المجلة الدولية للتنمية - المجلد الثالث عشر العدد الثالث (2024) :49-71
International Journal of Development, Vol.13, No. (3) (2024):49-71
ISSN: 2314-5552 SSN: 2314-5560 (Online)
www. jaid.journals.ekb.eg e-mail: ijd_fas@yahoo.com

تحليل مُقارن لمقاييس اختلاط استعمالات الأراضي بالمناطق السكنية

محمد طارق محمد الحسيني علي حجازى* ، هند محمد مصطفى العباسى
قسم التخطيط العمراني، كلية التخطيط الإقليمي والعمراني، جامعة القاهرة، الجيزة،
*البريد الالكترونى للباحث الرئيسى: mthejazy@cu.edu.eg

تاريخ استلام البحث: 22 ديسمبر 2024 ، تاريخ الموافقة على النشر: 30 ديسمبر 2024

المستخلص

أصبح مفهوم اختلاط استعمالات الأراضي أحد التوجهات التخطيطية الحديثة الساعية لخلق بيئة عمرانية حيوية، والتى تُسهم في تلبية احتياجات السكان وتدعم جودة الحياة بالمناطق السكنية. ومع ذلك، فإن نشأته ونموه بشكل غير منضبط، يمكن أن يصاحبه مردوداً سلبياً يعوق تحقيق جودة الحياة. لذلك، يصبح القياس الكمي لاختلاط استعمالات الأراضي بالمناطق السكنية أمراً أساسياً، إذ يتيح تحديد درجة اختلاط استعمالات الأراضي المقبولة بالمناطق السكنية، بما يحسن مستويات رضا السكان، فضلاً عن تمكين المعنيين من توظيفه كأداة فعّالة لتخطيط المناطق السكنية، خاصة بالتجمعات العمرانية الجديدة. لهذا، تهدف الدراسة الحالية إلى إجراء تحليل مقارن للمقاييس الكمية لاختلاط استعمالات الأراضي لتحديد أوجه القوة والضعف بكل مقياس، مما يساهم في اختيار المقياس الملائم للسياقات المختلفة. اعتمد البحث على منهجية تحليلية متعددة المراحل، بدأت بتصنيف المقاييس وفقاً لثلاثة أبعاد رئيسية (التنوع -إمكانية الوصول-التوافق)، ثم عملية تحليل مُقارن للمقاييس لتحديد مواطن القوة والضعف، مركزاً على كفاءتها وفعاليتها للتطبيق بالسياقات البحثية والمكانية المختلفة، وصولاً إلى تصنيف نهائي للمقاييس بناءً على خصائصها التطبيقية. أظهرت نتائج التحليل المقارن للمقاييس أن لكل مقياس خصائصه الفريدة التي تحدد نطاق ملاءمته في السياقات المختلفة. يتضح أن هذه المقاييس تتفاوت في مدى توافقها مع الأهداف البحثية، ودقة البيانات المطلوبة، وقابلية التطبيق، مما يتطلب تصنيفًا دقيقًا للمقاييس ضمن مجموعات تُبرز أوجه التشابه والاختلاف بينها. تم تصنيف المقاييس إلى مجموعات وفقاً لمعايير: عدد أنواع استعمالات الأراضي ذات الصلة، المقياس المكاني الملائم، دقة البيانات المطلوبة، درجة سهولة التطبيق، الغرض الشائع للتطبيق، والمجال البحثي. تُبرز النتائج أهمية اختيار المقياس الأنسب بناءً على معطيات السياق البحثي والمكاني، مما يسهم في دعم تطوير سياسات تخطيطية فعّالة لتحسين جودة الحياة بالمناطق السكنية.

الكلمــات الدالة : اختلاط استعمالات الأراضي ، التنوع، إمكانية الوصول، التوافق الوظيفي، مقاييس اختلاط استعمالات الأراضي ، تحليل مُقارن، المناطق السكنية .

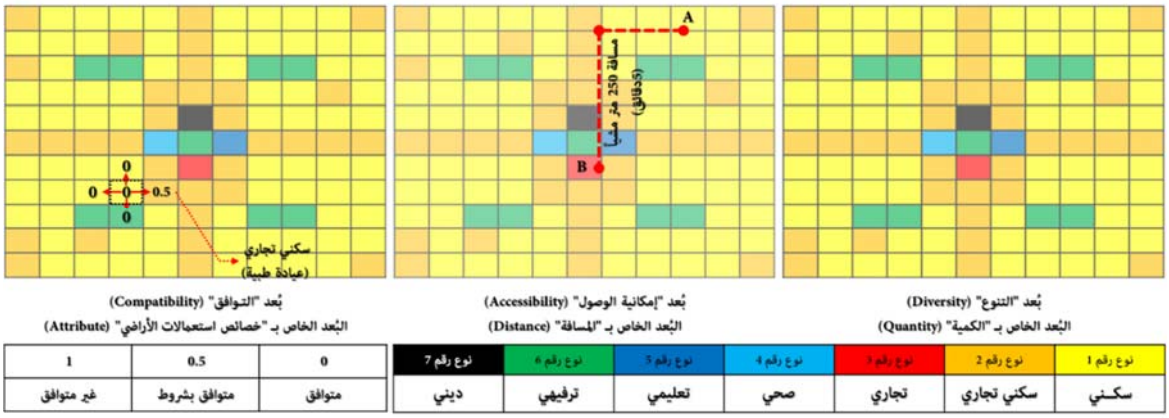
المقدمــة

تمثل التنمية العمرانية المستدامة محور اهتمام مجال التخطيط العمراني، وبرز مفهوم اختلاط استعمالات الأراضي (Land Use Mix "LUM") كعنصر محوري في هذا السياق[1] . تاريخياً، شكّل المفهوم مسألة جدلية بين الباحثين، حيث مرّ برحلة معقدة، بدءًا من ظهوره الأول (مرحلة التقبل)، مروراً بفترة من الرفض، ثم العودة للتقبل بشكل تخطيطي مدروس واحيائه كمكون رئيسي في التنمية العمرانية[2 ، 3، 4، 5، 6]. أُطلق على ذلك المفهوم العديد من المصطلحات التي تعكس تنوع السياقات البحثية والجغرافية التي تم تناوله فيها. في إطار هذا البحث، سيتم استخدام مصطلح "اختلاط استعمالات الأراضي" (Land Use Mix "LUM")، وذلك نظراً لأن الدراسة تُركّز بشكل خاص على فهم الأنماط المختلفة لاستعمالات الأراضي في المناطق السكنية وتأثيرها على جودة الحياة ومستوى رضا السكان.

على مر السنين، سعت العديد من الدراسات إلى وضع تعريف لمفهوم اختلاط استعمالات الأراضي، ومع ذلك، يشير[7] إلى غياب تعريف موحد وقاطع لهذا المفهوم، إذ تختلف التعريفات تبعًا للسياقات البحثية والجغرافية التي يتم تطبيقه فيها. ويعد هذا التنوع في التعريفات انعكاسًا للطبيعة المتعددة الأبعاد لهذا المفهوم، فضلاً عن التحديات المرتبطة بتحديد إطار نظري شامل يلم بجميع جوانبه. على الرغم من ذلك، من بين التعريفات التي تُعد أكثر شمولاً لمفهوم اختلاط استعمالات الأراضي، هو وصفه بأنه أحد أنماط استعمالات الأراضي الذي يجمع بين أنواع متنوعة من الأنشطة ضمن نطاق مكاني محدد، بحيث تتكامل وتتفاعل مع بعضها البعض لتحقيق التنمية العمرانية المستدامة[8 ، 9]. وبناءً على هذا التعريف، يُفهم اختلاط استعمالات الأراضي على أنه ليس مجرد وجود أنواع متعددة من الأنشطة في نطاق واحد، بل يمتد ليشمل العلاقة التبادلية بين هذه الأنشطة ومدى تكاملها لتحسين جودة الحياة بالمناطق السكنية.

يُبرز تحليل هذا التعريف أن مفهوم اختلاط استعمالات الأراضي يتكون من ثلاثة أبعاد رئيسية (شكل1). البُعد الأول هو بُعد "التنوع Diversity"، الذي يشير إلى مدى تعدد الأنشطة ضمن النطاق المكاني، حيث يركز هذا البُعد على

الجانب الكمي (Quantity) لتوزيع الاستعمالات[10]. البُعد الثاني هو "إمكانية الوصول"، الذي يُعنى بالبعد المكاني ومدى قرب الأنشطة من بعضها البعض وسهولة الوصول إليها، حيث يُقاس تأثير توزيع استعمالات الأراضي من خلال المسافات المكانية التي تفصل بين الأنشطة المختلفة[10، 11]. أما البُعد الثالث فهو "التوافق"، الذي يُعبر عن مدى انسجام أو تعارض الأنشطة المختلفة من حيث الوظائف والخصائص[9، 12] . يمثل هذا التصنيف مدخلاً مهماً لتحليل المقاييس المستخدمة في قياس اختلاط استعمالات الأراضي. فمن خلال التركيز على هذه الأبعاد، يمكن تقييم مدى قدرة كل مقياس على تناول الجوانب المختلفة لهذا المفهوم الشامل. ويتيح ذلك للباحثين والمخططين فهمًا أعمق للطبيعة متعددة الأبعاد لاختلاط استعمالات الأراضي، مما يساعد على تحسين أدوات القياس وتطوير استراتيجيات تخطيطية أكثر دقة وملاءمة للسياقات المكانية المختلفة.



شكل 1: أبعاد مفهوم "اختلاط استعمالات الأراضي

المشكلة البحثية

أحد أبرز محاور النقاش التي تناولها المنتدى الحضري العالمي الثاني عشر، المنعقد في مصر، هو "ظاهرة التحضر" وآثارها المتعددة على مختلف الجوانب الاجتماعية، والاقتصادية، والبيئية، والعمرانية[13]. ومن بين هذه الآثار، يبرز تأثير التحضر على الجانب العمراني للمناطق الحضرية، حيث تشهد تلك المناطق، وخاصةً السكنية بالمدن الكبرى، نمواً عمرانياً متسارعاً يؤدي إلى تغييرات مستمرة في هيكل استعمالات الأراضي[14، 15] . تنجم عن هذه التحولات المتواصلة أنماطاً متنوعة من استعمالات الأراضي، تتراوح بين الفصل الوظيفي التام بين الاستعمالات السكنية وغير السكنية (الخدمية – التجارية)، أو الاختلاط الوظيفي بينهما بنسب ودرجات مختلفة[16، 17].

في السياق المصري، تُظهر القراءة الأولية لتوزيع استعمالات الأراضي في المناطق السكنية، ولا سيما في إقليم القاهرة الكبرى والمدن الجديدة المحيطة به، وجود تباين واضح في مستوى اختلاط الاستعمالات، سواء من حيث النوع أو الكثافة أو توزيعها المكاني[14،18] . يُعزى هذا التباين إلى عوامل متعددة، منها الطفرة التنموية التي تشهدها مصر حاليًا في مجالات التنمية والنقل الحضري (مثل مشروع مونوريل القاهرة الكبرى وغيرها)، والتي تُساهم في إعادة تشكيل هيكل استعمالات الأراضي الواقعة ضمن نطاق تأثيرها المباشر، كما هو واضح بالفعل من القراءة الأولية لبعض المناطق السكنية خاصةً بالتجمعات العمرانية الجديدة مثل السادس من أكتوبر[19].

تُسلط هذه التغيرات المتسارعة الضوء على مدى تعقيد مفهوم اختلاط استعمالات الأراضي. فذلك المفهوم كالعملة ذات الوجهين، وجه يعكس المردود الإيجابي للاختلاط، مما يساهم في خلق بيئة عمرانية حيوية ومستدامة، تحقق معايير جودة الحياة وتلبي احتياجات السكان[5]. ذلك الوجه يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة: الهدف 11 الذي يدعو إلى "جعل المدن والمستوطنات البشرية شاملة للجميع وآمنة ومرنة ومستدامة"، وخاصةً الهدف 11.3 الذي يدعو إلى "زيادة التوسع الحضري الشامل والمستدام وإدارة التحضر في جميع البلدان بحلول عام 2030". [20] في المقابل، هناك وجه آخر لذلك المفهوم يعكس آثاره السلبية، حيث في حالة نشأته ونموه بشكل غير مسيطر عليه، أو نُفذ دون مراعاة للاشتراطات والضوابط التخطيطية، فإنه سوف يؤدي إلى ظهور مشكلات اجتماعية واقتصادية وبيئية وعمرانية، تعوق تحقيق جودة الحياة[21]. في كلتا الحالتين، نحتاج كباحثين وصانعي القرار إلى القياس الكمي لاختلاط استعمالات الأرضي بالمناطق السكنية، وذلك حتى يمكننا تحديد درجة الاختلاط المقبولة بالمناطق السكنية للفئات السكانية المختلفة، بما يساهم في تحسين مستويات رضا السكان، وتحقيق جودة الحياة بالمنطقة السكنية.

يُعد التحدي الأبرز هو تعدد المقاييس الكمية المتاحة لقياس اختلاط استعمالات الأراضي، واختلاف خصائص هذه المقاييس من حيث السمات المميزة ومواطن الضعف التي تؤثر على إمكانية تطبيقها في مختلف السياقات البحثية والمكانية.

إذ يتميز كل مقياس بخصـــائص فريدة تُحدد نطاق ملاءمته، بينما تعيق بعض مواطن الضـــعف تطبيقه في ســـياقات مكانية وبحثية معينة. بناءً على ذلك، **تبرز إشـــكالية هذا البحث في الحاجة الملحّة إلى تحليل مقارن للمقاييس الكمية المتاحة لقياس اختلاط اســـتعمالات الأراضـــي، وذلك بهدف تحديد أوجه الاختلاف بين هذه المقاييس والكشـــف عن مواطن القوة والضعف في كل منها.**

وتحظى هذه المقارنة بأهمية بالغة، إذ تمهّد الطريق لاختيار المقياس الملائم للســـياق المكاني المحدد، آخذين بالاعتبار الخصـــائص العمرانية الفريدة لكل منطقة. فعلى ســـبيل المثال، المناطق الســـكنية في التجمعات العمرانية الجديدة، مثل مدينة الســـادس من أكتوبر والقاهرة الجديدة، تتميز بخصـــائص عمرانية تختلف بشـــكل جوهري عن المناطق القائمة في المدن الكبرى مثل منطقة العتبة بالقاهرة الكبرى. وعليه، فإنّ تطبيق مقياس موحَّد على جميع الحالات يؤدي إلى نتائج غير دقيقة قد لا تعكس التباين الفعلي بين البيئات العمرانية المختلفة، وهو ما يُعزّز ضرورة هذا التحليل المقارن لاختيار المقياس الأنسب في كل سياق.

