[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

ارزیابی حریم گسلش در مناطق شهری (مطالعهٔ موردی گسل جنوب مشهد)

ناصر حافظی مقدس*[۱]، ابوالفضل سلطانی[۲]

۱. دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکدهٔ علوم، گروه زمین‌شناسی

۲. دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، دانشکدهٔ مهندسی عمران

تاریخ: دریافت ۹۶/۰۱/۱۴ پذیرش ۹۷/۰۴/۱۷

چکیده

طراحی سازه‌های ایمن نسبت به اثرات مخرب گسلش سطحی نظیر برش و نشست نامتقارن بسیار هزینه بر و بعضا از نظر اجرا غیرممکن است، از این‌رو، مناسب‌ترین راهکار مقابله با گسلش سطحی تعیین حریم خطر و پرهیز از آن و یا احداث سازه‌های با ریسک پایین در حریم گسل است. در تحقیق حاضر ابتدا اختصاصات گسل جنوب مشهد براساس داده‌های ژئوفیزیکی و مورفوتکتونیکی بررسی شد و سپس براساس معیاری‌های موجود، گسل مزبور رده‌بندی شد و حریم آن پیشنهاد شده است. این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که گسل جنوب مشهد از نوع امتداد لغز راست‌گرد با مؤلفه نرمال است که به‌وضوح نهشته‌های کواترنری را جابهجا کرده است. میانگین نرخ لغزش گسل براساس جابه‌جایی ظاهری در آبراهه‌ها ۰/۵۹ mm/yr و دورهٔ بازگشت آن ۲۹۳۰ سال تخمین زده شده است. مسیر گسل در غرب و جنوب شهر مشهد براساس بررسی‌های ژئوالکتریک، مغناطیس‌سنجی و آریه میکروترمورها تعیین شده است. با استناد به میزان دقت این بررسی‌ها و معیارهای موجود، حریم گسلش در داخل محدودهٔ شهری ۸۰ متر در سمت جنوب (فرا دیواره) و ۷۰ متر در سمت شمال (فرودیواره) پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: حریم گسل، گسل جنوب مشهد، گسل فعال.

*نویسنده مسئول nhafezi@um.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]

[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

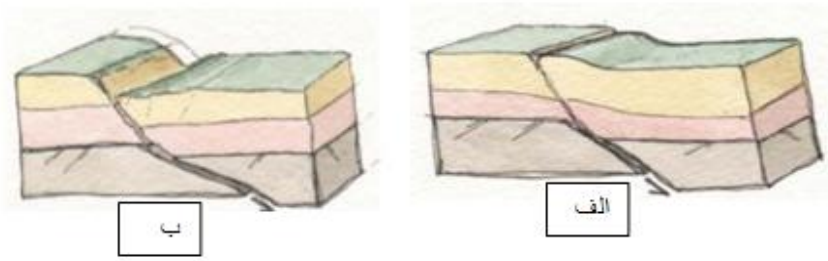
مقدمه

شهرهای بسیاری در دنیا و هم‌چنین در ایران روی گسل‌های فعال ساخته شده‌اند و مواردی زیادی از خرابی سازه‌ها در اثر گسلش سطحی در زمین لرزه‌های گذشته گزارش شده است [۱]-[٦].گسترش زون برشی به پی، جابه‌جایی و نشست ناهم‌سان پی، کرنش‌های افقی کششی و فشاری به پی و ترک‌های کششی مهم‌ترین اثرات گسلش سحطی بر سازه‌ها است [۷]-[۱۰]. در شکل ۱ انواع گسیختگی مرتبط با گسلش سطحی که منجر به آسیب رساندن به پی سازه‌ها می‌شود. به‌صورت ترک کششی (شکل ۱ الف) و کرنش کششی (شکل ۱ ب) نشان داده شده است.

شکل ۱. حالت‌های گسیختگی مرتبط با گسلش سطحی

باتوجه به نحوهٔ انتشار امواج عرضی زلزله [۱۱]-[۱۵]. گسترش زون برشی بیش‌ترین تأثیر را در خرابی سازه‌ها دارد که البته پیش‌بینی آن هم دشوارتر است [۱٤]-[۱۸]. عامل‌های مؤثر در گسلش سطحی میدان آزاد شامل نوع مکانیسم گسلش (مانند نیروهای برشی)، شیب صفحه گسل، ضخامت و خصوصیات مصالح خاکی روی سنگ کف است [۱۰]-[۱۳]. در خاک‌های سخت گسلش سطحی نمود مشخص‌تری دارد و حداکثر جابه‌جایی در سطح گسل اتفاق می‌افتد (شکل ۲ الف) اما در خاک‌های نرم و شکل‌پذیر جابه‌جایی (گسلش) در سنگ بستر صورت می‌گیرد اما در سنگ‌های فوقانی فرادیواره بیش‌تر منجر به تغییر شکل در توده سنگ می‌شود (شکل ۲ ب). این پدیده با ایجاد اختلاف ارتفاع در سطح زمین همراه است و سطح گسلش (آیینه گسلی) به‌راحتی قابل روئیت نیست.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]



شکل ۲. الف) واکنش خاک سخت، ب) خاک نرم، نسبت به گسلش نرمال [۱۵]

گسیختگی گسلی به‌طورکلی برای زمین لرزه‌های با بزرگی بیش از ٦/٥ مطرح است. اما این حد بزرگی بسته به نوع مکانیسم گسلی و خصوصیات لرزه‌خیزی منطقه دارد. مثلاً برای گسل‌های معکوس از بزرگی ٦/٨ به بالا و برای گسل‌های نرمال و امتداد لغز در بزرگی کم‌تر از ٦/٥ گسیختگی گسلی، اهمیت دارد. هم‌چنین در شرایطی که ضخامت پوسته کم و یا عمق لایه سایزموژنیک کم است برای بزرگی‌های کم‌تر از ٦/٥ نیز میزان گسیختگی مهم است [۱۵]. گسلش جدید معمولاً از گسل‌های موجود تبعیت می‌کند [۱۹]–[۲۳]. گسلش سطحی از نظر تظاهر سطحی به سه رده کاملاً واضح[1]، توزیع شده[2] و نامشخص[3] تقسیم می‌شود (جدول ۱ و شکل ۳).

گسل جنوب مشهد یکی از گسل‌های فعال در حاشه دشت مشهد است که از داخل محدودهٔ شهری عبور می‌کند و با توجه به نوع کاربری کنونی زمین در حاشیهٔ گسل فعالیت احتمالی آن می‌تواند خسارات چشم‌گیری را در برداشته باشد. در پژوهش حاضر مسیر و شواهد فعالیت گسل جنوب مشهد بررسی شده و بر مبنای آن حریم گسل پیشنهاد شده است.

