

# ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های شیء‌مبنا و پیکسل‌مبنا جهت شناسایی ساختمان در تصاویر قدرت تفکیک بالای ماهواره‌ای

احمد رجبی<sup>1\*</sup>، ایمان خسروی<sup>2</sup>، مهدی مومنی<sup>3</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده‌ی فنی، دانشگاه اصفهان، ahmad.rajabi@mihanmail.ir

2- کارشناس ارشد سنجش از دور، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده‌ی فنی، دانشگاه اصفهان، iman.khosravi@mihanmail.ir

3- استادیار، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده‌ی فنی، دانشگاه اصفهان، mehdi.momeni@mihanmail.ir

## چکیده

در این مقاله، چهار الگوریتم شناسایی ساختمان شامل دو الگوریتم پیکسل‌مبنا و دو الگوریتم شیء‌مبنا مورد بررسی قرار گرفت؛ برای ارزیابی و مقایسه‌ی نقاط ضعف و قوت این چهار الگوریتم، یک مجموعه‌متنوع از تصاویر قدرت تفکیک بالای ماهواره‌ای استفاده شد. این تصاویر از چندین منطقه‌ی مختلف یک بخش شهری انتخاب شده و از لحاظ شکل، اندازه، ارتفاع، رنگ و روشنایی و تراکم بین ساختمان‌ها متنوع بودند. نتایج نشان داد که به‌طور کلی، کارایی و اعتمادپذیری دو الگوریتم شیء‌مبنا در شناسایی ساختمان در مقایسه با دو الگوریتم پیکسل‌مبنا بیشتر است. با این حال در برخی مناطق، نتیجه‌ی حاصل از الگوریتم‌های پیکسل‌مبنا قابل قبول و راضی‌کننده بود. از طرفی دیگر، خطای اضافه‌شدگی الگوریتم‌های شیء‌مبنا در برخی مناطق بیشتر از الگوریتم‌های پیکسل‌مبنا شد.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی دقت، شناسایی ساختمان، تصاویر قدرت تفکیک بالا، شیء‌مبنا، پیکسل‌مبنا.

## 1- مقدمه

الگوریتم‌های پردازشی متنوعی جهت شناسایی ساختمان از تصاویر ماهواره‌ای قدرت تفکیک بالا<sup>i</sup> توسط پژوهشگران پیشنهاد شده است. این الگوریتم‌ها را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم کرد: روش‌های پیکسل‌مبنا و روش‌های شیء‌مبنا. در روش‌های گروه اول، تنها پیکسل‌های منفرد و خصوصیات طیفی‌شان در پردازش به کار می‌رود. در مقابل، واحد اصلی تجزیه و تحلیل شیء‌مبنا، قطعه یا گروه همگنی از پیکسل‌هاست. هم‌چنین، این روش‌ها قادرند تا علاوه بر خصوصیات طیفی اشیاء، از خصوصیات غیرطیفی آن‌ها، نظیر خصوصیات هندسی و مجاورت نیز بهره ببرند [1].

استراتژی برخی از مطالعات پیکسل‌مبنا، ترکیب روش‌های خوشه‌بندی و قطعه‌بندی است [2-4]. برخی دیگر از ترکیب شاخص‌های طیفی و ریخت‌شناسی<sup>ii</sup> بهره برده‌اند [5-8]. در یک مقاله، ترکیبی از هر سه روش خوشه‌بندی، ریخت‌شناسی و شاخص‌های طیفی استفاده شده است [9]. در مطالعات شیء‌مبنا مهم‌ترین مرحله، قطعه‌بندی است [1]. در مطالعات [10] و [11]، به‌منظور شناسایی و دسته‌بندی عوارض شهری به‌ویژه ساختمان‌ها، یک روش طبقه‌بندی شیء‌مبنای سلسله‌مراتبی مبتنی بر قطعه‌بندی قدرت تفکیک چندگانه<sup>iii</sup> طراحی شد. مطالعه‌ی [12] یک روش قطعه‌بندی خودکار ارائه داد و سپس با استفاده از یک روش طبقه‌بندی قاعده‌مبنا، ساختمان‌ها را شناسایی نمود. در مطالعه‌ی [13]، از یک روش قطعه‌بندی مبتنی بر لبه در طبقه‌بندی شیء‌مبنای عوارض کاربری/پوششی زمینی بالاخص ساختمان‌ها استفاده شد.

