

چند نتیجه نقطه انطباقی برای نگاشت‌های JS-انقباضی تعمیم‌یافته در فضاهای G-متری اصلاح شده مرتب

وحید پروانه^{۱*}، حسن حسین زاده^۲

۱. استادیار، گروه ریاضی، واحد گیلانغرب، دانشگاه آزاد اسلامی
۲. استادیار، گروه ریاضی، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۸

Some coincidence point results for generalized JS -contractive mappings in ordered modified G -metric space

Vahid Parvaneh^{1*}, Hasan Hosseinzadeh²

1. Assistant Professor, Department of Mathematics, Gilan-E-Gharb Branch, Islamic Azad University
2. Assistant Professor, Department of Mathematics, Ardabil Branch, Islamic Azad University

Received: 8/12/2017

Accepted: 1/8/2018

Abstract: There are many generalizations of the Banach contraction principle in generalized metric spaces. The aim of this paper is to present the structure of modified G -metric space as a new generalization of G -metric spaces. Also, some coincidence point results for six mappings satisfying generalized JS -contractive condition in the framework of ordered modified G -metric spaces are presented which are generalizations of Banach contraction principle. An example and an application are also provided to support our results.

Keywords: coincidence point, generalized contraction mapping, generalized metric space, partially weakly increasing mappings.

چکیده: تعمیم‌های زیادی از اصل انقباض باناخ در فضاهای متری تعمیم‌یافته وجود دارد. هدف این پژوهش، ارائه ساختار فضاهای متری تعمیم‌یافته اصلاح شده (فضاهای G-متری اصلاح شده) به‌عنوان تعمیمی مناسب از فضای G-متری می‌باشد. سپس، به بیان و اثبات چندین نتیجه نقطه انطباقی برای شش نگاشت با شرط JS-انقباضی تعمیم‌یافته در چارچوب این رده جدید از فضاها پرداخته می‌شود که تعمیم اصل انقباض باناخ خواهد بود. یک مثال و یک کاربرد برای نشان دادن کارایی نتایج به‌دست آمده نیز ارائه خواهند شد.

کلمات کلیدی: نقطه انطباقی، نگاشت انقباضی تعمیم‌یافته، فضای متری تعمیم‌یافته، نگاشت صعودی ضعیف جزئی.

۱ مقدمه

$F(f) = \{z\}$ و برای هر x در فضای متری کامل X ، دنباله $x_{n+1} = f(x_n) = f^n(x)$ به نقطه Z همگرا باشد، آنگاه f یک عملگر پیکارد^۱ نامیده می‌شود.

فرض کنید (X, d) یک فضای متری باشد و f خودنگاشتی روی X . اگر برای عنصری مانند x در X داشته باشیم $x = fx$ ، آنگاه x یک نقطه ثابت نگاشت f نامیده می‌شود. مجموعه تمام نقاط ثابت نگاشت f با $F(f)$ نمایش داده می‌شود. اگر

¹ Picard

$$\tilde{d}(x, y) = \xi(d(x, y))$$

که در آن $\xi: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ یک تابع صعودی اکید با شرط $x \leq \xi(x)$ و $\xi(0) = 0$ باشد. آنگاه \tilde{d} یک p -متری با $\Omega(t) = \xi(t)$ می‌باشد.

گزاره بالا مثال زیر را می‌سازد.

مثال ۱. فرض کنید (X, d) یک فضای متری باشد و

$$\tilde{d}(x, y) = e^{d(x, y)} \sec^{-1}(e^{d(x, y)})$$

آنگاه، \tilde{d} یک p -متری با $\Omega(t) = e^t \sec^{-1}(e^t)$ می‌باشد.

مفهوم فضای متری تعمیم‌یافته، یا فضای G -متری، توسط مصطفی^۳ و سیمز^۴ معرفی شد. در حقیقت، آنها مفهوم متر را طوری تعمیم دادند که برای هر سه نقطه از یک مجموعه یک عدد حقیقی اختصاص می‌یابد. بر اساس مفهوم فضای متری تعمیم‌یافته، نویسندگان زیادی از جمله [۶-۱۴] برخی قضایای نقطه ثابت برای نگاشت‌های انقباضی مختلف به دست آوردند.

تعریف ۲. فرض کنید X یک مجموعه ناتهی و $G: X \times X \times X \rightarrow \mathbb{R}^+$ تابعی باشد که در شرایط زیر صدق می‌کند:

$$(G1) \quad G(x, y, z) = 0 \text{ اگر } x = y = z$$

$$(G2) \quad \text{برای هر } x, y \in X \text{ با شرط } x \neq y, \quad G(x, x, y) < 0$$

$$(G3) \quad \text{برای هر } x, y, z \in X \text{ با شرط } y \neq z, \quad G(x, x, y) \leq G(x, y, z)$$

فرض کنید f و g خودنگاشت روی مجموعه ناتهی X باشند. اگر برای نقطه x در X داشته باشیم $x = fx = gx$ ، آنگاه x یک نقطه ثابت مشترک نگاشت‌های f و g نامیده می‌شود. سسا^۱ [۱] مفهوم جابجایی ضعیف را در مورد دو نگاشت برای به دست آوردن نقاط ثابت مشترک تعریف کرد. جانک^۲ این ایده را نخست به نگاشت‌های سازگار [۲] و سپس به نگاشت‌های سازگار ضعیف [۳] تعمیم داد. مفهوم فضای b -متری تعمیم‌یافته را به صورت زیر معرفی می‌کنیم.

تعریف ۱. فرض کنید X یک مجموعه ناتهی باشد. تابع $\tilde{d}: X \times X \rightarrow \mathbb{R}^+$ یک p -متری است اگر نگاشت پیوسته صعودی اکید $\Omega: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ با شرط $\Omega^{-1}(x) \leq x \leq \Omega(x)$ و $\Omega^{-1}(0) \leq 0 \leq \Omega(0)$ موجود باشد به طوری که برای هر $x, y, z \in X$ شرایط زیر برقرار باشند:

$$1. \quad \tilde{d}(x, y) = 0 \text{ اگر و تنها اگر } x = y$$

$$2. \quad \tilde{d}(x, y) = \tilde{d}(y, x)$$

$$3. \quad \tilde{d}(x, z) \leq \Omega(\tilde{d}(x, y) + \tilde{d}(y, z))$$

در این صورت، زوج (X, \tilde{d}) یک فضای p -متری یا یک فضای b -متری توسعه‌یافته نامیده می‌شود.

هر b -متری [۴, ۵] یک p -متری است که در آن $\Omega(x) = sx$ و هر متر معمولی یک p -متری است، که در آن $\Omega(x) = x$.

گزاره ۱. فرض کنید (X, d) یک فضای متری و

³ Mustafa

⁴ Sims

¹ Sessa

² Jungck

یک فضای (X, \tilde{G}) متری اصلاح‌شده یا یک فضای \tilde{G} متری نامیده می‌شود.

هر فضای G -متری یک فضای \tilde{G} متری با $\Omega(t) = t$ و هر فضای G_b -متری یک فضای \tilde{G} متری با $\Omega(t) = st$ می‌باشد.

گزاره ۲. فرض کنید (X, G) یک فضای G_b -متری با ضریب $s \geq 1$ و $\tilde{G}(x, y, z) = \xi(G(x, y, z))$ که در آن $\xi: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ یک تابع صعودی است که برای هر $x > 0, x \leq \xi(x), \xi(0) = 0$ نشان می‌دهیم که \tilde{G} یک G_b -متری با $\Omega(t) = \xi(st)$ برای هر $x, y, z, a \in X$

$$\begin{aligned} \tilde{G}(x, y, z) &= \xi(G(x, y, z)) \\ &\leq \xi(sG(x, a, a) + sG(a, y, z)) \\ &\leq \xi(s\xi(G(x, a, a)) + s\xi(G(a, y, z))) \\ &= \xi(s\tilde{G}(x, a, a) + s\tilde{G}(a, y, z)) \\ &= \Omega(\tilde{G}(x, a, a) + \tilde{G}(a, y, z)). \end{aligned}$$

لذا \tilde{G} یک G -متری اصلاح‌شده با $\Omega(t) = \xi(st)$ می‌باشد.

گزاره بالا مثال‌های زیر را القا می‌کند:

مثال ۲. فرض کنید (X, G) یک فضای G_b -متری با ضریب $s \geq 1$ باشد. آنگاه

$$\begin{aligned} \tilde{G}(x, y, z) &= e^{G(x, y, z)} \sec^{-1}(e^{G(x, y, z)}) \quad 1. \\ &\text{یک متری } \tilde{G} \text{ با تابع} \\ \Omega(t) &= e^{st} \sec^{-1}(e^{st}) \text{ می‌باشد.} \\ \tilde{G}(x, y, z) &= [G(x, y, z) + 1] \sec^{-1}([G(x, y, z) + 1]) \quad 2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G(x, y, z) &= G(x, z, y) \\ &= G(y, z, x) = \dots \end{aligned} \quad (G4)$$

(G5) برای هر $x, y, z, a \in X$

$$G(x, y, z) \leq G(x, a, a) + G(a, y, z).$$

آنگاه، تابع G یک G -متری روی مجموعه X و زوج (X, G) یک فضای G -متری نامیده می‌شود.

آفاجانی^۱ و دیگران در [۱۵] با الهام از مفهوم b -متری [۴] مفهوم فضای b -متری تعمیم‌یافته را معرفی کردند. تعریف زیر تعریف فضای G -متری اصلاح‌شده است که تعمیم مناسبی از مفاهیم فضای G -متری و فضای G_b -متری می‌باشد.

