A Classification of Elements Associated with the Concept of Adaptability Based on Functional Scales

Mahmoud Mohammad Hosseinzadeh Golabchi, PhD

Professor, Faculty of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran

Katayoun Taghizadeh Aazari, PhD

Associate Professor, Faculty of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran

Mohammad Reza Matini, PhD

Assistant Professor, Faculty of Architecture, Tehran Art University

Mohammad Zare', PhD (corresponding author)

Kish International Campus, University of Tehran

The transfer of any concept from the sciences to engineering needs a comprehensive understanding and an ability to connect the two. Thanks to their evolution and passing of the test of time, the use of biological features has always been of particular importance. Adaptability is one of the main characteristics of living organisms, which let them survive in changing environments and ultimately results in their evolution. It can involve a number of aspects in architecture: functional, structural, formal, cultural, and commercial. On this basis, it is essential to pay attention to scale in any concept transfer from the sciences to architecture. The present research studies the scale in the original science and tries to define corresponding scales in architecture. Determining corresponding scales facilitates the use of a given scientific concept in architecture. The research starts with a study of the concept of adaptability in biological sciences based on their characteristics and scales; and then seeks ways to transfer them into architecture using a solution-centred approach. The research method is deductive starting from macro- and then moving on to micro-levels of the sciences. Finally, adaptability is studied in various built-environment scales with its associate elements classified. The connection between the two areas is made, first through the introduction of analytic units as datum points, and then the establishment of corresponding levels. This approach prevents possible misconceptions caused by incompatible scales in the two realms.

Keywords: Adaptability, Functional scales, Classification, Transfer process.

طبقه‌بندی عناصر وابسته به مفهوم سازگاری در معماری بر اساس مقیاس‌های عملکردی[1]

محمدرضا متینی[4]
استادیار دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر

محمود محمدحسین‌زاده گلابچی[2]
استاد دانشکدهٔ معماری، دانشگاه تهران

کتایون تقی‌زاده آذری[3]
دانشیار دانشکدهٔ معماری، دانشگاه تهران

محمد زارع[5]

دریافت: ۲۳ بهمن ۱۳۹۷
پذیرش: ۲۱ تیر ۱۳۹۹
(صفحهٔ ۳۲-۱۵)

کلیدواژگان: سازگاری، مقیاس عملکردی، طبقه‌بندی، فرایند انتقال.

چکیده

انتقال هر مفهومی از علوم پایه به علوم مهندسی مستلزم شناخت و برقراری ارتباط میان‌رشته‌ای در مقیاسی متناظر است. درحقیقت این مقیاس است که همچون پلی رشته‌های مختلف را به هم مرتبط می‌کند. استفاده از ویژگی‌های زیستی در سایر رشته‌های علمی، به دلیل تکامل و آزمون بلندمدت آن‌ها، دارای جایگاه ویژه‌ای است. سازگاری ازجملهٔ خصوصیات اصلی جانداران است که موجب بقای جاندار در شرایط متغیر محیط می‌شود و تکامل جانداران را در درازمدت به دنبال دارد. مفهوم سازگاری در معماری شامل رویکردهای مختلفِ عملکردی، سازه‌ای، کالبدی، فرهنگی، و اقتصادی می‌شود. برداشت‌های متفاوتی از این مفهوم بسته به نوع رویکرد عرضه شده است، بر همین اساس، ضرورت دارد تا در زمان انتقال مفاهیم از دانش مبنا به معماری به مقیاس آن توجه شود. در این پژوهش با بررسی مقیاس‌های سازگاری در دانش مبنا و تعریف مقیاس متناظر آن‌ها در معماری، نوعی طبقه‌بندی سطوح مختلف مفهوم سازگاری در معماری عرضه می‌شود؛ تعیین مقیاس‌های متناظر در زمان انتقال مفاهیمْ منجر به تسهیل در استفاده از آن در معماری می‌شود. در این پژوهش پس از بررسی مفهوم سازگاری در علوم زیستی بر اساس مقیاس‌ها و خصوصیات شاخص آن‌ها، به انتقال این مفهوم به حوزهٔ معماری با استفاده از رویکردی راه‌حل‌محور پرداخته می‌شود. روش این تحقیق قیاسی است و از سطوح کلان مفهوم سازگاری در دانش مبنا آغاز و تا سطوح خرد آن تفکیک می‌شود. درنهایت، مفهوم سازگاری در مقیاس‌های مختلفِ محیط مصنوعْ بررسی و عناصر مرتبط با مفهوم سازگاری بر این اساس طبقه‌بندی می‌شود. ارتباط میان دو حوزهٔ مورد نظر بر اساس معرفی واحدهای تحلیلی، با عنوان نقطهٔ مبنا، در گام نخست برقرار و ترازهای هم‌پیوند در گام بعدی تعیین می‌گردد؛ با این رویکرد از سوء برداشت‌های مفهومی، که در زمان انتقال الگوها، به دلیل تداخل مقیاس‌های نامرتبط دو حوزه، امکان پیش آمدن دارد، جلوگیری می‌شود.

مقدمه

سازگاری در کوتاه‌مدت موجب بقای جانداران در شرایط متغیر محیط و در درازمدت منجر به تکامل آن‌ها می‌شود. شناخت این ویژگی و انتقال آن به سایر رشته‌ها به معرفی راهکارهای متنوع و آزمون‌شده‌ای

۱. این مقاله برگرفته از رسالهٔ دکتری نگارندهٔ چهارم است با عنوان *تحلیل ارتباط مؤلفه سازگاری از مفهوم هومئوستازی (تعادل پایدار) با متغیری از معماری پایدار* که با راهنمایی نگارندهٔ اول و مشاورهٔ نگارندهٔ سوم در گروه معماری و هنر، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران در تاریخ ۲۹ خرداد ۱۳۹۸ دفاع شده است.

2. golabchi@ut.ac.ir
3. ktaghizad@ut.ac.ir
4. m.matini@art.ac.ir
۵. نویسندهٔ مسئول، دکتری معماری، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران،
zare.md@ut.ac.ir

می‌انجامد. محیط مصنوع نیز همانند جانداران ملزم به سازگاری با شرایط متغیر محیطی است؛ فرایند سازگاری با توجه به مقیاس آن، راهبردهای متفاوتی را دنبال می‌کند. با توجه به دامنهٔ گستردهٔ مفهوم سازگاری، ضروری است مقیاس عملکردی آن به‌دقت تعیین شود و بر این اساس عناصر وابسته به مفهوم سازگاری در نظامی قرار گیرند که بتوان موضوعات مرتبط با این مفهوم را در ترازهای مختلف بررسی کرد. نظر به اینکه نتایج سازگاری درنهایت در پایداری محیط مصنوع نمایان می‌شود، با استناد به این طبقه‌بندی می‌توان موضوعاتی، که در مقیاس‌های مختلف متوجه اصل پایداری در معماری است، را نیز بررسی کرد. هدف از این مقاله تبیین نحوهٔ الگوبرداری از طبیعت بر اساس مقیاسی عملکردی است که در هر دو رشته از جایگاه تقریباً همسانی برخوردارند و پیوند مناسبی میان آن‌ها در زمان انتقال برقرار می‌شود.

ریشهٔ واژهٔ سازگاری[۶] به قرن چهاردهم میلادی بازمی‌گردد، این واژه از دو بخش تشکیل شده است: اَپتوس[۷] (صفت لاتین) به معنای «متناسب» و اَداپتر[۸] (فعل فرانسوی) و یا ریشهٔ انگلیسی آن، که به قرن شانزدهم به معنای «متناسب کردن برای هدفی خاص» بازمی‌گردد.[۹] همچنین واژهٔ «سازگار» به معنای توانایی یک سیستم در خودتنظیمی و خودتطبیقی با شرایط متغیر نیز آمده است.[۱۰] با توجه به این تعریف «سازگاری» و «خودسازمان‌دهی»[۱۱] رابطهٔ نزدیکی با یکدیگر دارند. خودسازمان‌دهی مفهومی بنیادینْ در نگاه سیستماتیک به حیات است، که قابلیت تعمیم به نظام‌های زیستی، شیمیایی، کالبدی، روان‌شناختی و اجتماعی را دارد.[۱۲] توسعهٔ سیستم‌های سازگار، بر اساس نظامی خودسازمان‌یافته، نیازمند شناخت ترازهای مختلف سازگاری در طبیعت است.[۱۳] در رشته‌های مهندسی در مفهوم سازگارشونده یا خودسازگارشونده[۱۴] بر نظامی تأکید می‌شود که توانایی تطبیق فعالیت‌های خود را با شرایط در تغییر محیط کار و پاسخ به تغییرات محیطی داراست.[۱۵] با نگاهی جامع به این مفهوم، خودسازگارشوندگی خصوصیتی ذاتی از سیستم‌های پیچیدهٔ طبیعی است که تکامل و پیشرفت جانداران را در بر می‌گیرد و موجب تطبیق خصوصیات و تغییر ویژگی‌های ظاهری آن‌ها برای بقای گونهٔ فعلی و واکنش مناسب‌تر نسبت به محرک‌های خارجی می‌گردد[۱۶].

استفاده از واژهٔ سازگاری به طور مشخص در دورهٔ داروین با طرح مباحث تکاملی آغاز شد. امروزه از اصول زیستی سازگاری در «فناوری‌های

پرسش‌های تحقیق

۱. الگوبرداری از مفهوم سازگاری در طبیعت دارای چه مقیاس‌های متناظری در معماری است؟

۲. در شناخت مفهوم سازگاری، مرز آن با مفاهیم تطبیق‌پذیری و انعطاف‌پذیری چگونه تعریف می‌شود؟

۳. هریک از موضوعات مرتبط با سازگاری در معماری با چه سطحی از مقیاس‌های الگوهای طبیعی ارتباط متناظر دارد؟

6. adaptive
7. aptus
8. adaptare
9. M. Hudec & L. Rollova, "Adaptability in the Architecture of Sport Facilities", p. 1394.
10. Barozzi, et al, "The Sustainability of Adaptive Envelopes: Developments of Kinetic Architecture", p. 277.
11. self-organization
12. P. Gruber, *Biomimetics in Architecture, Architecture of Life and Buildings*, p. 98.
13. T. Savage & X. Yao, "Adaptability in Organisms and Artifacts: A Multi Level Perspective on Adaptive Processes", p. 231.
14. self-adaptive
15. K.M. Al-Obaidi, et al, "Biomimetic Building Skins: An Adaptive Approach", p. 1477.
16. E. Merelli & N. Paoletti & L. Tesei, "Adaptability Checking in Complex Systems", p. 23.

خودسازمان‌یافته» به صورت گسترده استفاده می‌شود. راهکارهای سازگارکننده سعی در تنظیم ساختارهای پاسخ‌ده، با توجه به تغییرات محیطی، دارند.[۱۷] با استفاده از همین ویژگی است که می‌توان توسعه و پایداری سیستم‌های مختلف را بر مبنای نظم ذاتی آن‌ها ارزیابی کرد.

فرناندز گالیانو[۱۸] معتقد است که رابطهٔ ساختمان و محیط در معماری را می‌توان استعاره‌ای از رابطهٔ جانداران و محیط زیست آن‌ها در نظر گرفت، البته تا زمانی که نتوان ویژگی‌های مشترکی را میان ساختمان و جاندار معرفی کرد، امکان مقایسه نیز نخواهد بود؛ نیاز هر دو ساختار به انرژی و نحوهٔ ذخیره‌سازی آن ازجمله خصوصیات مشترک و برجسته در این مقایسه است.[۱۹] به طور مشخص چهار ویژگی مشترک را میان معماری و زیست‌شناسی می‌توان برشمرد:

۱. ارتباط میان جانداران با محیط،

۲. همکاری و هماهنگی میان اندام‌ها،

۳. ارتباط فرم و عملکرد،

۴. اصول حیاتی.

