



## کاهش معنا گرای داده با استفاده از سیستم های ایمنی مصنوعی

سید امیر احسانی<sup>۱</sup>، امیر مسعود افتخاری مقدم<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده برق، رایانه و فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

دریافت آذر ۱۳۸۶، تجدید نظر اسفند ۱۳۸۶، پذیرش اردیبهشت ۱۳۸۷

### چکیده

سیستمهای ایمنی مصنوعی از جمله روشهای حل مساله ملهم از طبیعت میباشند. مبنای این سیستمها، سیستم ایمنی بدن مهره داران است که سیستمی یادگیر با توانایی شناسایی الگو می باشد. سیستمهای ایمنی مصنوعی تا بحال در حل مسایل شناسایی الگو، یادگیری ماشین، بهینه سازی، خوشه بندی داده و برخی مسایل دیگر بکار گرفته شده اند اما از قابلیت این سیستمها در زمینه کاهش معنا گرای داده در مقالات مورد بررسی استفاده نشده است. از دید ارزش داده، داده ها را می توان به دو دسته تقسیم کرد، داده هایی که بار معنایی زیادی برای مساله دارند و در نتایج مساله تاثیر مستقیم دارند و داده هایی که ارزش کمتری دارند. بررسی ما در زمینه سیستمهای ایمنی مصنوعی نشان داد که این سیستمها توانایی تفکیک داده های با ارزش از داده های کم ارزشتر را دارند. در این مقاله ابتدا مروری بر سیستمهای ایمنی مصنوعی و مفاهیم آنها خواهیم داشت و سپس برای نشان دادن توانایی این سیستمها در کاهش معنا گرای داده، از ایمنی مصنوعی جهت استخراج رنگهای غالب تصویر استفاده می کنیم.

**واژه های کلیدی:** ایمنی مصنوعی، انتخاب ویژگی، بازیابی تصویر

### ۱. مقدمه

سیستمهای ایمنی مصنوعی برای اولین بار در اوایل دهه ۹۰ در مقالات بکار رفت اما تا سال ۲۰۰۰ تنها الگو ریتیم کاربردی موجود در این زمینه الگو ریتیم انتخاب معکوس Forest و همکارانش بود [۱].

الگوریتم مذکور اگرچه الگوریتمی بسیار ساده است اما برای آن کاربردهای زیادی از جمله تشخیص الگوهای مجاز از غیر مجاز، امنیت کامپیوتری، تشخیص ویروسهای کامپیوتری و غیره ذکر شده است [۲]. در سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ الگوریتمهای مختلفی بر مبنای شبکه ایمنی و انتخاب کلونی ارائه شد [۳-۶]. موفقیت این الگوریتمهای جدید باعث افزایش چشمگیر تحقیقات در زمینه ایمنی مصنوعی شد بطوری که تعداد مقالات ارائه شده در این زمینه از حدود ۶۰ مقاله در سال ۲۰۰۰ به بیش از ۵۰۰ مقاله در

سیستم ایمنی<sup>۱</sup> بدن مهره داران یکی از پیچیده ترین سیستمهای حیاتی موجودات زنده می باشد که پیچیدگی آن را می توان با پیچیدگی مغز مقایسه نمود. همانطور که شبکه های عصبی مصنوعی، ملهم از عملکرد مغز می باشند؛ سیستمهای ایمنی مصنوعی<sup>۲</sup> نیز با بهره گیری از دانش موجود در زمینه روش کار سیستم ایمنی بدن مهره داران طراحی شده اند. سیستم ایمنی مصنوعی یکی از جدیدترین روشهای رایانش نرم<sup>۳</sup> می باشد. واژه

\* نویسنده مکاتبه کننده: eftekhari@qazviniau.ac.ir, Tel (281)3675782

<sup>1</sup> Immune System

<sup>2</sup> Artificial Immune System

<sup>3</sup> Soft Computing

در کاهش معناگرایی داده<sup>۷</sup> می‌پردازد و در خاتمه در بخش ۵ نتیجه‌گیری خواهد آمد.

## ۲. سیستم ایمنی طبیعی

هدف و وظیفه سیستم ایمنی مهره‌داران، محافظت از بدن در برابر عوامل بیماریزا<sup>۸</sup> و در نتیجه برقرار نمودن حالتی پایدار در بدن می‌باشد که برای انجام فعالیتهای حیاتی بدن مورد نیاز است. [۶] برای این منظور سیستم ایمنی باید بتواند عوامل بیماریزا از جمله ویروسها، باکتریها و ... را که سلامت بدن را تهدید می‌کنند شناسایی کند. یک عامل بیماریزا از بخشهای مختلفی تشکیل شده است؛ یکی از این بخشهایی که در سطح خارجی عامل بیماریزا قرار دارد؛ آنتیژن<sup>۹</sup> نام دارد. سلولهای سیستم ایمنی برای شناسایی یک عامل بیماریزا، باید آنتیژن آن را تشخیص دهند. پس اینکه سیستم ایمنی یک عامل بیماریزا را شناسایی کرد، سلسله اقداماتی جهت نابود کردن آن عامل بیماریزا آغاز می‌گردد که به این اقدامات پاسخ ایمنی گفته می‌شود.

### ۲.۱.۲. لنفیتها

شناسایی آنتیژنها بر عهده نوعی از گلبولهای سفید خون به نام لنفیت<sup>۱۰</sup> می‌باشد. دو نو از لنفیتها که در اینجا موضوع بحث ما هستند عبارتند از سلول B و سلول T [۶]. که در بخشهای بعد به آنها می‌پردازیم.

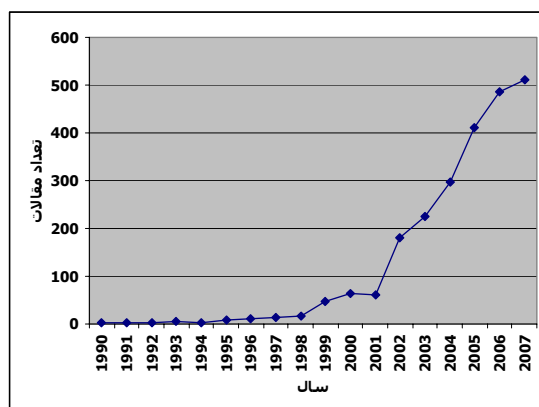
### ۲.۱.۲. لنفیتهای نوع B

لنفیتهای نوع B یا سلول B از سلولهای بنیادی، در مغز استخوان تولید می‌شوند. به هر سلول B تعدادی گیرنده سلولی BCR<sup>۱۱</sup> یا پادتن (آنتی‌بادی)<sup>۱۲</sup> یک‌شکل متصل است که وظیفه شناسایی آنتیژن را برعهده دارند.

همانطور که در شکل نشان داده شده است، آنتی‌بادی زائده‌ای Y شکل است که از دو بخش تشکیل شده؛ یک بخش به سلول B متصل می‌شود (بخش سفید رنگ) که به آن بخش (ناحیه) ثابت<sup>۱۳</sup> گفته می‌شود و بخش دیگر که در سلولهای مختلف شکل آن

سال ۲۰۰۷ رسید. شکل ۱ تعداد مقالات ارائه شده در زمینه سیستمهای ایمنی مصنوعی از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۰۷ را نشان می‌دهد.