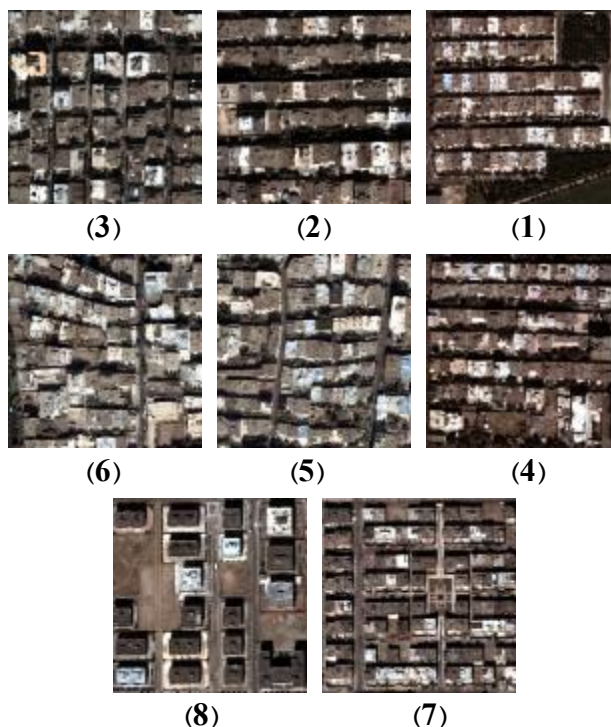
هدف این مقاله، ارزیابی و مقایسه‌ی چهار الگوریتم شناسایی ساختمان با استفاده از یک مجموعه متنوع تصاویر ماهواره‌ای قدرت تفکیک بالا است. دو روش اول پیکسل‌مبنا و براساس کار مطالعات [4] و [9] هستند. دو روش آخر، شیء‌مبنا بوده و با

استفاده از قطعه‌بندی‌های مبتنی بر لبه و قدرت تفکیک چندگانه انجام می‌شوند. مجموعه تصاویر انتخابی دارای تنوع در شکل، رنگ، اندازه، روشنایی، ارتفاع و تراکم مسطحاتی بین ساختمان‌ها هستند. با این تصاویر، نقاط ضعف و قوت روش‌های به‌کار گرفته‌شده در مقاله، بهتر نمایان خواهد شد.

بخش‌های بعدی این مقاله بدین ترتیب است: در بخش 2، مجموعه تصاویر انتخاب‌شده در این مقاله، معرفی می‌شود. بخش 3 به توضیح اجمالی استراتژی 4 روش شناسایی ساختمان می‌پردازد. پیاده‌سازی روش‌ها و نتایج ارزیابی دقت آن‌ها در بخش 4 آورده می‌شود و در نهایت بخش 5، به نتیجه‌گیری و گفتگو روی نتایج روش‌ها ختم می‌شود.

## 2- تصاویر مطالعاتی

داده‌ی مورد مطالعه در این مقاله، یک تصویر ادغام‌رنگی‌شده<sup>v</sup> <sup>i</sup> ماهواره‌ی کوئیک‌برد<sup>v</sup> (با قدرت تفکیک مکانی 0/6 متر) از شهر اصفهان است. به‌منظور مقایسه‌ی بهتر روش‌ها، 8 منطقه‌ی مختلف انتخاب شد. در این تصاویر که در شکل‌های (1)-(1) الی (1)-(8) آورده شده‌اند، عوارض گوناگونی هم‌چون جاده‌های اصلی و فرعی، درختان، فضاهای سبز، زمین‌های خاکی و ساختمان‌ها قابل مشاهده است.



شکل (1): مجموعه تصاویر مطالعاتی در این مقاله. مناطق 1 تا 8

ساختمان‌های موجود در این مناطق از لحاظ تراکم مسطحاتی (منطقه‌ی 8 کم تراکم و مابقی پرتراکم)، شکل سقف (مستطیلی، مربعی، دوزنقه‌ای، چندوجهی، L-مانند، H-مانند و اشکال نامنظم دیگر)، رنگ و روشنایی سقف ساختمان‌ها، چیدمان (منظم یا نامنظم بودن ساختمان‌ها) و ارتفاع متنوع هستند. هم‌چنین در تصاویر مناطق 7 و 8، مشابهت طیفی بالایی (تباین طیفی پایینی) بین ساختمان‌ها و نواحی مجاور برقرار است. در منطقه‌ی 8، ساختمان‌های منفرد وجود دارد، در حالی که در سایر مناطق، بلوک‌های ساختمانی و یا ترکیبی از هر دو موجود است.

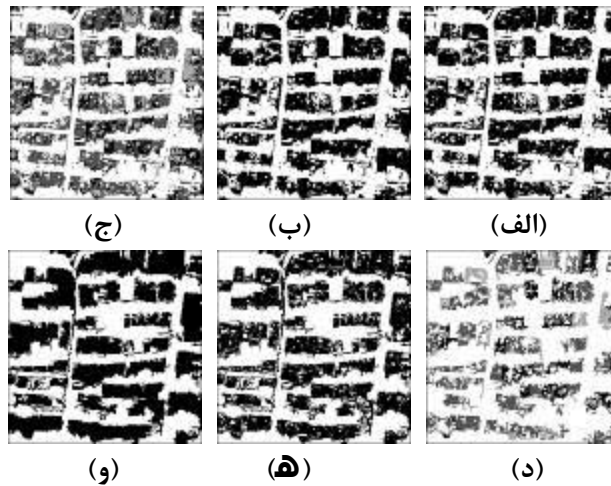
## 3- الگوریتم‌ها

چهار الگوریتم شناسایی ساختمان توضیح داده می‌شود؛ الگوریتم‌های اول و دوم پیکسل‌مبنا و براساس کار مطالعات [4] و

[9] است. الگوریتم‌های روش سوم و چهارم، شیء‌مبنا بوده و از قطعه‌بندی مبتنی بر لبه و قدرت تفکیک چندگانه بهره می‌برند.