تعریف ۳. فرض کنید X مجموعه ای ناتهی و $\Omega: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ تابعی پیوسته و اکیداً صعودی باشد که برای $x > 0, \Omega^{-1}(x) \leq x \leq \Omega(x)$ و $\Omega^{-1}(0) = 0 = \Omega(0)$ فرض کنید نگاشت $\tilde{G}: X \times X \times X \rightarrow \mathbb{R}^+$ در شرایط زیر صدق کند:

$$1. \quad \tilde{G}(x, y, z) = 0 \text{ اگر } x = y = z$$

$$2. \quad \text{برای هر } x, y \in X \text{ با شرط } x \neq y, \tilde{G}(x, x, y) < 0.$$

$$3. \quad \text{برای هر } x, y, z \in X \text{ با شرط } y \neq z, \tilde{G}(x, x, y) \leq \tilde{G}(x, y, z)$$

$$4. \quad \tilde{G}(x, y, z) = \tilde{G}(p\{x, y, z\}) \text{ که در آن } p \text{ یک جایگشت از } x, y, z \text{ می‌باشد.}$$

$$5. \quad \text{برای هر } x, y, z \in X$$

$$G(x, y, z) \leq \Omega[\tilde{G}(x, a, a) + \tilde{G}(a, y, z)].$$

در این صورت، \tilde{G} یک G -متری اصلاح‌شده و زوج

¹ Aghajani

$$f(x+y) \geq f(x) + f(y).$$

تعریف ۵. فرض کنید X یک فضای \tilde{G} متری با تابع فوق العاده جمعی Ω باشد. اگر برای هر $x, y \in X$ ،
 $\tilde{d}_{\tilde{G}}(x, y) = \tilde{G}(x, y, y) + \tilde{G}(x, x, y)$ آنگاه
 $\tilde{d}_{\tilde{G}}$ یک p -متری روی X خواهد بود که p -متری مربوط به \tilde{G} نام دارد.

تعریف ۶. فرض کنید X یک فضای \tilde{G} متری باشد. دنباله $\{x_n\}$ در X :

- دنباله ای \tilde{G} کوشی است اگر برای هر $\varepsilon > 0$ عدد صحیح و مثبتی مانند n موجود باشد به طوری که برای هر $m, n, l \geq n$ داشته باشیم:

$$\tilde{G}(x_n, x_m, x_l) < \varepsilon.$$

- دنباله ای \tilde{G} همگرا به نقطه ای مانند $x \in X$ است اگر برای هر $\varepsilon > 0$ عدد صحیح و مثبتی مانند n موجود باشد به طوری که برای هر $m, n \geq n$ داشته باشیم

$$\tilde{G}(x_n, x_m, x) < \varepsilon.$$

- فضای \tilde{G} متری X کامل نامیده می شود، اگر هر دنباله \tilde{G} کوشی در آن همگرا در X باشد.

گزاره ۴. فرض کنید X یک فضای \tilde{G} متری باشد. آنگاه، شرایط زیر هم ارزند:

۱. دنباله $\{x_n\}$ یک دنباله \tilde{G} کوشی است.
۲. برای هر $\varepsilon > 0$ ، عددی مانند $n \in \mathbb{N}$ وجود دارد به طوری که برای هر $m, n \geq n$

یک \tilde{G} متری با تابع

$$\Omega(t) = [st + 1] \sec^{-1}([st + 1]) \quad \text{می باشد.} \\ \tilde{G}(x, y, z) = e^{G(x, y, z)} \tan^{-1}(e^{G(x, y, z)} - 1) \quad ۳.$$

یک \tilde{G} متری با تابع

$$\Omega(t) = e^{st} \tan^{-1}(e^{st} - 1) \quad \text{می باشد.} \\ \tilde{G}(x, y, z) = G(x, y, z) \cosh(G(x, y, z)) \quad ۴.$$

یک \tilde{G} متری با تابع

$$\Omega(t) = st \cosh(st) \quad \text{می باشد.} \\ \tilde{G}(x, y, z) = e^{G(x, y, z)} \ln(1 + G(x, y, z)) \quad ۵.$$

یک \tilde{G} متری با تابع

$$\Omega(t) = e^{st} \ln(1 + st) \quad \text{می باشد.} \\ \tilde{G}(x, y, z) \\ = G(x, y, z) + \ln(1 + G(x, y, z)) \quad ۶.$$

یک \tilde{G} متری با تابع

$$\Omega(t) = st + \ln(1 + st) \quad \text{می باشد.}$$

تعریف ۴. یک \tilde{G} متری متقارن نامیده می شود اگر برای هر $x, y \in X$

$$\tilde{G}(x, y, y) = \tilde{G}(y, x, x).$$

گزاره ۳. فرض کنید X یک فضای \tilde{G} متری باشد.

آنگاه برای هر $x, y, z, a \in X$ نتیجه می شود که:

$$۱. \text{ اگر } \tilde{G}(x, y, z) = 0 \text{ آنگاه } x = y = z.$$

$$۲. \tilde{G}(x, y, z) \leq \Omega(\tilde{G}(x, x, y) + \tilde{G}(x, x, z))$$

$$۳. \tilde{G}(x, y, y) \leq \Omega(\tilde{G}(x, x, y))$$

$$۴. \tilde{G}(x, y, z) \leq \Omega(\tilde{G}(x, a, z) + \tilde{G}(a, y, z))$$

یاد آوری می شود که تابع f فوق العاده جمعی است

اگر برای هر $x, y \in D(f)$

۳. اگر $\{x_n\}$ همگرا به x باشد، آنگاه،

$$\begin{aligned} & (\Omega^{-1})[\tilde{G}(x, \alpha, \beta)] \\ & \leq \liminf_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(x_n, \alpha, \beta) \\ & \leq \limsup_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(x_n, \alpha, \beta) \\ & \leq \Omega[\tilde{G}(x, \alpha, \beta)]. \end{aligned}$$

در حالت خاص، اگر $x = y = z$ ، آنگاه،

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(x_n, y_n, z_n) = 0.$$

برهان. ۱. با استفاده از نامساوی مستطیلی در یک فضای

\tilde{G} متری مشاهده می‌شود که

$$\begin{aligned} \tilde{G}(x, y, z) & \leq \Omega[\tilde{G}(x, x_n, x_n) \\ & + \Omega[\tilde{G}(y, y_n, y_n) \\ & + \Omega[\tilde{G}(z, z_n, z_n) + \tilde{G}(x_n, y_n, z_n)]]] \end{aligned}$$

و

$$\begin{aligned} \tilde{G}(x_n, y_n, z_n) & \leq \Omega[\tilde{G}(x_n, x, x) \\ & + \Omega[G(y_n, y, y) \\ & + \Omega[G(z_n, z, z) + G(x, y, z)]]]. \end{aligned}$$

در نامساوی اول با حد پایین گرفتن زمانی که

$n \rightarrow \infty$ و در نامساوی دوم با حد بالا گرفتن زمانی که

$n \rightarrow \infty$ نتیجه مورد انتظار حاصل خواهد شد.

۲. با استفاده از نامساوی مستطیلی می‌بینیم که

$$\begin{aligned} \tilde{G}(x, y, \alpha) & \leq \Omega[\tilde{G}(x, x_n, x_n) \\ & + \Omega[\tilde{G}(y, y_n, y_n) + \tilde{G}(x_n, y_n, \alpha)]] \end{aligned}$$

و

$$\begin{aligned} \tilde{G}(x_n, y_n, \alpha) & \leq \Omega[\tilde{G}(x_n, x, x) \\ & + \Omega[G(y_n, y, y) + G(x, y, \alpha)]]]. \end{aligned}$$

$$\tilde{G}(x_n, x_m, x_m) < \varepsilon.$$

گزاره ۵. فرض کنید X یک فضای \tilde{G} متری باشد.

گزاره‌های زیر معادل هستند:

۱. دنباله $\{x_n\}$ دنباله‌ای \tilde{G} همگرا به نقطه x است.

$$\tilde{G}(x_n, x_n, x) \rightarrow 0. \quad ۲.$$

$$\tilde{G}(x_n, x, x) \rightarrow 0. \quad ۳.$$

در حالت کلی، یک تابع G_b -متری $G(x, y, z)$

برای $s > 1$ و بنابراین یک تابع G متری اصلاح شده

$\tilde{G}(x, y, z)$ با تابع نابدیهی Ω برای هر سه متغیر

هم‌زمان پیوسته نیست [۱۱].

لم ساده زیر را در مورد دنباله‌های \tilde{G} همگرا به کار

خوهمیم برد.

لم ۱. فرض کنید (X, \tilde{G}) یک فضای \tilde{G} متری باشد.

۱. فرض کنید $\{x_n\}$ ، $\{y_n\}$ و $\{z_n\}$ به ترتیب

\tilde{G} همگرا به x ، y و z باشند. آنگاه،

$$\begin{aligned} & (\Omega^{-1})^r[\tilde{G}(x, y, z)] \\ & \leq \liminf_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(x_n, y_n, z_n) \\ & \leq \limsup_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(x_n, y_n, z_n) \\ & \leq \Omega^r[\tilde{G}(x, y, z)]. \end{aligned}$$

۲. فرض کنید $\{x_n\}$ و $\{y_n\}$ به ترتیب \tilde{G}

همگرا به x و y باشند. آنگاه،

$$\begin{aligned} & (\Omega^{-1})^r[\tilde{G}(x, y, \alpha)] \\ & \leq \liminf_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(x_n, y_n, \alpha) \\ & \leq \limsup_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(x_n, y_n, \alpha) \\ & \leq \Omega^r[\tilde{G}(x, y, \alpha)]. \end{aligned}$$

تعریف ۱۰. ([۸، ۲۲]) فرض کنید X یک فضای G

۳. به‌طور مشابه،

متری باشد و $f, g: X \rightarrow X$ زوج (f, g) سازگار

$$\begin{aligned} & \tilde{G}(x, \alpha, \beta) \\ & \leq \Omega \left[\tilde{G}(x, x_n, x_n) + \tilde{G}(x_n, \alpha, \beta) \right] \end{aligned}$$

نامیده می‌شود اگر $\lim_{n \rightarrow \infty} G(fgx_n, fgx_n, gfx_n) = 0$

و

که در آن $\{x_n\}$ دنباله‌ای در X است به‌طوری که برای یک $t \in X$

$$\begin{aligned} & \tilde{G}(x_n, \alpha, \beta) \\ & \leq \Omega \left[\tilde{G}(x_n, x, x) + G(x, \alpha, \beta) \right]. \end{aligned}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} fx_n = \lim_{n \rightarrow \infty} gx_n = t.$$

جلی و دیگران [۲۰] رده توابع Θ متشکل از

تعریف ۷. فضای G -متری مرتب جزئی (X, \prec, G)

تمام توابع $(0, \infty) \rightarrow (0, \infty)$ دارای شرایط زیر را معرفی کردند:

دارای خاصیت s.l.c. گفته می‌شود اگر برای هر دنباله صعودی $\{x_n\}$ در X که $x_n \rightarrow x$ نتیجه شود که $x \prec x_n$.