بطور کلی می‌توان گفت سیستمهای ایمنی مصنوعی روش رایانش‌نرمی بر مبنای تئوری‌ها، ایده‌ها و اجزای سیستم ایمنی بدن مهره‌داران هستند. تعاریف اولیه این سیستمها بر مبنای مساله شناسایی الگو<sup>۴</sup> می‌باشد [۷]. اما کاربرد آنها طیف وسیعی از مسائل از مسائل بهینه‌سازی<sup>۵</sup> و خوشه‌بندی<sup>۶</sup> تا ایجاد جدول زمانبندی دانشگاه [۸] را شامل می‌شود.



شکل ۱. تعداد مقالات ارائه شده در سالهای ۹۰ تا ۲۰۰۷ در زمینه سیستمهای ایمنی مصنوعی

همانطور که پیشتر اشاره شد، از دید ارزش داده می‌توان داده‌ها را به دو بخش با ارزش و کم‌ارزش تقسیم کرد. داده‌های با ارزش به داده‌هایی گفته می‌شود که تاثیر بیشتری در خروجی دارند. به عبارت دیگر تغییر آنها می‌تواند باعث تغییر نتایج شود. [۹] نشان خواهیم داد که سیستمهای ایمنی مصنوعی توانایی جدا کردن داده‌های با ارزش از داده‌های کم ارزش را داشته می‌توانند جهت کاهش معناگرایی داده مورد استفاده قرار گیرند.

در ادامه، در بخش ۲ به بررسی سیستم ایمنی طبیعی، روش شناسایی عامل بیماریزا و تولید پاسخ ایمنی در این سیستم می‌پردازیم و پس از آن در بخش ۳ سیستمهای ایمنی مصنوعی، مفاهیم آنها و همچنین برخی از الگوریتمهای ایمنی مصنوعی را مطرح می‌کنیم، بخش ۴ به بررسی قابلیت سیستم ایمنی مصنوعی

<sup>7</sup> Data Reduction

<sup>8</sup> Pathogens

<sup>9</sup> Antigen

<sup>10</sup> Lymphocyte

<sup>11</sup> B-Cell Receptor

<sup>12</sup> Antibody

<sup>13</sup> Constant Region

<sup>4</sup> Pattern Recognition

<sup>5</sup> Optimization Problems

<sup>6</sup> Clustering

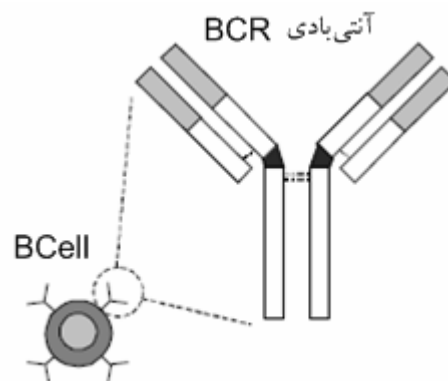
آنها آنتی‌ژنهای غیر خودی<sup>۱۷</sup> گفته می‌شود وجود داشته باشد. این وظیفه در سیستم ایمنی به عهده لنفوسیت‌های نوع T می‌باشد. لنفوسیت‌های نوع T یا سلول T نیز از سلولهای بنیادی مغز استخوان تولید و وارد خون می‌شوند. به این سلولها، سلولهای T نابالغ<sup>۱۸</sup> گفته می‌شود. سلول T نابالغ از طریق جریان خون وارد غده تیموس<sup>۱۹</sup> می‌شود. در غده تیموس بخشی محافظت شده وجود دارد که در آن تنها سلولهای خودی (سلولهای بدن) وجود دارد و هیچ عامل بیماری‌زایی نمی‌تواند وارد شود. میل ترکیبی تمامی سلولهای T نابالغ با سلولهای موجود در تیموس بررسی می‌شود و هر یک از سلولهای T نابالغ که بتوانند یکی از آن سلولهای را شناسایی کنند یا به عبارت دیگر میل ترکیبی زیادی داشته باشند؛ حذف می‌شوند. سایر سلولهای T وارد جریان خون می‌شوند. به این نوع انتخاب، که در آن سلولها برای حذف شدن انتخاب می‌شوند /انتخاب معکوس<sup>۲۰</sup> گفته می‌شود. [۱]

سلولهای T به چند دسته تقسیم می‌شوند. یک دسته سلولهای گشوده هستند که در صورتی که سلولی را شناسایی کنند آن را از بین می‌برند و دسته دیگر سلولهای کمکی هستند. همانطور که پیشتر گفته شد، آنتی‌بادی به سلولهای B متصل است اما سلولهای B نمی‌توانند آنتی‌ژنهای خودی را از غیر خودی تشخیص دهند. بنابراین برای تشخیص یک آنتی‌ژن غیر خودی به کمک یک سلول T احتیاج دارند. به عبارت دیگر پاسخ ایمنی سلولهای B هنگامی تولید می‌شود که یک سلول B و یک سلول T کمکی بطور همزمان یک آنتی‌ژن را شناسایی کنند.

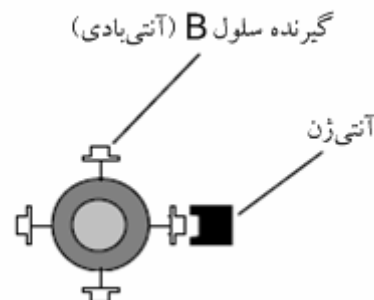
#### ۲.۲. Clonal Selection

هنگامی که دریافت کننده‌های یک سلول B و یک سلول T کمکی، بطور همزمان آنتی‌ژن یک سلول را شناسایی کنند؛ به این معنی است که اولاً سلول مذکور یک سلول غیر خودی (عامل بیماریزا) است، ثانياً سلول B مذکور توانایی شناسایی آن را دارد. در چنین مواردی متناسب با میزان میل ترکیبی سلول نوع B و آنتی‌ژن؛ سلول B رشد کرده و تقسیم می‌شود به عبارت دیگر هرچه آنتی‌بادی، مکمل بهتری برای آنتی‌ژن باشد بیشتر رشد کرده و سلولهای B بیشتری تولید می‌کند. این عمل تا ایجاد تعداد

متفاوت است، بخش متغیر<sup>۱۴</sup> نامیده می‌شود. هنگامی که شکل این بخش متغیر، مکمل شکل یک آنتی‌ژن باشد؛ می‌گوییم آنتی‌بادی میل ترکیبی<sup>۱۵</sup> زیادی با آنتی‌ژن دارد. به عبارت دیگر آنتی‌بادی الگوی آن آنتی‌ژن را شناسایی کرده است. برای مثال آنتی‌بادی سلول B نمایش داده‌شده در شکل می‌تواند آنتی‌ژن موجود را شناسایی کند



شکل ۲. سلول B و پادتن (آنتی‌بادی)



شکل ۳. شناسایی یک آنتی‌ژن توسط آنتی‌بادی

#### ۲،۱،۲. لنفوسیت‌های نوع T

یکی از چالش‌های سیستم ایمنی تشخیص سلولهای بدن یا سلولهای خودی از عوامل بیماریزا است. زیرا در سطح خارجی سلولهای خودی نیز آنتی‌ژن وجود دارد. به همین دلیل باید راه کاری نیز جهت تشخیص آنتی‌ژنهای سلولهای خودی که به آنها آنتی‌ژنهای خودی<sup>۱۶</sup> گفته می‌شود، از آنتی‌ژن عامل بیماریزا که به