من هذا المنطلق، فإنّ هذه الدراســـة تســـعى إلى معالجة هذه الإشـــكالية من خلال إجراء تحليل مُقارن للمقاييس المختلفة لاختلاط اســـتعمالات الأراضـــي، بهدف مســـاعدة الباحثين والمخططين في اختيار المقياس الأمثل الذي يتوافق مع الســـياقات المكانية والبحثية المتعددة، خاصـــة للمناطق الســـكنية. ويُعتبر هذا التحليل خطوة مهمة نحو تحســـين أدوات القياس المستخدمة في الدراسات العمرانية وتوجيه السياسات التخطيطية نحو تحديد درجة الاختلاط المقبولة بالمناطق السكنية التي تســـاهم في خلق بيئة عمرانية تنموية وخضـــراء ومســـتدامة، وتحقق معايير جودة الحياة، وتلبي احتياجات الفئات المختلفة للسكان.

هدف البحث

يهدف هذا البحث إلى **إجراء تحليل مُقارن لمجموعة من المقاييس الكمية الخاصة بقياس اختلاط استعمالات الأراضي في المناطق السكنية، وذلك بهدف تحديد أوجه الاختلاف بين هذه المقاييس والكشف عن مواطن القوة والضعف الكامنة في كل منها.** ويأتي هذا التحليل في إطار السعي إلى تطوير فهمٍ أعمق لطبيعة المقاييس المختلفة ودقتها في تقييم أبعاد اختلاط استعمالات الأراضي، والتي تشمل بُعد "التنوع"، وبُعد "إمكانية الوصول"، وبُعد "التوافق"، باعتبارها الأبعاد الثلاثة الرئيسية التي تُعبر عن طبيعة التفاعل بين الأنشطة الحضرية المختلفة داخل المناطق السكنية.

ستساهم المقارنة التفصيلية بين المقاييس المختلفة في تصنيف المقاييس استنادًا إلى مجموعة من الخصائص، مثل: عدد أنواع استعمالات الأراضي ذات الصلة بالتطبيق، والمقياس المكاني الأنسب لتطبيق كل مقياس، ومدى دقة البيانات المطلوبة، ودرجة سهولة التطبيق من الناحية العملية، والغرض الأساسي من المقياس، بالإضافة إلى المجال البحثي الذي يُشاع استخدام المقياس فيه. وسيُعزز هذا التصنيف القدرة على تقييم فعالية المقاييس ضمن سياقات مكانية وبحثية متعددة، سواء على المستوى المحلي (قطعة الأرض – البلوك السكني – المجاورة السكنية)، أو مستوى الحي السكني، أو حتى على مستوى المدينة ككل.

يكتسب التحليل المُقارن لمقاييس اختلاط استعمالات الأراضي أهمية خاصة في كونه يوفر أداة تخطيطية تمكن الباحثين وصنّاع القرار في اختيار المقياس الملائم للسياق المكاني والبحثي، وتوظيفه على نحو يعزز كفاءة السياسات التخطيطية لتخطيط استعمالات بالمناطق السكنية، خصوصاً بالتجمعات العمرانية الجديدة. بهذه الطريقة، يصبح القياس الكمي لاختلاط استعمالات الأراضي ليس مجرد مؤشر إحصائي، بل ركيزة توجيهية تتكامل مع السياسات الحضرية لضمان الاستخدام الأمثل للأراضي وضمان التكامل بين الأنشطة المختلفة بما يُحقق الاستدامة الحضرية وجودة الحياة بالمناطق السكنية.

منهجية البحث

يُقسم البحث إلى ثلاث خطوات رئيسية، تتميز كل منها بمناهجها البحثية وأدواتها المناسبة.

الخطوة الأولى تتعلق بتصنيف المقاييس وفقًا لأبعاد اختلاط استعمالات الأراضي، وقد تم الاعتماد على **المنهج الوصفي التحليلي**. يقوم هذا المنهج على جمع وتحليل البيانات المتعلقة بالمقاييس المختلفة من مصادرها الأولية والثانوية، مثل الأدبيات العلمية والدراسات السابقة. يُركّز هذا المنهج على وصف كل مقياس بناءً على أبعاده الأساسية: "التنوع"، و"إمكانية الوصول"، و"التوافق". يتيح ذلك تحديد الخصائص الفردية لكل مقياس وتحليل مدى ارتباطه بالأبعاد المحددة في الدراسة.

الخطوة الثانية تتعلق **بالتحليل المقارن للمقاييس المختلفة،** وقد تم الاعتماد على **المنهج التحليلي المقارن**. يُستخدم هذا المنهج لتحديد أوجه التشابه والاختلاف بين المقاييس، من خلال مقارنة المعادلات الرياضية، ومتطلبات البيانات، ودقة النتائج. يتم في هذه المرحلة تحليل مواطن القوة والضعف لكل مقياس، مع التركيز على قابليته للتطبيق في السياقات البحثية والمكانية المختلفة. يساعد هذا النهج على استخلاص رؤية شاملة حول مدى كفاءة وفعالية المقاييس ضمن السياقات المختلفة.

الخطوة الثالثة تتعلق بتصنيف المقاييس وفقًا لخصائصها المختلفة، وقد تم الاعتماد على **المنهج التصنيفي التحليلي**. يتم في هذه المرحلة تصنيف المقاييس بناءً على معايير محددة، مثل عدد أنواع استعمالات الأراضي ذات الصلة بالتطبيق،

والمقياس المكاني الأنسب لتطبيق كل مقياس، ومدى دقة البيانات المطلوبة، ودرجة سهولة التطبيق من الناحية العملية، والغرض الأساسي من المقياس، بالإضافة إلى المجال البحثي الذي يُشاع استخدام المقياس فيه. يساعد هذا المنهج على تقديم رؤية منهجية تُسهم في تحديد المقياس الملائم لكل سياق مكاني وبحثي.

تطور الأساس الكمي لقياس اختلاط استعمالات الأراضي

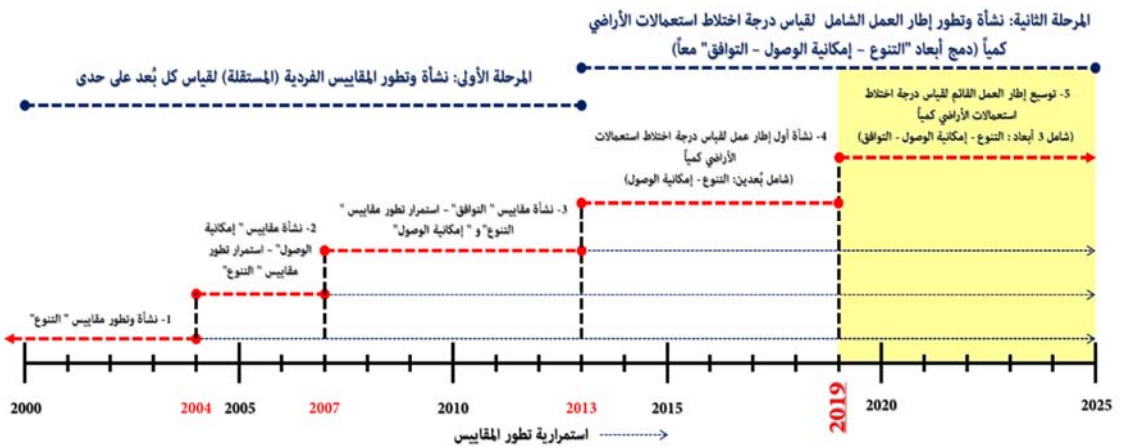
يُعد القياس الكمي لاختلاط استعمالات الأراضي (LUM) موضوعاً محورياً في العديد الدراسات والمجالات الحضرية، مثل التنمية الحضرية[10، 11] ، والنقل الحضري[21] ، والاقتصاد الحضري[10، 23] ، والاجتماع الحضري[17، 24]. مرّ الأساس الكمي لقياس هذا المفهوم بتطورات زمنية مهمة تعكس تطور الفكر العلمي والأدوات التحليلية المستخدمة. يُمكن تقسيم عملية التطور هذه إلى مرحلتين أساسيتين (شكل 2)، حيث تبلورت في كل مرحلة أطر نظرية ومنهجية ساهمت في تعزيز دقة المقاييس وفعاليتها.

ركزت **المرحلة الزمنية الأولى (من التسعينيات وحتى عام 2013)** على أبعاد التنوع (Diversity)، إمكانية الوصول (Accessibility)، والتوافق (Compatibility) كمفاهيم أساسية لتحليل اختلاط استعمالات الأراضي. تلك المفاهيم ساعدت الباحثين على دراسة كل بُعد بشكل منفصل بغية فهم العلاقة الفردية لكل مقياس بخصائص البيئة العمرانية، وخاصةً السكنية، حيث تم تطوير مقاييس مستقلة لكل بُعد حدي. في البداية، ركزت المقاييس بشكل رئيسي بالبعد الكمي لاختلاط استعمالات الأراضي (التنوع Diversity)، حيث تمّ تطوير مقاييس تُقيّم التوزيع العددي والنسبي لأنواع الاستعمالات ضمن نطاق مكاني محدد. يُعنى هذا البعد بمدى وجود أنواع متعددة من الأنشطة وتوزيعها النسبي ضمن المساحة المدروسة، مثل مقاييس النسبة المئوية، مؤشر الانتروبيا (Entropy Index)، ومؤشر التوازن (Balance Index)، وغيرها[10]. بعد ذلك، أُدخل بُعد إمكانية الوصول (Accessibility) لتعزيز الفهم المكاني لاختلاط استعمالات الأراضي، حيث برزت الحاجة لتحديد مدى قرب أو بعد الأنشطة المختلفة من بعضها البعض أو من المناطق السكنية، مما يعكس سهولة الوصول إلى الخدمات والأنشطة المتنوعة، مثل مقياس "Mixed-Use Distribution Index " المُطوّر بواسطة[22] لتقييم جودة الحياة في المناطق السكنية عن طريق قياس مدى رضا السكان عن مدى قرب الخدمات الأساسية من مناطق السكن. لاحقاً، ظهر بُعد التوافق (Compatibility)، فقد ارتبط بخصائص استعمالات الأراضي ومدى تجانسها أو تضاربها من الناحية الوظيفية، حيث تم تطوير عدة مقاييس لتقييم التوافق مثل نموذج تقييم التوافق[12] (Compatibility Evaluation Model - CEM).

على الرغم من أنّ المرحلة الأولى قد أسهمت في تطوير مقاييس مستقلة لكل بُعد من أبعاد اختلاط استعمالات الأراضي، إلا أنّها واجهت قصورًا رئيسيًا يتمثّل في عدم قدرتها على تقديم تقييم شامل للطبيعة متعددة الأبعاد للاختلاط. فعلى سبيل المثال، لم تكن مقاييس "التنوع" قادرة على تفسير الأثر الوظيفي لبُعد "إمكانية الوصول" أو "التوافق"، وهو ما أدّى إلى محدودية في تفسير النتائج وفهم الظواهر الحضرية المعقدة.

في **المرحلة الزمنية الثانية (من عام 2013 حتى الآن)**، برزت الحاجة إلى تطوير إطار كمي شامل يدمج أكثر من بُعد في مؤشر واحد لقياس اختلاط استعمالات الأراضي بطريقة متكاملة. تبلور هذا التطور نتيجة إدراك الباحثين أنّ اختلاط الاستعمالات هو مفهوم متعدد الأبعاد لا يمكن تفسيره بدقة باستخدام مقاييس مستقلة لكل بُعد. بدأت هذه المرحلة بالتركيز على الجمع بين بُعدي "التنوع" و"إمكانية الوصول"، حيث تم تطوير مؤشرات تُقيم توزيع الأنشطة المكانية مع الأخذ بعين الاعتبار سهولة الوصول إلى كل نشاط[10] (Song et al., 2013). لاحقًا، أُضيف بُعد "التوافق" إلى هذا الإطار ليعكس درجة التكامل أو التضارب بين الأنشطة المتجاورة[9] (Zhuo et al., 2019).

يركز البحث على الإطار الكمي لقياس اختلاط استعمالات الأراضي الذي طُوره[9] في عام 2019، والتي تُعد نقلة نوعية في هذا المجال البحثي. تميّز ذلك الإطار بالتركيز على دمج الأبعاد الثلاثة الرئيسية لاختلاط استعمالات الأراضي: "التنوع"، المرتبط بالبعد الكمي لاستعمالات الأراضي، و"إمكانية الوصول"، الذي يعكس المسافة بين الأنشطة المختلفة ومدى سهولة الوصول إليها، و"التوافق"، الذي يُعنى بالعلاقات التفاعلية بين خصائص الاستعمالات المتجاورة. دمج هذه الأبعاد الثلاثة في إطار قياسي واحد يتيح تقييمًا أكثر دقة وشمولًا للطبيعة المعقدة لاختلاط الاستعمالات، مما يوفّر أداة تحليلية قوية لصانعي القرار والباحثين في مجال التخطيط العمراني لتحسين السياسات التخطيطية والارتقاء بجودة الحياة بالمناطق السكنية.



1- الفترة الزمنية الأولى (ما قبل عام 2004): نشأة وتطور مقاييس "التنوع" مثل النسبة المئوية ومؤشر (Shannon Index)، مؤشر (Simpson Index)، مؤشر (Entropy Index)، وغيرها.

2- الفترة الزمنية الثانية (من عام 2004 - 2007): طوّر (Song & Knaap, 2004) مقاييس تركز على "إمكانية الوصول". كذلك، استمر الباحثون في تطوير مقاييس "التنوع".

3- الفترة الزمنية الثالثة (من عام 2007 - 2013): طوّر (Taleai et al., 2007) أول مقاييس تركز على "التوافق". كذلك، استمر الباحثون في تطوير مقاييس "التنوع" و "إمكانية الوصول".