### 3-1- الگوریتم اول: ترکیب خوشه‌بندی و قطعه‌بندی

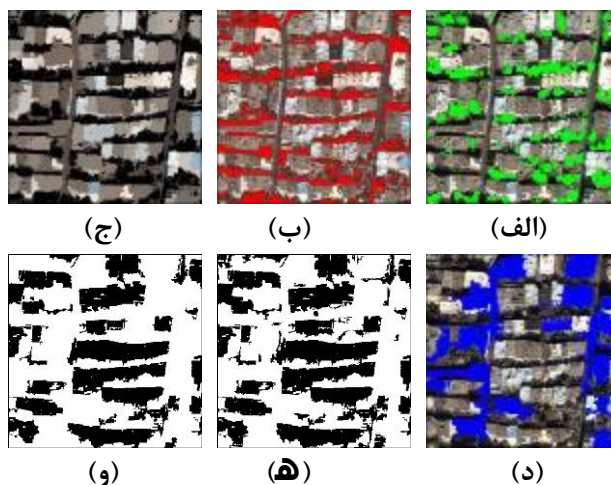
این الگوریتم در [4] آورده شده و دارای این مراحل است: ابتدا با روش خوشه‌بندی کامینز ( $k=2$ )، یک تصویر باینری از تصویر اصلی شامل لایه‌ی نیمه ساختمانی و لایه‌ی غیر ساختمانی تولید می‌شود. با عملگر ریخت‌شناسی بسته  $V_i$ ، نواحی نویزی غیر ساختمانی موجود در لایه‌ی نیمه ساختمانی حذف می‌شوند. پس از آن، لایه‌ی نیمه ساختمانی با یک خوشه‌بندی فازی سی-مینز به دو لایه‌ی شبه ساختمانی و ساختمانی تقسیم می‌شود. در ادامه، دو رویه برای حذف نواحی شبه ساختمانی به کار می‌رود. ابتدا، با استفاده از یک آستانه‌گذاری مساحت، نواحی شبه ساختمانی کوچک حذف می‌شوند. مقدار این آستانه برابر با مساحت کوچکترین ساختمان منفرد موجود در منطقه است. برای حذف نواحی شبه ساختمانی بزرگ و بازیابی نواحی ساختمانی، یک روش رشد ناحیه با معیار شباهت مساحت و واریانس استفاده می‌شود. مقدار آستانه‌ی معیار مساحت برابر با مساحت بزرگ‌ترین بلوک ساختمانی موجود در منطقه است. در نهایت با پر کردن حفره‌های لایه‌های اشیاء، تنها نواحی ساختمانی در تصویر باقی می‌مانند. مراحل پیاده‌سازی الگوریتم اول در شکل‌های (2)-الف الی (2)-و دیده می‌شود.



شکل (2): مراحل الگوریتم اول (پیکسل‌مبنا). (الف) باینری کردن تصویر با خوشه‌بندی کامینز، (ب) حذف نواحی نویزی غیر ساختمانی با عملگر بسته، (ج) تفکیک نواحی نیمه ساختمانی با خوشه‌بندی فازی سی-مینز، (د) حذف نواحی شبه ساختمانی کوچک، (ه) قطعه‌بندی رشد ناحیه، (و) تصویر نهایی شناسایی ساختمان.