<sup>17</sup> none-self antigen

<sup>18</sup> Naïve T-Cells

<sup>19</sup> Thymus

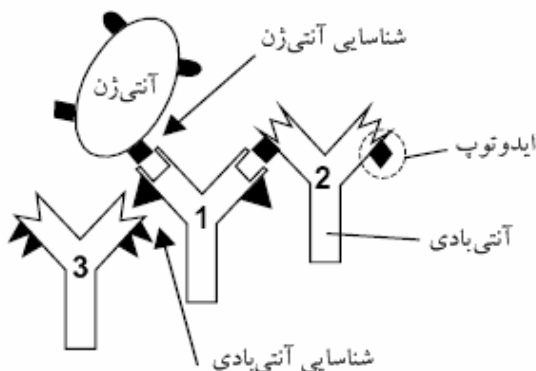
<sup>20</sup> Negative Selection

<sup>14</sup> Variable Region

<sup>15</sup> Affinity

<sup>16</sup> self antigen

بجز تشخیص آنتی‌ژنها، یکدیگر را نیز تشخیص دهند. این رفتار خاص باعث می‌شود که در غیاب عامل خارجی نیز سیستم ایمنی رفتاری پویا داشته باشد. اگرچه این تئوری را برخی را ایمنی‌شناسان رد کرده‌اند؛ اما با توجه به اینکه مدل محاسباتی ارائه شده بر مبنای این روش کارایی مناسبی دارد؛ از آن در سیستم‌های ایمنی مصنوعی استفاده می‌شود. [۶]

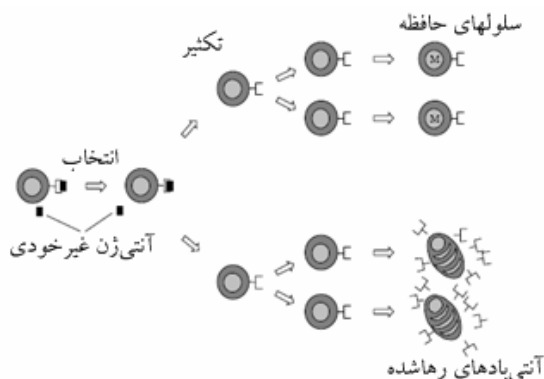


شکل ۵. شبکه ایمنی

بر مبنای این تئوری، هر آنتی‌بادی بخشی به نام ایدوتوپ<sup>۲۴</sup> دارد که توسط آنتی‌بادیهای دیگر قابل شناسایی است (به همان ترتیبی که آنتی‌ژن را شناسایی می‌کنند). در شبکه ایمنی شکل آنتی‌بادی شماره ۱، آنتی‌ژن Ag و ایدوتوپ آنتی‌بادی شماره ۲ را شناسایی می‌کند. در چنین مواردی به آنتی‌بادی شماره ۲، تصویر داخلی<sup>۲۵</sup> Ag گفته می‌شود. آنتی‌بادی‌ها با شناسایی کردن یکدیگر تحریک‌کننده یا تاثیر بازدارندگی روی آن داشته باشد. برای مثال وقتی آنتی‌بادی شماره ۱، آنتی‌بادی شماره ۲ را شناسایی می‌کند باعث تحریک آنتی‌بادی شماره ۱ می‌شود و وقتی آنتی‌بادی شماره ۳، شماره ۱ را شناسایی می‌کند روی شماره ۱ تاثیر بازدارندگی دارد. به این ترتیب این شناسایی و تاثیرگذاری بر یک دیگر باعث پویایی بیشتر شبکه ایمنی مصنوعی می‌شود. به مجموعه آنتی‌بادی‌هایی که یکدیگر را شناسایی می‌کنند، شبکه ایمنی یا شبکه ایدوتوبی گفته می‌شود.

زیادی سلول B ادامه می‌یابد. از طرف دیگر هرچه میل ترکیبی بیشتر باشد، تغییرات (جهش) کمتری در هنگام تقسیم در آنتی‌بادی ایجاد می‌شود. به این ترتیب ممکن است آنتی‌بادی‌هایی ایجاد شوند که میل ترکیبی بیشتری با آنتی‌ژن مورد نظر دارند. [۱] و [۶].

در صورتی که میل ترکیبی یک آنتی‌بادی با آنتی‌ژن زیاد باشد، سلولهای جدیدی که تولید شده‌اند، به دو دسته تقسیم می‌شوند. یک دسته آنتی‌بادی را در خون رها می‌کنند که در نتیجه آنتی‌بادیها به آنتی‌ژن عامل بیماریزا متصل می‌شوند و باعث می‌شوند نوع دیگری از گلبولهای سفید به نام ماکروفاژها، عامل بیماریزا را بلعند؛ و دسته دیگر به سلولهای خاطره (حافظه)<sup>۲۱</sup> تبدیل می‌شوند. این فرایند در شکل ۴ نمایش داده شده است. سلولهای حافظه مدت زیادتری عمر می‌کنند و اگر بار دیگر با عامل بیماریزای پیشین مواجه شوند، تعداد بیشتری آنتی‌بادی و تعداد کمتری سلول حافظه تولید می‌کنند. کل این فرایند، از شناسایی آنتی‌ژن، تکثیر و جهش تا ایجاد سلولهای حافظه انتخاب کلونی<sup>۲۲</sup> نامیده می‌شود.



شکل ۴. انتخاب کلونی، از شناسایی تا ایجاد سلولهای خاطره

### ۳.۲. تئوری شبکه ایمنی

سیستم ایمنی بدن، حتی در غیاب عامل محرک خارجی نیز رفتاری پویا دارد به عبارت دیگر انتخاب کلونی حتی در غیاب عامل بیماریزا نیز انجام می‌گیرد. برای توجیه این رفتار سیستم ایمنی، ایمنی‌شناسان تئوری شبکه ایمنی<sup>۲۳</sup> را مطرح کردند. این تئوری ادعا می‌کند که آنتی‌بادیهای موجود بر روی سلولهای B می‌توانند

<sup>21</sup> Memory Cells

<sup>22</sup> Clonal Selection

<sup>23</sup> Immune Network Theory

<sup>24</sup> Idiotope

<sup>25</sup> Internal Image

شکل ۶. تشخیص آنتی‌ژن توسط آنتی‌بادی با استفاده از مکمل بودن شکل آنها

مساله دیگر، نحوه محاسبه میل ترکیبی یک آنتی‌بادی و آنتی‌ژن است. پیشتر گفتیم که هرچه آنتی‌بادی میل ترکیبی بیشتری با آنتی‌ژن داشته باشد؛ مکمل بهتری برای آن آنتی‌ژن است. اگر هر شکل در فضای شکل را بصورت یک آرایه از اعداد صحیح، حقیقی یا باینری نمایش دهیم، میل ترکیبی را می‌توان معادل شباهت آرایه‌ها در نظر گرفت. از طرفی می‌دانیم که هرچه فاصله کمتر شود شباهت بیشتر می‌شود. یا به عبارت دیگر هرچه فاصله آنتی‌بادی و آنتی‌ژن کمتر شود، آنتی‌بادی مکمل بهتری برای آنتی‌ژن است. بر همین مبنا معمولاً در الگوریتم‌های ایمنی مصنوعی از فاصله به عنوان معیار ارزیابی خوب یا بد بودن یک آنتی‌بادی استفاده می‌شود.