جدول ۱. رده‌بندی گسل‌های فعال براساس درجهٔ پیچیدگی گسلش سطحی [۲۵–۲٤]

رده‌بندی انواع گسلش	توصیف درجهٔ پیچیدگی گسلش سطحی
A (کاملاً مشخص)	عرض گسلش محدود و در حد چند متر یا چند ده متر است.
B (توزیع شده)	عرض گسلش بیش از چند ده یا چند صد متر است و همراه با سطوح گسلی متعدد است.
C (نامشخص)	سطح گسل بدلیل پوشیده شدن توسط نهشته‌های سطحی یا آب و یا نبود رخنمون سطحی قابل تشخیص نیست.

1. Well Defined
2. Distributed
3. Uncertain

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

شکل ۳. رده‌بندی گسل‌ها براساس تظاهر سطحی [۲٤]

اهمیت ارزیابی حریم گسلش در ایران

بسیاری از شهرهای ایران در حاشیهٔ گسل‌های فعال و یا روی آنها بنا شده‌اند مانند کلان شهرهای تبریز، تهران، مشهد، کرج، و شهرستان‌های مهم و پر جمعیتی نظیر نیشابور، بیرجند، طبس، بجنورد، بم، جیرفت و نیز به برخی از شهرهای شمالی واقع در حاشیه گسل خزر می‌توان اشاره کرد [٦-١]. دلایل زیادی برای انتخاب این نوع محل سکونت وجود دارد که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

۱. در بسیاری از نقاط ایران مرز بین کوه و دشت بسیار واضح و تفکیک شده است که علت آن شرایط تنش فشاری حاکم گسلی است، از این‌رو،ا به‌دلایل زیادی مانند انتخاب مناطق امن و استفاده از مزایای آب و هوای کوهپایه‌ای یا منابع آب با کیفیت بالا، شهرهای زیادی در حاشیه کوهستان‌ها توسعه یافته‌اند که در معرض خطر گسلش قرار دارند،

۲. وجود چشمه‌های گسلی فراوان و رودخانه‌هایی با منشأ گسلی از دلایل دیگر در توسعه اسکان در محدوده‌ها و حاشیه‌های گسل‌ها بوده است،

۳. گسل‌ها از عوامل ایجاد پوشش خاک و توسعه زمین‌های کشاورزی هستند، از این‌رو، برخی از مناطق مسکونی به‌دلیل در حاشیهٔ گسل‌ها توسعه یافته‌اند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

به‌دلایل مذکور، تمرکز اسکان در حریم گسلش باعث خسارات زیادی شده است به‌طوری‌که زمین لرزه‌های بم (۱۳۸۲، M_w = ٦/٦)، قاین (۱۳۷٦، M_w = ۷/۱)، بجنورد (۱۳۷۵، M_s = ٦/۸) و کرمانشاه (۱۳۹٦، M_w = ۷/٤) جدیدترین مثال‌هایی از زمین لرزه‌های مخرب ایران است که همراه با گسلش سطحی بوده‌اند. یکی از دلایل خرابی گسترده در زلزله بم قرار داشتن هر دو مرکز مهم جمعیتی شهرستان‌های بم و بروات در زون گسلی بوده است [۱].

M_s = Surface wave magnitude, M_w = Moment wave magnitude.

رده‌بندی گسل‌های فعال

به نقشه درآوردن گسل‌های فعال نیازمند داشتن معیارهای کمی و قابل اندازه‌گیری است. ساده‌ترین رده‌بندی گسل‌های فعال براساس معیارهای زمین‌شناسی است (جدول ۲). برای اهداف ساخت و سازهای مهندسی، رده‌بندی‌های دیگری براساس مقادیر کمی از خصوصیات گسل ارائه شده است [۲۰]. که براساس مطالعات تعداد ۳۵۰ گسل فعال دنیا که دارای سابقه لرزه خیزی مکتوب بوده‌اند، رده‌بندی شده‌اند (جدول ۳). در این رده‌بندی از ٦ عامل شامل پارامترهای نرخ کرنش، میزان جابه‌جایی، طول گسیختگی گسلی، ممان لرزه‌ای، بزرگی بیشینه و دورهٔ بازگشت گسل‌های فعال استفاده شده است. هم‌چنین، براساس بررسی‌های کر و همکاران [۲۳]، رده‌بندی گسل‌های فعال براساس دورهٔ بازگشت فعالیت آنها در جدول ٤ ارائه شده است [۲٦, ۲۷, ۲۸]. در این رده بندی گسل‌های با دوره بازگشت بیش از ۱۲۵۰۰۰yr غیرفعال شناخته شده‌اند [۲۹]، [۳۰].

جدول ۲. توصیف گسل‌های فعال براساس معیار ایالت کالیفرنیا [۱۵]، [۱۹]، [۲۰]

توصیف گسل	حدود سال قبل از زمان کنونی	سن زمین‌شناسی		
		اشکوب	دوره	دوران
فعال	۲۰۰	عهد حاضر	کواترنری	سنوزوئیک
	۱۱۰۰۰	هولوسن		
بالقوه فعال	۱٦۰۰۰۰۰	پلیستوسن		
غیر فعال	۵۰۰۰۰۰۰	پلیوسن	ترشیری	
	٦٦۰۰۰۰۰۰	قبل از پلیوسن		

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

جدول ۳. رده‌بندی گسل‌ها براساس درجهٔ فعالیت [۲۰]

رده‌بندی	نرخ فعالیت(کرنش) (mm/yr)	جابه‌جایی در یک حادثه لرزه ای (m)	طول گسیختگی (km)	ممان لرزه ای (Dyne-cm)	بزرگی حداکثر (Mw)	دوره بازگشت بزرگی حداکثر (Year)
۱	>۱	>۱	>۱۰۰	$>۱۰^{۲۶}$	<۷/۵	<۵۰۰
A۱	>۵	>۱	>۱۰۰	$>۱۰^{۲۶}$	<۷/۵	<۱۰۰۰
B۱	>۵	<۱	>۱۰۰	$>۱۰^{۲۶}$	<۷/۵	<۱۰۰
۲	۱–۱۰	>۱	۵۰–۲۰۰	$>۱۰^{۲۵}$	>۷/۵	۱۰۰–۱۰۰۰
A۲	۱–۱۰	<۱	۵۰–۲۰۰	$>۱۰^{۲۵}$	<۷/۵	<۱۰۰
B۲	>۵	-	>۱۰۰	-	-	>۱۰۰۰
۳	۰/۵–۵	۰/۱–۳	۱۰–۱۰۰	$>۱۰^{۲۵}$	>۶/۵	۵۰۰–۵۰۰۰
٤	۰/۱–۱	۰/۱–۱	۱–۵۰	$>۱۰^{۲٤}$	>۵/۵	۱۰۰۰–۱۰۰۰۰
A٤	>۰/۵	۰/۱–۱	>۱۰	$>۱۰^{۲۵}$	>۶/۵	۱۰۰۰–۱۰۰۰۰
۵	<۱	۰/۱–۱	>۱۰	$>۱۰^{۲۵}$	>۶/۵	>۱۰۰۰۰
٦	<۰/۱	۰/۱–۱	>۱۰	$>۱۰^{۲۵}$	>۶/۵	>۱۰۰۰۰۰