4- الفترة الزمنية الرابعة (من عام 2013 - 2019): طوّر (Song et al., 2013) أول إطار عمل لقياس درجة اختلاط استعمالات الأراضي كمياً (شامل بُعدين: التنوع - إمكانية الوصول)

5- الفترة الزمنية الخامسة (من عام 2019 - الآن): طوّر (Zhuo et al., 2019) إطار العمل القائم لقياس درجة اختلاط استعمالات الأراضي كمياً (شامل 3 أبعاد: التنوع - إمكانية الوصول - التوافق)

شكل 2: تطور الأساس الكمي لقياس اختلاط استعمالات الأراضي
المصادر: (9، 10، 12، 22 ، 25)

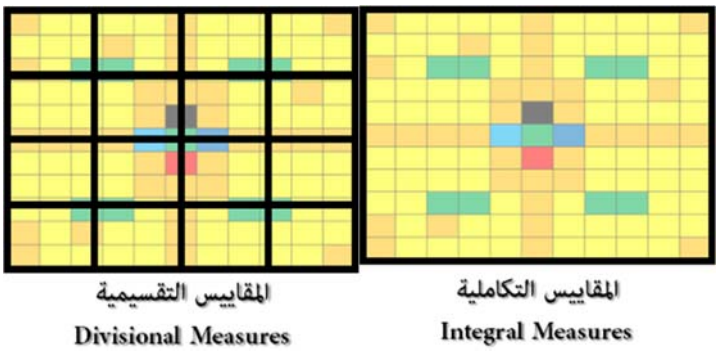
مقاييس اختلاط استعمالات الأراضي (Measurements of Land Use Mix**)**

1.1 تطور مقاييس بُعد "التنوع / "Diversity

يشكل **"بُعد التنوع"** أحد الأبعاد الرئيسية الثلاثة التي تعكس مفهوم اختلاط استعمالات الأراضي، حيث يُركّز على تقييم مدى التوزيع الكمي لأنواع استعمالات الأراضي المختلفة داخل منطقة معينة[26]. يُعبّر هذا البُعد عن البُعد الكمي لاختلاط استعمالات الأراضي" (Quantity) من خلال قياس نسبة وجود أنواع متعددة من الاستعمالات ضمن النطاق المدروس، مما يوفر مؤشراً عن مدى توازن وتكامل الأنشطة المختلفة داخل المنطقة[10]. يهدف ذلك البُعد إلى فهم مدى توزيع الاستعمالات المختلفة (مثل السكني، والتجاري، والخدمات العامة) ضمن مساحة جغرافية محددة. يُساعد هذا الفهم في تحديد ما إذا كانت المنطقة تُوفّر توازنًا صحيًا بين هذه الاستعمالات أو إذا كانت تُعاني من الهيمنة لنوع معين على حساب الأنواع الأخرى. ويُعتبر هذا البُعد مفتاحاً لتقييم الفوائد البيئية والاجتماعية والاقتصادية الناتجة عن تحقيق توازن مكاني بين الأنشطة المختلفة، مما يساهم في تحقيق التنمية العمرانية المستدامة وجودة الحياة بالمنطقة السكنية.

في هذا السياق، قام[10] بتصنيف المقاييس المُستخدمة لتحليل بُعد التنوع إلى نوعين رئيسيين: المقاييس التكاملية (Integral Measures) والمقاييس التقسيمية (Divisional Measures) (شكل3).

المقياس التكاملي هو أداة تُركّز على تحليل توزيع استعمالات الأراضي داخل منطقة ككل، دون النظر إلى تفاصيل توزيع الاستعمالات داخل الوحدات الأصغر (المناطق الفرعية) داخل المنطقة[10]. يتمثل الهدف الأساسي من هذا المقياس في تقييم التوازن الإجمالي بين الأنواع المختلفة من استعمالات الأراضي في المنطقة. يتميز ذلك النوع بسهولة الحساب والفهم، مما يجعله مناسباً لتحليلات سريعة أو عند وجود بيانات محدودة. كما يوفر صورة واضحة عن درجة التوازن بين استعمالات الأراضي بالمناطق صغيرة المساحة نسبيًا، حيث تكون التفاصيل الدقيقة لتوزيع الاستعمالات داخل الوحدات الفرعية أقل أهمية.



شكل 3: المقاييس التكاملية والتقسيمية

ومع ذلك، يعاني ذلك النوع من عدم الحساسية للتغيرات المكانية الدقيقة داخل المنطقة، مما يجعله غير مناسب لتحليل الأنماط المكانية أو الفروقات الدقيقة داخل الوحدات الفرعية. كما يتأثر بالمشكلة المرتبطة بتعديل الوحدة المكانية (Modifiable Areal Unit Problem - MAUP)، حيث يمكن أن يؤدي اختلاف حجم المنطقة المدروسة إلى نتائج متباينة، مما يجعل المقارنة بين المناطق المختلفة تحديًا. كذلك، يمكن أن يُعطي المقياس صورة مضللة عن مدى اختلاط استعمالات الأراضي إذا كانت المنطقة تحتوي على مستويات عالية من التباين الداخلي، حيث يتم "توسيط" أو "تسطيح" التباين عبر المنطقة بأكملها.

المقياس التقسيمي، من ناحية أخرى، هو أداة تُستخدم لتحليل اختلاط استعمالات الأراضي من خلال تقسيم المنطقة المدروسة إلى وحدات فرعية أصغر تُعرف بالقطاعات أو المناطق الجزئية. يتمحور عمل هذا المقياس حول تقييم مدى توزيع الاستعمالات المختلفة داخل كل قطاع على حدة، مع مراعاة التفاوت المكاني بين هذه القطاعات. يهدف هذا المقياس إلى تحديد مدى التوازن أو التفاوت في توزيع الاستعمالات بين القطاعات المختلفة داخل المنطقة المدروسة، مما يوفر فهماً أعمق للطبيعة المكانية للاختلاط[10]. يتميز ذلك النوع بحساسيته العالية للتغيرات المكانية داخل المنطقة المدروسة، مما يسمح برصد التباينات الدقيقة بين القطاعات المختلفة. كذلك، يتيح فهماً أكثر شمولاً للأنماط المكانية،
خاصةً في المناطق ذات التركيب المعقد لاستعمالات الأراضي، حيث يُمكنه الكشف عن التكتلات في استعمالات الأراضي. أيضاً، يتميز بالقدرة على تحديد مستوى التفاوت المكاني، كما أن استخدامه يتماشى مع التحليل متعدد الأبعاد الذي يتطلب تقييم العلاقات المكانية بين القطاعات المختلفة. ومع ذلك، يواجه عدداً من القيود التي تحد من كفاءته في بعض السياقات. أولاً، يعتمد هذا المقياس بشكل كبير على تقسيم المنطقة إلى قطاعات، مما يجعله عرضة لمشكلة تعديل الوحدة المكانية (MAUP)، حيث يمكن أن تؤدي اختلافات حجم وشكل القطاعات إلى نتائج متباينة. ثانيًا، يعاني من عدم الحساسية للتغيرات الصغيرة داخل القطاعات نفسها، مما قد يؤدي إلى تجاهل الفروقات الدقيقة في استعمالات الأراضي داخل كل قطاع. ثالثاً، قد تكون عملية جمع البيانات اللازمة لاستخدام هذا المقياس مكلفة ومعقدة، خاصة في المناطق الكبيرة. وأخيراً، قد تتطلب الصيغ الرياضية المستخدمة في هذا المقياس مستوى عالياً من الدقة، مما يجعل تطبيقه يتطلب مهارات تحليلية وتقنية متقدمة.
شهدت **"المقاييس التكاملية"** تطوراً ملحوظاً خلال العقود الماضية (شكل4)، مما جعلها واحدة من الأدوات الأساسية في تحليل اختلاط استعمالات الأراضي، وخاصة عند دراسة بُعد التنوع. من أبرز تلك المقاييس التي تُستخدم لقياس التنوع هي النسبة المئوية (Per.%)، والتي تُعد من أقدم وأبسط الأدوات المستخدمة لقياس نسبة نوع معين من استعمالات الأراضي داخل منطقة جغرافية محددة. يُعبر المقياس عن توزيع الأراضي بين الأنواع المختلفة بطريقة نسبية، مما يسهل فهم التوازن أو الهيمنة لأي نوع من الأنواع[10]. كذلك، يعتبر مقياس نسبة المسطح المبني للاستعمال (Percentage of LU Total Floor Area)، الذي يعتمد على حساب النسبة بين المسطح المغطى (مضروباً في عدد الأدوار) وإجمالي مسطح قطعة الأرض. يُعد هذا المقياس مفيداً في تقييم كثافة الأنشطة المختلفة ضمن المناطق السكنية[10،17، 22]. كما يُعد مؤشر الإنتروبيا (Entropy Index "ENT") من الأدوات الشائعة والمهمة في قياس بُعد التنوع. يعتمد هذا المقياس على توزيع النسب المئوية لأنواع مختلفة من استعمالات الأراضي في المنطقة[10 ، 26 ، 27]. يشير ارتفاع قيمة المقياس إلى وجود توزيع متساوٍ ومتوازن بين استعمالات الأراضي المختلفة، مما يعكس مستوى أعلى من الاختلاط. يُقاس باستخدام المعادلة الرياضية التالية:

$$ENT = (-1) \times \sum_{j=1}^{k} \frac{(P_j \times \ln P_j)}{\ln P_J}$$

حيث إن P_j تمثل النسبة المئوية لاستعمال الأرض j بمنطقة الدراسة، و J عدد أنواع استعمالات الأراضي ضمن منطقة الدراسة. يوفر ذلك المقياس تفسيرًا واضحًا لمستوى التنوع (من صفر – 1)، حيث تشير القيم المرتفعة إلى توزيع متساوٍ بين

استعمالات الأراضي. على الرغم من ذلك، عندما تكون هناك هيمنة لنوع معين من الأراضي، قد يكون المقياس أقل فعالية في الكشف عن التباين داخل الأنواع الأخرى. كذلك، لا يأخذ في الاعتبار التوزيع المكاني للاستعمالات داخل المنطقة.

مقياس التوازن (Balance Index "BAL") هو أداة تُستخدم لقياس درجة التوازن بين نوعين من استعمالات الأراضي داخل منطقة معينة. يعكس هذا المقياس مدى تكافؤ التوزيع بين نوعين من الاستعمالات (مثل السكني والتجاري)، حيث تكون القيمة العليا للمقياس مؤشراً على تحقيق أقصى درجة من التوازن[10، 26، 28]. يتم حساب المقياس باستخدام المعادلة التالية:

$$BAL = 1 - \frac{|X - \alpha Y|}{(X - \alpha Y)}$$

حيث إن X, Y يمثلان المساحة الإجمالية لنوع معين من استعمالات الأراضي (مثل السكني)، والنوع الآخر (مثل التجاري) على التوالي. α يمثل عامل التعديل الذي يمثل النسبة بين X, Y على مستوى جغرافي أكبر (عادة المدينة أو الحي) لتحديد المستوى المرجعي للتوازن. تتراوح قيمة المقياس بين صفر و1، حيث يشير 0 إلى عدم وجود توازن تام، بينما يشير 1 إلى توازن مثالي. يتميز ذلك المقياس بسهولة الحساب والتفسير، مرونته في التطبيق. على الرغم من ذلك، فهو محدود في قدرته على تقييم أكثر من نوعين من الاستعمالات في الوقت نفسه. كما أنه لا يأخذ في الاعتبار التوزيع المكاني للاستعمالات داخل المنطقة.

مع مرور الوقت، ظهر مقياس أرقام هيل (Hill Numbers Index "HNI") كأحد المقاييس الأساسية التي تُستخدم لتحليل تنوع استعمالات الأراضي، حيث يركّز هذا المقياس على ثلاثة أبعاد رئيسية هي الثراء (Richness)، التوازن (Balance)، والتكتل (Aggregation)[29،30]. يعتمد المقياس على المعادلة الرياضية التي تأخذ في الاعتبار نسب استعمالات الأراضي المختلفة وتوزيعها ضمن مساحة محددة، مما يوفر تصورًا كميًا لتنوع الاستعمالات في المنطقة السكنية. يُعبر عنه باستخدام المعادلة الرياضية التالية:

$$DI^q = \left(\sum_{k=1}^{\theta} P_k^{\,q} \right)^{\frac{1}{(1-q)}}$$

حيث إن P_k نسبة مساحة نوع الاستعمال k إلى إجمالي مساحة المنطقة، θ يعبر عن عدد أنواع استعمالات الأراضي. q يمثل مرتبة التنوع أو معامل حساسية التنوع الذي يتم تعديله وفقاً للأهمية النسبية لكل مكون، ويُرتب إلى (0, 1, 2). عندما $q = 0$ تقيس المعادلة مكون الثراء ($DI^0 = \left(\sum_{k=1}^{\theta} P_k^{\,0}\right)^{\frac{1}{(1-0)}}$) وهو عدد أنواع الاستعمالات المختلفة، وعندما $q = 1$ تقيس المعادلة مكون التوازن ($DI^1 = exp\left(-\sum_{k=1}^{\theta} P_k \, ln(P_k)\right)$) (وهو اللوغاريتم الأسي لمؤشر شانون SHDI)، وعندما $q = 2$: تقيس المعادلة مكون التكتل ($DI^2 = 1/\sum_{k=1}^{\theta} P_k^{\,2}$) (مقلوب مؤشر سيمبسون للتنوع SIDI). يتميز ذلك المقياس بشموليته حيث يقدم تحليلًا متعدد الأبعاد لتنوع استعمالات الأراضي، كما أنه يتيح قياسًا مرنًا يمكن تعديله حسب السياق البحثي. على الرغم من ذلك، يتطلب بيانات دقيقة حول استعمالات الأراضي، علاوةً على أن المعادلة يمكن أن تكون معقدة عند التعامل مع أعداد كبيرة من الأنواع. أما مقياس أرقام هيل ثلاثية الأبعاد (3D Hill Numbers Index "3D HNI")، فيُمثل تطورًا نوعيًا للمقياس التقليدي. حيث يُدمج البُعد الثلاثي في التحليل عبر أخذ المسطحات المبنية للاستعمال بعين الاعتبار (أي يأخذ في الاعتبار المسطح الذي يشغله الاستعمال بالأدوار الأرضية والمتكررة بالمبنى)[11] ، مما يتيح تمثيلًا أكثر دقة وشمولية لتنوع استعمالات الأراضي. التطور الذي يمثله هذا المقياس يظهر جلياً في المعادلة الرياضية المستخدمة؛ حيث تُعدّل نسب مساحة الاستعمال P_k لتشمل FAW_k وهو ما يُعبر عنه بمفهوم النسبة المعدّلة للمسطح المبني لاستعمال الأرض (Floor Area Weighted Land Area Ratio)، والتي تُحسب باستخدام المعادلة الرياضية التالية ($FAW_k = \frac{A_k \times FA_k}{\sum_{k=1}^{\theta}(A_k \times FA_k)}$)، حيث إن A_k المساحة الإجمالية لقطعة الأرض المخصصة للاستعمال k، و FA_k هي المساحة المبنية الإجمالية لقطعة الأرض المخصصة لاستعمال الأرض k (آخذاً في الاعتبار المساحات التي تشغلها الاستعمال بالأدوار المتكررة). يتميز هذا المقياس بشمولية التحليل حيث يقيس التنوع من عدة زوايا وأبعاد، مما يتيح فهم التنوع بالمناطق السكنية ذات الكثافات البنائية المتوسطة والمرتفعة نسبياً. لكنه يتطلب توفر بيانات دقيقة حول المسطحات المبنية للاستعمالات مما قد يحد من تطبيقه في بعض السياقات، علاوةً على كون حسابه معقدًا، خاصةً عند تطبيقه على مناطق كبيرة ومتعددة الاستعمالات، مما يستدعي خبرة تحليلية وبرمجية متقدمة.