### 3-2- الگوریتم دوم: ترکیب روش‌های طیفی، خوشه‌بندی و ریخت‌شناسی

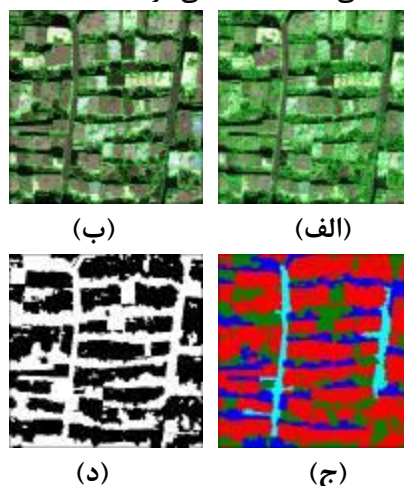
روش دوم توسط [9] پیشنهاد شده و مراحل آن بدین ترتیب است: ابتدا مناطق پوشش گیاهی و سایه‌ها به ترتیب با استفاده از آستانه‌گذاری خودکار آتسو  $V_i$  روی تصاویر حاصل از شاخص‌های تفاضلی گیاهی نرمالیزه شده  $(NDVI)^{vii}$  و نسبت رنگ به شدت (در فضای رنگی YIQ) کنار گذاشته می‌شوند. بعد از آن، تصویر اصلی با یک روش تغییر میانگین قطعه‌بندی شده و پس از حذف نواحی گیاهی و سایه، تنها نواحی دست‌ساز بشری در تصویر باقی می‌مانند. این نواحی، شامل ساختمان‌ها، جاده‌ها و برخی عوارض جزئی هستند. برای حذف جاده‌ها از یک روش نازک‌سازی [9] استفاده می‌شود. نواحی نویزی باقی‌مانده در تصویر نیز با آنالیز مولفه‌های اصلی و یک عملگر ریخت‌شناسی مساحت قابل حذف هستند. در نهایت تنها نواحی باقی‌مانده در تصویر، نواحی ساختمانی هستند. شکل‌های (3)-الف الی (3)-و، مراحل پیاده‌سازی الگوریتم دوم را نشان می‌دهد.



شکل (3): مراحل الگوریتم دوم (پیکسل مینا). (الف) جداسازی مناطق گیاهی، (ب) جداسازی مناطق سایه، (ج) شناسایی مناطق دست‌ساز بشری، (د) جداسازی جاده‌های اصلی با عملیات نازک‌سازی، (ه) پالایش نواحی نوپزی غیرساختمانی، (و) تصویر نهایی شناسایی ساختمان.

### 3-3 الگوریتم سوم: طبقه‌بندی شیء مینا بر اساس قطعه‌بندی مبتنی بر لبه

این الگوریتم از قطعه‌بندی مبتنی بر لبه‌ی نرم‌افزار ENVI v5.0 استفاده می‌کند. این قطعه‌بندی به دو پارامتر نیاز دارد: پارامتر مقیاس و پارامتر ادغام که هر دو پارامتر با روش سعی و خطا و تکرار قابل محاسبه هستند [14]. پس از تولید قطعات، ویژگی‌های طیفی، بافت و مکانی برای تمام قطعات محاسبه می‌شود. یکی از قابلیت‌های نرم‌افزار ENVI، انتخاب ویژگی‌های بهینه برای طبقه‌بندی به‌طور خودکار است [14]. پس از آن، تمام قطعات با استفاده از دو طبقه‌بندی‌کننده‌ی نزدیک‌ترین همسایگی یا ماشین بردار پشتیبان طبقه‌بندی شده و در نهایت تصویر باینری کلاس ساختمان‌ها شناسایی می‌شود. تصاویر پیاده‌سازی این الگوریتم در شکل‌های (4) الف الی (4) د دیده می‌شود.

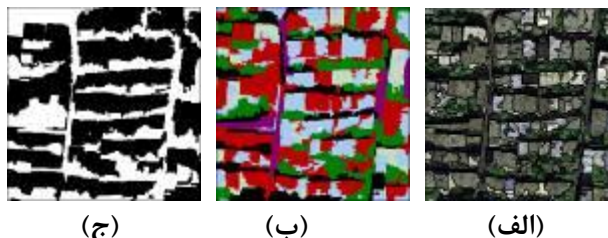


شکل (4): مراحل الگوریتم سوم (شیء مینا). (الف) قطعه‌بندی مبتنی بر لبه مرحله مقیاس، (ب) قطعه‌بندی مبتنی بر لبه مرحله ادغام قطعات، (ج) طبقه‌بندی نظارت‌شده‌ی قطعات، (د) تصویر کلاس ساختمان.

### 3-4 الگوریتم چهارم: طبقه‌بندی شیء مینا بر اساس قطعه‌بندی قدرت تفکیک چندگانه

مراحل الگوریتم چهارم مشابه با الگوریتم سوم است، با این تفاوت که در آن، از قطعه‌بندی قدرت تفکیک چندگانه متعلق به نرم‌افزار eCognition Developer v8.7 استفاده می‌شود. این قطعه‌بندی به سه پارامتر مقیاس، شکل و تراکم نیاز دارد [15]. ویژگی‌هایی که در این الگوریتم تعریف می‌شود شامل متوسط NDVI، باند سبز و روشنایی، مساحت، نسبت طول به