۱. θ صعودی باشد،

تعریف ۸. ([۱۶، ۱۷]) فرض کنید f و g دو

۲. برای هر دنباله $\{t_n\} \subseteq (0, \infty)$

خودنگاشت روی مجموعه مرتب جزئی X باشند. زوج (f, g) :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \theta(t_n) = 1 \text{ اگر و تنها اگر } \lim_{n \rightarrow \infty} t_n = 0.$$

۳. اعداد حقیقی $r \in (0, 1)$ و $l \in (0, \infty]$ موجود

(i) صعودی ضعیف گفته می‌شود اگر برای هر

$$\lim_{t \rightarrow t^+} \frac{\theta(t) - 1}{t^r} = l \text{ باشند به طوری که}$$

$$gx \prec fgx \text{ و } fx \prec gfx, x \in X$$

۴. θ پیوسته باشد.

(ii) صعودی ضعیف جزئی گفته می‌شود اگر برای

$$fx \prec gfx, x \in X \text{ هر}$$

آنها همچنین قضیه زیر را ارائه کردند:

قضیه ۱. ([۲۰] تبصره ۲.۱) فرض کنید (X, d) یک

تعریف ۹. فرض کنید (X, \prec) یک مجموعه مرتب

فضای متری کامل و $T: X \rightarrow X$ نگاشتی دلخواه

جزئی باشد و $f, g, h: X \rightarrow X$ نگاشت‌هایی باشند

باشد. فرض کنید $\theta \in \Theta$ و $k \in (0, 1)$ موجود باشند

به طوری که $fx \subseteq hX$ و $gx \subseteq hX$. زوج (f, g)

به طوری که

(a) صعودی ضعیف نسبت به نگاشت h گفته

$$x, y \in X, \quad d(Tx, Ty) \neq 0$$

$$\text{می‌شود اگر برای هر } y \in h^{-1}(fx)$$

$$\Rightarrow \theta(d(Tx, Ty)) \leq \theta(d(x, y))^k.$$

$$fx \prec gy \text{ و برای هر } y \in h^{-1}(gx)$$

آنگاه، T یک نقطه ثابت یکتا دارد.

$$gx \prec fy. \quad ([۱۸])$$

از این به بعد، با Ψ مجموعه توابع

(b) صعودی ضعیف جزئی نسبت به نگاشت h

نامیده می‌شود اگر برای هر $y \in h^{-1}(fx)$

$$fx \prec gy. \quad ([۱۹])$$

در این پژوهش، با انگیزه از مطالعه انجام شده در [۱۰] چند نتیجه نقطه انطباقی برای شش نگاشت با شرط JS-انقباضی در چارچوب فضاهاى G مترى اصلاح- شده به دست می‌آوریم.

۲ نتایج اصلی

فرض کنید (X, \prec, \tilde{G}) یک فضای \tilde{G} مترى مرتب با تابع Ω باشد و $f, g, h, R, S, T: X \rightarrow X$ شش خودنگاشت باشند. در سراسر این مقاله، مگر خلاف آن بیان شود، برای هر $x, y, z \in X$ فرض کنید

$$M(x, y, z) = \max \left\{ \tilde{G}(Tx, Ry, Sz), \frac{1}{\Psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Tx, fx, fx) \right], \frac{1}{\Psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Ry, gy, gy) \right], \frac{1}{\Psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Sz, hz, hz) \right], \frac{1}{\Psi} \left(\tilde{G}(Tx, Tx, fx) + \tilde{G}(Ry, Ry, gy) + \frac{1}{\Psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Sz, Sz, hz) \right] \right) \right\}.$$

را می‌سازیم. دنباله $\{z_n\}$ در X یک دنباله تکرار جانک با مقدار اولیه x نامیده می‌شود.

قضیه ۲. فرض کنید (X, \prec, \tilde{G}) یک فضای \tilde{G} مترى مرتب کامل باشد. فرض کنید $f, g, h, R, S, T: X \rightarrow X$ به طوری که $f(X) \subseteq R(X)$, $g(X) \subseteq S(X)$ و $h(X) \subseteq T(X)$ فرض کنید برای هر سه عنصر مقایسه‌پذیر $Tx, Ry, Sz \in X$

$$\psi \left(\Omega^r \left[\tilde{G}(fx, gy, hz) \right] \right) \leq \psi(M(x, y, z))^k, \quad (۱)$$

که در آن $\psi \in \Psi$ و $k \in [0, 1)$. فرض کنید R, S

$\theta: [0, \infty) \rightarrow [1, \infty)$ دارای شرایط زیر را نشان می‌دهیم:

θ_1 . θ تابعی اکیداً صعودی و پیوسته باشد،

θ_2 . برای هر دنباله $\{t_n\} \subseteq (0, \infty)$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} t_n = 0 \text{ اگر و تنها اگر } \lim_{n \rightarrow \infty} \theta(t_n) = 1$$

تذکر ۱. واضح است که $f(t) = e^t$ در Θ نیست، اما

عضوی از Θ می‌باشد. مثال‌های دیگر عبارتند از

$$f(t) = e^{te^t}, f(t) = \cosht$$

$$f(t) = 1 + \ln(1+t), f(t) = \frac{r + r \ln(1+t)}{r + \ln(1+t)}$$

$$f(t) = \frac{re^{te^t}}{1 + e^{te^t}} \text{ و } f(t) = \frac{r \cosht}{1 + \cosht}$$

فرض کنید X مجموعه‌ای ناتهی باشد و $f, g, h, R, S, T: X \rightarrow X$ به طوری که $f(X) \subseteq R(X)$, $g(X) \subseteq S(X)$ و $h(X) \subseteq T(X)$ فرض کنید x نقطه‌ای دلخواه از X باشد. همچنین، فرض کنید $x_1 \in X$ چنان باشد که $fx_1 = Rx_1$ چنان باشد که $gx_1 = Sx_1$ و $hx_1 = Tx_1$ چنان انتخاب شده باشد که $hx_1 = Tx_1$ با ادامه این روند، دنباله $\{z_n\}$ تعریف شده با

$$z_{r_{n+1}} = Rx_{r_{n+1}} = fx_{r_n},$$

$$z_{r_{n+2}} = Sx_{r_{n+2}} = gx_{r_{n+1}},$$

$$z_{r_{n+3}} = Tx_{r_{n+3}} = hx_{r_{n+2}}$$

$$Rx_{r_{n+1}} Sx_{r_{n+2}} Tx_{r_{n+3}}.$$

در سه مرحله به صورت زیر اثبات را کامل خواهیم

کرد:

مرحله I. نشان می‌دهیم که

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \tilde{G}(z_k, z_{k+1}, z_{k+2}) = 0.$$

فرض کنید $\tilde{G}_k = \tilde{G}(z_k, z_{k+1}, z_{k+2})$. اگر برای یک

اندیس k ، $\tilde{G}_k = 0$ ، آنگاه $z_k = z_{k+1} = z_{k+2}$. در

حالتی که $k = 3n$ ، آنگاه $z_{r_n} = z_{r_{n+1}} = z_{r_{n+2}}$

نتیجه می‌دهد که $z_{r_{n+1}} = z_{r_{n+2}} = z_{r_{n+3}}$.

در واقع، اگر $z_{r_n} = z_{r_{n+1}} = z_{r_{n+2}} \neq z_{r_{n+3}}$ ،

آنگاه،

$$\begin{aligned} & \psi(\tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+3}})) \\ &= \psi(\tilde{G}(fx_{r_n}, gx_{r_{n+1}}, hx_{r_{n+2}})) \\ &\leq \psi(M(x_{r_n}, x_{r_{n+1}}, x_{r_{n+2}}))^k, \end{aligned}$$

که در آن،

$$\begin{aligned} & M(x_{r_n}, x_{r_{n+1}}, x_{r_{n+2}}) \\ &= \max \left\{ \tilde{G}(Tx_{r_n}, Rx_{r_{n+1}}, Sx_{r_{n+2}}), \frac{1}{\gamma} \Omega^{-1} [\tilde{G}(Tx_{r_n}, fx_{r_n}, fx_{r_n})], \right. \\ & \quad \frac{1}{\gamma} \Omega^{-1} [\tilde{G}(Rx_{r_{n+1}}, gx_{r_{n+1}}, gx_{r_{n+1}})], \frac{1}{\gamma} \Omega^{-1} [\tilde{G}(Sx_{r_{n+2}}, hx_{r_{n+2}}, hx_{r_{n+2}})], \\ & \quad \left. \frac{1}{\gamma} (\tilde{G}(Tx_{r_n}, Tx_{r_n}, fx_{r_n}) + \tilde{G}(Rx_{r_{n+1}}, Rx_{r_{n+1}}, gx_{r_{n+1}}) + \tilde{G}(Sx_{r_{n+2}}, Sx_{r_{n+2}}, hx_{r_{n+2}})) \right\} \\ &= \max \left\{ \tilde{G}(z_{r_n}, z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}), \frac{1}{\gamma} \Omega^{-1} [\tilde{G}(z_{r_n}, z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+1}})], \right. \\ & \quad \frac{1}{\gamma} \Omega^{-1} [\tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}})], \frac{1}{\gamma} \Omega^{-1} [\tilde{G}(z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}})] \\ & \quad \left. \frac{\tilde{G}(z_{r_n}, z_{r_n}, z_{r_{n+1}}) + \tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}) + \tilde{G}(z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}})}{3} \right\} \\ &= \max \left\{ \frac{1}{\gamma} \Omega^{-1} [\tilde{G}(z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}})], \frac{\tilde{G}(z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}})}{3} \right\} \\ &\leq \max \left\{ \tilde{G}(z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}), \frac{\tilde{G}(z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}})}{3} \right\} \\ &\leq \max \left\{ \tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}), \frac{\tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}})}{3} \right\}. \end{aligned}$$

f, g, h و T پیوسته باشند، زوج‌های (g, R) ،

(f, T) و (h, S) سازگار باشند و زوج‌های (g, h) ،

(f, g) و (h, f) به ترتیب صعودی ضعیف جزئی

نسبت به نگاشت‌های R, S و T باشند. آنگاه،

زوج‌های (g, R) ، (f, T) و (h, S) یک نقطه

انطباقی مانند Z در X دارند. به علاوه، اگر Sz, Rz و

Tz مقایسه‌پذیر باشند، آنگاه، Z یک نقطه انطباقی تمام

نگاشت‌ها خواهد بود.

