بسم الله الرحمن الرحیم

معبودم! ای بود و نبودم! خدای من! عشق من! ای برتر از اندیشهٔ ناتوانم! ای همهٔ هستی من! ای زیباترین، ای کاملترین و ای بهترین آفرینندگان! نمی‌دانم کدامین واژه را به کار برم تا از بابت این آرامشی که به من عطا کردی تشکر کرده باشم. یا الهی و ربی من لی غیرک.

درود و سپاس یگانهٔ جاوید را که آرام گیرد دلها با یاد او و آرامش پذیرد پریشان عالمی با نام او. سپاس و صدها سپاس به پاس بهترین نعمتی که به ما عطا فرمودی: نعمت خداوندیت.

می دانم که نخواهم توانست سپاس خود را در قالب کلمات در آورده و شکرگزار تو باشم. لذا از کلام مولای متقیان علی (ع) کمک می گیرم و

«گواهی می‌دهم که خدا یکتاست، انبازی ندارد و بی‌همتاست. گواهیی از روی اعتقاد و ایمان، بی آمیغ برآمده از امتحان؛ و گواهی می‌دهم که محمّد(ص) بندهٔ او و پیامبر اوست. او را بفرستاد با دینی آشکار، و با نشانه‌هایی پدیدار، و قرآنی نبشته در علم پروردگار. که نوری است رخشان، و چراغی است فروزان، و دستورهایش روشن و عیان. تا گَردِ دودلی از دلها بزداید، و با حجّت و دلیل مُلزم فرماید.

پاک خدایا! چه بزرگ است آنچه می‌بینم از خلقت تو؛ و چه خُرد است، بزرگی آن در کنار قدرت تو؛ و چه با عظمت است آنچه می‌بینم از ملکوت تو، و چه ناچیز است برابر آنچه بر ما نهان است از سلطنت تو، و چه فراگیر است نعمت تو در این جهان؛ و چه اندک است در کنار نعمتهای آن جهان.

خدایا! اگر در پرسش خود درمانم یا راهِ پرسیدن را ندانم، صلاحِ کارم را به من نما و دلم را بدانچه رستگاری من در آن است متوجه فرما! که چنین کار از راهنماییهای تو ناشناخته نیست و از کفایتهای تو نه.»

۹۵۸۷۷

دانشگاه تبریز

دانشکده فیزیک

گروه فیزیک نظری و اختر فیزیک

رساله

برای دریافت درجه دکتری در رشته

فیزیک گرایش نظری

عنوان

مطالعه آنفورماتیک سیستمهای دینامیکی نظیر نگاشت های یک بعدی و کاربرد آنها

استادان راهنما

دکتر محمد علی جعفریزاده

دکتر سهراب بهنیا

استاد مشاور

دکتر صالح اشرفی

پژوهشگر

صدیف احدپور کلخوران

اسفند ۱۳۸۵

۹۵ ۸۷۷

تقدیر و تشکر

از استاد راهنمای گرانقدرم، جناب آقای دکتر محمد علی جعفری زاده که در طول دوران تحصیلات دانشگاهیم استاد علم بنده بوده‌اند از صمیم قلب تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از استاد راهنمای دوم، جناب آقای دکتر سهراب بهنیا به خاطر راهنمائیهای مفید و سودمندشان و زحماتی که در دوران تحصیلات دکترای بنده متحمل شده‌اند، صمیمانه سپاسگذارم. از جناب آقای دکتر صالح اشرفی ، استاد مشاور بنده، به خاطر زحماتی که متحمل شده‌اند متشکر و سپاسگذارم.

از خانواده گرامیم به خاطر حمایتهای همه جانبه‌شان در تحصیلاتم سپاسگذارم.

از تمامی مدیریت محترم و کارمندان دانشکده فیزیک و دانشگاه تبریز به دلیل همکاریها و زحماتشان در دوران تحصیلاتم صمیمانه سپاسگذارم.

از زحمات تمامی استادان که با وجود خویش درس زندگی و علم را به بنده یاد داده‌اند و بخصوص از جناب آقای دکتر حوایی سپاسگذارم.

از استادانی که داوری این رساله را به عهده گرفته‌اند و زحمت مطالعه آن را متحمل شده‌اند متشکرم.

از تمامی دوستان و دانشجویان دکترای عزیز که در دوران تحصیل دکترا و در تدوین این رساله مرا یاری نموده‌اند صمیمانه سپاسگذارم.