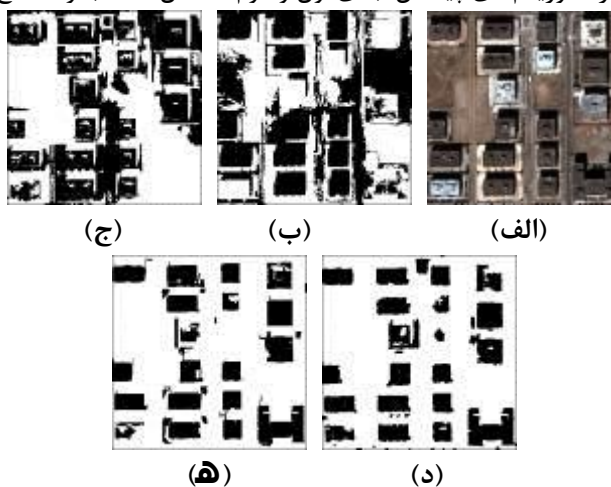
عرض، شاخص شکل مستطیلی و شاخص شکل است. سپس به کمک یک طبقه‌بندی کننده‌ی نزدیک‌ترین همسایگی بر مبنای منطق فازی برچسب هر قطعه‌ی تصویری تعیین و نهایتاً کلاس ساختمان‌ها شناسایی می‌شود. شکل 5 مراحل این الگوریتم را نشان می‌دهد.



شکل (5): مراحل الگوریتم چهارم (شیء-مبنا). (الف) قطعه‌بندی قدرت تفکیک چندگانه، (ب) طبقه‌بندی نظارت‌شده‌ی قطعات، (د) تصویر کلاس ساختمان.

#### 4- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

در این بخش، هر چهار الگوریتم روی 8 منطقه پیاده‌سازی شد. برای نمونه، تصاویر باینری ساختمان‌های شناسایی‌شده‌ی منطقه (8) از هر چهار الگوریتم در شکل‌های (4) ب-الی (4) ه- نشان داده شده است. با توجه به این اشکال، تصاویر باینری ساختمان حاصل از الگوریتم‌های شیء-مبنا یعنی الگوریتم سوم و چهارم (اشکال (4) د- و (4) ه-) مطلوب‌تر و معنادارتر از تصاویر باینری ساختمان حاصل از الگوریتم‌های پیکسل‌مبنای اول و دوم (اشکال (4) ب- و (4) ج-) است.



شکل (4): مقایسه‌ی تصاویر ساختمان‌های شناسایی‌شده‌ی توسط الگوریتم‌های پیکسل‌مبنا و شیء-مبنا. تصاویر خروجی‌های حاصل از دو الگوریتم شیء-مبنا در مقایسه با دو الگوریتم پیکسل‌مبنا مطلوب‌تر است. (الف) تصویر منطقه‌ی (8)، (ب) و (ج) تصاویر ساختمان‌های شناسایی‌شده‌ی الگوریتم اول و دوم (پیکسل‌مبنا)، (د) و (ه) تصاویر ساختمان‌های الگوریتم سوم و چهارم (شیء-مبنا).

تصویر باینری ساختمان‌های شناسایی‌شده‌ی هر الگوریتم با تصویر ساختمان‌های دستی ترسیم‌شده به صورت پیکسل به پیکسل مقایسه می‌شود. برای ارزیابی دقت نیز شاخص‌های رایج نرخ شناسایی ساختمان (DR)، نرخ اعتمادپذیری (R)، نرخ مثبت غلط یا خطای اضافه‌شدگی (FPR) و دقت کلی (OA) استفاده شده‌اند [16].

#### 1-1- نتایج ارزیابی دقت الگوریتم‌های پیکسل‌مبنا

جدول‌های (1) و (2)، نتایج ارزیابی دقت الگوریتم‌های پیکسل‌مبنای اول و دوم را نشان می‌دهد. مطابق با این دو جدول، مقدار DR الگوریتم اول بین 40٪ تا 91٪ و الگوریتم دوم بین 41٪ تا 93٪ است. به علاوه مقدار R الگوریتم اول از 34٪ تا

81٪ و الگوریتم دوم از 47٪ تا 84٪ متغیر است. کمترین مقدار DR در هر دو الگوریتم در تصویر منطقه‌ی (7) دیده می‌شود یعنی منطقه‌ای که مشابهت طیفی بالایی (تباین طیفی پایینی) بین نواحی ساختمانی و نواحی مجاور آن برقرار است. الگوریتم اول در هر دو منطقه‌ی (7) و (8) (تباین طیفی پایینی) با کمترین نرخ شناسایی ساختمان مواجه شده است. نکته‌ی دیگری که در جدول‌های (1) و (2) به چشم می‌خورد این است که نتایج حاصل از هر دو الگوریتم در این دو منطقه از اعتمادپذیری پایین‌تری نسبت به سایر مناطق برخوردار است. ضمن آن‌که در روش اول، بیشترین خطای اضافه‌شدگی مربوط به تصویر منطقه‌ی (8) با مقدار 46٪ است.

متوسط نرخ DR هر دو روش تقریباً 75٪ است. با این حال هر دو در برخی مناطق، مقدار DR بالای 80٪ و در برخی مناطق، بیش از 90٪ تولید کرده‌اند. البته ثبات مقادیر DR الگوریتم اول بیشتر از الگوریتم دوم است. انحراف معیار DR کم‌تر الگوریتم اول (15/99) در مقایسه با الگوریتم دوم (18/36) نیز دلالت بر این موضوع دارد. درمقابل، خطای اضافه‌شدگی الگوریتم دوم به‌مراتب در اکثر موارد کم‌تر از الگوریتم اول شده است. متوسط نرخ FPR الگوریتم دوم (24٪) و الگوریتم اول (27٪).

