



مقدمه‌ای بر مکان‌یابی زیرساخت‌ها با رویکرد پدافند غیرعامل

دکتر صفا خزائی

این کتاب با حمایت مالی سازمان پدافند غیرعامل کشور تالیف شده است.

دانشگاه جامع امام حسین (ع)

مؤسسه چاپ و انتشارات

مؤسسه چاپ و انتشارات
دانشگاه جامع امام حسین(ع)



سری پدافند غیرعامل - ***

- عنوان: مقدمه‌ای بر مکان‌یابی زیرساخت‌ها با رویکرد پدافند غیرعامل
- مؤلف: دکتر صفا خزائی
- ناظر اجرایی: مهندس عبدالله نقی‌پور
- ناظر علمی: دکتر محمدرضا سیف
- طراح جلد: فرهاد خندانی مقدم
- نوبت چاپ: اول (۱۳۹۷)
- شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
- نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابایی، بعد از پل لشکرک، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، معاونت پژوهش، مؤسسه چاپ و انتشارات، تلفن: ۷۷۱۰۵۷۰۳ دورنگار: ۷۷۱۰۵۷۵۲
- مرکز پخش: تهران، میدان فردوسی، فروشگاه و نمایشگاه شماره ۱ مؤسسه چاپ و انتشارات، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تلفن: ۸۸۸۳۹۲۹۷ دورنگار: ۸۸۸۳۹۲۹۸ همراه: ۰۹۱۲۴۸۷۰۰۱۷
- کلیه حقوق اعم از چاپ، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس برای دانشگاه جامع امام حسین(ع) محفوظ است.

سرشناسه	: خزائی، صفا، ۱۳۵۵.
عنوان و پدیدآور	: مقدمه‌ای بر مکان‌یابی زیرساخت‌ها با رویکرد پدافند غیرعامل / صفا خزائی.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه جامع امام حسین (ع)، مؤسسه چاپ و انتشارات، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ۲۱۹ ص: مصور (سیاه و سفید)، جدول، نمودار.
فروست	: دانشگاه جامع امام حسین (ع)، مؤسسه چاپ و انتشارات؛ ۳۴۹، سری پدافند غیرعامل؛ ۱۸.
شابک	: ***
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا	
قیمت	: *** ریال
موضوع	: پدافند غیرعامل (فنی و مهندسی)
شناسه افزوده	: دانشکده و پژوهشکده پدافند غیرعامل، مرکز علم و فناوری پدافند غیرعامل (سراج).
رده‌بندی کنگره	: ***
رده‌بندی دیویی	: ***
شماره کتابخانه ملی	: ***

سخن ناشر

بسم الله الرحمن الرحيم

«يرفع الله الذين امنوا منكم والذين او توالوا العلم درجات»

خداوند مقام اهل ایمان و دانشمندان عالم را (در دو جهان) رفیع می گرداند.
(سوره مبارکه مجادله - آیه ۱۱)

ارزش و جایگاه علم و دانش اندوزی در اسلام تا آن پایه است که خداوند کریم در قرآن مجید، ابلاغ رسالت رسول خود را برای هدایت بشریت، به اقرار آغاز نمود. هدایت بشر، تکامل، سعادت و تقرب به ذات اقدس الهی در گرو کسب معرفت و تحصیل علم و دانش است، علمی که به تعبیر استاد شهید مطهری، زیبایی عقل است و انسان خداجوی، معبود خود را در آن می یابد.

یکی از مسئولیت های مهم هر دانشگاه در کنار تعلیم و تربیت، نشر کتب و آثار علمی است. معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه جامع امام حسین (علیه السلام) نیز به منظور مشارکت فعال در بالندگی و رشد فرهنگی و علمی جامعه، دستیابی به مرجعیت علمی در حوزه های مأموریتی و ایفای رسالت خطیر خود در تولید دانش و انتشار یافته های علمی، افتخار و تلاش دارد تا زمینه و بستر لازم را جهت تشویق پژوهشگران و اساتید محترم در عرصه تولید علم، فراهم و تسهیل نماید.

امید است در سایه الطاف بیکران الهی و با گسترش فعالیت های انتشاراتی مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه جامع امام حسین (علیه السلام)، این رسالت خطیر تحقق یابد. در پایان بر روح تابناک امام راحل (ره) و شهدای گرانقدر انقلاب اسلامی و دفاع

مقدس درود می فرستیم و با آرزوی توفیقات هرچه بیشتر مقام معظم رهبری و خدمتگذاران اسلام و کشور، از اساتید، فرهیختگان و اهل نقد و نظر تقاضا داریم با ارائه نظرات و پیشنهادات خود ما را یاری فرمایند.

و من الله التوفیق و علیه التکلان

معاونت پژوهش و فناوری

دانشگاه جامع امام حسین (علیه السلام)

مقام معظم رهبری:

دفاع، جزئی از هویت یک ملت زنده است، هر ملتی که نتواند از خود دفاع بکند زنده نیست، هر ملتی هم که به فکر دفاع از خود نباشد و خود را آماده نکند، درواقع زنده نیست، هر ملتی هم که اهمیت دفاع را درک نکند به یک معنا زنده نیست.

پیشگفتار

تجارب حاصله از جنگ‌های گذشته به‌خصوص هشت سال دفاع مقدس مؤید این مطلب است که کشور مهاجم با اتخاذ "استراتژی انهدام مراکز ثقل"، تمرکز حملات خود را بر زیرساخت‌های کشور مورد تهاجم معطوف می‌کند. لذا، نظر به موقعیت ژئوپلیتیکی ایران و تهدیدات منطقه‌ای روزافزون، مکانیابی بهینه زیرساخت‌های کشور به منظور کاهش آسیب پذیری‌های احتمالی امری ضروری و حیاتی است. به واقع مکان‌یابی مطلوب را می‌توان مهم‌ترین اقدام پدافند غیرعامل در کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌های کشور محسوب نمود.

اگرچه در خصوص مکانیابی در سطح کشور، تحقیقات متعددی در قالب مقالات و پایان نامه‌های کارشناسی ارشد و دکتری انجام شده است؛ اما وجود مرجعی مناسب می‌تواند منجر به ارتقای کیفیت تحقیقات دانشجویان و محققین حوزه پدافند غیرعامل در انجام مطالعات مکانیابی شود. هدف اصلی این کتاب، ارائه مبانی و فرایند مکان‌یابی زیرساخت‌ها در حوزه پدافند غیرعامل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مکانی) است تا به این وسیله زمینه‌ای مناسب برای آشنایی محققین با اصول، قواعد، روش‌ها، مدل‌ها، و ابزارهای کمکی موجود فراهم گردد. در کتاب حاضر به سه مبحث "معیارها و عوامل مؤثر در مکان‌یابی زیرساخت‌ها" با رویکرد پدافند غیرعامل، "مفاهیم و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره" و "مقدمه‌ای بر استفاده از GIS جهت مکان‌یابی" پرداخته شده است.

دکتر صفا خزایی

فهرست مطالب

فصل اول کلیات

۱-۱- مقدمه	۳
۲-۱- مفاهیم پایه در پدافند غیرعامل	۴
۳-۱- آمایش سرزمین	۱۷
۴-۱- مکان‌یابی	۱۹
۵-۱- تصمیم‌گیری چندمعیاره	۲۶
۶-۱- ضرورت استفاده از GIS برای مکانیابی	۲۸
۷-۱- فرآیند مکان‌یابی زیرساختها با استفاده از GIS	۳۱
۸-۱- کتب مشابه	۳۶

فصل دوم معیارها و عوامل مؤثر در مکان‌یابی زیرساختها

۱-۲- مقدمه	۴۱
۲-۲- دسته‌بندی معیارها و عوامل مؤثر	۴۲
۳-۲- عوامل طبیعی و زیست‌محیطی	۴۴
۴-۲- معیارهای زیرساختی و اقتصادی	۴۹
۵-۲- معیارهای امنیتی و پدافند غیرعاملی	۵۳

۶-۲- معیارهای کالبدی و فضایی	۶۴
------------------------------------	----

فصل سوم مفاهیم و روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره

۳-۱- مقدمه	۷۵
۳-۲- مفاهیم اساسی در تصمیم‌گیری چند شاخصه	۷۵
۳-۳- اخذ نظرات خبرگان و کارشناسان	۸۰
۳-۴- روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره	۱۰۱
۳-۵- دستورالعمل تصمیم‌گیری چندمعیاره	۱۳۰

فصل چهارم مقدمه ای بر استفاده از GIS جهت مکان‌یابی

۴-۱- مقدمه	۱۳۹
۴-۲- مدل‌های داده در GIS	۱۳۹
۴-۳- منابع داده ورودی GIS	۱۴۱
۴-۴- سیستمهای مختصات جغرافیایی	۱۴۵
۴-۵- تبدیل بین سیستم‌های تصویر	۱۶۲
۴-۶- زمین مرجع سازی	۱۶۶
۴-۷- ژئودیتابیس	۱۷۰
۴-۸- تجزیه و تحلیل اطلاعات	۱۷۲

۴-۹- انواع فاصله ۱۷۳

۴-۱۰- مدل سازی و تحلیل کاربری زمین ۱۷۵

۴-۱۱- تهیه نقشه ها در ArcGIS ۱۸۱

۴-۱۲- مکانیابی با نرم افزار ArcGIS ۱۹۲

منابع ۱۹۹

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

جنگ‌ها خواسته و یا ناخواسته با حیات جوامع بشری آمیخته شده است. بشریت در طول پنج هزار سال تاریخ تمدن خود، ۱۴ هزار جنگ را تجربه کرده و در این جنگ‌ها بیش از ۴ میلیارد انسان جان باخته‌اند. تنها در طی سال‌های ۱۹۴۵ تا ۱۹۹۰ در جهان فقط سه هفته بدون جنگ بوده و متأسفانه اکثر این جنگ‌ها در کشورهای جهان سوم به وقوع پیوسته است (مدیریت بازرسی سازمان صنایع دفاع، ۱۳۸۶). در قرن بیستم بیش از ۲۲۰ جنگ به وقوع پیوسته و ۲۰۰ میلیون تلفات انسانی داشته است. خاورمیانه طی سالیان گذشته، شاهد چهار جنگ مهم (جنگ تحمیلی عراق علیه ایران، جنگ خلیج فارس، جنگ افغانستان و جنگ آمریکا و متحدانش علیه عراق) بوده است (موحدی نیا، ۱۳۸۴).

تجارب حاصله از جنگ‌های گذشته به‌خصوص هشت سال دفاع مقدس، جنگ ۴۳ روزه ۱۹۹۱ متحدین علیه عراق (جنگ اول خلیج فارس)، جنگ ۱۱ هفته‌ای سال ۱۹۹۹ ناتو علیه یوگسلاوی، جنگ اخیر آمریکا و انگلیس علیه عراق مؤید این نظر است که کشور مهاجم جهت درهم شکستن اراده ملت و توان اقتصادی، نظامی و سیاسی کشور موردتهاجم با اتخاذ استراتژی «انهدام مراکز ثقل»، توجه خود را صرف بمباران و انهدام مراکز حیاتی و حساس می‌نماید (مدیریت بازرسی سازمان صنایع دفاع، ۱۳۸۶). بر این اساس امروزه زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی به‌عنوان جذاب‌ترین اهداف دشمنان جهت اعمال تهدید بر یک کشور می‌باشند. لذا، نظر به شرایط و موقعیت جغرافیایی ایران و تهدیدات منطقه‌ای روزافزون، به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری به هنگام وقوع حوادث یا درگیری‌های احتمالی، مکان‌یابی^۱ بهینه مراکز حساس و تأسیسات زیرساختی کشور امری مهم و حیاتی است.

امیر مؤمنان علی (ع) در نهج‌البلاغه (نامه شماره ۱۱) می‌فرمایند: «هرگاه به دشمن رسیدید، یا او به شما رسید، لشکرگاه خویش را بر فراز بلندی‌ها، یا دامنه کوه‌ها، یا بین رودخانه‌ها قرار دهید تا پناهگاه شما و مانع هجوم دشمن باشد، جنگ را از یک‌سو یا دو سو آغاز کنید و در بالای قلّه‌ها و فراز تپّه‌ها، دیده بهاب‌رگ بگمارید، مبدا دشمن از جایی که می‌ترسید یا از سویی که بیم ندارید، ناگهان بر شما یورش آورد و بدانید که پیشاهنگان سپاه دیدبان لشکریانند و دیدبانان طلایه‌داران سپاهند».

اگرچه در خصوص مکان‌یابی در کشور، تحقیقات متعددی در قالب پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و دکترا و همچنین مقالات انجام شده است، اما وجود مرجعی مناسب و یک دستورالعمل جامع می‌تواند منجر به کاهش سردرگمی محققین، کاهش زمان و هزینه و همچنین ارتقای کیفیت تحقیقات دانشجویان و محققین حوزه پدافند غیرعامل برای مطالعات مکان‌یابی شود. هدف اصلی این کتاب، ارائه مبانی مکان‌یابی زیرساخت‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مکانی) است تا زمینه‌های مناسب برای آشنایی محققین با اصول، قواعد، روش‌ها، مدل‌ها و ابزارهای کمکی موجود فراهم شود.

۲-۱- مفاهیم پایه در پدافند غیرعامل

۱-۲-۱- تهدید^۱

تهدید، یک خطر بالقوه است که هنوز محقق نشده و صرفاً در حد یک ایده می‌باشد. به عبارت دیگر تهدید، مفهومی به کلی انتزاعی است، به نحوی که تعیین زمان و چگونگی مورد تهدید واقع شدن به سادگی امکان‌پذیر نیست. برآیند وضعیتی است که عوامل مختلف برخلاف خواسته ما و خارج از کنترل عمل می‌کنند و از این حیث روند امور، مطلوب ما نیست و احتمال آشفته‌گی، خطر یا خسارات جبران‌ناپذیر را برای ما به وجود آورده و باعث اختلال در امنیت عمومی و ملی می‌گردد (اسکندری، ۱۳۸۹). به بیانی

1. Threat

ساده تهدید، مخاطره‌ای است که منشأ آن خارجی است (مربوط به دشمن است) و ما کنترلی بر روی آن نداریم.

در تعریفی دیگر از تهدید که بر پایه مطالعات آژانس مدیریت بحران فدرال آمریکا^۱ بیان گردیده، آمده است: «هر نشانه، رویداد و یا اتفاقی که پتانسیل اعمال تخریب یا از بین رفتن کامل دارایی‌ها یا موجب جلوگیری یا اختلال در عملکرد آن را داشته باشد، تهدید محسوب می‌شود» (ستاره، ۱۳۹۰).

مخاطرات را می‌توان به انواع مختلفی دسته‌بندی کرد. هدف از این کار تعیین نسبتاً دقیقی از آن دسته مخاطراتی است که می‌تواند از منظر پدافند غیرعامل، منشأ تهدید باشد. بر این مبنا، دو دسته مخاطرات طبیعی و مخاطرات انسان‌ساخت قابل تعریف خواهد بود که در ادامه به شرح آن پرداخته شده است.

مخاطرات طبیعی^۲

مخاطرات طبیعی، مخاطراتی هستند که منشأ ایجاد آن از طبیعت بوده که خود به انواع مخاطرات زمین‌شناختی^۳، مخاطرات جوی^۴، مخاطرات زیستی^۵ و مخاطرات بیولوژیکی تقسیم‌بندی می‌شوند (ستاره، ۱۳۹۰). طبق گزارش‌های سازمان ملل (گزارش جهانی حوادث) بیش از ۴۰ نوع حادثه با منشأ طبیعی در سطح جهان تشخیص داده شده‌اند که هر یک از این حوادث به چند حادثه دیگر تقسیم می‌شوند. با توجه به وضعیت جغرافیایی کشور، حداقل ۳۱ مجموعه از این ۴۰ نوع حادثه، در کشور ایران احتمال وقوع دارند (خوش‌نمک، ۱۳۸۱). زلزله، سیل، زمین‌لغزش، زمین‌لرزه، خشک‌سالی، ریزش بهمن، طوفان و ... از جمله این حوادث می‌باشند.

1. FEMA : Federal Emergency Management Agency

2. Natural Hazards

3. Geological Hazards

4. Meteorological Hazards

5. Biological Hazards

مخاطرات غیرطبیعی یا انسان‌ساخت^۱

مخاطرات غیرطبیعی یا انسان‌ساخت، شامل دو دسته مخاطرات تصادفی و عمدی هستند. مخاطرات انسان‌ساخت تصادفی، به‌عنوان تهدیدات اتفاقی مطرح هستند که از آن با عنوان مخاطرات فناورانه نیز نام‌برده می‌شود. این مخاطرات با برقراری ایمنی سامانه‌ها کنترل می‌شود. این دسته شامل تهدیدات پدافند غیرعامل نیست، اگرچه می‌تواند نقش آن‌ها به‌صورت هم‌افزایی خطر مطرح باشد و می‌بایستی تحت کنترل درآیند (ستاره، ۱۳۹۰).

مخاطرات انسان‌ساخت عمدی، مخاطراتی هستند که توسط انسان با قصد و نیت عمدی صورت می‌گیرد که هدف آن برای ضربه زدن، نابودی، از کار انداختن طرف مقابل است. از این مخاطرات به‌عنوان تهدید نام‌برده می‌شود. حملات هوایی و موشکی هدفمند، بمب‌های الکترومغناطیس و گرافیتی، حملات تروریستی (شیمیایی، رادیولوژیکی، زیستی، فیزیکی، سایبری و خرابکاری صنعتی) و اغتشاشات (آشوب و ناآرامی) داخلی نمونه‌هایی از این دسته مخاطرات هستند.

۱-۲-۲- استراتژی واردن

سان ژو^۲، ژنرال معروف چینی (متولد ۲۱۱ سال پیش از میلاد مسیح) به‌رغم اینکه یک نظامی و تئورسین بود با جنگ مخالف بود و استراتژیست ماهر را کسی می‌دانست که بتواند لشکر دشمن را بدون درگیری نظامی تسلیم نماید و شهرها را بدون خونریزی تصرف نماید. وی هدف عملیات نظامی را انهدام لشکر دشمن و خراب کردن شهرها و بافت‌های آسیب‌پذیر و ویران ساختن روستاها تلقی نمی‌کرد و معتقد بود، اسلحه‌ابزاری نامبارک است و تنها هنگامی باید به جنگ متوسل شد که راه‌حل دیگری برای رفع اختلاف وجود نداشته باشد. به‌این‌ترتیب او به ارتش به‌مثابه ابزاری می‌نگریست که تیر خلاص را در مغز دشمن خالی می‌کند. جنگ از نظر سان ژو امری غیرعادی و گذرا تلقی

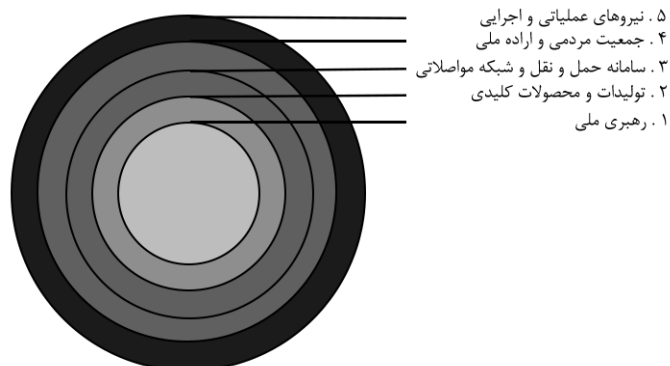
1. Manmade Hazards

2. Sun Tzu

نمی‌شود؛ بلکه یک نوع مبارزه مسلحانه و عملی و آگاهانه است که تکرار می‌شود و لذا مستعد تحلیل عقلانی است.

صاحب‌نظران سیاسی و نظامی آمریکا، پس از تحمل شکست تاریخی خود در جنگ ویتنام (۱۹۶۴-۱۹۷۳)، مطالعات و تحقیقات قابل‌توجه و مستمری را در جهت بررسی شکست خود در جنگ یادشده و دستیابی به استراتژی و شیوه‌های مؤثر جنگ‌های هوایی نمودند. در سال ۱۹۸۸ سرهنگ واردن کتابی با عنوان نبرد هوایی را تهیه و تدوین نمود و در اوت ۱۹۹۱ با سمت مشاور نظام امنیت ملی آمریکا، نظریه خود را که به تئوری پنج حلقه واردن^۱ معروف می‌باشد، به پنتاگون ارائه نمود که موردقبول واقع گردید (Church and Murray, 2009). تئوری یادشده بر این مبنا می‌باشد که مهم‌ترین وظیفه در طرح‌ریزی یک جنگ، شناسایی مراکز ثقل کشور مورد تهاجم بوده و چنانچه این مراکز با دقت لازم شناسایی و مورد هدف قرار گیرند، کشور مورد تهاجم در اولین روزهای جنگ، طعم شکست نظامی را چشیده و در کوتاه‌ترین مدت به خواسته‌های کشور مهاجم تن در داده و تسلیم خواهد شد. تئوری یا مدل پنج حلقه واردن، دقیقاً مورد استفاده فرماندهان عملیاتی آمریکا و متحدین در جنگ ۴۳ روزه ۱۹۹۱ و جنگ اخیر آمریکا و انگلیس علیه عراق (۲۰۰۳) قرار گرفته است. واردن، دشمن را به‌عنوان یک سیستم یا ارگان پنداشته و بر این اساس آن را مشتمل بر پنج حلقه ارگانیک می‌داند. حلقه‌های واردن (شکل ۱-۱) بنا بر اهمیت، از درون به بیرون گسترش یافته‌اند، به‌گونه‌ای که مهم‌ترین حلقه، درونی‌ترین حلقه است که تحت حفاظت شدید حلقه‌های بیرونی قرار داشته و هدف اصلی را تشکیل می‌دهد. این پنج حلقه عبارتند از: رهبری ملی، محصولات کلیدی، زیرساخت‌ها، جمعیت مردمی و اراده ملی و نیروهای عملیاتی (ترابی و مهدی‌نژاد نوری، ۱۳۹۲).

1. Warden's Five Ring



شکل (۱-۱) مدل پنج حلقه‌ای واردن

در استراتژی پنج حلقه واردن که نشأت گرفته از استراتژی مراکز ثقل کلاوزویتس است، مراکز نظامی در حلقه پنجم آن جای می‌گیرد. طرفداران این استراتژی معتقدند که بهترین وظیفه در طرح‌ریزی یک عملیات تهاجمی، شناسایی مراکز ثقل کشور مورد تهاجم می‌باشد و چنانچه این مراکز با دقت لازم شناسایی و مورد هدف قرار گیرند، کشور مورد تهاجم در اولین روزهای جنگ، طعم شکست را چشیده و در کوتاه‌ترین مدت به خواسته‌های مهاجم تن در داده و تسلیم خواهد شد.

۱-۲-۳- مشخصات جنگ‌های نسل ششم

جنگ‌های نسل ششم که از آن‌ها به‌عنوان جنگ‌های مدرن یا جنگ‌های موازی نام‌برده می‌شود، حاصل فناوری‌های انقلابی بسیاری، نظیر میکرو پردازنده‌ها، تجهیزات ارتباطی و اطلاعاتی دیجیتال، پیشران‌های جدید موشک و ... می‌باشند. معمولاً مهم‌ترین ویژگی‌های این گروه از جنگ‌ها را کاربرد جنگ‌افزارهای هدایت دقیق، روبات‌ها، فناوری غیرکشنده، تسلیحات هدایت مستقیم انرژی و ویروس‌های کامپیوتری می‌دانند. با آغاز جنگ ۱۹۹۱ خلیج‌فارس، طرح عملیاتی جنگ موازی که به‌طور خاص برای استفاده از امکانات جدید نگاشته شده بود به مرحله اجرا درآمده و بدین، ترتیب نقطه عطف تغییر در نسل‌های جنگی بار دیگر به وقوع پیوست. روس‌ها نیز سه سال بعد و در جنگ ۱۹۹۴-۱۹۹۶ چین با اعمال تغییرات لازم، دومین مجری جنگ‌های نسل ششم لقب

گرفتند (محسنی و همکاران، ۱۳۹۰). اگر بخواهیم به‌طور خلاصه مشخصه‌های جنگ‌های نسل ششم را برشماریم، می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود (نباتی، ۱۳۸۶):

- به‌کارگیری موضعی و مقطعی جنگ سخت (جنگ با ضربات محدود) برای تقویت و پشتیبانی جنگ نرم؛
- تأکید بر جنگ الکترونیک پیشرفته و جنگ سایبری؛
- تکیه بر شبکه گسترده و سامانه‌های پیشرفته و هوشمند سنجش‌ازدور؛
- تکیه بر سلاح‌ها و تجهیزات هوشمند و پیشرفته و دقیق؛
- توسعه توانمندی‌ها و کسب برتری کامل در هوافضا؛
- پرهیز از درگیری در جنگ سخت، قبل از اطمینان از پیروزی در جنگ نرم؛
- شروع هم‌زمان نبرد در خط و عمق نزدیک و عمق دور (گسترش عرصه نبرد به تمام سطوح جغرافیایی کشور هدف)؛
- تأکید بر انهدام زیرساخت‌های ملی و مراکز حیاتی، حساس و مهم کشور در اولویت نخست اهداف تهاجم؛
- تلاش مستمر برای قطع ارتباط رهبری و مدیریت دفاعی و عمومی کشور با مردم و نیروهای دفاعی در گام نخست تهاجم؛
- کوتاه شدن مدت جنگ (طراحی جنگ برق‌آسا)؛
- حذف اراده و میل دفاع در کشور هدف به‌عنوان عنصر تعیین‌کننده پیروزی؛
- تأکید بر جنگ نرم (شامل جنگ اطلاعاتی - جنگ روانی تبلیغاتی - جنگ سایبری).

۱-۲-۴- زیرساخت‌ها

اسلیچنکو^۱ (ژنرال ستاد مشترک ارتش روسیه) جنگ‌های نسل ششم را حاصل انقلاب در فناوری نظامی و محل وقوع آن را در کلان‌شهرها می‌داند. در تئوری مذکور،

1. Slepchenko

مراکز ثقل یا زیرساخت‌های یک کشور، به‌صورت سامانه‌ای همانند اعضاء بدن قلمداد گردیده و در صورت انهدام هر یک از مراکز ثقل سیستم، پیکره و کالبد کشور مورد تهاجم فلج گردیده و قادر به ادامه فعالیت و حیات نخواهد بود (ترابی و مهدی نژاد نوری، ۱۳۹۲). ازاین‌رو، زیرساخت‌ها جزو بنیان‌های اصلی و چارچوب‌های پایه‌ای هر جامعه‌ای به‌شمار می‌آیند که دربرگیرنده تمامی تأسیسات، خدمات و تسهیلاتی هستند که موردنیاز آن جامعه است. پایداری اقتصادی و ثبات امنیت ملی و کیفیت زندگی مردم به میزان قابل‌توجهی به در دسترس بودن، دوام و پایداری زیرساخت‌ها وابسته است.

به‌طور کلی، زیرساخت‌ها به سه نوع حیاتی^۱، حساس^۲ و مهم^۳ تقسیم‌بندی می‌شوند. زیرساختی حیاتی است که وقفه‌های طولانی در انجام مأموریت آن (با از کار افتادن کل یا قسمتی از آن)، می‌تواند موجب بروز بحران با سطح تأثیرگذاری سراسری در اداره کشور گردد و به عبارتی موجب اخلاص و صدمات جدی در نظام اقتصادی، سیاسی، اجتماعی یا نظامی کشور شود. زیرساختی را حساس می‌گویند که در صورت از کار افتادن کل یا قسمتی از آن، موجب بروز بحران با سطح تأثیرگذاری منطقه‌ای (بخشی از کشور) می‌گردد. زیرساختی نیز مهم محسوب می‌شود که وجود و استمرار فعالیت آن‌ها برای بخشی از کشور دارای اهمیت است و آسیب یا تصرف آن‌ها به وسیله دشمن باعث بروز اختلال در بخشی از کشور می‌گردد. از جمله زیرساخت‌های کشور می‌توان نیروگاه‌های برق، پالایشگاه‌های نفت، صنایع پتروشیمی، سدها، تصفیه‌خانه‌های آب، صنایع دفاعی و فرودگاه‌ها را نام برد که بستگی به میزان سطح عملکردی آن‌ها می‌توانند حیاتی، حساس یا مهم محسوب گردند.

1. Vital
2. Critical
3. Important

۱-۲-۵- سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها

معیارهای مختلفی برای سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها ارائه شده است. سازمان پدافند غیرعامل کشور در سند «دستورالعمل سطح‌بندی مراکز ثقل کشور»، هشت معیار کلی و ۴۲ شاخص کیفی ارائه داده است (سازمان پدافند غیرعامل کشور، ۱۳۹۳). معیارهای کلی موردنظر شامل اهمیت اساسی، گستره حوزه نفوذ، عمق اثرگذاری در اداره کشور، امکان جایگزینی، منحصربه‌فرد بودن، نقش‌آفرینی، ارزش سرمایه‌ای و تبعات آسیب دیدن (پیامد) می‌باشند. مشهدی و امینی ورکی (۱۳۹۴) نیز در پژوهشی توصیفی-تحلیلی الگو و چارچوبی را برای تحلیل و مدیریت خطرات مرتبط با حملات احتمالی علیه زیرساخت‌های حیاتی ارائه داده‌اند. الگوی ارائه‌شده در این تحقیق با توجه به فضای تهدید و شرایط خاص کشور تعریف شده است که بتواند دربرگیرنده بسته‌ای از تهدیدات برای هر زیرساخت باشد. در این الگو، در بخش ارزیابی دارایی‌ها از معیارهای کارور (CARVER) استفاده شده است.

کارور درواقع یک روش تحلیلی برای اولویت‌بندی هدف است که می‌تواند برای برآورد میزان آسیب‌پذیری یک سیستم یا یک زیرساخت در برابر حملات به کار رود. این روش امکانی را فراهم می‌سازد تا با شناخت جذاب‌ترین نقاط برای حمله احتمالی دشمن (مهاجم)، آسیب‌پذیرترین نقاط سیستم یا زیرساخت را شناسایی و بر روی روش‌ها و منابع محافظت از آن‌ها تمرکز نمود. کارور مخفف و سرواژه شش لغت انگلیسی است که برای برآورد میزان جذابیت یک هدف برای مهاجمین به کاربرده می‌شود.

- حساسیت^۱: میزان اثرات یک حمله بر روی سلامت عمومی و وضعیت اقتصادی.
- دسترسی^۲: قابلیت دسترسی فیزیکی و ترک هدف.

1. Criticality

2. Accessibility

- قابلیت بهبودپذیری^۱: قابلیت یک سیستم در بازیابی پس از حمله.
- آسیب‌پذیری^۲: سهولت حمله به هدف.
- اثرپذیری^۳: مقدار ضرر مستقیم از یک حمله، به‌عنوان مثال میزان ضرر در تولید.

- قابلیت شناسایی^۴: سهولت شناسایی هدف.

علاوه‌براین، در روش‌های اصلاح‌شده کارور، ویژگی دیگری نیز به موارد بالا افزوده‌شده که آثار سلامت، اقتصاد و بحث‌های روان‌شناسی یک حمله را نیز برآورد می‌کند. به این ویژگی هفتم، ویژگی شوک^۵ یک هدف گفته می‌شود. پس از آن، میزان جذابیت یک هدف می‌تواند از طریق رتبه‌بندی بر اساس این هفت ویژگی با مقادیر ۱ تا ۱۰ تعیین گردد. بدیهی است مقادیر کمتر (مثلاً ۱ یا ۲) بیانگر میزان جذابیت کمتر برای حمله است و مناطق مستعد حمله با مقادیر بیشتر (مثلاً ۹ یا ۱۰) معرفی می‌گردند (Walls, 1998).

به‌طور معمول، تحلیل ریسک زیرساخت‌ها شامل چهار بخش شناسایی دارایی‌ها، تهدیدشناسی، تحلیل آسیب‌پذیری و مدل‌سازی پیامد می‌باشد که در ادامه به‌طور مختصر تشریح می‌شوند.

شناسایی دارایی‌ها: هر آنچه برای زیرساخت ارزشمند باشد، دارایی تلقی می‌شود. دارایی‌ها به دو دسته حیاتی و غیرحیاتی تقسیم می‌شوند. دارایی‌های غیرحیاتی دسته‌ای هستند که خسارت، آسیب و نابودی آن‌ها تأثیر مهمی برای زیرساخت ندارد. در مقابل، دارایی‌هایی حیاتی هستند که در صورت صدمه و نابودی تأثیر بسیار مهمی بر زیرساخت دارند.

1. Recuperability
2. Vulnerability
3. Effect
4. Recognizability
5. Shock

تهدیدشناسی: به منظور تهدیدشناسی می‌بایست پنج گام طی شود (جلالی، ۱۳۸۹): (۱) دشمن‌شناسی، (۲) شناسایی منابع بروز تهدید (۳) تعیین سطوح تهدید (۴) بررسی روش‌های تهدید و ابزار تهدید (۵) سطح‌بندی ابزار تهدید.

تحلیل آسیب‌پذیری: برای تأمین مناسب و مطلوب نیازهای پدافندی جهت برقراری امنیت در زیرساخت موردنظر، متناسب با سطوح دسترسی، پیش از هر چیز باید تجزیه و تحلیل دقیقی برای مشخص ساختن میزان آسیب‌پذیری صورت گیرد. بر این اساس آسیب‌پذیری باید به عنوان ضعف‌های زیرساخت در برابر تهدیدات احتمالی دشمن قلمداد شود (علمداری، ۱۳۸۷).

مدل‌سازی پیامد: منظور از پیامدها اثرات بالقوه دشمن بر فضای فیزیکی زیرساخت و جمعیت حاضر در زیرساخت در اثر یک حمله موفقیت‌آمیز دشمن می‌باشد (ISO/TEC Guide 73, 2002). هر حادثه‌ای می‌تواند منجر به دامنه وسیعی از پیامدها شود و دشمنان معمولاً درصدد ایجاد بدترین و بیشترین خسارات به دارائی‌ها هستند، لذا در بررسی پیامدها می‌بایست بدترین حالت ممکن ناشی از رخداد تهدید، مدنظر قرار گیرد. نکته دیگر آن است که یک پیامد می‌تواند قطعی و یا غیرقطعی باشد و می‌تواند تأثیرات مثبت و یا منفی بر اهداف داشته باشد که عواقب آن می‌توانند به صورت کمی و یا کیفی بیان شوند و بر اساس شاخص‌هایی از قبیل شدت، عمق و گستره جغرافیایی خسارت و پیامدهای انسانی دسته‌بندی و سنجیده می‌شوند (موحدی نیا، ۱۳۸۸). مؤلفه‌های پیامد معمولاً تأثیراتی را توصیف می‌کنند که وقوع یک بحران یا خطر ممکن است بر روی انسان، ساختارهای شهری (شامل زیرساخت‌ها و اقتصاد) و محیط داشته باشد. به‌طور کلی، به منظور شناسایی و تعیین پیامدهای یک بحران، سه فاکتور اصلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند: (۱) تعداد تلفات انسانی (۲) تعداد مصدومین (۳) میزان خرابی‌ها برحسب هزینه (سازمان پدافند غیرعامل کشور، ۱۳۹۳).

۱-۲-۶- مفهوم پدافند غیرعامل

پدافند از لحاظ لغوی مترادف با دفاع بوده و به دو بخش دفاع عامل و دفاع غیرعامل تقسیم می‌گردد. دفاع عامل مبتنی بر فعالیت نیروهای مسلح و متکی بر تسلیحات و تجهیزات نظامی است که بر عهده نیروهای نظامی است. پدافند غیرعامل به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌گردد که مستلزم به‌کارگیری جنگ‌افزار نبوده و با اجرای آن می‌توان از وارد شدن خسارات مالی به تجهیزات و تأسیسات حیاتی و حساس نظامی و غیرنظامی و تلفات انسانی جلوگیری نموده و یا میزان این خسارات و تلفات را به حداقل ممکن کاهش داد. مجمع تشخیص مصلحت نظام در راستای تدوین سیاست‌های کلی پدافند غیرعامل کشور، پدافند غیرعامل را به این‌گونه تعریف نموده است: «مجموعه اقدام‌های غیرمسلحانه‌ای که موجب افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری، تداوم فعالیت‌های ضروری، ارتقای پایداری ملی و تسهیل مدیریت بحران در مقابل تهدیدها و اقدامات نظامی دشمن می‌شود».

تجارب و شواهد ثبت‌شده در جنگ‌های اعصار گذشته تاریخ بشری و قرن حاضر، نمونه‌های انکارناپذیری است که اهمیت پدیده دفاع غیرعامل را آشکار و ثابت می‌کند. موارد زیر نمونه‌های بارز اهمیت دفاع غیرعامل می‌باشند:

- موجب زنده ماندن و حفظ بقای نیروی انسانی می‌گردد که با ارزش‌ترین سرمایه و موجودیت ملی کشور می‌باشد.
- موجب صرفه‌جویی کلان اقتصادی و ارزی در حفظ تجهیزات و تسلیحات بسیار گران‌قیمت نظامی می‌گردد.
- مراکز حیاتی و حساس اقتصادی، سیاسی، نظامی، ارتباطی و مراکز عمده علمی و فرهنگی و... را در برابر حملات و بمباران‌های هوایی دشمن حفظ و ادامه فعالیت در شرایط بحران و جنگ را ممکن می‌سازد.
- موجب تحمیل هزینه قابل‌توجه به دشمن می‌گردد.

- سبب به وجود آمدن تأثیرات روحی و روانی مثبت در شهروندان و رزمندگان می‌گردد.
- موجب حفظ نیروها برای ضربه زدن در زمان و مکان مناسب و گرفتن آزادی و ابتکار عمل از دشمن می‌گردد.
- اجتناب‌ناپذیر بودن بروز جنگ‌های آینده و لزوم آمادگی دفاعی.
- نیل به دفاع غیرعامل در مقایسه با دفاع عامل، ساده‌تر و سهل‌الوصول‌تر و به سیاست خودکفایی و عدم وابستگی و استقلال کشور نزدیک‌تر است.
- به‌طور مختصر اهداف کلان پدافند غیرعامل عبارتند از:
 - افزایش بازدارندگی
 - کاهش آسیب‌پذیری
 - تداوم فعالیت‌های ضروری
 - ارتقا پایداری ملی
 - تسهیل مدیریت بحران
- اصول دفاع غیرعامل، مجموعه اقدامات بنیادی و زیربنایی است که در صورت به‌کارگیری می‌توان به اهداف پدافند غیرعامل از قبیل، تقلیل خسارت و صدمات، کاهش قابلیت و توانایی سامانه‌های شناسایی و آشکارساز، هدف‌یابی و دقت هدف‌گیری تسلیحات آفندی دشمن و تحمیل هزینه بیشتر به وی نائل گردید، این اصول عبارتند از:
 - استتار^۱: فن و هنری است که امکان کشف و شناسایی نیروها، تجهیزات و تأسیسات را از دیده‌بانی و تجسس دشمن تقلیل داده و حفاظت نماید. مفهوم کلی استتار هم‌رنگ و هم‌شکل کردن تأسیسات، تجهیزات و نیروها با محیط اطراف می‌باشد.
 - اختفا^۲: حفاظت در برابر دید دشمن را تأمین می‌نماید.

1. Camouflage

2. Concealment

- فریب^۱: کلیه اقدامات طراحی‌شده حيله‌گرانه که موجب گمراهی و غفلت دشمن در نیل به اطلاعات و محاسبه و برآورد صحیح از توان کمی و کیفی طرف مقابل گردد و او را در تشخیص هدف و هدف‌گیری با شک و تردید، مواجه نماید. فریب، موجب انحراف توجه دشمن از اهداف حقیقی و مهم به سمت اهداف کاذب و کم‌اهمیت می‌باشد.
- آمایش سرزمین و مکان‌یابی^۲: در ادامه (بخش‌های بعد) تشریح خواهد شد.
- پوشش^۳: پنهان‌سازی و حفاظت تأسیسات، تجهیزات، تسلیحات و نیروی انسانی در برابر دید و تیررس دشمن.
- پراکندگی^۴: گسترش، باز و پخش نمودن و تمرکززدایی نیروها، تجهیزات و تأسیسات یا فعالیت‌های خودی، به‌منظور تقلیل آسیب‌پذیری آن‌ها در مقابل عملیات دشمن به‌طوری‌که مجموعه‌ای از آن‌ها هدف واحدی را برابر دشمن تشکیل ندهند.
- تفرقه و جابه‌جایی^۵: جداسازی، گسترش افراد، تجهیزات و فعالیت‌های خودی از محل استقرار اصلی به محلی دیگر به‌منظور تقلیل آسیب‌پذیری، کاهش خسارات و تلفات می‌باشد.
- مقاوم‌سازی و استحکامات^۶: ایجاد هرگونه حفاظی که در مقابل اصابت مستقیم بمب، راکت، موشک، گلوله، توپخانه، خمپاره و یا ترکش آن‌ها مقاومت نموده و مانع صدمه رسیدن به نفرات تجهیزات یا تأسیسات گردیده و اثرات ترکش و موج انفجار را به‌طور نسبی خنثی نماید.

1. Deception
 2. Selection Site
 3. Cover
 4. Dispersion
 5. Separation
 6. Fortification & Hardenening

- اعلام خبر^۱: آگاهی و هشدار به نیروهای خودی مبنی بر اینکه عملیات تعرضی دشمن نزدیک است (موحدی نیا، ۱۳۸۶).

۱-۳- آمایش سرزمین

آمایش، اسم مصدر آمای و آمودن (به معنی آمیختن)، به معنی هنر یا فن جای دادن بانظم و ترتیب و آراسته کردن و همراه با آینده‌نگری انسان‌ها، فعالیت‌ها، زیرساخت‌ها و وسایل ارتباطی در خدمت انسان‌ها در فضای کشور با در نظر گرفتن الزامات طبیعی، انسانی و اقتصادی می‌باشد. در معنای دیگر آمایش یعنی تخصیص جمعیت و فعالیت به نواحی گوناگون سرزمین که به‌عنوان هدف اصلی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور عنوان شده است. مفهوم آمایش سرزمین که در انگلیسی آن را Spatial Planning (برنامه‌ریزی فضایی یا مکانی) و در فرانسه به Territoire Du Amanagement می‌نامند، عبارت است از توزیع متوازن و هم‌آهنگ مکانی کلیه فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی و معنوی در پهنه سرزمین نسبت به منابع طبیعی و انسانی. منظور از آمایش سرزمین، استفاده درست از زمین و آب و سایر امکانات به‌اندازه توان آن‌ها است، به عبارت دیگر، در مکانی کشاورزی صورت پذیرد که توان تولید فراورده‌های کشاورزی را داشته باشد، در زمینی خانه‌سازی شود که برای ساختمان مناسب باشد در مکانی مغازه و بازار ایجاد شود که تجارت در آنجا رونق داشته باشد و غیره. به‌طورکلی سرزمین یک منبع محدود آسیب‌پذیر است و استفاده از آن باید با مدیریت درست و منطقی و با در نظر گرفتن کلیه منابع انجام گیرد.

برنامه‌ریزی سرزمین، برنامه‌ریزی فضایی یا آمایش سرزمین اسامی مختلف نوعی برنامه‌ریزی است که به سرزمین به‌عنوان عامل اساسی و تعیین‌کننده در تأمین اهداف توسعه توجه می‌کند. اهداف آمایش سرزمین، توسعه هر منطقه به طریقی است که اجازه دهد جمعیت آن منطقه به همان خوبی که می‌تواند درجایی دیگر زندگی کند به زندگی

1. Early warning

بپردازد. این اهداف از طریق استفاده بهتر از ابزارها، استعدادها و ظرفیت‌های موجود در منطقه تحقق می‌یابد و مانع از جابه‌جایی و تحرک جمعیت می‌شود. تنظیم برنامه‌های توسعه با نگرش صرف اقتصادی موجب ظهور نابرابری‌های اجتماعی، اقتصادی و منطقه‌ای گردیده و مانع از آن می‌شود که همه مناطق از مواهب توسعه (رشد اقتصادی) برخوردار گردند؛ لذا جهت رفع نابرابری و برخورداری همه مناطق از مواهب رشد اقتصادی، رویکردهای آمایشی در برنامه‌ریزی‌های توسعه، بسط یافته‌اند. به عبارت دیگر، رویکردهای آمایشی در برنامه‌ریزی، ایجاد عدالت اجتماعی از طریق توزیع مکانی، دستاوردهای رشد اقتصادی را مدنظر دارند.

از آنجاکه جمهوری اسلامی ایران از نظر ژئوپلیتیک منطقه‌ای حساس و وسوسه‌انگیز برای کشورهای استعمارگر است (وجود ذخایر عظیم نفت و گاز و ...). مسئله دفاع و امنیت از مهم‌ترین مباحث در توسعه کشور است (رضایی، ۱۳۸۸). مطابق سند برنامه چهارم توسعه کشور (بند ۱۹)، سیاست‌های کلی توسعه درازمدت و همه‌جانبه اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و کالبدی در چهارچوب آمایش سرزمینی کشور باید بر اساس ملاحظات امنیتی و دفاعی باشد.

از آنجاکه قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران حفظ منابع حیاتی و دفاع سرزمینی را به عهده نیروهای مسلح گذاشته است و تأمین اهداف دفاعی و نظامی، پاسخ‌گویی مناسب و به موقع تهدیدات در چارچوب مبانی و اصول جزء وظایف اصلی آن است و از طرف دیگر استقرار سرزمینی یگان‌های نیروهای مسلح جهت پیگیری مأموریت‌های محوله می‌باشد، لذا آمایش دفاعی همانند توسعه از اهمیت والایی برخوردار می‌گردد (فراهانی، ۱۳۸۹). از سوی دیگر، سازمان‌دهی مناسب اماکن و فعالیت‌های نظامی کشور به منظور بهره‌برداری صحیح و منطقی از توان و استعداد در جهت نیل به هدف و راهبرد دفاعی کشور آمایش دفاعی گفته می‌شود (شاد، ۱۳۸۴). به‌طور کلی در آمایش دفاعی حفاظت و حراست از زیرساخت‌ها و امنیت مرزها باید موردتوجه قرار گیرد. همچنین باید ملاحظات اقتصادی و ژئوپلیتیکی نیز در انتخاب استقرارگاه‌ها در نظر گرفته شوند.

در واقع ارتباط لاینفک بین پدافند غیرعامل و آمایش سرزمین به دلیل ارتباط عمیق و ناگسستنی بین امنیت و توسعه است.

۱-۴- مکان‌یابی

۱-۴-۱- تاریخچه

در قرن هفدهم، فرمات^۱ مسئله مکان‌یابی را به صورت زیر مطرح کرد: فرض کنید سه نقطه در صفحه داده شده است، نقطه چهارم را به گونه‌ای بیابید که مجموع فاصله آن تا سه نقطه کمینه باشد. توریچلی^۲ در سال ۱۶۴۰ این مسئله را حل کرد و از این رو نام این نقطه را نقطه توریچلی گذاشتند. اصول کلی تئوری‌های مکان‌یابی بر مبنای تجزیه و تحلیل آماری بین مراکز تولید، مصرف، حمل و نقل، کم کردن هزینه تولید و یا حداکثر کردن سود می‌باشد. چهارچوب منظم و علمی نظریه مکان‌یابی اولین بار (به طور رسمی) توسط آلفرد وبر^۳ آلمانی در سال ۱۹۰۹ شکل گرفت. وی مسئله‌ای را مورد توجه قرارداد که در آن مکان‌یابی یک انبار، باهدف کمینه کردن مسافت طی شده بین انبار و گروهی از مشتریان (که روی فواصل مختلف توزیع شده‌اند) مطرح بود (Drezner and Wesolowsky, 1983).

بعداً کریستالر و لوش در پیشرفت و گسترش آن در قالب نظریه‌های مکان مرکزی نقش مؤثری ایفا کردند و در سال‌های بعد هوور و آیزارد^۴ در ایالات متحده و فرانسوا پرو در فرانسه در نظریه‌های قطب‌های رشد، آن را توسعه و بسط دادند (Donevska et al., 2012). پردول (۱۹۲۸)، فردی بود که اولین روش کاربردی برای ترکیب نظریه مکان‌یابی و سایر شاخه‌های اقتصاد را ارائه داد. پردول می‌خواست تحقیق کند که مسئله قیمت چقدر در مکان‌یابی اهمیت دارد. نظریه پردول به هم وابسته بودن قیمت‌ها و کیفیت‌ها را بررسی می‌کرد (Drezner and Wesolowsky, 1983).

1. Fermat
2. Tauricelli
3. Weber
4. Isard

در نیمه نخست قرن بیستم، افرادی روی مدل‌های بسیار ساده‌ای از مکان‌یابی مثل مکان‌یابی روی یک خط^۱، کارهایی انجام دادند. در دهه ۱۹۵۰ افرادی چون اپل^۲، بوفا^۳، ماتر^۴ و آرمور^۵ بر روی مسائل جانمایی و استقرار تجهیزات در داخل واحدهای صنعتی تحقیقاتی انجام دادند. هم‌زمان بعضی افراد روی مسائل کاربردی مکان‌یابی در مقیاس‌های بزرگ‌تر، مثل مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی کارهایی انجام دادند. هوور در سال ۱۹۴۸ تئوری‌های خود را به مکان‌یابی صنعتی و با فرض رقابت کامل بین تولیدکنندگان و فروشندگان و تحرک کامل عوامل تولید معطوف کرد. تئوری هوور در مقایسه با تئوری آلفرد وبر، هزینه‌ها را با روش واقع‌گرایانه‌تری به هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های تولید تقسیم می‌کند. برای مثال، هزینه‌های حمل‌ونقل تنها متأثر از وزن و فاصله نبوده و بر اساس طول و جهت حمل‌ونقل نیز متغیر خواهند بود (شمسایی زفرقندی، ۱۳۹۱).

در ۱۹۵۱ آیزارد تلاش کرد که روش هندسی وبر را با اصل پردول ترکیب کند به‌نحوی که با جایگزینی منابع مختلف تهیه مواد، هزینه‌های حمل‌ونقل کمینه شود. موسس^۶ (۱۹۵۸)، چارچوب وبر را با نظریه استاندارد تولید، گسترش داد. تلاش‌های موسس، خلیلی (۱۹۷۴)، میلر^۷ و جانسون^۸ (۱۹۷۸) بود که سرانجام باعث شد تا نظریه مکان‌یابی کلاسیک با تکیه بر بیشینه کردن سود و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل به مسیر اصلی خود هدایت شود (Drezner and Wesolowsky, 1983).

حکیمی^۹ برای نخستین بار در سال ۱۹۶۴ تابع هدف را به‌صورت کمترین مجموع و حداقل حداکثری^{۱۰} طبقه‌بندی کرده و به مسئله مکان‌یابی روی شبکه پرداخت (صدر

-
1. Hoteling
 2. Apple
 3. Buffa
 4. Muter
 5. Armor
 6. Moses
 7. Miller
 8. Johnson
 9. Hakimi
 10. MinMax

زاده، ۱۳۹۰). پس از آن، افراد زیادی در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ در خصوص ابداع مدل‌های مکان‌یابی و طبقه‌بندی و نظام‌مند کردن مدل‌های مکان‌یابی، تحقیقات گسترده‌ای را انجام داده‌اند (Drezner and Wesolowsky, 1983).

۱-۴-۲- اهداف مکان‌یابی

به‌صورت کلی اهداف مکان‌یابی را می‌توان به‌صورت ذیل ذکر نمود (شمسایی زفرقندی، ۱۳۹۱):

- توزیع متعادل‌تر صنایع و فعالیت‌ها.
- توزیع فضایی جمعیت.
- استقرار واحدهای خاص در مکان‌های معین.
- هدایت و تخصیص سرمایه‌های دولتی و خصوصی به بخش‌های مختلف اقتصادی.
- بهینه کردن هزینه‌ها (نیروی کار، زمین، مواد اولیه، حمل‌ونقل و...).
- اهداف اجتماعی، سیاسی و عدالت اجتماعی.
- استفاده از عوامل و نتایج تولید نواحی و مناطق مختلف.
- جلوگیری از ازدحام آلودگی، افزایش قیمت زمین و ساختمان، افزایش مشکلات اجتماعی و افزایش شدید اختلاف درآمد.
- توجه به استعداد و برتری نسبی مناطق و شناخت قابلیت‌های هر منطقه.
- بررسی مسائل زیست‌محیطی.
- بررسی مسائل دفاعی با رویکرد رعایت اصول پدافند غیرعامل.

۱-۴-۳- مکان‌یابی زیرساخت‌ها

مطابق ماده ۲۰۱ (بند ک) از سند برنامه پنج ساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران، دولت موظف است به‌منظور تقویت بنیه دفاعی کشور و ارتقاء توان بازدارندگی نیروهای مسلح و حفاظت از تمامیت ارضی و امنیت کشور و آمادگی در برابر تهدیدات و حفاظت از منافع ملی، انقلاب اسلامی ایران و منافع حیاتی کشور و هوشمندسازی

سیستم‌های دفاعی، اصول پدافند غیرعامل را در طراحی و اجرای تأسیسات زیربنایی و ساختمان‌های حساس و شریان‌های اصلی و حیاتی کشور (جهت پیشگیری و کاهش مخاطرات ناشی از سوانح غیر طبیعی) رعایت نماید.

در مکان‌یابی زیرساخت‌ها، انتخاب مطلوب و بهینه محل با امکان داشتن شرایط مناسب برای توسعه آینده به‌گونه‌ای باید باشد که علاوه بر عوامل عمومی، اصول پدافند غیرعامل نیز رعایت شود (پیر دشتی و کمری، ۱۳۹۲). مکان‌یابی مطلوب را می‌توان مهم‌ترین اقدام پدافند غیرعامل در کاهش آسیب‌پذیری مراکز حیاتی و حساس محسوب نمود، زیرا اگر در مرحله صفر پروژه طراحی، احداث و تأسیس مراکز حیاتی و حساس عوامل و معیارهای ذی‌ربط دفاعی و امنیتی از قبیل حداکثر استفاده از عوارض طبیعی، آمایش سرزمینی، رعایت پراکندگی، پرهیز از انبوه و حجیم‌سازی، مقاوم‌سازی اولیه و غیره و... رعایت، نظارت و کنترل گردد؛ از بروز بسیاری از مشکلات پیچیده و هزینه‌بر جلوگیری به عمل خواهد آمد. از آنجایی‌که اولین هدف موردنظر دشمن در حمله و تهاجم نظامی، مراکز و زیرساخت‌های حیاتی، حساس و مهم کشور مورد تخاصم است، لذا مکان‌یابی این مراکز نیازمند مطالعات علمی دقیق و ساختاریافته‌ای است که باید عوامل متعددی چون شرایط آب و هوایی، راه‌های دسترسی، شیب و توپوگرافی زمین در گزینش این‌گونه مکان‌ها لحاظ نماید. علاوه بر این عوامل این‌گونه مراکز باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که الزامات پدافند غیرعامل را نیز برآورده سازند.

نگاهی اجمالی به مکان‌یابی صحیح اولیه بعضی مراکز حیاتی، حساس (نظامی، اقتصادی، ارتباطی و نیروگاه‌ها و...) مؤید این نظر است که مکان‌یابی صحیح فواید ذیل را دربر خواهد داشت. (پورمحمدی، ۱۳۸۷):

- آسیب‌پذیری را تا حد قابل‌توجهی کاهش می‌دهد.
- وضعیت پدافندی مناسبی ایجاد می‌نماید.
- دشمن را در حمله با محدودیت مواجه و ابتکار عمل را از وی سلب می‌کند.

- نیاز به تسلیحات پدافندی را تقلیل می‌دهد.
 - صرفه‌جویی قابل توجهی را در حفظ سرمایه‌های ملی به دنبال دارد.
- بر این اساس لازم است ضمن برنامه‌ریزی مناسب در رفع نواقص تأسیسات و مراکز حیاتی و حساس احداث شده قبلی، در مکان‌یابی مراکز حیاتی و حساس آتی که با سرمایه‌های کلان و قابل توجهی احداث خواهند شد، به اساسی‌ترین اصول دفاع غیرعامل عنایت ویژه‌ای مبذول شود.

