بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

توسعه یک فرمالیسم به منظور توصیف SoS

(رویکرد تعریف مشخصه‌ها)

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات

گرایش معماری سازمانی

اساتید راهنما:

دکتر اسلام ناظمی

دکتر حسن حقیقی

نگارنده:

آصف نیسی مینایی

1393

دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات

گرایش معماری سازمانی

تحت عنوان:

توسعه یک فرمالیسم به منظور توصیف SoS

(رویکرد تعریف مشخصه‌ها)

در تاریخ پایان نامه دانشجو، **آصف نیسی مینایی**، توسط کمیته تخصصی داوران مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

استاد راهنمای اول: جناب دکتر اسلام ناظمی	امضا
استاد راهنمای دوم: جناب دکتر حسن حقیقی	امضا
استاد داور (داخلی): جناب دکتر فریدون شمس‌علیئی	امضا
استاد داور (خارجی): جناب دکتر رامتین خسروی	امضا
نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی: آقای/ خانم دکتر	امضا

از تمامی عزیزانی که در این راه مرا یاری کرده اند سپاس‌گزارم.

از جناب دکتر ناظمی وجناب دکتر حقیقی، اساتید محترم راهنما، کمال تشکر را دارم که با زحمات، حمایت‌ها و راهنمایی‌های بی‌دریغشان اینجانب را یاری کردند.

همچنین از جناب آقای حسین کلانتر و جناب آقای علی طریحی نیز تشکر فراوان دارم که زحمت بازبینی مطالب به عهده ایشان بود.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان نامه متعلق به دانشگاه شهید بهشتی

می باشد.

به نام خدا

نام ونام خانوادگی: آصف نیسی مینایی

عنوان پایان نامه: توسعه یک فرمالیسم به منظور توصیف SoS (رویکرد تعریف مشخصه‌ها)

اساتید راهنما: دکتر اسلام ناظمی و دکتر حسن حقیقی

اینجانب **آصف نیسی مینایی** تهیه کننده پایان نامه کارشناسی ارشد حاضر خود را ملزم به حفظ امانت‌داری و قدردانی از زحمات سایر محققین و نویسندگان بنا بر قانون Copyright می‌دانم. بدین وسیله اعلام می‌نمایم که مسئولیت کلیه مطالب درج شده با اینجانب می باشد و در صورت استفاده از اشکال، جداول و مطالب سایر منابع بلافاصله مرجع آن ذکر شده و سایر مطالب از کار تحقیقاتی اینجانب استخراج گشته است و امانت‌داری را به صورت کامل رعایت نموده‌ام. در صورتی که خلاف این مطلب ثابت شود، مسئولیت کلیه عواقب قانونی با شخص اینجانب می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

امضا و تاریخ:

این اثر را به خانواده مهربان و دوستان عزیزم تقدیم می‌کنم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	م
1 فصل اول: کلیات تحقیق	1
1-1 مقدمه	2
2-1 طرح مسئله	3
3-1 اهمیت پژوهش	5
4-1 محدوده پژوهش	6
5-1 اهداف پژوهش	6
6-1 پرسش‌های پژوهش	7
7-1 ساختار پژوهش	8
2 فصل دوم: مروری بر مفاهیم بنیادی و ادبیات موضوع	9
1-2 مقدمه	10
2-2 تعریف سامانه	10
3-2 تعریف SoS	13
4-2 مشخصات SoS	15
5-2 گروه‌بندی SoSs توسط وزارت دفاع ایالات متحده	23
6-2 معرفی خانوادهای از سامانهها (FoS)	24
7-2 خلاصه	25
3 فصل سوم: مروری بر کارهای انجام‌شده	27
1-3 مقدمه	28
2-3 مرور کارهای انجام گرفته	28

3-3 تحلیل و نتیجه‌گیری 40
4 فصل چهارم: تشریح فرمالیسم پیشنهادی 42
4-1 مقدمه 43
4-2 تعاریف 43
4-3 طیف ASSAF 60
4-4 تکمیل طیف ASSAF 61
4-5 شیوهای برای رده‌بندی MPP_iS 63
4-6 جمع‌بندی 67
5 فصل پنجم: مطالعه موردی 68
5-1 مقدمه 69
5-2 خلاصه‌ای درباره مورد مطالعه 69
5-3 مدل‌سازی با روش B.S. 70
5-5 مدل‌سازی با روش ASSAF 72
5-6 جمعبندی 78
6 جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و کارهای آتی 79
6-1 مقدمه 80
6-2 بحث در مورد روش B.S. و مقایسه آن با روش ASSAF 80
6-3 بحث درمورد روش شهودی و مقایسه آن با روش ASSAF 81
6-4 نتایج نهایی روش ASSAF 83
6-5 محدودیت‌ها و مواردی که می‌توان در روش ASSAF توسعه داد 85
مراجع 87

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول 1: اساس و تشریح مشخصه‌های SoS	16
جدول 2: مشخصه‌های SoS و طیف‌های آن	20
جدول 3: روابط میان مشخصه‌های SoS	21
جدول 4: مقادیر پیشنهادی برای میانه‌های مشخصه‌ها در انواع SoS	67
جدول 5: مقادیر محاسبه شده برای میانه‌های بازه مشخصه‌ها برای انواع SoS با $n = 13001$	77

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل 1: روابط بین مشخصه‌های SoS به جز برآیش 22

شکل 2: رابطه‌های برآیش با دیگر مشخصه‌های SoSs و ماهیت آنها 22

شکل 3: اثبات ادعای مورد استفاده در توسعه $SoSs$ 30

شکل 4: زیست‌شناسی سامانه‌ها 34

شکل 5: اجزای تشکیل‌دهنده $SoSs$ 35

شکل 6: مدل V 36

شکل 7: انتقال از حالت S به حالت D 37

شکل 8: طیف ASSAF 60

شکل 9: تکمیل‌شده طیف ASSAF 62

شکل 10: رده‌بندی MPP_is 66

شکل 11: نتایج حاصل از مدل‌سازی و تحلیل شهودی مطالعه موردی 82

شکل 12: نتایج حاصل از مدل‌سازی و تحلیل مطالعه موردی به روش ASSAF 83

شکل 13: محل قرارگیری SoS_{NMC} در طیف ASSAF 84

چکیده

اخیرا رده‌ای از سامانه‌های پیچیده که اجزای سازنده آن‌ها خود پیچیده هستند توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند. حوزه‌های بسیاری به این سامانه‌های ناهمگون و در حال رشد توجه نشان می‌دهند. حوزه‌های نظامی، امنیتی، هوافضا، فضا، کارخانجات تولیدی، صنایع خدماتی، سامانه‌های محیطی و سامانه‌های مدیریت بحران از این دست حوزه‌ها هستند.

محققین بر این باور اند که سامانه‌هایی را که بزرگ، پیچیده، مستقل و ناهمگون هستند و با هم کار می‌کنند یا با این هدف ساخته‌شده‌اند، می‌توان به‌طور مؤثرتری توسط فناوری SoS پیاده‌سازی و تحلیل کرد. دلیل اصلی نگرش به سامانه‌ها با دید SoS، نیل به توانایی‌های بالاتر و عملکرد بهتر است که به‌وسیله دید سامانه‌ای سنتی قابل دستیابی نیست.

این پژوهش به دنبال توسعه یک فرمالیسم است که بتوان به‌وسیله آن SoSs و در کنار آن سامانه‌ها و FoSs را نیز مدل‌سازی کرد. سپس با استفاده از مدل استخراجی بستری فراهم آورد تا بتوان برای مشخصات SoSs تعریف رسمی و دقیقی ارائه داد. پس از نیل به دو هدف قبلی با استفاده از این تعاریف شیوه‌ای برای قرار دادن سامانه‌ها، SoSs و FoSs روی یک طیف ارائه می‌شود، همچنین طیف‌بندی خود SoSs درون این طیف نیز معرفی می‌شود.

یکی از مفاهیم معرفی شده کلیدی در این پژوهش شبه‌سامانه است. این مفهوم برای اولین بار در این پایان‌نامه معرفی شده‌است. تعریف شبه‌سامانه و انواع آن، این بستر را فراهم می‌آورد تا بتوان تعاریف مشخصه‌های SoS را به صورت صوری بیان کرد، همچنین بر اساس مقادیر به دست آمده برای مشخصه‌ها می‌شود SoSs را دسته‌بندی کرد. بنابر کل این تعاریف و دسته‌بندی‌ها می‌توان طیفی را به‌وجود آورد و سامانه‌ها، انواع SoSs و FoSs را بر روی آن طیف قرار داد.

عبارات کلیدی: سامانه، SoS، FoS، فرمالسیم، شبه‌سامانه، روش مدل‌سازی ASSAF.

۱ فصل اول: کلیات تحقیق

۱-۱ مقدمه

سامانه[1] عموما به ساختارهای سازمان‌مند[2] و هدفداری اطلاق می‌شود که شامل اجزایی مرتبط و به هم وابسته هستند. این اجزا همواره با هدف بقای سامانه و نیل به هدف یا اهداف مشخص شده برای سامانه، به صورت مستقیم یا غیر مستقیم یکدیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهند[1]. سامانه‌ها انواع مختلفی را در بر می‌گیرند. سامانه‌های تولیدی و عملیاتی نمونه‌هایی از انواع سامانه‌ها هستند. سامانه‌های تولیدی به ایجاد محصول یا ارائه خدمات می‌پردازند و سامانه‌های عملیاتی برای نظارت و کنترل بر عملیات خاص یا ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

هم اکنون سامانه‌های تولیدی و عملیاتی با چالش‌های جدیدی روبه‌رو هستند. این چالش‌ها به سبب تولید سفارشی، کوتاه کردن چرخه تولید و بازمهندسی[3] فرایندها به وجود می‌آیند. برای حل این مشکلات، فناوری‌های نوینی در سامانه‌های سنتی به کار گرفته‌شده‌اند. برای مثال «ارتباطات و جابه‌جایی اطلاعات بر روی اینترنت» و یا «سامانه‌های عامل متن باز» از این دسته فناوری‌ها هستند. استفاده از فناوری‌های نوین باعث افزایش پیچیدگی در معماری و ارتباطات سامانه‌ها شده است که این خود منجر به‌وجود آمدن گونه نوینی از سامانه‌ها می‌شود[2]. اخیرا رده‌ای از این سامانه‌های پیچیده که اجزای سازنده آن‌ها خود پیچیده هستند، توجه بسیاری را به خود جلب‌کرده‌اند. حوزه‌های بسیاری به این سامانه‌های ناهمگون و در حال رشد توجه نشان می‌دهند. حوزه‌های نظامی، امنیتی، هوافضا، فضا، کارخانجات تولیدی، صنایع خدماتی، سامانه‌های محیطی و سامانه‌های مدیریت بحران از این دست حوزه‌ها هستند. از بخش‌هایی که در این نوع سامانه‌ها بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند، می‌توان به بهینه‌سازی عملکرد، توانمندی و قابلیت اعتماد اشاره کرد. قصد از توجه بیشتر به این بخش‌ها دستیابی به هدفی مشترک میان این سامانه‌ها است. با توجه به مسائلی که ذکر شد، تمایلی وجود دارد که با ایجاد هم‌افزایی میان این سامانه‌های مستقل، از کارایی حاصل از هماهنگی میان تمامی این سامانه‌ها سود جست. در ادبیات علمی، محققین

---

[1] System

[2] Organized

[3] Reengineering

این مفهوم را به نام «هماهنگی و تعامل در سامانه‌ای از سامانه‌ها(SoS)[1]» می‌شناسند. محققین بر این باور اند که فناوری SoS می‌تواند به‌طور مؤثرتری این گونه سامانه‌ها را پیاده‌سازی و تحلیل کند. منظور سامانه‌هایی است که بزرگ، پیچیده، مستقل و ناهمگون هستند و با هم کار می‌کنند یا با این هدف ساخته‌شده‌اند. دلیل اصلی نگرش به سامانه‌ها با دید SoS، نیل به توانایی‌های بالاتر و عملکرد بهتر است که به‌وسیله دید سامانه‌ای سنتی قابل دستیابی نیست[3].

۱-۲ طرح مسئله

توسعه SoSs چالش‌های بسیاری را به همراه دارد. این سامانه‌ها اغلب پیچیده اند(توزیع‌شده، ناهمگن، شبکه محور، وابسته به نرم‌افزار). ولی با این‌حال باید قابلیت اطمینان بالایی داشته باشند. فهم، فرمول‌بندی زمان‌بندی امکان‌پذیر[2] و برآورده‌سازی[3] آن و توصیف نیازمندی‌های ایمنی این گونه سامانه‌ها بسیار مشکل است. به دو دلیل تکنیک‌ها و رویکردهای مورد استفاده برای توسعه SoS اغلب به خوبی درک نشده‌اند[4]:

- مالکین و توسعه‌دهندگان SoSs از سازمان‌های متفاوتی هستند.
- اجزای اصلی سازنده SoS در مراحل مختلفی از چرخه حیات خود قرار دارند.

در حال حاضر چالش اصلی روش‌های مهندسی SoS کمبود مدل‌ها و ابزار برای کمک به توسعه‌دهندگان است. مهندسین برای تصمیم‌های حساس درطی مراحل طراحی و توسعه نیاز به ابزارها و مدل‌هایی دارند تا بتوانند به قراردادهایی دقیق بین اجزای اصلی و کل SoS برسند و راه‌حل مناسبی برای آن داشته باشند. کمبود ابزار باعث می‌شود که طراحی غیربهینه‌ای داشته‌باشیم که به هنگام یکپارچه‌سازی[4] و خدمت‌رسانی SoS منجر به هزینه‌های اضافه می‌شود[5]. همچنین قابل ذکر است توسعه SoSs همواره افراد و تیم‌های کاری مختلفی را درگیر خود می‌کند. در نتیجه به علت حضور عوامل انسانی و نقطه‌نظرات متفاوت، وجود تناقضات در توصیف‌ها اجتناب‌ناپذیر خواهدبود.

---

[1] System of Systems

[2] Feasible

[3] Satisfy

[4] Integration

در این پژوهش سعی شده است به‌منظور رفع برخی از مشکلاتی که پیش از این بیان شد، مانند کمبود روش‌های مدل-سازی و اجتناب از تناقض در توصیفات، روشی برای مدل‌سازی SoSs ارائه شود. در حال حاضر برای مدلسازی SoSs دو دسته روش وجود دارد. دسته اول روش‌های سنتی مدل‌سازی سامانه‌ها هستند که قابلیت استفاده برای مدل‌سازی SoSs را نیز دارند؛ مانند روش قطعات سازنده[1] و روش مدل V[2]. دسته دوم روش‌های مختص SoSs هستند که به طور مشخص برای مدل‌سازی SoSs استفاده می‌شوند؛ مانند روش رده‌بندی و فرهنگ معانی مرتبط[3]، روش تعریف مشخصه‌های[4] روش تعریف رابطها و روش‌های ترکیبی که حاصل استفاده از چند روش با هم است.

مطابق آنچه که بیان شد تعریف مشخصه‌های SoS، یکی از روش‌های مدل‌سازی و توصیف SoSs است. این مشخصه‌ها شامل خودمختاری[5]، تعلق[6]، اتصال[7]، تنوع[8] و برآیش[9] هستند. روش کنونی تعریف مشخصه‌های SoS مشکلات وکاستی-هایی دارد که نیاز است مرتفع شوند. مشخصه‌ها به صورت ناهمگن مدل شده‌اند. خودمختاری عددی در بازه صفر تا بی-نهایت است. تعلق به صورت نسبت بیان شده و مقداری بین صفر تا «1» دارد. تنوع یک مقدار منطقی است(درست یا غلط) و اتصال نیز مقداری منطقی برای هر دو عضو SoS به جز مجموعه اهداف دارد. مدل‌سازی سامانه و SoS در روش کنونی نیاز به بازبینی دارد؛ بهتر است تعریف مشخصه‌های SoSs کامل‌تر شوند. همچنین هیچ تحلیلی بر روی مقدار کمّی این مشخصه‌ها صورت نگرفته و نیاز است برای ایجاد سنجه‌ای برای رده‌بندی SoSs بر اساس مقادیر به دست آمده برای مشخصه‌ها، تحلیل‌های مقتضی صورت بپذیرد.

---

[1] Building Blocks
[2] V-Model
[3] Taxonomy And Related Lexicon
[4] Characteristics
[5] Autonomy
[6] Belonging
[7] Connectivity
[8] Diversity
[9] Emergence

۱-۳ اهمیت پژوهش

با ایجاد روشی برای مدل‌سازی SoSs و تعریف مشخصه‌های آنها چند مزیت حاصل می‌شود. ایجاد شیوه‌ای برای تمایز بین سامانه‌ها و SoSs به صورت رسمی و قاعده‌مند، تعریف دقیق از مشخصه‌های SoS و ایجاد شیوه‌ای برای اندازه‌گیری این مشخصه‌ها و ایجاد بستری برای رده‌بندی SoSs با استفاده از گروه‌بندی‌های موجود، از این مزایا هستند. در ادامه به اهمیت استفاده از روش‌های صوری می‌پردازیم که در این پایان‌نامه جهت مدل‌سازی SoSs و تعریف مشخصه‌های آنها به کار گرفته شده‌اند.

استفاده از فرمالیسم‌ها[1] و روش‌های صوری کمک شایانی به وضوح و دقت توصیف می‌کند. فرآیند توصیف صوری می‌تواند به توسعه‌دهندگان درک عمیق‌تری از سامانه‌ای که توصیف می‌شود بدهد به‌طوری‌که عیوب نیازمندی‌ها، تناقضات، ابهامات و نقص‌ها را آشکار کند. محصولاتی را که خروجی این فرآیند هستند، می‌توان به صورت صوری تحلیل کرد تا تناقضات وارسی شود یا خواص دیگر سامانه توصیف‌شده را از آن‌ها استخراج کرد. توصیف صوری همچنین امکان خودکارسازی آزمون، کشف خطای زمان اجرا و رسیدگی به موارد استثنا[2] را فراهم می‌آورد[6]. همچنین کنترل سازگاری توصیف نیازمندی‌های اجزای یک سامانه و توصیف کل آن به شکل صوری نسبت به دیگر روش‌ها ساده‌تر است. ایجاد فرمالیسمی با ویژگی‌های فوق مزایایی دارد. یک مزیت این است که می‌توان اشتباه در تشخیص میان سامانه، SoS، FoS[3] و مانند آن‌ها را تا حد بسیاری مرتفع ساخت. برای مثال یک اشتباه متداول این است که مجموع سامانه‌های حمل و نقل شهری را یک SoS می‌دانند، اما در حقیقت مجموع سامانه‌های حمل و نقل شهری یک FoS است. یک تفاوت ظریف بین FoS و SoS وجود دارد که به راحتی قابل تشخیص نیست و آن این است که برخلاف SoS در FoS هیچ هم‌افزایی وجود ندارد[10]. با وجود فرمالیسم مذکور چنین تشخیص‌هایی تصحیح می‌شوند. مزیت دیگر در این است که همانطور که

---

[1] معادل فارسی فرمالیسم برابر صوری‌گرایی است که البته هنوز به تصویب فرهنگستان درنیامده‌است، بنابراین به دلیل متداول نبودن در ادبیات علمی کنونی از همان فرمالیسم استفاده می‌شود.

[2] Exception Handling

[3] Family of Systems

در ادامه تحقیق و در فصل دوم بیان شده SoSs انواع دارند؛ مقادیر مشخصه‌ها نیز در این انواع فرق دارد. مثلا در SoSs هدایت‌شده مشخصه برآیش بسیار کنترل‌شده است. فرض شود که در پروژه توسعه یک SoS که در حوزه فناوری‌های فضایی کار می‌کند نیاز باشد مخاطره حاصل از مشخصه برآیش به حداقل برسد؛ پس نیاز است یک SoS داشته‌باشیم که در آن برآیش بسیار کنترل شده‌باشد. فرمالیسم مذکور در تشخیص این SoSs نیز می‌تواند بسار مفید باشد.

۱-۴ محدوده پژوهش

این تحقیق دو محدوده اصلی دارد:

- SoS و مفاهیم مرتبط: سامانه‌ها، SoSs و FoSs، مشخصه‌های قابل تعریف برای آنها و روابط مابین این مفاهیم.
- روش‌های صوری: در این پژوهش برای توصیف صوری از تئوری عمومی مجموعه‌ها، مجموعه‌های فازی و منطق مرتبه اول استفاده شده است.

در چرخه حیات SoSs مراحل مختلفی وجود دارد که رویکرد این تحقیق به‌طور خاص به توصیف برگرفتی[1] و ایستا که در حالت پایدار از SoS گرفته شده می‌پردازد. این توصیف می‌تواند معیاری برای اندازه‌گیری و مقایسه مشخصات SoSs و در نتیجه ایجاد شیوه‌ای برای سنجش خود SoSs باشد.

۱-۵ اهداف پژوهش

۱-۵-۱ اهدف اصلی

این پژوهش به دنبال توسعه یک فرمالیسم ایستا است که بتوان به‌وسیله آن برگرفت SoSs و در کنار آن سامانه‌ها و FoSs را نیز مدل‌سازی کرد. سپس با استفاده از مدل استخراجی بستری فراهم آورد تا بتوان برای مشخصات SoSs و شیوه اندازه‌گیری آنها در برگرفت SoS تعریف رسمی و دقیقی ارائه داد. پس از نیل به دو هدف قبلی با استفاده از این

[1] Snapshot

تعاریف، شیوه‌ای برای قرار دادن سامانه‌ها، SoSs و FoSs روی یک طیف و همچنین طیف‌بندی خود SoSs درون این طیف معرفی می‌شود.

۱-۵-۲ اهداف فرعی

هنگامی که اهداف اصلی برآورده شوند، به طور ضمنی نتایج دیگری نیز حاصل می‌شود:

- مقایسه‌پذیر کردن سامانه‌های تشکیل‌دهنده SoS: در ادامه بیان می‌شود که گروهی از مشخصه‌های SoS برای سامانه‌های تشکیل‌دهنده آن هم قابل تعریف‌اند؛ بنابراین با تعریف این مشخصه‌ها و کمّی‌سازی آن‌ها می‌توان با در نظر گرفتن مقدار هر مشخصه برای سامانه‌های تشکیل‌دهنده، آن‌ها را با هم مقایسه کرد.
- رصد و مقایسه یک سامانه که عضو چند SoS است با خود آن سامانه: در ادامه خواهیم دید که اندازه کمّی مشخصه-های قابل تعریف برای سامانه‌های تشکیل‌دهنده SoS وابسته به SoS است که در آن عضو است و با توجه به اینکه ممکن است یک سامانه عضو چند SoS باشد، آنگاه با نگاه به مقدار کمّی مشخصه‌های سامانه در هر SoS، می‌شود سامانه را با خودش مقایسه کرد.
- مقایسه پذیر کردن SoSs: با تعریف مشخصه‌های SoS و کمّی‌سازی آن‌ها می‌توان با در نظر گرفتن مقدار هر مشخصه برایSoSs آن‌ها را با هم مقایسه کرد.
- با توصیف تصویر لحظه‌ای سامانه، SoS و FoS می‌توان بستری فراهم آورد تا بر پایه این مدل‌ایستا، مدل‌های پویایی را نیز توسعه داد.

۱-۶ پرسش‌های پژوهش

در این تحقیق سعی شده به پرسش‌های زیر پاسخ داده شود:

- چه چیزی سامانه‌ها، SoSs و FoSs را از یکدیگر متمایز می‌سازد؟
- فرمالیسم پیشنهادی به چه نحوی باید SoSs را مدل‌سازی کند تا بتواند از آن برای تعریف مشخصه‌های SoSs نیز سود بجوید؟
- مشخصه‌های SoS چیست و فرمالیسم پیشنهادی چگونه باید آن‌ها را مدل‌سازی کند؟

- در فرمالیسم پیشنهادی چه شیوه‌ای باید به کار برد تا بتوان سامانه‌ها، SoSs و FoSs را با یکدیگر مقایسه کرد؟
- در فرمالیسم پیشنهادی برای طیف‌بندی سامانه‌ها، SoSs و FoSs در کنار هم و نیز طیف‌بندی خود SoSs باید چه راه‌کاری را در نظر گرفت؟

۱-۷ ساختار پژوهش

در فصل 2 به طرح ادبیات حوزه پژوهش پرداخته می‌شود. تعاریف اولیه مانند سامانه، SoS و مشخصه‌های آن و همچنین FoS در این فصل بیان می‌شود. فصل 3 به تشریح کارهای انجام شده در این زمینه اختصاص دارد. از مهم‌ترین این پژوهش‌های بررسی شده می‌توان به مدلسازی .B.S و پژوهشی در باب زیست‌شناسی SoS اشاره کرد. در فصل 4 به تشریح فرمالیسم پیشنهادی برای توصیف صوری SoSs و مفاهیم پیرامون آن پرداخته شده است. ابتدا تعاریف اولیه مورد نیاز برای برای تعاریف صوری سامانه، SoS و FoS مطرح شده سپس خود این تعاریف؛ در ادامه تعاریفی برای مشخصه‌های SoS انجام شده و در نهایت شیوه‌ای برای رده‌بندی سامانه‌ها SoS و FoS مطرح شده است. در فصل 5 نیز مطالعه موردی و نتیجه‌گیری صورت گرفته است مطالعه موردی به دو شیوه قدیمی و شیوه پیشنهادی در این پژوهش مدل‌سازی شده و در نهایت به مقایسه و نتیجه‌گیری از نتایج حاصل از این مدل‌سازی‌ها پرداخته شده است.

۲ فصل دوم: مروری بر مفاهیم بنیادی و ادبیات موضوع

۲-۱ مقدمه

در این فصل به مرور کلی مفاهیم و ادبیات پیرامون موضوع تحقیق پرداخته می‌شود. ابتدا سامانه تعریف شده، پس از آن بر اساس تعریف سامانه، SoS معرفی خواهد شد. در ادامه مشخصه‌های SoS و روابط آن‌ها با یکدیگر تشریح می‌گردند؛ سپس گروه‌بندی وزارت دفاع ایالات متحده در مورد SoS مطرح می‌شود.

۲-۲ تعریف سامانه

در دنیای پیرامون سامانه‌های گوناگونی دیده‌می‌شوند. سامانه‌های بسیار بزرگی چون «منظومه شمسی» که خود جزئی از«سامانه کهکشان راه‌شیری» است؛ همچنین خود کهکشان راه‌شیری نیز یکی از سامانه‌های کهکشانی بی‌شمار کیهانی است و یا سامانه‌های بسیار کوچکی مانند «سامانه‌های مولکولی و اتمی» در قلمروی فیزیک. سامانه‌های بزرگ و کوچک مختلف دیگری نیز وجود دارند. «سامانه‌های مکانیکی و الکتریکی» مثل موتورها و مولدهای برق، «سامانه‌های الکترونیکی و رایانه‌ای» مانند سخت‌افزارهای رایانه‌ای و سامانه‌های کنترل نیروگاهی، «سامانه‌های نرم‌افزاری» مانند سامانه‌های حسابداری و سامانه‌های اداری، «سامانه‌های بیولوژیکی» مانند انسان، حیوانات، نباتات و سامانه‌های سلولی، «سامانه‌های اجتماعی» مانند کارخانه ها، احزاب سیاسی و خانواده و «سامانه‌های طبیعی» که بدون دخالت انسان کار می کنند؛ مانند جنگل‌ها و رودخانه‌ها که هر یک از آنها، سامانه مستقل و خاصی است. هنگامی که یکی از انواع سامانه‌ها با نوع دیگری درهم‌آمیزد، مفهوم جدیدی به نام سامانه‌های ترکیبی[1] پدید می‌آید. مثلا وقتی که یک سامانه بیولوژیکی با یک سامانه مکانیکی ترکیب شود؛ مانند هنگامی که انسانی اتومبیل یا هواپیمایی را هدایت‌می‌کند که به آن «سامانه‌های انسان به‌علاوه ماشین» اطلاق می‌شود و گونه‌ای از سامانه‌های ترکیبی است.