علاوه بر این، کولینز[۲۰] و کلودبرنارد[۲۱] در تحقیقات خود نشان دادند که نحوهٔ عملکرد جانداران در سازگاری با محیط را می‌توان به معماری انتقال داد. [۲۲]ارتباط عملکردهای مختلف در معماری معمولاً پیچیدگی‌های خاصی دارد که بر یکدیگر اثر می‌گذارند، ساختار بافت‌ها در جانداران مثال‌های پیشرفته از نحوهٔ این ارتباطات را نشان می‌دهند. نباید عناصر عملکردی منفرد را به‌سادگی با یکدیگر ترکیب کرد و از فرایند توسعهٔ آن‌ها به صورت یکپارچه غافل بود؛ تنها فرایندهایی این‌چنین منسجم و یکپارچه می‌تواند توسعه را در ترازی برتر محقق کند[۲۳].

۱. روش تحقیق

با توجه به رویکردِ بیونیکیِ این تحقیق که از شناخت اصول زیستی آغاز و به حوزهٔ معماری منتهی می‌شود،[۲۴] در گام نخست مفهوم سازگاری در دنیای جانداران و با توجه به مقیاس آن بررسی می‌شود. فرایند انتقال[۲۵] بر اساس مقیاس متناظر محور اصلی این پژوهش محسوب می‌شود و درنهایت، با توجه به عناصر اصلی مرتبط با محیط ساخته‌شده، نوعی طبقه‌بندی از فرایند سازگاری در محیط مصنوع عرضه می‌گردد. بنابراین، با توجه به رویکرد راه‌حل‌محور آن، ابتدا مفهوم سازگاری و مقیاس‌های آن در دانش مبنا بررسی و در گام بعدی این مفهوم و عناصر مرتبط با آن در معماری در مقیاس‌های مختلف بررسی و درنهایت با همسان‌سازی مقیاس‌های دو حوزه اقدام به معادل‌سازی آن در معماری می‌شود.

روش این تحقیقْ قیاسی و برمبنای خصوصیات مشترک (در مقیاس کلان) مفهوم سازگاری، در دو حوزهٔ مورد مطالعه آغاز می‌گردد و برای این منظور از مقیاس‌های کلی حاکم بر دو حوزه شروع و درنهایت نتایج بر مبنای اجزا، در جدول نهایی عرضه می‌شود.

۲. سازگاری در طبیعت

ویژگی‌های جانداران در سازگاری با محیط حاصل سالیان متمادی آزمون و انتخاب طبیعی راهکارهای همسو با بقای جاندار بوده است، این راهکارها در مقیاس‌های متفاوتی از روابط اکوسیستمی تا تغییراتی که در ژنوم جاندار پدید می‌آید، گسترش یافته است. نظام‌های توسعه‌ای جدید مبتنی بر شناخت و درک ساختارهای اکوسیتمی، با توجه به چرخهٔ مواد و انرژی در آن‌هاست. درحقیقت محیط مصنوع زیرمجموعه‌ای از اکوسیستمی کلان است که ما اقدام به ساخت در آن می‌کنیم.[۲۶] ویژگی‌های سازگاری از زمان انتشار تئوری تکامل داروین مطالعه شد و بر اساس آن روند تکاملی جانداران بر اساس سازگاری درازمدت تأیید گردید.[۲۷] بیشتر ویژگی‌های زیستی (تکامل‌یافته) که تاکنون مورد توجه بوده‌اند، به نوعی حاصل فرایندهای سازگارکننده به‌شمار می‌روند.[۲۸] کالارکو سازگاری را

17. L. Luo & W. Zhang, "A Review on Biological Adaptation: with Applications in Engineering Science", p. 27.
18. Fernandez-Galiano
19. N.F. Nuffida, "On Architecture and Energy: the Concept of (Generating) form through Adaptation", p. 156.
20. Collins
21. Claude Bernard
22. M. Sijakovic & A. Peric, "Symbiotic Architecture: Redefinition of Recycling Design Principles", p. 69.
23. Y. Yuan, et al, "Bionic Building Energy Efficiency and Bionic Green Architecture: A Review", p. 772.
24. Solution Driven Approach
25. Transferring Process
26. M.P. Zari, "Ecosystem Services Analysis: Mimicking Ecosystem Services for Regenerative Urban Design", p. 155.
27. Luo & Zhang, ibid, p. 25.
28. J. Peck & D. Waxman, "What is Adaptation and How Should it Be Measured?", p. 190.
29. A. Calarco & J. Gurvis, *Adaptability; Responding Effectively to Change*, p. 7.

«پاسخ مؤثر به رویدادهای متغیر در محیط‌های سازمان‌یافته» می‌داند.[۲۹] در سازگاری زیستی، جاندار، با تغییرات مورفولوژیکی، رفتاری، و حتی تغییراتی در سطح مولکولی، بقای خود را در محیط متغیر حفظ می‌کند. در علوم زیستی سازگاری به طور کلی به دو نوع سازگاری فنوتیپی (ظاهری) و سازگاری مولکولی تقسیم می‌شود.[۳۰] این بخش‌بندی بیان مقیاس مفهوم سازگاری به صورت بسیار کلی در سطوح زیستی به حساب می‌آید که در ادامه تشریح می‌شود. کُنارد توانایی کنار آمدن با نوسانات غیرمنتظره محیطی را سازگاری می‌داند.[۳۱] همچنین سازگاری فیزیولوژیکی و رفتاری موجب افزایش تنوع گونه‌ها به واسطهٔ ایجاد توانایی سازش در برابر شرایط متغیر محیطی می‌شود؛ به‌ویژه در زمانی که نقش رقابت میان جانداران عامل اصلی «انتخاب طبیعی» ولی کمرنگ است.[۳۲] به بیان دیگر، در صورت نبود توانایی سازش در جانداران، گونه‌های بسیاری منقرض می‌شدند و از تنوع گونه‌ها کاسته می‌شد.

«ظرفیت سازگاری»[۳۳] را توانایی سیستم‌ها، مؤسسات، انسان، و سایر جانداران برای ایجاد تغییرات به منظور مقابله با خطرات بالقوه و استفاده از فرصت‌ها و پاسخ مناسب به پیامدهای ناشی از این تهدیدها می‌دانند. همچنین «ظرفیت سازگاری» ایجاد شرایطی برای حفظ پویایی اقتصادی و فعالیت‌های اجتماعی، حفظ کیفیت زندگی[۳۴]، و کاهش اثرات تغییرات اقلیمی[۳۵] قلمداد شده است.[۳۶]

سازگاری ارتباط نزدیکی با مفاهیمی همچون تطبیق‌پذیری و انعطاف‌پذیری دارد، به بیان دیگر، با استفاده از شاخص‌هایی، همچون ماندگاری، برگشت‌پذیری، سرعت واکنش، و زمان

شاخص	تطبیق‌پذیری	سازگاری	انعطاف‌پذیری
ماندگاری پاسخ	زیاد	کم	کم
زمان اثرگذاری پاسخ	طولانی	کوتاه	کوتاه
برگشت‌پذیری	کم	سریع	سریع
سرعت واکنش	کم	سریع	زیاد

جدول ۱. مقایسهٔ تطبیق‌پذیری، سازگاری، و انعطاف‌پذیری در علوم زیستی بر اساس ویژگی‌های پاسخ، تدوین: نگارندگان.

اثرگذاری، که بر نوع پاسخ متمرکز هستند، می‌توان مرزهای تقریبی برای این مفاهیم قائل شد (جدول ۱)، اما در نگاهی کلی می‌توان تطبیق‌پذیری و انعطاف‌پذیری را زیرمجموعهٔ سازگاری دانست که بسته به نوع پاسخ سیستم، در حوزه‌های مختلف تعریف می‌شوند. حدود و مرزهای این واژگان در علوم زیستی نسبت به مفهوم انتقال‌یافتهٔ آن‌ها در دانش مهندسی از دقت بالاتری برخوردار است و در زمان انتقالْ مرزهای این مفاهیم نسبت به دانش مبنا تغییر یافته است. به طور مثال، واکنش جاندار به افزایش حرارت محیط با واکنش‌هایی همچون تعرق، افزایش ضربان قلب، و افزایش ریتم تنفس به صورت مقطعی همراه است و به مجرد از میان رفتن محرک، واکنش نیز متوقف می‌شود؛ این رفتاری فیزیولوژیک، با ماندگاری کم، زمان اثرگذاری کوتاه، برگشت‌پذیری سریع، و با سرعت واکنشی بالا است که در قالب «سازگاری» جاندار بیان می‌شود؛ اما جمعیتی از این جانداران در شرایط محیطی با دمای بالا تغییراتی را به نسل‌های بعدی انتقال می‌دهند، مانند تغییر در رنگ پوست، تغییر در تعداد غدد عرقی، یا کاهش لایه چربی زیرپوست؛ این تغییرات، که با سرعت کم، اما ماندگاری بالا، برگشت‌پذیری کم، و سرعت واکنش کم ایجاد شده‌اند، در قالب «تطبیق‌پذیری» جاندار طرح می‌شوند. موضوع انعطاف‌پذیری در جانداران، به منزلهٔ جزئی از مفهوم سازگاری، بیشتر متمرکز بر موضوعات کالبدی و فرمی است، اما در معماری عمدتاً متوجه نحوهٔ عملکرد فضا در شرایط مختلف محیطی است.

۲. ۱. فرایند انتقال

در فرایند انتقال مفاهیم زیستی به سایر رشته‌ها دو رویکرد کلی تعریف شده است: ۱. زیست‌شناسی به طراحی (رویکرد پایین به بالا) یا رویکرد راه‌حل‌محور[۳۷] و ۲. طراحی به زیست‌شناسی (رویکرد بالا به پایین) یا رویکرد مسئله‌محور[۳۸]. بر مبنای رویکرد اول فرایند انتقال از پدیده‌ای زیستی آغاز و ظرفیت آن برای

30. Luo & Zhang, ibid, p. 23.
31. M. Conrad, *Adaptability: The Significance of Variability from Molecule to Ecosystem*, p. 7.
32. R.G.B. Reid, *Biological Emergences; Evolution by Natural Experiment*, p. 13.
33. AC: Adaptive Capacity
۳۴. نک:
G.C. Gallopín, "Linkages Between Vulnerability, Resilience, and Adaptive Capacity"; B. Smit & J. Wandel, "Adaptive Capacity and Vulnerability".
۳۵. نک:
M.J. Metzger, et al, "A Spatially Explicit and Quantitative Vulnerability Assessment of Ecosystem Service Change in Europe"; IPCC, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*.
36. M. Araya-Munoz, et al, "Assessing Urban Adaptive Capacity to Climate Change", p. 314.
37. solution driven approach
38. problem driven approach

بهره‌برداری در طراحی بررسی می‌شود؛ درحالی‌که در رویکرد دوم برای مسئله‌ای که در معماری (یا سایر رشته‌های مهندسی) به وجود آمده است، مقایسه‌ای با فرایندهای زیستی صورت می‌گیرد و درنهایت راهکاری بر این اساس عرضه می‌گردد[۳۹]. برای انتقال هر مفهومی از طبیعت جاندار به معماری، شناخت واحدهای تحلیلی و مقیاس عملکردی آن‌ها ضروری است. اندازهٔ جانداران در حدود معینی مشخص است که در همین بازه امکان حیات دارند؛ به طور مثال اندازهٔ یک سلول از ۱ تا ۱۰۰ میکرومتر به واسطهٔ نسبت بین سطح و حجم مشخص شده است، که این نسبت بهترین امکان تبادلات ماده را برای سلول فراهم می‌کند[۴۰].