درواقع، مکان‌یابی زیرساخت‌ها یکی از بخش‌های آمایش سرزمین بوده و یک فرآیند پیچیده است که در آن طیف وسیعی از فاکتورها و معیارها جهت تعیین مکان مناسب برای یک کاربرد خاص لحاظ می‌گردد. در گذشته ماهیت مکان‌یابی زیرساخت‌ها اغلب بر اساس دو معیار فنی و اقتصادی شکل می‌گرفت و امروزه با توجه به گسترش علوم و افزایش حساسیت‌ها به‌ویژه در زمینه عوامل زیست‌محیطی، برای مکان‌یابی انواع تأسیسات می‌بایست دهه‌ها و گاهی صدها عامل مختلف به‌طور هم‌زمان مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

۴-۴-۱- نظریه‌های متداول در مکان‌یابی

- **نظریه مکان مرکزی**
- در رابطه با مکان‌یابی شهرها در سطح منطقه و اصولاً کاربرد اراضی منطقه‌ای، تئوری‌ها و نظریات مختلفی ارائه گردیده است. تئوری‌های مکان بیشتر، بر مبنای فعالیت‌های اقتصادی و موقعیت مکانی شهرها، محدود بودن فضای رقابت برای استفاده از فضا و اصطکاک فضا قرار دارد. معروف‌ترین تئوری‌های مکانی توسط آگوس لوش (تئوری مکانی)، والتر کرسنالر (تئوری مکان مرکزی)، فون تونن (تئوری استفاده از زمین‌های کشاورزی) و فراسوا پرو (تئوری فضای اقتصادی) ارائه گردیده‌اند (شیعه، ۱۳۸۴).

نظریه مکان مرکزی ابتدا توسط والتر کریستالر بین سال‌های ۱۹۶۹-۱۸۹۳ پیشنهاد شد. وی کوشید تا اندازه و پراکنش را با توجه به کالا و خدمات تبیین نماید. از این منظر یکی از عملی‌ترین ساخت سکونت‌گاه‌ها که در بیشتر موارد برنامه‌های توسعه اجتماعی-اقتصادی کشورها و نواحی را تحت تأثیر قرار داده است، نظریه مکان مرکزی والتر کریستالر است که آن را در کتاب خود تحت عنوان مکان‌های مرکزی در بخش جنوبی آلمان در سال ۱۹۳۳ ارائه کرد. هدف اصلی این نظریه شرح و تبیین سازمان فضایی سکونت‌گاه‌ها و حوزه نفوذ آن‌ها بر اساس هشت فرضیه مهم است (شمسایی زفرقندی، ۱۳۹۱).

• منطق بولین

این منطق برگرفته از نام ریاضی‌دان مطرح انگلیسی (جورج بولی) که در سال ۱۹۴۷ به‌وسیله وارنز مورد استفاده قرار گرفت و در سال ۱۹۸۹ به‌وسیله روبینو توسعه داده شد. در مدل بولین (دودویی) ترکیب ارزش‌ها به‌صورت «بله» و «خیر» است. هر مکان مورد آزمایش با این مدل، با معیارهای موردنظر تحت آزمون قرار می‌گیرد که آیا این معیار در آن مکان صدق می‌کند یا خیر؟ و هیچ شرط احتسابی دیگری وجود ندارد. به زبان مجموعه‌ها، عضو مجموعه بودن را فقط باحالت «یک» (درست) یا «صفر» (نادرست) نشان می‌دهد.

به عبارت دیگر مدل بولین مناسبت مکانی را بر اساس عملگرهای شرطی، به‌صورت «صفر» یا «یک» نمایش می‌دهد در مرحله بعد با استفاده از توابع منطقی برای اینکه شرط مخصوصی درست یا غلط استفاده می‌کند و به‌وسیله آن‌ها، لایه‌ها باهم ترکیب می‌شوند و نتیجه نهایی آن، داوری در مورد یک محل برای یک فعالیت یا کاربری خاص است که این محل یا مناسب است (یک) یا مناسب نیست (صفر) و حالت دیگری جز این دو وجود ندارد (شمسایی زفرقندی، ۱۳۹۱).

• روش شاخص‌های وزنی^۱

مبانی نظری مدل لایه‌ای یا هم‌پوشانی توسط پاتریک گدس پایه‌گذاری شد و تاریخچه شهرسازی لایه‌ای از زمان وی آغاز گردید. اشتاینتز تئوری تحلیل لایه‌ها را ادامه داد و در سال ۱۹۶۴ الکساندر از این روش در پروژه مکان‌یابی بزرگراه استفاده نمود. مک‌هارگ که به طراح چشم‌انداز شهرت دارد، از روش الکساندر برای مکان‌یابی بزرگراه ریچموند استفاده کرد. مدل هم‌پوشانی از روی هم گذاری لایه‌ها بهره می‌گیرد. به عبارت دیگر، هم‌پوشانی به معنی روی هم گذاری لایه‌های دوبعدی است. هرکدام از لایه‌ها، ویژگی‌هایی از روش دنیای واقعی را نشان می‌دهد. توسط این مدل می‌توان با معیارها و شاخص‌های تعیین شده، به انتخاب بهترین مکان دست یافت. به دلیل دخالت سلیقه کاربر در تجزیه و تحلیل داده‌ها، این روش اشکالاتی دارد که با توجه به آن و نیز افزایش سرعت و توانایی رایانه‌ها و امکانات گسترده‌ای که آن‌ها برای تجزیه و تحلیل اطلاعات در اختیار می‌گذارند، استفاده از روش‌های رقومی مورد توجه قرار گرفته است. در این مدل علاوه بر وزن دهی به واحدها در هر لایه اطلاعاتی، به هر لایه اطلاعاتی (نقشه) بر اساس ارزش خود در مکان‌یابی وزن داده می‌شود (شمسایی زفرقندی، ۱۳۹۱).

• مدل هم‌پوشانی شاخص‌ها^۲

در این مدل علاوه بر وزن دهی به واحدها، به هر لایه اطلاعاتی و هر نقشه بر اساس ارزش خود در مکان‌یابی وزن داده می‌شود و دو حالت دارد.

۱. بر اساس نقشه‌های دودویی حاصل از مدل بولین (بر اساس اهمیتشان در

مکان‌یابی وزن خاصی را اخذ می‌نمایند)

۲. نقشه‌های چندطبقه‌ای (در این مدل علاوه بر وزن دهی به لایه‌های اطلاعاتی،

واحدهای موجود در هر لایه اطلاعاتی نیز بر اساس پتانسیل خود وزن خاصی

خواهند داشت).

^۱ Index Overlay

^۲ Index Overlay Model

۱-۵- تصمیم‌گیری چندمعیاره

انسان عموماً جهت تصمیم‌گیری یکی از دو روش زیر را به کار می‌برد: (۱) روش آزمون و خطا، (۲) روش مدل‌سازی.

در روش آزمون و خطا تصمیم‌گیرنده با واقعیت برخورد می‌کند، بدین ترتیب که یکی از گزینه‌ها را انتخاب کرده و نتیجه را مشاهده می‌کند، چنانچه خطای تصمیم زیاد بوده و مشکلاتی بروز کند، تصمیم را عوض کرده و گزینه‌ای دیگر را انتخاب می‌کند. در روش مدل‌سازی، تصمیم‌گیرنده مسئله واقعی را مدل‌سازی نموده، عناصر آن و تأثیر آن‌ها بر یکدیگر را مشخص می‌نماید و به تجزیه و تحلیل مدل و پیش‌بینی عملکرد مسئله واقعی می‌پردازد. در یک بررسی و اظهار نظر کلی گفته می‌شود که مدل‌سازی عموماً یک فرآیند بوده که نیازمند کار کارشناسی متناسب نیز می‌باشد. استفاده از متخصصین در امر مدل‌سازی ضروری بوده و فوایدی شامل: (۱) صرفه‌جویی در هزینه (۲) صرفه‌جویی در زمان (۳) استفاده در طراحی (۴) پیش‌بینی رفتار و عملکرد سیستم را به همراه دارد (محمد مرادی و اخترکاو، ۱۳۸۸).

تصمیم‌گیری یکی از مهم‌ترین وظایف مدیریت است. دلایل موفقیت برخی از سازمان‌ها اتخاذ تصمیم‌های مناسب است. از آنچه اتخاذ تصمیم صحیح و به‌موقع می‌تواند تأثیر به‌سزایی در زندگی شخصی و اجتماعی انسان‌ها داشته باشد، از این‌رو ضرورت وجود روش‌های علمی در این زمینه بسیار محسوس است. سایمون، نظریه‌پرداز بزرگ، مدیریت را مترادف با تصمیم‌گیری می‌داند و این می‌تواند اهمیت تصمیم‌گیری را نشان دهد. فرآیند تصمیم‌گیری بنا به نظر جان دیویی، می‌تواند در سه مرحله خلاصه گردد: (۱) مشکل کجاست؟ (۲) راه‌حل‌ها کدامند؟ (۳) بهترین راه‌حل کدام است؟

به‌ندرت فرد یا سازمان بر اساس یک معیار تصمیم می‌گیرد. اکثر تصمیم‌گیری‌ها چندمعیاره (^۱MCDA) هستند. در این تصمیم‌گیری‌ها به‌جای استفاده از یک معیار

1. Multi-Criteria Decision Making

سنجش بهینگی ممکن است از چندین معیار سنجش استفاده گردد. معیارها مواردی هستند که بر روی تصمیم‌گیری اثر می‌گذارند، لذا هر یک به شاخص‌هایی که قابل‌اندازه‌گیری هستند خرد می‌شوند. در هر مسئله ممکن است چندین معیار وجود داشته باشد که توسط شاخص‌ها با وزن‌های مربوطه باهم ترکیب شده و تابع هدف را می‌سازند. تصمیم‌گیری چندهدفه یک نوع برنامه‌ریزی ریاضی با چندین تابع هدف است. در تصمیم‌گیری چند شاخصه چندین شاخص که ممکن است تعدادشان زیاد هم باشد، در فرآیند تصمیم‌گیری مؤثرند و باید تمامی آنان در تصمیم‌گیری موردتوجه واقع شوند.

مسائل تصمیم‌گیری می‌توانند دارای اهداف چندگانه یا معیارهای چندگانه باشد. معیارها ممکن است در تعارض باهم باشند، اهداف و معیارهای متفاوت ممکن است دارای مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوت نیز باشند. حل این‌گونه مسائل می‌تواند یا به معنای طراحی بهترین جواب و یا انتخاب بهترین جواب از میان جواب‌های موجود باشد. مدل‌های تصمیم‌گیری به دو دسته عمده تقسیم می‌گردند: مدل‌های چندهدفه^۱ (MODM) و مدل‌های چند شاخصه^۲ (MADM). درحالی‌که مدل‌های چند شاخصه به‌منظور انتخاب گزینه برتر استفاده می‌گردند. فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۳ یکی از متداول‌ترین و محبوب‌ترین مدل‌های چند شاخصه طراحی‌شده می‌باشد که توسط توماس ساعتی در سال ۱۹۸۰ (Saaty, 1980) ابداع گردیده است.

مدل تصمیم‌گیری چندهدفه (MODM) را می‌توان به‌صورت ذیل فرموله نمود.

$$(1-1) \quad \text{بهینه کنید } \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)\} = F(x)$$

$$s.t : g_i(x) \begin{cases} \leq \\ \geq \\ = \end{cases} ; i = 1, 2, \dots, m; x \in E^n$$

1. Multi Objectives Decision Making
2. Multi Attribute Decision Making
3. Analytic hierarchy process

این مدل مشهور^۱ VMP (مدل‌های حداقلی یا حداکثری) بوده و طراحی نقطه بهینه برای آن از یک مجموعه غیر تهی $S \in E^n$ صورت‌پذیر خواهد بود.

درواقع، هدف از مکان‌یابی، یافتن مجموعه‌ای از گزینه‌های مکانی مناسب برای یک کاربرد خاص است. لذا، مسئله مکان‌یابی یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره^۲ است. تصمیم‌گیری را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین چالش پیش روی کارشناسان و تحلیل‌گران در حل مسائل مختلف دانست. به همین دلیل روش‌ها و الگوریتم‌های مختلفی برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری طی چند دهه اخیر ارائه شده است. مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی معمولاً شامل مجموعه‌ای از موقعیت‌های مکانی است که می‌باید بر اساس چندین معیار مختلف ارزیابی شوند.

۱-۶- ضرورت استفاده از GIS^۳ برای مکان‌یابی

مکان‌یابی فرآیندی است که از طریق آن می‌توان بر اساس شرایط تعیین‌شده برای یک کاربری مشخص و با توجه به منابع و امکانات موجود، بهترین محل مناسب را تعیین نمود. مکان‌یابی درواقع تجزیه و تحلیل توأمان اطلاعات فضایی و داده‌های توصیفی، به‌منظور یافتن یک یا چند موقعیت فضایی با ویژگی‌های توصیفی موردنظر می‌باشد. استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (مکانی)^۴، GIS، جهت مکان‌یابی با توجه به حجم زیاد اطلاعات ضروری بوده و با استفاده از آن می‌توان به نتایج دقیق‌تر و با سرعت بالاتری دست‌یافت. در فعالیت‌های مهندسی، مطالعات گسترده‌ای توسط کارشناسان رشته‌های علمی از قبیل مهندسیین مربوط به آن صنعت، کارشناسان زمین‌شناسی، اقلیم، امور اقتصادی و... انجام می‌شود. لذا، از آنجاکه فرآیند مکان‌یابی نیازمند مطالعه دقیق و همه‌جانبه است، روش‌های دستی و سنتی نمی‌توانند پاسخگوی این نیاز باشند، بنابراین، لازم است از ابزارهای به‌روز در این امر استفاده مناسب گردد.

1. Vector-maximum problem

2. Multi-Criteria Decision Making (MCDA)

3. GIS: Geographic Information System

4. Geospatial/Geographic Information Systems (GIS)

به بیانی دیگر، باید تلاش گردد که اطلاعات توصیفی و مکانی به صورت همزمان مورد پردازش قرار گرفته و از ابزارهای تحلیلی مناسب استفاده شود. بدیهی است که پردازش صدها لایه داده‌های مکانی و هزاران مورد اطلاعاتی با استفاده از روش‌های سنتی، امکان اجرایی ندارد و باید از علوم و فناوری‌های روز نظیر GIS برای پردازش سریع و همزمان داده‌ها استفاده نمود.

سامانه اطلاعات جغرافیایی (مکانی)، GIS، عبارت است از سامانه سازمان‌یافته‌ای متشکل از سخت‌افزار، نرم‌افزار، نیروهای متخصص و مدل‌های طراحی‌شده که جهت اخذ، ذخیره‌سازی، نمایش، پردازش، بهنگام‌سازی، بازیافت، تجزیه و تحلیل و ارائه اطلاعات زمین مبنا با اشکال جغرافیایی که هدف نهایی آن استفاده از اطلاعات به دست آمده جهت برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری و یا تصمیم‌سازی هرچه صحیح‌تر است. در GIS، لایه‌های اطلاعاتی در رابطه با یک مکان است که درک بهتری از آن مکان را میسر می‌سازد. این سامانه با استفاده از نرم‌افزار نقشه‌کشی، اطلاعات مربوط به جایی که چیزهایی وجود دارند را با اطلاعات مربوط به آن‌ها، پیوند می‌دهد.

معروف‌ترین و پرکاربردترین نرم‌افزار GIS، نرم‌افزار ArcGIS محصول شرکت ESRI می‌باشد که در محیط آن، تلفیقی از اطلاعات توصیفی و مکانی باهم ترکیب و در یک بانک اطلاعاتی ذخیره می‌شود و یک نقشه در صفحه نمایش، موقعیت مکانی را نشان می‌دهد. به عبارتی تلفیقی از نرم‌افزارهای اکسس^۱، اکسل^۲، اتوکد^۳ و ... است که به کمک توابع، قابلیت‌های فراوانی برای داده‌ها ایجاد می‌کند؛ البته سایر نرم‌افزارها پتانسیل چنین قابلیت‌هایی را ندارند و یا آنکه محدودیت‌های زیادی دارند (Malczewski, 2004). ArcGIS نرم‌افزاری است بسیار آسان برای کاربردهای GIS که به کاربران این امکان را می‌دهد که به سادگی اطلاعات مکانی و داده‌های توصیفی را برای ایجاد نقشه‌ها،

1. Access
2. Excel
3. Autocad

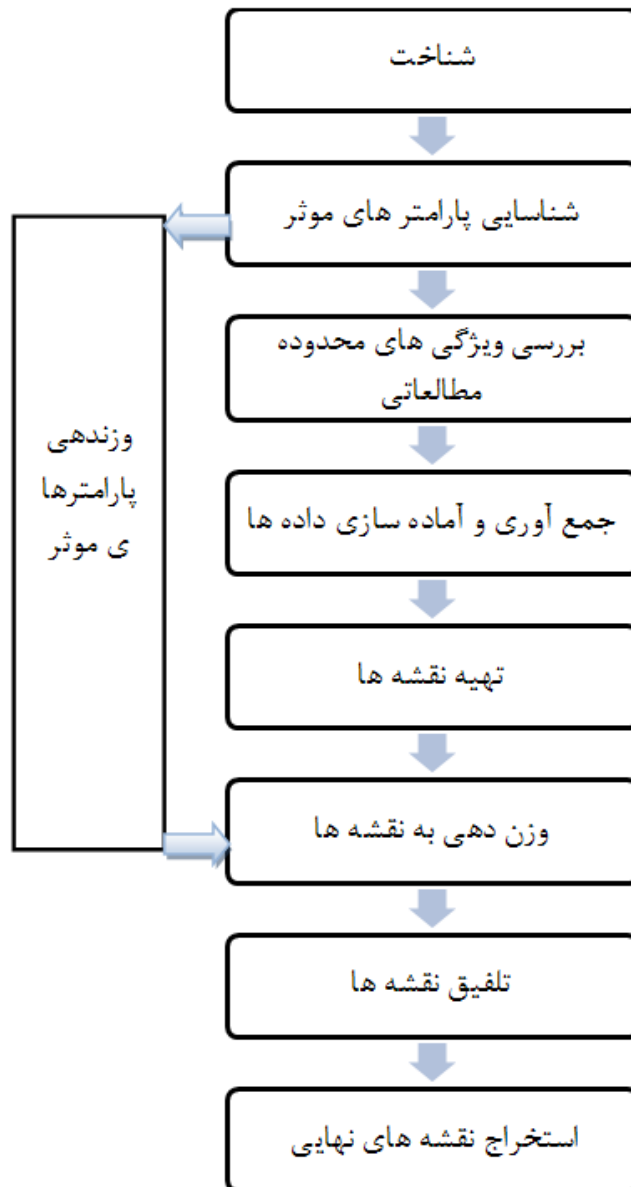
جداول و نمودارها به کارگیرند. این نرم‌افزار ابزارهای لازم برای جستجو، تحلیل داده‌ها و نمایش نتایج را با کیفیت مناسب در اختیار کاربران قرار می‌دهد.

تلفیق GIS با تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) و به عبارتی، یکپارچه‌سازی داده‌های مکانی (نقشه‌های GIS) و مقادیر قضاوت کارشناسان (ترجیحات و عدم قطعیت نظرات کارشناسان) ارزیابی جامعی از گزینه‌های مناسب، جایگزین تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد (ترابی و مهدی نژاد نوری، ۱۳۹۲). پردازش و تجزیه و تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در GIS را می‌توان به منزله فرایندی که داده‌های مکانی (نقشه‌ها) و مقادیر ارزیابی‌ها (اولویت‌ها و معیارهای تحلیل‌گران) را باهم ترکیب می‌کند، در نظر گرفت (Malczewski, 1999). در سیستم اطلاعات مکانی، روش‌هایی برای ارزیابی و وزن‌دهی معیارهای مختلف تصمیم‌گیری، نظیر فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وجود دارد که می‌تواند برای تصمیم‌گیری در حوزه‌هایی که معیارهای مختلف کمی و کیفی بایستی مورد توجه قرار گرفته و همچنین گزینه‌های مختلفی در ارتباط با آن موجود می‌باشد به کار گرفته شود. از دیگر تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌توان به میانگین وزن‌دار ترتیبی (OWA)، تکنیک تاپسیس (TOPSIS) و... اشاره کرد که ابزارهایی قدرتمند در تصمیم‌گیری در زمینه مسائل چند معیاره محسوب می‌شوند.

روش‌های ارزیابی چندمعیاره با ساده‌سازی تعریف راهبردهای تصمیم‌گیری و تسهیل پردازش‌های مکانی می‌توانند در مسائل مختلف تصمیم‌گیری مکانی به شیوه‌های گوناگون استفاده شوند. مکان‌یابی عمدتاً به الگوریتم‌هایی در GIS برمی‌گردد که توانایی مشخص کردن مکان بهینه برای یک یا چند عارضه را دارند. این عارضه می‌تواند زیرساخت‌های شهری، مراکز تولید انرژی، بیمارستان‌ها یا مراکز نظامی باشد. مکان‌یابی درواقع نیازمند یک ابزار قوی برای تصمیم‌گیری چندمعیاره است که این مهم توسط سیستم اطلاعات مکانی (GIS) فراهم می‌گردد.

۷-۱- فرآیند مکان‌یابی زیرساخت‌ها با استفاده از GIS

مکان‌یابی زیرساخت‌ها به معنای انتخاب یک مکان مناسب، جهت اجرای پروژه‌های مهندسی نظری مانند: احداث سد، نیروگاه، پایگاه‌های نظامی، مراکز توریستی و... است. در سال‌های اخیر مدل‌های زیادی با استفاده از الگوریتم‌های GIS با قابلیت ارائه اطلاعات مکانی دقیق توسعه یافته‌اند که این توسعه به نوبه خود منجر به بروز مشکل حجم بالای محاسبات شده است. فرآیند مکان‌یابی با استفاده از GIS شامل یک سری مراحل معین و مشخص بوده که برای دستیابی به نتایج قابل اطمینان اجرای آن‌ها اجتناب‌ناپذیر است. به‌طور کلی، فرآیند مکان‌یابی را می‌توان شامل مراحل ساخت، تهیه داده‌های موردنیاز، تعیین فاکتورهای تأثیرگذار، شناخت دقیق از محدوده مطالعاتی، گردآوری و آماده‌سازی داده‌ها، تلفیق نقشه‌ها و تهیه نقشه خروجی دانست. یکی از موارد مهم در مکان‌یابی، استخراج عوامل محیطی و طبقه‌بندی آن به چند بخش تأثیرگذار بوده که مستلزم شناخت دقیق اهمیت هر یک از عوامل می‌باشد. در این بخش پس از تشریح فرآیند مکان‌یابی و مراحل آن بخش‌های مذکور را با جزئیات بیشتری شرح خواهیم داد.



شکل (۲-۱) مدل مفهومی مراحل فرآیند مکان‌یابی زیرساخت‌ها با استفاده از GIS

اساسی‌ترین مراحل به اجرا درآوردن پروژه‌های GIS، فرآیند شناخت می‌باشد. با توجه به مشکلات موجود در اجرای پروژه و پیش‌بینی موانع احتمالی، در مراحل مختلف اجرای پروژه، شناخت دقیق و جامع کمک شایانی به بررسی، حل مشکلات و پیش‌بینی بهترین نتایج کرده و روال انجام کار را تسریع می‌نماید. طی مرحله شناخت، یک سری مطالعات جامع در ارتباط اهداف پروژه، اجرا و بررسی سوابق پروژه انجام خواهد شد که منجر به تدوین گزارش‌هایی کامل بر مبنای اجرای پروژه، شرح موانع و در دسترس قراردادن اطلاعات جامع برای مجری طرح در آینده می‌باشد. با توجه به وجود چنین گزارش‌هایی حتی‌المقدور پروژه خالی از نقایص و خطاهای گذشته خواهد بود.

در گام بعد، بر اساس نظر کارشناسان و صاحب‌نظران تحلیل‌گر، اقدام به تعریف شاخص‌ها و معیارهای مکان‌یابی می‌شود. پس از مشخص شدن معیارهای مکان‌یابی و طبقه‌بندی نقشه‌ها به کلاسه‌های متفاوت بر اساس نحوه تأثیر پارامترها، باید میزان اهمیت هریک از پارامترها در قالب دادن وزنی مشخص به هر کدام از پارامترها، بر مبنای تأثیرگذار بودن آن پارامتر و به‌منظور تهیه نقشه نهایی انجام شود. وزن هر معیار نشان‌دهنده میزان اهمیت و ارزش آن نسبت به معیارهای دیگر در عملیات مکان‌یابی است. با توجه به اینکه معیارهای پهنه‌بندی در هر پروژه غالباً زیاد و دارای ارزش یکسانی نمی‌باشند، لذا برای در نظر گرفتن اهمیت معیارها و لحاظ کردن مستقیم آن‌ها در پهنه‌بندی، به‌منظور دقت‌بخشی کار ناچار به وزن‌دهی معیارها هستیم.

غالباً وزن‌دهی‌های صورت گرفته بر پایه دانش کارشناسی و بر اساس نظر متخصصین صورت می‌پذیرد. بدین منظور ابتدا نظرات مختلف متخصصین جمع‌آوری شده و پس از بررسی و آنالیز، نرمال‌سازی می‌شوند. سپس یک تحلیل کلی و جامع روی مجموعه پارامترهای دخیل در مکان‌یابی صورت گرفته و کلاس‌هایی بر اساس تأثیر هر یک از پارامترها در مکان‌یابی ایجاد و هر یک از پارامترها در یک کلاس مشخص جای می‌گیرند. از مزایای وزن‌دهی، سادگی و قابل‌اعتماد بودن و از معایب آن

می‌توان به خطای کارشناسان در برآورد وزن خام پارامترها اشاره نمود. برای وزن‌دهی روش‌های مختلفی وجود داشته که بعضی از آن‌ها به تفصیل در فصل تصمیم‌گیری چندمعیاره توضیح داده شده است.

هم‌زمان با وزن‌دهی پارامترهای مؤثر، با در نظر گرفتن نظرات کارشناسی متخصصین و بررسی کارهای مشابه انجام‌شده در این زمینه، می‌توان اقدام به ویژگی‌های محدوده مطالعاتی نمود. ویژگی‌های محدوده مطالعاتی شامل مشخصه‌های محدوده، از نظر موقعیت مکانی و تعیین محدوده‌های مجاور، ویژگی‌های محیطی منطقه مورد مطالعه (کوه‌ها، رودخانه‌ها، گسل‌ها و...)، مشخص کردن ایستگاه‌های فعال منطقه (هواشناسی و...)، مشخص کردن مرزهای سیاسی (شهرستان‌ها و...) و کلیه عوامل حاکم بر مکان‌یابی جامع مشخص خواهد شد.

در مرحله بعد متناسب با پارامترها و معیارهای مؤثر شناسایی‌شده، باید داده‌های موردنیاز از منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری شوند. داده‌ها معمولاً از سازمان‌ها و نهادهای مختلفی جمع‌آوری می‌شوند که طبیعتاً در فرمت‌ها و مقیاس‌های متفاوتی می‌باشند. یکی از نکات مهم در جمع‌آوری داده‌ها تطبیق اطلاعات و مقیاس آن‌ها متناسب با پروژه می‌باشد. داده‌های جمع‌آوری‌شده معمولاً دارای تفاوت‌هایی در فرمت، مقیاس، سیستم تصویر و... می‌باشند که پردازش آن‌ها نیاز به نرم‌افزارهای مختلف و متناسب با نوع داده‌ها برای یکسان‌سازی فرمت داده‌ها دارد؛ تا پس از بررسی و آنالیز داده‌ها نتایج مطمئن و قابل‌قبولی حاصل گردد.

پس از تهیه داده‌ها، لازم است نقشه‌های مرتبط با شاخص‌های مکان‌یابی تهیه گردد. نقشه‌ها با توجه به نیاز پروژه، بر اساس داده‌های موجود و با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزارهای مختلف تهیه می‌شوند. هسته اصلی تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی، دریافت این واقعیت است که هر ویژگی را می‌توان در پایگاه داده مکانی به صورت یک لایه ذخیره نمود. یک نقشه شاخص، توزیع مکانی یک ویژگی را بیان می‌کند و معرف

درجه‌ای است که هر شیء از آن ویژگی اخذ کرده است (Nyergeres and Jankowski, 2009). فرآیند ایجاد نقشه‌های شاخص توسط توابع مختلف GIS انجام می‌پذیرد.

با در نظر گرفتن انواع مختلف شاخص و توجه به این امر که، هر شاخص با مقیاس و واحدهای مختلفی قابل اندازه‌گیری است، جهت تصمیم‌گیری چندمعیاره ضروری است نسبت به تبدیل مقیاس و واحدهای آن‌ها به یک واحد قابل قیاس اقدام گردد. ساده‌ترین راهکار برای استانداردسازی، روش خطی حداکثر امتیاز است.

پس از انتخاب روش و مدل مناسب تلفیق، نقشه‌ها به مدل وارد شده و از ترکیب لایه‌های اطلاعاتی، با استفاده از کلاس‌های طبقه‌بندی برای تمامی منطقه مطالعاتی، نقشه نهایی تهیه می‌شود. لازم به ذکر است که وزن‌دهی فقط بر روی لایه‌های رستری امکان‌پذیر بوده و داده‌های وکتوری حتماً باید به رستر تبدیل شوند.

نقشه نهایی معمولاً با توجه به نیاز پروژه و کاربر تهیه و استخراج می‌شود. اگر هدف از مکان‌یابی فقط تعیین مکان‌های مناسب با درجه بالا باشد این نقشه‌ها در قالب نقشه‌های تک منظوره و فقط با قابلیت نمایش مناطق مناسب تهیه می‌شود. در این نوع از نقشه‌ها، هیچ نوع رتبه‌بندی (پهنه‌های گوناگون) بین پارامترها صورت نمی‌گیرد. صورت دیگر نقشه‌های نهایی علاوه بر تعیین مکان‌های مناسب، مکان‌ها با مناسبت کم تا نامناسب بسته به نیاز پروژه تهیه می‌شود و در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. این نوع نقشه‌ها، معمولاً پهنه‌ها را به تفکیک (رنگ، نماد و...) نشان می‌دهند.

امروزه در کشور، مطالعات گسترده‌ای در زمینه الگوریتم‌های مختلف مکان‌یابی زیرساخت‌ها صورت گرفته است که در بیشتر این تحقیقات از یک یا دو روش ارزیابی معیارهای تصمیم‌گیری (معمولاً فازی^۱ و سلسله مراتبی^۲) در کنار GIS استفاده کرده‌اند. اما عدم تدوین یک دستورالعمل اصلی برای دسترسی به روش‌ها و الگوریتم‌های

1. Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP)

2. Analytic Hierarchy Process (AHP)

مکان‌یابی و نرم‌افزارهای اجرای آن، محققان کشور را دچار مشکل کرده است. همچنین در اکثر تحقیقات، رویکردهای پدافند غیرعامل در انتخاب محل، به‌طور مناسب در نظر گرفته نشده است؛ از این‌رو با توجه به تمام موارد ذکرشده، وجود یک مرجع مناسب برای به‌کارگیری روش‌های الگوریتم مکان‌یابی در حوزه پدافند غیرعامل امری ضروری به نظر می‌رسد.

۱-۸- کتب مشابه

در خصوص کتب بین‌المللی منتشرشده در زمینه مکان‌یابی با استفاده از GIS می‌توان به کتاب معروف تهیه‌شده توسط Church و Murrey در سال ۲۰۰۹ اشاره نمود. در کشور نیز چند کتاب در این رابطه منتشرشده است که ازجمله آن‌ها می‌توان به کتاب تهیه‌شده توسط نظری‌فر و همکارانش (۱۳۹۰) اشاره داشت. این کتاب بر روش‌های AHP، بولین، نسبیتی و رتبه‌ای در تلفیق داده‌ها تمرکز دارد و به روش‌ها جدیدی نظیر Fuzzy_OWA، ANP، Fuzzy و TOPSIS و مقایسه بین آن‌ها نمی‌پردازد. همچنین کتاب تهیه‌شده توسط کرباسیان و همکارانش (۱۳۸۸)، در قالب یک مدل سامانمند، به بررسی فرآیند مکان‌یابی، بر اساس ملاحظات پدافند غیرعامل می‌پردازد. در راستای تبیین موضوع، نخست، اصول و مبانی مکان‌یابی و نیز پدافند غیرعامل تشریح شده و سپس بر اساس ملاحظات پدافند غیرعامل، استفاده از GIS را برای مکان‌یابی بررسی می‌کند که در این کتاب به روش‌ها، مدل‌ها و نرم‌افزارهایی که برای انجام آن وجود دارد، اشاره نشده است.

کتاب «مکان‌یابی مراکز صنعتی و خدماتی» نیز که توسط فرقانی و همکاران (۱۳۸۷) ارائه‌شده، نمونه خوبی از کاربرد اصول و مبانی مکان‌یابی و تصمیم‌گیری چندمعیاره در مکان‌یابی مراکز صنعتی است. این کتاب در فصل‌های متوالی به بررسی روش‌های مکان‌یابی چندمعیاره، روش‌های تصویری و شبکه‌ای، مدل‌ها و روش‌های مکان‌یابی به روش‌های ریاضیاتی، مطالعات مکان‌یابی بین‌المللی و سیاست‌ها، روش‌ها و

معیارهای تصمیم‌گیری می‌پردازد. همچنین در بخش‌های انتهایی کتاب، نویسندگان به بیان الگوریتم‌های فرا ابتکاری در حل مسائل مکان‌یابی پرداخته‌اند و سپس دو مثال و مطالعه موردی را برای مکان‌یابی مراکز صنعتی ذکر کرده‌اند. از جمله نقاط قوت کتاب مذکور، بیان گسترده و مناسب اصول و مطالب پایه‌ای مکان‌یابی و تصمیم‌گیری چندمعیاره اشاره کرد. در عین حال، عدم استفاده از GIS و ارائه یک مثال نرم‌افزاری از حل مسئله مکان‌یابی از نقاط ضعف کتاب مذکور است (Eldrandaly, 2013).

کتاب «کاربرد GIS در مکان‌یابی» تألیف عظیمی حسینی و همکاران نیز از جمله کتب مکان‌یابی است. در این کتاب، نویسندگان ابتدا به بیان تعاریف و مباحث پایه‌ای GIS و سامانه‌های تصویر نقشه‌برداری پرداخته‌اند. سپس به صورت گذرا الگوریتم‌های مکان‌یابی و تصمیم‌گیری چندمعیاره بررسی و به بیان روش‌های نرم‌افزاری مکان‌یابی تحت نرم‌افزارهای Arcview و ArcGIS پرداخته شده است. همچنین از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش AHP تحت نرم‌افزار Expert Choice آموزش داده شده است. از جمله معایب کتاب مذکور می‌توان به بررسی بسیار زیاد مباحث پایه‌ای و پیش پا افتاده GIS و عدم ارتباط مناسب میان روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با مکان‌یابی تحت GIS اشاره نمود.

کتاب «مقدمه‌ای بر آمایش سرزمین و مکان‌یابی» تألیف شمسایی زفرقندی و کتاب «آمایش دفاعی سرزمین از منظر پدافند غیرعامل» تألیف کامران و همکارانش (۱۳۹۲)، نیز از جمله کتاب‌هایی در حوزه آمایش سرزمین هستند که با رویکرد پدافند غیرعامل به طرح مباحث پایه و مقدماتی مربوطه پرداخته‌اند.

فصل دوم

معیارها و عوامل مؤثر در مکان‌یابی
زیرساخت‌ها

۲-۱- مقدمه

یکی از مراحل کلیدی در تصمیم‌گیری، شناسایی و تحلیل، معیارهایی است که در تصمیم‌گیری تأثیرگذار هستند. در انتخاب هر مکان معیارهای متعددی مؤثرند و تحلیل مکان، مقایسه این معیارها را دربر می‌گیرد. معیارهای مکان‌یابی در اولویت‌بندی مناطق کاندیدا و انتخاب مکان مناسب دارای نقشی بسیار مهم می‌باشند.

به‌طور کلی، مسائل مختلف مکان‌یابی اهداف خاصی را دربردارند و بعضی از عوامل در آن مسائل از اهمیت بیشتری برخوردارند؛ لذا می‌توان گفت، اهداف در شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای تصمیم‌گیری در یک مسئله مکان‌یابی و زیرمعیارهای آن‌ها اهمیت و نقش مهمی دارند. در یک تقسیم‌بندی (Drezner and Wesolowsky, 1983)، اهداف مسائل مکان‌یابی با رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی و برای انواع توابع هدف به سه دسته تقسیم‌شده‌اند.

۱. اهداف کششی^۱: این اهداف اشاره به نزدیکی هر چه بیشتر محل استقرار پروژه به مشتریان و حداقل سازی مسافت دارند که شامل قدیمی‌ترین مسائل مکان‌یابی می‌شوند.

۲. اهداف فشاری^۲: این اهداف مسائل مکان‌یابی مراکز نامطلوب را در بر می‌گیرند و از اوایل دهه ۱۹۷۰ به وجود آمده‌اند. هدف این مسائل حداکثرسازی مسافت است. مدل‌هایی که برای این نوع اهداف ارائه شده‌اند، بعدها به مدل‌های مکان‌یابی مضر معروف شدند.

۳. اهداف متعادل^۳: اهدافی هستند که تلاش در متعادل‌سازی مسافت بین تسهیلات و مشتریان دارند. این اهداف پیوسته‌ترین نوع اهداف هستند و هدف اصلی آن‌ها دستیابی به برابری است. این اهداف بیشتر در تصمیم‌گیری عمومی

1. Pull Objectives
2. Push Objectives
3. Obnoxious

کاربرد دارند؛ جایی که هدف، برقراری عدالت بین افراد است. لازم به ذکر است که اهداف مسائل مکان‌یابی می‌تواند برحسب شرایط محیطی، نوع طرح، سیاست سرمایه‌گذاران و دولت متفاوت باشد.

عوامل مؤثر در مکان‌یابی زیرساخت‌ها بسته به نوع کاربرد بسیار متنوع و متعدد هستند. برخی از این عوامل ثابت و برخی دیگر پویا و متغیر هستند. بدین معنی که با گذشت زمان و تغییر شرایط در برخی تغییر حاصل نمی‌شود، ولی در برخی دیگر تغییراتی به وجود می‌آید. هرکدام از این معیارها خود به زیرمعیارهایی تقسیم می‌شوند و علاوه بر آن از طریق یک مجموعه معیارهای دیگر قابل اندازه‌گیری و بررسی می‌باشند. این معیارها شامل معیارهای اقتصادی اجتماعی، طبیعی، سیاسی و غیره می‌شوند. در فرآیند مکان‌یابی، بهتر آن است که از میان همه معیارها، معیارهای خاص هر نوع فعالیت را مشخص و با توجه به درجه اهمیت آن‌ها از نظر فعالیت موردنظر، آن‌ها را ارزش‌گذاری یا وزن‌دهی کرد (Molenaar, 1998).

معیارهای معرفی‌شده در این فصل معیارهای عمومی مکان‌یابی زیرساخت‌ها هستند و در حالت کلی بیان‌شده‌اند. با توجه به مفروضات مسئله و نیازمندی‌های خاص هر طرح و از همه مهم‌تر با توجه به اهداف و سیاست‌هایی که مدیران طرح دارند، ممکن است عوامل دیگری نیز در انتخاب محل دخیل شوند و به‌عنوان شاخص در مکان‌یابی آن طرح مورد استفاده قرار گیرند. به‌عنوان مثال، هنگام احداث طرحی که نیاز به اسکله دارد، هزینه ساخت موج‌شکن (دسترسی به موج‌شکن) به‌عنوان معیار خاص در مکان‌یابی این طرح مطرح می‌شود.

۲-۲- دسته‌بندی معیارها و عوامل مؤثر

اصولاً برای به دست آوردن وضعیت یک سیستم، همواره نیاز به سنجش آن سیستم با یک‌سری ایده‌آل‌ها و یا یک‌سری حداقل‌ها وجود دارد. در مبحث مکان‌یابی براساس

تحلیل کاربری زمین، همواره معیارها و شاخص‌هایی برای مقایسه و تعیین وضعیت مورد توجه هستند:

- شاخص‌های مرتبط با هزینه‌ها: این شاخص‌ها هزینه‌های حمل‌ونقل، توزیع نیروی کار، مکان عرضه منابع، انگیزش یا سامانه‌های مالیاتی، نواحی بازار، توزیع فضایی بازار و شبکه توزیع را در برمی‌گیرند.
 - شاخص‌های ملی و منطقه‌ای: تسهیلات، دسترسی مالی در نواحی، عرضه انرژی، دسترسی به زمین کافی و... شاخص‌های ملی و منطقه‌ای را شامل می‌شوند.
 - شاخص‌های غیراقتصادی: خصوصیات سیاسی، اجتماعی، فرهنگی و شرایط و محدودیت‌های حقوقی و قانونی دربرگیرنده این شاخص‌ها هستند.
- در یک تقسیم‌بندی می‌توان معیارها و عوامل عمومی در مکان‌یابی زیرساخت‌ها را با تکیه بر معیارهای طرح کالبدی ملی ایران (سوادکوهی و همکاران، ۱۳۹۰) و مطالعات موردی مختلف در این زمینه به صورت عمومی در چهار دسته اصلی زیر دسته‌بندی نمود.

- معیارهای طبیعی و زیست‌محیطی
- معیارهای زیرساختی و اقتصادی
- معیارهای امنیتی و پدافند غیرعامل
- معیارهای کالبدی و فضایی

در روش‌شناسی مدیریت، از نظر تئوری می‌توان دو رویه را نام برد: الف) برمبنای هدف و نتیجه، ب) مدیریت بدون آینده‌نگری و برمبنای واکنش‌های آنی. بدیهی است ضرورت شناخت و دسته‌بندی شاخص‌های مهم و تأثیرگذار بر هدف ما الزامی بوده که بنا به اهمیت آن بایستی موردبررسی و پژوهش قرار گیرد. در ادامه بعضی از مهم‌ترین معیارها و زیرمعیارهای مکان‌یابی را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

۲-۳- عوامل طبیعی و زیست‌محیطی

• جنس خاک

یکی از عوامل طبیعی مهم، جنس زمین (خاک) می‌باشد که در ساخت‌وسازها و ترده‌ها عاملی بسیار تعیین‌کننده است. ضخامت لایه‌های زمین متفاوت می‌باشد، به‌نحوی که در برخی از جلگه‌های آبرفتی، ضخامت لایه‌ها به چند متر و در شیب‌های تند کوه‌ها به چند سانتیمتر می‌رسد. نوع و طبقه‌بندی گوناگون جنس خاک اعم از شن، ماسه، رسوبات دانه‌ریز و رس به ترتیب اندازه می‌باشد و معمولاً به‌صورت ترکیبی (ریگ‌های رسوبی، رسی، ماسه‌ای و...) بوده و هریک با خصوصیات متمایز، از جمله بافت، تراکم، تخلخل، مقاومت، شرایط احداث بنا را تحت تأثیر قرار می‌دهند. جدول زیر بیانگر خصوصیات گزینشی خاک است.

جدول (۲-۱) خصوصیات گزینشی خاک

نوع خاک میزان رطوبت	شن	ماسه	سیلت	رس
خشک	جامد پایدار	باز غیر پایدار	متراکم غباری	سخت غباری
مرطوب	جامد پایدار	متراکم پایدار	اسفنجی لغزنده که به‌سرعت خشک می‌شود	چسبناک لغزنده که به‌آرامی خشک می‌شود
منجمد	بی‌تأثیر	بی‌تأثیر	برآمدگی	برآمدگی

• شیب زمین

شیب زمین با درصد بالا باعث افزایش هزینه‌های شهرسازی شده و از طرف دیگر، شیب نزدیک به صفر از نظر دفع فاضلاب مشکل‌آفرین است (عزیزپور، ۱۳۷۵). زمین‌لغزش‌هایی که بر اثر زلزله ایجاد می‌شوند، برای سازه‌های واقع در شیب‌ها و

محدوده آن‌ها بسیار خطرناک می‌باشند. اگر زمین‌لغزش در خاک زیر پی اتفاق بیافتد، به‌طور مستقیم باعث ایجاد خرابی در سازه می‌شود. از سوی دیگر، اگر زمین‌لغزش در مجاورت یک ساخت‌گاه اتفاق بیافتد، آوار ناشی از آن می‌تواند منجر به خرابی یا از بین رفتن کارایی سازه شود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۸). معمولاً حداکثر شیب زمین مناسب در علم شهرسازی به‌گونه‌ای که در شرایط بحرانی کم‌ترین آسیب بر سازه‌ها وارد شود، ۹ درصد در نظر گرفته می‌شود. باین‌حال در شرایط مختلف، بسته به جنس خاک، ارتفاع و سایر مشخصه‌های مورفولوژی تا شیب ۱۲ درصد هم بعضی از کاربری‌های شهری قابل اجرا هستند.

• دما

دما از فاکتورهایی است که مستقیماً با نیروی انسانی در ارتباط بوده و افزایش یا کاهش شدید دما، فعالیت‌های انسانی را متأثر می‌سازد. دمای بالا باعث گرمزدگی و سرگیجه و عدم کارایی کارکنان می‌شود. کاهش شدید دما نیز باعث یخ‌زدگی و ازکارافتادن افراد و تجهیزات خواهد شد؛ علاوه اینکه نوسان دما بر روی سایر فاکتورهای اقلیمی و هوای منطقه عملیاتی تأثیرگذار است (معرفی، ۱۳۸۵).

• قرار نگرفتن در حریم گسل‌ها (خطر زلزله)

ایران از جمله کشورهای زلزله‌خیز جهان است و بیش از ۹۰ درصد مناطق آن روی نوار زلزله واقع شده‌اند. زلزله یکی از خطرات بزرگ در شهرها، به‌ویژه در ایران است که سبب تخریب‌های وسیع و بروز فاجعه‌های بزرگ انسانی می‌گردند. رعایت استانداردهای پهنه‌بندی زلزله پیرامون گسل‌ها و همچنین به‌کارگیری ضوابط و مقررات ساختمانی از میزان این خطر می‌کاهد؛ اما باین‌حال، زلزله نیز مانند حملات هوایی در زمان جنگ، گذشته از نیروی تخریبی آن با خطر آتش‌سوزی، انفجار مواد سوختی، قطع لوله‌های گاز و کابل‌های برق همراه است.

برای پیشگیری از میزان تخریب در شهرها، هنگام وقوع زلزله، افزون بر ضوابط خاص ایمنی فنی و مقررات ساختمانی، باید ضوابط مکان‌یابی فعالیت‌ها و استقرار عملکردهای شهری نیز رعایت شود و از قرارگیری کاربری‌های ناسازگار، مزاحم و یا خطرناک در مجاور یکدیگر جلوگیری به عمل آید.

حرکت‌های دامنه‌ای و بخصوص زمین‌لغزش در زمره پرخفرتترین و زیان‌بارترین خطرات بشمار می‌آیند که همگام با افزایش توان تأثیرگذاری و تغییر بشر در سامانه‌های طبیعی در دهه اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است. زمین‌لغزش به‌عنوان یکی از انواع حرکت‌های توده‌ای شامل حرکت تند یا کند مواد سنگی، خاکی یا مجموع هر دو روی دامنه به سمت پایین تحت تأثیر نیروی جاذبه است؛ لذا به‌صورت کلی باید توجه داشت که در صورت عدم رعایت فاصله مناسب از گسل‌ها، هنگام بروز زمین‌لرزه امکان ریزش و سقوط سنگ می‌تواند آسیب‌های جدی به کارکنان نظامی وارد کند (شادفر و یمانی، ۱۳۸۷). رعایت فاصله از گسل می‌تواند آسیب‌پذیری احتمالی ناشی از وقوع زمین‌لرزه در منطقه را کاهش داده و به دنبال آن، زمینه و فرصت واکنش در شرایط بحرانی را افزایش دهد. این فاصله با عنوان حریم درجه یک ۲۰۰ متر و حریم درجه دو ۱۵۰ متر در طرح تفصیلی منطقه یک شهر تهران بیان شده است که در مجموع حریم فاصله از گسل ۳۵۰ متر است (اداره کل راه و شهرداری استان تهران، ۱۳۸۶). با توجه به حریم ممنوعه ایجاد ابنیه در اطراف گسل، در این معیار تابع رعایت فاصله تا میزان ۳۵۰ متر ترسیم شده است و نحوه سنجش معیار، میزان دوری از گسل‌ها است. با دور شدن از گسل، ارزش موقعیتی و استاندارد ساخت سازه‌های قرارگرفته بیشتر خواهد گردید.

• فاصله از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی

منابع آب به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین عناصر حیات، امروزه کشور را بحرانی جدی روبرو نموده است. رشد جمعیت و افزایش سرانه مصرف از یک‌سو و توسعه روزافزون فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی از سوی دیگر موجب گردیده است تا این منبع حیاتی

به‌طور فزاینده‌ای مورد تهدید قرار گیرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد، علاوه بر کاهش سرانه آب در ایران مسأله اساسی دیگر پراکنش نامتوازن نزولات جوی و به‌تبع آن توزیع نامتناسب منابع آب در مناطق مختلف جغرافیایی ایران است. ایران با متوسط نزولات جوی ۲۶۰ میلی متر در سال، از کشورهای خشک جهان و دارای منابع آب محدود به‌شمار می‌رود. عواملی همچون رشد جمعیت، نیاز به غذای بیشتر، ضرورت ارتقای سطح بهداشت و رفاه اجتماعی، توسعه صنعتی و حفاظت اکوسیستم‌ها، تقاضای آب را روز به روز بیشتر می‌کند. برداشت بیش از حد مجاز، پیشروی آب‌های شور، دفع غیرصحیح فاضلاب‌های خانگی و پساب‌های صنعتی، بالا بودن هزینه‌های تامین آب جدید با رقابت شدید بین گروه‌های مصرف‌کننده آب به دلیل کم بودن منابع آبی، استفاده ناکارآمد از آب، اتلاف زیاد آب در بخش کشاورزی و در بخش شهری و مکانیزم‌های قیمت‌گذاری ناکارآمد از جمله مشکلات آبی کشور است که این مدیریت را پیچیده کرده است. توزیع نامتناسب آب در کشور نیز از جمله دیگر عوامل کمبود منابع آب در ایران به شمار می‌آید.

اصولاً زیرساخت‌های کشور، به مقدار زیادی آب نیاز دارند که باید از منابع آب سطحی و زیرزمینی تأمین شود. برطرف کردن این نیاز در مناطق خشک، بسیار دشوار است. آب آشامیدنی باید مطبوع (از نظر رنگ، بو و مزه) باشد. منابع آب سطحی و زیرسطحی مکمل یکدیگرند، چون در تمامی شرایط، هیچ‌یک به‌تنهایی کافی نیستند (Department of the Army, 1972). محل مدنظر صرف‌نظر از نوع کاربرد باید به‌گونه‌ای باشد که مسیل‌ها، رودخانه‌ها و آب‌های سطحی و کانال‌های فاضلاب در هنگام بارندگی شدید و طغیان آب و یا نشت به محیط اطراف در زمان معمول، نتوانند به آن آسیبی وارد نماید؛ همچنین سطح آب‌های زیرزمینی و تأثیر آن در پایداری ساختمان، قطع گاز، ترکیدگی لوله گاز، اتصال برق و آتش‌سوزی، قطع برق و تأثیر آن در هنگام بحران، روش محاسبه و اجرای صحیح بنا، خطر سقوط اجسام از ارتفاع، پدیده خمیری

زمین و واژگونی یا کج شدن بنا و مشابه آن نیز از موارد مهم مکان‌یابی زیرساخت‌ها به شمار می‌روند (سوادکوهی و همکاران، ۱۳۹۰).

بر اساس آیین‌نامه شرکت‌های آب منطقه‌ای، حریم رودخانه‌ها اعم از اینکه آب دائم یا فصلی داشته باشند، ۱ تا ۲۰ متر است که حسب مورد با توجه به وضع رودخانه یا نهر طبیعی یا مسیل از هر طرف بستر به‌وسیله وزارت نیرو تعیین می‌گردد. لذا برای این معیار، بهتر است رعایت فاصله تا میزان ۲۰ متر در نظر گرفته شود. از سوی دیگر، به‌منظور جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی و همچنین افزایش ضریب ایمنی و استحکام بنا در مقابل نشست زمین در اثر ریزش دیواره قنات‌ها و چاه‌های آب، حداقل فاصله مجاز برای استقرار واحدهای صنعتی، تولیدی و خدماتی از قنات و چاه آب شرب بر اساس تصویب هیئت وزیران، ۲۵۰ متر تعیین شده است (شاعری و رحمتی، ۱۳۹۱).

• میزان آلودگی محیط زیست

تمرکز شدید جمعیتی، اقتصادی، خدماتی و سیاسی- اداری در شهرهای بزرگ موجب تولید انبوه انواع پسماندها و زباله‌های خانگی، تجاری، صنعتی، بیمارستانی و ... و بروز انواع آلودگی‌های زیست محیطی (هوا، آب، محیط، صدا و ...) شده است که عدم کنترل آن‌ها باعث بروز مشکلات حادثی در شهرها خواهد شد.

بنزین مهمترین ماده مصرفی و آلاینده هوا در شهرهای بزرگ کشور است. سالیانه دست کم ۱۰ میلیون تن گاز کربنیک در تهران تولید می‌شود که آثار سوء این آلاینده‌گی بر سلامت ساکنان این شهر مشخص بوده و عامل مهمی در کاهش متوسط عمر شهروندان می‌باشد. سه عامل مهم آلودگی هوای عبارتند از: دود ناشی از کیفیت و میزان سوخت‌ها، موقعیت جغرافیایی و کمی بارندگی. در دهه اخیر گردوغبار نیز معضلی اساسی برای بخش عمده‌ای از کشور شده است.

امروزه برای بهبود فضاها، رعایت استانداردهای اجرایی بهداشت و محیط‌زیست نقش مهمی دارد. استانداردهای شهر سالم و مقررات مربوط به اثرات محیطی، هرگونه فعالیت

شهری را از نظر حفظ محیط زیست، حراست از آسایش اجتماعی و حفاظت از میراث فرهنگی مورد ارزیابی قرار می دهد. بدین ترتیب با اعمال ضوابط محیطی و بهداشتی، عوامل مزاحم صنعتی و هر نوع عملکرد تولیدی یا خدماتی و حتی احداث فرودگاه ها به طور عملی تحت کنترل درمی آید و این استانداردها روز به روز اهمیت بیشتری می یابد، به طوریکه معیارهای پاکیزگی و کنترل محیط، از عوامل اصلی و تعیین کننده در هر طرح استفاده از زمین به شمار می روند.

• سیل خیز نبودن منطقه

یکی دیگر از عوامل ناپایداری طبیعی زیرساخت، سیل خیزی آن است. عوامل طبیعی نظیر شیب زیاد، توپوگرافی خاص منطقه، بالا بودن ضریب جریان به علت عدم پوشش گیاهی مناسب و شدت بارش از یک سو و عوامل مصنوعی نظیر تجاوز به حریم رودخانه ها، بسته شدن دهانه پل ها، ساخت منازل و تأسیسات بر روی رودخانه ها از سوی دیگر، باعث کاهش نفوذپذیری خاک و سیلابی بودن بعضی از بستر رودخانه ها شده و بر شدت پتانسیل سیل خیزی منطقه می افزاید.

۲-۴- معیارهای زیرساختی و اقتصادی

در استانداردهای مکان یابی، دو عامل فاصله و زمان، واحدهای اندازه گیری میزان آسایش و راحتی هستند. مقولاتی مانند فاصله نزدیک یا فاصله راحت برای زندگی، فواصل پیاده، قابلیت دسترسی به خطوط حمل و نقل و تأسیسات و تسهیلات شهری، معمولاً مفهوم راحتی و آسایش دارند. سهولت دسترسی به تسهیلات و خدمات شهری مورد نیاز کاربری های مختلف و دوری از مزاحمت های برخی کاربری های پرازدحام از عوامل آسایش محسوب می شوند. با این وجود لازم است حرائم تعریف شده برای زیرساخت ها را به دلیل افزایش سطح ایمنی و همچنین ملاحظات اقتصادی را به دلیل کاهش هزینه ها در نظر گرفته شوند.