سامانه مجموعه‌ای از اجزا و روابط میان آن‌ها است که توسط ویژگی‌های معین، به هم وابسته یا مرتبط می‌شوند و این اجزا با محیطشان یک کل را تشکیل می‌دهند[7].

---

[1] Hybrid

سامانه چیزی است که انسجام و شکل خود را از تعامل بین اجزایش می‌گیرد. سازمان‌ها، ملت‌ها، خانواده‌ها و موجودات زنده، بدن‌ها، برنامه‌های تلویزیونی، افراد و اتم‌ها همگی سامانه هستند. سامانه‌ها با این واقعیت تعریف می‌شوند که عناصر آنها هدف مشترکی دارند که به شکل مشابهی رفتار می‌کنند. علت این رفتار مشترک این است که آنها در مسیر هدف مشترکشان حرکت می‌کنند[8].

همانطور که دیدیم مفهوم سامانه در حوزه‌های مختلفی از علم کاربرد داشته و در هر یک از حوزه‌ها نیز تعریف منحصر به فرد خود را دارد. اما میان تمام آن‌ها مشترکاتی وجود دارد. بر اساس [9] بین تمام سامانه‌ها این هشت مورد مشترک است:

- مرز میان سامانه و محیط
- ورودی
- خروجی
- فرایند
- حالت
- سلسله مراتب[1]
- هدف‌دار بودن[2]
- اطلاعات

۲-۲-۱ تعریف سامانه در حوزه SoS

در این بخش تعاریفی از سامانه که در حوزه SoSs مطرح شده و کاربرد دارد معرفی شده و در نهایت تعریفی که مبنای کار این تحقیق است، مطرح خواهد شد.

---

[1]Hierarchy

[2]Goal-directedness

ابتدا تعریف وزارت دفاع آمریکا بیان می‌شود که در [10] آمده است. «سامانه به گروهی از عناصر اطلاق می‌شود که به همدیگر وابسته[1] اند یا با یکدیگر به طرز قاعده‌مندی تعامل دارند؛ این گروه از لحاظ کارکردی[2]، فیزیکی، و/یا رفتاری با یکدیگر مرتبط اند و یک کل یکتا را تشکیل می‌دهند».

تعریف بعدی که در [11] آمده است بیان می‌کند: «سامانه گردایه‌ای از موجودیت‌ها و روابط متقابل آن‌ها است که در کنار هم قرار گرفته اند تا یک کل را تشکیل دهند که از جمع تک‌تک آن‌ها بیشتر است».

در [12] چند تعریف ذکر شده است، که به ترتیب مرور می‌شوند. اولین تعریف بیان می‌کند که سامانه به « گروه یا ترکیبی از چند پاره[3](جزء) مانند افراد، دستگاه[4] و غیره که در کنش‌های خود برای رسیدن به یک سری اهداف مرتبط اند» گفته می‌شود. دومین تعریف می‌گوید: «سامانه مجموعه‌ای از مؤلفه[5]های به هم مرتبط است که برای رسیدن به منظور[6] و مقصود[7]ی مشترک با یکدیگر کار می‌کنند.» در این تعاریف سه مورد، مشترک به نظر می‌رسد: اول اینکه سامانه از عنصر(بن‌پار)هایی تشکیل شده که قادر به انجام کنش هستند. دوم اینکه این عناصر به هم مرتبط اند و سوم اینکه ترکیب مؤلفه‌ها باید هدف یا مقصودی مشترک داشته باشند. در نهایت تعریف سامانه به این شرح است: «مجموعه‌ای از عناصر که برای دستیابی به اهدافی مشترک کنش و واکنش می‌کنند.»

تعریفی که در این تحقیق بر اساس آن کار می‌شود به این تعریف آخر نزدیک‌تر است و در بخش مدل پیشنهادی مطرح خواهدشد.

---

[1] Interdependent
[2] Functional
[3] Part
[4] Machine
[5] Component
[6] Objective
[7] Purpose

۲-۳ تعریف SoS

دیری است که تفکرات در مورد سامانه‌ها بیشتر حول طراحی داخلی، اجزا و روابط آنها است. از همین رو طراحی بیرونی و تمامی مفاهیمی را که شامل می‌شود مانند اثر خارجی، مالکیت و تطبیق نادیده گرفته‌شده یا فقط مواردی از آن که در طراحی داخلی سامانه مؤثر است درنظر گرفته شده‌است. تقریبا همه افراد متخصص در این حوزه، مانند فرماندهان نظامی یا مدیران عامل در مورد سامانه‌های تحت اختیارشان به این نکته اشاره می‌کنند که: «من به عنوان هدف بیشتر به توانایی تحمل شرایط و کامیابی سامانه در محیط های نامطمئن اهمیت می‌دهم تا اینکه سامانه چطور ساخته شده‌است. محیطی که همواره در حال تغییر است؛ تغییراتی که انواع ناشناخته‌ای دارند و به نظر می‌رسد مصرانه، کمر به از بین بردن سامانه‌ی تحت اختیار من بسته‌اند»[11].

مهم‌ترین مورد در این سامانه‌ها توجه به کلیت آن است. باید مفاهیمی فراتر از ساختار و اجزا را مورد توجه قرار داد. باید این مفهوم را درک کرد که اجزا از طریق کنترل یکدیگر، چیزی بیش از ماهیت اصلی خود را دارند و تشکیل‌دهنده مفهومی سطح بالاتر هستند. SoS به این مفهوم اشاره می‌کند که سامانه‌هایی وجود دارند، تشکیل یافته از اجزا، که خود این اجزا سامانه بوده و طراحان خود و قوانین مربوط به خود را دارند. این سامانه‌ها هرکدام بر اساس قوانینی در کنار هم قرار می‌گیرند و با یکدیگر ارتباط دارند. SoSs اما فراتر از این هستند؛ هدفی در سطح بالا دارند و به دنبال انجام فعالیت خاصی هستند. قابلیت تغییر از خود نشان می‌دهند و توانایی عمل دارند. شخصیتی دارند، فرای اجزایشان. شاید مثالی این موضوع را روشن کند. یک تیم ورزشی معروف(بارسلونا در فوتبال یا لس‌آنجلس لیکرز در بسکتبال و ...) چیزی فراتر از بازیکنان یا مربیان آن تیم است. کسی منکر تأثیر شگرف بازیکنان یا مربیان در این تیم‌ها نیست؛ اما سیر توسعه و پیشرفت این تیم‌ها را که ببینید، می‌توانید درک کنید که این تیم‌ها در سیر زمان شخصیتی پیدا کرده‌اند که فرای اجزای آنان است و بیشتر هواداران آنها نیز به دنبال شخصیت اصلی این تیم‌ها هستند نه اجزای آن. بنابراین باید به دنبال شناسایی و به کارگیری مفاهیم در این حوزه‌ها بود تا بتوان از قابلیت‌های آنها سود برد و حرکت را به سوی تعالی ادامه داد.

تعاریف مختلفی برای SoS ذکر شده است. گروهی از این تعاریف را به نقل از منابع مختلف می‌آوریم.

در ابتدا به سند منتشر شده وزارت دفاع آمریکا ارجاع می‌شود[10]. در این سند در تعریف SoS آمده است: «مجموعه یا ترتیبی[1] از سامانه‌های مستقل و مفید است؛ هنگامی که این سامانه‌ها با یکدیگر یکپارچه شدند و به صورت سامانه بزرگ-تری درآمدند، قابلیت‌های منحصر به‌فردی را از خود بروز دهد».

در [3] موارد متعددی برای تعریف SoS ذکر شده‌است که در ادامه بیان می‌شوند:

- تعریف یکم: سامانه‌هایی از سامانه‌ها زمانی به وجود می‌آید که اکثریت این پنج خصوصیت استقلال عملکردی و مدیریتی، توزیع‌شدگی جغرافیایی، رفتار برآینده[2] و توسعه تکاملی در سامانه حضور داشته باشند[13].
- تعریف دوم: سامانه‌هایی از سامانه‌ها، سامانه‌های مقیاس وسیعی هستند که هم‌زمان و توزیع‌شده اند و تشکیل سامانه‌های پیچیده‌تری می‌دهند[13] و [14].
- تعریف سوم: مهندسی سامانه‌ای از سامانه‌های سازمانی، بر روی هماهنگ‌سازی فعالیت‌های مهندسی سامانه‌ی سنتی با فعالیت‌های راهبردی، برنامه‌ریزی و تحلیل سرمایه‌گذاری در سازمان تمرکز دارد[14].
- تعریف چهارم: یکپارچه‌سازی سامانه‌ای از سامانه‌ها شیوه‌ای است که در آن به دنبال توسعه، یکپارچه‌سازی، تعامل و بهینگی در سامانه‌ها هستیم تا عملکرد را در حوزه‌های اجرایی آتی بهبود بخشیم[15].
- تعریف پنجم: SoSE[3] (مهندسی SoS) مفهوم یکپارچگی سامانه‌ها را وارد سامانه‌هایی از سامانه‌ها می‌کند تا به صورت بسیار عمده‌ای به شکل‌دهی زیرساخت‌های اجتماعی کمک کند[16].
- تعریف ششم: درموضوع نبردهای نظامی هدف سامانه‌ای از سامانه‌ها ایجاد تعامل و هم‌افزایی میان سامانه‌های فرماندهی، کنترل، رایانه‌ها، ارتباطات و اطلاعات(C4I[4]) و هوشمندی، مراقبت و شناسایی(ISR[5]) است[17].

---

[1] Arrangement

[2] Emergent behavior

[3] SoS Engineering

[4] Command, Control, Computers, Communications, and Information

[5] Intelligence, Surveillance, And Reconnaissance

آخرین تعریفی که در این بخش ارائه می‌شود از [11] است.« SoS گونه‌ای از سامانه[ها] است که [خود] از سامانه‌های سنتی تشکیل شده و به‌وسیله پویایی مشخصه‌های خودمختاری، تعلق، اتصال، تنوع و برآیش [از دیگر انواع آن] متمایز می-شود». این تعریف پایه اصلی توصیف‌های مربوط به SoS در این تحقیق است. در بند بعدی مشخصه‌های معرفی شده در تعریف بالا را تشریح خواهیم کرد.

۲-۴ مشخصات SoS

در تعریف SoS پنج مشخصه ذکر شد به نام‌های: خودمختاری، تعلق، اتصال، تنوع و برآیش. در ادامه به ترتیب این مشخصات معرفی خواهند شد. سه مشخصه ابتدایی یعنی خودمختاری، تعلق و اتصال به عنوان مجموعه شایستگی[1] گروه شناخته می‌شوند و درحالی که تنوع و برآیش از سه مشخصه ابتدایی بهره‌جویی[2] می‌کنند. در ادامه خواهیم دید که سه مشخصه اول در مورد سامانه‌های تشکیل‌دهنده SoS هستند، در حالی که دو مشخصه دیگر در مورد خود SoS است. در ابتدا تمام مشخصات به صورت خلاصه در جدول 1 آورده می‌شوند. پس آن مختصری در مورد هر کدام بحث خواهد شد.

[1]Competency

[2]Exploit

جدول ۱: اساس و تشریح مشخصه‌های SoS[۱۸]

مشخصه	تعریف	انگیزه	منشأ[1]
خودمختاری	توانایی انجام انتخاب‌های مستقل، حق داشتن دلیل وجودی و رسیدن به مقاصد خود از طریق بروز رفتارها[ی مناسب].	حضور سامانه‌های موروثی در SoS ضروری است. اما SoS مقاصدی فراتر از سامانه‌های تشکیل-دهنده خود دارد، به طور مستقل یا مضاف بر آنچه که هست.	استقلال عملیاتی و مدیریتی
تعلق	رضایتی که در یک رابطه امن یافت می‌شود.	سامانه‌های موروثی برای خدمت در SoS ممکن است دستخوش تغییرات (ریشه‌ای) شوند.	مأموریت مشترک
اتصال	توانایی یک سامانه برای برقراری پیوند با سایر سامانه‌ها.	سامانه‌های موروثی که برای SoS در نظر گرفته شده‌اند احتمالا بسیار ناهمگون بوده و با پروتکل-های اتصال پیش‌بینی‌شده مطابقت[2] ندارند. SoSs در تهدیدهای پویای عملیات، متکی به اتصال مؤثر هستند.	وابستگی[3]، توزیع‌شدگی، شبکه‌شدن، راه‌حل‌های متعدد، تعامل‌پذیری[4]
تنوع	ناهمگونی مشهود، داشتن عناصر با کیفیت‌های متمایز[5] و متفاوت در یک گروه؛ تنوع در هویت فرهنگی و اجتماعی افراد که در مجموعه عملیاتی قرار دارند.	سامانه های موروثی برای کار با یکدیگر با اولویت SoS مورد نظر طراحی نشده‌اند. SoS فقط از طریق استفاده از تنوع در سامانه‌های تشکیل‌دهنده می‌تواند به مقاصد والاتر خود دست یابد.	استقلال، تنوع ، ناهمگونی
برآیش	ظهور مشخصه‌های جدید در دوره توسعه یا تکامل[6]	مرز برای سامانه امری ضروری است. همه سامانه‌ها برآینده[7] هستند. مشخصه برآیش برای به وجود آمدن به مرز خوش‌تعریف نیاز دارد. SoS با وجود اینکه مرزهای پویایی دارد، ولی در عین حال این مرزها خوش تعریف نیز هستند. توصیه می‌شود در SoS مشخصه برآیش به‌وسیله چابکی بهبودیافته و تطبیق‌پذیری توسعه بیابد.	تکامل، هوشمندی، هم-افزایی، پویایی، تطبیق-پذیری

[1] Provenance
[2] Conform
[3] Interdependence
[4] Interoperability
[5] Distinct
[6] Evolution
[7] Emergent

۲-۴-۱ خودمختاری

تعریف مورد پذیرش از خودمختاری در این تحقیق از [12] نقل می‌شود: «توانایی نیل به اهداف درون محدوده موجودیت(هستار) بدون کنترل موجودیتی دیگر». همان‌طور که در [11] و [12] آمده تحقق خودمختاری در سامانه بسته به توانایی اجرای یک سری کنش در راستای نیل به اهداف مشخص شده سامانه است. آن دسته از اهدافی که به طور مشخص متعلق به خود سامانه است و مربوط به موجودیت دیگری نیست. این مشخصه با این هدف در سامانه‌های تشکیل دهنده SoS آمده تا از طریق ارتقای عملکرد سامانه مشارکت سامانه را در رسیدن به اهداف سطح بالای SoS افزایش دهد[2] و [19].

۲-۴-۲ تعلق

تعلق دومین مشخصه سامانه‌های تشکیل دهنده SoS است که تعریف آن که از [12] نقل می‌شود به این شرح است:« توانایی پذیرش و نیاز به مشارکت ارزشمند در نیل به اهداف موجودیت بزرگتر (مانند SoS)». یعنی اینکه سامانه توانایی گسترش اهداف خود را به اهداف آن SoS که در آن قرار دارد، داشته باشد یا اهداف آن را به اهداف خود بیافزاید. این تعریف روشن می‌سازد که میزان اشتراک اهداف سامانه با اهداف SoS تعیین کننده میزان تعلق آن به SoS است. اگر به دقت به موضوع نگریسته شود، قابل درک است که تعلق و خود مختاری رابطه معکوس با یکدیگر دارند. چرا که با افزایش تعلق سهم اهدافی نیز که در راستای اهداف SoS هستند، افزایش یافته و سهم اهداف سامانه در کل اهداف کاهش می‌یابد. به‌طور معمول تعلق با متعادل کردن خودمختاری و درخواست واگذاری بخشی از استقلال سامانه در جهت منفعت SoS گام برمی‌دارد[12].

۲-۴-۳اتصال

«اتصال مشخصه‌ای بنیادین برای آینده سامانه است». در سامانه‌های سنتی معمولا بین عناصر تشکیل دهنده ارتباط در حداقل(کمینه) سطح خود نگاه‌داشته می‌شود، به طوری که تعداد ارتباطات از 15% ممکن آن نباید بیشتر شود. اما در SoS این موضوع به دلایل بنیادین قابل اعمال نیست[11]، چراکه نیاز است سامانه‌های موروثی و منابع آن‌ها به سامانه‌های جدید

متصل شوند. تعریف مورد پذیرش در این تحقیق از اتصال عبارت است از:«توانایی سامانه برای ارتباط با دیگر سامانه-ها»[18]. این توانایی برای رفع نیاز و در راستای سود رسانی به موجودیت[1] است [12]. وقتی این سامانه عضو SoS باشد، آنگاه بخشی از این سودرسانی متوجه اهداف عمومی متعلق به SoS است [19]. پس در نهایت آنچه تعیین کننده میزان اتصال سامانه در SoS است، سامانه‌هایی است که سامانه مورد نظر با آنها ارتباط دارد.

۲-۴-۴ تنوع

تعریف تنوع به این شرح است: «ناهمگونی مشهود، داشتن عناصر یا کیفیت‌های متمایز و متفاوت در یک گروه؛ تنوع در هویت فرهنگی و اجتماعی افراد که در مجموعه عملیاتی قرار دارند». تنوع از طریق گوناگونی در زاویه‌دید، فرایند، فناوری و کاربردپذیری، غنای سامانه را حفظ می‌کند و SoS باید توانایی سود جستن از این مشخصه را داشته باشد[18]. به این صورت که هر چه گوناگونی کنش‌های قابل انجام برای سامانه کنترل‌کننده بیشتر باشد، سامانه از پس آشفتگی‌های بیشتری بر می‌آید[11]. در واقع SoS به‌طور ضروری باید در مقایسه با سامانه‌های سنتی تنوع بیشتری در قابلیت‌های خود داشته باشد[12]. اگر نحوه ارتباط تنوع با خودمختاری بیان شود، می‌توان گفت که که تنوع ضامن گونه‌گونی در کنش‌ها و قابلیت‌های سامانه‌های تشکیل دهنده SoS است؛ اما خودمختاری متضمن این است که این قابلیت ها و کنش‌ها در راستای اهداف سامانه باشند[12]. با توجه به آنچه در اینجا شرح دادیم دو عامل در میزان تنوع دخیل است. اول تعداد سامانه‌های تشکیل‌دهنده SoS؛ به این معنی که هرچه تعداد این سامانه‌ها بیشتر باشد، تنوع در سامانه رو به افزایش است. عامل دوم میزان شباهت سامانه‌ها به یکدیگر است. یعنی هر چه میزان شباهت سامانه‌ها با یکدیگر بیشتر باشد، با افزایش تعداد سامانه‌ها تنوع رشد کمتری می‌کند. میزان شباهت را می‌توان تابعی از سه مشخصه خودمختاری، تعلق و اتصال نیز دانست. لازم به ذکر است همانطور که پیش از این بیان شد، مشخصه تنوع یک مشخصه بهره‌بردار است، یعنی از سه مشخصه شایستگی برای به‌وجود آمدنش بهره‌برداری می‌کند.

---

[1] Entity

۲-۴-۵ برآیش

«طبق تعریف وقتی که قطعات و روابط بین آن‌ها گردهم‌می‌آیند آنچه که از آن‌ها برمی‌آید سامانه است.[پس] تمام سامانه‌ها برآینده هستند». مشخصه‌ها، رفتارها و مقاصد که به یک سامانه نسبت داده می‌شوند نیز می‌توانند برآینده باشند[18]. برآیندگی در ذات سامانه‌ها است. «برآیندگی حرکت از قوانین سطح پایین به کمال[1] سطح بالاتر است»[11]. تعریفی که در این تحقیق بر اساس آن اقدام می‌شود به این ترتیب است: برآیش عبارت است از « ظهور مشخصه‌های جدید در دوره توسعه یا تکامل». تفاوتی که در برآیش سامانه‌های سنتی با برآیش در SoS ها وجود دارد این است که در سامانه-های معمولی برآیش به قصد و به عمد در آن‌ها طراحی شده ولی در SoS علاوه برآنچه که طراحی شده برآیندگی از ذات عامل‌های دیگر نیز برمی‌آید: با حفظ خودمختاری سامانه‌های تشکیل دهنده، با انتخاب تعلق به SoS، غنی کردن اتصال و با تعهد به تنوع در رفتارها و ظواهر SoS[11]. بنابراین نکته مهم، منشأ و خواستگاه برآیندگی در سامانه است چراکه تمام سامانه‌ها برآینده هستند.

۲-۴-۶ تحلیل مشخصه‌های SoS

مشخصه‌های SoS مطلق نیستند به این معنی که در طیفی در بین سامانه و SoS قرار می‌گیرند. این مشخصه‌ها برای سامانه‌های متفاوت در جاهای متفاوتی از طیف‌های خود قرار می‌گیرند. این طیف‌ها در جدول 2 معرفی می‌شوند.

[1] Sophistication

جدول ۲: مشخصه‌های *SoS* و طیف‌های آن[۱۸] و [۱۱]

سامانه‌ای از سامانه‌ها	مشخصه	سامانه‌ای از زیرسامانه‌ها
استقلال خودمختاری توسط سامانه‌های تشکیل‌دهنده در جهت نیل به اهداف SoS به کار گرفته می‌شود.	خود مختاری	انطباق خودمختاری توسط اجزا واگذار می‌شود تا خودمختاری سامانه تأمین شود.
تمرکززدایی سامانه بر اساس سود/ هزینه، نیل بهتر به اهداف خود و باور به اهداف بالادستی SoS تعلق را انتخاب می‌کنند.	تعلق	تمرکزگرایی اجزا به والدین خود وابسته اند و به خواست خود به وجود نیامده‌اند. تعلق جزئی از ذات آن‌ها است.
شبکه‌مرکز[1] به صورت پویا توسط سامانه‌های تشکیل دهنده تأمین می‌شود. همراه با تمامی هزاران اتصال ممکن که به وسیله معماری شبکه مرکز میسر می‌شود تا قابلیت‌های SoS را بهبود دهد.	اتصال	بسترمرکز[۲] طراحی آگاهانه، برای مثال با توجه به اجزا سازنده، با ارتباطات زیاد پنهان در درون اجزا و ارتباطات کم در بین زیرسامانه‌های اصلی
ناهمگون تنوع در SoS به واسطه آزاد گذاشتن خودمختاری، تعلق متعهدانه و اتصال باز قابل دستیابی است.	تنوع	همگون تنوع مدیریت شده، برای مثال به‌وسیله سلسله-مراتب پیمانه‌ای کاهش یافته یا کمینه‌سازی شده‌است. تنوع اجزا در درون پیمانه‌های شناخته‌شده و مجزا پوشینه‌دار[3] شده‌است، به طوری که این پیمانه‌ها به صورتی ذاتی مفاهیمی ساده‌شده را به سطح بعدی سلسله-مراتب بازتاب دهد.
تطبیق‌پذیری به واسطه‌ی غیر قابل پیش‌بینی بودن خودخواسته، برآیش بهبود می‌یابد. با این حال بسیار حیاتی است که با وجود فضای مناسب برای مشخصه برآیش، رفتارهای نامناسب را به سرعت آشکار ساخت و آن‌ها را از بین برد.	برآیش	پیش‌بینی‌شده تمام رفتار های بد و خوب سامانه پیش‌بینی‌شده و به طور مناسبی طراحی شده یا مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

[1]Network-centric

[2]Platform-centric

[3] Encapsulate

۲-۴-۷ رابطه میان مشخصه‌های SoS

موضوع واضح این است که مشخصه‌های SoS جدا از یکدیگر نیستند. یعنی بر روی یکدیگر اثر دارند. رابطه‌هایی که این مشخصه‌ها دارند، به طور خلاصه در جدول 3 آمده است. در ادامه تحلیلی بر روی آن‌ها ارائه شده‌است.

جدول ۳: روابط میان مشخصه‌های SoS[۱۸]

مشخصه	مفهومی که در آن تعیین‌کننده است.	مشخصه‌ای که بر آن اثر دارد.
خودمختاری	میزان نگهداری از دورنمای سامانه‌ها و استقلال آنها از یکدیگر	تنوع
	نوع اشتباهاتی که ممکن است بقیه سامانه‌ها را هم درگیر کند	برآیش
	توازن مجموعه‌کاری[1] سامانه‌ها بین اختصاصی و عمومی بودن	تعلق
تعلق	مقدار انطباقی که به سامانه‌های ضروری تحمیل می‌شود	خودمختاری
	میزان مسئولیتی که از تعلق کنترل شده به SoS حاصل می‌شود	تنوع
	قابلیت‌هایی که سامانه را قادر می‌سازد راه‌حل مناسب را از غیرمناسب تشخیص دهد؛ مفهوم «بقای اصلح[2]»	برآیش
اتصال	خودسازماندهی و تمرکززدایی	تعلق
	نفع‌شخصی[3] و استقلال	خودمختاری
	چه کسی، چه چیزی، کجا، چه زمانی و چگونه؟ میزان هماهنگی فعالیت‌ها از طرفی و چگونگی حل مشکلات مختلف از طرفی دیگر.	تنوع
تنوع	حد مجاز حفاظت از استقلال	خودمختاری
	حدی که اصول اشتراکی[4] تبدیل به مشخصه ای مخرب می‌شود(برای مثال «تفکر گروهی»)	تعلق
	حدی که میراث سامانه‌های جدید برای سامانه‌های موجود زائد نباشد.	اتصال
برآیش	میزان دانایی و دانستن اینکه مهارت‌های مختلفی در اختیار است.	تنوع
	حد تلاش برای یافتن سامانه‌های بهینه برای دست‌یابی به هدف مورد نظر	اتصال

طبق توضیحات موجود در جدول 3 مشخصه‌های SoS با هم رابطه دارند. اما این رابطه‌ها از یک جنس نیستند. روابطی که چهار مشخصه اول یعنی خودمختاری، تعلق، اتصال و تنوع را به هم متصل می‌کنند از نوع روابط اثر مستقیم یا معکوس

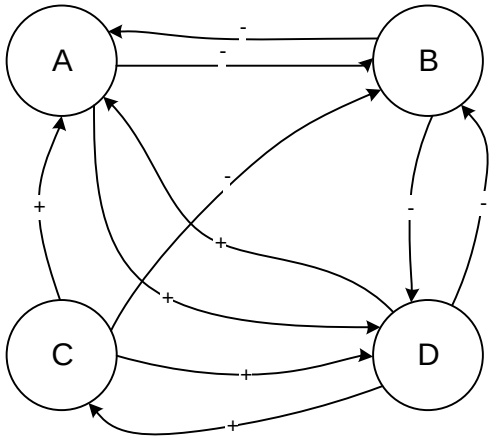
[1] Porfolio

[2] Survival of the Fittest

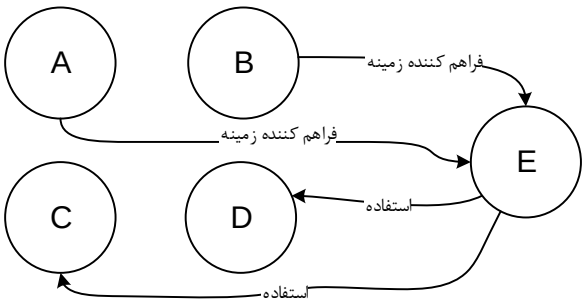
[3] Self-Interest

[4] Collectivism

اند. یعنی افزایش یکی باعث افزایش دیگری یا به‌عکس باعث کاهش آن می‌شود. اما ماهیت روابط این چهار مشخصه با مشخصه برآیش فرق می‌کند. برآیش با وجود این چهار مشخصه است که می‌تواند وجود داشته باشد. طبق توضیحات ارائه شده خودمختاری و تعلق در ایجاد زمینه برآیش نقش دارند و دو مشخصه دیگر یعنی اتصال و تنوع توسط برآیش مورد استفاده قرار می‌گیرند تا به اهداف خود برسد. این روابط که از جدول 3 استخراج شده اند، در شکل 1 و شکل 2 که در زیر آمده مشخص هستند. در این شکل‌ها «A» نماد خودمختاری، «B» نماد تعلق، «C» نماد اتصال، «D» نماد تنوع و «E» نماد برآیش است. در شکل 1 از نمادهای«-» و «+» استفاده شده است. این نمادها به ترتیب به معنی «رابطه معکوس» و «رابطه مستقیم» است. رابطه معکوس به این معنی است که با افزایش مشخصه ابتدای بردار، دیگری کاهش می‌یابد و به‌عکس. رابطه مستقیم به این معنی است که با افزایش مشخصه ابتدای بردار، دیگری نیز افزایش و با کاهش مشخصه ابتدای بردار دیگری نیز کاهش می‌یابد.