إلى جانب المؤشرات الأساسية التي سبق ذكرها، هناك مجموعة من المقاييس التكاملية الأخرى التي تُستخدم لتقييم بُعد التنوع في المنطقة السكنية، مثل مقياس هيرفندال–هيرشمان (Herfindahl–Hirschman Index - HHI) لقياس تركّز أو توزيع استعمالات الأراضي ضمن منطقة معينة[10، 31، 32]. علاوةً على ذلك، مقياس مؤشر تنوع شانون (Shannon Diversity Index "SHDI") تعكس مدى انتشار وتوازن توزيع الأنشطة المختلفة[33،34]. مقياس تنوع سيمبسون (Simpson Diversity Index "SIDI")، فهو يُركز على قياس احتمالية أن ينتمي نوعين عشوائيين من استخدامات الأراضي ضمن منطقة محددة إلى نفس النوع. القيم المنخفضة لمؤشر سيمبسون تشير إلى تنوع أعلى، حيث يعني ذلك وجود أنواع متعددة

من استخدامات الأراضي بتوزيع متوازن[35،25] . كذلك مقياس مؤشر الاختلاط الرأسي (Vertical Mixing Index "VMI") التي تركز على توزيع الأنشطة عبر الطوابق أو المستويات المختلفة داخل المباني المتعددة الاستخدامات[25].

في المقابل، شهدت **المقاييس التقسيمية** تطوراً ملحوظاً خلال العقود الماضية (شكل4)، حيث أصبحت أداة فعالة لتحليل بُعد التنوع في استعمالات الأراضي، خاصةً عند دراسة التفاوتات والتكتلات المكانية على المستوى المحلي. يتميز هذا النوع من المقاييس بتركيزه على تحليل الأنماط المكانية داخل الوحدات الفرعية أو القطاعات المكانية الصغيرة، مما يسمح بفهم أعمق وأكثر تفصيلاً لديناميكيات استعمالات الأراضي. وقد ساهم هذا التطور في ظهور مجموعة من المقاييس التي تُستخدم على نطاق واسع في قياس بُعد التنوع. من أبرز تلك المقاييس: مؤشر التفاوت (Dissimilarity Index - DIS) هو أحد الأدوات الرائدة في قياس درجة التفاوت المكاني بين الوحدات الفرعية المختلفة[10،36، 37] . يُركّز هذا المؤشر على تحليل الفروق في توزيع استعمالات الأراضي بين وحدتين مكانيتين أو أكثر، مما يساعد في الكشف عن الأنماط غير المتوازنة داخل المنطقة المدروسة. يُستخدم هذا المؤشر لتحديد مدى الاختلاف بين المناطق فيما يتعلق بنسب الأنشطة المختلفة. يتم حساب المقياس باستخدام المعادلة التالية:

$$\boldsymbol{DIS = 0.5 \sum_{i=1}^{n} |r_i - S_i|}$$

حيث إن r_i: النسبة المئوية لنوع الاستعمال الأول (السكني) بالوحدة الجغرافية i ، S_i: النسبة المئوية لنوع الاستعمال الثاني (غير السكني) بالوحدة الجغرافية i، و n يعبر عن عدد أنواع استعمالات الأراضي. تتراوح قيمة المقياس بين الصفر والواحد الصحيح، حيث تعكس القيم المرتفعة وجود تباينات كبيرة، بينما تشير القيم المنخفضة إلى توزيع أكثر توازناً. يتميز ذلك المقياس بدقته في قياس التفاوت بين الوحدات الفرعية، سهولة الفهم، ومرونته في التطبيق على سياقات مكانية مختلفة. على الرغم من ذلك، فإنه يتطلب بيانات تفصيلية ودقيقة، علاوةً على أن نتائجه قد تتأثر بالمشكلة المرتبطة بتعديل الوحدة المكانية (MAUP)، حيث يمكن أن يؤدي اختلاف مساحة الوحدات الفرعية إلى نتائج متباينة، مما يجعل المقارنة بينها تحديًا.

من ناحية أخرى، يُمثل مؤشر أتكينسون (Atkinson Index - ATK) أداة مرنة لقياس تنوع استعمالات الأراضي، حيث يهدف إلى تحديد درجة التفاوت في التوزيع المكاني لنوع محدد من استعمالات الأراضي عبر الوحدات الفرعية المختلفة. يتيح هذا المقياس للمستخدم تحديد معامل قياسي (ε) والذي يغيّر طريقة احتساب التفاوت في توزيع النوع المحدد من الاستعمال، وعادةً ما يضبط بين 0 و1، وعندما يقترب من 1، يعطي وزناً أكبر لنقص التوزيع في النوع المستهدف[10،38]. ذلك المعامل القياسي يساهم في جعل المقياس مناسباً لتحليل التنوع في سياقات متعددة. يُحسب المقياس باستخدام الصيغة الرياضية التالية:

$$\boldsymbol{ATK = 1 - \left[\frac{1}{n_\varepsilon} \sum_{j=1}^{n} (S_i)^{1-\varepsilon} \right]^{(1/1-\varepsilon)}}$$

حيث إن n هو عدد المناطق أو الوحدات الفرعية، و S_i تمثل النسبة المئوية لاستعمال الأرض (غير السكني) في المنطقة i، أما ε هو معامل قياسي أو الحساسية. يتم قياس القيم بين 0 و1، حيث إن القيمة 0 تدل على توزيع متجانس تماماً، أما القيم الأقرب إلى 1 تشير إلى تفاوت أعلى في توزيع النوع المستهدف. يتميز هذا المقياس بمرونته في التطبيق، حيث يتيح تعديل المعامل القياسي (ε) جعل المقياس مناسباً لسياقات مختلفة، كما أنه يقدم صورة واضحة عن توزيع النوع المستهدف من الأراضي. على الرغم من ذلك، فذلك المقياس صعب نسبياً في التطبيق بسبب الحاجة إلى بيانات دقيقة وتفصيلية، والحاجة إلى معرفة مسبقة لتحديد قيمة المعامل القياسي (ε) الأنسب.

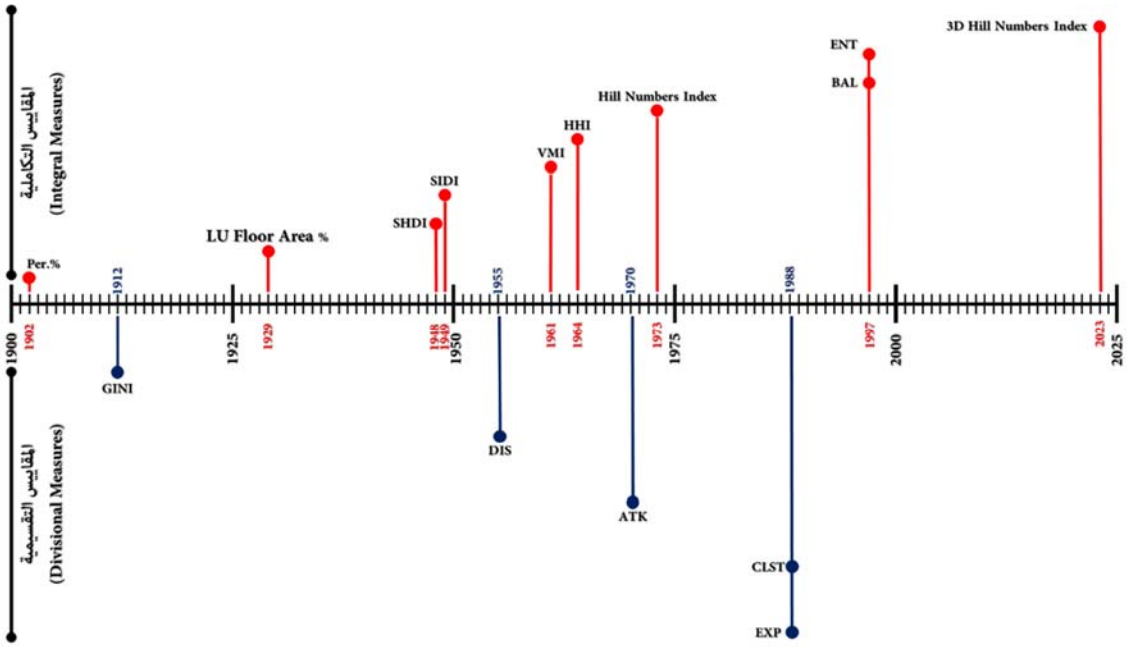
علاوةً على ذلك، مؤشر التكتل (Clustering Index - CLST)، فهو يُركّز على تحليل التكتلات المكانية لاستعمالات الأراضي. يُستخدم ذلك المقياس في دراسات الفصل السكني والدخل لقياس مدى تراصّ الأنواع المكانية "Minorities" أو تكتلها في مساحة محددة، وبالتالي فإن هذا المقياس يصف درجة تجميع أو تكتل نوع معين من استعمالات الأراضي في منطقة معينة ومدى انفصاله عن الأنواع الأخرى من استعمالات الأراضي[10، 37] . يُحسب ذلك المقياس باستخدام الصيغة الرياضية التالية:

$$\boldsymbol{CLST\ (Y) = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} S_i \times \sum_{i^*=1}^{n} y_{i^*} e^{-d_{ii^*}}\right) - \left(\frac{Y}{n^2} \sum_{i=1}^{n} \times \sum_{i^*=1}^{n} e^{-d_{ii^*}}\right)}{\left(\sum_{i=1}^{n} S_i \times \sum_{i^*=1}^{n} Z_{i^*} e^{-d_{ii^*}}\right) - \left(\frac{Y}{n^2} \sum_{i=1}^{n} \times \sum_{i^*=1}^{n} e^{-d_{ii^*}}\right)}}$$

حيث إن S_i النسبة المئوية للاستعمال غير السكني في المنطقة i، y_i مساحة الأراضي غير السكنية في المنطقة i، z_i المساحة الإجمالية للأراضي في المنطقة i، d_{ii^*} المسافة بين مركزي المناطق i ، i^*، Y تمثل المساحة الإجمالية للأراضي الاستعمال غير السكني. قيمة مقياس Clustering Index تتراوح بين 0 و1، حيث قيمة 0 تدل على تداخل واختلاط كامل بين استعمالات الأراضي، أما قيمة 1 تدل على تكتل كامل أو فصل مكاني واضح. يتميز ذلك المقياس بأنه يأخذ بعين الاعتبار العلاقات المكانية بين المناطق من خلال تضمين المسافات بينها. على الرغم من ذلك، يتطلب المقياس معالجة حسابية معقدة بسبب إدراج العلاقات المكانية والمسافات، علاوة على أنه يقتصر على قياس نمط استعمال واحد للأراضي، مما يجعله غير مناسب لتحليل تعدد استعمالات الأراضي بشكل شامل.

إلى جانب المقاييس الأساسية الشائعة، ظهرت مقاييس تقسيمية إضافية مثل مؤشر التعرض (Exposure Index - EXP) التي تُركز على دراسة التفاعل بين أنواع مختلفة من استعمالات الأراضي داخل المنطقة الواحدة. يهدف هذا المؤشر إلى تقييم مدى تعرض نوع معين من الأنشطة للأنشطة الأخرى داخل نفس المنطقة أو الوحدة المكانية. يعتمد المؤشر على حساب احتمال وجود نشاط معين بجوار نشاط آخر، مما يعكس درجة التكامل أو العزل بين الأنشطة. وتُعد القيم المرتفعة لهذا المؤشر دليلاً على وجود تكامل مكاني قوي بين الأنشطة المختلفة، بينما تُشير القيم المنخفضة إلى عزل نسبي بين هذه الأنشطة[10، 37].

أما مقياس جيني (GINI Index)، فهو يُعتبر أداة تحليلية مرنة تُستخدم بشكل أساسي لقياس التفاوت وعدم التساوي في التوزيع المكاني بين نوعين مختلفين من استعمالات الأراضي عبر مناطق مختلفة[10،39] (Gini, 1912; Song et al., 2013). على الرغم من ذلك، فقد لا يكون دقيقًا عند تحليل استعمالات الأراضي المتعددة، حيث يُركز فقط على قياس التفاوت بين نوعين فقط، كما أن يتطلب حسابات معقدة نسبيًا، مما قد يصعّب استخدامه في بعض السياقات.



شكل 4: تطور مقاييس بُعد التنوع" (Diversity)

المصادر: (10، 11، 17 ، 22، 25 ، 26 ، 29، 31 ، 33 ، 35، 36، 37، 38، 40)

2.1 تطور مقاييس بُعد "إمكانية الوصول / "Accessibility

يمثل بُعد "إمكانية الوصول" (Accessibility) أحد الركائز الأساسية في تحليل اختلاط استعمالات الأراضي، حيث يُعنى بتقييم الكيفية التي يتم بها تنظيم الأنشطة المختلفة وتوزيعها المكاني بما يتيح سهولة الوصول إليها. ذلك المفهوم يرتبط ارتباطا وثيقًا بالقدرة على الانتقال أو الوصول إلى مختلف الأنشطة والخدمات داخل المنطقة السكنية[9]. يُركز هذا البُعد على مدى القرب المكاني (Proximity) والسهولة التي يمكن من خلالها الوصول إلى استعمالات الأراضي المختلفة، مما يجعله عاملاً حاسمًا في تحقيق جودة الحياة بالمناطق السكنية. علاوةً على ذلك، يتمحور هذا البُعد حول مفهوم "المسافة" (Distance) كعامل جوهري لفهم إمكانية الوصول، حيث يُقاس تأثير توزيع استعمالات الأراضي من خلال المسافات المكانية التي تفصل بين الأنشطة المختلفة[10، 11].