به یاد پدرم

تقدیم به:

همسر عزیز و فداکارم

و دخترنازنینم نگار

نام خانوادگی دانشجو: احدپور کلخوران نام: صدیف

عنوان: مطالعه آنفورماتیک سیستمهای دینامیکی نظیر نگاشت های یک بعدی و کاربرد آنها

استادان راهنما: دکتر محمد علی جعفریزاده ، دکتر سهراب بهنیا

استاد مشاور: دکتر صالح اشرفی

مقطع تحصیلی: دکتری رشته: فیزیک گرایش: نظری دانشگاه تبریز

دانشکده علوم ریاضی تاریخ فارغ‌التحصیلی: اسفند ۱۳۸۵ تعداد صفحه: ۹۹

کلید واژه‌ها: آشوب ، نگاشت های یک بعدی ، آنتروپی کولموگروف – سینایی، تولیدآنتروپی ومصرف آنتروپی ، سنجه ناوردا، نمای لیاپانوف ،دنباله های نمادی،نوفه زدایی ، آنتروپی بلوکی ،پیچیدگی، معادله فوربینیوس–پرون،سیستم‌های دینامیکی آشوبناک گسسته،موجک ، چندجمله ایهای متعامد، تبدیل سلتجیس، گشتاور.

چکیده

هدف اصلی‌این پژوهش، در سه بخش بیان می‌شود: ابتدا دسته ایی از نگاشتهای آشوبناک یک متغیره کسری مرتب، که دارای سنجه ناوردا هستند، معرفی‌می شوند. برخلاف نگاشت های آشوبناک قبلی، که صرفاً آنتروپی تولید می کردند؛ این نگاشت ها بطور همزمان آنتروپی تولید و مصرف می کنند. لذا محاسبه تحلیلی آنتروپی کولموگروف –سینایی و محاسبه

ادامه چکیده پایان نامه

عددی نمای لیاپانوف

برای این نوع نگاشت ها، گویای آنست که نتایج عددی؛ محاسبات تئوری را تایید می کنند.

در بخش دوم با استفاده از گشتاورها، روش جامع برای محاسبه طیف اپراتورپرون—فروبنیوس داده می شود، ازاینرو بررسی خواص خود مشابهی سنجه های مربوط به چند جمله‌ایهای متعامد فراهم می شود. بررسی های عددی، در مورد خانواده خاصی از نگاشت هانشان می دهد که طیف؛ سنجه ناوردا تولید می کند. لذا با ملاحظات تحلیلی، نتایج را برای دسته وسیعی از نگاشت ها می توان تعمیم داد.

روش جدیدی برای محاسبه نمای لیاپانوف با استفاده از، بازسازی سری زمانی تولید شده از سیستم های دینامیکی یک بعدی داده می شود، از اینرو محاسبه تحلیلی نمای لیاپانوف برای این نوع نگاشت هانشان می دهد که نتایج عددی، محاسبات تئوری را تایید می کنند. سپس با استفاده از موجک هار ؛ اثرسری زمانی تولید شده از یک سیستم دینامیکی آشوبناک، به عنوان نویز جمع شونده بر روی سیستم های بالا مورد بررسی قرار می گیرد.