بنا بر نظریهٔ سلولی[۴۱] (۱۸۸۲-۱۸۰۴) سلول‌های هسته‌دار ساختار بنیادی گیاهان و جانوران را تشکیل می‌دهد. مطالعات بنیان‌گذاران نظریهٔ سلولی بیانگر آن است که سلول واحدْ تشکیل‌دهندهٔ همه جاندران است.[۴۲] امروزه در مطالعات زیستی، سلول «واحد تحلیلی» در نظر گرفته می‌شود. از سوی دیگر، کُنارد (۱۹۸۳) مفهوم سازگاری در جانداران را بر مبنای مقیاس‌های مختلف از زیستگاه تا ژنوم جاندار تقسیم‌بندی کرده است (جدول ۲). با داشتن واحد تحلیلی و مقیاس عملکردی و راهکارهای هر سطح می‌توان مبنای انتقال مفاهیم زیستی به معماری را تعریف کرد. در معماری نیز زوی[۴۳] فضا را واحد و مبنایی معرفی کرد که معماری ویژگی‌های خود را از آن دارد[۴۴].

بخش (مقیاس)	اجزای قابل بهینه سازی
زیستگاه (Biota)	مهاجرت، انقراض، گونه‌زایی (Speciation)، جریان ماده و انرژی در شبکه غذایی
جاندار	انعطاف‌پذیری شکلی (تعداد اندام‌ها)، انعطاف‌پذیری رفتاری
اندام	انعطاف‌پذیری شکلی (اندازه اندام)، انعطاف‌پذیری بافت‌ها
سلول	انعطاف‌پذیری شکلی، تمایز سلولی
پدیده‌های سلولی	انعطاف‌پذیری در سلول‌ها و مایعات بدن
ژنوم (Genome)	تنوع ژنی

جدول ۲. مقیاس‌های سازگاری در زیست‌شناسی، مأخذ:
Conrad, *Adaptability: The Significance of Variability from Molecule to Ecosystem*, p. 98.

بر این اساس سلول‌ها در بیولوژی و فضا در معماریْ واحدهای تحلیلی در نظر گرفته می‌شوند.

توجه به مقیاس‌های مناسب، جدای از رویکرد انتخابی، پیش‌شرط انتقال مفاهیم میان رشته‌های مختلف است. بسیاری از ویژگی‌هایی که در جانداران راهکارهای تکامل‌یافته شناخته می‌شوند، تنها در مقیاس معینی عملکردشان خود را حفظ می‌کنند و در صورت خروج از آن بازه، ساختار عملکردی خود را از دست می‌دهند، با توجه به اختلاف موجود میان مقیاس‌های عملکردی محیط مصنوع و محیط طبیعی (بخش جاندار آن)، هرگونه تبادل اطلاعات میان رشته‌های مختلف باید با در نظر گرفتن این مهم انجام شود.

موضوعات بیان‌شده در «جدول ۲» در مقیاس‌های مختلف زیستی، یا محرک سازگاری، و یا پاسخی به تغییر ایجادشده در محیط هستند، به طور مثال، مهاجرت جانداران از یک زیستگاهْ تغییری در زنجیرهٔ غذایی (جریان ماده و انرژی) آن اکوسیستم پدید می‌آورد؛ درصورتی‌که اکوسیستم بتواند با این تغییر سازگار شود، امکان تداوم حیات آن مجموعه ممکن خواهد بود، وگرنه ممکن است به انقراض گونه‌ای خاص و تشدید تغییر پیش‌آمده در سایر ارتباطات مجموعه و حتی به نابودی اکوسیستم منجر شود. در سطحی دیگرْ تغییری که در شرایط محیط ایجاد می‌شود، منجر به ایجاد تغییراتی در تعداد، اندازهٔ اندام‌ها، و یا نحوهٔ رفتار جاندار می‌گردد، به طور نمونه، تغییراتی که در میزان رطوبت هوا ایجاد می‌شود و تعداد، فرم، و اندازهٔ روزنه‌های برگ‌های گیاهان را دستخوش تغییر می‌کند.

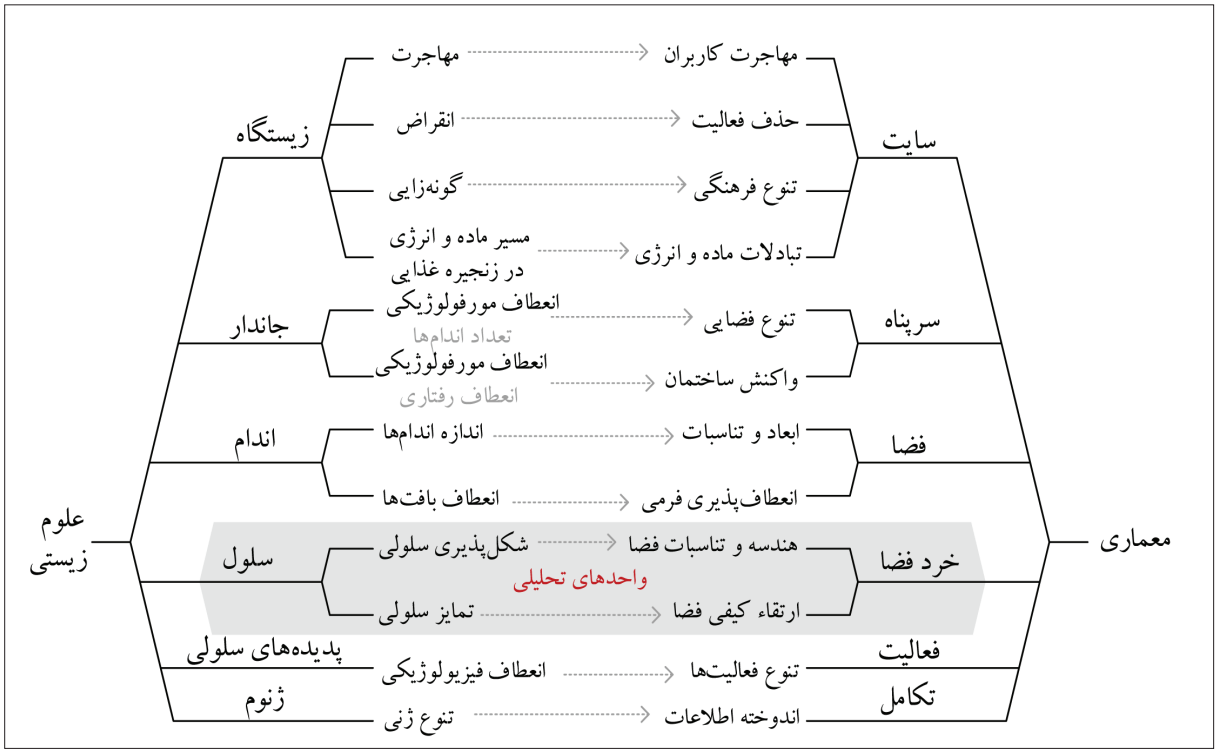
۲. ۲. مقایسه مقیاس‌ها در فرایند انتقال

اندازه و مقیاس در فرایند انتقال از اهمیت ویژه‌ای دارد، استیون وگل[۴۵] اندازهٔ جاندران را با اندازهٔ مصنوعات بشری مقایسه کرد، دامنه اندازه‌ها در دو حوزه، به طور قابل‌توجهی متفاوت بود. درحالی‌که اندازه در جاندران از ۱۰۰ نانومتر تا ۱۰۰ متر متغیر

39. J. Pandremenos & E. Vasiliadis & G. Chryssolouris, "Design Architectures in Biology", p. 451.
40. Gruber, ibid, p. 44.
41. Theodore Schwann (1810–1882) and Mattias Jacob Schleiden (1804–1881)
42. D. Ribatti, "An Historical Note on Cell Theory", p. 1.
۴۳. نک:
Bruno Zevi, *Saper vedere l'architettura*.
44. M. Parsaee & M. Parva & B. Karimi, "Space and Place Concepts Analysis Based on Semiology Approach in Residential Architecture; the Case Study of Traditional City of Bushehr, Iran", p. 369.
45. Steven Vogel

بود، دستگاه‌های مکانیکی ساخت بشر در دامنه‌ای از میلی‌متر تا چندین کیلومتر گسترش داشتند و در معماری مقیاس از میلی‌متر تا صدها متر در نوسان است.[۴۶] همچنین در معماری، مقیاس‌ها همگی در ارتباط با مقیاس انسانی است. تجربهٔ درک فضا و مکان به‌شدت تحت تأثیر مقیاس آن است.[۴۷] مقیاس کلی در معماری معطوف به اندازهٔ اجزا با توجه به مقیاس سایر عناصر موجود در محیط پیرامونی آن است. همچنین مقیاس انسانیْ مرجع تعیین‌کنندهٔ اندازه و مقیاس عناصر موجود در فضا است[۴۸].

برای تعیین مقیاس‌های مختلف انتقال ضروری است که شیوهٔ بسط مفهوم سازگاری در دانش مبنا بررسی شود. همان‌گونه که کُنارد این مفهوم را در ترازهای مختلف زیستی تفکیک کرده است، انتظار می‌رود تا رده‌بندی مشابهی در دانش معماری ایجاد شود. در «جدول ۲» روابط هر سطح، مبنایی برای تعریف مقیاس سازگاری در نظر گرفته شده است؛ که از سطح کلانی همچون زیستگاه (اکوسیستم) آغاز و تا تقسیمات زیرسلولی پیش می‌رود. همچنین تعیین واحد تحلیلی در هر دو رشته به منزلهٔ نقطهٔ عطف این رده‌بندی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در معماری شاید نتوان مقیاس‌هایی خرد در حد ژنوم را به‌روشنی تعریف کرد؛[۴۹] آن چیزهایی که امروزه با عنوان سه مقیاس اصلی محیط ساخته‌شده مورد توافق هستند، طبق نظر باراهام[۵۰]، شامل این موارد می‌شود: سایت[۵۱]، سرپناه[۵۲]، و فضا[۵۳]، که با توجه به مقیاس سازگاری جاندار که پیش از این اشاره شد، می‌توان سایت را معادل زیستگاه، سرپناه را معادل جاندار زنده، و فضای معماری را معادل اندام و خردفضا را معادل سلول در نظر گرفت؛ از همین رو در جمع‌بندی نهایی این نوشتار نیز عمدهٔ تمرکز بر این حوزه‌ها معطوف خواهد بود (ت ۱).



ت ۱. انتقال عناصر سازگارشونده از علوم زیستی به معماری بر اساس مقیاس‌های مختلف عملکردی، تدوین: نگارندگان.