شهدت مقاييس "بُعد إمكانية الوصول" (Accessibility) تطوراً ملحوظاً على مدار العقود الماضية (شكل7)، حيث انعكست الجهود البحثية في تحسين أدوات القياس الكمي لإمكانية الوصول ضمن البيئات الحضرية، وخاصةً السكنية. يُعد هذا التطور استجابةً للتحديات المرتبطة بتعقيد العلاقات المكانية بين الاستعمالات المختلفة، مما دفع الباحثين إلى تصميم مقاييس تهدف إلى تحسين كفاءة ودقة التحليل بما يتماشى مع الاحتياجات المتزايدة للمخططين وصانعي القرار. من أبرز تلك المقاييس وأكثرهم شيوعاً واستخداماً المقاييس القائمة على الجاذبية (Gravity-Based Measures)، والذي يعد أحد الأدوات الكمية المستخدمة لتقييم إمكانية الوصول المكاني بين نقطتين في البيئة الحضرية، استناداً إلى مبدأ الجاذبية المكانية. يفترض هذا المقياس أن جاذبية الوجهة تقل مع زيادة المسافة الفاصلة بينها وبين نقطة الأصل. تعتمد الجاذبية على عوامل مثل أهمية الوجهة وحجمها وكثافة استخدامها، مما يجعلها أداة فعالة لتقييم مدى جاذبية المواقع للخدمات أو الأنشطة[41، 42]. يُحسب ذلك المقياس باستخدام العلاقة الرياضية التالية:

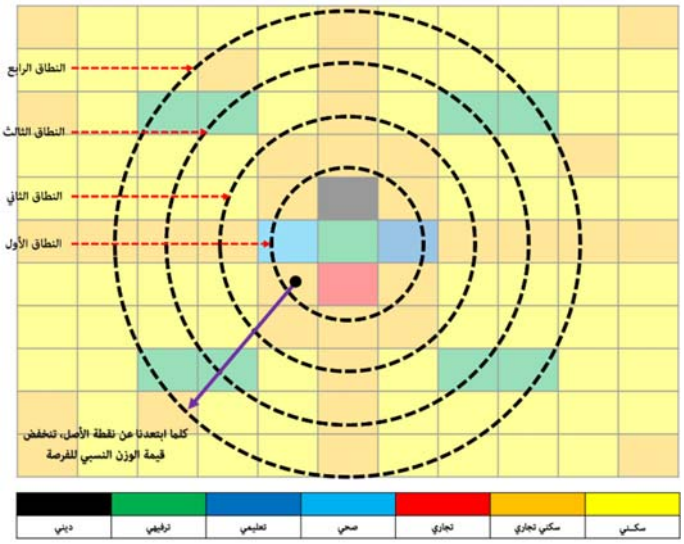
$$A_{ij} = \sum_{j} \frac{O_j}{d_{ij}^{\beta}}$$

حيث إن A_{ij}: مؤشر الجاذبية بين نقطة الأصل i، والوجهة j، O_j: الوزن النسبي المعبر عن جاذبية الوجهة j (يعكس أهمية الوجهة أو حجمها)، d_{ij}: المسافة بين نقطة الأصل i والوجهة j ، β: معامل التدهور أو الانخفاض في الجاذبية نتيجة المسافة، والذي يُحدد مدى تأثير المسافة على الجاذبية. يُعبر عن مؤشر الجاذبية بوحدات نسبية تتناسب مع القيم المستخدمة لعوامل الوزن والمسافة. تعكس القيم الأعلى سهولة وصول أكبر وجاذبية أعلى للوجهة. يتميز ذلك المقياس بدقته في تمثيل العلاقات المكانية بين المواقع (يأخذ بعين الاعتبار كلا من المسافة والجاذبية)، علاوةً على مرونته في التكيف مع الخصائص المختلفة للوجهات من حيث الأهمية أو الحجم. على الرغم من ذلك، فإنه يعتمد على حسابات رياضية معقدة تتطلب أدوات تحليل متقدمة، مما يجعل تطبيقه صعباً في بعض الحالات. كذلك، حساسيته العالية لتحديد قيمة معامل التدهور (β) قد تؤثر على دقة النتائج، كما قد لا يعكس التعقيدات البيئية مثل العوائق الطبيعية أو الازدحام المروري.

في سياق تبسيط عملية القياس، تم تطوير مؤشر الفرص التراكمية (Cumulative Opportunity Index - COI) (شكل5)، الذي يهدف إلى تقييم مدى سهولة وإمكانية الوصول مشياً إلى الفرص (كالخدمات، والمرافق العامة) من نقطة معينة داخل المنطقة السكنية[41، 43، 44، 45]. يركز هذا المقياس على حساب عدد الفرص (الخدمات الأساسية) المتاح الوصول إليها ضمن نطاق محدد (مثل مسافة المشي أو زمن الانتقال)، مما يوفر تقييمًا شاملًا لمدى سهولة الوصول إلى تلك الفرص من قِبل السكان. يعتمد المقياس على مبدأ أن الوجهات الأقرب توفر إمكانية وصول أعلى مقارنة بالوجهات الأبعد، مما يجعله أداة فعالة لتقييم توزيع وتوافر الخدمات والمرافق في المناطق السكنية. يُحسب المقياس لكل قطعة أرض مُخصصة للاستعمال السكني داخل المنطقة السكنية باستخدام الصيغة الرياضية التالية:

$$COI_i = \sum_{j=1}^{N_{d\,(i,j)\leq 400\,m}} OW_{i-j}$$

حيث إن COI_i : مؤشر إمكانية الوصول للفرص التراكمية من نقطة الأصل i إلى جميع الوجهات أو قطع الأراضي المجاورة j، $N_{d\,(i,j)\leq 400\,m}$: هو عدد قطع الأراضي أو الوجهات التي تقع ضمن نطاق التأثير المُحدد (400 متر على سبيل المثال) من نقطة الأصل i، OW_{i-j}: هو الوزن النسبي لكل فرصة (Opportunity Weight) الذي يتم حسابه لكل وجهة مجاورة j بناءً على بعدها من نقطة الأصل i (يعكس أن الفرص الأقرب لنقطة الأصل يكون لها وزن أكبر في حساب إمكانية الوصول). تُحسب الوزن النسبي لكل فرصة باستخدام الصيغة الرياضية التالية: ($OW_{i-j} = \frac{(D^{Max} - D^{i-j})}{(D^{Max} - D^{Min})}$)، حيث D^{i-j}: المسافة من نقطة الأصل i إلى جميع الوجهات أو قطع الأراضي المجاورة j، D^{Max}: هي أقصى مسافة ضمن نطاق التأثير (400 متر)، D^{Min}: هي أقرب / أقصر مسافة ضمن نطاق التأثير (100 متر). بعد ذلك، تُحسب قيمة المقياس المتوسطة على مستوى المنطقة السكنية بأكملها باستخدام المعادلة الرياضية الآتية: ($COI_{Neighborhood} = \left(\sum_{i=1}^{\mu} COI_i\right)/\mu$)، حيث إن $COI_{Neighborhood}$: القيمة المتوسطة لمؤشر إمكانية الوصول للفرص التراكمية على مستوى المنطقة السكنية (المجاورة السكنية)، COI_i: مؤشر إمكانية الوصول التراكمي للنقطة i، μ: عدد النقاط ضمن المنطقة السكنية. يُعبر عن نتائج مقياس COI بوحدات تمثل عدد الفرص، مثل عدد الخدمات الأساسية. كلما زادت القيمة، دل ذلك على إمكانية وصول أعلى وكفاءة أكبر في توزيع الخدمات ضمن المنطقة المدروسة. يتميز ذلك المقياس بسهولة الحساب والتفسير، مما يجعله أداة فعّالة لتحليل إمكانية الوصول بسرعة ودقة، كما يتيح الإمكانية لتعديل نطاق التأثير الزمني أو المكاني وفقاً للاحتياجات البحثية، مما يُحسن من مرونة التطبيق. على الرغم من ذلك، لا يأخذ في الاعتبار العوائق المكانية مثل الازدحام المروري.



شكل 5: مقياس إمكانية الوصول للفرص التراكمية

وبالاضافةً للمقاييس السابق ذكرها، ظهرت عدة مقاييس أخرى، مثل المقاييس التي تعتمد على المسافة (Distance Measures). على سبيل المثال، استُخدم مقياس المسافة الخطية بين نقطتين (Linear Distance Measure) كوسيلة بسيطة وفعالة لتحليل إمكانية الوصول، حيث يعتمد على المسافة الجغرافية المباشرة بين النقاط[5 ، 46، 47]. ورغم سهولة استخدامه وتفسيره، فإنه يعاني من القصور في تمثيل العوائق الفعلية لشبكة الطرق المتاحة، مما يقلل من دقته في السياقات المعقدة. كذلك، مقياس أقرب مسافة (Nearest Distance Measure)، الذي يُركز على قياس المسافة بين نقطة معينة وأقرب وجهة[5 ، 47، 48]. يوفر هذا المقياس أداة فعالة لتحليل الوصول المباشر، إلا أنه محدود في قدرته على تقديم صورة شاملة عن الخيارات المتاحة ضمن المنطقة. بالمثل، تم تطوير مقياس المسافة بين نقطتين باستخدام شبكة الطرق (Street Network Distance Measure)، الذي يتميز بأخذ شبكة الطرق الفعلية في الاعتبار عند حساب المسافة، مما يجعله أكثر ملاءمة لتمثيل الواقع[5، 47، 49]. علاوةً على ذلك، يُعد مقياس متوسط المسافة (Average Distance Measure - AV.DM) أداة فعالة تُستخدم لتقييم المسافة المتوسطة بين نقطة الأصل ومجموعة من الوجهات. يركز هذا المقياس على توفير تصور شامل حول كفاءة توزيع الخدمات والمرافق في منطقة معينة، حيث يتم قياس المسافة من نقطة الأصل إلى جميع الوجهات ضمن نطاق جغرافي محدد، ومن ثم حساب متوسط هذه المسافات[47، 48]. يتميز هذا المقياس بشموليته مقارنة بالمقاييس الأخرى مثل مقياس أقرب مسافة، إلا أنه قد يواجه تحديات في دقة التمثيل عند التعامل مع بيئات ذات توزيع مكاني متفاوت للوجهات.

ومن جهة أخرى، يُعد مقياس التركيب المكاني (Space Syntax) منهجية متقدمة تقوم بتحليل شبكات الشوارع والعلاقات المكانية بين العناصر العمرانية المُكونة للمدينة. يعتمد هذا المقياس على تحويل الشبكة الحضرية إلى خطوط وعقد (مسارات الطرق والتقاطعات)، حيث يتم قياس مدى الترابط المكاني عبر مؤشرات مثل درجة الاتصال[50]. يتميز بقدرته على تقديم فهم معمق لحركة المرور والتنقل داخل المناطق الحضرية، مما يجعله أداة فعالة لتحليل إمكانية الوصول. إلا أن تعقيد الحسابات ومتطلبات البيانات الدقيقة يجعلان تطبيقه محدوداً في بعض السياقات. أما مؤشر قابلية المشي (Walkability Index)، فيُعد أداة تهدف إلى تقييم مدى ملاءمة البيئة العمرانية للمشي. يدمج هذا المقياس عدة عوامل مثل كثافة الوجهات، وتوافر الأرصفة، وتنوع الأنشطة في المنطقة، مما يوفر تقييماً شاملاً لجاذبية المشي[54،55]. يتميز هذا المقياس بسهولة ومرونة تطبيقه. ومع ذلك، قد تتأثر دقته بنوعية البيانات المتاحة. أخيراً، يُعد مؤشر إمكانية الوصول ثلاثي الأبعاد (3D Accessibility Index) من أحدث المقاييس التي تُدمج البيانات ثلاثية الأبعاد (مثل عدد الأدوار – سرعة الانتقال الرأسية – الاختلاط الرأسي للاستعمالات) لتحليل إمكانية الوصول. يركز هذا المقياس على المسافات الأفقية والرأسية معاً، مما يجعله مثالياً لتقييم إمكانية الوصول في المناطق ذات الكثافة البنائية العالية[11]. يساهم هذا المؤشر في تقديم تصور أكثر دقة لإمكانية الوصول مقارنة بالمقاييس التقليدية، إلا أنه يتطلب بيانات تفصيلية حول ارتفاعات المباني وسرعة التنقل، مما قد يحد من استخدامه في المناطق التي تفتقر إلى هذه المعلومات.

3.1 تطور مقاييس بُعد "التوافق / Compatibility"

يُعتبر بُعد التوافق (Compatibility) أحد الأبعاد المحورية في تحليل اختلاط استعمالات الأراضي، حيث يعكس مدى الانسجام أو التضارب بين الأنواع المختلفة لاستعمالات الأراضي داخل نطاق محدد. يتمركز هذا البُعد حول دراسة العلاقات التفاعلية بين الاستعمالات المتجاورة، وهو ما يجعله مرتبطاً بشكل وثيق ببُعد "خصائص استعمالات الأراضي" (Attribute)، حيث يعتمد على تحليل السمات الوظيفية لكل استعمال والأثر الناتج عن تجاورها[9، 12]. شهدت مقاييس التوافق تطوراً ملحوظاً خلال العقود الماضية (شكل7) بهدف تحسين الكفاءة والفعالية في قياس التوافق الوظيفي بين أنواع استعمالات الأراضي المختلفة. في البداية، كانت الأساليب التقليدية تعتمد على التقييمات الذاتية والملاحظات النوعية، حيث وفرت أساسًا لتقييم التوافق بين استعمالات الأراضي المختلفة[9، 12]. ومع مرور الوقت، ظهرت الحاجة إلى نماذج أكثر تطوراً تراعي الدقة الكمية والقدرة على تقديم نتائج دقيقة وقابلة للقياس للتفاعلات الوظيفية المختلفة بين الاستعمالات، خاصة في المناطق السكنية، مما دفع الباحثين إلى تطوير نماذج كمية أكثر تخصصًا.