فهرست مطالب

پیشگفتار ۷

۱ بررسی منابع ۹

۱.۱ پیشینه تحقیق ومعرفی مفاهیم مقدماتی ۱۰

۲.۱ نگاشتهای یک بعدی ۱۱

۳.۱ دینامیک های غیر خطی ۱۱

۴.۱ آنتروپی ۱۴

۵.۱ تجزیه و تحلیل سیگنال ها و سیستم ها ۲۰

۱.۵.۱ معرفی چند کاربرد پردازش سیگنال ۲۱

۶.۱ تبدیل موجک و ویژگی های آن ۲۲

۲ مواد و روش ها ۲۴

۱.۰.۲ نگاشتهای خطی ۲۶

۲.۰.۲ نگاشتهای غیر خطی ۲۸

۱.۲ نقطه ثابت ۲۹

۲.۲ دو شاخه شدگی و انواع آن ۳۱

۱.۲.۲ دو شاخه شدن ۳۲

۳.۲ آشوب ۳۹

۴.۲ ارگودیک ۴۰

۵.۲ معادله فروبینیوس–پرون ۴۳

۶.۲ سنجه ۴۴

۷.۲ سنجه های اطلاعاتی ۴۷

۸.۲ نمای لیا پانوف ۵۳

۳ نتایج و بحث ۵۶

۱.۳ معرفی نگاشتهای آشوبناک کسری مرتب یک متغیره ۵۹

۲.۳ محاسبه‌سنجه‌نگاشتهای آشوبناک کسری مرتب یک متغیره ۶۲

۳.۳ محاسبه آنتروپی کولموگروف — سینایی ۷۳

۴.۳ نمای لیاپانوف و شبیه سازی ۷۸

۵.۳ تابعک گشتاوری وچند جمله‌ایی های متعامد ۸۱

۶.۳ محاسبه سنجه ناوردا با استفاره از رهیافت تبدیل سلتجیس ۸۳

۷.۳ مثال ها ۸۷

۸.۳ بیان ریاضی تبدیل موجک ۹۱

۱.۸.۳ تبدیل هار مرتبه اول ۹۴

۹.۳ بقای انرژی تحت تبدیل هار مرحله اول، تراکم انژی ۹۷

۱۰.۳ بازسازی سری زمانی حاصل از یک سیستم دینامیکی گسسته یک بعدی . ۹۸

۱۱.۳ حذف نویزسیگنال حاصل از یک سیستم دینامیکی گسسته یک بعدی . . . ۱۰۱

۱۲.۳ خلاصه و نتیجه گیری ۱۰۴

مراجع ۱۰۶

واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۱۱۶

لیست اشکال

۲—۱ دو شاخه شدن ۳۲

۲—۲ دو شاخه شدن زین اسبی ۳۳

۲—۳ دو شاخه شدن گذار بحرانی ۳۴

۲—۴ نمودار دوشاخه شدن برای گذار بحرانی ۳۵

۲—۵ دو شاخه شدن چنگالی ۳۷

۲—۶ نمودار دوشاخه شدن چنگالی ۳۷

۲—۷ نمودار دو شاخه شدن چنگالی جزئی بحرانی ۳۸

۳–۱ پس وپیش شدن شاخه هادر نگاشت های آشوبناک کسری مرتب برای نشان دادن تولیدو مصرف همزمان آنتروپی ٦۴

۳–۲ افراز بازه واحد به Λ به زیر بازه B_i ۷۴

۳–۳ نمای لیاپانوف (خط پر) و آنتروپی کولموگروف –سینایی (•) برحسب پارامتر کنترل β برای نگاشت(۲–۱۲) به ازای $N_1 = 2$ و $N_2 = 3$ ۸۰

۳–۴ سیگنال اصلی و تبدیل هار مرتبه اول آن ۹٦

پیشگفتار

سیستمهای دینامیکی آشوبناک یکی از اساسی ترین مباحث در فیزیک نظری می باشد؛ که آغاز مطالعات این سیستمها به اواسط سالهای ۱۶۰۰ بر می گردد. با توجه به تعدد کاربرد سیتمهای دینامیکی آشوبناک ، در نظریه پردازش داده‌ها[1] ، ارتباطات دیجیتالی ، فشرده سازی داده‌ها[2]، رمزگذاری ورمزگشایی (صوتی و تصویری) و نوفه زدایی ...، همواره مورد نظر محققان فیزیک و بیشتر پژوهشگران رشته های ریاضی و مهندسی را به خود جلب کرده است .

تجزیه و تحلیل سیستمهای دینامیکی آشوبناک و تصادفی ، با استفاده از ابزار استانداردی مانند، تابع همبستگی ؛ طیف توانی؛ وابستگی زمانی انحراف از استاندارد؛ صورت می گیرد. لذا سیستمهای دینامیکی آشوبناک را می توان با انتقال مسئله به فضای فاز و تقسیم بندی فضا به تعداد معین بلوک ها، در قالب محاسبه فراوانی در بلوک ها مورد بررسی قرار داد؛ از اینرو آنتروپی کولموگروف—سینایی و نمای لیاپانوف در مورد سیستمهای دینامیکی آشوبناک نظیر نگاشت های یک بعدی، ($x_{n+1} = f(x_n)$)؛ هم بصورت تحلیلی و هم بصورت عددی محاسبه و نتایج بدست آمده مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

این پژوهش در سه فصل تدوین گردیده که فصل اول آن‌بررسی منابع شامل پیشینه تحقیق ومعرفی مفاهیم مقدماتی در مورد سیستمهای دینامیکی آشوبناک می باشد، همچنین در ادامه این فصل سیستمهای دینامیکی خطی و سیستمهای دینامیکی غیر خطی؛ آنتروپی تعمیم یافته تسالیس ، آنتروپی کلموگروف—سینائی؛ تجزیه و تحلیل سیگنال ها و سیستم ها ، به بیان کاربرد وسیع تئوری موجک پردازش سیگنال، بازنگری می گردد.