برهان. فرض کنید $\{z_n\}$ یک دنباله تکرار جانک با

مقدار اولیه x در X باشد. چون $x_1 \in R^{-1}(fx)$ ،

$x_2 \in S^{-1}(gx_1)$ و $x_3 \in T^{-1}(hx_2)$ و زوج‌های

(f, g) ، (g, h) و (h, f) نسبت به نگاشت‌های R ،

S و T صعودی ضعیف جزئی هستند، بنابراین، برای

هر $n \geq 0$ ،

در نتیجه،

حالت ۲. برای هر k ، $Z_k \neq Z_{k+2}$.

حالت ۳. برای هر k ، $Z_k \neq Z_{k+1} \neq Z_{k+2}$.

ادعا می‌کنیم که نامساوی زیر همواره برقرار است.

$$\begin{aligned} & \tilde{G}(Z_{k+1}, Z_{k+2}, Z_{k+2}) \\ & \leq \tilde{G}(Z_k, Z_{k+1}, Z_{k+2}) \quad (۳) \\ & = M(x_k, x_{k+1}, x_{k+2}). \end{aligned}$$

فرض کنید $k = 3n$ و برای یک اندیس $n \geq 0$.

$\tilde{G}(Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+2}}, Z_{r_{n+2}}) \geq \tilde{G}(Z_{r_n}, Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+2}}) > 0$ و $Z_{r_n} \neq Z_{r_{n+1}}$ ، آنگاه، چون $Sx_{r_{n+2}}, Rx_{r_{n+1}}, Tx_{r_n}$ ، با استفاده از نامساوی (۱) نتیجه می‌شود که

$$\begin{aligned} & \psi(\tilde{G}(Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+2}}, Z_{r_{n+2}})) \\ & = \psi(\tilde{G}(fx_{r_n}, gx_{r_{n+1}}, hx_{r_{n+2}})) \quad (۴) \\ & \leq \psi(M(x_{r_n}, x_{r_{n+1}}, x_{r_{n+2}}))^k, \end{aligned}$$

که در آن،

$$\begin{aligned} & \psi(\tilde{G}(Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+2}}, Z_{r_{n+2}})) \\ & \leq \psi(\tilde{G}(Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+2}}, Z_{r_{n+2}}))^k \end{aligned}$$

که نتیجه می‌دهد که $Z_{r_{n+1}} = Z_{r_{n+2}} = Z_{r_{n+3}}$ که یک تناقض است. به‌طور مشابه، اگر $k = 3n+1$ ، یا اگر $k = 3n+2$ ، آنگاه $Z_k = Z_{k+1} = Z_{k+2}$ نتیجه می‌دهد که $Z_{k+1} = Z_{k+2} = Z_{k+3}$. در نتیجه، دنباله $\{Z_k\}$ برای هر $k \geq k_0$ دنباله‌ای ثابت خواهد بود و لذا،

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \tilde{G}(Z_k, Z_{k+1}, Z_{k+2}) = 0.$$

فرض کنید برای هر k ،

$$\tilde{G}_k = \tilde{G}(Z_k, Z_{k+1}, Z_{k+2}) > 0. \quad (۲)$$

سه حالت زیر را خواهیم داشت:

حالت ۱. برای هر k ، $Z_k \neq Z_{k+1}$.

$$\begin{aligned} & M(x_{r_n}, x_{r_{n+1}}, x_{r_{n+2}}) \\ & = \max \left\{ \tilde{G}(Tx_{r_n}, Rx_{r_{n+1}}, Sx_{r_{n+2}}), \frac{1}{\varphi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Tx_{r_n}, fx_{r_n}, fx_{r_n}) \right], \right. \\ & \quad \left. \frac{1}{\varphi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Rx_{r_{n+1}}, gx_{r_{n+1}}, gx_{r_{n+1}}) \right], \frac{1}{\varphi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Sx_{r_{n+2}}, hx_{r_{n+2}}, hx_{r_{n+2}}) \right], \right. \\ & \quad \left. \frac{1}{\varphi} \left(\tilde{G}(Tx_{r_n}, Tx_{r_n}, fx_{r_n}) + \tilde{G}(Rx_{r_{n+1}}, Rx_{r_{n+1}}, gx_{r_{n+1}}) + \frac{1}{\varphi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Sx_{r_{n+2}}, Sx_{r_{n+2}}, hx_{r_{n+2}}) \right] \right) \right\} \\ & = \max \left\{ \tilde{G}(Z_{r_n}, Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+2}}), \frac{1}{\varphi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Z_{r_n}, Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+1}}) \right], \right. \\ & \quad \left. \frac{1}{\varphi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+2}}, Z_{r_{n+2}}) \right], \frac{1}{\varphi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Z_{r_{n+2}}, Z_{r_{n+2}}, Z_{r_{n+2}}) \right], \right. \\ & \quad \left. \frac{1}{\varphi} \left(\tilde{G}(Z_{r_n}, Z_{r_n}, Z_{r_{n+1}}) + \tilde{G}(Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+2}}) + \frac{1}{\varphi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Z_{r_{n+2}}, Z_{r_{n+2}}, Z_{r_{n+2}}) \right] \right) \right\} \\ & \leq \max \left\{ \tilde{G}(Z_{r_n}, Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+2}}), \tilde{G}(Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+2}}, Z_{r_{n+2}}), \right. \\ & \quad \left. \frac{\tilde{G}(Z_{r_n}, Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+2}}) + \varphi \tilde{G}(Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+2}}, Z_{r_{n+2}})}{\varphi} \right\} \\ & = \tilde{G}(Z_{r_{n+1}}, Z_{r_{n+2}}, Z_{r_{n+2}}). \end{aligned}$$

فرض کنید $k = 3n$ و برای یک اندیس $n \geq 0$,

بنابراین (۴) نتیجه می‌دهد که

$$\begin{aligned} & \tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+3}}) \\ & \geq \tilde{G}(z_{r_n}, z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}) > 0, \\ & \text{و } z_{r_n} \neq z_{r_{n+2}}, \text{ آنگاه، چون } Tx_{r_n}, Rx_{r_{n+1}}, Sx_{r_{n+2}}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \psi(\tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+3}})) \\ & \leq \psi(\tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+3}}))^k \end{aligned}$$

لذا با استفاده از (۱) نتیجه می‌شود که

که فقط زمانی امکان‌پذیر است که

$$\tilde{G}(z_{r_n}, z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}) = 0$$

تناقض است. بنابراین،

$$\begin{aligned} & \psi(\tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+3}})) \\ & = \psi(\tilde{G}(fx_{r_n}, gx_{r_{n+1}}, hx_{r_{n+2}})) \quad (5) \\ & \leq \psi(M(x_{r_n}, x_{r_{n+1}}, x_{r_{n+2}}))^k, \end{aligned}$$

$$\tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+3}}) \leq \tilde{G}(z_{r_n}, z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}})$$

و

که در آن،

$$M(x_{r_n}, x_{r_{n+1}}, x_{r_{n+2}}) = \tilde{G}(z_{r_n}, z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}).$$

$$\begin{aligned} & M(x_{r_n}, x_{r_{n+1}}, x_{r_{n+2}}) \\ & = \max \left\{ \tilde{G}(Tx_{r_n}, Rx_{r_{n+1}}, Sx_{r_{n+2}}), \frac{1}{\sqrt[3]{\Omega}} \left[\tilde{G}(Tx_{r_n}, fx_{r_n}, fx_{r_n}) \right], \right. \\ & \quad \left. \frac{1}{\sqrt[3]{\Omega}} \left[\tilde{G}(Rx_{r_{n+1}}, gx_{r_{n+1}}, gx_{r_{n+1}}) \right], \frac{1}{\sqrt[3]{\Omega}} \left[\tilde{G}(Sx_{r_{n+2}}, hx_{r_{n+2}}, hx_{r_{n+2}}) \right], \right. \\ & \quad \left. \frac{1}{\sqrt[3]{\Omega}} \left(\tilde{G}(Tx_{r_n}, Tx_{r_n}, fx_{r_n}) + \tilde{G}(Rx_{r_{n+1}}, Rx_{r_{n+1}}, gx_{r_{n+1}}) + \frac{1}{\sqrt[3]{\Omega}} \left[\tilde{G}(Sx_{r_{n+2}}, Sx_{r_{n+2}}, hx_{r_{n+2}}) \right] \right) \right\} \\ & = \max \left\{ \tilde{G}(z_{r_n}, z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}), \frac{1}{\sqrt[3]{\Omega}} \left[\tilde{G}(z_{r_n}, z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+1}}) \right], \right. \\ & \quad \left. \frac{1}{\sqrt[3]{\Omega}} \left[\tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}) \right], \frac{1}{\sqrt[3]{\Omega}} \left[\tilde{G}(z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}) \right], \right. \\ & \quad \left. \frac{1}{\sqrt[3]{\Omega}} \left(\tilde{G}(z_{r_n}, z_{r_n}, z_{r_{n+1}}) + \tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}) + \frac{1}{\sqrt[3]{\Omega}} \left[\tilde{G}(z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}) \right] \right) \right\} \\ & \leq \max \left\{ \tilde{G}(z_{r_n}, z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}), \tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}), \right. \\ & \quad \left. \frac{\tilde{G}(z_{r_n}, z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}) + 2\tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}})}{3} \right\} \\ & = \tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \tilde{G}(z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+3}}, z_{r_{n+4}}) \\ & \leq \tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}) \quad (6) \\ & = M(x_{r_{n+1}}, x_{r_{n+2}}, x_{r_{n+2}}), \end{aligned}$$

به‌طور مشابه، همانند آنچه که در بالا انجام شد می‌توان

نشان داد که برای هر $k = 3n$ ، رابطه (۳) برقرار است.

همچنین می‌توان نشان داد که

و $x, y \in X$ هر $x, y \in X$ و چون برای هر $x, y \in X$

$$\begin{aligned} \text{لذا } \tilde{G}(x, y, y) &\leq \Omega[\tau \tilde{G}(x, x, y)] \\ \lim_{k \rightarrow \infty} \tilde{G}(z_k, z_k, z_{k+1}) &= 0. \end{aligned} \quad (13)$$

مرحله II. حال نشان می‌دهیم که دنباله $\{z_n\}$ یک دنباله \tilde{G} کوشی در X است.