يمثل **مؤشر التوافق ثنائي الأبعاد ("2D Compatibility Index "2D CI")** أحد المقاييس الأساسية المستخدمة لتحديد مدى التوافق بين أنواع استعمالات الأراضي المختلفة في البعد الأفقي (2D) فقط داخل المنطقة السكنية. يعكس المقياس إمكانية التعايش بين أنواع استعمالات الأراضي المختلفة داخل نطاق مكاني محدد (نطاق التأثير – نصف قطر مُحدد قيمته مسبقاً)، مع الأخذ في الاعتبار المسافة بين قطع الأراضي (شكل6)، مما يساهم في تقييم تأثير التوافق على جودة الحياة بالمنطقة السكنية[9]. يُحسب مؤشر التوافق لكل قطعة أرض باستخدام المعادلة الآتية:

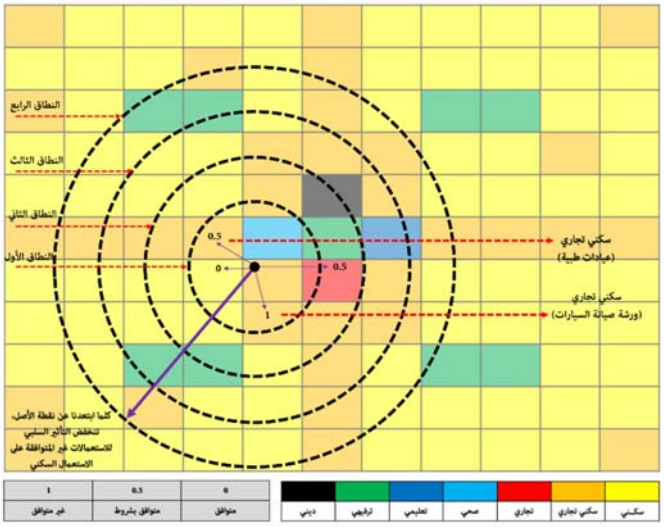
$$LCI_{i_2D} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{N_{d(ij)\leq 400\,m}} (C_{ij} \times P_j)}{\sum_{j=1}^{N_{d(ij)\leq 400\,m}} (P_j)}$$

حيث إن LCI_{i_2D}: قيمة مؤشر التوافق ثنائي الأبعاد بين قطعة الأرض المستهدفة i وقطع الأراضي المجاورة، C_{ij}: معامل التوافق بين استعمالات لقطعة الأرض المستهدفة i واستعمال قطعة الأرض المجاورة j (يتم الحصول عليه من مصفوفة حكم التوافق: 0 = متوافقة، 0.5 = متوافقة جزئياً، 1 = غير متوافقة)، P_j: النسبة المئوية لمساحة قطعة الأرض لكل قطعة أرض متأثرة j ضمن نطاق التأثير لقطعة الأرض المستهدفة i (400 متر على سبيل المثال)، وتُحسب قيمة P_j باستخدام الصيغة الرياضية التالية: ($\boldsymbol{P_j = \frac{A_j}{\sum_{j=1}^{N_{d(ij)\leq 400\,m}} (A_j)}}$)، حيث إن A_j : مساحة قطعة الأرض المتأثرة j ضمن نطاق التأثير لقطعة الأرض المستهدفة i. تشير القيم القريبة من 1 تشير إلى توافق منخفض أو تأثير سلبي كبير بين أنواع الاستعمالات، بينما القيم القريبة من 0 تشير إلى توافق عالي أو تأثير إيجابي. يتميز ذلك المقياس بقدرته على تقديم طريقة كمية لتقييم التوافق بين أنواع استعمالات الأراضي، علاوةً على مرونته في التطبيق حيث يعتمد على نطاق مكاني يمكن تخصيصه وفقاً للحالة البحثية. على الرغم من ذلك، يعتمد على بيانات دقيقة لمساحة الأراضي مما قد يكون صعب الحصول عليها. تطوّر مؤشر (2D CI) إلى مؤشر أكثر شمولية، وهو **مؤشر التوافق ثلاثي الأبعاد ("3D Compatibility Index "3D CI")**، ليعالج محدودية المؤشر السابق في اعتبار البعد الرأسي (الاختلاط الرأسي لاستعمالات الأراضي) بجانب البعد الأفقي. تمثل الإضافة الأساسية في المقياس ثلاثي الأبعاد إدخال عامل المسطح المبني للاستعمال (المسطح المغطى للاستعمال مضروباً في عدد الأدوار التي يشغلها الاستعمال) في المعادلة الرياضية، مما يتيح تحليلاً أكثر دقة وشمولاً للتوافق بالمناطق ذات الكثافات البنائية المرتفعة نسبياً[11]. تُحسب قيمة (3D CI) باستخدام المعادلة الرياضية التالية:

$$LCI_{i_3D} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{N_{d(ij)\leq 400\,m}} (C_{ij} \times M_j)}{\sum_{j=1}^{N_{d(ij)\leq 400\,m}} (M_j)}$$

حيث أُستبدلت P_j بمؤشر (2D CI) بالمتغير M_j، والذي يعبر معامل الوزن المشتق من نسبة مساحة الطابق إلى مساحة الأرض (FAW-land Area Ratio) لكل قطعة أرض متأثرة j ضمن نطاق التأثير لقطعة الأرض المستهدفة i. وتُحسب قيمة M_j باستخدام الصيغة الرياضية التالية: ($\boldsymbol{M_j = \frac{A_j \times FA_j}{\sum_{j=1}^{N_{d(ij)\leq 400\,m}} (A_j \times FA_j)}}$)، حيث إن A_j : مساحة قطعة الأرض المتأثرة j، FA_j : مساحة الطابق التي يشغلها الاستعمال داخل قطعة الأرض المتأثرة j. بعد ذلك، تُحسب قيمة المقياس المتوسطة على مستوى المنطقة السكنية بأكملها باستخدام المعادلة الرياضية الآتية: ($CI_{Neighborhood_3D} = \left(\sum_{i=1}^{\mu} LCI_{i_3D}\right)/\mu$)، حيث إن $CI_{Neighborhood_3D}$: القيمة المتوسطة لمؤشر (3D CI) على مستوى المنطقة السكنية (المجاورة السكنية)، LCI_{i_3D}: مؤشر التوافق لكل قطعة أرض مستهدفة i، μ: عدد قطع الأراضي ضمن المنطقة

السكنية. يتميز ذلك المقياس بأنه يوفر تحليلًا أكثر شمولية يأخذ بعين الاعتبار الأبعاد الثلاثية (المساحة والارتفاع متمثلة في عدد الطوابق). علاوةً على إمكانية تطبيقه على مختلف أنواع استعمالات الأراضي، وتعديل مصفوفة التوافق لتناسب السياق المحلي. لكنه يتطلب توافر بيانات دقيقة حول المسطحات المبنية لكل نوع من أنواع استعمالات الأراضي، والتي قد تكون صعبة التجميع في بعض الأحيان.



شكل 6 : مقياس التوافق ثنائي وثلاثي الأبعاد

بالاضافة الى ذلك، ظهرت مقاييس مثل **مؤشر درجة الاختلاط المرتكز على البيانات المُتجهة (Vector-Based Mix Degree Index - VMDI)**، والذي يهدف لتقييم درجة التوافق بين الأنواع المختلفة لاستعمالات الأراضي ضمن مساحة حضرية محددة (نطاق تأثير مُحدد). يركز المقياس على تحليل العلاقات التوافقية بين قطع الأراضي، بناءً على نوع الاستعمال ومجاورتها لأنواع أخرى[9]. يتميز هذا المقياس بالاعتماد على البيانات المتجهة (Vector Data)، مما يتيح تحليلًا أكثر دقة مقارنة بالمقاييس التقليدية المعتمدة على البيانات الشبكية (مثل مؤشر درجة الاختلاط " Mix Degree Index - MDI"). يقوم المقياس بحساب درجة التوافق بناءً على العلاقة بين قطع الأراضي المختلفة باستخدام معادلة رياضية تعكس تلك العلاقات:

$$VMDI = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{N_{d(ij)\leq 400\,m}}(C_{ij})}{n}$$

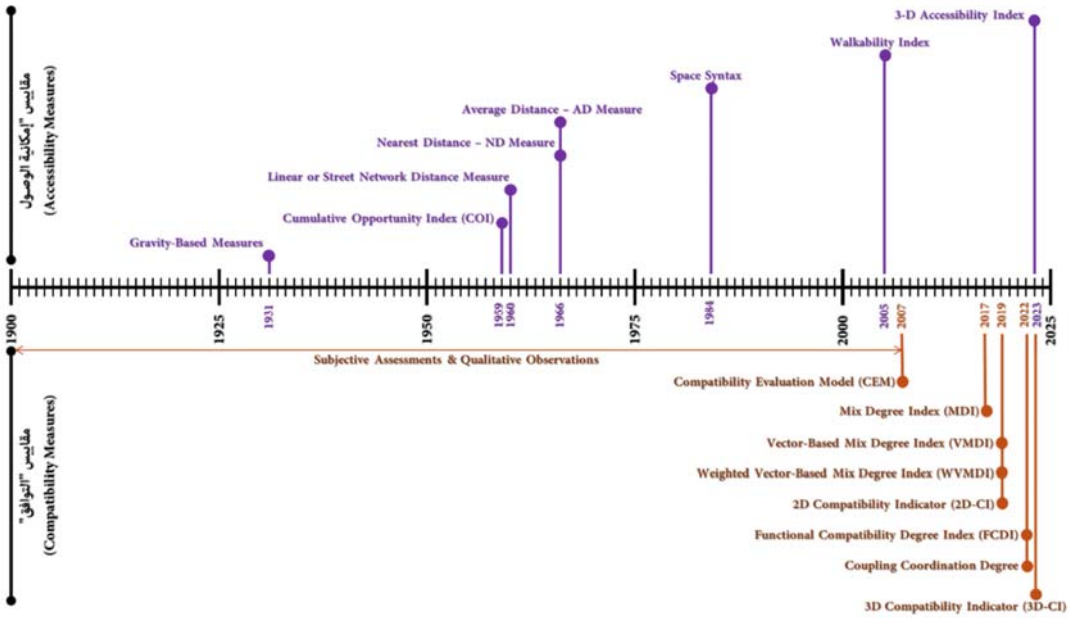
حيث إن n : عدد قطع الأراضي الواقعة ضمن نطاق التأثير (400 متر على سبيل المثال) لقطعة الأرض المستهدفة i، C_{ij}: قيمة معامل التوافق بين القطعتين i، j وفقاً لمصفوفة التوافق (يتم الحصول عليه من مصفوفة حكم التوافق: 0 = متوافقة، 0.5 = متوافقة جزئياً، 1 = غير متوافقة)، القيمة "1": القيمة النظرية القصوى لعدم التوافق. تشير القيم المرتفعة إلى درجة توافق أكبر بين الأنواع المختلفة من استعمالات الأراضي. تمثل القيم المنخفضة عدم توافق ملحوظ بين الأنواع. يتميز هذا المقياس بأنه يأخذ بعين الاعتبار جميع أنواع استعمالات الأراضي، مما يجعله أكثر شمولاً، ومرونته في التطبيق حيث يعتمد على نطاق مكاني يمكن تخصيصه وفقاً للحالة البحثية. على الرغم من ذلك، فإنه يتطلب بيانات دقيقة وشاملة حول الأنواع المختلفة لاستعمالات الأراضي. وعلى الرغم من ذلك، ظهر القصور في تطبيق مقياس (VMDI) نتيجة لعدم مراعاته للأهمية النسبية لكل نوع من أنواع استعمالات الأراضي ضمن النطاق المكاني. هذا القصور أدى إلى تطويره إلى **مؤشر درجة الاختلاط المرتكز على البيانات المتجهة الموزونة (Weighted Vector-Based Mix Degree Index - WVMDI)**، والذي أضاف بعدًا نوعيًا لتحليل البيانات المتجهة من خلال إدراج الأوزان النسبية لكل نوع من استعمالات الأراضي بناءً على مسطح قطعة الأرض[9]. يتيح هذا التعديل مراعاة تأثير كل نوع من الاستعمالات وفقًا لأهميته النسبية في السياق المكاني أو البحثي. بناءً على ذلك، نجد أن التطوير الأساسي الذي طرأ على المعادلة الرياضية لمقياس (WVMDI) يكمن في إضافة عامل الوزن النسبي إلى معادلة (VMDI). تُعبّر المعادلة الجديدة لمقياس (WVMDI) عن التكامل بين قيم معامل التوافق والأوزان المخصصة لكل نوع من أنواع الاستعمالات، حيث تُحسب وفقًا للمعادلة التالية:

$$WVMDI = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{N_{d(ij)\leq 400\,m}} \left(C_{ij} \times {\mathrm{A_j}}/{\mathrm{A_{buf}}}\right)}{\sum_{j=1}^{N_{d(ij)\leq 400\,m}} \left({\mathrm{A_j}}/{\mathrm{A_{buf}}}\right)}$$

حيث إن ${A_j}/{A_{buf}}$: الوزن النسبي المرتكز على مسطح قطعة الأرض j ضمن نطاق التأثير لقطعة الأرض i. يسهم هذا التطوير في معالجة القصور الذي كان يواجه مقياس (VMDI). أولاً، أصبح (WVMDI) قادرًا على تمثيل تأثير كل نوع من الاستعمالات بشكل أدق من خلال إضافة الأوزان. ثانيًا، يوفر هذا المقياس مرونة أعلى لتطبيقه في سياقات مختلفة، حيث يمكن تعديل الأوزان لتناسب أولويات البحث أو متطلبات السياق المكاني. ثالثًا، يتيح (WVMDI) تفسيرًا أعمق للتفاعلات بين الاستعمالات المختلفة، مما يعزز دقة النتائج ويسهم في تحسين عملية صنع القرار. على الرغم من ذلك، تعقيد المعادلة وتزايد متطلبات البيانات التفصيلية قد يمثلان تحديًا عند تطبيقه. مع ذلك، يمكن التغلب على هذه التحديات باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية الحديثة وأدوات تحليل البيانات المتقدمة.

إضافة إلى المقاييس الشائعة السابق ذكرها، يعد **نموذج تقييم التوافق (Compatibility Evaluation Model - CEM)** من أوائل المحاولات الكمية لقياس التوافق. ذلك النموذج الذي قدمه[12] سعى لتحليل التوافق الوظيفي بين الأنشطة على المستويات الأفقية والرأسية على المستوى المحلي (Micro-Scale)، مستخدماً فيه تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والأدوات الداعمة لاتخاذ القرار مثل تحليل التسلسل الهرمي (AHP). يعتمد هذا النموذج على تقييم كيفي مستند لآراء الخبراء حول تحديد درجة التوافق بين كل زوجين من أنواع استعمالات الأراضي المختلفة وفقاً للخصائص الوظيفية لكل نوع، وقد صنف درجة التوافق إلى 5 درجات (عالٍ – متوسط – محايد – منخفض – منخفض جداً). يتميز ذلك المقياس بقدرته على تقديم تحليل تفصيلي للتوافق على المستوى المحلي (Micro-Level)، علاوةً على قدرته في تحليل التوافق على المستويين الأفقي والرأسي. على الرغم من ذلك، فإنه يتطلب بيانات مكانية دقيقة مما قد يزيد من تعقيد التطبيق. علاوةً على ذلك، طوّر[51] **مقياس درجة الاختلاط (Mix Degree Index - MDI)**، الذي يركز قياس التوافق بين نوعين من الاستعمالات (السكني – الصناعي) على نطاق مكاني كبير كالمدينة أو الإقليم. يعتمد المؤشر على التقسيم الشبكي، حيث يعتمد على تحويل مساحة الأرض إلى شبكة مساحية بحيث تَقسم المنطقة المدروسة إلى خلايا صغيرة متساوية، ويستخدم هذه الشبكات لحساب درجة التوافق بين استعمالات الأراضي بكل خلية.