46. Gruber, ibid.
47. S. Unwin, *Analysing Architecture*, p. 54.
48. E.M. Herrmann & M. Kaiser & T. Katz, *Furnishing | Zoning.*, p. 15.
۴۹. ایـــن مقیاس بـــه مبحث تکامل در معماری بازمی‌گردد که بســـط آن خارج از دامنهٔ مباحث این مقاله است، اما در ادامه به آن اشاره خواهد شد.
50. Baraham
51. Site
52. Shelter
53. Setting

۳. سازگاری در معماری

از ویژگی‌های اصلی سیستم‌های زنده حفظ پایداری محیط داخلی با وجود نوسان در شرایط محیط خارجی است.[۵۴] حتی پیش از شناخت این ویژگی در قالب واژه‌ای خاص[۵۵]، به روش‌های متفاوتی در محیط مصنوع استفاده می‌شد. هدف از ساخت هرگونه سرپناهی تنظیم شرایط محیطی و محدود ساختن تأثیر نوسانات محیط خارج در فضای داخلی بوده است. هرچند که همگی این راه‌حل‌ها به نوعی با مصرف انرژی و ماده مرتبط می‌شوند، میزان بازدهی آن‌ها با آنچه در طبیعت رخ می‌دهد متفاوت است.

سازگاری با توجه به ارتباط آن با جریان انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.[۵۶] همان‌گونه که هابراکن[۵۷] معتقد است، میان سازگاری و انعطاف‌پذیری[۵۸] هم‌پوشانی معنایی وجود دارد. بنابر تحقیقات موجود در حوزهٔ معماری، سازگاری مجموعه‌ای از فاکتورهایی شامل این موارد است: دسترسی، پلان آزاد، پاسخ‌دهی ساختمان، و فاکتورهای متمرکز بر نحوهٔ عملکرد بنا. اشمیت سازگاری در ساختمان را «توانایی بنا در تطبیق با نیازهای زمینه می‌داند، ازاین‌رو در دورهٔ حیات ساختمان روندی افزایشی را در میزان سازگاری شاهد هستیم[۵۹]. انتظار می‌رود که در ساختمان‌ها امکان تغییرات و بهینه‌سازی شرایط برای کاربران مختلف در آینده مهیا شود. همان‌گونه که تقاضا برای افزایش تنوع فضایی ساختمان‌ها رو به افزایش است، باید برای توانایی بنا برای پاسخ به تغییرات آینده نیز اندیشه شود[۶۰].

سازگاری زیستی پیش‌شرطی بر تکامل زیستی است. نظریهٔ تکامل داروین متمرکز بر ترازهای عینی سازگاری، همچون مورفولوژی، فیزیولوژی، و رفتار است.[۶۱] در معماری تکامل دارای سه مفهوم مشخص و مجزا است: ۱. «تکاملِ معماری» که متمرکز بر رشد سکونتگاه‌ها، توسعهٔ ساختارهای شهری بر مبنای پیچیدگی روابط اجتماعی و فرهنگی است، ۲. «تکامل در معماری» که این مفهوم به مثابهٔ فرایند سازگاری با شرایط درونی و بیرونی است که با آزمون و خطا منجر به پیدایش روش‌های جدید سازگارکننده می‌شود، ۳. «معماری تکاملی» که به مباحث بنیادین در فرایند فرم‌زایی معماری با سطح بالاتری از تحقیقات علمی و مورفوژنز[۶۲] در طبیعت ارتباط دارد[۶۳].

طراحی سیستم‌های سازگار در محیط مصنوع فرایندی پیچیده است و باید مشابه سیستم‌های طبیعی، که با فاکتورها و شرایط متفاوتی مواجهند، طراحی شوند. قبل از مقایسه‌های معمول، سیستم‌های سازگار را می‌توان در ترازهای متفاوتی (جاندار، رفتار، و اکوسیستم) بررسی کرد.[۶۴] سازگاری به معنای سهولت در بهینه‌سازی، تخریب، تعمیرات، توسعه، و یا تغییر کاربری است؛ عوامل سازگارکننده شامل راهبردها، اقدامات، فرایندها، و شرایطی است که موجب تسهیل در انجام این تغییرات می‌شود. سازگاری موجب ارتقای پایداری و حفظ انرژی پنهان و منابع ماده، هزینه‌ها، و جلوگیری از تخریب‌های غیرضروری می‌شود[۶۵].

مفهوم سازگاری در ساختمان‌های موجود، تمامی یا بخشی از اقداماتی همچون بازسازی، تعمیرات، استفادهٔ مجدد، مرمت، احیا، و بازیافت مصالح را در بر می‌گیرد. سازگاری به طور ذاتی اقدامی به منظور حفظ پایداری محیط به‌شمار می‌رود؛ چراکه موجب استفادهٔ کمتر از منابع ماده، انرژی، و تولید آلودگی کمتر در محیط می‌شود.[۶۶]

کل انرژی مورد نیاز ساختمان در طول حیات آن از اولین مراحل تأمین مواد اولیه و ساخت تا تخریب ساختمان را انرژی چرخهٔ حیات بنا می‌نامند؛ این انرژی شامل انرژی پنهان[۶۷] و انرژی عملیاتی[۶۸] است. انرژی عملیاتی انرژی مصرفی برای سرمایش و گرمایش فضاها، تهویه، روشنایی، تأمین آب گرم، و انرژی مربوط به وسایل الکتریکی مورد استفاده در فضاهای مختلف است[۶۹]. انرژی پنهان مربوط به استخراج مواد و مصالح و انتقال آن‌ها، فرایندهای تولید و انتقال به سایت ساختمانی، و انرژی مورد نیاز در فرایند ساخت بنا می‌شود[۷۰].

۵۴. این اصل در علوم زیستی با عنوان «اصل هموستازی» شناخته می‌شود.
55. Homeostasis
56. Conrad, ibid, p. 11.
57. Habraken
58. flexibility
59. Hudec & Rollova, ibid.
60. J. Douglas, *Building Adaptation*, p. 39.
61. Luo & Zhang, ibid, p. 29.
62. morphogenesis
63. Gruber, ibid, pp. 185-188.
64. Al-Obaidi, et al, ibid, p. 1478.
65. B. Ross, et al, "Enabling Adaptable Buildings: Results of a Preliminary Expert Survey", p. 421.
66. S.J. Wilkinson & H. Remoy & C. Langston, *Sustainable Building Adaptation*, pp. 4-5.
67. embodied energy
68. operational energy
۶۹. نک:
R. Graham &T. Lyer-Raniga, "Life - Cycle Energy Analysis of Buildings: A Case Study".
70. Karimpour, et al, "Minimising the Life Ccycle Energy of Buildings: Review and Analysis", p. 107.

در آیندهْ معماری سازگارشونده به صورت جامع‌تری نسبت به جریان اطلاعاتْ واکنش‌پذیر خواهد بود. به طور مثال، واکنش نسبت به اطلاعات مکانی داده‌های شبکه‌های اجتماعی؛ یا ممکن است در ارتباط مستقیم با اطلاعات فردی باشد، که این روند افزایشی هم‌اکنون نیز قابل‌مشاهده است.[۷۱] سازگاری در معماری شامل هرگونه اقدامی در حوزهٔ نگهداری، تغییرات در ظرفیت بنا، عملکرد، و یا کارکرد بناست. درواقع، معماری سازگار می‌تواند با شرایط آینده خود را تطبیق دهد و موجب تأمین نیازهای کاربران با حداقل هزینه و مداخله شود که این خود دال بر افزایش طول عمر بنا، بازدهی، و بخصوص حفظ محیط زیست است[۷۲].

سازگاری به ظرفیت ساختمان به میزان پذیرش تغییرات بازمی‌گردد. تغییرات در طول حیات ساختمان امری اجتناب‌ناپذیر است که می‌تواند ابعاد مختلف اجتماعی، کالبدی، اقتصادی، و زیست‌محیطی را در برگیرد، تا نیازهای کاربران به شکل مطلوبی برآورده شود. در شرایط یکسان میان بناهای مختلف، بنای با سازگاری بالاتر بازدهی بهتری دارد و به مدت طولانی‌تری قابل‌استفاده است؛ چراکه با تغییرات کم‌هزینه مطابق نیازهای کاربران به‌روز می‌شود.[۷۳] ضروری است که به مقولهٔ سازگاری در ترازهای مختلف توجه شود: تراز کاربران، رفتار سیستم، و روشی که کاربران با سیستم ارتباط برقرار می‌کنند.[۷۴] سازگاری مفهوم ساده‌ای نیست که به صورت سطحی با آن برخورد شود. تامکینز و همکارانش دو عنصر اصلی را برای سازگاری معرفی کردند:

۱. ظرفیت سازگاری ساختمان،

۲. اجرای تصمیمات سازگارکننده[۷۵].

۳. ۱. ویژگی‌های معماری سازگار

هرگونه اقدامی که به منظور نگهداری از بنا و افزایش ظرفیت آن در پذیرش تغییرات، عملکرد، و یا نحوهٔ کارکرد بنا انجام شود، جزء ویژگی‌های سازگارکنندهٔ بنا محسوب می‌شود. به طور کلی واژهٔ سازگاری به معنای فرایند تغییر و تطبیق ساختار یا ساختمان و محیط پیرامون آن برای همخوانی با شرایط جدید است.[۷۶] به طور تخصصی هرگونه اقدامی که منجر به نهادینه کردن تغییراتی در بهبود استفاده و یا مقیاس عملکردی ساختمان شود، اقدامی سازگارکننده به‌شمار می‌آید که ممکن است از جنس تغییرات، توسعه، گسترش، و یا هر اقدام بهینه‌ساز دیگری باشد.[۷۷]

در ترازهای بالای سازگاری در ساختمان مکانیسم‌هایی در نظر گرفته می‌شود که به‌سادگی به نیازهای جدید ساختمان پاسخ‌گو باشد؛ بدون آنکه نیازی به صرف وقت برای دانستن نیازهای آتی ساختمان باشد (به صورت خودسازمان‌یافته تغییرات پاسخ داده می‌شوند). اَدیش و شوتن (۲۰۰۸) ساختمان با ظرفیت سازگاری را چنین تعریف کردند «ساختمانی که بر مبنای تفکری طراحی شده که چگونه تغییرات به‌آسانی در آن امکان‌پذیر باشد تا حیات آن طولانی‌تر شود»[۷۸].

برخی از معیارهای ارزیابی سازگاری در ساختمان به صورت زیر تعریف شده‌اند:

ـ تغییرپذیری[۷۹]: امکان تغییر در استفاده از بنا (از ابعاد اقتصادی، قوانین حاکم، و فنی)،

ـ تفکیک‌پذیری[۸۰]: امکان تخریب ایمن بنا، با بازدهی و سرعت مناسب (در جزء یا کل)،

ـ بازیافت‌شوندگی[۸۱]: مصالح و اجزای ساختمان پس از تخریبْ قابل‌استفادهٔ مجدد و یا بازیافت باشند،

ـ توسعه‌پذیری[۸۲]: امکان افزایش در حجم یا ظرفیت (افزیش ظرفیت ممکن است با امکان افزودن طبقه‌ای در ساختمان باشد که در حجم کلی تغییری ایجاد نمی‌کند)،

ـ انعطاف‌پذیری[۸۳]: حداقل مداخله در جابه‌جایی عناصر تعریف‌کنندهٔ فضا برای تغییر آرایش ساختار فضایی با افزایش بازدهی از ابعاد مختلف.[۸۴]

توانایی ساختمان در مبحث انعطاف‌پذیری انرژی به چندین عامل بازمی‌گردد:

71. Schnadelbach, et al, "The Immersive Effect of Adaptive Architecture", p. 151.
72. M.D. Saghafi & M. Ahmadi, "A Study of Adaptable Architecture Pertinence in Iran", p. 658.
73. S. Moffat & P. Russel, "Energy-Related Environmental Impact of Buildings", p. 2.
74. M. Kretzaer & L. Hovestadt, *Advancements in Adaptive Architecture*, p. 123.
75. E.L. Tompkins, et al, "Observed Adaptation to Climate Change: UK Evidence of Transition to a Well - adapting Society"; J.A.G. Cooper & J. Pile, "The Adaptation-resistance Spectrum: A Classification of Contemporary Adaptation Approaches to Climate-related Coastal Change", p. 91.
۷۶. نک:
R. Chudley, *Maintenance and Adaptation of Buildings*.
77. Douglas, ibid, p. 583.
78. J. Gosling, et al, "Adaptable Buildings: A Systems Approach", p. 44.
79. convertibility
80. dismantlability
81. disaggrgatability
82. expandability
83. flexibility
84. Saghafi & Ahmadi, ibid.

