگانه تقریباً برابر بوده و کمتر از وزن اسکلت سیستم قاب خمشی می باشد.

**جدول ۴ :** *وزن اسکلت سازه ها*

| | قاب ساختمانی ساده | قاب خمشی | سیستم دوگانه یا ترکیبی | قاب ساختمانی فضاکار |
|---|---|---|---|---|
| وزن اسکلت $(Kg/m^2)$ | 35.1 | 41.0 | 35.5 | 36.2 |

## ۹- مقایسه تغییر مکان جانبی و خیز در سازه ها

حداکثر مقدار تغییر مکان جانبی و خیز ماکزیمم سیستم های سازه ای مطرح شده با توجه به نتایج طراحی در جدول ۵ آورده شده است. با مقایسه اعداد به دست آمده مشاهده می گردد که ساختمان فضاکار به همراه سیستم دوگانه دارای حداقل تغییر مکان جانبی بوده و بیشترین خیز را در بین سایر سیستم ها دارا می باشد. که البته این خیز فراتر از محدوده مجاز آیین نامه نبوده و قابل قبول است.

**جدول ۵ :** *مقایسه خیز و تغییر مکان جانبی*

| | قاب ساختمانی ساده | قاب خمشی | سیستم دوگانه یا ترکیبی | ساختمان فضاکار |
|---|---|---|---|---|
| تغییر مکان جانبی $(mm)$ | 16.1 | 58.6 | 11.2 | 12.0 |
| خیز $(mm)$ | 7.5 | 2.7 | 6.1 | 41.5 |

## ۱۰- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل و طراحی سازه های مورد اشاره در این مقاله، میتوان نتیجه گرفت که استفاده از سازه های فضاکار باعث کاهش قابل ملاحظه ای در بار مرده ساختمان می گردد، در حالیکه وزن اسکلت سازه در هر متر مربع آن تقریباً با سیستم های ساده و دوگانه برابر، و بسیار کمتر از وزن اسکلت سیستم قاب خمشی می باشد. همچنین سازه های فضاکار رفتار بسیار خوبی در برابر بارهای جانبی از خود نشان می دهند، به طوریکه تغییر مکان جانبی ناشی از این بارها در این سازه ها نسبت به سیستم قاب ساختمانی ساده و سیستم قاب خمشی کمتر می باشد و به دلیل تعدد اعضای سازه ای، نیروهای داخلی اعضا تحت تاثیر بارهای جانبی تغییرات بسیار اندکی از خود نشان می دهند. تغییر مکان قائم در سازه های فضاکار در مقایسه با سازه های دیگر مورد مطالعه بیشتر ولی در محدوده مجاز آیین نامه های طراحی می باشد، که می توان این خیز را با تعبیه دیوارهای میانی (از جنس شبکه تک لایه فضاکار) تا حد زیادی کاهش داد. شایان ذکر است مدت زمان لازم برای تحلیل و طراحی

سازه های فضاکار به علت تعدد اعضا، نسبت به سایر سیستم های ساختمانی طولانی تر می باشد. درضمن سازه های فضاکار به دلیل داشتن تعداد زیاد اعضا، درجه نامعینی بالا و همچنین اتصالات کارخانه ای، از ضریب اطمینان قابل ملاحظه ای برخوردار بوده و به علت سادگی اجرا و کوتاهی مدت زمان ساخت، دارای صرفه اقتصادی می باشند.

## ۱۱- مراجع:


1- Makowski, Z.S., 1981, "Analysis, Design and Construction of Double Layer Grids", Chapman & Hall Publishers, Applied Science, London

2- Charles G, Salmon, John E., Johnson, 1980, " Steel Structures : Design and Behavior ", Harper & Row Publishers

۳- طاحونی، شاپور، طراحی سازه های فولادی، انتشارات دهخدا، چاپ دوم، ۱۳۷۰

۴- آئین نامه حداقل بارهای وارده بر ساختمان ها و ابنیه فنی ( استاندارد ۵۱۹ )

۵- آئین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ( آئین نامه ۲۸۰۰ )

۶- آئین نامه AISC ASD 89

۷- وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت نظام مهندسی و اجرای ساختمان، مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمانهای فولادی (چاپ نهم)، نشر توسعه ایران، ۱۳۸۰

۸- برنامه عمومی تحلیل و طراحی سازه ها مرجع جامع نرم افزار SAP 2000 (چاپ اول)، تالیف و ترجمه حسن باجی و جواد هاشمی، انتشارات متفکران، بهار ۱۳۸۳