با توجه به دو تعریف فضای شکل و میل ترکیبی مکمل بودن یک آنتی‌بادی و یک آنتی‌ژن، یا به عبارت دیگر شناسایی یک آنتی‌ژن توسط آنتی‌بادی با استفاده از مقدار آستانه میل ترکیبی تعریف می‌شود. اگر میزان میل ترکیبی یک آنتی‌بادی با یک آنتی‌ژن بیشتر از حد آستانه میل ترکیبی  $\epsilon$  باشد، می‌گوییم آن آنتی‌ژن در محدوده شناسایی<sup>۲۷</sup> این آنتی‌بادی قرار دارد. یا به عبارت دیگر اگر فاصله یک آنتی‌بادی و یک آنتی‌ژن از حد آستانه شناسایی کمتر باشد، آنتی‌ژن را شناسایی می‌کند. به این ترتیب هر آنتی‌بادی می‌تواند تعدادی آنتی‌ژن را که تفاوت‌های اندکی با یکدیگر دارند شناسایی کند و در نتیجه تعداد آنتی‌بادی‌ها می‌تواند از تعداد آنتی‌ژن‌ها کمتر می‌شود.

### ۲.۳. الگوریتم‌های ایمنی مصنوعی

پس از تعیین شیوه نمایش آنتی‌بادیها و آنتی‌ژنها و نیز تعیین روشی جهت محاسبه میل ترکیبی آنها باید یک الگوریتم مناسب برای مساله انتخاب شود. الگوریتم‌های مطرح شده در سیستم‌های ایمنی مصنوعی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد. دسته اول الگوریتم‌هایی که بر مبنای انتخاب کلونی سلولهای B ایجاد شده‌اند، دسته دوم الگوریتم‌هایی که بر مبنای انتخاب معکوس سلولهای T ایجاد شده‌اند و دسته آخر الگوریتم‌هایی که بر مبنای تئوری شبکه ایمنی به وجود آمده‌اند. در ادامه به بررسی نمونه‌هایی از این الگوریتم‌ها می‌پردازیم.

<sup>27</sup> Recognition Region

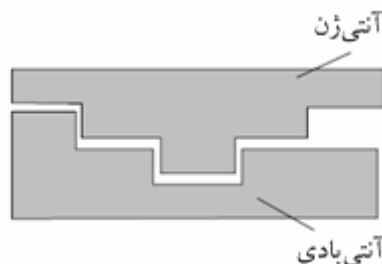
### ۳. سیستم‌های ایمنی مصنوعی

برای حل یک مساله با استفاده از سیستم ایمنی مصنوعی باید به سه سوال پاسخ داده شود، اول نحوه نمایش داده‌های مساله یا تعریف فضای شکل، دوم معیار اندازه‌گیری میل ترکیبی و سوم انتخاب یک الگوریتم ایمنی مصنوعی برای حل مساله. این مراحل را می‌توان بطور غیر رسمی معادل مراحل نمایش کروموزوم، تعریف تابع ارزیابی و انتخاب الگوریتم تکاملی دانست. در ادامه و در بخش ۱-۳ به بررسی فضای شکل و میل ترکیبی می‌پردازیم تا بتوانیم پاسخی مناسب برای دو سوال اول پیدا کنیم. سپس در بخش ۲-۳ برخی الگوریتم‌های مطرح شده در سیستم ایمنی مصنوعی را معرفی می‌کنیم.

### ۱.۳. فضای شکل و میل ترکیبی

در سیستم ایمنی، همه چیز بر مبنای شناسایی الگو یا شناسایی شکل آنتی‌ژن است. سیستم ایمنی را می‌توان به فضایی پر از شکل‌های مختلف تشبیه کرد. هدف ما در این دنیا پیدا کردن مکمل شکلهای مذکور و در نتیجه شناسایی آنها است. در حقیقت آنچه سیستم‌های ایمنی مصنوعی دنبال می‌کنند پیدا کردن تعدادی شکل بهینه (آنتی‌بادی) در فضای شکل<sup>۲۶</sup> است که مکمل همه شکلهای موجود در داده‌های مساله (آنتی‌ژنها) باشند.

به عبارت دیگر، در سیستم ایمنی مصنوعی ما می‌خواهیم برای N آنتی‌ژن (الگو) در فضای شکل، M آنتی‌بادی پیدا کنیم به صورتی که M خیلی کوچکتر از N است. شکل ۶ نمونه‌ای از شناسایی آنتی‌ژن توسط آنتی‌بادی را نمایش می‌دهد. معمولاً شکلهای (آنتی‌ژنها) بصورت آرایه‌ای از اعداد نمایش داده می‌شوند. که می‌تواند آرایه‌ای از اعداد باینری، صحیح یا اعداد حقیقی باشد. در حالت استاندارد، هر شیوه‌ای که برای نمایش آنتی‌ژن استفاده شود، برای آنتی‌بادی نیز استفاده می‌شود. به عبارت دیگر نحوه نمایش آنتی‌بادی و آنتی‌ژن در حالت استاندارد یکسان است.



<sup>26</sup> Shape Space

۱،۲،۳ الگوریتم Clonal Selection

۲،۲،۳ الگوریتم انتخاب معکوس<sup>۲۸</sup>

این الگوریتم بر مبنای سلولهای T ایجاد شده است. سلولهای T می‌توانند سلولهای خودی و غیر خودی را از هم تشخیص بدهند. الگوریتم انتخاب معکوس ارائه شده توسط Forest دو مرحله دارد، مرحله اول که مرحله یادگیری است مشابه کار تیموس را انجام می‌دهد یعنی سلولهایی که سلولهای خودی را شناسایی می‌کنند را حذف می‌کند. سپس در مرحله دوم که مرحله آزمایش یا اجرا است، الگوها (آنتی‌ژنها) با سلولهای T باقی‌مانده از مرحله اول مقایسه می‌شوند و در صورت شناسایی حذف می‌شوند. [۱] این الگوریتم در تشخیص آنومالی، شناسایی الگو و امنیت کامپیوتر<sup>۲۹</sup> کاربرد دارد. [۲] الگوریتم یادگیری انتخاب معکوس در شکل ۸ و شکل آمده است.

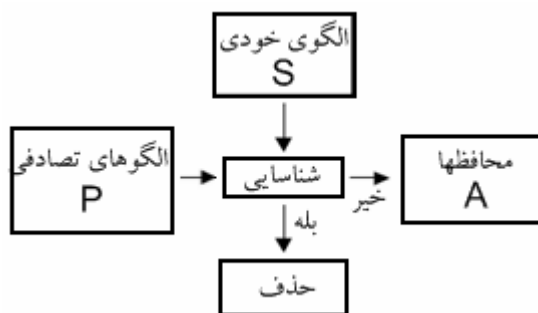
فرض می‌کنیم S الگوهای خودی باشد که باید محافظت شود و A محافظ‌ها باشند.

۱. ایجاد الگوهای تصادفی P

۲. هر الگوی P که میل ترکیبی آن با حداقل یک الگوی S بیشتر از آستانه شناسایی است، حذف می‌شود.

۳. الگوهای باقیمانده به A افزوده می‌شود.