۱. ساختار کالبدی بنا همچون تودهٔ حرارتی بنا، عایق‌های مورد استفاده، طرح معماری،
۲. تکنولوژی مورد استفاده: تهویه، گرمایش (و سرمایش)، تجهیزات ذخیره‌سازی انرژی،
۳. سیستم‌های کنترل‌کننده که واکنش بنا را تنظیم می‌کنند: توانایی پاسخ به محرک‌های خارجی همانند میزان گازکربنیک، قیمت برق،
۴. رفتار و نیازهای ساکنان برای تأمین شرایط آسایش.[۸۵]

امروزه عناصر اصلی مرتبط با سازگاری در معماری شامل پی، سازهٔ اصلی، پوشش بنا، سرویس‌ها، و فضاهای داخلی می‌شود. بیشتر این موارد مرتبط با مرحلهٔ بهره‌برداری از بنا هستند. بررسی سایر مراحل چرخهٔ حیات ساختمان به مطالعهٔ موضوعات جدیدی در این حوزه می‌انجامد. در نگاهی کلی عناصر اصلی سازگارکنندهٔ ساختمان به صورت زیر بیان می‌شود:

۱. پی:
ـ طراحی با امکان توسعهٔ عمودی بنا، در این مورد باید ارزیابی دقیقی در مورد امکان توسعهٔ عمودی ساختمان و بارهای ناشی از آن صورت گیرد.
ـ امکان افزایش اتصالات یا سایر اجزای سازه‌ای که از فروپاشی پیش‌رونده یا مشکلات سازه‌ای بنا در صورت افزایش بار ناشی از تعدد کاربران جلوگیری کند.

۲. سازهٔ اصلی:
ـ استفاده از بتن مسلح در سازه امکان جابه‌جایی دیوارهای داخلی و خارجی را بدون اثرگذاری بر سازهٔ بنا مهیا کرده است. همچنین توجه به سازه‌های دارای هستهٔ مرکزی این امکان را فراهم می‌کند تا به صورت موضعی امکان تقویت سازه با حفظ یکپارچگی آن ممکن باشد.
ـ در نظر گرفتن ارتفاع بیشتر در طبقهٔ همکف زمینهٔ تغییر و توسعه در نوع استفاده از این بخش را فراهم می‌کند.

۳. پوشش بنا:
ـ جداسازی سازهٔ نگهدارندهٔ پوشش بنا از سازهٔ اصلی.
ـ امکان دسترسی و ایجاد تغییرات در دیوارهای خارجی از داخل و خارج بنا.
ـ استفاده از پوشش‌های چندمنظوره که با توجه به شرایط محیط داخلی بنا تغییر می‌کنند.

۴. سرویس‌ها:
ـ اولویت‌دهی به استفاده از سیستم‌های تهویهٔ هیبریدی که امکان برقراری تعادل میان عناصر مرکزی و جانبی بنا را داراست.
ـ انعطاف‌پذیری در نوع سوخت مصرفی سیستم مرکزی، ظرفیت آن، و همچنین ارتقای آن با تمرکز بر شرایط موضعی بخش‌های مختلف بنا.

۵. فضاهای داخلی:
ـ طراحی فضا با اولویت‌دهی به گشودگی فضایی.
ـ طراحی فضاهای چندعملکردی.
ـ دیوارهای داخلی جداکننده با قابلیت جداسازی، استفادهٔ مجدد و بازیافت آسان.
ـ طراحی فضا فراتر از حداقل‌های ضوابط معمول (حجمی و ارتفاعی).
ـ استفاده از پلان آزاد که به‌راحتی قابل‌تفکیک به بخش‌های مختلف هستند.[۸۶]

۳. ۲. مقیاس‌های سازگاری در معماری

همانند طبیعت جاندار، مقیاس سازگاری در معماری نیز دارای دامنهٔ وسیعی است. این دامنه می‌تواند شامل پاسخ ساختمان نسبت به تغییرات محیطی، تغییر عملکرد فضا بر مبنای ساختار فرهنگی کاربران مختلف، و یا متوجه سازهٔ بنا و ظرفیت باربری آن باشد. در محیط مصنوع سه مقیاس در مرحلهٔ معماری و ساخت و استفاده از بنا شناخته شده‌اند که متداول و زیرمجموعهٔ یکدیگر قرار دارند: سایت، سرپناه (برای حفاظت در برابر شرایط اقلیمی)، و فضا که محلی برای زندگی و کار و فعالیت به‌شمار

85. R.G. Junker, et al, "Characterizing the Energy Flexibility of Buildings and Districts", p. 176.
86. Moffat & Russel, ibid, p. 12.

می‌آید.[۸۷] اگرچه این تقسیم‌بندی در حوزهٔ معماری به‌خوبی پاسخ‌گو است؛ اما زمانی که موضوع انتقال مفهومی میان دو رشته طرح می‌شود و نیاز به تدقیق مقیاس در حد واحدهای تحلیلی است، نفوذ به ترازهای پایین‌تر ضروری است، ازاین‌رو در «ت ۱» علاوه بر مقیاس‌های متداول، ترازهای خردمقیاس‌تری نیز مورد توجه بوده است تا در زمان الگوبرداریْ درک مناسبی از جایگاه مفهوم مورد نظر در دانش مبنا و دانش مقصد پدید آید.

در ادامه هریک از مقیاس‌های کلان (سایت، سرپناه، و فضای معماری) به حوزه‌های عملکردی، ماده و انرژی، و اطلاعات تقسیم شده‌اند، تا بدین ترتیب جایگاه مصادیق سازگاری در معماری بر اساس این طبقه‌بندی مشخص شود و با شناخت سطح الگوبرداری، مقیاس متناظر آن در دانش مبنا تعیین شود. در «ت ۲» در حد مقیاس‌های متداول در معماری به تفکیک موضوعات پرداخته شده است؛ بر این اساس این امکان هست که در زمان انتقال و بهره‌مندی از الگوهای طبیعی، در بازهٔ مناسب‌تری به جستجوی راهکار پرداخت و از احتمال قیاس راهکارهای نامتناظر در زمان انتقال کاست.

۳. ۲. ۱. سایت

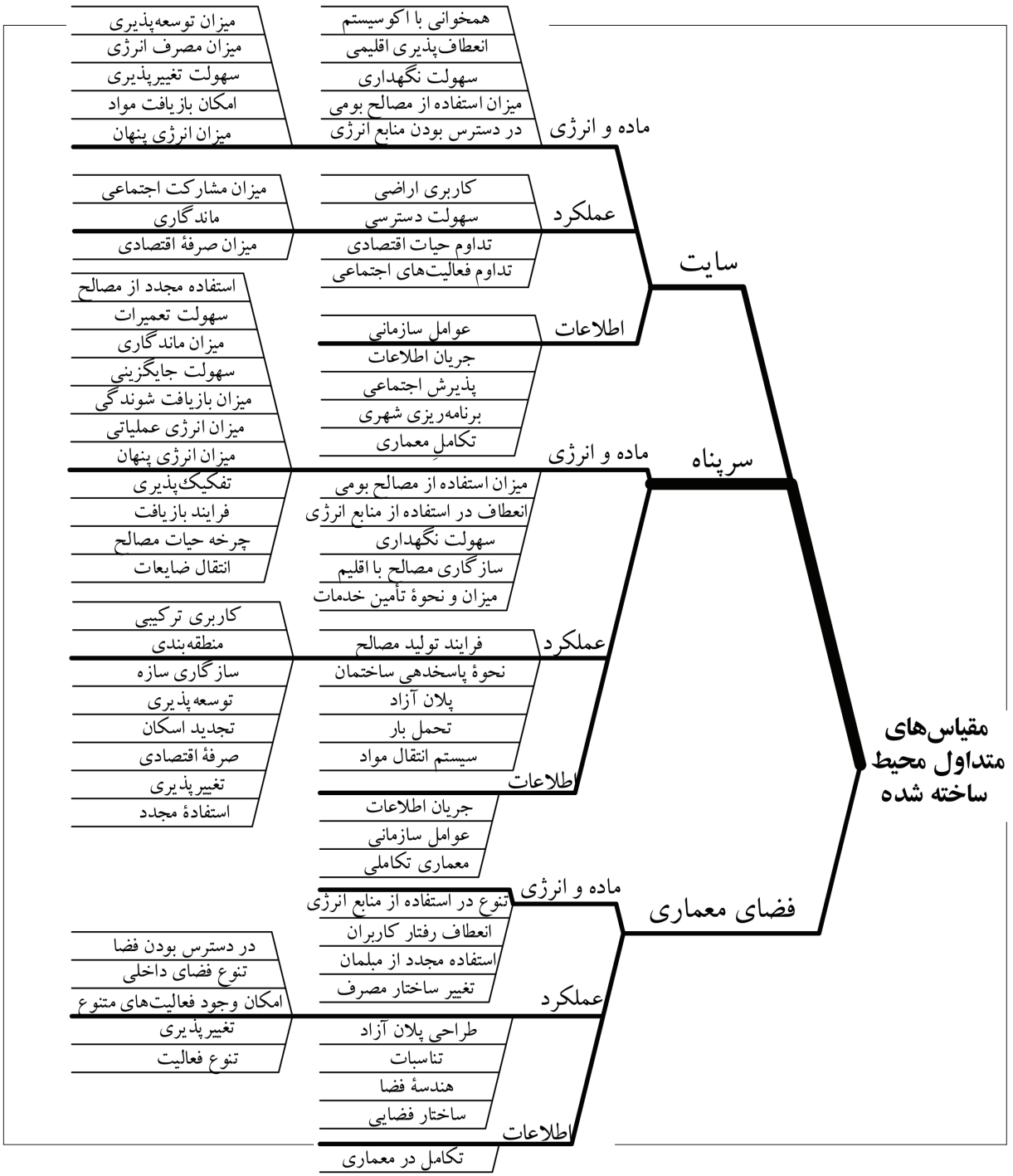
بزرگ‌ترین مقیاس سازگاری در محیط مصنوع متوجه سایت است و به تناسب آن موضوعاتی که در این رده طرح می‌شوند، بسیار کلان هستند. میزان ظرفیت سازگاری سایت با دامنه‌ای از عوامل مرتبط با یکدیگر تعریف می‌شود که شامل خصوصیات اجتماعی (مانند: میزان آگاهی شهروندان از تغییرات اقلیمی)، کاربری اراضی (مانند: محدودهٔ تحت پوشش فضای سبز)، عوامل سازمانی (مانند: وجود راهبردها و چارچوب‌های تدوین‌شده توسط دولت) می‌شوند. [۸۸] در مورد تغییرات اقلیمی پنج موضوع که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در مناطق شهری اثرگذارند چنین هستند: دوره‌های گرمایی، خشکسالی، پیشروی خطوط ساحلی، سیل، و موضوعات مربوط به سلامت انسان.[۸۹] شش بخش مشخص از موضوعات مرتبط با شهرسازی بر اثر تغییرات اقلیمی شامل این موارد هستند: تأمین آب، تولید انرژی، حمل‌ونقل و ارتباطات رادیویی، محیط ساخته‌شده، فضای سبز و محیط زیست شهری، و درنهایت خدمات اجتماعی.[۹۰] در *حوزهٔ سازگاری در مقیاس شهری و سایت می‌توان به موضوعات زیر اشاره کرد:*