كذلك، قدم[52] **مقياس درجة التوافق الوظيفي ("Functional Compatibility Degree Index "FCDI)**، الذي يعتمد على تقديم تقييم شامل للتوافق الوظيفي بين استعمالات الأراضي المختلفة عبر دمج عدة خصائص جغرافية هندسية، مثل مسطحات قطع الأراضي، طول الحدود المشتركة، والمسافة بين قطع الأراضي المتجاورة، علاوةً على استخدام مصفوفة التوافق الوظيفي. يتميز ذلك المقياس بالشمولية حيث يشمل جميع أنواع استعمالات الأراضي بما في ذلك غير المبنية (مثل الأراضي الزراعية والغابات)، يأخذ في الاعتبار دالة التباعد لحساب تأثير الانحلال المكاني لتأثيرات عدم التوافق. على الرغم من ذلك، فإنه يتطلب بيانات دقيقة وتفصيلية وحسابات معقدة مما قد يزيد من صعوبة تطبيقه على نطاق واسع. استجابة للطلب على مقاييس تلبي احتياجات التحليل على نطاقات جغرافية واسعة، تم تطوير **نموذج درجة التكامل والتنسيق المتبادل (Coupling Coordination Degree Model "CCDM")** الذي يوفر تقييمًا للتوافق بين وظائف الأراضي، مثل الإنتاج، المعيشة، البيئة، والثقافة، على نطاق مكاني واسع (المدينة – الإقليم)، إلا أنه يتطلب بيانات دقيقة ومتعددة الأبعاد، ما قد يكون صعبًا في بعض البيئات[25، 53].



شكل 7: تطور مقاييس "إمكانية الوصول" (Accessibility)، و"التوافق" (Compatibility)
المصادر: (9، 11 ، 12، 25 ، 42، 44 ، 47، 48، 50، 51 ، 52 ، 53، 54 ، 56 ، 57)

النتائج والمناقشة

نتائج التحليل المُقارن لمقاييس اختلاط استعمالات الأراضي

يوضح (جدول1) خلاصة نتائج التحليل المقارن للمقاييس الكمية لاختلاط استعمالات الأراضي، إذ يُظهر تنظيم هذه المقاييس على شكل مصفوفة مؤلفة من صفوف وأعمدة. تُمثّل الصفوف المقاييس المختلفة المصنّفة تبعاً للأبعاد الثلاثة الرئيسية لاختلاط استعمالات الأراضي، وهي التنوع وإمكانية الوصول والتوافق، فيما تُجسّد الأعمدة مجموعة من المعايير التطبيقية التي استند إليها التحليل في تصنيف هذه المقاييس وتقييمها. بناءً على تحليل الباحث لخصائص كل مقياس، والاطّلاع على الدراسات السابقة التي تناولت تطبيقه، تمّ تحديد مستوى ملاءمته لكل معيار تطبيقي على حدة. وتشمل هذه المعايير: عدد أنواع استعمالات الأراضي ذات الصلة بالمقياس، والمقياس المكاني المناسب لتطبيقه، ومدى دقّة البيانات المطلوبة، فضلاً عن درجة سهولة الاستخدام الفعلي للمقياس تبعاً لصيغته الرياضية، بالإضافة إلى الغرض الشائع من توظيفه والمجالات البحثية التي يرتبط بها. يسهم هذا التصنيف الدقيق في توضيح أوجه الاختلاف بين المقاييس، ويُعين الباحثين وصنّاع القرار على اختيار المقياس الأنسب لسياقاتهم المكانية والبحثية.

يتضح من النتائج فيما يخص **عدد أنواع استعمالات الأراضي ذات الصلة بتطبيق المقياس**، أن بعض المقاييس تقتصر على نوع واحد من الاستعمالات، وأخرى تشمل نوعين مثل الاستعمالات السكنية والتجارية، بينما تتسم بعض المقاييس بالشمول لتغطي أكثر من نوعين، الأمر الذي يتيح تحليلاً أعمق للتفاعلات بين الأنشطة المتنوعة داخل المناطق السكنية. أما بالنسبة **للمقياس المكاني الملائم لتطبيق كل مقياس (Spatial Scale)**، فقد تبين أن بعضها ينحصر في المقياس المحلي الدقيق مثل البلوك السكني أو المجاورة السكنية، مما يتيح تحليلاً مفصلاً للتغيرات على مستوى صغير (Micro Scale). في المقابل، تُطبق مقاييس أخرى على المقياس المكاني متوسط النطاق (Meso Scale)، مثل الحي السكني، بينما تُستخدم بعض المقاييس الأخرى على نطاق واسع (Macro Scale) يشمل المدينة بأكملها. يتيح هذا التنوع مرونة في استخدام المقاييس بناءً على السياق المكاني ومتطلبات التحليل.

ومن حيث **دقة البيانات المطلوبة**، تُظهر النتائج أن هناك مقاييس تتطلب بيانات دقيقة للغاية (Fine-Grained Data)، مثل البيانات التفصيلية على مستوى قطعة الأرض، لتقدم دقة عالية في النتائج، لكنها قد تكون مكلفة وتتطلب موارد كبيرة لجمع البيانات. على الجانب الآخر، تعتمد بعض المقاييس على بيانات متوسطة (Normal-Grained Data) أو منخفضة الدقة (Coarse-Grained Data)، مما يجعلها أكثر سهولة في التطبيق، لكنها قد تفتقر إلى دقة التحليل المطلوبة للسياقات الأكثر تعقيدًا.

بالنسبة **لدرجة سهولة التطبيق**، تتراوح النتائج بين مقاييس تُعد سهلة جداً وتتطلب موارد منخفضة، وأخرى تُعتبر صعبة نسبياً أو جداً بسبب تعقيد المعادلات الرياضية ومتطلبات البيانات. تُستخدم المقاييس الأسهل غالباً في الدراسات الاستكشافية، بينما تُفضل المقاييس الأكثر تعقيدًا في الأبحاث المتقدمة التي تتطلب دقة تحليلية أكبر. تم تحديد خمس درجات لسهولة التطبيق

على النحو التالي: الدرجة الأولى (1) تُعبر عن المقاييس الصعبة جداً، حيث تكون معقدة للغاية من حيث الصيغة الرياضية أو متطلبات البيانات الدقيقة التي يصعب الحصول عليها. الدرجة الثانية (2) تُشير إلى المقاييس التي تُعتبر صعبة نسبياً، وتتطلب جهودًا كبيرة لجمع البيانات ومعالجتها أو تطبيق المعادلات الرياضية. الدرجة الثالثة (3) تُعبّر عن المقاييس التي تقع في فئة متوسط السهولة، حيث تتطلب موارد معقولة لجمع البيانات وتحليلها. الدرجة الرابعة (4) تُخصص للمقاييس التي تُعد سهلة نسبياً، وتتطلب بيانات أقل تعقيداً ومعالجة مبسطة. وأخيراً، الدرجة الخامسة (5) تُشير إلى المقاييس السهلة جداً، التي تُعتبر قابلة للتطبيق بسهولة وبموارد محدودة.

بالإضافة إلى ذلك، أسهم التحليل المُقارن في إبراز **الغرض الشائع لتطبيق كل مقياس**، إذ تتباين المقاييس تبعاً للأهداف التي وضعت من أجلها. بناءً على نتائج التحليل، تبيّن أن كل مقياس قد صُمم لتحقيق غرض محدد، فقد يكون هدف بعض المقاييس منصباً على قياس التنوع (توزيع الأنشطة المختلفة ومدى تنوعها داخل نطاق مكاني معين)، أو التوزيع النسبي (تقييم كيفية توزيع الأنشطة المختلفة بالنسبة إلى بعضها البعض في النطاق المكاني)، أو التفاوت في التوزيع، أو التوازن (تقييم مدى تكافؤ توزيع الاستعمالات المختلفة داخل منطقة معينة)، أو التكتل (مدى تجمّع الأنشطة المختلفة داخل النطاق المكاني)، أو إمكانية الوصول (البعد المكاني ومدى سهولة الوصول إلى الأنشطة المختلفة)، أو التوافق الوظيفي (مدى انسجام الأنشطة المختلفة داخل المنطقة السكنية).

أما **المجالات البحثية**، فقد أظهرت النتائج أن المقاييس تُستخدم في مجالات متعددة. في مجال التنمية العمرانية، تُستخدم لتحليل تأثير توزيع الأنشطة على الاستدامة وكفاءة استخدام الأراضي. في مجال النقل الحضري، تُساعد على تقييم تأثير توزيع الأنشطة على أنماط الحركة. في الاقتصاد الحضري، تُستخدم لتحليل تأثير التنوع الوظيفي على القيمة الاقتصادية للأراضي أو العقارات. في الاجتماع الحضري، تُساهم في دراسة تأثير توزيع الأنشطة على رضا السكان. وأخيراً، في الصحة العامة، تُساعد على تقييم تأثير توزيع الأنشطة على جودة البيئة الحضرية وصحة السكان.

تحليل مُقارن لمقاييس اختلاط استعمالات الأراضي بالمناطق السكنية

جدول 1: نتائج التحليل المُقارن لمقاييس اختلاط استعمالات الأراضي

البُعد	المقياس		عدد أنواع استعمالات الأراضي المستهدفة			المقياس المكاني الملائم للتطبيق			مدى دقة البيانات المطلوبة للتطبيق			الغرض الشائع للتطبيق								المجال البحثي الشائع للتطبيق					درجة سهولة تطبيق المقياس
			نوع واحد	نوعان	أكثر من نوعين	Micro	Meso	Macro	Fine	Normal	Coarse	التنوع	التوزيع النسبي	التفاوت	التوازن (تقييم التكافؤ)	التكتل	التفاعل المكاني	إمكانية الوصول	التوافق الوظيفي	التنمية العمرانية	النقل الحضري	الاجتماع الحضري	الاقتصاد الحضري	الصحة العامة	
بُعد "التنوع" (Diversity)	النسبة المئوية	Land Use Percentage (Per.%)	√			√	√	√	√	√			√							√	√	√	√	√	5
	النسبة المئوية للمسطح المبني للاستعمال	Percentage of LU Total Floor Area (LU Total FA%)	√			√	√		√				√							√		√			3
	مؤشر الإنتروبيا	Entropy Index (ENT)		√		√	√	√		√	√	√								√	√	√	√	√	4
	مؤشر التوازن	Balance Index (BAL)		√		√	√		√	√	√				√					√	√	√	√		4
	مؤشر هيرفندال–هيرشمان	Herfindahl–Hirschman Index (HHI)			√	√	√	√		√			√							√	√		√		4
	مؤشر أرقام هيل	Hill Numbers Index (HNI)			√	√	√		√				√		√	√				√	√				3
	مؤشر أرقام هيل ثلاثي الأبعاد	3D Hill Numbers Index (3D HNI)			√	√	√		√				√		√	√				√	√				2
	مؤشر تنوع شانون	Shannon Diversity Index (SHDI)			√	√	√		√	√			√							√	√	√		√	4
	مؤشر تنوع سيمبسون	Simpson Diversity Index (SIDI)			√	√	√	√	√	√			√							√	√				4
	مؤشر الاختلاط الرأسي	Vertical Mixing Index (VMI)		√	√	√	√		√				√							√					3
	مؤشر التفاوت	Dissimilarity Index (DIS)		√	√	√	√		√	√				√	√						√	√	√		3
	مؤشر أتكينسون	Atkinson Index (ATK)	√			√	√		√	√			√	√						√	√				2
	مؤشر التكتل	Clustering Index (CLST)	√			√	√		√							√				√	√				2
	مؤشر جيني	GINI Index (GINI)		√		√	√		√	√				√	√					√		√			1
	مؤشر التفاعل أو التعرض	Exposure Index (EXP)		√		√	√		√	√							√			√		√			3

√ ملاءمة خصائص المقياس للمعيار التطبيقي

درجة سهولة تطبيق المقياس	5	4	3	2	1
	سهل جداً	سهل نسبياً	متوسط	صعب نسبياً	صعب جداً

تابع جدول 2: نتائج التحليل المُقارن لمقاييس اختلاط استعمالات الأراضي

البُعد	المقياس		عدد أنواع استعمالات الأراضي المستهدفة			المقياس المكاني الملائم للتطبيق			مدى دقة البيانات المطلوبة للتطبيق			الغرض الشائع للتطبيق								المجال البحثي الشائع للتطبيق					درجة سهولة تطبيق المقياس
			نوع واحد	نوعان	أكثر من نوعين	Micro	Meso	Macro	Fine	Normal	Coarse	التنوع	التوزيع النسبي	التفاوت	التوازن (تقييم التعقيد)	التكتل	التفاعل المكاني	إمكانية الوصول	التوافق الوظيفي	التنمية العمرانية	النقل الحضري	الاجتماع الحضري	الاقتصاد الحضري	الصحة العامة	
بُعد "إمكانية الوصول" (Accessibility)	المقاييس القائمة على الجاذبية	Gravity-Based Measures (GBM)		√			√	√	√	√								√		√	√	√	√	√	3
	مؤشر إمكانية الوصول للفرص التراكمية	Cumulative Opportunity Index (COI)		√	√	√	√		√	√								√		√	√	√			4
	مقياس المسافة الخطية بين نقطتين	Linear Distance Measure (L.DM)		√		√	√	√		√								√		√	√	√	√	√	5
	مقياس أقرب مسافة	Nearest Distance Measure (N.DM)		√		√	√	√	√	√								√		√	√	√	√	√	3
	مقياس المسافة بين نقطتين باستخدام شبكة الطرق	Street Network Distance Measure (SN. DM)		√		√	√	√	√									√		√	√	√	√	√	2
	مقياس متوسط المسافة	Average Distance Measure (AV.DM)		√		√	√	√		√								√		√	√	√	√	√	3
	مقياس التركيب المكاني	Space Syntax (S.S.)		√	√	√	√	√	√									√		√	√			√	1
	مؤشر قابلية المشي	Walkability Index (WI)		√	√	√	√	√	√	√								√		√	√			√	2
	مؤشر إمكانية الوصول ثلاثي الأبعاد	3D Accessibility Index (3D AI)		√	√	√	√		√									√		√	√				1

√ ملاءمة خصائص المقياس للمعيار التطبيقي

درجة سهولة تطبيق المقياس	5	4	3	2	1
	سهل جداً	سهل نسبياً	متوسط	صعب نسبياً	صعب جداً