شکل ۸. الگوریتم یادگیری انتخاب معکوس



شکل ۹. یادگیری الگوریتم انتخاب معکوس

پس از یادگیری، از مجموعه A در مرحله اجرا یا نظارت<sup>۳۰</sup> استفاده می‌شود، در این مرحله هر الگوی ورودی با الگوهای موجود

این الگوریتمها بر مبنای انتخاب کلونی سلولهای B ایجاد شده است. بنابراین بخشهای اصلی این الگوریتمها نیز مانند انتخاب کلونی طبیعی شامل شناسایی آنتی‌ژن، تکثیر و جهش سلولهای B (آنتی‌بادیها) و ایجاد سلولهای حافظه است. پر استفاده‌ترین الگوریتم انتخاب کلونی مطرح شده الگوریتم CLONALG می‌باشد. [۱۱] در این الگوریتم اکثر سلولها برای کلونی سازی (تکثیر) انتخاب می‌شوند اما از همه سلولها به یک اندازه تکثیر نمی‌شوند؛ بلکه سلولهایی که میل ترکیبی بیشتر دارند، بیشتر تکثیر می‌شوند.

از طرف دیگر سلولهایی که میل ترکیبی کمتری داشته‌اند بیشتر تغییر می‌کنند (جهش بیشتر). به عبارت دیگر تکثیر نسبت مستقیم با میل ترکیبی دارد و جهش نسبت عکس با میل ترکیبی دارد. به این ترتیب نه تنها میل ترکیبی سلولها به مرور زمان افزایش می‌یابد بلکه تنوع نیز حفظ می‌شود. این الگوریتم در شناسایی الگو، مسائل بهینه‌سازی و یادگیری ماشین کاربرد دارد. در شکل، جزئیات الگوریتم CLONALG آمده است.

الگوریتم CLONALG شباهتهای زیادی به الگوریتم تکاملی دارد اما تفاوت‌های مفهومی و نیز تفاوت‌هایی در کارایی با آن الگوریتم دارد. از مهمترین تفاوت‌های مفهومی می‌توان به این نکته اشاره کرد که در الگوریتم تکاملی جهش یک خطا محسوب می‌شود در حالی که در این الگوریتم جهش یا Somatic Hypermutation یک پدیده طبیعی در سلولهای ایمنی است که در طبیعت نیز رخ بالایی دارد. از نظر عملکرد نیز می‌توان به ارتباط عکس بین نرخ جهش و میل ترکیبی اشاره کرد. [۶]

۱. ایجاد N آنتی‌بادی اولیه

۲. برای هر آنتی‌ژن:

۱-۲.  $n_1$  آنتی‌بادی که میل ترکیبی بیشتری با آنتی‌ژن دارند انتخاب می‌شود.

۲-۲. همه آنتی‌بادی‌های انتخاب شده تکثیر می‌شوند، هر چه میل ترکیبی آنتی‌بادی بیشتر باشد، بیشتر تکثیر می‌شود.

۳-۲. با احتمال زیاد، روی آنتی‌بادی‌های موجود جهش اعمال می‌شود. هرچه میل ترکیبی بیشتر باشد، جهش کمتر می‌شود.

۴-۲.  $n_2$  آنتی‌بادی با بیشترین میل ترکیبی انتخاب می‌شوند.

۵-۲. تعدادی آنتی‌بادی تصادفی ایجاد شده، جایگزین آنتی‌بادیهای که میل ترکیبی کمی دارند می‌شود.

۳. در صورت برقرار نبودن شرط خاتمه، مرحله ۲ تکرار شود.

شکل ۷. الگوریتم CLONALG

<sup>28</sup> Negative Selection

<sup>29</sup> Computer Security

<sup>30</sup> Monitoring

شکل ۱۰. الگوریتم کلی شبکه ایمنی مصنوعی الگوریتمهای متفاوتی برای شبکه ایمنی مصنوعی مطرح شده است. که هر یک از آنها بخشهای مختلف شکل را به روش خود تعریف کرده‌اند. یکی از الگوریتمهای معروف؛ الگوریتم aiNET<sup>۳۱</sup> می‌باشد. طبق تعریف aiNET گرافی وزندار است که ممکن است کاملاً همبند<sup>۳۲</sup> نباشد. گره‌های این گراف را آنتی‌بادیها تشکیل می‌دهند و وزن لبه‌ها نمایانگر استحکام ارتباط بین دو نود می‌باشد. [۳] این الگوریتم نیز در شکل آمده است.

۱. ایجاد سلولهای اولیه بصورت تصادفی.
۲. برای هر آنتی‌ژن:
  - ۱-۲. محاسبه میل ترکیبی همه آنتی‌بادیها با آنتی‌ژن
  - ۲-۲. انتخاب n آنتی‌بادی با بیشترین میل ترکیبی
  - ۳-۲. تکثیر آنتی‌بادیها متناسب با میل ترکیبی
  - ۴-۲. اعمال جهش روی آنتی‌بادیها متناسب با عکس میل ترکیبی
  - ۵-۲. محاسبه میل ترکیبی آنتی‌بادیهای جدید با آنتی‌ژنها
  - ۶-۲. حذف آنتی‌بادیهایی که میل ترکیبی آنها با آنتی‌ژن از حد آستانه  $\sigma_h$  کمتر است (مرگ طبیعی)
  - ۷-۲. انتخاب تعدادی از آنتی‌بادیها که میل ترکیبی بیشتری دارند
- و ایجاد مجموعه سلولهای حافظه کلونی.
- ۸-۲. محاسبه میل ترکیبی آنتی‌بادیهای جدید با یکدیگر
- ۹-۲. حذف آنتی‌بادیهایی که میل ترکیبی آنها با یک آنتی‌بادی دیگر از حد آستانه  $\sigma_s$  بیشتر است (بازدارندگی کلونی).
- ۱۰-۲. آنتی‌بادیهای باقی مانده به شبکه افزوده می‌شوند.
۳. میل ترکیبی هر زوج از آنتی‌بادیهای شبکه محاسبه می‌شود.
۴. تمام آنتی‌بادیهایی که میل ترکیبی آنها با یک آنتی‌بادی دیگر از  $\sigma_s$  بیشتر است حذف می‌شوند (بازدارندگی شبکه‌ای).
۵. تعدادی آنتی‌بادی جدید (تصادفی) به شبکه افزوده می‌شود.
۶. مراحل ۲ تا ۵ تا برقراری شرط خاتمه ادامه پیدا می‌کند.

شکل ۱۱. الگوریتم aiNET

مراحل ۲-۱ تا ۲-۸ در این الگوریتم، انتخاب کلونی می‌باشد که تقریباً معادل الگوریتم CLONALG می‌باشد. در مرحله ۲-۴ جهش از رابطه  $c = c - \alpha(c - x)$  بدست می‌آید که در آن X

<sup>31</sup> Artificial Immune Network

<sup>32</sup> Fully connected

در مجموعه A مقایسه می‌شود و در صورتی که میل ترکیبی آنها از یک حد آستانه‌ای بیشتر باشد، الگوی ورودی به عنوان الگوی غیر خودی حذف می‌شود.

### ۳،۲،۳. شبکه ایمنی مصنوعی

یکی از مشکلاتی که الگوریتم CLONALG دارد این است که آنتی‌بادیهای حاصل از این الگوریتم نسبت به آخرین داده‌های ورودی (آنتی‌ژنها) بایاس می‌شود. مشکل دیگر انتخاب کلونی تمایل آنتی‌بادی‌ها برای تجمع در یک نزدیکی یکدیگر می‌باشد، به عبارت دیگر، چندین آنتی‌بادی مقداری نزدیک به هم بدست می‌آورند. الگوریتمهایی که بر مبنای تئوری شبکه ایمنی مطرح شده‌اند این دو نقص انتخاب کلونی را برطرف می‌کنند.