ـ **سازگاری اقلیمی:** بر اساس نظر هیئت بین‌المللی تغییرات آب‌وهوایی[۹۱]، سازگاری اقلیمی یعنی «فرایند تطبیق با شرایط اقلیمی جاری، یا مورد انتظار و اثرات ناشی از آن».[۹۲] همچنین سازگاری اقلیمی را اقداماتی به منظور کنار آمدن با تغییرات آب‌وهوایی می‌دانند؛ به طور مثال: افزایش بارندگی، افزایش دما، محدودیت منابع آبی، و یا طوفان‌های دوره‌ای که در حال حاضر در جریان است و یا احتمال وقوع آن در آینده وجود دارد.[۹۳] از سویی، بورتون[۹۴] (۱۹۹۲) معتقد است که سازگاری اقلیمی فرایندی است که طی آن از اثرات شدید اقلیمی بر سلامت و دارایی افراد کاسته می‌شود و از فرصت‌های ایجادشده به واسطهٔ این تغییرات استفاده می‌شود. همچنین هایدریک و همکارانش (۲۰۱۶) معتقدند که شهرها می‌توانند نقشی کلیدی را در اجرای برنامه‌های سازگاری نسبت به تغییرات آب‌وهوایی و توسعه در این خصوص داشته باشند؛ چراکه آن‌ها جایگاهی میان اقدامات محلی و سطوح بین‌المللی دارند[۹۵].

ـ **سازگاری در برنامه‌ریزی شهری:** انعطاف در عرضهٔ برنامه‌ها و روند توسعه‌ای شهر با توجه به ظرفیت‌ها و منابع در دسترس از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کنندهٔ سازگاری در سطح کلان به‌شمار می‌آید. میزان توسعهٔ شهرها، بهره‌برداری از منابع ماده و انرژی، و توسعهٔ زیرساخت‌ها با توجه به شرایط اقلیمی جاری و آینده از عوامل اصلی توسعهٔ پایدار شهرها هستند.

سازگاریِ مبتنی بر اکوسیستمِ جوامع، با وجود توجه به ابعاد مدیریتی، حفاظتی، و زیست محیطی، شهروندان را نیز به تطبیق با ابعاد منفی تغییرات اقلیمی تشویق می‌کند.[۹۶] انتظاری دور از

87. W.W. Braham, *Architecture and System Ecology*, p. 62.
88. J.G. Carter, "Urban Climate Change Adaptation: Exploring the Implications of Future Land Cover Scenarios", p. 74.
۸۹. نک:
Revi, et al. "Urban Areas".
90. M. Araos, et al, "Climate Change Adaptation Planning in Large Cities: A Systematic Global Assessment", p. 373.
91. IPCC: International Panel on Climate Change
92. F.C. Aguiar, et al, "Adaptation to Climate Change at Local Level in Europe: An Overview", p. 38.
93. Cooper & Pile, ibid.
94. Burton
95. D. Reickien, et al, "How Are Cities Planning to Respond to Climate Change? Assessment of Local Climate Plans from 885 in the EU-28", p. 208.
96. J. Ahren, et al, "The Concept of Ecosystem Services in Adaptive Urban Planning and Design", p. 257.



ت ۲. عناصر اصلی سازگاری بر اساس مقیاس‌های مختلف، تدوین: نگارندگان.

واقعیت است که تنها با برنامه‌ریزی بتوان همهٔ اثرات تغییرات اقلیمی را تا سطوح پایین آن، که شهروندان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، خنثی کرد.

ـ **سازگاری در کاربری اراضی:** منطقه‌بندی در شهرها به واسطهٔ سطوح بالای مدیریتی صورت می‌گیرد و بخش‌هایی از اراضی، به دلیل تهدیدهای بالقوه‌ای که برای سایر مناطق شهر و یا دارایی عمومی شهر دارند، نسبت به داشتن بسیاری از کاربری‌ها دارای محدودیت می‌شوند و با تصمیم‌گیری برنامه‌ریزان شهری تنها فعالیت‌های خاصی بر مبنای سازگاری آن‌ها با سایر محدوده‌ها تعریف می‌شوند.[۹۷] از سوی دیگر، کم‌توجهی به کاربری‌های هم‌جوار و ناسازگاری آن‌ها با یکدیگر، علاوه بر سوء اثر بر عملکرد محدوده‌های بلافصل، موجب تضعیف فعالیت و حیات شهری در این‌گونه محدوده‌ها می‌شود.

نحوهٔ استفاده از اراضی در سطح شهرها همواره با جهش‌هایی در طول زمان همراه بوده است. توانایی تطبیق و توسعهٔ برنامه شهری در کشورهای مختلف متنوع است. در برخی از کشورها برنامه‌ریزان شهری همواره به دنبال ارتقا و تقویت برنامه‌های خود هستند که درنتیجه همواره حرکتی به سمت اهداف آینده ایجاد می‌شود. در مقابل در برخی کشورها، برنامه‌ریزان، با توجه به مشکلات عمدهٔ پیش رویشان، سعی دارند تصمیمات پیشین خود بر کاربری اراضی را با قدرت بیشتری تثبیت کنند.[۹۸]

ـ **ویژگی‌های اجتماعی:** فضاهای باز شهری شامل همه بخش‌های محیط فیزیکی شهر می‌شود که عموم مردم اجازهٔ استفاده و تجربهٔ آن فضا را دارند.[۹۹] فضاهای باز همواره عملکردی اجتماعی و فرهنگی دارند، به‌ویژه در کشورهایی که شرایط اقلیمی حضور مردم را در فضاهای عمومی محدود به فصل‌های خاصی می‌کند.[۱۰۰] در این حالت موضوع سازگاری در دو سطح رفتاری و کالبدی مطرح است؛ سطح اول متوجه ارتباط اجتماعی کاربران با یکدیگر و میزان سازگاری آن‌ها از لحاظ رفتاری است و سطح دیگری میزان سازگاری کالبدی فضای جمعی با فعالیت‌های متنوع اقشار مختلف بهره‌بردار از این‌گونه فضاهاست.

ـ **عوامل سازمانی**[۱۰۱]: در خصوص تغییرات سازمانی نیاز به نگاهی جامع است؛ اینکه چگونه سازمان‌ها و قوانین متأثر از آن‌ها در حوزه‌های مختلف سیاسی، اجتماعی، و فرهنگی بر تکامل و توسعهٔ شهرها اثر می‌گذارند. موضوع پایداری شهرها و نوآوری‌های جدید در این زمینه بدون شک با موضوعات اجتماعی هم‌پوشانی دارد. وجود تغییرات اجتماعی‌ـ فرهنگی نیازمند توجه به نیازهای اقشار جدید جامعه است (به طور مثال، مهاجران ناآشنا به فرهنگ بومی منطقه). حضور گروه‌های جدید اثرات متفاوتی را در جوامع مختلف به دنبال دارد.[۱۰۲] نوآوری در حوزهٔ پایداری نیازمند تغییرات بنیادی در نهادی‌های مرتبط است که این امر معمولاً فراتر از نیازهای افراد به صورت فردی است[۱۰۳].

۳. ۲. ۲. سرپناه

نقش اصلی سرپناه بهینه‌سازی شرایط آسایش انسان با توجه به وضعیت اقلیمی منطقه است. پوشش ساختمان دما رطوبت، باد، و میزان تابش نورخورشید را با توجه به ساختار و خصوصیات مصالح به‌کار رفته در آن تنظیم می‌کند. همچنین در ساختمان شرایط محیط داخلی با استفاده از سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی مناسب‌سازی می‌شود.[۱۰۴] سرپناه (ساختمان) مقیاسی است که بیشترین اقدامات سازگارکننده از ابعاد مختلف در آن تعریف می‌شود؛ چه از نظر ارتباط آن با سایت پیرامونی و چه از نظر ارتباط آن با مقیاسی خردتر (فضای معماری) که محل اصلی فعالیت‌های مختلف است. در مراحل مختلف چرخهٔ حیاتِ بنا اقدامات سازگارکنندهٔ متنوعی را می‌توان تعریف کرد که همگی منجر به افزایش پایداری در طول حیات آن می‌شود. در ادامه به برخی از مهم‌ترین ابعاد سازگاری در مقیاس سرپناه اشاره می‌شود:

97. S.A. Hirt, *Zoned in the USA; The Origins and Implication of American Land-use Regulation*, p. 32.
98. J. Halleux, et al, "The Adaptive Efficiency of Land Use Planning Measured by the Control of Urban Sprawl", p. 887.
۹۹. نک:
L.H. Lofland, *The Public Realm: Exploring the City's Quintessential Social Territory*.
100. L. Martinelli, et al, "Multicriteria Analysis Model for Urban Open Space Renovation",p. xxx. e10.
101. institutional factors
102. M. Schwarz, et al, "Soziale Innovation: Die Bedeutung Sozialer Innovationen für eine Nachhaltige Entwicklung", p. 175.
103. S. Kagan, et al, "Culture in Sustainable Urban Development", p. 36.
104. Braham, ibid, p. 80.

ـ **سازگاری در استفادهٔ مجدد:** بهترین حالت در استفادهٔ مجددْ حفظ اصالت عنصر بازیافتی مورد نظر و انجام کمترین اقدام در تغییر یا بازیافت آن است.[۱۰۵] همچنین در مورد ساختمان‌هایی که در حال حاضر عملکرد خود را از دست داده‌اند، بازگرداندن فعالیتی است که از ابتدا برای آن در نظر گرفته شده است.[۱۰۶] همچنین سازگاری در استفاده را هرگونه اقدامی در ساختمان به منظور نگهداری، تغییر ظرفیت، عملکرد، و یا نحوهٔ کارکرد آن تعریف کرده‌اند.[۱۰۷] سازگاری در استفادهٔ مجددْ فرایند مقاوم‌سازی ساختمان‌های قدیمی را نیز شامل می‌شود؛ چالش اصلی در این حوزه تطبیق ساختمان‌های تاریخی حفاظت‌شده و حفظ پایداری طرح آن‌هاست. ساختمان‌های تاریخی از فناوری‌های ساخت و مصالح متنوعی بسته به دورهٔ ساخت آن‌ها و موقعیت جغرافیاییشان برخوردار هستند[۱۰۸].

ـ سازگاری **در مصالح (مصالح هوشمند):** یکی از روش‌های مشخص کاهش مصرف منابعْ افزایش طول عمر مواد و مصالح با تمرکز بر ماندگاری و میزان سازگاری آن‌ها با تغییرات محیطی است.[۱۰۹] مصالح هوشمند در مسیر توسعه دارای قابلیت عملکردی تخصصی و انتخابی (بسته به شرایط محیط) شده‌اند. از این زاویه، آن‌ها مشابه جانداران به حساب می‌آیند؛ چراکه توانایی واکنش متناسب با شرایط محیطی را دارند[۱۱۰].