جدول ٤. رده‌بندی گسل‌ها براساس دورهٔ بازگشت [۲۹]

دورهٔ بازگشت (سال)	رده‌بندی گسل‌ها از نظر دوره بازگشت
≥ ۲۰۰۰	I
۲۰۰۰–۳۵۰۰	II
۳۵۰۰–۵۰۰۰	III
۵۰۰۰–۱۰۰۰۰	IV
۱۰۰۰۰–۲۰۰۰۰	V
۲۰۰۰۰–۱۲۵۰۰۰	VI

ارزیابی حریم گسلش

راهکار اولیه برای کاهش خطرات گسلش سطحی تعیین حریم گسل و پرهیز از ساخت و ساز در این محدوده‌ها است [۱٦]. این کار زمانی میسر است که شناخت کامل از هندسه و مکانیسم گسلش وجود داشته باشد. توجه به حریم گسل اولین بار بعد از زلزله ۱۹۷۱ سانفرانسیکو اتفاق افتاد. این زلزله همراه با ۱٦ کیلومتر گسلش سطحی از نوع چپ‌گرد معکوس بود و مقدار جابه‌جایی افقی آن ۲/۵ متر ثبت شده است. در این زلزله ۸۰٪ خانه‌های واقع در زون گسلش تخریب شدید یا متوسط داشتند، اما در فواصل بعد از زون گسلش میزان خرابی حدود ۳۰٪ گزارش شده است. اولین آیین‌نامه تعیین حریم گسلش در ایالت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

کالیفرنیا بعد از زلزله مزبور تدوین شد و از آن زمان تا کنون ۱۳ بار مورد بازبینی و بروز رسانی شده است [۱۷] ، [۱۸]. ارزیابی حریم گسل تابعی از دقت پیاده کردن پهنه گسلی در نقشه، مکانیسم گسلش و هندسه گسل است. هر چه عدم اطمینان بیش‌تر باشد عرض پهنه گسلی بیش‌تر است. هم‌چنین برای گسل‌های شیب لغز عرض حریم در فرادیواره بیش‌تر در نظر گرفته می‌شود. در بخش‌هایی که گسل خمش دارد، عرض پهنه گسلی در داخل خم بیش‌تر است. برای تعریف حریم گسل دو پهنه زیر تعریف می‌شود:

الف) زون عدم قطعیت: هرچه مطالعات شناسایی گسل کامل‌تر باشد، این زون عرض کم‌تری دارد و بالعکس وقتی اطلاعات کم‌تری داشته باشیم این زون عریض‌تر است. برای گسل‌های خوب شناخته شده حداقل عرض پهنه گسلی ۱۰ متر فرض می‌شود.

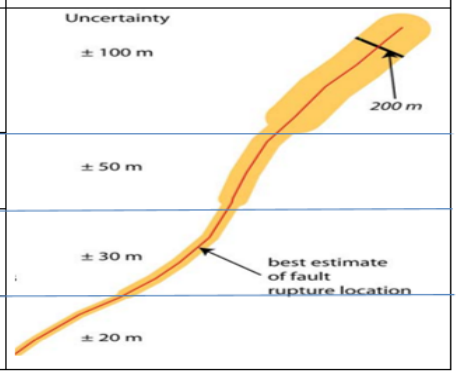
ب) حریم گسل: حریم گسل حداقل ۲۰ متر از حاشیه زون عدم قطعیت توصیه شده است. برای گسل‌های معکوس این حریم بیش‌تر و برای گسل‌های امتداد لغز و نرمال کم‌تر در نظر گرفته می‌شود. در جدول‌های ۵ و ٦ مثالی از حریم گسل برای یک گسل امتداد لغز ارائه شده است.

جدول ۵. حریم گسلش برای یک گسل امتداد لغز [۳۳]

اشکال گسلی قابل تشخیص	پیچیدگی گسل	حریم پیشنهادی با در نظر گرفتن همه عدم یقین‌ها (متر)
افراز گسلی مشخص	گسل مشخص	۲۰-۳۰
افراز گسلی پهن	گسل پخش شده	۳۰-٤۰
جبهه جلویی افراز	گسل پخش شده	٤۰-۵۰
خط اثر احتمالی گسل	گسل پخش شده	٦۰-۷۰
خط اثر تخمینی گسل	نامشخص-پوشیده	۷۰-۸۰

جدول ٦. نمایش حریم گسل و دقت تخمین محدودهٔ گسیختگی در آن، با توجه به سطح اطلاعات موجود [۳٤]، [۳۵]

تعیین مسیر گسل	دقت تخمین حدود محل گسیختگی گسل
بخش های پوشیده گسل با برداشت های صحرایی محدود	Uncertainty ± 100 m
تعیین مسیر گسل براساس نقشه های GIS و نقشه مقدماتی گسل	± 50 m
تعیین مسیر گسل براساس نقشه تفصیلی گسل	± 30 m
تعیین مسیر گسل براساس نقشه برداری دقیق	± 20 m



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]