• فاصله از منابع انرژی (برق و سوخت)

رشد روزافزون اقتصادی کشورهای در حال توسعه، افزایش جمعیت، رفاه و توسعه، تقاضا برای صنعت حمل‌ونقل همه و همه خبر از افزایش نیاز بشر به منابع انرژی می‌دهند. مبحث انرژی یکی از مهم‌ترین موضوعات هر کشور و هر دولتی در جهان است. برای دستیابی به یک توسعه پایدار شهری دسترسی به منابع انرژی پایدار نقش بسزایی در پیشبرد اهداف هر ملت و دولتی دارد. دسترسی به منابع انرژی نقشی تاثیرگذار در مکان‌یابی مطلوب زیرساخت‌های کشور دارد.

مطابق با ضوابط مربوطه (شرکت ملی گاز ایران، ۱۳۸۳) در خصوص خطوط انتقال و توزیع برق ۶۳، ۱۳۲ و ۲۳۰ کیلو ولت، حریم ممنوعه جهت ایجاد ابنیه در اطراف خطوط برق فشار قوی، ۵۷ متر است. همچنین بر اساس مقررات جدید شرکت ملی گاز ایران (شرکت ملی گاز ایران، ۱۳۸۳)، حریم خطوط لوله انتقال گاز در مجاورت ابنیه و تأسیسات در نظر گرفتن جدول نوع ساختمانی «د» با ضریب طراحی ۴ (مخصوص داخل شهرها)، ۳۰ متر است. لازم به توضیح است که بر اساس قانون، حریم اختصاصی خطوط لوله نفت حدود ۱۵ متر و حاشیه ایمنی آن در برخی نقاط تا ۲۰۰ متر در نظر گرفته شده است. با توجه به وجود خط لوله انتقال نفت و انبار نفت در محدوده شرقی منطقه یک، حریم ایمنی مربوطه جهت ایجاد ابنیه در اطراف آن، در این معیار تابع رعایت فاصله تا میزان ۲۰۰ متر در نظر گرفته شده است.

• فاصله از مراکز دارای عملکرد پشتیبانی

عملکردهای پشتیبانی در زمان بحران، کاربری‌هایی هستند که به دلیل ماهیت غیرراهبردی خود تا حد زیادی در امان خواهند بود و مورد حمله و اصابت مستقیم قرار نمی‌گیرند. از جمله کاربری‌های شهری با عملکرد پشتیبانی می‌توان به مراکز امدادی، مراکز درمانی، مراکز و اماکن آموزشی، مراکز و اماکن ورزشی، فرهنگی و گردشگری اشاره نمود.

- فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی: استانداردهای جهانی شعاع عمل ۵ کیلومتر را برای ایستگاه‌های آتش‌نشانی پیش‌بینی می‌کنند. از طرف دیگر زمان رسیدن به مکان آتش‌سوزی را ۳ الی ۵ دقیقه در نظر گرفته‌اند. برای دستیابی به استاندارد ۳-۵ دقیقه باید محدوده حوزه استحفاظی ایستگاه‌ها را کاهش داد، در نتیجه با سرعت بین ۳۰-۴۰ کیلومتر در ساعت، خودروهای امدادی در هر دقیقه بین ۵۰۰ تا ۶۷۰ متر را طی می‌کنند که با احتساب هدر رفتن یک دقیقه برای رسیدن پیام آتش‌سوزی به ایستگاه و خروج ماشین‌ها از ایستگاه در ۴ دقیقه باقیمانده، نیروهای آتش‌نشانی فاصله‌ای به طول ۲ الی ۲/۷ کیلومتر را پوشش می‌دهند. مساحت چنین ناحیه‌ای بین ۱۲/۵ الی ۲۳ کیلومتر خواهد بود. با توجه به شعاع عملکردی ایستگاه‌های آتش‌نشانی (پیرمرادی، ۱۳۸۸)، در این معیار تابع فاصله تا مقدار ۴۰۰۰ متر در نظر گرفته شده است.
- مراکز درمانی: در مقیاس منطقه شهری، شعاع دسترسی به بیمارستان بایستی بین ۱ تا ۱/۵ کیلومتر باشد (حبیبی و مسائلی، ۱۳۷۸). با توجه به شعاع عملکردی فوق، در این معیار تابع فاصله تا مقدار ۲۰۰۰ متر در نظر گرفته شده است.
- مراکز آموزشی: بهترین فاصله مکانی جهت دسترسی از محل سکونت تا مدارس ابتدایی در مناطق شهری، بین ۴۰۰ تا ۸۰۰ متر تعریف شده است که این فاصله برای مدارس راهنمایی بین ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متر و برای دبیرستان بین ۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ متر می‌باشد (حبیبی و مسائلی، ۱۳۷۸).
- مراکز آموزش عالی: این مراکز نیز همانند مراکز آموزشی پایه‌ای از جمله مراکزی هستند که به دلیل داشتن امکاناتی نظیر سالن‌های جلسات، کلاس‌های آموزشی، تجهیزات و وسایل پشتیبانی، انبار مواد غذایی، آشپزخانه، سالن غذاخوری و... می‌توانند در رابطه با ارائه خدمات سکونتی نقش مؤثری ارائه نمایند. باین‌وجود در رابطه با موضوع این تحقیق، حداکثر فاصله از محل استقرار پناهگاه‌های شهری

به‌منظور استفاده از امکانات این مراکز تا ۳۰۰۰ متر نسبتاً مناسب در نظر گرفته شده است.

- مراکز و اماکن ورزشی: بر اساس مطالعات سازمان برنامه و بودجه در طرح موازین فنی ورزشگاه‌های کشور (فاضل‌نیا و همکاران، ۱۳۸۹)، شعاع دسترسی به مجموعه‌های خدماتی، به‌طور خاص برای فضاهای ورزشی کوچک ۵۰۰ متر، برای مراکز ورزشی متوسط ۱۰۰۰ متر و برای مراکز ورزشی بزرگ ۲۰۰۰ متر در نظر گرفته می‌شود.

- مراکز و اماکن فرهنگی: محله کالبد سکونت و اشتغال، ۷۰۰-۱۲۵۰ خانوار با دامنه نوسان شعاع دسترسی پیاده ۳۷۵-۳۰۰ متر (۵-۴ دقیقه) است که با عنصر شاخص فرهنگی مسجد و آموزشی دبستان تعریف می‌شود. ناحیه کالبد سکونت و اشتغال، ۵۰۰۰-۳۵۰۰ خانوار با دامنه نوسان شعاع دسترسی پیاده ۷۵۰-۶۵۰ متر است (حبیبی و مسائلی، ۱۳۷۸). با توجه به اینکه استقرار پناهگاه‌های شهری در مقیاسی بین محله و ناحیه شهری نمود پیدا خواهد کرد، معیار نزدیکی به مراکز فرهنگی در بازه‌ای بین ۴۰۰-۸۰۰ متر تعریف گردیده است.

- مراکز گردشگری و جهانگردی و پذیرایی: این مراکز به دلیل دارا بودن امکانات اقامتی، انبار مواد غذایی، فضاهای گردهمایی و... به‌عنوان مراکزی با قابلیت نقش پشتیبانی در زمان بحران را دارند. این مراکز دارای شعاع عملکرد منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای بوده و به همین دلیل جهت سنجش این معیار، تابع فاصله آن تا ۲۰۰۰ متر ترسیم گردیده است.

• دسترسی به شبکه حمل و نقل

وجود شبکه‌های راه‌آهن، بزرگراه‌ها، کانال‌ها و رودخانه‌های قابل کشتیرانی و نیز امکانات حمل‌ونقل هوایی گسترده در یک کشور، به‌طور قطع در دسترسی مؤثر زیرساخت‌ها به نقاط مختلف کشور، اهمیت بسزایی دارد. شبکه‌های ارتباطی همچنین موجب گسترش

مبادلات فرهنگی و همچنین افزایش مراودات اقتصادی و بازرگانی را می‌تواند فراهم نماید.

• فاصله از حریم معابر شهری

بر اساس تصویب‌نامه مربوط به حریم راه‌های کشور، در داخل شهر، بزرگراه‌های شهری و خیابان‌های اصلی دارای حریم ایمن ۵۵ متر می‌باشند که احداث ابنیه و تأسیسات غیروابسته در آن ممنوع می‌باشد (اداره کل راه و شهرداری استان تهران، ۱۳۸۶).

• فاصله از حریم ارتباطات (مخابرات)

بر اساس آیین‌نامه اجرایی قانون صیانت از حریم مسیرهای شبکه کابل فیبر نوری شبکه مادر مخابراتی کشور، حریم آن به میزان دو متر (یک متر از محور کابل به هر طرف) می‌باشد (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۰). جهت ایجاد ابنیه نیز در اطراف مسیر کابل‌های مخابراتی، حریم ۳ متری در نظر گرفته شده است.

• قیمت زمین

الگوی قیمت زمین شهری، یکی از مهم‌ترین عوامل اصلی و معیار اساسی تعیین مکان کاربری زمین است. هر نوع کاربری از لحاظ اقتصادی و سرمایه‌گذاری، برآیند قیمت زمین و هزینه‌های آماده‌سازی و مخارج که با روش تحلیل هزینه منفعت مشخص می‌شود.

۲-۵- معیارهای امنیتی و پدافند غیرعاملی

• فاصله از نواحی مرزی کشور (عمق سرزمینی)

مطابق تئوری واردن، مهمترین وظیفه در طرح‌ریزی یک جنگ، شناسایی مراکز ثقل کشور مورد تهاجم بوده و چنانچه این مراکز با دقت لازم شناسایی و مورد هدف قرار گیرند، کشور مورد تهاجم در روزهای اول جنگ، طعم شکست نظامی را چشیده و در کوتاه‌ترین مدت به خواسته‌های کشور مهاجم تن در داده و تسلیم خواهد شد. بدین جهت باید در مکان‌یابی زیرساخت‌ها، فاصله از نواحی مرزی مورد سنجش و ارزیابی قرار

گیرد تا اقدام عکس‌العمل سریع در زمان کافی برای شهر وجود داشته باشد و خسارات به حداقل ممکن تنزل پیدا کند.

• فاصله از مراکز حیاتی، حساس و مهم

اصولاً لازم است با فاصله‌ی ایمن از مراکز حیاتی، حساس و مهم جهت پایداری زیرساخت در مقابل آثار حملات دشمن در نظر گرفته شود؛ بنابراین قرارگیری در فاصله‌ای مناسب در محدوده‌هایی تحت عنوان «مناطق دارای ریسک بالا» از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در تحقیق انجام‌شده توسط اباذرلو (۱۳۹۰)، حداقل فاصله بدون آسیب ناشی از انفجار بمب با سرچنگی‌های مختلف ۲۰۰ متر تعیین شده است. رعایت حداقل ۵ کیلومتر با نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، کارخانه‌های بزرگ و حساس جهت مراکز نظامی الزامی می‌باشد (چوخاچی زاده مقدم، ۱۳۷۸). همچنین در شرایط مختلف رعایت حداقل ۲۰ کیلومتر فاصله از شهرهای بزرگ و ۵ کیلومتر از روستاها از اصول پایه‌ای برای مکان‌یابی محسوب می‌شود (چوخاچی زاده مقدم، ۱۳۸۲).

• فاصله از مکان‌های پرتراکم جمعیتی

اصولاً جهت افزایش سطح امنیت مردم، زیرساخت‌های حیاتی و حساس باید از مراکز جمعیتی دور باشند. در مناطق شهری، همواره مراکزی وجود دارند که محل تجمع ارادی و غیرارادی جمعیت کثیری از شهروندان شهر خواهند بود. پارک‌های عمومی، مراکز خرید، فروشگاه‌ها و بازارها، ورزشگاه‌های عمومی، مراکز گردشگری و سیاحتی، مراکز خدماتی و بسیاری از نقاط دیگر، مثال‌هایی از این نوع مراکز هستند که جذب‌کننده جمعیت شهری و منطقه‌ای و ناحیه‌ای می‌باشند.

اصولاً تجمع تأسیسات صنعتی در یک منطقه خاص، عملاً با سیاست دفاعی شهر مغایرت دارد، زیرا هنگام حمله نظامی به شهرها، تخریب مناطق صنعتی، فرودگاه‌ها و مراکز استراتژیک حمل‌ونقل و ارتباطات، از جمله هدف‌های نظامی دشمن به شمار می‌روند. بنابراین، هم‌جواری این عملکردها با مناطق مسکونی خطرناک بوده، باید از نواحی مسکونی فاصله داشته باشد.

• عدم قرارگیری در دید و تیر مستقیم دشمن

یکی از معیارهای مهم در مکان‌یابی زیرساخت‌ها عدم قرارگیری در دید و تیر مستقیم دشمن است که تابعی از چند پارامتر طبیعی است.

شیب: بر اساس ملاحظات اساسی استتار و اختفا، جهت شیب بی‌شک یکی از عوامل مهم پدافند غیرعامل محسوب می‌گردد. بدیهی است با استقرار زیرساخت‌ها در شیب‌هایی که جهت آن‌ها به سمت مواضع دشمن باشد احتمال شناسایی مستقیم توسط سامانه‌های شناسایی زمینی دشمن و متعاقباً میزان آسیب‌پذیری آن‌ها بسیار بالا خواهد بود.

- توپوگرافی: یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مکان‌یابی زیرساخت‌ها، توپوگرافی یا شکل ناهمواری‌های زمین است که بی‌شک نقش تعیین‌کننده‌ای برای اختفا در مقابل سامانه‌های شناسایی و نیز دوری از آتش تسلیحات مستقیم زن دارد (Globalsecurity, 1992). تنگه‌ها و دره‌ها موانع مہیمی به حساب می‌آیند، اما در مقایسه با مغاره‌ها و غارها که در اندازه‌های متعدد وجود دارند و برای مقاصد نظامی متعدد به کار می‌آیند، تعداد آن‌ها کمتر است. سلاح‌ها، تجهیزات امکاناتی که در زیر صخره‌ها در عمق زمین انبارشده‌اند، معمولاً در مقابل بمباران مستقیم سلاح‌های متعارف مصون هستند. همچنین در صورتی که نیروهای دشمن، در ارتفاعات مشرف باشند، نیروهای خودی در در معرض آتش مرگبار آنان قرار می‌گیرند (www.military.com). شیب‌های محدب (برآمده) و سایر نامنظمی سطحی معمولاً «نقاط کوری» (منطقه غیرقابل دید از نظر نظامی) را به وجود می‌آورند که موقعیت نیروهای خودی را از تیر مستقیم محافظت می‌کنند. این نقاط کور، کارایی مخابرات رادیویی با فرکانس بالا را که بستگی به خط دید دارند، کاهش می‌دهد.

- پوشش گیاهی: خصوصیات پوشش گیاهی از قبیل میزان، تراکم، ارتفاع و پراکنش آن‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار است. اصولاً پوشش گیاهی نقشی تعیین‌کننده در استتار و اختفا نیروها و تجهیزات ایفا می‌کند. با توجه به اینکه پوشش گیاهی بستگی به

نوع، ارتفاع و تراکم آن‌ها و مأموریت تعریف‌شده به‌ویژه برای یگان‌های نظامی متفاوت بوده، باید مطالعات جامع در این زمینه انجام شود. به‌عنوان مثال، مناطق جنگلی به دلیل رطوبت و دمای زیاد و تراکم بالا، جریان باد در آن به‌شدت کاهش می‌یابد که در این صورت اگر دشمن از سلاح شیمیایی استفاده نماید، آسیب جدی به نیروها وارد می‌شود (Collin, 1988).

• فاصله از فرودگاه‌ها و مسیرهای هوایی

فرودگاه‌ها ازجمله اهداف بسیار مهم موردنظر دشمن می‌باشند که همواره در معرض پایش و مراقبت سامانه‌های شناسایی هوایی و ماهواره‌ای قرار دارند. ازاین‌رو، لازم است مکان زیرساخت تا حد ممکن از فرودگاه‌ها دور باشد. همچنین، راه‌های هوایی مسیرهای تعیین شده در هر کشور می‌باشند که مسیر پرواز هواپیما بوده و باید فاصله زیرساخت با آن‌ها حفظ شود. رعایت حداقل ۱۰ کیلومتر فاصله از پایگاه‌های هوایی، مراکز آموزشی و پشتیبانی نیروهای مسلح لازم می‌باشد (چوخاچی زاده مقدم، ۱۳۷۸).

• فاصله از پناهگاه‌ها

به‌منظور دفاع از حریم هوایی کشور، سامانه پدافند هوایی کشور دائماً آسمان مرزهای کشور و حتی بیرون از مرزها را جهت شناسایی و کشف اجسام پرنده نظیر هواپیماها و موشک‌های احتمالی رصد نموده و در صورت تأیید تهدید نسبت به اعلام هشدار سریع خطر حمله هوایی اقدام می‌نماید. با این توضیح در صورت اعلام‌خطر توسط سامانه مذکور، نیاز به تخلیه جمعیت پویا از محل‌های شلوغ و محل‌های عبورومرور (کوچه‌ها و خیابان‌ها) به سمت پناهگاه‌های عمومی شهری می‌باشد که مدت‌زمان نیاز برای انجام این کار با در نظر گرفته بدبینانه‌ترین حالت در نظر گرفته‌شده سناریوی حمله، ۶ دقیقه^۱ می‌باشد. با وقوع حمله هوایی، به دلیل هرج‌ومرج زیاد، ایجاد ترافیک سنگین، امکان استفاده از وسایل نقلیه بسیار کاهش‌یافته و بهترین راه برای تخلیه، دویدن می‌باشد که

۱. با احتساب زمان مورد نیاز اعلام هشدار سریع

با استفاده از معادله ذیل، می‌توان حداکثر فاصله طی شده جهت دسترسی به ایستگاه را محاسبه و به دست آورد (روستایی حسین‌آبادی، ۱۳۹۲):

$$MDFE = (T_M - T_W) V_W \cos(\alpha) \quad (1-2)$$

در این رابطه، $MDFE^1$ بیانگر حداکثر فاصله تخلیه به‌منظور پناهگاه، T_M زمان رسیدن موشک به هدف (برحسب دقیقه)، T_W زمان موردنیاز جهت اعلام هشدار سریع (متوسط دو دقیقه)، V_W سرعت متوسط دویدن (۸ کیلومتر بر ساعت = ۱۳۳ متر بر دقیقه) و α زاویه شیب زمین است.

برای محاسبه V_W فرض می‌کنیم سرعت پیاده‌روی انسان را ۱/۵ متر بر ثانیه در نظر می‌گیریم، یعنی فرد در یک دقیقه ۹۰ متر را می‌تواند طی نماید. همچنین سرعت متوسط دویدن انسان را بین ۸ تا ۱۳ کیلومتر بر ساعت (۱۳۳ تا ۲۱۷ متر در دقیقه) در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه جمعیت پویا خارج از محل سکونت و یا کار مستقر در خیابان از ترکیب سنی مختلف و با آمادگی‌های مختلف جسمی و حرکتی تشکیل می‌گردد، برای به دست آوردن V_W ، حداقل سرعت دویدن را می‌توان در نظر گرفت که در حدود ۱۳۳ متر بر دقیقه خواهد گردید. لازم به ذکر است که در زمان بحران با افزایش میزان ترشح آدرنالین خون، انرژی خارج شده هر فرد جهت افزایش سرعت و طی مسافت بیشتر نیز افزایش چشمگیری خواهد داشت (روستایی حسین‌آبادی، ۱۳۹۲). با استفاده از معادله فوق و جایگزین نمودن اطلاعات برای حداقل زمان رسیدن موشک به هدف، حداکثر فاصله برای دستیابی به ایستگاه مترو ۵۳۲ متر خواهد بود.

• فاصله از مراکز صنعتی خطرساز

اصولاً باید تاحد امکان از مراکز صنعتی خطرناک همچون نیروگاه‌های هسته‌ای، پالایشگاه‌ها و صنایع پتروشیمی فاصله در نظر گرفته شود؛ چراکه یکی از اهداف دشمن در زمان جنگ این گونه مکان‌ها می‌باشند. این مکان‌ها پتانسیل ایجاد مشکل گسترده و

1. MDEF (Maximum Distance For Evacuation)

غیرقابل کنترل در موارد بحران را دارا می‌باشند. همچنین دوری از این مکان‌ها برای دستیابی به محیطی مطلوب تر و عاری از هوای آلوده نیز کمک به‌سزایی می‌کند. مراکز صنعتی و تولیدی از جمله مراکزی هستند که سازمان‌های مختلفی مانند حفاظت محیط‌زیست (جهت حفظ زیستگاه‌های انسانی) وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی کشور (جهت حفظ سلامتی روحی و جسمی) و سایر سازمان‌های ذی‌ربط، آیین‌نامه‌ها، مقررات و دستورالعمل‌های مختلفی را برای استقرار و فعالیت آن‌ها، وضع و به اجرا گذاشته‌اند. همچنین مراکزی همچون جایگاه‌های عرضه سوخت گاز و بنزین و مراکز تصفیه آب، نیز بر اساس دستورالعمل‌های ایمنی دارای حریم معینی از ابنیه و تأسیسات مجاور خود می‌باشند. با عنایت به اینکه ایستگاه، یکی از کاربری‌هایی است که به‌صورت چندمنظوره در شهرها و آن‌هم برای زیست شهروندان در زمان بحران جنگ‌ها مکان‌گزینی و استقرار می‌یابد، از این‌رو بایستی در فاصله‌ای مناسب و ایمن از مراکز صنعتی و تولیدی محصولات خطرناک قرار گرفته و احداث گردد. لازم به ذکر است که در سناریوی حمله احتمالی دشمن، در وهله اول، حمله‌ای به جایگاه‌های عرضه سوخت بنزین و گاز و مراکز صنعتی غیرنظامی شهری، صورت نخواهد پذیرفت، با این‌وجود دور بودن از این‌گونه مراکز با عنوان حریم ایمنی در نظر گرفته شده است که در صورت حمله دشمن، نیز مقصود نهایی را برآورده خواهد ساخت.

• سرعت و جهت بادهای غالب

بررسی سرعت و شدت بادهای غالب منطقه و شناخت و سرعت آن در ایجاد زیرساخت کمک قابل‌توجهی در پدافند شیمیایی خواهد نمود (حاذق نیکرو، ۱۳۸۳).

• فاصله از مناطق آسیب‌پذیر (بافت‌های فرسوده)

بافت‌های فرسوده که از آن به‌عنوان نقاط آسیب‌پذیر شهری در بحران‌ها یاد می‌شود، در زمان وقوع بحران به دلیل ماهیت قدیمی خود و نداشتن پناهگاه‌های اختصاصی، دارای آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به سایر بافت‌های دیگر بوده و در نتیجه میزان تلفات انسانی و خسارات مالی و ساختمانی بیشتری در آن متصور خواهد بود.

• فاصله حفاظتی از آثار حملات

ازجمله عوامل مهمی که در خصوص فضاها اهمیت زیادی دارد، درجه حفاظت موردنیاز است. نظر به تفاوت در اهمیت و آسیب‌پذیری هر عنصر فضایی، درجه حفاظت لازم نیز متفاوت خواهد بود. اصولاً درجه حفاظت، با توجه به حد مجاز آسیب‌پذیری سطوح و عناصر مختلف تعیین می‌گردد. به‌نحوی که به‌عنوان مثال، درجه حفاظت لازم برای افراد و تجهیزات حیاتی، حفاظت کامل است، درحالی که درجه حفاظت لازم برای سایر موارد می‌تواند به میزان زیادی متغیر باشد. سطح حفاظت در برابر انفجار متعارف در اماکن جمعی بر سه گروه است:

- حفاظت افراد (در برابر ترکش‌ها؛ اعم از اولیه و ثانویه، آوارها و امواج کوبشی یا حرارتی)
- حفاظت تجهیزات و عناصر حساس در محیط (مثل حفاظت موتورهای برق اضطراری، مخازن آب و سوخت)
- جلوگیری از بروز انفجارهای زنجیره‌ای یا گسترش دامنه آسیب‌ها (انفجار خطوط گاز و مخازن سوخت)

به‌منظور تأمین حفاظت گروه‌های یادشده، تأمین بالاترین سطح حفاظت لازم است. ولی هر جا که اثرات انفجار موجب گسترش آسیب‌ها به سطوح پیرامونی نشده و احتمال لطمات جانی کمتری باشد، سطح حفاظت موردنیاز می‌تواند با سخت‌گیری کمتری همراه گردد. جدول (۲-۲) مسافت‌های ایجاد خطر را برحسب وزن بمب ارائه می‌نماید.

جدول (۲-۲) محدوده ایجاد خطر برای افراد و تجهیزات ناشی از انفجار بمب

وزن بمب (پوند)	محدوده ایجاد خطر برای افراد		محدوده ایجاد خطر برای تجهیزات	
	مساحت (مترمربع)	شعاع (متر)	مساحت (مترمربع)	شعاع (متر)
۲۵۰	۲۰۰۰	۲۵	۳۴۰	۱۰
۵۰۰	۳۰۰۰	۳۱	۵۰۰	۱۳
۱۰۰۰	۶۰۰۰	۴۴	۸۵۰	۱۶
۲۰۰۰	۷۰۰۰	۱۵۰	۱۲۵۰	۲۰

شعاع خطر ناشی از انفجار بمب با سرچنگی‌های مختلف و فاصله بدون آسیب را به شرح جدول ذیل محاسبه شده است (اباذرلو، ۱۳۹۰).

جدول (۲-۴) شعاع خطر ناشی از انفجار بمب با سرچنگی‌های مختلف و فاصله بدون آسیب (اباذرلو، ۱۳۹۰)

میزان آسیب به انسان	شعاع خطر بمب با سرچنگی ۲۱۰۰ پوند	شعاع خطر بمب با سرچنگی ۴۲۰۰ پوند
مرگ	۰ الی ۱۲۵ متر	۰ الی ۱۵۲ متر
محدوده دارای آسیب	۱۲۵ الی ۲۷۵ متر	۱۵۲ الی ۳۰۰ متر
بدون آسیب	۲۷۵ متر به بالا	۳۶۵ متر به بالا

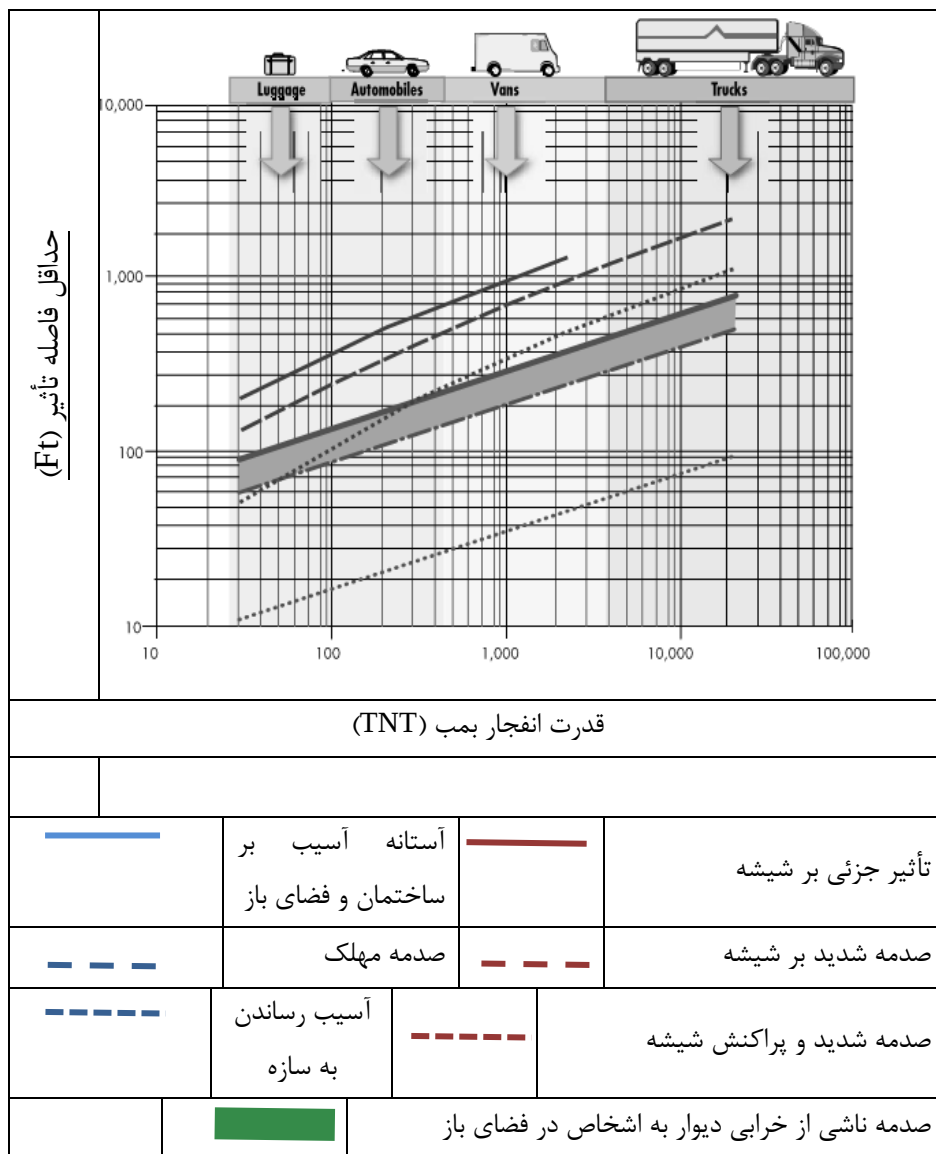
وقتی امواج انفجار (بلست^۱) بر جسم نرمی مثل بدن انسان برسد، بافت‌های بدن انسان تحت تراکم و انبساط سریع قرار می‌گیرد. این موضوع به خاطر انعکاس و شکست موج تنش در محل تغییر چگالی‌ها است. سطوح با دانسیته‌های مختلف در استخوان‌ها و ماهیچه‌ها، یا بین بافت‌ها و فضاهای خالی وجود دارد. شش‌ها و معده و روده، ترکیب نواحی بافت و فضای خالی هستند. آسیب منتج در بافت‌ها سبب خونریزی داخلی یا توسعه گرفتگی رگ‌ها می‌شود که هرکدام می‌تواند منجر به مرگ شود؛ به‌علاوه پارگی یا آسیب پرده گوش می‌تواند سبب آسیب کلی یا جزئی شنوایی شود که یک جراحت معمول در اثر بار امواج انفجار است. در جدول زیر محدوده معمول احتمال جراحات‌های وارد بر بدن انسان برحسب میزان ماده منفجره و فاصله از محل انفجار داده شده است (اباذرلو، ۱۳۹۰).

1.Blast

جدول (۲-۵) محدوده معمول احتمال جراحتهای وارد بر بدن انسان در اثر موج انفجار

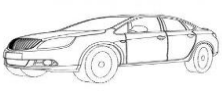
محدوده احتمال جراحت برحسب متر					صدمات و جراحتهای انسانی
وزن بمب برحسب پوند					
۴۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۲۰	۵۰	
۴۳	۲۷	۲۲	۱۶	۱۰	مرگ/ صدمات بسیار خطرناک
۵۳	۳۴	۲۷	۲۰	۱۲	آسیب به شش‌ها و پارگی پرده گوش
۸۷	۵۵	۴۴	۳۳	۲۰	آسیب‌های خطرناک (خونریزی داخلی، آسیب برخی از اندام‌ها)
۱۲۱	۷۶	۶۰	۴۶	۲۹	آسیب جزئی (پارگی، کوفتگی، عدم آسیب به اندام‌ها) و ناشنوایی موقت
۱۴۵	۹۱	۷۳	۵۵	۳۴	آسیب‌های ناشی از ریزش آوار (پارگی، کوفتگی)

بر اساس دادههای آژانس مدیریت بحران فدرال آمریکا، میزان تأثیر بمبها بر اشیاء باتوجه به محل استقرار برحسب نوع بمب مطابق شکل و میزان برونریزی انفجارها برحسب بمب مطابق جدول (۲-۶) می باشد (روستایی حسین آبادی، ۱۳۹۲).



شکل (۱-۲) میزان تأثیر بمب‌ها بر اشیاء با توجه به محل استقرار برحسب نوع بمب (FEMA ۴۳۰)

جدول (۶-۲) میزان برون‌ریزی انفجارها برحسب بمب (FEMA ۴۳۰)

حداکثر انفجار معادل TNT	شرح تهدید		میزان حجم مواد منفجره (معادل TNT)	فاصله برون‌ریزی ساختمان (m)	فاصله برون‌ریزی در فضای آزاد (m)
		بمب لوله‌ای	۵ پوند ۲/۳ کیلوگرم	۲۱	۲۵۹
		کمر بند انتحاری	۱۰ پوند ۴/۵ کیلوگرم	۲۷	۳۳۰
		جلیقه انفجاری	۲۰ پوند ۹ کیلوگرم	۳۴	۴۱۵
		بمب کیفی یا چمدانی	۵۰ پوند ۲۳ کیلوگرم	۴۶	۵۶۴
		خودرو سواری کوچک	۵۰۰ پوند ۲۲۷ کیلوگرم	۹۸	۴۵۷
		خودرو سواری	۱۰۰۰ پوند ۴۵۴ کیلوگرم	۱۲۲	۵۳۴
		خودرو ون مسافربر یا باری	۴۰۰۰ پوند ۱۸۱۴ کیلوگرم	۱۹۵	۸۳۸
		کامیونت / خودرو ون اتاق‌دار کوچک	۱۰۰۰۰ پوند- ۴۵۳۶ کیلوگرم	۲۶۳	۱۱۴۳

		کامیون آبپاش/ خودرو ون اتاق‌دار بزرگ	۳۰۰۰۰ پوند ۱۳۶۰۸ کیلوگرم	۳۷۵	۱۹۸۲
		کامیون کانتینری	۶۰۰۰۰ پوند ۲۷۲۱۶ کیلوگرم	۴۷۵	۲۱۳۴

۲-۶- معیارهای کالبدی و فضایی

• سازگاری کاربری

تحلیل کاربری زمین ما را در شناسایی بهترین الگوی مکانی ممکن برای کاربری آینده زمین یاری می‌کند. این الگو با توجه به نیازها و اولویت‌بندی‌های ملی منطقه‌ای مشخص می‌شوند. از کاربردهای این تحلیل می‌توان به رویکردهای زیست‌بوم شناختی اشاره کرد که برای پایداری زمین و پایداری اسکان برای انسان، حیوانات و نباتات به کار گرفته می‌شود. از دیگر کاربردهای این تحلیل می‌توان به کاربردهای زمین‌شناسی، پایداری زمین در فعالیتهای کشاورزی، برنامه‌ریزی‌های آبی و چشم‌انداز توسعه، ارزیابی آثار فعالیت انسانی بر روی محیط‌زیست، مکان‌یابی بهینه برای فعالیتهای بخش دولتی و بخش خصوصی و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای اشاره نمود (عظیمی حسینی و همکاران، ۱۳۹۳). طرح کاربری زمین شهری یکی از ابزارهای مهم برای دستیابی به اهداف کلان اجتماعی اقتصادی و کالبدی است که نه تنها اثراتی بسیار بر سرمایه‌گذاری و تصمیم‌های عمومی و خصوصی می‌گذارد، بلکه نقشی مهم در میزان رشد شهری و کیفیت محیط کالبدی شهر دارد (Malczewski, 2004).

گاهی نوعی از کاربری زمین از نظر اثرات محیطی یا اجتماعی مضر تشخیص داده می‌شود، درحالی‌که همان کاربری از نظر مزایای اقتصادی برای برخی شهروندان مفید به شمار می‌رود. برای نمونه اراضی کشاورزی پیرامون شهرها، از دیدگاه زیست‌محیطی و حفاظت طبیعی، برای شهر اهمیتی حیاتی دارند، درحالی‌که تبدیل همین زمین به

مجتمع مسکونی یا صنعتی برای مالکان آن و حتی برای برخی شهروندان منفعت‌های اقتصادی دارد. آگاهی از این تضاد منافع (تضاد منافع عمومی در مقابل مقتضیات عمومی و همچنین تضاد منافع اقتصادی در مقابل منافع طبیعی) ضرورت و اهمیت برنامه‌ریزی کاربری زمین را مشخص می‌سازد.

معیار مکانی در کاربری زمین، به‌طور کلی، استاندارد است که با آن مکان بهینه یک کاربری در مورد شهر مورد سنجش قرار می‌گیرد. معیارهای مکانی، هر نوع استفاده از زمین، انعکاس وضعیت اجتماعی، اقتصادی و کالبدی شهرها و همچنین مردمی است که در آینده از آن بهره‌مند خواهند شد. به‌عبارتی دیگر، مشخصات محلی و احتیاجات ساکنین شهر و مؤسسات و نهادهای مستقر در شهر، اساس تعیین معیارهای مکانی کاربری زمین شهری به شمار می‌رود.

در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان نظام کاربری زمین را به چهار عرصه سکونتی، اشتغال، اوقات فراغت و ارتباطات دسته‌بندی کرد. شبکه ارتباطی خطوط رابط و اتصال بین سه عملکرد دیگر است که با یکدیگر استخوان‌بندی فیزیکی یک شهر را تشکیل می‌دهند. در تعیین مشخصات مکانی هر نوع استفاده از زمین یا هر نوع فعالیت شهری، دو عامل هدایت‌کننده، یعنی عامل رفاه اجتماعی و عامل رفاه اقتصادی ملاک سنجش قرار می‌گیرند.

کاربری‌ها از نظر سازگاری^۱ ممکن است حالت‌های ذیل را داشته باشند:

الف) کاملاً با یکدیگر سازگارند: یعنی هر دو خصوصیات مشترکی دارند و فعالیت‌های آن‌ها نیز بر یکدیگر منطبق باشد، مانند دو مسکونی کم تراکم.

ب) نسبتاً سازگار: با این ترتیب هر دو کاربری از یک نوع بوده، اما در جزئیات اختلاف داشته مانند مسکونی کم تراکم با مسکونی تراکم متوسط.

ج) نسبتاً ناسازگار: یعنی اینکه میزان ناسازگاری بین این دو کاربری از سازگاری آن‌ها بیشتر باشند.

1. Compatibility

د) کاملاً ناسازگار: یعنی مشخصات دو کاربری هیچ‌گونه هم‌خوانی با یکدیگر نداشته و در تقابل با یکدیگر باشند؛ مانند کاربری مسکونی با کاربری صنعتی.

ه) بی‌تفاوت: یعنی دو نوع کاربری از جهت سازگاری نسبت به هم بی‌تفاوت باشند. در صورتی فعالیت‌ها می‌توانند کنار هم قرار بگیرند که، ۱) آثار سوء برهم نداشته باشند، ۲) خارج از حوزه نفوذ دیگری قرار گیرند. در این صورت کاربری‌های تخصیص‌یافته، سازگار محسوب می‌شوند.

سازگاری کاربری‌ها باهم تابع درجاتی است که میزان سازگاری و یا ناسازگاری را تعیین می‌کند. در این منطق کاربری‌ها دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند و بر اساس جدول سازگاری، امتیازدهی خواهند شد.

عمده‌ترین تلاش شهرسازی، مکان‌یابی برای کاربری‌های گوناگون در سطح شهر و جداسازی کاربری‌های ناسازگار از یکدیگر است. کاربری‌هایی که دود، بو، صدا و شلوغی تولید می‌کنند، باید از کاربری‌های دیگر، به‌ویژه کاربری‌های مسکونی، فرهنگی و اجتماعی جدا شوند. این جدایی مطلق نیست، بلکه در برخی مواقع می‌توان با تمهیداتی، اثرات سوء کاربری‌های مزاحم را محدود کرد. درمقابل، فعالیت‌هایی نیز مکمل یکدیگرند در کنار یکدیگر مستقر می‌شوند. کاربری‌های سرویس‌دهنده با ترتیب اولویت‌های هم‌جواری نیز مشخص می‌شوند. برای نمونه، در ضوابط مربوط به کاربری مسکونی، کاربری‌های سرویس‌دهنده، کاربری‌های بی‌کالبد (فضای باز، گذران اوقات فراغت و کاربری تفریحی مانند پارک)، بهداشتی و درمانی، آموزشی و تجاری به ترتیب اولویت هم‌جواری برخوردارند.

در اینجا لازم به توضیح است که استفاده از امتیاز واگذار شده از طرف دولت و مقامات محلی، انگیزه شخصی و سازمانی کارفرما، رعایت مقررات بین‌المللی، تقسیم کار بین‌المللی و هم‌سویی با برنامه‌های فرادست از جمله ملاحظات مهم سیاسی محسوب می‌گردند (نباتی، ۱۳۸۶). در این بین حساس بودن مکان از نظر سیاسی تا حدودی

بیشتر از زیرشاخه‌ها جلب توجه می‌نماید؛ چراکه در مکان‌یابی احداث زیرساخت‌ها می‌بایست از انتخاب مکانی که از نظر سیاسی حساسیت‌های خاصی دارد اجتناب نمود.

• مطابقت با طرح‌های توسعه شهری و منطقه‌ای

طرح‌های توسعه شهری و منطقه‌ای شامل الزامات و دستورالعمل‌هایی هستند که بسته به نوع هدف‌گذاری در مکان‌یابی، به‌عنوان معیارهایی اساسی وارد فرآیند مکان‌یابی می‌شوند. به‌طور کلی طرح‌های توسعه شهری و منطقه‌ای در نظام برنامه‌ریزی شهری ایران عبارتند از: طرح جامع سرزمین، طرح کالبدی ملی و منطقه‌ای، طرح توسعه و عمران (جامع) ناحیه‌ای، طرح مجموعه شهری، طرح سازمان‌دهی فضا و سکونتگاه‌های روستایی، طرح جامع شهر، طرح تفصیلی شهر، طرح هادی شهر، طرح بهسازی و نوسازی و بازسازی و مرمت بافت‌ها، طرح آماده‌سازی توسعه‌های جدید در شهرها، طرح هادی روستا، طرح شهرهای جدید، طرح شهرک‌های مسکونی، طرح جامع سرزمین.

طرح جامع سرزمین: این طرح بر اساس بند ۱ ماده ۱ قانون تغییر نام وزارت آبادانی و مسکن به وزارت مسکن و شهرسازی چنین تعریف شده است: طرح جامع سرزمین طرحی است که شامل استفاده از سرزمین در قالب هدف‌ها و خط‌مشی‌های ملی و اقتصادی از طریق بررسی امکانات و منابع و مراکز جمعیت شهری و روستایی کشور و حدود و توسعه و گسترش شهرها و شهرک‌های فعلی و آینده و قطب‌های صنعتی و کشاورزی و مراکز جهانگردی خدماتی بوده و در اجرای برنامه‌های عمرانی بخش‌های عمومی و خصوصی ایجاد نظم و هماهنگی می‌کند.

طرح کالبدی ملی و منطقه‌ای: طرح‌های کالبدی ملی و منطقه‌ای باهدف مکان‌یابی برای گسترش آینده شهرهای موجود و ایجاد شهرها و شهرک‌های جدید پیشنهاد شبکه شهری آینده کشور، یعنی اندازه شهر چگونگی استقرار آن‌ها در پهنه کشور و سلسه مراتب میان شهرها به‌منظور تسهیل و مدیریت سرزمین و امر خدمات‌رسانی به مردم و پیشنهاد چهارچوب مقررات ساخت‌وساز در کاربردهای مجاز زمین‌های سراسر کشور تهیه می‌شود.

طرح توسعه و عمران (جامع) ناحیه‌ای: این طرح به‌منظور تدوین سیاست‌ها و ارائه راهبردها در زمینه هدایت و کنترل توسعه و استقرار مطلوب مراکز فعالیت، مناطق حفاظتی و همچنین توزیع متناسب خدمات برای ساکنان شهرها و روستاها در یک یا چند شهرستان که از نظر ویژگی‌های طبیعی و جغرافیایی همگن بوده و از نظر اقتصادی، اجتماعی و کالبدی دارای ارتباطات فعال متقابل باشند تهیه می‌شود.

طرح جامع شهر^۱: طرح بلندمدتی (۱۱ ساله) که در آن نحوه استفاده از اراضی شهری و منطقه‌بندی در حوزه‌های مسکونی، آموزشی، صنعتی، بهداشتی، اداری و کشاورزی تعیین می‌گردد. به همراه این کاربری‌ها و منطقه‌بندی خطوط کلی ارتباطی، پایانه‌ها و فرودگاه‌ها و محلات نوسازی و به‌سازی و اولویت‌های مربوط به آن‌ها نیز با تصویب ضوابط و مقررات مربوط به حفظ بناها و مناظر شهری تهیه و تنظیم می‌گردد.

طرح جامع بیشتر در مورد شهرهای بزرگ و یا شهرهایی که بیش از ۲۵۰۰۰ نفر جمعیت دارند، به مرحله انجام درمی‌آید. طرح جامع شهری، بیشتر به‌منظور ترویج ضوابط شهرسازی، کنترل توسعه شهرها، گرایش به نظام برنامه‌ریزی و هماهنگ‌سازی بخش‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی، با توجه به کیفیت محیط‌زیست و بر اساس شناخت حوزه‌های نفوذ طبیعی، اجتماعی و اقتصادی شهرها تهیه می‌شود. مقیاس نقشه‌های شهری، در طرح‌های جامع شهری اغلب ۱/۱۰۰۰۰، ۱/۵۰۰۰، ۱/۲۵۰۰ است.

طرح تفصیلی شهر: طرحی است که بر اساس معیارها و ضوابط کلی طرح جامع شهر، نحوه استفاده از اراضی شهری در سطح محلات با موقعیت و مساحت دقیق زمین، میزان تراکم جمعیت و تراکم ساختمانی در واحدهای شهری و اولویت‌های مربوط به مناطق نوسازی، توسعه و حل مشکلات شهری و موقعیت کلیه عوامل مختلف شهری در آن تعیین می‌شود و نقشه‌ها و مشخصات مربوط به مالکیت بر اساس مدارک ثبتی تهیه و تنظیم می‌گردد. طرح تفصیلی متعاقب طرح جامع شهری و به‌منظور انجام برنامه‌های اجرایی تصویب‌شده‌ی این طرح صورت می‌پذیرد. طرح تفصیلی در حقیقت، تنظیم

1. Master Plan

برنامه‌های مفصل و انجام اقدامات جزءبه‌جزء در مناطق و محلات شهری و طراحی آن‌هاست. اندازه نقشه‌ها در طرح‌های تفصیلی معمولاً ۱/۵۰۰، ۱/۱۰۰۰ و ۱/۲۰۰۰ است. سازمان مسئول طرح‌های جامع و تفصیلی وزارت مسکن و شهرسازی است.

طرح هادی شهر^۱: طرحی است که در آن جهت گسترش آتی شهر و نحوه استفاده از زمین‌های شهری برای عملکردهای مختلف به‌منظور حل مشکلات حاد و فوری شهر و ارائه راه‌حل‌های کوتاه‌مدت و مناسب برای شهرهایی که دارای طرح جامع نمی‌باشند تهیه می‌شود. طرح هادی شهری بیشتر برای شهرهای کوچک و شهرهایی که تا حدود ۲۵۰۰۰ نفر جمعیت دارند، تهیه می‌شود. طرح هادی در حقیقت تعیین‌کننده اصول کلی توسعه شهرهاست. در این طرح بیشتر هدایت توسعه شهرها موردتوجه قرار دارد. از طرح هادی می‌توان به‌عنوان برنامه راهنمای توسعه شهر نام برد. این طرح، برنامه قبل از اجرای طرح جامع است. طرح هادی برای شهرهایی تهیه می‌گردد که یا فاقد بودجه طرح جامع می‌باشند و یا امکان اجرای طرح جامع در آن‌ها، فراهم نشده است.

• وسعت (سرانه فیزیکی)

یکی از پارامترهای خیلی مهم در مکان‌یابی، وسعت یا مساحت زمین موردنیاز است. استعداد نیرو و تجهیزات، مأموریت محوله، شرایط جغرافیایی منطقه و امکانات موردنیاز متغیر بوده و در مکان‌یابی می‌بایست توجه کافی به آن‌ها داشت، به‌طوری‌که فضاهای لازم با توجه به کاربری آن فضا مدنظر قرار داشته و از ابتدا برنامه‌ریزی به‌صورتی انجام بگیرد که برای جابجایی اماکن و نفرات در شرایط خاص دچار مشکل نشده و با برنامه‌ریزی قبلی بتوان نسبت به جابجایی‌ها اقدام و تغییر وضعیت داد (چوخاچی زاده مقدم، ۱۳۷۸).

• شکل فضایی

اصولاً به‌منظور کاهش هزینه‌ها و نیز تسریع فرایند حمل‌ونقل و افزایش امنیت محدوده فیزیکی، شکل‌های هندسی همگن مانند شکل‌های نزدیک به دایره جهت احداث مناسب می‌باشند.

• معماری منظر

معماری منظر مبین رابطه انسان با محیط اطراف و به‌طور خاص به نحوه ادراک طبیعت، ارزش‌گذاری و شیوه مداخله در آن می‌پردازد (اسد پور، ۱۳۹۱). بر اساس نظریه بازسازی تمرکز ذهنی که توسط «راشل» و «استفان کاپلان» مطرح شده است از محیط‌های طبیعی و مناظر چشم‌نواز که در مکان‌یابی محل‌های تجمع و استقرار نیروهای نظامی باید به آن‌ها توجه نمود، می‌توان برای کاهش فشار روانی و اضطراب افراد بهره جست و آن‌ها را از فرسودگی، خستگی و پراکندگی ذهنی نجات داد (اسدپور، ۱۳۹۱). طبق این نظریه نیازی نیست که یک شخص حضور فیزیکی در منظر داشته باشد تا خستگی ذهن او از بین برود، بلکه حتی نگاهی توأم با مکث به منظر، رهایی‌بخش ذهن بوده و انبساط خاطر ایجاد می‌کند. درواقع، عامل دلپذیری و مطلوبیت، یعنی کوشش در حفظ عوامل طبیعی، مناظر، گشودگی و ایجاد فضاهای باز و سبز، چگونگی شکل گرفتن راه‌ها، ساختمان‌ها و فضاهای شهری است. این عامل از نظر طراحی سیستم راه‌های ارتباطی نیز اهمیت خاصی دارد. شبکه راه‌های و جهت‌گیری آن‌ها می‌تواند طوری باشد که عابران پیاده و سواره بیشترین مناظر زیبا و فرح‌انگیز درون‌شهری و پیرامون شهر را ببینند و از آن لذت ببرند.

برای بهترین تأثیر نور خورشید، جهت‌گیری اماکن باید مناسب باشد، برای نمونه، اضلاع کوتاه‌تر سازه شکل باید به سمت شرق و غرب باشد و اضلاع جنوبی با بیشترین پنجره‌ها به سمت جنوب قرار بگیرد و ضلع شمال و غرب باید کمترین پنجره را داشته باشد (نیاکان، ۱۳۸۷).

شکل زمین می‌تواند مانعی برای باد و یا هدایت‌کننده آن باشد، هنگامی که یک ساختمان را در محلی قرار می‌دهیم، باید به این اصل توجه کنیم که هوای سرد به سمت پایین می‌رود و هوای گرم به سمت بالا حرکت می‌کند (نیاکان، ۱۳۸۷). در مناطق کوهستانی و تپه‌ها می‌توان از راهبردهای نظامی استفاده کرد؛ مانند اینکه یک نگهبان بر روی نوک تپه هم در معرض دید دیگران قرار دارد و هم در مواجهه با بادهای سرد، اما اگر او از بالاترین نقطه تپه به پایین حرکت کند تا جایی که بتواند مسیر زیادی را بدون اینکه دیده شود زیر نظر داشته باشد، به دامنه کوه رسیده است؛ بهترین مکان برای قرارگیری یک ساختمان نیز دامنه کوه است چون دید زیبای قله تپه‌ها را برای بقیه افراد استفاده‌کننده حفظ می‌کند، در عین اینکه خود نیز دیدهای بسیار زیبایی به محیط اطراف دارد و همچنین از وزش بادهای سرد نیز مصون است و بنابراین بهترین کارایی انرژی را نیز خواهد داشت (در ضمن می‌توانیم برای کاهش اتلاف انرژی دیوار شمالی را در سمت خاک قرار دهیم تا از اتلاف گرما در زمستان و نفوذ گرما در تابستان به ساختمان جلوگیری کند، البته با رعایت عایق‌کاری) (نیاکان، ۱۳۸۷).

فصل سوم

مفاهیم و روش‌های
تصمیم‌گیری چندمعیاره

۳-۱- مقدمه

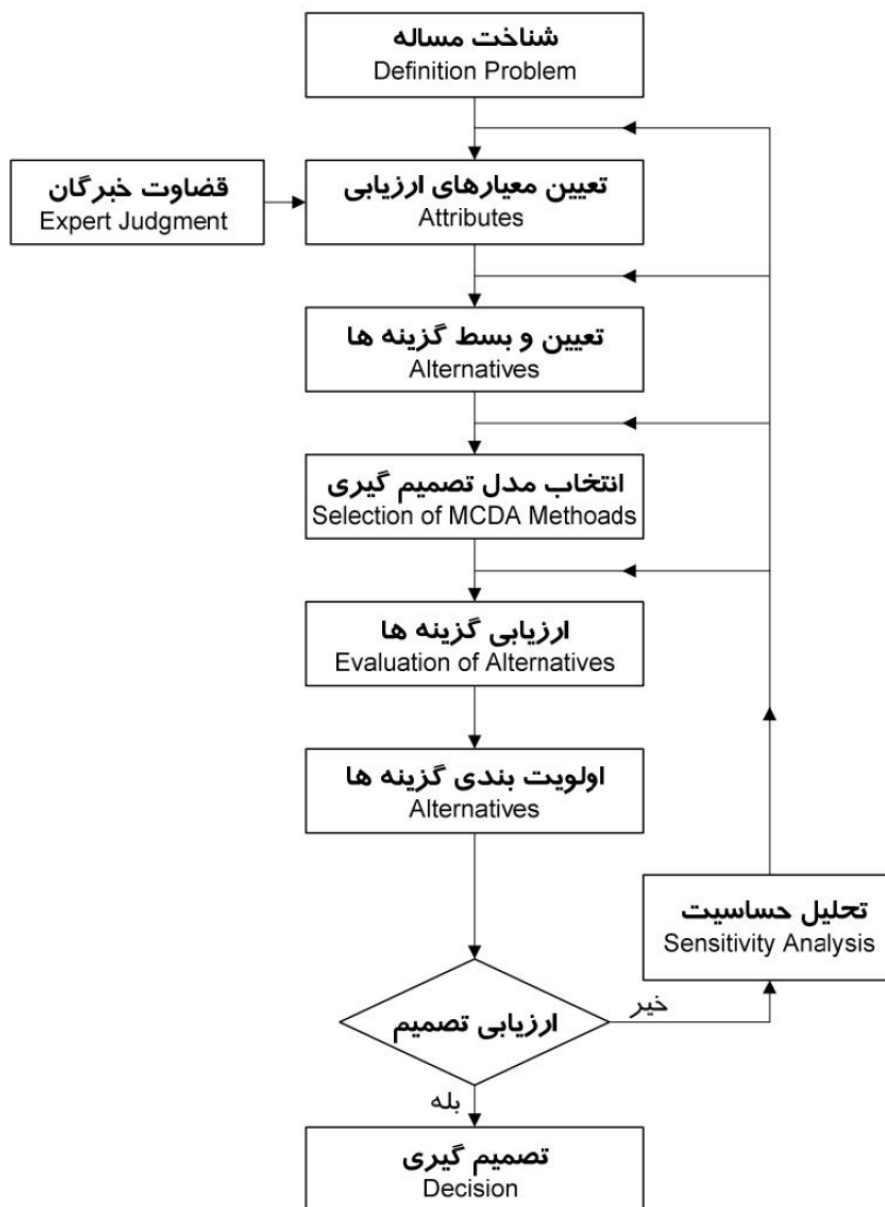
یکی از عوامل مهم در ارتقاء سطح بازدهی و کارایی هر نوع فعالیتی، انتخاب مکان مناسب با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و شرایط است. بدین منظور، چندین مکان جایگزین را تعیین کرده و با توجه به معیارهای مکان‌یابی که در فصل قبل بیان شدند، باهم مقایسه شده و درنهایت با انتخاب روشی مناسب، بهترین مکان انتخاب می‌شود. همچنین بسته به نوع فعالیت‌ها و سطح انتخاب مکان (فرامنطقه‌ای، کشوری، استانی، شهری و...) نوع و تعداد معیارهای مورد استفاده می‌تواند متفاوت باشد.