ـ **سازگاری در سازه:** سازگاری سازه‌ها روش‌های متعددی را در بر می‌گیرد. در تقسیم‌بندی کلی، سازهٔ ساختمان را به دو بخش پی و سازهٔ اصلی تقسیم کرده‌اند که با استفاده از راهکارهایی این‌گونه سازه‌ها بارهای عمودی مضاعف را تحمل می‌کنند و امکان توسعهٔ سازه و در پی آن توسعهٔ بنا فراهم می‌آید. این سازه‌ها اثر نیروهای خارجی را با تغییرات شکلی و تغییر مسیر نیروهای داخلی خنثی می‌کنند. در درون این سازه‌ها سنسورهایی قراردارد که به صورت هوشمند به وضعیت نیروهای وارده حساس هستند و بر مبنای آن نیروها به واکنشگرها علامت متناسب را می‌فرستند.[۱۱۱]

۳. ۲. ۳. فضای معماری

ساختمان در مقیاس فضای معماری متمرکز بر نوع فعالیت است و تقسیمات فضایی و تحلیل‌های وابسته، همگی بر این مبنا صورت می‌گیرند.[۱۱۲] فضای داخلی بنا بخشی است که مخصوص فراهم کردن شرایط آسایش برای فعالیت کاربران است؛ در همین فضا است که انرژی صرف‌شده برای آسایش، صرف فعالیت‌های مختلف مانند زندگی روزمره و تولید و فعالیت اقتصادی می‌شود.[۱۱۳] بسیاری از موضوعات مرتبط با سازگاری در راستای احیا و تقویت فعالیت در این مقیاس محیط مصنوع است. موضوعاتی مانند طراحی پلان آزاد و انعطاف‌پذیری فضا، قابلیت پذیرش فعالیت‌های متنوع در فضا، و تغییرپذیری بر اساس رفتار کاربران ازجمله موضوعاتی هستند که در این مقیاس طرح می‌شود. درصورتی‌که انتقالی میان‌رشته‌ای در این مقیاس مورد نظر باشد، توجه به مقیاس متناظر الگوی زیستی و رفتار عملکردی آن در این تراز موجب بهبود عملکرد مورد انتظار از الگوی مورد نظر می‌شود.

اگرچه بهره‌برداری یک بنا از منابع ماده و انرژی در مراحل مختلف حیات ساختمان تفکیک شده است، اما هدف نهایی در بنای هر ساختمان تأمین شرایط آسایش برای انجام فعایت مورد نظر در فضای معماری است. به همین دلیل است که بخش عمده‌ای از راهکارهای سازگارکننده بر حفظ فعالیت در این مقیاس تمرکز دارند. در «ت ۲» عناصر اصلی سازگاری بر اساس مقیاس‌های مختلف عملکردی از سایت تا فضا طبقه‌بندی شده است.

۴. جمع‌بندی

سازگاری مفهوم گسترده‌ای است که در ترازی بالاتر نسبت به مفاهیمی همچون تطبیق‌پذیری و انعطاف‌پذیری قرار دارد. برای تفکیک تقریبی این مفاهیم می‌توان از معیارهایی متمرکز بر واکنش همچون ماندگاری، بازگشت‌پذیری، زمان اثرگذاری،

105. Douglas, ibid, p. 153.
106. D. Kincaid, *Adapting Building for Changing Uses*, p. 20.
107. L. Wong, *Adaptive Reuses*, p. 13.
108. F. Rodrigues, et al, "Building Life Cycle Applied to Refurbishment of a Traditional Building from Oporto, Portugal", p. 94.
109. E. Karana, et al, *Materials Experience; Fundamentals of Materials and Design*, p. xix.
110. Yousef Mohamed & Abeer Samy, "Smart Materials Innovative Technologies in Architecture; Towards Innovative Design Paradigm", p. 142.
111. G. Senatore, et al, "Exploring the Application Domain of Adaptive Structures", p. 608.
112. Braham, ibid, p. 140.
113. Ibid, p. 207.

و سرعت واکنش استفاده کرد؛ اما با وجود این معیارها در زمان انتقال این مفاهیم از علوم زیستی به معماری دچار تغییر می‌شوند. یکی از راه‌های انتقال مناسب مفاهیم از حوزه‌های مختلف، توجه به مقیاس عملکردی این مفاهیم است. در این تحقیق با مشخص شدن مقیاس‌های مفهوم سازگاری در دانش مبدأ و مقصد، چارچوب فرایند انتقال بر اساس مقیاس پیشنهاد شد.

مقیاس‌های عملکردی در علوم زیستی از زیستگاه (اکوسیستم) آغاز و تا حد ساختار ژنتیکی جانداران خرد می‌شود؛ از سوی دیگر، در محیط مصنوع این ساختار از سایت شروع و تا فضا و فعالیت مختص آن تغییر می‌کند. برای مشخص کردن نقطهٔ عطف در فرایند انتقال از «واحدهای تحلیلی» در دو رشته استفاده شد. سلول در زیست‌شناسی و فضا در معماری با عنوان واحدهای تحلیلی پذیرفته شده‌اند. در نگاه نخست، بسیاری از ویژگی‌های زیستی، بدون توجه به مقیاس آن‌ها، به طور مستقیم وارد عرصهٔ معماری می‌شوند، همانند: انقراض، به صورت از میان رفتن فعالیت و یا تغییرپذیری شکلی، و یا به صورت تنوع فضایی؛ اما با توجه به مقیاس عملکردی، بسیاری از مفاهیم در سطوح و برداشت‌های متفاوتی نمایان می‌شوند.

به طور کلی مفهوم سازگاری در محیط مصنوع معطوف به هر اقدامی است که منجر به حفظ فعالیت در فضا با بهره‌برداری کمتر از منابع ماده و انرژی (عملیاتی و پنهان) شود. دامنهٔ این اقدامات از مقیاس شهری تا ساختار فضای معماری را شامل می‌شود. همان‌گونه که در طبقه‌بندی عرضه‌شده مشاهده می‌شود، بسیاری از اقدامات در مرحلهٔ بهره‌برداری و احیای مجدد ساختمان قرار دارد. بدیهی است که احداث ساختمان‌هایی با طول عمر بالا، که از لحاظ مصرف انرژی بهینه و از سازه و ساختار فضایی سازگاری بهره‌مند باشند، منجر به پیدایش محیط‌های مصنوع پایدار خواهند شد.

مفهوم سازگاری در محیط مصنوع در مقیاس‌های سایت، سرپناه، و فضا قابل‌تعمیم است. در مقیاس سایتْ موضوعات شهری همانند کاربری اراضی، عوامل سازمانی، تغییرات آب‌وهوایی، ویژگی‌های اجتماعی، و منابع ماده و انرژی طرح می‌شوند. در مقیاس سرپناهْ سازگاری متوجه مباحثی است، همچون سازه، نگهداری ساختمان، تنوع عملکردی، انعطاف‌پذیری در استفاده از منابع انرژی، و بازیافت مصالح. درنهایت در مقیاس فضا طراحی پلان آزاد، تغییرپذیری فضا، و میزان در دسترس بودن فضا مورد توجه است.

منابع و مآخذ

Addis, W. & J. Schouten. *Principles of Design for Deconstruction to Facilitate*, London: CIRIA, 2004.

Aguiar, Francisca C. & Julia Bentz & Joao M.N. Silva & Ana L. Fonseca & Rob Swart & Filipe Duarte Santos & Gil Penha-Lopes. "Adaptation to Climate Change at Local Level in Europe: An Overview", in *Environmental Science and Policy*, Vol. 86 (2018), pp. 38-63.

Ahren, Jack & Sarel Cilliers & Jari Niemela. "The Concept of Ecosystem Services in Adaptive Urban Planning and Design: A Framework for Supporting Innovation", in *Landscape and Urban Planning*, Vol. 125 (2014), pp. 254-259.

Al-Obaidi, Karam M. & Muhammad Azzam Ismail & Hazreena Hussein & Abdul Malik Abdul Rahman. "Biomimetic Building Skins: An Adaptive Approach", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 79 (2017), pp. 1472-1491.

Araos, Malcolm & Lea Berrang-Ford & James D. Ford & Stephanie E. Austin & Robbert Biesbroek & Alexandra Lesnikowski. "Climate Change Adaptation Planning in Large Cities: A Systematic Global Assessment", in *Environmental Science & Policy*, Vol. 66 (2016), pp. 375-382.

Araya-Munoz, Dahyann & Marc J Metzger & Marc J. Stuart

& Neil Stuart & A. Meriwhther & W. Wilson & Luis Alvarez. "Assessing Urban Adaptive Capacity to Climate Change", in *Journal of Environmental Management*, (2016), pp. 314-324.

Barozzi, Marta & Julian Lienhard & Alessandra Zanelli & Carol Monticelli. "The Sustainability of Adaptive Envelopes: Developments of Kinetic Architecture", in *Procedia Engineering*, Vol. 155 (2016), pp. 275-284.

Bayer, C. & M. Gamble & R. Henry & S. Joshi. *AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice*, Washington: American Institute of Architects, 2010.

Braham, William W. *Architecture and System Ecology*, New York: Routledge, 2016.

Burton, I. *Adapt and Thrive: Options for Reducing the Climate Change Adaptation Deficit*, Ontario: (unpublished manuscript), 1992.

Calarco, Allan & Joan Gurvis. *Adaptability; Responding Effectively to Change*, United States of America: Center for Creative Leadership, 2006.

Carter, Jeremy G. "Urban Climate Change Adaptation: Exploring the Implications of Future Land Cover Scenarios", in *Cities*, 2018, pp. 73-80.

Chudley, R. *Maintenance and Adaptation of Buildings*, London: Longman, 1983.

Collins, P. *Changing Ideal in Modern Architecture*, Montreal: McGill-Queen University Press, 1965.

Commission for Architecture and the Built Environment & Greater London Authority. *Open Space Strategy: Best Practice Guidance: A Joint Consultation Draft by the Mayor of London and CABE Space*, London: Greater London Authority Press, 2008.

Conrad, Michael. "Analyzing Ecosystem Adaptability", in *Mathematical Biosciences*, Vol. 27, Issues 3-4 (1975), pp. 213-230.

_____ . *Adaptability: The Significance of Variability from Molecule to Ecosystem*, Michigan: Plenum Press, 1983.

Cooper, J.A.G. & J. Pile. "The Adaptation-resistance Spectrum: A Classification of Contemporary Adaptation Approaches to Climate-related Coastal Change", in *Ocean & Coastal Management*, 94 (2014), pp. 90-98. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2013.09.006

Douglas, James. *Building Adaptation*, New York: Spon Press, 2006.

Euler, M. "Selbstorganisation, Strukturbildung und Wahrnehmung in: Biologie in unserer Zeit", in *Jahrg*, 30 (2000) /Nr.1.

European Commission. *Adapting to Climate Change in Europe- Options for EU Action*, Brussels: Green Paper, 2007.

Frazer, John. *An Evolutionary Architecture*, London: Architectural Association London, 1995.

Glenn, Reynders. *Quantifying the Impact of Building Design on the Potential of Structural Storage for Active Demand Response in Residential Buildings*, PHD Thesis, Google Scholar, 2015.