[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

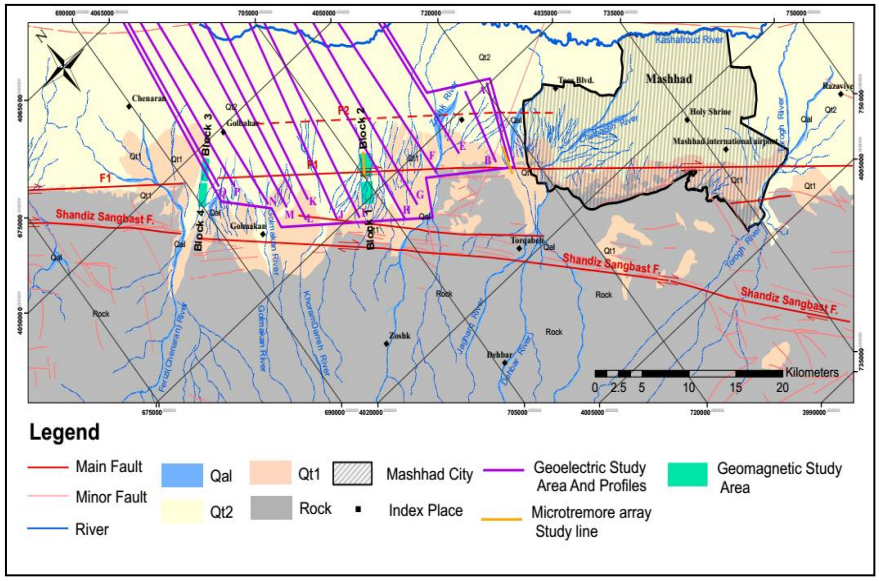
به نقشه درآوردن گسل جنوب مشهد

به نقشه درآوردن گسل‌های فعال مهم‌ترین بخش از پژوهش‌های ارزیابی گسلش سطحی است. برای این منظور از ابزارهای مختلفی نظیر عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، بررسی‌های ژئوفیزیکی مختلف، ترانشه زنی و گمانه‌های اکتشافی استفاده می‌شود. وجود افراز گسلی، تغییر شکل در مخروط افکنه‌ها و تغییر مسیر در رودخانه‌ها بهترین نشانه ژئومورفولوژیکی برای تعیین موقعیت پهنه اصلی گسلش است. در پژوهش حاضر برای تعیین مسیر گسل جنوب مشهد از پژوهش‌های مورفوتکتونیکی و ژئوفیزیکی استفاده شده است. شواهد جابه‌جایی در مخروط افکنه‌های واقع در جنوب مشهد با استفاده از عکس‌های هوایی بررسی شده است. شکل ٤ نقشهٔ زمین‌شناسی ساده شده منطقهٔ بررسی شده براساس تفسیر عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ را نشان می‌دهد. سامانهٔ گسلی سنگ بست شاندیز در حاشیهٔ جنوبی ارتفاعات مشهد به‌خوبی روی عکس‌های هوایی مشخص است. در شکل مزبور دو سری مخروط افکنه قدیمی و جدید مشخص شده است. مخروط افکنه‌های قدیمی در محل تلاقی با گسل سنگ بست-شاندیز تشکیل شده‌اند. شاخه اصلی گسل جنوب مشهد در شکل ٤ به‌عنوان F1 نام گذاری شده است. این شاخه گسلی با روند شمال غرب-جنوب شرق از بخش میانی مخروط افکنه‌های قدیمی چهل بازه، زشک، طرق و کاهو، گلمکان و گلبهار عبور می‌کند و جابه‌جایی راست‌گرد این مخروط افکنه‌ها در امتداد این گسل به‌وضوح مشاهده می‌شود [۵]، [۷].

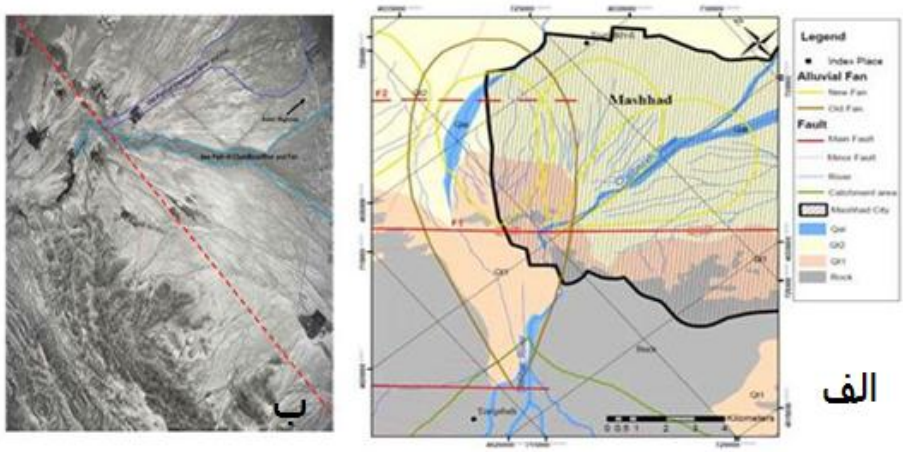
حداکثر جابه‌جایی راستگرد ظاهری در مخروط افکنه طرق در انتهای شرقی گسل حدود ۱۳۰۰ متر، در مخروط افکنهٔ چهل بازه حدود ۱۰۰۰ متر و در مخروط افکنهٔ زشک حدود ٦۰۰ متر اندازه‌گیری شده است (شکل‌های ۵ ,٦). علاوه بر جابه‌جایی افقی راست‌گرد در همهٔ مخروط افکنه‌های دامنهٔ جنوبی دشت مشهد، در راستای گسل جنوب مشهد مخروط افکنه‌های جدید شکل گرفته است که به‌نظر می‌رسد دلیل آن مؤلفه نرمال گسل است.

با توجه به این‌که بخش عمده‌ای از گسل جنوب مشهد در زیر آبرفت مدفون است، برای تعیین مسیر گسل از بررسی‌های مختلف ژئوفیزیکی شامل ژئوالکتریک، ژئومغناطیس و آرایه میکروترمورها استفاده شد. داده‌های ژئوالکتریک مربوط به دشت مشهد نیز اخیرا تهیه شده

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]



شکل ٤. نقشهٔ ساده شده زمین‌شناسی جنوب مشهد و موقعیت پرفیل‌های الکتریکی [٥]

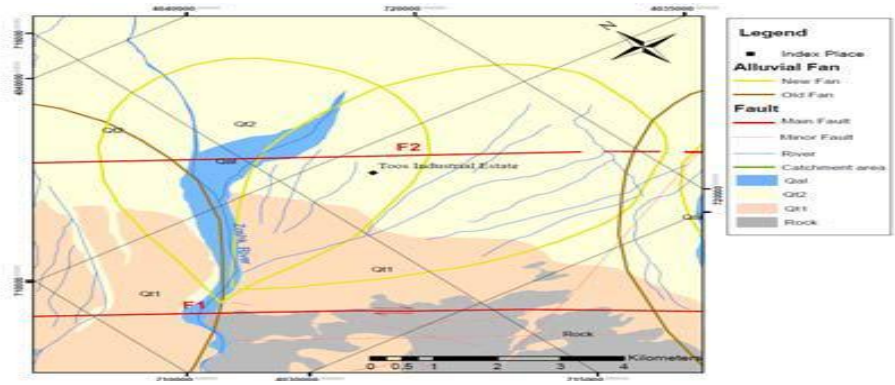


شکل ٥. جابه‌جایی مخروط افکنهٔ چهل بازه در امتداد گسل جنوب مشهد با استفاده از: الف) نقشهٔ ژئومورفولوژی و ب) تصویر ماهواره‌ای [٥]