شکل ۱: روابط بین مشخصه‌های SoS به جز برآیش



شکل ۲: رابطه‌های برآیش با دیگر مشخصه های $SoSs$ و ماهیت آن‌ها

۲-۵ گروه‌بندی SoSs توسط وزارت دفاع ایالات متحده

وزارت دفاع ایالات متحده گروه‌بندی خاصی را برای SoSs معرفی کرده که در ادامه بررسی می‌شوند.

۲-۵-۱ SoSs مجازی

«این گونه از SoSs مرجع مدیریت مرکزی ندارند و در مورد هدف خاصی برای SoS متمرکز توافق نکرده‌اند. رفتارهای مقیاس وسیع از آن‌ها برمی‌آید، که ممکن است پسندیده هم باشد، اما این گونه از SoSs به سازوکاری نسبتا واضح برای نگهداری از آن وابسته است»[10]و [20]. آنچه که به صورت واضح از صورت تعریف برمی‌آید که در این گونه از SoSs مشخصه خودمختاری درجه بسیار بالایی دارد و تعلق در پایین‌ترین حد خود قرار گرفته است؛ اما وجود دارد. برآیش نیز طبق خود تعریف، حضوری واضح دارد.

۲-۵-۲ SoSs مشارکتی

«در SoSs مشارکتی سامانه‌های تشکیل‌دهنده کم و بیش به صورت داوطلبانه برای رسیدن به مقاصد توافق‌شده مرکزی تعامل می‌کنند. اینترنت سامانه‌ای مشارکتی است. «نیروی وظیفه مهندسی اینترنت[1]» بر روی استانداردها[ی این حوزه] کار می‌کند، اما قدرتی برای اجباری کردن آن‌ها ندارد. بازیگران مرکزی مشترکا تصمیم می‌گیرند که چگونه خدمتی را فراهم یا آن را منع کنند؛ که به این وسیله شیوه‌ای برای اجبار و نگهداری از استانداردها برقرار می‌کنند»[10]و [20]. با دقت در این تعریف موضوعی که جلب توجه می‌کند این است که در این گونهSoSs خودمختاری به اندازه SoS مجازی نیست اما باز هم مقدار نسبتا بالایی دارد. تعلق کمی بیشتر شده اما هنوز هم خیلی زیاد نشده است. مثال این SoSs اینترنت است. می‌دانیم که در اینترنت مشخصه‌های اتصال و تنوع مقدار نسبتا بالایی دارند. دلیل آن چیست؟ به این دلیل که تمام سامانه‌ها موجود به هم متصل نیستند، اما باز هم تعداد نسبتا زیادی از آن‌ها به هم متصل اند. در مورد تنوع هم می‌توان گفت که در این گونه SoSs این مشخصه مقدار نسبتا بالایی دارد.

---

[1] Internet Engineering Task Force

۲-۵-۳ SoSs آگاه

«در SoSs آگاه سه چیز شناخته شده هستند، اهداف، مدیریت برگزیده و منابع مورد نیاز SoS؛ با این وجود سامانه-های تشکیل‌دهنده SoS مالکیت مستقل، اهداف، سرمایه و رویکردهای تقویت و توسعه خود را حفظ می‌کنند. تغییرات در سامانه‌ها بر اساس مشارکت بین SoS و خود سامانه انجام می‌پذیرد»[10]و [20]. از تعریف ارائه شده به صورت مستقیم می‌توان دریافت که خودمختاری سطحی تقریبا متعادل دارد شاید کمی کمتر. تعلق نیز سطحی متعادل پیدا می‌کند اما کمی بیشتر.

۲-۵-۴ SoSs هدایت‌شده

«SoSs هدایت‌شده به SoSs یکپارچه‌ای اطلاق می‌شود که برای نیل به مقاصد مشخصی ساخته و مدیریت می‌شوند. این SoSs در طی عملیات بلند مدت خود به صورت متمرکز مدیریت می‌شوند تا از این طریق به کار خود ادامه داده و به مقاصد ذکر شده و همچنین به اهداف جدیدی که مد نظر مالکیت سامانه‌ها است، دست یابند. سامانه‌های تشکیل دهنده توانایی عملیات مستقل خود را نگه می‌دارند اما حالت عملیاتی عادی آن‌ها تابع اهداف و مقاصد مدیریت مرکزی است»[10]و [20]. در این SoSs خودمختاری در پایین‌ترین سطح خود بوده ولی هنوز وجود دارد. همچنین از تعریف ارائه شده در می‌یابیم مشخصه تعلق مقدار بسیار زیادی دارد.

۲-۶ معرفی خانواده‌ای از سامانه‌ها (FoS[1])

خانواده‌ای از سامانه‌ها مجموعه‌ای از سامانه‌ها است که قابلیت‌های مشابهی را از طریق رویکردهای مختلف برای رسیدن به اثرات مشابه یا مکمل فراهم می‌کند. برای مثال یک جنگنده نظامی به قابلیت رهگیری اهداف متحرک نیاز دارد. آن FoS که این قابلیت را تأمین می‌کند شامل وسایل نقلیه سرنشین‌دار و بی‌سرنشین با حسگرهای متناسب، بستره حسگری فضابنیان[2] یا قابلیت‌های عملیاتی خاص است. هر کدام از این سامانه‌ها توانایی رهگیری اهداف متحرک را فراهم می‌آورد اما

[1]Family of Systems

[2]Space-based

این توانایی‌ها، ویژگی‌های متفاوتی دارند مثلا ویژگی‌های دوام، دقت و خطوط زمانی در آنها متفاوت است. تفاوت اصلی FoS با SoS نبود هم‌افزایی[1] است. FoS از ویژگی‌هایی که نتیجه هم‌گروه شدن چند سامانه باشد، سود نمی‌برد. در واقع سامانه‌های عضو ممکن است اصلا یک کل منسجم را تشکیل ندهند[10]، [21]. از دید دیگر تفاوت اینجا است که در SoS، هم‌پیوستگی[2] میان اجزا بسیار بیشتر از FoS است[21]. در واقع FoS مجموعه یا ترتیبی است از سامانه‌های مستقل (نه وابسته) که توانایی اتصال به طرق مختلف دارند، تا به این وسیله قابلیت‌های مختلفی را فراهم کنند. به آمیزه سامانه‌ها می‌توان طرح‌های مختلف داد تا بسته به موقعیت، قابلیت‌های مطلوبی فراهم شود. در جنگ‌های نوین امروزی فراهم کردن و مرتب کردن نیرو برای موانع احتمالی در ابتدا موقتی[3] است که بر اساس مجموعه‌ای عمومی از نیازمندی‌ها انجام می‌پذیرد، نه بر اساس برنامه‌ریزی از پیش انجام شده نیروهای خاص و برای موانع احتمالی مشخص. بنابراین تعامل-پذیری بسترهای مستقل، جزء ملاحظات کلیدی برای به‌کاراندازی و استقرار موقتی FoS است[22]. چیزی که قابل بحث است مشخصه‌های SoS در FoS است. خودمختاری در بالاترین حد ممکن قرار دارد چرا که دیگر هدف مشترکی وجود ندارد. به همین دلیل نیز تعلق وجود خارجی ندارد و صفر است. برای استقرار سامانه‌ها یا ایجاد ترتیب‌های مختلف از آن‌ها نیاز است که تماما به هم متصل باشند پس اتصال نیز در بالاترین حد ممکن قرار دارد. به دلایل ماهیتی تنوع نیز در FoS بالا است چرا که برای اهداف مختلف باید سامانه‌های مختلفی در آن خانواده موجود باشد. اما برآیش از نوع آنچه که در SoSs موجود است به دلیل عدم حضور یکی از پایه‌های آن یعنی تعلق دیگر وجود خارجی ندارد.

۲-۷ خلاصه

در این فصل سه گروه سامانه‌ها، SoSs و FoSs بررسی شدند. گفته شد سامانه‌ها مجموعه‌ای هستند از عناصر که برای دستیابی به اهدافی مشترک کنش و واکنش می‌کنند. همچنین SoS گونه‌ای از سامانه[ها] است که [خود] از سامانه‌های

---

[1] Synergy

[2] Coupling

[3] Ad hoc

سنتی تشکیل شده و به‌وسیله پویایی مشخصه‌های خودمختاری، تعلق، اتصال، تنوع و برآیش [از دیگر انواع آن] متمایز می-شود. انواع SoSs نیز بررسی گردیده و بیان شد که چگونه بعضی از این مشخصه‌ها در این انواع SoSs تغییر می‌یابند. انواع SoSs عبارت اند از: SoSs مجازی، SoSs مشارکتی، SoSs آگاه و SoSs هدایت‌شده. برای تعریف FoSs بیان شد: مجموعه یا ترتیبی است از سامانه‌های مستقل(نه وابسته) که می‌توانند به طرق مختلفی مرتب یا به یکدیگر متصل شوند تا قابلیت‌های مختلفی را فراهم کنند. همچنین مشخصه‌های SoSs معرفی شدند که شامل خودمختاری، تعلق، اتصال، تنوع و برآیش بودند. روابط ما بین این مشخصه‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. تحلیلی نیز از سه گروه اصلی سامانه‌ها، SoSs و FoSs بر اساس این مشخصه‌ها ارائه شد.

۳ فصل سوم: مروری بر کارهای انجام‌شده

۳-۱ مقدمه

در این فصل به کارهایی که در حوزه استفاده از روش‌های صوری در مدل‌سازی SoS بوده یا حاوی مطالبی تکمیلی پیرامون موضوع مدل‌سازی صوری SoS هستند، اشاره می‌شود و مختصری در مورد آن‌ها بحث خواهدشد. موارد با توجه به ترتیب زمانی و پیوستگی مابین کارها مطرح می‌شوند.

۳-۲ مرور کارهای انجام گرفته

۳-۲-۱ ایجاد و ارزشیابی توصیف صوری برای توسعه SoSs

اولین موردی که بررسی می‌شود مربوط به ایجاد روشی برای توصیف و ارزشیابی آن به منظور توسعه SoSs است. در [23] ابتدا SoS را اجتماعی از سامانه‌های موجود و درحال توسعه معرفی می‌کند که قابلیت ارتقا یافته‌ای را فراهم می‌سازد و میزان این قابلیت بیشتر از مجموع قابلیت‌های تمام سامانه‌های درون SoS است. سپس وجود تمایل فزاینده به استفاده از تحلیل‌های شیءگرا در کنار زبان UML[1] برای توسعه SoSs مطرح می‌گردد. در این روش نیازمندی‌های کارکردی و غیرکارکردی از تحلیل‌های مورد کاربری استخراج می‌شود که اغلب به زبان طبیعی نوشته شده است. به همین دلیل ممکن است در توصیف، ابهامات و تناقضاتی وجود داشته باشد که تا اواخر چرخه حیات در فرایند توسعه کشف نشوند.

پایش در زمان اجرا[2] (REM) برای اثبات ادعا[3]ی توصیف صوری، رده‌ای از روش‌های ردگیری[4] رفتار زمانی[5] است که اغلب برای برنامه‌های اساسی[6] مورد استفاده است. دامنه روش‌های REM به‌منظور درستی‌سنجی نیازمندی‌ها، از روش‌های رویدادنگاری ساده کاغذی تا روش‌های پیچیده ردگیری حین اجرای نیازمندی‌ها گسترده است. توصیف صوری و روش‌های صوری سبک وزن به شفافیت و دقت توصیف نیازمندی‌ها می‌افزاید. فرایند توصیف صوری نیازمندی‌ها، توسعه‌دهندگان را

---

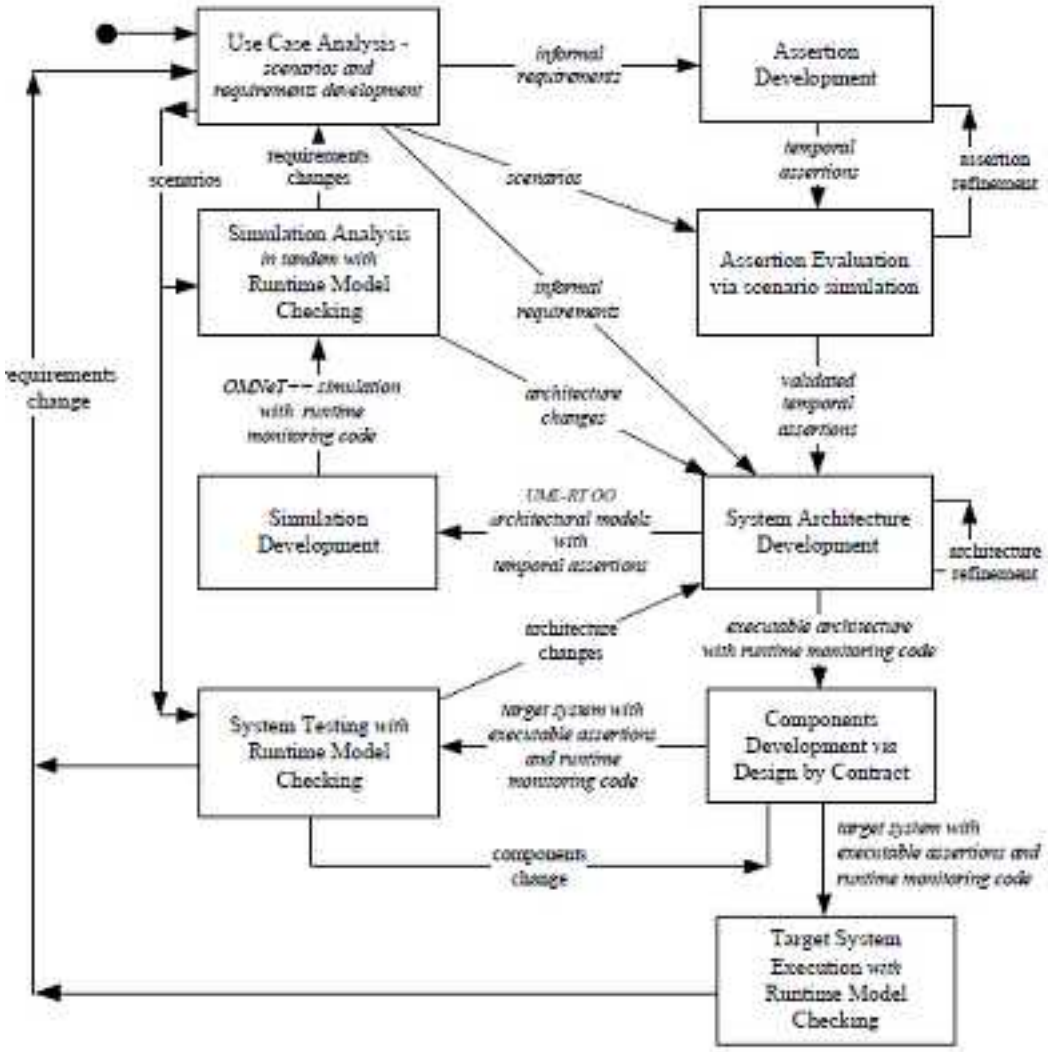
[1] Unified Modeling Language
[2] Run-time Execution Monitoring
[3] Assertion
[4] Tracking
[5] Temporal
[6] Underlying

قادر می‌سازد که درک بهتری از سامانه مورد نظر داشته باشند و عیوب، ناهمخوانی‌ها، ابهامات و نقص‌های نیازمندی‌ها را کشف کنند.

در [23] رویکرد «توسعه زودهنگام توصیف صوری صحیح» دنبال می‌شود. پردازش‌ماند[1]های این فرایند را می‌توان برای وارسی ناهمخوانی نیازمندی‌ها تحلیل کرد یا از آنها برای استخراج مشخصه‌های سامانه مورد نظر سود جست. توصیف صوری مقدمات آزمون خودکار، کشف خطا در حین اجرا و Exeption Handling را فراهم می‌سازد. فرایندی که در [23] آمده است مکمل رویکردهای توسعه کنونی SoSs است. همانطور که در شکل 3 مشاهده می‌شود از اثبات ادعای زمانی برای استخراج نقاط بحرانی[2] و ضروریات مأموریت سامانه که جزء نیازمندی‌ها بوده، همچنین وارسی مدل در حین اجرا استفاده شده است. هدف این کار ارزشیابی طراحی و پیاده‌سازی سامانه است. این فرایند با بیان نیازمندی‌های گروهی از فرانامه[3]های مشخص به زبان طبیعی آغاز می‌شود. سپس شاخص‌های ایمنی و ضروریات مأموریت منتخب به ادعاهای زمانی صوری ترجمه می‌شوند. پس از آن به منظور یافتن صحت آنها، ادعاها توسط شبیه‌ساز منطق زمانی DBRover یا شبیه‌ساز ادعای نمودار حالت StateRover/JUnit ارزشیابی می‌شوند. ادعاهای صحیح ورودی مولد کد DBRover یا StateRover هستند تا از این طریق توصیفات زمان‌بندی قابل اجرا تولید شود. این کدهای قابل اجرا برای سنجش سامانه پیش‌نمونه[4] یا سامانه هدف به هنگام پایش و وارسی مدل در زمان اجرا استفاده می‌شود.

---

[1] Artifact
[2] Safety Critical
[3] Scenario
[4] Prototype



شکل ۳: اثبات ادعای مورد استفاده در توسعه $SoSs$[۲۳]

۳-۲-۲ توصیف مشخصه‌های SoS

در [12] به توصیف مشخصه‌های SoS پرداخته‌شده که شامل خودمختاری، تعلق، اتصال، تنوع و برآیش هستند. تعریف این مشخصه‌ها در فصل 2 بررسی شد. SoS متشکل از عناصری است که یا سامانه‌اند یا خود SoS هستند. در این عناصر این گونه تعریف شده اند:

$S_i = \{A_i, G_i, E_i\}, G_i \neq \emptyset, i \in \mathbb{Z}^+.$

در این تعریف A_i نشان‌دهنده مجموعه کنش‌هایی است که عنصر S_i قادر به انجام است. همچنین G_i مجموعه اهداف و E_i دیگر متغیرهای متعلق به S_i هستند. خودمختاری و تنوع در این مرحله تعریف شده‌اند. تفسیر منجر به این تعاریف این گونه است: وقتی عنصری قادر باشد کنش انجام دهد خودمختاری دارد و هر چقدر این کنش‌ها بیشتر باشد این خودمختاری بیشتر است. مفهوم تنوع نیز باعث می‌شود که هر عنصر بیش از یک کنش انجام می‌دهد و هر عنصر نسبت به عنصر دیگر مجموعه کنش‌های متفاوتی دارد.

$$Autonomy \equiv |A_i|.$$

$$Diversity \equiv A_i \neq \emptyset \wedge |A_i| > 1, i \in \mathbb{Z}^+ > 1.$$

پس از این تعریفی از SoS ارائه می‌شود که بیان می‌کند: SoS مجموعه‌ای است از S_iها که پیش از این معرفی شدند و مجموعه اهداف متعلق به خود SoS. نماد SoS با S^* و اهداف متعلق به آن با G^* نمایش داده شده است.

$$S^* = \{S_1, \dots, S_n, G^*\}, i \in \mathbb{Z}^+ > 1, G^* \neq \emptyset$$

تعلق به میزان مشارکت عنصر در اهداف SoS گفته می‌شود و به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$Belonging \equiv \frac{|f(A_i) \cap G^*|}{|A_i|} \geq \beta_i > 0$$

که در آن $f(A_i)$ نشان‌دهنده مجموعه اهدافی است که مجموعه A_i به آنها منجر می‌شود و β_i کمترین حد قابل قبول آن است.

در مورد اتصال بیان می‌شود: C_i و C_j زیر مجموعه‌ای از اتصال‌دهنده‌ها و به ترتیب متعلق به دو سامانه i و j هستند. دو سامانه i و j هنگامی متصل هستند که اتصال دهنده مشترک داشته باشند. یعنی

$$Connectivity_{i,j} \equiv \begin{cases} true: \exists k \langle c_k, c_k \rangle \in C_i \times C_j \\ false: \forall k \langle c_k, c_k \rangle \notin C_i \times C_j \end{cases}$$

در مورد مشخصه برآیش تعریف مستقیم صورت نگرفته اما بیان می‌شود که بنا بر تعاریف دیگر مشخصه‌ها و پیاده‌سازی این مدل، وجود مشخصه برآیش تضمین خواهد شد.

۳-۲-۳استدلال درباره طراحی SoSs مرکب[1]

در [24] دست به بررسی SoSs به عنوان سامانه‌های مرکب زده شده است. این دید ممکن است به دلایلی به نتیجه نرسد و عقیم بماند. برای رفع این مشکل، زبان توصیف صوری X-UNITY - که ارتقایافته زبان UNITY است- معرفی شده که به عنوان ابزار توصیف و استدلال برای سامانه‌های مرکب با قالبی سلسله مراتبی استفاده می‌گردد. این زبان صوری قادر است آن دسته از SoSs را که سازوکارهای منفرد[2] دارند و مثلا به طور کامل و صحیح یکپارچه نشده‌اند، توصیف کند. با استفاده از این شیوه می‌توان حتی با وجود سازوکارهایی که باعث منفرد شدن SoSs می‌شود، بر روی مفاهیمی چون توصیف SoSs در درون روابط سلسله مراتبی، استفاده مجدد از طریق کپی کردن و مفهوم خدمت‌گرایی[3] و هدف گذاری متغیرها تمرکز کرد. هنگامی‌که موجودیت SoSs قطعیت یافت و از حالت منفرد خارج شدند اگر نیاز بود می‌توان ارتباطات این SoSs را مشخص کرد.

۴-۲-۳ زیست‌شناسی SoS

برای تعریف یک سلول زنده یا یک رایانه بر اساس قطعات سازنده[4] متفاوت، تعاریف مختلف و متفاوتی استفاده می‌شوند اما برای تشریح آنها به عنوان سامانه از مفاهیم یکسانی می‌توان سود جست. آن چیزی که تمام سامانه‌ها در آن مشترک‌اند وجود معماری در آنها است. بنابراین طبق آنچه گفته‌شد مهندسی سامانه طبق فرایندی مشخص این امکان را فراهم می‌آورد که بتوان سامانه‌ای را طراحی کرده، توسعه داد و مدیریت کرد؛ اما با این وجود علم مهندسی سامانه هنوز پاسخی برای اینکه سامانه‌ها از چه درست شده‌اند ندارد. در [9] باور بر این است که ماهیت سامانه «باهم‌بودن[5]» است. باهم‌بودن یعنی در کنار هم قرار گرفتن قسمت‌های مختلف و شکل دادن روابط، به هدف تشکیل کلیتی جدید که ساختار، عملکرد و چرخه حیات خاص خود را دارد. ماهیت این با هم بودن تحت تأثیر پنج عنصر است. این پنج عنصر همان پنج مشخصه SoSs هستند که

---

[1] Hybrid

[2] Isolating

[3] Service-orientation

[4] Building Block

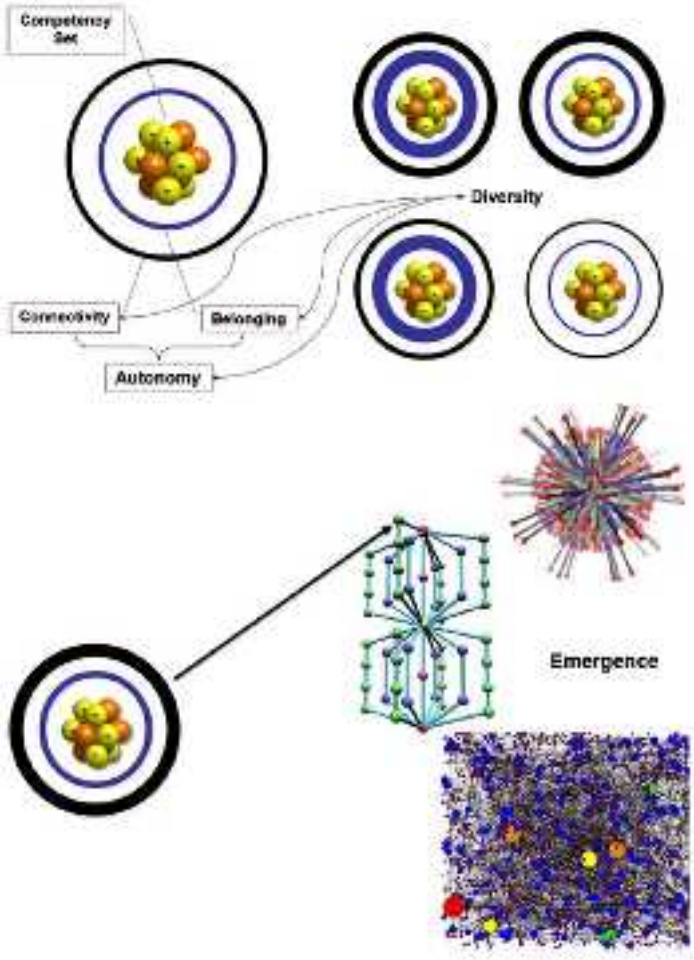
[5] Togetherness

عبارت اند از: خودمختاری، تعلق، اتصال، تنوع و برآیش. می‌توان این عناصر را تشکیل‌دهنده DNAی سامانه یا sysDNA نیز دانست. به علم شناخت sysDNA، سامان‌بن‌شناسی[1] گویند؛ این شناخت، ماهیت سامان‌پار[2]های تشکیل‌دهنده سامانه-ها را مشخص می‌کند. در مورد هر کدام از این عناصر، نیروهای متعارض و ناهم‌سازنماهایی وجود دارد که تحت تأثیر جریانات ایجاد یک سامانه قرار می‌گیرند و در نهایت در هنگام پایدار بودن سامانه، در تعادل مخصوص به خود قرار دارند. جریان این نیروها و روابط مابین آن‌ها است که میزان باهم‌بودن سامانه و در راستای آن ماهیت خود سامانه را نیز مشخص می‌کند. در [9] قصد بر این است که فرمالیسم بزرگتری را برای ماهیت فراگیر سامانه فراهم کند. این فرمالیسم برای تشریح سامانه شیوه‌ای انتزاعی را ایجاد می‌کند تا طراحان و مدیران یک سامانه مشخص بتوانند حساب این آگاهی انتزاعی را نگه دارند و از این طریق اطمینان یابند آنچه که می‌سازند یقینا سامانه است؛ نه به خاطر داشتن نام سامانه، بلکه به دلیل وجود نشانه‌هایی که ماهیت سامانه به دنبال خود دارد. تکیه بر این مفهوم است که سامانه گردایه‌ای از اجزا و ارتباطات میان آنها است که در کنار هم قرار گرفته‌اند تا به مقصودی نایل شوند. عناصری که معرفی شد مشخص‌کننده تفاوت بین این اجزا، تفاوت ارتباطات میان آنها، تفاوت فرایند در کنار هم قرار گرفتنشان و تفاوت شیوه به هدف رسیدنشان است؛ این تعیین-کنندگی انتزاعی است اما به طریقی به مشخصه‌های سامانه مورد نظر مربوط می‌باشد. در شکل 4 سعی در تشریح این سامان‌بن‌شناسی یا زیست‌شناسی سامانه‌ها شده است. ساختار سامان‌پار شامل مجموعه هسته مرکزی یا مجموعه شایستگی و دو پوشش تو در تو است. کلیت این سامان‌پار تحت تأثیر خودمختاری است؛ به این معنی که چقدر سامان‌پار می‌تواند بدون حضور ناظر بالاسری به فعالیت ادامه دهد. لایه پوششی درونی میزان تعلق اجزای درونی و لایه پوششی بیرونی نشان-دهنده میزان اتصال آن به سامان‌پارهای دیگر است. تنوع وجود سامان‌پارهای مختلف و وجود تفاوت در سه عنصر قبلی است. در نهایت برآیش، نحوه قرار گیری این سامان‌پارها در کنار یکدیگر و تغییرات آنها در طول چرخه حیات است.