این فصل به بررسی یکی از جنبه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره یعنی تصمیم‌گیری چند شاخصه می‌پردازد. با توجه به اینکه غالباً تصمیم‌گیری برای انتخاب مکان از نوع تصمیم‌گیری چندمعیاره است اهمیت بیان این فصل دوچندان می‌شود.

در این فصل سعی بر آن است تا کاربرد روش‌های مختلف تصمیم‌گیری شاخصه در مسائل مکان‌یابی به تفصیل بیان شود. البته روش‌های ذکر شده کلیه روش‌های موجود را در برنمی‌گیرند، ولی سعی شده است تا کاربردی‌ترین روش‌ها تشریح گردند. همچنین در این فصل مبحث اخذ نظرات خبرگان و کارشناسان که به ویژه جهت وزن‌دهی معیارها مورد نیاز هستند و نیز ملاحظات مربوط به تدوین پرسشنامه و اعتبارسنجی آن ارائه خواهد شد.

۳-۲- مفاهیم اساسی در تصمیم‌گیری چند شاخصه

اصولاً مدل کلی فرآیند تصمیم‌گیری چند شاخصه به صورت شکل (۳-۱) ارائه می‌شود. مطابق این مدل، معیارهای ارزیابی بر اساس نظر خبرگان و کارشناسان مربوطه شناسایی می‌شوند؛ سپس گزینه‌های ممکن برای مکان‌یابی تعیین و بسط داده می‌شوند. در مرحله بعد، با انتخاب یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره مناسب، گزینه‌ها بر اساس معیارها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند تا اولویت آنها مشخص شود. نکته مهم در خصوص استفاده از این مدل، لزوم تحلیل حساسیت در همه مراحل مذکور است.



شکل (۳-۱). مدل کلی فرایند تصمیم‌گیری چند شاخصه (محمد مرادی و اخترکاو، ۱۳۸۸)

مفاهیم اساسی در تصمیم‌گیری چند شاخصه شامل پنج واژه اصلی است که عبارتند از: مشخصه‌ها، اهداف، آرمان‌ها، معیارها و ماتریس تصمیم‌گیری (محمد مرادی و اخترکاو، ۱۳۸۸).

مشخصه^۱: عبارت است از خاصیتی که می‌بایست در یک گزینه (آلترناتیو) باشد. هر گزینه بسته به خواسته‌های تصمیم‌گیرنده می‌تواند با تعدادی از مشخصه‌ها مرتبط باشد. هدف^۲: آن چیزی است که تا دست‌یافتن نهایی به آن تعقیب می‌شود. تفاوت هدف و آرمان نیز در همین نکته است. هدف باید دست‌یافتنی باشد، درحالی‌که آرمان ممکن است هرگز دست‌یافتنی نباشد.

آرمان^۳: مقداری است که مطلوب یک خواسته می‌باشد و ممکن است به آرمان دست‌یافت، یا به آن نرسید و یا حتی از آن گذشت.

معیار^۴: به معنای اندازه‌گیری مؤثر بودن است. معیار، پایه ارزیابی است.

ماتریس تصمیم‌گیری^۵: یک مسئله چند شاخصه را می‌توان به‌طور کامل، به فرم ماتریسی تعریف نمود. یک ماتریس تصمیم (D)؛ ماتریسی است $n \times m$ ، که درایه x_{ij} آن نمایانگر ارزش مشخصه z ام (x_j) برای گزینه‌ی i ام (a_i) است. در این ماتریس واضح است که شاخص‌ها ممکن است کمی (مانند هزینه) یا کیفی (مانند راحتی) باشند (قدسی پور، ۱۳۸۳).

هر گزینه در مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه معمولاً با دو نوع مشخصه تعریف می‌گردند: (۱) مشخصه‌های کمی (۲) مشخصه‌های کیفی. سؤال مهم این است که چگونه می‌توان این دو نوع مشخصه‌ها (کمی و کیفی) را باهم مقایسه نمود؟ از آنجاکه تبدیل مشخصه‌های کیفی به مقیاس نسبی^۶ بسیار دشوار است، اکثر مدل‌های تصمیم‌گیری

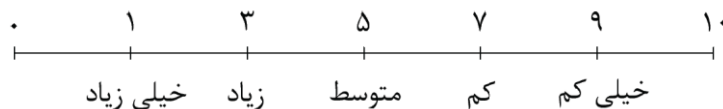
1. Attribute
2. Objective
3. Goal
4. Criterion
5. Decision Matrix
6.. Ratio

چند شاخصه از مقیاس‌های ترتیبی^۱ و یا فاصله‌ای^۲ برای تبدیل مشخصه‌های کیفی به کمی استفاده می‌کنند. یک روش عمومی در اندازه‌گیری یک شاخص کیفی با مقیاس فاصله‌ای استفاده از مقیاس دوقطبی^۳ فاصله‌ای است؛ به صورت شکل زیر.



شکل (۲-۳). مقیاس دوقطبی فاصله‌ای برای شاخص‌های با جنبه مثبت

این اندازه‌گیری (به صورت فوق برای شاخصه‌ای با جنبه مثبت) بر اساس یک مقیاس ده نقطه‌ای است؛ به طوری که صفر مشخص‌کننده کمینه ارزش ممکن و ۱۰ مشخص‌کننده بیشینه ارزش ممکن از شاخص موردنظر است. همچنین نقطه وسط نیز نقطه شکست مقیاس بین مساعدها و نامساعدها است. این مقیاس اندازه‌گیری به طور مشابه برای شاخص‌های با جنبه منفی به منظور هماهنگی در محاسبات به صورت شکل زیر تنظیم می‌گردد.



شکل (۳-۳). مقیاس دوقطبی فاصله‌ای برای شاخص‌های با جنبه منفی

لازم به توضیح است که ارزش‌های صفر و ۱۰ عملاً در مقیاس‌های فوق کمتر مورد استفاده واقع می‌شوند، ضمناً ارزش‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ را می‌توان به عنوان ارزش‌های واسطه از مقیاس‌های فوق به کار برد.

اصولاً در مسائل مکان‌یابی هر یک از معیارها دارای مقیاس اندازه‌گیری خاص خود هستند که این کار مقایسه مقادیر آن‌ها را با یکدیگر ناممکن می‌سازد؛ لذا لازم است بر اساس روش‌های بی‌مقیاس‌سازی، معیارها و شاخص‌ها را مستقل از واحد اندازه‌گیری

1. Ordinal
2. Interval
3. Bipolar Scale

کرد تا بتوان عمل مقایسه را انجام داد. در ادامه به طور مختصر روش‌های متداول برای بی‌مقیاس‌سازی وزن‌ها ارائه شده است.

روش نرم (اقلیدسی): در این روش، هر عنصر ماتریس تصمیم‌گیری را بر مجذور مجموع مربعات عناصر هر ستون می‌بایست تقسیم نمود.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (1-3)$$

در رابطه‌ی بالا، n_{ij} : مقدار بی‌مقیاس‌شده گزینه i از شاخص j (a_{ij}) است.

به علت تبدیل غیرخطی، این روش منجر به مقیاس‌های اندازه‌گیری با طول مساوی نشده و ترتیب نسبی نتایج به‌خصوص برای مقادیر کمینه و بیشینه در این مقیاس یکسان باقی نمی‌ماند و در نتیجه مقایسه مستقیم شاخص‌ها با یکدیگر هنوز خالی از اشکال نیست.

روش خطی: در این روش ابتدا لازم است مقادیر شاخصه‌ای منفی را معکوس کرده و سپس هر مقدار از ماتریس را به حداکثر مقدار آن ستون تقسیم نمود. البته چنانچه تمامی شاخص‌ها دارای جنبه منفی باشند نیازی به محاسبه معکوس هر یک از مقادیر نبوده و می‌توان مقدار هر خانه از ماتریس را به مقدار حداکثر ستون مربوطه تقسیم کرده و حاصل را از یک کم کرد (اصغرپور، ۱۳۷۷). در حالت کلی برای شاخص‌های با جنبه مثبت از رابطه (۲-۳) و برای شاخص‌های با جنبه منفی از رابطه (۳-۳) می‌بایست استفاده نمود.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max(a_j)} \quad (2-3)$$

$$n_{ij} = \frac{\frac{1}{a_{ij}}}{\max(\frac{1}{a_j})} \quad (3-3)$$

نقطه‌ضعف این روش آن است که پس از بی‌مقیاس‌سازی، مجموع وزن‌ها برای هر معیار برابر یک نمی‌شود.

روش نرمال‌سازی: در این روش لازم است برای شاخص‌های مثبت، هر عدد را بر مجموع اعداد آن ستون تقسیم نموده و برای شاخص‌های منفی، عکس هر عدد را بر مجموع عکس اعداد آن ستون تقسیم نمود. به بیانی دیگر، در حالت کلی برای شاخص‌های با جنبه مثبت و منفی از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum (a_{ij})} \quad (4-3)$$

$$n_{ij} = \frac{\frac{1}{a_{ij}}}{\sum (\frac{1}{a_{ij}})} \quad (5-3)$$

۳-۳- اخذ نظرات خبرگان و کارشناسان

اصولاً در تصمیم‌گیری چندمعیاره لازم است نظرات خبرگان و کارشناسان در خصوص وزن نسبی عوامل و معیارها به‌ویژه از نوع کیفی اخذ شود. به این منظور در این بخش، به مباحث و مفاهیم پایه در این خصوص پرداخته می‌شود.

۳-۳-۱- انتخاب جامعه نمونه

در میان مباحث موجود در علم آمار، بحث نمونه‌گیری از مباحث مهم و پرکاربرد در پژوهش‌ها می‌باشد. نمونه‌گیری فرآیند انتخاب مشاهده‌ها و تعمیم نتایج مشاهده به کل جمعیت است. از آنجاکه در سرشماری تمام واحدهای جامعه باید شمارش شود این کار پرهزینه و وقت‌گیر خواهد بود. لذا در جهت صرفه‌جویی در وقت و هزینه ناگزیر به استفاده از روش‌های دیگری هستیم. در اینجا است که اهمیت روش نمونه‌گیری آشکار می‌شود. به‌طورکلی با بالا رفتن حجم نمونه دقت و اعتبار نتایج نیز بیشتر می‌شود (Levy and Lemeshow, 2013). در نمونه‌گیری معمولاً نمونه کوچکی از جامعه را

بررسی می‌کنیم و آن را برای کل جامعه تعمیم می‌دهیم (خاکی، ۱۳۹۰). زمانی که تصمیم بگیریم که به‌وسیله بررسی‌های نمونه‌ای اطلاعاتی را تهیه کنیم، با دو چالش مواجه می‌شویم:

۱. تعریف دقیق جامعه‌ای که علاقه‌مند به مطالعه آن هستیم

۲. گزینش مشخصه یا مشخصه‌هایی که باید ثبت شوند.

نکات مهم در خصوص یک بررسی نمونه‌ای عبارتند از (Levy and Lemeshow, 2013):

- همواره باید حکمی روشن و صریح درباره هدف‌های بررسی در دست باشد. در غیر این صورت با افزایش حجم کار و جزئیات دیگر نمونه‌گیری، تصمیم‌هایی اتخاذ می‌شوند که با اصل اهداف هماهنگی ندارند.
- جامعه‌ای که نمونه از آن می‌گیریم، باید دقیقاً تعریف شود. جامعه‌ای که از آن نمونه می‌گیریم باید منطبق بر جامعه هدف باشد یعنی جامعه‌ای که می‌خواهیم درباره آن کسب اطلاع کنیم.
- لازم است تحقیق کنیم که تمام داده‌ها به اهداف بررسی مربوطند و هیچ داده اساسی از قلم نیفتاده است.
- نتایج یک بررسی نمونه‌ای همیشه با عدم حتمیت همراه است، زیرا اولاً نسبتی از جامعه مورد اندازه‌گیری قرارگرفته است و ثانیاً اندازه‌گیری‌ها همیشه با خطا همراه هستند. میزان این عدم دقت را می‌توان با نمونه‌های بزرگ‌تر و با استفاده از وسایل اندازه‌گیری دقیق‌تر تقلیل داد.
- در جامعه، برای اندازه‌گیری واحدهای نمونه، انتخاب ابزار اندازه‌گیری و روش اندازه‌گیری واجد اهمیت است.
- قبل از انتخاب نمونه جامعه را باید به بخش‌هایی تقسیم کرد. این بخش‌ها را واحدهای نمونه‌گیری یا فقط واحدها می‌نامند.

- طرح‌های متعددی وجود دارند که می‌توان با آن‌ها نمونه را انتخاب کرد. برای هر طرحی و با توجه به درجه دقت موردنیاز در برآوردها باید حجم خاصی از نمونه را مشخص نمود.
- تجربه نشان داده است که قبل از انجام نمونه‌گیری نهایی، امتحان کارایی پرسشنامه و یا روش‌های موردنظر با مقیاسی کوچک بسیار مفید است.
- در بررسی‌های جامع نمونه‌ای، اغلب با مسائل خاص حرفه‌ای مواجهیم. لذا آمارگران باید قبلاً درباره هدف نمونه‌گیری و روش‌های نمونه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها و سایر خط‌مشی‌ها آموزش ببینند.
- هر نمونه‌ای که از جامعه گرفته می‌شود بالقوه راهنمایی برای اصلاح نمونه‌گیری‌های بعدی است.

در تعیین جامعه آماری به موضوعات زیر باید توجه نمود:

- اهمیت موضوع
- قابلیت تعمیم‌پذیری
- علاقه پژوهشگر
- منابع اطلاعاتی

یک جامعه آماری می‌تواند شهرک، شهر، استان، کشور، منطقه آموزشی واحد نظامی یا زیر گروهی از واحدهای ذکرشده نظیر گروه‌های قومی، مذهبی، سنی و شغلی باشد. توجه داشته باشید به علت وسعت زیاد جامعه موردنظر، همیشه مطالعه تمام آن مقدور نیست و به‌علاوه برای توصیف ویژگی‌های جامعه موردنظر و آزمون فرضیه در مورد آن نیازی به مطالعه تمام اعضای جامعه نیست. لذا به انتخاب نمونه‌ای از اعضای جامعه که معرف و نماینده واقعی آن باشند اقدام می‌نمائیم.

در تعیین نمونه آماری به این نکات توجه داشته باشید:

- در تعیین حجم نمونه از فرمول‌ها و معیارهای آماری استفاده کنید.

- توجه داشته باشید بیشترین حجم نمونه قابلیت تعمیم نمونه به جامعه را محقق خواهد نمود.
 - برای مثال، هنگامی که شما مشغول طراحی یک پرسشنامه سنجش رضایت شغلی در یک شرکت یا سازمان بزرگ می‌باشید می‌توانید با کمک واریانس و انحراف معیار جنس، سن یا تحصیلات تعداد نمونه مورد نیاز خود را به دست آورید.
 - روش نمونه‌گیری را مشخص کنید: مثلاً نمونه‌گیری خوشه‌ای چندمرحله‌ای. هرچه حجم یا اندازه نمونه بزرگ‌تر باشد میزان اشتباهات در نتیجه‌گیری کم می‌شود و برعکس، هر چه تعداد نمونه محدود باشد مقدار اشتباهات زیادتر است؛ بنابراین زمانی که محقق سطح بالاتری از اطمینان یا معنی‌دار بودن آماری را ملاک ارزیابی اطلاعات تحقیق خود قرار می‌دهد لازم است حجم نمونه او بزرگ‌تر انتخاب شود. لذا اگر هر عضو در جامعه مادر دقیقاً مشابه عضو دیگر باشد آنگاه انتخاب نمونه‌ای با حجم یک عضو هم کافی است. حجم نمونه باید به اندازه‌ای باشد که نتایج حاصل عیناً با نتایج همان مطالعه در جامعه‌ای که نمونه از آن انتخاب شده است برابر باشد. دو پیشنهاد کارساز برای تعیین حجم نمونه ذکر می‌شود (Kalton, 1983):
 - استفاده از فرمول کوکران
- فرمول کوکران برای دو حالت که حجم جامعه معلوم و نامعلوم باشد، محاسبه می‌شود:

حجم جامعه معلوم:

$$n = \frac{Npqz^2}{pqz^2 + Nd^2} \quad (۶-۳)$$

حجم جامعه نامعلوم:

$$n = \frac{pqz^2}{d^2} \quad (۷-۳)$$

در روابط بالا، N حجم جامعه، d مقدار خطا (این مقدار خطا مقدار خطایی است که در اندازه‌گیری متغیر موردنظر برای ما قابل تحمل است که تقریباً کمتر از ۰,۱ در نظر گرفته می‌شود)، Z اندازه استاندارد سطح قابل بررسی (که اکثراً در سطح ۹۵ درصد که مقدار Z برابر ۱,۹۶ می‌باشد) و P و q نسبت یا شرایط موردنظر (مثلاً اگر می‌خواهیم ببینیم درصد احتمال خرابی کنتورها ۲٪ است عدد ۰,۲ برای p وارد شود) می‌باشند.

• استفاده از جدول مورگان

جدول (۱-۳) حداکثر تعداد نمونه را می‌دهد و اگر با فرمول کوکران نیز محاسبه کنید، حتماً کمتر باید باشد. در جدول مذکور N حجم جامعه و S حجم نمونه است (Kalton, 1983).

جدول (۱-۳) جدول مورگان جهت انتخاب حداکثر تعداد نمونه از جامعه آماری

S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
338	2800	260	800	162	280	80	100	10	10
341	3000	265	850	165	290	86	110	14	15
246	3500	269	900	169	300	92	120	19	20
351	4000	274	950	175	320	97	130	24	25
351	4500	278	1000	181	340	103	140	28	30
357	5000	285	1100	186	360	108	150	32	35
361	6000	291	1200	181	380	113	160	36	40
364	7000	297	1300	196	400	118	180	40	45
367	8000	302	1400	201	420	123	190	44	50
368	9000	306	1500	205	440	127	200	48	55
373	10000	310	1600	210	460	132	210	52	60
375	15000	313	1700	214	480	136	220	56	65
377	20000	317	1800	217	500	140	230	59	70
379	30000	320	1900	225	550	144	240	63	75
380	40000	322	2000	234	600	148	250	66	80
381	50000	327	2200	242	650	152	260	70	85
382	75000	331	2400	248	700	155	270	73	90
384	100000	335	2600	256	750	159	270	76	95

۳-۳-۲- پرسشنامه

شیوه اجرای یک پژوهش ارتباط زیادی با ماهیت موضوع، نوع پژوهش و همچنین متغیرهای پژوهش دارد؛ اما باید توجه داشت آنچه موجب شده جوهر علمی حیات پیدا کند، وقوف به اکتشافات و نتایج علوم نیست بلکه شناخت و درک عمیق روش‌ها یعنی شیوه‌هایی که بشر برای پیشرفت علم به کار بسته است. روش‌ها در حقیقت ابزارهای دست‌یابی به حقیقت هستند. یکی از روش‌های متداول در گردآوری اطلاعات میدانی روش پرسشنامه‌ای است که امر گردآوری اطلاعات را در سطح وسیع، امکان‌پذیر می‌سازد. به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات ابتدا با شناسایی منابع اطلاعاتی مرتبط به تدوین پرسشنامه و سؤالاتی که مبین فرضیه می‌باشد، می‌پردازیم. با توجه به مزایا و ویژگی‌های پرسشنامه از قبیل مقرون به‌صرفه بودن، سهولت و دقت در اجرا، داشتن فرصت کافی برای تکمیل بودن آن‌ها، ارائه سؤالات یکسان برای کلیه افراد و همچنین سهولت و دقت در استخراج و تجزیه و تحلیل نتایج، روش پرسشنامه یکی از بهترین راه‌حل‌های موجود برای مرحله جمع‌آوری اطلاعات هر پژوهش است (حافظ نیا، ۱۳۸۷).

پرسشنامه شامل دسته‌ای از پرسش‌ها است که بر طبق اصول خاصی تدوین گردیده است و به‌صورت کتبی به افراد ارائه می‌شود و پاسخگو بر اساس تشخیص خود جواب‌ها را در آن می‌نویسد. انواع پرسشنامه از لحاظ اجرا عبارتند از: رو در رو، تلفنی، پستی، رایانه‌ای، پست الکترونیکی و اینترنتی یا صفحه وب. همچنین، انواع پرسشنامه از لحاظ محتوای سنجش شده عبارتند از: آگاهی سنجی^۱، نگرش سنجی^۲ و عملکرد سنجی^۳.

1. Survey of Knowledge
2. Survey of Attitude
3. Survey of practice

۳-۳-۳- انواع پرسش

- پرسش‌های باز و بسته

پرسش‌های باز به پاسخ‌دهنده اجازه می‌دهد هرگونه مایل است جواب بدهد. مثلاً می‌توان از او خواست پنج معیار مهم را درباره مکان‌یابی یک زیرساخت بیان کند؛ ولی پرسش بسته از پاسخ‌دهنده می‌خواهد از میان گزینه‌هایی که پژوهشگر ارائه می‌کند، یکی را برگزیند. به‌طور مثال، پژوهشگر ده یا پانزده ویژگی را در خصوص مکان‌یابی یک زیرساخت برای وی درج می‌کند و از او می‌خواهد پنج ویژگی را که وی می‌پسندد با رعایت اولویت بنویسد. تمام پرسش‌هایی که از مقیاس‌های اسمی، ترتیبی، لیکرت^۱ یا نسبتی استفاده می‌کنند از نوع بسته هستند.

پرسش بسته به فرد کمک می‌کند تا با انتخاب یکی از گزینه‌های فراهم‌شده سریع‌تر تصمیم بگیرد. همچنین استخراج اطلاعاتی را که سپس باید تحلیل شود برای پژوهشگر ساده می‌کند؛ البته باید توجه کامل به عمل آید که گزینه‌های هر پرسش درعین‌حال که از یکدیگر مستقل هستند، در مجموع یک موضوع را در برگیرند. اگر مقوله‌های تکراری وجود داشته باشد یا همه گزینه‌های ممکن ارائه نشده باشد، ممکن است پاسخ‌دهنده دچار سردرگمی شود و امکان تصمیم‌گیری سریع از وی سلب شود. گاهی ممکن است برخی پاسخ‌دهندگان مقوله‌های موجود در پرسشنامه بسته را ناکافی و محدود بدانند و مایل باشند از خود مطالب دیگری را بیفزایند. بدین سبب بسیاری از پرسشنامه‌ها همواره در پایان به‌صورت پرسش باز از تکمیل‌کننده می‌خواهند هر مقوله یا مطلب دیگری را که لازم می‌داند بیفزاید. بدیهی است پاسخ‌های این پرسش‌های باز را باید برای تحلیل‌های بعدی تنظیم و دسته‌بندی کرد.

- پرسش‌های همراه با واژگان مثبت و منفی

به‌جای اینکه همه پرسش‌ها را به‌صورت مثبت نوشته شود، شایسته است پرسش‌هایی همراه با واژگان منفی نیز در نظر گرفته شود تا گرایش پاسخ‌دهنده به

1. Likert scale

علامت زدن در یک سمت مقیاس به حداقل برسد. یک پرسشنامه خوب آمیزه‌ای از پرسش‌های همراه با واژگان مثبت و منفی را در خود دارد. البته باید از کاربرد نفی مضاعف و زیاده‌روی در استفاده از واژه‌های «نه» و «فقط» خودداری کرد، زیرا پاسخ‌دهنده دچار ابهام می‌شود.

- پرسش‌های دووجهی

از درج پرسش‌های دووجهی باید خودداری کرد و به جای آن‌ها از پرسش‌های جداگانه استفاده کرد. به‌طور مثال، پرسشی همچون «آیا فکر می‌کنید این معیار از لحاظ پدافند غیرعامل مناسب است و از لحاظ هزینه نیز مقرون به صرفه است؟» می‌تواند برای بخش نخست خود پاسخ «آری» و برای بخش دوم به دلایل مختلف پاسخ «نه» داشته باشد. در این گونه موارد بهتر است برای هر بخش یک پرسش جداگانه مطرح کنیم که در این صورت امکان دارد هر دو پاسخ مثبت یا منفی یا اولی منفی دومی مثبت یا اولی مثبت و دومی منفی داشته باشد.

- پرسش‌های مبهم

پرسش‌هایی که حتی دووجهی هم نیستند، ممکن است به‌طور مبهم نگاشته شوند و پاسخ‌دهنده معنای آن‌ها را به‌درستی درک نکند. نمونه قابل ذکر چنین است: «تا چه حد فکر می‌کنید این طرح مناسب است؟» پاسخ‌دهنده شاید تردید کند که منظور از مناسب بودن از لحاظ هزینه، پدافند غیرعامل یا به‌طور کلی است. بدین ترتیب، پرسش‌های مبهم در خود جهت‌گیری درونی دارند؛ چراکه پاسخ‌دهنده ممکن است آن‌ها را به‌گونه‌ای دیگر تفسیر کند و درنهایت مجموعه‌ای از پاسخ‌های نادرست را همراه می‌آورند.

- پرسش‌های مبتنی بر یادآوری گذشته

ممکن است برخی پرسش‌ها پاسخ‌دهنده را بر آن دارند که تجربه‌هایی از گذشته خود را که برایش روشن نیستند، به یاد آورد. پاسخ‌های چنین پرسش‌ها هم می‌تواند همراه با جهت‌گیری باشد. به‌طور مثال، از فردی که در سازمان سی سال سابقه خدمت دارد می‌پرسند: چه زمانی کار را در فلان واحد آغاز کرده و چه مدت طول کشیده است؟

وی ممکن است پاسخ‌های درست را به یاد نیاورد یا به‌گونه‌ای پاسخ را رفع و رجوع کند. چنین اطلاعاتی را به‌سادگی می‌توان از پرونده استخدامی وی به دست آورد.

• پرسش‌های هدایت‌کننده

پرسش‌ها نباید به‌گونه‌ای نگاشته شوند که پاسخ‌دهنده را به دادن پاسخ‌هایی هدایت کنند که موردنظر پژوهشگر است. به طور مثال: آیا فکر نمی‌کنید در این روزها که وضعیت اقتصادی مناسب نیست باید معیارهای پدافند غیرعامل را در مکان‌یابی محدود نمود؟ با پرسیدن چنین سؤالی به پاسخ‌دهنده علامت می‌دهیم و او را زیر فشار می‌گذاریم که بگوید «آری». راه دیگر برای این پرسش سؤال که درعین حال سوگیری کمتری را داشته باشد چنین است: «تا چه میزان موافقت با معیارهای پدافند غیرعامل را باید محدود کرد؟» اگر پاسخ‌دهنده فکر کند معیارهای پدافند غیرعامل در مکان‌یابی را باید محدود کرد پاسخ او «کاملاً مخالفم» خواهد بود و اگر هم برعکس فکر کند «کاملاً موافقم» را برمی‌گزیند. چنانچه نظرش چیزی بین این دو حد باشد برحسب میزان موافقت یا مخالفت خود گزینه دیگری را علامت می‌زند.

• پرسش‌هایی که بار عاطفی دارند

نوع دیگری از سوگیری در پرسش‌ها زمانی روی می‌دهد که آن‌ها با احساسات و عواطف درآمیخته شوند. نمونه‌ای از پرسش‌هایی که بار عاطفی دارند چنین است: «آیا به نظر شما اگر سازمان تصمیم به اعمال الزامات دفاعی در آمایش سرزمینی بگیرد تا چه میزان احتمال دارد که دولت موضع انتقام‌جویانه بگیرد؟» واژه انتقام‌جویانه دارای بار عاطفی است و سازمان و دولت را در دو قطب قرار می‌دهند، لذا پاسخ این‌گونه پرسش‌ها سوگیری شدیدی را با خود دارد. به‌جای پرسش مذکور می‌توان پرسش زیر را مطرح نمود: دولت تا چه حد موافق اعمال الزامات دفاعی در آمایش سرزمینی است؟

۳-۳-۴- تدوین پرسشنامه

در پژوهش‌هایی که از پرسشنامه استفاده می‌شود، اعضا نمونه یا جامعه با پرکردن پرسشنامه و بازگرداندن آن به پژوهشگر در مصاحبه‌ای که خود آن را بر عهده داشته‌اند

شرکت می‌کنند؛ به همین دلیل سؤال‌ها و راهنمایی‌های مربوط به آن باید به‌اندازه کافی روشن و قابل‌فهم باشد تا پاسخگو نقش مصاحبه‌کننده را نیز اجرا کند و بتواند افراد موردنظر را در مشارکت ترغیب کند. دستورالعمل، سؤال‌ها و راهنمایی آن باید به‌گونه‌ای طرح شود که افراد موردنظر را به ادامه همکاری و برگرداندن پرسشنامه علاقه‌مند نماید؛ این امر به خاطر عدم حضور مصاحبه‌گر واقعی برای توضیح بیشتر و تشویق پاسخ‌دهنده است. بیشتر پرسشنامه‌ها حاوی مطالبی هستند که به‌منظور اندازه‌گیری متغیرهای وابسته و مستقل و ویژگی‌های موردنیاز تهیه و تدوین می‌شود. دستورالعمل‌هایی که در تنظیم پرسشنامه الزامی هستند به شرح ذیل است (Dillman, 1978):

- سؤال‌های پرسشنامه باید ساده، روشن و دقیق باشند؛ زیرا هنگام پاسخگویی به آن‌ها کسی جهت تعریف و توضیح حضور ندارد.
- سؤالات پرسشنامه باید به‌صورت پاسخ بسته نوشته شود (یک گزینه از بین چند گزینه انتخاب شود) و بهتر است تعداد سؤال‌های پاسخ باز به حداقل ممکن برسد ولی حذف نشود. امکان دارد پاسخ‌هایی که به سؤالات باز داده می‌شود ناتمام و بی‌ربط باشند. ناخوانایی، غلط املایی و تفسیر پاسخ‌های باز از دیگر مشکلات سؤال‌های پاسخ باز می‌باشند.
- به‌صورت اضافی و به‌خاطر جلوگیری از اشتباه از سؤالات گزیده استفاده می‌شود. سؤال‌های گزیده به پرسش‌هایی گفته می‌شوند که گروه معینی از پاسخ‌دهندگان به آن پاسخ می‌دهند. برای مثال با مطرح کردن سؤالی درباره سابقه‌ی مدیریت در پرسشنامه می‌توان پاسخ‌دهندگان مدیر را شناسایی کرد و سپس پرسش‌های مربوط به معیارهای مدیریتی را مطرح نمود. هر سؤال گزیده به راهنمایی خاص خود نیاز دارد.
- سؤال‌های مربوط به گذشته را در یک محدوده زمانی مشخص مطرح کنید؛ در صورتی که قصد دارید درباره رفتار گذشته افراد اطلاعاتی کسب کنید، زمان موردنظر را مشخص کنید؛ با عبارت‌هایی مانند در ۵ سال گذشته، در یک سال

- گذشته، در یک ماه گذشته و اغلب محدوده زمانی کوتاه‌تر مناسب است، زیرا پاسخ‌دهندگان نمی‌توانند وقوع رفتارهای خود را در زمان‌های طولانی به یاد آورند.
- برای سؤال‌های حساس چارچوب مناسبی فراهم‌سازید؛ گاهی اوقات پرسش‌هایی مطرح می‌شوند که ممکن است مغایر عقیده، باور، نگرش و مکاتب فکری باشند.
 - تعدادی از سؤال‌های پرسشنامه را به ویژگی‌های فردی و جمعیتی اختصاص دهید. این نوع سؤال‌ها که بر ویژگی‌هایی فردی تأکید دارند، در قالب پرسشنامه‌ها مطرح می‌شود؛ مانند سن، جنس، وضعیت تأهل، قوم و نژاد، تحصیلات، شغل، درآمد و گاهی اوقات مذهب.
 - سؤال‌های پرسشنامه باید یکی از جنبه‌های هدف و یا فرضیه صورت‌بندی شده را اندازه‌گیری کند؛ به‌منظور تهیه و تنظیم پرسشنامه‌ای مناسب باید هر یک از سؤال‌های پرسشنامه هدفی را اندازه‌گیری کند؛ به‌عبارت‌دیگر، سؤال باید به شیوه‌ای تنظیم شود که به کمک آن‌ها بتوان اطلاعات لازم برای پاسخ دادن به سؤال‌های تحقیق یا آزمون فرضیه‌های صورت‌بندی شده جمع‌آوری کرد.
 - سؤال‌های پرسشنامه را با توجه به موضوع پژوهش در ارتباط با خصوصیت جامعه‌ای که پرسشنامه در آن اجرا می‌شود تعیین کنید. نظم و ترتیبی که سؤال‌های پرسشنامه بر اساس آن طرح می‌شود متفاوت است. ولی در اینکه جای هر سؤالی کجا باشد اتفاق‌نظری وجود ندارد. بعضی ترجیح می‌دهند که نکات مربوط به ویژگی‌های فردی و خانوادگی در ابتدای پرسشنامه و سؤال‌های حساس در آخر آورده شود و برخی عکس این عمل را انجام می‌دهند، در واقع این پژوهشگر است که باید با توجه به بینشی که در مورد موضوع و جامعه پژوهشی خود دارد، جای هر سؤال یا نظم و ترتیب آن‌ها را تعیین نماید. چنانچه موضوع اهمیت قابل‌توجهی داشته باشد بهترین شیوه آن است که پرسش‌های مربوط به موضوع اصلی را در ابتدا بیاوریم تا بالاترین نسبت پاسخ‌دهی به دست آید.

- صفحه اول پرسشنامه بایستی مربوط به نحوه‌ی پاسخگویی به سؤال‌ها باشد و در آن به پرسش‌شونده اطمینان دهید که پاسخ‌های وی و اطلاعاتی که در اختیار شما قرار می‌دهد محرمانه تلقی خواهد شد.
- هیچ‌گاه در یک پرسش دو موضوع را مورد پرسش قرار ندهید، زیرا پرسش‌شونده ممکن است پاسخ متفاوتی به هر یک از سؤال‌ها داشته باشد.
- در طراحی سؤال ایده خودتان و یا به عبارتی پاسخ خودتان را به پرسش‌شونده دیکته نکنید. بعضی سؤالات طوری طراحی می‌شوند که پاسخ مشخصی دارند که مفید نیست.
- از صفحه‌آرایی، چیدمان شکیل و فونت‌های مناسب و درشت برای طراحی پرسشنامه استفاده کنید.
- در پرسش‌های بسته می‌توانید از طیف لیکرت برای پاسخ گوئی استفاده کنید.
- پرسشنامه را جذاب کنید. یکی از راه‌های رسیدن به این هدف چاپ پرسشنامه است.
- پرسشنامه را صفحه‌بندی کنید.
- سؤال‌های پرسشنامه را تا حد ممکن به شکل ساده طرح کنید، به‌نحوی‌که پاسخگویی به آن‌ها آسان باشد.
- در ابتدا و انتهای پرسشنامه، نام و نام خانوادگی و آدرسی را که پرسشنامه به آنجا فرستاده شود ذکر کنید.
- نحوه پاسخگویی به سؤال‌ها را خیلی ساده و با حروف درشت ذکر کنید.
- در ابتدای هر نوع سؤال یک مثال مطرح و نحوه پاسخگویی به آن را مشخص کنید.
- سؤال‌های پرسشنامه را بر اساس نظم منطقی مطرح کنید.
- در ابتدای پرسشنامه سؤال‌هایی را مطرح کنید که جالب هستند.
- در پرسشنامه‌هایی که خیلی طولانی هستند سؤالات مهم را در آخر پرسشنامه نیاورید.

- از به کار بردن کلماتی که پاسخ‌دهندگان نسبت به آن‌ها حساس هستند خودداری نمایید.
 - در هر سؤال اطلاعات را به‌طور کامل بیان کنید، به‌نحوی که سؤال برای پاسخ‌دهنده معنی‌دار باشد.
 - طول پرسشنامه بر دقت پاسخگویی تأثیر دارد، بنابراین در صورت امکان پرسشنامه را مختصر مطرح کنید. به عبارت دیگر، در پرسشنامه فقط سؤال‌هایی را مطرح کنید که در جهت رسیدن به هدف‌های پژوهش موردنیاز هستند.
- پس از تدوین پرسشنامه و قبل از سنجش گسترده نخستین مرحله ارزیابی مقدماتی پرسشنامه است؛ زیرا ممکن است پرسشنامه نیاز به بررسی مجدد، حذف از تعدادی از سؤالات و یا افزودن سؤالات جدید بر مبنای اطلاعات دریافتی از پرسش‌های باز باشد. پس لازم است پیش‌نویس پرسشنامه قبل از اینکه به‌صورت نهایی تهیه و تنظیم شود چندین بار و از دیدگاه‌های مختلف بررسی شود. Dillman (۱۹۷۸) پیشنهاد نموده است که پرسشنامه قبل از اجرا به‌صورت آزمایشی برای سه گروه زیر اجرا گردد:
- گروهی از افراد جامعه که قصد دارید که یافته‌های پژوهش را به آن‌ها تعمیم دهید.
 - کسانی که نتایج بررسی به‌وسیله آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، مانند نهادهای اجرایی، مدیران سازمان‌ها و
 - صاحب‌نظران و متخصص‌هایی که در تهیه و تنظیم پرسشنامه تبحر و تجربه دارند.
- معمولاً در این مرحله پرسشنامه بین خبرگان و یا نمایندگان اقشار مختلف نمونه آماری صورت می‌پذیرد و بر اساس تجربه بایستی حداقل ۱۰ الی ۱۵ درصد نمونه آماری را پوشش دهد.

۳-۳-۵- اعتبارسنجی پرسشنامه

یک آزمون خوب باید از تعدادی ویژگی مطلوب مانند: عینیت، سهولت اجرا، عملی بودن سهولت تعبیر و تفسیر، روایی و پایایی برخوردار باشد. مهم‌ترین موارد ذکرشده در این ویژگی‌ها، روایی و پایایی است. منظور از روایی^۱ این است که مقیاس و محتوای ابزار یا سؤالات مندرج در ابزار دقیقاً متغیرها و موضوع مورد مطالعه را بسنجد؛ به عبارت دیگر، عین واقعیت را به خوبی نشان دهد (Mohammadbeigi et al., 2015).

پایایی^۲ ابزار که از آن به اعتبار، دقت و اعتمادپذیری نیز تعبیر می‌شود، عبارت است از اینکه اگر یک وسیله اندازه‌گیری که برای سنجش متغیر و صفتی ساخته شده در شرایط مشابه در زمان یا مکان دیگر مورداستفاده قرار گیرد، نتایج مشابهی از آن حاصل شود. به عبارت دیگر، ابزار پایا یا معتبر ابزاری است که از خاصیت تکرارپذیری و سنجش نتایج یکسان برخوردار باشد (حافظ نیا، ۱۳۸۷).

به عبارتی می‌توان گفت که پایایی شامل سه بخش متفاوت است. ثبات، که به معنی کسب نتایج یکسان در افراد مشابه در صورت تکرار آزمون است؛ هم ارزی یا تعادل^۳، هنگامی به دست می‌آید که چنانچه آزمون توسط محققین مختلفی به کار رود نتایج یکسانی را به دست آورد؛ و همگنی^۴، شاخصی است که تمام بخش‌های آزمون مورداستفاده دارای سازگاری درونی باشند؛ بنابراین، برای تعیین همگنی، تعدادی از تعاریف مختلف عملیاتی از مفاهیم مشابه بر روی افراد مشابه با یک روش خاص در شیوه جمع‌آوری داده‌ها آزمون می‌شود و نتایج به دست آمده باید شدیداً به یکدیگر وابسته باشند (Holbert et al., 2013).

در ارزیابی‌های به کاررفته در علوم مختلف، در فعالیتهای آموزشی و پژوهشی بر اساس آن که محقق بخواهد هر کدام از اجزای پایایی شامل ثبات، هم‌ارزی و یا همگنی را اندازه‌گیری نماید، می‌تواند از روش‌های مختلف به سنجش پایایی بپردازد. بدین منظور

1. Validity

2. Reliability

3. Equivalence

4. Homogeneity

جهت بررسی پایایی ابزار، پرسشنامه و یا هر مقیاس سنجش دیگر می‌توان از روش آزمون بازآزمون^۱ و همچنین آزمون‌های مورد استفاده در تعیین پایایی از جمله ضریب آلفای کرونباخ، روش دونیمه کردن، کادر ریچارسون و یا فرم‌های موازی بر روی نمونه‌ای از گروه هدف استفاده کند.

روایی و پایایی سنجش‌ها، معیارهای ضروری در تعیین دقت و صحت سنجش می‌باشند. پایایی با خطای تصادفی در ارتباط است و روایی با خطای منظم و بنابراین، هرچقدر که تعداد حجم نمونه بالا رود، می‌تواند بر کاهش خطای تصادفی تأثیرگذار و بنابراین پایایی ابزار افزایش می‌یابد و بر دقت اندازه‌گیری مؤثر است؛ اما باید توجه نمود که افزایش روایی مستلزم استفاده از ابزارهای استاندارد و مؤثر خواهد بود. به بیان دیگر، روایی نشان‌دهنده صحت اندازه‌گیری است. رابطه بین روایی و پایایی از این قرار است که یک آزمون باید پایا باشد تا بتواند روا باشد. اگر آزمونی در هر بار روی تعدادی نمونه نتایج مختلفی به دست بدهد، آن آزمون یک آزمون پایا نخواهد بود و درواقع هیچ‌چیز را به درستی اندازه نخواهد گرفت و اگر یک آزمون چیزی را به درستی اندازه‌گیری نکند، هیچ اطلاعات مفیدی به ما نخواهد داد. پس برای اینکه آزمون روا باشد باید نخست پایا باشد؛ یعنی پایایی شرط روایی است، اما روایی برای پایایی ضروری نیست (Holbert et al., 2013)؛ اما به‌طور کلی اعتبار و پایایی از هم جدا نبوده و با افزایش پایایی، روایی آن‌هم افزوده می‌شود. البته پایین بودن پایایی نیز سبب کاهش روایی می‌گردد و نشان‌دهنده مجموعه‌ای از خطاهایی است که در اندازه‌گیری رخ می‌دهد (Downing, 2004).

۳-۳-۶- سنجش پایایی

ضریب پایایی عددی بین صفر تا یک می‌باشد که صفر نشانگر عدم وجود پایایی است و یک پایایی صد در صد را نشان می‌دهد (Gliem and Gliem, 2003)؛ بنابراین پایایی شاخصی برای ارزشیابی آزمون‌ها و پرسشنامه‌ها اعم از آزمون‌های غربالگری و

1. Test-Retest

تشخیصی و پرسشنامه‌های تحقیقاتی است و به دو دلیل از اهمیت خاصی برخوردار است: اول آنکه، پایایی حاکی از وجود خطای تصادفی در اندازه‌گیری است که این خطا به دلایل فاکتورهای مربوط به آزمون‌شونده، فاکتورهای مرتبط با آزمون و شرایط برگزاری آن و همچنین، فاکتورهای مرتبط با امتیازدهی ایجاد می‌شوند که این‌گونه خطاها تصادفی بوده و اثر آن‌ها بر روی امتیاز آزمون غیرقابل پیش‌بینی است. بر این اساس چنانچه حجم نمونه افزایش یابد و یا تعداد سؤالات یا آیتم‌های ابزار افزایش یابد پایایی بالا می‌رود. دوم، پایایی پیش‌گوکننده روایی است (Mohammadbeigi et al., 2015). روش مورد استفاده برای سنجش پایایی یک ابزار (آزمون یا پرسشنامه) به دلیل عملکرد و طبیعت ابزار و چگونگی استفاده از آن در زمینه مورد استفاده متفاوت می‌باشد. گاهی هدف تعیین ضریب پایایی به معنای تعیین توافق درونی است که از روش‌های آلفای کرونباخ، کادر ریچارسون و دونیمه کردن می‌توان استفاده کرد؛ اما چنانچه بخواهیم ثبات ابزار را مورد ارزیابی قرار دهیم می‌توان از روش آزمون بازآزمون و یا از روش فرم‌های موازی استفاده نمود (Downing, 2004).

• آزمون بازآزمون

این روش عبارت است از، ارائه یک آزمون بیش از یک‌بار در یک گروه آزمودنی تحت شرایط یکسان. برای محاسبه ضریب پایایی با این روش، ابتدا ابزار اندازه‌گیری بر روی یک گروه آزمودنی اجرا شده و سپس در فاصله زمانی کوتاهی دوباره در همان شرایط، آزمون بر روی همان گروه اجرا می‌شود. نمرات به‌دست‌آمده از دو آزمون موردنظر قرار گرفته و ضریب همبستگی آن‌ها محاسبه می‌شود. معمول‌ترین روش برای یافتن همبستگی بین نمرات در این روش، محاسبه ضریب همبستگی اسپیرمن براون می‌باشد (Webb et al., 2006). این ضریب نمایانگر پایایی ابزار است. روش آزمون بازآزمون برای ارزیابی ثبات مؤلفه‌های یک ابزار اندازه‌گیری به کار می‌رود ولی با این اشکال نیز روبه‌رو است که نتایج حاصله از آزمون مجدد می‌تواند تحت تأثیر تمرین (تجربه) و حافظه آزمودنی قرار گرفته و بنابراین منجر به تغییر در پایایی ابزار اندازه‌گیری گردد.

• فرم‌های موازی یا استفاده از آزمون‌های همتا

یکی از روش‌های متداول ارزیابی پایایی در اندازه‌گیری‌های روانی- تربیتی استفاده از آزمون‌های همتا است که شباهت زیادی با یکدیگر دارند ولی کاملاً یکسان نیستند. ضریب پایایی بر اساس همبستگی نمرات دو آزمون همتا به دست می‌آید. خطاهای اندازه‌گیری و کمبود یا عدم وجود همسانی میان دو فرم همتای آزمون (تفاوت در سؤالات یا محتوای آن‌ها) پایایی را کاهش می‌دهد. ممکن است فرم‌های همتا به‌طور هم‌زمان ارائه نگردد. در این صورت پایایی هم شامل ثبات و همسانی می‌شود. اگر فاصله اجرای فرم‌های همتا زیاد باشد و تغییراتی در ضریب پایایی مشاهده گردد، ممکن است که این تغییر مربوط به عوامل فردی (آزمودنی‌ها)، همتا نبودن آزمون‌ها و یا ترکیبی از هر دو باشد (Webb et al., 2006).

• دونیمه آزمون^۱

این روش برای تعیین هماهنگی درونی یک آزمون به کار می‌رود. برای محاسبه ضریب پایایی با این روش، سؤال‌های (اقلام) یک آزمون را به دونیمه تقسیم نموده و سپس نمره سؤال‌های نیمه اول و نمره سؤال‌های نیمه دوم را محاسبه می‌کنیم. پس از آن همبستگی بین نمرات این دونیمه را به‌دست می‌آوریم. ضریب همبستگی به‌دست‌آمده برای ارزیابی پایایی کل آزمون مورداستفاده قرار می‌گیرد. ضریب اسپیرمن براون فرمی از سنجش پایایی دونیمه آزمون است که برای برآورد پایایی کل آزمون به کار می‌رود. همبستگی پیرسون بین دونیمه آزمون، پایایی نیمه‌ای از ابزار یا مقیاس را برآورد می‌کند، اما ضریب پیشگویی اسپیرمن، پایایی کل آزمون را بر اساس نیمه‌های آن برآورد می‌کند. مقدار این ضریب بیشتر از ضریب پایایی نیمه‌های آزمون (X_1, X_2) است و معمولاً مساوی با دو برابر ضریب نیمه آزمون تقسیم بر مقدار یک به اضافه پایایی نیمه دیگر آزمون خواهد بود. فرمول متداول ضریب پایایی کل آزمون با استفاده از فرمول اسپیرمن- براون عبارت است از (Webb et al., 2006):

1. Split half reliability

$$SB(X_1X_2) = \frac{2r_{X_1X_2}}{1+r_{X_1X_2}} \quad (۸-۳)$$

که در آن $SB(X_1X_2)$ ضریب همبستگی پیرسون بین فرم‌های X_1 و X_2 است.

• کادر- ریچاردسون^۱

این روش شامل آزمون‌های همگنی (ثبات بین سؤالات) می‌باشد که نسبت پاسخ‌های صحیح به غلط را در هر سؤال ابزار یا آزمون مدنظر قرار می‌دهد و برای آزمون‌هایی که پاسخ آن‌ها به شکل صحیح و غلط می‌باشد مفید است و در صورتی که کد صفر به پاسخ‌های غلط و کد یک به پاسخ‌های صحیح داده شود به کار رود (Sechrest, 1984). کادر و ریچاردسون دو فرمول را برای محاسبه توافق درونی در پایایی ارائه نموده‌اند. فرمول اول برآوردی از میانگین ضرایب پایایی برای تمام طرق ممکن دونیمه آزمون را به دست می‌دهد. این ضریب برابر است با:

$$r_1 = \frac{n}{n-1} \left(1 - \frac{\sum pq}{S^2} \right) \quad (۹-۳)$$

که در آن n تعداد سؤال‌ها، p نسبت پاسخ‌های صحیح، q نسبت پاسخ‌های غلط و S واریانس نمرات کل می‌باشد. برای استفاده از فرمول دوم باید سطح دشواری سؤال‌های آزمون یکسان باشد:

$$r_2 = \frac{n}{n-1} \left(1 - \frac{\bar{x}(n-\bar{x})}{nS^2} \right) \quad (۱۰-۳)$$

که در آن n تعداد سؤال‌ها، S واریانس نمره‌های کل و $\bar{x}$ میانگین نمرات می‌باشد. برای محاسبه ضریب پایایی با این روش، نیازی به داشتن نسبت پاسخ‌های صحیح و غلط نیست، بلکه در دست داشتن واریانس نمره‌های کل و میانگین نمرات کفایت می‌کند.

1. Kuder- Richardson

• آلفای کرونباخ^۱

جهت اعتبار سنجی نظرات تهیه‌شده توسط پرسشنامه از کارشناسان و افراد صاحب‌نظر معمولاً از ضریب کرونباخ استفاده می‌شود. ضریب آلفای کرونباخ توسط کرونباخ ابداع‌شده و یکی از متداول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری اعتمادپذیری و یا پایایی پرسشنامه‌هاست. منظور از اعتبار یا پایایی پرسشنامه این است که اگر صفت‌های موردسنجش باهمان وسیله و تحت شرایط مشابه و در زمان‌های مختلف مجدداً اندازه‌گیری شوند، نتایج تقریباً یکسان حاصله شود. ضریب آلفای کرونباخ، برای سنجش میزان تک‌بعدی بودن نگرش‌ها، عقاید و... بکار می‌رود. درواقع می‌خواهیم ببینیم تا چه حد برداشت پاسخگویان از سؤالات یکسان بوده است (شیعه، ۱۳۸۴).

با استفاده از تعریف آلفای کرونباخ می‌توان نتیجه گرفت (شمسایی زفرقندی، ۱۳۹۱):

- هر مقدار همبستگی مثبت بین سؤالات بیشتر شود، میزان آلفای کرونباخ بیشتر خواهد شد و بالعکس.
- هر مقدار واریانس میانگین سؤالات بیشتر شود آلفای کرونباخ کاهش پیدا خواهد کرد.
- افزایش تعداد سؤالات تأثیر مثبت و یا منفی (بسته به نوع همبستگی بین سؤالات) بر میزان آلفای کرونباخ خواهد گذاشت.
- افزایش حجم نمونه باعث کاهش واریانس میانگین سؤالات در نتیجه، باعث افزایش آلفای کرونباخ خواهد شد.
- بدیهی است هر قدر شاخص آلفای کرونباخ به یک نزدیک‌تر باشد، همبستگی درونی بین سؤالات بیشتر و در نتیجه پرسش‌ها همگن‌تر خواهند بود. کرونباخ ضریب پایایی ۴۵٪ را کم، ۷۵٪ را متوسط و قابل قبول و ضریب ۹۵٪ را زیاد

1. Cronbach's Alpha

پیشنهاد کرده است. بدیهی است در صورت پایین بودن مقدار آلفا، بایستی بررسی شود که با حذف کدام پرسش‌ها مقدار آن را می‌توان افزایش داد.

این روش معمول‌ترین ضریب پایایی ثبات داخلی است که در بیشتر مطالعات از آن استفاده می‌شود و معرف میزان تناسب گروهی از آیتم‌هایی است که یک سازه را می‌سنجند. مقدار آلفا باید حداقل ۰,۷ و یا بیشتر باشد تا یک سؤال بتواند در یک ابزار باقی بماند و بسیاری از محققان نقطه ۰,۸ را برای باقی ماندن یک سؤال در ابزار ضروری می‌دانند. پایایی برابر با ۰,۷ ثبات ۷۰ درصدی امتیازات یا نمرات به‌دست‌آمده از یک ابزار را نشان می‌دهد (Cronbach and Meehl, 1955) و روشی برای محاسبه ثبات درونی بر اساس میانگین همبستگی درونی سؤالات می‌باشد و هنگامی که مقیاسی از نوع مقیاس لیکرت در ابزار اطلاعات به کار رود محاسبه مقدار ضریب آلفا جهت تعیین پایایی ثبات درونی امری ضروری است (Downing, 2004). آلفای کرونباخ برابر با متوسط مقدار ضریب پایایی است که از کل ترکیب‌های ممکن آیتم‌های ابزار، پس‌ازآنکه به دونیمه تقسیم شود به دست می‌آید (Cronbach, 1951). این روش برای محاسبه توافق درونی در پایایی ابزار اندازه‌گیری ازجمله پرسشنامه‌ها یا آزمون‌هایی که خصیصه‌های مختلف را اندازه‌گیری می‌کند بکار می‌رود. در این‌گونه ابزارها، پاسخ هر سؤال می‌تواند مقادیر عددی مختلف را اختیار کند.

برای محاسبه ضریب آلفای کرونباخ ابتدا باید واریانس نمره‌های هر زیرمجموعه سؤال‌های پرسشنامه (یا زیر آزمون) و واریانس کل را محاسبه کرد. سپس با استفاده از فرمول زیر مقدار ضریب آلفا را محاسبه کرد.

$$r_a = \frac{j}{j-1} \left(1 - \frac{\sum S_j^2}{S^2} \right) \quad (۱۱-۳)$$

که در آن j تعداد زیرمجموعه سؤال‌های پرسشنامه یا آزمون، S_j واریانس زیر آزمون j ام و S واریانس کل آزمون می‌باشد.

۳-۳-۷-سنجش روایی

جهت تعیین روایی ابزار، روایی صوری^۱، روایی محتوی (CVR)^۲ و روایی سازه^۳ ابزار یا سنجه مورد استفاده باید بررسی و ارزیابی گردد. در پرسشنامه‌های محقق ساخته، پس از تهیه بانک سؤالات و تهیه پرسشنامه موردنظر گروه پژوهش، نیز تعیین روایی صورت می‌گیرد.