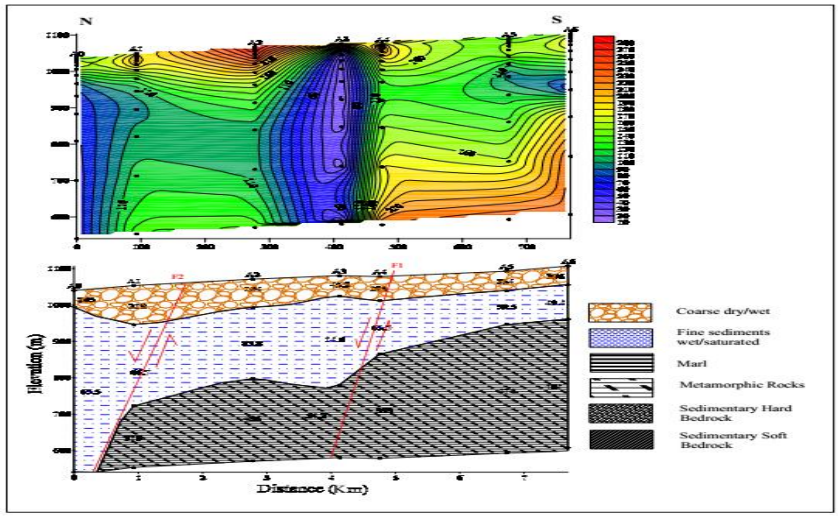
است. از این‌رو، در این پژوهش داده‌های خام بررسی‌های الکتریکی سال ۱۳٦٦ مجدداً تفسیر می‌شوند. موقعیت سونداژها در شکل ٤ و نتایج مقاومت ظاهری و مقاومت حقیقی دو مقطع در شکل‌های۷ و ۸ نشان داده شده است. بررسی‌های مغناطیس‌سنجی در چهار محدود عمود

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

بر مسیر گسل جنوب مشهد انجام شد که براساس آن مسیر عمومی گسل مشخص شد. هم‌چنین، با استفاده از روش آرایه میکروترمورها سه پروفیل عرضی عمود بر مسیر گسل در غرب و شرق شهر مشهد ترسیم شد که به‌خوبی مسیر گسل را مشخص می‌کنند [۵]. روند کلی مسیر گسل جنوب مشهد در شکل ۹ نشان داده شده است.

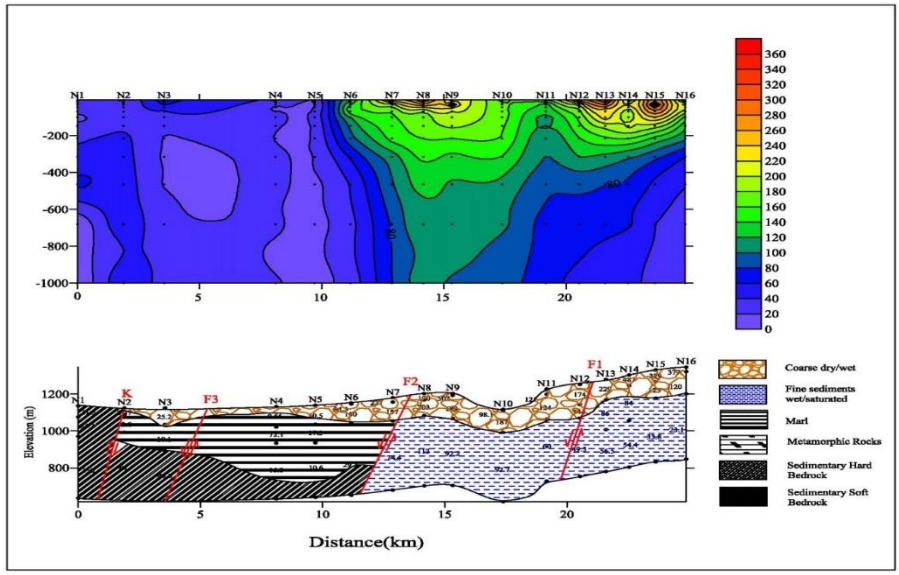


شکل ٦. جابه‌جایی راست‌گرد مخروط افکنهٔ زشک، غرب مشهد [۵]



شکل ۷. مقطع مقاومت ظاهری (شکل بالا) و مقاومت حقیقی همراه با نیم‌رخ زمین‌شناسی (شکل پایین) در مسیر پروفیل A [۵]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]



شکل ۸. مقطع مقاومت ظاهری (شکل بالا) و مقاومت حقیقی در پروفیل زمین‌شناسی (شکل پایین) [۵]

شکل ۹. موقعیت عمومی مسیر گسل جنوب مشهد در تصاویر گوگل ارث [۵].

برآورد دوره بازگشت جابه‌جایی گسل جنوب مشهد

دورهٔ بازگشت جابه‌جایی گسل جنوب مشهد را از رابطهٔ (۱) می توان برآورد کرد:

$$R_1 = D/S_R \qquad (۱)$$

در این رابطه R_I دورهٔ بازگشت (برحسب سال)، D میزان جابه‌جایی در یک حادثه لرزه‌ای، و S_R نرخ جابه‌جایی است. گشتاور لرزه‌ای (Mo) را می‌توان با استفاده از روابط تجربی بین طول گسلش و بزرگی طبق رابطه ۲ برآورد کرد [۳۷]:

$$\text{Log (Mo)} = 23.25 + 2.0 \text{ Log (L)} \qquad (۲)$$

در رابطهٔ ۲، L طول گسلش است که در بیش‌ترین مقدار برابر با ۵۰ درصد طول گسل فرض می‌شود. از این‌رو، برای گسل جنوب مشهد حداکثر ۳۳ کیلومتر در نظر گرفته شد و گشتاور لرزه‌ای آن از رابطهٔ (۳) محاسبه شد:

$$\text{Mo} = 1.9365 \times 1026 \text{ dyne-cm} \qquad (۳)$$

براساس توزیع عمق کانونی زمین لرزه‌ها عمق لایه سایزموژنیک ۱۲/۵ کیلومتر در نظر گرفته شده است. با فرض شیب نزدیک به قائم برای گسل، عمق لایه سایزموژنیک را برابر با عرض گسل می‌توان در نظر گرفت. مقدار جابه‌جایی در یک حادثه لرزه‌ای (D) از رابطهٔ (٤) محاسبه می‌شود [۲۸]:

$$\text{Mo}=\mu\times L\times W\times D \qquad (٤)$$

که در آن، μ مدول برشی بر حسب دین بر سانتی‌متر مربع است و برابر با $۲/۷\times۱۰^{۱۱}$ در نظر گرفته می‌شود، L طول گسلش برحسب سانتی‌متر، W عرض گسلش بر حسب سانتی‌متر و D میزان جابه‌جایی در یک حادثه برحسب سانتی‌متر است. با جای‌گذاری مقادیر مذکور در رابطهٔ (٤)، مقدار D برای گسل جنوب مشهد ۱۷٤ سانتی‌متر برآورد شد.