#### جدول (1): نتایج ارزیابی دقت الگوریتم اول: پیکسل‌مبنا

(ترکیب خوشه‌بندی و قطعه‌بندی)

منطقه مورد مطالعه	DR	R	FPR	OA
(1)	91/39	73/73	18/80	84/93
(2)	88/69	81/20	25/37	81/40
(3)	74/54	75/44	25/95	74/30
(4)	80/20	76/27	21/26	79/41
(5)	80/76	74/14	24/19	78/10
(6)	75/83	70/57	26/41	74/61
(7)	40/05	50/25	25/62	60/90
(8)	67/86	33/56	45/69	57/75
متوسط	74/92	66/90	26/66	73/93
انحراف معیار	15/99	16/33	8/13	9/68

#### جدول (2): نتایج ارزیابی دقت الگوریتم دوم: پیکسل‌مبنا

(ترکیب روش‌های طیفی، خوشه‌بندی و ریخت‌شناسی)

منطقه مورد مطالعه	DR	R	FPR	OA
(1)	81/13	75/77	14/89	83/66
(2)	88/98	83/83	21/77	84/24
(3)	84/82	76/72	27/53	78/86
(4)	89/19	75/72	24/36	81/87
(5)	58/61	78/40	15/04	72/25
(6)	92/51	63/91	43/63	72/81
(7)	40/62	59/24	18/06	65/72
(8)	66/50	47/05	25/77	72/24

متوسط	75/30	70/08	23/88	76/46
انحراف معیار	18/36	12/26	9/29	6/67

## 1-2- نتایج ارزیابی دقت الگوریتم‌های شیء‌مبنا

ارزیابی دقت الگوریتم‌های شیء‌مبنا یعنی الگوریتم سوم و چهارم، به ترتیب در جدول‌های (3) و (4) آمده است. نتایج حاکی از مقدار DR بین 76٪ تا 94٪ برای الگوریتم سوم و 81٪ تا 93٪ برای الگوریتم چهارم دارد. متوسط نرخ DR این دو الگوریتم نیز 84٪ و 87٪ شده است. اعتمادپذیری بالاتر این دو الگوریتم (متوسط نرخ R، 74٪ تا 77٪) نیز نشان از مطمئن بودن الگوریتم‌های شیء‌مبنا در مقایسه با الگوریتم‌های پیکسل‌مبنا در شناسایی ساختمان دارد. البته ثبات مقادیر ارزیابی دقت الگوریتم چهارم (براساس قطعه‌بندی قدرت تفکیک چندگانه) بیشتر از الگوریتم سوم (براساس قطعه‌بندی مبتنی بر لبه) است به دلیل انحراف معیار پایین‌تر آن. دقت کلی الگوریتم سوم بین 73٪ تا 94٪ (متوسط 82٪) و دقت کلی الگوریتم چهارم بین 72٪ تا 90٪ (متوسط 81٪) شده است که حدود 4٪ تا 6٪ بیشتر از الگوریتم‌های پیکسل‌مبنا (با متوسط دقت کلی 74٪ و 76٪) شده است.

### جدول (3): نتایج ارزیابی دقت الگوریتم سوم: شیء‌مبنا

(طبقه‌بندی شیء‌مبنا براساس قطعه‌بندی مبتنی بر لبه)

منطقه مورد مطالعه	DR	R	FPR	OA
(1)	93/82	73/26	19/65	85/26
(2)	86/24	83/62	21/44	82/85
(3)	84/19	77/67	25/89	79/32
(4)	79/05	84/56	12/30	83/72
(5)	86/96	76/72	24/58	80/99
(6)	75/94	68/25	29/74	72/85
(7)	76/87	62/82	29/39	73/06
(8)	89/16	89/05	3/78	94/41
متوسط	84/03	76/99	20/85	81/56
انحراف معیار	6/29	8/77	8/92	6/95

### جدول (4): نتایج ارزیابی دقت الگوریتم چهارم: شیء‌مبنا

(طبقه‌بندی شیء‌مبنا براساس قطعه‌بندی قدرت تفکیک چندگانه)

منطقه مورد مطالعه	DR	R	FPR	OA
(1)	91/53	75/11	17/51	85/80
(2)	90/68	83/32	23/05	84/63
(3)	82/43	76/00	27/83	77/47
(4)	80/81	65/71	35/93	71/77
(5)	92/80	75/28	28/39	81/83
(6)	88/50	70/67	30/67	78/05
(7)	83/74	65/82	28/09	76/55

(8)	81/73	80/13	6/98	90/13
متوسط	86/53	74/01	24/81	80/78
انحراف معیار	4/87	6/30	8/98	5/93