- روایی صوری: قضاوت عینی در مورد ساختار ابزار است و از نگاه گروه هدف به این سؤالات. روایی صوری، پاسخ می‌دهد که آیا ابزار طراحی شده به صورت ظاهری باهدف مطالعه مرتبط است؟ آیا افرادی که قرار است به ابزار پاسخ دهند، با عبارات و جمله‌بندی ابزار موافق هستند؟ آیا برداشت افراد غیرمتخصص همان برداشتی است که موردنظر محقق است؟ آیا اجزاء و کلیت ابزار قابل پذیرش پاسخ‌دهندگان می‌باشد؟ (Drost, 2011)

- روایی محتوی: به طور معمول به چنین سؤالاتی پاسخ می‌دهد که آیا ابزار طراحی شده همه جوانب مهم و اصلی مفهوم مورد اندازه‌گیری را در بردارد؟ آیا سازه‌های ابزار ندارد، پاسخ دهند. بهتر آن است که از تعداد ارزیابان بیشتری (بالتر از ۱۰ نفر) استفاده شود. CVR بر اساس نظر داوران به قرار ذیل محاسبه می‌شود:

$$CVR = \frac{\left(ne - \frac{N}{2} \right)}{N / 2} \quad (۱۲-۳)$$

که در آن ne تعداد ارزیابانی است که گویه موردنظر را ضروری یا سودمند می‌دانند و N تعداد کل ارزیابان یا داورانی است که یک گویه را بررسی کرده‌اند (Drost, 2011).

- روایی سازه: مفهوم مرکبی است که مستلزم بررسی چند مرحله است و با روایی ضابطه که شامل روایی هم‌زمان، روایی پیشگویی‌کننده، روایی تمایز و روایی

1. Face Validity ratio
2. Content Validity Ratio
3. Construct Validity Ratio

همگرایی است سنجیده می‌شود که بررسی آن‌ها در این بحث نمی‌گنجد (Drost, 2011).

۳-۴- روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

۳-۴-۱- فرایند تحلیل سلسله مراتبی

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌عنوان یکی از روش‌های موردتوجه محققین و کارشناسان برای رتبه‌بندی و مکان‌یابی در کاربردهای مختلفی بکار رفته است. در بین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرایند تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP) بیش از همه در حل مسائل رتبه‌بندی موردتوجه قرار گرفته است به‌گونه‌ای که تاکنون در طی ۱۵ سال بیش از ۵۰۰۰ مرجع علمی از مطالعه ساعتی (۱۹۹۴) بنیان‌گذار روش AHP نام برده‌اند.

توماس ال ساعتی چهار اصل زیر را به‌عنوان اصول فرایند تحلیل سلسله مراتبی بیان نموده و کلیه محاسبات، قوانین و مقررات را بر این اصول بنانهاده است. این اصول عبارتند از:

اصل ۱: شرط معکوسی^۲ - اگر ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر n باشد ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر 1/n خواهد بود.

اصل ۲: اصل همگنی^۳ - عنصر A با عنصر B باید همگن و قابل‌مقایسه باشند به‌بیان دیگر برتری عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد.

اصل ۳: وابستگی^۴ - هر عنصر سلسله مراتبی به عنصر سطح بالاتر خود می‌تواند وابسته باشد و به‌صورت خطی این وابستگی می‌تواند تا بالاترین سطح ادامه داشته باشد.

اصل ۴: انتظارات^۱ - هرگاه تغییری در ساختمان سلسله مراتبی رخ دهد فرایند ارزیابی باید مجدداً انجام گیرد (قدسی پور، ۱۳۸۳).

1. Analytic Hierarchy Process
2. Reciprocal Condition
3. Homogeneity
4. Dependency

همه معیارها و عوامل شناسایی شده، در ماتریس مقایسه دوجه‌دو که مبین اولویت‌های نسبی شاخص‌ها است، بیان می‌شوند؛ بنابراین مقادیر عددی مربوط به اولویت‌بندی و یا اهمیت نسبی یک شاخص نسبت به دیگری می‌باید اختصاص دهی شده باشند. با تحقیقاتی که توسط Saaty و Vargas (۱۹۹۱) انجام گرفت، یک دامنه برای مقایسه معیارها پیشنهاد شد که شامل مقادیر عددی ۱ تا ۹ می‌شود.

هرکدام از این اعداد نشان‌دهنده درجه اهمیت هستند به‌طوری‌که مقدار «۱» نشان‌دهنده اهمیت برابر و مقدار «۹» نشان‌دهنده اهمیت بسیار زیاد یک شاخص نسبت به دیگری است. در مرحله بعدی، مقادیر اولویت‌بندی اختصاص داده شده برای تعیین رتبه‌بندی عوامل مربوط که همان مرحله وزن دهی است، ترکیب و تلفیق می‌شوند. فرایند تحلیل سلسله مراتبی با تجزیه‌ی مسائل مشکل و پیچیده آن‌ها را به شکلی ساده تبدیل کرده و به حل آن‌ها می‌پردازد. این روش کاربردهای فراوانی در مسائل اقتصادی و اجتماعی پیدا کرده است و در سال‌های اخیر در امور مدیریتی نیز به کار رفته است.

در AHP برای حل یک مسئله یا تصمیم‌گام‌های زیر باید برداشته شود:

۱. ساختن سلسله مراتبی

۲. محاسبه‌ی وزن

۳. سازگاری سیستم

البته مقادیر مربوط به مقایسه دوجه‌دو می‌باید کاملاً به‌صورت کارشناسی شده تعیین شوند و مقادیری اختیاری در نظر گرفته نشوند؛ اما اولویت‌ها و سلاقی افراد مختلف، متناقض و ناجور بوده و وابستگی این روش به آرای تحلیل‌گران ممکن است باعث آشفتگی و انحراف در محاسبات بشود. به همین دلیل، یک نمایه عددی منحصربه‌فرد برای بررسی استحکام ماتریس مقایسه دوجه‌دو مهیا کرد و نسبت CR به‌عنوان نسبت

نمایه استحکام^۱ (CI) بر نمایه تصادفی (RI)^۲ تعریف شد (ترابی و مهدی نژاد نوری، ۱۳۹۲):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۱۳-۳)$$

مقدار نمایه تصادفی را می‌توان از جدول زیر برآورد کرد.

جدول (۲-۳) نمایه تصادفی

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۵۱

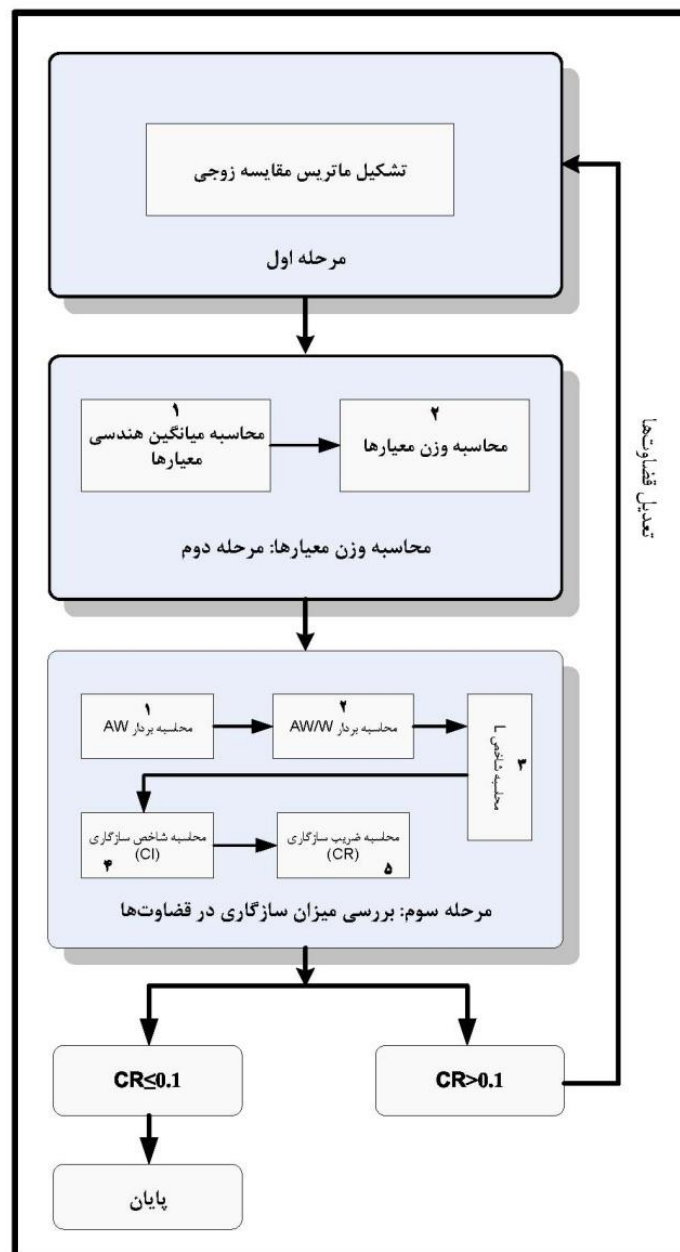
همچنین مقدار نمایه استحکام مستقیماً از ماتریس اولویت‌بندی شده و با استفاده از رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (۱۴-۳)$$

که در آن $\lambda_{\max}$ بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس اولویت‌بندی و n ، مرتبه ماتریس هستند. طبق دانش و تجربیات حاصل از عملی کردن‌های مختلف AHP، ساعتی (Saaty, 1980) پیشنهاد کرده است که اگر نسبت استحکام از مقدار «۰/۱» تجاوز کند، نیاز است که ماتریس مقایسه بازنگری شود.

به‌طور خلاصه، فرآیند ارزش‌گذاری معیارها و زیرمعیارها با استفاده از تکنیک AHP در شکل (۳-۴) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود فقط موقعی که $CR < 0.1$ باشد نتایج AHP قابل قبول و معتبر هستند.

1. Coagulation Index
2. Random Index



شکل (۳-۴) فرآیند ارزش‌گذاری معیارها و زیرمعیارها با استفاده از تکنیک AHP

• مزایای فرایند تحلیل سلسله مراتبی

فرایند AHP طوری طراحی شده که با ذهن و طبیعت بشری مطابق و همراه می‌شود و با آن پیش می‌رود. این فرایند مجموعه‌ای از قضاوت‌ها (تصمیم‌گیری‌ها) و ارزش‌گذاری‌های شخصی به یک شیوهی منطقی می‌باشد به‌طوری‌که می‌توان گفت تکنیک از یک طرف وابسته به تصورات شخصی و تجربه جهت شکل دادن و طرح‌ریزی سلسله مراتبی یک مسئله بوده و از طرف دیگر به منطق، درک و تجربه جهت تصمیم‌گیری و قضاوت نهایی مربوط می‌شود. کلیه افراد اعم از دانشمندان اجتماعی و فیزیکی، مهندسان و سیاستمداران و حتی افراد عامی می‌توانند این روش را بدون استفاده از متخصصین به کار ببرند (آقاپاھر، ۱۳۹۵). امتیاز دیگر فرایند تحلیل سلسله مراتبی این است که ساختار و چهارچوبی را جهت همکاری و مشارکت گروهی در تصمیم‌گیری‌ها یا حل مشکلات مهیا می‌کند (قدسی پور، ۱۳۸۳).

توماس ال ساعتی در یکی از کتاب‌های خود تحت عنوان تصمیم‌گیری برای مدیران که در سال ۱۹۹۰ به چاپ رسانده است، ویژگی‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی را به شرح زیر بیان می‌کند:

۱- یگانگی و یکتایی مدل^۱ - فرایند تحلیل سلسله مراتبی یک مدل یگانه، ساده و انعطاف‌پذیر برای حل محدوده وسیعی از مسائل بدون ساختار است که به راحتی برای همگان قابل درک می‌باشد.

۲- پیچیدگی^۲ - برای حل مسائل پیچیده، فرایند تحلیل سلسله مراتبی هم نگرش سامانه‌ای و هم تحلیل جزءبه‌جزء را به صورت توأم به کار می‌برد. عموماً افراد در تحلیل مسائل یا کل‌نگری کرده و یا به جزئیات پرداخته و کلیات را رها می‌کنند درحالی‌که فرایند تحلیل سلسله مراتبی هر دو بعد را باهم به کار می‌بندد.

1. Unity
2. Complexity

- ۳- همبستگی و وابستگی متقابل^۱ - فرایند تحلیل سلسله مراتبی وابستگی را به‌صورت خطی در نظر می‌گیرد ولی برای حل مسائلی که اجزاء به‌صورت غیرخطی وابسته‌اند نیز به کار گرفته می‌شود.
- ۴- ساختار سلسله مراتبی^۲ - این فرایند اجزای یک سیستم را به‌صورت سلسله مراتبی سازمان‌دهی می‌کند که این نوع سازمان‌دهی با تفکر انسان تطابق داشته و اجزاء در سطوح مختلف طبقه‌بندی می‌شوند.
- ۵- اندازه‌گیری^۳ - فرایند تحلیل سلسله مراتبی مقیاسی برای اندازه‌گیری معیارهای کیفی تهیه‌کرده و روشی برای تخمین و برآورد اولویت‌ها فراهم می‌کند.
- ۶- سازگاری^۴ - فرایند تحلیل سلسله مراتبی سازگاری منطقی قضاوت‌های استفاده شده در تعیین اولویت‌ها را محاسبه کرده و ارائه می‌نماید.
- ۷- تلفیق^۵ - این فرایند منجر به برآورد رتبه‌ی نهایی هر گزینه می‌شود.
- ۸- تعادل^۶ - فرایند تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌های وابسته به فاکتورها در یک سیستم را در نظر گرفته و بین آن‌ها تعادل برقرار می‌کند و فرد را قادر می‌سازد که بهترین گزینه را بر اساس اهدافش انتخاب کند.
- ۹- قضاوت و توافق گروهی^۷ - این فرایند بر روی توافق گروهی اصرار و پافشاری ندارد ولی تلفیقی از قضاوت‌های گوناگون را می‌تواند ارائه دهد.
- ۱۰- تکرار فرایند^۸ - این فرایند فرد را قادر می‌سازد که تعریف خود را از یک مسئله تصحیح کند و قضاوت و تصمیم خود را بهبود دهد (قدسی پور، ۱۳۸۳).
- معایب فرایند تحلیل سلسله مراتبی

1. Interdependence
 2. Hierarchy structuring
 3. Measurement
 4. Consistency
 5. Synthesis
 6. Tradeoffs
 7. Judgment & Consensus
 8. Process Repetition

۱- پیاده‌سازی روش تا کسب رتبه نهایی خسته‌کننده و وقت‌گیر است. بررسی ناسازگاری در هر گام اگر نرم‌افزار برای تعیین مدار ویژه در دسترس نباشد نیازمند تلاش قابل ملاحظه‌ای است.

۲- مقیاس رتبه دهی نه سطحی، همیشه اهمیت‌های مختلف را به‌خوبی بیان نمی‌کند. چندین مقیاس رتبه دهی دیگر پیشنهاد شده‌اند که ممکن است کاربردی‌تر باشند.

۳- در روش AHP هم‌زمان با افزایش تعداد گزینه‌ها و معیارها، حجم محاسبات نیز شدیداً افزایش می‌یابد.

۴- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی اتکای زیادی به دانش و تجربه ارزیاب یا کارشناس دارد که خود از معایب آن به شمار می‌رود.

۵- هنگامی که معیارها همپوشانی دارند یعنی به هم وابستگی دارند، مقایسه معیارها به‌درستی انجام نخواهد شد.

۶- AHP در مورد مسائل تصمیم‌گیری که فضای تصمیم‌گیری در آن‌ها پیوسته است کاربرد چندانی ندارد (محسنی و همکاران، ۱۳۹۰).

۳-۴-۲- روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

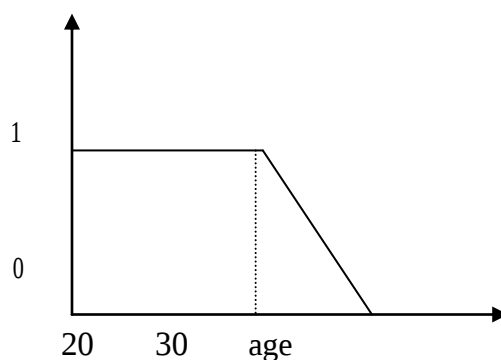
• منطق فازی

مؤثرترین روش برای تبدیل معیارهای کیفی به کمی استفاده از منطق فازی است. شالوده و اساس منطق فازی در سال ۱۹۶۵ با ارائه مقاله‌ای تحت عنوان مجموعه‌های نادقیق توسط دکتر لطفی زاده، استاد ایرانی‌الاصل (دانشگاه برکلی کالیفرنیا)، پایه‌گذاری شده است (Zadeh, 1965). در منطق فازی درستی یا نادرستی هر امری نسبی است درست برخلاف منطق باینری (جبر بول) که در آن عملیات منطقی دارای دو مقدار ۰ و ۱ و یا درست در مقابل نادرست است. در اصل، منطق باینری زیرمجموعه‌ای از منطق فازی به حساب می‌آید. در منطق فازی تابع عضویت دارای درجه‌ای بین ۰ و ۱ است و

بجه ای استفاده از یکی از اعضای مجموعه $\{0, 1\}$ از اعضای که نشانگر عضویت از ۰ تا ۱ می‌باشند استفاده می‌شود.

به‌عنوان مثال زیرمجموعه فازی سن جوانی (young) به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$\text{Young}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{age}(x) \leq 20 \\ 30 - \text{age}(x), & \text{if } 20 < \text{age}(x) < 30 \\ 0, & \text{if } \text{age}(x) \geq 30 \end{cases} \quad (3-15)$$



شکل (۳-۵) یک زیرمجموعه فازی

• اصول تحلیل سلسله مراتبی فازی

از آنجایی که روش AHP استاندارد برای مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیارها، نیازمند ارائه نظرات کارشناسان به‌صورت صریح و با استفاده از اعداد دقیق می‌باشد، به نظر می‌رسد کاربردهای اخیر روش AHP استاندارد دارای مشکل عدم در نظر گرفتن عدم قطعیت و خطا در نظرات کارشناسان می‌باشند.

بنابراین لازم است در روش AHP به نحوی عدم قطعیت ناشی از قضاوت انسانی در داده‌های ورودی منعکس شود. برای حل این نقطه‌ضعف استفاده از منطق فازی (Fuzzy) برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در حل مسائل مکان‌یابی پیشنهاد شده است.

در این راستا تحلیل سلسله مراتبی فازی جهت حل مسائل تصمیم‌گیری سلسله مراتبی AHP توسعه یافت.

روش AHP عموماً شامل دو رده سلسله مراتبی می‌باشد که به ترتیب از پایین به بالا عبارتند از:

۱. مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها

۲. مقایسه زوجی معیارها نسبت به هدف اصلی.

در روش Fuzzy-AHP هر یک از رده‌های سلسله مراتبی می‌توانند به صورت فازی ارائه شوند (عیسوی و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین در روش Fuzzy-AHP ابتدا لازم است مقایسه‌های زوجی با استفاده از عبارات‌های زبانی انجام شود. برای مکان‌یابی پیشنهاد می‌شود از ۵ عبارت زبانی که توسط Chen و Howang (۱۹۹۲) ارائه شده استفاده شود. برای مواجهه با رویکرد فازی دو گام مورد نیاز است:

۱. تبدیل عبارات زبانی به اعداد فازی که در جدول زیر اعداد فازی مرتبط با هر یک از عبارات‌های زبانی ارائه شده است.

۲. تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی (غیرفازی) که توصیف آن به همراه تجمیع نمودن نظرات کارشناسان مختلف در ادامه توصیف می‌شود.

چنانچه ماتریس $\tilde{A}$ در رابطه ذیل نشان‌دهنده ماتریس مقایسه زوجی در مدل Fuzzy-AHP باشد هر المان آن با استفاده از اعداد فازی ارائه می‌شود. برای نمونه در رابطه زیر، u_{12} و m_{12} و l_{12} به ترتیب نشان‌دهنده حد بالا، وسط و پایین مقایسه زوجی المان ۱ نسبت به ۲ می‌باشند.

$$A_{n \times n} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & (x_{1n}^{L, M, U}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (x_{n1}^{L, M, U}) & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (۱۶-۳)$$

جدول (۳-۳) اعداد فازی نسبت داده شده به ترم‌های زبانی

عدد فازی	شرح	قضاوت زبانی
(0.0,1.2)	معیار A نسبت به معیار B خیلی بی‌اهمیت است	خیلی بی‌اهمیت (VU)
(1,2,5,4)	معیار A نسبت به معیار B کم اهمیت است	کم اهمیت (LI)
(3,5,7)	معیار A نسبت به معیار B دارای اهمیت برابر است	اهمیت برابر (EI)
(6,7,5,9)	معیار A نسبت به معیار B اهمیت بیشتری دارد	اهمیت بیشتر (MI)
(8,9,10,10)	معیار A نسبت به معیار B خیلی با اهمیت‌تر است	خیلی با اهمیت (VI)

برای نرمال نمودن اعداد فازی در ماتریس مقایسه زوجی معیارها، از روش میانگین هندسی استفاده می‌شود. با فرض اینکه هر المان ماتریس A با عدد مثلثی (a,b,c) نشان داده می‌شود، اعداد فازی نرمال شده هر معیار با استفاده از معادلات زیر محاسبه می‌شود.

$$a_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (۱۷-۳)$$

$$a = \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (۱۸-۳)$$

برای کلیه مقادیر $i=1,2,\dots,n$

به طریق مشابه c_i ، b_i و c برای دیگر اعداد فازی به دست می‌آید. در نهایت مقدار عددی نرمال شده معیار i یعنی $\mu_i(z)$ برابر است با:

$$\mu_i(z) = \left(\frac{a_i}{c}, \frac{b_i}{b}, \frac{c_i}{a} \right) \quad (۱۹-۳)$$

برای کلیه مقادیر $i=1,2,...,n$

که در آن a_i میانگین هندسی المان اول اعداد فازی مربوط به مقایسه معیار i به سایر معیارها a_{ij} ($j=1,2,...,n$) المان اول عدد فازی مربوط به مقایسه معیار i به معیار j می‌باشد. سایر المان‌ها به صورت مشابه تعیین می‌شوند. پس از تشکیل ماتریس نرمال شده معیارها، گام دوم یعنی تبدیل اعداد فازی به غیر فازی لازم است انجام شود. همچنین نظرات کارشناسان مختلف نیز در ارزیابی گروهی باید به یک نظر واحد تبدیل گردد. برای این منظور در این پژوهش از روش مرکز جرم به دلیل سادگی و کارایی بالای آن به صورت ذیل استفاده می‌شود (Buckley, 1985).

$$z^*_i = \frac{\sum_{k=1}^K \int (\mu_i(z) \cdot z dz)_k}{\sum_{k=1}^K \int (\mu_i(z) dz)_k} \quad (۲۰-۳)$$

برای کلیه مقادیر $i=1,2,...,n$

که در آن n تعداد معیارها، w_{ij} وزن نرمال شده گزینه j نسبت به معیار i و OW_j وزن کلی گزینه j است. روش منطق فازی علاوه بر مزایایی که دارد دارای معایبی نیز هست که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

- مزایای تئوری فازی
- محدودیتی در تعداد معیارهایی که می‌توانند در نظر گرفته شوند در مسئله وجود ندارد چون تعداد معیارها تأثیر زیادی در پیچیدگی تحلیل ندارد.
- انتخاب‌های زیادی از عبارت‌های کلامی برای بیان رتبه‌بندی واقعی وجود دارد؛ بنابراین ارزیاب محدوده وسیعی از انتخاب‌ها را پیش رو دارد (محسنی و همکاران، ۱۳۹۰).

- معایب تئوری فازی
 - این روش مفهوم ناسازگاری را در رتبه‌بندی در نظر نمی‌گیرد.
 - اگر چندین تصمیم‌گیرنده وجود داشته باشد ناسازگاری تخمین‌های یک نفر سبب بروز ناسازگاری کلی می‌شود.
 - کاربرد تئوری فازی در یک مسئله هرچند ساده است اما نیازمند آگاهی حداقلی از تئوری فازی است. به همین علت یک تصمیم‌گیرنده یا ارزیاب باید برای استفاده از این روش تعلیم داده شود.
 - استفاده از تئوری فازی حل مدل تصمیم‌گیری را وقت‌گیر می‌کند (محسنی و همکاران، ۱۳۹۰).

۳-۴-۳- میانگین‌گیری وزن‌دار مرتب (OWA)^۱

روش‌های ارزیابی چندمعیاره در GIS معمولاً شامل مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی مکانی در قالب نقشه‌ها و لایه‌ها می‌شوند؛ اما مسئله‌ای که معمولاً در تصمیم‌گیری‌های مکانی به وجود می‌آید چگونگی ترکیب نقشه‌های معیار با مجموعه‌ای از مقادیر توصیفی (وزن‌ها) و همچنین اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان است. تصمیم‌گیری‌های مکانی می‌باید منجر به انتخاب یک (چند) گزینه مکانی بشوند. هرکدام از این گزینه‌ها، $(i = 1, 2, \dots, m)$ با یک دسته مقادیر استانداردسازی شده، $(a_{ij} \in [0, 1])$ ، توصیف می‌شوند.

مسئله ارزیابی چند معیاره همچنین شامل مجموعه‌ای اولویت به‌عنوان وزن‌های معیار $(W_j \in [0, 1])$ می‌شود. با داشتن لایه‌های نقشه و وزن‌های معیار، عملگر ترکیبی OWA به محل سلول i مجموعه‌ای از وزن‌های ترتیبی $V = V_1, V_2, \dots, V_n$ اختصاص می‌دهد به‌طوری‌که برای هر $j = 1, 2, \dots, n$ داشته باشیم:

$$\sum_{j=1}^n v_j = 1, \quad v_j \in [0, 1] \quad (3-21)$$

1. Ordered Weighted Averaging

عملگر ترکیبی OWA به صورت زیر تعریف می شود (Yager, 1988):

$$OWA_i = \sum_{j=1}^n \left(u_j v_j / \sum_{j=1}^n u_j v_j \right) z_{ij} \quad (۲۲-۳)$$

که در آن $z_{in} \geq z_{i1} \geq z_{i2} \geq \dots$ با مرتب کردن مقادیر توصیفی $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$ به دست می آید و u_j همان وزن معیار است که بر اساس ترتیب z_{ij} ها مرتب سازی شده است. همان طور که ملاحظه می شود در این روش از دو نوع وزن استفاده می شود (Drobne and Lisec, 2009).

وزن های معیار و وزن های ترتیبی. وزن های معیار نشان دهنده اهمیت نسبی هر کدام از معیارهای ارزیابی هستند (لایه ها و نقشه ها)؛ اما وزن های ترتیبی بر اساس موقعیت مکانی سلول های لایه ها و نقشه ها اختصاص دهی می شوند. بدین معنی که تمامی سلول هایی که در یک موقعیت در چند نقشه معیار قرار گرفته اند دارای وزن های ترتیبی یکسان خواهند بود؛ بنابراین در یک نقشه همه سلول ها دارای یک وزن معیار مشترک هستند، اما وزن ترتیبی آن ها متفاوت خواهد بود. معادله بالا را می توان همان ترکیب خطی وزن دار متداول دانست که در آن وزن های معیار تغییر یافته اند.

• ترکیب OWA با کمیت سنج های مفهومی فازی

با وجود مجموعه ای از نقشه های معیار و یک کمیت سنج مفهومی فازی، Q ، می توان با استفاده از یک عبارت در ارتباط با معیارهای ارزیابی به ترکیب نقشه ها پرداخت. مثلاً با عباراتی مانند ذیل می توان به ترکیب معیارها پرداخت: «بیشتر معیارها باید برآورده شوند»، «همه معیارها می باید برآورده شوند»، «حداقل نیمی از معیارها می باید برآورده شوند». این نوع از روش ها را ارزیابی چند معیاره هدایت شده با کمیت سنج های فازی می نامند (Yager, 1988). این روش شامل سه گام اصلی می شود (عظیمی حسینی و همکاران، ۱۳۹۳):

۱. مشخص کردن نوع کمیت سنج Q
۲. تولید یک دسته از وزن‌های ترتیبی مربوط به Q
۳. محاسبه و ارزیابی مربوط به موقعیت هر کدام از سلول‌ها با استفاده از تابع ترکیبی.

• کمیت سنج‌های مفهومی

بر اساس نوع عبارات مفهومی می‌توان کمیت سنج‌ها را به دودسته تقسیم‌بندی کرد: کمیت سنج‌های مفهومی مطلق و کمیت سنج‌های مفهومی نسبی (Zadeh, 1965). عباراتی مانند «حداقل ۴»، «حدود ۵»، «تقریباً ۱۰»، «بیشتر از ۱۰ نباشد» و غیره نمونه‌هایی از کمیت سنج‌های مطلق هستند. کمیت سنج‌های مفهومی نسبی مبین کمیت نسبی مانند «اغلب»، «تعداد زیادی»، «اندکی»، «تقریباً همگی»، «تقریباً نصف»، «حدود ۶۰ درصد» و غیره هستند. آن‌ها را می‌توان به‌عنوان دسته‌های فازی در فاصله واحد $[0,1]$ در نظر گرفت. درواقع این کمیت سنج‌های مفهومی برای اندازه‌گیری تناسب مجموعه استفاده می‌شوند که در آن‌ها «صفر» بیانگر 0% و «یک» به معنی «تناسب 100% » خواهد بود. بنابراین اگر Q یک کمیت سنج مفهومی باشد، می‌تواند به‌عنوان یک دسته فازی Q از فاصله واحد $[0,1]$ ارائه شود که برای هر $p \in [0,1]$ $Q(p)$ مبین درجه سازگاری p با مفهوم بیان شده توسط Q خواهد بود. مثلاً اگر عبارت مفهومی Q برابر با «اکثر» در نظر گرفته شود و $Q(0.95) = 1$ پس می‌توان گفت که 95% کاملاً با عبارت مفهومی «اکثر» سازگاری دارد و اگر $Q(0.60) = 0.75$ به این معنی خواهد بود که 60% فقط 75% با مفهوم «اکثر» سازگاری دارد. نمی‌توان به‌طور دقیق بیان کرد که کدام یک از انواع کمیت سنج‌های مفهومی برای ارزیابی چند معیار مناسب‌ترند (Malczewski, 2006).

یکی از کلاس‌های کمیت سنج‌های نسبی، کمیت سنج‌های یکنواخت افزایشی منظم (RIM) است. برای تعریف این کمیت سنج‌ها معادله مقابل به کار گرفته می‌شود:

$$Q(p).Q(p)=P^\alpha, \alpha > 0 \quad (23-3)$$

به عنوان دسته فازی در بازه $[0,1]$ ارائه شده است. با تغییر مشخصه α می توان انواع مختلفی از کمیت سنج ها و عملگرهای آنها را به دست آورد. اگر $\alpha=1$ ، $Q(p)$ متناسب با α خواهد بود و بنابراین متناظر با کمیت سنج «نصف» (Half) می شود. با میل کردن α به سمت صفر، کمیت سنج $Q(p)$ بیانگر یکی از کرانهایش خواهد بود (عبارت «حداقل یکی» (At Least One) که با عملگر MAX مطابق است. از طرف دیگر با میل کردن α به سمت بی نهایت، کمیت سنج $Q(p)$ کران دوم خود را ارائه می کند (عبارت «همگی» (All) که برابر با عملگر MIN است.

• وزن های ترتیبی

با استفاده از کمیت سنج های فازی می توان به تولید وزن های ترتیبی پرداخت. این وزن ها بر اساس کمیت سنج RIM هستند و آنها را می توان به صورت رابطه زیر تعریف کرد.

$$v_j = \left(\frac{\sum_{k=1}^j u_k}{\sum_{k=1}^n u_k} \right)^\alpha - \left(\frac{\sum_{k=1}^{j-1} u_k}{\sum_{k=1}^n u_k} \right)^\alpha \quad (24-3)$$

• وزن های معیار

روش های بسیاری برای به دست آوردن وزن های معیار، که همان اولویت های تصمیم گیرنده در ارتباط با معیارهای ارزیابی هستند، وجود دارد (رضایی، ۱۳۸۸). وزن دهی معیارها در واقع همان تعیین اهمیت نسبی شاخصه ای تأثیرگذار در یک فرایند تصمیم گیری است که می تواند به شیوه های مختلف صورت بپذیرد.

۳-۴-۴- روش OWA_AHP فازی

AHP ابزاری کلی برای ایجاد مدل سلسله مراتبی مسائل تصمیم گیری مکانی، پردازش کلی فرایند و ارزیابی هرکدام از فرایندها است. فرایند ارزیابی در AHP از ترکیب خطی وزن دار ساده برای محاسبه مقادیر هرکدام از سلول های رسترها استفاده

می‌کند. عملگرهای OWA چارچوبی کلی برای انجام پردازش‌هایی مانند AHP فراهم می‌آورند. ماهیت و ساختار این دو الگوریتم به گونه‌ای است که از ترکیب آن‌ها می‌توان برای ایجاد ابزار تصمیم‌گیری مکانی قدرتمندتر بهره برد (Yager, 1988).

از طرف دیگر عملگر OWA می‌تواند در بازه پیوسته‌ای که از کمیت سنج «همگی» تا کمیت سنج «حداقل یکی» حاصل می‌شود، قرار بگیرد. برای شناسایی محل عملگر OWA در این بازه می‌توان از دو مقدار Tradeoff و ORness استفاده کرد (Yager, 1988). Tradeoff برای اندازه‌گیری میزان جبران‌کنندگی معیارها استفاده می‌شود و نشان‌دهنده میزان جبران شونده معیاری ناکارآمد با سایر معیارهای در نظر گرفته شده است. اندازه Tradeoff مقداری بین صفر و یک است که «صفر» مبین عدم وجود جبران‌کنندگی میان معیارها و «یک» نشان‌دهنده جبران‌کنندگی کامل است. این مقدار را می‌توان به عنوان اندازه‌ای از میزان پراکندگی وزن‌های OWA تفسیر کرد (Malczewski, 2006).

همچنین با استفاده از معیار دیگری با نام ORness نیز می‌توان OWA را مورد بررسی قرارداد (Yager, 1988). مقدار ORness در بازه بین صفر و یک قرار می‌گیرد و مبین میزان شباهت یک عملگر OWA به عملگر منطقی OR در ترکیب معیارهاست. بررسی‌های انجام شده روی عملگرهای fuzzy OWA نشان داد که با تغییر میزان α می‌توان نقشه‌های متنوعی به دست آورد و آرا و اولویت‌های بسیاری از کارشناسان را برآورده ساخت (Malczewski, 2006).

بنابراین می‌توان α را به گونه‌ای انتخاب کرد که برای انتخاب یک گزینه، فقط معیارهای دارای مقادیر بهتر تأثیر داده شوند که این حالت منجر به ریسک‌پذیری بالا (مقدار ORness بالاتر) و موازنه پایین‌تر بشود. از آنجایی که تصمیم‌گیرندگان مختلف سلیقه‌های مختلف دارند و ریسک‌پذیری آن‌ها نیز متفاوت است با استفاده از OWA می‌توان یک تعادل میان ریسک تصمیم و جبران‌پذیری آن ایجاد کرد و برنامه‌ای در نظر گرفت که تعداد مشخصی از معیارها که به ترتیب دارای بیشترین مقدار هستند، در

فرایند جبرانی وارد شوند؛ اما AHP این ویژگی‌های عملگرهای OWA را ندارد و فرایندی کاملاً جبرانی با مقدار Trade off نزدیک به یک است که همه معیارها را بر اساس وزن آن‌ها دخالت می‌دهد.

از طرف دیگر AHP دارای میزان ریسک‌پذیری ثابت و پایین Orness (نزدیک به صفر) است. بنابراین دخالت آن برای حل هر نوع مسئله‌ای درنهایت منجر به ایجاد شرایطی ثابت با جبران‌کنندگی بالا و ریسک‌پذیری پایین می‌شود؛ اما از این لحاظ که AHP امکان استفاده مستقیم از آرا کارشناسان را فراهم می‌آورد، می‌توان برای محاسبه وزن‌های معیار W_j از این روش استفاده کرد.

بعلاوه برای حل مشکل عدم توانایی AHP برای مدل‌سازی روابط، هنگامی که تعداد معیارها زیاد باشد می‌توان از فازی استفاده کرد چراکه در بسیاری از موارد، تعریف یک رابطه دقیق برای تعداد زیاد معیارها غیرممکن است. بنابراین Fuzzy OWA_AHP می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری ساختار-مبنا بشود که در آن علاوه بر تحت تأثیر قرار دادن آرا مستقیم و مبهم کارشناسان، امکان پوشش ریسک‌پذیری‌های مختلف و میزان جبران‌کنندگی معیارها فراهم شده است.

برای رسیدن به این چارچوب می‌باید فرض کنیم که دو مرحله اول AHP یعنی تشکیل ساختار سلسله مراتبی و وزن دهی نسبی اهداف با استفاده از مقایسه‌های دوبه‌دو برآورده شده است. از این مرحله به بعد مسئله با کمیت سنج‌های هدایت‌شده OWA پردازش می‌شود. مقادیر کلی مربوط به هر سلول i در دو مرحله قابل محاسبه خواهد بود؛ ابتدا مقادیر هر سلول با در نظر گرفتن هر کدام از اهداف با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$s_{iq} = \sum_{k=1}^l y_{k(q)} \cdot z_{ik(q)} \quad (25-3)$$

برای تمام $i=1,2,...,m$ و $q=1,2,...,p$

$$v_{k(q)} = \left(\sum_{k=1}^l u_{k(q)} \right)^{\alpha_{(q)}} - \left(\sum_{k=1}^{l-1} u_{k(q)} \right)^{\alpha_{(q)}} \quad (26-3)$$

که در آن $Z_{ik}(q)$ با مرتب‌سازی دوباره مقادیر معیارهای مربوط به هدف q ام، X_{ik} به دست می‌آید و $u_{k(q)}$ نیز برابر است با وزن ترتیبی معیار k ام برای هدف q ام. $\alpha_{(q)}$ نیز مشخصه کمیت سنج مفهومی مربوط به هدف q ام است. با داشتن مقادیر هرکدام از سلول‌ها برای هرکدام از اهداف $((S_{iq}),$ مقدار کلی سلول i ام را می‌توان به روش زیر محاسبه کرد:

$$AHP_{OWAi} = \sum_{q=1}^p v_{iq} Z_{iq} \quad (27-3)$$

برای همه‌ی‌ها از ۱ تا m

و همچنین

$$v_q = \left(\sum_{q=1}^p u_q \right)^{\alpha_g} - \left(\sum_{q=1}^{p-1} u_q \right)^{\alpha_g} \quad (28-3)$$

که در آن Z_{iq} با مرتب‌سازی دوباره مقادیر گزینه‌ها در سطح اهداف (S_{iq}) به دست می‌آید. u_q نیز وزن مرتب‌شده هدف q ام است و α_g نیز مشخصه متصل به کمیت سنج مفهومی مربوط به هدف کلی مسئله تصمیم‌گیری مکانی است (عظیمی حسینی و همکاران، ۱۳۹۳).

روش AHP در محیط GIS معمولاً به دو طریق استفاده می‌شود. اول، برای محاسبه وزن‌های اهمیت نسبی هرکدام از نقشه‌های معیار که معمولاً در مسائل تصمیم‌گیری مکانی که دارای تعداد گزینه‌های زیادی هستند، با مشکل مواجه می‌شود زیرا که مقایسه دوه‌دوی تمامی گزینه‌ها غیرممکن خواهد بود (Marinoni, 2004).

دوم، روش AHP را می‌توان برای ترکیب اولویت‌های هرکدام از سطوح ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌گیری استفاده کرد که گزینه‌های قابل انتخاب را نیز شامل

می‌شود. در این مورد نیز تعداد کمی از معیارها را می‌توان ارزیابی می‌شود (Malczewski, 1999).

۳-۴-۵ روش TOPSIS^۱

تکنیک تاپسیس (Topsis) یا اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راه‌حل ایده آل که نخستین بار به‌وسیله ونگ و یون در سال ۱۹۸۱ معرفی شد، یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند AHP است. از این تکنیک می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه گزینه‌های مختلف و انتخاب بهترین گزینه و تعیین فواصل بین گزینه‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده نمود.

ازجمله مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به‌کاررفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند. به عبارات دیگر می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این تکنیک استفاده نمود.

بر اساس این روش، بهترین گزینه یا راه‌حل، نزدیک‌ترین راه‌حل به راه‌حل یا گزینه ایده آل و دورترین از راه‌حل غیر ایده آل است. راه‌حل ایده آل، راه‌حلی است که بیشترین سود و کمترین هزینه را داشته باشد، درحالی‌که راه‌حل غیر ایده آل، راه‌حلی است که بالاترین هزینه و کمترین سود را داشته باشد. به‌طور خلاصه، راه‌حل ایده آل از مجموع مقادیر حداکثر هر یک از معیارها به دست می‌آید، درحالی‌که راه‌حل غیر ایده آل از مجموع پایین‌ترین مقادیر هر یک از معیارها حاصل می‌گردد.

فرآیند تاپسیس شامل مراحل زیر است:

گام (۱) ایجاد یک ماتریس تصمیم‌گیری برای رتبه‌بندی. شامل m گزینه و n معیار.

گام (۲) نرمال نمودن ماتریس تصمیم‌گیری

گام (۳) تعیین راه‌حل ایده آل مثبت و راه‌حل ایده آل منفی

گام (۴) به دست آوردن میزان فاصله هر گزینه تا ایده آل‌های مثبت و منفی

1. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

گام ۵) تعیین ضریب نزدیکی برای هر یک از گزینه‌ها
 گام ۶) رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس ضریب نزدیکی
 تکنیک‌های آنالیز چند معیاره معمولاً المان‌های تحلیل عددی را در قالب یک ماتریس کارایی و در دو مرحله به کار می‌گیرند: (۱) رتبه‌بندی، (۲) وزن دهی.
 در رتبه‌بندی، به هر کدام از معیارها با توجه به عواقب حاصل از در نظر گرفتن در مدل، یک امتیاز تخصیص داده می‌شود. گزینه‌های بهتر معمولاً امتیاز بالاتر و گزینه‌های بدتر امتیاز پایین‌تر می‌گیرند. معمولاً محدوده این امتیازدهی از اعداد بین صفر و یک تعیین می‌گردد (Andrienko et al., 2003). روش‌های مختلفی برای تصمیم‌گیری چند معیاره وجود دارد که یکی از این روش‌ها، روش تاپسیس می‌باشد.
 مدل تاپسیس در سال ۱۹۸۱ به‌وسیله هوانگ ویون ارائه گردید. در این روش M عامل یا گزینه به‌وسیله N شاخص (فرد یا گروهی از افراد تصمیم‌گیرنده) مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

بنیان این تکنیک، بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی، باید کمترین فاصله را با راه‌حل ایده آل مثبت ($+A$: بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایدئال منفی ($-A$: بدترین حالت ممکن) داشته باشد. فرض بر این است که مطلوبیت هر شاخص، به‌طور یکنواخت افزایشی یا کاهششی است (Church and Murra, 2009).

• گام‌های حل مسئله

گام اول: تبدیل ماتریس تصمیم‌گیری موجود به یک ماتریس بی‌مقیاس شده؛ با استفاده از فرمول زیر.

$$R_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{I=1}^M X_{ij}^2}} \quad (29-3)$$

به‌نحوی که $i=1,2,\dots,M$ و $j=1,2,\dots,N$ باشد.

گام دوم: ایجاد ماتریس بی مقیاس وزین با استفاده از روش آنالیز جهت وزن دهی به شاخص‌ها

$$W' = \{W'_1, W'_2, \dots, W'_N\} \quad (3-30)$$

$$V = N_D = W'_{N,N}$$

به‌طوری‌که $N_D = N_U$ ماتریسی است که شاخص‌ها در آن بی مقیاس و قابل‌مقایسه شده‌اند و $W'_{N,N}$ ماتریسی است قطری که فقط عناصر قطر اصلی آن غیر صفر بوده و عناصر روی قطر اصلی همان $\{W'_1, W'_2, \dots, W'_N\}$ خواهند بود (Andrienko et al., 2003).

گام سوم: به‌صورت زیرمجموعه نقاط ایده آل مثبت و ایده آل منفی مشخص می‌شوند:

مجموعه نقاط ایده آل مثبت:

$$A^+ = \{(\max_{ij} v_{ij} | j \in J), (\min_{ij} v_{ij} | j \in J)\} \quad (3-31)$$

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\}$$

مجموعه نقاط ایده آل منفی:

$$A^- = \{(\min_{ij} v_{ij} | j \in J), (\max_{ij} v_{ij} | j \in J)\} \quad (3-32)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

گام چهارم: (محاسبه جدایی یا فاصله) فاصله گزینه i با ایده آل‌ها با استفاده از روش اقلیدسی با رابطه‌ی زیر.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (3-33)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

گام پنجم: (محاسبه نزدیکی نسبی گزینه A_i به نقطه مثبت ایده آل) این نزدیکی نسبی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (3-34)$$

بنابراین هراندازه گزینه A_i به ایده آل مثبت (A^+) نزدیک‌تر باشد، ارزش C_i به واحد نزدیک‌تر است.

گام ششم: (رتبه‌بندی گزینه‌ها)

بر اساس ترتیب نزولی C_i می‌توان گزینه‌های موجود از مسئله مفروض را رتبه‌بندی کرد (جعفر و میرجلالی، ۱۳۸۸).

مزایای روش TOPSIS:

- معیارهای کمی و کیفی در ارزیابی به صورت هم‌زمان دخالت دارند.
- تعداد قابل توجهی معیار در نظر گرفته می‌شود.
- این روش به سادگی و با سرعت مناسب اعمال می‌گردد.
- عملکرد سیستم به صورت مطلوب و قابل قبول است.
- مطلوبیت شاخص‌های موردنظر در حل مسئله، به طور یکنواخت افزایشی یا کاهش‌ی می‌باشد (هر چه مقدار شاخص بیشتر می‌شود و بالعکس).
- اطلاعات ورودی را می‌توان تغییر داد و نحوه پاسخگویی سیستم را بر اساس این تغییرات بررسی کرد.

معایب روش TOPSIS:

- وجود همبستگی میان معیارها

- عدم قطعیت در تعیین وزن‌ها
- احتمال نزدیکی گزینه به نقطه مطلوب و نقطه نادیر به صورت هم‌زمان

۳-۴-۶- روش ELECTRE^۱

روش الکتر بر پایه مقایسه دویه‌دو از واحدهای مکانی قرارداد و یک رتبه‌بندی ترتیبی از واحدهای مکانی را به دست می‌دهد، بدین‌صورت که وقتی دو واحد مکانی مقایسه می‌شود، این روش فقط می‌تواند بیانگر آن باشد که واحد مکانی A بر واحد مکانی B ارجحیت دارد و مقدار آن را نشان نمی‌دهد. مقایسه دویه‌دو در این روش بر پایه حد و اندازه‌ای قرار دارد که در آن نمرات معیار و وزن‌های ملازم با آن‌ها در انطباق یا تناقض با روابط حاکمانه دویه‌دو در بین گزینه‌ها مطرح می‌گردد. عناصر پایه در این روش عبارتند از سنجه‌های همایی (که بر پایه یک مجموعه هم‌گام و دارای همایی قرار داشته و زیرمجموعه‌ای تمام معیارهایی است که در رابطه با آن‌ها گزینه i در وضعیت بدتری از گزینه i' قرار ندارد) مطابق روش ماسام (Massam, 1988) برای تعیین نمره کلی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$C_{ii'} = \frac{\sum_j w_{jii'}}{\sum_i w_i}; C_i = \sum_i C_{ii'} \quad (3-35)$$

که $\sum w_{jii'}$ معرف مجموع وزن‌های مرتبط با این معیارها در زمانی است که گزینه i بدتر از گزینه i' نیست.

$\sum w_i$ نیز بیانگر مجموع تمام وزن‌هاست. ازجمله مزایای این روش می‌توان به مقایسه و تحلیل روابط میان گزینه‌های برتر اشاره نمود. در مقابل از معایب این روش می‌توان به وقت‌گیر بودن حل مسئله اشاره نمود.

1. ELimination Et Choix Traduisant la REalité

۳-۴-۷- روش مجموع ساده وزین^۱ (SAW)

روش‌های وزن دهی جمعی ساده SAW یکی از متداول‌ترین فنون مورد استفاده جهت تلفیق معیارها می‌باشد. درواقع، این روش برای مقایسه چند گزینه هم‌جنس در شرایطی که ممکن است هر گزینه از یک جنبه‌ای بر دیگری ارجحیت داشته باشد به کار می‌رود. برای این منظور باید برای مقایسه این گزینه‌ها شاخص‌هایی را در نظر گرفت و بر اساس آن‌ها به هریک از گزینه‌ها عددی بین ۱ تا ۹ تخصیص داد. میزان تأثیرگذاری هر یک از شاخص‌ها ممکن است با دیگری متفاوت باشد بنابراین بر اساس نظرات خبرگان در هر حوزه و یا با استفاده از روش‌های تعیین وزن مثل آنتروپی شانون، باید شاخص‌ها را وزن دهی کرد. پس از وزن دهی شاخص‌ها و ضرب امتیاز مربوط به هر گزینه در وزن شاخص مربوطه، باید آن‌ها را باهم جمع نمود که با این روش برای هر گزینه امتیاز نهایی به دست می‌آید. حال برای محاسبه وزن هر گزینه کافی است امتیاز مربوط به آن گزینه را بر مجموع تمام امتیازات مربوط به همه گزینه‌ها تقسیم نمود. به‌طور رسمی در قاعد تصمیم‌گیری برای ارزیابی هر گزینه یا A_i از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$A_i = \sum w_j x_{ij} \quad (3-36)$$

که در آن x_{ij} معرف گزینه i ام در ارتباط با معیار j ام و w_j یک وزن استاندارد شده است؛ به‌گونه‌ای که $\sum w_j = 1$ وزن‌ها اهمیت نسبی هر معیار را به نمایش می‌گذارند. با تعیین ارزش حداکثر A_i ($i=1,2,\dots,m$) اولویت دارترین گزینه انتخاب می‌شود. مزایای روش SAW:

- سادگی و سهولت استفاده
- امکان رتبه‌بندی گزینه‌ها، راهکارها و یا استراتژی‌ها

- مطلوبیت کلی از شاخص‌ها قابل تفکیک به مطلوبیت موجود از هریک از شاخص‌ها فرض شده و بدین صورت می‌توان از مدل جمع‌پذیر استفاده نمود (Eldrandaly, 2013).

معایب روش SAW:

- فرض به‌کارگیری روش فوق بر استقلال ارجحیت و مجزا بودن آثار شاخص‌ها از یکدیگر است.
- عدم رعایت مورد فوق ممکن است به نتایج گمراه‌کننده و دور از واقعیت منجر شود.
- کمی‌سازی و بی‌مقیاس‌سازی شاخص‌ها.

۳-۴-۸- روش SMART^۱

روش اسمارت نیز برای مقایسه چند گزینه هم‌جنس اما بر اساس شاخص‌های کیفی و به‌صورت یکجا، با استفاده از نظر خبرگان حوزه مورد پژوهش، گزینه‌ها اولویت‌بندی می‌شوند بدین‌صورت که گزینه‌ای که دارای بیشترین میزان اهمیت می‌باشد در اولویت اول قرار می‌گیرد. پس از اولویت‌بندی گزینه‌ها (n تا گزینه)، به گزینه‌ای که آخرین اولویت را به خود اختصاص داده است (گزینه n آَم)، عدد ۱۰ نسبت داده می‌شود. درواقع امتیاز نهایی گزینه آخر ۱۰ خواهد بود. به مابقی گزینه‌ها به ترتیب، گزینه یکی مانده به آخر (گزینه $n-1$) تا گزینه اول، امتیازی بیشتر از ۱۰ به نسبت درجه اهمیت آن گزینه به گزینه آخر با توجه به نظر جمعی خبرگان حوزه مورد پژوهش اختصاص داده می‌شود. برای مثال گزینه با اولویت سوم ممکن است ۵ برابر مهم‌تر از گزینه آخر باشد بنابراین امتیاز ۵۰ به آن نسبت داده می‌شود. پس‌ازآنکه امتیاز نهایی هرکدام از گزینه‌ها مشخص شد، برای محاسبه وزن هر گزینه کافی است امتیاز آن گزینه را بر مجموع امتیاز همه گزینه‌ها تقسیم کنیم.

1. Simple Multiattribute Rating Technique

۳-۴-۹- روش DEMATEL^۱

تکنیک دیمتل در اواخر ۱۹۷۱، عمدتاً برای بررسی مسائل پیچیده جهانی به وجود آمد. اهداف استراتژیک و عینی از مسائل جهانی، به‌منظور دسترسی به راه‌حل‌های مناسب، مدنظر قرار گرفت و از خبرگانی در زمینه‌های علمی، سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، رهبران عقیدتی و هنرمندان برای قضاوت و نظرخواهی استفاده گردید. برای دسترسی به قضاوت خبرگان از مصاحبه و پرسشنامه به‌صورت مکرر استفاده شد. در پژوهش مذکور سه نوع مختلف از سؤالات مورد استفاده قرار گرفت: سؤالات مربوط به ویژگی‌ها و شاخص‌ها (راهکارهای) مؤثر از یک مسئله مفروض، سؤالات مربوط به روابط ممکن از شاخص‌ها (مسائل مختلف) با مشخص نمودن شدت آن روابط به‌صورت کاردینال (امتیازدهی) و سؤال برای بررسی ماهیت عناصر تشخیص داده شده و نقد از آن‌ها برای بررسی احتمال و مجدد.

DEMATEL برای ساختاردهی به یک دنباله از اطلاعات مفروض کاربرد دارد. به‌نحوی که شدت ارتباطات را به‌صورت امتیازدهی مورد بررسی قرارداد، بازخوردها توأم با اهمیت آن‌ها را تجسس نموده و روابط انتقال ناپذیر را می‌پذیرد. اگرچه اطلاعات تجربی نشان داده است که (قضاوت خبرگان از ارتباطات مستقیم عناصر با یکدیگر) خصوصیات انتقال‌پذیری را کم‌وبیش تأمین می‌نماید.

ازجمله معایب این روش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- برای بعضی مسائل پیچیده با تعداد فاکتورهای مؤثر زیاد، رتبه‌بندی متخصصین و پرسش‌نامه‌ها غیرمنطقی به نظر می‌رسد.
- اگرچه نتایج این روش حاصل ارزیابی کارشناسان و یا پاسخ‌دهندگان نیست، اما ذهنیت آن‌ها به‌صورت اجتناب‌ناپذیر روی منصفانه بودن نتایج اثر می‌گذارد (Cui et al., 2013).

1. Decision-making and trial evaluation laboratory

۳-۴-۱۰-روش NAIAD¹

نام این روش از کنار هم قرار دادن ابتدای کلمات عبارت دیدگاهی نو به تخمین نادقیق و محیط‌های تصمیم‌گیری به دست آمده است و توسط Munda در سال ۱۹۹۵ برای حل مسائل چند معیاره ابداع شده است. این روش با در نظر گرفتن معیارهای مناسب و از طریق اندازه‌گیری‌های پیچیده، متغیر و فازی به مقایسه گزینه‌ها و ارزش‌گذاری آن‌ها می‌پردازد و به دلیل داشتن خصوصیات فوق‌روش مناسبی برای حل مسائل و مشکلات محیطی به شمار می‌رود.

همچنین در این روش گامی (مرحله‌ای) برای تجزیه و تحلیل تضاد و تعارض وجود دارد. از آنجاکه در مورد مسائل محیطی در اغلب موارد میان صاحب‌نظران اختلاف نظر وجود دارد، داشتن قابلیت استفاده از تجزیه و تحلیل تضاد به همراه ارزیابی چند معیاره راه‌حل‌های پیشنهادی، NAIAD¹ را به عنوان یک تکنیک قدرتمند در حل مسائل محیطی معرفی کرده است. با استفاده از این روش، تصمیم‌گیرندگان می‌توانند تصمیمات قابل دفاعی اتخاذ کنند که منجر به ایجاد حداقل تضاد و افزایش درجه رضایت گروه‌های مختلف اجتماعی گردند.

مقایسه‌ی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

در جدول (۴-۳) مزایا و معایب روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌طور خلاصه ارائه‌شده است.