Gallopín, G.C. "Linkages Between Vulnerability, Resilience, and Adaptive Capacity", in *Global Environmental Change*, 16(3) (2006), pp. 293-303.

Gosling, Jonathan & Paola Sassi & Mohamed Naim & Robert Lark. "Adaptable Buildings: A Systems Approach", in *Sustainable Cities and Society*, Vol. 7 (2013), pp. 44-51.

Graham, Fay R. & T. Lyer-Raniga. "Life - Cycle Energy Analysis of Buildings: A Case Study", in *Buil'd Res Inform*, Vol. 28, Issue 1 (2000), pp. 31-41.

Gruber, Petra. *Biomimetics in Architecture, Architecture of Life and Buildings*, Morlenbach: Springer, 2011.

Haddad, Brent M. "Ranking the Adaptive Capacity of Nations to Climate Change When Socio-political Goals Are Explicit", in *Global Environmental Change*, 15(2) (2005), pp. 165-176.

Halleux, Jean-Marie & Szymon Marcinzak & Erwin van der Krabben. "The Adaptive Efficiency of Land Use Planning Measured by the Control of Urban Sprawl. The Cases of the Netherlands, Belgium and Poland", in *Land Use Policy*, 29(4) (2012), pp. 887-898.

Heidrich, O. & D. Reckien & M. Olazabal & A. Foley & M. Salvia & S. De Gregorio Hurtado & H. Orru, et al. "National Climate Policies across Europe and their Impacts on Cities Strategies", in *Environ. Manag*, 2016, pp. 36-45.

Herrmann, Eva Maria, & Marcus Kaiser & Tobias Katz.

Furnishing | Zoning., Basel: Brikhauser, 2014.

Hirt, Sonia A. *Zoned in the USA; The Origins and Implication of American Land-use Regulation*, Ithaca and London: Cornell Unversity Press, 2014.

Hudec, Martin & Lea Rollova. "Adaptability in the Architecture of Sport Facilities", in *World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium*, Bratislava: Slovak University of Technology. 2016, pp. 1393-1397.

IPCC. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, United Kingdom and New York, 2014.

Junker, Rune Gronborge & Armin Ghasem Azar & Rui Amaral Lopes & Karen Byskov Lindberg & Glenn Reynder & Rishi Relen & Henrik Madsen. "Characterizing the Energy Flexibility of Buildings and Districts", in *Applied Energy*, 225 (2018), pp. 175-182.

Kagan, Sacha & Antoniya Hauerwass & Verena Holz & Patricia Wedler. "Culture in Sustainable Urban Development: Practices and Policies for Spaces of Possibility and Institutional Innovations", in *City, Culture and Society*, 13 (2018), pp. 32-45.

Karana, Elvin & Owain Pedgley & Valentina Rognoli. *Materials Experience; Fundamentals of Materials and Design*, Waltham: Elsevier, 2014.

Karimpour, Mahsa & Martin Belusko & Ke Xing & Frank Bruno. "Minimising the Life Ccycle Energy of Buildings: Review and Analysis", in *Building and Environment*, 73 (2014), pp. 106-114.

Kincaid, David. *Adapting Building for Changing Uses*, London and New york: Spon press, 2002.

Konig, Holger & Niklaus Kohler & Johannes Kreibig & Thomas Lutzkendorf. *A Life Cycle Approach to Buildings*, Munich: Aumüller Druck, 2010.

Kretzaer, Manuel & Lundger Hovestadt. *Advancements in Adaptive Architecture*, asel, Switzerland: Birkhäuser, 2014.

Lofland, L.H. *The Public Realm: Exploring the City's Quintessential Social Territory*, New York: Aldine de Gruyter, 1998.

Luo, Limin & WenJun Zhang. "A Review on Biological Adaptation: with Applications in Engineering Science", in *Selforganizology*, 1(1) (2014), pp. 23-30.

Martinelli, Letizia & Alessandra Battisti & Andreas Matzarakis. "Multicriteria Analysis Model for Urban Open Space Renovation: An Application for Rome", in *Sustainable Cities and Society*, 14 (2014), pp. xxx.e10-xxx.e20.

Merelli, Emanuela & Nicola Paoletti & Luca Tesei. "Adaptability Checking in Complex Systems", in *Science of Computer Programming*, Vol. 115-116 (2016), pp. 23-40.

Metzger, Marc J., et al. "A Spatially Explicit and Quantitative Vulnerability Assessment of Ecosystem Service Change in Europe", in *Regional Environmental Change*, 8 (2008), pp. 91-107.

Moffat, Sebastian & Peter Russel. "Energy-Related Environmental Impact of Buildings", in *Assessing Buildings for Adaptability*, 2001.

Nuffida, Nur Endah. "On Architecture and Energy: the Concept of (Generating) form through Adaptation", in *International Conference Green Architecture for Sustainable Living and Environment*, Indonesia: Institute of Technology Sepuluh Nopember, 2014, pp. 154-164.

Pandremenos, J. & E Vasiliadis & G. Chryssolouris. "Design Architectures in Biology", in *45th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2012*, Patras: University of Patras, 2012, pp. 448-452.

Parsaee, Mojtaba & Mohammad Parva & Bagher Karimi. "Space and Place Concepts Analysis Based on Semiology Approach in Residential Architecture; the Case Study of Traditional City of Bushehr, Iran", in *HBRC Journal*, 11(3) (2015), pp. 368-383.

Peck, Joel R. & David Waxman. "What is Adaptation and How Should it Be Measured?", in *Journal of Theoretical Biology*, 447 (2018), pp. 190-198.

Rahim, Asiah Abdul & Zuhairi Abdul Hamid & Ismawi Hj Zen & Zulkefle Ismail & Kamarul Anuar Mohd Kamar. "Adaptable Housing of Precast Panel System in Malaysia", in *ASEAN Conference on Environment-Behaviour Studies. Bangkok*, Thailand: Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2012, 369-382.

Reickien, Diana & Monica Salvia & Oliver Heidrich & Jon

Marco Church. "How Are Cities Planning to Respond to Climate Change? Assessment of Local Climate Plans from 885 in the EU-28", in *Journal of Cleaner Production*, 191 (2018), pp. 207-219.

Reid, Robert G.B. *Biological Emergences; Evolution by Natural Experiment*, London: The MIT press, 2007.

Revi, A. & D.E. Satterthwaite & F. Aragon-Durand & J. Corfee-Morlot & R.B.R. Kiunsi & M. Pelling & D.C. Roberts & W Solecki. "Urban Areas", in *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Scopus*, 2018, pp. 535-612.

Ribatti, Domenico. "An Historical Note on Cell Theory", in E*xperimental Cell Research*, 364(1) (2018), pp. 1-4.

Roberts, C.D & R. Boon & N. Diederichs & E. Douwes & E. Govender & A. McInnes. "Exploring Ecosystem-based Adaptation in Durban, South Africa: Learning-by-doing at the Local Government Coal Face", in *Environment & Urbanization*, 24(1) (2012), pp. 1-29.

Rodrigues, Carla & Fausto Freire. "Adaptive Reuse of Buildings: Eco-efficiency Assessment of Retrofit Strategies for Alternative Uses of an Historic Building", in *Journal of Cleaner Production*, Vol. 157 (2017), pp. 94-105.

Rodrigues, Fernanda & Raquel Matos & Ana Alves & Paulo Ribeirinho & Hugo Rodrigues. "Building Life Cycle Applied to Refurbishment of a Traditional Building from Oporto, Portugal", in *Journal of Building Engineering*, Vol. 17 (2018), pp. 84-95.

Ross, Brandon E. & Diana A. Chen & Sheila Conejos & Amin Khademi. "Enabling Adaptable Buildings: Results of a Preliminary Expert Survey", in *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction*, Singapore: National University of Singapore, 2016, pp. 420-427.

Saghafi, Mohammad Djavad & Maryam Ahmadi. "A Study of Adaptable Architecture Pertinence in Iran", in *International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities*, Tehran: Procedia Engineering, 2011, pp. 656-665.

Savage, Tony & Xin Yao. "Adaptability in Organisms and Artifacts: A Multi Level Perspective on Adaptive Processes", in *Cognitive Systems Research*, 11(3) (2010), pp. 231-242.

Schmalhausen, I.I. *Factors of Evolution. The Theory of Stabilizing Selection*, Philadelphia: Blackiston, 1949.

Schnadelbach, Holger & Petr Slovak & Geraldine Fitzpatrick & Nils Jager. "The Immersive Effect of Adaptive Architecture", in *Prevasive and Mobile Computing*, 25 (2016), pp. 143-152.

Schwarz, Michael & Martin Birke & Emanuel Beerheide. "Soziale Innovation: Die Bedeutung Sozialer Innovationen für eine Nachhaltige Entwicklung", in *VS Verlag für Sozialwissenschaften*, 2010, pp. 165-180.

Senatore, Gennaro & Philippe Duffour & Pete Winslow. "Exploring the Application Domain of Adaptive Structures", in *Engineering Structures*, Vol. 167 (2018), pp. 608-628.

Sijakovic, Milan & Ana Peric. "Symbiotic Architecture: Redefinition of Recycling Design Principles", in *Frontier of Architectural Research*, Vol. 7, Issue 1 (2017), pp. 67-79.

Smit B. & J. Wandel. "Adaptive Capacity and Vulnerability", in *Global Environ Change*, 16(3) (2006), pp. 283-292

Tompkins, Emma L. & Neil W. Adger & Emily Boyd & Sophie Nicholsoncole & Keith Weatherhead & Nigel Arnell. "Observed Adaptation to Climate Change: UK Evidence of Transition to a Well - adapting Society", in *Global Environmental Change*, 20 (4) (2010), pp. 627-635.

Unwin, Simon. *Analysing Architecture*, New York: Routledge, 2009.

Vilches, Alberto & Antonio Garcia-Martinez & Benito Snachez-Montanes. "Life Cycle Assessment (LCA) of Building Refurbishment: A Literature Review", in *Energy and Buildings*, Vol. 135 (15 January 2017), pp. 286-301

Wilkinson, Sara J. & Hilde Remoy & Craig Langston. *Sustainable Building Adaptation*, Chichester: John Wiley & Sons, 2014.

Wong, Liliane. *Adaptive Reuses*, Berlin: Birkhäuser, 2017.

Yanine, Franco Fernando & Federico I. Caballero & Enzo E. Sauma & Felisa M. Cordova. "Building Sustainable Energy Systems: Homeostatic Control of Grid-connected Microgrids, as a Mean to Reconcile Power Supply and Energy Demand Response Management", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, pp. 1161-1191.

Yousef Mohamed & Abeer Samy. "Smart Materials Innovative Technologies in Architecture; Towards Innovative Design Paradigm", in *International Conference – Alternative and Renewable Energy Quest*, Spain: Energy Procedia, 2017, pp. 139-154.

Yuan, Yanping & Xiaoping Yu & Xiaojiao Yang & Yimin Xiao & Bo Xiang & Yi Wang. "Bionic Building Energy Efficiency and Bionic Green Architecture: A Review", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 74, issue C (2017), pp. 771-787.

Zari, Maibritt Pedersen. "Ecosystem Services Analysis: Mimicking Ecosystem Services for Regenerative Urban Design", in *International Journal of Sustainable Built Environment*, Vol. 4, Issue 1 (2015), pp. 145-157.

Zevi, Bruno. *Saper vedere l'architettura*, Tehran: Shahidi, 2009.