نرخ جابه‌جایی برای گسل جنوب مشهد را براساس میزان جابه‌جایی رودخانه می‌توان برآورد کرد. میانگین جابه‌جایی ظاهری رودخانه‌ها در طول گسل جنوب مشهد از ٦۰۰ تا ۱۳۰۰ متر تغییر می‌کند [۵]. تاکنون مطالعات تعیین سن برای گسل جنوب مشهد انجام نشده است. براساس اطلاعات استراتیگرافی، بازه زمانی جابه‌جایی گسل جنوب مشهد از دورهٔ کواترنری (yr ۱٦۰۰۰۰۰ قبل) در نظر گرفته می‌شود. با اعمال میانگین جابه‌جایی ظاهری (۹۵۰ متر) در این محاسبات، نرخ جابه‌جایی گسل جنوب مشهد mm/yr ۰/۵۹ تعیین شد.

داده‌های GPS، بردار جابه‌جایی کپه داغ نسبت به بینالود را به موازات ارتفاعات بینالود با نرخ ۲–٤ میلی‌متر در سال مشخص می‌کند. این مقدار جابه‌جایی بین دو گسل اصلی جنوب مشهد و شاندیز–سنگ بست تقسیم می‌شود [۳٦]. با فرض میانگین نرخ جابه‌جایی مذکور و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

براساس رابطهٔ (۱) دورهٔ بازگشت گسل جنوب مشهد ۲۹۳۰ سال برآورد شد. براساس این مقدار دورهٔ بازگشت، گسل جنوب مشهد از نظر درجه فعالیت در رده II قرار می‌گیرد. این رده‌بندی برحسب اهمیت سازه نزدیک گسل (جدول ۷)، میانگین دورهٔ بازگشت و مجاورت سازه با گسل فعال (جدول ۸) و نیز براساس معیارهای به‌دست آمده در این پژوهش (جدول ۹) توصیف شده است. باتوجه به درجهٔ فعالیت گسل جنوب مشهد، در مجاورت آن فقط اجرای ساخت و سازهای بدون ریسک مانند انبار و ساختمان‌های یک طبقه با اسکلت چوبی مجاز است.

طبقه‌بندی سازه‌ها در پهنه گسلی

در جدول ۷ رده‌بندی سازه‌ها براساس چهار نوع درجهٔ اهمیت آنها در پهنهٔ گسلی، نوع سازه و کاربری آنها ارائه شده است.

جدول ۷. رده‌بندی دورهٔ بازگشت گسل و اهمیت سازه‌های مجاز [۲۹]، [۳۱]

رده‌بندی اهمیت سازه نزدیک گسل	توصیف	مثال برای کاربری
I	سازه‌های با خطر کم جانی و مالی(سازه‌های موقت)	سازه‌های با مساحت قاعده کم‌تر از ۳۰ متر مربع، سازه‌های مجزا، برج‌های خارج از شهر،دیوار، استخر شنا، خانه‌های باغی و داخل مزارع
IIa	سازه‌های مسکونی اسکلت چوبی	سازه‌های یک طبقه با اسکلت چوبی
IIb	ساختمان‌های معمولی و سازه‌هایی که مشمول سایر گروه‌ها نمی شوند	سازه‌های اسکلت چوبی با مساحت بیش از ۳۰۰ متر مربع، سازه‌هایی چند منظوره، سازه‌های تجاری، مجتمع‌های ادارای-تجاری طراحی شده برای کم‌تر از ۵۰۰۰ نفر و مساحت کم‌تر از ۱۰۰۰۰ متر مربع، مجتمع‌های مسکونی، تئاتر، سینما با مساحت کم‌تر از ۱۰۰۰ متر مربع، پارکینگ‌های طبقاتی
III	سازه‌های مهم شامل مجتمع‌های مسکونی با جمعیت زیاد، سازه‌های ارزشمند برای جامعه یا با ریسک بالا برای مردم	مراکز اورژانس و سایر مراکز و تاسیسات حساس، ترمینال‌های فرودگاهی، ایستگاه‌های اصلی قطار، مدارس و مراکز آموزشی، دانشگاه‌های با جمعیت بیش از ۵۰۰۰ نفر، مجتمع‌های مسکونی با مساحت بیش از ۱۰۰۰ متر مربع، مراکز خرید با مساحت بیش از ۱۰۰۰۰ متر مربع بجز فضای پارکینگ، موزه و گالری‌های هنری با مساحت بیش از ۱۰۰۰ متر مربع، ساختمان‌های اداری، مراکز اجتماعات که به جمعیت بیش از ۱۰۰۰۰ نفر سرویس ارائه می کنند، انبار مواد شیمیایی با مساحت بیش از ۵۰۰ متر مربع
IV	سازه‌های خاص و حیاتی	زیر ساخت‌های اصلی شهری، تجهیزات کنترل ترافیک، مراکز مدیریت بحران، مراکز اوراژانسی-درمانی، فضاهای پارکینگ وسایل نقیله اورژانسی، ایستگاه‌های پلیس و آتش نشانی و سایر موارد مشابه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

در جدول ۸ براساس نوع سازه و مشخصات گسل فعال، توصیه‌هایی برای استقرار انواع سازه‌ها در حریم گسلش ارائه شده است. باتوجه به رده‌بندی گسل جنوب مشهد (نوع II) و کوتاه بودن دوره بازگشت آن (۳۵۰۰ yr–۲۰۰۰) اجرای سازه‌های جدید با شرایط کاملا ایمن (انواع I, IIa)در اطراف آن مجاز است اما اجرای سازه‌هایی که به‌عنوان زیرساخت‌های کشور مطرح هستند، در مجاورت حریم گسلش آن مجاز نیست.

ارزیابی حریم گسل جنوب مشهد

در شکل ۹ روند عمومی گسل جنوب مشهد ارائه شده است. با توجه به مکانیسم گسل مزبور که امتداد لغز نرمال تعیین شده است و با توجه به این‌که مسیر گسل براساس بررسی‌های ژئوفیزیک و شواهد ریخت‌شناسی با احتمال تعیین شده است، بر مبنای اطلاعات حاصل از رده‌بندی (جدول‌های ۷–۹)، حریم گسل جنوب مشهد در بخش فرادیواره ۸۰ متر و در بخش فرودیواره ۷۰ متر برآورد شد.