جدول (۴-۳) جمع‌بندی نهایی مزایا و معایب روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره

روش	مزایا	معایب
تحلیل سلسله‌مراتبی	• مطابقت با ذهن و طبیعت بشر • یگانگی و یکتایی مدل • حل مسائل پیچیده • همبستگی و وابستگی متقابل • ساختار سلسله‌مراتبی • سازگاری • قضاوت و توافق گروهی	• خسته‌کننده و وقت‌گیر بودن پیاده‌سازی • افزایش شدید حجم محاسبات با افزایش تعداد گزینه‌ها و معیارها • اتکای زیاد به دانش و تجربه ارزیاب یا کارشناس • مقایسه نادرست در حالت وابستگی معیارها به یکدیگر
تحلیل سلسله‌مراتبی فازی	• محدودیتی در تعداد معیارهایی که می‌توانند در نظر گرفته شوند • در مسئله وجود ندارد • انتخاب‌های زیادی از عبارت‌های کلامی برای بیان رتبه‌بندی واقعی وجود دارد	• مفهوم ناسازگاری را در رتبه‌بندی در نظر نمی‌گیرد • ناسازگاری تخمین‌های یک نفر سبب بروز ناسازگاری کلی می‌شود • نیازمند آگاهی حداقلی از تئوری فازی • حل وقت‌گیر

معایب	مزایا	روش
- وجود همبستگی میان معیارها - عدم قطعیت در تعیین وزن‌ها - احتمال نزدیکی گزینه به نقطه مطلوب و نقطه نادیر به صورت همزمان	- معیارهای کمی و کیفی در ارزیابی به صورت همزمان دخالت دارند. - تعداد قابل توجهی معیار در نظر گرفته می‌شود. - این روش به سادگی و با سرعت مناسب اعمال می‌گردد. - عملکرد قابل قبول - مطلوبیت شاخص‌های موردنظر در حل مسئله، به طور یکنواخت تغییر می‌کند - اطلاعات ورودی را می‌توان تغییر داد و نحوه پاسخگویی سیستم را بر اساس این تغییرات بررسی کرد.	TOPSIS
- فرض به کارگیری روش فوق بر استقلال ارجحیت و مجزا بودن آثار شاخص‌ها از یکدیگر است. - عدم رعایت مورد فوق ممکن است به نتایج گمراه کننده و دور از واقعیت منجر شود. - کمی سازی و بی مقیاس سازی شاخص‌ها	- سادگی و سهولت استفاده - امکان رتبه بندی گزینه‌ها، راهکارها و یا استراتژی‌ها	SAW

روش	مزایا	معایب
OWA	• در نظر گرفتن میزان ریسک‌پذیری یا ریسک‌گریزی تصمیم‌گیر • قابلیت در نظر گرفتن اولویت‌ها و ارزیابی‌های ذهنی تصمیم‌گیر	• غفلت در نظر گرفتن میزان اهمیت معیارها

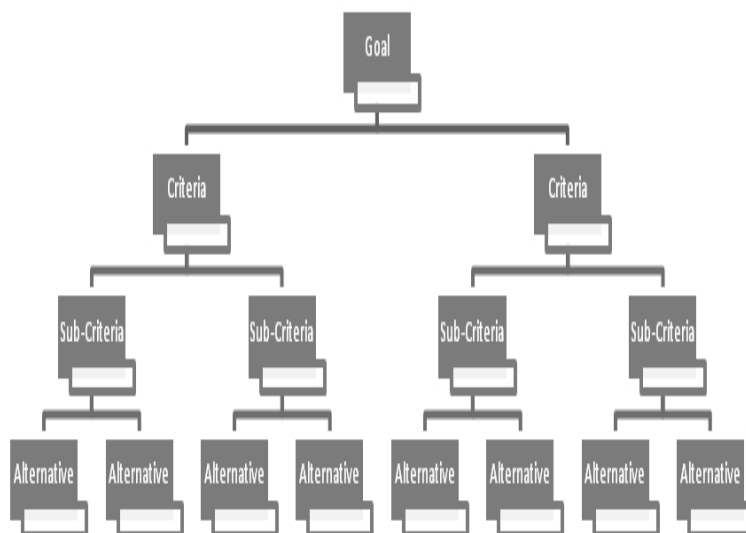
۳-۵- دستورالعمل تصمیم‌گیری چندمعیاره

۳-۵-۱- تحلیل سلسله مراتبی در نرم‌افزار Expert Choice

پس از مشخص شدن معیارها و در حقیقت لایه‌های دخیل در فرآیند مکان‌یابی با استفاده از اصول تحلیل سلسله مراتبی و در محیط نرم‌افزار Expert Choice وزن‌های موردنیاز در بخش تلفیق لایه‌ها را مشخص می‌کنیم. این نرم‌افزار دارای امکانات گسترده‌ای در استفاده از روش AHP و به‌دست آوردن ماتریس‌های زوجی لایه‌ها و تلفیق ماتریس‌های گوناگون و تبدیل به یک ماتریس واحد از طریق میانگین تک‌تک عناصر ماتریس‌های لایه‌ها است.

مرحله نخست ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی است (شکل ۳-۶). هر تصمیم‌گیری در این نرم‌افزار با یک مدل در قالب یک ساختار سلسله مراتبی یا درخت آغاز می‌شود. در ساده‌ترین حالت، یک درخت سلسله مراتبی دارای سه سطح است: هدف^۱، معیارها^۲ و گزینه‌ها^۳. البته هر یک از معیارها می‌توانند به زیر معیارها تقسیم شوند. ساخت مدل با ساخت هدف شروع شده و به سمت سطوح پایین‌تر توسعه می‌یابد.

1. Goal
2. Criteria
3. Alternatives



شکل (۳-۶) ساختار سلسله مراتبی تحلیل AHP

در ادامه مراحل تحلیل سلسله مراتبی با Expert Choice تشریح می‌شوند.

- مرحله اول (ساخت یک مدل)

ابتدا باید مدل جدیدی ایجاد و نام و توضیحات آن معرفی شود (منوی File گزینه New). سپس برای وارد کردن معیارها باید از منوی Edit گزینه Insert child of current node انتخاب شود.

- مرحله دوم (مقایسه زوجی)

پس از ایجاد مدل، قدم بعدی ارزیابی عناصر با مقایسه زوجی است. مقایسه زوجی، فرایندی است برای مقایسه اهمیت، ارجحیت یا درست نمایی دو عنصر نسبت به عنصر سطح بالاتر. در این بخش به سؤالات زیر می‌خواهیم پاسخ دهیم:

- کدام یک از دولایه «الف» و «ب» ارجح‌تر هستند؟

- میزان ارجحیت به چه مقدار است؟

لذا این امر در نهایت به مقایسه زوجی معیارها نسبت به هدف منتهی می‌شود.

- انواع مقایسه‌ها:

۱. اهمیت^۱: هنگام مقایسه دو معیار استفاده می‌شود.
۲. ارجحیت^۲: برای مقایسه گزینه‌ها بکار می‌رود.
۳. درست‌نمایی^۳: برای مقایسه احتمال خروجی‌ها استفاده شده و در مورد گزینه‌ها و معیارها کاربرد دارد.

- حالت‌های مقایسه:

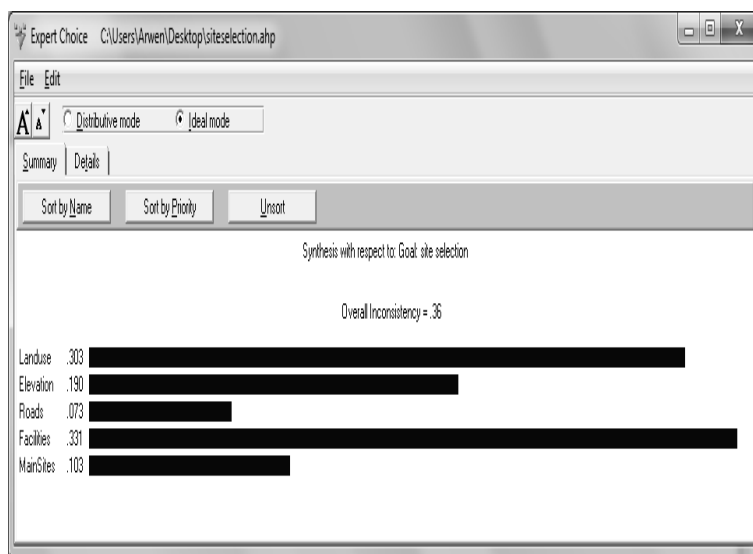
۱. کلامی^۴: در این حالت با استفاده از واژگان انگلیسی گره‌ها را مقایسه می‌نماییم.
۲. گرافیکی^۵: در این نوع مقایسه، مقایسه برای گره‌ها به‌صورت گرافیکی می‌باشد.
۳. عددی^۶: با استفاده از اعداد در قالب یک ماتریس یا پرسشنامه، مقایسه‌ها را انجام می‌دهیم.

نکته مهم آن است که نوع و حالت مقایسه زوجی که انتخاب می‌کنیم تنها نشان‌دهنده نوع نگرش ما به مسئله است و در محاسبات اثر نخواهد داشت.

● مرحله سوم (مقایسه نتایج)

بعد از مقایسه زوجی و محاسبه وزن‌های نسبی معیارها، لازم است تا وزن نهایی هر گزینه محاسبه گردد.

1. Importance
2. Preference
3. Likelihood
4. Verbal
5. Graphical
6. Numerical



شکل (۷-۳) نمونه نتایج خروجی از نرم افزار Expert Choice

۳-۵-۲- تکنیک‌های تاپسیس و تاپسیس فازی با نرم افزار Fuzzy

Topsis Solver

نرم افزار Fuzzy Topsis Solver به عنوان یک ابزار قدرتمند برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره به روش فازی تاپسیس و اعداد فازی مثلثی، طراحی شده است. این نرم افزار قادر است با دریافت اطلاعاتی چون معیارها، وزن معیارها، نوع معیارها، (مثبت یا منفی)، گزینه‌ها و داده‌های ماتریس تصمیم‌گیری، کلیه گام‌های روش تاپسیس را به صورت خودکار انجام دهد و در خروجی تحلیل ضریب نزدیکی گزینه‌ها را محاسبه نماید و علاوه بر آن گزینه‌ها را بر اساس ضریب نزدیکی اولویت‌بندی و به صورت یک نمودار گرافیکی زیبا نمایش دهد. برای به کارگیری این نرم افزار از سایت «تحلیل آماری» نرم افزار Fuzzy Topsis Solver را دریافت کنید. سپس جهت دریافت کد فعال‌سازی به صفحه کد فعال‌سازی مراجعه کنید.

در گام اول باید مشخص شود که نوع وزن معیارها به چه صورت است. وزن معیارها به دو صورت در نظر گرفته شده است:

- اعداد فازی
- اعداد قطعی

اگر از روش AHP برای تعیین اوزان طیف لیکرت معیارها محاسبه‌شده باشند وزن معیارها اعداد قطعی است. چنانچه از روش‌های فازی برای تعیین وزن معیارها استفاده شده باشد می‌بایست گزینه اعداد فازی مشخص شوند. برای مثال از طریق جدول زیر می‌توان طیف لیکرت را به کمک عبارات زبانی به مقیاس فازی تبدیل کرد.

جدول (۳-۵) تبدیل طیف لیکرت به اعداد فازی مثلثی

مقدار زبانی طیف لیکرت	عدد فازی مثلثی متناظر با آن‌ها
خیلی خوب	(7,9,10)
خوب	(5,7,9)
متوسط	(3,5,7)
ضعیف	(1,3,5)
خیلی ضعیف	(0,1,3)

در خصوص فرایند وارد نمودن اطلاعات معیارها و گزینه‌ها لازم به توضیح است که معیارهای مثبت معیارهایی هستند که هر چه میزان آن‌ها بیشتر باشد بهتر است و در مقابل معیارهای منفی معیارهایی هستند که هر چه میزان آن‌ها کمتر باشد بهتر است. پس از تکمیل معیارها و گزینه‌ها، لازم است «ماتریس تصمیم‌گیری» تشکیل شود. در این ماتریس لازم است اهمیت هر یک از گزینه‌ها با توجه به هر یک از معیارها وارد گردد (فقط در سلول‌هایی که به رنگ قهوه‌ای کمرنگ هستند). پس از تکمیل ماتریس تصمیم‌گیری «پردازش اطلاعات» باید انجام گردد.

۳-۵-۳- تکنیک‌های تاپسیس و SAW با افزونه MC-SDSS در نرم‌افزار

ArcGIS

هدف اصلی افزونه MC-SDSS روبرو شدن با پیچیدگی‌های تصمیم‌گیری بشر در مواجهه با اطلاعات پیچیده و بزرگ به‌صورتی پایدار است. برای این منظور این افزونه از قابلیت‌های تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS و SAW بهره می‌گیرد. MC-SDSS عبارت است از اولویت‌بندی تصمیم‌گیری (شامل ارزیابی، اولویت‌بندی و انتخاب) بر روی تمامی گزینه‌های ممکن بر اساس معیارهای متعدد و بعضاً متضاد در محیط GIS. انتخاب این معیارها به علت تأثیر مستقیم در نتیجه نهایی بسیار حائز اهمیت است. این افزونه که بر روی بخش کدهای سایت ESRI به‌صورت رایگان موجود و قابل دریافت است بر روی نسخه ۹,۳ نرم‌افزار ArcGIS قابل اجرا است. پس از نصب افزونه از بخش Customize ابزار نرم‌افزار را فعال‌سازی نمایید.

در محیط نرم‌افزار نیاز است جدول و یا لایه اصلی عارضه‌ها معرفی گردد. سپس معیارهای مدنظر موجود در جدول ویژگی‌های لایه و میزان اهمیت هر یک از معیارها را در قالب وزن به افزونه معرفی شود. همچنین برای هر یک از معیارها باید مشخص گردد که میزان تأثیر معیار بر روی جواب نهایی ما مثبت است یا منفی. بدیهی است تأثیر معیارهای منفی باید حداقل و تأثیر معیارهای مثبت باید حداکثر باشد (برای مثال معیار فاصله تا گسل باید حداکثر گردد). با انتخاب گزینه Calculate جواب نهایی در بخش Calculation results پدیدار می‌گردد که در آن مناطق با مقادیر بیشتر دارای شرایط بهتری برای انتخاب می‌باشند.

۳-۵-۴- تکنیک AHP – OWA با افزونه FLOWA در نرم‌افزار

ArcGIS

برای نصب افزونه FLOWA لازم است مراحل زیر طی شود:

۱. دریافت افزونه موردنظر از بخش ArcScripts سایت ESRI
۲. کپی نمودن فایل dll موجود در فایل زیپ موجود را در ریشه درایو C.

۳. درایو ویندوز خود به دنبال فایل RegAsm.exe بگردید. اگر شما نسخه .net

2 Framework را نصب دارید به آدرس زیر مراجعه کنید:

C:\Windows\Microsoft.NET\Framework\v2.0.50727

۴. باز کردن صفحه CMD ویندوز و وارد نمودن عبارت زیر:

regasm.exe "C:\MCE-FLOWA.dll" /codebase

۵. با دریافت پیام Types registered successfully مرحله نصب به پایان رسیده

است.

۶. وارد نرم‌افزار ArcMap شده و از بخش Customize ابزار Flowa را وارد محیط

نرم‌افزار کنید.

پس از نصب بنا به اصول عملگر ترکیبی OWA می‌توان زیر لایه‌های مختلف رستر را به همراه شرط حداکثری یا حداقلی معیار به افزونه معرفی نمود. پس از استانداردسازی لایه‌ها که فرآیندی شبیه Reclassify می‌باشد لایه‌های استاندارد شده در جدول محتویات (TOC) نمایش داده می‌شود.

پس‌از آن به‌منظور در نظر گرفتن اولویت‌ها و ارزیابی ذهنی تصمیم‌گیر در OWA با توجه به ساختار سلسله‌مراتبی «هدف، دسته‌ها، معیارها، گزینه‌ها» اقدام به دسته‌بندی معیارها نموده و سپس نسبت به مقایسه زوجی دسته‌ها با یکدیگر و سپس معیارهای هر دسته نسبت به همدیگر اقدام می‌شود.

در مرحله آخر نیاز است که برچسب زمانی موردنیاز برای «هدف» از حل مسئله و دسته‌ها را مشخص نمود. سپس با کلیک بر روز گزینه FLOWA محاسبات آغاز می‌شود. با نمایش پیام End of Process فرآیند پردازش به پایان رسیده است و نقشه نهایی به جدول محتویات شما اضافه شده است.

فصل چهارم

مقدمه‌ای بر استفاده از GIS جهت
مکان‌یابی

۴-۱- مقدمه

ضرورت طراحی و ایجاد سیستم اطلاعات مکانی بر پایه به کارگیری توأمان داده‌های مکان محور و اطلاعات توصیفی آن‌ها است. این سیستم امکان ذخیره به‌روز اطلاعات زمین مرجع و ترکیب آن‌ها با اطلاعات مختلف را به‌صورت کاربردی جهت طراحی و برنامه‌ریزی شهری فراهم نموده است.

این دانش در زمینه‌های مختلفی ازجمله برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای یا به‌اصطلاح برنامه‌ریزی محیط‌زیست، مطالعات زمین‌شناسی و معادن، کشاورزی و منابع طبیعی، مکان‌یابی نظامی و... کاربرد داشته و قادر به بهبود اثربخشی مدیریت و برنامه‌ریزی می‌باشد. کاربران GIS طیف وسیعی از افراد ازجمله مدیران، طراحان، برنامه‌ریزان، کارشناسان و حتی شهروندان عادی را در برمی‌گیرد.

ازجمله مهم‌ترین اصول مکان‌یابی انتخاب منابع داده مناسب و دقیق برای کاربردهای گوناگون نظیر کاربردهای نظامی است. در این فصل به تفصیل برخی از مفاهیم پایه سیستم اطلاعات مکانی را که یک کاربر برای مکان‌یابی به آن‌ها نیازمند است، بررسی خواهد شد.

۴-۲- مدل‌های داده در GIS

مهم‌ترین جزء هر سیستم اطلاعاتی داده است. کلیه تحلیل‌ها و کاربردهای مورد انتظار از GIS بر اساس داده‌های ذخیره‌شده در سیستم صورت می‌گیرد. در GIS داده‌ها به دودسته اصلی داده‌های مکانی و اطلاعات توصیفی دسته‌بندی می‌شوند (Maguire et al., 2005). داده‌های مکانی مشخص‌کننده موقعیت پدیده‌های مختلف موجود در منطقه موردبررسی ما و اطلاعات توصیفی ارائه‌کننده مشخصات و خصوصیات هر عارضه یا پدیده است. مدل‌های داده‌های مکانی به‌طورکلی به دو دسته تقسیم می‌شوند: داده‌های برداری (وکتور) و داده‌های رستری.

داده‌های وکتوری یا برداری به صورت زوج‌های مختصاتی در سیستم ذخیره می‌شوند؛ یعنی هر زوج مختصاتی شامل یک X و یک Y می‌باشد؛ بنابراین با افزایش زوج‌های مختصاتی، امکان نمایش جزئیات عوارض نیز افزایش پیدا می‌کند.

در ذخیره هر داده مکانی باید هندسه^۱ و ویژگی‌های عارضه^۲ را مدنظر بگیریم. در داده‌های برداری هندسه عارضه به وسیله زوج‌های مختصاتی نمایش داده می‌شوند. اطلاعات توصیفی در داده‌های برداری به وسیله جداول توصیفی^۳ نمایش داده می‌شود. این جداول از تعدادی سطر به نام رکورد و تعدادی ستون به نام فیلد تشکیل شده است. در ArcGIS فایل‌های وکتوری با پسوند shp. ذخیره می‌شوند. این پسوند معرف Shapefile (شیپ فایل)ها می‌باشد. Shapefileها داده‌های برداری مختص شرکت ESRI هستند. هر Shapefile قابلیت ذخیره‌سازی مختصات^۴، شکل^۵ و خواص^۶، یک عارضه مکانی را داراست. Shapefileها به اشکال نقطه‌ای، چندخطی^۷، چندضلعی^۸، چندنقطه‌ای^۹ و چندتکه‌ای^{۱۰} می‌باشند؛ لازم به توضیح است که Shapefileهای چندتکه‌ای قابلیت ذخیره کردن سطوح یا وصله‌های^{۱۱} مختلف با مرزهای مشخص در اشیاء سه‌بعدی را دارا هستند. هر وصله یا سطح قابلیت ذخیره متن، رنگ، شفافیت^{۱۲} و اطلاعات هندسی خاص خود را دارد.

در مدل داده رستری کوچک‌ترین جزء تشکیل‌دهنده پیکسل است. یک تصویر ماهواره‌ای یا یک عکس اسکن شده نمونه‌ای از ارائه اطلاعات در قالب رستری است. در داده‌های رستری جدولی همانند داده‌های برداری وجود ندارد که ویژگی‌های عارضه را

-
1. Geometry
 2. Attribute
 3. Attribute Table
 4. Location
 5. Shape
 6. Attribute
 7. Polyline
 8. Polygon
 9. Multipoint
 10. Multipart
 11. Patch
 12. Transparency

نمایش دهد، لذا ویژگی‌های رستر به صورت اعدادی هستند که به هر پیکسل منتسب می‌شوند. اگر بخواهیم اطلاعات بیشتری ذخیره کنیم از لایه‌های رستری بیشتری بهره می‌گیریم و هر اطلاعات را با یک کد نمایش می‌دهیم و به صورت لایه‌های مختلف رستری ذخیره می‌کنیم.

متداول‌ترین فایل‌های رستری عبارتند از:

- TIF: بیشتر برای فایل‌های اسکن شده
- JPEG: فرمت متداول تصاویر
- DEM: مدل ارتفاعی دیجیتال (رقومی)
- BIL و BIP: فرمت‌های داده‌های سنجش از دور

۴-۳- منابع داده ورودی GIS

به طور کلی، تصاویر ماهواره‌ای در دسترس و نقشه‌های رقومی و زمین مرجع شده، منابع اصلی داده مکانی جهت مکان‌یابی می‌باشند (Worboys and Duckha, 2004).

- تصاویر ماهواره‌ای در دسترس:

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان با هزینه و زمان کمتر، طیف وسیعی از پروژه‌ها را در سطح جهانی، منطقه‌ای، ملی، استانی و محلی به نتیجه رساند. علاوه بر این، قابلیت تکرار اخذ داده‌های ماهواره‌ای به فاصله زمانی چند ساعت تا چند روز در طول ماه یا سال، امکان مطالعات تغییرات و پایش پدیده‌های زمینی را به خوبی فراهم ساخته است.

از جمله تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک بالای قابل دسترس در کشور می‌توان به تصاویر IRS-P5, P6، SPOT-5، IKONOS، Quickbird اشاره نمود. منابع تهیه این تصاویر در کشور عبارتند از: سازمان فضایی کشور، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، جهاد کشاورزی، وزارت نیرو و بخش خصوصی. از جمله مشکلاتی که سازمان‌ها در تهیه

تصاویر ماهواره‌ای با آن مواجه هستند می‌توان به قیمت بالا، به‌روز نبودن، فرایند طولانی خرید، عدم پوشش کامل و کیفیت پائین به دلیل شرایط جوی نامناسب اشاره نمود. همچنین یکی از منابع مهم دریافت تصاویر ماهواره‌ای به‌صورت رایگان سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) به آدرس اینترنتی www.earthexplorer.usgs.gov است که از طریق آن می‌توان تصاویری نظیر ASTER، Landsat 8 ETM+، AVHRR، Santinel-1,2 و MODIS را (در صورت موجود بودن در آرشیو) دانلود نمود.

• رقومی‌سازی نقشه:

رقومی‌سازی نقشه^۱، تکنیک تبدیل نقشه‌های سنتی یا کاغذی و یا سایر مدارک گرافیکی (آنالوگ) به داده‌های رقومی سازگار با فرمت‌های برداری و رستری را گویند. در گذشته جهت انجام پروژه‌های مختلف در زمینه تفکیک، تلفیق و یا تحلیل لایه‌های اطلاعاتی مشکلات فراوانی وجود داشت. به‌عنوان مثال، در صورتی که کارشناس مربوطه تنها نیاز به یک لایه اطلاعاتی از نقشه منطقه مورد مطالعه (به‌عنوان مثال: آبراهه) را داشت، چاره‌ای جز استفاده از کاغذ کالک و کشیدن مجدد آبراهه‌های موجود در نقشه‌های پایه را نداشت. در این‌گونه روش‌های سنتی، اطلاعات و نقشه‌های تولیدشده به دلیل وجود خطاهای انسانی و ابزاری، از دقت بالایی برخوردار نبوده و همچنین، علاوه بر آسیب‌پذیر بودن از دوام کافی نیز برخوردار نبودند. گام نخست در فرآیند رقومی‌سازی، زمین مرجع سازی نقشه است. روش‌های رقومی‌سازی عبارتند از:

رقومی‌سازی مستقیم با استفاده از میز یا صفحه دیجیتایزر^۲

رقومی‌سازی با استفاده از اسکنر^۳: در این روش سند کاغذی تبدیل به نسخه رقومی می‌شود؛ اما با فرمت رستر.

1. Digitizing
2. Tablet Digitizer
3. Scan Digitizing

رقومی سازی از روی صفحه مانیتور^۱: در این روش نقشه کاغذی که توسط اسکنر (رسم) تبدیل به رستر شده در محیط یک نرم افزار برداری مانند مایکرو استیشن، اتوکد و یا ArcGIS تبدیل به فرمت وکتور (برداری) می گردد.

تبدیل خودکار رستر به وکتور^۲: در این روش با استفاده از نرم افزارهای تبدیل خودکار همچون RasterVect، Raster to Vector Conversion Toolkit، Scan2CAD و غیره نقشه رستر فراخوانی شده و سپس با دستورات مشخص، نرم افزار تمامی عوارض را با توجه به تنظیمات انجام شده به صورت برداری ترسیم می نماید. البته از این روش بیشتر برای ترسیم منحنی میزان و عوارض دارای انحنا و عدم شکستگی استفاده می شود. جهت رقومی سازی در نرم افزار ArcGIS از جعبه ابزار ArcScan استفاده می شود که علاوه بر امکان رقومی سازی دستی امکان تبدیل خودکار رستر به وکتور را نیز فراهم می کند.

در فرایند رقومی سازی دو نوع داده گرافیکی و توصیفی تولید می شود. داده های گرافیکی مربوط به چگونگی و نحوه نمایان سازی پدیده های نقشه های موضوعی بر روی سخت افزارهای بخش خروجی GIS می باشد. نقطه، خط، چندضلعی (پلی گون)، رنگ، علائم، هاشور، متن و... از جمله پرکاربردترین داده های گرافیکی می باشند. به عنوان مثال، عوارضی مانند رود و یا راه ها با داده های گرافیکی از نوع خط و عوارض دارای سطوح به وسیله پلی گون نمایش داده می شوند.

داده های توصیفی که تشریحی و موضوعی نیز نامیده می شوند، ارائه دهنده تمامی اجزای غیرهندسی از قبیل نام (عارضه، مالک، شهر...)، کد ویژه، اندازه های کمی و کیفی (مساحت، طول، حجم، ارتفاع، تعداد، شوری خاک، درصد جمعیت و غیره)، نوع (مسکونی، جنگلی، راه اصلی و فرعی، راه آهن، ...) و خلاصه، هر نوع مشخصه مرتبط با کاربرد نقشه می باشد.

1. OnScreen Digitizing
2. Automatic Raster to Vector Conversion

• زمین مرجع‌سازی^۱

مبحث مکان، اساس و پایه بسیاری از قابلیت‌های GIS است. بدون مکان داده‌ها را غیرمکانی گویند که این‌گونه داده‌ها ارزشی در سامانه اطلاعات مکانی نخواهند داشت. معمولاً عبارات مختلفی برای عمل اطلاق مکان به اطلاعات استفاده می‌شود. عبارات Georeference، Geolocate و Geocode از جمله آن‌ها است.

الزامات اولیه زمین مرجع‌سازی یکتایی آن است؛ بدین معنی که تنها یک مکان با یک فرآیند زمین مرجع‌سازی وجود خواهد داشت و لذا هیچ سردرگمی درباره مکان مورد اشاره وجود نخواهد داشت. این بدین معنی است که معنای مکان میان همه افرادی که تمایل کار با این اطلاعات را دارند، مشترک خواهد بود. برای مثال: آدرس ایران، تهران، خیابان ولیعصر، کوچه بهاران، پلاک ۷، به یک واحد خاص اشاره دارد که هیچ خانه دیگری بر روی زمین چنین آدرسی نخواهد داشت. لذا این معنای مشترک، می‌تواند باعث شود از سراسر دنیا به این نقطه نامه ارسال شود. آدرس مذکور ممکن است در سراسر دنیا معنادار نباشد، اما برای افراد معدودی که در اداره پست تهران کار می‌کنند، معنادار است. معنای یکتایی و اشتراک به افراد این امکان را می‌دهد تا اطلاعات گوناگون را بر مبنای مکان مشترک مرتبط کنند. برای مثال، اطلاعات رانندگی که توسط آدرس خیابان ژئورفرنس (زمین مرجع) شده می‌تواند به اطلاعات خرید متصل گردد. برای افزایش کارایی تا جای ممکن باید زمین مرجع در طی زمان ثابت بماند، چراکه بسیار گیج‌کننده و پرهزینه خواهد بود، اگر زمین مرجع به صورت مکرر تغییر کند. این مقاومت در برابر تغییرات، زمانی که سیستم چندهدفه باشد یا به ارگان‌های مختلف با اولویت‌های مختلف خدمت‌رسانی کند، مشکل‌ساز خواهد بود. برای مثال، اسامی خیابان‌ها گاهی اوقات تغییر می‌کند و یا شهرداری اقدام به تغییر کد پستی خانه‌ها می‌کند که این امر ارگان‌های دیگر و محققین را سردرگم خواهد کرد.

1. Georeferencing

هر زمین مرجع دارای قدرت تفکیک مکانی مشخصی است. این قدرت تفکیک برابر است با ابعاد منطقه‌ای که زمین مرجع به آن اطلاق شده است. یک آدرس پستی می‌تواند قدرت تفکیک مکانی برابر با ابعاد صندوق پستی مربوطه و یا برابر ابعاد قطعه زمین مرتبط با آدرس مربوطه را داشته باشد.

اگرچه بعضی از زمین مرجع‌ها بر پایه اسامی ساده هستند، بعضی دیگر بر پایه مقادیر عددی و اندازه‌گیری بنا می‌شوند که آن‌ها زمین مرجع‌های متریک گویند. این زمین مرجع‌ها شامل طول و عرض جغرافیایی و انواع سامانه‌های مختصات هستند که نقش بسیار مهمی در ایجاد و نمایش نقشه در GIS دارند. یکی از مزایای اصلی چنین سامانه‌هایی، امکان تعریف قدرت تفکیک بی‌نهایت می‌باشد. اگر ما تجهیزات اندازه‌گیری دقیقی را داشته باشیم و با مرتبه اعشار مناسبی کار کنیم، می‌توان اطلاعات را در هر سطحی از صحت زمین مرجع نمود. یکی دیگر از مزایای سامانه‌های متریک امکان محاسبه فاصله از طریق دو یا چند اندازه‌گیری است که یکی از الزامات اصلی زمین مرجع سازی در GIS است (Longley, 2003).

قبل از انجام مناسب فرایند زمین مرجع‌سازی تصاویر و نقشه‌ها لازم است، سیستم مختصات جغرافیایی و سیستم تصویر موردنظر انتخاب یا معرفی شود.

۴-۴- سیستم‌های مختصات جغرافیایی

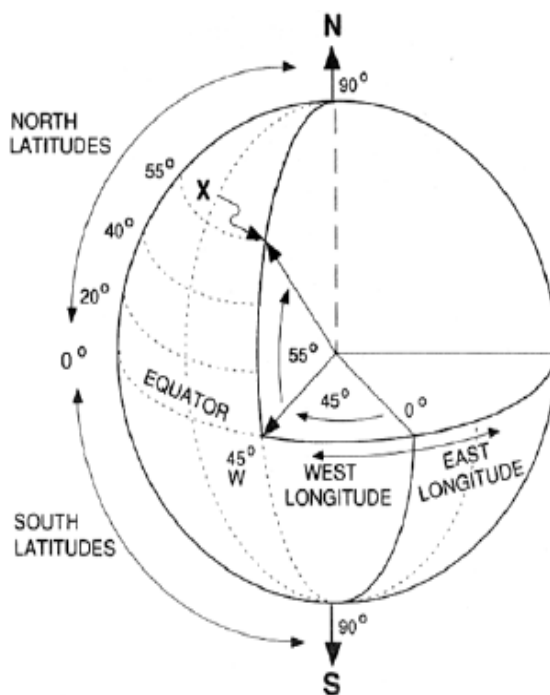
سیستم‌های مختصات جغرافیایی به دودسته تقسیم می‌شوند: کروی^۱ و بیضوی^۲؛ در ادامه به بررسی این دو نوع سامانه‌های مختصات جغرافیایی می‌پردازیم.

۱. سیستم‌های مختصات جغرافیایی کروی

این سیستم مختصات از یک کره سه‌بعدی برای تعیین موقعیت یک نقطه استفاده می‌کند. یک سیستم مختصات جغرافیایی شامل واحد اندازه‌گیری زاویه (معمولاً درجه)

1. Sphere
2. Ellipsoid

یک نصف‌النهار مبدأ (معمولاً گرینویچ) و یک سطح مبنای مسطحاتی^۱ می‌باشد، موقعیت یک عارضه در سطح کره زمین بر اساس درجه طولی و عرضی که به نام مختصات جغرافیایی^۲ (GCS) شناخته می‌شوند، قابل اندازه‌گیری هستند. در سیستم مختصات کروی، خطوط افقی یا همان شرقی غربی که همان مدارها می‌باشند، نمایانگر عرض جغرافیایی و خطوط عمودی یا همان شمالی جنوبی که همان نصف‌النهارها می‌باشند، نمایانگر طول جغرافیایی می‌باشند. مدار میانی بین دو قطب استوا نامیده می‌شود که مبدأ عرض‌های جغرافیایی محسوب می‌شود. مبدأ طول‌های جغرافیایی نیز نصف‌النهار عبوری از شهر گرینویچ انگلستان می‌باشد که در بعضی کشورها از نصف‌النهار برن، بوگوتا و یا پاریس استفاده می‌شود (Shekhar and Xiong, 2007).



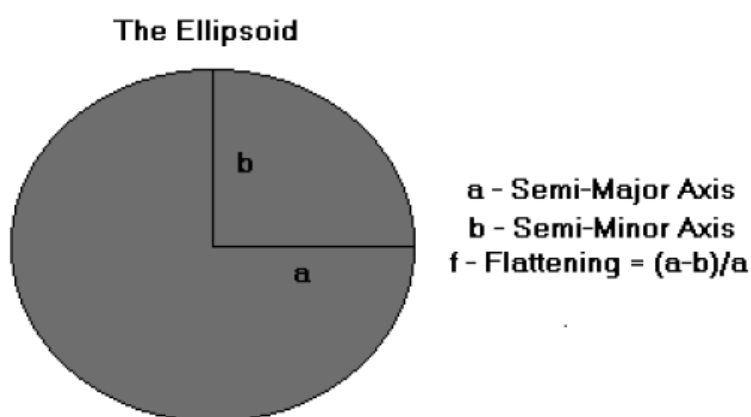
شکل (۱-۴) سیستم مختصات جغرافیایی کروی

1. Datum
2. Geographic Coordinate System

۲. سیستم‌های مختصات بیضوی

یک کره بر اساس یک دایره بنا می‌شود، در صورتی که یک بیضوی بر اساس بیضی شکل می‌گیرد. شکل یک بیضی با دو شعاع تعیین می‌گردد، شعاع بزرگ و شعاع کوچک. با گردش یک بیضی حول محور کوچک یک بیضوی شکل می‌گیرد. یک بیضوی معمولاً با اندازه محور کوچک آن (a) و محور بزرگ آن (b) تعریف می‌گردد. البته معمولاً به جای b از ضریب تسطیح^۱ که از فرمول زیر محاسبه می‌گردد، استفاده می‌شود. از آنجایی که مقدار عددی f خیلی کوچک است از معکوس آن استفاده می‌شود.

$$(a-b)/a = f \quad (۱-۴)$$



شکل (۲-۴) محورها بیضوی

برای شبیه‌سازی دقیق شکل و ابعاد زمین در قالب سیستم مختصات جغرافیایی به گونه‌ای که امکان تشریح موقعیت‌های عوارض روی زمین وجود داشته باشد، لازم است یک بیضوی با ابعاد مناسب به گونه‌ای تعریف گردد که منطبق با شکل واقعی زمین (سطح ژئوئید) گردد؛ اما از آنجایی که شکل واقعی زمین به صورت یک بیضوی منظم نیست و درواقع یک شکل نامنظم شبیه بیضی است، بنابراین هنگامی که یک بیضوی را

1. Flattening

بر زمین منطبق می‌کنیم، ممکن است یک منطقه بر روی زمین مثلاً، آمریکای شمالی، کاملاً منطبق با این بیضوی شود، اما برای منطقه‌ای دیگر مثلاً ایران، این تطابق وجود نداشته باشد. بدیهی است با توجه به اینکه سیستم مختصات جغرافیایی و مدارات و نصف‌النهارات بر روی این بیضوی، مبنای تعیین موقعیت عوارض و بالطبع محاسبه اندازه‌ها می‌باشد، بنابراین در چنین شرایطی، برای منطقه‌ای که این انطباق وجود نداشته باشد، دقت مناسبی نیز نمی‌توان انتظار داشت؛ لذا برای اینکه به دقت‌های بالاتری دست یابیم، برای هر منطقه و یا کشوری، بیضوی خاص آن منطقه تعریف می‌گردد، به‌گونه‌ای که این بیضوی بیشترین تطابق را با آن منطقه داشته باشد. به‌عنوان مثال، بیضوی با نام Clark 1866 بهترین انطباق را با منطقه آمریکای شمالی دارد، درحالی‌که بیضوی International 1909 برای ایران مناسب است. فرق بین این بیضوی‌ها در اندازه a و $1/f$ آن‌ها می‌باشد. امروزه با پیشرفت اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای، بیضوی‌های با دقت بالاتری به‌دست آمده‌اند (Longley, 2003).

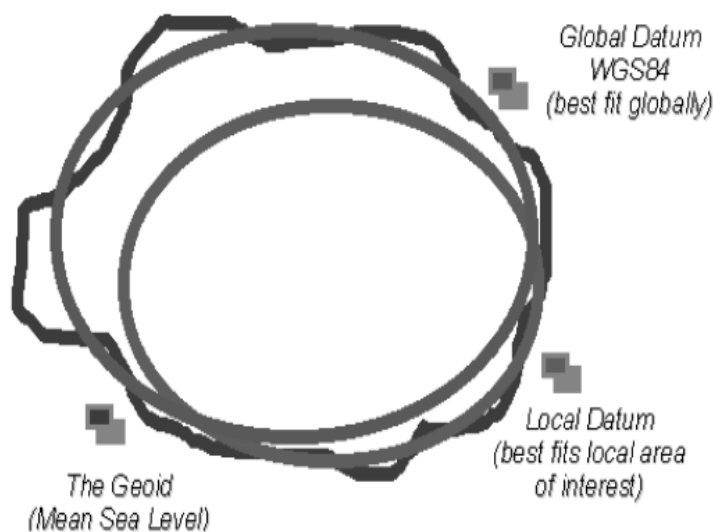
لازم به ذکر است که شکل واقعی زمین به‌وسیله سطح ژئوئید نمایش داده می‌شود. سطح ژئوئید، سطح هم‌نیروی میدان ثقل زمین است که انطباق زیادی با متوسط سطح آب‌های آزاد دارد. ناهمواری‌های سطح زمین (کوه‌ها و دریاها) در تعیین شکل زمین (سطح ژئوئید) دخالت ندارند و به‌عنوان یک مشخصه توصیفی نسبت به سطح ژئوئید تعریف می‌گردند (Longley, 2003).

۳. دیتوم^۱ (سطح‌مبنا)

درحالی‌که یک بیضوی، شکل زمین را تقریب می‌زند، یک دیتوم محل قرارگیری آن بیضوی را نسبت به مرکز زمین مشخص می‌کند، به‌گونه‌ای که برای اندازه‌گیری مختصات در یک منطقه خاص، بیضوی مربوط به آن منطقه بیشترین انطباق را با سطح واقعی زمین داشته باشد. درواقع، دیتوم چارچوبی را برای اندازه‌گیری‌های مکانی عوارض روی سطح زمین به شکل دقیق برای یک منطقه خاص فراهم می‌سازد؛ همچنین

1. Datum

خصوصیت دیگر دیتوم انتقال مرکز بیضوی به مرکز جرمی کره زمین است. در گذشته، دیتوم‌ها به صورت محلی و برای ایجاد بهترین انطباق با سطح ژئوئید در یک ناحیه مشخص، تعریف می‌گردیده‌اند. دیتوم‌های محلی معمولاً برای هم‌خوانی بیشتر با ناحیه موردنظر با شیفت دادن بیضوی به دست می‌آیند. بیش از ۱۵۰ دیتوم محلی برای کشورهای مختلف جهان مورداستفاده قرار گرفته‌اند. برای ایران، دیتوم European 1950 با بیضوی International 1909 به‌کار گرفته شده است. با گسترش فناوری اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای، دیتوم‌های بادقت و هم‌خوانی بالا با کره زمین و برای اندازه‌گیری‌های جهانی توسعه داده شده‌اند که معروف‌ترین آن‌ها WGS84 می‌باشد. در حال حاضر، در بسیاری از کشورهای دنیا و از جمله در کشور ما این دیتوم با بیضوی‌ای به همین نام، مبنای تهیه و تولید نقشه‌ها می‌باشد (Longley, 2003).



شکل (۳-۴) نمایش ژئوئید، یک دیتوم محلی و دیتوم WGS84

۴. سیستم‌های تصویر

سیستم مختصات جغرافیایی برای تعریف موقعیت‌های بر روی کره زمین تعیین شده است؛ اما با توجه به اینکه اطلاعات مربوط به پدیده‌های جغرافیایی بر روی نقشه که یک

سطح صاف دوبعدی است، نمایش داده می‌شوند و از طرفی، یک کره قابل مسطح شدن به صورت یک سطح صاف نیست، بنابراین، لازم است عوارض از سطح کره به یک سطح صاف تصویر شوند. فرآیند تصویر کردن سطح زمین بر روی یک سطح صاف، تصویر کردن نقشه می‌نامند. یکی از ساده‌ترین روش‌های تصویر کردن سطح یک کره بر روی یک سطح صاف، قرار دادن یک استوانه محیط شده به کره و روشن کردن چراغی در مرکز کره است که باعث می‌شود نقشه سطح کره بر روی استوانه بیفتد و سپس با باز کردن استوانه به یک نقشه مسطح دست‌یافت. نمایش سطح زمین بر روی یک سطح صاف باعث تغییراتی در شکل، سطح، فاصله و یا جهت می‌شود. یک سیستم تصویر نقشه با استفاده از روابط ریاضی، مختصات کروی را به مختصات سطح صاف تبدیل می‌کند. هر سیستم تصویری برای کمینه کردن یک یا دو عدد از این پارامترها طراحی شده است. مثلاً، سیستم تصویر، مساحت را حفظ می‌کند اما شکل را تغییر می‌دهد (Longley, 2003).

سیستم‌های تصویر برای مقاصد خاص طراحی می‌شوند. یک سیستم تصویر ممکن است برای نقشه‌های بزرگ‌مقیاس و در یک محدوده کوچک مناسب باشد، درحالی‌که دیگری برای نقشه‌های کوچک‌مقیاس و برای منطقه‌ای بزرگ کاربرد داشته باشد. با توجه به این‌که کره زمین سه‌بعدی است، زمانی که قرار باشد بخشی از آن را به شکل دوبعدی نمایش دهند، مشکلاتی در تبدیل سیستم مختصات جغرافیایی به سیستم مختصات تصویری پدید می‌آید:

۱. یک بعد یعنی ارتفاع حذف می‌شود که می‌بایست برای نمایش ارتفاع بر روی

نقشه راه‌حلی پیدا کرد.

۲. تبدیل کردن یک سطح محدب به سطح مسطح سبب تغییراتی در ابعاد،

اندازه‌ها و اشکال می‌شود.

در سیستم مختصات تصویری طول و عرض جغرافیایی دارای واحد یکسانی برای

اندازه‌گیری بر روی زمین نیستند. یک درجه طول جغرافیایی در استوا حدود ۱۱۱

کیلومتر می‌باشد، درحالی‌که بر روی عرض جغرافیایی ۶۰ درجه معادل ۵۵ کیلومتر می‌باشد.

۵. طبقه‌بندی سیستم‌های تصویر

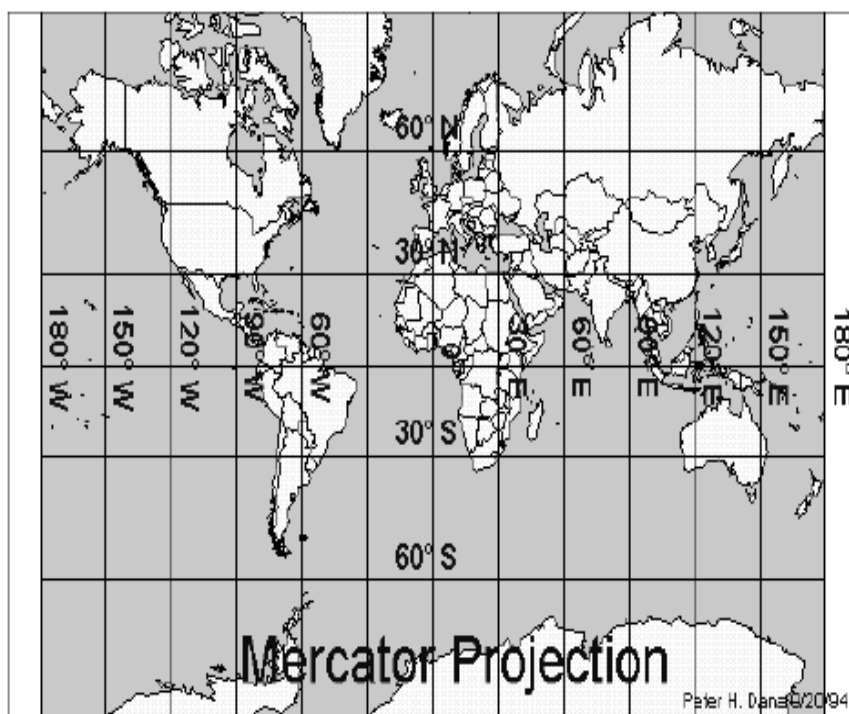
تصویر کردن^۱ عبارت است از، تبدیل مختصات نقاط از مختصات اسفروئیدی (مانند کره یا شبه کره) به یک مختصات مستوی (مانند نقشه). سیستم مختصات مستوی دارای دو محور X و Y بوده و مبدأ مختصات ($X=0$ و $Y=0$) درست در وسط شبکه قرار خواهد داشت. عمل تصویر کردن یک تبدیل ریاضی است و روابط ریاضی آن پروژکسیون نقشه نامیده می‌شود. نکته قابل‌توجه اینکه، به دلیل انتقال پدیده‌ها از سطحی منحنی شکل به سطحی مستوی، بعضی از مشخصه‌های هندسی پدیده‌ها نظیر شکل، مساحت و زوایا تغییر خواهد کرد؛ به‌منظور به حداقل رساندن این خطاها سیستم‌های تصویر مختلفی ارائه شده‌اند. این سیستم‌ها را می‌توان بسته به نوع سطح تصویر کردن و چگونگی قرار گرفتن به سه نوع اصلی مخروطی، استوانه‌ای و مسطح تقسیم نمود. خطاهای هندسی ناشی از تصویر کردن در محل نقطه و در طول خط تماس معادل صفر خواهد بود. از این‌رو، خط تماس را خط استاندارد یا خط تغییر شکل صفر می‌نامند. با دور شدن از نقطه و خط تماس به تدریج میزان خطا افزایش می‌یابد. این خطاها موجب می‌شوند که عامل مقیاس (نسبت طول یک خط بر روی کره به طول همان خط در سطح پروژکسیون) تنها در طول خط تماس معادل یک می‌باشد و در دیگر مناطق کسری از یک می‌باشد.

سیستم‌های مختلفی برای تصویر نقشه به وجود آمده‌اند که در بعضی از آن‌ها خطوط طول و عرض جغرافیایی مستقیم و در بعضی به‌صورت منحنی می‌باشد. در انتخاب یک سیستم تصویر چهار خصوصیت مساحت، شکل، فاصله و جهت می‌بایست مدنظر باشد. بر این اساس که کدام‌یک از پارامترهای هندسی تصویر بعد از عمل تصویر کردن مهم‌تر می‌باشد، سامانه‌های تصویر به انواع مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند:

1. Projection

۶. سیستم تصویر هم‌شکل^۱

این نوع از سیستم‌های تصویر حفظ‌کننده شکل هستند. برای حفظ زوایا که معرف روابط مکانی اشکال می‌باشند، یک سیستم تصویر هم‌شکل می‌بایست، خطوط عمود برهم را به صورت شبکه‌های با زاویه ۹۰ درجه بر روی نقشه نمایش بدهد (شکل ۴-۴). البته نتیجه حفظ شکل این است که مساحت‌ها به‌طور محسوسی در نقشه نسبت به واقعیت آنان بر روی زمین تغییر پیدا می‌کنند. به‌طور کل، هیچ سیستم تصویری نمی‌تواند شکل‌های مناطق وسیع را حفظ کند. ازجمله معروف‌ترین سیستم تصویرهای هم‌شکل، می‌توان به Lambert Conformal Conic، UTM، Mercator اشاره نمود (Shekhar and Xiong, 2007).

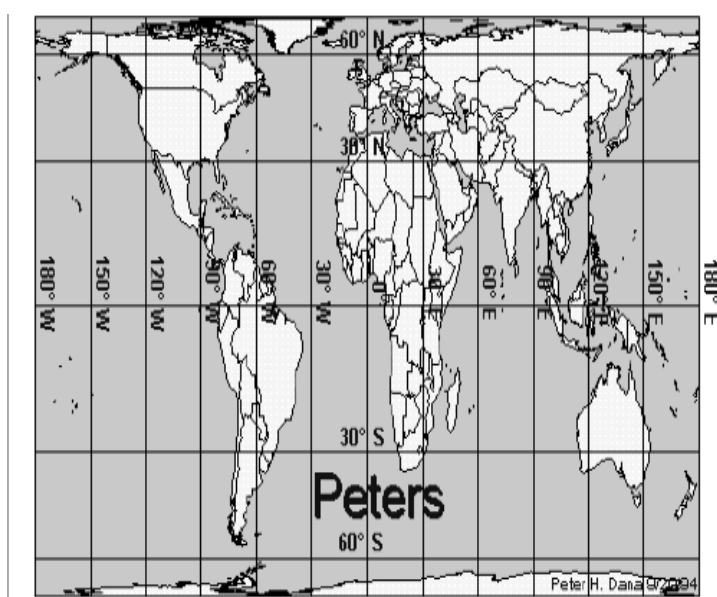


شکل (۴-۴) سیستم تصویر هم‌شکل

1. Conformal

۷. سیستم تصویر هم مساحت^۱

این نوع از سیستم‌های تصویر حفظ‌کننده مساحت هستند؛ اما با حفظ مساحت، فاکتورهای دیگر از قبیل شکل، زاویه و مقیاس دچار تغییر خواهند شد (شکل ۴-۵). در این نوع از سیستم‌های تصویر، مدارها و نصف‌النهارها ممکن است با زاویه درست (قائم) به هم تلاقی پیدا نکنند (Shekhar and Xiong, 2007). دو نمونه از این سیستم تصویر عبارتند از: Albers equal-area conic, Lambert azimuthal equal-area.



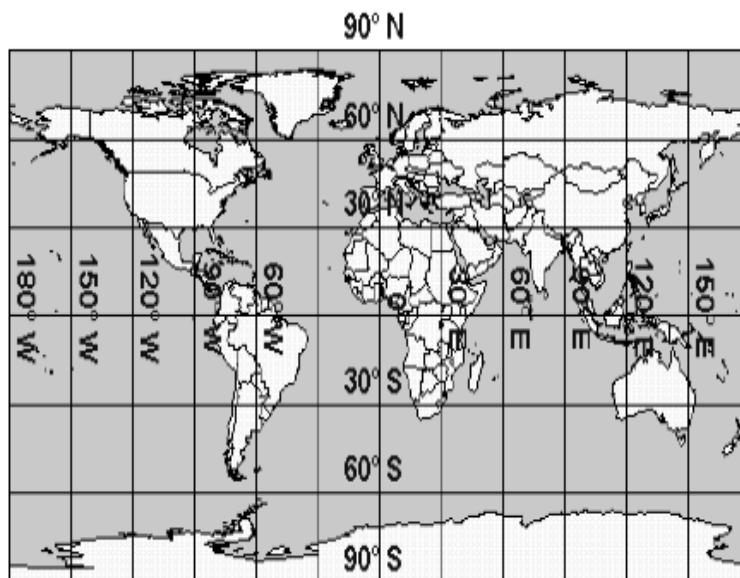
شکل (۴-۵) سیستم تصویر هم مساحت

۸. سیستم تصویر هم فاصله^۲

این نوع از سیستم‌های تصویر حفظ‌کننده فاصله بین نقاط هستند (شکل ۴-۶). در هر صورت معمولاً در این نوع سامانه‌های تصویر یک یا چند خط وجود دارد که در راستای آن مقیاس نقشه درست می‌باشد. به‌طور مثال، در سیستم تصویر سینوسوئی^۳

1. Equivalent
2. Equidistant
3. Sinusoidal

استوا و به‌طور کلی مدارها دارای طول واقعی خود هستند. باید به خاطر داشت که هیچ سیستم تصویر هم‌فاصله‌ای که فاصله تمام نقاط در تمام جهات واقعی باشند، وجود ندارد (Shekhar and Xiong, 2007).



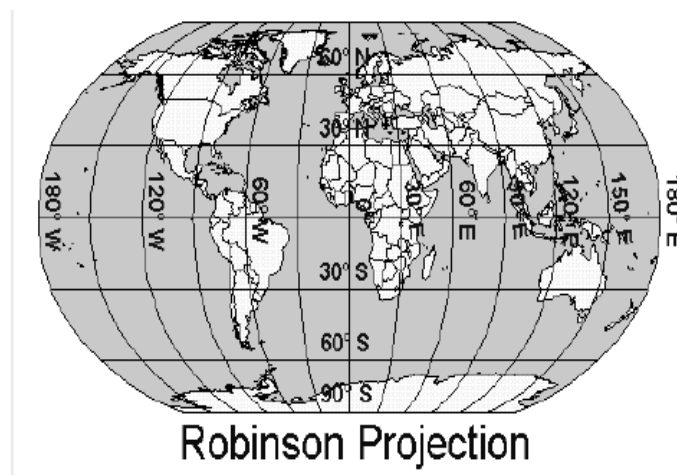
شکل (۴-۶) سیستم تصویر هم فاصله

۹. سیستم تصویر هم‌جهت^۱

کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه در یک سطح منحنی مانند، سطح زمین در طول هم‌ارز کروی یک خط مستقیم در یک سطح صاف می‌باشد. این فاصله در واقع بر روی بزرگ‌ترین دایره از کره که از این دو نقطه می‌گذرد قرار گرفته است. در سیستم‌های تصویر هم‌جهت و یا آزیموتال^۲ جهات تمامی خطوط بر پایه همین کمترین فاصله می‌باشد (شکل ۴-۷). بعضی از این سامانه‌های تصویر هم‌زمان شکل، هم مساحت و یا هم فاصله نیز می‌باشند. از جمله چنین سیستم‌های تصویری می‌توان به سامانه‌های Lambert Azimuthal و Stereographic اشاره کرد.