---

[1] Data processing

[2] Data compression

در فصل دوم؛ نگاشتهای یک بعدی ؛ نقطه ثابت ؛ دو شاخه شدگی؛ ارگودیسیتی؛ سنجه؛آشوب ؛ معادله فروبینیوس—پرون؛ آنتروپی رنی ؛ آنتروپی توپولوژیک؛ نمای لیا پانوف؛آنتروپی شرطی ، آنتروپی جایگشت، آنتروپی مازاد[3]،(ϵ,τ) آنتروپی ، آنتروپی شانون، بازنگری می گردد.

در فصل سوم؛ ابتد خانواده‌ای از نگاشتهای آشوبناک یک متغیره رامرورنموده، سپس با معرفی دسته ایی از نگاشتهای آشوبناک یک متغیره کسری مرتب و توصیف رفتار اینگونه نگاشتها؛ اقدام به محاسبه سنجه SRB وابسته به نگاشتها می گردد، آنگاه با استناد به سنجه SRB محاسبه شده، آنتروپی وابسته به این نگاشتها مورد بررسی قرار می‌گیرد، بحث فوق با محاسبه مقادیر نمای لیاپانوف وابسته به نگاشتها به انتها می رسد.

در ادمه برای مطالعه خواص طیف اپراتورپرون—فروبنیوس، نخست تابعک گشتاوری وچند جمله‌ایی های متعامد را بیان نموده وبا استفاده از اینها روش جدیدی برای محاسبه سنجه ناوردا معرفی می گردد، سپس برای سیستمهای دینامیکی گسسته، که گشتاور زوج آنها صفر است ؛ الگوریتمی ارائه می شود؛ در انتها بااستفاده از چند مثال توانایی الگوریتم ارائه شده مورد ارزیابی قرار می گیرد.

سر انجام با مرور تبدیل موجک و ویژگی های آن را در دو حالت پیوسته وگسسته بررسی و با معرفی تبدیل هار مرتبه اول و بقای انرژی و تراکم انرژی تحت اثر این تبدیل ، به بازسازی سری زمانی حاصل از سیستم دینامیکی گسسته یک بعدی می پردازیم. این فصل با معرفی انواع نویزها و چگونگی استفاده از موجک برای حذف اثر نویز حاصل از یک سیستم دینامیکی به پایان می رسد.

---

[3] Excess Entropy

فصل ۱

بررسی منابع

۱.۱ پیشینه تحقیق ومعرفی مفاهیم مقدماتی

در این فصل ضمن مروری اجمالی بر تحقیقات انجام شده در زمینه سیستمهای دینامیکی ، روشهای تحقیق و نتایج بدست آمده از آنها بیان گردیده و به معرفی روشهای مورد استفاده برای بیان مباحث پژوهش پرداخته می شود. بررسی پیشینه سیستمهای دینامیکی نشان می دهد که‌مطالعه این سیستمهااز اواسط سالهای ۱۶۰۰ شروع شده است؛ بر اساس این بررسی ها سیستمهای دینامیکی به دو نوع تقسیم می شوند.

- سیستمهای دینامیکی خطی
- سیستمهای دینامیکی غیرخطی

سیستمهای دینامیکی خطی سیستمهایی هستند که تجزیه و تحلیل معادلات مربوط به این سیستمهاشناخته شده است ؛ اما سیستمهای دینامیکی غیر خطی،سیستمهایی را گویند که معادلات مربوط به این سیستمها، حل تحلیلی ندارند و یاحل تحلیلی آنها بسیار سخت است. برای تجزیه و تحلیل چنین معادلاتی؛ دینامیک غیر خطی که در سه بعد منجر به آشوب[1] می‌گردد؛ مورد استفاده قرارمی گیرد. ازاینرو برای تحلیل سیستمهای غیر خطی، آشنایی با یک سری مفاهیم اولیه مانند نقاط ثابت، دو شاخه‌شدنها، سیکل‌های محدود و... لازم است.