---

[1] Systomics

[2] Systome



شکل ۴: زیست‌شناسی سامانه‌ها[۹]

در آخر طرحی برای سامان‌بن‌شناسی بیان شده است تا به فهم بهتری از SoSs دست پیدا کند و شامل سه گام اصلی است:

- شناسایی روشگان‌های مدل‌سازی مفید برای پشتیبانی از طرح.
- شناخت فضای حالت ممکن برای سامان‌پارها.
- تحلیل چندمتغیره بر روی sysDNA به منظور شناخت نحوه قرارگیری سامان‌پارها در فضای حالت.

۳-۲-۵ بررسی انواعی از روش‌های مدل‌سازی برای SoS

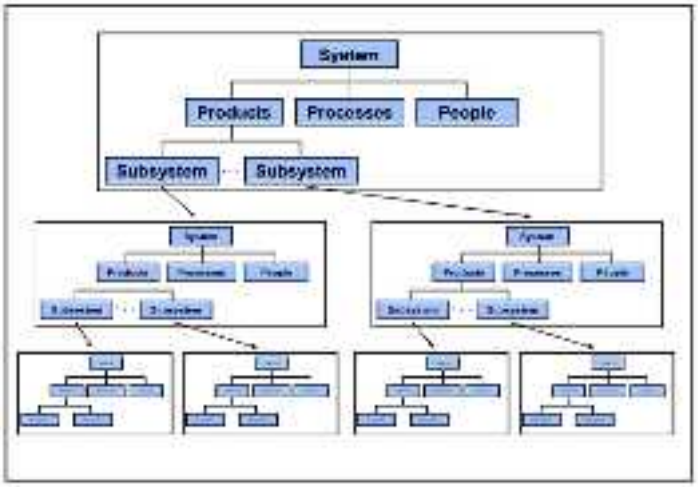
در [2] و [19] دو نوع روش کلی برای مدلسازی SoSs دسته‌بندی شده: روش سامانه‌های سنتی و روش‌های مختص SoS.

۳-۲-۵-۱ روش‌های سنتی مدل‌سازی سامانه

در روش‌های سنتی SoS به عناصر خودش که همان سامانه‌های سنتی هستند تجزیه می‌شود سپس روش‌های مهندسی سنتی که برای سامانه‌ها به کار برده می‌شدند برای آنها نیز قابل اعمال است. دو روش برای نمونه معرفی می‌شوند.

- روش قطعات سازنده[25]:

SoS را می‌توان به زیرسامانه‌ها تجزیه کرد و آنقدر ادامه داد تا تمام زیر سامانه‌ها خود یک سامانه منفرد شوند. سپس روش‌های مهندسی سامانه سنتی برای آن‌ها قابل به‌کارگیری است. در شکل 5 روند این روش مدل‌سازی نمایش داده شده است.

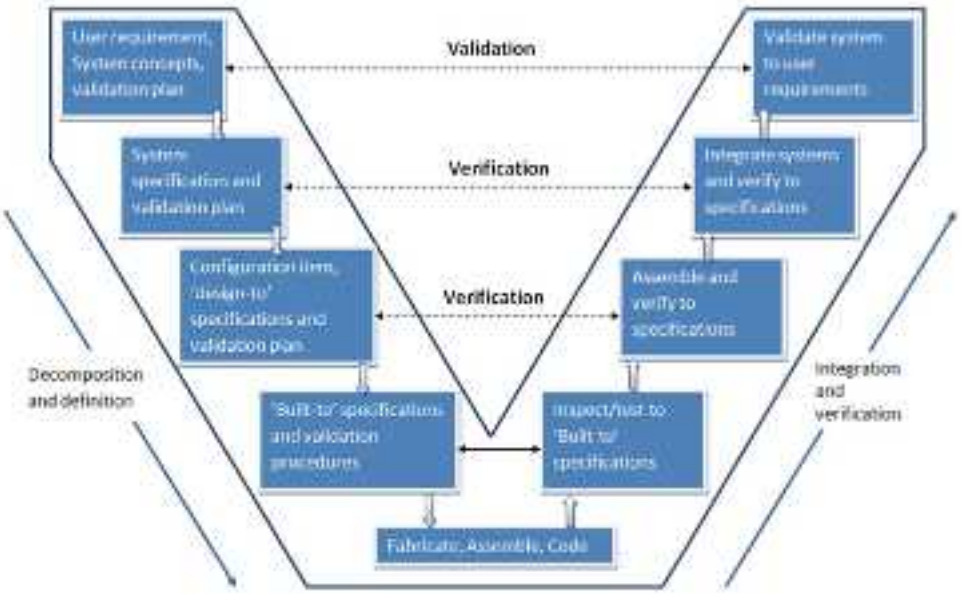


شکل ۵: اجزای تشکیل‌دهنده *SoSs*[۲۵]

- روش مدل V[25]:

این روش تقریبا تمام چرخه حیات سامانه را تشریح می‌کند. نام روش به خاطر «V» شکل بودن بازنمایی تصویری گام-های متوالی فرایند مدلسازی سامانه انتخاب شده است. همانطور که در شکل 6 مشهود است، در این روش، چرخه حیات

سامانه به‌وسیله مدل‌سازی هر سامانه با فرایند نیازمندی آغاز شده و با فرایند اعتبارسنجی پایان می‌یابد. برای مدل‌سازی این روش را می‌توان برای هر زیرسامانه به کار برد تا زمانی که هر سامانه با توجه به نیازمندی‌هایش اعتبارسنجی شود.



شکل ۶: مدل V[۲]

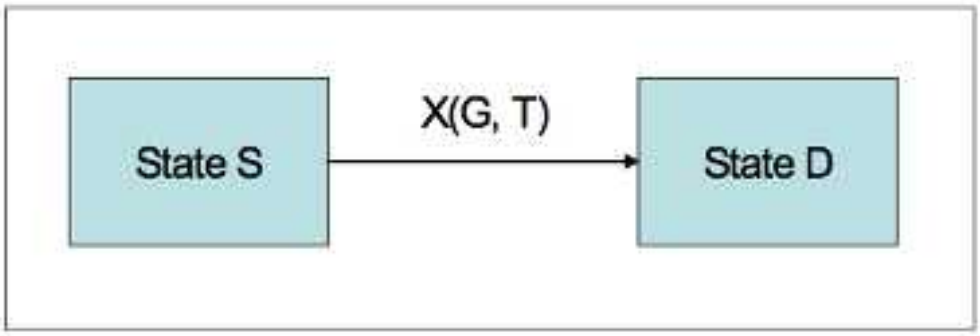
روش‌های سنتی مدل‌سازی سامانه بازنمایی شفاف و شیوه اجرایی کارآمدی دارند آما مشخصه‌های ضروری SoSs مانند ارتباطات و مشارکت اجزا در آن نادیده گرفته می‌شوند. همین امر باعث شد که شیوه‌های نوینی برای مدل‌سازی SoSs پدید آید.

- روش مدل‌سازی حالت SoS[26]:

مدلسازی حالت برای بازنمایی سامانه‌هایی به کار می‌رود که کارکرد آن به‌وسیله «حالت» عناصر تشکیل‌دهنده قابل توصیف باشد. حالت را می‌توان مقادیر اختصاص داده شده به شاخصه[1]های موجودیت در نظر گرفت. این شیوه به

[1] Attribute

هدف رفع نیازهای پیچیده مدل‌سازی و تحلیل SoS به وجود آمده است. این هدف با ایجاد یک محیط مدل‌سازی و شبیه‌سازی یکپارچه قابل دستیابی است.



شکل ۷: انتقال از حالت S به حالت D[۲۶]

همان‌طور که در شکل 7 مشاهده می‌شود. وقتی که سامانه(یا اجزای آن) در حالت S باشند آنگاه انتقال‌های مجاز برای آن حالت در حالت فعال قرار می‌گیرند. در این حالت تابع انتقال X، اگر چکانه[1] T و محافظ[2] G مقدار درست داشته باشند، حالت سامانه را به D تغییر می‌دهد.

۳-۲-۵-۲ روش‌های مختص SoS

طرفداران روشگان‌های مختص SoS بر این عقیده اند که نباید SoSs را فقط همایشی از چند سامانه دانست و همچنین نباید آن‌ها را بر اساس رویه خاصی تجزیه کرد؛ به همین دلیل روش‌های سنتی را مناسب نمی‌دانند. در ادامه به معرفی چند روش مختص SoS پرداخته می‌شود.

- استفاده از معناشناسی و فرهنگ معانی مرتبط با آن برای مدلسازی SoS[27]:

با استفاده از رده‌بندی و فرهنگ معانی مرتبط به آن در حوزه SoS راه‌حلی برای طراحی و مدل‌سازی SoSs ارائه شده که نظر به ویژگی استقلال عملیاتی SoS دارد. رده‌بندی SoSs در این روش، سه بعد دارد: نوع سامانه، درجه کنترل و

---

[1] Trigger

[2] Guard

اتصال. همچنین فرهنگ معانی شامل چهار دسته است: منابع، ذینفعان، عملیات و خط‌مشی‌ها که آخری بر سه تای دیگر تأثیرگذار است. همچنین سلسله مراتب سازماندهی سامانه‌ها نیز در فرهنگ معانی وجود دارد.

- استفاده از تعریف مشخصه‌ها برای مدل‌سازی SoS(که در بند 3-2-2 توضیح داده شد)
- استفاده از تعریف اتصالات و تعهدات برای مدل‌سازی SoS[28]:

در این روش با استفاده از تعریف مشروح اتصالات بین سامانه‌های تشکیل‌دهنده به مدل‌سازی SoSs می‌پردازند. این تعریف شامل تعهدات[1]ی است که باید توسط طرفین برآورده شوند. SoS به عنوان سامانه‌ای چند عاملی تصویر می‌شود که هر عامل قادر است تعداد خاصی از تعهدات را برآورده سازد. این تعهدات یا توسط خود عامل یا با دستوراتی که به دیگر عامل‌ها می‌دهد برآورده می‌شود.

- روشی عمومی بر اساس ترکیبی از روش‌های دیگر یاد شده در این دسته:

روش تعریف مشخصه‌های SoS ویژگی‌های هر جزء را مشخص می‌کند و روش تعریف رابط ارتباطات میان اجزا را تعیین می‌کند. فرض محتمل بر این است که با ترکیب این دو روش مدل کامل‌تری برای فرایند تولید حاصل شود.

۳-۲-۶ توصیف رابط‌ها در معماری SoSs

در [29] روش‌های تشریح و نشان‌گذاری کنونی توصیف رابط برای توصیف معماری (عمدتا UML و SysML) ضعیف تلقی شده‌اند و شیوه‌ای به نام «قرارداد[2]های رابط» و طراحی بر پایه قرارداد را مناسب‌تر می‌داند. موضوع استفاده از قرارداد در انتخاب و اشتراک[3] خدمت، حوزه‌ای فعال در تحقیقات محاسبات سرویس‌گرا است. به طور خاص یکی از فعال‌ترین بخش‌های آن استفاده از قراردادها برای توصیف ویژگی‌های غیرکارکردی است. استفاده از قراردادهای رابط، دو مزیت عمده به دنبال دارد: اول، امکان تحلیل ویژگی‌های سطح SoS را فراهم می‌کند و دوم، با قرار دادن تعاریف دقیق حاصله در اختیار توسعه‌دهندگان سامانه، خیال طراحان را از بابت تأمین ویژگی‌های مورد نیاز در رابط سامانه‌ها راحت می‌کند.

---

[1] Obligations
[2] Contract
[3] Subscription

رویکردی که در [29] دنبال می‌شود بیان می‌کند که روش مناسب برای تعریف معماری SoS، در توصیف رابط نهفته است. چراکه اجازه می‌دهد تا جایی که قرارداد توصیف رابط نقض نشود، تعریف درونی سامانه تشکیل‌دهنده SoS تغییر کند. زبان SysML[1] با وجود اینکه برای مهندسی سامانه طراحی شده اما قابلیت‌هایی دارد که می‌توان از آن برای تشریح معماری SoS بهره برد. البته این زبان به مانند بسیاری از زبان‌های تشریح معماری، در پشتیبانی از توصیف صوری قابلیت محدودی دارد. یکی از رویکردها برای ارتقای سطح صوری بودن زبان استفاده از یک زبان توصیف صوری موجود و ترکیب آن با SysML است که از این طریق امکان استفاده از ابزارها و روش‌های توسعه داده شده برای آن فرمالسیم درکنار ابزار ها و روش‌های موجود برای SySML فراهم شود. یکی از زبان‌های صوری مناسب این کار VDM است.

۳-۲-۷ معرفی زبان CML زبان مدلسازی صوری برای SoSs

در [5] به ویژگی‌های زبان CML[2] پرداخته شده است. مدل‌سازی جامع برای SoSs پیشرفته یا به اختصار COMPASS[3]، روش‌ها و ابزارهای صنعتی کنونی را با زبان مدل‌سازی خاصی ارتقا می‌دهد. در این زبان، معماری و قراردادهای SoS قابل بیان هستند. نام این زبان CML است. مدل CML گردایه ای از تعاریف فرایند است؛ هر فرایند یک حالت و عملیات را که به زبان VDM نوشته شده، در خود پوشینه‌دار[4] کرده و به‌وسیله ارتباطات همزمان با محیط برهم‌کنش[5] می‌کند. به مانند آنچه که در Circus[6] انجام می‌پذیرد.[7]

رویکردی که در [5] دنبال می‌شود بر پایه CML است که به‌وسیله معناشناسی[8] صوری و ابزار و روش‌های آن همراهی می‌شود. این رویکرد از یکپارچه‌سازی زبان‌های مدلسازی سامانه، SysML و CML استفاده می‌کند. در این رویکرد توسعه‌دهندگان می‌توانند از دید نگاره‌ای[1] معماری شروع به کار کنند که درک آن برای ذینفعان آسان است.

---

[1] System Modeling Language
[2] COMPASS Modeling Language
[3] Comprehensive Modelling for Advance System of Systems
[4] Encapsulate
[5] Interaction
[6] Content Integrated Research In Creative-User Systems
[7] برای اطلاعات بیشتر به www.compass-research.eu مراجعه شود.
[8] Semantics

درون‌مایه اصلی مدل‌سازی در CML تطابق بین مدل‌ها است. این مفهوم که منجر به پالایش رفتاری می‌شود راهی را برای تعریف قراردادها باز می‌کند. زبان CML را می‌توان برای مدل کردن سامانه‌های موجود، ترکیب آنها برای ساخت یک SoS، تعریف قراردادهای مناسب برای این ترکیب و وارسی انجام شدن این قراردادها استفاده کرد. قرارداد کلی ویژگی‌های رفتاری SoS را بازگو می‌کند؛ همچنین خط‌مشی‌ها و محدودیت‌ها برای هماهنگ ساختن سامانه‌های تشکیل‌دهنده و جریان‌کاری آنها بیان می‌شود. در معماری نیز توپولوژی SoS و برهم‌کنش میان سامانه‌های تشکیل‌دهنده تشریح می‌شود.

۳-۳ تحلیل و نتیجه‌گیری

در این بخش به تحلیل مختصری در مورد کارهای صورت گرفته پرداخته می‌شود. همچنین مواردی که دلایل انجام این تحقیق را توجیه می‌کند نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اشتراک تمام موارد بررسی شده در این فصل وجود دو مفهوم است؛ فرمالیسم و SoS. بند 3-2-1 اولین کاری است که در آن از روش‌های صوری در مفهوم SoS استفاده شده است. این پژوهش شیوه‌ای برای پایش مطابقت سامانه در حال توسعه با آنچه که از آن سامانه مورد انتظار است معرفی می‌کند. در بند 3-2-5 روش‌های مدل‌سازی SoS را به دو دسته تقسیم می‌کند؛ دسته اول شیوه‌های عمومی مدل‌سازی سامانه است و دسته دوم شیوه‌های مختص SoS. در بند 3-2-3 شیوه‌ای بینابین معرفی شده است یعنی اینکه نه کاملا عمومی است و نه کاملا مختص SoS. کار موجود در 3-2-6 از زاویه دید سرویس‌گرایی به موضوع SoS نظر انداخته و با ترکیب زبان‌های صوری با زبان‌هایی مانند SysML سعی در ارائه شیوه‌ای نوین در توصیف SoSs داشته است. در بند 3-2-7 فرمالسیمی معرفی می‌شود که به توصیف پویایی SoSs می‌پردازد. این فرمالیسم همچنین ترکیب زبان‌های صوری مورد استفاده را باز زبان‌هایی مانند SysML را نیز دنبال می‌کند. تا اینجا تنها یک حلقه گم‌شده وجود دارد و آن وجود یک شیوه مدل‌سازی ایستا است که بتواند نیازهای شیوه‌های مدل‌سازی پویا را برای توصیف حالاتی که SoS مابین آن‌ها جا به جا می‌شود، برطرف نماید. در ضمن باید رویکردی را نیز برای شیوه توصیف ایستا برگزید. پاسخ به این سؤال در بحث سامان‌بن‌شناسی موجود در بند 3-2-4 مطرح است. در این بند دلیل اصلی اینکه چرا و به چه دلیل مدل‌سازی SoS با رویکرد تعریف

---

[1]Graphical

مشخصه‌هایSoS قابل توجیه است، بیان شده‌است. در نهایت در بند 3-2-2 اولین تلاش در این حوزه آمده است.البته این کار با اشکالاتی نیز مواجه است. مبنای تعریف صوری تعاریف به زبان طبیعی هستند. گروهی از این تعاریف نیاز به پالایش و به‌گزینی دارند؛ مثلا در مورد تنوع، تعریف زبان طبیعی انتخاب شده تأثیر سه مشخصه خودمختاری، تعلق و اتصال را بر مشخصه تنوع در نظر نگرفته است. در خود تعاریف صوری مشکلاتی نیز مشاهده می‌شود که بخشی ناشی از تعاریف تشریحی و بخشی نیز مربوط به خود تعاریف است. به طور مثال این تعاریف بازه تغییرات یک دست ندارند با اینکه همگی مشخصه‌های SoS هستند. تحلیل ماهوی روی این مشخصه‌ها صورت نگرفته و نیاز به آن مشاهده می‌شود. در نهایت این نتیجه کلی قابل تحصیل است که با وجود انجام کارهای مختلف در زمینه مدل‌سازی SoSs هنوز در حوزه مدل‌سازی ایستای SoS کمبود هایی وجود دارد و این توجیه کننده تلاش‌های این تحقیق برای دستیابی به مدل‌سازی مناسب‌تر است.

با توجه به موارد مطرح شده در این فصل، این پایان‌نامه سعی دارد بر اساس گام‌های مطرح شده در بند 3-2-4 به ایجاد مدلی ایستا برای توصیف SoSs با رویکرد تعریف مشخصه‌ها بپردازد.

۴ فصل چهارم: تشریح فرمالیسم پیشنهادی

۴-۱ مقدمه

در این فصل فرمالیسم پیشنهادی تشریح شده، تعریف های مورد نیاز بیان شده و بستری برای مقایسه سامانه‌ها ایجاد شده است. مفاهیم جدیدی معرفی می‌شوند و با استفاده از آنها شیوه‌ای برای رده‌بندی انواعی از سامانه‌ها بیان شده است. در بند 4-2 تعاریف مورد استفاده در فرمالیسم پیشنهادی و از بند 4-3 تا انتهای فصل نحوه مدل‌سازی این فرمالیسم معرفی می‌شود.

۴-۲ تعاریف

در این بخش تعاریف و مفاهیم انتزاعی و جدیدی بیان شده‌اند. این مفاهیم به این دلیل تعریف شده‌اند که بتوانند بستری مناسب برای توصیف سامانه‌ها، SoSs و FoSs ایجاد کنند. همچنین در این بخش مفاهیم معرفی‌شده در فصل 2 نیز با استفاده از این تعاریف به صورت صوری تعریف شده‌اند. این تعاریف صوری مطابق تعاریف موجود در فصل 2 هستند.

توضیح: در این فصل مفاهیمی که برای اولین بار در این تحقیق معرفی شده اند یا با تعریفی جدید به کار رفته اند با علامت «*» مشخص شده است.

۴-۲-۱ شبه‌سامانه[1] *

شبه‌سامانه را که با PSS_i نشان می‌دهند چندتایی مرتبی است که شامل درآیه‌های زیر است:

$$PSS_i = (Sub_i, Con_i, Act_i, Gol_i, AG_i, Eqs_i)$$

- Sub_i: مجموعه تمام اجزای تشکیل‌دهنده شبه‌سامانه است.
- Con_i: مجموعه‌ای از زیرمجموعه‌های دو عضوی Sub_i است و نشان دهنده وجود اتصال بین اجزای تشکیل‌دهنده شبه‌سامانه است،یعنی:

$$Con_i \subseteq \{\{c, c'\} |\ c, c' \in Sub_i\}$$

[1] Pesudo-System

- Act_i: مجموعه تمام کنش‌هایی است که شبه‌سامانه قادر به انجام آن است.
- Gol_i: مجموعه تمام اهدافی است که شبه‌سامانه آنها را دنبال می‌کند.
- AG_i: زیرمجموعه‌ای از ضرب دکارتی Act_i در Gol_i است و نشان دهنده تمامی روابط میان کنش‌ها و اهداف است. یعنی هر کنش چه هدف یا اهدافی را دنبال می‌کند. در این رابطه تمام اعضای Act_i باید حداقل یک بار به عنوان درآیه اول دوتایی‌های رابطه بیایند. همچنین همه اعضای Gol_i باید حداقل یک بار به عنوان درآیه دوم در دوتایی‌های رابطه بیایند. این شرط متضمن این است که هیچ کنشی بی‌هدف نباشد و برای هر هدف حداقل یک کنش برای رسیدن به آن وجود داشته باشد. یعنی:

$$AG_i \subseteq Act_i \times Gol_i$$
$$\wedge \left(\forall a \in Act_i \,.\, \exists g \in Gol_i \,.\, \left((a,g) \in AG_i\right)\right)$$
$$\wedge \left(\forall g' \in Gol_i \,.\, \exists a' \in Act_i .\, ((a,g) \in AG_i)\right)$$

- Eqs_i: مجموعه‌ای از تمام شرایط حاکم بر شبه‌سامانه است. این مجموعه ناتهی بوده و در هیچ دو شبه‌سامانه نایکسان برابر نیست.

یعنی:

$$Eqs_i \neq \emptyset$$

و

$$\forall PSS_{\mathrm{i}}, PSS_{\mathrm{j}} \in PSS \,.\, (PSS_{\mathrm{i}} \neq PSS_{\mathrm{j}} \Leftrightarrow PSS_{\mathrm{i}}.Eqs \neq PSS_{\mathrm{j}}.Eqs)$$

که در آن PSS مجموعه تمام شبه‌سامانه‌ها می‌باشد.

قرارداد: هنگامی که قصد اشاره به درآیه خاصی از شبه‌سامانه باشد مثلا وقتی درآیه Eqs سامانه PSS_i مورد اشاره قرار می‌گیرد آن را به این صورت نمایش می‌دهند:

$$PSS_{\mathrm{i}}.Eqs$$

همچنین نمادگذاری

$$Eqs_{\mathrm{i}}$$

نیز به همان معنی است.

۴-۲-۲ گردآیه[1] ❊

به شبه‌سامانه PSS_i که در آن درآیه‌های Act_i و Gol_i تهی بوده و درآیه Sub_i در آن تهی نباشد **گردآیه** گویند و آن را با COL_i نمایش می‌دهند. یعنی:

$$\begin{pmatrix} PSS_i = (Sub_i, Con_i, Act_i, Gol_i, AG_i, Eqs_i) \\ \wedge\, PSS_i.Act = \emptyset \\ \wedge\, PSS_i.Gol = \emptyset \\ \wedge\, PSS_i.Sub \neq \emptyset \end{pmatrix} \Leftrightarrow PSS_i \in COL$$

به مجموعه تمام گردآیه‌ها COL گویند.

۴-۲-۳ شبه‌سامانه همبند[2] ❊

شبه‌سامانه PSS_i را که در آن گراف متشکل از درآیه‌های (Sub_i, Con_i) همبند باشد، **شبه‌سامانه همبند** گویند و با CPS_i نمایش می‌دهند. یعنی:

$$\begin{pmatrix} PSS_i = (Sub_i, Con_i, Act_i, Gol_i, AG_i, Eqs_i) \\ \wedge \left(\forall S_m, S_n \in PSS_m.Sub.\left(S_m \neq S_n \rightarrow \exists l \in \mathbb{N}.\left(\{S_m, S_1\}, \{S_1, S_2\}, \{S_2, S_3\}, \dots, \{S_l, S_n\} \in PSS_i.Con\right)\right)\right) \end{pmatrix}$$
$$\Leftrightarrow PSS_i \in CPS_i$$

به مجموعه تمام شبه‌سامانه‌های همبند CPS گویند.

۴-۲-۴ گردآیه همبند ❊

اگر شبه‌سامانه PSS_i هم گردایه باشد، هم همبند، آنگاه آن را **گردآیه همبند** گویند و با CCL_i نمایش می‌دهند. یعنی:

$$\begin{pmatrix} PSS_i \in COL \\ \wedge\, PSS_i \in CPS \end{pmatrix} \Leftrightarrow PSS_i \in CCL$$

به مجموعه تمام گردآیه‌های همبند CCL گویند.

---

[1] Collection

[2] Connected Pseudo-system

$$COL \cap CPS = CCL$$

۴-۲-۵ شبه‌سامانه هدفمند[1] ❋

شبه‌سامانه PSS_i که درآیه‌های Gol_i و Act_i تهی نباشد را **شبه‌سامانه هدفمند** گویند و آن را با DPS_i نمایش می-دهند. یعنی:

$$\begin{pmatrix} PSS_i = (Sub_i, Con_i, Act_i, Gol_i, AG_i, Eqs_i) \\ \wedge\, PSS_i.Act \neq \emptyset \\ \wedge\, PSS_i.Gol \neq \emptyset \end{pmatrix} \Leftrightarrow PSS_i \in DPS$$

به مجموعه تمام شبه‌سامانه‌های هدفمند DPS گویند.

۴-۲-۶ شبه‌سامانه همبند هدفمند ❋

اگر شبه‌سامانه PSS_i هم هدفمند باشد هم همبند، آنگاه آن را **شبه‌سامانه همبند هدفمند** گویند و با DCP_i نمایش می‌دهند. یعنی:

$$\begin{pmatrix} PSS_i \in CPS \\ \wedge\, PSS_i \in DPS \end{pmatrix} \Leftrightarrow PSS_i \in DCP$$

به مجموعه تمام شبه‌سامانه‌های همبند هدفمند DCP گویند.

$$DPS \cap CPS = DCP$$

۴-۲-۷ مجموعه سامان‌پارها ❋

به ازای PSS_i، به مجموعه‌ای که شامل تمام اعضای Sub_i بوده و اگر عضوی از Sub_i خود PSS_j باشد شامل اجزای آن و همین‌طور الی آخر نیز باشد، **مجموعه سامان‌پارها** گفته می‌شود. این مجموعه را با Sub^*_i یا $PSS_i.Sub^*$ نشان می-دهند.