جدول ۸. رده‌بندی سازه‌های مجاز در مجاورت گسل باتوجه به رده‌بندی گسل‌های فعال [۲۹]، [۳۰]، [۳۱]، ۳۸[]

رده‌بندی گسل براساس دورهٔ بازگشت	میانگین دورهٔ بازگشت (سال)	رده‌بندی اهمیت سازه (سازه‌های مجاز)	
		سازه‌های موجود (تقسیم‌بندی جدول ۷)	سازه‌های جدید (شرایط کاملاً ایمن)
I	≥ ۲۰۰۰	I	I
II	۲۰۰۰–۳۵۰۰	I , IIa	
III	۳۵۰۰–۵۰۰۰	IIb, I, IIa	I , IIa
VI	۵۰۰۰–۱۰۰۰۰	IIb, I, IIa و III	IIb, I, IIa
V	۱۰۰۰۰–۲۰۰۰۰		IIb, I, IIa و III
VI	۲۰۰۰۰–۱۲۵۰۰۰	I,IIa, IIb, III, Iv سازه‌های حیاتی برای شرایط بعد از بحران نباید در عرض گسل فعال با دوره بازگشت کم‌تر از ۲۰۰۰۰ سال ساخته شود	

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

جدول ۹. رده‌بندی درجهٔ فعالیت گسل جنوب مشهد طبق رده‌بندی‌های موجود [۱۹]، [۲۰]، [۲۳]، [۲٤] و معیارهای محسبه شده در این پژوهش

ردیف	رفرنس رده‌بندی گسل	رده‌بندی و درجه فعالیت گسل جنوب مشهد
۱	Califirnia Department of Conservation (1997)	به‌دلیل جابه‌جایی در زمان هولوسن گسل از نوع فعال است.
۲	Cluff & Cluff (1984)	رده ۳
۳	Kerr et al. (2003)	II
٤	Fraser et al. (2012)	QE_B, SR_C, MM_C , RP_C

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام شده روی گسل جنوب مشهد نشان می‌دهد که این گسل نهشته‌های مخروط افکنه‌ای جوان و کواترنری را بریده و مقدار قابل توجهی رسوبات را به‌صورت راست‌گرد جابه‌جا کرده است. براساس میزان جابه‌جایی گسل در دورهٔ کواترنری و با فرض بازهٔ زمانی ۱/٦ Ma برای کل مقدار جابه‌جایی، گسل جنوب مشهد در گروه II در رده‌بندی Kerr و همکاران ۲۰۰۳ قرار می‌گیرد. پیاده کردن موقعیت گسل جنوب مشهد براساس پژوهش‌های ریخت‌شناسی و ژئوفیزیکی است و دسترسی مستقیم به سطح گسل به‌وسیلهٔ ترانشه زنی وجود نداشته است. برحسب تقسیم‌بندی درجه فعالیت گسلش، زون عدم یقین برای گسل جنوب مشهد ۵۰ متر از طرفین خط گسل و حریم گسل نیز ۷۰ متر در سمت جنوب (فرودیواره) و ۸۰ متر در سمت شمال (فرادیواره) در نظر گرفته می‌شود. براساس توصیه محققان در حریم گسل‌های نوع II احداث سازه‌های با ریسک پایین و سازه‌های مسکونی یک طبقه با اسکلت چوبی مجاز است. در حالی که در حریم گسل جنوب مشهد در حال حاضر سازه‌های مسکونی چند طبقه و بعضا تأسیسات مهمی قرار گرفته است. پژوهش حاضر نشان داد که در برنامه‌ریزی شهر مشهد لازم است توجه بیش‌تری به ساختار و عملکرد این گسل انجام شود و با انجام بررسی‌های دقیق سوابق لرزه‌خیزی و حفر ترانشه در بخش‌های مختلف اختصاصات گسل و نیز موقعیت آن به‌صورت دقیق‌تر بررسی و تحلیل شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]

[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

قدردانی

از دانشگاه فردوسی مشهد و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران به‌دلیل ایجاد بستر پژوهشی و شرایط انجام تحقیقات علمی-کاربردی، تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

۱. امینی حسینی ک.، مهدویفر م.، بخشایش م.، رخشنده م.، "گزارش مقدماتی زمین‌شناسی مهندسی و پدیده‌های ژئوتکنیکی همراه با زلزله ۱۳۸۲ بم"، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۸۲).

۲. حسامی خ.، کارخانیان، آ.، جمالی ف.، "گزارش مقدماتی شناسایی تعدادی از گسل‌های فعال منطقهٔ آذربایجان»، مؤسسهٔ بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۷۵).

۳. حسامی خ.، جمالی ا.، طبسی ه.، "نقشه گسل‌های فعال ایران"، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله ایران (۱۳۸۲).

٤. مختاری د.، "آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی از فعالیت گسل و ضرورت جابه‌جایی آنها (نمونه موردی: روستاهای واقع در امتداد گسل شمالی میشو)"، پژوهش‌های جغرافیایی، شمارهٔ ۵۱ (۱۳۸٤).

۵. حافظی مقدس ن.، "گزارش طرح پژوهشی تعیین حریم گسل جنوب مشهد"، طرح پژوهشی مشترک دانشگاه فردوسی مشهد و سازمان نظام مهندسی استان خراسان رضوی (۱۳۹٦).

٦. حافظی مقدس ن.، غفوری م.، "گزارش دلایل خرابی سد باطله کارخانه پتروشیمی بجنورد"، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۷۲).

۷. حافظی مقدس ن.، آزادی ا.، "گزارش نهایی طرح مطالعات ژئوفیزیکی دشت مشهد"، شرکت زمین فیزیک پویا، سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۹٤).

8. Abbassi M. R., Y., Farbod, "Faulting and folding in quaternary deposits of Tehran’s piedmont (Iran)", Journal of Asian Earth Sciences, 34, Elsevier (2009).

9. Aki K., "Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964, 2, Estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from the G wave spectrum", Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ., 44 (1966) 73-88.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]

[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

10. Anastasopoulos I., Gazetas G., Bransby F., Davies M. C. R., Nahas El. A., "Fault Rupture Propagation through Sand : Finite-Element Analysis and Validation through Centrifuge Experiments", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering", American Society of Civil Engineers , (ASCE), Vol. 133, No. 8, (2007) 943-958.
11. Barka A., Akyüz H. S., Altunel E., Sunal G., Çakir Z., Dikbas A., Yerli B., Armijo Meyer B., de Chabalier J.B., Rockwell T., Dolan J.R., Hartleb R., Dawson T., Christofferson S., Tucker A., Fumal T., Langridge R., Stenner H., Lettis W., Bachhuber J., Page W., "The Surface rupture and slip distribution of the17August 1999 Izmit earthquake (M7.4, North Anatolian Fault" Bull. Seismol. Soc. Am. 92 (1) (2002) 43-60.
12. Bray J. D., Kelson K. I., "Observations of surface fault rupture from the 1906 earthquake in the context of current practice" Earthquake Spectra 22, (2006) S69-S89,
13. Bray J. D., Seed R. B., Cluff L. S., Seed H. B., "Earthquake Fault Rupture Propagation through Soil," Journal of Geotech. Engrg. , ASCE, 120 (3), (1994a) 543-561.
14. Bray J. D., "Developing mitigation measures for the hazards association with earthquake surface fault rupture", seismic fault-induced failures, 55, (2001 January) 55-80.
15. Bryant W. A., "Barka A., Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning ", California Geological Survey, Surface Fault Displacement Hazard Workshop U.C. Berkeley May 20-21 (2009).
16. Bryant W. A., "History of the Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act, California, USA", Environmental and Engineering Geoscience 16 (1) (March 2010) 7-18.
17. Gledhill K. R., Ristau J., Reyners M., Francois-Holen C., "The Darfield (Canterbury) M_w 7.1 Earthquake of September 2010: Preliminary Seismological Report", Bull. N. Z. Soc. Earthquake Eng., (2010).