براین اساس برای سیستهای غیر خطی؛ در یک بعد، نقاط ثابت، در دو بعد بجای نقاط ثابت معادل آنها یعنی سیکل های محدود موجود خواهد بود؛ اما در سه بعد نمودار فضای فاز به اشکالی با ابعاد غیر صحیح منجرمی شود که این اشکال، فراکتال نام گرفته است که از روی نمودار فضای فاز، سیستمها مورد تفسیر قرار می گیرند [۳ ،۲ ،۱]. در نتیجه اگر نمو (رشد)

[1] *Chaos*

سیستم را در قالب زمان بصورت پیوسته باشد؛ با استفاده از معادلات دیفرانسیل بیان می گردد. در سیستمهای که به صورت گسسته با زمان تحول دمی یابند نگاشتهای تکرار؛ مطرح می‌شوند.

۲.۱ نگاشتهای یک بعدی

نگاشت های یک بعدی درسیستم‌های دینامیکی جدیدی که‌با زمان به صورت گسسته تغییر می کنند؛ مطرح می شوند. از اینرو سیستمهای فوق بوسیله معادلات متفاوت، نگاشت های تکرار[2] یا نگاشتهای ساده شناخته می‌شوند. در این فصل با مروری گذرا بر مفاهیم بنیادی مرتبط با این بحث و ارائه نتایج تحقیقات سعی می شود زمینه برای ارزیابی نتایج بدست آمده از این تحقیق فراهم شود.

۳.۱ دینامیک های غیر خطی

از آنجاکه عنوان سیستم های دینامیکی به سیستم هائی نسبت داده می شود که در گذر زمان دستخوش تحول می شوند، از اینرو یک سیستم دینامیکی را می توان توسط سه پارامتر زمان ، حالت ها [3] و قاعده هایی که بیانگر نحوه تحول این حالت ها است شکل داد، برای درک سیستم دینامیکی بایستی بر شرایط اولیه حاکم بر سیستم و شرایط مرزی آن احاطه داشت، اگر تعداد حالت ها در حین تحول سیستم تغیر نکند سیستم را بسته[4] و در غیر این صورت باز[5] در نظر می

---

[2] *Itrated maps*

[3] *States*

[4] *Thermostated – system*

[5] *Open – system*

گیرند[۵ ،۴].

همچنین سیستمی را که در آن نحوه تحول نسبت به زمان در قالب یک معادله دیفرانسیل‌باشد؛ این سیستم مورد به صورت پیوسته در گذر زمان مورد مطالعه قرار گرفته است ولی اگر این‌سیستم در قالب نگاشتهای مکرر[6] باشد، در این صورت گویندسیستم به صورت گسسته مطالعه شده است. سیستم های دینامیکی را با توجه به رابطه‌ای که میان پارامتر سرعت و موقعیت در آنهاوجود دارد؛ به دو گروه تقسیم می‌شوند.

- سیستمهای دینامیکی خطی: سسیتم هائی که در آنها یک رابطه خطی میان سرعت و موقعیت برقرار می شود سسیتم های خطی بشمار می آیند؛ و همچنین سسیتم های خطی از این قابلیت برخوردار هستند که آنها را می توان با تجزیه مسئله‌به اجزاءٔ کوچک مورد تحلیل قرار داد.
- سیستمهای دینامیکی غیرخطی: درسیستمهای دینامیکی غیرخطی رابطه میان سرعت و موقعیت غیر خطی می باشد[۶ ،۴]؛لازم به ذکر است در سیستمهای دینامیکی غیرخطی به جهت اینکه رفتار هر جز از سیستم از نحوه‌وابستگی آن به کل سیستم قابل درک است و نیز از آنجاکه درک کل سیستم با درک رفتار اجزاء آن سیستم امکان پذیر است؛ تحلیل سیستم‌های دینامیکی غیرخطی کار ساده‌ای نخواهد بود.

ازآنجاکه توصیف سسیتم های دینامیکی گسسته در زمان باکمک معادله حالت[7] و یا نگاشتهای مکرر صورت می‌پذیرد؛ لذا دراین نوع سیستم ها رابطه‌ای به صورت $x_{n+1} = \mathcal{F}(x_n)$ مابین

Iterated maps[6]

Difference equation[7]

نقاطی که سسیتم انتخاب می کند؛ وجود دارد که این نقاط با هم تشکیل یک مدار می‌دهند[۷].
با عنایت به اینکه رابطه فوق مبنای قاعده‌ای است که براساس آن نگاشت صورت می گیرد، لذا در صورت تمایل می توان نگاشتها را بر اساس چند متغیره بودن آنها، خطی؛ غیر خطی بودن آن و یا بعد وابسته به نگاشتها طبقه بندی کرد[۸ ،۷].