---

[1] Directive Pseudo-system

$$Sub_i^* = PSS_i.Sub^* = Sub_i \cup \left(\bigcup_{\substack{PSS_j \in Sub_i \\ j}} Sub_j^* \right)$$

۴-۲-۸ شبه‌سامانه‌ای از شبه‌سامانه‌ها ❊

هرگاه تمام اعضای مجموعه Sub_i^* در شبه‌سامانه PSS_i خود شبه‌سامانه باشند آنگاه PSS_i را **شبه‌سامانه‌ای از شبه-سامانه‌ها** گویند و آن را با PoP_i نمایش می‌دهند. لازم به ذکر است PoP_i نمی‌تواند خود عضوی از Sub_i^* باشد یعنی:

$$\begin{pmatrix} PSS_i = (Sub_i, Con_i, Act_i, Gol_i, AG_i, Eqs_i) \\ \wedge\, PSS_i \notin PSS_i.Sub^* \\ \wedge \left(\forall\, S_j \in PSS_i.Sub^*. \left(S_j \in PSS \right) \right) \end{pmatrix} \Leftrightarrow PSS_i \in PoP$$

مجموعه تمام PoP_is را PoP نامند.

۴-۲-۹ شبه‌سامانه‌ای از شبه‌سامانه‌های کامل[1] ❊

هرگاه PoP_i عضو مجموعه DCP نیز باشد و همچنین اعضای مجموعه Sub_i^* در PoP_i همگی عضو دو مجموعه DCP و PoP بوده و اشتراک مجموعه اهدافشان با مجموعه اهداف آن DCP_j که عضو مجموعه DCP_j.Sub آن هستند، تهی نباشد، آنگاه PoP یک **شبه‌سامانه‌ای از شبه‌سامانه‌های کامل** بوده و آن را با PPP_i نمایش می‌دهند.

$$\begin{pmatrix} PoP_i \in DCP \\ S \in PoP \cap DCP \\ \wedge\ \forall S \in PoP_i.Sub^*. \left(\wedge \forall S' \in PoP_i.Sub^*. \left(S \in S'.Sub \rightarrow (S.Gol \cap S'.Gol) \neq \emptyset \right) \right) \end{pmatrix}$$
$$\Leftrightarrow PoP_i \in PPP$$

مجموعه تمام PPP_is را PPP نامند.

قرارداد: هرگاه مجموعه PPP_i.Sub تهی باشد، آنگاه PPP_i حتما عضو PSS_j.Sub است، به‌طوری‌که مجموعه PPP_i.Gol زیرمجموعه PSS_j.Gol باشد.

$$(PPP_i.Sub = \emptyset) \Rightarrow \exists PSS_j. \left((PPP_i \in PSS_j.Sub) \wedge (PPP_i.Gol \subseteq PSS_j.Gol) \right)$$

---

[1] Perfect

۴-۲-۱۰ زیرسامانه[1]

اگر PPP_j عضو درآیه Sub شبه‌سامانه PSS_i باشد و درآیه DCP_j.Gol زیرمجموعه درآیه PSS_i.Gol باشد، همچنین اگر PSS_i عضو PPP_j.Sub* نباشد، آنگاه PPP_j یک **زیرسامانه** شبه‌سامانه PSS_i است و آن را با PPS_i-SBS_j نمایش می‌دهند. یعنی:

$$\left(\begin{array}{c}(PPP_j \in PSS_i.Sub)\\ \wedge\,(PPP_j.Gol \subseteq PSS_i.Gol)\\ \wedge\, PSS_i \notin PPP_j.Sub^*\end{array}\right) \Leftrightarrow DCP_j \in PSS_i - SBS$$

مجموعه تمام زیرسامانه‌های PSS_i را PSS_i-SBS می‌نامند.

توضیح: در این فرمالیسم مفهوم زیرسامانه‌ها شبیه مفهوم سامانه‌ها در نظر گرفته شده‌اند، یعنی هم هدف دارند هم قابلیت انجام کنش. تفاوت آن‌ها با سامانه‌ها در این است که یک، اهدافشان متعلق به خودشان نیست و کاملا از آن PSS که عضو ش هستند دریافت شده و دو، ممکن است از هیچ جزئی تشکیل نشده و قابل تجزیه نباشند.

۴-۲-۱۱سامان‌بن[2] *

به زیرسامانه PSS_i-SBS_j که درآیه Sub_j و بالطبع درآیه Con_j در آن تهی باشد **سامان‌بن** گویند و آن را با PSS_i-SOM_j نمایش می‌دهند. یعنی:

$$(PSS_i - SBS_j.Sub = \emptyset) \Leftrightarrow PSS_i - SBS_j \in PSS_i - SOM$$

به مجموعه تمام سامان‌بن‌های PSS_i، PSS_i-SOM می‌گویند.

توضیح: سامان‌بن همان زیرسامانه‌ای است که قابل تجزیه نباشد.

---

[1] Sub-system

[2] "Atom Of System" or "Systom"

۴-۲-۱۲ سامانه

اگر اعضای درآیه Sub در PPP_i که بیش از یک عضو دارد، همگی عضو PPP_i-SBS باشند و همچنین PPP_i عضو درآیه Sub شبه‌سامانه PSS_j باشد به‌طوری‌که عضوی از PPP_i.Gol وجود داشته باشد که عضو درآیه Gol شبه‌سامانه PSS_j نباشد، همچنین تعداد اعضای درآیه PPP_i.Con کمتر یا برابر $Max(|PPP_i.Sub| - 1\ , 0.15 \times \frac{|PPP_i.Sub| \times (|PPP_i.Sub| - 1)}{2})$ باشد و همچنین PSS_j عضو $PPP_i.Sub^*$ نباشد، در این صورت PPP_i در PSS_j یک **سامانه** بوده و آن را با PSS_j-SYS_i نمایش می‌دهند. یعنی:

$$\left(\begin{array}{c} |PPP_i.Sub| > 1 \\ \wedge \forall S \in PPP_i.Sub.\ (S \in PPP_i - SBS) \\ \wedge \exists PSS_j.\ ((PPP_i \in PSS_j.Sub) \wedge (PPP_i.Gol - PSS_j.Gol \neq \emptyset)) \\ \wedge |PPP_i.Con| \leq Max\left(|PPP_i.Sub| - 1\ , 0.15 \times \frac{|PPP_i.Sub| \times (|PPP_i.Sub| - 1)}{2}\right) \\ \wedge PSS_j \notin PPP_i.Sub^* \end{array}\right)$$
$$\Leftrightarrow PPP_i \in PSS_j - SYS$$

مجموعه تمام سامانه‌های موجود در PSS_j را PSS_j-SYS می‌نامند.

قرارداد: اگر به هنگام مدلسازی به طور واضح ذکر نشود PPP_i عضو چه PSS_j.Subای است، فرض می‌شود که PPP_i عضو PSS_j.Sub است، به‌طوری‌که PSS_j.Gol تهی باشد. این گونه سامانه‌ها را می‌توان به صورت SYS_i نیز نمایش داد.

توضیح: تعریف این بند مطابق با تعریف پذیرفته شده و تحلیل‌های موجود در بند 2-2-1 است.

۴-۲-۱۳ سامانه‌ای از سامانه‌ها

اگر یکی اعضای درآیه Sub در PPPi که بیش از یک عضو دارد، عضو PPPi-SBS نباشد و همچنین PPPi عضو درآیه Sub شبه‌سامانه PSSj باشد به‌طوری‌که عضوی از PPPi.Gol وجود داشته باشد که عضو درآیه Gol شبه‌سامانه PSSj نباشد. همچنین تعداد اعضای درآیه PPPi.Con بیشتر از $Max(|PPP_i.Sub| - 1\ , 0.15 \times \frac{|PPP_i.Sub| \times (|Sub| - 1)}{2})$ باشد و همچنین PSS_j عضو $PPP_i.Sub^*$ نباشد، در این صورت PPP_i در PSS_j یک **سامانه‌ای از سامانه‌ها** بوده و آن را با PSS_j-SoS_i نمایش می‌دهند. یعنی:

$$\left(\begin{array}{c} |PPP_i.Sub| > 1 \\ \wedge \exists S \in PPP_i.Sub.\,(S \notin PPP_i - SBS) \\ \wedge \exists PSS_j.\,((PPP_i \in PSS_j.Sub) \wedge (PPP_i.Gol - PSS_j.Gol \neq \emptyset)) \\ \wedge |PPP_i.Con| > Max\left(|PPP_i.Sub| - 1\,, 0.15 \times \frac{|PPP_i.Sub| \times (|PPP_i.Sub| - 1)}{2}\right) \\ \wedge PSS_j \notin PPP_i.Sub^* \end{array}\right)$$

$$\Leftrightarrow PPP_i \in PSS_j - SoS$$

مجموعه تمام سامانه‌ای از سامانه‌های موجود در PSS_j را PSS_j-SoS می‌نامند.

قرارداد: اگر به هنگام مدلسازی به طور واضح ذکر نشود PPP_i عضو کدام PSS_j.Sub است، فرض می‌شود که PPP_i عضو PSS_j.Sub است به‌طوری‌که PSS_j.Gol تهی باشد. این گونه سامانه‌ای از سامانه‌ها را می‌توان به صورت SoS_i نیز نمایش داد.

توضیح: تعریف این بند مطابق با تعریف پذیرفته شده و تحلیل‌های موجود در بند 2-3 است. البته دو فرض دیگری به این تعاریف اضافه شده است. فرض اول این است که SoSs هم می‌توانند زیرسامانه داشته باشند. فرض دوم این است که SoSs علاوه‌بر داشتن اجزائی که سامانه هستند، می‌توانند اجزایی داشته باشند که خود آن اجزا نیز SoS باشند.

۴-۲-۱۴ مجموعه سامانه‌وارها[1] *

به اجتماع دو مجموعه PSS_j-SYS و PSS_j-SoS مجموعه **سامانه‌وارهای** PSS_j گفته‌می‌شود و می‌توان آن را با PSS_j-SSL نمایش داد.

$$PSS_j - SoS \cup PSS_j - SYS = PSS_j - SSL$$

[1] System-like

۴-۲-۱۵ خانواده‌ای از سامانه‌ها

هرگاه اعضای درآیه Sub در گردآیه همبند CCL_i که بیش از یک عضو دارد همگی عضو CCL_i-SSL باشند و درآیه Con گردآیه همبند CCL_i شامل همه زیر مجموعه‌های دوتایی درآیه Sub گردآیه همبند CCL_i باشد، آنگاه گردآیه همبند CCL_i یک **خانوادهای از سامانه‌ها** بوده و آن را با FoS_i نمایش می‌دهند. یعنی:

$$\begin{pmatrix} |CCL_i.Sub| > 1 \\ \wedge\ (\forall\ S \in CCL_i.Sub\ .\ (S \in CCL_i - \text{SSL})) \\ \wedge\ CCL_i.Con = \{\{S', S''\} | S', S'' \in CCL_i.Sub\} \end{pmatrix} \Leftrightarrow CCL_i \in FoS$$

به مجموعه تمام FoS_is، FoS گویند.

توضیح: تعریف این بند مطابق با تعریف پذیرفته شده و تحلیل‌های موجود در بند 2-6 است. البته فرض دیگری در نظر گرفته شده که FoS علاوه بر اجزایی که سامانه‌اند می‌تواند اجزایی داشته باشد که SoS هستند.

۴-۲-۱۶ تعریف مشخصه‌های خودمختاری، تعلق،اتصال و تنوع در PoPs

سه خاصیت خودمختاری، تعلق و اتصال هم برای گروهی از شبه‌سامانه‌های تشکیل‌دهنده تعریف می‌شوند هم برای گروهی از خود PoP_is؛ اما مشخصه چهارم که تنوع باشد فقط برای گروهی از PoP_is تعریف می‌شود.

۴-۲-۱۶-۱ خودمختاری در PSS_js تشکیل‌دهنده

اگر شبه‌سامانه هدفمند DPS_j عضو درآیه Sub شبه‌سامانه‌ای از شبه‌سامانه‌های PoP_i باشد آنگاه خودمختاری DPS_j در PoP_i میزان عضویت آن در مجموعه فازی $A\text{-}PoP_i$ است. این مجموعه فازی نشان‌دهنده خودمختاری در PoP_i است و تعریف آن مطابق زیر است:

$$A - PoP_i = \left\{ \left(S, \mu_{A-PoP_i}(S) \right) | S \in U_{A-PoP_i}, \mu_{A-PoP_i}(S) \in [0,1] \right\}$$

$$U_{A-PoP_i} = \{ S \in PoP_i.Sub | S \in DPS) \}$$

$$\mu_{A-PoP_i}(S) = \frac{|\{a \in S.Act | (a,g) \in S.AG \wedge g \notin PoP_i.Gol\}|}{|S.Act|}$$

یعنی خودمختاری در PoP_i برای شبه‌سامانه هدفمند DPS برابر نسبت تعداد کنش‌های در راستای اهداف خود به تعداد کل کنش‌ها است.

توضیح: تعریف این بند مطابق با تعریف پذیرفته شده و تحلیل‌های موجود در بند 2-4-1 است.

۴-۲-۱۶-۲ خودمختاری در خود PoP_is ❋

اگر تمام اعضای درآیه Sub در شبه‌سامانه‌ای از شبه‌سامانه‌های PoP_i خود شبه‌سامانه هدفمند باشند آنگاه خودمختاری برای PoP_i تعریف‌پذیر بوده و برابر میزان عضویت آن در مجموعه فازی A_T است. تعریف این مجموعه مطابق زیر است:

$$A_T = \left\{\left(P, \mu_{A_T}(P)\right) | P \in U_{A_T}, \mu_{A_T}(P) \in [0,1]\right\}$$

$$U_{A_T} = \{P \in U | P \in PoP \wedge \forall S \in P.Sub(S \in DPS)\}$$

$$\mu_{A_T}(P) = \frac{\sum_{S \in P.Sub}(\mu_{A_P}(S))}{|P.Sub|}$$

۴-۲-۱۶-۳ تعلق در PSS_js تشکیل‌دهنده

اگر شبه‌سامانه هدفمند DPS_j عضو درآیه Sub شبه‌سامانه‌ای از شبه‌سامانه‌های PoP_i باشد آنگاه تعلق DPS_j به PoP_i میزان عضویت آن در مجموعه فازی $B\text{-}PoP_i$ است. این مجموعه فازی نشان‌دهنده میزان تعلق به PoP_i است و تعریف آن مطابق زیر است:

$$B - PoP_i = \left\{\left(S, \mu_{B-PoP_i}(S)\right) | S \in U_{B-PoP_i}, \mu_{B-PoP_i}(S) \in [0,1]\right\}$$

$$U_{B-PoP_i} = \{S \in PoP_i.Sub | S \in DPS\}$$

$$\mu_{B-PoP_i}(S) = \frac{|S.Gol \cap PoP.Gol|}{|S.Gol|}$$

توضیح: تعریف این بند مطابق با تعریف پذیرفته شده و تحلیل‌های موجود در بند 2-4-2 است.

۴-۲-۱۶-۴ تعلق در خود PoP_is ❋

اگر تمام اعضای درآیه Sub در شبه‌سامانه‌ای از شبه‌سامانه‌های PoP_i خود شبه‌سامانه هدفمند باشند آنگاه تعلق برای PoP تعریف‌پذیر بوده و برابر میزان عضویت آن در مجموعه فازی B_T است. تعریف این مجموعه مطابق زیر است:

$$B_T = \left\{\left(P, \mu_{B_T}(P)\right) | P \in U_{B_T}, \mu_{B_T}(P) \in [0,1]\right\}$$

$$U_{B_T} = \{P \in U | P \in PoP \wedge \forall S \in P.Sub(S \in DPS)\}$$

$$\mu_{B_T}(P) = \frac{\sum_{S \in P.Sub}(\mu_{B_P}(S))}{|P.Sub|}$$

۴-۲-۱۶-۵ اتصال در PSS_js تشکیل‌دهنده

اگر درآیه Sub در شبه‌سامانه‌ای از شبه‌سامانه‌های PoP_i بیش از یک عضو داشته باشد آنگاه اتصال برای اعضای درآیه Sub برابر میزان عضویت آن‌ها در مجموعه فازی $C\text{-}PoP_i$ است. تعریف این مجموعه فازی از قرار زیر است.

$$C - PoP_i = \left\{\left(S, \mu_{C-PoP_i}(S)\right) | S \in U_{C-PoP_i}, \mu_{C-PoP_i}(S) \in [0,1]\right\}$$

$$U_{C-PoP_i} = \{PoP_i.Sub || PoP_i.Sub| > 1\}$$

$$\mu_{C-PoP_i}(S) = \frac{|\{(S', S'') \in PoP_i.Con | S' = S\}|}{|PoP_i.Sub| - 1}$$

توضیح: تعریف این بند مطابق با تعریف پذیرفته شده و تحلیل‌های موجود در بند 2-4-3 است.

۴-۲-۱۶-۶ اتصال در خود PoP_is ❋

اگر درآیه Sub در شبه‌سامانه‌ای از شبه‌سامانه‌های PoP_i بیش از یک عضو داشته باشد آنگاه اتصال برای PoP برابر میزان عضویت آن در مجموعه فازی C_T است. تعریف این مجموعه فازی از قرار زیر است.

$$C_T = \left\{\left(P, \mu_{C_T}(P)\right) | P \in U_{C_T}, \mu_{C_T}(P) \in [0,1]\right\}$$

$$U_{C_T} = \{P \in PoP || P.Sub| > 1\}$$

$$\mu_{C_T}(P) = \frac{\sum_{S \in P.Sub}(\mu_{C_P}(S))}{|P.Sub|} = \frac{\frac{2 \times |P.Con|}{|P.Sub| - 1}}{|P.Sub|} = \frac{|P.Con|}{\left(\frac{|P.Sub| \times (|P.Sub| - 1)}{2}\right)}$$

۴-۲-۱۶-۷ تنوع در PoP_is

اگر درآیه Sub در شبه‌سامانه‌ای از شبه‌سامانه‌های PoP_i تهی نباشد و همچنین سه مشخصه قبلی برای PoP_i تعریف شود آنگاه اتصال برای PoP_i برابر میزان عضویت آن در مجموعه فازی D_T است. تعریف این مجموعه فازی از قرار زیر است.

$$D_T = \left\{\left(P, \mu_{D_T}(P)\right) | P \in U_{D_T}, \mu_{D_T}(P) \in [0,1]\right\}$$

$$U_{D_T} = \{P \in PoP | P \in U_{A_T} \wedge P \in U_{B_T} \wedge P \in U_{C_T} \wedge P.Sub \neq \emptyset\}$$

$$\mu_{D_T}(P) = \frac{|P.Sub| - |P.Sub|^{\theta}}{|P.Sub|}, \theta = 1 - \frac{\mu_{A_T}(P) + (1 - \mu_{B_T}(P)) + \mu_{C_T}(P)}{3}$$

توضیح: تعریف این بند مطابق با تعریف پذیرفته شده و تحلیل‌های موجود در بند 2-4-4 است.

۴-۲-۱۶-۸ توضیحاتی در مورد تعاریف صوری مشخصه‌ها

مقدار مشخصه‌ها در واقع همان مقداری است که از تابع عضویت در مجموعه فازی تعریف شده برای مشخصه حاصل می‌شود. برد توابع عضویت در مجموعه‌های فازی باید در بازه [0,1] باشد. این خود یک مزیت برای تعاریف محسوب می-شود، چون به صورت خودکار مقادیر نسبی می‌شوند. در این توابع همواره بزرگترین مقدار ممکن برای متغیری که در صورت توابع آمده، در مخرج کسر قرار گرفته است. به این ترتیب همواره مقدار این توابع بین صفر و یک قرار می‌گیرد.

۴-۲-۱۷ تعریف PoP_i سنجش‌پذیر *

هرگاه برای شبه‌سامانه‌ای از شبه‌سامانه‌های PoP_i مشخصه‌های خودمختاری، تعلق، اتصال و تنوع قابل تعریف بود همچنین PoP_i خود زیرسامانه هیچ PSS_k نباشد آنگاه آن را سنجش‌پذیر[1] می‌خوانند و آن را با MPP_i نمایش می‌دهند. سامانه، SoS و FoS هر سه از دسته PoPs سنجش‌پذیر هستند. در ادامه به بررسی این سه مورد پرداخته می‌شود.

مجموعه تمامی MPP_i را با MPP نشان می‌دهند.

۴-۲-۱۷-۱ بررسی مشخصه‌ها و سنجش‌پذیری در سامانه

۴-۲-۱۷-۱-۱ خودمختاری

طبق تعریف، زیرسامانه‌ها هدفمند هستند. بنابراین خودمختاری برای آن‌ها تعریف‌پذیر است. همچنین طبق تعریف اهداف زیر سامانه‌های تشکیل‌دهنده سامانه زیر مجموعه اهداف سامانه است یعنی:

$$\forall S \in SYS_i - SBS.\ (S.Gol \subseteq SYS_i.Gol)$$

بنابراین طبق تعریف، خودمختاری برای PSS_js تشکیل‌دهنده $SYS_i - SBS$ برای تمام آن‌ها صفر خواهد بود. یعنی تمام زیر سامانه‌های تشکیل دهنده SYS_i خودمختاری ندارند :

$$\forall S \in SYS_i - SBS.\ (S.Gol \subseteq SYS_i.Gol) \Rightarrow \forall S \in SYS_i - SBS.\ (\mu_{A-SYS_i}(S) = 0)$$

---

[1] Measurable

تمام اجزای تشکیل دهنده سامانه زیرسامانه هستند؛ بنابراین خودمختاری برای سامانه تعریف‌پذیر است. وقتی تمام زیرسامانه‌های تشکیل‌دهنده خودمختاری نداشته باشد، مقدار تابع $\mu_{A_T}(SYS_i)$ نیز صفر است؛ یعنی در هیچ سامانه‌ای اجزای تشکیل‌دهنده خودمختاری ندارند:

$$\forall S \in SYS_i - SBS.\,(S.Gol \subseteq SYS_i.Gol) \Rightarrow$$
$$\forall S \in SYS_i - SBS.\,(\mu_{A-SYS_i}(S) = 0) \Leftrightarrow \mu_{A_T}(SYS_i) = 0)$$

۴-۲-۱۷-۱-۲ تعلق

طبق تعریف زیرسامانه‌ها هدفمند هستند بنابراین تعلق برای آن‌ها تعریف‌پذیر است. همچنین طبق تعریف اهداف زیرسامانه‌های تشکیل‌دهنده سامانه، زیرمجموعه اهداف سامانه است یعنی:

$$\forall S \in SYS_i - SBS.\,(S.Gol \subseteq SYS_i.Gol)$$

بنابراین طبق تعریف، تعلق $\mathrm{PSS_j s}$ تشکیل‌دهنده $SYS_i - SBS$ برای تمام آنها یک خواهد بود. یعنی تمام زیر سامانه‌های تشکیل دهنده $\mathrm{SYS_i}$ به سامانه تعلق کامل دارند :

$$\forall S \in SYS_i - SBS.\,(S.Gol \subseteq SYS_i.Gol) \Rightarrow \forall S \in SYS_i - SBS.\,(\mu_{B-SYS_i}(S) = 1)$$

تمام اجزای تشکیل دهنده سامانه زیرسامانه هستند بنابراین تعلق برای سامانه تعریف‌پذیر است. وقتی تمام زیرسامانه-های تشکیل‌دهنده به سامانه تعلق کامل داشته باشد؛ مقدار تابع $\mu_{B_T}(SYS_i)$ نیز یک است یعنی در همه سامانه‌ها اجزای تشکیل‌دهنده تعلق کامل به سامانه دارند:

$$\forall S \in SYS_i - SBS.\,(S.Gol \subseteq SYS_i.Gol) \Rightarrow$$
$$\forall S \in SYS_i - SBS.\,(\mu_{B-SYS_i}(S) = 1) \Leftrightarrow \mu_{A_T}(SYS_i) = 1)$$

۴-۲-۱۷-۱-۳ اتصال

طبق تعریف سامانه‌ها بیش از یک زیرسامانه دارند. بنابراین مشخصه اتصال برای خودشان و اجزایشان قابل تعریف است. از طرف دیگر سامانه‌ها، گونه‌ای $\mathrm{PSS_i}$ همبند هستند. بنابراین هر کدام از زیرسامانه‌های تشکیل‌دهنده آنها حداقل به یک زیرسامانه دیگر متصل است. بنابراین:

$$\forall S \in SYS_i - SBS.\,(0 < \mu_{C-SYS_i}(S) \leq 1)$$

حداقل اتصال برای زیرسامانه‌ها در سامانه مشخص SYS_i برابر $\frac{1}{|SYS_i.Sub|-1}$ برای دو زیرسامانه و برای مابقی $\frac{2}{|SYS_i.Sub|-1}$ است.(در صورت خطی بودن ساختار گراف (SYS_i.Sub, SYS_i.Con))

به دلیل اینکه تمام زیر سامانه‌های سامانه SYS_i از اتصال برخوردار هستند تابع $\mu_{C_T}(SYS_i)$ مقداری غیر صفر دارد:

$$\forall S \in SYS_i - SBS. (0 < \mu_{C-SYS_i}(S) \leq 1) \Leftrightarrow (0 < \mu_{C_T}(SYS_i) \leq 1)$$

کمترین مقدار آن (در صورت درختی بودن ساختار گراف (SYS_i.Sub, SYS_i.Con)) برابر $\frac{2}{|SYS_i.Sub|}$ است و بیشترین مقدار آن هم برابر $Max(\frac{2}{|SYS_i.Sub|}, 0.15)$ است(طبق تعریف).

۴-۱-۱۷-۲-۴ تنوع

سامانه‌ها از بیش از یک زیرسامانه تشکیل شده‌اند و طبق بندهای قبل سه خاصیت خودمختاری، تعلق و اتصال برای آن‌ها تعریف می‌شود پس تنوع برای آن‌ها تعریف‌پذیر می‌باشد.

$$\mu_{D_T}(SYS_i) = \frac{|SYS_i.Sub| - |SYS_i.Sub|^{\theta}}{|SYS_i.Sub|}, \theta = 1 - \frac{\mu_{C_T}(SYS_i)}{3}$$

مقدار کمینه $\mu_{D_T}(SYS_i)$ در حالتی است که $\mu_{C_T}(SYS_i)$ در کمینه خود باشد یعنی: $\mu_{D_T}(SYS_i) = \frac{2}{|SYS_i.Sub|}$.