به برهان خلف فرض می‌کنیم که $\varepsilon > 0$ وجود دارد به طوری که متناظر با آن می‌توان زیردنباله‌های

$$\{z_{r_n(k)}\} \text{ و } \{z_{r_m(k)}\} \text{ از } \{z_{r_n}\} \text{ را یافت به طوری که}$$

$$n(k) > m(k) \geq k$$

$$\tilde{G}(z_{r_m(k)}, z_{r_n(k)}, z_{r_n(k)}) \geq \varepsilon, \quad (14)$$

که در آن $n(k)$ کوچکترین اندیسی است که متناظر با آن نامساوی بالا برقرار است، یعنی،

$$\tilde{G}(z_{r_m(k)}, z_{r_n(k)-1}, z_{r_n(k)-1}) < \varepsilon. \quad (15)$$

با استفاده از نامساوی مستطیلی و رابطه (15) داریم

$$\begin{aligned} &\tilde{G}(z_{r_m(k)}, z_{r_n(k)+1}, z_{r_n(k)+2}) \\ &\leq \Omega \left[\tilde{G}(z_{r_m(k)}, z_{r_n(k)-1}, z_{r_n(k)-1}) \right. \\ &\quad \left. + \tilde{G}(z_{r_n(k)-1}, z_{r_n(k)+1}, z_{r_n(k)+2}) \right] \\ &< \Omega \left[\varepsilon + \tilde{G}(z_{r_n(k)-1}, z_{r_n(k)}, z_{r_n(k)+1}) \right]. \end{aligned} \quad (16)$$

با حد گرفتن در (16) و با توجه به (11) و (14) نتیجه می‌گیریم که

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \tilde{G}(z_{r_m(k)}, z_{r_n(k)+1}, z_{r_n(k)+2}) \leq \Omega(\varepsilon). \quad (17)$$

مجدداً، با استفاده از نامساوی مستطیلی می‌بینیم که

$$\begin{aligned} &\tilde{G}(z_{r_m(k)}, z_{r_n(k)}, z_{r_n(k)}) \leq \Omega \left[\tilde{G}(z_{r_m(k)}, z_{r_m(k)+1}, z_{r_m(k)+1}) + \tilde{G}(z_{r_m(k)+1}, z_{r_n(k)}, z_{r_n(k)}) \right] \\ &\leq \Omega \left[\tilde{G}(z_{r_m(k)}, z_{r_m(k)+1}, z_{r_m(k)+1}) + \Omega \left[\tilde{G}(z_{r_m(k)+1}, z_{r_n(k)+2}, z_{r_n(k)+2}) + \tilde{G}(z_{r_n(k)+2}, z_{r_n(k)}, z_{r_n(k)}) \right] \right] \\ &\leq \Omega \left[\tilde{G}(z_{r_m(k)}, z_{r_m(k)+1}, z_{r_m(k)+1}) + \Omega \left[\Omega \left[\tilde{G}(z_{r_m(k)+1}, z_{r_n(k)+2}, z_{r_n(k)+2}) + \tilde{G}(z_{r_n(k)+2}, z_{r_n(k)+2}, z_{r_n(k)+2}) \right] \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \tilde{G}(z_{r_n(k)+2}, z_{r_n(k)}, z_{r_n(k)}) \right] \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\tilde{G}(z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+4}}, z_{r_{n+5}}) \\ &\leq \tilde{G}(z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+2}}, z_{r_{n+4}}) \\ &= M(x_{r_{n+2}}, x_{r_{n+2}}, x_{r_{n+4}}). \end{aligned} \quad (7)$$

بنابراین، $\{\tilde{G}(z_k, z_{k+1}, z_{k+2})\}$ دنباله‌ای نزولی از اعداد حقیقی نامنفی است. بنابراین، $r \geq 0$ وجود دارد به طوری که

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \tilde{G}(z_k, z_{k+1}, z_{k+2}) = r. \quad (8)$$

چون

$$\begin{aligned} &\tilde{G}(z_{k+1}, z_{k+2}, z_{k+2}) \\ &\leq M(x_k, x_{k+1}, x_{k+2}) \\ &\leq \tilde{G}(z_k, z_{k+1}, z_{k+2}). \end{aligned} \quad (9)$$

در (9) با حد گرفتن زمانی که $k \rightarrow \infty$ نتیجه می‌گیریم که

$$\lim_{k \rightarrow \infty} M(x_k, x_{k+1}, x_{k+2}) = r. \quad (10)$$

با حد گرفتن در نامساوی (5) زمانی که $n \rightarrow \infty$ و با استفاده از (8)، (10) و پیوستگی تابع ψ نتیجه می‌گیریم که $\psi(r) \leq \psi(r)^k$. لذا، $r = 0$. در نتیجه،

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \tilde{G}(z_k, z_{k+1}, z_{k+2}) = 0. \quad (11)$$

همچنین، با توجه به قسمت 3 از تعریف 5 نتیجه می‌شود که

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \tilde{G}(z_k, z_{k+1}, z_{k+1}) = 0, \quad (12)$$

با حد گرفتن نتیجه می‌شود که

$$\begin{aligned} & \psi\left(\Omega^r \left[\tilde{G}\left(z_{r_m(k)+1}, z_{r_n(k)+r}, z_{r_n(k)+r}\right) \right]\right) \\ &= \psi\left(\Omega^r \left[\tilde{G}\left(fx_{r_m(k)}, gx_{r_n(k)+1}, hx_{r_n(k)+r}\right) \right]\right) \quad (18) \\ &\leq \psi\left(M\left(x_{r_m(k)}, x_{r_n(k)+1}, x_{r_n(k)+r}\right)\right)^k, \end{aligned}$$

$\Omega^{-r}(\varepsilon) \leq \lim_{k \rightarrow \infty} \tilde{G}\left(z_{r_m(k)+1}, z_{r_n(k)+r}, z_{r_n(k)+r}\right)$.

چون $Tx_{r_m(k)} \prec Rx_{r_n(k)} \prec Sx_{r_n(k)+1}$ لذا با استفاده از رابطه (۱) می‌بینیم که

که در آن

$$\begin{aligned} & M\left(x_{r_m(k)}, x_{r_n(k)+1}, x_{r_n(k)+r}\right) \\ &= \max \left\{ \tilde{G}\left(Tx_{r_m(k)}, Rx_{r_n(k)+1}, Sx_{r_n(k)+r}\right), \frac{1}{\psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}\left(Tx_{r_m(k)}, fx_{r_m(k)}, fx_{r_m(k)}\right) \right] \right. \\ & \quad , \frac{1}{\psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}\left(Rx_{r_n(k)+1}, gx_{r_n(k)+1}, gx_{r_n(k)+1}\right) \right], \frac{1}{\psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}\left(Sx_{r_n(k)+r}, hx_{r_n(k)+r}, hx_{r_n(k)+r}\right) \right] \\ & \quad , \frac{\tilde{G}\left(Tx_{r_m(k)}, Tx_{r_m(k)}, fx_{r_m(k)}\right) + \tilde{G}\left(Rx_{r_n(k)+1}, Rx_{r_n(k)+1}, gx_{r_n(k)+1}\right)}{\psi} \\ & \quad \left. + \frac{1}{\psi} \left(\frac{1}{\psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}\left(Sx_{r_n(k)+r}, Sx_{r_n(k)+r}, hx_{r_n(k)+r}\right) \right] \right) \right\} \\ &= \max \left\{ \tilde{G}\left(z_{r_m(k)}, z_{r_n(k)+1}, z_{r_n(k)+r}\right), \frac{1}{\psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}\left(z_{r_m(k)}, z_{r_m(k)+1}, z_{r_m(k)+1}\right) \right] \right. \\ & \quad , \frac{1}{\psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}\left(z_{r_n(k)+1}, z_{r_n(k)+r}, z_{r_n(k)+r}\right) \right], \frac{1}{\psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}\left(z_{r_n(k)+r}, z_{r_n(k)+r}, z_{r_n(k)+r}\right) \right] \\ & \quad \left. , \frac{1}{\psi} \left(\tilde{G}\left(z_{r_m(k)}, z_{r_m(k)}, z_{r_m(k)+1}\right) + \tilde{G}\left(z_{r_n(k)+1}, z_{r_n(k)+1}, z_{r_n(k)+r}\right) + \frac{1}{\psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}\left(z_{r_n(k)+r}, z_{r_n(k)+r}, z_{r_n(k)+r}\right) \right] \right) \right\} \end{aligned}$$

$Tx_{r_n} \rightarrow z, fx_{r_n} \rightarrow z, n \rightarrow \infty.$ (۲۰) با حد گرفتن و استفاده از روابط (۱۲)، (۱۳)، (۱۷) و

(۱۸) می‌بینیم که

$\lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(Tfx_{r_n}, fTx_{r_n}, fTx_{r_n}) = 0.$ (۲۱) $\psi(\varepsilon) \leq \psi(\varepsilon)^k,$ (۱۹)

به‌علاوه، با توجه به $\lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(fx_{r_n}, fx_{r_n}, z) = 0$ که یک تناقض است. لذا، $\{z_n\}$ یک دنباله \tilde{G} کوشی است.

$\lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(Tx_{r_n}, z, z) = 0$ و پیوستگی T و f می‌بینیم که

مرحله III. نشان می‌دهیم که S, R, h, g, f و T یک نقطه انطباق دارند.