18. Quigley M., Van Dissen R., Litchfield N., Villamor P., Duffy B., Barrell D., Furlong K., Stahl T., Bilderback E., Noble D., "Surface rupture of the Greendale fault during the Mw 7.1 Darfield (Canterbury) earthquake, New Zealand: Initial findings" Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 43 (2010) 236-242.
19. Califirnia Department of Conservation, Division of Mines and Geology, "Fault-Rupture Hazard Zones in California", (1997). California Agencies. Paper 387.
20. Cluff L. S., Cluff J. L., "Importance of assessing degrees of fault activity for engineering decisions", in Proceeding of the 8th World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 2, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., (1984) 629-636.
21. Clark M. M., Sharp R. P., Castle R. O., Harsh P. W., "Surface faulting near Lake Oroville, California, in August, 1975" Bull. Seismol. Soc. Am., 66 (1976) 1101-1110,
22. Cole D. A. Jr., Lade P. V., "Influence zones in alluvium over dip-slip Faults. Journal of Geotechnical Engineering Division", ASCE 110:5, (1984) 599-615.
23. Kerr J., Nathan S., Van Dissen R., Webb P., Brunsdon D., King A. "Planning for development of land on or close to active faults: a guideline to assist resource management planners in New Zealand, Ministry for the Environment", ME number 565, (2003) 67.
24. García-Mayordomo J., Insua-Arévalo J. M., Martínez-Díaz J. J., Jiménez-Díaz A., Martín-Banda R., Martín-Alfageme S., Masana E., "The Quaternary Active Faults Database of Iberia (QAFI v. 2.0)/La Base de Datos de Fallas Activas en el 10 Cuaternario de Iberia (QAFI v. 2.0)", Journal of Iberian Geology, 38 (1) (2012) 285.
25. Van Dissen R. J., Berryman K., Webb T., Stirling M., Villamor P., Wood, P. R., Nathan S., Nicol A., Begg J., Barrell D., McVerry G., Langridge R., Litchfield N., Pace B., "An interim classification of New

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]

[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]

Zealand's active faults for the mitigation of surface rupture hazards", In proceedings, Pacific Conference on Earthquake Engineering, Christchurch, New Zealand, February, 2003, Paper No.155, (2003).

26. Goel R. K., Chopra A. K., "Linear analysis of ordinary bridges crossing fault rupture zones." Journal of Bridge Engineering, 14 (3) (2009a) 203-215.
27. Goel R. K., Chopra A. K. "Nonlinear analysis of ordinary bridges crossing fault rupture, zones." Journal of Bridge Engineering, 14 (3) (2009b) 216-224.
28. Hanks T. C., H. Kanamori. A., "Moment magnitude scale, Journal of Geophysical Research", 84, 5, (1979) 2348-2350, 9B0059.
29. Fraser J. G., Hubert-Ferrari A., Verbeeck K., Garcia-Moreno D., Avsar U., Maricq N., Coudijzer A., Vlamynck N., and Vanneste K., "A 3000-year record of surface rupturing earthquakes at Gunalan: variable fault-rupture lengths along the 1939 Erzincan earthquake-rupture segment of the North Anatolian Fault, Turkey." Annals of Geophysics, 55(5), (2012) 895-927.
30. Kerr J., Nathan S., Brunsdon D., King A., Van Dissen R., "Interim guidelines: Planning for development of land on or close to active faults. Institute of Geological & Nuclear Sciences Client Report 2002/124", (prepared for Ministry for the Environment, New Zealand) (2002).
31. King A. B., Brunsdon D. R., Shephard R. B., Kerr J. E., Van Dissen "Building adjacent to active faults: a risk-based approach. In proceedings, Pacific Conference on Earthquake Engineering", Christchurch, New Zealand, February, (2003) Paper No.158.
32. Langridge R. M., Stenner H. D., Fumal T. E., Christofferson S. A., Rockwell T. K., Hartleb R. D., Bachhuber, J., Barka, A. A.,"Geometry, slip distribution, and kinematics of surface rupture on the Sakarya fault segment during the 17 August 1999 Izmit", Turkey, earthquake. Bull. Seismol. Soc. Am. 92 (2002) 107-125.

33. Langridge R., Ries W., "Mapping and fault rupture avoidance zonation for the Alpine Fault in the West Coast region", GNS Science Consultancy Report 2009/18, (2009) 47.

34. Langridge R., Ries W., "Active fault mapping and rupture avoidance zonation for the Alpine Fault in West Coast region", GNS Science Consultancy Report 2009/18, (2010).

35. Lazarte C. A., "The response of Earth structures to surface fault rupture", Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Univ. of California, Berkeley (1996).

36. Nilforoushan F., Masson F., Vernant P., Vigny C., Martinod J., Abbassi M., Nankali H., Hatzfeld D., Bayer R., Tavakoli F., Ashtiani A., Doerflinger E., Daignières M. , Collard P., Chéry J., "GPS network monitors the Arabia-Eurasia collision deformation in Iran" Journal of Geodesy, Volume 77, Issue 7-8, (2003) 411-422.

37. Van Dissen R., Barrell D., Litchfield N., Villamor P., Quigley M., King A., Furlong K., J. Begg, Townsend D., Mackenzie H., Stahl T., Noble D., Duffy B., Bilderback E., Claridge J., Klahn A., Jongens R., Cox S., Langridge R., Ries W., Dhakal R., Smith A., Hornblow S., Nicol R., Pedley K., Henham H., Hunter R., Zajac A, Mote T., "Surface rupture displacement on the Greendale Fault during the 1Mw 7.1 Darfield (Canterbury) earthquake, New Zealand, and its impact on man-made structures" Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering Building an Earthquake-Resilient Society 14-16 April, (2011), Auckland, New Zealand Paper Number 186.

38. Wells D. L., Coppersmith K. J. "New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement" Bulletin of the seismological Society of America, 84 (4) (1994) 974-1002.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.2.1.8]
[DOI: 10.52547/jeg.15.2.233]