۴-۲-۱۷-۲ بررسی مشخصه‌ها و سنجش‌پذیری در SoS_i

۴-۲-۱۷-۲-۱ خودمختاری

طبق تعریف حداقل یکی از اجزای تشکیل دهنده SoS_is زیرسامانه آن نیست؛ به بیان دیگر و مطابق با تعاریفی که پیش از این معرفی شد، حداقل یکی از اجزای تشکیل دهنده SoS_i سامانه‌وار است. برای زیر سامانه‌ها همانطور که پیشتر در بند 4-2-17-1-1 بررسی شد خودمختاری تعریف‌پذیر اما برابر صفر است. حال به بررسی سامانه‌وارها پرداخته می‌شود. سامانه‌وارهای عضو یک SoS_i علاوه بر اهداف مشترک با SoS_i اهدافی غیر مشترک نیز دارند؛ کنش‌هایی نیز هستند که این اهداف غیر مشترک را تأمین می‌کنند بنابراین مقدار تابع $\mu_{A-SoS_i}(SoS_i - SSL_j)$ بزرگتر از صفر و کوچکتر از «1» خواهد بود:

$$\forall S \in SoS_i - SSL. (0 < \mu_{A-SoS_i}(S) < 1)$$

هم سامانه‌وارها و هم زیرسامانه‌ها شبه‌سامانه‌هایی هدفمند هستند بنابراین طبق تعریف، خودمختاری برای SoSiS قابل تعریف است و چون مقدار تابع μ_{A-SoS_i} برای زیرسامانه‌ها صفر و برای سامانه‌وارهای عضو SoS مابین صفر و یک است، بنابراین مقدار $\mu_{A_T}(SoS)$ نیز مابین صفر و یک خواهد بود. یعنی:

$$\forall S \in SoS_{\ i} - SSL.\left(0 < \mu_{A-SoS_i}(S) < 1\right) \wedge \forall S' \in SoS_i - SBS.\left(\mu_{A-SoS_i}(S') = 0\right) \Leftrightarrow$$
$$0 < \mu_{A_T}(SoS_{\ i}) < 1$$

۴-۲-۱۷-۲-۲ تعلق

طبق تعریف حداقل یکی از اجزای تشکیل دهنده SoSiS زیرسامانه آن نیست؛ به بیان دیگر و مطابق با تعاریفی که پیش از این معرفی شد حداقل یکی از اجزای تشکیل دهنده SoSi سامانه‌وار است. برای زیر سامانه‌ها همانطور که پیشتر در بند 4-2-17-1-2 بررسی شد تعلق تعریف‌پذیر و برابر «1» است. حال به بررسی سامانه‌وارها پرداخته می‌شود. سامانه-وارهای عضو یک SoSi علاوه بر اهداف مشترک با SoSi اهدافی غیرمشترک نیز دارند؛ بنابراین چون اشتراک اهداف سامانه‌وار و اهداف SoSi تهی نیست. مقدار تابع $\mu_{B-SoS_i}(SoS_{\ i} - SSL_j)$ بزرگتر از صفر و کوچکتر از «1» خواهد بود:

$$\forall S \in SoS_{\ i} - SSL.\left(0 < \mu_{B-SoS_i}(S) < 1\right)$$

هم سامانه‌وارها و هم زیرسامانه‌ها شبه‌سامانه‌هایی هدفمند هستند، بنابراین طبق تعریف، تعلق برای SoSiS قابل تعریف است و چون مقدار μ_{B-SoS_i} برای زیرسامانه‌ها صفر و برای سامانه‌وارهای عضو SoSi مابین صفر و یک است بنابراین مقدار $\mu_{B_T}(SoS)$ نیز مابین صفر و یک خواهد بود. یعنی:

$$\forall S \in SoS_{\ i} - SSL.\left(0 < \mu_{B-SoS_i}(S) < 1\right) \wedge \forall S' \in SoS_i - SBS.\left(\mu_{B-SoS_i}(S') = 1 \Leftrightarrow\right.$$
$$0 < \mu_{B_T}(SoS_i) < 1$$

۴-۲-۱۷-۲-۳ اتصال

طبق تعریف درآیه Sub در SoSi بیش از یک عضو دارد. بنابراین مشخصه اتصال برای خودش و اجزایش قابل تعریف است. از طرف دیگر سامانه‌ای از سامانه‌ها گونه‌ای PSSi همبند است؛ بنابراین هر کدام از زیرسامانه‌ها یا سامانه تشکیل-دهنده آنها حداقل به یک زیرسامانه یا سامانه دیگر متصل است. بنابراین:

$$\forall S \in SoS_{\ i} - SSL.\left(0 < \mu_{C-SoS_i}(S) \leq 1\right) \wedge \forall S' \in SoS_i - SBS.\left(0 < \mu_{C-SoS_i}(S') \leq 1\right)$$

حداقل اتصال برای اجزای تشکیل‌دهنده (همان سامانه‌وارها و زیرسامانه‌ها) SoS_i برابر $\frac{1}{|SoS_i.Sub|-1}$ برای دو زیرسامانه یا سامانه و برای مابقی $\frac{2}{|SYS_i.Sub|-1}$ است.(در صورت خطی بودن ساختار گراف (SoS_i.Sub, SoS_i.Con))

به دلیل اینکه تمام اجزای SoS_i از اتصال برخوردار هستند تابع $\mu_{C_T}(SoS_i)$ مقداری غیر صفر دارد:

$$\forall S \in SoS_i.sub.(0 < \mu_{C-SoS_i}(S) \leq 1) \Leftrightarrow (0 < \mu_{C_T}(SoS_i) \leq 1)$$

و کمترین میزان آن برابر $Max(\frac{2}{|SoS_i.Sub|}, 0.15)$ است.

۴-۲-۱۷-۲-۴ تنوع

سامانه‌ای از سامانه‌ها از بیش از یک زیرسامانه یا سامانه‌وار تشکیل شده‌اند و طبق بندهای قبل سه خاصیت خودمختاری، تعلق و اتصال برای آن‌ها تعریف می‌شود پس تنوع برای آن تعریف پذیر می‌باشد.

$$\mu_{D_T}(SoS_i) = \frac{|SoS_i.Sub| - |SoS_i.Sub|^{\theta}}{|SoS_i.Sub|}, \theta = 1 - \frac{\mu_{A_T}(SoS_i) + (1 - \mu_{B_T}(SoS_i)) + \mu_{C_T}(SoS_i)}{3}$$

۴-۲-۱۷-۳ بررسی مشخصه‌ها و سنجش‌پذیری در FoS

۴-۲-۱۷-۳-۱ خودمختاری

طبق تعریف تمام اعضای درآیه Sub در FoS_i سامانه‌وار بوده و همه سامانه‌وارها هدفمند اند. بنابراین خودمختاری هم برای سامانه‌های عضو FoS_i و هم برای خود FoS_i قابل تعریف است. درآیه Gol در FoS_i تهی است. بنابراین هیچ اشتراکی میان اهداف سامانه‌وارها با اهداف FoS_i وجود ندارد بنابراین تمام کنش‌های سامانه‌وارها، در راستای اهداف خود آنها است. بنابراین با توجه به تعریف خودمختاری مقدار این مشخصه برای تمام سامانه‌وارهای موجود در FoS برابر «1» است:

$$\forall S \in FoS_i - SSL.(S.Gol \cap FoS_i.Gol = \emptyset) \Rightarrow \forall S \in FoS_i - SSL.(\mu_{A-FoS_i}(S) = 1)$$

همانطور که ذکر شده خودمختاری برای تمام سامانه‌وارهای عضو FoS_i تعریف می‌شود و برابر «1» است بنابراین خودمختاری برای FoS_i هم برابر «1» است.

$$\forall S \in FoS_i.Sub.(S.Gol \cap FoS_i.Gol = \emptyset) \Rightarrow \forall S \in FoS_i.Sub.(\mu_{A-FoS_i}(S) = 1)$$
$$\Leftrightarrow \mu_{A_T}(FoS_i) = 1)$$

۴-۲-۱۷-۳-۲ تعلق

طبق تعریف تمام اعضای درآیه Sub در FoS_i سامانه‌وار بوده و همه سامانه‌وارها هدفمند اند. بنابراین خودمختاری هم برای سامانه‌های عضو FoS_i و هم برای خود FoS_i قابل تعریف است. درآیه Gol در FoS_i تهی است. بنابراین هیچ اشتراکی میان اهداف سامانه‌وارها با اهداف FoS_i وجود ندارد. بنابراین با توجه به تعریف تعلق مقدار این مشخصه برای تمام سامانه‌وارهای موجود در FoS_i برابر صفر است:

$$\forall S \in FoS_i - SSL\,.\,(S.Gol \cap FoS_i.Gol = \emptyset) \Rightarrow \forall S \in FoS_i - SSL\,.\,(\mu_{B-FoS_i}(S) = 0)$$

همانطور که ذکر شد خودمختاری برای تمام سامانه‌وارهای عضو FoS_i تعریف می‌شود و برابر صفر است بنابراین خودمختاری برای FoS_i هم برابر صفر است.

$$\forall S \in FoS_i.Sub.\,(S.Gol \cap FoS_i.Gol = \emptyset) \Rightarrow \forall S \in FoS_i.Sub.\,(\mu_{B-FoS_i}(S) = 0) \Leftrightarrow \mu_{B_T}(FoS_i) = 0)$$

۴-۲-۱۷-۳-۳ اتصال

از آنجا که گراف (Sub,Con) تشکیل شده از درآیه‌های FoS_i طبق تعریف گراف کامل است بنابراین اتصال تعریف پذیر و برای سامانه‌وارهای عضو و خود FoS_i برابر «1» است.

$$\forall S \in FoS_i - SSL.\,(\mu_{C-FoS_i}(S) = 1) \Leftrightarrow \mu_{C_T}(FoS_i) = 1$$

۴-۲-۱۷-۳-۴ تنوع

خانواده‌ای از سامانه‌ها از بیش از یک سامانه‌وار تشکیل شده‌اند و طبق بندهای قبل سه خاصیت خودمختاری، تعلق و اتصال برای آن‌ها تعریف می‌شود پس تنوع برای آن تعریف پذیر می‌باشد.

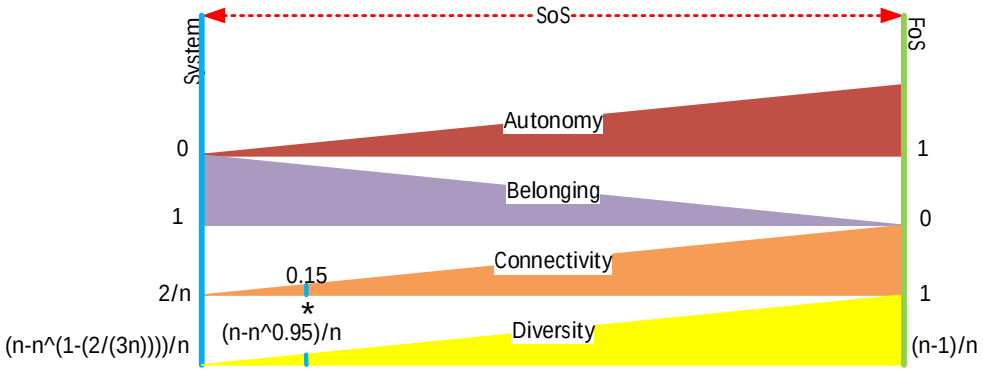
$$\mu_{D_T}(FoS) = \frac{|FoS_i.Sub| - |FoS_i.Sub|^{\theta}}{|FoS.Sub|}, \theta = 1 - \frac{\mu_{A_T}(FoS_i) + (1 - \mu_{B_T}(FoS_i)) + \mu_{C_T}(FoS_i)}{3}$$

طبق تعاریف قبلی مقدار θ برابر صفر است در نتیجه مقدار تنوع برای FoS بیشترین حد ممکن قرار دارد یعنی:

$$\mu_{D_T}(FoS_i) = \frac{|FoS_i.Sub| - 1}{|FoS_i.Sub|}$$

❊ ASSAF[1] طیف ۳-۴

با توجه به اینکه مشخصه‌های ذکر شده برای سامانه، SoS و FoS بررسی شد، حال می‌توان این سه را با توجه به مقدار مشخصه‌ها برای هر کدام آن‌ها، در طیفی قرار داد که در یک سمت آن سامانه، در سمت دیگر FoS و در میانه SoS قرار دارد. این طیف را طیف ارزیابی سامانه، SoS و FoS یا به اختصار ASSAF نامیده‌می‌شود. این طیف و تغییرات مشخصه‌ها در **شکل ۸** آمده است. «n» در این شکل به معنی تعداد اعضای Sub در PoP مورد نظر است. محلی که با «*» مشخص شده نشان‌دهنده این است که اگر «n» از 13 بیشتر باشد، دو مشخصه اتصال و تنوع برای سامانه‌ها اجازه دارند تا آن مقدار افزایش بیابند و در SoSs این مشخصه‌ها نباید از این مقادیر کمتر شوند. این مقادیر برای اتصال برابر 0.15 و برای تنوع برابر $\frac{n-n^{0.95}}{n}$ است.



شکل ۸: طیف ASSAF

طبق بررسی‌های صورت گرفته در بند 4-2-16-8 نتایج زیر حاصل می‌شود:

- مشخصه خود مختاری برای سامانه برابر صفر، برای FoS برابر «1» و برای SoS در بازه باز (0,1) قرار دارد یعنی طبق نمودار از چپ به راست افزایش می‌یابد.

[1] Assessment of System,SoS And FoS

- مشخصه تعلق برای سامانه برابر «1»، برای FoS برابر صفر و برای SoS در بازه باز (0,1) قرار دارد یعنی طبق نمودار از چپ به راست کاهش می‌یابد.
- مشخصه اتصال برای سامانه در بازه بسته $\left[\frac{2}{n}, Max(\frac{2}{n}, 0.15)\right]$، برای FoS برابر 1 و برای SoS در بازه باز $\left(Max\left(\frac{2}{n}, 0.15\right), 1\right)$
- مشخصه تنوع برای سامانه در بازه بسته $\left[\frac{n-n^{1-\frac{2}{3n}}}{n}, Max(\frac{n-n^{1-\frac{2}{3n}}}{n}, \frac{n-n^{0.95}}{n})\right]$ برای FoS برابر $\frac{n-1}{n}$ و برای SoS در بازه باز $\left(Max\left(\frac{n-n^{1-\frac{2}{3n}}}{n}, \frac{n-n^{0.95}}{n}\right), \frac{n-1}{n}\right)$ قرار دارد.

این نتایج به دست آمده حاکی از این موضوع هستند که مدل پیشنهادی با آنچه در فصل 2 به آن پرداخته شده تطابق کامل دارد چرا که تمام نتایج به دست‌آمده در این مدل با ادبیات موضوع و موارد آن هماهنگ است و به راحتی آن‌ها را توجیه می‌کند. در ادامه با استفاده از همان مفاهیم ادبیات موضوع سعی در تکمیل مدل پیشنهادی در چند گام می‌شود.

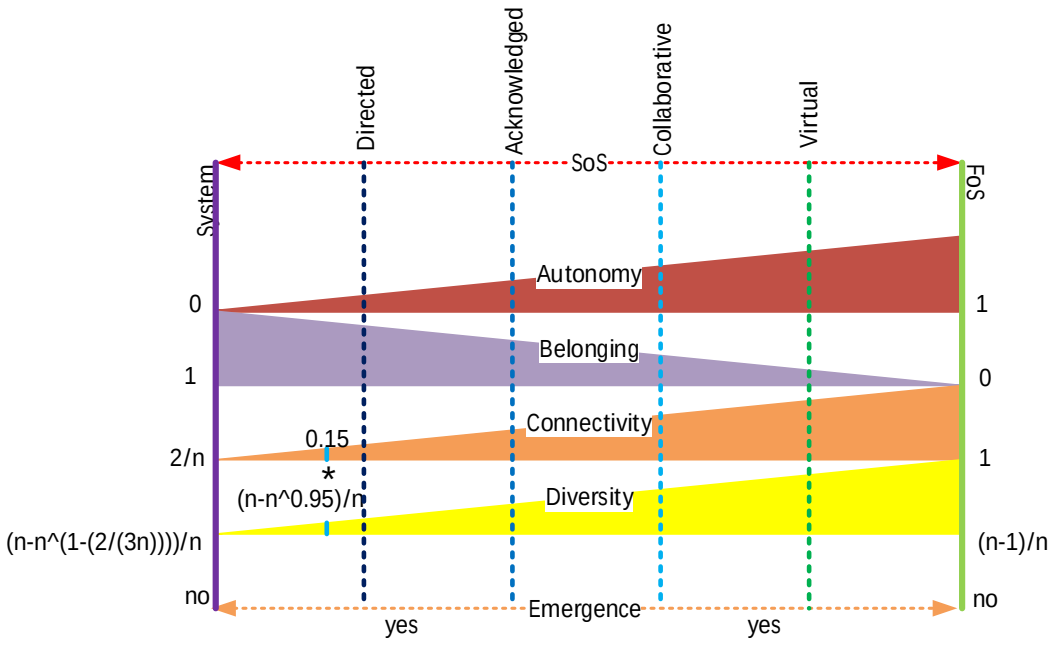
۴-۴ تکمیل طیف ASSAF ❊

۴-۴-۱ گام اول افزودن مشخصه برآیش

در فصل دوم در بند 2-4-5 مشخصه برآیش معرفی شد که در نگاه اول به نظر می‌رسد در مدل نادیده گرفته شده است. اما در حقیقت اینگونه نیست. همانطور که می‌دانیم مشخصه برآیش حاصل حضور دو مشخصه تعلق و خودمختاری است و نیاز به حضور دو مشخصه دیگر یعنی اتصال و تنوع دارد تا برقرار گردد. در واقع این مشخصه به صورت ضمنی با تعریف مشخصات دیگر حاصل می‌شود و خود نیاز به تعریف ندارد. بنابراین چون ما در مدلمان مشخصه‌های مذکور را به صورت مستقیم تعریف کردیم دیگر نیازی به تعریف مشخصه برآیش نداریم چرا که نتیجه حاصل از این تعاریف خود به خود منجر به مدل‌بندی برآیش می‌شود. طبق تعریف برآیش تنها با حضور هر چهار مشخصه قبلی یعنی خودمختاری، تعلق، اتصال و تنوع است که به وجود می‌آید؛ بنابراین طبق آنچه که در شکل 9 آمده است این مشخصه در سامانه (به علت صفر بودن خودمختاری) و FoS (به علت صفر بودن تعلق) وجود ندارد اما چون هر چهار مشخصه در SoS حاضر است مشخصه برآیش نیز در SoS به وجود می‌آید.

۲-۴-۴ گام دوم افزودن رده‌بندی DoD از SoSs *

در فصل دوم بند 2-5 به معرفی گروه‌بندی وزارت دفاع آمریکا از انواع SoSs پرداخته شد. در بند مذکور به تحلیل مختصری از مشخصه‌های SoS در انواع SoSs که شامل SoSs مجازی، مشارکتی، آگاه و هدایت‌شده هستند پرداخته شده است. گفته شد که مشخصه خودمختاری به ترتیب در SoSs هدایت‌شده، آگاه، مشارکتی و مجازی افزایش می‌یابد و به‌عکس مشخصه تعلق به ترتیب ذکر شده کاهش می‌یابد. همچنین در بند 2-4-7 روابط میان مشخصه‌های SoS بررسی شدند. از این بررسی‌ها نتیجه می‌شود که اگر یک SoS در حالت پایدار باشد (یعنی زمان قابل توجهی از آخرین تغییر در آن گذشته باشد و زمان قابل توجهی به تغییر بعدی در آن باقی مانده باشد) آنگاه طبق تعریف های انجام شده مشخصه‌های SoS هم در حالت پایدار قرار می‌گیرند و بازه مشخصی خواهند داشت. در ضمن خود مشخصه‌ها نیز با هم مرتبط اند. یعنی اگر مشخصه‌ای در بازه خاص باشد دیگر مشخصه‌ها نیز بازه مشخصی قرار دارند. این رده‌بندی را می‌توان به طیف ASSAF اضافه نمود که در شکل 9 مشخص است.



شکل ۹: تکمیل‌شده طیف ASSAF

حال به توجیه این عمل پرداخته می‌شود.

از آنچه که در بند 2-5 آمده می‌توان این مطالب را استخراج کرد: فرض کنیم α_V، α_C، α_A و α_D به ترتیب میانه بازه خودمختاری برای SoSs مجازی، مشارکتی، آگاه و هدایت‌شده باشد، آنگاه طبق مطالب گفته‌شده $\alpha_D < \alpha_A < \alpha_C < \alpha_V$ است. همچنین فرض می‌کنیم β'_V، β'_C، β'_A و β'_D به ترتیب میانه بازه تعلق برای SoSs مجازی، مشارکتی، آگاه و هدایت‌شده باشد آنگاه $\beta'_D > \beta'_A > \beta'_C > \beta'_V$ است، بنابراین اگر $\beta_V = 1 - \beta'_V$، $\beta_C = 1 - \beta'_C$ ، $\beta_A = 1 - \beta'_A$ و $\beta_D = 1 - \beta'_D$ آنگاه $\beta_D < \beta_A < \beta_C < \beta_V$.

طبق روابط مابین مشخصه‌ها و طبق آنچه که در مورد مشخصه‌ها خودمختاری و تعلق گفته شد می‌توان در مورد رفتار دو مشخصه دیگر در SoSs پیش‌بینی قابل قبولی داشت.

فرض کنیم γ_V، γ_C، γ_A و γ_D به ترتیب میانه بازه اتصال برای SoSs مجازی، مشارکتی، آگاه و هدایت‌شده باشد؛ همچنین فرض کنیم δ_V، δ_C، δ_A و δ_D به ترتیب میانه بازه اتصال برای SoSs مجازی، مشارکتی، آگاه و هدایت‌شده باشد. آنگاه $\gamma_D < \gamma_A < \gamma_C < \gamma_V$ و $\delta_D < \delta_A < \delta_C < \delta_V$.

۵-۴ شیوه‌ای برای رده‌بندی MPP_iS ❋

آخرین قسمت از مدل پیشنهادی ایجاد شیوه‌ای برای رده‌بندی MPP_iS است که آن‌ها را در طیف ASSAF قرار می‌دهد. حال این شش شاخص معرفی می‌شوند؛ در ضمن برای مشخصه تعلق برای هماهنگی با بقیه مشخصه‌ها از مکمل آن استفاده شده‌است. مکمل برابر تفریق مقدار مشخصه از عدد 1 می‌باشد.:

1- شاخص خانواده‌ای از سامانه‌ها M_F: که برابر میانگین مقادیر مشخصه‌های SoS برای FoSs است.

$$M_F = \frac{1 + 1 + 1 + \frac{n-1}{n}}{4}$$

2- شاخص SoS مجازی M_V: که برابر میانگین میانه‌های مشخصه‌های SoS برای SoS مجازی است.

$$M_V = \frac{\alpha_V + \beta_V + \gamma_V + \delta_V}{4}$$

3- شاخص SoS مشارکتی M_C: که برابر میانگین میانه‌های مشخصه‌های SoS برای SoS مشارکتی است.

$$M_C = \frac{\alpha_C + \beta_C + \gamma_C + \delta_C}{4}$$

4- شاخص SoS آگاه M_A: که برابر میانگین میانه‌های مشخصه‌های SoS برای SoS آگاه است.

$$M_A = \frac{\alpha_A + \beta_A + \gamma_A + \delta_A}{4}$$

5- شاخص SoS هدایت‌شده M_D: که برابر میانگین میانه‌های مشخصه‌های SoS برای SoS هدایت‌شده است.

$$M_D = \frac{\alpha_D + \beta_D + \gamma_D + \delta_D}{4}$$

6- شاخص سامانه M_S: که برابر میانگین مقادیر مشخصه‌های SoS برای **سامانه** است.

$$M_S = \frac{0 + 0 + \frac{2}{n} + \frac{n - n^{1-\frac{2}{3n}}}{n}}{4}$$

نکته نیازمند اشاره این است که همواره مواردی در طبیعت پیدا می‌شوند که از تعاریف مطلق پیروی نمی‌کنند یعنی ممکن است گونه‌ای MPP_i یافت شود که مشخصه‌های آن دقیقا منطبق بر هیچ‌کدام از شاخص‌های معرفی شده نباشد بنابراین در ادامه شیوه‌ای پی گرفته‌می‌شود که تمامی این موارد را پوشش دهد.

حال تابع F_M بر روی مجموعه MPP تعریف می‌شود:

$$F_M : MPP \longrightarrow [0,1]$$

$$F_M(MPP_i) = \frac{\mu_{A_T}(MPP_i) + 1 - \mu_{B_T}(MPP_i) + \mu_{C_T}(MPP_i) + \mu_{D_T}(MPP_i)}{4} = m$$

حاصل این تابع جای MPP_i را بر روی طیف مشخص می‌کند. اگر M_S ابتدای طیف و M_F انتهای طیف باشد $F_M(MPP_i)$ که حتما مابین این دو است محل قرارگیری MPP_i در طیف را مشخص می‌کند. حال برای اینکه تعیین شود MPP_i چه رده از MPP است؛ مجموعه‌های فازی زیر معرفی می‌شود. میزان عضویت $F_M(MPP_i)$ در هر یک از این مجموعه‌ها میزان آن نوع بودن MPP_i را مشخص می‌کند:

1- مجموعه فازی P_1 که نشان دهنده سامانه‌ها است:

$$P_1 = \left\{ \left(m, \mu_{P_1}(m)\right) \middle|\, m \in F_M, \mu_{P_1}(m) \in [0,1] \right\}$$

$$\mu_{P_1}(m) = \begin{cases} M_S \le m \le M_D \,, 1 - \dfrac{m - M_S}{M_D - M_S} \\ else, 0 \end{cases}$$

2- مجموعه فازی P_2 که نشان دهنده SoSs هدایت‌شده است:

$$P_2 = \left\{ \left(m, \mu_{P_2}(m)\right) \middle|\, m \in F_M, \mu_{P_2}(m) \in [0,1] \right\}$$

$$\mu_{\mathrm{P}_2}(m)=\begin{cases} M_S \le m \le M_D\,, \dfrac{m-M_S}{M_D-M_S} \\ M_D < m \le M_A, 1-\dfrac{m-M_D}{M_A-M_D} \\ else, 0 \end{cases}$$

3- مجموعه فازی P_3 که نشان دهنده SoSs آگاه است:

$$P_3=\left\{\left(m,\mu_{\mathrm{P}_3}(m)\right|\, m\in F_M, \mu_{\mathrm{P}_3}(m)\in[0,1]\right\}$$

$$\mu_{\mathrm{P}_3}(m)=\begin{cases} M_D \le m \le M_A\,, \dfrac{m-M_D}{M_A-M_D} \\ M_A < m \le M_C, 1-\dfrac{m-M_A}{M_C-M_A} \\ else, 0 \end{cases}$$

4- مجموعه فازی P_4 که نشان دهنده SoSs مشارکتی است:

$$P_4=\left\{\left(m,\mu_{\mathrm{P}_4}(m)\right|\, m\in F_M, \mu_{\mathrm{P}_4}(m)\in[0,1]\right\}$$

$$\mu_{\mathrm{P}_4}(m)=\begin{cases} M_A \le m \le M_C\,, \dfrac{m-M_A}{M_C-M_A} \\ M_C < m \le M_V, 1-\dfrac{m-M_C}{M_V-M_C} \\ else, 0 \end{cases}$$

5- مجموعه فازی P_5 که نشان دهنده SoSs مجازی است:

$$P_5=\left\{\left(m,\mu_{\mathrm{P}_5}(m)\right|\, m\in F_M, \mu_{\mathrm{P}_5}(m)\in[0,1]\right\}$$

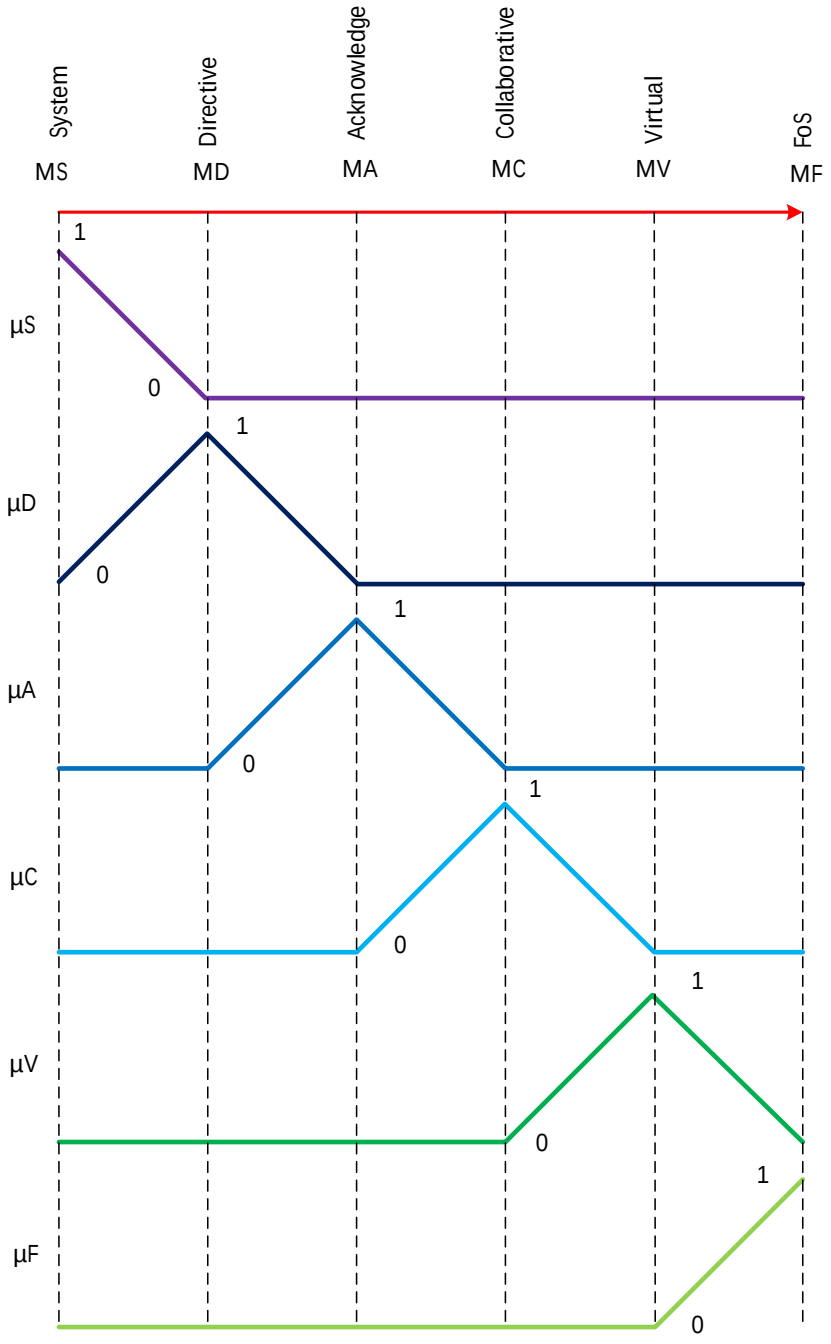
$$\mu_{\mathrm{P}_5}(m)=\begin{cases} M_C \le m \le M_V\,, \dfrac{m-M_C}{M_V-M_C} \\ M_V < m \le M_F, 1-\dfrac{m-M_V}{M_F-M_V} \\ else, 0 \end{cases}$$

6- مجموعه فازی P_6 که نشان دهنده خانواده‌ای از سامانه‌ها است:

$$P_6=\left\{\left(m,\mu_{\mathrm{P}_6}(m)\right|\, m\in F_M, \mu_{\mathrm{P}_6}(m)\in[0,1]\right\}$$

$$\mu_{\mathrm{P}_6}(m)=\begin{cases} M_V \le m \le M_F, \dfrac{m-M_V}{M_F-M_V} \\ else, 0 \end{cases}$$

در شکل 10 خلاصه شیوه رده‌بندی مشاهده می‌شود.