در یک شبکه ایمنی مصنوعی، برای آنتی‌بادی بجز میل ترکیبی با آنتی‌ژن معیارهای ارزیابی دیگری نیز وجود دارد. معیار ارزیابی اصلی در شبکه ایمنی مصنوعی میزان تحریک شدن آنتی‌بادی است. میزان تحریک آنتی‌بادی بر مبنای میل ترکیبی آنتی‌بادی با آنتی‌ژن، میل ترکیبی آنتی‌بادی با آنتی‌بادیهای دیگر و میل ترکیبی سایر آنتی‌بادی‌ها با آنتی‌بادی مورد نظر محاسبه می‌شود. در صورتی که یک آنتی‌بادی، آنتی‌بادی دیگر یا آنتی‌ژن را شناسایی کند، تحریک می‌شود اما از طرف دیگر شناسایی شدن یک آنتی‌بادی توسط آنتی‌بادی دیگر تاثیر بازدارندگی بر روی آن دارد. میزان تحریک یک آنتی‌بادی بطور کلی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$S = N_{st} - N_{sup} + A_g$$

که در آن  $N_{st}$  میزان تحریک شدن آنتی‌بادی توسط شبکه،  $N_{sup}$  میزان بازدارندگی شبکه‌ای آنتی‌بادی و  $A_s$  میزان تحریک آنتی‌بادی توسط آنتی‌ژن است. به دلیل هزینه محاسباتی بالایی که این رابطه دارد، الگوریتمهای مختلفی که برای شبکه ایمنی مصنوعی ارائه شده است از نسخه‌های ساده شده این رابطه استفاده می‌کنند. الگوریتم شبکه ایمنی مصنوعی را می‌توان بطور کلی بصورت زیر تعریف کرد:

۱. مقدار دهی اولیه: ایجاد شبکه با استفاده از تعدادی سلولهای تصادفی.
۲. برای هر آنتی‌ژن:
  - ۱-۲. محاسبه میل ترکیبی آنتی‌بادیهای شبکه با آنتی‌ژن.
  - ۲-۲. محاسبه میل ترکیبی آنتی‌بادیهای شبکه با یکدیگر.
  - ۳-۲. افزودن سلولهای جدید و حذف تعدادی از سلولهای شبکه.
  - ۴-۲. محاسبه میزان تحریک هر یک از سلولهای شبکه.
  - ۵-۲. تغییر ساختار شبکه با توجه به میزان تحریک هر یک از سلولهای شبکه.
۳. مرحله ۲ تا برقراری شرط خاتمه تکرار می‌شود.

منظور می‌توان از مقدار آستانه استفاده کرد اما این روش کارایی لازم را ندارد. روش ارائه شده در [۳] این است که ابتدا درخت پوشای مینیمم<sup>۳۳</sup> گراف مذکور را محاسبه کرده و سپس یال‌هایی را که مقدار آنها از یال‌های همجوارشان بصورت مشخصی بیشتر است حذف می‌کنیم. گره‌هایی که در نهایت به هم متصل می‌مانند، به یک کلاس تعلق دارند.

بجز الگوریتم aiNET الگوریتم‌های دیگری نیز در زمینه شبکه ایمنی مصنوعی استفاده شده‌اند. از جمله این الگوریتم‌ها می‌توان به سیستم تشخیص ایمنی مصنوعی AIRS<sup>۳۴</sup> اشاره کرد که یک طبقه‌بندی کننده‌ی با ناظر است. این سیستم قابلیت خودسازماندهی<sup>۳۵</sup> دارد و ساختار خود را بر مبنای داده‌های ورودی تعیین می‌کند بنابراین نیازی به تعیین ساختار سیستم توسط کاربر نیست. [۵]

شایان ذکر است که استفاده از مفاهیم ایمنی مصنوعی محدود به الگوریتم‌های ارائه شده نمی‌باشد. در برخی موارد نیز، الگوریتم‌های ساده و تک منظوره‌ای بر مبنای مفاهیم شبکه ایمنی مصنوعی طراحی و استفاده شده است که نتایج خوبی نیز از آنها بدست آمده است. از این جمله می‌توان به الگوریتم استفاده شده برای تشخیص خودرو در تصاویر هوایی [۱۲] اشاره کرد. در این الگوریتم از ترکیبی از مفاهیم انتخاب معکوس، فضای شکل، آستانه شناسایی و شبکه ایمنی استفاده شده و از انتخاب کلونی و جهش استفاده نشده است.

#### ۴. کاهش معناگرایی داده

در سیستم ایمنی بدن مهره‌داران، هر آنتی‌بادی می‌تواند چند آنتی‌ژن شبیه به هم را شناسایی کند، در نتیجه هنگامی که یک ویروس یا هر عامل بیماری‌زای دیگری بر اثر جهش تغییر کند، آنتی‌بادی‌های موجود در بدن ممکن است بتوانند آن را شناسایی کنند. شناسایی چند ویروس توسط یک آنتی‌بادی نوعی کاهش داده طبیعی محسوب.

مفاهیم فضای شکل، میل ترکیبی و آستانه شناسایی پایه‌های اصلی قابلیت سیستم‌های ایمنی مصنوعی در کاهش داده هستند. همانطور که پیشتر اشاره شد اگر N آنتی‌ژن داشته باشیم، سیستم ایمنی مصنوعی می‌تواند M آنتی‌بادی ایجاد کند که این M

ماتریس آنتی‌ژن، C کلونی آنتی‌بادیها و  $\alpha$  ضریب یادگیری یا نرخ جهش است. نرخ جهش در aiNET از حاصل ضرب یک عدد ثابت و یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه صفر و یک در فاصله آنتی‌بادی و آنتی‌ژن بدست می‌آید. که در نتیجه جستجوی حریصانه و در عین حال تصادفی به سوی آنتی‌ژن را حاصل می‌شود. به علاوه کلونی سازی متناسب با میل ترکیبی باعث می‌شود که عمل استخراج در نزدیکی پاسخ به خوبی انجام شود زیرا هرچه آنتی‌بادی به آنتی‌ژن نزدیکتر باشد، کلون‌های بیشتری تولید می‌کند و در نتیجه عمل استخراج بهتر انجام می‌گیرد. جهش نیز با توجه به رابطه‌ای که گفته شد متناسب با عکس میل ترکیبی است. یعنی هرچه میل ترکیبی بیشتر باشد (فاصله کمتر)، جهش‌ها کوچکتر می‌شود و عمل استخراج انجام می‌شود و هر چه میل ترکیبی کمتر باشد (فاصله بیشتر) و در نتیجه جهش‌های بزرگتری انجام می‌گیرد. به این ترتیب آنتی‌بادی‌هایی که از جواب دور هستند عمل اکتشاف و آنتی‌بادی‌هایی که نزدیک جواب هستند عمل استخراج را انجام خواهند داد.

مرحله‌های ۲-۹ و ۴ به ترتیب عمل بازدارندگی کلونی و شبکه‌ای را انجام می‌دهند، در مرحله ۲-۹ عمل بازدارندگی روی مجموعه کلونی ایجاد شده برای آنتی‌ژن جاری انجام می‌گیرد و در مرحله ۴ این عمل بر روی کل آنتی‌بادی‌های شبکه انجام می‌گیرد. این دو مرحله باعث می‌شوند آنتی‌بادی‌هایی که آنتی‌ژن‌های مشابهی را شناسایی می‌کنند حذف شوند.