$\lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(Tfx_{r_n}, Tfx_{r_n}, Tz) = 0$ (۲۲) چون $\{z_n\}$ یک دنباله \tilde{G} کوشی در فضای \tilde{G} متری کامل X می‌باشد، لذا نقطه‌ای مانند $z \in X$ وجود دارد به طوری که

با استفاده از نامساوی مستطیلی،

$$\begin{aligned} & \tilde{G}(Tz, fz, fz) \leq \Omega \left[\tilde{G}(Tz, Tfx_{r_n}, Tfx_{r_n}) + \tilde{G}(Tfx_{r_n}, fz, fz) \right] \\ & \leq \Omega \left[\tilde{G}(Tz, Tfx_{r_n}, Tfx_{r_n}) + \Omega \left[\tilde{G}(Tfx_{r_n}, fTx_{r_n}, fTx_{r_n}) + \tilde{G}(fTx_{r_n}, fz, fz) \right] \right] \end{aligned} \quad (23)$$

با حد گرفتن در رابطه بالا می‌بینیم که
 $\tilde{G}(Tz, fz, fz) \leq 0$ ،
 که نتیجه می‌دهد که $fz = Tz$ ، یعنی z یک نقطه
 انطباق نگاشت‌های f و T می‌باشد.
 به‌طور مشابه، $g(z) = R(z)$ و
 $h(z) = S(z)$. حال فرض کنید Sz و Rz و Tz
 مقایسه‌پذیرند. با توجه به نامساوی (۱) نتیجه می‌شود
 $\psi(\tilde{G}(fz, gz, hz)) \leq \psi(M(z, z, z))^k$ ، (۲۴)
 که در آن

$$M(z, z, z) = \max \left\{ \tilde{G}(Tz, Rz, Sz), \frac{1}{\psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Tz, fz, fz) \right], \right. \\ \left. \frac{1}{\psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Rz, gz, gz) \right], \frac{1}{\psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Sz, hz, hz) \right], \right. \\ \left. \frac{1}{\psi} \left(\tilde{G}(Tz, Tz, fz) + \tilde{G}(Rz, Rz, gz) + \frac{1}{\psi} \Omega^{-1} \left[\tilde{G}(Sz, Sz, hz) \right] \right) \right\} \\ = \tilde{G}(Tz, Rz, Sz) = \tilde{G}(fz, gz, hz).$$

لذا، (۲۴) نتیجه می‌دهد که

$$\psi \left(\Omega^r \left[\tilde{G}(fx, gy, hz) \right] \right) \leq \psi(M(x, y, z))^k, \quad (25)$$

بنابراین، $fz = gz = hz = Tz = Rz = Sz$.

که در آن $\psi \in \Psi$ و $k \in [0, 1)$. آنگاه، زوج‌های
 (g, R) ، (f, T) و (h, S) یک نقطه انطباقی مانند
 z در X دارند، اگر (g, R) ، (f, T) و (h, S)
 سازگار ضعیف باشند و زوج‌های (g, h) ، (f, g) و
 (h, f) به‌ترتیب صعودی ضعیف جزئی نسبت به
 نگاشت‌های S ، R و T باشند، به‌علاوه، اگر Rz ،
 Sz و Tz مقایسه‌پذیر باشند، آنگاه $z \in X$ یک نقطه
 انطباقی برای نگاشت‌های S ، R ، h ، g ، f و T
 می‌باشد.

در قضیه زیر، فرض پیوستگی نگاشت‌های f ، g ،
 S ، R ، h و T را نادیده می‌گیریم و سازگاری
 زوج‌های (f, T) ، (g, R) و (h, S) را با سازگاری
 ضعیف آنها جایگزین می‌کنیم.

قضیه ۳. فرض کنید (X, \prec, \tilde{G}) یک فضای \tilde{G} متری
 با خاصیت s.l.c. باشد و $f, g, h, R, S, T : X \rightarrow X$
 شش نگاشت باشند به‌طوری که $f(X) \subseteq R(X)$
 $g(X) \subseteq S(X)$ ، $h(X) \subseteq T(X)$ و SX ، RX
 و TX زیرمجموعه‌هایی کامل از X باشند. فرض کنید
 برای عناصر مقایسه‌پذیر $Tx, Ry, Sz \in X$ داشته
 باشیم:

برهان: با مرور اثبات قضیه ۲ می‌بینیم که نقطه‌ای مانند
 $z \in X$ وجود دارد به‌طوری که:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \tilde{G}(z_k, z_k, z) = 0. \quad (26)$$

حال نشان می‌دهیم که w یک نقطه انطباق نگاشت‌های f و T می‌باشد. چون

$$Sx_{r_{n+2}} \rightarrow z = Tw = Ru,$$

لذا

$$Sx_{r_{n+2}} \prec Tw = Ru.$$

بنابراین با استفاده از نامساوی (۱) می‌بینیم که

$$\begin{aligned} \psi(\tilde{G}(fw, gu, hx_{r_{n+2}})) \\ \leq \psi(M(w, u, x_{r_{n+2}}))^k, \end{aligned} \quad (29)$$

که در آن

$$\begin{aligned} M(w, u, x_{r_{n+2}}) \\ = \max \left\{ \tilde{G}(Tw, Ru, Sx_{r_{n+2}}), \frac{1}{\gamma} \Omega[\tilde{G}(Tw, fw, fw)] \right. \\ \left. , \frac{1}{\gamma} \Omega[\tilde{G}(Ru, gu, gu)], \frac{1}{\gamma} \Omega[\tilde{G}(Sx_{r_{n+2}}, hx_{r_{n+2}}, hx_{r_{n+2}})] \right. \\ \left. , \frac{\tilde{G}(Tw, Tw, fw) + \tilde{G}(Ru, Ru, gu) + \tilde{G}(Sx_{r_{n+2}}, Sx_{r_{n+2}}, hx_{r_{n+2}})}{3} \right\}. \end{aligned}$$

با انتخاب $k = \frac{1}{n}$ ، $\psi(t) = e^t$ که در آن $n > 1$ و $T = R = S$ در قضیه ۲ نتیجه زیر را به دست می‌آوریم.

نتیجه ۱. فرض کنید (X, \prec, G_b) یک فضای $-G_b$ متری کامل جزئاً مرتب با ضریب s و $f, g, h, R : X \rightarrow X$ چهار نگاشت باشند به طوری که $f(X) \cup g(X) \cup h(X) \subseteq R(X)$ فرض کنید برای عناصر مقایسه‌پذیر $Rx, Ry, Rz \in X$

$$e^{e^{s(e^{G(fx, gy, hz)} - 1)}} \leq \sqrt[n]{e^{(M(x, y, z))}},$$

که در آن

چون $R(X)$ کامل است و $\{z_{r_{n+1}}\} \subseteq R(X)$ ، لذا، $z \in R(X)$ به طور مشابه، عنصر $u \in X$ وجود دارد به طوری که $z = Ru$ و

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(z_{r_{n+1}}, z_{r_{n+1}}, Ru) \\ = \lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(Rx_{r_{n+1}}, Rx_{r_{n+1}}, Ru) = 0. \end{aligned} \quad (27)$$

همچنین، نقاطی مانند $v, w \in X$ وجود دارند به طوری که $z = Sv = Tw$ و

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(Sx_{r_{n+2}}, Sx_{r_{n+2}}, Sv) \\ = \lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(Tx_{r_n}, Tx_{r_n}, Tw) = 0. \end{aligned} \quad (28)$$

با حد گرفتن در (۲۹) می‌بینیم که

$$\begin{aligned} \psi(\Omega[\tilde{G}(fw, gu, z)]) \\ \leq \psi(\Omega^r[\Omega^{-1}[\tilde{G}(fw, gu, z)]]) \\ \leq \psi(\Omega^r[\liminf_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(fw, gu, hx_{r_{n+2}})]) \\ \leq \psi(\Omega[\tilde{G}(fw, gu, z)])^k, \end{aligned}$$

که نتیجه می‌دهد که $gu = fw = z = Tw = Ru$

چون نگاشت‌های f و T سازگار ضعیف هستند، لذا، $fz = fTw = Tfw = Tz$ در نتیجه، یک نقطه انطباق نگاشت‌های f و T می‌باشد.

به طور مشابه، می‌توان نشان داد که Z یک نقطه انطباق زوج‌های (g, R) و (h, S) می‌باشد. ادامه اثبات همانند آنچه که در قضیه ۲ انجام شد، می‌باشد.

$$M(x, y, z) = \max \left\{ e^{G(Rx, Ry, Rz)} - 1, \frac{1}{r_s} G(Rx, fx, fx), \frac{1}{r_s} G(Ry, gy, gy), \frac{1}{r_s} G(Rz, hz, hz), \frac{1}{3} \left(e^{G(Rx, Rx, fx)} - 1 + e^{G(Ry, Ry, gy)} - 1 + \frac{1}{r_s} G(Rz, Rz, hz) \right) \right\}.$$

آنگاه، f, g, h و R یک نقطه انطباق در X دارند، اگر زوج‌های (g, h) ، (f, g) و (h, f) صعودی ضعیف جزئی نسبت به R باشند و با انتخاب $R = S = T$ ، $f = g = h$ ($n > 1$)، اگر زوج‌های (g, h) ، (f, g) و (h, f) صعودی ضعیف جزئی نسبت به R باشند و $\psi(t) = \cosh t$ ، $k = \frac{1}{n}$ در قضیه ۲، نتیجه نقطه انطباقی زیر را خواهیم داشت.

نتیجه ۲. فرض کنید (X, \prec, G) یک فضای $-G_b$ متریک کامل جزئاً مرتب باشد و $f, R : X \rightarrow X$ دو نگاشت باشند به طوری که $f(X) \subseteq R(X)$. فرض کنید برای عناصر مقایسه‌پذیر $Rx, Ry, Rz \in X$ داشته باشیم:

(a) f پیوسته و زوج (f, R) سازگار باشد، یا،
 (b) g پیوسته و زوج (g, R) سازگار باشد، و یا،
 (c) h پیوسته و زوج (h, R) سازگار باشد.

برهان. کافی است $\tilde{G}(x, y, z) = e^{G(x, y, z)} - 1$ انتخاب شود. \square

$$\cosh \left(\sinh \left(s \cdot \sinh \left(s \cdot \sinh \left(s \cdot \sinh \left[G(fx, fy, fz) \right] \right) \right) \right) \right) \leq \sqrt[n]{\cosh(M(x, y, z))},$$

که در آن

$$M(x, y, z) = \max \left\{ \sinh(G(Rx, Ry, Rz)), \frac{1}{r_s} G(Rx, fx, fx), \frac{1}{r_s} G(Ry, fy, fy), \frac{1}{r_s} G(Rz, fz, fz), \frac{1}{3} \left(\sinh(G(Rx, Rx, fx)) + \sinh(G(Ry, Ry, fy)) + \frac{1}{r_s} G(Rz, Rz, fz) \right) \right\}.$$

مثال ۳. فرض کنید $X = \left[0, \frac{23}{4}\right]$ و \tilde{G} روی X

به صورت

$$\tilde{G}(x, y, z) = \sinh[|x - y| + |y - z| + |x - z|]$$

تعریف شده باشد. رابطه مرتب جزئی " $<$ " روی X

را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$x < y \Leftrightarrow y \leq x, \quad \forall x, y \in X.$$

آنگاه، زوج (f, R) یک نقطه انطباق در X دارد اگر R پیوسته، زوج (f, R) سازگار و f صعودی ضعیف نسبت به R باشد.