شکل ۱۰: رده‌بندی $MPP_i s$

در نهایت در جدول 4 مقادیر پیشنهادی برای میانه‌های مشخصه‌ها در انواع SoSs بیان شده است.

جدول ۴: مقادیر پیشنهادی برای میانه‌های مشخصه‌ها در انواع $SoSs$

$\alpha_V = 0.8$	$\alpha_C = 0.6$	$\alpha_A = 0.4$	$\alpha_D = 0.2$
$\beta_V = 0.8$	$\beta_C = 0.6$	$\beta_A = 0.4$	$\beta_D = 0.2$
$\gamma_V = 0.8 \times (1 - \frac{2}{n})$	$\gamma_C = 0.6 \times (1 - \frac{2}{n})$	$\gamma_A = 0.4 \times (1 - \frac{2}{n})$	$\gamma_D = 0.2 \times (1 - \frac{2}{n})$
$\delta_V = 0.8 \times (\frac{n-1}{n} - \frac{n-n^{1-\frac{2}{3n}}}{n})$	$\delta_C = 0.6 \times (\frac{n-1}{n} - \frac{n-n^{1-\frac{2}{3n}}}{n})$	$\delta_A = 0.4 \times (\frac{n-1}{n} - \frac{n-n^{1-\frac{2}{3n}}}{n})$	$\delta_D = 0.2 \times (\frac{n-1}{n} - \frac{n-n^{1-\frac{2}{3n}}}{n})$

۴-۶ جمع‌بندی

در این فصل ابتدا تعاریف صوری مفاهیمی مانند شبه‌سامانه و انواع مختلف آن معرفی شدند تا بستری فراهم شود که تعاریف صوری مفاهیم سامانه، SoS و FoS به گونه‌ای یک‌دست انجام شود. پس از انجام این تعاریف و با استفاده از آن‌ها مشخصه‌های خودمختاری، تعلق، اتصال و تنوع تعریف شدند. در مرحله بعد با استفاده از مشخصه‌ها و اندازه‌گیری آنها در سامانه، SoS و انواع آن و FoS طیفی تشکیل شد که می‌توان با استفاده از آن MPP_i را رده‌بندی کرد. این رده‌بندی به وسیله محاسبه میانگینی از مشخصه‌های محاسبه شده برای هر MPP صورت می‌گیرد. محل قرار گرفتن امتیاز MPP بر روی طیف ASSAF تعیین‌کننده نوع MPP است.

فرمالیسمی که در این فصل بیان شد به منظور مدل‌سازی سامانه‌ها، SoS و FoS، اندازه‌گیری مشخصه‌های SoS و رده‌بندی MPPs می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد؛ از این رو می‌توان آن را در دسته مدل‌سازی های عمومی حوزه سامانه قرار داد. از طرف دیگر این فرمالیسم تنها به توصیف برگرفتی از موجودیت مورد بررسی را مدل‌سازی می‌کند و به پویایی و تغییرات در طول زمان کاری ندارد. از این نظر می‌توان آن را در زمره مدل‌سازی‌های ایستا قرار داد.

پاسخ به این پرسش که این برتری این فرمالیسم پیشنهادی به فرمالیسم B.S. چیست و اصولا چه مشکلاتی باعث شده است فرمالیسم ASSAF معرفی شود، در بند 6-2 آمده‌است.

۵ فصل پنجم: مطالعه موردی

۵-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا توضیح مختصری درباره مورد مطالعه شده ارائه می‌شود. سپس به ترتیب به‌وسیله روش موجود در [12] (که در اینجا .B.S نامیده می‌شود) و روش معرفی شده در این تحقیق (که با نام ASSAF به آن اشاره می‌شود.) سعی در مدل‌سازی مورد مطالعه خواهدشد. در مرحله آخر موارد حاصل از مدل‌سازی به سه روش قدیمی، نوین و شهودی با یکدیگر مقایسه و نتایج تحلیل می‌شوند. روش شهودی در [18] بیان شده است.

۵-۲ خلاصه‌ای درباره مورد مطالعه

در این بخش به طور خلاصه مورد مطالعه شرح داده می‌شود. تنها به نقل توضیحاتی بسنده شده که به طور مستقیم در مدل‌سازی‌ها دخیل بوده‌اند یا مواردی برای آشنایی بیشتر با سامانه هستند. برای اطلاع از جزئیات بیشتر می‌توان به [18] مراجعه کرد[1].

SoS تاکسی‌های مدالیون (زرد) نیویورک[2] بخشی مهمی از شبکه حمل ونقل این شهر است. این SoS شامل بیش از 13,000 تاکسی مجوزدار است که سالانه حدود 240 میلیون مسافر را جا به جا کرده و صنعتی 1/82 میلیاردی خلق می‌کند. سامانه تاکسی‌رانی شهر نیویورک 30% تمام هزینه‌های پرداختی برای حمل ونقل در نیویورک را به خود اختصاص می‌دهد. این درصد در منطقه منهتن[3] به حدود 45% می‌رسد. کل SoS تاکسی‌های زرد نیویورک هدف مشترکی را دنبال می‌کند که خدمت‌رسانی به مشتریان است. تنظیم مقررات در این سامانه توسط یک بنگاه به نام گروه تاکسی و لیموزین[4] شهر نیویورک یا به اختصار TLC صورت می‌پذیرد و تمام تاکسی‌ها موظف به رعایت این قوانین هستند. این گروه بنیادی است برای اداره سامانه تاکسی‌رانی شهر نیویورک، که عهده‌دار قانون‌گذاری و ارتقای خدمات تاکسی‌رانی در این شهر است. وظایف اصلی TLC عبارت اند از: تنظیم آیین‌نامه‌ها یا مواردی مانند تعیین کرایه‌ها، بازرسی ایمنی وسایل نقلیه، صدور

---

[1] این مورد مطالعه تنها موردی تا کنون است که در آن نتایج قابل مقایسه با نتایج فرمالیسم ASSAF بیان شده است.

[2] NYC Medallion (Yellow) Cabs

[3] Manhattan

[4] Taxi and Limousine Commission

مجوز تاکسی، تنظیم قوانین ومقررات محلی، دریافت و بررسی شکایات مسافرین، اعمال جریمه، صدور احضاریه و تعلیق و یا لغو مجوز تاکسی به علت تخلف.

تاکسی‌ها یا مالکین شخصی دارند یا شرکت‌هایی مالک آنها هستند که در هر صورت به طور مستقل کار می‌کنند. آنها در زمان‌بندی، انتخاب مسیر، استراحت و خدمت‌رسانی تابع خود هستند. این استقلال تا حدی مهم است که درصد بسیاری از تاکسی‌ها استقلال کاری را مهم‌تر از درآمد می‌دانند. تاکسی‌های در حال کار از طریق شبکه‌های اجتماعی و شبکه‌های اطلاعات حمل‌ونقلی به همدیگر متصل اند که از این طریق اطلاعات مسیرهای با آمدوشد سنگین یا خلوت، اتفاقات مهم شهری و تجمع مسافرین و غیره را با یکدیگر در میان می‌گذارند.

۳-۵ مدل‌سازی با روش B.S.

در این بخش سعی می‌شود که با روش B.S. این SoS توصیف شود.

توضیح: مدل‌سازی طبق تعاریف موجود در بند 3-2-2 صورت گرفته‌است.

ابتدا از تاکسی‌ها آغاز می‌شود. در این مدل باید تاکسی‌ها را سامانه در نظر گرفت.

$$S_{Taxi\,i} = \{A_{Taxi\,i}, G_{Taxi\,i}, E_{Taxi\,i}\}$$

اعضای $A_{Taxi\,i}$ عبارت اند از:

$$a_{Taxi\,1} = Scheduling$$
$$a_{Taxi\,2} = Routing$$
$$a_{Taxi\,3} = Taking\ Breaks$$
$$a_{Taxi\,4} = Serving$$
$$a_{Taxi\,5} = getting\ License$$

و اعضای $G_{Taxi\,i}$ عبارت اند از:

$$g_{Taxi\,1} = Serve\ NYC\ Customers$$
$$g_{Taxi\,2} = Making\ Money$$
$$g_{Taxi\,3} = Personal\ Interest(Feeling\ Independent)$$

حال به تعریف بنگاه تاکسی و لیموزین پرداخته می‌شود. این بنگاه را نیز باید سامانه در نظر گرفت.

$$S_{TLC} = \{A_{TLC}, G_{TLC}, E_{TLC}\}$$

اعضای A_{TLC} عبارت اند از:

$a_{TLC\ 1} = Setting\ Regulatios$

$a_{TLC\ 2} = Inspecting\ Vehicles$

$a_{TLC\ 3} = Issueing\ License$

$a_{TLC\ 4} = Establishing\ Rules$

$a_{TLC\ 5} = imposing\ fine$

$a_{TLC\ 6} = Receiving\ and\ Investigating\ Complaints$

$a_{TLC\ 7} = Suspending\ and\ Revoking\ License$

و اعضای G_{TLC} عبارت اند از:

$g_{TLC\ 1} =$ Serve NYC Customers

طبق این تعاریف برای خودمختاری و تنوع:

برای تاکسی‌ها:

$Autonomy \equiv 5$

برای TLC:

$Autonomy \equiv 7$

و در کل

$Diversity \equiv True$

حال SoS تاکسیرانی زرد نیویورک توصیف می‌شود:

$S^*_{NMC} = \{S_{Taxi\ 1}, \dots, S_{Taxi\ 13000}, S_{TLC}, G^*_{NMC}\}$

که اعضای G^*_{NMC} عبارت اند از:

$g_{NMC\ 1} = Serve\ NYC\ Customers$

با توجه به تعریف مطرح شده می‌توان خاصیت تعلق را تعریف کرد. اما تابع استفاده شده در تعریف تعلق ابهام دارد و هیچ شیوه مدونی برای تشخیص آن وجود ندارد. در ادامه سعی شده است مقادیر معناداری برای این تابع گذاشته شود.

$g_{NMC\ 1}$ و $g_{TLC\ 1}$ و $g_{Taxi\ 1}$ با یکدیگر برابر اند. به اختصار آنها g_1 نامیده می‌شوند.

برای تاکسی‌ها تابع f مقادیر زیر را دارد.

$f = \{(a_{Taxi\ 1}, g_1), (a_{Taxi\ 2}, g_1), (a_{Taxi\ 4}, g_1), (a_{Taxi\ 5}, g_1)\}$

بنابراین:

$$Belonging \equiv \frac{|f(A_{Taxi\ i}) \cap G^*_{NMC}|}{|A_{Taxi\ i}|} = \frac{1}{5}$$

برایTLC تابع f مقادیر زیر را دارد.

$$f = \{(a_{TLC\ 1}, g_1), (a_{TLC\ 2}, g_1), (a_{TLC\ 3}, g_1), (a_{TLC\ 4}, g_1), (a_{TLC\ 5}, g_1), (a_{TLC\ 6}, g_1), (a_{TLC\ 7}, g_1)\}$$

بنابراین:

$$Belonging \equiv \frac{|f(A_{TLC}) \cap G^*_{NMC}|}{|A_{TLC}|} = \frac{1}{7}$$

در نهایت برای اتصال بین هر TLC و تاکسی‌های درحال کار:

$$\forall\ i,j\ (i \neq j \wedge ((S_i = S_{TLC} \vee S_i = Operating\ taxi) \wedge (S_j = S_{TLC} \vee S_j = Operating\ taxi)) \Rightarrow Connectivity_{i,j} = True)$$

۴-۵ مدل‌سازی با روش ASSAF

نکته ای که در مورد روش ASSAF قابل توجه است، عدم پیش‌فرض در مورد موجودیت‌ها است. در روش ASSAF تمام موجودیت‌ها را به صورت شبه‌سامانه یا جزئی از درآیه‌های آن مدل‌سازی می‌شوند، سپس با توجه به ویژگی‌های آن شبه‌سامانه در مورد نوع آن اظهار نظر می‌شود. با توجه به موارد مطرح شده در توضیحات مورد مطالعه سه نوع شبه‌سامانه شناسایی می‌شوند: شبه‌سامانه تاکسی، شبه‌سامانه بنگاه تاکسی و لیموزین و شبه‌سامانه تاکسیرانی. این شبه‌سامانه‌ها به ترتیب معرفی شده‌اند.

توضیح: تعریف شبه‌سامانه معادل تعریف بند 4-2-1 است.

$$PSS_{Taxi\ i} = (Sub_{Taxi\ i}, Con_{Taxi\ i}, Act_{Taxi\ i}, Gol_{Taxi\ i}, AG_{Taxi\ i}, Eqs_{Taxi\ i})$$
$$PSS_{TLC} = (Sub_{TLC}, Con_{TLC}, Act_{TLC}, Gol_{TLC}, AG_{TLC}, Eqs_{TLC})$$
$$PSS_{NMC} = (Sub_{NMC}, Con_{NMC}, Act_{NMC}, Gol_{NMC}, AG_{NMC}, Eqs_{NMC})$$

حال به تشریح اعضای درآیه‌های هرکدام پرداخته می‌شوند.

تاکسی:

اعضای $Sub_{Taxi\ i}$ به طور واضح در تشریح مسئله نیامده ولی می‌دانیم که هر تاکسی از راننده و سامانه‌های مختلفی مانند سامانه تعلیق، سامانه انتقال قدرت و غیره تشکیل شده است. راننده هم به عنوان انسان از سامانه‌های مختلفی تشکیل شده مانند سامانه گوارش، سامانه عصبی، سامانه بینایی و غیره. همچنین اعضای $Con_{Taxi\ i}$ هم به‌گونه‌ای هستند که شرط همبندی برای $PSS_{Taxi\ i}$ بر قرار است.

حال به درآیه‌هایی پرداخته می‌شود که اجزای آنها در تشریح مورد مطالعه واضح‌تر بیان شده است.

اعضای درآیه $Act_{Taxi\ i}$ به شرح زیر اند:

$$act_{Taxi\ 1} = Scheduling$$
$$act_{Taxi\ 2} = Routing$$
$$act_{Taxi\ 3} = Taking\ Breaks$$
$$act_{Taxi\ 4} = Serving$$
$$act_{Taxi\ 5} = getting\ License$$

اعضای درآیه $Gol_{Taxi\ i}$:

$$gol_{Taxi\ 1} = Serve\ NYC\ Customers$$
$$gol_{Taxi\ 2} = Making\ Money$$
$$gol_{Taxi\ 3} = Personal\ Interest(Feeling\ Independent)$$

و در نهایت:

$$AG_{Taxi\ i} = \{(act_{Taxi\ 1}, gol_{Taxi\ 1}), (act_{Taxi\ 1}, gol_{Taxi\ 2}), (act_{Taxi\ 1}, gol_{Taxi\ 3}),$$
$$(act_{Taxi\ 2}, gol_{Taxi\ 1}), (act_{Taxi\ 2}, gol_{Taxi\ 2}), (act_{Taxi\ 2}, gol_{Taxi\ 3}),$$
$$(act_{Taxi\ 3}, gol_{Taxi\ 3}),$$
$$(act_{Taxi\ 4}, gol_{Taxi\ 1}), (act_{Taxi\ 4}, gol_{Taxi\ 2}), (act_{Taxi\ 4}, gol_{Taxi\ 3}),$$
$$(act_{Taxi\ 5}, gol_{Taxi\ 1})\}$$

TLC:

در مورد اعضای Sub_{TLC} نیز به طور واضح در تشریح مسئله نیامده ولی تقریبا واضح است که این بنگاه از PPPs مختلفی تشکیل شده است مانند بخش تعیین قیمت‌ها، بخش تحقیقات و بازرسی و غیره. همچنین اعضای Con_{TLC} هم به گونه‌ای هستند که شرط همبندی برای PSS_{TLC} بر قرار است.

حال به درآیه‌هایی پرداخته می‌شود که اجزای آنها در تشریح مورد مطالعه واضح‌تر بیان شده است.

اعضای درآیه Act_{TLC} از قرار زیر اند:

$act_{TLC\,1} = Setting\ Regulatios$

$act_{TLC\,2} = Inspecting\ Vehicles$

$act_{TLC\,3} = Issueing\ License$

$act_{TLC\,4} = Establishing\ Rules$

$act_{TLC\,5} = imposing\ fine$

$act_{TLC\,6} = Receiving\ and\ Investigating\ Complaints$

$act_{TLC\,7} = Suspending\ and\ Revoking\ License$

اعضای درآیه Gol_{TLC}:

$gol_{TLC\,1} = Serve\ NYC\ Customers$

و در نهایت:

$$AG_{TLC} = \{(act_{TLC\,1}, gol_{TLC\,1}), (act_{TLC\,2}, gol_{TLC\,1}), (act_{TLC\,3}, gol_{TLC\,1}), (act_{TLC\,4}, gol_{TLC\,1}), (act_{TLC\,5}, gol_{TLC\,1}), (act_{TLC\,6}, gol_{TLC\,1}), (act_{TLC\,7}, gol_{TLC\,1})\}$$

تاکسی‌های مدالیون نیویورک:

اعضای Sub_{NMC}:

$$Sub_{NMC} = \{PSS_{Taxi\,1}, \dots, PSS_{Taxi\,13000}, PSS_{NMC}\}$$

در مورد اعضای Con_{NMC} می‌توان این‌گونه گفت: تمام تاکسی‌ها با TLC ارتباط دارند. در اینجا یک فرض نیز به موارد تشریح شده در مورد مطاله اضافه می‌شود و آن این است که به طور متوسط 95% تاکسی‌ها عملیاتی اند و کار می-کنند بنابراین از طریق شبکه‌های اجتماعی با یکدیگر ارتباط دارند. طبق آنچه که شرح داده‌شد شرط همبندی برای PSS_{NMC} برقرار است.

اعضای Act_{NMC}:

$act_{NMC\,1} = Civil\ Transport$

اعضای Gol_{NMC}:

$gol_{NMC\,1} = Serve\ NYC\ Customers$

و در نهایت:

$Eqs_{NMC} = \{(act_{NMC\,1}, gol_{NMC\,1})\}$

حال به ارائه برخی توضیحات در مورد این PSSها پرداخته می‌شود:

- $PSS_{Taxi\,i}$ شرط همبندی را دارد. طبق توضیحات PoP هم هست. چرا که از دیگر سامانه‌وارها یا زیرسامانه‌ها تشکیل شده است. پس می‌توان آن را $PPP_{Taxi\,i}$ نیز نامید. شرط هدفمندی را هم دارد. همچنین عضو Sub_{NMC} هم هست. هدف $gol_{Taxi\,1}$ در آن با هدف $gol_{NMC\,1}$ برابر است؛ اما اهدافی نیز دارد که عضو Gol_{NMC} نباشند. بنابراین طبق تعریف بند 4-2-13، SoS است و می‌توان آن را با $PSS_{NMC}_SoS_{Taxi\,i}$ نیز نشان داد (در این مثال برای اختصار از همان $SoS_{Taxi\,i}$ استفاده می‌شود).
- PSS_{TLC} شرط همبندی را دارد. طبق توضیحات PoP هم هست. چرا که از دیگر PPPs تشکیل شده است. پس می‌توان آن را PPP_{TLC} نیز نامید. شرط هدفمندی را هم دارد. همچنین عضو Sub_{NMC} هم هست. هدف $gol_{TLC\,1}$ در آن با هدف $gol_{NMC\,1}$ برابر است؛ اما هدف دیگری ندارد. بنابراین طبق تعریف بند4-2-10، زیرسامانه است و می‌توان آن را با $PSS_{NMC} - SBS_{TLC}$ نیز نشان داد (در این مثال برای اختصار از همان SBS_{TLC} استفاده می‌شود).
- PSS_{NMC} شرط همبندی را دارد. طبق توضیحات PoP هم هست. چرا که از دیگر سامانه‌وارها یا زیر سامانه‌ها تشکیل شده است. پس می‌توان آن را PPP_{NMC} نیز نامید. شرط هدفمندی را هم دارد. همچنین عضو Sub_{NMC} هم هست. درفضای مورد مطالعه هم عضو درآیه Sub هیچ PSS دیگری هم نیست؛ بنابراین طبق تعریف بند 4-2-13، SoS است و می‌توان آن را با SoS_{NMC} نیز نشان داد.

حال برای هرکدام از PSSs نام‌برده مشخصه‌هایی که برای مدل‌سازی کاربرد دارند محاسبه می‌شود. تمامی محاسبات عددی تا دو رقم اعشار گرد شده‌اند.

$SoS_{NMC} - SoS_{Taxi\,i}$:

اول خودمختاری آن در SoS_{NMC} مطابق تعریف بند 4-2-16-1 محاسبه می‌شود:

$$\frac{|\{a \in SoS_{NMC} - SoS_{Taxi\,i}.Act | (a,g) \in SoS_{Taxi\,i}.AG \wedge g \notin SoS_{NMC}.Gol\}|}{|SoS_{Taxi\,i}.Act|}$$

$$= \frac{|\{act_{Taxi\ 1}, act_{Taxi\ 2}, act_{Taxi\ 3}, act_{Taxi\ 4}\}|}{|SoS_{Taxi\ i}.Act|} = \frac{4}{5} = 0.80$$

محاسبه تعلق $SoS_{Taxi\ i}$ به SoS_{NMC} مطابق تعریف بند 4-2-16-3 به صورت زیر است:

$$\frac{|SoS_{Taxi\ i}.Gol \cap SoS_{NMC}.Gol|}{|SoS_{Taxi\ i}.Gol|} = \frac{|\{gol_{Taxi\ 1}\}|}{|SoS_{Taxi\ i}.Gol|} = \frac{1}{3} = 0.33$$

$SoS_{NMC} - SBS_{TLC}$:

اول خودمختاری آن در SoS_{NMC} مطابق تعریف بند 4-2-16-1 محاسبه می‌شود:

$$\frac{|\{a \in SBS_{TLC}.Act | (a,g) \in SBS_{TLC}.AG \wedge g \notin SoS_{NMC}.Gol\}|}{|SBS_{TLC}.Act|}$$

$$= \frac{|\emptyset|}{|SBS_{TLC}.Act|} = \frac{0}{5} = 0.00$$

محاسبه تعلق SBS_{TLC} به SoS_{NMC} مطابق تعریف بند 4-2-16-3 به صورت زیر است:

$$\frac{|SBS_{TLC}.Gol \cap SoS_{NMC}.Gol|}{|SBS_{TLC}.Gol|} = \frac{|\{gol_{TLC\ 1}\}|}{|SBS_{TLC}.Gol|} = \frac{1}{1} = 1.00$$

SoS_{NMC}:

مشخصه خودمختاری SoS_{NMC} مطابق بند 4-2-16-2 به شیوه زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{\sum_{S \in SoS_{NMC}.Sub} \mu_{A_P}(S)}{|SoS_{NMC}.Sub|} = \frac{(13000 \times 0.80) + (1 \times 0)}{13001} = 0.80$$

مشخصه تعلق SoS_{NMC} مطابق بند 4-2-16-4 به نحو زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{\sum_{S \in SoS_{NMC}.Sub} \mu_{B_P}(S)}{|SoS_{NMC}.Sub|} = \frac{(13000 \times 0.33) + (1 \times 1)}{13001} = 0.33$$

مشخصه اتصال SoS_{NMC} مطابق بند 4-2-16-6 به نحو زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{|\ SoS_{NMC}.Con|}{\left(\frac{|\ SoS_{NMC}.Sub| \times (|\ SoS_{NMC}.Sub| - 1)}{2}\right)} = \frac{\left(\frac{(0.95 \times 13000) \times ((0.95 \times 13000) - 1)}{2}\right) + 13000}{\left(\frac{13001 \times 13000}{2}\right)} = 0.90$$

و در نهایت مشخصه تنوع SoS_{NMC} مطابق بند 4-2-16-7 به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{|SoS_{NMC}\ .Sub| - |SoS_{NMC}\ .Sub|^{\theta}}{|SoS_{NMC}\ .Sub|},$$

$$\theta = 1 - \frac{\mu_{A_T}(SoS_{NMC}) + \left(1 - \mu_{B_T}(SoS_{NMC})\right) + \mu_{C_T}(SoS_{NMC})}{3}$$

$$\theta = 1 - \frac{0.80 + (1 - 0.33) + 0.90}{3} = 0.21$$

$$\frac{13001 - 13001^{0.21}}{13001} = 1.00$$

پس از محاسبه مشخصه‌ها، حال می‌توان نوع SoS_{NMC} را با استفاده از طیف ASSAF تشخیص داد.