پارامتر  $\sigma_s$  انعطاف پذیری شبکه، دقت خوشه بندی و میزان اختصاصی بودن هر یک از آنتی‌بادیها را تعیین می‌کند. هرچه مقدار  $\sigma_s$  کوچکتر باشد آنتی‌بادی‌های شبکه می‌توانند به هم نزدیکتر شوند و در نتیجه دقت خوشه‌بندی شبکه و میزان اختصاصی بودن بیشتر می‌شود اما اندازه آن نیز بزرگتر می‌شود. از طرف دیگر هرچه اندازه  $\sigma_s$  بزرگتر شود هر آنتی‌بادی محدوده بزرگتری را شناسایی می‌کند و در نتیجه شبکه حاصل از نظر تعداد آنتی‌بادی کوچکتر می‌شود اما دقت خوشه‌بندی آن کمتر می‌شود. در نهایت اینکه  $\sigma_s$  مهمترین پارامتر در aiNET می‌باشد که باید مقدار آن به دقت تعیین شود.

پس از مرحله ۵ خروجی شبکه به صورت مجموعه‌ای از آنتی‌بادیها (گره‌های گراف) و میل ترکیبی آنها با یکدیگر (لبه‌های گراف) بدست می‌آید و در نتیجه یک گراف کامل می‌باشد. به منظور انجام عمل خوشه‌بندی باید تعدادی از یال‌های گراف حذف شوند تا خوشه‌های مختلف گراف از یکدیگر جدا شوند. برای این

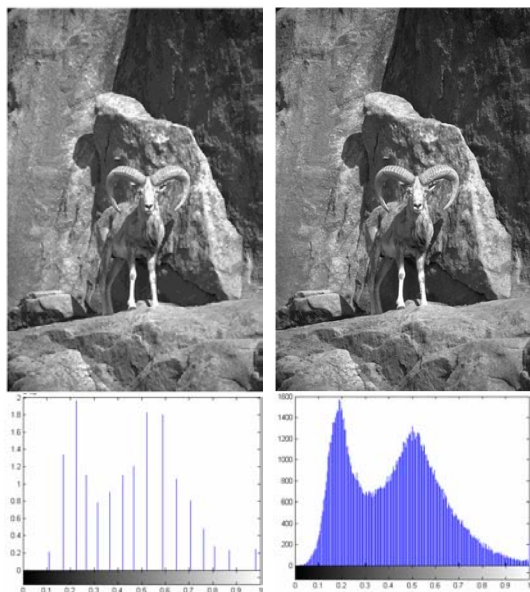
<sup>33</sup> minimum spanning tree

<sup>34</sup> Artificial Immune Recognition System

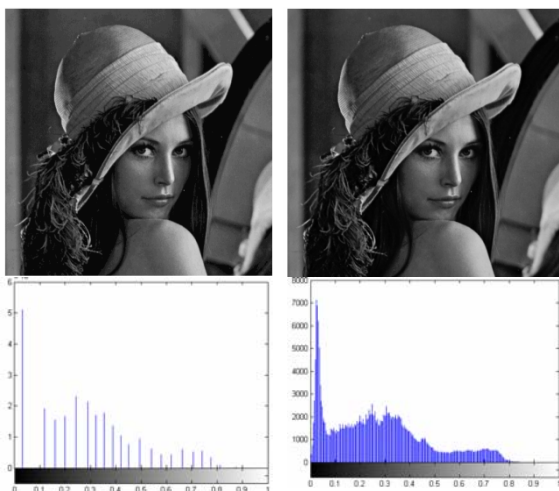
<sup>35</sup> self-regulatory



بدست می‌آید. همچنین یکنواخت نبودن فاصله سطوح خاکستری تصاویر خروجی و متناسب بودن فاصله سطوح خاکستری انتخاب شده، با هیستوگرام تصویر دلیلی دیگر بر معناگرا بودن کاهش داده با استفاده از ایمنی مصنوعی است.



شکل ۱۲. از راست بالا به چپ پایین تصویر ورودی، ۲. تصویر خروجی، با رنگهای غالب استخراج شده توسط aiNET، ۳. هیستوگرام تصویر ورودی، ۴. هیستوگرام تصویر خروجی.



شکل ۱۳. از راست بالا به چپ پایین تصویر ورودی، ۲. تصویر خروجی، با رنگهای غالب استخراج شده توسط aiNET با ۲۱ سطح خاکستری، ۳. هیستوگرام تصویر ورودی، ۴. هیستوگرام تصویر خروجی.

آنتی‌بادی، تمامی  $N$  آنتی‌ژن را شناسایی می‌کنند و  $M$  خیلی کوچکتر از  $N$  است. فرض می‌کنیم آنتی‌بادی  $m_k$  بتواند آنتی‌ژنهای  $n_i, n_{i+1}, \dots, n_j$  را شناسایی کند، پس فاصله  $m_k$  از تمامی آن آنتی‌ژنها کمتر از حد آستانه شناسایی است. یا به عبارت دیگر شباهت زیادی بین مقادیر بردار ویژگی  $m_k$  و آنتی‌ژنهای مذکور وجود دارد. از طرف دیگر می‌دانیم ایمنی مصنوعی  $m_k$  بهینه را پیدا می‌کند، پس می‌توان نتیجه گرفت آنتی‌بادی‌های حاصل هر کدام شاخص تعدادی از داده‌ها هستند. بعلاوه شبکه ایمنی مصنوعی می‌تواند آنتی‌بادی‌های مشابه را حذف کند، بنابراین در پاسخ سیستم ایمنی افزونگی نیز وجود ندارد. با توجه به خواص ذکر شده نتیجه می‌گیریم آنتی‌بادی  $m_k$  شاخص آنتی‌ژنهای مذکور است. بر همین اساس مجموعه  $M$  را می‌توانیم به عنوان مجموعه داده‌های شاخص مجموعه  $N$  در نظر بگیریم. با توجه به اینکه مجموعه  $M$  کوچکتر از  $N$  است و نیز از نظر ارزش داده با آن برابر است؛ مجموعه  $M$  نسخه کاهش یافته  $N$  است که معنای  $N$  را نیز حفظ کرده است.

برای نشان دادن توانایی ایمنی مصنوعی در کاهش معناگرایی داده‌ها، از شبکه ایمنی مصنوعی جهت استخراج ویژگی رنگهای غالب تصویر استفاده کرده‌ایم، این ویژگی یکی از ویژگی‌های مورد استفاده در بازیابی تصویر می‌باشد. برای این منظور از الگوریتم استاندارد aiNET استفاده شده است. در این آزمایش برای نمایش فضای شکل از آرایه اعداد حقیقی استفاده شده است و میل ترکیبی با استفاده از فاصله اقلیدسی محاسبه شده. آنتی‌ژنها سطح خاکستری یا RGB نقاط تصویر و آنتی‌بادی‌ها، رنگهای غالب تصویر هستند. پس از استخراج رنگهای غالب، تصویر با استفاده از رنگهای غالب رسم شده است.

همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، تصویر خروجی که تنها ۱۶ رنگ دارد؛ از نظر ادراک انسان، شباهت زیادی به تصویر اصلی دارد. که نشان دهنده انتخاب درست رنگهای غالب توسط aiNET است. در این آزمایش مقدار پارامتر  $\sigma_s$  برابر ۰.۰۴ بوده است، با کمتر کردن مقدار این پارامتر آنتی‌بادی‌ها می‌توانند به یکدیگر نزدیکتر شوند و در نتیجه تعداد رنگهای غالب افزایش پیدا می‌کند. با بزرگتر کردن مقدار مذکور حداقل فاصله آنتی‌بادی‌ها افزایش یافته و در نتیجه تعداد رنگهای غالب کاهش می‌یابند.