تابع جدول 3: نتائج التحليل المُقارن لمقاييس اختلاط استعمالات الأراضي

البُعد	المقياس		عدد أنواع استعمالات الأراضي المستهدفة			المقياس المكاني الملائم للتطبيق			مدى دقة البيانات المطلوبة للتطبيق			الغرض الشائع للتطبيق								المجال البحثي الشائع للتطبيق					درجة سهولة تطبيق المقياس
			نوع واحد	نوعان	أكثر من نوعين	Micro	Meso	Macro	Fine	Normal	Coarse	التنوع	التوزيع النسبي	التفاوت	التوازن (تقييم التعارض)	التكتل	التفاعل المكاني	إمكانية الوصول	التوافق الوظيفي	التنمية العمرانية	النقل الحضري	الإجتماع الحضري	الإقتصاد الحضري	الصحة العامة	
بُعد "التوافق" (Compatibility)	نموذج تقييم التوافق	Compatibility Evaluation Model "CEM"			√	√	√		√										√	√					3
	مؤشر درجة الاختلاط	Mix Degree Index (MDI)		√		√	√	√	√										√	√					4
	مؤشر درجة الاختلاط المرتكز على البيانات المُتجهة	Vector-Based Mix Degree Index (VMDI)			√	√	√		√										√	√					3
	مؤشر درجة الاختلاط المرتكز على البيانات المُتجهة الموزونة	Weighted Vector-Based Mix Degree Index (WVMDI)			√	√	√		√										√	√					2
	مؤشر التوافق ثنائي الأبعاد	2D Compatibility Index (2D CI)			√	√	√		√										√	√					3
	مؤشر التوافق ثلاثي الأبعاد	3D Compatibility Index (3D CI)			√	√	√		√										√	√					2
	مقياس درجة التوافق الوظيفي	Functional Compatibility Degree Index (FCDI)			√	√	√		√										√	√					2
	نموذج درجة التكامل والتنسيق المتبادل	Coupling Coordination Degree Model (CCDM)			√		√	√	√	√									√	√		√			3

√ ملاءمة خصائص المقياس للمعيار التطبيقي

درجة سهولة تطبيق المقياس	5	4	3	2	1
	سهل جداً	سهل نسبياً	متوسط	صعب نسبياً	صعب جداً

International Journal of Development, Vol.13, No. (3) (2024):49-71
ISSN: 2314-5552 SSN: 2314-5560 (Online)
www. jaid.journals.ekb.eg e-mail: ijd_fas@yahoo.com

المراجع

1- Abdullahi, S.; Pradhan, B. and Mojaddadi, H. (2018). City Compactness: Assessing the Influence of the Growth of Residential Land Use. J. Urban Technology, 25(1):21–46. https://doi.org/10.1080/10630732.2017.1390299
2- C.I.A.M. (1933). The Athens Charter; Congrès International d'Architecture Modern (C.I.A.M.).
3-C.I.A.M. (1977). The Charter of Machu Picchu. J. Archit. Res. (Vol. 7, pp. 5–9).
4- Jacobs, J. (1961). The Death and Life of Great American Cities. Vintage Books: New York, NY, USA.
5- Nabil, N.A. and Eldayem, G.E.A. (2015). Influence of mixed land-use on realizing the social capital. HBRC Journal, 11(2):285–298. https://doi.org/10.1016/ j.hbrcj.2014.03.009
6- UN-Habitat (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.
7- Grant, J. (2002). Mixed Use in Theory and Practice: Canadian Experience with Implementing a Planning Principle. J. Am. Planning Assoc., 68(1):71–84. https://doi.org/ 10.1080/01944360208977192
8- Commission, A. R. (2011). Quality growth toolkit: mixed-use development. Atlanta Reg. Comm.
9- Zhuo, Y.; Zheng, H.; Wu, C.; Xu, Z.; Li, G. and Yu, Z. (2019). Compatibility mix degree index: A novel measure to characterize urban land use mix pattern. Computers, Environment and Urban Systems, 75:49–60. https://doi.org/10.1016/ j.compenvurbsys.2019.01.005
10- Song, Y.; Merlin, L. and Rodriguez, D. (2013). Comparing measures of urban land use mix. Computers, Environment and Urban Systems, 42:1–13. https://doi.org/ 10.1016/j.compenvurbsys.2013.08.001
11- Zhao, X.; Xia, N. and Li, M.C. (2023). 3-D multi-aspect mix degree index: A method for measuring land use mix at street block level. Computers, Environment and Urban Systems, 104. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2023.102005
12- Taleai, M.; Sharifi, A.; Sliuzas, R. and Mesgari, M. (2007). Evaluating the compatibility of multi-functional and intensive urban land uses. Int. J. Appl. Earth Observation and Geoinformation, 9(4):375–391. https://doi.org/ 10.1016/j.jag.2006.12.002
13-UN-Habitat (2024). World Urban Forum (WUF12), Egypt. Https://Wuf.Unhabitat. Org/Wuf12.
14- Sims, D. (2010). The Logic of a City Out of Control. American University in Cairo Press. http://www.jstor.org/stable/j.ctt15m7mmr
15- Mustafa, E. (1986). Urban pattern as an introduction to the Economic of residential areas in Egypt [MSc.]. Cairo University.
16- Ghonimi, I. (2017). The Impacts of Neighborhood Land- Use Patterns on Resident's Satisfaction to Urban Development: A comparison of Four Neighborhoods in Greater Cairo. J. Engineering Sciences Assiut Univ. (JES).
17- Ahmed, R.B.G. (2013). Separated and mixed use planning for residential areas in Egypt. PhD Thesis. Faculty of Regional and Urban Planning, Cairo University.
18- عبدربه، كريم .(2017) .تأثير ملكيات الأراضي العامة على خصائص النمو العمراني للمدن الكبرى: دراسة حالة القاهرة الكبرى -رسالة ماجيستير غير منشورة. كلية التخطيط الإقليمي والعمراني، جامعة القاهرة.
19- Osman, T.; Shaw, D. and Kenawy, E. (2018). An integrated land use change model to simulate and predict the future of greater Cairo metropolitan region. J. Land Use Science, 13(6): 565–584. https://doi.org/10.1080/1747423X.2019.1581849

20- UN-Habitat (2015). Sustainable Development Goals. Goal 11: Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable. https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/
21- Bahadure, S. and Kotharkar, R. (2015). Assessing sustainability of mixed use neighbourhoods through residents' travel behaviour and perception: The case of Nagpur, India. Sustainability (Switzerland), 7(9):12164–12189. https://doi.org/ 10.3390/ su70912164
22- Song, Y. and Knaap, G.-J. (2004). Measuring the effects of mixed land uses on housing values. Regional Science and Urban Economics, 34(6):663–680. https://doi.org/ 10.1016/j.regsciurbeco.2004.02.003
23- Guo, Y.; Peeta, S. and Somenahalli, S. (2017). The impact of walkable environment on single-family residential property values. J. Transport and Land Use, 10(1):241–261. https://doi.org/10.5198/jtlu.2017.824
24- Wu, W.; Chen, W.Y.; Yun, Y.; Wang, F. and Gong, Z. (2022). Urban greenness, mixed land-use, and life satisfaction: Evidence from residential locations and workplace settings in Beijing. Landscape and Urban Planning, 224. https://doi.org/ 10.1016/j.landurbplan.2022.104428
25- Chen, H.; Su, K., Peng, L.; Bi, G.; Zhou, L. and Yang, Q. (2022). Mixed Land Use Levels in rural settlements and their influencing factors: A case study of Pingba Village in Chongqing, China. Int. J. Environ. Res. and Public Health, 19(10). https://doi.org/10.3390/ijerph19105845
26- Cervero, R. and Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. Transportation Research Part D: Transport and Environ., 2(3):199–219. https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6
27- Turner, M.G.; Gardner, R.H.; O'neill, R.V. and O'Neill, R.V. (2001). Landscape ecology in theory and practice, Vol. 401. Springer.
28- Cervero, R. and Duncan, M. (2003). Walking, bicycling, and urban landscapes: evidence from the San Francisco Bay Area. Am. J. Public Health, 93(9):1478–1483. https://doi.org/ 10.2105/ajph.93.9.1478
29- Hill, M.O. (1973). Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. Ecology, 54(2):427–432. https://doi.org/10.2307/1934352
30- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. Oikos, 113(2), 363–375.
31- Hirschman, A. O. (1964). The paternity of an Index. American Economic Review, 54(5).
32- Hirschman, A. O. (1980). National power and the structure of foreign trade (Vol. 105). Univ of California Press.
33- Shannon, C.E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical J., 27(3):379–423. https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x
34- Krizek, K. J. (2003). Operationalizing Neighborhood Accessibility for Land Use-Travel Behavior Research and Regional Modeling. J. Planning Education and Res., 22(3):270–287. https://doi.org/10.1177/0739456X02250315
35- Simpson, E.H. (1949). Measurement of Diversity. Nature, 163(4148), 688–688. https://doi.org/10.1038/163688a0
36- Duncan, O.D. and Duncan, B. (1955). A Methodological Analysis of Segregation Indexes. Am. Sociological Rev., 20(2), 210. https://doi.org/10.2307/2088328
37- Massey, D. S., & Denton, N. A. (1988). The Dimensions of Residential Segregation. Social Forces, 67(2), 281–315. https://doi.org/10.1093/sf/67.2.281
38- Gini, C. (1912). Variabilità e mutabilità: contributo allo studio delle distribuzioni e delle relazioni statistiche.[Fasc. I.]. Tipogr. di P. Cuppini.
39- Atkinson, A. B. (1970). On the measurement of inequality. J. Economic Theory, 2(3): 244–263. https://doi.org/10.1016/0022-0531(70)90039-6

40- Zhuo, Y.; Jing, X.; Wang, X.; Li, G.; Xu, Z.; Chen, Y. and Wang, X. (2022). The Rise and Fall of Land Use Mix: Review and Prospects. Land, 11(12):2198. https://doi.org/10.3390/land11122198
41- Hansen, W.G. (1959a). How Accessibility Shapes Land Use. J. Am. Institute of Planners, 25(2):73–76. https://doi.org/10.1080/01944365908978307
42- William J. Reilly. (1931). The Law of Retail Gravitation. New York: W.J. Reilly.
43- Chen, Y.; Ravulaparthy, S.; Deutsch, K.; Dalal, P.; Yoon, S.Y.; Lei, T.; Goulias, K.G.; Pendyala, R.M.; Bhat, C.R. and Hu, H.-H. (2011). Development of Indicators of Opportunity-Based Accessibility. Transportation Research Record: J. Transportation Res. Board, 2255(1):58–68. https://doi.org/10.3141/2255-07
44- Handy, S.L. and Niemeier, D.A. (1997). Measuring Accessibility: An Exploration of Issues and Alternatives. Environment and Planning A: Economy and Space, 29(7): 1175–1194. https://doi.org/10.1068/a291175
45- Palacios, M.S. and El-Geneidy, A. (2022). Cumulative versus gravity-based accessibility measures: Which one to use? Findings, 32444.
46- Lynch, K. (1960). The Image of the City. Cambridge, MA: MIT Press.
47- Song, Y. and Rodríguez, D.A. (2005). The measurement of the level of mixed land uses: a synthetic approach. Carolina Transportation Program White Paper Series, Chapel Hill, NC.
48- Christaller, W. and Baskin, C. W. (1966). Central places in southern Germany. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
49- Du Plessis, D. J. (2015). Land-use mix in South African cities and the influence of spatial planning: Innovation or following the trend? South Afr. Geographical J., 97(3):217–242. https://doi.org/10.1080/03736245.2014.924870
50- Hillier, B. and Hanson, J. (1984). The Social Logic of Space. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511597237
51- Tian, L.; Liang, Y. and Zhang, B. (2017). Measuring residential and industrial land use mix in the peri-urban areas of China. Land Use Policy, 69:427–438. https://doi.org/ 10.1016/j.landusepol.2017.09.036
52- Shi, H.; Zhao, M.; Simth, D.A. and Chi, B. (2022). Behind the land use mix: Measuring the functional compatibility in urban and sub-urban areas of China. Land, 11(1). https://doi.org/10.3390/land11010002
53- Dong, L. and Zhang, L. (2022). Spatial Coupling Coordination Evaluation of Mixed Land Use and Urban Vitality in Major Cities in China. Int. J. Environ. Res.and Public Health, 19(23), 15586. https://doi.org/10.3390/ijerph192315586
54- Frank, L. D.; Schmid, T.L.; Sallis, J.F.; Chapman, J. and Saelens, B. E. (2005). Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form. Am. J. Preventive Med. 28(2):117–125. https://doi.org/ 10.1016/j.amepre.2004.11.001
55- Brown, B.B.; Yamada, I.; Smith, K.R.; Zick, C.D.; Kowaleski-Jones, L. and Fan, J.X. (2009). Mixed land use and walkability: Variations in land use measures and relationships with BMI, overweight, and obesity. Health & Place, 15(4):1130–1141. https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2009.06.008
56- Hansen, W.G. (1959b). How Accessibility Shapes Land Use. J. Am. Institute of Planners, 25(2):73–76. https://doi.org/10.1080/01944365908978307
57- Jiao, J.; Rollo, J. and Fu, B. (2021). The hidden characteristics of land-use mix indices: An overview and validity analysis based on the land use in Melbourne, Australia. Sustainability (Switzerland), 13(4):1–19. https://doi.org/10.3390/su13041898

Comparative Analysis of Land-Use Mix Measures in Residential Areas

Muhammed T.M.A.A. Hijazi and Hend M.M. Al-Abbasy
Department of Urban Planning, Faculty of Urban and Regional Planning, Cairo University, Giza 12613, Egypt

ABSTRACT

The Concept of "Land Use Mix" (LUM) has become a contemporary urban planning approach to create vibrant urban environments that meet residents' needs and enhance the quality of life in residential areas. However, its unregulated growth can lead to negative outcomes that hinder achieving these goals. The quantitative measurement of LUM in residential neighborhoods has thus become imperative. It facilitates identifying residents' acceptable levels of mix, improving their satisfaction. It is also an effective tool for planning residential areas, especially in new urban communities. This study conducted a comparative analysis of commonly used quantitative measures of LUM to identify their strengths and weaknesses, facilitating the selection of appropriate measures for diverse research and spatial contexts. The study employed a multi-phase analytical approach, starting with classifying the measures into three key dimensions: diversity, accessibility, and compatibility. Subsequently, a comparative analysis was conducted to assess their efficiency and applicability, culminating in a final categorization based on their practical characteristics. The comparative analysis revealed that each measure has distinct characteristics that define its applicability within different contexts. The measures vary significantly in terms of research objectives, data availability and precision, and ease of application. A detailed categorization was established based on specific application criteria: the number of relevant land use types, appropriate spatial scale, data availability and precision, ease of application, research objectives, and relevant scope of research. The findings underscore the importance of selecting the most suitable measure based on specific research and spatial requirements, contributing to the formulation of effective planning policies that improve the quality of life in residential areas.

Keywords: Land Use Mix / LUM, Diversity**,** Accessibility, Compatibility, Measurements of Land Use Mix, Comparative Analysis, Residential Neighborhoods.