برهان. کافی است

$$\tilde{G}(x, y, z) = \sinh(G(x, y, z))$$

انتخاب شود. \square

$$\sinh(\sinh(x/30)) \geq (x/30)$$

که برای هر $x \geq 0$ برقرار است، نتیجه می‌شود که

$$\begin{aligned} gx &= \sinh^{-1} \frac{x}{30} \\ &\geq \sinh^{-1} \left(\frac{1}{9} \sinh^{-1} \left(\sinh^{-1} \frac{x}{30} \right) \right) \\ &= \sinh^{-1} \left(\frac{y}{45} \right) = hy. \end{aligned}$$

بنابراین، $fx < gy$. لذا، زوج (f, g) صعودی ضعیف جزئی نسبت به نگاشت R است.

برای نشان دادن آنکه زوج (h, f) صعودی ضعیف جزئی نسبت به نگاشت T می‌باشد، فرض کنید $x, y \in X$ و $y \in T^{-1}hx$ ، یعنی $Ty = hx$. بر اساس ضابطه‌های نگاشت‌های h و T نتیجه می‌شود

$$\sinh^{-1} \frac{x}{45} = \sinh \frac{2y}{15} \quad \text{و} \quad \text{لذا،}$$

$$y = \frac{15}{2} \sinh^{-1} \left(\sinh^{-1} \frac{x}{45} \right)$$

$$\sinh(\sinh(2x/45)) \geq (x/45)$$

که برای هر $x \geq 0$ برقرار است، می‌بینیم که

$$\begin{aligned} hx &= \sinh^{-1} \frac{x}{45} \\ &\geq \sinh^{-1} \left(\frac{1}{2} \sinh^{-1} \left(\sinh^{-1} \frac{x}{45} \right) \right) \\ &= \sinh^{-1} \left(\frac{y}{15} \right) = fy. \end{aligned}$$

لذا، $fx < gy$. در نتیجه، (f, g) یک زوج صعودی ضعیف نسبت به نگاشت R می‌باشد.

به‌علاوه،

$$\begin{aligned} fX &= [0, 0.37451660918] \\ &\subseteq RX = [0, 4.93696180555] \\ gX &= [0, 0.19051213779] \\ &\subseteq [0, 1.42077807016] = SX \end{aligned}$$

خودنگاشت‌های T, S, h, g, f و R روی X را به صورت

$$\begin{aligned} fx &= \sinh^{-1} \frac{x}{15}, & Rx &= \sinh \frac{2x}{5}, \\ gx &= \sinh^{-1} \left(\frac{x}{30} \right), & Sx &= \sinh \frac{x}{5}, \\ hx &= \sinh^{-1} \left(\frac{x}{45} \right), & Tx &= \sinh \frac{2x}{15} \end{aligned}$$

تعریف می‌کنیم. برای نشان دادن آنکه زوج (f, g) صعودی ضعیف جزئی نسبت به R می‌باشد، فرض کنید $x, y \in X$ و $y \in R^{-1}fx$ ، یعنی $Ry = fx$. توجه به تعریف نگاشت‌های f و R ، نتیجه می‌شود که

$$\sinh^{-1} \frac{x}{15} = \sinh \frac{2y}{5} \quad \text{و} \quad \text{لذا،}$$

$$y = \frac{5}{2} \sinh^{-1} \left(\sinh^{-1} \frac{x}{15} \right)$$

$$\sinh(\sinh(2x/15)) \geq (x/15)$$

که برای هر $x \geq 0$ برقرار است، نتیجه می‌گیریم که

$$\begin{aligned} fx &= \sinh^{-1} \frac{x}{15} \\ &\geq \sinh^{-1} \left(\frac{1}{12} \sinh^{-1} \left(\sinh^{-1} \frac{x}{15} \right) \right) \\ &= \sinh^{-1} \left(\frac{y}{30} \right) = gy. \end{aligned}$$

لذا، $fx < gy$. در نتیجه، زوج (f, g) صعودی ضعیف جزئی نسبت به نگاشت R می‌باشد.

برای نشان دادن آنکه زوج (g, h) صعودی ضعیف جزئی نسبت به نگاشت S می‌باشد، فرض کنید $x, y \in X$ و $y \in S^{-1}gx$ ، یعنی $Sy = gx$. تعریف نگاشت‌های g و S می‌بینیم که

$$\sinh^{-1} \frac{x}{30} = \sinh \frac{y}{5} \quad \text{و} \quad \text{لذا،}$$

$$y = 5 \sinh^{-1} \left(\sinh^{-1} \frac{x}{30} \right)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left| \sinh^{-1} \frac{X_n}{15} - t \right| = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \sinh \frac{\sqrt{X_n}}{15} - t \right| = 0.$$

پیوستگی توابع \sinh^{-1} و \sinh نتیجه می‌دهد که

$$\sinh^{-1} \left[\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{X_n}{15} \right] = \sinh^{-1} \left[\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{X_n}}{15} \right] = t = 0,$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(fTx_n, fTx_n, Tfx_n) = 0 \text{ و لذا،}$$

فرض کنید $\psi: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ به صورت

$$\psi(t) = \frac{\sqrt{2} \cosh t}{1 + \cosh t}$$

قضیه مقدار میانگین به طور هم‌زمان برای توابع \sinh^{-1}

و \sinh می‌بینیم که

$$hX = [0, 0.12743259986]$$

$$\subseteq TX = [0, 0.84400999897]$$

و زوج‌های (h, S) و (f, T) سازگارند.

در واقع، اگر $\{X_n\}$ دنباله‌ای در X باشد به طوری که

برای نقطه‌ای مانند $t \in X$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(t, fx_n, fx_n)$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{G}(t, Tx_n, Tx_n) = 0,$$

آنگاه،

$$\begin{aligned} & \psi \left(\Omega^r \left(\tilde{G}(fx, gy, hz) \right) \right) \\ &= \frac{\sqrt{2} \cosh \left(\Omega^r \left(\sinh(|fx - gy| + |fx - hz| + |gy - hz|) \right) \right)}{1 + \cosh \left(\Omega^r \left(\sinh(|fx - gy| + |fx - hz| + |gy - hz|) \right) \right)} \\ &\leq \frac{\sqrt{2} \cosh \left(\Omega^r \left(\sinh \left(\frac{1}{3} |rx - y| + \frac{1}{45} |rx - z| + \frac{1}{9} |ry - rz| \right) \right) \right)}{1 + \cosh \left(\Omega^r \left(\sinh \left(\frac{1}{3} |rx - y| + \frac{1}{45} |rx - z| + \frac{1}{9} |ry - rz| \right) \right) \right)} \\ &= \frac{\sqrt{2} \cosh \left(\Omega^r \left(\sinh \left(\frac{(|ex - ry| + |ex - rz| + |ry - rz|)}{9} \right) \right) \right)}{1 + \cosh \left(\Omega^r \left(\sinh \left(\frac{(|ex - ry| + |ex - rz| + |ry - rz|)}{9} \right) \right) \right)} \\ &\leq \sqrt{\frac{\sqrt{2} \cosh \left[\sinh(|Tx - Ry| + |Ry - Sz| + |Sz - Tx|) \right]}{1 + \sqrt{2} \cosh \left[\sinh(|Tx - Ry| + |Ry - Sz| + |Sz - Tx|) \right]}} \\ &= \sqrt{\frac{\sqrt{2} \cosh \left[\tilde{G}(Tx, Ry, Sz) \right]}{1 + \cosh \left[\tilde{G}(Tx, Ry, Sz) \right]}} \leq \sqrt{\frac{\sqrt{2} \cosh \left[M(x, y, z) \right]}{1 + \cosh \left[M(x, y, z) \right]}}. \end{aligned}$$

• تنها نقطه انطباق نگاشت‌های S, R, h, g, f و

T می‌باشد.

لذا، شرط انقباضی (۱) برای هر $x, y, z \in X$ برقرار

است. بنابراین، تمام شرایط قضیه ۲ برقرارند. در نتیجه،

همچنین، فرض کنید X مجهز به G متری اصلاح شده تعریف شده با ضابطه

$$\tilde{G}(u, v, w) = \xi \left(\max \{d(u, v), d(v, w), d(w, u)\} \right),$$

باشد که در آن $u, v, w \in X$ و $\xi: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ یک تابع پیوسته اکیداً صعودی با شرط $\xi(t) \leq \xi(s)$ ($t \geq s$) و $\xi(0) = 0$ باشد. به وضوح یک فضای کامل \tilde{G} متری ساخته ایم. همچنین، مجموعه X را با ترتیب جزئی تعریف شده با $x < y \Leftrightarrow x(t) \leq y(t)$ که در آن $t \in [a, b]$ در نظر می‌گیریم. واضح است که $(X, <)$ دارای خاصیت s.l.c. می‌باشد [۲۱].

حال، نتیجه زیر را بیان و ثابت می‌کنیم.

نتیجه ۳. فرض کنید شرایط زیر برقرارند:

$$(i) \quad K_1, K_r, K_r: [a, b] \times [a, b] \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$k: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$$

(ii) برای هر $t, s \in [a, b]$ و $x \in X$

$$K_1(t, s, x(s)) \leq K_r \left(t, s, \int_a^b K_1(t, s, x(s)) ds + k(t) \right),$$

$$K_r(t, s, x(s)) \leq K_r \left(t, s, \int_a^b K_r(t, s, x(s)) ds + k(t) \right)$$

و

$$K_r(t, s, x(s)) \leq K_1 \left(t, s, \int_a^b K_r(t, s, x(s)) ds + k(t) \right).$$

(iii) برای هر $s, t \in [a, b]$ و $x, y \in X$ با شرط

$$x < y$$

۳ وجود جواب مشترک برای دستگاهی از معادلات انتگرال

با الهام از کار انجام شده در [۱۶، ۱۹]، دستگاه معادلات انتگرال زیر را در نظر می‌گیریم:

$$x(t) = \int_a^b K_1(t, s, x(s)) ds + k(t),$$

$$x(t) = \int_a^b K_r(t, s, x(s)) ds + k(t), \quad (30)$$

$$x(t) = \int_a^b K_r(t, s, x(s)) ds + k(t).$$

در دستگاه فوق $a \geq 0$ و $b > a$. هدف این بخش اثبات وجود جوابی برای دستگاه (۳۰) در مجموعه $X = C[a, b]$ ، مجموعه توابع حقیقی مقدار پیوسته تعریف شده روی بازه $[a, b]$ به عنوان کاربردی از نتیجه ۱ می‌باشد.