اختلاف موجود بین هیستوگرامهای شکل ۱۲-۴ و شکل ۱۳-۴ نشان می‌دهد که شاخصهای بدست آمده برای هر تصویر منحصر به همان تصویر بوده و بر مبنای داده‌های آن تصویر به صورت انطباقی

$\sigma_s$  باعث افزایش فاصله آنتی‌بادی‌ها از یکدیگر شده و در نتیجه رنگهای غالب کمتری بدست می‌آیند. اما در تصاویر ایجاد شده با ۶ رنگ غالب نیز همچنان کلیات تصویر حفظ شده است. مخصوصاً در تصویر Mandril که نواحی هموار کمتری نسبت به Lena دارد. در این روش نمی‌توان تعداد رنگهای غالب مورد نظر را تعیین کرد، اما با استفاده از پارامتر  $\sigma_s$  می‌توان میزان اختصاصی بودن هر آنتی‌بادی را تعیین کرد که در نتیجه‌ی آن تعداد رنگهای غالب که همان سلولهای حافظه هستند نیز تغییر می‌کند. هرچه پارامتر  $\sigma_s$  کوچکتر شود، تعداد رنگهای غالب بیشتر می‌شود و هرچه این پارامتر بزرگتر شود تعداد رنگهای غالب بدست آمده کمتر می‌شود.

### ۵. نتیجه گیری

سیستمهای ایمنی مصنوعی اتصالگرا، یادگیر و تکاملی هستند. روشها و الگوریتمهای مختلفی که در این سیستمهای ارائه شده است هر کدام بر اساس یک یا چند ایده الهام گرفته شده از سیستم ایمنی بدن مهره‌داران می‌باشند؛ از جمله مهمترین این ایده‌ها می‌توان به فضای شکل، کلونی سازی متناسب با میل ترکیبی و جهش متناسب با عکس میل ترکیبی (در انتخاب کلونی)، شبکه ایمنی مصنوعی، و انتخاب معکوس اشاره کرد.

سیستمهای ایمنی مصنوعی تا به امروز در کاربردهای مختلفی بکار رفته‌اند. خوشه‌بندی داده‌ها، دسته‌بندی داده‌ها، بهینه‌سازی، شناسایی الگو از مهمترین مواردی هستند که سیستمهای ایمنی مصنوعی در آنها بکار رفته‌اند. علاوه بر این کاربردهای، نشان دادیم که از این سیستمها می‌توان در کاهش معناگرایی داده و استخراج داده‌های شاخص و با ارزش نیز استفاده کرد. در این مقاله با یک بررسی موردی در زمینه استخراج ویژگی رنگهای غالب تصویر، توانایی سیستمهای ایمنی مصنوعی در کاهش معناگرایی داده را محک زدیم که نتایج بدست آمده فرضیات اولیه ما را تایید کردند. از این قابلیت می‌توان برای انتخاب داده‌های با ارزش در یک مجموعه داده آموزشی برای شبکه عصبی یا کاهش داده‌ها جهت افزایش سرعت محاسباتی نیز استفاده کرد.

### مراجع

- [1] S. Forest, A. S. Perelson, L. Allen, R. Cherukuri, Self-Nonself Discrimination in a Computer, in Proceedings IEEE symposium on Research in Security and Privacy, Oakland, CA ( 1994 ) 212–202.  
[2] D. Dasgupta, N. Attoh-Okine, Immunity-Based Systems: A Survey, in proceedings of IEEE International

آزمایشات انجام شده بر روی تصاویر رنگی نیز توانایی ایمنی مصنوعی در کاهش داده و تعیین داده‌های شاخص را تایید می‌کند. در شکل ۱۴ تصویر Lena و Mandril با استفاده از رنگهای غالب به همراه رنگهای غالب استخراج شده از آنها نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که رنگهای غالب بدست آمده توسط aiNET به خوبی طیف رنگی هر یک از تصاویر را بیان می‌کند.



شکل ۱۴. ۱. تصویر Mandril، با ۱۴ رنگ غالب و رنگهای غالب استخراج شده توسط aiNET. ۲. تصویر Lena با ۱۵ رنگ غالب و رنگهای غالب استخراج شده توسط aiNET.



شکل ۱۵. ۱. تصویر Mandril، با ۶ رنگ غالب و رنگهای غالب استخراج شده توسط aiNET. ۲. تصویر Lena با ۶ رنگ غالب و رنگهای غالب استخراج شده توسط aiNET.

برای هر دو تصویر Lena و Mandril در شکل ۱۴ مقدار  $\sigma_s$  برابر ۰٫۲۵ بوده است، اما با توجه به اختلاف دو تصویر، تعداد رنگهای غالب بدست آمده برای این دو تصویر متفاوت است. این تفاوت به دلیل تفاوت ماهیت دو تصویر می‌باشد. تصویر Lena به دلیل اینکه سطوحی با تغییر رنگ کم دارد، رنگهایی نزدیک به هم نیاز داشته است و در نتیجه آنتی‌بادی‌ها به یکدیگر نزدیک شده و تعداد رنگها بیشتر از Mandril شده است. در تصویر Mandril نواحی مسطح کمتری وجود دارد و در نتیجه آنتی‌بادی‌های کمتری برای آن لازم بوده است. در شکل ۱۵ برای هر دو تصویر از  $\sigma_s$  برابر ۰٫۴۰ استفاده شده است. همانطور که انتظار داشتیم افزایش میزان

- Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Orlando (7) 1997.
- [3] L. N. d. Castro, F. J. V. Zuben, An Evolutionary Immune Network for Data Clustering, in Proc. of the IEEE SBRN (Brazilian Symposium on Artificial Neural Networks) Rio de Janeiro (2000).
- [4] J. Timmis, M. Neal, A resource limited artificial immune system for data analysis, Knowledge Based Systems 14 (2001) 9.
- [5] A. Watkins, L. Boggess, A New Classifier Based on Resource Limited Artificial Immune Systems, in IEEE World Congress on Computational Intelligence, Honolulu, 2002.
- [6] L. N. D. CASTRO, J. I. TIMMIS, Artificial Immune System as a Novel Soft Computing Paradigm, Soft Computing Journal 7 (2003).
- [7] L. N. d. Castro, J. Timmis, Artificial Immune Systems: A Novel Paradigm to Pattern Recognition, Artificial Neural Networks in Pattern Recognition, 2002.
- [8] M. R. Malim, A. T. Khader, A. Mustafa, Artificial Immune Algorithms for University Timetabling, in Practice and Theory of Automated Timetabling Brno, Czech Republic, 2006.
- [9] J. Richard, Q. SHEN, Fuzzy-rough data reduction with ant colony optimization, Fuzzy sets and systems 149 (2005) 16.
- [10] D. Dasgupta, Advances in Artificial Immune Systems, IEEE Computational Intelligence Magazine, 2006.
- [11] L. N. d. Castro, F. J. V. Zuben, The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications, in Workshop Proceedings of GECCO, Las Vegas (2000) 37-36.
- [12] H. Zheng, L. Li, An Artificial Immune Approach for Vehicle Detection from High Resolution Space Imagery, International Journal of Computer Science and Network Security 7 (2007) 6.