1. True direction

2. Azimuthal



شکل (۷-۴) سیستم تصویر هم‌جهت

۱۰. انواع سیستم‌های تصویر

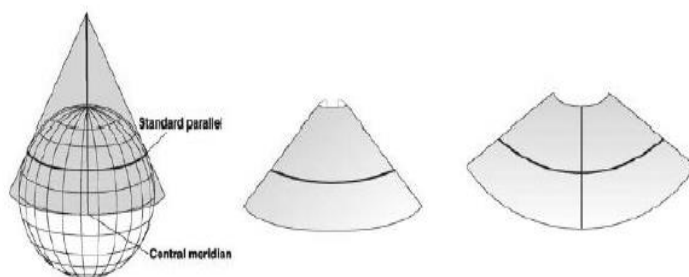
از آنجایی که نقشه اصولاً مسطح می‌باشد، بعضی از ساده‌ترین سامانه‌های تصویر براساس اشکال هندسی که می‌توانند بدون کش آمدن و یا تغییر شکل دادن به سطح صاف تبدیل شوند، شکل می‌گیرند که به رویه‌های توسعه‌پذیر معروف هستند. بعضی از متداول‌ترین این رویه‌ها عبارتند از مخروط‌ها، استوانه‌ها و سطوح. یک سیستم تصویر به‌صورت سامانمند موقعیت نقاط را از روی سطح کره با استفاده از الگوریتم‌های ریاضی بر روی یکی از رویه‌های فوق‌الذکر تصویر می‌کند.

اولین مرحله از تصویر کردن از یک سطح به سطحی دیگر در نظر گرفتن یک یا چند نقطه به‌عنوان نقطه تماس می‌باشد. هر نقطه و یا خط تماس، نقطه و یا خط مماسی نامیده می‌شود، به‌نحوی که در سیستم تصاویر صفحه‌ای^۱ در یک نقطه و در سیستم‌های تصویر مخروطی و استوانه‌ای، در طول یک خط، سطح کره با سطوح تصویر، مماس می‌شوند (Shekhar and Xiong, 2007).

1. Planar

۱۱. سیستم تصویر مخروطی

ساده‌ترین نوع سیستم تصویر مخروطی، نوع مماسی آن است که مخروط در یک عرض جغرافیایی معین با کره زمین مماس می‌گردد؛ این خط به نام مدار استاندارد^۱ شناخته می‌شود. نصف‌النهارها بعد از تصویر شدن بر روی سطح مخروط، در نقطه رأس مخروط همدیگر را قطع می‌کنند و مدارها به صورت کمان نمایان می‌شوند. در نهایت مخروط در راستای یک نصف‌النهار بریده می‌شود و مسطح می‌گردد که نصف‌النهار مقابل آن را نصف‌النهار میانی^۲ می‌نامند. در این سیستم تصویر بافاصله گرفتن از مدار استاندارد اعوجاجات افزایش پیدا می‌کنند بنابراین کنار گذاشتن قسمت‌های فوقانی هرم (که نواحی شمالی بر روی آن تصویر می‌شوند) باعث افزایش دقت نقشه نهایی خواهد شد. این سیستم تصویر برای نواحی واقع در عرض میانی که گستره‌ای شرقی-غربی دارند، بسیار مناسب می‌باشد.



شکل (۴-۸) سیستم تصویر مخروطی با یک مدار استاندارد

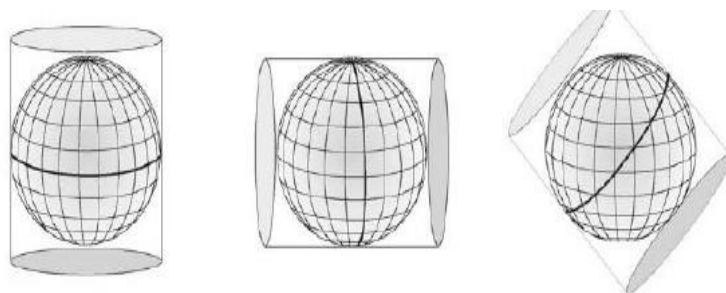
در مواردی در بعضی از سیستم تصاویر مخروطی، مخروط در دو عرض سطح کره زمین را قطع می‌کند. به این نوع از سیستم تصاویر مخروطی، سیستم تصاویر متقاطع مخروطی می‌گویند که با دو مدار استاندارد تعریف می‌گردد. نمایش عوارض جغرافیایی بستگی به فاصله بین مدارهای استاندارد دارد. این سیستم در راستای شمالی جنوبی هم فاصله می‌باشد؛ ولیکن هم‌شکل و هم مساحت نیست (Shekhar and Xiong, 2007).

1. Standard Parallel
2. Central Meridian

۱۲. سیستم‌های تصویر استوانه‌ای

مشابه با سامانه‌های تصویر مخروطی، این سامانه‌ها دارای دو نوع مماسی و متقاطع می‌باشند. سیستم تصویر مرکاتور^۱ یکی از متداول‌ترین این نوع سامانه‌ها می‌باشد که استوانه در استوا با کره زمین مماس می‌گردد. نصف‌النهارات به صورت هندسی بر روی سطح استوانه تصویر می‌شوند و فاصله مدارها از یکدیگر با استفاده از روابط ریاضی محاسبه می‌شوند که در نهایت مدارات و نصف‌النهارات در این سیستم بر یکدیگر عمود خواهند بود؛ در نهایت، استوانه در راستای یک نصف‌النهار بریده شده و مسطح می‌گردد. نصف‌النهارات در نهایت هم فاصله خواهند بود؛ ولیکن فاصله مدارات با نزدیک شدن به قطبین افزایش پیدا می‌کند. این نوع سامانه‌های تصویر هم‌شکل هستند و در راستاهای مستقیم جهت را نیز حفظ می‌کنند؛ در نتیجه در این نوع از سامانه‌های تصویر خطوط کشتیرانی^۲ و خطوط با آزمون ثابت به صورت خط راست نمایش داده می‌شوند، ولی خطوط منحنی، شکل خود را حفظ نمی‌کنند. در موارد خاص از این نوع از سامانه‌های تصویر استوانه در راستایی غیر از راستای استوا بر کره مماس می‌گردد، به طور مثال در سیستم تصویر مرکاتور معکوس^۳ استوانه در راستای یک نصف‌النهار بر کره مماس می‌گردد؛ در نتیجه مدارهای استاندارد شمالی- جنوبی خواهند بود. در تمامی انواع این دسته از سامانه‌های تصاویر، در راستای خطوط مماسی و یا متقاطع اعوجاجی وجود ندارد و در این راستا نقشه هم فاصله می‌باشد (Shekhar and Xiong, 2007).

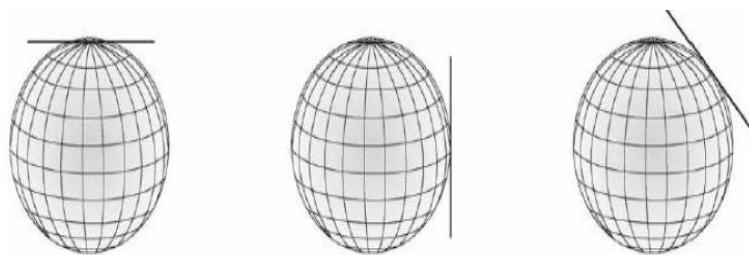
1. Mercator
2. Rhumb Lines
3. Transverse Mercator



شکل (۹-۴) انواع حالت‌های ممکن مماس شدن استوانه با کره در سامانه‌های تصویر استوانه‌ای: کج (راست)، عرضی (وسط) و نرمال (چپ).

۱۳. سیستم‌های تصویر صفحه‌ای

این دسته از سامانه‌های تصویری، سطح کره را بر روی یک سطح مسطح که در نقطه‌ای بر سطح کره مماس می‌باشد، تصویر می‌کنند. این سامانه‌ها معمولاً به‌گونه‌ای هستند که صفحه در یک نقطه با کره مماس می‌شود؛ ولیکن نوع متقاطع آن‌ها نیز وجود دارد. این نقطه به‌عنوان نقطه کانونی^۱ شناخته می‌شود که مرکز سیستم مختصات محسوب می‌گردد و با یک طول جغرافیایی و یک عرض جغرافیایی مشخص می‌شود. انواع قطبی^۲، استوایی^۳ و مایل^۴ در این سیستم تصاویر وجود دارد (Shekhar and Xiong, 2007).



شکل (۱۰-۴) انواع حالت‌های ممکن مماس شدن صفحه با کره در سامانه‌های تصویر صفحه‌ای: کج (راست)، استوایی (وسط) و قطبی (چپ).

1. Focus
2. Polar
3. Equatorial
4. Oblique

۱۴. سیستم‌های تصویر مورد استفاده در ایران

کشور ما ایران، در گستره‌ای به عرض ۱۵ درجه (از ۲۵ درجه شمالی تا ۴۰ درجه شمالی) و طول ۱۹/۵ درجه (از ۴۴ درجه شرقی تا ۶۳/۵ درجه شرقی) در ربع کره شمالی- شرقی بر روی زمین واقع شده است. با توجه به وسعت زیاد و شکل نسبتاً مربعی شکل آن (تقریباً در هیچ راستایی کشیدگی ندارد) تعیین یک سیستم تصویر خاص که در تمامی مقاصد بتوان از آن استفاده کرد، کاری غیرممکن می‌باشد. از این رو، معمولاً برای هر مقصد خاصی بسته به گستره ناحیه مورد مطالعه و مقیاس نقشه‌ای که قرار است تهیه شود و همچنین نوع مطالعه‌ای که قرار است بر روی نقشه‌های به دست آمده انجام پذیرد، سیستم تصویر مناسب انتخاب می‌گردد. امروزه با توسعه روزافزون علم و فن ژئوماتیک^۱ و نرم‌افزارهای کاربردی در این زمینه به راحتی و در کمترین زمان می‌توان با مشخص بودن پارامترهای سیستم مختصات هر نقشه رقومی، به راحتی به یک سیستم مختصات دیگر تبدیل نمود.

۱۵. سیستم مختصات لامبرت هم‌شکل^۲ (LCC)

این سیستم مختصات توسط سازمان نقشه‌برداری ایران به گونه‌ای طراحی شده است که خطاها و اعوجاجات آن در کل سطح ایران کمینه می‌باشد (جدول ۴-۱ و شکل ۴-۱۱). این سیستم تصویر یکی از بهترین، کم خطاترین و کاربردی‌ترین سامانه‌های تصویر برای عرض‌های میانی (بین قطبین و استوا) می‌باشد و با توجه به اینکه کشور ما نیز در یک چنین جایی واقع شده است، لذا استفاده از این سیستم تصویر مناسب به نظر می‌رسد. همچنین، از آنجایی که در این سیستم تصویر از دو مدار استاندارد استفاده می‌شود، لذا می‌توان با درجه آزادی بیشتری آن را برای منطقه مورد نظر سفارشی کرد به گونه‌ای که خطاها کمینه گردند. خطاهای موجود در مساحت و شکل در این سیستم تصویر برای یک منطقه وسیع مانند ایران کمینه می‌باشد، از این رو استفاده از آن در

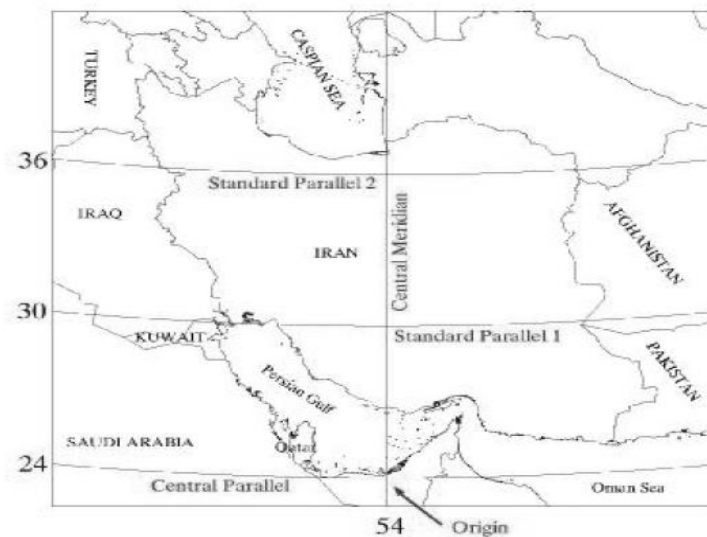
1. Geomatics

2. Lambert Conformal Conic

مقیاس‌های کوچک و متوسط مانند مطالعات کالبدی و حتی منطقه‌ای و در مواردی که قرار است پایگاه داده‌ها و اطلاعات به‌صورت یکپارچه طراحی گردد، بسیار متداول می‌باشد.

جدول (۱-۴) مشخصات سیستم تصویر LCC

Projection	Lambert Conformal Conic
Ellipsoid	International ۱۹۰۹ or WGS ۸۴
Datum	European 1950 (ED50), WGS 84
False Easting	2000000
False Northing	40000
Central Meridian	54
Latitude of Origin	24
Scale Factor	1
Standard Parallel 1	30
Standard Parallel 2	36



شکل (۱۱-۴) شمای کلی سیستم مختصات لامبرت یزد تعریف‌شده برای کل ایران

۱۶. سیستم مختصات UTM^۱

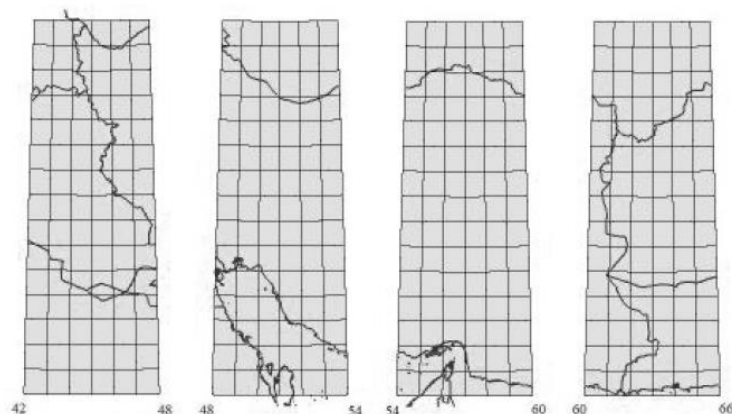
سیستم مختصات UTM درواقع نوعی از سیستم تصویر مرکاتور معکوس (TM^۲) می‌باشد که پارامترهای آن در سطح جهانی به‌صورت استاندارد تعریف شده است. سیستم TM، در شرایطی که وسعت منطقه برای استفاده از این سیستم مناسب باشد (طول جغرافیایی منطقه کمتر از ۶ درجه جغرافیایی باشد) مناسب است.

سیستم مختصات UTM از بهترین سامانه‌های تصویر از نظر خطاها و اعوجاجات چه در اشکال و چه در جهت‌ها و چه در مساحت‌ها می‌باشد. درعین حال اصلی‌ترین مشکلی که در این سیستم تصویر وجود دارد این است که ساختاری یکپارچه ندارد و ساختار و مختصات هر زون (قاچ) دقیقاً مانند زون‌های دیگر است، به‌نحوی که تمامی ۶۰ زون مختصاتی یکسان دارند و فقط شماره زون است که آن‌ها را از یکدیگر متمایز می‌سازد. کشور ما با توجه به وسعت آن در چهار زون ۳۸،۳۹،۴۰ و ۴۱ UTM قرار گرفته است. شکل (۴-۱۲) نحوه قرارگیری ایران در این چهار زون را نمایش می‌دهد.

فاکتور مقیاس در نصف‌النهار میانی هر زون برابر ۰/۹۹۹۶ می‌باشد و در فاصله‌ای حدود ۱۸۰ کیلومتر از نصف‌النهار میانی در استوا (که با نزدیک شدن به قطبین این فاصله نیز کاهش پیدا می‌کند) برابر ۱ می‌باشد و در راستای این خطوط مقیاس واقعی می‌باشد. مبدأ مختصات تمام زونها به‌گونه‌ای انتخاب شده است که طول نصف‌النهار میانی ۵۰۰۰۰۰ متر می‌باشد و از آنجایی که ایران در نیمکره شمالی است، استوا به‌عنوان مبدأ عرض‌ها در نظر گرفته می‌شود؛ بدین ترتیب مختصات تمام زونها مانند یکدیگر می‌باشد.

1. Universal Transverse Mercator

2. Transverse Mercator



شکل (۴-۱۲) در سیستم تصویر UTM، ایران در زون‌های ۳۸ الی ۴۱ واقع شده است

۴-۵- تبدیل بین سیستم‌های تصویر

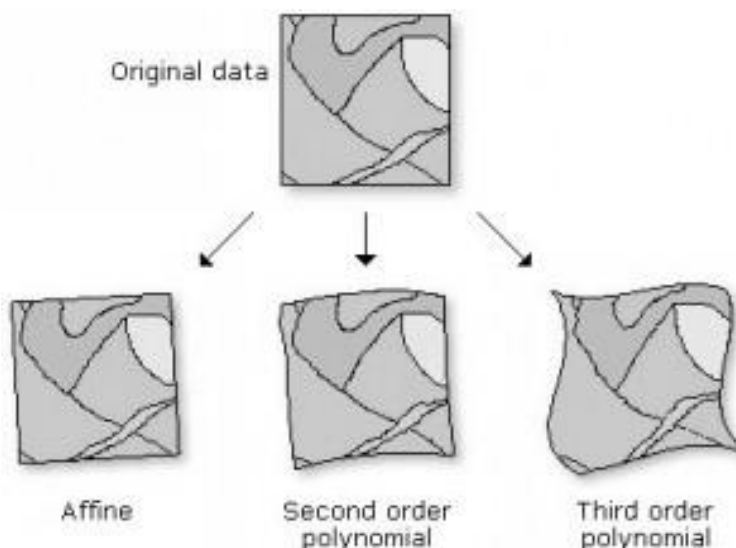
GIS یکی از ابزارهای قدرتمند برای تبدیل بین سامانه‌های تصویر و مختصات می‌باشد. علت آن است که این تبدیلات به علت ماهیت رقومی داده‌ها، می‌توانند توسط عملیات محاسباتی و عددی انجام شوند. در عمل برای سهولت کار تبدیل سامانه‌های مختصات در زمین مرجع‌سازی، از درجات دو و سه معادلات چندجمله‌ای (پلی نومیال)^۱ استفاده می‌کنند. برای حل این معادلات از روش سرشکنی کمترین مربعات بهره برده می‌شود. حل این معادلات به تعداد مشاهدات وابسته است. مشاهدات در این مورد می‌توانند از طریق زوج مختصات‌هایی که در هر دو سیستم مختصات نمایش‌دهنده یک نقطه می‌باشند، فراهم شوند. درواقع، معرفی هر نقطه مشترک بین دو سیستم تصویر، دو مشاهده و به تبع آن، دو معادله برای ما ایجاد می‌کند. تعداد مجهولات نیز با توجه به مرتبه معادله تعیین می‌گردد. مثلاً برای معادله درجه اول تعداد مجهولات ۶ تا است که مشابه حالت معادلات افاین^۲ می‌شود. درواقع، معادلات پلی نومیال همان معادلاتی هستند که به بیان غیرمثلثاتی می‌توانند پارامترهای دوران، جابجایی و ... را مدل کنند.

1. Polynomial

2. Affine

با حل این معادلات پارامترهای مجهول به دست می‌آیند و سپس برای هر نقطه با مختصات X و Y می‌توانیم معادل X و Y آن را در سیستم مختصات ثانویه محاسبه کنیم. به این ترتیب، تبدیل بین دو سیستم مختصات انجام خواهد شد و برای تمامی نقاط از سیستم مختصات اولیه، نقاطی از سیستم مختصات ثانویه به دست خواهد آمد.

نکته‌ای که در اینجا باید مدنظر قرار گیرد، این است که استفاده از معادلات با درجات بالا می‌تواند موجب اعوجاج تصویر اولیه شود. در حقیقت، هرچه درجات معادله بالاتر می‌رود، آزادی عمل معادله برای تغییر شکل عوارض موجود در سیستم مختصات اولیه بالاتر می‌رود. مثلاً می‌تواند بخش‌هایی از یک سیستم مختصات را فشرده کرده و یا بخش‌هایی را از هم دور کند. هرچه تعداد نقاط مشارکت‌کننده در سرشکنی در یک منطقه بیشتر باشد، دقت تبدیل مختصات در آن منطقه بالا می‌رود و اگر در یک منطقه از محدوده کار، تعداد نقاط کمی در نظر گرفته شود، نقاط داخل آن منطقه بر اساس اثر نقاط خارج از آن منطقه، تبدیل و جابجا می‌شوند و همین امر باعث افت دقت در یک منطقه خاص می‌شود (شکل ۴-۱۳).



شکل (۴-۱۳) تأثیرات تغییرات سیستم مختصات به روش‌های گوناگون بر روی یک تصویر

در نتیجه، در زمین مرجع کردن تصاویر، می‌بایست نقاطی را در معادله استفاده نمود که علاوه بر پوشش دادن کادر دور تصویر، داخل محدوده کار ما نیز دارای پخش مناسبی باشند و اصطلاحاً چگالی نقاط در بخش‌های مختلف محدوده کار ما تقریباً یکسان باشد.

در سال ۱۹۱۲، یوهان کروگر مجموعه روابط تسطیح سیستم مختصات مرکاتور را ارائه نمود. دقت این روابط در حد چند میلی‌متر در ۳۰۰۰ کیلومتر می‌باشد. سیستم مرجع مکانی WGS84 زمین را به صورت یک اسفروئید کشیده در طول محور شمالی جنوبی با شعاع مداری $a=6378.137$ و ضریب فشردگی $1/f=298.257223563$ توصیف می‌کند. اگر یک نقطه با طول و عرض جغرافیایی مشخص را در نظر بگیریم، می‌توانیم در کنار ضریب مقیاس نقطه k و همگرایی مداری، مختصات UTM آن را با استفاده از طول جغرافیایی مرجع محاسبه کنیم. برای تبدیل، در نیمکره شمالی $N_0=0$ و در نیمکره جنوبی $N_0=10000\text{km}$ فرض می‌شود؛ به همین ترتیب $k_0=0.9996$ و $E_0=500\text{km}$ در نظر گرفته می‌شود (Kawase, 2012).

در نرم‌افزار ArcGIS برای اجرای عملیات Projection (تبدیل و تغییر سیستم تصویر) لازم است که ویژگی‌های سیستم مختصات لایه موردنظر یعنی لایه ورودی، از پیش برای لایه تعریف شده باشد. برای اجرای Project یک لایه وکتور با فرمت Shapefile یا Geodatabase، در ArcToolbox، در گروه ابزارهای مدیریت داده (Data Management Tools) و در بخش Projection and Transforms و زیربخش Features، گزینه Project باید انتخاب و اجرا گردد.

به وضوح روشن است که هر لایه اطلاعاتی دارای یک سیستم مختصات با ویژگی‌های منحصر به خود می‌باشد و در بهره‌گیری و استفاده از لایه اطلاعاتی، آگاهی از نوع و ویژگی‌های سیستم مختصات آن، ضروری است. از این رو، در بسیاری از نرم‌افزارهای مکانی از جمله ArcGIS امکان تعریف ویژگی‌های سیستم مختصات و پارامترهای

سیستم تصویر برای لایه‌های اطلاعاتی وجود دارد و این تعریف جزئی از ساختار لایه می‌گردد. تعریف سیستم تصویر هر لایه، علاوه بر اینکه نرم‌افزار را قادر می‌سازد تا در هنگام کار با لایه اطلاعاتی از ویژگی‌های سیستم مختصات آن مطلع باشد، این امکان را فراهم می‌سازد، تا در هنگام تغییر سیستم تصویر (اجرای عملیات تصویر کردن^۱)، لزومی به ورود پارامترهای سیستم مختصات لایه ورودی نباشد.

در جعبه‌ابزار ArcToolbox و گروه ابزارهای مدیریت داده (Data Management Tools) و در بخش Projection and Transforms، گزینه Define Projection کار تعریف سیستم مختصات برای یک لایه را انجام می‌دهد. برای تعریف پارامترهای سیستم تصویر، گزینه تعریف ویژگی‌های رفرنس مکانی (Properties Spatial Reference) باید مورد استفاده قرار گیرد.

در نرم‌افزار ArcGIS، برخی از سیستم‌های تصویر مانند UTM با دیتوم WGS84 و... از پیش تعریف شده است و چنانچه سیستم تصویر مورد نظر جزء این لیست باشد، از طریق استفاده از ابزار Select قابل انتخاب می‌باشد. پس از انتخاب این گزینه، سیستم‌های مختصات قابل انتخاب در دو گروه، Geographic Coordinate Systems و Projected Coordinate Systems نمایش داده می‌شوند. ابزار Import نیز برای انتخاب سیستم مختصات برای لایه مورد نظر شبیه به سیستم مختصات یک لایه اطلاعاتی دیگر که قبلاً دارای تعریف Projection می‌باشد، به کار می‌رود. درواقع، از طریق این دکمه، اطلاعات Projection مورد نظر از یک لایه دیگر، تعیین می‌شود. گزینه New، برای ایجاد و انتخاب پارامترهای یک سیستم تصویر به کار می‌رود. به عنوان مثال، چنانچه هدف، تعریف سیستم Lambert Conformal Conic مناسب کشور ایران، برای یک لایه اطلاعاتی باشد، با توجه به اینکه این سیستم مختصات، از پیش تعریف نشده است، (در گزینه‌هایی که از طریق دکمه Select قابل انتخاب است، وجود ندارد)، لذا از این گزینه استفاده می‌شود و مطابق شکل ذیل، تنظیمات مربوطه انجام می‌گردد.

۴-۶- زمین مرجع سازی^۱

داده‌های رستر معمولاً توسط نقشه‌های اسکن شده، مجموعه تصاویر هوایی و تصاویر ماهواره‌ای ایجاد می‌گردد. مجموعه داده‌های اسکن شده عموماً دارای اطلاعات مرجع مکانی نمی‌باشند. همچنین، در تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، گاهی اوقات اطلاعات مکانی همراه آن‌ها ناکافی است و داده به‌خوبی با سایر داده‌ها هماهنگ نمی‌شود. لذا برای رفع این نواقص، شما نیازمند تطبیق یا زمین مرجع‌سازی نقشه به یک سیستم مختصات مشخص هستید. در یک سیستم مختصات شما نقشه را تصویر می‌کنید. بدین معنی که سطح کروی زمین، بر روی یک سطح مسطح تصویر می‌شود. در زمین مرجع‌سازی، شما موقعیت رستر را با استفاده از مختصات نقشه و اطلاق سیستم مختصات به آن تصحیح می‌کنید. زمین مرجع‌سازی برای داده شما امکان نمایش، پرسش و پاسخ و تحلیل را در کنار سایر داده‌ها فراهم می‌کند.

به‌صورت کلی، مجموعه داده رستر به‌وسیله داده‌های مکانی موجود مانند کلاس‌های ویژگی برداری موجود در نقشه، زمین مرجع می‌گردد. فرآیند شامل شناسایی مجموعه‌ای از نقاط کنترل زمینی (با x و y) معلوم است که مکان مجموعه داده رستر را با مکان داده مرجع مکانی مرتبط می‌کند. نقاط کنترل شامل مکان‌هایی هستند که به‌دقت بر روی مجموعه داده رستر و مختصات واقعی قابل‌شناسایی هستند. انواع مختلف کلاس‌های ویژگی برای این هدف قابل‌استفاده هستند.

نقاط کنترل برای ساخت تبدیلات پلی‌نومیال استفاده می‌شوند. این تبدیلات وظیفه انتقال نقشه از موقعیت فعلی به موقعیت صحیح مکانی را دارند. ارتباط میان یک نقطه کنترل بر روی رستر و نقطه مرتبط بر روی داده هدف یک لینک است. شکل (۴-۱۴) نمایشگر این لینک است. علامت زرد موجود بر روی داده هدف رستر در تقاطع خیابان‌ها و نقطه کنترل مرتبط با علامت سبز که بر روی لایه رستر قرار گرفته است. لینک مربوطه توسط علامت آبی نمایش داده شده است.

1. Georeferencing



شکل (۴-۱۴) نقطه کنترل، نقطه هدف و لینک میان آن‌ها

تعداد نقاط موردنیاز برای زمین مرجع‌سازی وابسته به پیچیدگی روش انتقالی است که شما برای انتقال داده رستر به مختصات نقشه انتخاب کرده‌اید. گرچه، اضافه کردن لینک‌های بیشتر لزوماً به معنی دستیابی به دقت بهتر نیست. اگر ممکن باشد، شما باید به‌جای متمرکز سازی لینک‌ها در یک ناحیه، آن‌ها را در سراسر رستر خود پخش کنید. معمولاً داشتن حداقل یک لینک نزدیک هر گوشه رستر و تعداد اندکی در میانه تصویر، می‌تواند منجر به نتایج خوبی گردد.

عموماً همپوشانی بیشتر میان مجموعه داده‌های رستر و داده هدف منجر به نتایج دقیق‌تری می‌گردد. به یاد داشته باشید، دقت زمین مرجع‌سازی شما به‌شدت به دقت داده‌ها وابسته است. برای حداقل‌سازی خطا، باید داده‌هایی با حداکثر قدرت تفکیک و بزرگ‌ترین مقیاس را انتخاب نمایید.

همان‌طور که در بخش قبلی و در فصل مبانی سیستم اطلاعات مکانی بیان شد، زمانی که شما لینک‌های کافی ساخته باشید، می‌توانید مجموعه داده رستر خود را به مکان داده هدف منتقل کنید. شما باید با انتخاب میان استفاده از معادلات پلی نومیال،

spline یا روش‌های آماری مکان صحیح را برای هر سلول از رستر خود انتخاب نمایید. انتقال پلی‌نومیال از معادلات پلی‌نومیال بر روی نقاط کنترل و الگوریتم کمترین مربعات بهره می‌گیرد. این انتقال برای دقت کلی بهینه بوده، ولی دقت محلی را تضمین نمی‌کند. هدف از به‌کارگیری معادلات برازش کمترین مربعات، ایجاد یک فرمول کلی است که بتواند به‌تمامی نقاط اعمال گردد. تعداد نقاط غیرهمبسته موردنیاز برای این روش ۳ برای معادلات درجه اول، ۶ برای معادلات درجه دوم و ۱۰ برای معادلات درجه سوم است. پلی‌نومیال درجه یک معمول‌ترین روش برای انتقال در زمین مرجع‌سازی است. این معادلات در بخش زمین مرجع‌سازی در فصل مبانی سیستم اطلاعات مکانی به‌تفصیل بیان‌شده‌اند. با حداقل سه لینک و با استفاده از تبدیلات درجه یک، معادله ریاضی می‌تواند، دقیقاً هر نقطه رستر را به نقطه هدف منتقل کند. هر نقطه اضافی می‌تواند مفاهیم خطا و یا باقی‌مانده را که در تعریف لینک‌ها نهفته است افشا کند؛ لذا استفاده از بیشتر از سه لینک برای تعیین مقادیر خطا ضروری است چراکه اگر یک لینک غلط باشد، تأثیر بزرگ‌تری بر روی انتقال خواهد داشت. لذا اگرچه مقدار خطای انتقال با اضافه کردن لینک‌ها افزایش می‌یابد، دقت کلی انتقال بهبود خواهد یافت.

هرچه درجه معادلات انتقال بالاتر باشد، اعوجاج ایجاد شده پیچیده‌تر خواهد بود؛ باین‌حال معادلات انتقال بالاتر از مرتبه به‌ندرت به‌کار می‌آید. افزایش مرتبه معادلات نیازمند لینک‌های بیشتر و لذا زمان پردازش بیشتر خواهد بود. به‌صورت کلی، اگر رستر نیازمند کشش، تغییر مقیاس و دوران می‌باشد، استفاده از مرتبه اول منطقی خواهد بود؛ اما اگر رستر شما نیازمند خمش، انحنای باشد معادلات درجه ۲ به کار می‌آید.

زمانی که فرمول‌های انتقال عمومی به نقاط کنترل اعمال می‌گردد، مقادیری از خطا حاصل می‌شود. این خطا اختلاف میان مکان نهایی نقطه منتقل شده با مکان نقطه کنترل است. خطای کلی به‌وسیله اخذ ریشه میانگین مربعات مجموع همه باقی‌مانده‌ها تعیین می‌گردد. این مقدار بیانگر میزان سازگاری انتقال میان نقاط کنترل مختلف است. زمانی که خطا زیاد است، شما می‌توانید با اضافه و کم کردن لینک‌ها خطا را تنظیم

کنید. گرچه خطای RMS ارزیابی مناسبی از دقت انتقال است، میزان کم RMS را با زمین مرجع‌سازی دقیق اشتباه نگیرید. برای مثال، انتقال ممکن است همچنان دارای خطای معینی باشد، ولی RMS خطا را نمایش ندهد. هرچه تعداد نقاط کنترل افزایش یابد، پلی‌نومیل به‌صورت دقیق‌تری می‌تواند داده ورودی را به خروجی تبدیل کند. همان‌طور که بیان شد، هدف از زمین مرجع‌سازی نسبت دادن مختصات صحیح زمینی به نقشه است. برای تحقق این امر از جعبه‌ابزار Georeferencing در نرم‌افزار ArcGIS استفاده می‌شود.

برای زمین مرجع‌سازی دو حالت کلی وجود دارد. نخست آنکه لایه‌ای مختصات واقعی در دسترس باشد و دوم آنکه چنین لایه‌ای موجود نباشد؛ اما قدم نخست در تمامی حالات Georeferencing وارد کردن لایه‌هاست. لازم است گزینه Auto Adjust در ابزار خاموش باشد تا پس از معرفی مرحله‌به‌مرحله بردارهای جابه‌جایی، تصویر پرسی نداشته باشد. گام بعدی، استفاده از بردارهای جابه‌جایی Control Points می‌باشد. هر چه تعداد این بردارها بیشتر باشد، دقت عمل نیز بیشتر خواهد شد. دقت عملیات زمین مرجع‌سازی بستگی به تعداد و صحت بردارهای جابه‌جایی دارد. به‌منظور استفاده از این بردارها از گزینه Add Control Points استفاده می‌گردد.

سه روش انتقال در ابزار زمین مرجع‌سازی وجود دارد. تبدیلات درجه ۱، درجه ۲ و درجه ۳ این سه روش هستند که در این میان چندجمله‌ای درجه ۳ دارای بیشترین دقت می‌باشد. باین‌حال، امکان استفاده و دقت این روش‌ها وابسته به تعداد نقاط کنترل می‌باشد. برای حل معادله چندجمله‌ای درجه ۱ حداقل ۴ بردار، درجه ۲ حداقل ۶ بردار و درجه ۳ حداقل ۱۰ بردار جابه‌جایی نیاز است.

۴-۷- ژئودیتابیس^۱

ژئودیتابیس یک فرمت رایج GIS می‌باشد که برخلاف سایر فرمت‌ها نظیر Shapefile دارای مزایایی است؛ مهم‌ترین آن این است که در Geodatabase از تمامی مزایای سامانه‌های مدیریت پایگاه داده یا DBMS استفاده می‌شود. برخی از مزایای Geodatabase نسبت به سایر فرمت‌های GIS عبارتند از:

- تعداد فایل‌های سامانه‌ای کمتر و در نتیجه حجم و اشتباه کمتر؛
- ذخیره چندین نوع عارضه در یک ژئودیتابیس؛
- ارتباط راحت‌تر با سایر نرم‌افزارها؛
- عدم محدودیت در حجم نمایه‌گذاری مکانی^۲؛
- تراکنش‌های طولانی^۳؛
- نسخه‌گذاری^۴؛
- قابلیت تعریف دامنه^۵؛
- قابلیت تعریف زیر نوع^۶؛
- قابلیت تعریف روابط توپولوژیک^۷؛
- قابلیت تعریف شبکه هندسی^۸.

در حالت کلی می‌توان ژئودیتابیس را بر دو نوع طبقه‌بندی نمود.

۱. تک کاربره: ژئودیتابیس شخصی^۹ و ژئودیتابیس فایل^{۱۰}

۲. چند کاربره: رومیزی^{۱۱}، گروه کاری^{۱۲} و سازمانی^۱

-
1. Geodatabase
 2. Spatial Indexing
 3. Long Transaction
 4. Versioning
 5. Domain
 6. Subtype
 7. Topological Relationships
 8. Geometric Network
 9. Personal Geodatabase
 10. File Geodatabase
 11. Desktop
 12. Workgroup

در حالت تک کاربره، تنها یک کاربر می‌تواند پایگاه داده را ویرایش نماید و در حالت چندکاربره، چندین کاربر می‌توانند با سطوح دسترسی مختلف و مشخص شده به پایگاه داده متصل شده و تغییراتی را در پایگاه داده لحاظ نمایند. در ژئودیتابیس شخصی داده‌ها در Microsoft Access ذخیره می‌گردد که محدودیت حجم تا ۲ گیگابایت و در ژئودیتابیس فایل داده‌ها در چندین فایل مجزا و مدیریت شده ذخیره شده و محدودیت حجم تا ۴ گیگابایت می‌باشد.

در حالت چند کاربره، داده‌ها در یکی از سامانه‌های مدیریت پایگاه داده ذخیره شده و محدودیت حجم آن به سیستم مدیریت پایگاه داده مورد استفاده که متناسب است با حافظه سروری که پایگاه داده در آن قرار می‌گیرد، بستگی دارد. سامانه‌های مدیریت پایگاه داده مورد استفاده با Geodatabase عبارتند از: Informix، SQL Server، Oracle، PostgreSQL و DB2.

با استفاده از این فناوری تمامی داده‌های مربوط به عوارض، شامل داده‌های مکانی و توصیفی، در یک پایگاه داده نگهداری می‌شوند. به این ترتیب، به جای اینکه داده‌های گرافیکی در فایل‌های جداگانه (مثل فایل‌های dgn یا فایل‌های Shape) و داده‌های توصیفی نیز در فایل‌های مجزا نگهداری شوند، تمامی داده‌های مکانی و توصیفی مربوط به یک منطقه یا یک شهر می‌تواند، به طور یکپارچه در یک پایگاه داده ذخیره و نگهداری شوند. این امر موجب می‌گردد تا استفاده از امکانات پیشرفته پایگاه‌های داده برای مدیریت و نگهداری حجم زیاد داده‌های مکانی امکان پذیر شده و همواره اطلاعات بهنگام در اختیار کاربر قرار گیرد (سنجری، ۱۳۹۰).

از مزایای بهره‌گیری از فناوری Geodatabase علاوه بر موارد فوق می‌توان به موارد زیر نیز اشاره کرد:

- عدم وابستگی به پایگاه داده و یا به نرم‌افزار GIS خاص؛
- نگهداری اطلاعات به صورت پایگاه داده به جای معماری File-Based؛

- پایگاه داده با عوارض یکپارچه^۱؛
- تسهیل توزیع و به اشتراک‌گذاری داده‌ها از طریق شبکه (اینترنت، اینترانت و ...).

پایگاه داده‌های مکانی می‌تواند با معماری سرویس‌دهنده/سرویس‌گیرنده (Client/Server) پیاده‌سازی گردد. در این معماری، پایگاه داده‌ای مانند Oracle 11g که دارای قابلیت ذخیره و مدیریت داده‌های مکانی می‌باشد، روی Server نصب می‌شود. کاربران از طریق شبکه و با نرم‌افزارهای GIS ای که قابلیت اتصال به این نوع پایگاه‌ها را دارند (مانند ArcGIS)، به پایگاه داده Oracle متصل شده و اطلاعات مکانی و توصیفی موردنظر را از روی پایگاه داده خوانده یا روی آن می‌نویسند.

۴-۸- تجزیه و تحلیل اطلاعات

عموماً سامانه‌های اطلاعات مکانی ابزارهای متنوع جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات را در اختیار کاربر قرار می‌دهند و به‌طور خلاصه این ابزار شامل موارد زیر می‌گردد:

تجزیه و تحلیل هم‌پوشانی اطلاعات^۲:

ترکیب لایه‌های اطلاعاتی مختلف در GIS، تحت عنوان Overlay شناخته می‌شود. در حالت بسیار ساده این مفهوم به امکان نمایش چندلایه اطلاعاتی بر روی همدیگر اشاره می‌کند اما در مفهوم وسیع‌تر، به ترکیب چندلایه اطلاعاتی بر اساس معیارهای تعریف‌شده توسط کاربر و تولید یک‌لایه اطلاعاتی جدید اشاره دارد. به‌عنوان نمونه می‌توان اطلاعات مربوط به نوع خاک، نوع پوشش گیاهی، شیب زمین و... را به‌منظور بررسی بهترین مکان جهت بنای یک پایگاه نظامی با یکدیگر ترکیب کرده و مناطق دارای پتانسیل در این خصوص را تحت یک‌لایه اطلاعاتی جداگانه مشخص نمود.

1. Seamless Database

2. Overlay

پردازش تصاویر^۱:

تعدادی از سامانه‌های GIS دارای ابزار و قابلیت‌های تحلیل و پردازش تصاویر سنجش‌ازدور می‌باشند. این ابزار با دریافت تصاویر ماهواره‌ای خام و تبدیل آن به نقشه مکان مرجع، از طریق قابلیت‌های مختلف موجود در سیستم از قبیل کلاسه‌بندی و غیره نسبت به تولید اطلاعات پایه موردنیاز سیستم GIS اقدام می‌نمایند.

تجزیه و تحلیل‌های آماری:

این ابزار به منظور انجام پردازش‌های آماری و زمین‌آماري بر روی عوارض مکانی و همچنین اطلاعات توصیفی منتسب شده به عوارض مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان نمونه، می‌توان به تهیه، تولید و ارائه یک گزارش آماری از میزان بارندگی صورت گرفته طی ماه‌های مختلف در حوزه‌های آبریز اشاره نمود (Worboys and Duckha, 2004).

۴-۹- انواع فاصله

در هر مسئله مکان‌یابی می‌توان فواصل بین نقاط را به طرق مختلفی در نظر گرفت. انتخاب نوع فاصله در یک مسئله مکان‌یابی به نوع مسئله و محدوده مورد بررسی بستگی دارد. نوع فاصله انتخابی یکی از تصمیم‌های مهم در مسائل مکان‌یابی به خصوص برای مسائل گسسته می‌باشد و در تابع هدف تأثیرگذار است. انواع مختلف فواصل در ادامه آمده است.

فاصله پله‌ای^۲:

این مقیاس با نام‌های زاویه قائمه یا روش اندازه‌گیری مستطیلی نیز شناخته می‌شود. به دلیل سادگی محاسبات و درک آسان این روش در حل بسیاری از مسائل از آن استفاده می‌شود. در این روش فاصله بین دو نقطه از مجموع فواصل در جهت عمودی و افقی به دست می‌آید. این روش در اندازه‌گیری مقدار فاصله درجایی که حرکت فقط در

1. Image Processing
2. Rectilinear Distance

راهروها انجام می‌شود و یا در محاسبه فواصل شهری، در شهرهای منظم جدید کاربرد دارد.

فاصله اقلیدسی^۱:

این فاصله کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه است. به عبارت دیگر خط مستقیمی که دو نقطه را به هم وصل می‌کند فاصله اقلیدسی بین آن دو است. درحالی‌که در بسیاری از موارد در نظر گرفتن فاصله به صورت اقلیدسی امکان‌پذیر نیست این روش کاربرد فراوانی در مسائل مکان‌یابی دارد. به عنوان مثال اگر بخواهیم یک انبار جدید در میان شبکه انبارهای موجود احداث کنیم استفاده از فاصله اقلیدسی مطلوب به نظر می‌رسد. از این فاصله در بعضی از انواع شبکه‌های حمل‌ونقل استفاده می‌شود. این فاصله در اندازه‌گیری مسافت‌های زیاد و در ابعاد ملی و بین‌المللی کاربرد زیادی دارد.

مجذور فاصله اقلیدسی:

فاصله به دست آمده از این روش مجذور فاصله محاسبه شده توسط روش اقلیدسی است. در این روش به تسهیلاتی که از هم دور هستند وزن بیشتری نسبت به تسهیلات نزدیک به هم داده می‌شود. کاربرد این روش کم است و تنها در برخی مسائل خاص کاربرد دارد. این فاصله در اندازه‌گیری فاصله تسهیلات نامطلوب و همچنین مراکز اورژانس و اضطراری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فاصله به صورت زیر محاسبه می‌شود.

کوتاه‌ترین مسیر^۲:

در تعیین فاصله بین دو گره در مسائل مکان‌یابی شبکه از این فاصله استفاده می‌شود. در یک شبکه، گره‌ها و یال‌های فراوانی وجود دارد. در مسائل شبکه بر روی هر یال مقادیری نوشته می‌شود که بیانگر زمان، مسافت و یا هزینه حرکت بین دو گره است. چون معمولاً بیش از یک مسیر بین دو گره وجود دارد، کوتاه‌ترین مسیر مورد توجه قرار می‌گیرد.

1. Euclidean Distance

2. Shortest path

همسایگی:

این روش بیانگر وجود بین مراکز است. اگر دو مرکز در کنار هم باشند، فاصله‌ی آن‌ها برابر با ۱ و در غیراین‌صورت صفر خواهد بود. اشکال عمده این روش در نظر نگرفتن فاصله بین دو مرکز غیر مجاور است؛ یعنی اگر بین دو مرکز غیر مجاور ۱ واحد و یا ۱۰ واحد فاصله وجود داشته باشد مقدار خروجی برابر ۰ است.

۴-۱۰- مدل‌سازی و تحلیل کاربری زمین

از ویژگی‌های منحصربه‌فرد GIS توانایی تحلیل هم‌زمان داده‌های مکانی و غیر مکانی (توصیفی) است که در جهت بهینه‌سازی تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی‌های مکانی (مانند مکان‌یابی) می‌باشد.

مدل‌سازی کاربری زمین یکی از کاربردهای اصلی و پایه‌ای سیستم اطلاعات مکانی است که هسته مرکزی آن را مدل‌سازی کارتوگرافی تشکیل می‌دهد. به‌صورت کلی مدل‌سازی کارتوگرافی شامل سه مرحله اصلی زیر است:

۱. پیش‌پردازش داده‌های مکانی؛
 ۲. توسعه یک فلوچارت برای نمایش گرافیکی مدل؛
 ۳. اعمال مدل با استفاده از عملیات GIS.
- علت وجود مرحله پیش‌پردازش، تنوع در منابع داده است. این داده‌ها از فرمت‌ها و مقیاس‌های مختلف وارد GIS می‌شوند. در هنگام ترکیب و یکپارچه‌سازی این داده‌ها نکات زیر باید در نظر گرفته شود:
۱. تمامی داده‌های مکانی باید در یک سیستم مختصات یکسان ثبت‌شده باشند. (داده‌های ثبت‌شده در سایر سامانه‌های مختصات باید به سیستم مختصات اصلی تبدیل شوند).
 ۲. تمامی داده‌های مکانی باید دارای یک قدرت تفکیک یا مقیاس یکسان باشند.

پایه و اساس مدل‌سازی کارتوگرافی جبر نقشه^۱ است. جبر نقشه عبارت است از: پردازش نقشه به‌عنوان متغیرهایی در معادلات جبری. در جبر متغیرها با نمادهایی مانند X و Y بیان می‌شوند؛ حال آنکه در جبر نقشه تمامی نقشه‌ها به‌عنوان متغیر معرفی می‌شوند. درست مانند جبر، جبر نقشه نیز دارای عملگرهای پایه (جمع، تفریق، ضرب و تقسیم، توان و...) می‌باشد که جهت حل مسائل پیچیده مکانی وارد جملات منطقی می‌شوند. برای مثال، یک مسئله هم‌پوشانی^۲ یک‌لایه جدید را از دولایه ورودی ایجاد می‌کند، در GIS اصولاً دو کلاس عمده از عملگرهای ترکیب لایه‌ها وجود دارد: برهم‌نهی بولین (مانند AND و OR) و ترکیب خطی وزن‌دار^۳ (WLC). با استفاده از مجموعه‌ای نقشه‌ها و مقادیر آستانه مرتبط با آن‌ها، نتیجه تقاطع بولین (AND) در صورت رسیدن شروط به حدود آستانه مشخص شده، مناطق مناسب برای استفاده است. در مقابل، حاصل اجتماع بولین (OR) مناطق مناسب است، در صورتی که حداقل یکی از شروط حدود آستانه تأمین شود. روش WLC عبارت است از، استانداردسازی نقشه‌ها، تخصیص وزن مناسب از میزان اهمیت نسبی هر نقشه و سپس ترکیب لایه‌ها با استفاده از وزن‌های تخصیص داده‌شده و استانداردسازی آن تا رسیدن به امتیاز میزان مناسب بودن هر بخش (Malczewski, 2004).

می‌توان برای تحلیل‌های کاربری زمین با استفاده از GIS سه دسته کلی را در نظر گرفت که در ادامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت.

تهیه نقشه هم‌پوشانی

تکنیک‌های هم‌پوشانی به کمک کامپیوتر به‌عنوان پاسخی به محدودیت‌های روش دستی تهیه نقشه و ترکیب مجموعه داده‌های بزرگ ارائه شد. در مقابل روش سنتی، در این روش، مدل‌ها در فرم‌های ماتریسی درون رایانه ذخیره می‌شود. لذا می‌توان از این داده‌ها برای تحلیل و ترکیب تا ایجاد یک نقشه هم‌پوشانی بارزش استفاده نمود. ورود

1. Map Algebra
2. Overlay
3. Weighted Linead Combination

مدل‌سازی کارتوگرافی و تکنیک‌های جبر نقشه یکی از توسعه‌های مهم در حوزه تهیه نقشه هم‌پوشانی به کمک کامپیوتر بود که در بخش قبل بررسی گردید.

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

یکپارچه‌سازی تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) با GIS یکی از توسعه‌های مهم در زمینه توسعه روش‌های هم‌پوشانی نقشه‌ها در تحلیل کاربری زمین است. تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره GIS مبنا را می‌توان، به‌عنوان فرآیند ترکیب و تبدیل داده‌های مکانی و غیر مکانی به یک تصمیم برآیند در نظر گرفت. فرآیند MCDM رابطه‌ای میان نقشه‌های ورودی و خروجی برقرار می‌کند. تعدادی از قوانین تصمیم چندمعیاره در محیط GIS پیاده‌سازی شده‌اند که برای حل مسائل کاربری زمین به‌شدت کاربردی است. قوانین تصمیم به دو روش کلی مدل‌سازی چندهدفه و مدل‌سازی چند شاخصه تقسیم می‌شود. روش‌های چندهدفه روش‌های برنامه‌نویسی ریاضی مدل گرا بوده حال آنکه روش‌های چند شاخصه داده گرا هستند. به روش‌های چند شاخصه روش‌های گسسته نیز می‌گویند؛ زیرا در آن‌ها فرض می‌شود که تعداد گزینه‌ها به‌صراحت مشخص شده است؛ درحالی‌که در روش‌های چندهدفه گزینه‌ها باید ایجاد شوند (توسط حل مسئله ریاضیاتی چندهدفه). شرح روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در فصل بعد بررسی خواهد شد.

روش‌های هوش مصنوعی

توسعه‌های اخیر در تحلیل‌های مکانی نشان می‌دهد که هوش مصنوعی فرصت‌های جدیدی در حل مسائل تحلیل‌های کاربری زمین ارائه می‌دهد. به‌صورت کلی، هوش مصنوعی^۱ (AI) شامل تکنیک‌های محاسباتی مدرن است که می‌تواند در مدل‌سازی و توصیف سامانه‌های پیچیده برای تصمیم و استنباط به کار گرفته شود. بخش اصلی هوش مصنوعی را محاسبات نرم تشکیل می‌دهد. از این دید، هوش مصنوعی به دنبال توسعه سامانه‌هایی است که هوش انسان را تقلید کنند، بدون آنکه در این میان درک

1. Artificial Intelligence

درستی از فرآیندهای پنهان موجود داشته باشند. فصل مشترک این روش‌ها آن است که برخلاف روش‌های مرسوم، روش‌های هوش مصنوعی در برابر خطا، ابهام و عدم قطعیت مقاومت بالایی دارند. AI شامل چندین روش مختلف است که از جمله آن‌ها می‌توان به الگوریتم‌های تکاملی^۱ (EA) و الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های هوش مصنوعی، سلولار اتومیتا^۲ و سامانه‌های فازی اشاره نمود.

منطق فازی

یکی از مباحث مهم در تحلیل‌های مکانی، غیرمنطقی بودن میزان دقت مفروض برای داده‌های ورودی است. در یک تحلیل پیچیده کاربری زمین، ارائه اطلاعات عددی دقیق و مورد نیاز برای روش‌های مرسوم، سخت و بعضاً غیرممکن است، همچنین در بسیاری از موارد عدم وجود مرز طبیعی برای عوارض و ویژگی‌ها کار را برای روش‌های مرسوم پیچیده می‌کند. در تعریف چنین مواردی عموماً نوعی ابهام و عدم دقت وجود دارد. همچنین در روش‌های مرسوم وزن‌های قیود اصولاً به‌صورت عددی تعریف می‌شوند. این در حالی است که میزان اهمیت و وزن، اصولاً به‌صورت عبارات زبانی تعریف می‌شود؛ بدین‌صورت که یک‌لایه مهم‌تر از لایه دیگر است. لذا مسائل مربوط به گنگی، ابهام و عدم دقت باید وارد مسائل کاربری زمین گردد که این مشکلات توسط منطق فازی و تئوری مجموعه‌های فازی پاسخ داده می‌شود.

شبکه‌های عصبی

مدل شبکه عصبی، حاصل از شبیه‌سازی عملکرد ذهن بشر است. این مدل تلاشی بر شبیه‌سازی ایدئال واحدهای پردازشی پایه مغز و ظرفیت‌های تعاملاتی، پردازشی و خودسازمان‌دهی آن‌هاست. ساختار اساسی یک شبکه عصبی به‌صورت ساده از مغز الهام گرفته شده است؛ بدین‌صورت که بسیاری از المان‌های پردازشی یکتا (نورون‌های مصنوعی)، توسط مجموعه‌ای از وزن‌های اتصال به یکدیگر متصل شده‌اند. شبکه عصبی را می‌توان از سه طریق بررسی نمود: ورودی (برای مثال داده‌های تحلیل کاربری زمین)،

1. Evolutionary Algorithms

2. Cellular Automata

مدل (برای مثال مدل کاربری زمین) و خروجی (بهترین الگو برای کاربری زمین). در فرآیند شبکه عصبی، هر ورودی در طول فاز آموزش به شبکه معرفی می‌شود. شبکه طوری طراحی شده که خروجی‌های هر گروه از ورودی‌ها را اصلاح نماید. این شبکه توسط مجموعه‌های متعدد ورودی‌ها و خروجی‌ها مشخص می‌شود (Malczewski, 2004). بدیهی است گام نخست به‌کارگیری شبکه، شناسایی رابطه‌های میان این داده‌هاست؛ همانند مغز، حافظه یا دانش حاصل شبکه در الگوهای کلی اتصال که تشکیل‌دهنده ساختار شبکه هستند، ذخیره و نگهداری می‌شود. در میان بسیاری از روش‌های آموزش موجود، روش پس‌انتشار^۱ همچنان یکی از رایج‌ترین مکانیسم‌های یادگیری است (Sui, 1993). باوجود برتری‌هایی که شبکه‌های عصبی نسبت به سامانه‌های مرسوم دارند، معایبی نیز دارند که پژوهشگران این رشته تلاش دارند تا آن‌ها را به حداقل برسانند، ازجمله معایب شبکه‌های عصبی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- قواعد یا دستورات مشخصی برای طراحی شبکه جهت یک کاربرد اختیاری وجود ندارد.
- در مورد مسائل مدل‌سازی، صرفاً نمی‌توان با استفاده از شبکه عصبی به فیزیک مسئله پی برد. به عبارت دیگر مرتبط ساختن پارامترها یا ساختار شبکه به پارامترهای فرایند معمولاً غیرممکن است.
- دقت نتایج بستگی زیادی به اندازه مجموعه آموزش دارد.
- آموزش شبکه ممکن است مشکل و یا حتی غیرممکن باشد.
- پیش‌بینی عملکرد آینده شبکه (عمومیت یافتن) آن به سادگی امکان‌پذیر نیست.