ازسوی دیگر نگاشتهائی مورد نظر است که بتوان سنجه آنها را محاسبه کرد ونیزبه جهت اینکه به دفعات بیشتری به نگاشتهای متفاوتی از نوع خطی ویا غیر خطی اشاره می شود؛ لذا بنظر میرسد معرفی آنها بطور خلاصه در انتهای این بخش مفید باشد. در سیستم های ایزوله سیستم مقید به نقطه ثابت جاذبی است که توسط سنجه ناوردائی مشخص می شود که از خود رفتار ملایمی[8] در امتداد ناپایدار و رفتار فراکتالی[9] در امتداد پایدار نشان می دهد، این سنجه تحت عنوان $(SRB - Measure)$[10] شناخته می شود[۸]. هنوز روش منسجمی برای محاسبه سنجه ابداع نشده است بطوریکه اگر به پژوهش ها و یا مقالاتی که در سالهای اخیر به تحریر در آمده‌اند توجه شود بیشترین نقطه تمرکز پژوهش هامعطوف به روشهای تقریبی برای تعیین سنجه است[۱۴] ، تعداد معدودی از نگاشت ها وجود دارند که سنجه ناوردا برای انها به صورت تحلیلی محاسبه شده است، از جمله خانواده هایی از نگاشت های یک پارامتری از دسته نگاشت های قطعه به قطعه[11] خطی یک بعدی مانند نگاشت بیکر و تنت [12] [۱۸ ،۱۷ ،۱۶ ،۱۵] یا نگاشت تک مدی [13] مانند لوجستیک برای مقدار معینی از پارامترآن و نگاشت یک بعدی درجه سوم و پنجم [14] [۲۰ ،۱۹]. در بیشتر موارد از الگوریتم های عددی برای محاسبه سنجه ناوردا استفاده می شود,

---

[8] $Smoot$

[9] $Fractal$

[10] $Sinai - Ruelle - Bowen\ measure$

[11] $piecewise$

[12] $Baker, Tent$

[13] $unimodal$

[14] $cubic, quintic$

برای مثال روش اولمس [15] [۲۳، ۲۲، ۲۱].

۴.۱ آنتروپی

عبارت آنتروپی در ترمودینامیک ، نظریه احتمالات ، نظریه اطلاعات و نظریه سیستم های دینامیکی (شامل فرایند های تصادفی ، نظریه ارگودیک ، دینامیک توپولوژیک) و نیز در چندین معا نی متعارف دیگر ظاهر می شود.ازآنجا که یکی از روشهای مطالعه سیستمهای دینامیکی استفاده از رهیافت دینامیک نمادی است و که این مطالعه می تواند با انتقال مسئله به فضای فاز و تقسیم بندی فضا به تعداد معین بلوک ها در قالب محاسبه فراوانی در بلوک ها صورت بگیرد. بر این اساس انواع آنتروپی ها را در مورد سیستم های دینامیکی نظیر نگاشت های یک بعدی، می توان هم بصورت تحلیلی و هم بصورت عددی تا آنجا که امکان دارد، محاسبه کرده و نتایج حاصل از آنها را به صورت مقایسه ایی مورد تحلیل قرار داد. تجزیه و تحلیل سیستم های دینامیکی آشوبناک و تصادفی با استفاده از ابزار استانداردی مانند، تابع همبستگی ، طیف توانی ، وابستگی زمانی انحراف از استاندارد، صورت می گیرد. نظر به اینکه رهیافت دینامیک نمادی [16] زمینه ایی را برای محاسبه سنجه های اطلاعاتی مانند آنتروپی تعمیم یافته تسالیس [17][۲۴] ، آنتروپی بلوکی —n [۲۵]، آنتروپی رنی [18][?]، اطلاعات عبوری [۲۷]، فراهم می کند. با عنایت به اینکه در مطالعه دنباله های نمادی، پیچیدگی از اهمیت بالایی بر خوردار است ،بطوریکه به

---

[15] *Ulams*

[16] Symbolic Dynamic

[17] Generalized Tsallis Entropy

[18] Renyi