مسئله مورد نظر را می‌توان به صورت زیر تغییر داد: فرض کنید $f, g, h: X \rightarrow X$ به صورت زیر تعریف شده باشند:

$$fx(t) = \int_a^b K_1(t, s, x(s)) ds + k(t)$$

$$gx(t) = \int_a^b K_r(t, s, x(s)) ds + k(t)$$

$$hx(t) = \int_a^b K_r(t, s, x(s)) ds + k(t),$$

$x \in X$ و $t \in [a, b]$. به وضوح، وجود جواب برای دستگاه (۳۰) با وجود یک نقطه ثابت مشترک برای نگاشت‌های f, g, h هم‌ارز است.

فرض کنید

$$d(u, v) = \max_{t \in [a, b]} |u(t) - v(t)| = \|u - v\|_\infty.$$

$$\begin{aligned} & \xi^r \left(\int_a^b |K_r(t, r, x(r)) - K_r(t, r, y(r))| dr \right) \\ & \leq \frac{\xi^r (\|fx - gy\|_\infty) \theta(M(x, y, z))^{\frac{1}{r}}}{\theta(\xi^r (\|fx - gy\|_\infty))}, \\ & \xi^r \left(\int_a^b |K_r(t, r, x(r)) - K_r(t, r, y(r))| dr \right) \\ & \leq \frac{\xi^r (\|hz - fx\|_\infty) \theta(M(x, y, z))^{\frac{1}{r}}}{\theta(\xi^r (\|hz - fx\|_\infty))}, \\ & \xi^r \left(\int_a^b |K_r(t, r, x(r)) - K_r(t, r, y(r))| dr \right) \\ & \leq \frac{\xi^r (\|gy - hz\|_\infty) \theta(M(x, y, z))^{\frac{1}{r}}}{\theta(\xi^r (\|gy - hz\|_\infty))} \end{aligned}$$

و

که در آن $t \in [a, b]$ و

$$\begin{aligned} M(x, y, z) = \max & \left\{ \xi(G(Rx, Ry, Rz)), \frac{1}{\gamma} G(Rx, fx, fx) \right. \\ & , \frac{1}{\gamma} G(Ry, gy, gy), \frac{1}{\gamma} G(Rz, hz, hz) \\ & \left. , \frac{1}{\gamma} \left(\xi(G(Rx, Rx, fx)) + \xi(G(Ry, Ry, gy)) + \frac{1}{\gamma} G(Rz, Rz, hz) \right) \right\} \end{aligned}$$

به‌طور مشابه، می‌توان نشان داد که

$$\begin{aligned} & \xi^f(d(gy, hz)) \\ & = \left(\sup_{t \in [a, b]} |gy(t) - hz(t)| \right)^r \quad (32) \\ & \leq \frac{\xi^f (\|gy - hz\|_\infty) \theta(M(x, y, z))^{\frac{1}{r}}}{\theta(\xi^f (\|gy - hz\|_\infty))}, \end{aligned}$$

و

$$\begin{aligned} & \xi^f(d(hz, fx)) \\ & = \left(\sup_{t \in [a, b]} |hz(t) - fx(t)| \right)^r \quad (33) \\ & \leq \frac{\xi^f (\|hx - fy\|_\infty) \theta(M(x, y))^{\frac{1}{r}}}{\theta(\xi^f (\|hz - fx\|_\infty))}. \end{aligned}$$

لذا،

$$\theta(\xi^f (\|fx - gy\|_\infty)) \leq \theta(M(x, y))^{\frac{1}{r}}. \quad (34)$$

به طریقی مشابه، نتیجه می‌شود که

$$\theta(\xi^f (\|gy - hz\|_\infty)) \leq \theta(M(x, y))^{\frac{1}{r}}, \quad (35)$$

که در آن $\theta \in \Psi$. در این صورت، معادلات انتگرال

دستگاه (۳۰) جوابی مانند $x \in X$ دارد.

برهان. با توجه به شرط (ii)، زوج‌های مرتب (f, g)

، (g, h) و (h, f) صعودی ضعیف جزئی هستند.

حال، فرض کنید $x, y \in X$ چنان باشند که $x \prec y$.

با توجه به شرط (iii)، برای هر $t \in [a, b]$

$$\begin{aligned} & \xi^f(|fx(t) - gy(t)|) \\ & \leq \xi^f \left(\int_a^b |K_r(t, s, x(s)) - K_r(t, s, y(s))| ds \right) \\ & \leq \frac{\xi^f (\|fx - gy\|_\infty) \theta(M(x, y, z))^{\frac{1}{r}}}{\theta(\xi^f (\|fx - gy\|_\infty))}. \end{aligned}$$

بنابراین،

$$\begin{aligned} & \xi^f(d(fx, gy)) \\ & = \xi^f \left(\sup_{t \in [a, b]} |fx(t) - gy(t)| \right) \quad (31) \\ & \leq \frac{\xi^f (\|fx - gy\|_\infty) \theta(M(x, y, z))^{\frac{1}{r}}}{\theta(\xi^f (\|fx - gy\|_\infty))}. \end{aligned}$$

در نتیجه، با توجه به روابط (۳۴)، (۳۵) و (۳۶)

می‌بینیم که

$$\theta(\xi^r(\|hz - fx\|_\infty)) \leq \theta(M(x, y))^{\frac{1}{r}}. \quad (36)$$

$$\begin{aligned} \theta(\xi^r(\tilde{G}(fx, gy, hz))) &= \theta(\xi^r(\xi(\max\{d(fx, gy), d(gy, hz), d(hz, fx)\}))) \\ &\leq \max\{\theta(\xi^r(d(fx, gy))), \theta(\xi^r(d(gy, hz))), \theta(\xi^r(d(hz, fx)))\} \\ &\leq \theta(M(x, y))^{\frac{1}{r}}. \end{aligned}$$

ثابت مشترک برای نگاشت‌های f ، g و h یعنی،
جوابی برای دستگاہ (۳۰) می‌باشد.

با انتخاب $R = I_X$ در نتیجه ۱، نتیجه می‌شود که
عضوی مانند $x \in X$ وجود دارد به طوری که یک نقطه

References

[1] S. Sessa, On a weak commutativity condition of mappings in fixed point considerations, Publ. Inst. Math., 32 (1982) 149-153.

[2] G. Jungck, Compatible mappings and common fixed points, Int. J. Math. Math. Sci., 9 (1986) 771-779.

[3] G. Jungck, Common fixed points for noncontinuous nonself maps on nonmetric spaces, Far Persian J. Math. Sci., 4 (1996) 199-215.

[4] S. Czerwik, Contraction mappings in b-metric spaces, Acta Mathematica et Informatica Universitatis Ostraviensis, 1 (1993) 5-11.

[5] S. Czerwik, Nonlinear set-valued contraction mappings in b-metric spaces, Atti Del Seminario Matematico E Fisico Universita Di Modena, 46 (1998) 263-276.

[6] Z. Mustafa, F. Awawdeh, W. Shatanawi, Fixed point theorem for expansive mappings in G-metric spaces, Int. J. Contemporary Math. Sci., 5 (2010) 2463-2472.

[7] Z. Mustafa, H. Aydi, E. Karapınar, On common fixed points in G-metric spaces using (EA) property, Comput. Math. Appl., 64 (2012) 1944-1956.

[8] Z. Mustafa, M. Khandagji, W. Shatanawi, Fixed point results on complete G-metric spaces, Studia Scientiarum Mathematicarum Hungarica, 48 (2011) 304-319.

[9] Z. Mustafa, H. Obiedat, F. Awawdeh, Some fixed point theorem for mapping on complete G-metric spaces, Fixed point theory Appl., 2008 (2008) 189870.

[10] Z. Mustafa, V. Parvaneh, M. Abbas, J.R. Roshan, Some coincidence point results for generalized (ψ, ϕ) -weakly contractive mappings in ordered G-metric spaces, Fixed Point Theory Appl., 2013 (2013) 326.

[11] Z. Mustafa, J.R. Roshan, V. Parvaneh, Coupled coincidence point results for (ψ, ϕ) -weakly contractive mappings in partially ordered G b-metric spaces, Fixed Point Theory Appl., 2013 (2013) 206.

[12] Z. Mustafa, W. Shatanawi, M. Bataineh, Existence of Fixed Point Results in G-metric spaces, Int. J. Math. Math. Sci., 2009 (2009).

[13] Z. Mustafa, B. Sims, Some remarks concerning D-metric spaces, in: Proceedings of the International Conference on Fixed Point Theory and Applications, Valencia, Spain, 2004, pp. 189-198.

[14] Z. Mustafa, B. Sims, Fixed point theorems for contractive mappings in complete-metric

spaces, Fixed point theory Appl., 2009 (2009) 917175.

[15] A. Aghajani, M. Abbas, J.R. Roshan, Common fixed point of generalized weak contractive mappings in partially ordered Gb-metric spaces, Filomat, 28 (2014) 1087-1101.

[16] M. Abbas, S.H. Khan, T. Nazir, Common fixed points of R-weakly commuting maps in generalized metric spaces, Fixed Point Theory Appl., 41 (2011).

[17] I. Altun, H. Simsek, Some fixed point theorems on ordered metric spaces and application, Fixed Point Theory Appl., 2010 (2010) 621469.

[18] H.K. Nashine, B. Samet, Fixed point results for mappings satisfying (ψ, ϕ) -weakly contractive

condition in partially ordered metric spaces, Nonlinear Anal.: Theory, Methods & Appl., 74 (2011) 2201-2209.

[19] J. Esmaily, S.M. Vaezpour, B.E. Rhoades, Coincidence point theorem for generalized weakly contractions in ordered metric spaces, Appl. Math. Comput., 219 (2012) 1536-1548.

[20] M. Jleli, E. Karapınar, B. Samet, Further generalizations of the Banach contraction principle, J. Inequal. Appl., 2014 (2014) 439.

[21] J.J. Nieto, R. Rodríguez-López, Existence and uniqueness of fixed point in partially ordered sets and applications to ordinary differential equations, Acta Math. Sinica, English Series, 23 (2007) 2205-2212.