برای این کار باید مقادیر زیر محاسبه شوند:

مقدار تابع $F_M(SoS_{NMC})$(مطابق باتعریف بند 4-5):

$$F_M(SoS_{NMC}) = \frac{\mu_{A_T}(SoS_{NMC}) + 1 - \mu_{B_T}(SoS_{NMC}) + \mu_{C_T}(SoS_{NMC}) + \mu_{D_T}(SoS_{NMC})}{4}$$

$$= \frac{0.80 + 1 - 0.33 + 0.90 + 1.00}{4} = 0.84$$

مقادیر میانه‌های بازه مشخصه‌ها برای انواع SoS:

$$\left(1 - \frac{2}{n}\right) = 1 - \frac{2}{13001} = 1.00$$

$$\frac{n-1}{n} - \frac{n - n^{1-\frac{2}{3n}}}{n} = \frac{1300}{13001} - \frac{13001 - 13001^{1-\frac{2}{3\times 13001}}}{13001} 1.00 - 0.00 = 1.00$$

مقادیر محاسبه شده در جدول 5 آمده است. در این مورد n=13001 است(مطابق با تعاریف جدول 4).

جدول ۵: مقادیر محاسبه شده برای میانه‌های بازه مشخصه‌ها برای انواع SoS با $n = 13001$

$\alpha_V = 0.80$	$\alpha_C = 0.60$	$\alpha_A = 0.40$	$\alpha_D = 0.20$
$\beta_V = 0.80$	$\beta_C = 0.60$	$\beta_A = 0.40$	$\beta_D = 0.20$
$\gamma_V = 0.80$	$\gamma_C = 0.60$	$\gamma_A = 0.40$	$\gamma_D = 0.20$
$\delta_V = 0.80$	$\delta_C = 0.60$	$\delta_A = 0.40$	$\delta_D = 0.20$

و مقادیر شاخص‌های انواع MPP(مطابق با تعاریف بند 4-5): (در اینجا n=13001 است)

$$M_F = \frac{1 + 1 + 1 + \frac{n-1}{n}}{4} = 1.00$$

$$M_V = \frac{\alpha_V + \beta_V + \gamma_V + \delta_V}{4} = 0.80$$

$$M_C = \frac{\alpha_C + \beta_C + \gamma_C + \delta_C}{4} = 0.60$$

$$M_A = \frac{\alpha_A + \beta_A + \gamma_A + \delta_A}{4} = 0.40$$

$$M_D = \frac{\alpha_D + \beta_D + \gamma_D + \delta_D}{4} = 0.20$$

$$M_S = \frac{0 + 0 + \frac{2}{n} + \frac{n - n^{1-\frac{2}{3n}}}{n}}{4} = 0.00$$

حال با محاسباتی که صورت گرفت می‌توان نتیجه نهایی را محاسبه کرد که تعیین کننده نوع MPPs است. مطابق باتعریف بند 4-5 مقادیر خروجی توابع عضویت تشخیص نوع برابر اند با:

$$\mu_{P_1}\left(F_M(SoS_{NMC})\right) = 0.00$$

$$\mu_{P_2}\left(F_M(SoS_{NMC})\right) = 0.00$$

$$\mu_{P_3}\left(F_M(SoS_{NMC})\right) = 0.00$$

$$\mu_{P_4}\left(F_M(SoS_{NMC})\right) = 0.00$$

$$\mu_{P_5}\left(F_M(SoS_{NMC})\right) = 0.80$$

$$\mu_{P_6}\left(F_M(SoS_{NMC})\right) = 0.20$$

این نتایج به معنی آن است که SoS_{NMC} نوعی SoS مجازی است که به سمت FoS بودن متمایل است.

۵-۵ جمع‌بندی

در این فصل ابتدا مورد مطالعه یعنی تاکسی‌رانی شهر نیویورک معرفی شد. سپس با استفاده از دو شیوه مدل‌سازی B.S. و ASSAF این مورد مطالعه مدل‌سازی و نتایج حاصل از هر مدل‌سازی استخراج شد. در فصل بعد به تحلیل این نتایج حاصل شده پرداخته‌می‌شود.

۶ جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و کارهای آتی

۶-۱ مقدمه

در این فصل به تحلیل، مقایسه و نتیجه‌گیری از داده‌های به‌دست‌آمده از مدل‌سازی‌های فصل 5 پرداخته‌می‌شود. نیاز به توضیح است که روش ASSAF با دو روش .B.S و روش شهودی مقایسه شده‌است. مقادیر حاصل از مدل‌سازی به روش .B.S قابل مقایسه با مقادیر حاصل از مدل‌سازی به روش ASSAF نیستند (مطابق با مدل‌سازی به روش‌های مذکور در بندهای 5-3 و 5-4)چرا که یا بازه‌های مقادیر یکی نیستند یا مقادیر به دست آمده در دو روش جنس و واحد یکسانی ندارند؛ از همین رو در مقایسه دو روش ASSAF و .B.S بیشتر به مقایسه نحوه مدل‌سازی پرداخته شده است. اما در مورد روش شهودی قضیه متفاوت است. در روش شهودی فقط نتایج موجود هستند و شیوه مدونی برای مدل‌سازی در نظر گرفته نشده‌است. از آنجا که تمام نتایج حاصل از روش شهودی به صورت نسبی بیان شده‌اند، مقادیر حاصل‌شده با مقادیر به دست‌آمده از روش ASSAF قابل مقایسه هستند.

۶-۲ بحث در مورد روش .B.S و مقایسه آن با روش ASSAF

با اینکه روش مدل‌سازی .B.S(مطابق با بند 5-3) اولین تلاش در حوزه مدل‌سازی SoSs از طریق تعریف مشخصه‌ها بوده اما کمبودهایی دارد که قابل چشم‌پوشی نیست. کمبودها به این شرح است:

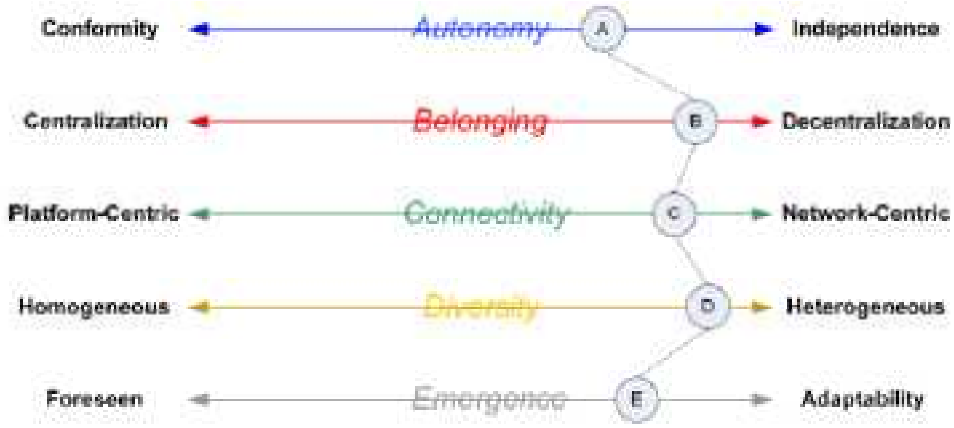
- در مدل‌سازی SoS و سامانه از «مجموعه» استفاده کرده است که محدودیت‌هایی را از نظر فرمالیسم ایجاد می‌کند. مثلا هم اهداف و هم اجزای SoS را عضو مجموعه نشان‌دهنده SoS در نظر می‌گیرد؛ این عمل ممکن است از نظر ریاضی اشکالی نداشته باشد، اما از نظر مفهومی، ماهیت اعضای تشکیل‌دهنده SoS با ماهیت مجموعه اهداف متفاوت است و عموما در مدل‌سازی مفاهیم با ماهیت یکسان را در یک مجموعه قرار می‌دهند نه مفاهیمی با ماهیت متفاوت. همین دلایل برای نحوه مدل‌سازی سامانه نیز قابل به‌کارگیری است. بهتر است هم سامانه و هم SoS به صورت چندتایی مرتب مدل شوند.
- غنای مفهومی پایینی دارد، یعنی برخی از مفاهیمی که در مدل‌سازی مفید هستند را در خود ندارد. مثلا در مورد زیرسامانه TLC به اجبار برای انجام مدل‌سازی به اشتباه این زیرسامانه، سامانه در نظر گرفته‌شده است.

- مشخصه‌ها به صورت ناهمگن مدل شده‌اند. خودمختاری عددی در بازه صفر تا بی‌نهایت است. تعلق به صورت نسبت بیان شده و مقداری بین صفر تا «1» دارد. تنوع یک مقدار منطقی است(درست یا غلط) و اتصال نیز مقداری منطقی برای هر دو عضو SoS به جز مجموعه اهداف دارد. این موارد به خودی خود ایرادی ندارند اما این شیوه تعاریف انجام اندازه‌گیری‌های فراتر را که مبتنی بر محاسباتی بر روی این مشخصه‌ها است، بسیار دشوار می-سازد.
- در بخش‌هایی مشکلات مفهومی نحوه محاسبه مشخصه‌ها هم آشکار می‌شود. مثلا در تشخیص خودمختاری و تعلق TLC به SoS_{NMC} کاملا اشتباه به نتیجه می‌رسد. درحالی که این زیرسامانه خودمختاری اندک و تعلق بالایی دارد، روش B.S. در این مورد تشخیص وارونه می‌دهد، یعنی خودمختاری را بالا و تعلق را اندک می‌داند؛ در نتیجه تعاریفی که به عنوان مرجع تعریف صوری مشخصه‌ها انتخاب شده‌اند نیاز به بازنگری دارند.
- این مدل سازوکاری برای تشخیص نوع SoS ندارد و فقط به تشخیص SoS بودن اکتفا می‌کند که در همین تشخیص هم با اشکالاتی رو به رو است. مثلا باید تمام اجزا سامانه باشند تا یک سامانه SoS شود در حالی که از لحاظ مفهومی صحیح نیست.
- این مدل به دلیل ایستایی توانایی مدل‌سازی مشخصه برآیش را ندارد.

همان طور که در بخش مدل‌سازی به روش ASSAF (مطابق با بند 5-4) مشاهده شد به جز مورد آخر که در تمام مدل‌های ایستا مشترک است در مدل جدید تمامی دیگر مشکلات تا حد مطلوبی مرتفع شده‌اند.

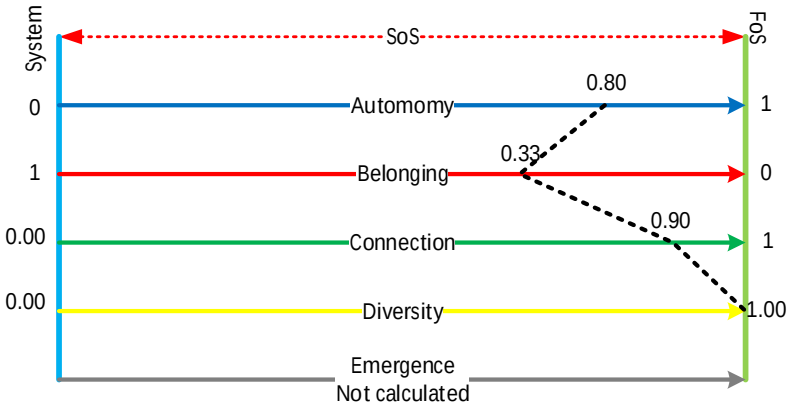
۳-۶ بحث درمورد روش شهودی و مقایسه آن با روش ASSAF

به نظر می‌رسد بهترین روش برای تحلیل نتایج حاصل از مدل‌سازی به روش ASSAF مقایسه آن با روشی است که حداقل، نتایجی قابل مقایسه با نتایج حاصله روش ASSAF داشته باشد. تنها روش موجود با این مشخصات روش شهودی است که تا حدی توانسته نتایج قابل مقایسه ایجاد کند. خلاصه نتایج این تحلیل شهودی مورد مطالعه که در [18] موجود است در شکل 11 مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱: نتایج حاصل از مدل‌سازی و تحلیل شهودی مطالعه موردی موجود در [۱۸]

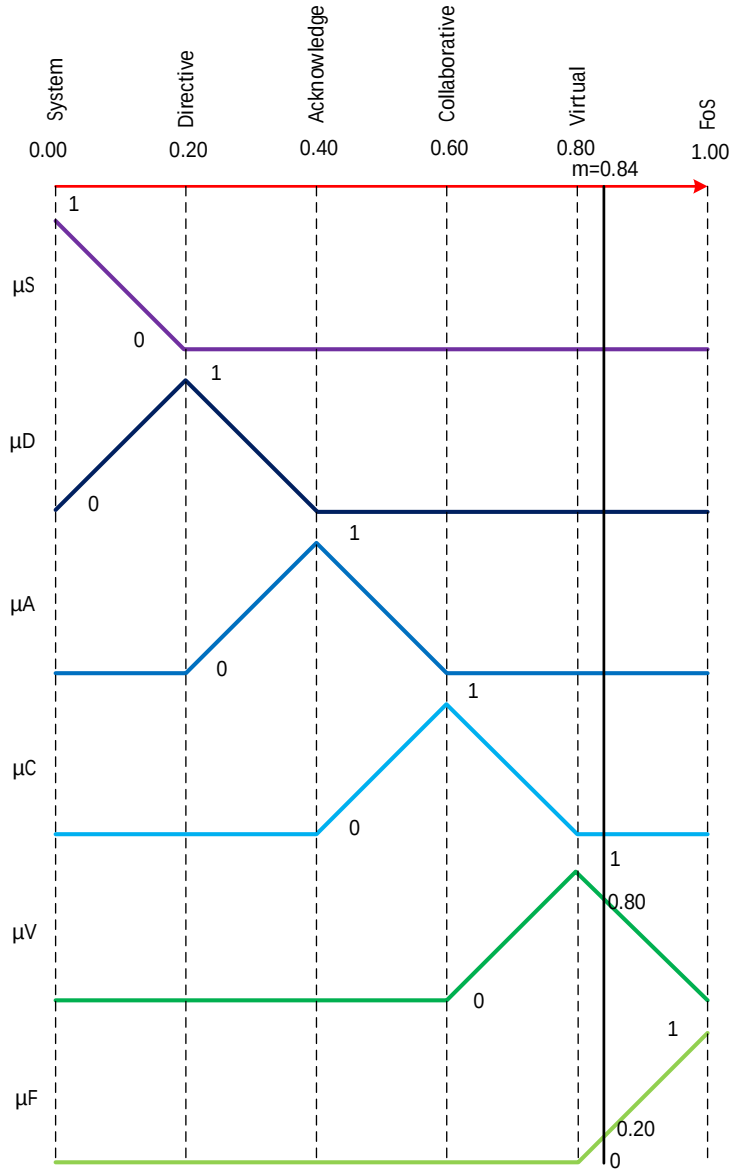
نتایج مترتب حاصل از مدل‌سازی به شیوه ASSAF (مطابق با بند 5-4) هم در شکل 12 آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج حاصله به جز در مورد تعلق تقریبا با نتایج مدل شهودی مطابقت دارد. البته در مورد تعلق هم این موضوع قابل توجیه است و چند راه‌حل دارد. در مدل‌سازی یکی از اهداف تاکسی‌ها «تمایلات شخصی» است. این هدف از تشریح مورد مطالعه برداشت شده است. اما مسئله اینجا است که این هدف در واقع یک هدف ساده نیست و به چندین هدف تجزیه می‌شود که در متن مورد مطالعه اطلاعاتی از آن مطرح نشده‌است. راه‌حل‌هایی برای این موضوع وجود دارد. یکی از آن‌ها این است که این تجزیه انجام و اهداف مجزا شوند که در اینجا به نظر راه‌حل عملی مناسبی نیست. راه‌حل دیگر این است که در توسعه‌های بعدی مدل برای اهداف وزن درنظرگرفته‌شود. از این طریق می‌توان میان اهداف ساده و اهداف ترکیبی و مهم یا غیر مهم بودن اهداف تفاوت گذاشت. در مورد مشخصه تنوع نیاز به توضیح است که در شیوه محاسبه آن در روش شهودی(موجود در[18]) اشکالات اساسی دیده می‌شود. به جای پرداختن به تفاوت میان اهداف و شیوه‌های اتصال و کنش‌ها و غیره، تفاوت میان رانندگان یا شرکت‌های مالک تاکسی پرداخته که در واقع تفاوت در سطح دیگری است و مربوط به سطح تاکسی‌ها نمی‌شود. بنابراین در شیوه شهودی با وجود نتیجه درست اما از راه نادرستی برای تحصیل نتایج استفاده شده است.



شکل ۱۲: نتایج حاصل از مدل‌سازی و تحلیل مطالعه موردی به روش ASSAF

۴-۶ نتایج نهایی روش ASSAF

در ادامه، به نتایج دیگر حاصل از توصیف مورد مطالعه با روش ASSAF پرداخته می‌شود. طبق آنچه که در شکل 13 آمده است می‌توان SoS_{NMC} را در دسته SoSs مجازی قرار داد. نکته قابل توجه اینجا است که تشخیص روش ASSAF (مطابق با بند 5-4) با شواهد موجود هم مطابقت دارد. در تعریف SoSs مجازی در بند2-5-1 آمده که این نوع SoS نیاز به سازوکاری برای حفظ حیات خود دارد. این سازوکار در واقع همان زیرسامانه TLC است که در توصیف نیز آمده است.



شکل ۱۳: محل قرارگیری SoS_{NMC} در طیف ASSAF

۵-۶ محدودیت‌ها و مواردی که می‌توان در روش ASSAF توسعه داد

ابتدا محدودیت اصلی این مدل مطرح می‌شود. این محدودیت دلیل ماهیتی دارد به این معنی که به دلیل ایستا بودن این نحوه مدل‌سازی، قابلیت مورد نظر در آن یافت نمی‌شود. این محدودیت عدم توانایی در تعریف شیوه‌ای برای اندازه‌گیری مشخصه برآیش است. برای رفع این محدودیت باید روش‌های پویای مدل‌سازی SoS و منطق زمانی را با روش کنونی ترکیب کرد تا توانایی این روش برای تعریف مشخصه برآیش افزایش یابد.

همان‌طور که پیش از این هم اشاره شد روش ASSAF در مواردی قابلیت توسعه دارد که می‌توان طی پژوهش‌های آینده به بررسی و توسعه آنها پرداخت. در ادامه به این موارد اشاره می‌شود:

- اعضای درآیه Act یا همان کنش‌ها به صورت مجرد و ساده مدل شده‌اند. می‌توان با اضافه کردن مواردی مانند پیش شرط‌ها، نیازمندی‌ها و غیره، آنها را گسترش داد.
- اعضای درآیه Gol نیز مانند درآیه Act ساده مدل شده‌اند. می‌توان با وزن قائل شدن یا دادن صفت‌های ساده و مرکب یا مانند آن، اعضای این درآیه را از نظر مفهومی غنی‌تر کرد.
- اتصال‌ها در این روش ساده اند. نوع خاصی ندارند و وزنی هم برای آن‌ها در نظر گرفته نشده است. می‌توان آنها را نیز در این حوزه‌ها گسترش داد.
- با اضافه کردن منطق زمانی به روش کنونی می‌توان قابلیتی به وجود آورد که مشخصه برآیش را بتوان به صورت صوری تعریف کرد.
- در این پژوهش ارتباط معنی‌دار میان مشخصه‌ها پذیرفته شده است. یعنی پذیرفته‌شده که تغییر مقدار یک مشخصه بر مقدار دیگر مشخصه‌ها تأثیر دارد. اما روابط ریاضی این تأثیرات هنوز استخراج نشده است. دلیل این عدم استخراج این است که به طور مثال در تعریف مشخصه اتصال، دلیل و هدف ایجاد اتصال هنوز مطرح نشده از این رو نمی‌توان در نظر گرفت که اتصال برای انجام چه کنش یا برآورده ساختن چه هدفی برقرار شده است و همانطور که پیش از این هم بیان شد این مشخصه می‌تواند توسعه بیشتری بیابد. با تکمیل تعاریف مشخصه‌ها در کارهای آتی می‌توان بر روی ارتباط مشخصه‌ها با هم تحلیل‌های ریاضی انجام داد و سپس تحلیلی نیز بر روی نحوه تغییرات مشخصه‌ها در اثر تغییر دیگر مشخصه‌ها داشت.

- با انتخاب و یا تکمیل یک زبان صوری مناسب و تبدیل تعاریف از زبان ریاضی به زبان صوری مذکور امکان استفاده از ابزارهای موجود برای آن زبان، مثلا ابزارهای وارسی یا ابزارهای پیاده‌سازی، برای فرمالیسم فراهم آورده‌شود.

مراجع

[1] *System*, 2014, Available: http://www.businessdictionary.com/definition/system.html

[2] Zhou, B., '*A Generic Method For Modelling Systems Of Sys- Tems And Its Applicability To The Field Of Factory Automation*', Master of Science Thesis, Tampere University Of Technology, 2011.

[3] Jamshidi, m., (ed), '*Systems of systems engineering: innovations for the 21st century*', John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2009.

[4] Meyers, C.B., Smith, J.D., Capell, P., Place, P.R.H., '*Requirements Management in a System-of-Systems Context: A Workshop*', Integration of Software-Intensive Systems Initiative Acquisition Support Program, Carnegie Mellon University, 2006.

[5] Woodcock, J., Cavalcanti, A., Fitzgerald, J., Larsen, P., Miyazawa, A., Perry, S., '*Features of CML: a formal modelling language for Systems of Systems*', IEEE 7th International Conference on System of Systems Engineering, Genoa, Italy, 16-19 July 2012.

[6] NASA, '*Formal methods specification and verification guidebook for software and computer systems volume i: planning and technology*', release 1.0, Office Of Safety And Mission Assurance, National Aeronautics And Space Administration(NASA), Washington, DC, 205, july 1995.

[7] رضاییان، ع.، «*تجزیه و تحلیل و طراحی سیستم*»، سمت، تهران، 1383.

[8] سنگه، پ.، کلاینر، آ.، رابرتز، ش.، راس، ر.، روت، ج.، اسمیت، ب.، «*رقص تغییر (چالش های تغییر پایدار در سازمان های یادگیرنده)*»، چاپ چهارم، انتشارات آریانا قلم، 1389.

[9] Sauser, B., Boardman J., Verma, D., '*Systomics: Toward a Biology of System of Systems*', IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part A: Systems And Humans, Vol. 40, No. 4, July 2010.

[10] Office of the Deputy Under Secretary of Defense for Acquisition and Technology, Systems and Software Engineering, '*Systems Engineering Guide for Systems of Systems*', Version 1.0. Washington, DC: ODUSD(A&T)SSE, 2008.

[11] Boardman, J., Sauser, B., '*System of Systems – the meaning of "of"*', IEEE/SMC International Conference on System of Systems Engineering, 2006.

[12] Baldwin, W.C., Sauser, B., '*Modeling the Characteristics of System of Systems*', IEEE International Conference on System of Systems Engineering, 2009.

[13] Jamshidi, M.,'*Theme of the IEEE SMC 2005*', Waikoloa, Hawaii, USA, http:// ieeesmc2005.unm.edu/, October 2005.

[14] Carlock, P.G., Fenton, R.E., '*System of systems (SoS) enterprise systems for information-intensive organizations, Systems Engineering '*, 4(4): 242–261, 2001.

[15] Pei, R.S., '*Systems of systems integration (SoSI): a smart way of acquiring army C4I2WS systems*', Proceedings of the Summer Computer Simulation Conference, pp. 134–139, 2000.

[16] Luskasik, S.J., '*Systems, systems of systems, and the education of engineers, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis, and Manufacturing*', 12(1): 11–60, 1998.

[17] Manthorpe, W.H., '*The emerging joint system of systems: a systems engineering challenge and opportunity for APL*', John Hopkins APL Technical Digest, 17(3): 305–310, 1996.

[18] Sauser, B., Boardman, J., Gorod, A., '*System of Systems Management*', in *Systems of systems engineering: innovations for the 21st century*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2009.

[19] Zhou, B., Dvoryanchikova, A., Lobov, A., Lastra, J.L.M., '*Modeling System of Systems: A Generic Method Based on System Characteristics and Interface*', 9th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2011.

[20] Dahmann, J.S., Rebovich Jr., G., Lane, J.A., '*Systems Engineering for Capabilities*', CROSSTALK The Journal of Defense Software Engineering, pp.4-9, November 2008.

[21] Meyers, B.C., Smith, J.D., Capell, P., Place, P.R.H., '*Requirements Management in a System-of-Systems Context: A Workshop*', Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute, 2006.

[22] Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology, and Logistics (OUSD(AT&L)), *Frequently Asked Questions*, 2014, Avaible: http://www.acq.osd.mil/dpap/Docs/FAQs%20--%20SoS%20&%20FoS.doc

[23] Drusinksy, D., Shing, M., '*Creation and Evaluation of Formal Specifications for System-of-Systems Development*', IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics Waikoloa, Hawaii October 10-12, 2005.

[24] Gamble, M.T., Gamble, R.F., '*Reasoning about Hybrid System of Systems Designs*', Seventh International Conference on Composition-Based Software, 2008.

[25] Clark, J.O., '*System of Systems Engineering and Family of Systems Engineering From a Standards, V-Model, and Dual-V Model Perspective*', 3rd Annual IEEE International Systems Conference, Vancouver, Canada, March 23–26, 2009.

[26] Campbell, J.E., Longsine, D.E., Shirah, D., Anderson, D.J., '*System of Systems Modeling and Analysis*', Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico 87185 and Livermore, California 94550, 2005.

[27] DeLaurentis, D.A., '*Appropriate modeling and analysis for systems of systems: Case study synopses using a taxonomy*', IEEE International Conference on System of Systems Engineering, 2008.

[28] Gutierrez-Garcia, J.O., Ramos-Corchado, F.F., Koning, J., '*Obligations as constrainers, descriptors, and linkers of Open System of Systems*', IEEE International Conference on System of Systems Engineering, 2009.

[29] Payne, R., Bryans, J., Fitzgerald, J., Riddle, S., '*Interface Specification for System-of-Systems Architectures*', Proc. of the7th International Conference on System of Systems Engineering, Genoa, Italy, 2012.

Abstract

Lately a category of complicated systems which their components are complicated themselves has dragged a lot of attention. Many fields are taking these heterogeneous and growing systems into attention. Military, security, aerospace, space, manufacturing factories, service industries, environmental and crisis control systems are some examples of these fields.

Researchers believe that systems which are vast, complicated, independent and heterogeneous and work together or have been built to fulfill this purpose, can be implemented an analyzed more efficiently with SoS technology. The main reason for considering systems with the SoS approach is to reach higher abilities and better performances that cannot be reached with the means of conventional systems.

This research is looking for propagating a formalism that modeling SoSs and also systems and FoSs will be possible with it and then make a basis with extracting model to make an exact and formal definition for SoSs characteristics. After reaching these purposes, with these definitions a method will be provided for systems, SoSs and FoSs on a spectrum. Also categories of SoSs will be presented on this spectrum.

One of the main presented definitions in this research is pseudo-system. This concept is presented for the first time in this thesis. Definitions of pseudo-systems and its sorts, will make it possible to represent the definitions of SoSs' properties, also SoSs can be categorized with these contents. With all these definitions and categories, it will be possible to make a spectrum and setsystems, FoSs and sorts of SoSs on this spectrum.

Key words: System, SoS, FoS, Formalism, Pseudo-System, ASSAF

Shahid Beheshti University
Department of Electrical & Computer Engineering

A Formalism For SoS Specification
(Characteristics Definition Approach)

By

Assaf Neisi Minaei

A THESIS SUBMITTED
FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING

Supervisor:

Eslam Nazemi, Ph.D.
Hassan Haghighi, Ph.D.

2014