الگوریتم‌های تکاملی

همان‌طور که تاریخ الگوریتم‌های تکاملی نشان می‌دهد، گونه‌های زیادی از الگوریتم‌های تکاملی وجود دارند؛ ولی ایده همه آن‌ها یکی است: با داشتن جمعیتی از

1. Back-propagation

گونه‌ها^۱، فشار محیطی باعث انتخاب می‌شود (القاء بهترین^۲) و این افزایش شایستگی^۳ جمعیت را نتیجه می‌دهد. با داشتن یک تابع کیفیتی که می‌خواهیم بیشینه شود، می‌توان مجموعه‌ای از جواب‌های کاندید را به‌طور تصادفی تولید کرد و تابع کیفیت را به‌عنوان معیاری برای محاسبه شایستگی به کار برد (هر چه بیشتر، بهتر). بر اساس این شایستگی، بعضی از کاندیدهای بهتر انتخاب می‌شوند تا به‌عنوان هسته برای تولید نسل بعد به کار روند. بر روی این کاندیدها ترکیب و یا جهش^۴ اعمال می‌شود. ترکیب بر روی دو یا بیشتر کاندید اعمال می‌شود (والدین) و نتیجه آن تولید فرزند (فرزندانی) است. اعمال ترکیب و جهش باعث تولید مجموعه جدیدی می‌شود که با مجموعه قبلی (والدین) رقابت می‌کنند تا درنهایت برنده‌ها در نسل بعدی ظاهر شوند. این کار می‌تواند ادامه پیدا کند تا یک کاندید با ویژگی‌های کافی (جواب) به دست بیاید و یا اینکه محدودیت‌هایی که از قبل برای مسئله تعریف کرده‌ایم، ارضا شوند (Krzanowski and Raper, 2001). در این عمل دنیروی اصلی وجود دارد که پایه سیستم تکاملی است:

- عملگرهای تغییر (ترکیب و جهش) که باعث ایجاد گوناگونی لازم و درنتیجه نوآوری می‌شود.

- انتخاب که نیرویی است که کیفیت را به جلو می‌برد.

ترکیب تغییر و انتخاب باعث بهتر شدن مقادیر شایستگی در جمعیت‌ها می‌شود. با مشاهده روند حرکت جمعیت می‌توان تکامل به‌سوی بهینگی را مشاهده کرد. تکامل به‌عنوان فرایند تطبیق بیان می‌شود. از این دید، شایستگی به‌عنوان هدف اصلی که باید بهینه شود مطرح نیست، بلکه عبارتی است که نیازمندی کل محیط را بیان می‌کند، هرچه این نیازمندی‌ها بیشتر ارضا شوند، نتیجه در تعداد بیشتری از اعضای جمعیت خود را نشان می‌دهد. عمل تکامل باعث می‌شود که جمعیت با محیط خود بیشتر و

1. Individual

2. Survival of the fittest

3. fitness

4. mutation

بیشتر سازگار شود. بسیاری از اجزای فرآیند تکامل اتفاقی^۱ هستند. این اجزا در زمان انتخاب موجوداتی که مناسب‌تر^۲ هستند، احتمال انتخاب بیشتری دارند، هرچند در بیشتر اوقات، موجودات ضعیف‌تر هم شانس انتخاب شدن و زنده ماندن را دارند. اکثر اوقات موجودات به‌طور تصادفی برای ترکیب از جمعیت خارج می‌شوند. این مطلب در مورد تغییرات نیز صادق است. یکی از گروه‌های اصلی الگوریتم‌های تکاملی الگوریتم ژنتیک^۳ است. از کاربردهای مهم الگوریتم ژنتیک حل مسائل ترکیبی دارای فضاهای جستجوی بسیار بزرگ مانند مسائل پیچیده و چندهدفه کاربری زمین است (Krzanowski and Raper, 2001).

۴-۱۱- تهیه نقشه‌ها در ArcGIS

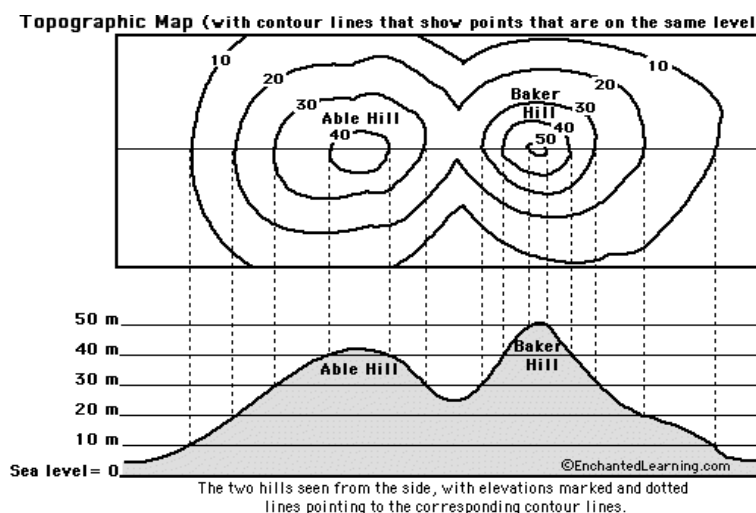
تهیه نقشه با توجه به نیاز کاربر صورت گرفته و از دستورالعمل‌ها و استانداردهای خاصی تبعیت می‌کند. پس از برآورد نیازها، جمع‌آوری داده‌ها صورت پذیرفته و استخراج عوارض صورت می‌پذیرد. در بسیاری از موارد لازم است پس از استخراج عوارض فرآیند زمین مرجع سازی صورت گرفته و درنهایت نقشه با استفاده از نقاط کنترل زمینی از لحاظ دقت خروجی کنترل شود و سپس پردازش‌های کارتوگرافی روی آن صورت پذیرد. به‌طور کلی نقشه‌ها را می‌توان به دودسته توپوگرافی و نقشه‌های موضوعی تقسیم‌بندی نمود.

• نقشه خطوط تراز^۴

خطوط تراز منحنی‌هایی فرضی است که تمام نقاط واقع بر آن دارای ارتفاع یکسانی نسبت به سطح دریا یا یک مبدأ مشخص می‌باشد. منحنی‌های میزان علاوه بر مشخص کردن پستی و بلندی منطقه بیانگر ارتفاع و شیب منطقه نیز می‌باشند (شکل ۴-۱۴).

1. stochastic
2. Fitter
3. Genetic Algorithm
4. Contour

فاصله بین خطوط تراز بیانگر تغییرات ارتفاع بوده به‌نحوی که اگر تغییرات ارتفاع شدید باشد این خطوط به یکدیگر نزدیک شده و اگر تغییرات ارتفاعی کم و یکنواخت بوده این خطوط از یکدیگر فاصله می‌گیرند. منحنی‌های بسته در این خطوط نشان‌دهنده گودال‌ها و قله‌ها می‌باشند. برای محاسبه تعداد خطوط تراز، اختلاف ارتفاع محاسبه‌شده و بر فاصله بین خطوط تراز تقسیم می‌شود و برای محاسبه فاصله بین خطوط تراز اختلاف ارتفاع بر تعداد خطوط تراز تقسیم می‌شود. در نقشه با مقیاس 1:50000 فاصله منحنی اصلی ۱۰۰ متر، فاصله منحنی‌های عادی ۲۰ متر (100/5)، فاصله منحنی‌های فرعی ۱۰ متر (20/2) و این تناسب برای سایر مقیاس‌ها نیز کاربرد دارد. فرضاً برای مقیاس 1:250000 تمامی فواصل ۵ برابر می‌شود.



شکل (۴-۱۵) نقشه منحنی میزان

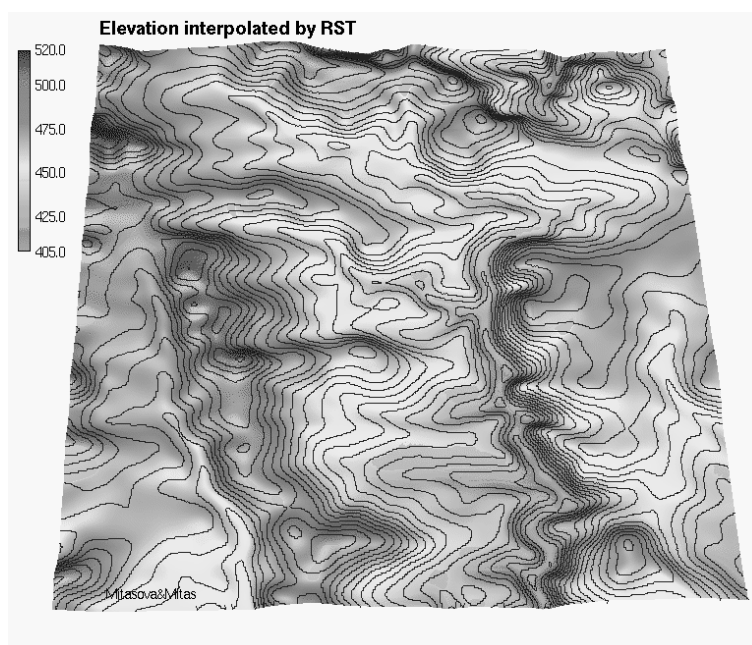
● نقشه شیب^۱

شیب از تانژانت زاویه شیب (نسبت اختلاف ارتفاع به فاصله افقی روی زمین) حاصل می‌گردد. اگر تانژانت زاویه شیب را در عدد ۱۰۰ ضرب کنید شیب به درصد به دست

1. Slope

می‌آید. شیب در حالت درجه از ۰ تا ۹۰ درجه تغییر می‌کند و شیب ۴۵ درجه برابر با ۱۰۰ درصد می‌باشد.

نقشه شیب با استفاده از لایه رستر ارتفاعی تهیه می‌شود و عبارت است از نرخ بیشترین تغییر مقدار ارتفاع هر سلول رستر (شکل ۴-۱۶). به عبارت دیگر مقدار بیشترین تغییر ارتفاع میان هر دو پیکسل همسایه سطح رستر محاسبه و به خانه موردنظر اطلاق می‌گردد. هنگامی که واحد مقادیر ارتفاعی با مقادیر افقی متفاوت باشد، استفاده از یک Z-Factor برای تصحیح محاسبات شیب حیاتی است. جهت ایجاد نقشه شیب لازم است از ابزار Slope در مجموعه ابزار Spatial Analyst Tools استفاده نمایید.



شکل (۴-۱۶) نمونه نقشه شیب

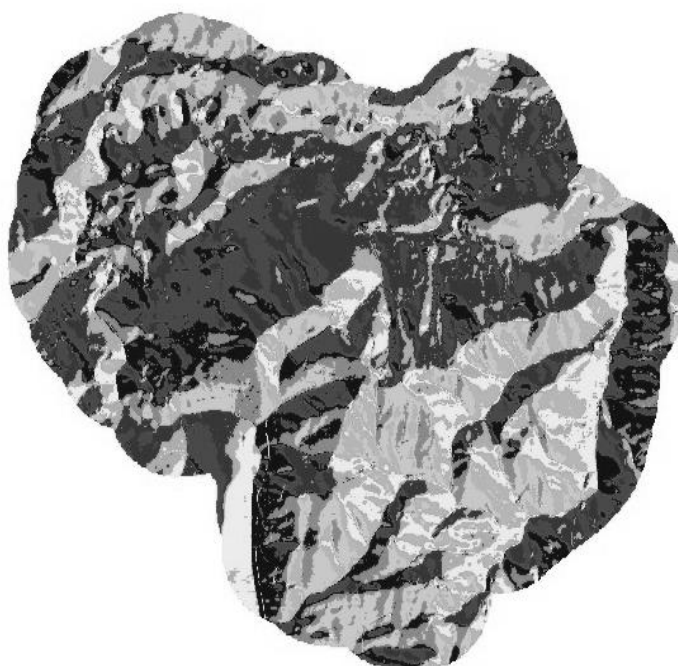
• نقشه جهت شیب^۱

منظور از جهت حداکثر تغییرات شیب است که برحسب زاویه بیان می‌شود. کاربرد نقشه جهت شیب فرضاً در کشاورزی در تعیین دامنه‌های جنوبی و شمالی به‌منظور

1. Aspect

کشت محصولات خاص کشاورزی و... می‌باشد. جهات شیب در نقشه تولیدشده هر کدام با رنگ مخصوص مشخص می‌شوند.

نقشه جهت شیب هم مانند شیب با استفاده از لایه رستر ارتفاعی تهیه می‌شود و عبارت است از جهت نرخ بیشترین تغییر مقدار ارتفاع هر سلول رستر (شکل ۴-۱۷). جهت ایجاد نقشه جهت شیب لازم است از ابزار Aspect در مجموعه ابزار Spatial Analyst Tools استفاده نمایید.



شکل (۴-۱۷) نمونه نقشه جهت شیب

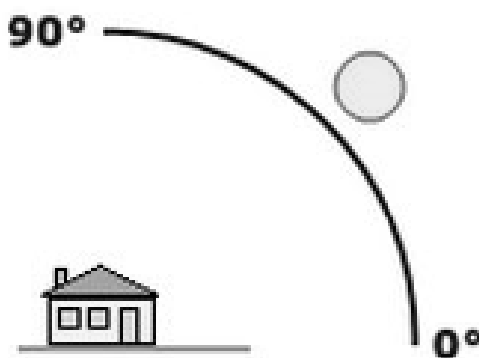
• نقشه سایه روشن^۱

یک مدل فرضی سه‌بعدی سایه روشن بوده که در آن تفکیک‌پذیری هر سلول نسبت به سلول دیگر بر اساس تناژ رنگی خاکستری می‌شود. محدوده عددی تناژ خاکستری

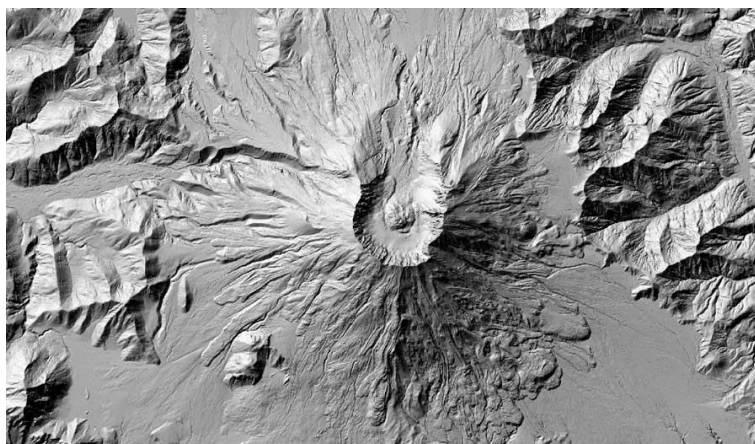
1. Hillshade

توسط دو زاویه آزیموت و ارتفاعی مشخص می‌شود. زاویه آزیموت زاویه جهت تابش خورشید بوده که مقدار آن از شمال و در جهت خلاف عقربه‌های ساعت بین ۰ تا ۳۶۰ درجه می‌باشد. زاویه ارتفاعی شیب (بلندای آفتاب) نسبت به افق بوده که هنگام طلوع و غروب زاویه ۰ درجه و هنگام ظهر زاویه ۹۰ درجه است.

با استفاده از ابزار Spatial Analyst می‌توان از رستر ارتفاعی موجود خود نقشه‌های شیب یا سایه روشن (Hillshade) و از نقشه‌های کاربری زمین خود هیستوگرام تهیه نمود. نکته قابل توجه در این تحلیل‌ها احتمال یکی نبودن ابعاد و اندازه پیکسل فایل‌های رستر موجود در پروژه شماست. برای مثال زمانی که شما عکسی از ماهواره Landsat تهیه می‌کنید عکس‌ها دارای قدرت تفکیک ۳۰ متری با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ هستند که ممکن است این ابعاد با تصاویر دیگری که برای کاربری اراضی استفاده شده متفاوت باشد. لذا گاهی اوقات نیاز به فرآیندهایی مانند Resampling احساس می‌شود تا ابعاد پیکسل کوچک‌تر به ابعاد پیکسل بزرگ‌تر تبدیل شود. همچنین مبرهن است که در تحلیل میان دو عکس با ابعاد متفاوت، عکس با ابعاد کوچک‌تر باید به عنوان عکس مرجع انتخاب شود. لذا تنظیم پارامترهای Processing Extent و Processing Extent بخش Environment Settings نرم‌افزار ضروری به نظر می‌رسد.



شکل (۴-۱۸) زاویه آزیموت نقشه سایه روشن



شکل (۴-۱۹) نمونه نقشه سایه روشن

• نقشه میدان دید^۱

نقشه میدان دید یا Viewshed یکی از ابزارهای مهم GIS در تحلیل‌های مکانی است. در این تحلیل، نقطه‌ای را در سطح منطقه مشخص نموده و طبق آن مناطقی که در رویت آن نقطه قرار می‌گیرند مشخص می‌شوند. در حقیقت میدان دید، سلول‌هایی از یک رستر را که از یک یا چند مکان مشخص قابل دید هستند مشخص می‌کند. به هر سلول در نقشه خروجی، مقداری متناظر با تعداد ناظرانی که توانایی مشاهده آن را دارند داده می‌شود. اگر تنها یک نقطه ناظر داشته باشیم، سلول‌های قابل مشاهده مقدار یک را دریافت می‌کنند. بدیهی است سلول‌های غیرقابل مشاهده توسط ناظر مقدار صفر را خواهند داشت. کلاس ویژگی‌های ناظرین می‌تواند شامل نقاط یا خطوط باشد. در حالت خطی، گره‌ها و یال‌های خطوط به‌عنوان محل ناظرین مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از این نقشه در مکان‌یابی دکل‌های مخابراتی، برج‌های مراقبت پرواز، برج‌های دیدبانی، ایستگاه‌های رادیو تلویزیونی و ... استفاده می‌شود. همچنین در بخش پدافند غیرعامل یکی از کاربردهای مهم این نقشه بررسی اختفا و استتار نقاط موردنظر است.

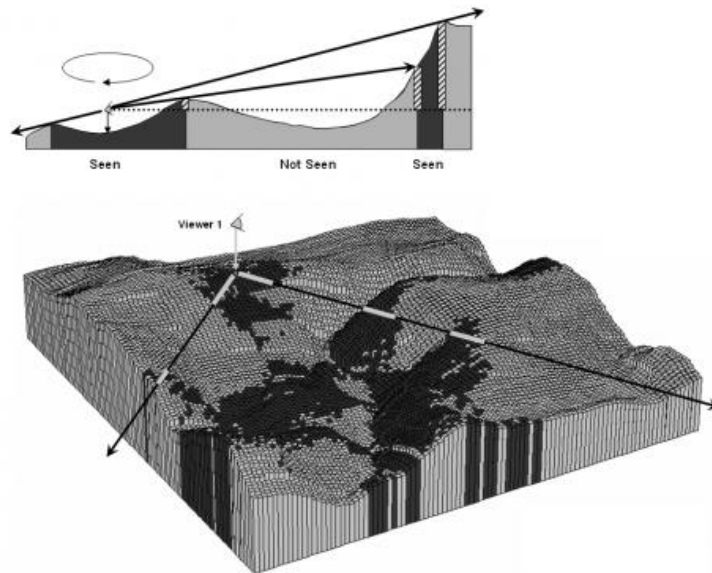
1. Viewshed

این نقشه به کمک یک مدل ارتفاعی رقومی (DEM) و یک نقطه برداری بر روی این مدل ایجاد می‌شود.

در نرم‌افزار ArcGIS دو ابزار Viewshed و Observer Points برای ایجاد و تحلیل خروجی رستر میدان دید استفاده می‌شوند.

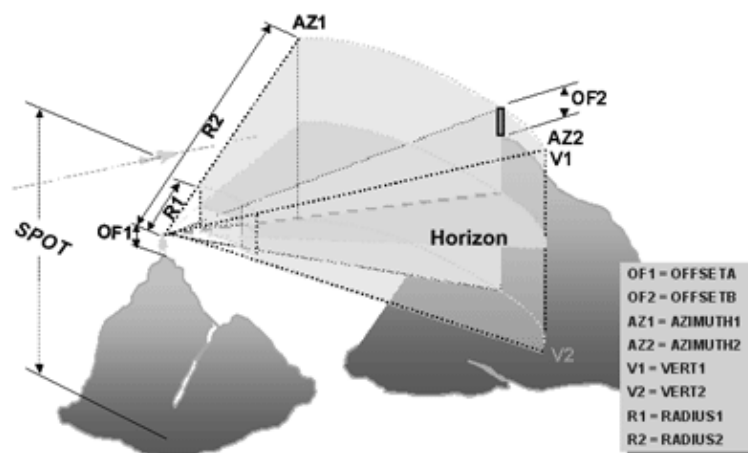
ابزار Viewshed رستری ایجاد می‌کند که مقدار هر سلول آن برابر تعداد ناظرینی است که از آن سلول قابل مشاهده هستند. مکان ناظرین توسط یک کلاس ویژگی نقطه‌ای و یا چندخطی به سیستم معرفی می‌گردد. مقدار هر سلول درون ستون Value جدول اطلاعات توصیفی رستر خروجی ذخیره می‌گردد. سلول‌های فاقد مقدار (No Data) در رستر خروجی نیز فاقد مقدار خواهند بود. جهت ایجاد این نقشه از جعبه‌ابزار Spatial Analyst و بخش Surface، ابزار Viewshed را به‌کارگیری می‌کنیم.

اما خروجی ابزار Observer Points علاوه بر تعیین میدان دید، مشخص می‌کند که هر سلول توسط کدام یک از ناظرین مشاهده می‌شود. این اطلاعات به‌صورت باینری در ستون Value جدول اطلاعات توصیفی رستر خروجی ذخیره می‌شوند. برای نمایش مناطقی که برای ناظر دوم قابل مشاهده می‌باشد به سراغ جدول اطلاعات توصیفی رفته و سطری که مقدار OBS2 آن برابر یک و مقادیر متناظر سایر ناظرین برابر صفر را انتخاب می‌کنیم. پس از آن مناطق قابل مشاهده توسط ناظر دوم روی نقشه مشخص می‌شوند. در این ابزار برای استفاده از داده‌های خطی لازم است ابتدا با استفاده از ابزار Feature Vertices To Points عوارض به فرمت نقطه‌ای تبدیل گردند.



شکل (۴-۲۰) نمونه نقشه میدان دید

می‌توان با تعیین پارامترهای مختلفی در مجموعه داده ویژگی‌ها مانند ارتفاع نقطه نظارت، آفست قائم، زاویه اسکن افقی و عمودی و فواصل اسکن منطقه دید را محدود نمود. به صورت کلی نه قلم از این پارامترها در این تحلیل قابل تعریف است. تصویر زیر به صورت گرافیکی کنترل تحلیل میدان دید را نشان می‌دهد. نقطه ناظر بر روی یک کوه در سمت چپ تصویر موجود است (OF1). جهت میدان دید درون مخروط به سمت راست است. بدین ترتیب شما می‌توانید میزان آفست نقطه ناظر (مثلاً ارتفاع ساختمان)، جهت نگاه و بالا و پایین بودن افق نگاه را کنترل کنید.



شکل (۴-۲۱) پارامترهای کنترل تحلیل میدان دید

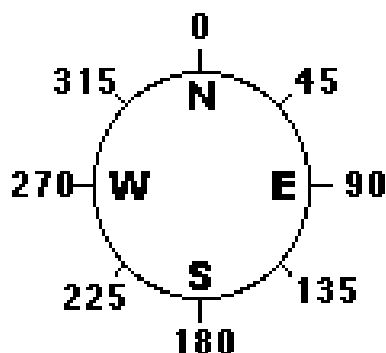
زمانی که ناظر به صورت یک کلاس ویژگی نقطه‌ای است، هر نقطه نظارت می‌تواند مقادیر یکتایی از قیود مشاهده را در جدول اطلاعات توصیفی خود اخذ نماید. زمانی که ناظر یک کلاس ویژگی چندخطی است، هر گره در طول چندخطی‌های ورودی از قیود یکسانی متعلق به هر رکورد چندخطی بهره می‌برد. زمانی که مقداری از این پارامترها تعریف نشده باشد، مقادیر پیش‌فرض برای آن‌ها اطلاق می‌گردد.

- SPOT: این پارامتر برای تعریف ارتفاع سطح برای نقطه نظارت استفاده می‌شود.
- OFFSET: آفست یک‌فاصله قائم در واحد سطح است که به مقدار Z یک مکان بر روی سطح اضافه می‌گردد. دو نوع آفست در این بخش تعریف شده است. یکی معرف ارتفاع اضافه‌شده به مکان نظارت می‌باشد و دیگری بیانگر مقداری است که به هر سلول برای قابلیت دید اضافه می‌گردد.



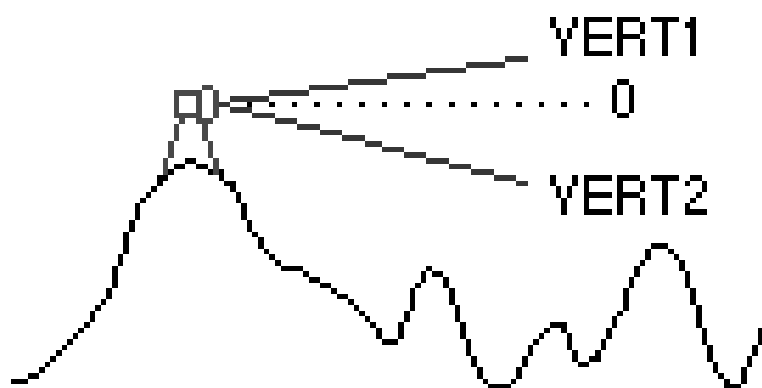
شکل (۴-۲۲) آفست در تحلیل میدان دید

- **OFFSETA:** این پارامتر بیانگر فاصله قائمی است که در واحد سطح به مقدار Z نقطه ناظر اضافه می‌گردد. اگر این مقدار در جدول اطلاعات توصیفی وجود داشته باشد، مقدار آن به مقدار $SPOT$ (در صورت وجود) اضافه می‌گردد. در غیر این صورت به مقدار درون‌یابی شده Z سطح اضافه می‌گردد. مقدار $OFFSETA$ باید مثبت باشد. مقدار پیش‌فرض در صورت عدم وجود آن ۱ است.
- **OFFSETB:** این پارامتر فاصله قائمی را تعیین می‌کند (در واحد سطح) که به مقادیر Z هر سلول در زمان تحلیل میدان دید اضافه می‌گردد. این مقدار باید مثبت بوده و در صورت عدم وجود، مقدار ۰ به‌جای آن فرض می‌گردد.
- **آزیموت:** پارامتر آزیموت زاویه افقی است که اسکن را محدود می‌کند. این زاویه به‌صورت ساعت‌گرد از اولین آزیموت به دومی باز می‌شود. مقدار زاویه برحسب درجه از صفر تا ۳۶۰ بیان می‌شود که در آن صفر بیانگر زاویه شمال می‌باشد.



شکل (۴-۲۳) زاویه آزمون در کنترل تحلیل میدان دید

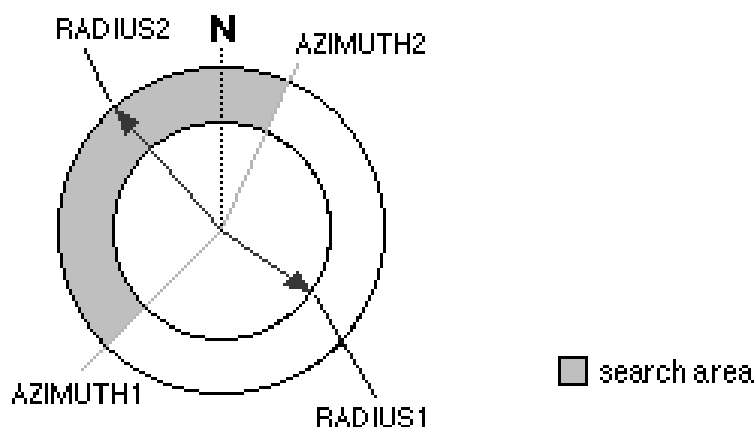
- **زاویه قائم:** زاویه قائم بیانگر محدوده اسکن در راستای قائم است. زوایا با مقادیر بین ۹۰- تا ۹۰+ درجه بیان می‌شوند. زوایای مثبت بیانگر زوایای بالای صفحه افق و مقادیر منفی بیانگر زوایای پایین صفحه افق می‌باشد. صفحه افق توسط ارتفاع نقطه ناظر به علاوه OFFSETA تعیین می‌گردد. هر دو مقدار زوایا می‌توانند منفی باشند.



شکل (۴-۲۴) زاویه قائم در کنترل تحلیل میدان دید

- **شعاع:** پارامتر شعاع، فاصله محدوده جستجو را محدود می‌کند. سلول‌هایی که فراتر از فاصله مشخصی از نقطه ناظر باشند می‌توانند از تحلیل مستثنی گردند. RADIUS1 بیانگر فاصله شروع است که محدوده دید از آن آغاز می‌گردد. مقدار

پیش‌فرض آن صفر می‌باشد. درحالی‌که RADIUS2 پایان محدوده را معین می‌کند و مقدار پیش‌فرض آن بی‌نهایت است.



شکل (۴-۲۵) پارامتر شعاع در کنترل تحلیل میدان دید

۴-۱۲- مکان‌یابی با نرم‌افزار ArcGIS

با استفاده از ابزارهای نرم‌افزار ArcGIS می‌توان تحلیل‌های پیچیده‌ای را بر روی داده‌های خود اجرا نمود و به سؤالات ساده‌ای مانند چگونگی و جهت شیب در یک مکان و همچنین سؤالات پیچیده‌ای مانند بهترین مکان برای بنای یک زیرساخت پاسخ داد. ابزارهای نرم‌افزار ArcGIS امکان کاوش و تحلیل داده‌های مکانی خود را به شما داده و شما را در یافتن بهترین پاسخ به یک مسئله یاری می‌نماید. شما می‌توانید این ابزارها را به صورت مستقیم و یا از طریق دیالگرام‌ها و یا زبان‌های توسعه مانند Python یا زبان‌های Net به کارگیری نمایید.

نمایش و کاوش داده‌ها

ArcMap توانایی‌های تحسین‌برانگیزی در نمایش و نمادگذاری لایه‌های خود دارد. یکی از توانایی‌های جالب این نرم‌افزار امکان شفافیت^۱ لایه‌هاست به نحوی که شما

1. Transparency

می‌توانید زیر یک‌لایه را همراه با خود لایه مشاهده نمایید. بدین منظور در بخش Properties و تب Display لایه موردنظر مقدار Transparency را تعیین نمایید.



شکل (۵-۲۶) نمایش شفاف دو لایه بر روی یکدیگر

فاصله اقلیدسی^۱

به‌وسیله این ابزار برای هر سلول فاصله اقلیدسی تا نزدیک‌ترین نقطه مرجع محاسبه و اطلاق می‌گردد. داده ورودی می‌تواند هم رستر و هم برداری باشد. جهت ایجاد یک‌لایه فاصله اقلیدسی از مجموعه ابزار Spatial Analyst Tools گزینه Euclidean Distance را انتخاب نمایید.

دسته‌بندی مجدد^۲

جهت انجام محاسبات و آنالیزهای جبر نقشه‌ای^۳ میان لایه‌های تولیدشده نیاز است واحدهای محاسبات میان لایه‌های مختلف یکسان و تعداد دسته لایه‌ها یکی باشند. به عبارت دیگر در تمامی لایه‌ها تعداد دسته‌ها برابر و مقدار بیشتر برابر ارزش بالاتر باشد.

1. Euclidean Distance
2. Reclassify
3. Map Algebra

بدین منظور از مجموعه ابزارهای Spatial Analyst Tools ابزار Reclassify را استفاده می‌کنیم. در این ابزار امکان مشخص کردن تعداد دسته‌ها و روش دسته‌بندی به کاربر داده می‌شود. این ابزار با استفاده از فنون متفاوت به شما امکان دسته‌بندی دوباره یا تغییر مقادیر سلول‌ها را به مقادیر دیگری می‌دهد. شما می‌توانید یک مقدار و یا یک گروه از مقادیر را بر اساس معیارهای مختلفی مثل بازه‌های مشخص به‌عنوان یک دسته انتخاب نمایید.

تلفیق وزن‌دار لایه‌ها^۱

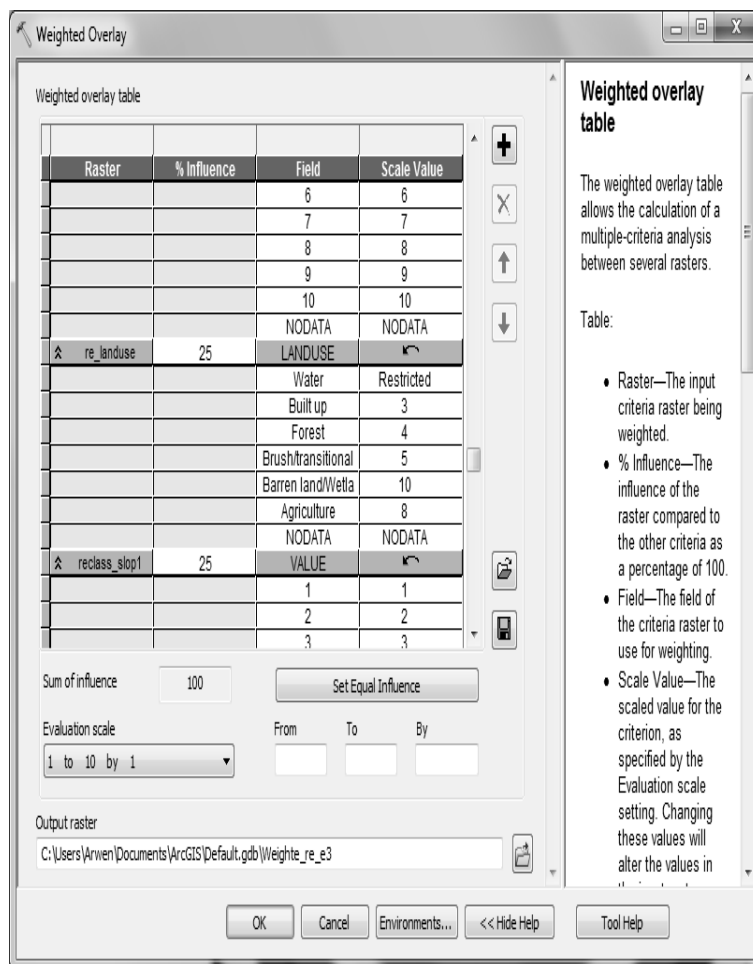
تلفیق وزن‌دار لایه‌ها با فراهم آوردن امکان ترکیب لایه‌های دسته‌بندی مجدد شده^۲، توانایی مکان‌یابی بهینه را برای شما ممکن می‌سازد. با استفاده از این ابزار شما می‌توانید به لایه‌های مختلف وزن متناسب با آن را دهید و سپس آن‌ها را باهم دیگر ترکیب کنید. با این حال لایه‌های ورودی این ابزار باید شامل مقادیر صحیح^۳ باشند. لذا در اینجا نیاز به دسته‌بندی دوباره مناسب احساس می‌شود. در صورت عدم دسته‌بندی دوباره صحیح امکان تغییر مقیاس لایه‌ها در این ابزار فراهم است اما به‌شدت توصیه می‌شود که این مراحل در بخش دسته‌بندی مجدد (Reclassify) انجام شود. ورودی مقادیر وزن لایه‌ها حاصل فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره^۴ است. جهت تلفیق لایه‌ها از مجموعه ابزار Spatial Analyst Tools ابزار Weighted Overlay را انتخاب می‌کنیم.

1. Weighted Overlay

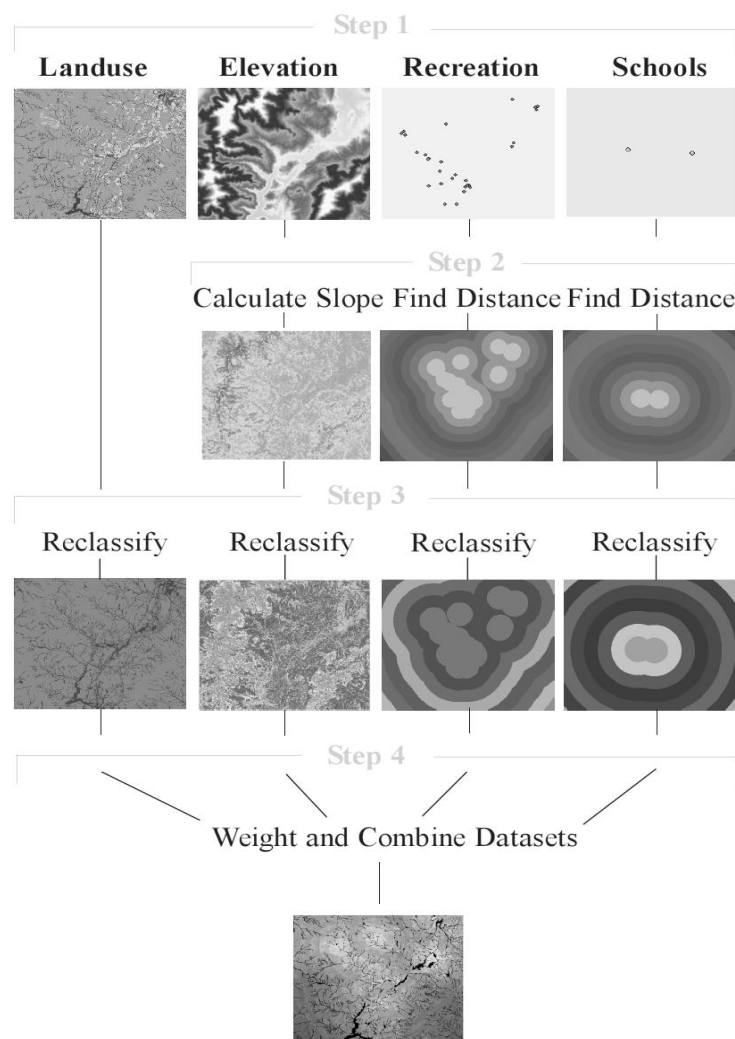
2. Reclassified

3. integer

4. Multi-Criteria Decision Making



شکل (۴-۲۷) تلفیق وزن دار لایه‌ها در ArcGIS

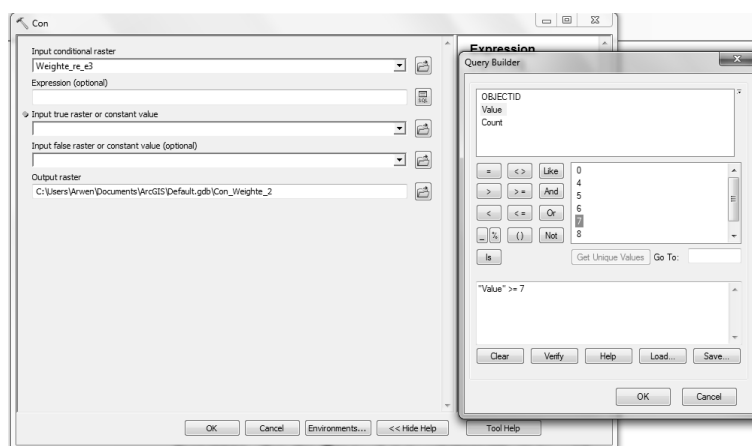


شکل (۴-۲۸) نمایی شماتیک از ترکیب وزن‌دار نقشه‌ها در ArcGIS

شرط‌گذاری

شرط‌گذاری نوعی از پرس‌وجوهای مکانی است. جهت استخراج و تحدید مناطق بهینه، نیاز به اعمال بعضی شروط بر روی لایه تلفیق شده است. بدین منظور از جعبه‌ابزار Spatial Analyst Tools گزینه Con را انتخاب می‌کنیم. در این ابزار شما امکان شرط‌گذاری به زبان SQL بر روی لایه‌های خود را خواهید داشت. برای هر سلول اگر

شرطی که شما وارد کرده‌اید صحیح باشد، مقادیر متناظر از لایه True raster بر روی رستر خروجی نوشته می‌شود و بخش‌های انتخاب‌نشده No Data می‌شود.



شکل (۴-۲۹) شرط‌گذاری بر روی نتایج بر اساس زبان SQL در ArcGIS

اصلاح مناطق بهینه

می‌توان با اعمال یک یا چند بار فیلتر اکثریت^۱ مناطق کوچک تک افتاده که برای احداث مکان نامناسب می‌باشند را حذف نمود. بدین منظور از مجموعه ابزار Spatial Analyst Tools Majority Filter را انتخاب نمایید. جهت اعمال این فیلتر نیاز است تعداد همسایه‌های سلول مرکزی کرنل را مشخص کنید که یکی از حالات ۴ همسایگی یا ۸ همسایگی می‌باشد. همچنین یکی از حالات Majority و یا Half را جهت حد آستانه جایگزینی انتخاب نمایید. Majority به این معنا است که در حالت ۸ سلولی حداقل ۵ سلول باید همان مقدار سلول مرکزی را داشته باشند. بسته به شرایط می‌توانید این عملیات را چندین مرحله تا نرم شدن بیشتر لبه‌ها ادامه دهید.

1. Majority Filter

منابع

۱. اباذرلو، سجاد، انتخاب الگوی بهینه پناهگاه اضطراری چند منظوره با استفاده از روش AHP - مطالعه موردی شهر کاشمر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۰.
۲. آقاپاھر، رضا، ارائه نقشه پهنه‌بندی مراکز مستعد دفاعی در مناطق جنگلی با تکیه‌بر AHP و GIS مطالعه موردی: علی آباد کتول-استان گلستان. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، ۲۰۱۵، ۲۴(۹۵)، ۸۱-۱۳۹۲.
۳. اداره کل راه و شهرداری استان تهران، طرح تفصیلی منطقه یک شهر تهران، ۱۳۸۶، تهران.
۴. اسد پور، علی، "روش‌ها و راهبردهای پژوهش در معماری منظر"، کتاب ماه هنر، شماره ۱۶۸، ۱۳۹۱.
۵. اسکندری، حمید، "فرهنگ اصلاحات پدافند غیرعامل"، انتشارات بوستان حمید، ۱۳۸۹.
۶. اصغریور محمد جواد، تصمیم گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۷.
۷. پیر دشتی و کمری، اهمیت مکان‌یابی مناسب در پدافند غیرعامل، ششمین کنگره انجمن ژئوپلیتیک ایران در سال مشهد مقدس، ۱۳۹۲.
۸. پیرمرادی، علیرضا، یافتن بهترین مکان ایستگاه آتش‌نشانی با استفاده از فن آوری اطلاعات و GIS، دومین کنفرانس بین‌المللی شهرداری الکترونیکی، ۱۳۸۸.
۹. پورمحمدی، محمد رضا، "برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری"، انتشارات سمت، ۱۳۸۷.
۱۰. ترابی، کمال و مهدی نژاد نوری عبدالحمید، بررسی آسیب‌پذیری بدنه شبکه‌های ارتباطی شهرها در برابر حملات هوایی با استفاده از روش IHWP و GIS (منطقه شش تهران)، نشریه علوم و فناوریهای نوین، جلد ۳، شماره ۴، ۲۹۵-۳۰۳، ۱۳۹۲.
۱۱. جعفر، فتحعلی و میرجلالی فرشته السادات، مکان‌یابی فرودگاه استان سمنان با استفاده از روش‌های تاپسیس و مکان‌یابی مرکز، پژوهشنامه حمل‌ونقل، شماره ۴، ۳۴۱-۳۵۰، ۱۳۸۸.

۱۲. جلالی، غلامرضا، "روش و الگو برآورد تهدیدات در پدافند غیرعامل"، انتشارات دانشگاه امام حسین (ع)، تهران، ۱۳۸۹.
۱۳. چوخاچی زاده مقدم، محمد باقر، مجموعه مقالات همایش آمایش و دفاع سرزمینی، تهران، انتشارات دانشگاه امام حسین (ع)، ۱۳۷۸.
۱۴. چوخاچی زاده مقدم، محمد باقر، "قلمرو ماهیت جغرافیای نظامی"، مجله سیاست دفاعی، ش ۴۲، ۱۴۵-۱۶۸، ۱۳۸۲.
۱۵. حاذق نیکرو، حمید، "بررسی نقش ژئومورفولوژی محور اسلام به خلخال با دیدگاه نظامی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، ۱۳۸۳.
۱۶. حافظ نیا محمدرضا، مقدمه‌ای بر روش تحقیق در علوم انسانی، چاپ چهاردهم، انتشارات سمت، ۱۳۸۷.
۱۷. حبیبی، محسن، مسائلی صدیقه، سرانه ی کاربری های شهری، انتشارات سازمان ملی زمین و مسکن، ۱۳۷۸.
۱۸. خاکی، غلامرضا، روش تحقیق با رویکردی به پایان نامه نویسی، ویرایش دوم، انتشارات بازتاب، ۱۳۹۰.
۱۹. خوش‌نمک، زهره، علی آبادی، جواد، "بلاپای طبیعی، واقعیات و تنگناها"، فصل نامه فرهنگ ایمنی، سال اول، شماره دوم، ۱۳۸۱.
۲۰. رضایی، سعید، تحلیل مکان‌یابی در آمایش دفاعی و پدافند غیرعامل. همایش سراسری سامانه اطلاعات مکانی، ۱۳۸۸.
۲۱. روستایی حسین‌آبادی سعید، "بهبود فرایند مکان‌یابی پناهگاه های چند منظوره شهری"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، ۱۳۹۲.
۲۲. سازمان پدافند غیرعامل کشور، "دستورالعمل سطح‌بندی مراکز ثقل کشور"، گزارش داخلی، معاونت اطلاعات و عملیات، ۱۳۹۳.
۲۳. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تفسیر دستورالعمل به‌سازی لریزه ای ساختمان‌های موجود، چاپ اول، انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۸۸.

۲۴. ستاره، علی اکبر، "مدیریت ریسک در پدافند غیرعامل"، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۰.
۲۵. سنجرى، سارا، راهنمای کاربردی *ArcGIS 10.3.1*، انتشارات عابد، ۱۳۹۰.
۲۶. سوادکوهی ساسان، میرزایی محمد، جعفری، سیدیونس، مقدمه ای بر روش آمایش اسکان موقت (نمونه موردی: بحران زلزله در تهران)، علوم و فناوری پدافند نوین، شماره ۱، ۶۱-۷۴، ۱۳۸۹.
۲۷. شادفر، صمد و یمانی، مجتبی، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز جلیسان با استفاده از مدل *LNRFL*. نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۱، ۱۳۸۷.
۲۸. شاد، مصطفی فرزام، مبانی نظری معماری در دفاع غیرعامل، مشاور عمران ایران، ۱۳۸۶.
۲۹. شاعری، علی محمد و رحمتی، علیرضا، قوانین، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط‌زیست انسانی، چاپ اول، انتشارات حک، ۱۳۹۱.
۳۰. شرکت ملی گاز ایران، مقررات جدید حریم خطوط لوله ی انتقال گاز در مجاورت ابنیه و تأسیسات، انتشارات شرکت ملی گاز ایران، ۱۳۸۳.
۳۱. شمسایی زفرقندی، فتح اله. "مقدمه‌ای بر آمایش و مکان‌یابی"، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه جامع امام حسین علیه‌السلام، ۱۳۹۱.
۳۲. شیعه، اسماعیل، مقدمه ای بر مبانی برنامه‌ریزی شهری. انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۴.
۳۳. عزیز پور، م.، توان سنجی محیط طبیعی و توسعه فیزیکی شهر تبریز. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۵.
۳۴. علمداری، شهرام، "دستورالعمل برآورد تهدید و تدوین سناریو در دستگاه‌های کشور و استانی"، سازمان پدافند غیرعامل، تهران، ۱۳۸۷.
۳۵. عظیمی حسینی محمد، مومنی رضوانه، نظری‌فر محمدهادی، کاربرد *GIS* در مکان‌یابی، انتشارات مهرگان، ۱۳۹۳.

۳۶. فاضل نیا، غریب، کیانی، اکبر، رستگار موسی، مکان‌یابی بهینه فضاهای ورزشی شهر زنجان با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فصلنامه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، جلد اول، ۱۳۸۹.
۳۷. فرامرزی، عباس، تبیین الگویی مناسب برای مکان‌یابی محل استقرار قرارگاه سرزمینی لشکر با توجه به ملاحظات پدافند غیرعامل (مطالعه موردی لشکر ۲۷ ثامن الائمه (ع) مشهد). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مالک اشتر.
۳۸. فرقانی، علی، شریف یزدی مهدی، علیرضا آخوندی، مکان‌یابی مراکز صنعتی و خدماتی، انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی شریف)، ۱۳۸۷.
۳۹. قدسی پور، حسن، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۳.
۴۰. مدیریت بازرسی سازمان صنایع دفاع (۱۳۸۶)، کلیاتی پیرامون پدافند غیرعامل، ویرایش اول، وزارت دفاع.
۴۱. محسنی نصیر، بهزادپان کوروش، اردشیر عبدالله، مکان‌یابی محل ساخت پل با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی در GIS، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۲۲، شماره ۱، ۲-۱۲، ۱۳۹۰.
۴۲. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، آیین‌نامه اجرایی قانون صیانت از حریم مسیرهای شبکه کابل فیبر نوری شبکه مادر مخابراتی کشور، انتشارات مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۰.
۴۳. معرفی، مجید، "نقش آب و هوا در توسعه ارتباطات و تحرکات نظامی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، ۱۳۸۵.
۴۴. مشهدی حسن، امینی ورکی، سعید، تدوین و ارائه ی الگوی ارزیابی تهدیدات، آسیب‌پذیری. تحلیل خطرپذیری زیرساخت‌های حیاتی با تأکید بر پدافند غیرعامل، نشریه علمی پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۷، ۱۳۹۴.
۴۵. موحدی نیا، جعفر، اصول و مبانی پدافند غیرعامل، انتشارات دانشگاه مالک اشتر، ۱۳۸۸.

۴۶. موحدی نیا، جعفر، پدافند غیرعامل، ویرایش اول، انتشارات قرارگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء، ۱۳۸۴.
۴۷. محمد مرادی اصغر، اخترکاوای مهدی، روش‌شناسی مدل‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، نشریه ارمانشهر، شماره ۲، ۱۳۸۸.
۴۸. نباتی، عزت‌الله، پدافند غیرعامل، مرکز آموزشی و پژوهشی شهید صیاد شیرازی، ۱۳۸۶.
۴۹. نیاکان، انسیه، "طراحی سایت با در نظر گرفتن اقلیم منطقه برای افزایش کارایی انرژی"، ماهنامه بین‌المللی راه و ساختمان، شماره ۵۶، ۱۳۸۷.
50. Andrienko, G., Andrienko A., and Voss H., *GIS for everyone: the CommonGIS project and beyond*. Maps and the Internet, 131-146, 2003.
51. Buckley, J.J. „Fuzzy hierarchical analysis. Fuzzy sets and systems, 17(3), 233-247, 1985.
52. Chen, S.-J. and Hwang C.-L., Fuzzy multiple attribute decision making methods. Springer, 1992.
53. Church, R.L. and Murray A.T., Business site selection, location analysis, and GIS, John Wiley & Sons., 2009.
54. Collin, John, M. Miliraty Geography for porofesstional Sand the Public Brassess, P3, 1988 .
55. Cronbach, L.J. and Meehl P.E., Construct validity in psychological tests. Psychological bulletin, 52(4), 1955.
56. Cronbach, L.J., Coefficient alpha and the internal structure of tests. psychometrika, 16(3), 297-334, 1951.
57. Cui, Q., Kuang H., and Wu C., Influencing Factors Identification of Transportation Carbon Emission Based on Gray Entropy DEMATEL. Journal of Convergence Information Technology, 8(3), 2013.
58. Department of the Army, FM 30-10 : Terrain Analysis, Washington, DC, 1972,
59. Dillman, D.A., Mail and telephone surveys. Wiley Interscience. Vol. 3, 1978.
60. Donevska, K.R., Jovanovski M., Peševski I., Regional non-hazardous landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP and geographic information systems. Environmental Earth Sciences, 67(1), 121-131, 2012.
61. Downing, S.M., Reliability: on the reproducibility of assessment data. Medical education, 38(9), 1006-1012, 2004.

62. Drezner, Z. and Wesolowsky G., The Location of An Obnoxious Facility with Rectangular Distances. *Journal of Regional Science*, 23(2), 241-248, 1983.
63. Drobne, S. and A. Lisec, Multi-attribute decision analysis in GIS: weighted linear combination and ordered weighted averaging. *Informatica*, 4(33), 2009.
64. Drost, E.A., Validity and reliability in social science research. *Education Research and Perspectives*, 38(1), 2011.
65. Eldrandaly, K., Developing a GIS-based MCE site selection tool in arcGIS using COM technology. *Int. Arab J. Inf. Technol.*, 10(3), 276-282, 2013.
66. Gliem, R.R. and Gliem J.A., Calculating, interpreting ,and reporting Cronbach's alpha reliability coefficient for Likert-type scales. *Midwest Research-to-Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education*, 2003.
67. Globalsecurity, www.globalsecurity.org/Military/Library/Reports/1992/dm.htm.
68. Holbert, R.L., Hmielowski J., Jain P., Lather J., Affinity for political humor: An assessment of internal factor structure, reliability, and validity. *Humor*, 26(4), 551-572, 2013.
69. ISO/IEC Guide 73, "Risk Management- Vocabulary- Guidelines for Use in Standards", International Organization for Standardization and International Electro Technical Commission, 2002.
70. Kalton, G., Introduction to survey sampling. SAGE University Paper series, Vol. 35, 1983.
71. Kawase, K., Concise derivation of extensive coordinate conversion formulae in the Gauss-Krüger projection. *Bulletin of the Geospatial Information Authority of Japan*, 60, 1-6, 2012.
72. Krzanowski, R. and Raper J., Spatial evolutionary modelling. New York: Oxford University Press., 2001.
73. Levy, P.S. and Lemeshow S., Sampling of populations: methods and applications. John Wiley & Sons., 2013.
74. Longley, P., Geographic information systems and science. John Wiley & Sons., 2003.
75. Maguire, D.J., Batty M., and Goodchild M.F., GIS, spatial analysis, and modeling. Esri Press, 2005.
76. Malczewski, J., GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley & Sons., 1999.
77. Malczewski, J., GIS-based land-use suitability analysis :a critical overview. *Progress in planning*, 62(1), 38-63, 2004.

78. Malczewski, J., GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703-726, 2006.
79. Marinoni, O., Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. *Computers & Geosciences*, 30(6), 637-646, 2004.
80. Massam, B.H., Multi-criteria decision making (MCDM) techniques in planning. *Progress in planning*, 30, 1-84, 1988.
81. Mohammadbeigi, A., Mohammadsalehi N., and Aligol M., Validity and Reliability of the Instruments and Types of MeasurementS in Health Applied Researches. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 13(2), 1153-1170, 2015.
82. Molenaar, M., An introduction to the theory of spatial object modelling for GIS. CRC Press., 1998.
83. Nyerges, T.L. and Jankowski P., Regional and urban GIS: a decision support approach. Guilford Press, 2009.
84. Saaty, T.L., The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation. New York: McGraw, 1980.
85. Saaty, T.L., Vargas L.G., and Prediction P., Forecasting. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht., 1991.
86. Sechrest, L., Reliability and validity. *Research methods in clinical psychology*, 24-54, 1984.
87. Shekhar, S. and Xiong H., Encyclopedia of GIS. Springer Science & Business Media., 2007.
88. Sui, D.Z., Integrating neural networks with GIS for spatial decision making. *Operational Geographer*, 11, 3-13, 1993.
89. Walls, I. CARVER plus SHOCK method for food sector vulnerability assessments. in *Proceedings of The Annual Meeting-United States Animal Health Association*. United States Health Association; 1998.
90. Webb, N.M., Shavelson R.J., and Haertel E.H., Reliability coefficients and generalizability theory. *Handbook of statistics*, 26(4), 81-124, 2006.
91. Worboys, M.F. and Duckham M., GIS: a computing perspective. CRC press., 2004.
92. Yager, R.R., On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking., *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 18(1), 183-190, 1988.
93. Zadeh, L.A., Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353, 1965.