### 1-3- مقایسه‌ی الگوریتم‌های پیکسل‌مبنا و شی‌مبنا

مهم‌ترین تفاوت الگوریتم‌های شی‌مبنا با پیکسل‌مبنا را می‌توان در نتایج حاصل در دو منطقه‌ی (7) و (8) مشاهده نمود. الگوریتم‌های پیکسل‌مبنای اول و دوم، به ترتیب مقادیر DRی حدود 40٪ و 67٪ برای این دو منطقه به‌دست آوردند. حال آن‌که دیده می‌شود الگوریتم سوم با مقادیر 77٪ و 89٪ و الگوریتم چهارم با مقادیر 84٪ و 82٪ ساختمان‌های این مناطق را شناسایی کرده‌اند، یعنی حدوداً 40٪ و 20٪ بیشتر. این دو نمونه، نشان از کارایی بالاتر یک الگوریتم شی‌مبنا در مقایسه با یک الگوریتم پیکسل‌مبنا دارد که البته دلایل اصلی آن را می‌توان استفاده از قطعه به جای پیکسل‌های منفرد و هم-چنین ویژگی‌های غیرطیعی (مکانی و هندسی) در پردازش‌های شی‌مبنا دانست. هم‌چنین همان‌طور که قبلاً هم گفته شد، نتایج منطقه‌ی (8) حاصل از دو الگوریتم پیکسل‌مبنای اول و دوم کمترین اعتمادپذیری را نسبت به سایر مناطق داشتند (نرخ 34٪ و 47٪). در صورتی که نرخ اعتمادپذیری الگوریتم‌های شی‌مبنا یعنی سوم و چهارم در این منطقه به ترتیب 89٪ و 80٪ شده است؛ به‌علاوه نرخ FPR منطقه‌ی (8) در الگوریتم‌های شی‌مبنا دارای کم‌ترین مقدار (4٪ و 7٪) شده است. با این حال، ملاحظه می‌شود الگوریتم‌های شی‌مبنا در برخی مناطق، خطای اضافه‌شدگی بیشتری نسبت به الگوریتم‌های پیکسل‌مبنا تولید کرده‌اند. به‌عنوان نمونه، الگوریتم سوم (براساس قطعه‌بندی مبتنی بر لبه) در مناطق (1)، (5)، (6) و (7) نسبت به الگوریتم پیکسل‌مبنای اول، و در مناطق (1)، (5) و (7) نسبت به الگوریتم پیکسل‌مبنای دوم. هم‌چنین الگوریتم چهارم (براساس قطعه‌بندی قدرت‌تفکیک چندگانه) در مناطق (3)، (4)، (5)، (6) و (7) نسبت به الگوریتم پیکسل‌مبنای اول و در مناطق (1)، (2)، (3)، (4)، (5) و (7) نسبت به الگوریتم پیکسل‌مبنای دوم. یکی از دلایل اصلی این مسأله را می‌توان وجود خطاهای قطعه‌بندی (بیش‌ازحد و کمتر از حد قطعه‌بندی) دانست که باعث بروز محدودیت و خطا در مرحله‌ی طبقه‌بندی شی‌مبنا می‌شوند. از جمله نقاط ضعف دیگر الگوریتم‌های شی‌مبنا، سعی و خطا و تکراری بودن روند انتخاب پارامترهای بهینه-ی قطعه‌بندی است که در این مقاله نیز باعث شد تا این الگوریتم‌ها با محدودیت‌هایی مواجه شوند. البته در برخی مقالات، رویه‌های خودکاری برای انتخاب این پارامترها ارائه شده است.

### 5- نتیجه‌گیری

این پژوهش به مقایسه و ارزیابی چهار الگوریتم شناسایی ساختمان با استفاده از یک مجموعه‌ی متنوع از تصاویر ماهواره‌ای قدرت‌تفکیک بالا پرداخت. این الگوریتم‌ها شامل دو گروه بودند: پیکسل‌مبنا و شی‌مبنا. نتایج نهایی نشان داد که الگوریتم‌های شی‌مبنا به‌دلیل استفاده از قطعه (به‌عنوان اشیای تصویری) به جای پیکسل‌های منفرد و هم‌چنین خصوصیات غیرطیعی اشیاء غالباً موفق‌تر از الگوریتم‌های پیکسل‌مبنا در شناسایی ساختمان عمل کردند. به‌عبارتی دیگر، کارایی کلی الگوریتم‌های شی‌مبنا و اعتمادپذیری نتایج آن‌ها در مقایسه با الگوریتم‌های پیکسل‌مبنا بیشتر شد. هم‌چنین کیفیت تصاویر باینری ساختمان‌های حاصل از این دو الگوریتم نسبت به الگوریتم‌های پیکسل‌مبنا مطلوب‌تر شد. با این حال، همان‌طور که در بخش نتایج نیز دیده شد، الگوریتم‌های پیکسل‌مبنا نیز توانستند در برخی موارد نتایج قابل قبول و مناسبی (نرخ شناسایی بالای 80٪ و حتی 90٪) به‌دست آورند. از طرفی دیگر، یکی از آسیب‌های جدی روش‌های شی‌مبنا، وجود خطاهای قطعه‌بندی بود که منجر به بروز خطا در مرحله‌ی طبقه‌بندی و شناسایی شد. به‌گونه‌ای که در برخی مناطق، خطای اضافه‌شدگی الگوریتم‌های شی‌مبنا بیشتر از الگوریتم‌های پیکسل‌مبنا شد. از این‌رو، بررسی بیشتر این موضوع و ارائه‌ی راهکاری برای حل آن می‌تواند از جمله موضوعات بعدی پژوهشگران این مقاله باشد.



## مراجع

- [1] خسروی، ا.، مومنی، م.، "استخراج ساختمان‌های مسکونی از تصاویر قدرت‌تفکیک بالا با استفاده از تعریف قواعد در طبقه بندی شیء‌مبنا". چهارمین کنفرانس مهندسی برق و الکترونیک ایران، ص، 1937-1944، شهریور 1391.
- [2] Hai-yue, L., Hong-qi, W., Chi-biao, D., "A New Solution of Automatic Building Extraction in Remote Sensing Images", Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2006. IGARSS 2006. IEEE International Conference on, pp. 3790-3793, 2006.
- [3] Jiang, N., Zhang, J.X., Li, H.T., Lin, X.G., "Semi-Automatic Building Extraction from High Resolution Imagery Based on Segmentation", Earth Observation and Remote Sensing Applications, 2008. EORSA 2008. International Workshop on, pp. 1-5, 2008.
- [4] Ghanea, M., Moallem, P., Momeni, M., "Automatic Extraction of Buildings in a Dense Urban Area from Very High Resolution Satellite Images", 5th Symposium in Advances in Science and Technology, Mashhad, Iran, May 2011.
- [5] Jin, X., Davis, C.H., "Automated Building Extraction from High-Resolution Satellite Imagery in Urban Areas Using Structural, Contextual and Spectral Information", EURASIP Journal on Applied Signal Processing, Vol. 14, pp. 2196-2206, 2005.
- [6] Mura, MD., Benediktsson, JA., Waske, B., Bruzzone, L., "Morphological Attribute Profiles for the Analysis of Very High-Resolution Images", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 48, No. 10, pp. 3747-3762, 2010.
- [7] Hunag, X., Zhang, L., "A Multidirectional and Multiscale Morphological Index for Automatic Building Extraction from Multispectral GeoEye-1 Imagery", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 77, No. 7, pp. 721-732, 2011.
- [8] Hunag, X., Zhang, L., "Morphological Building/Shadow Index for Building Extraction from High-Resolution Imagery Over Urban Areas", IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol. 5, No. 1, pp. 161-172, 2012.
- [9] Aytekin, O., Erener, A., Ulusoy, I., Duzgun, HSB., "Unsupervised Building Detection in Complex Urban Environments from Multispectral Satellite Imagery", International Journal of Remote Sensing, Vol. 33, No. 7, pp. 2152-2177, 2012.
- [10] Benz, UC., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., Heynen, M., "Multi-Resolution, Object-Oriented Fuzzy Analysis of Remote Sensing Data for GIS-Ready Information", ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 58, pp. 239-258, 2004.
- [11] Taubenbuck, H., Esch, T., Wurm, M., Roth, A., Dech, S., "Object-Based Feature Extraction Using High Spatial Resolution Satellite Data of Urban Area", Journal of Spatial Science, Vol.55, No. 1, pp. 117-132, 2010.
- [12] Bouziani, M., Goita, K., He, D-C., "Rule-Based Classification of a Very High Resolution Image in an Urban Environment Using Multispectral Segmentation Guided by Cartographic Data", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 48, No. 8, pp. 3198-3211, 2010.
- [13] Kanjir, U., Veljanovski, T., Marsetic, A., Ostir, K., "Application of object based approach to heterogeneous land cover/use", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Informational Sciences, Vol. XXXVIII-4/C7, 2008.
- [14] ENVI v5.0 User's Guide, ITT Visual Information Solutions, 2012.
- [15] eCognition Developer 8.7.2 User Guide, 2012.

- [16] Khoshelham, K., Nardinocchi, C., Frontoni, E., Mancini, A., Zingaretti, P., "*Performance Evaluation of Automated Approaches to Building Detection in Multi-source Aerial Data*", ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 65, pp. 123–133, 2010.

- 
- i High Spatial Resolution
  - ii Morphology
  - iii Multiresolution Segmentation
  - iv Pan-Sharpener
  - v QuickBird
  - vi Closing
  - vii Otsu
  - viii Normalized Difference Vegetation Index